

Aus dem Lehrstuhl für Unfallchirurgie

Prof. Dr. Dr. Volker Alt

der Fakultät für Medizin

der Universität Regensburg

Qualitative und quantitative Video-Analyse von Kopfballspiel und Kopfverletzungen
im deutschen Juniorenfußball

Inaugural – Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Medizin

der

Fakultät für Medizin

der Universität Regensburg

vorgelegt von

Veronika Anne Seitz

2025

Aus dem Lehrstuhl für Unfallchirurgie

Prof. Dr. Dr. Volker Alt

der Fakultät für Medizin

der Universität Regensburg

Qualitative und quantitative Video-Analyse von Kopfballspiel und Kopfverletzungen
im deutschen Juniorenfußball

Inaugural – Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Medizin

der

Fakultät für Medizin

der Universität Regensburg

vorgelegt von

Veronika Anne Seitz

2025

Dekan: Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Werner Krutsch

2. Berichterstatter: PD Dr. med. Christoph Hohenberger

Tag der mündlichen Prüfung: 28.11.2025

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	8
2. Einleitung.....	9
2.1 Fußball im Juniorenanter	9
2.2 Der Kopfball im Fußball.....	10
2.3 Kopfverletzungen im Fußball.....	11
2.3.1 Schädelhirntrauma.....	11
2.3.2 Repetitive subconcussive head impacts (RSHI)	13
2.3.3 Zentral neurologische Langzeitschäden	14
2.4 Kopfballspiel und Folgen	16
2.5 Prävention im Fußball.....	17
2.5.1 Primäre Prävention	18
2.5.2 Sekundäre Prävention	20
2.5.3 Tertiäre Prävention	23
2.6 Stellenwert der Videoanalyse im Sport.....	24
2.7 Zielsetzung	26
3. Material und Methoden.....	27
3.1 Methodik.....	27
3.1.1 Studiendesign	27
3.1.2 Videomaterial und dessen Analyse.....	27
3.1.3 Analyseverfahren	29
3.2 Statistische Auswertung	31
3.3 Material	32
3.3.1 Hardware	32
3.3.2 Software	32
3.4 Studienförderung.....	33

4.	Ergebnisse	34
4.1	Charakterisierung des Studienkollektivs.....	34
4.2	Epidemiologische Analyse von Kopfballsituationen.....	36
4.2.1	Kopfballspielsituationen	39
4.2.2	Analyse von Kopfball- und Zweikampfverhalten	44
4.3	Epidemiologische Analyse von verletzungsträchtigen Kopfballsituationen und Verletzungen am Kopf	49
4.3.1	Inzidenz der kopfverletzungsträchtigen Situationen.....	49
4.3.2	Analyse der kopfverletzungsträchtigen Situationen	50
4.3.3	Konsequenz der kopfverletzungsträchtigen Situation	54
4.3.4	Risikofaktoren für eine kopfverletzungsträchtige Situation im Rahmen des Kopfballspiels	56
5.	Diskussion	59
5.1	Das Kopfballspiel und seine Folgen	59
5.1.1	Reales Profil von Kopfbällen des Spielbetriebs.....	59
5.1.2	Kopfverletzungen als seltene Folge des Kopfballspiels im Kindesalter.	61
5.1.3	Entwicklung des Kopfballspiels als integrierte Spielform bei steigender Professionalität und zunehmendem Heranwachsen	63
5.1.4	Chancen der Prävention zur Vermeidung von Kopfverletzungen.....	64
5.2	Methodische Aspekte	66
5.2.1	Die Videoanalyse als unabhängiges Instrument der Spielanalyse.....	66
5.2.2	Der Critical Incident als Überinterpretation potentieller Verletzungssituationen	67
5.3	Limitierungen der Studie.....	68
6.	Fazit.....	70
7.	Literaturverzeichnis	72
8.	Abkürzungsverzeichnis.....	85

9. Danksagung	86
10. Selbstständigkeitserklärung.....	87

1. Zusammenfassung

Hintergrund: Fußball stellt die populärste Sportart weltweit dar. In den letzten Jahren rückten durch eine zunehmende mediale Präsenz die Thematik der Kopfverletzungen sowie das Risiko durch das Kopfballsport in den Vordergrund, was die intensive wissenschaftliche Auseinandersetzung steigerte. Dennoch existiert in der Literatur nur wenig Evidenz, insbesondere für den Juniorenfußball.

Methodik: Mittels Videoanalyse wurden insgesamt 424 Spiele aus dem Juniorenfußball aus allen Altersklassen von U9 bis U21 im Hinblick auf die Anzahl des Kopfballsports und von Kopfverletzungen analysiert. Verletzungssituationen wurden über die Definition des Critical Incident identifiziert. Zudem wurden 51 Spiele aus dem hochklassigen Juniorenfußball in zufälliger Auswahl (eines pro Spieltag) sowie 67 Spiele des Juniorenfußballs des SSV Jahn Regensburg in einer detaillierten Analyse anhand von standardisierten Online-Fragebögen ausgewertet, um eine genaue Beschreibung der Kopfball- sowie verletzungsträchtigen Situationen zu ermöglichen.

Ergebnisse: Es wurden insgesamt 424 Spiele mit einer gesamten Spielzeit von 34.010 min. analysiert. Dabei ergab sich eine Gesamtzahl von 35.522 Kopfbällen sowie 171 kopfverletzungsträchtige Situationen. Die Anzahl der Kopfbälle pro Spiel erhöhte sich mit steigender Altersklasse von 33,9/Spiel bzw. 2,1/Spiel und Spieler (U11-U9) bis hin zu 102,0/Spiel bzw. 4,6/Spiel und Spieler (U19). Die Kopfbälle wurden zum größeren Teil im defensiven Kontext ausgeführt (rund 2/3). Kopfbälle wurde überwiegend aus dem freien Spiel heraus getätigt. Deren Intention war in den meisten Fällen ein Pass oder das Klären einer Situation. Der Anteil an Kopfbällen in Standardsituationen (wie bspw. Einwurf) nahm mit steigender Altersklasse ab. Zudem ließen sich häufig Zweikampfsituationen mit Kopfbällen assoziieren, welche mit steigendem Alter zunahmen (U11-U9: 38,3% bzw. U21: 59,3%).

Die insgesamt 171 kopfverletzungsträchtigen Situationen lieferten in einzelnen Kohorten bei teils sehr niedrigen Fallzahlen nur bedingt aussagekräftige Ergebnisse, weswegen in der detaillierten Auswertung nur auf die Kohorten der A- sowie B-Junioren Bundesliga als auch der U19 sowie U17 aus Amateur- Juniorenfußballligen

eingegangen wurde. Dabei zeigte sich eine deutliche Assoziation von kopfverletzungsträchtigen Situationen mit Zweikämpfen, wobei insbesondere Kopfballduelle hervorzuheben waren. In der höheren Altersklasse zeichnete sich die Position des Verteidigers als am häufigsten Betroffene ab. Insbesondere eine hohe Ellenbogenposition ging mit einem deutlich erhöhten Risiko für Kopfverletzungen einher.

Schlussfolgerungen: Das Kopfballsportspiel sowie kopfverletzungsträchtige Situationen sind im Juniorenfußball als selten zu beziffern, deren Häufigkeit mit steigendem Alter sowie Professionalität zunehmen. Kopfverletzungen sind dabei eine seltene Folge des Kopfballsports. Risikofaktoren für Kopfverletzungen stellen Zweikämpfe sowie hohe Ellenbogenpositionen dar. Die Videoanalyse stellt dabei ein probates Mittel dar, um das Kopfballsportspiel detailliert untersuchen zu können. Die Ergebnisse spiegeln ein reales Abbild des aktuellen Spielbetriebs wider und stellen eine Grundlage für zukünftige präventive Maßnahmen dar, um gezielt das Risiko für Kopfverletzungen zu reduzieren und so konsequent mögliche längerfristige Folgen zu minimieren – wie beispielsweise über Edukation sowie Anpassungen des Trainingsprofils sowie Verbesserungen des Spielablaufs.

Summary

Background: Football is the most popular sport worldwide. In recent years, the topic of head injuries and the risks associated with heading the ball have come to the forefront due to increased media presence, which has intensified scientific research. However, there is little evidence in the literature, especially regarding junior football.

Methods: A total of 424 matches from junior football, spanning all age groups from U9 to U21, were analyzed through video analysis with a focus on the number of headers and head injuries. Injury situations were identified using the definition of a "Critical Incident." Additionally, 51 randomly selected matches from professional junior football (one per matchday) and 67 junior football matches from SSV Jahn Regensburg were evaluated in detail using standardized online questionnaires to provide an accurate description of heading and injury-prone situations.

Results: A total of 424 matches with a total playing time of 34.010 minutes were analyzed. This revealed a total of 35.522 headers and 171 head injury-prone situations. The number of headers per match increased with age, from 33.9 headers/match or 2.1 headers/match per player (U11-U9) to 102.0 headers/match or 4.6 headers/match per player (U19). Most headers occurred in defensive contexts (around two-thirds) and were primarily performed during open play, usually with the intention of passing or clearing the ball. The proportion of headers during set pieces (e.g., throw-ins) decreased with age. Furthermore, heading was often associated with duels, which increased with age (U11-U9: 38.3%, U21: 59.3%).

The 171 head injury-prone situations yielded only limited statistically significant results in some cohorts due to low case numbers, so the detailed analysis focused on the A and B-Junior Bundesliga cohorts as well as U19 and U17 of lower soccer leagues. A clear association between head injury-prone situations and duels was observed, with heading duels being particularly noteworthy. In the higher age groups, defenders were the most affected. Notably, a high elbow position was associated with a significantly increased risk of head injuries.

Conclusions: Heading the ball and situations prone to head injuries are rare in junior football, with their frequency increasing with age and level of professionalism. Head injuries due to heading the ball is a rare phenomenon. Risk factors for head injuries include duels and high elbow positions. Video analysis is an effective way to be able to examine heading the ball in detail. The results provide a realistic picture of the current game situation and serve as a basis for future preventive measures aimed at specifically reducing the risk of head injuries and consequently minimizing potential long-term effects - such as through education, adjustments to training profiles, and improvements in gameplay.

2. Einleitung

2.1 Fußball im Juniorenanter

Fußball ist die weltweit populärste Sportart mit insgesamt ca. 265 Millionen Mitgliedern aufgeteilt auf 211 Nationalverbände (FIFA 2006, 2022). Allein in Deutschland waren über 7 Millionen Mitglieder registriert, wovon über 2 Millionen Spieler*Innen im Juniorenanter in über 24000 Vereinen gemeldet waren. Der DFB ist damit der mitgliederstärkste deutsche Sportfachverband (DFB 2022a, 2022c).

In den letzten Jahren erlangte die Thematik der Kopfverletzungen sowie des Kopfballspiels immer größere mediale als auch wissenschaftliche Präsenz (Spiotta et al. 2012; Bartens 2016; Langdon et al. 2022; Held 2022). Insbesondere schwerwiegende Verletzungen wie beispielsweise die schwere Kopfverletzung des Arminia Bielefeld Profis Fabian Klos, welche eine operative Versorgung erforderte, erhöhen das öffentliche Interesse. Bereits 2013 hatte sich dieser Spieler multiple Gesichtsfrakturen zugezogen (Hartmann 2022). Laut des VGB (Verwaltungs-Berufsgenossenschaft) Sportreports waren in der Saison 2018/2019 6% aller dokumentierten Sportverletzungen des Erwachsenen-Profifußballs im Bereich des Kopfes zu lokalisieren. Weitaus häufiger waren Verletzungen im Bereich der unteren Extremitäten. Dennoch sollten Kopfverletzungen keinesfalls unbeachtet bleiben (Klein et al. 2020). Im Juniorenfußball konnte in einer Studie von Krutsch et al. der Saison 2010/2011 eine höhere Inzidenz an Kopfverletzungen mit 12,3% wiedergegeben werden, welche somit die dritthäufigste Verletzungslokalisierung darstellte. Schwere Kopfverletzungen wie eine Gehirnerschütterung traten jedoch nur selten (0,4%) auf (Krutsch et al. 2014).

Seit 2015 gelten im Jugendfußball in den USA neue Regeln in Bezug auf das Kopfballspiel. Demnach wurde ein Kopfballverbot in den Altersklassen bis U11 sowie eine Limitierung des Kopfballtrainings in den Altersklassen U11-U13 vorgenommen (United States Soccer Federation 2015). Auch im englischen Fußball wurde 2021 eine Regeländerung mit der Reduktion der Häufigkeit des Kopfballtrainings umgesetzt (Langdon et al. 2022). Auch im Deutschen Fußballbund (DFB) soll ab der Saison 2024/2025 eine veränderte Spielform in den Altersklassen G- bis E-Jugend eine Reduktion des Kopfballspiels bewirken. Diese wird jedoch lediglich durch Veränderung der Spielformen mit Verkleinerung der Mannschaftsgrößen (bspw. Drei gegen Drei)

mit einhergehendem kleineren Spielfeld mit Minitoren sowie der Abänderung von Einwürfen und Abstößen zu Eindribbeln umgesetzt (DFB 2022b). Zur Diskussion steht jedoch ob nicht das Kopfballspiel selbst, sondern vielmehr Kollisionen (beispielsweise mit dem Gegenspieler) sowie Landemechanismen als Ursache für Kopfverletzungen verantwortlich sind (Andersen et al. 2004; Krutsch et al. 2017). Generell ist die Häufigkeit des Kopfballspiels im Erwachsenenfußball höher als im Jugendfußball (Langdon et al. 2022). Es sind weiterführende Studien hinsichtlich der Kopfverletzungsursachen und -folgen im Fußball notwendig.

2.2 Der Kopfball im Fußball

Das Kopfballspiel ist eine einzigartige Charakteristik des Fußballs, um damit den Ball zu stoppen oder eine Änderung der Flugrichtung zu erreichen und damit sowohl in offensivem als auch defensivem Kontext verwendet werden kann (Spiotta et al. 2012; Krutsch et al. 2017). Mit dem Verbot der oberen Extremitäten im Regelwerk als „Handspiel“ wurde die Verwendung des Kopfes als probates Mittel bei hohen Bällen eingesetzt. Insbesondere damit lässt sich eine deutliche Abgrenzung zu anderen (Ball-)Sportarten erreichen: beispielsweise im Basketball oder Handball mit der Verwendung der Hände als auch im Eishockey oder Baseball mit Verwendung von Hilfsmitteln (Krutsch et al. 2017).

Die Verwendung des Kopfballs erfordert ein gut abgestimmtes Zusammenspiel aus Anlauf, Absprung, Kopfstoß und Landung. Zudem kommen verschiedene Arten des Kopfballspiels zur Anwendung (aus dem Stand, aus dem Lauf, im Sprung, mit oder ohne Zweikampf). Allen Techniken gemein ist das vorherige lange Anvisieren des Balles zur Abschätzung der Flugkurve, dem darauffolgenden Aufbauen der Ganzkörperbogenspannung (ggf. mit vorherigem Sprung) sowie das Ausführen des Kopfballs am Os frontale durch Ausschwingen des gesamten Körpers (DFB 2014). Veränderungen in der Kopfballausführung können biomechanisch gesehen durch die Verbesserung der muskulären Vorspannung als auch des Kopf-Torso-Zusammenspiels eine Reduktion der Kopfbelastung bedingen (Shewchenko et al. 2005b). Bisherige Meta-Analysen und Reviews zeigen keine Evidenz für durch Kopfbälle entstandene Effekte auf die Gehirnstruktur sowie Gehirnfunktion (Maher et al. 2014; Rodrigues et al. 2016; Kontos et al. 2017; Langdon et al. 2022). Das

Kopfballsport ist insbesondere in den jüngsten Altersgruppen und bei den weiblichen Fußballerinnen ein selten verwendetes Mittel (Sandmo et al. 2020). Somit kann zur Diskussion gestellt werden, ob eine wie in den USA und England eingeführte Einschränkung des Kopfballsports tatsächlich eine Reduktion der Kopfverletzungen mit sich bringen kann. Insbesondere epidemiologische Daten im Hinblick auf das Kopfballsport im Juniorenalter als auch die Inzidenz von Kopfverletzungen sind in der Literatur wenig vertreten.

2.3 Kopfverletzungen im Fußball

Verletzungen im Sport können generell auf zwei unterschiedliche Arten entstehen: Einerseits durch direkten Kontakt auf die verletzte Körperregion, andererseits durch einen kontaktlosen Verletzungsmechanismus. Kopfverletzungen sind dabei überwiegend auf ersteres zurückzuführen (Krutsch et al. 2017). In einem Vergleich unterschiedlicher Kontaktsportarten zeigen sich niedrigere Inzidenzen für Gehirnerschütterungen im Fußball verglichen mit anderen Kontaktsportarten wie Eishockey, Rugby oder American Football. Zudem ergeben sich deutliche Unterschiede im spielerischen Kontext mit höheren Kopfverletzungsraten in Ligaspielen als in Trainingssituationen. Hervorzuheben ist zudem ein geschlechterspezifischer Unterschied zugunsten höherer Risiken für Frauen in Fußball sowie Eishockey (Pfister et al. 2016; Krutsch et al. 2017; Prien et al. 2018). Studien schildern eine höhere Inzidenz für (milde) Schädelhirntraumata im High-School Alter verglichen mit älteren Vergleichsgruppen. Das Auftreten von Gehirnerschütterungen war mit 8,9% aller gelisteten Verletzungen bei den High-School Athlet*Innen höher als die der College Athlet*Innen (5,8%). Dennoch wird eine Unterschätzung der Zahl der Verletzungen vermutet, nicht zuletzt aufgrund der mangelnden Kenntnis der Erkrankung und deren Folgen (Karlin 2011; Pfister et al. 2016) .

2.3.1 Schädelhirntrauma

Basierend auf der Definition von McCrory et al. (2013) und dem Consensus of Concussion in Sport 2012 gehört das Schädelhirntrauma zu Gehirnverletzungen, welche pathophysiologisch bei komplexen Prozessen im Gehirn induziert durch

biomechanische Kräfte entstehen. Sie resultieren aus direkten Einwirkungen auf den Kopf oder aus übertragenen Kräften vom Körper auf den Kopf. Typischerweise kommt es dabei zu schnell einsetzenden und kurzzeitigen Beeinträchtigungen neurologischer Funktionen, die sich spontan regredient zeigen. Teils können Symptome aber auch bis zu einigen Stunden anhalten. Möglicherweise können Schädelhirntraumen auch mit strukturellen Schäden einhergehen. Aufgrund der akut einsetzenden Symptome wird jedoch mehr von einer funktionellen Störung ausgegangen. Dies spiegelt sich auch in den standardmäßig fehlenden Auffälligkeiten in der zerebralen Bildgebung wider. Zu den Symptomen und klinischen Zeichen eines Schädelhirntraumas gehören Kopfschmerzen, Übelkeit, emotionale Veränderungen, Bewusstseinsverlust, Amnesie, Verhaltensänderungen, kognitive Beeinträchtigungen sowie Schlafstörungen (McCrory et al. 2013). Das klinische Bild von Schädelhirntraumen bei Kindern und Jugendlichen kann dabei von den oben genannten abweichen, sodass hierbei angepasste Assessments notwendig sind (McCrory et al. 2013; Broglio et al. 2014; Pfister et al. 2016).

Insgesamt gibt es jedoch mehrere, teils unterschiedliche Definitionen des Schädelhirntraumas, die durch diverse Autoren und verantwortliche Organisationen publiziert sind (Guskiewicz et al. 2004; Broglio et al. 2014; McCrory et al. 2017a). Bisher existiert kein Goldstandard für die Diagnosestellung eines sportassoziierten Schädelhirntraumas, sodass auch Unterschiede im Management sowie der Prognose vorliegen (McCrory et al. 2017a). Insgesamt ist dabei ein vielseitiges, multimodales sowie interdisziplinäres Setting, in dem auch Neuropsychologen eine wichtige Rolle spielen, notwendig (McCrory et al. 2013).

In einer Meta-Analyse von Pfister et al. stellten die Autoren variierende Inzidenzen in Abhängigkeit der ausgeführten Sportart fest. Im Fußball war zudem ein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern zu erfassen: pro 1000 Athletenexpositionen ergaben sich bei weiblichen Sportlerinnen Inzidenzen von 0,27, während die männlichen Sportler lediglich eine Inzidenz von 0,19 aufwiesen (Pfister et al. 2016).

In etwa 10-15% der Fälle können Symptome auch nach über 10 Tagen nach stattgehabtem Schädelhirntrauma persistieren, wobei die Symptome dabei generell als unspezifisch beschrieben werden. Davon betroffen sind insbesondere auch jugendliche Athlet*Innen (McCrory et al. 2013; Pfister et al. 2016). Der überwiegende

Teil der Schädelhirntraumata regeneriert innerhalb kurzer Zeit (etwa sieben bis zehn Tage) (McCrea et al. 2004; McCrory et al. 2013). Junge Sportler scheinen darüber hinaus längere Pausen zu benötigen (McCrory et al. 2013; Pfister et al. 2016). Risikofaktoren für eine prolongierte Erholungsphase stellen zum einen Schädelhirntraumata in der Vorgeschichte als auch der initiale Schweregrad des Schädelhirntraumas dar (Cuff et al. 2022).

Der zu schnelle Wiedereinstieg in den Sport nach stattgehabtem Schädelhirntrauma oder das fehlende Pausieren kann potentiell schwere Risiken tragen. Autor*Innen berichten von einem sogenannten „second impact syndrome“, welches sich definiert als Zweitereignis während der noch symptomatischen Phase eines Schädelhirntraumas. Dabei kann es zu einer deutlichen neurologischen Verschlechterung des Zustands bis hin zur schweren Behinderung oder sogar dem Tod kommen (McCrea et al. 2004; McKee et al. 2014). Bisherig berichtete Fälle betrafen dabei überwiegend jugendliche Athlet*Innen mit einem Alter zwischen 10 und 24 Jahren (McKee et al. 2014; McLendon et al. 2016).

2.3.2 Repetitive subconcussive head impacts (RSHI)

Einflüsse auf den Kopf die auf denselben pathophysiologischen Mechanismen eines Schädelhirntraumas beruhen, jedoch nicht in messbaren oder klinischen Auswirkungen fassbar sind, werden unter dem Begriff der „Subconcussion“ zusammengefasst. Diese treten häufig repetitiv im Laufe der sportlichen Karriere auf und übersteigen die Inzidenz der Schädelhirntraumata bei weitem. Neben Schädelhirntraumen erscheinen somit auch „Subconcussions“ als eine mögliche Ursache von kognitiven Funktionsstörungen im längerfristigen Intervall als diskutabel (Broglia et al. 2012; Davenport et al. 2016). Die konventionelle Bildgebung nach RSHI ist typischerweise unauffällig, allerdings können diese mit subtilen Veränderungen in funktionellen MRTs (fMRT) als auch neuropsychologischen Defiziten einhergehen (Bailes et al. 2013; McKee et al. 2014; Davenport et al. 2016). Diesbezüglich fehlen derzeit jedoch insbesondere Daten für den Juniorensport (Davenport et al. 2016).

Das Kopfballsport wird in der Literatur durch einige Autor*Innen ebenfalls als RSHI diskutiert und somit die Möglichkeit von daraus resultierenden Langzeitschäden als realistisch gewertet. Aufgrund der fehlenden Beweislage muss diese jedoch zunächst

weiterhin als hypothetisch betrachtet werden (Spiotta et al. 2012; Koerte et al. 2012; Lipton et al. 2013; Koerte et al. 2016). In einer Studie von Koerte et al. ließ sich bildgebend eine stärkere kortikale Substanzminderung in der Gruppe der ehemaligen Fußballspielenden als in der Gruppe der Nichtkontakt-Sportarten nachvollziehen. Diese wurde zudem in Korrelation mit schlechteren neurokognitiven Fähigkeiten gesetzt. Kritisch zu sehen bleibt jedoch die kleine Studienpopulation als auch die Unfähigkeit, diese Effekte alleinig dem Kopfballsport zuzuschreiben (Koerte et al. 2016). Ähnlich zu bewerten bleibt die Studie von Lipton et al., die eine Korrelation zwischen dem Kopfballsport ab 885–1550 Kopfbällen pro Jahr (je nach Schädigungslokalisation) und dem Auftreten von strukturellen Schäden der weißen Substanz herstellte. Zudem seien ab 1800 Kopfbällen pro Jahr auch neurokognitive Einschränkungen messbar (Lipton et al. 2013). Im Hinblick auf die vorliegende Arbeit sei darauf hingewiesen, dass derartige Zahlen von Kopfbällen in keiner Altersgruppe erreicht wurden.

Auch die Betrachtung der Biomechanik eines ausgeführten Kopfballs scheint relevant. Hierbei werden insbesondere Kopfbälle in einer Rotationsausführung mit einer höheren Belastung assoziiert (Rowson et al. 2012).

Eine Studie von Zetterberg et al. hingegen zeigte anhand der Bestimmung der neurodegenerativen Marker keinen signifikanten kurzfristigen Effekt des Kopfballsports. Kritisch zu bewerten ist jedoch auch hier die geringe Studiengröße als auch das Betrachten einer konstruierten Kopfballsituation mit Ausführen von 10 bis 20 Kopfbällen in Folge (Zetterberg et al. 2007).

Insgesamt finden sich somit wie hier beispielhaft aufgeführt divergente Ergebnisse in den durchgeführten Studien. Es findet sich derzeit keine übereinstimmende Evidenz, die das Kopfballsport und damit einhergehende Schäden verbinden ließen (Kontos et al. 2017).

2.3.3 Zentral neurologische Langzeitschäden

Die mediale Präsenz und die Fragestellung der zentral neurologischen Langzeitschäden als Folge von (wiederholten) Kopfverletzungen (traumatic brain injuries, TBI) geht nicht zuletzt auch auf die Erkenntnisse aus dem American Football

zurück. Dort wird aufgrund repetitiver TBI in Kontakt- sowie Kollisionssportarten ein höheres Risiko für die Entwicklung eines dementiellen Syndroms geschildert (McKee et al. 2013; Mez et al. 2017; Baragi et al. 2022). Insbesondere die chronisch traumatische Enzephalopathie (CTE) gilt als gefürchtete Langzeitfolge und wird derzeit auch in Zusammenhang mit Kopfverletzungen im Fußball öffentlich diskutiert.

Bis zum Jahre 2005 basierte die klinische Definition einer chronisch traumatischen Enzephalopathie auf Studien aus dem Boxsport, damals unter dem Begriff einer „dementia pugilistica“. Beschrieben wurden Symptome wie Dysarthrie, Verschlechterung des Gangbildes, Parkinson-Syndrom sowie kognitive Beeinträchtigungen. Inzwischen gilt die CTE als neurodegenerative Erkrankung (Montenigro et al. 2014; Gardner et al. 2017b). Die vermuteten klinischen Zeichen einer CTE können in drei Kategorien unterteilt werden: Verhaltensmerkmale/psychiatrische Merkmale, kognitive Veränderungen und motorische Funktionseinschränkungen. Die definitive Diagnose einer CTE kann ausschließlich post-mortem erfolgen (Jordan 2013). Neuropathologisch gelingt dabei der pathognomonische Nachweis von hyperphosphoryliertem Tau (p-tau) mit irregulärem Verteilungsmuster, überwiegend entlang von Blutgefäßen in den tiefen Gehirnsulci. Unterstützend dazu können p-tau assoziierte Pathologien wie beispielsweise Gallyas positive neurofibrillary tangles (NFT) mit abnormen Verteilungsmustern als auch nicht-p-tau-assoziierte Pathologien wie eine TDP-43-Anreicherung (TAR DNA Binding Protein 43) herangezogen werden (McKee et al. 2016; Gardner et al. 2017b). In fortgeschrittenen Stadien stellt sich eine generalisierte oder frontotemporal betonte Hirnatrophie dar (Baugh et al. 2012). Die mittlere Expositionszeit zwischen den Verletzungen liegt zwischen 10 und 20 Jahren (Stein et al. 2015). Mez et al. stellten zudem im American Football eine Korrelation zwischen gesamter Spielzeit sowie dem Auftreten einer neuropathologischen CTE fest, diese ließ sich mit einer Verdopplung der Auftretenswahrscheinlichkeit einer CTE alle 2,6 Jahre beziffern (Mez et al. 2020). Insgesamt verbleibt jedoch weiterhin die Problematik einer fehlenden sicheren Diagnosestellung in vivo, insbesondere die klinische Abgrenzung von anderen neurodegenerativen Erkrankungen stellt sich in einigen Fällen schwierig dar (Gardner et al. 2014).

Studien, die eine Kausalität zwischen Fußball und einer CTE herstellen, sind bislang kaum vorhanden. Die Studie von Vann Jones et al. konnte keine signifikanten

kognitiven Beeinträchtigungen von ehemaligen professionellen Fußballspielern im Vergleich zur Kontrollgruppe feststellen (Vann Jones et al. 2014). Eine kleine Studie von Ling et al. beinhaltete 14 ehemalige Profifußballspieler mit einer demenziellen Entwicklung. Eine post-mortem Analyse erbrachte in vier von sechs Fällen den neuropathologischen Nachweis einer CTE (Ling et al. 2017).

2.4 Kopfballsport und Folgen

Zum derzeitigen Stand sind das Kopfballsport und dessen Folgen wenig untersucht. Bisherige Metaanalysen von Maher, Kontos als auch McCunn konnten bislang keine Evidenz für neurokognitive Schäden durch das Kopfballsport erbringen (Maher et al. 2014; Kontos et al. 2017; McCunn et al. 2021).

Insbesondere die Anzahl an Kopfbällen pro Spieler und Spiel variiert in der untersuchten Literatur deutlich, sodass eine Vergleichbarkeit erschwert wird. Zumeist finden sich zudem Studien mit retrospektivem Design sowie abgeschätzter Kopfballhäufigkeit und überwiegend junger Studienpopulation (Durchschnittsalter 22 Jahre). Hinsichtlich der akuten Beeinträchtigung der neurokognitiven Funktionen konnte zum größten Teil kein negativer Effekt aufgezeigt werden (McCunn et al. 2021). Beispielsweise die Studie von Di Virgilio et al. konnte eine Beeinträchtigung der Gedächtnisfunktion nach Kopfbällen feststellen. Dieser Effekt war jedoch von transientem Charakter und nach 24-48h nicht mehr nachweisbar. Erwähnenswert ist hier jedoch die konstruierte Kopfballsituation mit der Durchführung mehrerer Kopfbälle in Folge ohne spielerischen Kontext (Di Virgilio et al. 2016; McCunn et al. 2021). Eine ähnliche, qualitativ hochwertigere prospektive Interventionsstudie (aufgrund des Vorhandenseins von Kontrollgruppen) wurde auch von Rieder und Jansen durchgeführt, welche jedoch keinen negativen Effekt des Kopfballtrainings auf die Neurokognition zeigen konnte (Rieder und Jansen 2011). Auch eine experimentelle Studie von Putukian et al. war zu selbigem Ergebnis gelangt (Putukian et al. 2000). Allen Interventionsstudien gemein war eine nur kleine Kohortengröße.

Weitere praxisnahe experimentelle Studien, die die Auswirkungen des Kopfballsports auf die neurokognitiven Fähigkeiten untersuchen, sind daher erforderlich. Insbesondere das Kopfballsport im Juniorenalter, welches aufgrund des noch in Entwicklung befindlichen neurologischen sowie auch muskuloskelettalen Systems

besondere Aufmerksamkeit benötigt, sollte in Zukunft wissenschaftlich betrachtet werden (Krutsch et al. 2017).

2.5 Prävention im Fußball

Die Prävention von Kopfverletzungen im Fußball kann analog zu Präventionsmaßnahmen in anderen Sportarten in drei verschiedene Stufen unterteilt werden: primäre, sekundäre und tertiäre Prävention (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Präventionsmaßnahmen bei Kopfverletzungen (modifiziert nach Krutsch et al. 2017):

Stufen der Prävention	Art der Maßnahmen	Beispiele
<i>primär</i>	Verhinderung des Unfallmechanismus	Zweikampftraining und Training der Kopfballsituation Training der Kopfballtechnik (repetitiv nicht vor der U13) Fair play
	Änderung des Regelwerks	Rote Karte für gefährliches Spiel (Ellenbogencheck gegen den Kopf) Verbot des Kopfballspiels
	Änderung des Equipments	Anpassung der Ballgrößen an die Altersstufen Kopfschutz
<i>sekundär</i>	Änderung des Regelwerks	3 Minuten-Regel zur Diagnostik von Schädelhirntrauma
	Weiterbildung	Lehre in der Akutdiagnostik (z.B. SCAT-5)
<i>Tertiär</i>	Änderung des Equipments	Kopfschutz
	Weiterbildung	adäquate Akuttherapie adäquate Nachbehandlung/Rehabilitation Return-to-play-Prozesse

2.5.1 Primäre Prävention

Die primäre Prävention dient der Verhinderung der Entstehung von Verletzungen, im Folgenden zielend auf die Verhinderung von Kopfverletzungen. Unterteilen lässt sich diese auf drei Grundpfeiler, welche aus der Verhinderung des Unfallmechanismus, der Änderung des Regelwerks als auch der Änderung des Equipments bestehen (Krutsch et al. 2017).

Die Verhinderung des Unfallmechanismus lässt sich durch Zweikampftraining, Falltraining sowie Training der Kopfballsituation realisieren. In einer Studie von Rössler et al. konnte gezeigt werden, dass die Verwendung des FIFA 11+ Kids Aufwärmprogramms eine effektive Reduktion der Verletzungshäufigkeit (bezogen auf

alle Verletzungsarten) von fast 50% erreicht hat. Die Verbesserung von Agilität als auch Stabilität sowie ein Falltraining förderte eine verletzungsfreie Zweikampffähigkeit (Krutsch et al. 2017; Rössler et al. 2018; Beaudouin et al. 2019b). Eine Optimierung der Kopfballtechnik ist notwendig, um die Krafteinwirkung des Balles auf den Kopf bestmöglich abzuleiten und so die Belastungsgrenze nicht zu überschreiten (Shewchenko et al. 2005a, 2005b). Da die Integration von Kopfballtechniken als auch Kopfballduellen in das alltägliche Training notwendig ist, erscheint eine Abstufung entsprechend der Altersklassen sinnvoll.

Eine effektive Präventionsmaßnahme durch Änderung des Regelwerks ließ sich mit der Einführung der roten Karte bei gefährlichem Spiel realisieren. Hierbei wurde ein absichtlicher Ellenbogenstoß gegen den Kopf des gegnerischen Spielers mit einer roten Karte geahndet. Kopfverletzungen konnten dabei um 29% gesenkt werden (Beaudouin et al. 2019a). Einen deutlich invasiveren Regeleingriff stellt das Kopfballverbot in den USA für die Altersklassen U11 sowie die Limitierung des Kopfballspiels in den Altersklassen U11-U13 dar, welches seit 2015 gilt. Ob sich hierbei die gewünschten Effekte in Zukunft abbilden lassen, bleibt fraglich. In Deutschland setzt der DFB weniger auf ein Verbot, sondern vielmehr auf die Anpassung der Trainingstechniken, beispielsweise mit Ballalternativen (Luftballon, Plastikball) (DFB 2022d).

Die Anpassung des Equipments schließt beispielweise die Anpassung der Ballgrößen mit ein. Sowohl die Masse des Balles als auch der Ballinnendruck definieren maßgeblich die mechanischen Eigenschaften des Balles beim Aufprall auf den Kopf (Shewchenko et al. 2005c; Krutsch et al. 2017). Mit abnehmendem Alter verändern sich die entsprechenden Ballgrößen mit Einschluss von Größe als auch Gewicht. So verwenden U7-SpielerInnen einen Leichtspielball der Größe 3 mit einem Gewicht von 290g, während ab der Altersklasse U15 ein normaler Ball der Größe 5 mit einem Gewicht von 450g vorliegt (Krutsch et al. 2017). Des Weiteren ist das Tragen eines Kopfschutzes als mögliches Mittel zur primären Prävention von Schädelhirntraumen in Studien getestet worden. McGuine et al. wandten diesen in einer großen randomisierten Kontrollstudie an, welche letztlich keinen Effekt auf die Inzidenz als auch die Schwere von Schädelhirntraumen zeigen konnte (McGuine et al. 2020). Im Gegensatz dazu fanden Delaney et al. einen reduzierenden Effekt infolge des Tragens eines Kopfschutzes einer bestimmten Marke (Delaney et al. 2008). Anzumerken ist

hierbei jedoch einerseits die deutlich kleinere Studienpopulation als andererseits der Fakt, dass die Definition eines Schädelhirntraumas lediglich aus den Antworten von Fragebögen zustande gekommen ist. Whitnall et al. konnten ebenso wenig eine signifikante Veränderung durch das Tragen eines Kopfschutzes auf die Balleinwirkung feststellen. Lediglich eine protektive Funktion im Rahmen von Kopf an Kopf Einwirkungen war aufzuzeigen (Whitnall et al. 2005). Derzeit wird durch den DFB keine generelle Verpflichtung zum Tragen eines Kopfschutzes ausgesprochen. Zudem gilt das Fair Play als eine grundlegende primäre Prävention.

2.5.2 Sekundäre Prävention

Im Vordergrund der sekundären Prävention steht die adäquate Früherkennung von Symptomen eines Schädelhirntraumas, um eine frühe Therapie zu ermöglichen und so die Prognose zu verbessern (Krutsch et al. 2017).

McCrea et al. konnten abbilden, dass über 50% der Gehirnerschütterungen von den jugendlichen Athleten nicht berichtet wurden. Überwiegend wurde dies aufgrund eines unzureichenden Wissensstandes begründet. Teilweise wurden diese jedoch auch bewusst zurückgehalten, um nicht vom Spielgeschehen ausgeschlossen zu werden (McCrea et al. 2004). Der ursächliche Mangel an Informationen über Schädelhirntraumen sowie deren potentielle Folgen ist nicht nur bei den Spielern, sondern auch bei Trainer*Innen und Eltern vorliegend. Konsekutiv werden Symptome weniger erkannt oder als nicht relevant betrachtet (Delaney et al. 2002; McCrea et al. 2004; Cournoyer und Tripp 2014; White et al. 2014; Pfister et al. 2016). Eine breite Aufklärung und Edukation über Kopfverletzungen im Sport ist damit ein essentieller Bestandteil der Prävention.

Im Rahmen eines laufenden Spiels wurde mittels der Einführung der „3-Minuten-Regel“ dem Schiedsrichter die Möglichkeit gegeben, im Falle einer Kopfverletzung eine bis zu dreiminütige Spielunterbrechung für eine Kurzdiagnostik hinsichtlich eines möglichen Schädelhirntraumas zu gewähren. Damit soll eine Entscheidung über den Verbleib der Spielenden im Spiel getroffen werden (Krutsch et al. 2017).

Seit 2005 kann das Concussion Recognition Tool (vgl. Abb. 1) als ein einfaches und schnelles Sideline-Mittel insbesondere auch durch Laien angewandt werden kann. Es

dient der Unterstützung im Erkennen von Symptomen eines Schädelhirntraumas sowie der Indikationsstellung einer weiteren medizinischen Betreuung. Durch das Taschenformat als auch die Verfügbarkeit in vielfachen Sprachen ist eine gute Zugänglichkeit gesichert (Echemendia et al. 2017).



Abb. 1: Concussion Recognition Tool (Download von www.dfb.de am 11.12.2022)

Ein weiteres zur Verfügung stehendes Mittel, welches dann von Teamärzten verwendet werden kann, stellt das SCAT5 (Sport Concussion Assessment Tool) dar. In angepasster Variante wurde zudem das Child-SCAT5 für die Altersgruppe fünf bis zwölf Jahre eingeführt. Beiden gemein ist eine Evaluierung in insgesamt sechs Schritten. Diese beinhalten die Erfassung des Hintergrunds des Spielers, die Symptombewertung, ein kognitives sowie neurologisches Screening, die Beurteilung der verzögerten Erinnerung sowie schlussendlich die Entscheidungsfindung, welche unterstützt durch die vorherigen Ergebnisse durchgeführt werden soll.

Die Modifizierung des SCAT5 in ein Child-SCAT5 (vgl. Abb. 2) beinhaltet sowohl die Angaben des Sportlers als auch dessen Eltern. Zudem wurden einige altersgerechte Anpassungen getroffen, beispielsweise wurde auf das Stellen der Maddocks Fragen

verzichtet sowie die Auflistung der Monate durch Wochentage ersetzt (Davis et al. 2017; Echemendia et al. 2017).

Child SCAT5 SPORT CONCUSSION ASSESSMENT TOOL
FOR CHILDREN AGES 5 TO 12 YEARS
FOR USE BY MEDICAL PROFESSIONALS ONLY

supported by

Patient details

Name: _____
DOB: _____
Address: _____
ID number: _____
Examiner: _____
Date of Injury: _____ Time: _____

WHAT IS THE CHILD SCAT5?

The Child SCAT5 is a standardized tool for evaluating concussions designed for use by physicians and licensed healthcare professionals.

If you are not a physician or licensed healthcare professional, please use the Concussion Recognition Tool 5 (CRT5). The Child SCAT5 is to be used for evaluating children aged 5 to 12 years. For athletes aged 13 years and older, please use the SCAT5.

Preseason Child SCAT5 baseline testing can be useful for interpreting post-injury test scores, but not required for that purpose. Detailed instructions for use of the Child SCAT5 are provided on page 7. Please read through these instructions carefully before testing the athlete. Brief verbal instructions for each test are given in italics. The only equipment required for the tester is a watch or timer.

This tool may be freely copied in its current form for distribution to individuals, teams, groups and organizations. It should not be altered in any way, re-branded or sold for commercial gain. Any revision, translation or reproduction in a digital form requires specific approval by the Concussion in Sport Group.

Recognise and Remove

A head impact by either a direct blow or indirect transmission of force can be associated with a serious and potentially fatal brain injury. If there are significant concerns, including any of the red flags listed in Box 1, then activation of emergency procedures and urgent transport to the nearest hospital should be arranged.

Key points

- Any athlete with suspected concussion should be REMOVED FROM PLAY, medically assessed and monitored for deterioration. No athlete diagnosed with concussion should be returned to play on the day of injury.
- If the child is suspected of having a concussion and medical personnel are not immediately available, the child should NOT be referred to a medical facility for urgent assessment.
- Concussion signs and symptoms evolve over time and it is important to consider repeat evaluation in the assessment of concussion.
- The diagnosis of a concussion is a clinical judgment, made by a medical professional. The Child SCAT5 should NOT be used by itself to make, or exclude, the diagnosis of concussion. An athlete may have a concussion even if their Child SCAT5 is "normal".
- Remember:
 - The basic principles of first aid (danger, response, airway, breathing, circulation) should be followed.
 - Do not attempt to move the athlete (other than that required for airway management) unless trained to do so.
 - Assessment for a spinal cord injury is a critical part of the initial on-field assessment.
 - Do not remove a helmet or any other equipment unless trained to do so safely.

Br J Sports Med first published as 10.1136/bjports-2017-097462 on 26 April 2017. Downloaded from http://bmjopen.bmj.com/ on December 12, 2022 at Universitat de Barcelona. Protected by copyright.

1 IMMEDIATE OR ON-FIELD ASSESSMENT

The following elements should be assessed for all athletes who are suspected of having a concussion prior to proceeding to the neurophysiological assessment and finally should be done on-field after the first first aid / emergency care priorities are completed.

If any of the "Red Flags" or observable signs are noted after a direct or indirect blow to the head, the athlete should be immediately and safely removed from participation and evaluated by a physician or licensed healthcare professional.

Consideration of transportation to a medical facility should be at the discretion of the physician or licensed healthcare professional.

The GCS is important as a standard measure for all patients and can be done easily if necessary in the event of deterioration in conscious state. The cervical spine exam is a critical step of the immediate assessment, however, it does not need to be done safely.

STEP 1: RED FLAGS

RED FLAGS:

- Neck pain or tenderness
- Seizure or convulsion
- Loss of consciousness
- Double vision
- Deteriorating conscious state
- Weakness or tingling/burning in arms or legs
- Vomiting
- Severe or increasing headache
- Increasingly restless, agitated or combative

STEP 2: OBSERVABLE SIGNS

Witnessed ☐ Observed on Video ☐

Lying motionless on the playing surface ☐ Y ☐ N

Exhibiting poor attention / motor incoordination, shuffling, ataxic / abnormal movements ☐ Y ☐ N

Deterioration or confusion, or an inability to respond appropriately to questions ☐ Y ☐ N

Head on repeat look ☐ Y ☐ N

Facial injury after head trauma ☐ Y ☐ N

STEP 3: EXAMINATION GLASGOW COMA SCALE (GCS)*

Time of assessment _____
Date of assessment _____

Best eye response (E) _____
Best verbal response (V) _____
Best motor response (M) _____

Best eye response (E) ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Best verbal response (V) ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Best motor response (M) ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

CERVICAL SPINE ASSESSMENT

Does the athlete report that their neck is pain free at rest? ☐ Y ☐ N

If there is neck pain at rest, does the athlete have a full range of neck flexion/extension? ☐ Y ☐ N

Is the neck strength and sensation normal? ☐ Y ☐ N

OFFICE OR OFF-FIELD ASSESSMENT STEP 1: ATHLETE BACKGROUND

Please note that the neurophysiological assessment should be done in a dedicated free environment with the athlete in a resting state.

Sport / team / school _____
Date / time of injury _____
Year of education completed _____
Age _____
Gender: M / F / Other _____
Dominant hand / eye / ear / foot / leg _____
How many diagnosed concussions has the athlete had in the past? _____
When was the most recent concussion? _____
How long was the recovery (time to being cleared to play)? _____ (days)
Has the athlete been hospitalized for a head injury? ☐ Yes ☐ No
Diagnosed / treated for headache disorder or migraine? ☐ Yes ☐ No
Diagnosed with a hearing disability / deafness? ☐ Yes ☐ No
Diagnosed with ASD / ADHD? ☐ Yes ☐ No
Diagnosed with epilepsy, anxiety or other psychiatric disorder? ☐ Yes ☐ No
Current medication (if you please list): _____

© Concussion in Sport Group 2017
Davis GA, et al. Br J Sports Med 2017;51:862-869. doi:10.1136/bjports-2017-097462

Br J Sports Med first published as 10.1136/bjports-2017-097462 on 26 April 2017. Downloaded from http://bmjopen.bmj.com/ on December 12, 2022 at Universitat de Barcelona. Protected by copyright.

862 © Concussion in Sport Group 2017
Davis GA, et al. Br J Sports Med 2017;51:862-869. doi:10.1136/bjports-2017-097462

STEP 2: SYMPTOM EVALUATION

The athlete should be given the Symptom Scale and asked to read the instructions carefully and then their own symptoms. The Symptom Scale is for the athlete to complete. The athlete should indicate what they are experiencing at the point in time.

To be done in a resting state.

Please Check ☐ Baseline ☐ Post-Injury

2 Child Report*

Headaches ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Head dizzy ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Head like the room is spinning ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Head like it's going to hurt ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Things are blurry when I look at them ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Head like it's too tight ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

My neck hurts ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I get tired a lot ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I get tired easily ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I have trouble paying attention ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I get distracted easily ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I have a hard time concentrating ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I have problems remembering my information for me ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I have problems following directions ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I feel drowsy too much ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I get confused ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I forget things ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I have problems finishing things ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I have trouble sleeping things not ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

It's hard for me to learn new things ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Total number of symptoms ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10

Symptoms severity score: ☐ Y ☐ N

Do the symptoms get worse with physical activity? ☐ Y ☐ N

Do the symptoms get worse with being tired? ☐ Y ☐ N

Overall rating for child to answer:

On a scale of 0 to 10 (where 0 is normal, how do you feel now?) ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10

If not 10, in what way do you feel different? _____

Parent Report

The child:

Headaches ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Head dizzy ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Head like the room is spinning ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Head like it's going to hurt ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Things are blurry when I look at them ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Head like it's too tight ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

My neck hurts ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I get tired a lot ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I get tired easily ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I have trouble paying attention ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I get distracted easily ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I have a hard time concentrating ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I have problems remembering my information for me ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I have problems following directions ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I feel drowsy too much ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I get confused ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I forget things ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I have problems finishing things ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

I have trouble sleeping things not ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

It's hard for me to learn new things ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

Total number of symptoms ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10

Symptoms severity score: ☐ Y ☐ N

Do the symptoms get worse with physical activity? ☐ Y ☐ N

Do the symptoms get worse with being tired? ☐ Y ☐ N

Overall rating for parent/teacher/coach/carer to answer:

On a scale of 0 to 100 (where 100% is normal), how would you rate the child now? _____

If not 100%, in what way does the child seem different? _____

Br J Sports Med first published as 10.1136/bjports-2017-097462 on 26 April 2017. Downloaded from http://bmjopen.bmj.com/ on December 12, 2022 at Universitat de Barcelona. Protected by copyright.

3 STEP 3: COGNITIVE SCREENING

Standardized Assessment of Concussion - Child Version (SAC-C)*

IMMEDIATE MEMORY

The Immediate Memory component can be completed using the traditional 5 word list or optionally using 10 words per trial to minimize any ceiling effect. All 5 trials must be administered irrespective of the number correct on the first trial. Administer at the rate of one word per second.

Please answer ALL the 5 word list groups and circle the specific word list chosen for this task.

How many correct responses (5 word list)? _____

How many correct responses (10 word list)? _____

CONCENTRATION

DIGITS BACKWARDS

I am going to read a string of numbers and after each string, you repeat them back to me in reverse order. For example, if I say 7-1-3, you would say 3-1-7.

Concentration Number Lists (circle one)

LIST A LIST B LIST C

7-1-3 4-1 4-9 9 9 9 9 9

4-1 5-4 4-2 7 9 9 9 9

4-9 5-2 1-2 7 9 9 9 9

4-9 4-1 4-4 9 9 9 9 9

5-1 1-9 1-9 4-9 9 9 9 9

5-2 4-9 4-9 4-9 9 9 9 9

4-9 9 4-9 4-9 9 9 9 9

1-9 9 4-9 4-9 9 9 9 9

7-1 4-4 4-9 1-9 4-9 4-9 9 9 9

5-1 4-4 7-1 4-4 4-9 4-9 9 9 9

5-1 4-4 7-1 4-4 4-9 4-9 9 9 9

DAYS IN REVERSE ORDER

Now we will read the days of the week in reverse order. Start with the last day and go backwards to the first day (Sunday, Saturday, Friday, Thursday, Wednesday, Tuesday, Monday).

Sunday Saturday Friday Thursday Wednesday Tuesday Monday ☐ 0 ☐ 1

Concentration Total Score (Digits + Days) ☐ 0 ☐ 1

Br J Sports Med first published as 10.1136/bjports-2017-097462 on 26 April 2017. Downloaded from http://bmjopen.bmj.com/ on December 12, 2022 at Universitat de Barcelona. Protected by copyright.

© Concussion in Sport Group 2017
Davis GA, et al. Br J Sports Med 2017;51:862-869. doi:10.1136/bjports-2017-097462

865

STEP 4: NEUROLOGICAL SCREEN

See the instruction sheet (page 7) for details of test administration and scoring of the tests.

Can the patient read about leg symptoms (circle left) and follow instructions without difficulty?	Y	N
Does the patient have a full range of pain-free (N2000) cervical spine movement?	Y	N
Without moving their head or neck, can the patient look side to side with up and down without double vision?	Y	N
Can the patient perform the finger nose coordination test correctly?	Y	N
Can the patient perform tandem gait normally?	Y	N

BALANCE EXAMINATION
Modified Balance Error Scoring System (BESS) testing¹

Which foot was tested? ☐ Left ☐ Right
(i.e. which is the non-dominant foot?)

Testing surface (hard floor, field, etc.) _____

Footwear (shoes, barefoot, boots, socks, etc.) _____

Condition _____ Score _____

Double leg stance _____ of 10

Single leg stance (non-dominant foot, 10-12 yrs only) _____ of 10

Tandem stance (non-dominant foot at back) _____ of 10

Total Errors _____ of 10

STEP 5: DELAYED RECALL:

The delayed recall should be performed after 5 minutes have elapsed since the end of the Immediate Recall section. Score 1 pt. for each correct response.

Do you remember that list of words? Read a few times earlier? Tell me as many words from the list as you can remember now.

Time Started _____

Please record each word correctly recalled. Total score equals number of words recalled.

Total number of words recalled accurately _____ of 10

STEP 6: DECISION

Date & time of assessment: _____

Date and time of injury: _____

If the athlete is known to you prior to their injury, are they different from their usual self?

☐ Yes ☐ No ☐ Unsure ☐ Not Applicable
(If different, describe only in the clinical notes section)

Concussion Diagnosed?

☐ Yes ☐ No ☐ Unsure ☐ Not Applicable

If no testing, has the athlete improved?

☐ Yes ☐ No ☐ Unsure ☐ Not Applicable

I am a physician or licensed healthcare professional and I have personally administered or supervised the administration of this CHILD SCATS.

Signature: _____

Name: _____

Title: _____

Registration number (if applicable): _____

Date: _____

SCORING ON THE CHILD SCATS SHOULD NOT BE USED AS A STAND-ALONE METHOD TO DIAGNOSE CONCUSSION, MEASURE RECOVERY OR MAKE DECISIONS ABOUT AN ATHLETE'S READINESS TO RETURN TO COMPETITION AFTER CONCUSSION.

© Concussion in Sport Group 2017
Davis GA, et al. *Br J Sports Med* 2017;51:862-869. doi:10.1136/bjsports-2017-091493/childscats

Abb. 2: Child-SCAT5 (modifiziert nach Davis et al. 2017, abgerufen am 12.12.2022)

2.5.3 Tertiäre Prävention

Ziel der tertiären Prävention stellen die Milderung von Krankheitsfolgen, das Verhindern eines Rückfalls bei schon bestehender Erkrankung sowie die Verhinderung eines Fortschreitens der Erkrankung dar (Bundesgesundheitsministerium 2019).

Als Tertiärprävention bezogen auf Kopfverletzungen gilt die return-to-sport Strategie (sh. Tabelle 2), die eine schrittweise Rehabilitation des verletzten Spielers vorsieht. Nach einer kurzen Phase der Erholung (24-48h) kann begonnen werden, alltägliche Aktivitäten wieder auszuführen, welche nicht zu einer Provokation von Symptomen führen. Ziel ist dabei, die schrittweise Wiedereingliederung in Arbeit sowie Schule zu erreichen. Insbesondere im Jugendalter wird die vollständige Rückkehr in den Schulalltag empfohlen, bevor ein Übergang in das return-to-sport Protokoll erfolgt. Die darauffolgenden Stufen wenden dann eine schrittweise Steigerung des Trainings an, hierbei sollen mindestens 24 Stunden für eine Stufe angesetzt werden. Sofern erneut Symptome auftreten, sollte eine Rückkehr in die vorherige Stufe erfolgen. Am Ende des Protokolls steht die Wiederkehr in den Spielbetrieb (McCrory et al. 2017b).

Zudem schließt sich neben dem Ausschluss des Spielers vom Spiel nach erlittenem Schädelhirntrauma die Einleitung einer adäquaten Therapie an. Hierzu gehören im Sinne der tertiären Prävention auch die Nachbehandlung sowie die Rehabilitation mit dem Ziel der Wiedereingliederung des Spielers in den Sportalltag (Dvorak J. et al. 2009; McCrory et al. 2017b; Krutsch et al. 2017).

Tabelle 2: Beispiel eines Return-to-sport Protokolls (modifiziert aus McCrory et al. 2017b):

Stufe der Rehabilitation	Übung	Zielsetzung
1. <i>angepasste Aktivität</i>	Alltägliche Aktivitäten, die keine Symptome provozieren	Schrittweise Eingliederung in Arbeit/Schule
2. <i>leichte Fitnessübungen</i>	Gehen, schwimmen, Fahrrad fahren (max. 70% HF)	Erhöhung der Herzfrequenz (HF)
3. <i>Sportspezifische Übungen</i>	Laufübungen, keine Kopfballübungen	Bewegung hinzufügen
4. <i>Training ohne Körperkontakt</i>	Komplexere Trainingsübungen, Passübungen	Koordination und kognitive Belastung
5. <i>Training mit Körperkontakt</i>	Normales Mannschaftstraining	Vertrauen aufbauen und Fähigkeiten stärken
6. <i>Wettkampfeinsatz</i>	Einsatz im Spiel	

2.6 Stellenwert der Videoanalyse im Sport

Ein wichtiger Ansatzpunkt der Verletzungsprävention ist das Erkennen und Bewerten von Kopfverletzungen. Aufgrund der teils schwierigen Entscheidung hat in einigen Sportarten wie beispielsweise im Rugby, Fußball, Eishockey oder Boxen die Videoanalyse als unterstützendes Tool Einzug gefunden. So kann insbesondere die Frage der verletzungsbedingten Auswechslung bei möglichem Schädelhirntrauma optimiert werden (Gardner et al. 2017a).

Die Videoanalyse hat sich auch in der Wissenschaft etabliert, um das Kopfballsportspiel als auch kopfverletzungsträchtige Situationen zu erforschen (Andersen et al. 2004; Tucker

et al. 2017; Davis et al. 2019; Langdon et al. 2022). Die Analyse verbessert sich mit steigender Videoqualität, multiplen Kamerawinkeln sowie klar standardisierter Methodik. Bei zu häufigen Perspektivenwechseln als auch zu niedriger Beobachterzahl kann die Qualität der Analyse abnehmen (Makdissi und Davis 2016).

Eine weitere Form der Videoanalyse stellt seit der Saison 2017/2018 ein Videoassistent Schiedsrichter in der Bundesliga dar. Dabei werden durch einen weiteren Schiedsrichter während eines laufenden Spiels kritische Spielsituationen anhand von Videoanalysen bewertet und dem Spielleiter kommuniziert.

2.7 Zielsetzung

Aus wissenschaftlicher Sicht sind das Kopfballsport und seine Folgen zunehmend mehr untersucht. Bisher nur wenig vorhanden sind dabei insbesondere epidemiologische Daten, die die Inzidenz des Kopfballsports, der Verletzungsträchtigen Situation sowie der Kopfverletzungen im Juniorenfußball erfassen. Vorhandene Daten sind dabei oftmals anhand von Fragebögen erhoben oder im Rahmen von experimentellen Ansätzen (häufig in Form repetitiver Kopfbälle) entstanden. Im Rahmen dieser Studie wurden epidemiologische Daten zur Häufigkeit von Kopfbällen sowie Kopfverletzungen als auch deren Charakteristika erhoben, um so repräsentative Ergebnisse zum Kopfballsport im Juniorenfußball aufzuzeigen. Anhand dessen soll der Wissensstand über das Kopfballsport als auch das Risikoprofil von Kopfverletzungen erweitert werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden 424 Spiele aus Juniorensport der Saison 2016/2017 bzw. 2017/2018 anhand von Videoanalysen ausgewertet. Durch die breite Auswahl an Sporten aus allen Altersklassen sowie unterschiedlicher Leistungsklassen von Amateur- zu Profibereich sollen Aussagen zu den Unterschieden und der Entwicklung des Kopfballsports im Verlauf einer Juniorenkarriere ableitbar sein. Sowohl die Anzahl der Kopfbälle als auch Kopfverletzungen sowie deren Risikofaktoren sollen mit dieser Arbeit erfasst werden.

Folgende Fragestellungen sollen hierbei erörtert werden:

- Sind Kopfverletzungen eine seltene Folge des Kopfballsports im Kindesalter?
- Wie entwickelt sich das Kopfballsport mit dem Heranwachsen und steigender Professionalität?
- Eignet sich die Videoanalyse als probates Mittel zur Darstellung des Kopfballsports im Spielgeschehen?
- Welche Möglichkeiten bietet Prävention zur Vermeidung von Kopfverletzungen?

3. Material und Methoden

3.1 Methodik

3.1.1 Studiendesign

Im Rahmen der vorliegenden Promotionsarbeit wurde das Kopfballsportspiel und seine Folgen in einer retrospektiven Kohortenstudie mit Videofremdmaterial aller Spiele der A- und B-Junioren Bundesliga Süd/Südwest der Saison 2016/2017 sowie prospektiv die Saison 2017/2018 von ausgewählten Juniorenmannschaften eines bayrischen Nachwuchsleistungszentrums anhand von Eigenfilmaufnahmen (von Kooperationspartnern) untersucht.

Mit Hilfe von online-basierten Fragebögen, welche in Form von eCRFs („electronic case report form“) in eine Online-Datenbank integriert waren, wurden anschließend alle Kopfballsituationen bewertet und teilweise, auch im Hinblick auf dadurch bedingte Verletzungen, detailliert analysiert. Die digitale Erfassung, Dokumentation und Auswertung der jeweiligen Kopfballsportsituationen erfolgte unter Verwendung einer geschlossenen, bearbeitbaren Online-Datenbank.

Die Mehrzahl der Spiele im männlichen A- und B-Juniorenbereich wurde hinsichtlich der Gesamtanzahl der stattgefundenen Kopfbälle und der durch das Kopfballsportspiel auftretenden Kopfverletzungen analysiert. Des Weiteren wurde ein zufällig ausgewähltes Spiel pro Spieltag der Junioren-Bundesligen sowie alle zur Verfügung stehenden Juniorensportspiele des prospektiven Studienteiles einer detaillierten Analyse anhand spezifischer Zusatzfragebögen unterzogen, welche jeden einzelnen Kopfball sowie jede Verletzungssituation einschloss.

3.1.2 Videomaterial und dessen Analyse

Die Spiele der A- und B-Junioren-Bundesliga wurden von die-ligen.de in elektronischer Form als einzelne Videodateien zur Verfügung gestellt. Die Juniorensportspiele des Jahn Regensburg wurden teils durch Trainer oder Vereinsmitglieder, teils durch Kollegen dieser Studie gefilmt und in gleicher Form übergeben. Eine Datei beinhaltete jeweils die Spielzeit einer Halbzeit in Form einer nicht-geschnittenen Sequenz. Die Spiele wurden in der Mehrzahl mit einer schwenkbaren Kamera aufgenommen, die sich zumeist auf Höhe der Mittellinie (in wenigen Fällen auf Höhe der Eckfahne, n=4) des

Stadions befand und bei Standardsituationen in einen herangezoomten Modus wechselte. Gefilmt wurde abhängig von Stadion- sowie Spielfeldbegebenheiten aus der Vogelperspektive, einer erhöhten oder ebenen Perspektive. Eine Ausnahme bildeten die Dateien der Altersklasse U12, welche mit einer hochauflösenden Kamera in erhöhter, starrer Perspektive eigenständig bzw. mit Hilfe der Kooperationspartner gefilmt waren. Die Auflösung der Videodateien war in High Definition Qualität, nur in kurzen Sequenzen weniger Eigenfilmaufnahmen wich diese in eine geringere Auflösung ab (beispielsweise bei zu schneller Kameraführung). Ausgeschlossen wurden Videodateien der Eigenaufnahmen bei fehlender zweiter Halbzeit (U19, n=2) sowie Fremdaufnahmen mit fehlenden Spielminuten (>10min), diese wurden im Vorfeld registriert und aufgrund einer möglichen fehlenden Vergleichbarkeit nicht verwendet.

Nach Ausschluss von fehlerhaften Dateien wurde das selektierte Videomaterial im Sinne des sog. Mehraugenprinzips gemeinsam mithilfe eines Beobachterteams bestehend aus Doktoranden und Sportärzten am Bildschirm gesichtet und die jeweiligen Kopfball- und kopfverletzungsträchtigen Situationen im Konsens bewertet. Bei unklaren Szenen wurden spezifische Funktionen des Videoplayers genutzt: das Verwenden von Zeitlupen (Slow Motion) als auch Standbildern (Freeze Frame) sowie das wiederholte Ansehen der Kopfball- oder kopfverletzungsträchtigen Situation in unterschiedlichen Geschwindigkeiten waren Methoden, Unsicherheiten bei der Analyse zu eliminieren bzw. komplexe Situationen adäquat zu analysieren.

Teilweise war es nicht möglich, bestimmte Items der Fragebögen aufgrund von Qualitätsunterschieden des vorhandenen Videomaterials oder fehlenden Bildausschnitten bzw. ungenügender Perspektivität zu beantworten. War im Rahmen des Mehraugenprinzips kein Konsens bei bestimmten Situationen gefunden werden, so wurden diverse Items nicht ausgefüllt.

REDCap (Research Electronic Data Capture), ein online-basiertes Eingabeprogramm, diente zur Echtzeit-Dateneingabe, in welchem die drei verwendeten Fragebögen integriert wurden. Mithilfe dieser waren zum einen eine Spielanalyse inklusive der vorliegenden Rahmenbedingungen und zum anderen sowohl eine detaillierte Beschreibung der Kopfball- als auch Verletzungssituationen durchführbar. Die

Fragebögen waren als sog. „Electronic Case Report Form“ (dt. „elektronischer Prüfbogen, eCRF“) integriert. Dabei handelte es sich um eine geschützte Datenbank, die gemeinsam mit dem Zentrum für klinische Studien des Universitätsklinikums Regensburg neu gegründet wurde. Anhand eines passwortgeschützten Zugangs war anschließend eine detaillierte, nachvollziehbare Dateneingabe der jeweiligen Partien der Altersklassen möglich. Nach Abschluss der Dateneingabe war es somit möglich, dass diese kumuliert, gespeichert und anhand generierter digitaler Datenausgaben einer standardisierten statistischen Auswertung zugeführt werden konnten. Im Vorfeld waren die als eCRF integrierten Fragebögen in Papierform bereits in einer vorangehenden Studie der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie am Universitätsklinikum Regensburg getestet worden.

3.1.3 Analyseverfahren

Diese Promotionsarbeit inkludierte eine umfangreiche Analyse des Kopfballspiels und dessen Folgen im Juniorenfußball. Zwei unterschiedliche Analyseverfahren kamen hierbei zur Anwendung. Zum einen wurde in einer sog. quantitativen Analyse die Häufigkeit von Kopfball- und kopfverletzungsträchtigen Situationen herausgearbeitet. Zum anderen wurde eine sog. qualitative Analyse angewendet, um detailliert Kopfball- sowie kopfverletzungsträchtige Situationen zu beschreiben: in den A- und B-Junioren Bundesligen in retrospektiv zufallsmäßig ausgewählten Spielen sowie bei allen zur Verfügung stehenden Juniorenspielen des SSV Jahn Regensburg.

Bezogen auf das Videofremdmaterial der Saison 2016/2017 der männlichen A- und B-Junioren-Bundesliga wurde jedes Spiel hinsichtlich der Kopfballgesamtanzahl und stattgefundener Kopfverletzungen untersucht, nachfolgend als quantitative Datenanalyse bezeichnet. Hierbei wurden alle Kopfbälle sowie Kopfverletzungen für jedes Spiel einzeln mittels eines Handzählgerätes gezählt und nach Diskussion von unklaren Situationen in die Datenbank REDCap eingetragen, um so eine Evaluation der individuellen Kopfballbelastung sowie Verletzungsgefährdung im professionellen Juniorenfußball im Querschnitt zu erhalten.

Ein Teil der Spiele der A- und B-Junioren-Bundesligen sowie die prospektiv angefertigten Videoaufnahmen der Juniorenspiele des SSV Jahn Regensburg wurden einer detaillierten Videoanalyse unterzogen, in der jeder stattgehabte Kopfball und

jede Kopfverletzung durch das Kopfballspiel in einem separaten Online-Fragebogen genauer analysiert wurde. Ein Ziel war es, Aussagen über die Unterschiede und die Entwicklung des Kopfballspiels im Verlauf einer Spielerkarriere von der Jugend (U9) bis zum jungen Erwachsenenfußball (U21), unter anderem auch in Abhängigkeit der Leistungsklasse, treffen zu können als auch die individuellen Verletzungsrisiken der unterschiedlichen Alters- sowie Leistungsklassen zu ermitteln. Unter Verwendung dreier verschiedener Fragebögen, die bereits in Papierform validiert worden waren, erfolgte die Erstellung einer Online-Eingabemaske zur Erfassung der Studiendaten in REDCap, eine relationale Datenbank. Die Fragebögen wurden hierzu in geringem Ausmaß für die internet-basierte Eingabe modifiziert und als eCRFs integriert.

Begonnen wurde mit einer allgemeinen Beschreibung der Rahmenbedingungen der Spiele der qualitativen Analyse. Mithilfe von acht Items konnten die Spielstammdaten wie Liga, Datum, Spieltag sowie spielende Mannschaften als auch äußere Umstände wie Spielfelduntergrund, Witterung und Flutlicht charakterisiert werden. Über die Festlegung einer Spielnummer konnten nachfolgend alle eingegebenen Kopfballsowie Critical Incident (CI)-Situationen eindeutig dem entsprechenden Spiel zugeordnet werden. Zusätzlich wurden nachfolgend alle ermittelten Daten der quantitativ analysierten Spiele des jeweiligen Spieltags eingetragen und gespeichert.

Für die Analyse der Kopfballsituation standen bis zu 26 Items zur Verfügung. Die Kopfballsituation wurde zu Beginn unter Angabe von Spielminute, Mannschaftszugehörigkeit, Lokalisation im Spielfeld, Spielerposition und aktuellem Spielstand in den situativen und räumlichen Kontext eingeordnet. Darauf folgend wurden zur Charakterisierung des Zeitraums vor dem Kopfball Informationen zu Spielsituation, Ballherkunft, Flugweg des Balles, Bewegung des Spielers zum Ball sowie Eingangswinkel zum Ball eingegeben. Um den Ausgang des Kopfballs zu analysieren, wurden die Punkte Auftrefffläche des Balles am Kopf, die anschließende Richtungsänderung des Balls sowie die Art des Kopfballs definiert. Eine mögliche Zweikampfsituation konnte mittels der Items Lokalisation des Gegners, Körperkontaktregionen, Ellenbogenposition sowie Sprungsituation detailliert beschrieben werden. Zuletzt wurde jede Situation mit Zweikampf im Hinblick auf ein potentiell Foulspiel analysiert und die Entscheidung des Schiedsrichters eingegeben und bewertet, um Anhalte für eine mögliche Präventionsoption im Rahmen der Schiedsrichtertätigkeit zu evaluieren.

Als Grundlage zur Analyse der kopfverletzungsträchtigen Situationen diene die Erfüllung der Kriterien einer Critical Incident (dt. kritisches Ereignis, CI, hohes Risiko einer Spielsituation mit Verletzungsfolge) nach Definition von Andersen et al. 2004 und Bjørneboe et al. 2014. Eine verletzungsträchtige Spielsituation lag vor, wenn aufgrund der vorherigen Kopfballsituation eine Spielunterbrechung durch den Schiedsrichter erfolgte, der Verletzte für mehr als 15 Sekunden auf dem Boden lag und eine medizinischen Betreuung erhielt oder sichtlich schmerzerfüllt war. Der Critical Incident als solcher ist mittlerweile in der Beschreibung verletzungsträchtiger Situationen etabliert und wird sportartenübergreifend angewandt (Arnason et al. 2004; Andersen et al. 2004; Bjørneboe et al. 2014; Abraham et al. 2019; Armstrong et al. 2020; Tarzi et al. 2020).

Diese kopfverletzungsträchtigen Situationen wurden in einem weiteren eCRF durch 27 Items analysiert. Die Situation wurde analog zur Kopfball-Analyse kontextuell eingeordnet. Zudem wurden detailliert Informationen zum betroffenen Spieler sowie dessen Schicksal festgehalten, um die Schwere der Situation beurteilen zu können. Die Spielsituation, in der sich der Spieler zum Zeitpunkt der CI befand, wurde mittels der Items Ballbesitz, Grund- sowie Spielaktion und Spielphase charakterisiert. Insbesondere erfolgte eine Kategorisierung eines möglichen Zweikampfes, welcher als Beteiligung eines Gegenspielers an der Entstehung der CI definiert wurde. Die verletzte Körperregion wurde festgehalten. Identisch zum eCRF der Kopfball-Situation wurde die Schiedsrichter Entscheidung eingegeben und bewertet. Im Falle einer Vorteilsentscheidung des Schiedsrichters (und somit mangelnder primärer Spielunterbrechung), wurden für die Einhaltung der Kriterien der CI die nachträgliche Beurteilung der Situation durch den Schiedsrichter als auch das Verhalten des betroffenen Spielers herangezogen.

3.2 Statistische Auswertung

Die eingegebenen Spieldaten wurden anschließend unter statistischer Mithilfe akkumuliert und adaptiert an die Zielsetzung der Studie aus den notwendigen Rohdaten direkt als SPSS-Datenbank hinsichtlich der zu untersuchenden Items exportiert. Anschließend wurden die Auswertungstabellen der quantitativen und qualitativen Dateneingabe getrennt voneinander mit Hilfe des Statistikprogramms

SPSS Version 25.0 von IBM auf Intel-basierten Computern analysiert. Zur Erstellung sämtlicher Abbildungen und Tabellen wurden die Programme von Microsoft Office genutzt.

3.3 Material

3.3.1 Hardware

Die online zur Verfügung gestellten Spiele der A- und B-Junioren Bundesligen sowie des SSV Jahn Regensburg wurden heruntergeladen und auf einer externen Festplatte gespeichert. Selbiges wurde mit den Eigenfilmaufnahmen, welche mit einer Digitalkamera angefertigt worden waren, durchgeführt (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Auflistung der genutzten Hardware für die (Video-)Analyse

Gerät	Modell	Hersteller
<i>Laptop</i>	G500s	Lenovo (Hongkong, Volksrepublik China)
	Akoya e4253	Medion (Essen, Deutschland)
<i>Externe Festplatte</i>	My Book, 4TB	Western Digital Corp. (Irvine, CA, USA)
<i>Digitalkamera</i>	HC-V777	Panasonic (Kadoma, Japan)

3.3.2 Software

Die Fragebögen für die qualitative und quantitative Videoanalyse wurden in die Onlinedatenbank REDCap (Vanderbilt University, Tennessee, USA) eingegeben. Diese stellte eine sichere browserbasierte Anwendung zum Aufbau und zur Verwaltung einer klinischen Forschungsdatenbank dar. Die Daten konnten gespeichert und für die statistische Auswertung genutzt werden. Letztere wurde dann mithilfe der Programme SPSS (Version 25; IBM, Armonk, NY, USA) und Microsoft Office 2016 (Microsoft, Redmond, WA, USA) durchgeführt. Die Literaturverwaltung erfolgte mit Citavi Version 6 (Swiss Academic Software GmbH, Wädenswil, Schweiz, 2022). Für die Videoanalyse stand der VLC Media Player (VideoLAN, Paris, Frankreich, 2018) zur Verfügung (siehe auch Tabelle 4).

Tabelle 4: Auflistung der genutzten Software für die (Video-)Analyse

<i>Abbildungen</i>	Microsoft Office 2016 (Microsoft, Redmond, WA, USA)
<i>Auswertung und Statistik</i>	SPSS Version 25 (IBM, Armonk, NY, USA), Microsoft Office 2016 (Microsoft, Redmond, WA, USA), REDCap (Vanderbilt University, Tennessee, USA)
<i>Literaturverwaltung</i>	Citavi Version 6 (Swiss Academic Software GmbH, Wädenswil, Schweiz, 2022)
<i>Videoanalyse</i>	VLC Media Player Version 3.0.4 vetinari (VideoLAN, Paris, Frankreich, 2018)

3.4 Studienförderung

Die Initiierung der Online-Datenbank zur digitalen Datenspeicherung, die Akquise bzw. der Erwerb der Nutzungsrechte als auch der Erwerb von Kameramaterial zur Anfertigung von selbstständig angefertigten Aufnahmen der analysierten Videodateien für die vorliegende Dissertation wurde im Rahmen der Studienfinanzierung vom Bundesinstitut für Sportwissenschaften finanziell bezuschusst. Die vorliegende Studie wurde dabei als Teilprojekt des Studienprojekts „Kopfbälle im Sport“, welches gemeinsam mit den Universitäten Hamburg, München, Paderborn und Regensburg durchgeführt wurde, realisiert.

Diese Studie erhielt zur Durchführung eine Genehmigung der Ethikkommission der Universität Regensburg.

4. Ergebnisse

4.1 Charakterisierung des Studienkollektivs

In der vorliegenden Promotionsarbeit wurden das Kopfballspiel sowie dessen Folgen im Juniorenfußball anhand einer breiten Auswahl an Juniorenspielen des deutschen Fußballs analysiert.

Zur Abbildung des hochklassigen Juniorenfußballs standen Spiele aus der A- und B-Junioren-Bundesliga Süd/Südwest der Saison 2016/2017 für die Videoanalyse zur Verfügung. In dieser Saison fanden in beiden Ligen jeweils 182 Spiele statt, von denen 170 (93%) Begegnungen bei den A-Junioren sowie 180 (99%) Begegnungen bei den B-Junioren akquiriert wurden. Somit konnten im Bereich der A-Junioren-Bundesliga Süd/Südwest insgesamt 164 Spiele (90%) und in der B-Junioren-Bundesliga Süd/Südwest 176 Spiele (97%) mit der vollen Spiellänge in die Studie eingeschlossen werden. Zudem wurden in der A-Junioren Bundesliga 25 Spiele (15,2%) sowie 26 Spiele (14,8%) der B-Junioren Bundesliga in der qualitativen Analyse mit einer gesamten Spielzeit von 4330 min. (ohne Nachspielzeit) ausgewertet. Die Mehrheit der Spiele (A-BL: 139 Spiele, B-BL: 150 Spiele) mit einer gesamten Spielzeit von 24.510 min. wurde quantitativ analysiert (siehe Tab. 5 sowie Abb. 3).

Zur Analyse des Junioren-Amateurfußballs dienten Spiele der Mannschaften der U9 bis U21 der Saison 2017/2018. Diese wurden entsprechend der gängigen Altersklassen des deutschen Juniorenfußballs in unterschiedliche Kohorten gruppiert: U9/U10/U11 (E-/F-Jugend), U12/U13 (D-Jugend), U14/U15 (C-Jugend), U16/U17 (B-Junioren), U19 (A-Junioren) sowie U21. Die Summe der Spielzeiten der jeweils zur Verfügung stehenden Spiele ist in Tabelle 3 aufgeführt. Zusätzlich zu Spielen der Liga konnten in einzelnen Klassen Hallen- sowie Großfeldturnierspiele analysiert werden (siehe Tab. 5).

Tabelle 5: Ligazugehörigkeit sowie reguläre Gesamtspielzeit der analysierten Juniorenspiele:

Altersklasse	Ligen	Spiele	Spielminuten
<i>U21</i>	Landesliga Mitte	5	450 min.
U19	A-Junioren-BL Süd/Südwest	<i>BL</i> : 164	<i>BL</i> : 14.760 min.
	Bayernliga (U19)	8	720 min.
U17/16	B-Junioren-BL Süd/Südwest	<i>BL</i> : 176	<i>BL</i> : 14.080 min.
	Bayernliga (U17)	11 Ligaspiele,	880 min.
	BOL Oberpfalz (U16)	7 Großfeldturniere,	175 min.
		3 Hallenspiele	45 min.
U15/14	Regionalliga Bayern (U15)	19	1400 min.
	Förderliga Bundesliga/Nachwuchsleistungszentrum (BuLi/NLZ) (U14)		
U13/12	Förderliga BuLi/NLZ (U13)	13	830 min.
	BOL Oberpfalz (U12)		
U11-U9	Kreisliga Regensburg (U11)	11 Ligaspiele,	600 min.
	E-Junioren Kreis Regensburg (U10, U9)	7 Hallenspiele	70 min.
Gesamt:		424 Spiele (davon 10 Hallenspiele)	34.010 min.

Aufgrund des Vorliegens von Ausschlusskriterien in Form von unvollständigem Videomaterial konnten 26 Spiele nicht für die Videoanalyse herangezogen werden (Drop-Out-Rate von 26/450, 5,8%).

Insgesamt wurden 424 Spiele (davon 10 Hallenspiele) mit einer gesamten regulären Spielzeit von 34.010 min. der Videoanalyse unterzogen. Aufgeteilt anhand der Leistungsklasse waren 5170 min. dem Amateurjuniorenfußball sowie 28.840 min. dem hochklassigen Juniorenfußball zuzuordnen.

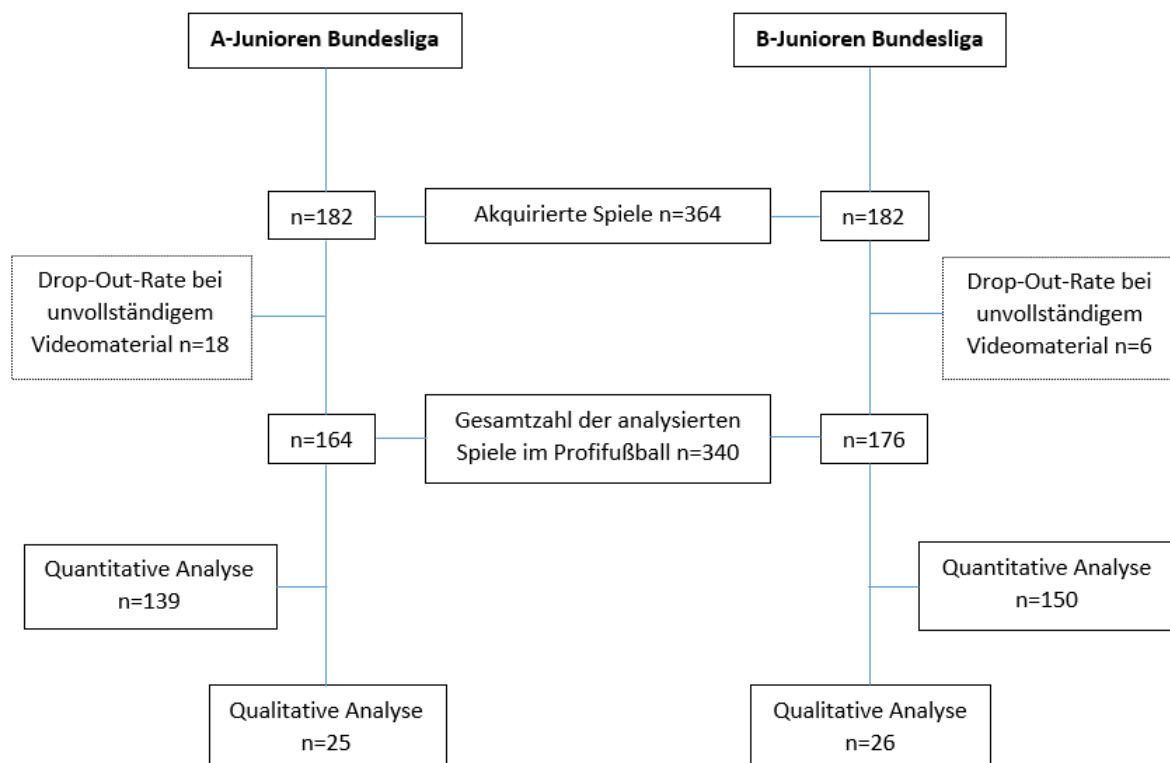


Abb. 3: Zusammensetzung des Studienkollektivs des hochklassigen Juniorenfußballs

4.2 Epidemiologische Analyse von Kopfballsituationen

Im Rahmen dieser Dissertationsarbeit konnte anhand von Videodateien aus allen Altersklassen beginnend mit U9 bis einschließlich U21 eine mögliche Spielerkarriere eines Juniorenspielers im Bereich des Amateurfußballs abgebildet werden. Zusätzlich war mithilfe einer breiten Analyse der Junioren-Bundesligen ein Vergleich innerhalb der unterschiedlichen Leistungsklassen (hochklassiger Fußball versus Amateurfußball) des Juniorenfußballs möglich.

Die komplette Analyse umfasste 35.522 Kopfball- und 171 kopfverletzungsträchtige Situationen in 424 Spielen mit einer Gesamtspielzeit von 34.010 Minuten.

Im Rahmen der qualitativen Analyse der verfügbaren Juniorenspiele des Amateurfußballs der Rückrunde der Saison 2017/2018 wurden 4432 Kopfballsituationen in 5170 Spielminuten detailliert ausgewertet (siehe Tabelle 6). Aufgrund der deutlich reduzierten Spielzeiten in Turnierspielen, wurden in der folgenden Analyse der Kopfballhäufigkeiten lediglich die Daten der konventionellen Ligaspiele berücksichtigt (siehe auch Datenvollständigkeitsangaben im Anhang 1-3)

Die durchschnittliche Anzahl an Kopfbällen pro Spiel war mit zunehmendem Alter ansteigend (U13-U9: 33,9 Kopfbälle pro Spiel, U15/U14 mit 65,3 Kopfbällen pro Spiel, U17/U16 mit 63,6 Kopfbällen pro Spiel, U19 mit 102,1 Kopfbällen pro Spiel, U21 mit 101,6 Kopfbällen pro Spiel). Die Kopfballbelastung pro Spieler und Spiel hat sich vom U11-U9 Spieler bis hin zum U21-19 Spieler mehr als verdoppelt (U11-U9 mit 2,1 Kopfbällen pro Spiel und Spieler, U21-U19 mit 4,6 Kopfbällen pro Spiel und Spieler). Die niedrigste Kopfballzahl pro Spieler und Spiel fand sich in der Altersklasse U13/U12. Die Anzahl an kopfverletzungsträchtigen Situationen (KS) waren insbesondere in den jungen Altersklassen als gering zu verzeichnen (0 KS/Spiel im Bereich der U13/U12 bis 0,2 KS/Spiel im Bereich der U17/U16). Ab der Altersklasse U19 konnte eine deutliche Steigerung dieser festgestellt werden (0,9/Spiel im Bereich der U19, sowie 0,6/Spiel im Bereich der U21, siehe Tabelle 6). Umgerechnet auf 1000 Stunden Spielexposition ließ sich jedoch festhalten, dass die Inzidenz der kopfverletzungsträchtigen Situationen in den Altersklassen U11-U9 (12,4 KS/1000 Spielstunden u. Spieler) die der Altersklassen U17 bis U12 überstieg. Lediglich die Inzidenz der Klassen U19 sowie U21 lag darüber (26,5 bzw. 18,2 KS/1000 Spielstunden u. Spieler).

Tabelle 6: Häufigkeiten von Kopfbällen und kopfverletzungsträchtige Situationen innerhalb der unterschiedlichen Altersklassen des Amateurfußballs (ohne Berücksichtigung von Hallen- sowie Großfeldturnierspielen)

	U11-U9	U13/U12	U15/U14	U17/U16	U19	U21
Spiele	11	13	19	11	8	5
Spielminuten	600	830	1400	880	720	450
Kopfbälle (KB) (gesamt)	373	441	1241	812	817	508
KB/Spiel	33,9 +/- 17,3	33,9 +/- 16,9	65,3 +/- 16,1	63,6 +/- 24,4	102,1 +/- 29,7	101,6 +/- 8,3
KB/Spiel und Spieler	2,1 +/- 1,1	1,7 +/- 0,9	3,0 +/- 0,7	2,9 +/- 1,1	4,6 +/- 1,4	4,6 +/- 0,4
KB/min	0,6 +/- 0,3	0,5 +/- 0,3	0,9 +/- 0,2	0,8 +/- 0,3	1,1 +/- 0,3	1,1 +/- 0,1
KB/1000 Spielstunden u. Spieler	2310,0	1597,6	2442,9	2175,0	3066,7	3066,7
Kopfverletzungsträchtige Situationen (KS)	2	0	1	3	7	3
KS/Spiel	0,2 +/- 0,4	0	0,1 +/- 0,2	0,2 +/- 0,4	0,9 +/- 1,3	0,6 +/- 0,5
KS/1000 Spielstunden u. Spieler	12,4	0	2,0	9,3	26,5	18,2

Die Analyse der A- und B-Junioren Bundesligaspiele der Saison 2016/2017 umfasste 164 Kopfballsituationen in 14.760 Spielminuten im Bereich der A-Junioren sowie 176 Kopfballsituation in 14.080 Spielminuten bei den B-Junioren.

In der A-Junioren Bundesliga wurden durchschnittlich 98 Kopfbälle pro Spiel und 4,4 Kopfbälle pro Spieler und Spiel gezählt. Den Torwart aufgrund seiner Sonderstellung ausgenommen, entfielen somit 4,9 Kopfbälle pro Spiel und Feldspieler. Zudem wurden 71 kopfverletzungsträchtige Situationen registriert.

In der B-Junioren Bundesliga wurden im gleichen Zeitraum (bei jedoch auch geringerer Spielzeit von 80 Spielminuten pro Spiel) eine geringere Gesamtzahl an Kopfbällen (85 Kopfbälle pro Spiel) sowie eine geringere Kopfballbelastung pro Spieler (3,9 Kopfbälle pro Spieler und Spiel) gezählt. Ebenso war eine geringere Anzahl an

kopfverletzungsträchtigen Situationen (59 KS bzw. 0,4 KS/Spiel) zu verzeichnen (siehe Tabelle 7). Hochgerechnet auf eine Spielexposition von 1000 Spielstunden glichen sich die Werte der Kopfbälle pro Spieler an (2933 vs. 2925 KB/1000 Spielstunden u. Spieler), die Inzidenz der kopfverletzungsträchtigen Situationen war weiterhin geringer in der B-Junioren Bundesliga zu berechnen (13,1 vs. 11,4 KS/1000 Spielstunden und Spieler).

Tabelle 7: Häufigkeiten von Kopfbällen und kopfverletzungsträchtige Situationen innerhalb der A- und B-Junioren Bundesligen

	A-Junioren Bundesliga	B-Junioren Bundesliga
Spiele	164	176
Spielminuten	14760	14080
Kopfbälle (gesamt)	13557	12754
Kopfbälle/Spiel	97,5 +/- 24,0	85,0 +/- 21,2
KB/Spiel und Spieler	4,4 +/- 1,1	3,9 +/- 1,0
Kopfbälle/min	1,1 +/- 0,3	1,1 +/- 0,3
KB/1000 Spielstunden u. Spieler	2933,3	2925,0
Kopfverletzungsträchtige Situationen (KS)	71	59
KS/Spiel	0,5 +/- 0,7	0,4 +/- 0,6
KS/1000h Spielstunden u. Spieler	13,1	11,4

4.2.1 Kopfballspielsituationen

Die Spielfeldhälften wurden mithilfe vorhandener Landmarken in jeweils drei unterschiedliche Zonen eingeteilt, um so die räumliche Verteilung der Kopfballsituationen im Spielfeld zu erfassen.

Alters- und Spielklassenübergreifend zeigte sich ein ähnliches Verteilungsmuster der Spielfeldlokalisierung der Kopfbälle, mit Überwiegen im Bereich der eigenen Spielfeldhälfte gegenüber der gegnerischen Hälfte in einem Verhältnis von etwa 3:2. Unter allen analysierten Kopfbällen zeigten sich eine deutliche Häufung im Bereich des Mittelfelds (mit Einschluss der Außenbahnen) mit einem Anteil von 80,1%. Das Ausmaß der Kopfbälle im Bereich des Strafraums betrug lediglich 19,9%. (vgl. Abb. 4).

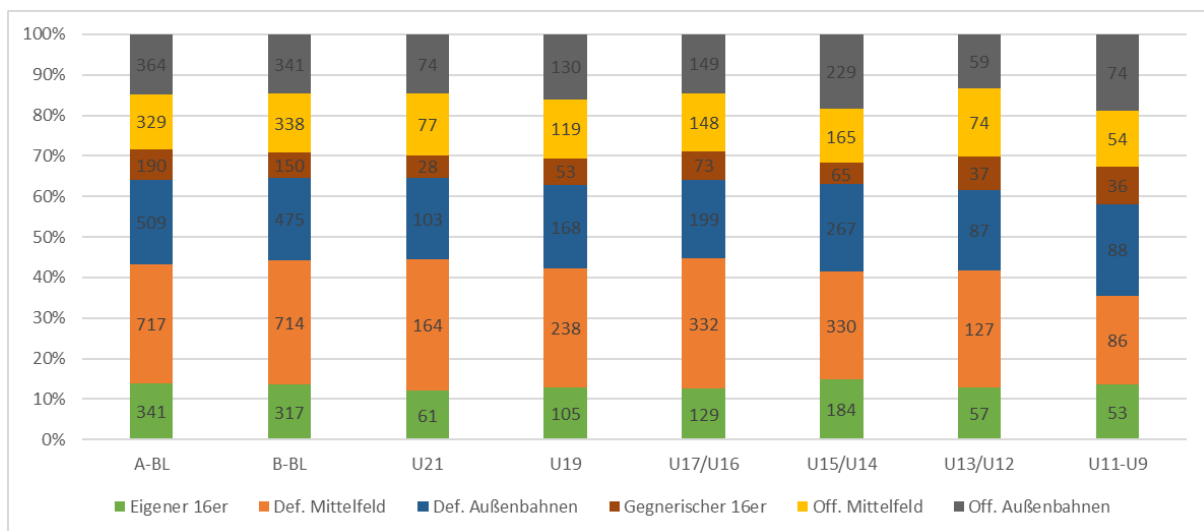


Abb. 4: Prozentuale Lokalisation der Kopfballsituationen im Spielfeld (grün: eigener 16er, orange: defensives (def.) Mittelfeld, dunkelblau: def. Außenbahnen, braun: gegnerischer 16er, gelb: offensives (off.) Mittelfeld, grau: off. Außenbahnen)

Anhand der Differenzierung der Spielerposition des Kopfballspielenden konnte eine genauere Risikostratifizierung einzelner Spielergruppen erfolgen. In allen untersuchten Altersklassen der Amateur Juniorenmannschaften zeigte sich ein ähnliches Verteilungsmuster der Häufung von Kopfballsituationen bezogen auf die Spielerposition.

Torhüter waren mit durchschnittlich 0,2% die Spielerposition mit dem geringsten Kopfballaufkommen, gefolgt von Stürmern mit einer altersklassenübergreifenden Kopfballbelastung von etwa 8,2% (Minimum in U15/U14 mit 6,5% (81/1241), Maximum bei U17/U16 mit 10,4% (107/1032)). Die kopfballreichsten Spielerpositionen fanden sich analog zur Spielfeldverteilung in Abwehr und Mittelfeld, in den jüngeren Altersklassen waren in etwa 50% (U11-U9: 175/394, U13/U12: 217/441, U15/U14:

657/1241) aller Kopfbälle durch Mittelfeldspieler mit einem Verhältnis von defensiv zu offensiv von 0,5:1 (U11-U9) bis 0,8:1 (U15/U14). Die darauffolgend zweitgrößte Spielerpopulation innerhalb der jüngeren Altersklassen war die Position des Verteidigers mit etwa 40% der Kopfballsituationen (U11-U9: 159/394, U13/U12: 180/441, U15/U14: 500/1241). In den älteren Altersklassen veränderte sich das Verhältnis und die Kopfballhäufung zeigte eine annähernd gleiche Verteilung bei Verteidigern und Mittelfeldspielern im Bereich der U17/U16 sowie U21, bzw. ein Überwiegen auf Seiten der Verteidiger im Bereich der U19 sowie der A- und B-Junioren Bundesliga (Kopfballhäufigkeiten Verteidiger: U17/U16: 464/1032 (45,0%), U19: 391/817 (47,9%), U21: 231/508 (45,5%), A-BL: 1137/2463 (46,2%), B-BL: 1122/2338 (48%)) (vgl. Abb. 5).

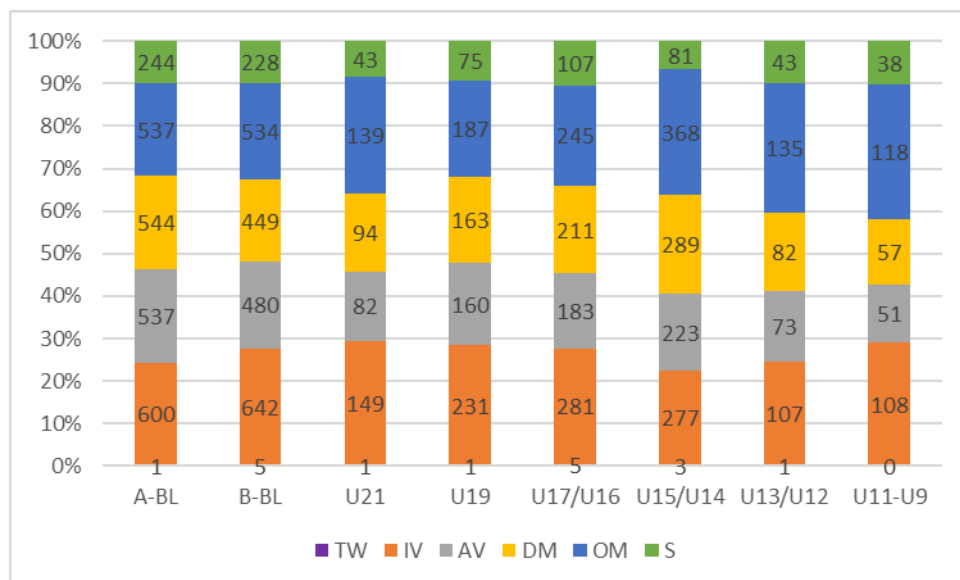


Abb. 5: prozentuale Aufteilung der Kopfballsituationen anhand der Spielerposition (lila: Torwart (TW), orange: Innenverteidiger (IV), grau: Außenverteidiger (AV), gelb: Defensives Mittelfeld (DM), dunkelblau: Offensive Mittelfeld (OM), grün: Sturm (S))

Die überwiegende Zahl der Kopfballsituationen zeigte eine defensive Intention mit einem Anteil von 62,7% (U11-U9) bis 67,9% (U15/U14), welcher sich im Altersvergleich nahezu konstant verhielt. Hierzu kongruent kam der Ball mehrheitlich vom Gegner mit 64,4% (528/817, U19) bis 69,7% (864/1240, U15/14).

Die Spielsituation, in welcher die Kopfballsituation entstand, ließ sich vereinfacht in die Gruppen Standardsituationen (hierzu gehörten Abstöße, Einwürfe, Eckbälle sowie Freistöße) und freies Spiel aufgliedern. Im Bereich der U11-U9 zeigte sich eine annähernd ähnliche Verteilung innerhalb dieser Konstellationen mit 44,3% der Kopfbälle nach Standardsituationen (174/393) und 55,7% im freien Spiel (219/393). Mit steigender Altersklasse ließ sich eine zunehmende Verlagerung dieses Verhältnisses zugunsten der Kopfballsituationen im freien Spiel erkennen, beispielsweise im Bereich der U21 mit 30,7% (156/508) nach Standardsituationen sowie 69,3% (352/508) im freien Spiel. Insbesondere im Vergleich der Leistungsklassen im Bereich der U16/17 und B-Junioren Bundesliga konnte diese Tendenz der zunehmenden Kopfbälle im freien Spiel in Zusammenhang mit einem steigenden Spielniveau aufgezeigt werden (U16/17: 612/1032 (59,3%), B-BL: 1612/2333 (69,1%)) (vgl. Abb. 6).

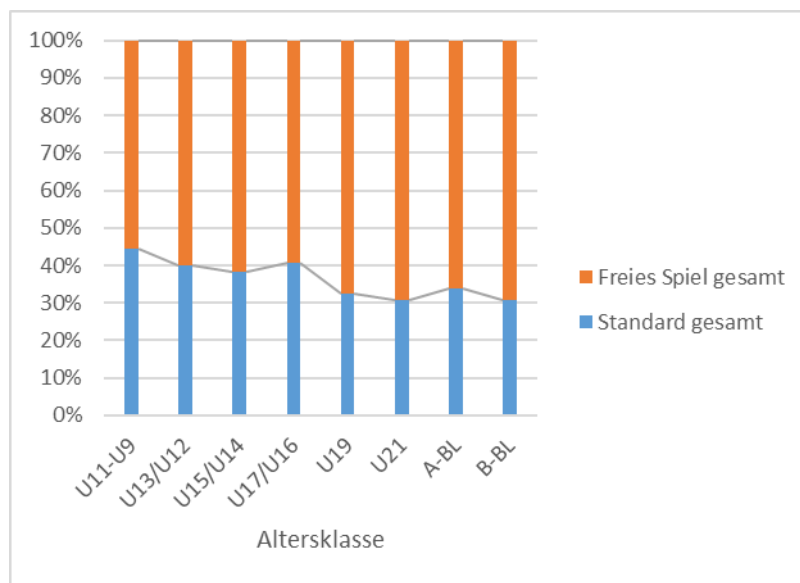


Abb. 6: Überblick des Kopfballspielanteils in Standardsituationen bzw. freiem Spiel (orange: freies Spiel gesamt, blau: Standardsituationen gesamt)

Detailliert betrachtet fiel insbesondere eine zunehmende Zahl an Kopfbällen nach Einwürfen im Bereich der jüngeren Altersklassen auf, beispielsweise im Bereich der U11-U9 mit 20,6% (81/393) im Vergleich zur U21 mit lediglich 9,3% (47/508). Kongruent zeigte sich diese Entwicklung auch bei Kopfballsituationen nach Eckbällen (U11-U9: 8,7% (34/393) vs. U21: 2,6% (13/508)). Bezüglich der Abstöße sowie Freistöße ließ sich keine altersabhängige Entwicklung feststellen. Freistöße

waren in etwa 4,6% (U11-U9: 18/393) bis 9,4% (U21: 48/508) ursächlich für einen nachfolgenden Kopfball. In einem etwa ähnlichen Größenverhältnis konnten auch Kopfbälle nach Abstoßen verzeichnet werden, hiervon abweichend war lediglich die Altersklasse U17/U16 (15,2%, 157/1032).

Der größte Anteil an Kopfballsituationen entstand altersklassenübergreifend nach hohen Bällen/Pässen, welcher mit steigendem Alter weiter zunahm (U11-U9: 35,4% (139/939), U19: 42,5% (347/817). Insbesondere innerhalb der unterschiedlichen Leistungsklassen (U17/U16 und B-BL) zeigte sich ein größerer Sprung von 32,7% (337/1032, U17/U16) auf 43,1% (1008/2333, B-BL) (vgl. Abb. 7). Ein nicht unerheblicher Anteil, etwa 1/6 bis 1/5, an Kopfbällen entstand nach vorherigen Kopfbällen mit leicht steigender Tendenz bei zunehmendem Alter. In der U11-U9 entfiel dabei ein Anteil von 15,3% (60/393) und steigerte sich bis zur U21 auf 22,0% (112/508). Das geringste Ausmaß an Kopfballsituationen entstand als Reaktion auf einen Schuss mit einem altersklassenübergreifenden Anteil von 0,4%, überraschenderweise mit höherem Anteil im Bereich der jüngsten Altersklasse (U11-U9: 1,5% (6/393)).

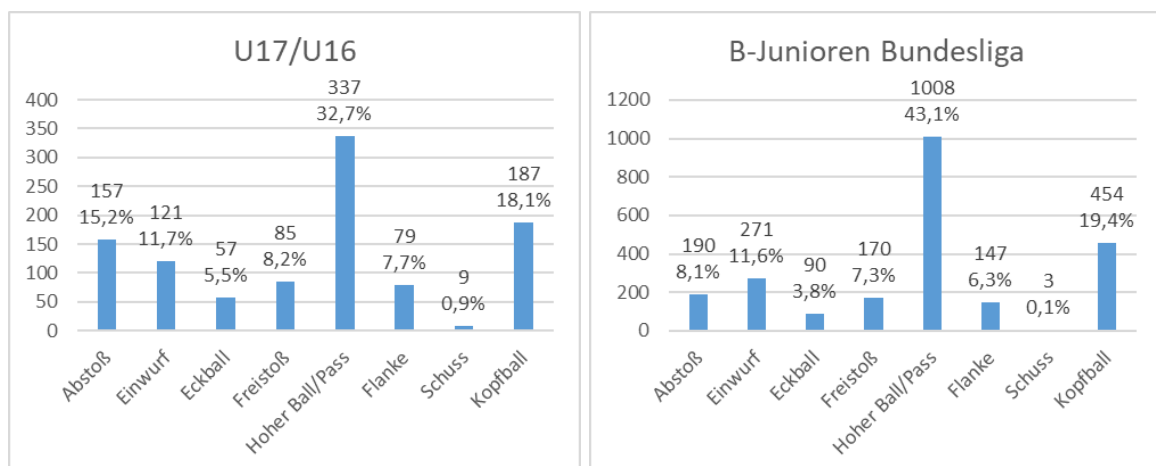


Abb. 7: Beispielhafter Vergleich der unterschiedlichen Leistungsklassen anhand der B-Juniores Bundesliga (rechts) sowie der U17/16 (links) hinsichtlich der dem Kopfball vorangehenden Situation

Die meisten Kopfbälle wurden am Ende der Flugbahn von oben kommend geköpft (87,3% (2151/2464 (A-BL)) – 93,9% (414/441 (U13/U12)). Die vorherrschendste Flugweite des Balles war in alle untersuchten Altersklassen im kurzen Bereich zwischen fünf und 20 Metern. Insbesondere in der jüngsten Alterklassen wurden nur

wenige Bälle oberhalb dieser Weite registriert (U11-U9: 44/393, 11,2%). Mit weiter ansteigendem Alter konnten innerhalb der mittelweiten Fluglängen (20-50m) deutlich größer werdende Anteile verzeichnet werden (beispielsweise U15/U14: 466/1241, 37,6%). Sehr große Flugweiten (>50m) waren wenig präsent (vgl. Abb. 8).

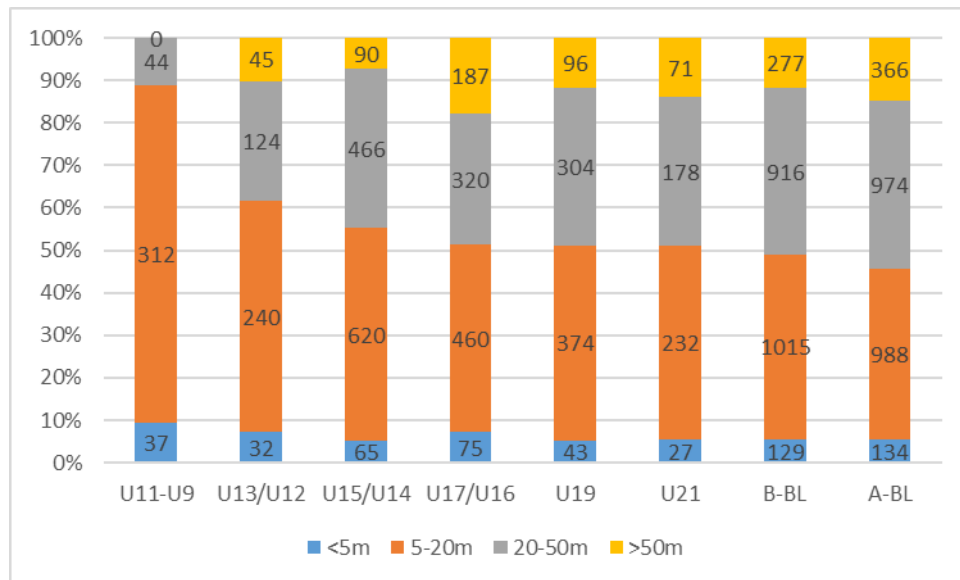


Abb. 8: Flugweg vor Kopfballsituationen in den unterschiedlichen Altersklassen (blau: <5m, orange: 5-20m, grau: 20-50m, gelb: >50m)

4.2.2 Analyse von Kopfball- und Zweikampfverhalten

Der Spieler befindet sich überwiegend in vorwärts gerichteter Bewegung vor dem Köpfen des Balles (Minimum in A-BL: 48,3% (1190/2464), Maximum in U21: 83,9% (426/508)). Auffällig war eine Veränderung der Spielweise im Bereich der A-Junioren mit deutlicher Zunahme der seitlich gerichteten Bewegung mit 19,2% (474/2464). Je höher die Spiel- als auch Altersklasse, desto mehr Kopfbälle waren mit einem Sprung assoziiert. Kein Sprung endete hierbei mit einer Landung auf dem Kopf. Im Bereich der U11-U9 zeigte sich der Anteil bei 76,4% (301/394) und stieg bis 90,2% (737/817) im Bereich der A-Junioren weiter an.

Bei Betrachtung der Auftrefffläche des Fußballes bei Durchführung eines Kopfballs zeigte sich die überwiegende Mehrheit im Bereich des frontalen Schädels mit Anteilen zwischen 86,9% (A-BL: 2142/2464) und 93,3% (U15/U14: 1158/1241). Zweithäufigste Lokalisation stellte der temporale Schädel dar, im Altersklassen- und

Leistungsklassenvergleich war dies verhältnismäßig vermehrt in der A-Junioren-Bundesliga der Fall (10,3% (254/2464)). In sehr geringem Ausmaß zeigten sich Auftreffflächen am occipitalen und parietalen Schädel. Innerhalb der U11-U9 wurden mit 1,5% (6/394) mehr faciale Kopfbälle registriert als in den übrigen Altersklassen (hier durchschnittlich nur 0,3%), in 5 aus 6 Fällen entstanden diese im Rahmen eines unbeabsichtigten Kopfballs in Form eines Abschusses (vgl. Abb. 9).

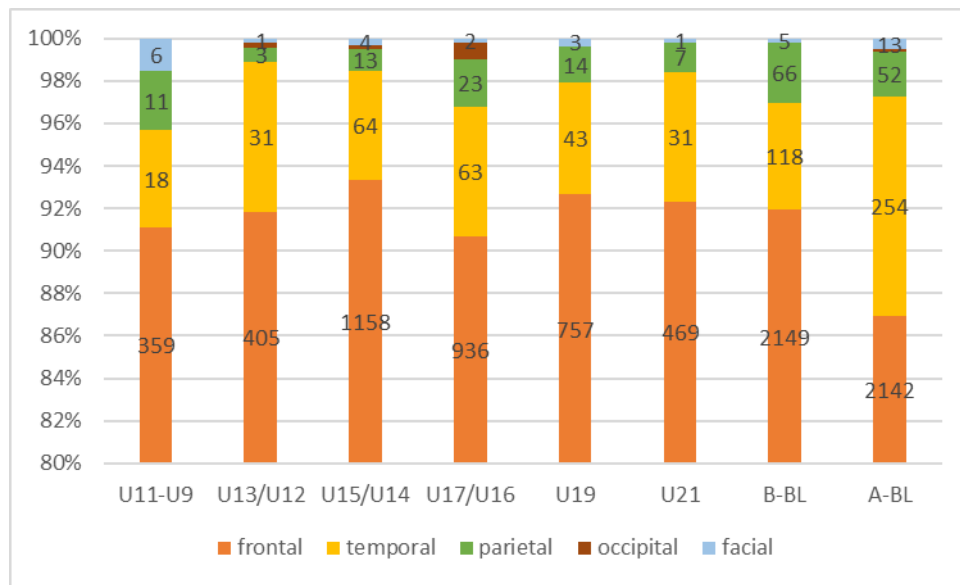


Abb. 9: Auftrefffläche des Balles auf den Kopf (orange: frontal, gelb: temporal, grün: parietal, braun: occipital, hellblau: facial)

Die Mehrheit der Kopfballintentionen verteilte sich auf die drei Untergruppen Klären, Abgleiten sowie Pass. Letzteres stellte in den überwiegenden Altersklassen (ausgenommen U15/U14 und U13/U12) den größten Anteil von 37,8% (U11-U9: 149/349) bis 45,1% (U17/U16: 465/1031) dar. Interessanterweise war als zweithäufigste Verwendung des Kopfballs das Klären (mit dem Ziel des Erhalts/Gewinns von Ballbesitz der eigenen Mannschaft) festzustellen. Zahlenmäßig zeigte sich dies mit Anteilen zwischen 26,9% (U11-U9: 106/349) und 38,5% (U15/U14: 477/1240). Der Kopfball als Möglichkeit eines Torschusses fand hierbei lediglich in etwa 1/20 aller Kopfbälle Einzug (vgl. Abb. 10). Es zeigte sich klassenübergreifend bei etwa $\frac{3}{4}$ aller Kopfballsituationen zu gleichen Teilen eine mittlere bis starke Richtungsänderung des Balles.

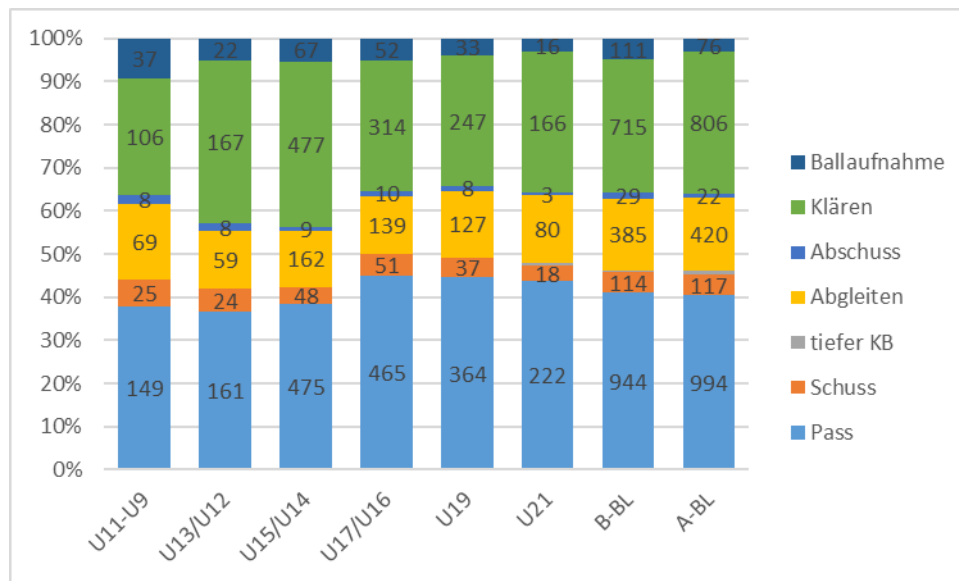


Abb. 10: Art des Kopfballs (hellblau: Pass, orange: Schuss, grau: tiefer Kopfball, gelb: Abgleiten, grün: Klären, dunkelblau: Ballaufnahme)

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wurde auch das Zweikampfverhalten in Kopfballsituationen evaluiert. Ein Zweikampf wurde als eine Kopfballsituation definiert, in welcher zwei Spieler um den Ball konkurrieren und die maximale Distanz zwischen beiden Spielern weniger als einen Meter betrug.

Die Assoziation von Kopfballsituationen mit Zweikämpfen stieg mit ansteigendem Alter von 41,1% im Bereich der U11-U9 (162/394) bis auf 59,3% (301/508) im Bereich der U21 an (vgl. Abb. 11). Analog dazu konnte eine zunehmende Anzahl an Zweikämpfen mit Körperkontakt registriert werden. Zusätzlich war auch im Vergleich der Leistungsklassen ein erneuter Anstieg bei zunehmender Professionalität zu sehen (U19: 60,8%, 287/472 vs. A-BL: 73,0%, 1011/1384). In den überwiegenden Fällen befand sich hierbei der Spieler vor oder etwas seltener hinter dem Gegner, beispielsweise köpfte im Bereich der A-Junioren Bundesliga der Spieler in 39,8% (551/1384) vor, in 35,8% (496/1384) sowie in 24,3% (337/1384) seitlich neben dem Gegner. Die Körperkontaktregion stellte nur in den seltensten Fällen der Schädel dar (Maximum im Bereich der U21 mit 3,4% (7/301) auf Seiten des Ballspielenden sowie 2% (4/301) auf Seiten des Gegners).

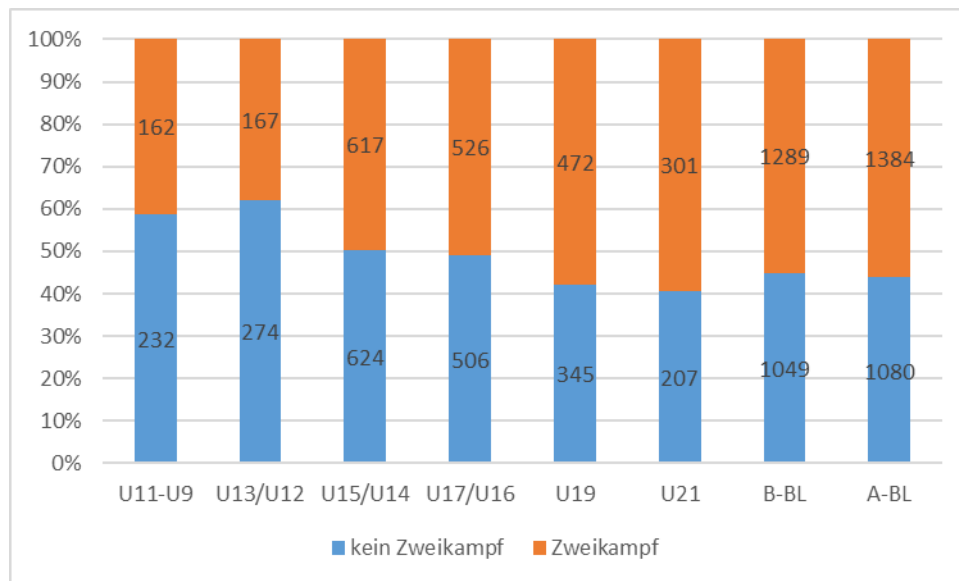


Abb. 11: Kopfbälle in Zusammenhang mit Zweikämpfen (blau: kein Zweikampf, orange: Zweikampf)

Besonders die Ellenbogenposition in Zweikampfsituationen stellt eine potentielle Gefahr für Kopfverletzungen dar und wurde deshalb genauer untersucht. Unabhängig von der Altersklasse traten Situationen eines gefährlichen Spiels mit Ellenbogenpositionen auf oder über Schulterhöhe sowie am Kopf des Gegenspielers unterschiedlich häufig, in den überwiegenden Altersklassen mit einem Anteil zwischen 7,4% (U11-U9) und 16,4% (A-BL) der Zweikämpfe auf. Auffällig präsentierte sich mit abnehmender Altersklasse eine sinkende Zahl des gefährlichen Spiels auf Seiten des Gegenspielers im Vergleich zum Spieler (z.B. im Bereich der U11-U9: 28/162 (17,3%) der Spieler vs. 12/162 (7,4%) auf Seiten des Gegenspielers, vgl. Abb. 12).

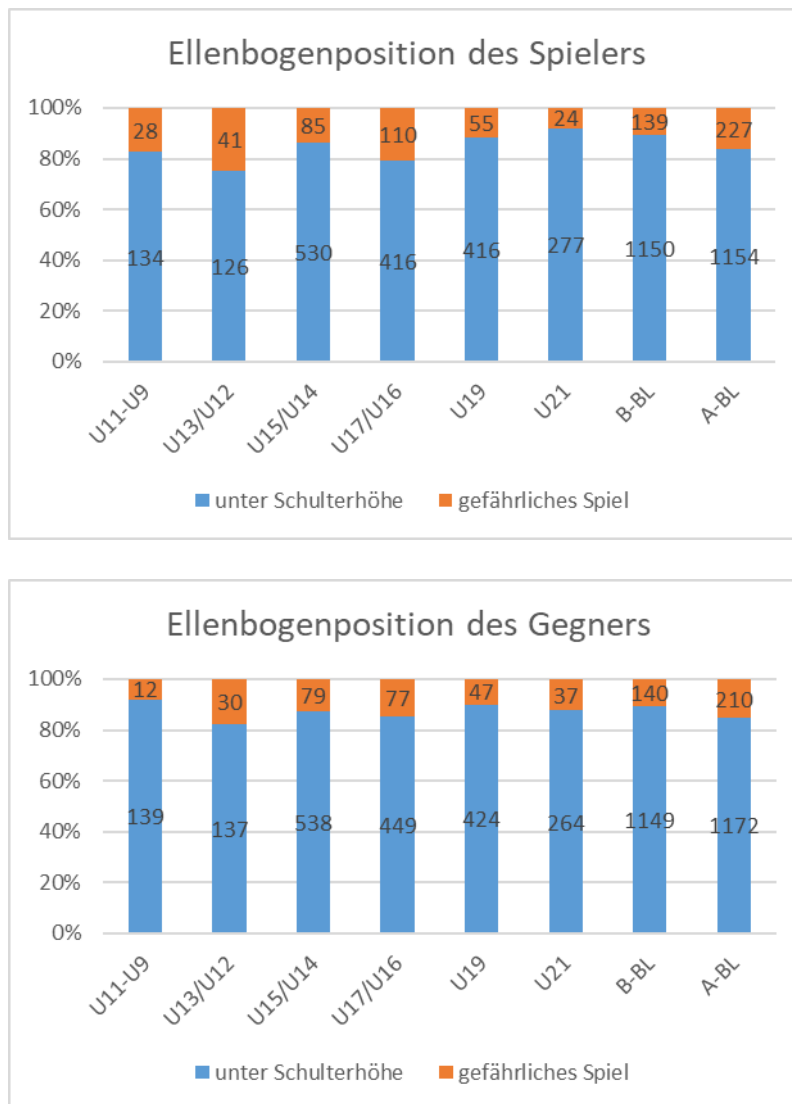


Abb. 12: Darstellung der Ellenbogenposition des Spielers sowie des Gegners in Abhängigkeit der Altersklasse (blau: unter Schulterhöhe, orange: gefährliches Spiel (bestehend aus: auf Schulterhöhe, über Schulterhöhe, am Kopf))

Ein mit dem Zweikampf einhergehendes Foulspiel blieb in allen Altersklassen etwa konstant bei Werten zwischen 4,0% (14/338, U15/14) und 9,0% (29/322, U17/16). Der größere Anteil wurde dabei durch den Gegenspieler begangen (vgl. Abb. 13).

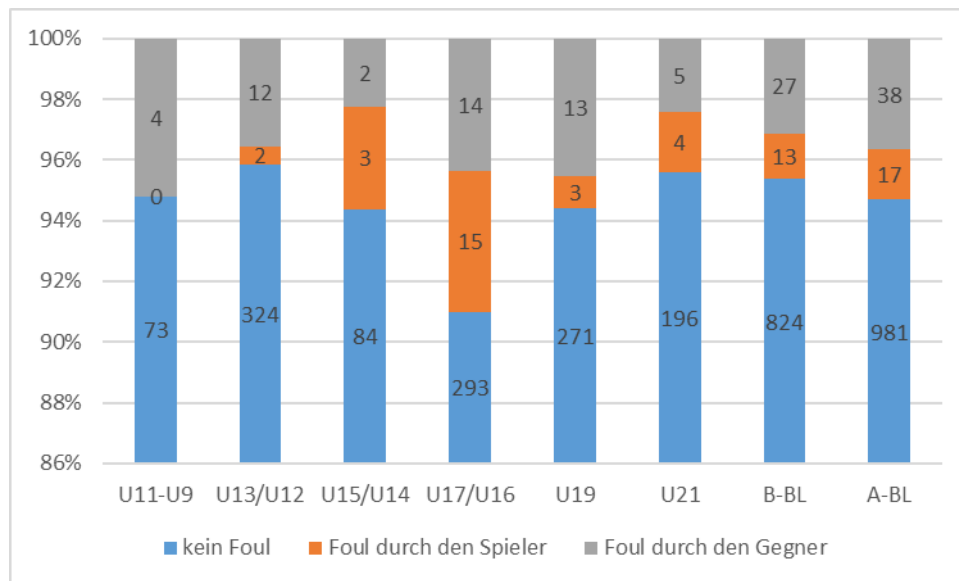


Abb. 13: Auftreten eines Foulspiels im Rahmen eines Kopfballzweikampfs (blau: kein Foul, orange: Foul durch den Spieler, grau: Foul durch den Gegner)

4.3 Epidemiologische Analyse von verletzungsträchtigen Kopfballsituationen und Verletzungen am Kopf

Im Folgenden werden die Häufigkeiten der verletzungsträchtigen Situationen der A- sowie B-Bundesligen der Saison 2016/2017 sowie der Juniorenspiele im Amateurfußball der Rückrunde der Saison 2017/2018 als auch deren Einordnung in den Spielkontext genauer beschrieben. Ferner werden die Konsequenzen für den Spieler als auch den Spielverlauf beurteilt sowie mögliche Korrelationen zwischen Kopfballsituationen sowie Verletzungen am Kopf aufgezeigt. Zuletzt werden potentielle Risikofaktoren für Kopfverletzungen hervorgehoben.

4.3.1 Inzidenz der kopfverletzungsträchtigen Situationen

Im Rahmen der Analyse der kopfverletzungsträchtigen Situationen wurden in der A-Junioren Bundesliga 71 und in der B-Junioren Bundesliga 59 Situationen erfasst. Hiervon wurden dann 18 bzw. 7 im Rahmen der obig beschriebenen qualitativen Analyse detailliert mittels eCRF charakterisiert. Des Weiteren wurden insgesamt 17 kopfverletzungsträchtige Situationen in den zur Verfügung stehenden Amateur-Juniorenspielen analysiert (im Detail: U21: 3, U19: 7, U17/U16: 3, U15/U14: 1,

U13/U12: 0, U11-U9: 3). Letztere wurden aufgrund der geringen Fallzahlen innerhalb der einzelnen Altersklassenkohorten im Gesamten betrachtet bzw. lediglich die Altersklassen U19 und U17/U16 für einen spezifischen Vergleich zwischen den Leistungsklassen verwendet.

Auffällig zeigte sich hierbei vor allem das Überwiegen der Verletzungssituationen in der Hinrunde der B-Junioren Bundesliga (85,7%, 6/7). Diese Tendenz war im Bereich der A-Junioren Bundesliga lediglich leichtgradig festzustellen (55,6% in der Hinrunde, 10/18). Hinsichtlich des Verteilungsmusters auf Gast- und Heimmannschaft war eine variierende Zuteilung zu verzeichnen. Generell waren eher Mitglieder der Gastmannschaft betroffen (beispielsweise B-Junioren BL: 71,4%, 5/7; Amateur-Juniorenfußball 58,8%, 10/17).

4.3.2 Analyse der kopfverletzungsträchtigen Situationen

Im Folgenden wurden lediglich die Kopfverletzungssituationen der Altersklassen U19 bzw. U17/U16 sowie A- und B-Junioren Bundesliga verglichen. Es erfolgte die Einordnung der Situation in den personellen, situativen als auch medizinischen Kontext. Zudem insbesondere auch der Zusammenhang mit dem Vorliegen einer Zweikampfsituation wurde näher betrachtet.

Die kopfverletzungsträchtigen Situationen ließen sich überwiegend in Zusammenhang mit Zweikämpfen verzeichnen. Lediglich im Bereich der A-Junioren-Bundesliga waren vier Kopfverletzungen (22%, 4/18) ohne Einwirken eines Zweikampfes registriert worden (siehe Tab. 8).

Tabelle 8: Zuordnung der kopfverletzungsträchtigen Situationen zu Zweikämpfen

	A-BL (n=18)	B-BL (n=7)	U19 (n=7)	U17/U16 (n=2)
<i>Zweikampf</i>	14	7	7	2
<i>davon Kopfballduell</i>	11	6	6	1
<i>kein Zweikampf</i>	4	0	0	0

Die meisten Zweikämpfe konnten als Kopfballduell registriert werden (A-BL: 11/14, 78,6%; U19: 6/7, 85,7%; B-BL: 6/7, 85,7%; U17/U16: ½, 50,0%, siehe Tab. 9). Weiter war nur eine geringe Zahl auf Laufduelle zurückzuführen, während nach Grätsche bzw. Tackling des Spielers oder Gegners als auch Pressbällen keine kopfverletzungsträchtigen Situationen resultierten.

Fast ausschließlich ereigneten sich kopfverletzungsträchtige Situationen nach Kontakt mit dem Gegenspieler (inkl. auch nach Schlag oder Tritt des Gegners). Die größte Mehrheit war im Bereich der A-Junioren Bundesliga mit 88,9% (16/18) festzustellen (B-BL: 5/7, 71,4%, U19: 5/7, 71,4%, U17/U16 1/2, 50,0%). In deutlich selteneren Fällen war eine Kollision mit dem Ball (A-BL: 1/18, 5,6%; U19: 2/7, 28,6%) dafür ursächlich. Weiter waren auch Kollisionen mit Mitspielern in kleinerer Rolle zu sehen (A-BL: 1/18, 5,6%; B-BL: 2/7 28,6%; U19: 2/7, 28,6%; U17/U16 1/2, 50,0%, vgl. Abb. 14).

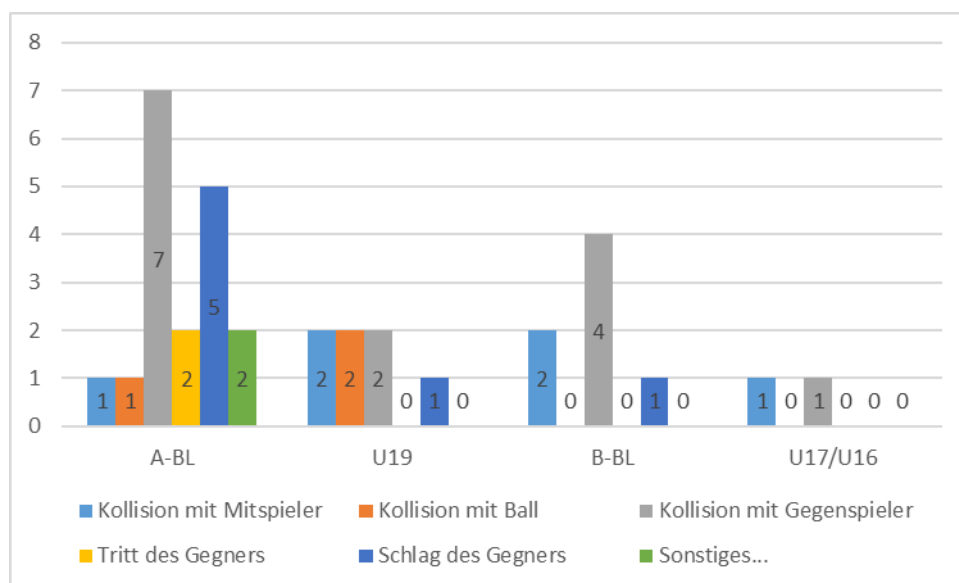


Abb. 14: Ursache der kopfverletzungsträchtigen Situation (hellblau: Kollision mit Mitspieler, orange: Kollision mit dem Ball, grau: Kollision mit dem Gegenspieler, gelb: Tritt des Gegners, dunkelblau: Schlag des Gegners, grün: Sonstiges...)

Die Lokalisation der kopfverletzungsträchtigen Situation war über das Spielfeld breit verteilt. Während im Bereich der A-Junioren-Bundesliga der größere Anteil im defensiven Spielfeld (11/18, 61,1%) lag, verschob sich das Verhältnis im Bereich der B-Junioren-Bundesliga sowie U19 in Richtung offensives Spielfeld (B-BL: 5/7, 71,4%;

U19: 4/7, 57,1%). Bei Gegenüberstellung der Spielfeldverteilung der Kopfballsituationen mit den kopfverletzungsträchtigen Situationen war nur im Bereich der A-Junioren-Bundesliga ein ähnlich deutliches Überwiegen in Mittelfeld vs. Strafraum aufzuzeigen. Während die Kopfballsituationen in den Altersklassen B-BL, U19 sowie U17/U16 weiterhin im Bereich des Mittelfelds dominierten, verlagerten sich die Verletzungssituationen mehr in Richtung des Strafraums (Verhältnis Verteidiger vs. Mittelfeldspieler: B-BL 3:4, U19: 4:3, U17/U16: 1:1).

Kongruent zur Spielfeldverteilung der Kopfverletzungssituationen ergaben sich Risikoprofile für bestimmte Spielerpositionen, im Bereich der A-Junioren-Bundesliga (10/18, 55,5%) sowie U19 (5/7, 71,4%) war der Verteidiger, im Bereich der B-BL der Mittelfeldspieler (4/7, 57,1%) die am häufigsten betroffene Spielerposition (vgl. Abb 15). Somit entsprachen die Altersklassen A-BL sowie U19 bezogen auf die risikoreichere Spielerposition des Verteidigers auch die der am häufigsten köpfenden Spielerposition. Im Gegensatz dazu ließ sich diese Feststellung im Bereich der jüngeren Altersklassen U17/U16 sowie deutlicher im Bereich der B-BL nicht bestätigen. Hier wich die risikoreichere Position (Mittelfeld) von der meistiköpfenden Position des Verteidigers ab.

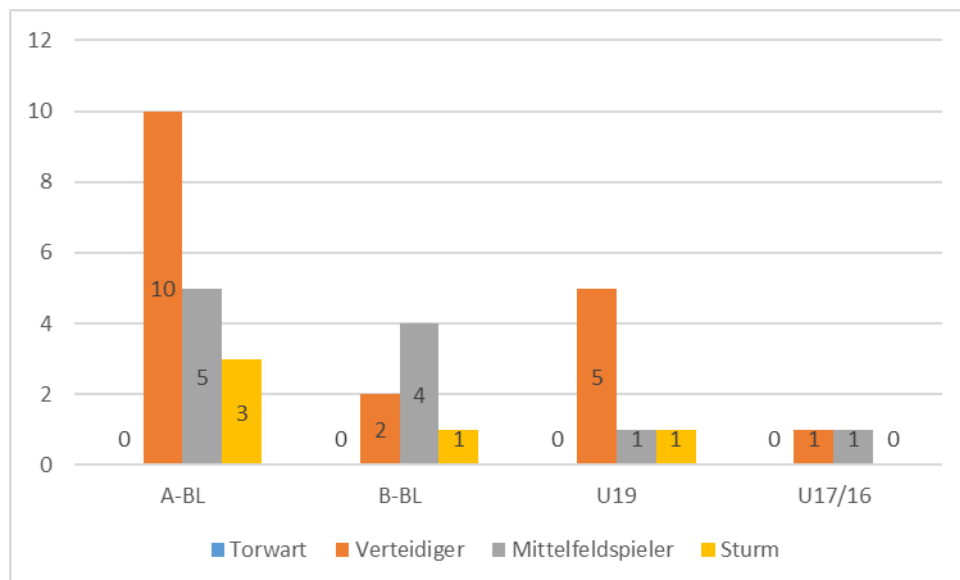


Abb. 15: Betroffene Spielerpositionen im Rahmen der kopfverletzungsträchtigen Situation
(blau: Torwart (nicht vorliegend), orange: Verteidiger, grau: Mittelfeldspieler, gelb: Sturm)

Die Spielsituationen, die in den überwiegenden Fällen (bzw. in den Altersklassen B-BL sowie U17/U16 einzig) zu einer kopfverletzungsträchtigen Situation geführt hatten,

waren aus dem freien Spiel heraus (A-BL: 16/18, 88,9%). Demgegenüber stellten im Bereich der U19 die Standardsituationen den größeren Anteil dar (U19: 4/7, 57,1%). Im Vergleich dazu waren die Kopfballsituationen aller Altersklassen ebenfalls am häufigsten im Rahmen des freien Spiels entstanden.

Bei Betrachten der Grundaktion des Spielers war festzustellen, dass sich der größte Anteil der verletzten Spieler in einer Flugphase befand (siehe Tabelle 9). Passend dazu war auch das Fehlen eines Bodenkontakts in mindestens 50,0% aller kopfverletzungsträchtigen Situationen gegeben. Besonders deutlich trat dies mit 85,7% im Bereich der U19 auf (A-BL: 9/18, B-BL: 4/7, U19: 6/7, U17/U16: 1/2).

Tabelle 9: Grundaktion des verletzten Spielers im Rahmen der kopfverletzungsträchtigen Situation

	A-BL (n=18)	U19 (n=7)	B-BL (n=7)	U17/U16 (n=2)
<i>Stand</i>	3 (16,7%)	0	1 (14,3%)	0
<i>Antritt</i>	0	0	0	1 (50,0%)
<i>Lauf</i>	5 (27,8%)	1 (14,3%)	1 (14,3%)	0
<i>Absprung</i>	0	1 (14,3%)	1 (14,3%)	0
<i>Flugphase</i>	7 (38,9%)	5 (71,4%)	4 (57,1%)	1 (50,0%)
<i>Landung</i>	2 (11,1%)	0	0	0
<i>Rutschen</i>	1 (5,6%)	0	0	0

Die betroffene Schädelregion wurde in der Analyse anatomisch aufgegliedert. Lediglich in der A-Junioren Bundesliga kristallisierte sich eine Häufung im Bereich des Gesichtsschädels (facial, 13/20, 65,5%) deutlich heraus. In der B-Junioren Bundesliga waren nur mit geringem Vorsprung parietookzipitale Verletzungslokalisationen am meisten vertreten (3/7, 42,9%). In den weiteren Kohorten ließ sich keine Tendenz feststellen (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Anatomische Zuordnung der betroffenen Verletzungsregion
(Mehrfachnennung möglich)

	A-BL (n=20)	U19 (n=7)	B-BL (n=7)	U17/U16 (n=3)
<i>frontal</i>	1 (5,0%)	2 (28,6%)	0	0
<i>temporal</i>	3 (15,0%)	1 (14,3%)	2 (28,6%)	1 (33,3%)
<i>parietookzipital</i>	3 (15,0%)	2 (28,6%)	3 (42,9%)	0
<i>nuchal</i>	0	0	0	1 (33,3%)
<i>facial</i>	13 (65,0%)	2 (28,6%)	2 (28,6%)	1 (33,3%)

4.3.3 Konsequenz der kopfverletzungsträchtigen Situation

Insbesondere auch der Zeitraum nach stattgehabter kopfverletzungsträchtiger Situation wurde in dieser Arbeit betrachtet. Hierbei lag das Augenmerk einerseits auf den Folgen für den Spieler im medizinischen sowie sportinhaltlichen Kontext und andererseits auf der Bewertung durch den Schiedsrichter.

Eine direkte Spielunterbrechung durch den Schiedsrichter folgte im Bereich der Amateurligen der U19 sowie U17/U16 auf alle Kopfverletzungssituationen, im Bereich der A- sowie B-Junioren-Bundesligen in der Mehrheit der Fälle (A-BL: 16/18, 88,9%, B-BL: 5/7, 71,4%).

Keine der verzeichneten Kopfverletzungssituationen hatte zur Folge, dass der Spieler vom Feld getragen werden musste. Im Bereich der A-Junioren Bundesliga verließ der Spieler in 2 von 3 Fällen eigenständig den Platz für den Zeitraum der Spielunterbrechung (12/18, 66,7%), das verbleibende Drittel verblieb auf dem Spielfeld und nahm direkt das Spiel wieder auf. Dieses Verhältnis kehrte sich in den restlichen analysierten Altersklassen um. In der U19 verließen nur 2/7 Spieler (28,6%) das Spielfeld, in der B-Bundesliga 3/7 (42,9%). In der U17/U16 war in keiner kopfverletzungsträchtigen Situation ein Verlassen des Spielfeldes zu verzeichnen (siehe Tabelle 11). Eine verletzungsbedingte Auswechslung wurde in insgesamt zwei Fällen, beide im Bereich der B-Junioren Bundesliga, registriert.

Tabelle 11: Spielerschicksal nach kopfverletzungsträchtiger Situation

	A-BL (n=18)	U19 (n=7)	B-BL (n=7)	U17/U16 (n=2)
<i>Spieler wird vom Spielfeld getragen</i>	0	0	0	0
<i>Spieler kann Spielfeld eigenständig verlassen</i>	12	2	3	0
<i>Spieler verbleibt am Spielfeld</i>	6	5	4	2

In etwa einem Drittel der kopfverletzungsträchtigen Situationen stellte der Schiedsrichter ein Foul fest. Deutliche Unterschiede in der Häufigkeit eines Foulspiels waren insbesondere im Vergleich der Leistungsklassen festzustellen. So zeigte sich bei der A-Junioren Bundesliga in 17,6% (3/17) bzw. B-Junioren Bundesliga in 14,3% (1/7) eine als Foulspiel bewertete Situation, während dies im Bereich der U19 in 57,1% (4/7) der Fall war. In der Klasse U17/U16 war kein Foulspiel festgestellt worden. Lediglich eine Tötlichkeit wurde im Rahmen der Analyse erfasst, welche auf die A-Junioren Bundesliga entfiel (vgl. Abb. 16). Die durch den Schiedsrichter als Foulspiel bewerteten Situationen blieben abgesehen von der im Rahmen der Tötlichkeit angewandten roten Karte in allen verbleibenden Fällen ungeahndet.

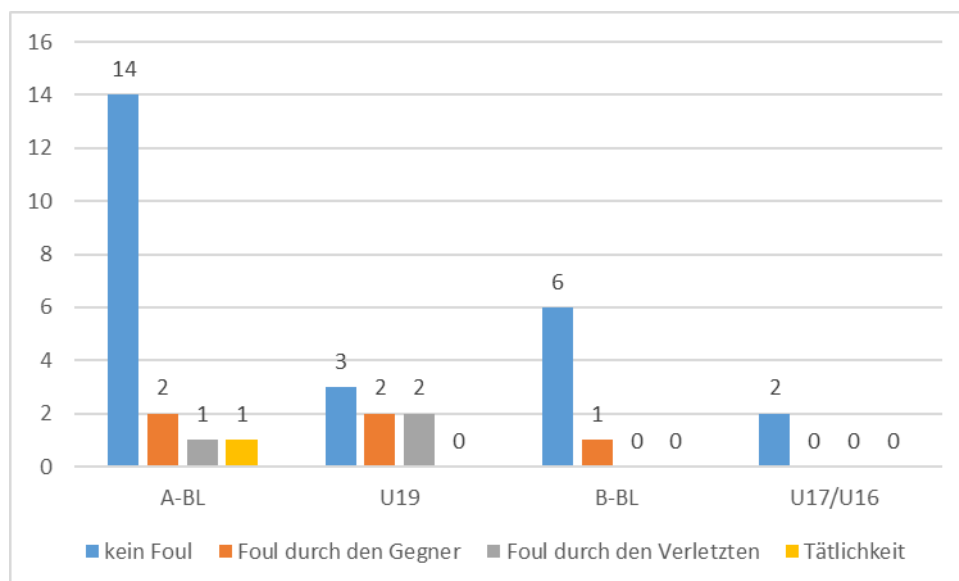


Abb. 16: Bewertung der kopfverletzungsträchtigen Situation durch den Schiedsrichter (blau: kein Foul, orange: Foul durch den Gegner, grau: Foul durch den Verletzten, gelb: Tötlichkeit)

4.3.4 Risikofaktoren für eine kopfverletzungsträchtige Situation im Rahmen des Kopfballspiels

Anhand der obig beschriebenen Analysen ließen sich Risikofaktoren für das Auftreten einer kopfverletzungsträchtigen Situation, die im Rahmen des Kopfballspiels entstanden, errechnen und mithilfe der Odds Ratio abbilden. Diese stellt eine statistische Möglichkeit dar, Aussagen über den Zusammenhang zweier Merkmale treffen zu können. Die Risikoanalyse wurde aufgrund der höheren Fallzahlen in den A- und B-Junioren Bundesligen lediglich für diese Subpopulationen durchgeführt. In der A-Junioren Bundesliga waren 50,0 % (9/18) einer kopfverletzungsträchtigen Situation einer Kopfballsituation zuzuordnen, in der B-Junioren Bundesliga 28,6 % (2/7). Auf alle durchgeführten Kopfbälle hochgerechnet war somit festzustellen, dass in 9 von 2464 (0,3%) Kopfballsituationen in der A-Junioren Bundesliga, bzw. in 2 von 816 (0,2%) eine kopfverletzungsträchtige Situation registrierbar war. Nachfolgend wurden die Verletzungsrisiken bezogen auf Spielerposition, Spielfeldposition, Spielsituation, Kopfballduell, Ellenbogenposition als auch Spielunterbrechung durch den Schiedsrichter ausgewertet (siehe Tabelle 12).

Hinsichtlich der Spielerpositionen war lediglich im Bereich der B-Junioren die des offensiven Mittelfeldspielers mit einem 3,2-fach erhöhten Risiko in kopfverletzungsträchtigen Situationen behaftet. Erwähnenswert ist noch das teils fehlende Auftreten von kopfverletzungsträchtigen Situationen in den Gruppen des Torhüters als auch des defensiven Mittelfelds bei den A-Junioren sowie den Außenverteidigern bei den B-Junioren, sodass teils eine Berechnung nicht möglich war. Darüber hinaus erschien keine weitere Spielerposition eine Risikomehrung aufzuweisen. In Bezug auf die Spielfeldposition war ebenfalls lediglich in der Gruppe der B-Junioren der Strafraum mit einem 3,0-fach erhöhten Risiko zu verzeichnen.

Eine kopfverletzungsträchtige Situation aus dem freien Spiel heraus konnte bei den A-Junioren mit einem 4,1-fach erhöhten Risiko beziffert werden. Nochmals erhöht war diese im Rahmen eines Abschusses zu bewerten (OR 6,8). Aufgrund der solitär aus dem freien Spiel auftretenden kopfverletzungsträchtigen Situationen kann bezogen auf die Spielsituationen in der Kohorte der B-Junioren Bundesliga keine Odds Ratio gebildet werden. In Sprungsituationen war in beiden Subgruppen keine relevante Risikoerhöhung ersichtlich. Im Rahmen von Zweikampfsituationen war in der A-Junioren Bundesliga mit einem 2,7-fach erhöhten Risiko für das Auftreten einer

kopfverletzungsträchtigen Situation zu rechnen. Interessanterweise ließ sich hierbei nur eine geringe Risikomehrung in Bezug auf Kopfballduelle als auch die Tatsache eines Körperkontakts während des Zweikampfs feststellen. Bei den Analysen der B-Junioren Bundesliga war aufgrund der einzig in Zweikampfsituationen auftretenden kopfverletzungsträchtigen Situationen keine Risikobewertung möglich.

Mit einem massiv erhöhten Risiko war in der Gruppe der A-Junioren Bundesliga eine erhöhte Ellenbogenposition zu verzeichnen, welche sich mit einem 20,8-fach Risiko beziffern ließ. Auch hier war erneut keine Aussagefähigkeit in der B-Junioren Bundesliga möglich. Bei Notwendigkeit einer Spielunterbrechung durch den Schiedsrichter im Rahmen einer Zweikampfsituation stieg das Risiko einer kopfverletzungsträchtigen Situation insbesondere in der A-Junioren Bundesliga um das 6,3-fache (B-Junioren Bundesliga: 2,0-fach).

Hervorzuheben sind in Zusammenschau somit eine hohe Effektstärke ($OR > 4$) bei kopfverletzungsträchtigen Situationen im freien Spiel, zudem im Rahmen von Abschüssen als auch bei hohen Ellenbogenpositionen sowie Spielunterbrechungen durch den Schiedsrichter in der Kohorte der A-Junioren Bundesliga.

Tabelle 12: Odds Ratios in kopfverletzungsträchtigen Situationen

	A-Junioren Bundesliga	B-Junioren Bundesliga
Spielerposition		
<i>Innenverteidiger</i>	0,9	1,0
<i>Außenverteidiger</i>	1,8	0
<i>Defensives Mittelfeld</i>	0	0,7
<i>Offensives Mittelfeld</i>	1,4	3,2
<i>Sturm</i>	1,8	1,5
Spielfeldposition		
<i>Strafraum</i>	1,0	3,0
<i>Mittelfeld</i>	0,9	1,6
<i>Außenbahn</i>	1,2	0
Spielsituation		
<i>Standard gesamt</i>	0,2	0
<i>Freies Spiel gesamt</i>	4,1	-
<i>Abschuss</i>	6,8	0
Sprungsituation	0,8	2,0
Zweikampf	2,7	-
<i>Kopfballduell</i>	1,2	0,3
<i>Körperkontakt im Zweikampf</i>	1,2	-
Ellenbogenposition hoch	20,8	-
Spielunterbrechung durch Schiedsrichter	6,3	2,0

5. Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war die Quantifizierung als auch Charakterisierung von Kopfbällen sowie kopfverletzungsträchtigen Situationen im Juniorenfußball, die repräsentativ über mindestens eine halbe bis ganze Saison erhoben wurden.

5.1 Das Kopfballspiel und seine Folgen

5.1.1 Reales Profil von Kopfbällen des Spielbetriebs

Die Spielsituation, in der es zum jeweiligen Kopfball kam, konnte anhand verschiedener Charakteristika beschrieben werden. Durch den Einschluss von 424 Spielen aus dem Juniorenbereich, welche sowohl die höchsten deutschen Juniorenligen über eine komplette Saison (A-/B-Junioren) als auch ein breites Feld aus dem Amateurfußball über alle Juniorenklassen (U9 – U21) über eine halbe Saison beinhaltete, war ein realistisches Abbild des Kopfballspiels möglich. Anhand dessen konnten aussagekräftige Daten zum Kopfballspiel als auch zu Kopfverletzungssituationen, Prognosen als auch Präventionskonzepte erstellt werden. Insbesondere konnten im Rahmen der Analyse erstmals Daten im deutschen Fußball über eine gesamte Saison im Juniorenbereich erhoben werden.

Die bisherig in Studien beschriebenen Durchschnittswerte für Kopfballzahlen pro 1000 Spielerstunden zeigen insgesamt eine breite Streuung an Ergebnissen, die zumindest eine Tendenz erahnen lassen. Allen Analysen gemein ist eine Videoanalyse von Kopfballsituationen aus unterschiedlichen Altersklassen, jedoch variierenden Kohortengrößen, die in etwa auch in dieser Studie widergespiegelt sind. Die erhobenen Kopfballfrequenzen dieser Arbeit liegen zwischen 1,7 und 4,6 Kopfbällen pro Spiel und Spieler. Damit liegen diese oberhalb der Ergebnisse der Studie von Peek et al. (2021), verglichen mit Sandmo et al. (2020) sowie Beaudouin et al. (2020) waren in den überwiegenden Altersklassen ähnliche Werte erreicht worden. Verglichen mit den in europäischen Spielsystemen durchgeführten Analysen erscheint diese somit ein reales Abbild des Kopfballspiels zu ergeben, während möglicherweise die australische Spielweise in der Studie von Peek et al. insgesamt eine niedrigere Kopfballrate zu produzieren scheint (Beaudouin et al. 2020; Sandmo et al. 2020; Peek et al. 2021).

Die meisten Kopfbälle aller Altersklassen waren im defensiven Zentrum lokalisiert. Dies spiegelte sich auch in der am häufigsten köpfenden Spielerposition wider. In den

unteren Altersklassen (bis U15/U14) überwiegte dabei die des Mittelfeldspielers. Nachfolgend war eine ähnliche Verteilung zwischen Mittelfeld- als auch Verteidiger festzustellen (U17/U16, U21) sowie ein Überwiegen des Verteidigers in U19 sowie den Junioren-Bundesligen. Deutlich geringer war die Belastung der Stürmerposition in allen Klassen. Ein ähnliches Verteilungsmuster war auch in der Analyse von Peek et al. (2021) nachzuweisen. Somit sind insgesamt die defensiveren Positionen einer größeren Belastung sowie erhöhtem Verletzungsrisiko ausgesetzt, weshalb präventiv insbesondere mit diesen Gruppen gearbeitet werden sollte (beispielsweise sowohl im Rahmen des Trainings mittels defensiver Spielsimulationen als auch edukativ hinsichtlich eines vorausschauenden Spielens und somit Expositionsvermeidung).

Die Flugweiten bis zu den köpfenden Spielern lagen im überwiegenden Teil zwischen 5 und 20 Metern, insbesondere im Altersvergleich nahmen die Flugweiten sukzessive zu mit resultierend größeren Anteilen oberhalb von 20m. Situativ ließen sich Kopfbälle in den jüngeren Altersklassen vermehrt nach Standardsituationen verzeichnen, insbesondere in der U9-U11 waren Kopfbälle nach einem Einwurf festzustellen. Angesichts dessen ließe sich beispielsweise eine Reduktion des Kopfballaufkommens durch Ersetzen des Einwurfs erreichen. Dem entsprechen die aktuellen Änderungen der Spielformen in G- sowie E-Jugend durch den DFB, welche in der Saison 2024/2025 in Kraft treten (DFB 2022b). Mit ansteigendem Alter waren zunehmend Kopfbälle aus dem freien Spiel heraus zu verzeichnen.

Die Intention eines Kopfballs lag in den überwiegenden Fällen bei Klären des Balles, Passspiel sowie Abgleiten. Letzteres erschien im Hinblick auf mögliche Folgen durch das Kopfballspiel aufgrund der nur geringen Richtungsänderung des Balles möglicherweise als niedrigerer Impact auf den Kopf und somit von untergeordneter Rolle. Die Verwendung eines Kopfballs als Torschussmittel wurde in seltenen Fällen registriert. Während in den unteren Altersklassen eine Zweikampfsituation in etwa einem Drittel aller Fälle auftrat, erhöhte sich die Anzahl dessen mit ansteigender Altersklasse deutlich (ca. 60%). Um das Verletzungsrisiko zu minimieren, sollte eine Verringerung der linearen als auch zirkulären Beschleunigungen (im Kopfballspiel als auch bei Zweikämpfen) erfolgen. Dazu zählen die Kräftigung der Nackenmuskulatur (Flexoren sowie Extensoren), Verbesserung der neuromuskulären Kontrolle sowie die Optimierung der Kopf-Nacken-Torso-Linie (Shewchenko et al. 2005a; Spiotta et al. 2012; Caccese und Kaminski 2016). Darüber hinaus sollte die Kopfballtechnik in das

Training integriert werden. Beispielsweise kann dabei auch die Verwendung von leichteren Bällen zur Anwendung kommen und so den Impact auf den Kopf minimieren (Shewchenko et al. 2005c; Caccese und Kaminski 2016).

5.1.2 Kopfverletzungen als seltene Folge des Kopfballspiels im Kindesalter

Die Thematik einer potentiellen Gefährdung des Gehirns durch das Kopfballspiel als auch durch Kopfverletzungen (u.a. Schädel-Hirn-Traumen) führte dazu, dass in den letzten Jahren vermehrt Studien hierzu durchgeführt wurden. Bislang konnten jedoch in den Meta-Analysen keine negativen Effekte des Kopfballspiels bewiesen werden (Maher et al. 2014; Kontos et al. 2017; McCunn et al. 2021). Es fanden sich häufig uneindeutige Ergebnisse hinsichtlich der langfristigen Folgen (McCunn et al. 2021).

In der vorliegenden Analyse des Juniorenfußballs ließ sich insbesondere dann eine Kopfverletzung verzeichnen, wenn eine Zweikampfsituation (inkl. Kopfballduell) vorlag. Dies zeigte sich kongruent zum bisherigen wissenschaftlichen Stand aus dem Erwachsenenfußball (Fuller et al. 2006; Maher et al. 2014; Beaudouin et al. 2019a; Peek et al. 2021). Davon abweichend waren jedoch die deutlich höheren Zahlen an Kopfverletzungen hochgerechnet auf 1000 Spielerstunden: 2,0 (U15/U14) bis zu 26,5 (U17). Beaudouin et al. (2019) publizierten demgegenüber Inzidenzen von lediglich 2,22 auf 1000 Spielerstunden. Als ursächlich kann womöglich die Überinterpretation durch die hier verwendete Definition des Critical Incident aufgeführt werden, die auch potentielle Situationen mit aufnahm, während in der Arbeit von Beaudouin et al. (2019) definitive Kopfverletzungen eingingen. Diese Hypothese stützen könnte die Publikation von Armstrong et al. (2020), in der eine noch strengere Definition des CI (Unfähigkeit des Weiterspielens für nur 5 Sekunden) zu noch höheren Raten an Kopfverletzungen führte (40,12 per 1000 Spielerstunden). Offen bleibt, wie groß der Anteil an Schädelhirntraumata unter den detektierten Critical Incident-Situationen ist. Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass sich die Analysen in dieser Studie auf sehr kleine Fallzahlen beziehen, sodass die Auswertung nur bedingt aussagekräftig ist.

Einen weiteren Aspekt lieferte die vorliegende Arbeit durch die anatomische Zuordnung der betroffenen Verletzungsregion, die sich in einigen Fällen als facial angeben ließ. Gehäuft trat dies in der A-Junioren Bundesliga auf (A-BL: 65,0% vs.

U19: 28,6%). Es bleibt dabei offen, ob es dann aufgrund der schmerzempfindlicheren Region des Gesichts und der Festlegung der CI-Kriterien zu einer Überinterpretation der Verletzungen kam bzw. damit der Unterschied der Kopfverletzungshäufigkeit zwischen den Leistungsklassen erklärbar wäre. Es werden in zukünftigen Studien deutlich größere Fallzahlen als auch prospektive Studiendesigns benötigt, um zuverlässigere Einschätzungen geben zu können.

Interessanterweise beschreibt die retrospektive Arbeit von Mackay et al., dass bei ehemaligen Profi-Fußballspielern des schottischen Fußballs die Rate an Sterbefällen an neurodegenerativen Erkrankungen sowie die Rate an verschriebener Demenz-Medikation höher war als in der vergleichbaren Kontrollgruppe. Demgegenüber stand jedoch dafür die niedrigere Mortalität bis zum 70. Lebensjahr (z.B. bei ischämischer Herzerkrankung, Lungenkarzinom) in der Gruppe der ehemaligen Fußballprofis, beispielsweise erklärbar durch das höhere Ausmaß an Bewegung oder niedrigere Häufigkeiten des Nikotinabusus (Mackay et al. 2019). Noch deutlichere Daten stehen aus dem American Football zur Verfügung (Lehman et al. 2012; Nguyen et al. 2019), möglicherweise infolge der noch höheren Raten an Schädelhirntraumata als im Fußball (Pfister et al. 2016; Krusch et al. 2017; Prien et al. 2018). Bislang ist in den existierenden Studien jedoch keine Unterscheidung zwischen einem kindlichen oder einem Erwachsenenkollektiv erfolgt, sodass der Einfluss im Kindesalter und auf das sich noch entwickelnde Gehirn nicht abgeschätzt werden kann. Zudem beziehen sich die erhobenen Daten aufgrund des Studienformats einer post-hoc-Analyse lediglich auf die Lebenszeitprävalenz, sodass auch hierbei keine Aussagen in Bezug auf mögliche sensiblere oder riskantere Lebensphasen getätigt werden können.

Insgesamt kann anhand dieser Arbeit die Frage der Häufigkeit der Kopfverletzungen als seltenes Phänomen im Juniorenfußball bejaht werden. Dabei konnten gerade in den jüngeren Altersklassen bis U17 geringere Raten an Kopfverletzungen registriert werden (0,1 – 0,2 KS/Spiel). Tendenziell waren im hochklassigen Juniorenfußball (A-BL) weniger Kopfverletzungen als im Amateurfußball (U19/U21) aufgetreten. Insbesondere die Tatsache, dass es hochgerechnet auf alle Kopfballsituationen in <0,07% (U15/U14) bis 0,3% (A-BL) kopfverletzungsträchtige Situationen auftreten, unterstreicht diese Aussage. Hinweise für schwerere Verletzungen könnten nur

anhand der Daten zu den Auswechslungen in diesen Spielsituationen getroffen werden, die sich mit 5,9% beziffern ließ. Damit waren auf der anderen Seite >94% in der Lage, das Spiel fortzuführen.

Die Maßnahmen des DFB durch die Änderung der Spielformen (kleinere Mannschaften, Minitore) in den jüngsten Altersklassen U11-U6 erscheint angesichts der bisher wenig eindeutigen Forschungslage im Vergleich zum Kopfballverbot in den USA eine gute Alternative darzustellen. Hiermit lassen sich weiterhin die Techniken des Kopfballspiels früh integrieren. Insgesamt werden dadurch die Zahlen an Kopfbällen sowie Kopfballduellen nach Einwürfen reduziert, welche ja gerade in den jüngeren Altersklassen in der vorliegenden Analyse einen großen Anteil ausmachen. Gleichzeitig werden niedrigere Raten an „high-impact“ Kopfbällen zu erwarten sein.

5.1.3 Entwicklung des Kopfballspiels als integrierte Spielform bei steigender Professionalität und zunehmendem Heranwachsen

Mit der Auswahl einer breiten Verteilung der analysierten Spiele über alle Altersklassen als auch unterschiedlicher Leistungsklassen lassen sich Aussagen über die Entwicklung des Kopfballspiels im Laufe einer Karriere eines jungen Spielers als auch ein Vergleich von Gemeinsamkeiten und Unterschieden bei kopfverletzungsträchtigen Situationen treffen. Insgesamt ist eine zunehmende Anzahl an Kopfbällen pro Spiel und Spieler mit ansteigender Altersklasse festzustellen. Mit höherem Spielniveau waren gleichzeitig reduzierte Kopfballraten als auch Verletzungshäufigkeiten erfasst worden. Wurden die verletzungsträchtigen Situationen in Relation zu 1000 Spielstunden gestellt, ließen sich interessanterweise in der jüngsten Altersklasse (U11-U9) deutlich höhere Werte errechnen und wurden erst ab Altersklasse U19 wieder übertroffen (U11-U9: 12,4 KB/1000 Spielstunden vs. U15/U14: 2 KB/1000 Spielstunden). Auch hinsichtlich der Kopfbälle lässt sich der eigentlich obig beschriebene Trend der Zunahme der Kopfbälle mit größer werdender Altersklasse in Bezug auf 1000 Spielstunden weniger deutlich abbilden. Die Sinnhaftigkeit eines Hochrechnens erscheint jedoch diskutabel, da die reale Spielbelastung in den einzelnen Altersklassen deutlich unter 1000 Spielstunden liegt.

Das Kopfballverhalten wies mit zunehmenden Alter sowohl Unterschiede als auch Gemeinsamkeiten zwischen den Altersklassen auf. Hervorzuheben ist dabei die zum

Kopfball führende Situation, die sich mit ansteigender Altersklasse sowie auch Leistungsklasse vermehrt aus dem freien Spiel heraus entwickelte. Währenddessen war in den jungen Altersklassen ein Kopfball häufiger nach einem Einwurf oder Eckball zustande gekommen. Auch erhöhten sich die Flugweiten des Balls vor Durchführung des Kopfballs mit steigendem Alter, sodass der Impact von Kopfbällen in jüngeren Altersklassen geringer scheint. Gemeinsamkeiten stellten die Intention des Kopfballs als Pass sowie die häufigere defensive Intention dar.

Den meisten kopfverletzungsträchtigen Situationen gemein war das Auftreten im Rahmen einer Zweikampfsituation, denen sich lediglich 4/18 im Bereich der A-Junioren Bundesliga nicht zuordnen ließen. Vorherrschend war zumeist ein Kopfballduell. Eine Assoziation der meist köpfenden mit der am häufigsten verletzten Spielerposition war in der Altersklasse der U19 als auch A-Junioren Bundesliga aufzuzeigen (Verteidiger).

Bezugnehmend auf ein mögliches Foulspiel waren insbesondere Unterschiede der Spielniveaus in der Altersklasse der A-Junioren nachzuvollziehen, in der sich bei sinkendem Niveau eine deutliche Häufung des Foulspiels zeigte (A-Junioren Bundesliga: 17,3% vs. U19 57,1%). Kongruent dazu erhöhte das Auftreten einer hohen Ellenbogenposition im Duell die Wahrscheinlichkeit einer kopfverletzungsträchtigen Situation immens (OR 20,8).

5.1.4 Chancen der Prävention zur Vermeidung von Kopfverletzungen

Präventive Strategien wie beispielsweise Regelwerkänderungen für eine Reduktion von Kollisionen, neuromuskuläres Aufwärmtraining sowie die Implementierung von optimalem Concussion Management dienen zur Reduktion der SHT-Raten (Patricios et al. 2023).

Ein wichtiger Fokus insbesondere im Juniorenfußball stellt das Erkennen eines Schädel-Hirn-Traumas dar, welches über eine weiterführende Präzisierung der Definition durch Patricios et al. (2023) für medizinisches Personal beginnt und durch Schulungen und Weiterbildungen an Spieler, Eltern und Trainer weitergegeben wird. Dabei kann eine Sensibilisierung der Betroffenen erreicht werden, um so repetitive Verletzungen und längerfristige Folgen vermeiden zu können (Delaney et al. 2002;

McCrory et al. 2013; White et al. 2014; Pfister et al. 2016; Krusch et al. 2017; Patricios et al. 2023).

Darauf aufbauend spielt nach Erkennen eines möglichen Schädel-Hirn-Traumas die Evaluation an der Seitenlinie eine entscheidende Rolle, um bei Verdacht den Spieler vom Feld zu nehmen. Insbesondere klinische Zeichen wie Bewusstseinsverlust, epileptische Anfälle, Ataxie, Gleichgewichtsstörungen, Verhaltensauffälligkeiten und Desorientierung sowie Amnesie sollten eine sofortige Auswechslung nach sich ziehen. Darüber hinaus sollte die Anwendung des SCAT6 bzw. des Child-SCAT6 (im Alter zwischen 8 und 12 Jahren) regelhaft erfolgen, um effektiv innerhalb der ersten 72 Stunden eine Unterscheidung zwischen verletzt (Schädel-Hirn-Trauma) bzw. nicht verletzt treffen zu können (Echemendia et al. 2023; Patricios et al. 2023). In dieser Arbeit waren in drei von 42 Critical Incidents (7,0%) Auswechslungen von Spielern vorgenommen worden. Ob dabei die SCAT Entscheidungshilfe Verwendung fand, konnte mithilfe der Videoanalyse nicht beantwortet werden.

Die Anpassung des Trainings über die Integration von neuromuskulärem Training konnte beispielsweise im Rugby eine Reduktion der SHT-Raten in allen Altersklassen erreichen, sodass hier eine Übertragung auf andere Sportarten vielversprechend erscheint, wenngleich bisher Daten hierzu fehlen (Emery et al. 2015; Hislop et al. 2017; Patricios et al. 2023).

Nicht zuletzt spielen auch politische Entscheidungen sowie Regelwerk-Änderungen eine wesentliche Rolle in der Prävention, um somit eine Risikoreduktion für Kopfverletzungen erreichen zu können (Bjørneboe et al. 2013; Beaudouin et al. 2019a;). Im Rahmen der Analyse dieser Arbeit war lediglich in einem Fall eine rote Karte im Rahmen einer Kopfverletzungssituation vergeben worden (A-Junioren Bundesliga), in den übrigen Fällen waren die Foulspiele nicht weiter geahndet worden. Die eigene Bewertung wich nur in einem Fall ab. Insgesamt ist dennoch in Anbetracht von möglichen kopfverletzungsträchtigen Situationen ein möglicherweise strengeres Vorgehen der Schiedsrichter notwendig, um die Zahl der Kopfverletzungen im Foulspiel weiter verringern zu können. Unterstreichen würden dies beispielsweise die Ergebnisse in der U19-Amateur Juniorenmannschaft, bei der mehr als die Hälfte der Verletzungssituationen (4/7, 57,1%) mit einem Foulspiel assoziiert waren. Zudem zeigte sich auch in der Analyse der Risikosituationen mittels Odds Ratio, dass

insbesondere hohe Ellenbogenpositionen als auch Zweikampfsituationen mit potentiellen Kopfverletzungen assoziiert waren und somit bei Präventionsmaßnahmen besonders adressiert werden müssen (siehe auch Tabelle 12).

5.2 Methodische Aspekte

5.2.1 Die Videoanalyse als unabhängiges Instrument der Spielanalyse

Die Videoanalyse im Sport dient nicht nur der Spielvor- als auch Spielnachbereitung, sondern wird inzwischen vielfältig für wissenschaftliche Forschungsarbeiten verwendet (siehe auch unter 2.6). In einem breiten Feld unterschiedlicher Sportarten (u.a. Eishockey, Rugby, Football, Fußball) wird das Tool angewandt, um verletzungsträchtige Situationen als auch Spielweisen zu erforschen (Andersen et al. 2004; Arnason et al. 2004; Bjørneboe et al. 2014; Tucker et al. 2017; Gardner et al. 2017a; Langdon et al. 2022).

Hervorzuheben ist in der Videoanalyse die Möglichkeit einer repetitiven Untersuchung von spezifischen Situationen (wie hier: Kopfballspiel sowie Kopfverletzungen) unter Modifikation der Abspielgeschwindigkeit als auch Anwendung von Einzelbildsequenzen sowie Bildvergrößerungen. Dies dient insbesondere als probates Mittel, um die Genauigkeit der Analyse zu erhöhen. Angesichts der solitären Kameraeinstellung in Höhe der Mittellinie lässt sich eine übersichtliche Einschätzung der Kopfballsituationen im Spielkontext erreichen. Darüber hinaus würden jedoch weitere Blickwinkel und Kameraeinstellungen die Analysequalität steigern. Zudem kann aufgrund mehrerer auswertender Personen im Sinne eines Mehraugenprinzips eine Verringerung der Fehlerquote und somit eine ganzheitliche Analyse erreicht werden.

Im Rahmen der Arbeit wurden zwei standardisierte Fragebögen angewandt, um einerseits die Kopfballsituationen und andererseits kopfverletzungsträchtige Situationen im Video zu analysieren (siehe auch 3.2.2). Für die Generierung einer hohen Interrater-Reliabilität wurden die Variablen möglichst präzise formuliert und basierend auf den Ergebnissen und Erfahrungen aus der Pilotstudie geringfügig angepasst.

Insgesamt konnte durch die Videoanalyse ein guter Überblick über das Kopfballverhalten in vielen unterschiedlichen Alters- und Leistungsklassen gewonnen werden. Hervorzuheben ist zudem, dass hierdurch eine einfache und objektive Quantifizierung von Kopfball- sowie Kopfverletzungsinzidenzen möglich war.

5.2.2 Der Critical Incident als Überinterpretation potentieller Verletzungssituationen

Die in der Arbeit durchgeführte Analyse der Verletzungssituationen legte als Voraussetzung den Critical Incident zugrunde. Dieser wurde durch bereits vorherige Studien sportarten-übergreifend angewandt (Andersen et al. 2004; Bjørneboe et al. 2014; Tucker et al. 2017).

Kritisch betrachtet werden muss die Festlegung der Critical Incident Definition hinsichtlich der fehlenden Möglichkeiten einer Verifizierung einer tatsächlichen potentiellen Verletzung, da lediglich anhand der vorliegenden Video-Perspektiven eine Entscheidung getroffen werden kann. Retrospektiv waren keine medizinischen Daten für eine Evaluation dessen vorhanden, um eine Korrelation zwischen definitiven Schädel-Hirn-Traumen und den möglichen riskanten Aktionen herzustellen. Sowohl eine Überinterpretation ist vorstellbar, einerseits bedingt durch die im Fußball zunehmende „Theatralik“ um eine Spielunterbrechung nach einem (möglichen) Foulspiel zu erreichen, andererseits durch eine unterschiedliche subjektive Bewertung von Schmerzen, die möglicherweise in den jüngeren Altersklassen höher liegen könnte. Demgegenüber kann jedoch auch eine Unterinterpretation vorliegen, gerade wenn Spieler trotz einer möglichen Kopfverletzung unentdeckt weiterspielen und so eine Auswechslung vermeiden wollen (McCrea et al. 2004). Zudem kann dabei auch eine mangelnde Kenntnis über Schädelhirntraumata eine Rolle spielen (Karlin 2011; Pfister et al. 2016).

Darüber hinaus können potentielle Verletzungen nur während der Aufzeichnung des Spiels registriert werden, sodass das Auftreten von zeitverzögerten Symptomen nicht in die Analyse mit eingehen.

Hervorzuheben ist der Nutzen des „Critical Incident“ als Marker einer Verletzungsneigung in den Altersklassen, der somit möglicherweise einen Indikator für

die reale Belastung eines Fußballspielers darstellen kann. Auch können Verletzungsmechanismen durch eine größere Auswahl an potentiellen Situationen besser widerspiegelt werden, da gerade in den jüngeren Altersklassen die geringe Gesamtanzahl an Verletzungen wenig Aussagen zulassen würde. So können diese Daten dann als Angriffspunkt für mögliche präventive Maßnahmen dienen.

Dennoch sind die Bewertungen der Risikoprofile (siehe auch 4.3.4) in dieser Arbeit durch die geringe Fallzahl nur bedingt aussagekräftig. Eine weiterführende Analyse mit deutlich größeren Fallzahlen erscheint daher sinnvoll, um die aktuellen Ergebnisse dieser Arbeit zu präzisieren und zu überprüfen.

5.3 Limitierungen der Studie

Zunächst ist aufzuführen, dass es sich bei dieser Analyse um ein sehr heterogenes Studienkollektiv handelt und somit die statistische Analyse in den einzelnen Kohorten sowie insbesondere Kohorten-übergreifend nur eingeschränkt verallgemeinert werden kann. Gerade die Veränderung der Spielformen wie Änderung der Spielfeldgröße, der Zahl der Spielenden sowie der Spieldauer ist hierbei ein entscheidender Faktor, der die Vergleichbarkeit zwischen den Altersklassen einschränkt. Es liegen gerade in den jüngeren Altersklassen nur kleine Fallzahlen an verletzungssträchtigen Situationen sowie generell an Kopfballsituationen vor, die deswegen eine eingeschränkte Aussagekraft der Risikobewertungen vorweisen. Es ist zudem anzumerken, dass in der vorliegenden Analyse formal eine Hochrechnung auf 1000 Spielstunden vorgenommen wurde, diese jedoch sehr kritisch aufgrund der im Juniorensport deutlich niedrigeren Spielzeiten betrachtet werden sollte. Im Erwachsenenensport ist dies jedoch eine oft angewandte, probate Methodik.

Des Weiteren ist die vorliegende Analyse im Rahmen einer Erststudie durchgeführt worden und von retrospektivem Charakter. Es wurde im Rahmen der Verletzungsanalyse kein Vergleich mit einem Verletzungsregister oder medizinischen Daten angewandt. Dies könnte hilfreich für die Definition eines Critical Incident als auch die tatsächliche Anzahl an Kopfverletzungen im Fußball sein, wenngleich damit Unsicherheiten aufgrund möglicher Dunkelziffern bei fehlender medizinischer Vorstellung einhergehen könnten. Es ist derzeit anzunehmen, dass durch die hier

benutzten Kriterien des Critical Incident eine Überschätzung der verletzungsträchtigen Situationen resultiert.

In den A- sowie B-Junioren Bundesligaspielen lagen Aufzeichnungen von professionellen Fernsightams vor, wenngleich lediglich eine Perspektive zur Analyse vorlag. In den übrigen Spielen waren Amateuraufnahmen vorliegend, in denen die Qualität der Bundesligaspiele unterlegen war (dennoch jedoch mit HD-Material vorlagen).

6. Fazit

Das Kopfballsport ist ein wichtiger Teil des Fußballspiels und scheint derzeit nicht aus dem Sport wegzudenken zu sein. Insbesondere das mediale Interesse hat die Auseinandersetzung mit den kurz- als auch langfristigen Folgen des Kopfballsports sowie der Kopfverletzungen auch im wissenschaftlichen Bereich deutlich vorangetrieben. Dennoch ist aus den bisherigen Erkenntnissen, teils auch aufgrund der uneindeutigen Untersuchungsergebnisse, keine sichere Korrelation nachzuweisen. Gerade in den jüngsten Altersklassen (5 – 12 Jahre) findet sich noch kaum Evidenz.

Die in dieser Analyse gewonnenen Daten stellen einen guten Überblick über die Häufigkeiten von Kopfbällen sowie Kopfverletzungen in Ligaspielen des Juniorenfußballs aus unterschiedlichen Alters- und Leistungsklassen dar. Hervorzuheben ist, dass es sich bei Kopfbällen mit etwa 1,7 bis 4,6 pro Spiel und Spieler um eine selten angewandte Technik im Juniorenfußball handelt. Generell lässt sich mit ansteigendem Alter sowie Professionalität eine Zunahme der Häufigkeit von Kopfbällen verzeichnen. Der Impact auf den Kopf ist in den jüngeren Altersklassen aufgrund der niedrigeren Flugweiten als kleiner einzuschätzen.

Auch Kopfverletzungen sind im Juniorenfußball (insbesondere bis U17) ein seltenes Phänomen bei Zahlen zwischen 0,1 und 0,2 pro Spiel. Ein leichtgradiger Anstieg kann ab dem Einstieg in den älteren Altersklassen beobachtet werden. Risikofaktoren für Kopfverletzungen stellen Zweikämpfe sowie erhöhte Ellenbogenpositionen dar.

Mit den Erkenntnissen dieser Arbeit lassen sich zielgenauere Anpassungen in der Präventionsarbeit ableiten. Beispielsweise kann durch eine Änderung des Spielsystems mit Reduktion der Häufigkeiten von Einwürfen sowie Eckbällen die Anzahl der Kopfbälle gerade in der jüngsten Altersklasse gemindert werden. Des Weiteren kann ein fokussiertes Trainieren von Zweikampfverhalten sowie die Optimierung der Nacken- sowie Rumpfmuskulatur zu einer Reduktion von Kopfverletzungen beitragen. Zudem gilt es die Inzidenz von gefährlichem Spiel mit hohem Ellenbogen weiter zu reduzieren. Nicht zuletzt besteht weiterhin der Bedarf von Edukation im Hinblick auf das Erkennen von Kopfverletzungen sowie die Umsetzung von Handlungsempfehlungen wie beispielsweise des SCAT und Return-to-play Protokollen.

Zusammengefasst lässt sich somit im Hinblick auf die vier Hauptfragestellungen der Arbeit ableiten: Kopfverletzungen sind eine seltene Folge des Kopfballspiels im Juniorenfußball. Das Kopfballspiel verändert sich mit dem Heranwachsen und steigender Professionalität, welches sich insbesondere durch eine Zunahme der Häufigkeit im höheren Alter sowie des Impacts des Balles auf den Kopf, aber auch die Änderung der Spielsituation feststellen lässt. Die Videoanalyse ist ein probates Mittel, um eine Analyse des Kopfballspiels durchzuführen. Deren Vorteil stellt insbesondere die repetitive Untersuchungstechnik dar. Verbessert werden kann diese durch Optimierung des zur Verfügung stehenden Materials. Abschließend kann durch präventive Maßnahmen eine Reduktion des Risikos für kopfverletzungsträchtigen Situationen als auch eine Verbesserung im Erkennen von Kopfverletzungen erreicht werden.

7. Literaturverzeichnis

- 1 Abraham, Karan Joshua; Casey, Julia; Subotic, Arsenije; Tarzi, Christopher; Zhu, Alice; Cusimano, Michael D. (2019): Medical assessment of potential concussion in elite football: video analysis of the 2016 UEFA European championship. In: *BMJ open* 9 (5), e024607. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-024607.
- 2 Andersen, T. E.; Arnason, A.; Engebretsen, L.; Bahr, R. (2004): Mechanisms of head injuries in elite football. In: *British journal of sports medicine* 38 (6), S. 690–696. DOI: 10.1136/bjsm.2003.009357.
- 3 Armstrong, Nicholas; Rotundo, Mario; Aubrey, Jason; Tarzi, Christopher; Cusimano, Michael D. (2020): Characteristics of potential concussive events in three elite football tournaments. In: *Injury prevention : journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention* 26 (4), S. 334–338. DOI: 10.1136/injuryprev-2019-043242.
- 4 Arnason, Arni; Tenga, Albin; Engebretsen, Lars; Bahr, Roald (2004): A prospective video-based analysis of injury situations in elite male football: football incident analysis. In: *The American journal of sports medicine* 32 (6), S. 1459–1465. DOI: 10.1177/0363546504262973.
- 5 Bailes, Julian E.; Petraglia, Anthony L.; Omalu, Bennet I.; Nauman, Eric; Talavage, Thomas (2013): Role of subconcussion in repetitive mild traumatic brain injury. In: *JNS* 119 (5), S. 1235–1245. DOI: 10.3171/2013.7.JNS121822.
- 6 Baragi, Vijaykumar M.; Gattu, Ramtilak; Trifan, Gabriela; Woodard, John L.; Meyers, Kortney; Halstead, Tim S. et al. (2022): Neuroimaging Markers for Determining Former American Football Players at Risk for Alzheimer's Disease. In: *Neurotrauma reports* 3 (1), S. 398–414. DOI: 10.1089/neur.2022.0020.
- 7 Bartens, Werner (2016): Wie Kopfbälle das Gehirn schädigen. Hg. v. Süddeutsche Zeitung. Online verfügbar unter <https://www.sueddeutsche.de/gesundheit/gedaechtnisverlust-wie-kopfbaelle-das-gehirn-schaedigen-1.2873594>, zuletzt geprüft am 25.10.2022. Baugh, Christine M.; Stamm, Julie M.; Riley, David O.; Gavett, Brandon E.; Shenton,

- Martha E.; Lin, Alexander et al. (2012): Chronic traumatic encephalopathy: neurodegeneration following repetitive concussive and subconcussive brain trauma. In: *Brain imaging and behavior* 6 (2), S. 244–254. DOI: 10.1007/s11682-012-9164-5.
- 8 Beaudouin, Florian; Fünten, Karen aus der; Tröb, Tobias; Reinsberger, Claus; Meyer, Tim (2019a): Head injuries in professional male football (soccer) over 13 years: 29% lower incidence rates after a rule change (red card). In: *British journal of sports medicine* 53 (15), S. 948–952. DOI: 10.1136/bjsports-2016-097217.
 - 9 Beaudouin, Florian; Gioftsidou, Asimenia; Larsen, Malte Nejst; Lemmink, Koen; Drust, Barry; Modena, Roberto et al. (2020): The UEFA Heading Study: Heading incidence in children's and youth' football (soccer) in eight European countries. In: *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 30 (8), S. 1506–1517. DOI: 10.1111/sms.13694.
 - 10 Beaudouin, Florian; Rössler, Roland; Fünten, Karen aus der; Bizzini, Mario; Chomiak, Jiri; Verhagen, Evert et al. (2019b): Effects of the '11+ Kids' injury prevention programme on severe injuries in children's football: a secondary analysis of data from a multicentre cluster-randomised controlled trial. In: *British journal of sports medicine* 53 (22), S. 1418–1423. DOI: 10.1136/bjsports-2018-099062.
 - 11 Bjørneboe, John; Bahr, Roald; Dvorak, Jiri; Andersen, Thor Einar (2013): Lower incidence of arm-to-head contact incidents with stricter interpretation of the Laws of the Game in Norwegian male professional football. In: *British journal of sports medicine* 47 (8), S. 508–514. DOI: 10.1136/bjsports-2012-091522.
 - 12 Bjørneboe, John; Bahr, Roald; Einar Andersen, Thor (2014): Video analysis of situations with a high-risk for injury in Norwegian male professional football; a comparison between 2000 and 2010. In: *British journal of sports medicine* 48 (9), S. 774–778. DOI: 10.1136/bjsports-2012-091856.
 - 13 Broglio, Steven P.; Cantu, Robert C.; Gioia, Gerard A.; Guskiewicz, Kevin M.; Kutcher, Jeffrey; Palm, Michael; Valovich McLeod, Tamara C. (2014): National Athletic Trainers' Association position statement: management of sport

- concussion. In: *Journal of athletic training* 49 (2), S. 245–265. DOI: 10.4085/1062-6050-49.1.07.
- 14 Broglio, Steven P.; Eckner, James T.; Paulson, Henry L.; Kutcher, Jeffery S. (2012): Cognitive decline and aging: the role of concussive and subconcussive impacts. In: *Exercise and sport sciences reviews* 40 (3), S. 138–144. DOI: 10.1097/JES.0b013e3182524273.
 - 15 Bundesgesundheitsministerium (2019): Prävention | Bundesgesundheitsministerium. Online verfügbar unter <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/begriffe-von-a-z/p/praevention.html>, zuletzt aktualisiert am 18.12.2022, zuletzt geprüft am 18.12.2022.
 - 16 Caccese, Jaclyn B.; Kaminski, Thomas W. (2016): Minimizing Head Acceleration in Soccer: A Review of the Literature. In: *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 46 (11), S. 1591–1604. DOI: 10.1007/s40279-016-0544-7.
 - 17 Cournoyer, Janie; Tripp, Brady L. (2014): Concussion knowledge in high school football players. In: *Journal of athletic training* 49 (5), S. 654–658. DOI: 10.4085/1062-6050-49.3.34.
 - 18 Cuff, Steven; Maki, Aaron; Feiss, Robyn; Young, Julie; Shi, Junxin; Hautmann, Amanda; Yang, Jingzhen (2022): Risk factors for prolonged recovery from concussion in young patients. In: *British journal of sports medicine* 56 (23), S. 1345–1352. DOI: 10.1136/bjsports-2022-105598.
 - 19 Davenport, Elizabeth M.; Urban, Jillian E.; Mokhtari, Fatemeh; Lowther, Ervin L.; van Horn, John D.; Vaughan, Christopher G. et al. (2016): Subconcussive impacts and imaging findings over a season of contact sports. In: *Concussion (London, England)* 1 (4), CNC19. DOI: 10.2217/cnc-2016-0003.
 - 20 Davis, Gavin A.; Makdissi, Michael; Bloomfield, Paul; Clifton, Patrick; Echemendia, Ruben J.; Falvey, Éanna Cian et al. (2019): International study of video review of concussion in professional sports. In: *British journal of sports medicine* 53 (20), S. 1299–1304. DOI: 10.1136/bjsports-2018-099727.
 - 21 Davis, Gavin A.; Purcell, Laura; Schneider, Kathryn J.; Yeates, Keith Owen; Gioia, Gerard A.; Anderson, Vicki et al. (2017): The Child Sport Concussion

- Assessment Tool 5th Edition (Child SCAT5): Background and rationale. In: *British journal of sports medicine* 51 (11), S. 859–861. DOI: 10.1136/bjsports-2017-097492.
- 22 Delaney, J. S.; Al-Kashmiri, A.; Drummond, R.; Correa, J. A. (2008): The effect of protective headgear on head injuries and concussions in adolescent football (soccer) players. In: *British journal of sports medicine* 42 (2), 110-5; discussion 115. DOI: 10.1136/bjism.2007.037689.
- 23 Delaney, J. Scott; Lacroix, Vincent J.; Leclerc, Suzanne; Johnston, Karen M. (2002): Concussions among university football and soccer players. In: *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine* 12 (6), S. 331–338. DOI: 10.1097/00042752-200211000-00003.
- 24 DFB (2014): DAS PERFEKTE TIMING BEIM KOPFBALL LERNEN! Online verfügbar unter <https://www.dfb.de/trainer/artikel/das-perfekte-timing-beim-kopfball-lernen-1088/>, zuletzt geprüft am 26.10.2022.
- 25 DFB (2022a): DFB-Statistik 2022. Online verfügbar unter <https://www.dfb.de/verbandsstruktur/mitglieder/aktuelle-statistik/>, zuletzt geprüft am 25.10.2022.
- 26 DFB (2022b): GEPLANT: NEUE SPIELFORMEN IM KINDERFUSSBALL AB 2024 VERBINDLICH. Online verfügbar unter <https://www.dfb.de/news/detail/geplant-neue-spielformen-im-kinderfussball-ab-2024-verbindlich-236365/>, zuletzt geprüft am 26.10.2022.
- 27 DFB (2022c): Verbandsstruktur. Online verfügbar unter <https://www.dfb.de/verbandsstruktur/>, zuletzt geprüft am 25.10.2022.
- 28 DFB (2022d): DFB-Training online: Tipps für ein dosiertes Kopfballtraining. Online verfügbar unter <https://www.dfb.de/trainer/c-juniorin/artikel/dfb-training-online-tipps-fuer-ein-dosiertes-kopfballtraining-3020/>, zuletzt aktualisiert am 01.12.2022, zuletzt geprüft am 01.12.2022.
- 29 Di Virgilio, Thomas G.; Hunter, Angus; Wilson, Lindsay; Stewart, William; Goodall, Stuart; Howatson, Glyn et al. (2016): Evidence for Acute Electrophysiological and Cognitive Changes Following Routine Soccer Heading. In: *EBioMedicine* 13, S. 66–71. DOI: 10.1016/j.ebiom.2016.10.029.

- 30 Dvorak J.; Junge A.; Grimm K. (2009): Head and brain injuries. In: Football Medicine Manual. Hg. v. Federation Internationale de Football Association. Zürich.
- 31 Echemendia, Ruben J.; Burma, Joel S.; Bruce, Jared M.; Davis, Gavin A.; Giza, Christopher C.; Guskiewicz, Kevin M. et al. (2023): Acute evaluation of sport-related concussion and implications for the Sport Concussion Assessment Tool (SCAT6) for adults, adolescents and children: a systematic review. In: *British journal of sports medicine* 57 (11), S. 722–735. DOI: 10.1136/bjsports-2022-106661.
- 32 Echemendia, Ruben J.; Meeuwisse, Willem; McCrory, Paul; Davis, Gavin A.; Putukian, Margot; Leddy, John et al. (2017): The Sport Concussion Assessment Tool 5th Edition (SCAT5): Background and rationale. In: *British journal of sports medicine* 51 (11), S. 848–850. DOI: 10.1136/bjsports-2017-097506.
- 33 Emery, Carolyn A.; Roy, Thierry-Olivier; Whittaker, Jackie L.; Nettel-Aguirre, Alberto; van Mechelen, Willem (2015): Neuromuscular training injury prevention strategies in youth sport: a systematic review and meta-analysis. In: *British journal of sports medicine* 49 (13), S. 865–870. DOI: 10.1136/bjsports-2015-094639.
- 34 FIFA (2006):
<https://digitalhub.fifa.com/m/55621f9fdc8ea7b4/original/mzid0qmguixkcmruvem-a-pdf.pdf>. Online verfügbar unter
<https://digitalhub.fifa.com/m/55621f9fdc8ea7b4/original/mzid0qmguixkcmruvem-a-pdf.pdf>, zuletzt geprüft am 25.10.2022.
- 35 FIFA (2022): Die FIFA unterstützt die 211 Mitgliedsverbände im Rahmen zahlreicher Programme finanziell und logistisch. Online verfügbar unter <https://resources.qa.fifa.com/de/about-fifa/associations>, zuletzt geprüft am 25.10.2022.
- 36 Fuller, C. W.; Ekstrand, J.; Junge, A.; Andersen, T. E.; Bahr, R.; Dvorak, J. et al. (2006): Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. In: *British journal of sports medicine* 40 (3), S. 193–201. DOI: 10.1136/bjism.2005.025270.

- 37 Gardner, A. J.; Kohler, R. M. N.; Levi, C. R.; Iverson, G. L. (2017a): Usefulness of Video Review of Possible Concussions in National Youth Rugby League. In: *International journal of sports medicine* 38 (1), S. 71–75. DOI: 10.1055/s-0042-116072.
- 38 Gardner, Andrew; Iverson, Grant L.; McCrory, Paul (2014): Chronic traumatic encephalopathy in sport: a systematic review. In: *British journal of sports medicine* 48 (2), S. 84–90. DOI: 10.1136/bjsports-2013-092646.
- 39 Gardner, Andrew J.; Howell, David R.; Levi, Christopher R.; Iverson, Grant L. (2017b): Evidence of Concussion Signs in National Rugby League Match Play: a Video Review and Validation Study. In: *Sports medicine - open* 3 (1), S. 29. DOI: 10.1186/s40798-017-0097-9.
- 40 Guskiewicz, Kevin M.; Bruce, Scott L.; Cantu, Robert C.; Ferrara, Michael S.; Kelly, James P.; McCrea, Michael et al. (2004): National Athletic Trainers' Association Position Statement: Management of Sport-Related Concussion. In: *Journal of athletic training* 39 (3), S. 280–297.
- 41 Hartmann, Ulrich (2022): Wie ein Alptraum, der zurückkommt. Süddeutsche Zeitung. Bielefeld. Online verfügbar unter <https://www.sueddeutsche.de/sport/klos-arminia-bielefeld-verletzung-stuttgart-1.5560042>, zuletzt geprüft am 26.10.2022.
- 42 Held, Fabian (2022): Kopfverletzungen im Fußball : Kopfverletzungen im Fußball - "Ohne Helm gehe ich nicht mehr auf den Rasen". Hg. v. Zeit Online. Online verfügbar unter https://www.zeit.de/sport/2022-05/fussball-kopfverletzungen-damian-rossbach-dfb?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.bing.com%2F, zuletzt geprüft am 25.10.2022.
- 43 Hislop, Michael D.; Stokes, Keith A.; Williams, Sean; McKay, Carly D.; England, Mike E.; Kemp, Simon P. T.; Trewartha, Grant (2017): Reducing musculoskeletal injury and concussion risk in schoolboy rugby players with a pre-activity movement control exercise programme: a cluster randomised controlled trial. In: *British journal of sports medicine* 51 (15), S. 1140–1146. DOI: 10.1136/bjsports-2016-097434.

- 44 Jordan, Barry D. (2013): The clinical spectrum of sport-related traumatic brain injury. In: *Nature reviews. Neurology* 9 (4), S. 222–230. DOI: 10.1038/nrneurol.2013.33.
- 45 Karlin, Aaron M. (2011): Concussion in the pediatric and adolescent population: "different population, different concerns". In: *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation* 3 (10 Suppl 2), S369-79. DOI: 10.1016/j.pmrj.2011.07.015.
- 46 Klein, C.; Bloch, H.; Burkhardt, K.; Kühn, N.; Pietzonka (2020): VBG-Sportreport 2020 - Analyse des Unfallgeschehens in den zwei höchsten Ligen der Männer: Basketball, Eishockey, Fußball, Handball. Hamburg, zuletzt geprüft am 25.10.2022.
- 47 Koerte, Inga K.; Ertl-Wagner, Birgit; Reiser, Maximilian; Zafonte, Ross; Shenton, Martha E. (2012): White matter integrity in the brains of professional soccer players without a symptomatic concussion. In: *JAMA* 308 (18), S. 1859–1861. DOI: 10.1001/jama.2012.13735.
- 48 Koerte, Inga K.; Mayinger, Michael; Muehlmann, Marc; Kaufmann, David; Lin, Alexander P.; Steffinger, Denise et al. (2016): Cortical thinning in former professional soccer players. In: *Brain imaging and behavior* 10 (3), S. 792–798. DOI: 10.1007/s11682-015-9442-0.
- 49 Kontos, Anthony P.; Braithwaite, Rock; Chrisman, Sara P. D.; McAllister-Deitrick, Jamie; Symington, Larissa; Reeves, Valerie L.; Collins, Michael W. (2017): Systematic review and meta-analysis of the effects of football heading. In: *British journal of sports medicine* 51 (15), S. 1118–1124. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096276.
- 50 Krusch, Volker; Krusch, Werner; Jansen, Petra; Hoffmann, Helmut; Angele, Peter; Lehmann, Jennifer et al. (2017): Prävention von Gehirnerschütterungen im Juniorenfußball – Ist eine Abschaffung des Kopfballspiels notwendig? In: *Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin* 31 (3), S. 143–153. DOI: 10.1055/s-0043-113208.
- 51 Krusch, Werner; Voss, Andreas; Gerling, Stephan; Grechenig, Stephan; Nerlich, Michael; Angele, Peter (2014): First aid on field management in youth

- football. In: *Arch Orthop Trauma Surg* 134 (9), S. 1301–1309. DOI: 10.1007/s00402-014-2041-5.
- 52 Langdon, Shari; Goedhart, Edwin; Oosterlaan, Jaap; Königs, Marsh (2022): Heading Exposure in Elite Football (Soccer): A Study in Adolescent, Young Adult, and Adult Male and Female Players. In: *Medicine and science in sports and exercise* 54 (9), S. 1459–1465. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002945.
 - 53 Lehman, Everett J.; Hein, Misty J.; Baron, Sherry L.; Gersic, Christine M. (2012): Neurodegenerative causes of death among retired National Football League players. In: *Neurology* 79 (19), S. 1970–1974. DOI: 10.1212/WNL.0b013e31826daf50.
 - 54 Ling, Helen; Morris, Huw R.; Neal, James W.; Lees, Andrew J.; Hardy, John; Holton, Janice L. et al. (2017): Mixed pathologies including chronic traumatic encephalopathy account for dementia in retired association football (soccer) players. In: *Acta neuropathologica* 133 (3), S. 337–352. DOI: 10.1007/s00401-017-1680-3.
 - 55 Lipton, Michael L.; Kim, Namhee; Zimmerman, Molly E.; Kim, Mimi; Stewart, Walter F.; Branch, Craig A.; Lipton, Richard B. (2013): Soccer heading is associated with white matter microstructural and cognitive abnormalities. In: *Radiology* 268 (3), S. 850–857. DOI: 10.1148/radiol.13130545.
 - 56 Mackay, Daniel F.; Russell, Emma R.; Stewart, Katy; MacLean, John A.; Pell, Jill P.; Stewart, William (2019): Neurodegenerative Disease Mortality among Former Professional Soccer Players. In: *The New England journal of medicine* 381 (19), S. 1801–1808. DOI: 10.1056/NEJMoa1908483.
 - 57 Maher, Monica E.; Hutchison, Michael; Cusimano, Michael; Comper, Paul; Schweizer, Tom A. (2014): Concussions and heading in soccer: a review of the evidence of incidence, mechanisms, biomarkers and neurocognitive outcomes. In: *Brain injury* 28 (3), S. 271–285. DOI: 10.3109/02699052.2013.865269.
 - 58 Makdissi, Michael; Davis, Gavin (2016): Using video analysis for concussion surveillance in Australian football. In: *Journal of science and medicine in sport* 19 (12), S. 958–963. DOI: 10.1016/j.jsams.2016.02.014.

- 59 McCrea, Michael; Hammeke, Thomas; Olsen, Gary; Leo, Peter; Guskiewicz, Kevin (2004): Unreported concussion in high school football players: implications for prevention. In: *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine* 14 (1), S. 13–17. DOI: 10.1097/00042752-200401000-00003.
- 60 McCrory, Paul; Feddermann-Demont, Nina; Dvořák, Jiří; Cassidy, J. David; McIntosh, Andrew; Vos, Pieter E. et al. (2017a): What is the definition of sports-related concussion: a systematic review. In: *British journal of sports medicine* 51 (11), S. 877–887. DOI: 10.1136/bjsports-2016-097393.
- 61 McCrory, Paul; Meeuwisse, Willem; Dvořák, Jiří; Aubry, Mark; Bailes, Julian; Broglio, Steven et al. (2017b): Consensus statement on concussion in sport-the 5th international conference on concussion in sport held in Berlin, October 2016. In: *British journal of sports medicine* 51 (11), S. 838–847. DOI: 10.1136/bjsports-2017-097699.
- 62 McCrory, Paul; Meeuwisse, Willem H.; Aubry, Mark; Cantu, Bob; Dvorák, Jirí; Echemendia, Ruben J. et al. (2013): Consensus statement on concussion in sport: the 4th International Conference on Concussion in Sport held in Zurich, November 2012. In: *British journal of sports medicine* 47 (5), S. 250–258. DOI: 10.1136/bjsports-2013-092313.
- 63 McCunn, Robert; Beaudouin, Florian; Stewart, Katy; Meyer, Tim; MacLean, John (2021): Heading in Football: Incidence, Biomechanical Characteristics and the Association with Acute Cognitive Function-A Three-Part Systematic Review. In: *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 51 (10), S. 2147–2163. DOI: 10.1007/s40279-021-01492-z.
- 64 McGuine, Timothy; Post, Eric; Pfaller, Adam Yakuro; Hetzel, Scott; Schwarz, Allison; Brooks, M. Alison; Kliethermes, Stephanie A. (2020): Does soccer headgear reduce the incidence of sport-related concussion? A cluster, randomised controlled trial of adolescent athletes. In: *British journal of sports medicine* 54 (7), S. 408–413. DOI: 10.1136/bjsports-2018-100238.
- 65 McKee, Ann C.; Cairns, Nigel J.; Dickson, Dennis W.; Folkerth, Rebecca D.; Keene, C. Dirk; Litvan, Irene et al. (2016): The first NINDS/NIBIB consensus meeting to define neuropathological criteria for the diagnosis of chronic

- traumatic encephalopathy. In: *Acta neuropathologica* 131 (1), S. 75–86. DOI: 10.1007/s00401-015-1515-z.
- 66 McKee, Ann C.; Daneshvar, Daniel H.; Alvarez, Victor E.; Stein, Thor D. (2014): The neuropathology of sport. In: *Acta neuropathologica* 127 (1), S. 29–51. DOI: 10.1007/s00401-013-1230-6.
- 67 McKee, Ann C.; Stern, Robert A.; Nowinski, Christopher J.; Stein, Thor D.; Alvarez, Victor E.; Daneshvar, Daniel H. et al. (2013): The spectrum of disease in chronic traumatic encephalopathy. In: *Brain : a journal of neurology* 136 (Pt 1), S. 43–64. DOI: 10.1093/brain/aws307.
- 68 McLendon, Loren A.; Kralik, Stephen F.; Grayson, Patricia A.; Golomb, Meredith R. (2016): The Controversial Second Impact Syndrome: A Review of the Literature. In: *Pediatric neurology* 62, S. 9–17. DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2016.03.009.
- 69 Mez, Jesse; Daneshvar, Daniel H.; Abdolmohammadi, Bobak; Chua, Alicia S.; Alosco, Michael L.; Kiernan, Patrick T. et al. (2020): Duration of American Football Play and Chronic Traumatic Encephalopathy. In: *Annals of neurology* 87 (1), S. 116–131. DOI: 10.1002/ana.25611.
- 70 Mez, Jesse; Daneshvar, Daniel H.; Kiernan, Patrick T.; Abdolmohammadi, Bobak; Alvarez, Victor E.; Huber, Bertrand R. et al. (2017): Clinicopathological Evaluation of Chronic Traumatic Encephalopathy in Players of American Football. In: *JAMA* 318 (4), S. 360–370. DOI: 10.1001/jama.2017.8334.
- 71 Montenigro, Philip H.; Baugh, Christine M.; Daneshvar, Daniel H.; Mez, Jesse; Budson, Andrew E.; Au, Rhoda et al. (2014): Clinical subtypes of chronic traumatic encephalopathy: literature review and proposed research diagnostic criteria for traumatic encephalopathy syndrome. In: *Alzheimer's research & therapy* 6 (5), S. 68. DOI: 10.1186/s13195-014-0068-z.
- 72 Nguyen, Vy T.; Zafonte, Ross D.; Chen, Jarvis T.; Kponee-Shovein, Kalé Z.; Paganoni, Sabrina; Pascual-Leone, Alvaro et al. (2019): Mortality Among Professional American-Style Football Players and Professional American Baseball Players. In: *JAMA network open* 2 (5), e194223. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2019.4223.

- 73 Patricios, Jon S.; Schneider, Kathryn J.; Dvorak, Jiri; Ahmed, Osman Hassan; Blauwet, Cheri; Cantu, Robert C. et al. (2023): Consensus statement on concussion in sport: the 6th International Conference on Concussion in Sport- Amsterdam, October 2022. In: *British journal of sports medicine* 57 (11), S. 695–711. DOI: 10.1136/bjsports-2023-106898.
- 74 Peek, Kerry; Vella, Teale; Meyer, Tim; Beaudouin, Florian; McKay, Marnee (2021): The incidence and characteristics of purposeful heading in male and female youth football (soccer) within Australia. In: *Journal of science and medicine in sport* 24 (6), S. 603–608. DOI: 10.1016/j.jsams.2020.12.010.
- 75 Pfister, Ted; Pfister, Ken; Hagel, Brent; Ghali, William A.; Ronksley, Paul E. (2016): The incidence of concussion in youth sports: a systematic review and meta-analysis. In: *British journal of sports medicine* 50 (5), S. 292–297. DOI: 10.1136/bjsports-2015-094978.
- 76 Prien, Annika; Grafe, Alexander; Rössler, Roland; Junge, Astrid; Verhagen, Evert (2018): Epidemiology of Head Injuries Focusing on Concussions in Team Contact Sports: A Systematic Review. In: *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 48 (4), S. 953–969. DOI: 10.1007/s40279-017-0854-4.
- 77 Putukian, M.; Echemendia, R. J.; Mackin, S. (2000): The acute neuropsychological effects of heading in soccer: a pilot study. In: *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine* 10 (2), S. 104–109. DOI: 10.1097/00042752-200004000-00004.
- 78 Rieder, Cornelia; Jansen, Petra (2011): No neuropsychological consequence in male and female soccer players after a short heading training. In: *Archives of clinical neuropsychology : the official journal of the National Academy of Neuropsychologists* 26 (7), S. 583–591. DOI: 10.1093/arclin/acr055.
- 79 Rodrigues, Ana Carolina; Lasmar, Rodrigo Pace; Caramelli, Paulo (2016): Effects of Soccer Heading on Brain Structure and Function. In: *Frontiers in neurology* 7, S. 38. DOI: 10.3389/fneur.2016.00038.
- 80 Rössler, Roland; Junge, Astrid; Bizzini, Mario; Verhagen, Evert; Chomiak, Jiri; Fünten, Karen aus der et al. (2018): A Multinational Cluster Randomised Controlled Trial to Assess the Efficacy of '11+ Kids': A Warm-Up Programme to

- Prevent Injuries in Children's Football. In: *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 48 (6), S. 1493–1504. DOI: 10.1007/s40279-017-0834-8.
- 81 Rowson, Steven; Duma, Stefan M.; Beckwith, Jonathan G.; Chu, Jeffrey J.; Greenwald, Richard M.; Crisco, Joseph J. et al. (2012): Rotational head kinematics in football impacts: an injury risk function for concussion. In: *Annals of biomedical engineering* 40 (1), S. 1–13. DOI: 10.1007/s10439-011-0392-4.
 - 82 Sandmo, Stian Bahr; Andersen, Thor Einar; Koerte, Inga Katharina; Bahr, Roald (2020): Head impact exposure in youth football-Are current interventions hitting the target? In: *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 30 (1), S. 193–198. DOI: 10.1111/sms.13562.
 - 83 Shewchenko, N.; Withnall, C.; Keown, M.; Gittens, R.; Dvorak, J. (2005a): Heading in football. Part 1: development of biomechanical methods to investigate head response. In: *British journal of sports medicine* 39 Suppl 1 (Suppl 1), i10-25. DOI: 10.1136/bjsm.2005.019034.
 - 84 Shewchenko, N.; Withnall, C.; Keown, M.; Gittens, R.; Dvorak, J. (2005b): Heading in football. Part 2: biomechanics of ball heading and head response. In: *British journal of sports medicine* 39 Suppl 1, i26-32. DOI: 10.1136/bjsm.2005.019042.
 - 85 Shewchenko, N.; Withnall, C.; Keown, M.; Gittens, R.; Dvorak, J. (2005c): Heading in football. Part 3: effect of ball properties on head response. In: *British journal of sports medicine* 39 Suppl 1, i33-9. DOI: 10.1136/bjsm.2005.019059.
 - 86 Spiotta, Alejandro M.; Bartsch, Adam J.; Benzel, Edward C. (2012): Heading in soccer: dangerous play? In: *Neurosurgery* 70 (1), 1-11; discussion 11. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31823021b2.
 - 87 Stein, Thor D.; Alvarez, Victor E.; McKee, Ann C. (2015): Concussion in Chronic Traumatic Encephalopathy. In: *Current pain and headache reports* 19 (10), S. 47. DOI: 10.1007/s11916-015-0522-z.
 - 88 Tarzi, Christopher; Aubrey, Jason; Rotundo, Mario; Armstrong, Nicholas; Saha, Ashirbani; Cusimano, Michael D. (2020): Professional assessment of potential concussions in elite football tournaments. In: *Injury prevention : journal of the*

International Society for Child and Adolescent Injury Prevention 26 (6), S. 536–539. DOI: 10.1136/injuryprev-2019-043397.

- 89 Tucker, Ross; Raftery, Martin; Fuller, Gordon Ward; Hester, Ben; Kemp, Simon; Cross, Matthew J. (2017): A video analysis of head injuries satisfying the criteria for a head injury assessment in professional Rugby Union: a prospective cohort study. In: *British journal of sports medicine* 51 (15), S. 1147–1151. DOI: 10.1136/bjsports-2017-097883.
- 90 United States Soccer Federation (2015): Joint Statement Regarding Concussion Litigation Resolution. Online verfügbar unter <https://www.businesswire.com/news/home/20151109006866/en/Hagens-Berman-Soccer-Organizations-Issue-Joint-Statement>, zuletzt geprüft am 25.10.2022.
- 91 Vann Jones, Simon Andrew; Breakey, Richard William; Evans, Philip John (2014): Heading in football, long-term cognitive decline and dementia: evidence from screening retired professional footballers. In: *British journal of sports medicine* 48 (2), S. 159–161. DOI: 10.1136/bjsports-2013-092758.
- 92 White, Peta E.; Newton, Joshua D.; Makdissi, Michael; Sullivan, S. John; Davis, Gavin; McCrory, Paul et al. (2014): Knowledge about sports-related concussion: is the message getting through to coaches and trainers? In: *British journal of sports medicine* 48 (2), S. 119–124. DOI: 10.1136/bjsports-2013-092785.
- 93 Withnall, C.; Shewchenko, N.; Wonnacott, M.; Dvorak, J. (2005): Effectiveness of headgear in football. In: *British journal of sports medicine* 39 Suppl 1 (Suppl 1), i40-8; discussion i48. DOI: 10.1136/bjism.2005.019174.
- 94 Zetterberg, Henrik; Jonsson, Michael; Rasulzada, Abdullah; Popa, Cornel; Styruud, Ewa; Hietala, Max Albert et al. (2007): No neurochemical evidence for brain injury caused by heading in soccer. In: *British journal of sports medicine* 41 (9), S. 574–577. DOI: 10.1136/bjism.2007.037143.

8. Abkürzungsverzeichnis

AV	Außenverteidiger (Position im Fußball)
bzw.	beziehungsweise
BL	Bundesliga
BuLi/NLZ	Bundesliga/Nachwuchsleistungszentrum
CI	Critical Incident
CT	Computertomographie
CTE	chronisch traumatische Enzephalopathie
DFB	Deutscher Fußball Verband
DM	Defensives Mittelfeld (Position im Fußball)
dt.	deutsch
eCRF	electronic Case Report Form
fMRT	funktionelles MRT
FIFA	Fédération Internationale de Football Association
GCS	Glasgow Coma Scale
IR	Inzidenzrate
IV	Innenverteidiger (Position im Fußball)
KB	Kopfball
KV	Kopfverletzung
MRT	Magnetresonanztomographie
n	Gesamtmenge
OM	Offensives Mittelfeld (Position im Fußball)
OR	Odds Ratio
REDCap	Research Electronic Data Capture
RSHI	Repetitive subconcussive head impacts
S	Sturm (Position im Fußball)
SCAT	Sports Concussion Assessment Tool
SHT	Schädelhirntrauma
TW	Torwart (Position im Fußball)
VBG	Verwaltungs-Berufsgenossenschaft
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel

9. Danksagung

Abschließend möchte ich gerne noch den Menschen danken, die mich bei der Verfassung der Arbeit sowie während des Medizinstudiums unterstützt haben und ohne deren Hilfe diese Dissertation nicht entstanden wäre.

Zuerst gilt mein herzliches Dankeschön meinem Doktorvater Prof. Dr. Werner Krutsch, der diese Arbeit ermöglicht hat. Durch seine offene und sympathische Art sowie die Leidenschaft für den Fußball wurde mein Interesse für die Forschung im Sport geweckt.

Besonderen Dank möchte ich auch Dr. Johannes Weber, dem Betreuer der Arbeitsgruppe, aussprechen, der zu jederzeit ein offenes Ohr hatte und mich mit viel Engagement in dieser Arbeit unterstützte. Gerade auch für die kritische Durchsicht der Arbeit möchte ich mich außerordentlich bedanken.

Dem Zentrum für klinische Studien mit zuvorderst Herrn Gunnar Huppertz ist für die Erstellung sowie Verwaltung der Datenbanken der digitalen Fragebögen zu danken.

Zuletzt danke ich noch meiner Familie, die mich während des gesamten Studiums sowohl finanziell als auch persönlich immer unterstützt und mir so meinen Lebensweg ermöglicht haben. Vor allem danke ich auch meinem Freund Jonas, der mir immer zur Seite steht und motivierend unterstützte.

10. Selbstständigkeitserklärung

Ich, Veronika Anne Seitz, geboren am 24.11.1993 in Vilshofen, erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Veronika Anne Seitz, Straubing den 27.03.2025