

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 Profifußball der Frauen

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Susanne Martina Waitz

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 Profifußball der Frauen

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Susanne Martina Waitz

Dekan: Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Werner Krutsch

2. Berichterstatter: PD Dr. Konstantin Drexler

Tag der mündlichen Prüfung 05.06.2026

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Einleitung.....	7
1.1 Der Kopfball im Fußball.....	8
1.2 Kopfverletzungen im Fußball	9
1.2.1 Das Schädel-Hirn-Trauma.....	11
1.2.2 Repetitive subconcussive head impacts.....	13
1.2.3 Zentral-neurologische Langzeitschäden.....	14
1.3 Kopfballspiel und seine Folgen:	16
1.4 Videoanalyse im Sport	18
2 Zielsetzung	20
3 Methoden.....	21
3.1 Material	21
3.1.1 Hardware und Software.....	21
3.2 Methodik	22
3.2.1 Studiendesign.....	22
3.2.2 Analyseverfahren.....	23
3.2.3. Statistische Auswertung	26
3.2.4. Ein- und Ausschlusskriterien	26
4 Ergebnisse.....	27
4.1 Charakterisierung des Studienkollektivs	27
4.2 Epidemiologische Analyse von Kopfbällen.....	27
4.2.1 Spielsituation	28
4.2.2. Kopfballverhalten.....	31
4.2.3 Zweikampfverhalten	33
4.3 Epidemiologische Analyse von Kopfverletzungen.....	37

4.3.1. Inzidenz von Kopfverletzungen in der 1. Frauen Bundesliga.....	39
4.3.2. Analyse der Spielsituation	39
4.3.3. Konsequenz der Kopfverletzung.....	44
4.3.4 Risikofaktoren für Kopfverletzungen.....	46
5. Diskussion	48
5.1 Das Kopfballspiel und seine Folgen – eine Einordnung	48
5.1.1 Die Videoanalyse als Hilfsmittel zum realen Abbild des Spielbetriebs.....	48
5.1.2 Geschlechterspezifischer Vergleich des Kopfballverhaltens	50
5.1.3 Kopfverletzungen als Folge des Kopfballspiels?	53
5.1.4 Fehlende Zahlen zu Kopfverletzungen im deutschen Frauenfußball.....	54
5.2 Methodische Aspekte.....	55
5.2.1 Die Videoanalyse als probates Instrument der Spielanalyse	55
5.2.2 Standardisierte Fragebögen zur Erfassung der Daten	56
5.2.3 Der Critical Incident als Marker potenzieller Verletzungssituationen	57
5.3 Stärken und Limitierungen der Studie	58
5.4. Ausblick.....	60
6. Fazit.....	61
7. Literaturverzeichnis	63
8. Abkürzungsverzeichnis.....	74
9. Danksagung	
10. Lebenslauf	
11. Selbstständigkeitserklärung.....	

Zusammenfassung

Kopfverletzungen im Fußball wurden in den letzten Jahren immer mehr Aufmerksamkeit zuteil. Potenziell schwere gesundheitliche Langzeitfolgen durch wiederholte Kopf-Traumata wurden kontrovers diskutiert. Auch das Kopfballsport selbst wurde hinsichtlich struktureller Schädigungen auf das Gehirn, sowohl im Kinder- und Jugendbereich als auch im Erwachsenensport, am größeren Kollektiven untersucht. Die Häufigkeit von Verletzungen im Kopf- und Hals Bereich ist im Fußball durch die hohe Körperkontaktkomponente nicht unbeträchtlich, und liegt an zweiter Stelle hinter den Läsionen der unteren Extremitäten. Bislang lag der Fokus der Untersuchungen hauptsächlich im Männerfußball. Mit der steigenden Popularität des Frauenfußballs galt es mit dieser Arbeit auch für den deutschen Profifußball der Damen erstmalig epidemiologischen Daten zu Kopfverletzungen und Kopfbällen zu gewinnen, anhand dessen eine erste Einschätzung des gesundheitlichen Risikos durch Kopfverletzungen für Frauen im professionellen Bereich möglich ist.

Daher erfolgte die deskriptive Analyse von Kopfbällen und kopfverletzungsträchtigen Situationen und deren Entstehungsmechanismen mittels Videoanalyse und der gleichzeitigen Verwendung bereits validierter und standardisierter Fragebögen. Um eine aussagekräftige Anzahl zu gewährleisten, wurden insgesamt 9300 Spielminuten aus 100 Spielen der 1. Frauen Bundesliga qualitativ analysiert. Kopfverletzungsträchtige Spielszenen wurden als „Critical Incidents“ definiert. Diese umfassten Situationen, die eine Kopfverletzung wahrscheinlich machen, und wurden in der sportmedizinischen Literatur bereits vordefiniert und verifiziert. Die am Lehrstuhl für Unfallchirurgie der Universität Regensburg selbst ausgearbeiteten Fragebögen, die für jeden einzelnen Kopfball und jede einzelne Kopfverletzung herangezogen wurden, enthalten diverse Items, um die Situation und dessen Entstehung und Ausgang exakt beschreiben zu können.

In den Saisons 2018/19, 2019/20 und 2020/21 wurden in 100 zufällig ausgewählten Spielen insgesamt 9020 Kopfbälle untersucht. Es zeigte sich ein Durchschnitt von 90,2 Kopfbällen pro Spiel und 4,1 Kopfbällen pro Spielerin und Spiel. Die Position mit den meisten Kopfballeinsparungen stellten mit ca. einem Drittel (33,2%) die des offensiven Mittelfelds dar. An zweiter Stelle folgt die Position der Innenverteidigerinnen mit 24,1%. Die Spielfeldzone mit den meisten Kopfballeinsparungen befand sich im defensiven zentralen Mittelfeldbereich, dahinter das offensive zentrale Mittelfeld, der Strafraum

und die Außenbahnen. 64% aller Kopfbälle wurden während eines Zweikampfs durchgeführt. Hierbei überwiegt das Fairplay, lediglich 3,4% der Aktionen wurden als Foul gewertet.

In dieser Studie wurden aus den insgesamt 100 analysierten Partien 36 Kopfverletzungen anhand der Kriterien des Critical Incidents erfasst. Dies ergab eine Inzidenz von 0,36 Kopfverletzungen pro Spiel. Die Spielerposition mit den meisten Verletzungen war, deckend mit den meisten Kopfballaktionen, mit 42% die der offensiven Mittelfeldspielerin. 86 % ereigneten sich während eines Zweikampfs. Ursächlich für die Kopfverletzung war mit 44% die Kollision mit einer Gegenspielerin. Lediglich 27% der Aktionen wurden als Foul gewertet. Risikofaktoren für die Entstehung von Kopfverletzungen wurden anhand Odds Ratios berechnet. Foulspiele und verletzungsbedingte Spielunterbrechungen, Zweikampfsituationen, Abschussverletzungen und Szenen im Strafraum oder nach Eckbällen erwiesen sich als Umstände mit größter Effektstärke.

Mit diesen erstmalig erhobenen epidemiologischen Daten zu Kopfbällen und Kopfverletzungen im professionellen Frauenfußball konnte ein realistisches Abbild des Spielbetriebs in Wettkampfsituationen gegeben werden. Die teils umstritten geführten Studien zu Langzeit- und Folgeschäden durch das Kopfballsport selbst oder Kopfverletzungen im Fußball können anhand dieser Ergebnisse neu bewertet werden.

Summary

Purpose: Head injuries in soccer have attracted great attention over the past few years. Potential severe long-term damage to the brain due to repeated head trauma is still discussed controversially. In addition, there is an ongoing debate whether heading itself could cause structural damage to the brain of children, adolescents, and adult athletes. Due to the high amount of physical contact, head injuries in soccer are rather frequent – they are, in fact, the second most common injured area following lesions to the lower extremities. So far, research focused mainly on men's soccer. With the increasing popularity of women's soccer, the study's aim was to acquire first-time epidemiological data about heading incidence and head injuries in German professional women's soccer. Based on these results, a first assessment of the risk of head injuries for professional female soccer players can be given.

Methods: Descriptive analysis of heading and head injuries and their origin was performed by using video analysis and already standardized and validated questionnaires. Overall, 9300 minutes of play from 100 matches of the highest German professional female soccer league were analyzed qualitatively. Situations highly suspicious of head injury have already been described by the theory of "critical incidents". These critical incident markers make a head injury highly likable and have already been predefined and verified in sports medicine research over the past. The questionnaires, formerly elaborated by the department of trauma surgery at the university of Regensburg, were used for every header and head injury and contain multiple items to assess and define the origin and outcome of each scene.

Results: In 100 randomly selected games of the seasons 2018/19, 2019/20 und 2020/21, 9020 headers were examined, which results in an average of 90,2 headers per game and 4,1 headers per player per game. The offensive midfielder was the position most often involved in headers (33,2%), followed by central defenders with 24,1%. The field zones where most headers were played comprise the central defensive midfield, followed by the offensive central midfield, the penalty area and the wings. 64% of the headers occurred during a tackle. Fair play was common, only 3,4% of the tackles were penalized as fouls.

Of the 100 analyzed matches, 36 head injury situations were identified as critical incidents, resulting in an incidence of 0,36 head injuries per game. The position most

often injured was the offensive midfielder with 42%. This corresponds with the fact that the highest number of headers is found in offensive midfielders. 86% of head injuries occurred during tackles. The most frequent cause of injury was a collision with an opponent player (44%). Merely 27% of the injury situations were suspected of a foul by the referee. Risk factors for the development of a head injury were calculated using the odds ratio formula. Situations with the highest effect size were fouls, stoppage in the game due to injury, tackling, being hit with the ball and scenes in the penalty box or after corner kicks.

Conclusions: With these first-time ascertained epidemiological data of headers and head injuries in professional women's soccer, a realistic image of the gaming operation in a competitive setting can be given. The controversy about the potential long-term health hazards of headers themselves or head injuries from soccer can be reevaluated with the help of the acquired results.

1 Einleitung

Fußball ist mit etwa 250 Millionen Spielern und Spielerinnen in über 200 Ländern die populärste Sportart der Welt. Allein in Deutschland gibt es über 7 Millionen aktive Fußballer und Fußballerinnen (DFB 2023). Beim Deutschen Fußballbund (DFB), dem größten nationalen Dachverband für Athleten, Schiedsrichter und Funktionäre, waren im Jahr 2023 24.154 Vereine registriert. Einen großen Anteil der circa 7.365.000 fußballerisch aktiven Mitgliedern in Deutschland machten in der Saison 2022/23 mit knapp 1.172.000 Frauen (ca. 846.000) und Mädchen (ca. 326.000) aus (DFB 2023). Auch international genießt Frauenfußball hohe Popularität. Im europäischen Raum waren laut der UEFA (Union of European Football Associations) im Jahre 2017 knapp 1,4 Millionen aktive Spielerinnen im Frauenfußball registriert, 3600 davon als im professionellen oder semiprofessionellen Fußball. Zudem hat sich im letzten Jahrzehnt die Anzahl an weiblichen Fußballspielerinnen fast verdreifacht (UEFA 2017).

Fußball besitzt die Sonderstellung, die einzige Sportart zu sein, in der der Kopf aktiv benutzt wird, um den Ball im regulären Spielbetrieb voranzubringen (Krutsch V. et al. 2017; Putukian et al. 2019). Durch den wiederholten Kontakt von Kopf und Ball entstehen dementsprechend auch Verletzungen im Kontext von Kopfbällen und Kopfballduellen. Bedingt durch verschiedene Datenkollektions-Modelle variieren die Angaben für Inzidenzen für Kopfverletzungen, je nach Studie liegt sie zwischen 2% und 12% (Giza et al. 2005). Insgesamt erscheinen Kopfverletzungen bezüglich der Verletzungsinzidenzen an fünfter Stelle und werden direkt nach den unteren Extremitäten-Traumata gelistet (Putukian et al. 2019). Jedoch sind Kopfläsionen aufgrund ihrer oft verzögert eintretenden Symptomatik schwer beurteilbar und auch unter erfahrenen Sportmedizinern gefürchtet (Krutsch V. et al. 2017). Die hohe Körperkontaktkomponente im Fußball prädisponiert die Athleten dazu, Verletzungen wie sogenannte „repetitive subconcussive head impacts“ und Gehirnerschütterungen zu erleiden (Weber et al. 2020). Dennoch werden insbesondere die leichten Formen solcher Verletzungen verharmlost (Feddermann-Demon et al. 2014). In den USA hat die „United States Soccer Federation“ (USSF) im Jahre 2015 bereits Maßnahmen unternommen und das Kopfballspiel jeglicher Art bei Kindern unter 10 Jahren untersagt, um mögliche Folgeerkrankungen zu verhindern. In Europa wurde diese Entscheidung bisher aufgrund mangelnder wissenschaftlicher Evidenz noch nicht übernommen.

Durch die steigende Popularität des Frauenfußballs wurden auch hierzulande in den Medien Kopfverletzungen vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt. Ein bekanntes Beispiel ist die englische Top-Stürmerin Beth Mead, die in der UEFA-Champions-League Achtelfinal-Begegnung von Arsenal London gegen Ajax Amsterdam bei einer Kopf-zu-Kopf Kollision mit der Innenverteidigerin Lisa Doorn bewusstlos zusammenbrach. Das Team von Beth Mead musste das Spiel nach der verletzungsbedingten Auswechslung in Unterzahl zu Ende spielen. Mittlerweile gibt es in der Englischen Women`s Super League die Zusatzregel, bei einer Kopfverletzung die Spielerin auszuwechseln, auch wenn schon alle Wechsel vollzogen wurde (Tarzi et al. 2022). Da sich diese neue Regeländerung mit dem Namen „concussion substitute rule“, die durch den „International football association board“ (IFAB) eingeführt wurde, noch in der Testphase befindet, gelten diese Bedingungen bedauerlicherweise bisher nicht bei UEFA-Wettbewerben wie der Champions-League (IFAB 2022).

Durch die vielen offenen Fragen entstanden in der Öffentlichkeit große Unsicherheiten bezüglich des Kopfballs im Fußball und dessen Auswirkungen. Es bedarf nun auch unter den Fußballspielern, Trainern und Eltern einer Aufklärung, ob das Kopfballspiel tatsächlich mögliche Gefahren für die Gesundheit birgt. Da das Risiko, ein Schädel-Hirn-Trauma zu erleiden, für Frauen doppelt so hoch ist wie für männliche Fußballspieler, ist eine weitgehende Analyse von Kopfbällen und deren Folgen spezifisch im Frauenfußball zwingend notwendig (Dvorak et al. 2007).

1.1 Der Kopfball im Fußball

Fußball unterscheidet sich von anderen Ballsportarten wie Handball oder Volleyball dadurch, dass hierbei das Kopfballspiel gezielt als taktische Lösung für Pässe, Ballkontrolle, defensive sowie offensive Spielansätze oder sogar zum Torerfolg, bzw. zur Verhinderung dessen, genutzt wird (Kirkendall et al. 2001). Durch das Handverbot ist vor allem bei hohen Bällen der Kopfball ein wichtiges Instrument zur Spielgestaltung (Krutsch V. et al. 2017). Während bei Kontaktsportarten wie Eishockey oder American Football der Kopf durch einen Helm geschützt wird, ist er beim Fußball immer exponiert (Kirkendall et al. 2001). Somit überrascht es nicht, dass Fußballspielerinnen potenziell vulnerabler für Kopf- und Nackenverletzungen sind (Niedfeldt et al. 2011).

Idealerweise entsteht der Kontakt an der Stirn, direkt auf Höhe des Haaransatzes. Eine kurze neuromuskuläre Reaktionszeit und kräftig ausgebildete Nackenmuskulatur verbessern das Kopfballspiel (Jones 2014). Je nach Situation sind zusätzlich Kompetenzen für Sprung-, Landung und Zweikampfführung erforderlich (Krutsch V. et al. 2017).

Je näher die Kinder – und Junioren dem Erwachsenen-Fußball kommen, umso häufiger werden Kopfbälle als Spielmittel genutzt. Zeitgleich erhöht sich auch die Anzahl an Kopfbällen und Kopfverletzungen mit dem Alter. Jede Profi-Spielerin köpft im Schnitt 3,7-mal pro Spiel, verglichen zu professionellen männlichen Fußballern gibt es geringe Unterschiede: hier liegt die Anzahl bei 4,0. (Langdon et al. 2022; Evans et al. 2022). Es wird zudem darüber diskutiert, ob das Kopfballspiel für neurokognitive Beeinträchtigungen und neurodegenerative Erkrankungen verantwortlich sein könnte (Ling et al 2016; Koerte et al 2012; Koerte et al. 2015). In den letzten Jahren konnten jedoch negative Auswirkungen des Kopfballspiels auf kognitive Funktionen größtenteils widerlegt werden (Kontos et al. 2016, Dorminy et al. 2015). Vielmehr steht hierbei das Kopfballduell mit Kopf-zu-Kopf, Kopf-zu-Ellenbogen, oder Kopf-zu-Boden-Kontakten, mit potenziell schädigenden Auswirkungen im Fokus der Forschung (Putukian et al. 2017). Epidemiologische Daten zum Kopfballspiel und dessen Rahmenbedingungen sind in der Literatur dennoch rar. Welche Zweikampfbedingungen häufiger zu Fouls führen, welche Kopfballsituationen ein besonders hohes Risiko für Kopfverletzungen tragen, und welche Spielerpositionen für Kopfbälle exponiert sind, ist im Fußball im Allgemeinen, vor allem aber im Frauenfußball, unklar. Ziel dieser Arbeit ist es daher für den Deutschen Frauen-Profifußball saisonübergreifend Daten zu Kopfballsituationen und Kopfverletzungen aus der 1. Bundesliga zu sammeln und zu evaluieren.

1.2 Kopfverletzungen im Fußball

Bisher wurden Kopfverletzungen hauptsächlich in Hochrisiko-Kontaktsportarten wie American Football, Eishockey oder Rugby untersucht. Obwohl die Kollisions- und Kontaktraten im Fußball etwas geringer ausfallen, ereignen sich nichtsdestotrotz 6,7% aller erfassten Verletzungen am Kopf (VBG 2021). Im modernen Profi-Fußball bleiben Kopfverletzungen jedoch immer noch häufig unerkannt (Beaudouin et al. 2021). Mit

deren potenziell schweren neurologischen Akut- und Langzeitenfolgen sollten diese besser diagnostiziert werden (Harmon et al. 2019). Prinzipiell können Verletzungen bei Kontaktsportarten entweder durch direkten Kontakt zu einem anderen Spieler entstehen oder durch indirekte Verletzungsmechanismen ohne direkten Körperkontakt. Zudem gibt es die Möglichkeit von „Non-Contact“ Verletzungen: So treten beispielsweise muskuläre Oberschenkelverletzungen ohne ein Zweikampfverhalten auf. Üblicherweise sind Kopfverletzungen Kontakt-Verletzungen (VGB 2021). Beaudouin et. al führte 2021 eine Studie zu Kopfverletzungen in der deutschen Herren Bundesliga der Saison 2017/18 durch. Insgesamt wurden in dieser Spielzeit 1362 sogenannter Head impact incidents“ (HII), also Kopftraumata jeglicher Art, registriert. Die häufigsten Kontaktarten für Kopfverletzungssituationen waren Ellenbogen-zu-Kopf oder Kopf-zu-Kopf. Schädel-Hirn-Traumen (SHT) machten mit 48% die Mehrheit aus, gefolgt von Kopf- oder Gesichts-Frakturen (24%), Kopf- oder Gesichtskontusionen (21%) und Lacerationen (7%) (Beaudouin et al. 2021, s. Tab. 1).

Tabelle 1: HIIIs der deutschen Herren Bundesliga Saison 2017/18 abgeändert aus (Beaudouin et al. 2021)

HIIIs	SHT	Frakturen	Kontusionen	Lacerationen
n (1362)	48%	24%	21%	7%

Studien zu Verletzungsmustern im Frauenfußball gibt es bisher nur unzureichend (Horan et al. 2023). Ein Großteil davon entstand schon während der frühen 2000er, als Frauenfußball noch nicht komplett professionalisiert war und Trainings- und Spielintensität nicht auf dem heutigen Niveau lagen (Gaulrapp et al. 2010). Zudem lag der Fokus der Forschung damals eher bei Knie- oder Sprunggelenksverletzungen; Kopfverletzungen wurden hierbei lediglich quantitativ erfasst (Faude et al. 2005). In jüngster Zeit gelang es, größere und international erfasste Daten zu Verletzungen im Frauenfußball zu generieren. Die Studie von Hallén et al analysierte über 4 Saisons hinweg Verletzungsdaten von Frauenmannschaften im europäischen Spitzenfußball. Die Inzidenz von Verletzungen lag dabei bei 6,7 pro 1000 Stunden Spiel (Hallén et al. 2024). Das Risiko, eine Verletzung im Spiel zu erleiden, ist fast 6-mal so hoch als im Training (López-Valenciano et al. 2021). Die häufigste Verletzung waren mit 23 % muskuläre Oberschenkelverletzungen. Schädel-Hirn-Traumata machten 3% der

Verletzungen im Frauenprofi-Fußball aus. Insgesamt lagen Kopf- und Gesichtsverletzungen bei 4 % (Hallén et al. 2024). Das Risiko, als weibliche Profi-Fußballerin eine Commotio zu erleiden, ist jedoch knapp doppelt so hoch als das für Ihre männlichen Kollegen (Nilsson et al. 2013). In einem Viertel der Fälle kehren die Spielerinnen zu früh, nämlich innerhalb von weniger als 6 Tagen nach der Verletzung, zum Training zurück. Dies liegt deutlich unterhalb der Handlungsempfehlungen (Schneider et al. 2022).

Von den aktuelleren Studien zum Frauenfußball werden hauptsächlich Erhebungen im internationalen Profibereich gesammelt. Hierbei sind die Top-Teams der Frauen Bundesliga zumeist mit inbegriffen. Jedoch sind Untersuchungen, die den modernen gesamten Frauenfußball in Deutschland betreffen, rar. Durch die schwierige Diagnostik und oft unzuverlässigen Meldungen von Schädel-Hirn-Traumen kann die tatsächliche Anzahl deutlich höher liegen (Mooney et al. 2020). Die dadurch möglichen strukturellen und funktionelle Beeinträchtigungen der Hirnfunktion stellen ein hohes gesundheitliches Risiko für die Betroffenen dar (Tarnutzer et al. 2017). Ein Ziel dieser Arbeit ist es, Inzidenzen von Kopfbällen und Kopfverletzungen und deren Verletzungshergang für alle Teams der höchsten deutschen Frauen Profi-Liga zu erfassen.

1.2.1 Das Schädel-Hirn-Trauma

Das Schädel-Hirn-Trauma (SHT) beschreibt eine vorübergehende oder dauerhafte Schädigung zerebraler Funktionen aufgrund einer externen Gewalteinwirkung. Der Schädigung des Gehirnparenchyms unterliegt eine komplexe pathophysiologische Kaskade, die sich sofort nach dem initialen Trauma entwickelt und bis zu mehreren Tagen oder sogar Wochen anhalten kann (Pinggera et al. 2023). Der Primärschaden des Gehirns ist irreversibel. Allerdings kann sich die Verletzung auch ohne jegliche bleibenden Schäden hinsichtlich der neurologischen oder kognitiven Funktion ereignen (Langlois et al. 2006). Beim SHT können durch die externe Krafteinwirkung auf den Schädel neben dem Schädelknochen auch die Dura, das Hirnparenchym, Gefäße und Liquorräume verletzt werden. Die klinischen Symptome umfassen unter anderem Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwindel, Pupillendifferenz, Doppelbilder, Amnesie, Fokal neurologische Defizite und Bewusstseinsstörungen (Pinggera et al.

2020). Zur Unterteilung in Schweregrade eines SHT macht man sich die Glasgow Coma Scale zunutze (GCS). Diese sollte zur Ersteinschätzung verhelfen und bewertet die Bewusstseinslage durch das Augenöffnen sowie verbale und motorische Reaktionen des Patienten. Hierbei ergibt sich die Unterteilung in ein leichtes SHT (GCS-Werte von 15-13), moderates SHT (GCS 9-12) und ein schweres SHT (GCS 3-8, s. Tab. 2).

Tabelle 2: Glasgow Coma Scale (GCS)

Punkte	Augen öffnen	Verbale Reaktion	Motorische Reaktion
6	-	-	Befolgt Aufforderungen
5	-	Orientiert	Gezielte Schmerzabwehr
4	Spontan offen	Verwirrt, desorientiert	Ungezielte Schmerzabwehr
3	Auf Ansprache	Unzusammenhängende Worte	Beugesynergismen auf Schmerz
2	Auf Schmerz	Unverständliche Laute	Strecksynergismen auf Schmerz
1	Keine Reaktion	Keine Reaktion	Keine Reaktion

Nach Kühne et al. (2003)

Die Commotio cerebri (Gehirnerschütterung) fällt bei der Klassifikation unter die Kategorie leichtes SHT (McCrory et al. 2017). Definiert wird sie als transiente neurologische Störung. Gehirnerschütterungen resultieren entweder aus einem direkten Trauma oder der indirekten Kraftübertragung z.B. durch einen Schlag ins Gesicht oder Kiefer (Krutsch V. et al. 2018; Meaney et al. 2011). Auch wenn Gehirnerschütterungen üblicherweise selbstlimitierend sind (Harmon et al. 2013), gibt es in 10-15% prolongierte Verläufe bei denen Commotio-ähnliche Symptome wie Kopfweg, Schwindel, Photophobie und Abgeschlagenheit für einen Zeitraum über 6 Monate anhalten können (Preiss-Farzanegan et al. 2009; Tator et al. 2016). Letzteres wird als Postcommotionelles Syndrom beschrieben, an dem weibliche Athleten nach sportbezogenen leichten SHT deutlich häufiger leiden als Männer (Weber et al. 2022). Verglichen mit anderen Sportarten haben vor allem Ice Hockey, American Football und Wrestling die höchsten Raten an sog. „Sports related concussions (SRC)“, also sport-assoziierten Gehirnerschütterungen (Clay et al. 2013). Für Erwachsene liegt die Anzahl an SHT im Fußball zwischen 0,3 und 0,41 pro 1000 gespielten Stunden (Pierpoint et al. 2021). In manchen Studien liegt die Inzidenz im Frauenfußball sogar bei bis zu 1,19 pro 1000 Stunden Spiel (Verdun et al. 2020). Gehirnerschütterungen

machen circa 5% aller Fußballverletzungen aus und sind die am häufigsten diagnostizierte Kopfverletzung (Junge et al. 2013). Problematisch ist, dass bildgebende Maßnahmen wie CT oder MRT für leichte SHT keine Befunde liefern und Biomarker bzw. neuere Neuroimaging Methoden hauptsächlich im Rahmen von Studien Anwendung finden (McCrory et al. 2017). Zudem weisen sport-assoziierte Gehirnerschütterungen interindividuell verschiedene Symptome und unterschiedlich lange Genesungszeiten auf (Weber et al. 2022; Verdung et al. 2020). Daher sollten einheitliche Return-to-play Protokolle in allen Profi- und Amateur-Ligen installiert werden, um potenzielle Folgeschäden für die Sportlerinnen zu vermeiden (Demetriades et al. 2024). Geschlechterspezifische Unterschiede gibt es insofern, dass Athletinnen nach Gehirnerschütterungen stärker unter den neurokognitiven Auswirkungen leiden. Sie zeigen ausgeprägtere postcommotionelle Symptome und benötigen eine längere Rekonvaleszenzzeit (Zuckermann et al. 2014). Die Diskussion, ob und inwieweit Kopfbälle und SRC für neurologische Langzeitfolgen verantwortlich sind, wird in dieser Arbeit durch die Begriffe „Subconcussive head impacts“ und „chronisch traumatische Enzephalopathie“ adressiert.

1.2.2 Repetitive subconcussive head impacts

In den letzten Jahren wurden im Fußball vermehrt die sogenannten „repetitive subconcussive head impacts“ (RSHI), zu Deutsch repetitive symptomfreie Kopfstöße, untersucht. Sie kommen deutlich häufiger vor als die klassische Commotio selbst. Bei RSHI handelt es sich um Traumen, die in Kumulation zu neurologischen Veränderungen führen können, ohne dabei eine Commotio-typische akute Symptomatik zu erzeugen (Bailes et al. 2013). Wenn eine Spielerin den Ball köpft, bleiben im Gegensatz zur Gehirnerschütterung akute Symptome normalerweise aus. Langfristig können subklinischen Erschütterungen des Gehirns jedoch zu neurologischen Veränderungen führen (Lipton et al. 2013). Häufiges Köpfen wurde hierbei als Ursprung für RSHI diskutiert (Koerte et al. 2015). In einer Profikarriere werden in Summe bis zu mehrere Tausend Kopfbälle getätigt (Rutherford et al. 2009). Es steht weiterhin zur Debatte ob RSHI für eine Abnahme im Kortex ehemaliger Fußball-Profis und somit zur Beschleunigung von neurokognitiven degenerativen Erkrankungen verantwortlich sein können (Koerte et al. 2016). Aufgrund der zu geringen Studienpopulation konnte dies bisher nicht sicher bestätigt werden. In

kleineren Studien wurden mittels Diffusions-MRTs (diffusion magnetic resonance imaging/ dMRI) strukturelle Veränderung der weißen Substanz nach Gehirnerschütterungen und RSHI detektiert (Shenton et al. 2012). Hierbei konnten auch geschlechterspezifische Unterschiede zum Nachteil von weiblichen Athletinnen im Ice-Hockey gefunden werden: diese wiesen mehr strukturelle Veränderung der weißen Substanz auf (Lipton et al. 2013; Sollmann et al. 2018). Allerdings befanden sich diese Studien im quasiexperimentellen Design. Schlussendlich traten nach häufigem Köpfen lediglich kurzzeitige Defizite in Merkfähigkeit, Gleichgewicht und Aufmerksamkeit auf; in einem längerfristigen Zeitraum über drei Monaten konnten hingegen keine neurokognitiven Einschränkungen erfasst werden (Tarnutzer et al. 2016).

Einen weiteren Aspekt für potenzielle Schäden durch das Kopfballsport stellt die Stärke der Nackenmuskulatur dar. Eine schwächer ausgebildete Nackenmuskulatur bei jugendlichen Fußballerinnen führte zur einer geringeren Dezeleration des Fußballs und damit zu heftigeren Stößen, die auf den Kopf einwirkten (Gutierrez et al. 2014).

Ob im Fußball ein tatsächlicher Zusammenhang zwischen repetitivem Kopfballsport, RSHI und chronisch-degenerativen neurologischen Erkrankungen besteht, bleibt weiterhin fraglich. Die häufig widersprüchlichen Ergebnisse in der Literatur weisen darauf hin, dass weitere Forschung notwendig sein wird, um potenziell kognitive Folgeerkrankungen von RSHI im Fußball zu untersuchen.

1.2.3 Zentral-neurologische Langzeitschäden

Zentral-neurologische Langzeitschäden wurden immer wieder als potenziell negative Auswirkung durch das Ausüben von Kontaktsportarten erwähnt. Unterschiedliche Studien, darunter führend McKee et al. und Omalu et al., vermuteten bei ehemaligen professionellen Footballspielern der NFL (National Football League) einen Zusammenhang von wiederholten milden SHT mit neurodegenerativen Erkrankungen, die mit Gedächtnis-Defiziten und kognitiven Beeinträchtigungen einhergingen (McKee et al. 2013; Omalu et al. 2011). Omalu et al. adressierte eine Verbindung von chronischen Hirnschädigungen durch repetitive SHT im Sport mit der Anfälligkeit zu psychiatrischen Erkrankungen und erhöhten Suizid-Raten. Mackay et al. legte in einer retrospektiven Studie ehemaliger Fußballspieler der ersten schottischen Liga dar, dass

diese im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung häufiger an neurodegenerativen Erkrankungen erkranken würden (Mackay et al. 2019).

Allen voran wurde hierbei die Erkrankung „Chronisch Traumatische Enzephalopathie“, kurz CTE, erwähnt. Bereits in den 1920er Jahren wurde mit Boxern, die repetitiv Schädel-Hirn-Traumata während ihrer Karriere erlitten, der Begriff „dementia pugilistica“ assoziiert, zu Deutsch „Boxerdemenz“. Circa 20 Jahre später wurde hierfür der medizinische Ausdruck chronisch traumatische Enzephalopathie etabliert (Montenigro et al. 2015). Heutzutage wird der Begriff CTE bevorzugt. Die CTE umschreibt eine neurodegenerative Erkrankung, die durch wiederholte Schädel-Hirn-Traumen im Sport verursacht wird (Inserra und DeVrieze 2017). Symptome sind zum einen Verhaltensstörungen wie Aggression, Depression und Stimmungslabilität, zum anderen dominieren im Verlauf neurokognitive Einschränkungen wie Vergesslichkeit, Konzentrationsschwäche und letztendlich Demenz (Gardner et al. 2014). CTE gehört wie die Alzheimer-Krankheit zu den Tauopathien und entsteht erst viele Jahre nach dem initialen Trauma (Hay et al. 2016). Makro- und mikroskopisch imponieren eine diffuse kortikale Atrophie, Läsionen der weißen Substanz und Ablagerungen von hyperphosphorylierten Tau-Proteinen (P-Tau) in glialen Astrozyten (Ling et al. 2015). Die Diagnostik kann lediglich durch eine post-mortem Autopsie erfolgen; Biomarker und Neuroimaging Techniken mit fMRI (functional magnetic resonance imaging) sind immer noch Teil der aktuellen Forschung, um CTE besser erkennen zu können (McKee et al. 2009). Ling et al. bestätigte bei 4 von 6 ehemaligen Fußballprofis, bei denen eine post-mortem Autopsie des Gehirns zugelassen wurde, die CTE (Ling et al. 2017).

Zusammenfassend gibt es jedoch keine Kausalität zwischen Fußball und CTE. Die hier durchgeführten Fallstudien enthielten zu kleine Studienpopulationen (Putukian et al. 2019). Zudem ist die Diagnostik von CTE dadurch erschwert, dass auch bei anderen neurodegenerativen Erkrankungen wie der Alzheimer-Krankheit und im höheren Alter p-Tau in Autopsien ubiquitär gefunden wird (Davis et al. 2015). Zuckermann et al. erzielten in Kontakt- und Kollisionssportarten wie Ice-Hockey, American Football und Rugby wegweisendere Ergebnisse, da hier bei circa der Hälfte der Probanden CTE festgestellt werden konnte (Zuckermann et al. 2018). Doch auch hier bestand die Problematik darin, dass bei den Teilnehmern andere neurodegenerative Komorbiditäten vorlagen, wodurch der alleinige Progress der

neurologischen Defizite durch CTE nicht belegt werden konnte (Putukian et al. 2019). Weitere Studien bezüglich CTE und RSHI werden notwendig sein, um in dieser Thematik Klarheit zu schaffen.

1.3 Kopfballsport und seine Folgen:

Wie bereits dargelegt bleibt es weiterhin umstritten, ob Kopfbälle im Fußball tatsächlich zu relevanten neurologischen Beeinträchtigungen führen können. Lediglich einzelne, experimentelle bzw. retrospektive Studien belegten einen möglichen Zusammenhang. In vielen weiteren Studien konnte diese Hypothese wiederum widerlegt werden. Im Allgemeinen bleibt das Kopfballsport und seine potenziellen neurologischen Akut- und Langzeitfolgen nur wenig untersucht.

Die Kräfte, die durch einen gewollten, gezielt ausgeführten Kopfball auf das Gehirn einwirken, liegen deutlich unter dem Schwellenwert für möglich Kopfverletzungen (Mihalik et al. 2017). Für Spielerinnen im Jugendbereich ist die Anzahl an Kopfbällen mit circa 0,95-1,95 pro Spiel sehr gering (Hanlon et al. 2012). Für Fußballerinnen im erwachsenen Profi-Bereich liegt die Anzahl deutlich höher, bei 3,6 Kopfbällen pro Spielerin pro Spiel und liegt damit ähnlich hoch wie bei Männern mit 4,0 (Langdon et al. 2022). In einer systematischen Literaturrecherche von insgesamt 22 Studien und 2228 Teilnehmern, 42% davon weiblich, wurden übergreifend keine negativen Folgen durch das Köpfen von Fußbällen festgestellt (Kontos et al. 2017). Auch wenn die Studiensituation insgesamt limitiert ist, überwiegen dennoch die Hinweise, dass es keine intermediären oder Langzeitschäden auf neurokognitive Funktionen durch das Kopfballsport gibt (Putukian et al. 2019). Wenn überhaupt ist das Kopfballsport mit kurzzeitigen (<48h), selbstlimitierenden Veränderungen in posturaler Kontrolle (Haran et al. 2013), okulärer Nahpunkt-Konvergenz (Hwang et al. 2017; Kawata et al. 2016) und Kopfschmerzen assoziiert (Schmitt et al. 2004).

Kopfverletzungen im Fußball entstehen fast ausschließlich durch den Luftweikampf und nicht durch das beabsichtigte Köpfen selbst (Maher et al. 2014). Der gängigste Verletzungsmechanismus ist hierbei Kopf-zu-Kopf, Kopf-zu-Ellenbogen, Kopf-zu-Knie und Kopf-zu-Boden (Fuller et al. 2005). Die Implementierung von strikteren Regeln zur Ellenbogenposition und Bestrafungen bei Arm-zu-Kopf Bewegungen führte zu einer geringeren Inzidenz an Kopfverletzungen (Bjørneboe et al. 2013). Der

durchschnittliche Anteil an Kopfverletzungen der 1. Deutschen Frauen-Bundesliga liegt bei 7,1% und ist somit die häufigste Verletzung nach Läsionen der unteren Extremitäten (Gaulrapp et al. 2010). Die Folgen von Sport-assoziierten Kopfverletzungen (sports related concussion - SRC) ist im Fußball vergleichbar mit anderen Sportarten (Maher et al. 2014). Zumeist erreichen die Spielerinnen nach einigen Tagen bis wenige Wochen nach der Commotio wieder den gleichen Gesundheitszustand wie vor der Verletzung. Generell ist die Erholungsphase nach einer Commotio für professionelle Athletinnen kürzer als die für Sportlerinnen im Jugend- oder Amateurbereich (Cancelliere et al. 2014). Eine längere Rehabilitationszeit nach SRC benötigen Spielerinnen mit bereits bekannten gesundheitlichen Problemen wie Migräne, Kopfschmerzen oder psychiatrischen Erkrankungen wie Depressionen oder Angststörungen. Auch eine SRC in der Vergangenheit der Spielerin erhöht das Risiko signifikant, länger an den Symptomen zu leiden (Iverson et al. 2017; Morgan et al. 2015; Putukian et al. 2015). Typische Symptome einer SRC sind Kopfschmerzen, Gleichgewichtsprobleme, Schwindel, Müdigkeit, Reizbarkeit, Depression sowie Aufmerksamkeits- und Gedächtnisstörungen (Belanger et al. 2005).

Verglichen zu anderen Sportarten liegt im Fußball die Inzidenz reiner Kopfverletzungen im Mittelmaß. Ice Hockey weist mit 19,7% die häufigste Anzahl an Kopfverletzungen auf, gefolgt von American Football (10,2%), Handball (7,7%) Fußball (6,5%), Basketball (5,2%) und Volleyball (1,9%) (Krutsch et al. 2018). Tendenziell wird ein Anstieg bei den Verletzungszahlen im modernen Fußball beobachtet: Verglichen zwischen zwei Saisons von 2000 und 2010 nahmen kopfverletzungsträchtige Situationen signifikant zu; es wurden mehr Kopfballduelle mit Körperkontakt verzeichnet (Bjørneboe et al. 2014). Die Anzahl der Kopf- und Nackenverletzungen hat sich bei der Weltmeisterschaft 2014 im Vergleich zur vor-WM verdoppelt (Krutsch et al. 2018).

Junge Frauen im Alter von 15-24 Jahren erlitten, verglichen zu Männern, in Sportarten wie Fußball, Basketball oder Soft Ball, knapp doppelt so oft eine SRC (Marar et al. 2012; Lincoln et al. 2011). In den ersten 14 Tagen nach einer SRC schnitten Frauen verglichen zu Männern in den neurokognitiven Funktionstests insgesamt schlechter ab und gaben häufiger gesundheitliche Einschränkungen an (Chiang Colvin et al. 2009). Die Symptomatik der Commotio äußert sich bei beiden

Geschlechtern gleich, jedoch verfügten Frauen über einer längeren Rekonvaleszenzzeit und gaben eine erhöhte Schwere an Symptomen an (Zuckermann et al. 2014).

Im Moment konnten noch keine neurologischen Langzeit-Defizite durch SRC im Fußball bewiesen werden. Dennoch sollten die zunehmenden Zahlen an Kopfverletzungen dazu alarmieren, weiterführende Untersuchungen zu betreiben, um Spielerinnen vor potenziellen negativen Auswirkungen auf die Gesundheit zu schützen.

1.4 Videoanalyse im Sport

Verletzungsträchtige Situationen im Sport zu erkennen, stellt einen wichtigen Ansatzpunkt dar, um Athleten und Athletinnen durch eine Auswechslung vor Verletzungsfolgen zu schützen. Die Videoanalyse erweist sich als objektive Methode, um Verletzungsmechanismen genau zu betrachten. Die Studiengruppe um McCrory war eine der Ersten, die sich die Videoanalyse für die Erkennung von „mild traumatic brain injuries“ (mTBI) im Sport zunutze machten: Bereits Ende der 1990er Jahre versuchten sie damit die akuten konvulsiven und motorischen Manifestationen eines Schädel-Hirn-Traumas in der Australischen Football League zu erfassen (McCrory & Berkovic 2000). Die Gruppe um Andersen gilt als Vorreiter im Fußball: Durch Videoanalysen der Saisons 1994-1998 von norwegischen U21 Fußballspielen wurden Verletzungsmechanismen sowie verletzungsträchtige Situationen ausgewertet (Andersen et al. 2003).

Videoanalysen wurden somit bereits mehrfach in Kontakt- und Kollisionssportarten verwendet, um Schädel-Hirn-Traumen und deren Mechanismen am Spielfeldrand analysieren zu können (Gardner et al. 2017). Dabei soll dem medizinischen Personal bei der Entscheidung, ob eine Auswechslung beim betroffenen Spieler nötig ist oder nicht, geholfen werden. Zum Beispiel können Ungleichgewicht, Bewusstlosigkeit oder ein leerer Blick nach einer vermeintlichen Commotio mittels der Videoanalyse besser erkannt, und so eine schnellere und adäquatere Entscheidung getroffen werden (Davis & Makdissi 2016). Hutchinson et al. erzielten durch die Videoanalyse im Ice Hockey gute Ergebnisse, um die Spielumstände, die unmittelbar zu einer Commotio führten, zu definieren (Hutchinson et al. 2013).

Des Weiteren wurde auch in vielen groß angelegten Studien zu Kopfbällen und deren Inzidenz bzw. Abläufe die videogestützte Untersuchung genutzt. Tierney et al. erfasste hiermit Kopfball-Daten von den fünf größten europäischen Profi-Ligen über drei Saisons hinweg (Tierney & Higgins 2021). Langdon et al. erhob mittels Videoanalyse die Inzidenz von Kopfbällen im dänischen Frauen- und Männerfußball (Langdon et al. 2022).

Für eine erfolgreiche Videoanalyse benötigt es eine gute Videoqualität und verschiedenen Einstellungsperspektiven durch die Kameras. Die untersuchten Parameter müssen möglichst klar und präzise definiert sein (Makdissi & Davis 2016a). Hierfür wurden in dieser Arbeit genormten online Fragebögen implementiert. Die Videoanalyse erweist sich als nützliche Hilfsmittel für die ad hoc Seitenlinien-Beurteilung einer möglichen Commotio. Die fokussierte klinische Untersuchung durch das medizinische Personal bleibt dennoch unabdingbar (Makdissi & Davis 2016b).

2 Zielsetzung

Durch den Mangel an wissenschaftlichen Belegen zu den möglichen gesundheitlichen Spätfolgen des Kopfballspiels im Fußball, hierzu vor allem auch im Frauenfußball, besteht aktuell großer Forschungsbedarf. Durch das Studienprojekt „Kopfbälle im Fußball“ des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (BISp), das 2017 am Universitätsklinikum Regensburg unter unfallchirurgischer Leitung initiiert wurde, sollte mehr Evidenz für dieses Thema zusammengetragen werden.

Im Rahmen eines multizentrischen Studiendesigns entfiel auf den Standort der Universität Regensburg die Aufgabe der deskriptiven Analyse des Kopfballspiels zur Evaluation von Entstehungsmechanismen bei Kopfverletzungen. Im Rahmen des Studienprojekts wurden bereits Analysen von über 120.000 Spielminuten im Männerfußball durchgeführt. Der Frauenfußball zeigt jedoch Unterschiede in physischen, athletischen, sportmedizinischen und psychischen Aspekten. Daher ist eine Übernahme des Datensatzes aus der bisherigen Studie nicht zulässig. Durch die weltweit wachsende Beliebtheit des Frauenfußballs ist es sinnvoll einen zusätzlichen Datensatz vorzulegen, der spezifisch die Fragen nach Epidemiologie, Kopfballfrequenz, Kopfballprofil sowie den Zusammenhang mit Kopfverletzungen und möglichen Präventionsansätze beantwortet, und die Unterschiede zum Männerfußball darlegen kann.

Die Ziele der aktuellen Studie sind für den Bereich des Frauenfußballs wie folgt:

1. Analyse der Inzidenz von Kopfverletzungen in verschiedenen Spielklassen
2. Analyse der Entstehung von Kopfverletzungen in verschiedenen Spielklassen
3. Analyse der Inzidenz von Kopfbällen in verschiedenen Spielklassen
4. Analyse der Entstehung und Umständen von Kopfbällen in unterschiedlichen Spielklassen
5. Analyse der Entstehung von Kopfballduellen und der Zusammenhang mit Kopfverletzungen

Die oben genannten Fragestellungen sollen in dieser Studie spezifisch für den deutschen Profi-Frauenfußball anhand der Videoanalyse von 100 Spielen der 1. Frauenbundesliga mit Beteiligung aller 1. Bundesligamannschaften untersucht werden.

3 Methoden

3.1 Material

3.1.1 Hardware und Software

In der vorliegenden Studie konnte eine Kooperation mit dem DFB und der 1. Frauen-Bundesliga etabliert werden. Es standen die kompletten Datensätze der 1. Frauen-Bundesliga der Saisons 2018/19, 2019/20 und 2020/21 sowie die Pokalspiele der jeweiligen Jahre zur Verfügung. Es wurde ein online Benutzer-Login für das Videoanalyse-Portal des DFBs erstellt. Hiermit konnten die Spiele mittels einer externen Festplatte mit 1 Terabyte Speicherplatz heruntergeladen und so das Videomaterial für den späteren Gebrauch gespeichert werden. Es wurden Datensätze zu insgesamt 100 Spielen der 1. Frauen Bundesliga über einen Zeitraum von drei Saisons der Jahre 2018-2021 erfasst. Zur Analyse der Videoaufnahmen wurden bereits während der vorherigen Studie zu Kopfballverletzungen im Männerfußball eigens Analyseprotokolle erstellt. Diese umfassten jeweils ein Protokoll für Kopfbälle und ein weiteres für Kopfverletzungen. Diese Analyseprotokolle dienten auch der Folgeanalyse im Frauenfußball als Grundlage. Letztere wurden in Echtzeit, also parallel zur Videoanalyse, in das internet-basierte Eingabeprogramm REDCap (Research Electronic Data Capture), eingespeist. Hierbei handelt es sich um ein Informatik-Programm, das an der Universität Vanderbilt in den USA entwickelt wurde. Das Zentrum für klinische Studien der Universitätsklinik Regensburg integrierte diese Software, um fachübergreifend Daten digital und zugriffsbeschränkt zu speichern und zu verwalten. Die Erfassungsbögen konnten dann in komprimierter Form in das Statistikprogramm SPSS exportiert und die notwendigen Kerndaten statistisch analysiert werden. Eine zusätzliche quantitative Auswertung zu Kopfbällen und Kopfverletzungen erfolgte im Microsoft Excel Programm. Die Literaturliste wurde durch das Literaturverwaltungsprogramm Citavi 6 strukturiert. Zur Videoanalyse diente die Mediaplayer-Software VLC media player.

Genutzte Software:

Abbildungen:	Microsoft Word 2016 (Microsoft, Redmond, WA, USA)
Auswertung/Statistik:	SPSS 25.0 (IBM, Armonk, NY, USA)
	Microsoft Excel 2016 (Microsoft, Redmond, WA, USA)
Elektronische Datenbank:	REDCap (Vanderbilt University, Nashville, TN, USA)

Literaturverwaltung: Citavi 6 (Swiss Academic Software GmbH, Wädenswil, Schweiz)
Videoanalyse: VLC Media player (VideoLAN, École Centrale Paris, Paris)

3.2 Methodik

3.2.1 Studiendesign

Das Universitätsklinikum Regensburg stellt mit der Videoanalyse ein Teilprojekt der Studie „Kopfbälle im Fußball“ des Bundesinstituts für Sportwissenschaft dar. Es handelt sich um eine prospektive Kohortenstudie, die die Inzidenz und Epidemiologie von Kopfbällen und -verletzungen anhand von videogestützter Analyse erheben soll. Für diese Promotionsarbeit wurden insgesamt 100 pseudorandomisiert ausgewählte Spiele der 1. Bundesliga Frauen ausgewertet, hiervon 44 Spiele der Saison 2020/21, 55 Spiele der Saison 2019/20 und 1 Spiel aus der Saison 2018/19. Im Rahmen der Randomisierung wurden von den jeweiligen Spieltagen alle Spielbegegnungen ausgewählt, um zu vermeiden, dass bestimmte Mannschaften der Liga öfter in die Studie aufgenommen wurden als andere. Jedes Spiel wurde qualitativ auf alle Kopfball- und kopfverletzungsträchtigen Situationen untersucht. Hierbei wurden online Analyseprotokolle verwendet und zwischengespeichert. Diese Analyseprotokolle wurden zuvor in analoger Form an der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie über mehrere Jahre ausgearbeitet und verbessert und hatten sich letztendlich als digitale Version durchgesetzt. Diese konnten parallel zur Spielbeobachtung problemlos in die online-Datenverwaltungsseite REDCap zur Zwischenspeicherung und Kumulierung eingespeist werden. REDCap etablierte sich als klinisches Datenbankmanagement Tool am Zentrum für klinische Studien des Universitätsklinikum Regensburg. Mit der geschützten Datenbank REDCap war es möglich, die gespeicherten Analyseprotokolle später dem standardisierten statistischen System SSPS zu unterziehen.

Während dieser Promotionsarbeit standen dank einer Kooperation mit dem DFB alle Spiele mittels eines zeitlich begrenzten Datenzugangs auf die online basierte Videoanalyse-Webpage www.dieligen.de zum Download zur Verfügung. Jede Videodatei umfasste eine circa 100-minütige Sequenz, gefilmt wurde immer von einer einzigen Kamera die mittig positioniert entweder am Spielfeldrand stand, oder in Vogelperspektive oben an Stadioneinrichtungen, etwa an Flutlichtmasten, fixiert war. Wiederholungs- oder Slow-Motion-Aufnahmen, z.B. bei einem Tor oder Foul, gab es

nicht. Szenen, in denen nicht eindeutig klar war, ob es sich um eine Kopfball- oder Kopfverletzungssituation handelte, konnten dennoch mittels Standbildfunktionen und Zeitraffereinstellungen genauestens betrachtet werden. Mittels Slow-Motion konnten dynamische Szenen detailliert betrachtet werden. Somit war eine genaue Differenzierung zwischen z.B. einem Kontakt am Schädel oder Hals möglich. Die Videoanalyse erfolgte anhand eines sogenannten Mehraugenprinzips, bei der die Szenen von mehreren Personen im Konsens betrachtet wurden.

3.2.2 Analyseverfahren

Es galt für diese Studie die verschiedenen Aspekte und Umstände für das Kopfballspiel und Kopfverletzungen aus den Spielsituationen heraus darzustellen. Als Basis dienten dafür extra angefertigte Analyseprotokolle, auch Fragebögen genannt, um die jeweilige Szene mit einem standardisierten Schema evaluieren zu können. Um eine kopfverletzungsträchtige Situation zu definieren, wandte man bereits vorhandene Kriterien für einen sog. „Critical Incident“ (CI), also eine verletzungsträchtige Situation, an. Dies umfasste folgende Bedingungen:

1. Das Liegenbleiben der Spielerin für mindestens 15 Sekunden
2. Die Spielunterbrechung durch die Schiedsrichterin
3. Ein offensichtlicher Schmerzzustand der Spielerin bzw. eine anhaltende medizinische Behandlung

Zudem musste immer ein Kontakt am Kopf stattgefunden haben um als kopfverletzungsträchtige Situation zu gelten. Die Verwendung von Critical Incidents sind wissenschaftlich international anerkannt und finden vor allem im Fußball Verwendung (Bjørneboe et al. 2014; O'donoghue 2009). Sie wurden erstmals 2003 von Andersen et. al definiert und angewandt und 2006 von Fuller et al. überarbeitet (Andersen et al. 2003, Fuller et al. 2006).

Die bereits unter 3.2.1 erwähnten Fragebögen standen in drei unterschiedlichen Formen zur Beurteilung der Kopfball- und Kopfverletzungssituationen zur Verfügung. Die zunächst in Papierform entwickelten und validierten Vorlagen stehen mittlerweile in elektronischer Form zur Verfügung und können direkt in das Datenprogramm REDCap eingespielt werden. Am Ende stehen die Daten als sogenannte „annotated

Case Report Form“ (aCRF) zur Verfügung, wodurch sie über das Statistik-Programm SPSS ausgewertet werden können.

Unterteilt wird zum einen in den Spiel-Stammdaten Bogen, den Auswertungsbogen Kopfballverhalten, sowie den Beobachtungsbogen von Verletzungssituationen. Sie werden im Einzelnen aufgeführt und erklärt:

Stammdaten-Bogen:

Mit diesem Fragebogen sollten anhand von 8 Items die äußeren Begebenheiten der Partien sowie die genaue Zuteilung von Heim- und Gastmannschaft, Spielklasse, Spieltag, Datum und Uhrzeit erfasst werden. Die Witterung des jeweiligen Spieltages wurde ebenso berücksichtigt. Zudem wurde unterschieden, ob die Partie auf einem natürlichen Rasen oder Kunstrasen ausgetragen wurde, und ob es sich um Tages- oder Abendpartien (Flutlichtpartien) handelte.

Auswertungsbogen Kopfballverhalten:

Mit diesem Bogen wurden die genauen Umstände des Kopfballs, die Aktion der köpfenden Spielerin und die Situation, die zum Kopfball heranzuführte, mit insgesamt bis zu 26 Auswahlmöglichkeiten registriert.

Initial wurde erfasst, zu welcher Mannschaft die köpfende Spielerin gehörte, ob die zugehörige Mannschaft in Führung oder Rückstand lag, zu welcher Spielminute sich der Kopfball ereignete, und welche Position die Spielerin anhand des Spielgeschehens und der Startaufstellung innehielt.

Zur Aktion der Spielerin gehörten Angaben zum Vorliegen eines Zweikampfs, also ob beispielsweise ein direkter Körperkontakt zu Gegner- oder Mitspielerinnen vorlag. Die Bewegung der Athletin zum Ball, die Kontaktregion des Balls am Kopf und die Distanz, die der Ball zuvor an Strecke in der Luft zurückgelegt hatte, wurden ebenso berücksichtigt. Es wurden außerdem die Körperkontaktregionen während eines Zweikampfs erfasst. Besondere Relevanz hat die Ellenbogenposition der köpfenden Spielerin, hierfür konnte zwischen der Ellenbogenposition unter, auf, oder über Schulterhöhe unterschieden werden. Abschließend wurde auf die Sprungsituation der Spielerin und der ggf. im Zweikampf beteiligten Mit- und Gegenspieler eingegangen. Zuletzt wurde dazu Position bezogen, ob sich beim Kopfballzweikampf ein Foul ereignete oder nicht.

Zur Situation des Kopfballs wurde der Bereich des Spielfelds, in der sich der Kopfball ereignete, evaluiert: Hierzu kann anhand 14 weiteren Auswahlmöglichkeiten selektiert werden, ob es sich z.B. um den gegnerischen oder eigenen 16-Meter-Raum, die 5-Meter-Box, den Bereich nahe der Eckfahnen, oder dem gegnerischen bzw. eigenen Mittelfeld – entweder mittig oder seitlich - handelte. Am Ende des Fragebogens Kopfballverhalten konnten eigene Bemerkungen aufgeführt werden.

Auswertungsbogen Kopfverletzungsträchtige Situation:

Kam es anhand der „Critical Incident“ Kriterien zu einer kopfverletzungsträchtigen Situation, wurde diese durch den 27 Items umfassenden Fragebogen zur Videoanalyse von Verletzungssituationen ausgewertet.

Im ersten Teil des Bogens wurde auf die Rahmenbedingungen, die zur Kopfverletzung heranzuführen, eingegangen. Hierzu zählten Rückennummer und Zugehörigkeit der verletzten Spielerin, die Spieler-Position, die Einsatzzeit, die laufende Spielminute und der Spielbereich, in der sich die Verletzung ereignete. Des Weiteren wurde das Spielerschicksal betrachtet: Hierzu zählten, ob die Spielerin das Feld zu Fuß oder nur auf einer Trage verlassen konnte, ob es durch die Verletzung zu einer Spielunterbrechung kam, und ob die verletzte Spielerin daraufhin ausgewechselt werden musste oder nicht.

Im zweiten Teil des Verletzungsbogens wurde die allgemeine Spielsituation registriert. Dazugehörig waren Ballbesitz und Spielereignis, wie z.B. eine Standardsituation (Eckball, Einwurf, Flanke usw.) oder das freie Spiel. Die Grundaktion der Spielerin, also ob sich diese beispielsweise gerade beim Absprung, in der Flugphase, oder in einem Sprint befand und welche Aktion geplant wurde, etwa den Ball klären, passen, oder einen Ballgewinn erzielen, wurde ebenso mit einbezogen.

Falls sich die Spielerin in einem Zweikampf befand, wurde näher auf das Zweikampfduell eingegangen: Der Zweikampf konnte z.B. durch ein Kopfballduell, ein Tackling, ein Sprintduell oder Tötlichkeit unterschieden werden. Im Falle eines Tacklings wurde erfasst, ob die Spielerin von hinten, vorne oder der Seite angegriffen wurde. Der Bodenkontakt während der Aktion wurde ebenso gewertet. Nun konnte genau ausgelesen werden, wo sich die verletzte Körperregion befand. Hierfür standen allein für Kopf und Nacken mehrere anatomische Regionen (occipital, temporal, frontal, Schläfen etc.) zur Auswahl.

Bezüglich eines potenziellen Fouls erfolgte die eigenen Situationsbewertung gegenüber der jeweiligen Schiedsrichterin.

Zuletzt wurde eingetragen, ob es sich um einen direkten oder indirekten Kontakt handelte und welcher Trigger für die Kopfverletzung in Betracht kam. Dies umfasste Umstände wie z.B. einen Schlag, Tritt oder Kollision mit einer Gegnerin oder dem Ball. Zuletzt wurden die Körperkontaktregionen, die im Zweikampf bei Gegen- bzw. Mitspielerinnen involviert waren, registriert. Der Bogen konnte wiederum mit einem persönlichen Kommentar abgeschlossen werden.

3.2.3. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung gelang mittels zweier Programme. Zum einen wurde das international etablierte Statistikprogramm IBM SPSS 27.0 verwendet. Mit diesem konnten die Daten der elektronischen Erfassungsbögen in die notwendigen Rohdaten umgerechnet werden. Des Weiteren wurde das Programm Microsoft Excel 2016 zur quantitativen Analyse genutzt. Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum, die Odds Ratio und prozentuale Verteilung umfassten die deskriptive Statistik. Die Odds Ratio wurde mittels Vier-Felder-Tafel berechnet.

3.2.4. Ein- und Ausschlusskriterien

Es wurden insgesamt 100 Spiele der 1. Frauen-Bundesliga aufgenommen, hiervon 44 Spiele aus der Saison 2020/21, 55 Spiele aus der Saison 2019/20 und 1 Spiel aus der Saison 2018/19. Nicht mit inbegriffen waren DFB-Pokalspiele, internationale Spiele, Freundschaftsspiele oder Spiele anderen Frauenfußballligen.

4 Ergebnisse

4.1 Charakterisierung des Studienkollektivs

Diese Promotionsarbeit untersuchte 100 Spiele des Profifußballs der Frauen. Es wurden ausschließlich Spiele aus der 1. Frauen Bundesliga analysiert, wovon 44 Spiele aus der Saison 2020/21, 55 Spiele der Saison 2019/20 und 1 Spiel aus der Saison 2018/19 stammten. Es wurden von den jeweiligen Spieltagen alle Spielbegegnungen ausgewählt, um zu vermeiden, dass bestimmte Mannschaften der Liga öfter in die Studie aufgenommen wurden als andere. Das gesamte Videomaterial lag vollständig vor, wodurch kein Spiel aufgrund des Vorhandenseins von Ausschlusskriterien ausselektiert werden musste (Drop-Out-Rate: 0%). Die 1. Frauenbundesliga hatte in den 3 Saisons 2019/20 und 2020/21 jeweils 12 Mannschaften, somit standen pro Spieltag 6 Partien fest.

4.2 Epidemiologische Analyse von Kopfbällen

Aus dem Datensatz der 100 zufällig ausgewählten Spiele ergab sich bei den qualitativ ausgewerteten Kopfballsituationen ein Durchschnitt von 90,2 Kopfbällen pro Spiel. Bei der Analyse kopfverletzungsträchtiger Situationen wurden 0,37 Kopfverletzungen pro Spiel errechnet (s. Tab. 3) wiedergegeben.

Tabelle 3: Ergebnisse zur Verteilung von Kopfbällen und Kopfverletzungen

Anzahl der Spiele	100
Kopfbälle:	
Kopfbälle insgesamt	9020
Kopfbälle/Spiel	90,2 +/- 20,76
Kopfbälle/Minute	1,01
Kopfbälle/Spielerin/Spiel	4,1 +/- 0,94
Kopfverletzungen:	
Kopfverletzungen insgesamt	36
Kopfverletzungen/ Spiel	0,36 +/- 0,67

4.2.1 Spielsituation

In Summe wurden 83% der Spiele (83/100) bei trockener Witterung und lediglich 17% (17/100) unter nassen Witterungsverhältnissen ausgetragen. Etwa ein Fünftel der Spiele (22/100) waren Abendpartien mit Flutlicht-Beleuchtung. Keines der Spiele fand auf Kunstrasen statt.

Zeitlich gesehen verteilten sich die Kopfbälle im Verlauf des Spiels gleichmäßig, in der 1. Halbzeit wurden insgesamt 4471/9026 Kopfbälle registriert, in der 2. Halbzeit waren es kumulativ 4555/9026. Auffällig war eine Häufung der Kopfbälle vor allem während der letzten 15 Minuten inklusive Nachspielzeiten der 1. Halbzeit (18,4 % bzw. 1662/9026) und 2. Halbzeit (19,3% bzw. 1743/9026). Die wenigsten Kopfbälle gab es zwischen Minute 16-30 (15,3% bzw. 1379/9026), sowie den Spielminuten 61-75 (15,3% bzw. 1379/9026).

Es wurde zudem die Position erhoben, welche am häufigsten Kopfbälle durchführte (s. Tab. 4). Hierbei zeigte sich, dass im Profi-Bereich der Frauen das offensive Mittelfeld mit einem Drittel aller Kopfbälle die Position mit den meisten Kopfbälle-Beteiligungen ist. Insgesamt köpften die Mittelfeldakteurinnen etwas mehr als Verteidigerinnen, mit 47,5% (4283/9027) zu 43,9% (3974/9027). Das Verhältnis von offensiven zu defensiven Mittelfeldspielerinnen lag etwa bei 2:1: 33,2% bzw. 2999/9027 Kopfbälle durch offensive Mittelfeldspielerinnen zu 14,2% bzw. 1284/9027 durch die defensiven Mittelfeldspielerinnen. Innenverteidigerinnen waren ca. 20% häufiger an Kopfbällen beteiligt als ihre verteidigenden Kolleginnen auf der Außenbahn. Nur knapp 9% aller Kopfbälle entfielen auf Stürmerinnen (774/9027). Kopfbälle von Torhüterinnen stellten eine Ausnahme dar (2/9027).

Knapp zwei Drittel der Kopfbälle dienten zum Zweck des Verteidigens und wurden in defensiven Spielaktionen getätigt (5628/9027 bzw. 62%). 38% bzw. 3399/9027 der Kopfbälle galten einer Offensivaktion (vgl. Abb. 2). Kongruent hierzu bekam die köpfende Spielerin circa zwei Drittel der Bälle von einer Gegenspielerin (5983/9027 bzw. 66,3%) und nur ein Drittel von einer Mitspielerin zugespielt (3044/9027 bzw. 33,7%).

Tabelle 4: Spielerposition

Position	(n=9027)
Torwart	0,02% (2)
Innenverteidiger	24,1% (2177)
Außenverteidiger	19,8% (1791)
Defensives Mittelfeld	14,2% (1284)
Offensives Mittelfeld	33,2% (2999)
Sturm	8,6% (774)
Verteidiger gesamt	43,9% (3974)
Mittelfeld gesamt	47,5% (4283)

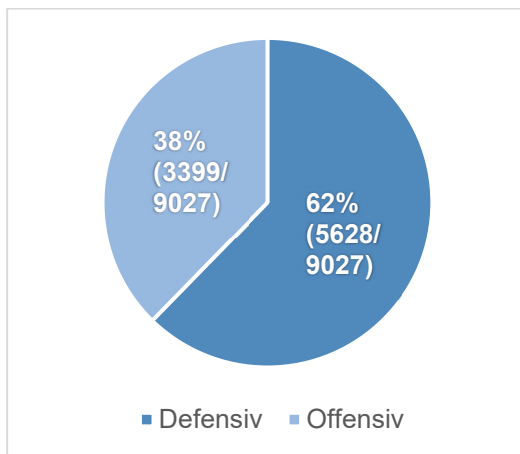


Abbildung 2: Ausrichtung des Kopfballs

Um unterscheiden zu können in welchen Bereichen sich Kopfballsituationen potenziell gehäuft zutragen, wurden die Kopfballaktionen nach Spielfeldzonen unterteilt (vgl. Abb. 3). Die zentralen Mittelfeld-Zonen waren am stärksten vertreten, gefolgt vom eigenen Strafraum und Außenbahnen. Besonders selten wurde in der Nähe der Eckfahnen des Gegners geköpft. Vereinzelt ereigneten sich Kopfbälle außerhalb des Spielfelds (0,1% bzw. 9/9027).

Am häufigsten ereigneten sich Kopfbälle während eines ausgeglichenen Spielstands (37,2 %, 3358/9027). Am seltensten köpfte eine Mannschaft, während sie in Führung lag (30,2 %, 2722/9027).

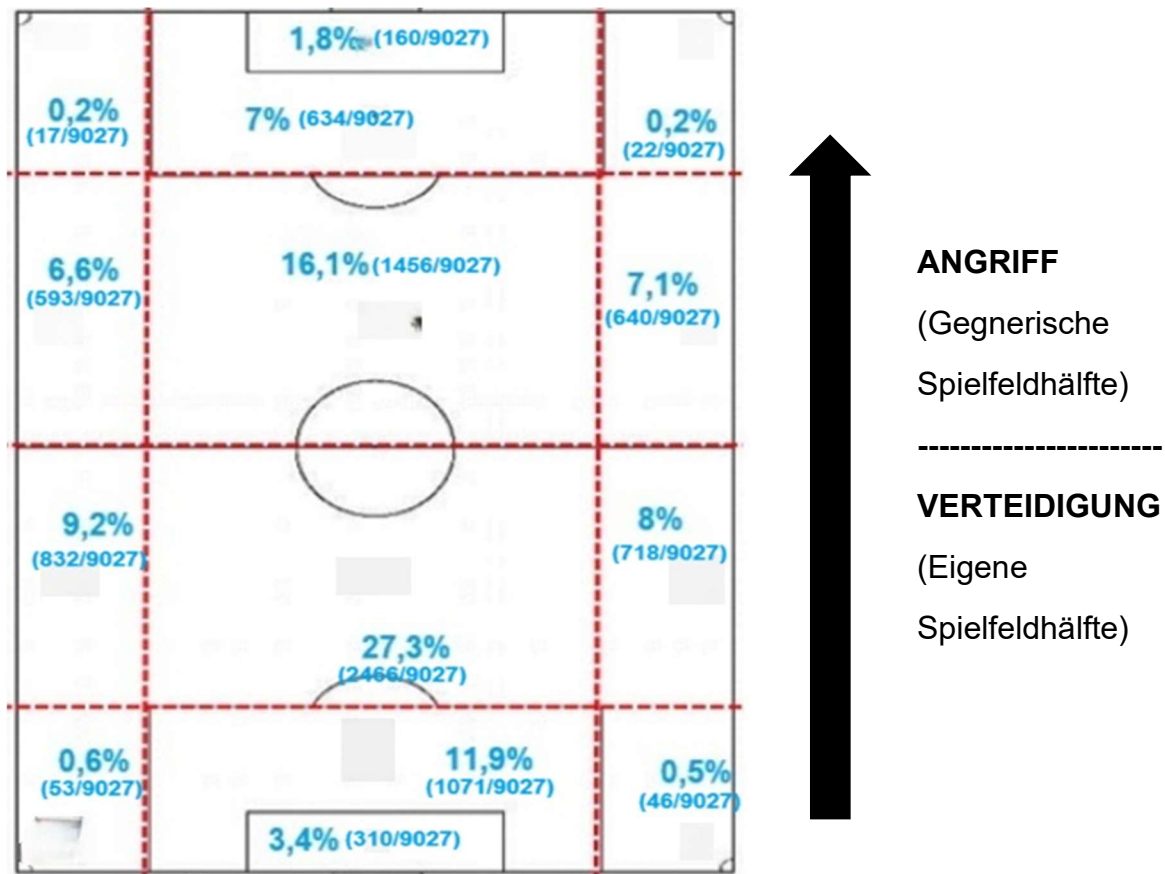


Abbildung 3: Verteilung der Kopfbälle nach Spielfeldzonen (n=9027)

Um das Geschehen direkt vor dem Kopfball besser einordnen zu können, wurde die jeweilig aktuelle Spielsituation erfasst. Hierzu wurde eine Unterscheidung in ein freies Spiel und unterbrochenen Spielsituationen, bei der der Ball ruht, gemacht, wie es beispielsweise bei Standardsituationen wie dem Eckball oder Abstoß der Fall ist. 61,5% bzw. 5557/9026 der Kopfbälle entstanden aus dem freien Spiel heraus. Häufig wurde der köpfenden Spielerin ein hoher Pass zugespielt (3541/9026 bzw. 39,2%). Es ereigneten sich gehäuft Kopfbälle dann, wenn bereits vorher geköpft wurde (1406/9026 bzw. 15,6%). Etliche Male bildeten sich Pass- oder Klärungs-Stafetten, bei denen sich mehrere Kopfbälle aneinanderreichten. Die meisten ruhenden Bälle umfassten Abstöße oder Abschlüsse (1091/9026 bzw. 12,1%), dicht gefolgt von Einwürfen (1047/9026 bzw. 11,6%). Nur gelegentlich dienten Kopfbälle direkt zum Verteidigen von Torschüssen (18/9026 bzw. 0,2%). Letztere wiesen im Regelfall hohe Geschwindigkeiten und einen geringeren Flugweg auf (s. Tab. 5).

Tabelle 5: Spielsituationen

Spielsituation	(n=9026)
Freies Spiel gesamt	61,5% (5557)
Hoher Ball/ Pass	39,2% (3541)
Flanke	6,6% (592)
Schuss	0,2% (18)
Kopfball	15,6% (1406)
Standardsituation gesamt	38,5% (3469)
Abschlag/-stoß	12,1% (1091)
Einwurf	11,6% (1047)
Eckball	6,5% (583)
Freistoß	8,3% (748)

Bei der Analyse der Spielsituation wurde ebenso der Flugweg, den der Ball zuvor in der Luft zurückgelegt hat, ausgewertet. Knapp über der Hälfte der Bälle legten zuvor eine Distanz von 20-50 Metern zurück (4614/9026 bzw. 51,1%), gefolgt von Distanzen mit 5 bis 20 Metern mit 34,6% (3123/9026). 12,3% erwiesen sich als kurze Bälle mit einem Flugweg von unter 5 Metern (1100/9026). Einen sehr weiten Flugweg von über 50 Metern hatten in dieser Auswertung lediglich 2% (179/9026).

4.2.2. Kopfballverhalten

Neben der vorangegangenen Situation, die zu einem Kopfball führte, wurde auch das Verhalten der köpfenden Spielerin im Detail betrachtet. Hierfür wurde zunächst die Bewegung der Spielerin unmittelbar vor dem Kopfball gewertet. In mehr als der Hälfte aller Fälle (56,3% bzw. 5080/9027) bewegte sich die Spielerin aktiv vorwärts auf den Ball zu. Zu 18,2% (1646/9027) befand sich die Spielerin beim Kopfball in der Rückwärtsbewegung, ähnlich häufig in einer seitlichen Bewegung (1422/9027 bzw. 15,8%). Zu 9,7% (879/9027) ereigneten Kopfbälle sich aus dem Stand.

Als Nächstes wurde der Eingangswinkel des Balls zur Spielerin überprüft, gemessen an einer von der Stirn ausgehenden waagrechten Linie. In einem Großteil der Fälle führten die Spielerinnen Kopfbälle bei von oben kommenden Bällen aus (93,4%, 8432/9027). Bei dem Resultat „Eingangswinkel von unten“ handelt es sich meist um Abschlüsse oder Abstoße, die kurz zuvor noch einmal am Rasen aufspringen, bevor es

zu einem Kopfball kommt. Diese waren nur zu 5,2% vertreten (465/9027). 130/9027 bzw. 1,4% der Bälle trafen parallel auf den Kopf der Spielerin ein.

Den nächsten Punkt in der Analyse des Kopfballverhaltens stellte die Richtungsänderung des Balls dar. Relevanz haben vor allem Richtungsänderungen über 90°, da diese mit einem höheren Kraftaufwand für die Nackenmuskulatur verbunden sind und eine höhere Translationskraft auf den Schädel einwirkt. Kopfbälle mit starker Richtungsänderung waren mit circa einem Drittel (36,2% bzw. 3268/9027) bei den Profi-Frauen vertreten. Am häufigsten waren mit 39,6% (3579/9027) Bälle mit Richtungsänderungen von 45-90 Grad. Den geringsten Anteil machen mit 24,1% (2180/9027) Bälle mit einer geringen Richtungsänderung aus. Hiermit ist eine Winkeländerung von unter 45 Grad gemeint.

Auch die Auftrefffläche des Balls am Kopf ist entscheidend für die Kraftverteilung. Idealerweise gilt es den Ball frontal mit der Stirn zu köpfen. Dies war auch in der 1. Bundesliga der Frauen mit 96,9% (8751/9027) mehrheitlich der Fall. Auftreffflächen unterhalb der Stirn, z.B. im Gesicht oder am Hinterkopf, waren sehr selten (0,3% bzw. 26/9027 und 0,2% bzw. 17/9027). Hierbei handelte es sich meistens um einen versehentlichen Abschuss der Spielerin aus kurzer Distanz, die den Aufprall des Balls am Kopf dadurch nicht koordinieren konnte. Nur 3,1% (276/9027) der Kopfbälle waren unbeabsichtigt oder ungezielt, was nur jeden 270. Kopfball insgesamt ausmachte (s. Tab. 6).

Tabelle 6: Auftrefffläche des Balls

Auftrefffläche Ball	(n=9027)
Frontal	96,9% (8751)
Parietal	2,3% (207)
Temporal	0,3% (26)
Occipital	0,2% (17)
Facial	0,3% (26)

Die meisten Kopfbälle waren als Pass intendiert und wurden daher gezielt im Spielaufbau genutzt (5475/9027 bzw. 60,7%). Am zweithäufigsten waren Klärungsversuche (2588/9027 bzw. 28,7%). Dies deckt sich mit der bestehenden

Lehrmeinung, dass der Kopfball gerne als defensives Mittel bei Abstoßen, Freistößen oder Flanken und Ecken verwendet wird. Gelegentlich wurde der Kopfball auch als Option zur Ball Mit- und Aufnahme genutzt (291/9027 bzw. 3,2%). 5,5% (495/9027) der Kopfbälle waren Torschüsse (vgl. Abb. 4).

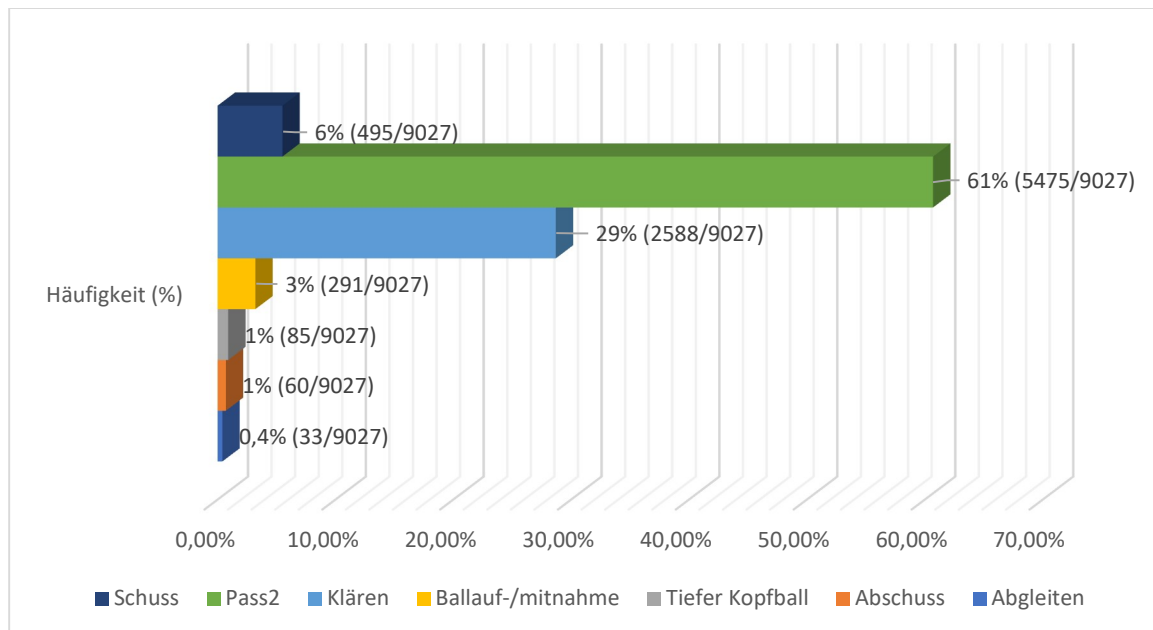


Abbildung 4: Art des Kopfballs

4.2.3 Zweikampfverhalten

Neben der Spielsituation, die zeitlich eine Kopfball-Aktion umgibt, gibt auch das mit dem Kopfball verbundene Zweikampfduell Aufschlüsse über potenzielle Verletzungsgefahren. Aus diesen Gründen wurde das Zweikampfverhalten der Spielerinnen beim Kopfball genauer untersucht. Es zeigte sich, dass sich über zwei Drittel der Kopfbälle während eines Zweikampfs ereigneten (64% bzw. 5773/9027). Ein Kopfballduell wurde immer dann als Zweikampf gewertet, wenn während des Kopfballs mindestens zwei Spielerinnen direkten Körperkontakt zueinander hatten oder der Abstand zwischen den Spielerinnen maximal einen Meter betrug. Als Anhalt während der Spielanalysen diente hierfür eine Armlänge Abstand.

Interessant ist auch die Beobachtung, wie das räumliche Verhältnis der Spielerinnen zueinander ist. Gehäuft ereignen sich kopfverletzungsträchtige Situationen im Fußball dann, wenn die Athleten im Duell um den Kopfball sich gegenseitig nicht sehen. Dies

ist beispielsweise dann der Fall, wenn eine Spielerin im Rückwärtslauf ist und hierbei mit der Gegnerin im Luftduell zusammenstößt. In der vorliegenden Videoanalyse wurde unterschieden, ob die köpfende Spielerin vor, neben oder hinter der Zweikampfpartnerin steht. Mehrheitlich befand sich die köpfende Spielerin vor der Gegenspielerin (44%; 2538/5773). Zu 35,3% (2036/5773) agierte die Spielerin von hinten. Circa ein Fünftel der Athletinnen befanden sich beim Kopfball seitlich neben einer anderen Spielerin (20,1%; 1161/5773). Nur sehr selten konkurrierten zwei oder mehr Mitspielerinnen um einen Kopfball, ohne dass eine Gegnerin im Zweikampf verwickelt war (0,7%; 38/5773). Die Gesamtzahl n=5773 ergab sich dadurch, dass nicht jeder Kopfball in unmittelbarer Nähe zu einer Gegen- oder Mitspielerin durchgeführt wurde.

Die Zweikampfsituation wurde zudem hinsichtlich der involvierten Spielerinnen analysiert. Führend war hierbei der Kontakt zu einer Gegenspielerin (63,3%; 3654/5773). Nur selten entstand während der Kopfball-Aktion Körperkontakt zu einer Mitspielerin (2%; 116/5773). In 6% (345/5773) der Fälle hatte die köpfende Person Kontakt zu mehreren Spielerinnen. In der Gesamtwertung lag bei 71,3% (4115/5773) aller Kopfballduelle ein direkter Körperkontakt zwischen den Spielerinnen vor. Zu 28,7% (1658/5773) bestand kein direkter Kontakt, sondern nur eine unmittelbare Nähe

zueinander, wobei zur köpfenden Spielerin maximal ein Meter Abstand bestand (vgl. Abb. 5).

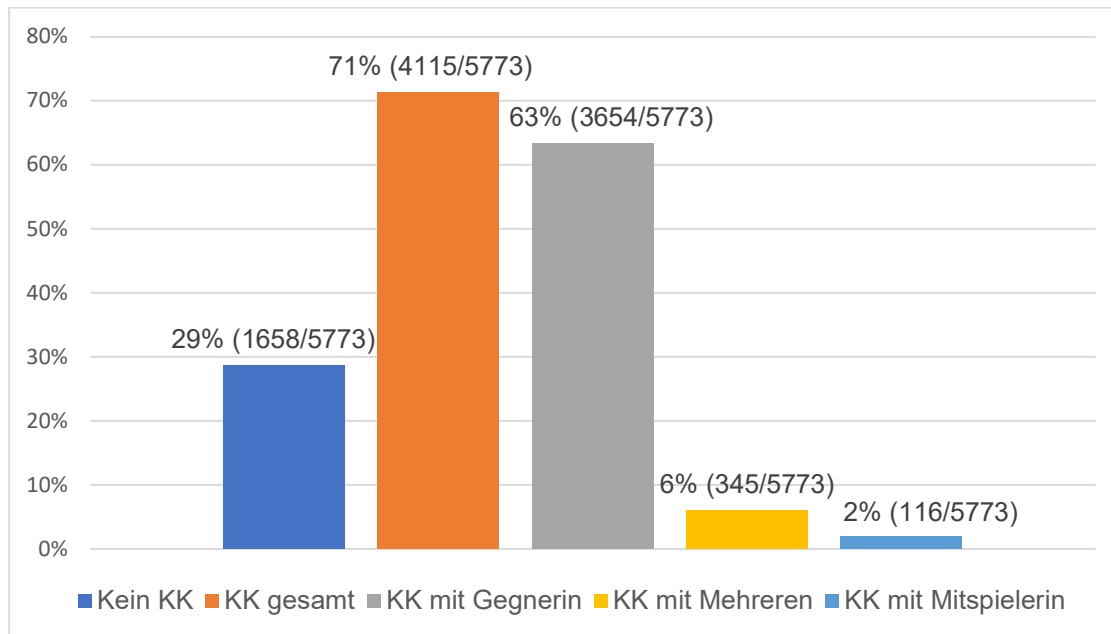


Abbildung 5: Anteil eines vorliegenden Körperkontakts beim Kopfballspiel

Falls es zu einem direkten Körperkontakt kam, wurde anhand der Fragebögen erfasst, welche Körperregionen der im Kopfballduell involvierten Spielerinnen gegenseitige Kontaktpunkte darstellten. Folglich sind Kontakte zum Schädel oder Gesicht von besonderem Interesse. Der Schädel wurde in nur 0,2% (20/9027 beim Spieler bzw. 17/9027 beim Gegner) der Fälle berührt, gefolgt von Gesichtsregionen mit 0,1% (jeweils 8/9027). Erwähnenswert ist, dass es nur bei 53 von den insgesamt 9027 Kopfbällen zu einem Kontakt am Kopf kommt. Die Region Schädel nimmt somit an letzter Stelle seinen Platz ein (s. Tab. 7).

Tabelle 7: Körperkontakt-Regionen

Körperkontakt-Region	Spielerin (n=9027)	Gegnerin (n=9027)
Schädel gesamt	28 (0,3%)	25 (0,3%)
Gehirnschädel	20 (0,2%)	17 (0,2%)
Gesichtsschädel	8 (0,1%)	8 (0,1%)
Rumpf ges.	2511 (27,8%)	2350 (26%)
Rumpf hinten	1827 (20,2%)	1581 (17,5%)
Rumpf vorne	724 (8%)	769 (8,5%)
Obere Extremitäten ges.	2456 (27,2%)	2552 (28,3%)
Arm	2341 (26%)	2411 (26,7%)
Hand	115 (1,3%)	141 (1,6%)
Untere Extremitäten ges.	1907 (21,1%)	1739 (19,3%)
Bein	1851 (20,5%)	1697 (18,8%)
Fuß	56 (0,6%)	42 (0,5%)

Hohe Ellenbogen-Positionen bei Luft-Zweikämpfen haben ein nachgewiesenes hohes Verletzungspotenzial und sollten daher von Schiedsrichtern konsequent geahndet werden. Aus diesem Grund wurden in dieser Studie Ellenbogen-Positionen bei Kopfbällen genau dokumentiert. Synchron zur Auswertung der Körperkontaktregionen wurde bezüglich der Ellenbogen-Positionen ebenso die köpfende Fußballerin selbst als auch die im Zweikampf involvierten Gegen- oder Mitspielerinnen in der Analyse betrachtet. Zwar überwog das Fair-Play, da zu etwa 90% (5110/5768) sich die Ellenbogen unterhalb der Schulterhöhe befanden, dennoch wurden hohe Ellenbogen-Positionen auf oder über Schulterhöhe bei circa jedem 10. Kopfball (11,4%; 658/5768) dokumentiert. Die gefährliche Spielweise mit hoher Ellenbogen-Position ist bei der köpfenden Spielerin selbst öfter vertreten als bei der Gegenspielerin (vgl. Abb. 6).

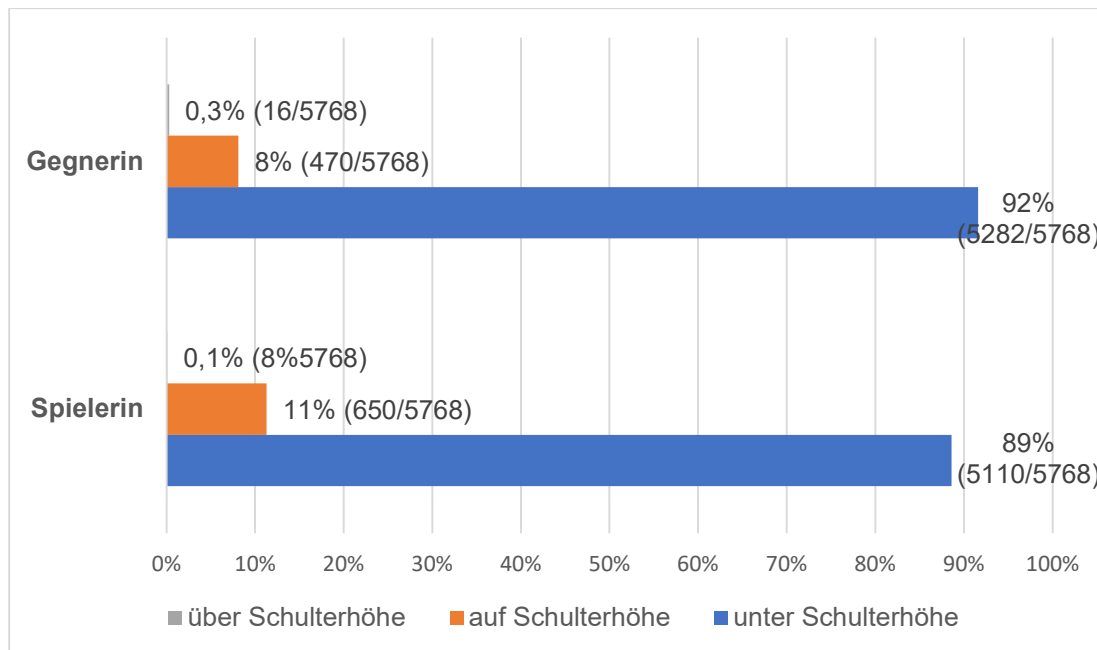


Abbildung 6: Ellenbogenpositionen beim Kopfballduell

Die Mehrheit der Kopfballduelle wurde von den Schiedsrichterinnen als faire Zweikampfführung erachtet (96,6%; 3967/4106). In lediglich 3,4% (139/4106) der Fälle musste das Spiel aufgrund unfairen Spielweise unterbrochen werden.

Als letzter Punkt der Analyse „Kopfballverhalten“ wurde die Sprungsituation der Spielerinnen betrachtet. Um einen hohen Ball erfolgreich und zielgerichtet köpfen zu können braucht es einen korrekt ausgeführten Sprung mit Absprung-, Flug- und Landephase. Knapp 92% (8276) der Kopfbälle erzielten die Spielerinnen mittels eines Sprungs.

Unkontrollierte Landungen, z.B. auf Rumpf oder Armen, bedingt durch eine höhere Wucht im Luftzweikampf, waren selten (1,8%; 145/8260). Größtenteils schafften es die Spielerinnen nach einem Sprung sicher mit den Beinen zu landen, wodurch das Verletzungsrisiko geringer war (98,2%; 8115/8260). Dass eine Spielerin nach einem Sprungduell direkt mit dem Kopf am Boden aufprallt, kam nur ein einziges Mal vor.

4.3 Epidemiologische Analyse von Kopfverletzungen

Neben der Analyse von Kopfballsituationen galt ein weiterer Teil dieser Arbeit der detaillierten Untersuchung von kopfverletzungsträchtigen Situationen. Mittels des Auswertungsbogens für kopfverletzungsträchtige Situation wurden die relevanten

Ereignisse unter Anwendung der Videoanalyse erfasst. Um diese Situationen als kopfverletzungsträchtig definieren zu können, wurden sie mittels des „Critical Incident“ System von Andersen et al. beschrieben (Andersen et al. 2004). Im Folgenden wird eine typische Situation für ein solchen „Critical Incident“ veranschaulicht (vgl. Abb. 7).

Neben der Inzidenz von Kopfverletzungen im Frauenfußball der 1. Bundesliga wurde zudem die Spielsituation, die zur Verletzung führte, als auch das darauffolgende Spielerschicksal, spezifiziert. Zuletzt wurden Risikofaktoren für eine Kopfverletzung dargelegt.



Abbildung 7: Kopfverletzungsträchtige Situation (DFB, 1. Frauen Bundesliga 2019) Bei diesem Beispiel sind im Kopfballduell drei Spielerinnen involviert. Die direkt im Kopfball involvierten Spielerinnen stoßen mit den Köpfen parietal und frontal zusammen. Beide Spielerinnen bleiben für circa 1 Minute verletzt am Boden liegen, können aber nach einer kurzen Behandlungspause weiterspielen. Die 3. Spielerin stößt während des Sturzes mit den anderen beiden zusammen, trägt aber nicht zur Kopfverletzung selbst bei.

4.3.1. Inzidenz von Kopfverletzungen in der 1. Frauen Bundesliga

Saisonübergreifend wurden in der 1. Frauen Bundesliga der Saison 2018/19, 2019/20 und 2020/21 bei insgesamt 100 ausgewerteten Spielen 36 Kopfverletzungen erfasst. Das ergab im Durchschnitt 0,36 Kopftraumata pro Spiel, was in etwa jedem dritten Spiel im Frauen-Profifußball entsprach. 35 der 36 Critical Incidents ereigneten sich bei Feldspielerinnen, lediglich eine kopfverletzungsträchtige Situation entfiel auf eine Torhüterin.

4.3.2. Analyse der Spielsituation

Ähnlich wie bei der Kopfballanalyse wurden auch die Kopfverletzungssituationen ausführlich anhand der Analysebögen evaluiert. Die Verteilung zwischen Gast- und Heimmannschaft der verletzten Spielerinnen lag genau bei 50% (18/36). Auffallend war, dass sich die Kopfverletzungen mehrheitlich in Halbzeit zwei ereigneten: 39% (14/36) entfielen auf Halbzeit eins, 61% (22/36) auf Halbzeit zwei.

Oft waren die Spielerinnen einer kopfverletzungsträchtigen Situation Teil der Startelf (91,7%; 33/36). Nur 3 Spielerinnen (8,3%; 3/36) wurden erst im Verlauf des Spiels eingewechselt und erlitten dann ein Kopftrauma.

Kongruent zur Beteiligung an Kopfbällen waren auch die offensiven Mittelfeldspielerinnen die, die sich am häufigsten verletzten (42%; 15/36). An zweiter Stelle folgten gleichauf mit jeweils 16,7% (6/36) die Innen- und Außenverteidigerinnen. Dies deckt sich auch ungefähr mit der Verteilung der Kopfballstatistik der Verteidigerinnen (19,8% aller Kopfbälle getätigt von Außenverteidigerinnen und 24,1% von Innenverteidigerinnen). Dennoch verfügen Außenverteidigerinnen über ein höheres Risiko, in kopfverletzungsträchtigen Situationen involviert zu sein. Defensive Mittelfeld-Spielerinnen scheinen deutlich weniger gefährdet zu sein, da sie, obwohl relativ häufig köpften (14,2 % aller Kopfbälle) nur 5,6% (2/36) aller Kopfverletzungsgefährdenden Situationen repräsentierten. Auch Stürmerinnen wiesen einen höheren Anteil an Kopfverletzungen (16,7%; 6/36) verglichen zu Kopfball-Aktionen (8,6%) auf. Ähnlich so bei Torhüterinnen (2,8% versus 0,02%, vgl. Abb. 8).

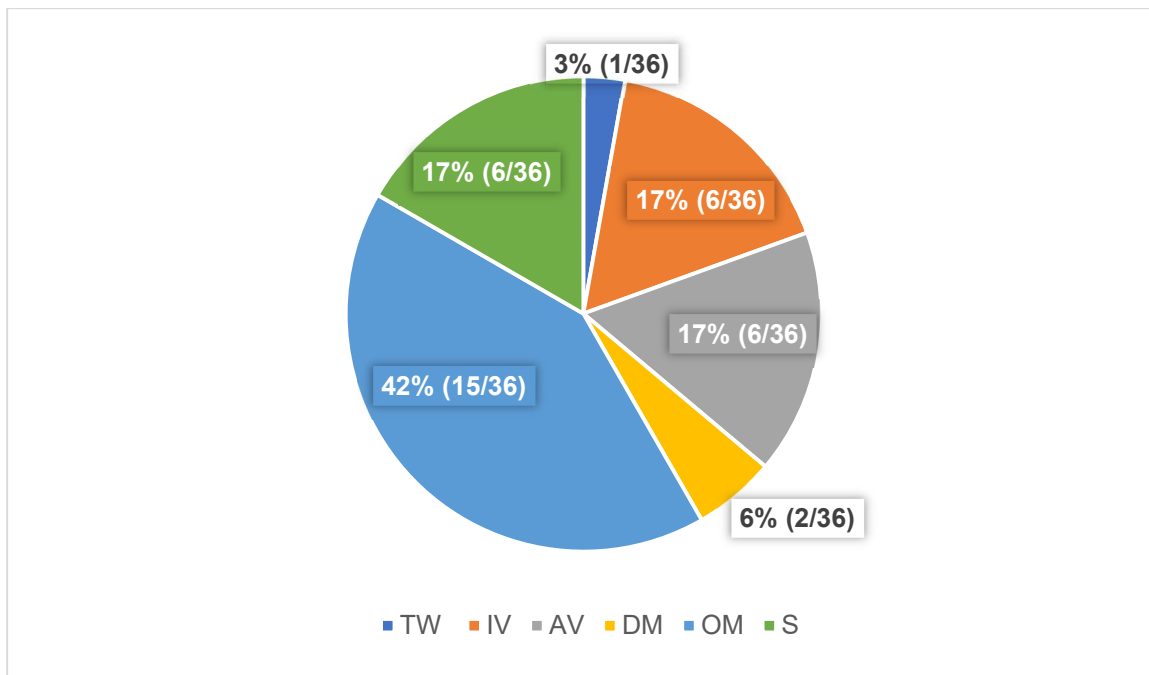


Abbildung 8: Verteilung von Kopfverletzung bezogen auf die Spielerposition

TW: Torwart, IV: Innenverteidigung, AV: Außenverteidigung, DM: Defensives Mittelfeld, OM: Offensives Mittelfeld, S: Sturm

Bei der Verteilung der Verletzungen bezogen auf die Zone des Spielfelds lag interessanterweise die Außenbahn an erster Stelle (13/36 bzw. 36%). Dies mag daran liegen, dass offensive Mittelfeldspieler oft auch die Außenbahnen besetzen, was ein Hinweis sein könnte, dass diese besonders für Kopfverletzungen exponiert sind (22,1% bzw. 8/36 der Kopfverletzungen ereigneten sich auf der gegnerischen Außenbahn). Bezogen auf die Spielfeldzone Mittelfeld schien vor allem die Abwehr von hohen Bällen im eigenen zentralen Mittelfeld, verglichen mit der Anzahl an Kopfbällen, ein geringeres Verletzungsrisiko aufzuweisen als das Köpfen im gegnerischen Bereich (blau hinterlegt, s. Tab. 8). Dies stimmte auch mit der geringen Zahl an Kopfverletzungen, die für die Position der zentralen Mittelfeldspielerin erfasst wurden, überein. Das Mittelfeld stellte den Bereich dar, in dem der prozentuale Anteil an Kopfbällen signifikant höher war als der prozentuale Anteil an Kopfverletzungen (43,3% versus 33,3%). Im Strafraum und Sechzehner war die Verteilung zwischen Kopfbällen und Kopfverletzungen fast identisch.

Tabelle 8: Inzidenz von Kopfverletzungen und Kopfbällen bezogen auf die Spielfeldzonen

Spielfeldzone	Kopfverletzung (n=36)	Kopfbälle (n=9027)
Mittelfeld	33,3% (12)	43,4% (3922)
Eigene Hälfte	13,9% (5)	27,3% (2466)
Gegnerische Hälfte	19,4% (7)	16,1% (1456)
Außenbahn (+ Eckfahne re/li)	38,9% (14)	32,4% (2921)
Eigene Hälfte	16,7% (6)	18,3% (1649)
Gegnerische Hälfte	22,2% (8)	14,1% (1272)
16er und Strafraum	27,9% (10)	24,1% (2175)
Eigene Hälfte	19,4% (7)	15,3% (1381)
Gegnerische Hälfte	8,4% (3)	8,8% (794)

Zumeist ereigneten sich Kopfverletzungen aus dem freien Spiel heraus (50% bzw. 18/36), während 39% (14/36) nach einer Standardsituation entstanden. Zudem wurden Kontersituationen gesondert ausgewertet. Diese machten in Summe 11,1% (4/36) aus.

Im nächsten Punkt der Kopfverletzungsanalyse wurde das Vorliegen einer Zweikampfsituation genauer beleuchtet. Hierbei ereigneten sich mit 86% (31/36) ausgeprägt viele Kopftraumata in einem Zweikampfduell und lediglich 14% (5/36) außerhalb eines Zweikampfgeschehens.

Die zugrunde liegende Aktion wurde hierbei noch weiter beleuchtet, wobei sich zeigte, dass dabei Kopfballduelle mit 61,1% (22/36) führend vorlagen, gefolgt von eigenem Tackling (11,1% bzw. 4/36) und Laufduellen (8,3% bzw. 3/36).

Zusätzlich zur Grundaktion wurde auch die eigentliche Spielaktion der Spielerin analysiert. Im Großteil der Fälle ereignete sich eine Kopfverletzung auch während eines Kopfballs (61,1% bzw. 22/36). Seltener außerhalb eines Kopfballduells, z.B. während einer Ballannahme (11% bzw. 4/36) oder einem Tackling (14% bzw. 5/36) (vgl. Abb. 9).

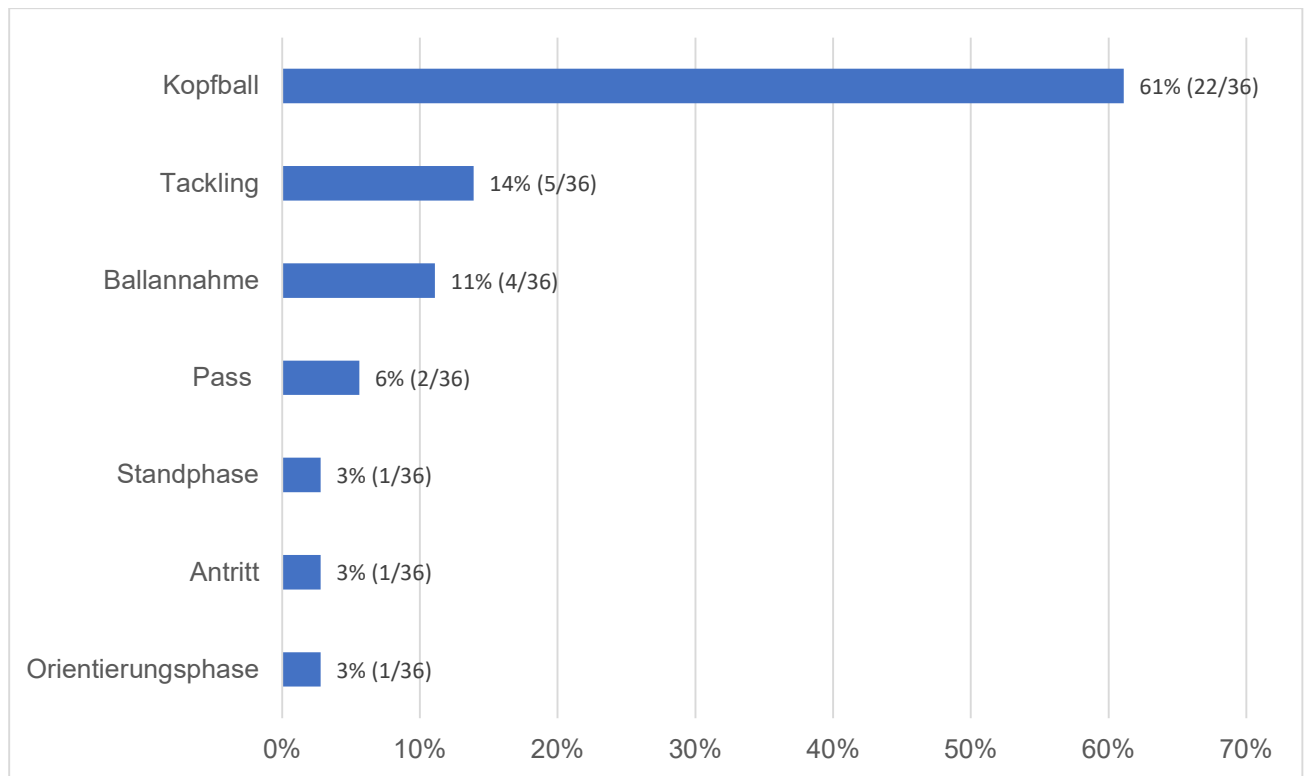


Abbildung 9: Spielaktion der verletzten Spielerin

Nur zwei Mal verletzte sich in dieser Analyse eine Spielerin ohne jeglichen Körperkontakt zu einer Gegen- oder Mitspielerin am Kopf (5,6% bzw. 2/36). Weitestgehend wurden Kopfverletzungen durch einen direkten Kontakt verursacht (94,4% bzw. 34/36). Dabei war insbesondere der direkte Körperkontakt zu einer Gegenspielerin führend (91,7% bzw. 33/36). In nur 2,8 % (bzw. 1/ 36) der Fälle wurden die Kopfläsionen durch direkten Kontakt mit einer Mitspielerin bzw. mit mehreren Mit- oder Gegenspielerinnen verursacht (2,8% bzw. 1/36). In über 80% der Fälle gingen die Verletzungen auf eine unvorbereitete Situation zurück, in welcher die Spielerin den Zusammenprall nicht antizipieren konnte, weil sich beispielsweise die Gegenspielerin außerhalb des Gesichtsfelds befand.

In einem Großteil der Fälle waren Kollisionen mit einer Gegenspielerin (47,2% bzw. 17/36) ausschlaggebend für eine Kopfverletzungssituation. Nachfolgend waren ungerichtete Schläge z.B. mit dem Ellenbogen (27,8% bzw. 10/36) als auch Zusammenstöße mit einer Mitspielerin (14% bzw. 5/36) die häufigsten Ursachen. In lediglich jeder 20. Situation war eine direkte Kollision mit dem Ball oder ein Sturz

verantwortlich für das Kopftrauma (je 5,6% bzw. 2/36). Der Tritt eines Gegners war nur in einem einzigen Fall Ursache der Kopfverletzung (2,8% bzw. 1/36) (vgl. Abb. 10).

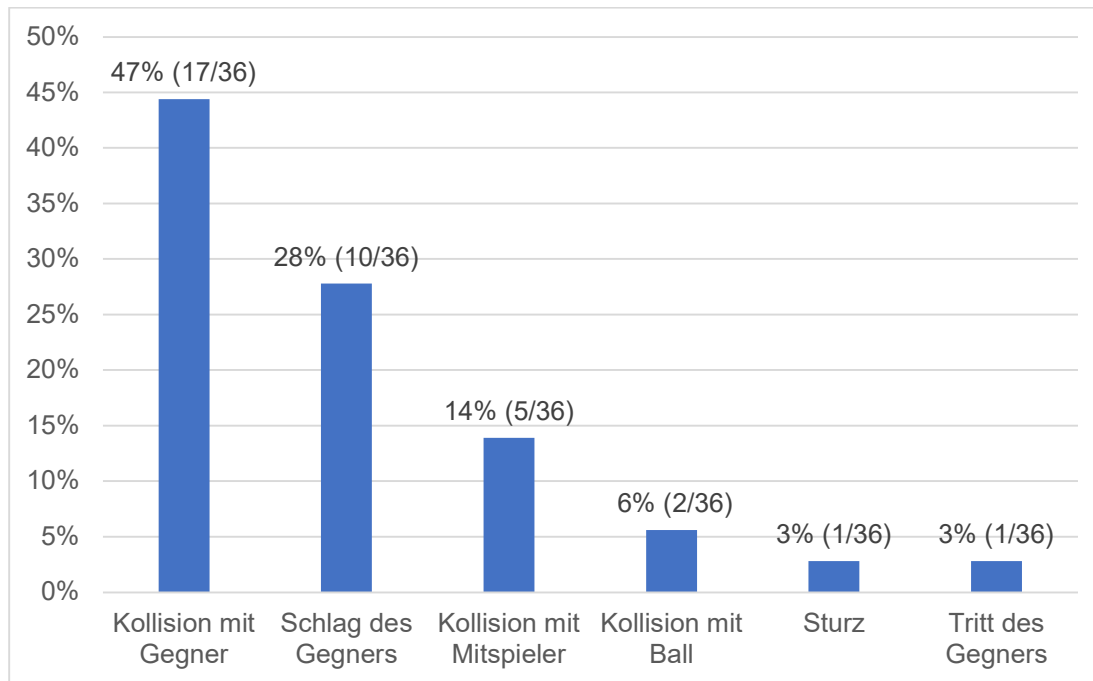


Abbildung 10: Ursachen für Kopfverletzungen (n=36)

Bezüglich des Bodenkontakts der Spielerin während einer Kopfverletzungsaktion bestand eine gleichmäßige Verteilung (47% bzw. 17/36 ohne Bodenkontakt versus 53% bzw. 19/36 mit Bodenkontakt, davon 37% bzw. 7/36 als einbeiniger Bodenkontakt).

Am häufigsten ereigneten sich Kopfverletzungen während einer Sprungaktion (64% bzw. 23/36). Nur in Einzelfällen befand sich die Sportlerin gerade bei einem Antritt, Sprint, Lauf, Abstoppbewegung oder im Stand (jeweils zu 5,6% bzw. 2/36). Weitere Ausnahmen stellten Richtungswechsel, Ausfallschritt oder Rutschen dar (Jeweils zu 2,8% bzw. 1/36). Deshalb wurde darüber hinaus gezielt auf Sprungsituationen eingegangen und die Einzelaktionen Absprung, Flugphase und Landung individuell betrachtet. 47% (11/23) der Verletzungen während einer Sprungaktion kamen hierbei in einer Flugphase zustande, 43% (10/23) während des Absprungs und 9% (2/23) während der Landung. Die Flugphase stellte somit die vulnerabelste Phase dar, die Landung die Sicherste.

Interessant waren im Kontext der Kopfverletzungen auch die betroffenen Regionen im Kopf-Hals Bereich. Auch hier gab es eine Mehrauswahl, weshalb die Anzahl an Auswahlmöglichkeiten der betroffenen Bereiche, die der eigentlichen Anzahl an Kopfverletzungen übertraf. Mit gut einem Drittel aller beteiligten Regionen im Kopf-Hals Bereich bei Kopfverletzungen lag das Gesicht mit 36,2% (17/47) an erster Stelle. Mit ungefähr einem Viertel folgte die Kontaktregion am Hinterkopf (25,5% bzw. 12/47). Dahinter lagen die Bereiche Stirn (14,9% bzw. 7/47), die Schläfen (12,8% bzw. 6/47), sowie der Nacken mit 10,7% (5/47) (s. Tab. 9).

Tabelle 9: Verletzte Körperregionen

Verletzte Kontaktregion Kopf/Hals	(n=47)
Gesicht	36,2% (17)
Hinterkopf	25,5% (12)
Stirn	14,9% (7)
Schläfe	12,8% (6)
Nacken	10,7% (5)

4.3.3. Konsequenz der Kopfverletzung

Um generalisiert die Schwere der Kopfverletzung evaluieren zu können, wurde in dieser Analyse darauf geachtet, ob die verletzte Spielerin initial, oder gegebenenfalls nach einer kurzen Pause, weiterspielen konnte, oder ob doch eine Auswechslung notwendig wurde. Es wurde zudem bei einer Auswechslung unterschieden, ob die Spielerin gehend den Platz verlassen konnte, oder ob sie aufgrund der Schwere der Verletzung liegend mit einer Trage weggebracht werden musste.

Zum Abschluss wurde die Situationsbewertung durch die Schiedsrichterin, mit der der analysierenden Personen, verglichen. Bei der Bewertung durch die Schiedsrichterin wurde die Spielunterbrechung, das gepfiffene Foul und die Bestrafung eines potenziellen Fouls mit der gelben oder roten Karte erfasst, und hierbei durch eine eigene Bewertung anhand der Videoanalyse gegenübergestellt.

Bezogen auf das Spielerschicksal mussten 61,1% (22/36) der Spielerinnen den Platz verlassen, um direkt ausgewechselt zu werden oder sich an der Seitenlinie einer medizinischen Behandlung zu unterziehen. 38,9% (14/36) der verletzten Spielerinnen konnten, ohne zwischenzeitlich das Spielfeld zu verlassen, direkt weiterspielen. Keine

der Spielerinnen wurde während dieser Analyse verletzungsbedingt vom Platz getragen.

Im nächsten Punkt wurde die Anzahl der Spielerinnen, die kopfverletzungsbedingt ausgewechselt werden mussten, mit der der Spielerinnen, die weiterspielen konnten, verglichen. Fast jede 7. Spielerin, wurde verletzungsbedingt vorzeitig ausgewechselt (13,9% bzw. 5/36). 72% (26/36) der Kopfverletzungs-Situationen wurden von der jeweiligen Schiedsrichterin nicht als Regelverstoß gewertet. Bei knapp einem Drittel handelte es sich um ein Foul durch die Gegenspielerin (27,8% bzw. 10/36). Dass eine Spielerin selbst während der Verletzungssituation ein Foul beging, konnte bei dieser Analyse nicht beobachtet werden. Bei der subjektiven Bewertung durch die Beobachter ist der Anteil an Regelwidrigkeiten mit 38,9% (14/36) deutlich höher als bei der Bewertung durch die Schiedsrichterinnen mit 27,8% (10/36). Tätlichkeiten traten im Rahmen von Kopfverletzungen in den 100 analysierten Partien der 1. Bundesliga nicht auf.

Zuletzt wurden bei der Bewertung der Verletzungssituation durch die Schiedsrichterin die Ahndungen durch eine rote oder gelbe Karte identifiziert. Bei einem Großteil der Situationen wurde auf eine Disziplinarmaßnahme verzichtet (94,4% bzw. 34/36). Bei den erfassten Kopfverletzungssituationen wurden lediglich zwei Spielerinnen mit einer gelben Karte verwarnt, ein direkter Platzverweis konnte nicht dokumentiert werden. (s. Tab. 10).

Tabelle 10: Konsequenz durch die Schiedsrichterin

Sanktionen (Schiedsrichterin)	n (36)
Keine Karte	94,4% (34)
Gelbe Karte	5,6% (2)
Rote Karte	0% (0)

4.3.4 Risikofaktoren für Kopfverletzungen

Mithilfe der detaillierten Analyse von Kopfbällen und Kopfverletzungen ließen sich durch Errechnung sogenannter Odds Ratios (OR) Risikofaktoren für das Aufkommen von Verletzungen benennen. Diese wurden für die verschiedenen Spielerpositionen, die Spielfeldzonen und die Spielsituation evaluiert. Auch wurde die Rolle einer dritten Spielerin im Kopfballduell und das Eingreifen durch die Unparteiische für die Risikoevaluation für Kopfverletzungen überprüft (s. Tab 11). In dieser Analyse wurden OR-Werte über 2,0 als signifikante Risikofaktoren erachtet.

Was die Spielerpositionen anbelangt, zeigte sich, dass lediglich Stürmerinnen mit einer OR von 2,1 besonders für Kopfverletzungen exponiert waren. Torhüterinnen wurden für die Berechnung der Odds-Ratio nicht berücksichtigt, da diese Position in der Analyse mit zu geringen Fallzahlen repräsentiert war. Insgesamt wurden bei Torhüterinnen zwei Kopfballaktionen erfasst, eine davon wurde als CI identifiziert. Bei Spielfeldzonen stellte der Strafraum eine Zone mit relevanter Erhöhung für kopfverletzungsträchtige Situationen dar (OR 2,3). Fußball ist eine der wenigen Sportarten in denen der 5 Meter Raum, oder auch Torraum genannt, keine besonderen Regeln zum Schutz der Torhüter gelten.

Neben der Spielfeldzone wurden ebenfalls die einzelnen Spielsituationen auf mögliche Risikokonstellationen untersucht. Bei Standards sind vor allem Eckbälle für die Athletinnen gefährdend (OR 2,9). Im freien Spiel sind speziell Kontersituationen besonders verletzungsbehaftet (OR 3,7). Am deutlichsten ist das Risiko dann, wenn sich eine Spielerin in einer Abschuss-Situation befand. Hierbei steigt das Verletzungsrisiko signifikant an (OR 4,3). Sobald eine Spielerin den Kopfball in einem Zweikampfduell beging, stieg das Risiko für eine Kopfverletzung, im Vergleich zu Kopfbällen ohne direkte Beteiligung einer Gegen- oder Mitspielerin, mit einer OR von 4,4 merklich an. (s. Tab. 11).

Tabelle 11: Risikofaktoren für Kopfverletzungen mittels der Odds Ratio

Merkmal	Odds Ratios (Risiko)
Spielerinnenposition	
Innenverteidigerin	0,6
Außenverteidigerin	0,8
Defensive Mittelfeld	0,4
Offensives Mittelfeld	1,4
Sturm	2,1
Spielfeldzone	
Strafraum (5 Meter Raum)	2,3
Sechzehner gesamt	1,2
Mittelfeld gesamt	0,7
Gegnerisches Mittelfeld	1,3
Eigenes Mittelfeld	0,5
Außenbahn	1,3
Spielsituation	
Standard	1,0
Abstoß	0,4
Freistoß	0,3
Eckball	2,9
Einwurf	1,2
Freies Spiel	1,0
Konter	3,7
Sprung	0,4
Abschuss	4,3
Zweikampfsituation	
Kopfballduell	4,4
Dritte Spielerin involviert	1,4
Spielunterbrechung / Foul	11,8

5. Diskussion

Das Interesse an den gesundheitlichen Folgen des Kopfballspiels und den damit einhergehenden Kopfverletzungen ist groß. Durch die steigende Popularität des Mädchen- und Frauenfußballs weltweit und der Tatsache, dass bei Frauen eine Häufung von SRCs und deren Langzeitfolgen im Fußball identifizierbar ist, ist eine Einordnung für den deutschen Frauenfußball essenziell.

Ziel dieser Analyse war es, epidemiologische Daten für Kopfbälle und Kopfverletzungen über 3 Saisons hinweg mittels der Analyse von 100 Partien spezifisch für den deutschen Profi-Fußball der Frauen zu erfassen. Hierbei handelte es sich um eine erstmalige Datenerfassung. Obwohl die gesundheitlichen Folgen durch das kumulative Kopfballspiel noch nicht endgültig geklärt sind, scheinen Verletzungen der Kopfregion durch Zweikampfsituationen oder zugezogene Commotiones cerebri in der Bewertung der Pathogenität des Kopfballspiels größere Auswirkungen zu haben. Anhand dieser qualitativen Analyse von Kopfball- und Kopfverletzungssituationen können Risikofaktoren für ein gefährliches Kopfballspiel extrahiert werden.

5.1 Das Kopfballspiel und seine Folgen – eine Einordnung

5.1.1 Die Videoanalyse als Hilfsmittel zum realen Abbild des Spielbetriebs

Die Videoanalyse ist bereits seit den 1990er Jahren bei der Bewertung von möglichen Schädel-Hirn-Traumen in Kontakt und Kollisions-Sportarten wie dem American Football und Ice Hockey fest etabliert. Die Studiengruppen um Gardner und Makdissi et al. führten mehrere Studien zur Videoanalyse im australischen Rugby durch, und bestätigten dessen Einsatz zur Identifikation von Schädel-Hirn-Traumen und die damit ermöglichte regelkonforme Auswechslung der betroffenen Spieler (Gardner et al. 2015, Makdissi et al. 2016a, McCrory et al. 2000). Auch galt die Videoanalyse unter anderem in der High-Impact Sportart Ice Hockey als probates Mittel, um Risikofaktoren und die Entstehung von Commotios besser darzulegen (Hutchison et al. 2015). Hintergrund ist die Identifizierung von negativen Prädiktoren und gefährlichen Situationen, um die Spieler durch entsprechende Maßnahmen und Regelanpassungen besser vor SHT schützen zu können. In den darauffolgenden Jahren machte man sich die dadurch mögliche Auflösung von Spielsituation und

Spielerverhalten auch im Fußball zum besseren Verständnis der Pathogenese von bestimmten Verletzungen, spezifisch auch für das Schädel-Hirn-Trauma, zu Nutzen (Cassoudeh et al. 2021). In der jetzigen Datenerhebung konnten sich anhand der online Fragebögen durch die Analyse von über 9300 Spielminuten die genauen Charakteristika von Kopfballsituationen wiedergeben lassen. Somit entstand durch diese Art der Videoanalyse eine verhältnismäßig reelle Wiedergabe des Spielbetriebs. Durch die detaillierte Auswertung jedes einzelnen Kopfballs konnten die Umstände des Kopfballs und das Kopfballverhalten der Spielerinnen erschlossen werden und ermöglichten so erste evidente Aussagen über das mögliche Risiko von individuellen Kopfballsituationen. In dieser Studie wurde ein Durchschnitt von 4,1 Kopfbällen pro Spielerin pro Spiel bzw. 90,2 Kopfbälle pro Partie, sowie 0,36 Kopfverletzungen pro Spielerin pro Spiel errechnet. Somit ist die Anzahl an Kopfbällen im Deutschen Frauenprofifußball vergleichbar mit den Athletinnen der 1. englischen Frauen Liga, wo der Durchschnitt bei 3,6 liegt (Langdon et al. 2022). Die FIFA-Kopfballstudie der Fußballweltmeisterschaft 2019 errechnete eine geringgradig erhöhte Inzidenz von durchschnittlich 4,8 Kopfbällen pro Spielerin (Georgieva et al. 2024). Männer im deutschen Profifußball erreichten im Durchschnitt höhere Zahlen, die Inzidenz lag bei 5,4 Kopfbällen pro Spieler und Spiel, wobei der Mittelwert für die 1. Bundesliga respektive bei 4,9 lag; der der 2. Bundesliga bei 5,9. (Weber et al. 2023).

Bezüglich der Inzidenz von Kopfverletzungen lagen in dieser Studie die Frauen mit 0,36 unter der von Männern, die bei Weber et al. bezogen auf die 1. sowie 2. Bundesliga der Saison 2017/18 bei 0,45 lag (Weber et al. 2023). In der Literatur ging man bis dato allerdings von einer erhöhten Inzidenz an Gehirnerschütterungen für Frauen während des Kopfballspiels aus (Blyth et al. 2021; Dave et al. 2022). Da in dieser Studie nicht die tatsächliche Anzahl an medizinisch gesicherten Gehirnerschütterungen erfasst wurde, bleibt unklar, ob auch im modernen deutschen Profifußball SRCs tatsächlich statistisch häufiger sind. Wissenschaftlich ist nicht final geklärt, ob und ggf. warum Frauen eine erhöhte Exposition für Gehirnerschütterungen im Sport haben könnten. Vermutet wird der Zusammenhang einer geringer ausgebildeten Nackenmuskulatur und der damit einhergehenden Akzeleration des Kopfes; darüber hinaus ein Defizit der visuellen Orientierung im Raum verglichen zu Männern; sowie andere Hormon- und Hirnstrukturen, die mit einer erhöhten Vulnerabilität einhergehen könnten (Blyth et al. 2021). Man weiß zudem von einer

erhöhten Inzidenz an Gehirnerschütterungen durch direkte Abschüsse im Frauenfußball (Blyth et al. 2021). Im Rahmen dieser Studie kam es insgesamt zwei Mal zu einer Abschussverletzung (2/36 bzw. 6%), wodurch hierfür eine gewisse Risikoerhöhung für Frauen geltend gemacht werden konnte.

Eine neue Erkenntnis erbrachte zudem die Tatsache, dass im o.g. Frauenfußballkollektiv die offensive Mittelfeldposition die Position mit den meisten Kopfballsituationen war. Im männlichen Profibereich wurde stattdessen die Innenverteidiger-Position als kopfballträchtigste Position identifiziert (Weber et al. 2023). Die Position mit dem höchsten Risiko für Kopfverletzungen fiel konkordant auf die der offensiven Mittelfeldspielerinnen. Ebenso erhöhten Standard-Situationen, hierbei insbesondere Eckbälle, das Risiko für Kopfverletzungen. Diese Studienergebnisse könnten bei weiteren Investigationen bezüglich des Commotio-Risikos im Damenfußball in Betracht gezogen werden. Möglicherweise sind auch Regeländerungen, wie sie bereits in England durch die „concussion substitute rule“ in Kraft getreten sind, nötig, um die Sportlerinnen vor möglichen Gesundheitsproblemen zu schützen.

5.1.2 Geschlechterspezifischer Vergleich des Kopfballverhaltens

Durch Analyse des Kopfballverhaltens lassen sich verschiedene Prädiktoren für Kopfverletzungssituationen und Kopfverletzungen ableiten. Ob diese geschlechterspezifische Unterschiede aufweisen, wurde bis dato wissenschaftlich noch nicht mit Daten unterlegt. Beim Vergleich von erhobenen Zahlen aus der 1. Bundesliga der Männer und der Frauen zeigte sich im weiblichen Profifußball eine durchschnittliche Kopfballbelastung von 4,1, im männlichen Kollektiv von 4,9. Im Mittel kam es bei den Damen zu 92,2 und bei den Herren zu 108,0 Kopfbällen pro Spiel. (Weber et al. 2023). Somit ließ sich eine etwas geringere Dichte an Kopfbällen bei den Frauen im direkten Vergleich zu den 1. Bundesliga Männern erkennen. Die Untersuchungsmethodik der Studie zur Inzidenz von Kopfbällen im Männerfußball war identisch: Ebenso wurde mittels Videoanalyse und standardisierten Fragenbögen das Kopfballverhalten bewertet. Es wurden insgesamt 306 Spiele der Saison 2017/18 analysiert. Bezogen auf die Spielerposition war bei den Männern der 1. Bundesliga die Innenverteidigerposition mit den meisten Kopfbällen führend (35,5% bzw. 1277/3593).

In absteigender Reihenfolge folgten die Außenverteidiger (18,6%, bzw. 667/3593), das defensive Mittelfeld (15,8% bzw. 569/3593), das offensive Mittelfeld (16,1% bzw. 578/3593) und zuletzt die Stürmerposition (13,8% bzw. 495/3593). Bei den Profifrauen stand an erster Stelle die Position des offensiven Mittelfelds mit 33,2% bzw. 2999/9027. Somit ist diese Position bei den Frauen verglichen zu Männern im Profisport deutlich häufiger an Kopfbällen beteiligt. Innenverteidigerinnen belegten lediglich den zweiten Platz mit 24,1% (2177/9027). Identisch war die darauffolgende Verteilung der Kopfbälle auf die Außenverteidigerposition an dritter Stelle (19,8% bzw. 1791/9027), dahinter gelegen das defensive Mittelfeld mit 14,2 % (1284/9027) und zuletzt die Stürmerinnen mit 8,6% (774/9027). Auch interessant ist ein Vergleich der Distanzen, die der Ball vor dem Eintreffen auf den Kopf zurücklegte. Bei den weiblichen Athletinnen waren hier mit knapp über 50% der Fälle mittlere Distanzen von 20-50 Metern am häufigsten. Bei den Herren waren diese ebenso mit 48% an erster Stelle vertreten. Auffallend ist die Verteilung von Bällen mit langen Distanzen von über 50 Metern, wie sie beispielsweise nach langen Ab- oder Freistößen vorkommen: Diese waren mit 22,6% im Männerfußball zahlreich, im Frauenfußball mit lediglich 2% sehr selten. Wesentlich erleiden Frauen häufiger eine Commotio durch einen direkten Kopf-zu-Ball Kontakt als männliche Athleten (Blyth et al. 2021). Ob primär Abschussverletzungen aus kurzer Distanz oder aber Bälle mit weiten Distanzen vor dem Eintreffen auf den Kopf für diese Prädisposition verantwortlich sind, bleibt weiterhin ungeklärt. Jedoch konnte mit dieser Studie gezeigt werden, dass Kopfbälle bei Frauen selten nach langen Flugphasen über 50 Metern getätigt wurden. Abschließend ist ein Vergleich des Zweikampfverhaltens sinnvoll, da Kopfverletzungen führend durch Spieler-Spieler-Kontakt entstehen. 51 % (1830/3595) der Kopfbalktionen im Männerfußball fanden im Rahmen eines Zweikampfduells statt. Demgegenüber ereigneten sich im Frauenfußball 64% (5773/9027) der Kopfbälle in einem Zweikampf. Bei jenen überwiegt geringfügig der Anteil der Kopfbälle, in denen zwar eine Zweikampfsituation vorhanden war, jedoch kein direkter Körperkontakt zu einer Gegen- oder Mitspielerin bestand (28,7% bzw. 1658/5773). Bei den Profiherren lag dieser Anteil nur bei 24% (441/1830). Führend waren bei beiden Studiengruppen der Körperkontakt zur Gegenspielerin (63,3%; 3654/5773) bzw. zum Gegenspieler (74,4%; 1.361/1830). Oftmals hatte die köpfende Spielerin Kontakt zu mehreren Spielerinnen gleichzeitig 6% (345/5773); bei den Herren lag dieser Anteil geringfügig bei 1,0% (19/1830). Das Fair Play bei den Kopfballduellen überwog bei den

Bundesliga-Herren ebenso wie bei den Damen: 5,0% (70/1373) der Luftduelle wurde bei den Männern als Foulspiel durch den Schiedsrichter gewertet, bei den Frauen lag dieser Anteil vergleichbar gering bei 3,4% (139/4106).

Wenn man die Inzidenzen an Kopfverletzungen alleinig zwischen der 1. Bundesliga der Frauen und Männer vergleicht, ergibt sich interessanterweise ein ähnlicher Wert: 0,36 pro Spielerin pro Spiel betrug die Inzidenz für Kopfverletzungen in der 1. Frauen Bundesliga; versus 0,39 pro Spieler pro Spiel in der 1. Bundesliga der Herren. Die Spielerpositionen, die am häufigsten in Kopfverletzungen involviert waren, waren Innenverteidiger mit 30,8% (12/70). Bei den Frauen überwiegte wie bereits erwähnt die offensive Mittelfeldposition mit 42% (15/36), die Innenverteidigerinnen waren zu 17% (6/36) betroffen. Die offensive Mittelfeldposition der Herren war an zweiter Stelle mit 23,1% (9/70) aller Kopfverletzungen vertreten. Als Spielfeldregionen waren vor allem der defensive Strafraum und das defensive Mittelfeld für Kopfverletzungen riskant. Bei den Frauen imponierte hier die gegnerische Außenbahn als kopfverletzungsträchtige Region.

Anhand der unter 4.3.4 aufgeführten Odds Ratios ließen sich Risikofaktoren für das Aufkommen von Kopfverletzungen benennen. Die Spielunterbrechung durch den Schiedsrichter während einer kopfverletzungsträchtigen Situation erwies sich sowohl für die männliche als auch für die weibliche Studienpopulation als relevantester Prädiktor: es ergab sich eine OR von 11,8 für die Frauen und eine OR von 18,9 für die Herren (Weber et al. 2023). Die Beteiligung eines dritten Spielers im Kopfballduell erhöhte lediglich bei den Männern mit einer OR von 15,6 signifikant das Risiko für ein Schädeltrauma, bei den Frauen lag der Wert mit OR 1,4 unterhalb des Signifikanzniveaus. Bezogen auf die Spielfeldzonen erwiesen sich Strafraumszenen sowohl für die Männer als auch Frauen mit einer jeweils identischen Odds Ratio von 2,3 als bedeutsamer Risikofaktor. Gleiches galt für das Vorhandensein eines Kopfballduels: hier ergab sich für die 1. Bundesliga Frauen eine relevante Risikoerhöhung mit einer OR von 4,4. Bei den Männern war die Gefährdung durch ein kompetitives Luftduell anhand des OR-Wertes von 5,6 noch bedeutsamer. Bezogen auf die Spielerpositionen ließen sich bei den Herren mittels der Odds Ratios Werte zwischen 0,6 und 1,5 keine relevanten Zusammenhänge ablesen. Bei den Frauen hingegen erwies sich insbesondere die Stürmerinnenposition anhand eines OR-Wertes von 2,1 als kopfverletzungsexponierte Position.

5.1.3 Kopfverletzungen als Folge des Kopfballsports?

Durch die genaue Beurteilung jeder einzelner Kopfverletzungssituation konnten Aufschlüsse über die Entstehung und Hergang von Kopfverletzungen im Spielbetrieb gesammelt werden. Nichtsdestotrotz wird in der Literatur bis heute kontrovers diskutiert, ob nicht nur Kollisionen hauptverantwortlich für Kopfverletzungen sind, sondern auch das Kopfballsport selbst. In den letzten zwei Jahrzehnten wurde hierbei der Fokus vor allem auf vermeintlich schädliche strukturelle Hirnveränderungen durch wiederholtes Köpfen gelegt. Im Zusammenhang stehen hierzu die Chronisch Traumatische Enzephalopathie (CTE) und die repetitive subconcussive head impacts (RSHI). Die 2017 erschienene Studie von Ling et al. suggerierte eine Verbindung von RSHI und Gehirnerschütterungen während der Profi-Karriere von ehemaligen männlichen Fußballern und der Entwicklung von CTE. Auch die zuvor publizierten Studien von Lipton (2013) und Koerte (2015) vermuteten einen Zusammenhang von wiederholten Kopfstößen im Fußball und der Entwicklung von CTE. Bei ehemaligen Kontaktsportlern, unter anderem Fußballer, konnte durch moderne experimentelle bildgebende Verfahren wie der funktionellen Magnetresonanztomographie pathologische Langzeitveränderung der Hirnstrukturen dargestellt werden (Koerte et al. 2015). Außerdem fand man Einbußen in neurokognitiven Tests und Gedächtnisfunktionen kurz nach wiederholtem Kopfballsport (Lipton et al. 2013). Allerdings beziehen sich alle Daten zumeist ausschließlich auf den Männerfußball, oder weisen nur einen dezimierten Anteil weiblicher Athletinnen auf. Spezifisch für den Frauenfußball wurden hierfür bislang keine Untersuchungen durchgeführt. Ebenso alleinig an männlichen Athleten orientierend ist die große retrospektiv angelegte epidemiologische Metaanalyse von über 7000 ehemaligen schottischen Profifußballern von Mackay et al. Letztere erwiesen gegenüber der Normalbevölkerung eine höhere Mortalitätsrate durch neurodegenerative Erkrankungen. Auch wurden vermehrt Rezepte für Medikamente gegen Demenz ausgestellt (Mackay et al. 2019). Ehemalige Fußballer der englischen Profi-Ligen gaben häufiger an, unter Demenz und anderen neurodegenerativen Erkrankungen zu leiden als die Kontroll-Gruppe. In den Demenz-Screening Tests schnitten sie ebenso schlechter ab (Macnab et al. 2023). Wegen der vermeintlich erst in letzter Zeit aufgetretenen Popularität der Sportart für Frauen wurden im Damenfußball bisher keine retrospektiven Studien durchgeführt, vergleichbare Ergebnisse für Athletinnen fehlen somit gänzlich.

Gegenüber den bisher erwähnten Studien fanden groß angelegte Metaanalysen mit übergreifender Literaturrecherche von Kantos et al. und Putukian et al. keine Korrelation zwischen Kopfballsport und längerfristigen neurokognitiven Einbußen (Kontos et al. 2017, Putukian et al. 2019). Problematisch an den bisherigen Studien war, dass die CTE selten isoliert, sondern zumeist zusammen mit anderen neurodegenerativen Tauopathien auftritt, was die Abgrenzung erschwert (Davis et al. 2015). Ferner waren die bisherigen Studienpopulationen für CTE im Fußball sehr gering. Auch kann lediglich durch eine post-mortem Untersuchungen die Diagnose CTE gestellt werden (Putukian et al. 2019). Bezüglich Alterserkrankungen ist das Gegenüberstellen von ehemaligen Profisportlern, die geringere kardiovaskuläre Risikofaktoren aufweisen, gegenüber der Normalbevölkerung problematisch. Für eine abschließende Evidenz, sowohl für als auch gegen neurologische Langzeitfolgen durch das Kopfballsport, fehlen weiterhin prospektive Studien und angepassten Kontroll-Gruppen.

Zudem bezogen sich die eben beschriebenen Studien zu möglichen negativen Langzeitfolgen durch das Kopfballsport nur auf retrospektive Analysen von ehemaligen männlichen Fußballprofis. Hier wäre in Zukunft die Inklusion von weiblichen Studienteilnehmerinnen sinnvoll. Die gegenwärtig gewonnenen Studienergebnisse bieten keine Klärung bezüglich der Gesundheitsauswirkung durch länger andauerndes Kopfballsport. Jedoch dienen die erfassten Daten durch die Häufigkeitsangaben und Rahmenbedingungen von Kopfbällen und Kopfverletzungen im deutschen Frauenfußball als Basis für zukünftige Untersuchungen. Diese sind notwendig, um mögliche Auswirkungen des Kopfballsports spezifisch für Frauen endgültig definieren zu können.

5.1.4 Fehlende Zahlen zu Kopfverletzungen im deutschen Frauenfußball

Mit dieser Studie wurde erstmalig detailliert das Kopfballverhalten von weiblichen Profifußballerinnen in Deutschland untersucht. Hierzu gab es bisher nur vereinzelt Daten. Deutschlandweit wurde 2005 durch eine Studie von Faude et al. die Inzidenz von Verletzungen im Allgemeinen untersucht. Kopfverletzungen wurden dort als statistischer Wert mit aufgezählt (Faude et al. 2005). International wurde die Häufigkeiten von Kopfbällen im Kinder- und Jugendbereich in mehreren europäischen Ländern zwischen Mädchen und Jungen verglichen (Beaudouin et al. 2020). Eine

Studie von Kern et al. untersuchte Kopfbälle hinsichtlich kognitiver und sensomotorischer Auswirkungen bei professionellen Fußballerinnen (Kern et al. 2024). Mit 27 Spielerinnen war die dort aufgeführte Studienpopulation sehr gering. Die bereits erwähnte groß angelegte UEFA-Studie von Hallén et al. erhob Verletzungsprofile für den professionellen Frauenfußball europäischer Top-Mannschaften kumulativ über 4 Saisons hinweg. Hier wurden lediglich die Top-Teams der deutschen Liga inkludiert, nicht aber alle 12 Mannschaften der Bundesliga (Hallén et al. 2024). Somit gibt es aktuell für Deutschland weder im Profi- noch im Amateurbereich kaum Studien, die sich explizit mit Kopfbällen und Kopfverletzungen im Frauenfußball auseinandersetzen.

Für den Männerfußball wurden bereits Studien durchgeführt, die belegen, dass die Kopfbällinzidenz mit steigender Professionalität zunimmt (Krutsch et al. 2017). Ob dies ebenso im Frauenfußball zutreffend ist, wird im Rahmen dieses Studienprojekts aktuell noch geklärt. Bewiesen ist, dass im Kinder- und Jugendfußball mit steigendem Alter der Kopfball häufiger als Stilmittel verwendet wird (Krutsch et al. 2017, Langdon et al. 2022, Beaudouin et al. 2020).

Auffallend in diesem Studienergebnis ist, dass summativ Mittelfeldspielerinnen mit 48% öfter in kopfverletzungsträchtigen Situationen verwickelt waren als Verteidigerinnen mit 34%. Dies hebt sich von bisherigen Resultaten im Männerfußball ab; dort waren Verteidiger mit 41,1% häufiger durch Kopfverletzungen betroffen als Mittelfeldakteure mit 38,5% (Weber et al. 2023). Bezogen auf die Spielzeit ereigneten sich die meisten Kopfbälle im letzten Drittel der zweiten Halbzeit.

Die Inzidenz für Kopfverletzungen lag in diesem vorliegenden Studienkollektiv im Frauenprofifußball bei 0,36 Ereignissen pro Spiel. Zum Vergleich machten im europäischen Spitzenfußball der Frauen gesicherte Gehirnerschütterungen 3% aller Verletzungen aus (Hallén et al. 2024).

5.2 Methodische Aspekte

5.2.1 Die Videoanalyse als probates Instrument der Spielanalyse

Die Videoanalyse hat sich seit den 2000er-Jahren als erfolgreichen Mittel zur Erfassung von Spiel- und Verletzungssituationen im internationalen Mannschaftssport

etabliert (McCrory & Berkovic 2000, Andersen et al. 2003, Makdissi & Davis 2016, Tierney & Higgins 2021, Langdon et al. 2022). Die Videoanalyse eignet sich zum einen zur genauen Evaluation von Kopfverletzungen in Kontakt- und Kollisionssportarten wie Rugby, Ice-Hockey und American Football (McCrory & Berkovic 2000, Hutchinson et al. 2013). Andererseits wird sie als Tool verwendet, um Kopfballsituation akkurat zu erfassen (Tierney & Higgins 2021, Langdon et al. 2022). Um eine präzise Analyse zu gewährleisten, wurden standardisierte Fragebögen sportartenspezifisch entwickelt. Wie von Makdissi & Davis et al. erarbeitet, ist eine gute Videoqualität und verschiedene Einstellungswinkel der Kameras für die Videoanalyse essenziell. Im Frauenfußball stellt dies eine große Herausforderung dar, da vor allem im Amateur- und semiprofessionellen Bereich selten Videoaufnahmen von Spielen, gerade aus verschiedenen Kameraperspektiven, vorhanden sind. Für diese Studie wurden freundlicherweise vom DFB alle Spielaufnahmen der Saisons 2018/19, 2019/20 und 2020/21 der 1. Frauen Bundesliga zur Verfügung gestellt. Die Kameraperspektiven waren einheitlich an definierten Posten an einer Seitenlinie auf Höhe des Mittelkreises platziert. Standbilder und Zeitlupen-Techniken wurden genutzt, um undeutliche Situationen besser aufarbeiten zu können. Um eine möglichst hohe Objektivität in der Analyse zu gewährleisten, wurde das Konsens- und Mehraugenprinzip durch mindestens zwei Beobachter verwendet. Die Videoanalyse macht im Allgemeinen nur eine reine Situationsanalyse möglich. Die Bewertung von Risikofaktoren ist nur dann umsetzbar, wenn auch eine Einsicht und ein Datenabgleich mit dem Verletzungsregister gegeben ist. Somit lässt die alleinige Videoanalyse keine richtige Abschätzung der wahren Verletzungsgefahr zu. Dies gilt es in weiteren Studien zu berücksichtigen und den Einblick in das Verletzungsregister entsprechend zu inkludieren und zu planen.

5.2.2 Standardisierte Fragebögen zur Erfassung der Daten

Mit den in 3.2.2 aufgeführten Bögen „Auswertungsbogen Kopfballverhalten“ und „Auswertungsbogen kopfverletzungsträchtige Situation“ standen dieser Studie valide und bereits für vorherige Forschungszwecke an der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie am Universitätsklinikum Regensburg ausgearbeitete, validierte und verbesserte Fragebögen vor. Durch die genormten und präzisen Auswahlmöglichkeiten sollte eine möglichst hohe Interrater-Reliabilität erzielt werden.

Für den Auswertungsbogen Kopfballverhalten musste der Ball den Kopf einer Spielerin berühren. Für den Auswertungsbogen kopfverletzungsträchtige Situation musste per Definition ein Critical Incident vorliegen (s. 5.2.3). Anhand der Bögen konnte jede Kopfballsituation und Kopfverletzungssituation genau beurteilt werden. Dennoch lassen die Fragebögen eine ausschließlich objektive Bewertung der Situation durch den Betrachter zu. Ergänzend könnten Befragungen der Spielerinnen sinnvoll sein, wie sie die entsprechende Verletzungssituation selbst werten. Die Schwere einer Verletzung und das folglich Ausmaß durch z.B. eine längere Verletzungspause, lässt sich durch die Fragebögen nicht erfassen. Es ist denkbar, dass die Spielerinnen selbst die Situationen als gefährlicher bewerten als initial durch die Videoanalyse gedacht. Auch gibt es vermeintlich Verletzungssituationen, die durch die Kameraeinstellungen nur teilweise oder gar nicht erfasst werden können. Auch hierfür wäre eine Befragung aller Spielerinnen nach einem Spiel sinnvoll.

5.2.3 Der Critical Incident als Marker potenzieller Verletzungssituationen

Eine Kopfverletzung speziell für den Sport beziehungsweise Fußball zu definieren, stellt eine große Herausforderung dar. Da die Ergebnisse bezüglich Kopfverletzungen im Fußball zunächst sehr unterschiedlich ausfielen, wurde 2006 im Auftrag der FIFA eine standardisierte Methode etabliert, um die Resultate vergleichbarer zu machen (Fuller et al. 2006). Hierfür wurde der Critical Incident Marker eingeführt, um die Datenerfassung und Verletzungsdefinitionen während der Videoanalyse im Fußball zu gewährleisten. Für einen Critical Incident mussten folgende Kriterien vorliegen: Die Schiedsrichterin unterbrach das Spiel bzw. die Spielerin blieb für mindestens 15 Sekunden verletzt liegen. Zudem befand sich die Spielerin in einem offensichtlichen Schmerzzustand und es ging unmittelbar ein Schlag, Tritt, Kollision oder Abschuss am Kopf voraus.

Jedoch ist der Critical Incident Marker dahingegen limitierend, dass nicht immer nach dessen Definition eine tatsächliche Verletzung vorliegen muss. Es wurden alle kopfverletzungsträchtigen Situationen erfasst, ob hieraus eine tatsächliche Verletzung hervorgeht, konnte nicht abschließend geklärt werden. Dadurch kommt es in gewisser Weise zu einer Überrepräsentation von Kopfverletzungen, was auch eine Verfälschung von Risikofaktoren und Kopfverletzungszahlen denkbar werden lässt. Die im

Männerfußball häufig vorkommende Theatralik hinsichtlich Verletzungen wurde im Frauenfußball kaum oder gar nicht beobachtet. Dies stellt womöglich einen Vorteil dar, da hierdurch die übermäßige Erfassung von Verletzungen durch die Critical Incident Methode geringer ausfällt.

5.3 Stärken und Limitierungen der Studie

Eine Stärke dieser Studie ist, dass für die Erhebung der Daten standardisierte Fragebögen verwendet wurden, die wenig Spielraum für Interpretation und Subjektivität bei der Beurteilung der Spielsituationen zulassen. Zudem wurde das Mehraugenprinzip verwendet, um bei umstrittenen Szenen Einigkeit zu gewährleisten. Mit der Analyse von 100 Spielen der 1. Frauenbundesliga über 3 Saisons hinweg und über 9300 ausgewerteten Spielminuten ergibt sich ein reales Abbild des Spielbetriebs in Deutschlands höchster Frauen-Fußballliga. Mit den Kameraeinstellungen aus der Seiten- und Vogelperspektive konnte weitestgehend sichergestellt werden, dass keine Kopfverletzungs- oder Kopfballsituation übersehen wurde. Somit ergibt sich eine Drop-Out-Rate von annäherungsweise 0 %. Lediglich an entlegenen Spielfeldzonen war es aufgrund fehlender Nahaufnahmen bzw. Kameraperspektivenwechsel bei mehreren beteiligten Spielerinnen fallweise schwer erkennbar, ob es sich tatsächlich um eine reine Kopfball- oder Kopfverletzungssituation handelte. Möglicherweise waren anstatt des Kopfs nahe gelegene Körperpartien wie der Nacken oder Schultern mitbeteiligt. Die Ergebnisse dieser Studie sind aber hinsichtlich der Häufigkeit von Kopfbällen und Kopfverletzungen mit anderen groß angelegten Studien vergleichbar, womit die fehlenden Video-Nahaufnahmen anscheinend nicht führend ins Gewicht fallen.

Eine Limitierung ergibt sich dadurch, dass keine telemedizinische Diagnosestellung möglich war und somit nicht zwischen schweren Kopfprellungen, leichteren, passageren Läsionen und schwerwiegenderen Verletzungen wie dem Schädel-Hirn-Trauma oder Gesichtsfrakturen differenziert werden konnte. Letztere sind für die Gesundheit der Spielerinnen von größerer Relevanz, und sollten genauer untersucht werden. Es stellt Betreuer, Trainer und medizinisches Personal oftmals vor eine Herausforderung die vermeintlich leichteren Kopfverletzungen von den oft subklinischen und verzögert symptomatisch werdenden, gravierenderen Verletzungen wie Schädel-Hirn-Traumata zu differenzieren. Nur so könnten die Spielerinnen vor

deren gefürchteten, wenn auch seltenen, gesundheitlichen Folgen geschützt werden. Insbesondere gelten Mittelgesichtsfrakturen als Risikofaktor für Gehirnerschütterungen, da hierbei von einer suffizienten Krafteinwirkung auf Gesicht und Schädel ausgegangen werden kann. Besonders riskant sind diese Verletzungen, zusammen mit blutenden Verletzungen des Gesichts, aber auch Nasenbein- oder anderer Mittelgesichtsfrakturen, da sie eine Gehirnerschütterung als unauffällige Begleitsymptomatik maskieren können. Umso wichtiger ist die Schulung von Trainern und medizinischem Personal, auch bei solchen vermeintlich eindrücklichen Verletzungen wie dem Mittelgesichts trauma, auf die Symptome einer Commotio zu achten und diese zu adressieren, um die neurologischen Schäden zu begrenzen (Krutsch V. et al. 2017).

Hilfreich wäre, bei zukünftigen Studien Einblicke in die Verletzungsstatistiken der Berufsgenossenschaften und Krankenversicherungen zu bekommen, um die Schwere der Kopfverletzung inklusive der Ausfallzeiten registrieren zu können. Da keine Einsicht in die medizinischen Daten der Spielerinnen gegeben war, konnte die Inzidenz von tatsächlichen Gehirnerschütterungen nicht erfasst werden. Mit Verwendung des Critical Incident war und ist daher eine Identifikation schwerer, medizinisch behandlungsbedürftiger Kopfverletzungen nicht möglich. Dadurch, dass alle vermuteten kopfverletzungsträchtigen Ereignisse erfasst wurden, kommt es zu einer Überrepräsentation von Verletzungssituationen verglichen mit der Gesamtzahl tatsächlicher Verletzungen. Die Erschaffung eines übergreifenden Verletzungsregisters wäre daher für die Bestimmung einer genauen Verletzungsanzahl erstrebenswert.

Einen differenzierten Ansatz für die beschriebene Problematik bot die Studie „UEFA Women’s Elite Club Injury Study“ von Hallén et al. 2023, die Gehirnerschütterungen gesondert betrachtete. Das gesicherte Schädel-Hirn-Trauma machte 78% aller registrierten Kopf- und Gesichtsverletzungen aus. Zum anderen wurde für die Schwere von Verletzungen ein sogenannter „Injury Burden“ eingeführt. Hierbei wurde anhand der Anzahl an Tagen, an der die betroffene Spielerin verletzungsbedingt Trainingseinheiten oder Spiele aussetzen musste, berechnet und ergab somit die „Last“ der einzelnen Verletzungen. Dieser war für Kopfverletzungen im Vergleich zu beispielsweise Knie- oder Sprunggelenksverletzungen eher niedrig. Dies spiegelt

womöglich die häufige nicht-Beachtung der Return-to-play Empfehlungen bei Gehirnerschütterungen wider.

5.4. Ausblick

Um Kopfverletzungen im Fußball akkurat registrieren und einordnen zu können, wird der Abgleich mit dem Verletzungsregister der Krankenkassen unabdingbar sein. Nur so lassen die Ergebnisse, die anhand der Videoanalyse erworben wurden, eine Interpretation für mögliche Gesundheitsfolgen zu.

Mit zunehmender Professionalität sorgt das Kopfballspiel im modernen Fußball immer öfter für Variabilität und Torerfolg. So werden die Anforderungen für das Kopfballspiel ständig komplexer. Allerdings scheint dadurch aber auch eine weitere Abnahme der Risiken im Amateur und Hobbybereich durch das Kopfballspiel plausibel, da dort Kopfbälle weniger oft genutzt werden. Somit wäre eine Ausweitung des Studienkollektivs abseits vom Profifußball, etwa hin zu Freizeit-Ligen oder Hobbyfußballerinnen, sinnvoll, um für die Gesamtheit aller fußballerisch Aktiven das Risiko des Kopfballspiels feststellen zu können.

Darüber hinaus könnte ein zukünftiger Ansatz sein, durch Beachtung der Substitutions- und Return-to-play-Regelungen bei Verdacht auf Schädel-Hirn-Traumen durch geschultes medizinisches Personal, idealerweise additiv durch eine Side-line Videoanalyse, das Risikoprofil für Fußballerinnen zu minimieren. Hierfür müssten die Athletinnen bestenfalls in prospektiven Studien inkludiert werden, die an potenzielle Spätfolgen von SHT und subconcussive head impacts im höheren Alter anknüpfen. Nach der Identifizierung von Risikofaktoren für Kopfverletzungen im Fußball sollte parallel eine Verletzungsprophylaxe eingesetzt werden, beispielsweise durch gezielte Kopfballschulungen für Kinder. Ebenso ist eine Weiterbildung der Trainer für den richtigen Umgang und Erkennung von Schädel-Hirn-Traumen essenziell, um eine Sensibilisierung für die potenziellen Gefahren dieser Verletzungen im Fußball zu erzielen. Dies sollte sowohl für den Profi- als auch Amateur Bereich gelten und bereits im Kinder- und Jugendfußball etabliert werden.

6. Fazit

Das Kopfballspiel ist ein essenzieller Teil im Fußball und wird in seiner aktuellen Form kaum wegzudenken sein. Zu sehr ist das Kopfballspiel als Stilmittel für den Torerfolg bzw. das Verhindern von Torchancen Bestandteil des modernen Fußballs. Dennoch bleibt der Zusammenhang von neurologischen Folgeschäden durch das direkte Kopfballspiel weiterhin sehr umstritten.

Mit der epidemiologischen Analyse von Kopfballfrequenz, Kopfballverhalten und Kopfverletzungen ist dieser Studienbeitrag für den Frauenfußball einzigartig in der aktuellen Forschung. Erstmals wurden speziell für die höchste Liga im deutschen Fußball hierfür statistische Werte erhoben. Mit der großen Datenmenge von über 9300 Spielminuten konnte eine valide Aussage über die Kopfballbelastung für professionelle Fußballerinnen getroffen werden. Die hiermit ermittelte Durchschnittszahl an Kopfbällen pro Spielerin pro Spiel liegt mit 4,1 verglichen zu anderen europäischen Kopfballstudien im weiblichen Profifußball im Mittel. Bezüglich der Kopfverletzungen konnte auch im Rahmen dieser Studie belegt werden, dass Kopfverletzungen vielmehr durch das Zusammenstoßen mit anderen Gegen- oder Mitspielerinnen beim Duell um einen Kopfball entstanden als durch den Kopfball selbst. Ein nicht zu unterschätzender Anteil der Kopfverletzungen stellten mit 5,6% die Abschussverletzungen des Kopfes dar, die im Frauenfußball einen deutlich höheren Anteil einnahmen als bei Männern.

Mit 0,36 Kopfverletzungen pro Spiel waren die Verletzungszahlen dennoch geringer als initial vermutet. Mit den verwendeten Kriterien zur Bestimmung von kopfverletzungsträchtigen Situationen kam es zudem zum Overcasting von Kopfverletzungen. Somit kann angenommen werden, dass die tatsächliche Belastung unter der angenommenen Belastung zurückblieb.

Von einer vermeintlich geringeren Spielintensität im Frauenfußball und einer damit einhergehenden reduzierten Anfälligkeit für Kopfverletzungen sollte primär nicht ausgegangen werden, vielmehr sollte der Fokus auch auf den Frauen- und Mädchenfußball gerichtet werden, da hier die Ergebnisse bezüglich Rekonvaleszenz und Symptomschwere durch Schädel-Hirn-Traumen noch unklar sind.

Die aktuell noch fehlenden prospektiven Langzeitstudien, die die benötigten Aussagen über potenzielle gesundheitliche Folgeerkrankungen durch das Kopfballspiel und den

einhergehenden Kopfverletzungen erbringen sollen, stellen einen Anreiz für bevorstehende Wissenschaftsprojekte dar.

7. Literaturverzeichnis

1. Andersen, T. E., Larsen, Ø., Tenga, A., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2003). Football incident analysis: a new video based method to describe injury mechanisms in professional football. *British journal of sports medicine*, 37(3), 226-232.
2. Bailes, J. E., Petraglia, A. L., Omalu, B. I., Nauman, E., & Talavage, T. (2013). Role of subconcussion in repetitive mild traumatic brain injury: a review. *Journal of neurosurgery*, 119(5), 1235-1245.
3. Beaudouin, F., Aus der Fünten, K., Tröß, T., Reinsberger, C., & Meyer, T. (2019). Head injuries in professional male football (soccer) over 13 years: 29% lower incidence rates after a rule change (red card). *British journal of sports medicine*, 53(15), 948-952.
4. Beaudouin, F., Demmerle, D., Fuhr, C., Tröß, T., & Meyer, T. (2021). Head impact situations in professional football (soccer). *Sports medicine international open*, 5(02), E37-E44.
5. Beaudouin, F., Gioftsidou, A., Larsen, M. N., Lemmink, K., Drust, B., Modena, R., ... & Meyer, T. (2020). The UEFA Heading Study: Heading incidence in children's and youth'football (soccer) in eight European countries. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(8), 1506-1517.
6. Belanger, H. G., Curtiss, G., Demery, J. A., Lebowitz, B. K., & Vanderploeg, R. D. (2005). Factors moderating neuropsychological outcomes following mild traumatic brain injury: A meta-analysis. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 11(3), 215-227.
7. Bjørneboe, J., Bahr, R., & Andersen, T. E. (2014). Video analysis of situations with a high-risk for injury in Norwegian male professional football; a comparison between 2000 and 2010. *British journal of sports medicine*, 48(9), 774-778.
8. Bjørneboe, J., Bahr, R., Dvorak, J., & Andersen, T. E. (2013). Lower incidence of arm-to-head contact incidents with stricter interpretation of the Laws of the Game in Norwegian male professional football. *British journal of sports medicine*, 47(8), 508-514.

9. Blyth, R. J., Alcock, M., & Tumilty, S. (2021). Why are female soccer players experiencing a concussion more often than their male counterparts? A scoping review. *Physical therapy in sport*, 52, 54-68.
10. Cancelliere, C., Hincapié, C. A., Keightley, M., Godbolt, A. K., Côté, P., Kristman, V. L., ... & Cassidy, J. D. (2014). Systematic review of prognosis and return to play after sport concussion: results of the International Collaboration on Mild Traumatic Brain Injury Prognosis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 95(3), S210-S229.
11. Cassoude-salle, H., Laborde, B., Orhant, E., & Dehail, P. (2021). Video analysis of concussion mechanisms and immediate management in French men's professional football (soccer) from 2015 to 2019. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(2), 465-472
12. Chiang Colvin, A., Mullen, J., Lovell, M. R., Vereeke West, R., Collins, M. W., & Groh, M. (2009). The role of concussion history and gender in recovery from soccer-related concussion. *The American journal of sports medicine*, 37(9), 1699-1704.
13. Clay, M. B., Glover, K. L., & Lowe, D. T. (2013). Epidemiology of concussion in sport: a literature review. *Journal of chiropractic medicine*, 12(4), 230-251.
14. Dave, U., Kinderknecht, J., Cheng, J., Santiago, K., Jivanelli, B., & Ling, D. I. (2022). Systematic review and meta-analysis of sex-based differences for concussion incidence in soccer. *The Physician and sportsmedicine*, 50(1), 11-19.
15. Davis, G. A., Castellani, R. J., & McCrory, P. (2015). Neurodegeneration and sport. *Neurosurgery*, 76(6), 643-656.
16. Davis, G. A., & Makdissi, M. (2016). Use of video to facilitate sideline concussion diagnosis and management decision-making. *Journal of science and medicine in sport*, 19(11), 898-902.
17. Demetriades, A. K., Shah, I., Marklund, N., Clusmann, H., & Peul, W. (2024). Sport-related concussion in soccer—a scoping review of available guidelines and a call for action to FIFA & soccer governing bodies. *Brain and spine*, 102763.
18. DFB. (2023). Mitgliederstatistik 2023. https://www.dfb.de/fileadmin/_dfbdam/286387-DFB-Statistik_2023_%281%29.pdf. Accessed: 27.01.2024.

19. Dorminy, M., Hoogeveen, A., Tierney, R. T., Higgins, M., McDevitt, J. K., & Kretschmar, J. (2015). Effect of soccer heading ball speed on S100B, sideline concussion assessments and head impact kinematics. *Brain injury*, 29(10), 1158-1164.
20. Dvorak, J., McCrory, P., & Kirkendall, D. T. (2007). Head injuries in the female football player: incidence, mechanisms, risk factors and management. *British journal of sports medicine*, 41(suppl 1), i44-i46.
21. Evans, J., Crossley, A., Collinge, R., Broman, D., Ahmed, O. H., & Weiler, R. (2022). How many headers are too many? Evolving our understanding of heading in English professional football. *British Journal of Sports Medicine*, 56(21), 1207-1208.
22. Faude, O., Junge, A., Kindermann, W., & Dvorak, J. (2005). Injuries in female soccer players: a prospective study in the German national league. *The American journal of sports medicine*, 33(11), 1694-1700.
23. Feddermann-Demont, N., Straumann, D., & Dvořák, J. (2014). Return to play management after concussion in football: recommendations for team physicians. *Journal of sports sciences*, 32(13), 1217-1228.
24. Fuller, C. W., Ekstrand, J., Junge, A., Andersen, T. E., Bahr, R., Dvorak, J., ... & Meeuwisse, W. H. (2006). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 16(2), 83-92.
25. Fuller, C. W., Junge, A., & Dvorak, J. (2005). A six year prospective study of the incidence and causes of head and neck injuries in international football. *British journal of sports medicine*, 39(suppl 1), i3-i9.
26. Gardner, A., Iverson, G. L., & McCrory, P. (2014). Chronic traumatic encephalopathy in sport: a systematic review. *British journal of sports medicine*, 48(2), 84-90.
27. Gardner, A. J., Iverson, G. L., Quinn, T. N., Makdissi, M., Levi, C. R., Shultz, S. R., ... & Stanwell, P. (2015). A preliminary video analysis of concussion in the National Rugby League. *Brain injury*, 29(10), 1182-1185.
28. Gardner, A. J., Kohler, R. M., Levi, C. R., & Iverson, G. L. (2017). Usefulness of video review of possible concussions in National Youth Rugby League. *International journal of sports medicine*, 38(01), 71-75.

29. Gaulrapp, H., Becker, A., Walther, M., & Hess, H. (2010). Injuries in Women's Soccer: A 1-Year all players prospective field study of the women's Bundesliga (German Premier League). *Clinical Journal of Sport Medicine*, 20(4), pp. 264-271.
30. Georgieva, J., Arnold, E. J., Peek, K., Smith, A., Lavender, A. P., Serner, A., ... & Campbell, A. (2024). The incidence and characteristics of heading in the 2019 FIFA Women's World Cup™. *Science and Medicine in Football*, 1-8.
31. Giza, E., Mithöfer, K., Farrell, L., Zarins, B., & Gill, T. (2005). Injuries in women's professional soccer. *British journal of sports medicine*, 39(4), 212-216.
32. Gutierrez, G. M., Conte, C., & Lightbourne, K. (2014). The relationship between impact force, neck strength, and neurocognitive performance in soccer heading in adolescent females. *Pediatric exercise science*, 26(1), 33-40.
33. Hallén, A., Tomás, R., Ekstrand, J., Bengtsson, H., Van den Steen, E., Hägglund, M., & Waldén, M. (2024). UEFA Women's Elite Club Injury Study: a prospective study on 1527 injuries over four consecutive seasons 2018/2019 to 2021/2022 reveals thigh muscle injuries to be most common and ACL injuries most burdensome. *British journal of sports medicine*, 58(3), 128-135.
34. Hanlon, E. M., & Bir, C. A. (2012). Real-time head acceleration measurement in girls' youth soccer. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(6), 1102-1108.
35. Haran, F. J., Tierney, R., Wright, W. G., Keshner, E., & Silter, M. (2013). Acute changes in postural control after soccer heading. *International journal of sports medicine*, 34(04), 350-354.
36. Harmon, K. G., Clugston, J. R., Dec, K., Hainline, B., Herring, S., Kane, S. F., ... & Roberts, W. O. (2019). American Medical Society for Sports Medicine position statement on concussion in sport. *British journal of sports medicine*, 53(4), 213-225.
37. Harmon, K. G., Drezner, J., Gammons, M., Guskiewicz, K., Halstead, M., Herring, S., ... & Roberts, W. (2013). American Medical Society for Sports Medicine position statement: concussion in sport. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 23(1), 1-18.
38. Hay, J., Johnson, V. E., Smith, D. H., & Stewart, W. (2016). Chronic traumatic encephalopathy: the neuropathological legacy of traumatic brain injury. *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease*, 11(1), 21-45.

39. Horan, D., Büttner, F., Blake, C., Hägglund, M., Kelly, S., & Delahunt, E. (2023). Injury incidence rates in women's football: a systematic review and meta-analysis of prospective injury surveillance studies. *British journal of sports medicine*, 57(8), 471-480.
40. Hutchison, M. G., Comper, P., Meeuwisse, W. H., & Echemendia, R. J. (2015). A systematic video analysis of National Hockey League (NHL) concussions, part I: who, when, where and what? *British Journal of Sports Medicine*, 49(8), pp. 547-551.
41. Hwang, S., Ma, L., Kawata, K., Tierney, R., & Jeka, J. J. (2017). Vestibular dysfunction after subconcussive head impact. *Journal of neurotrauma*, 34(1), 8-15.
42. IFAB. (2022). Concussion substitutes. <https://www.theifab.com/trials/concussion-substitutes/>. Accessed: 04.02.2024
43. InSerra, C. J., & DeVrieze, B. W. (2023). Chronic Traumatic Encephalopathy. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
44. Iverson, G. L., Gardner, A. J., Terry, D. P., Ponsford, J. L., Sills, A. K., Broshek, D. K., & Solomon, G. S. (2017). Predictors of clinical recovery from concussion: a systematic review. *British journal of sports medicine*, 51(12), 941-948.
45. Lipton, M. L., Kim, N., Zimmerman, M. E., Kim, M., Stewart, W. F., Branch, C. A., & Lipton, R. B. (2013). Soccer heading is associated with white matter microstructural and cognitive abnormalities. *Radiology*, 268(3), 850-857.
46. Jones, N. S. (2014). Update: soccer injury and prevention, concussion, and chronic groin pain. *Current sports medicine reports*, 13(5), 319-325.
47. Junge, A., & Dvorak, J. (2013). Injury surveillance in the world football tournaments 1998–2012. *British journal of sports medicine*, 47(12), 782-788.
48. Kawata, K., Tierney, R., Phillips, J., & Jeka, J. J. (2016). Effect of repetitive subconcussive head impacts on ocular near point of convergence. *International journal of sports medicine*, 37(05), 405-410.
49. Kern, J., Gulde, P., & Hermsdörfer, J. (2024). A prospective investigation of the effects of soccer heading on cognitive and sensorimotor performances in semi-professional female players. *Frontiers in human neuroscience*, 18, 1345868.
50. Kirkendall, D. T., Jordan, S. E., & Garrett, W. E. (2001). Heading and head injuries in soccer. *Sports Medicine*, 31(5), 369-386.

51. Klein, C., Bloch, H., Burkhardt, K., Kühn, N., Pietzonka, M., Schäfer, M., & Woller, M. (2022). VBG-Sportreport 2021–Analyse des Verletzungsgeschehens in den zwei höchsten Ligen der Männer: Basketball, Eishockey, Fußball, Handball. *Hamburg: VBG*. Accessed: 04.02.2024
52. Koerte, I. K., Ertl-Wagner, B., Reiser, M., Zafonte, R., & Shenton, M. E. (2012). White matter integrity in the brains of professional soccer players without a symptomatic concussion. *Jama*, 308(18), 1859-1861.
53. Koerte, I. K., Lin, A. P., Muehlmann, M., Merugumala, S., Liao, H., Starr, T., ... & Shenton, M. E. (2015). Altered neurochemistry in former professional soccer players without a history of concussion. *Journal of neurotrauma*, 32(17), 1287-1293.
54. Koerte, I. K., Lin, A. P., Willems, A., Muehlmann, M., Hufschmidt, J., Coleman, M. J., ... & Shenton, M. E. (2015). A review of neuroimaging findings in repetitive brain trauma. *Brain pathology*, 25(3), 318-349.
55. Koerte, I. K., Mayinger, M., Muehlmann, M., Kaufmann, D., Lin, A. P., Steffinger, D., ... & Shenton, M. E. (2016). Cortical thinning in former professional soccer players. *Brain imaging and behavior*, 10, 792-798.
56. Kontos, A. P., Braithwaite, R., Chrisman, S. P., McAllister-Deitrick, J., Symington, L., Reeves, V. L., & Collins, M. W. (2017). Systematic review and meta-analysis of the effects of football heading. *British journal of sports medicine*, 51(15), 1118-1124.
57. Krutsch, V., Gesslein, M., Loose, O., Weber, J., Nerlich, M., Gaensslen, A., ... & Krutsch, W. (2018). Injury mechanism of midfacial fractures in football causes in over 40% typical neurological symptoms of minor brain injuries. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 26, 1295-1302.
58. Krutsch, V., Krutsch, W., Jansen, P., Hoffmann, H., Angele, P., Lehmann, J., ... & Weber, J. (2017). Prävention von Gehirnerschütterungen im Juniorenfußball– Ist eine Abschaffung des Kopfballspiels notwendig?. *Sportverletzung· Sportschaden*, 31(03), 143-153..
59. Krutsch, W., Krutsch, V., Hilber, F., Pfeifer, C., Baumann, F., Weber, J., ... & Angele, P. (2018). 11.361 sports injuries in a 15-year survey of a Level I emergency trauma department reveal different severe injury types in the 6 most common team sports. *Sportverletzung· Sportschaden*, 32(02), 111-119.

60. Kühne, C. A., Homann, M., Ose, C., Waydhas, C., Nast-Kolb, D., & Ruchholtz, S. (2003). Der Schockraumpatient. *Der Unfallchirurg*, 106(5), 380-386.
61. Langdon, S., Goedhart, E., Oosterlaan, J., & Königs, M. (2022). Heading exposure in elite football (soccer): A study in adolescent, young adult, and adult male and female players. *Medicine and science in sports and exercise*, 54(9), 1459.
62. Langlois, J. A., Rutland-Brown, W., & Wald, M. M. (2006). The epidemiology and impact of traumatic brain injury: a brief overview. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 21(5), 375-378.
63. Lincoln, A. E., Caswell, S. V., Almquist, J. L., Dunn, R. E., Norris, J. B., & Hinton, R. Y. (2011). Trends in concussion incidence in high school sports: a prospective 11-year study. *The American journal of sports medicine*, 39(5), 958-963
64. Ling, H., Hardy, J., & Zetterberg, H. (2015). Neurological consequences of traumatic brain injuries in sports. *Molecular and Cellular Neuroscience*, 66, 114-122.
65. Ling, H., Morris, H. R., Neal, J. W., Lees, A. J., Hardy, J., Holton, J. L., ... & Williams, D. D. (2017). Mixed pathologies including chronic traumatic encephalopathy account for dementia in retired association football (soccer) players. *Acta neuropathologica*, 133, 337-352.
66. López-Valenciano, A., Raya-González, J., Garcia-Gómez, J. A., Aparicio-Sarmiento, A., Sainz de Baranda, P., De Ste Croix, M., & Ayala, F. (2021). Injury profile in women's football: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*, 51, 423-442.
67. Mackay, D. F., Russell, E. R., Stewart, K., MacLean, J. A., Pell, J. P., & Stewart, W. (2019). Neurodegenerative disease mortality among former professional soccer players. *New England Journal of Medicine*, 381(19), 1801-1808.
68. Macnab, T. M. P., Espahbodi, S., Hogervorst, E., Thanoon, A., Fernandes, G. S., Millar, B., ... & Zhang, W. (2023). Cognitive impairment and self-reported dementia in UK retired professional soccer players: a cross sectional comparative study. *Sports Medicine-Open*, 9(1), 43.
69. Maher, M. E., Hutchison, M., Cusimano, M., Comper, P., & Schweizer, T. A. (2014). Concussions and heading in soccer: a review of the evidence of

- incidence, mechanisms, biomarkers and neurocognitive outcomes. *Brain injury*, 28(3), 271-285.
70. Makdissi, M., & Davis, G. (2016a). Using video analysis for concussion surveillance in Australian football. *Journal of science and medicine in sport*, 19(12), 958-963.
 71. Makdissi, M., & Davis, G. (2016b). The reliability and validity of video analysis for the assessment of the clinical signs of concussion in Australian football. *Journal of science and medicine in sport*, 19(10), 859-863.
 72. Marar, M., McIlvain, N. M., Fields, S. K., & Comstock, R. D. (2012). Epidemiology of concussions among United States high school athletes in 20 sports. *The American journal of sports medicine*, 40(4), 747-755.
 73. McCrory, P. R., & Berkovic, S. F. (2000). Video analysis of acute motor and convulsive manifestations in sport-related concussion. *Neurology*, 54(7), 1488-1491.
 74. McCrory, P., Meeuwisse, W., Dvorak, J., Aubry, M., Bailes, J., Broglio, S., ... & Vos, P. E. (2017). Consensus statement on concussion in sport—the 5th international conference on concussion in sport held in Berlin, October 2016. *British journal of sports medicine*, 51(11), 838-847.
 75. McKee, A. C., Cantu, R. C., Nowinski, C. J., Hedley-Whyte, E. T., Gavett, B. E., Budson, A. E., ... & Stern, R. A. (2009). Chronic traumatic encephalopathy in athletes: progressive tauopathy after repetitive head injury. *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology*, 68(7), 709-735.
 76. McKee, A. C., Stein, T. D., Nowinski, C. J., Stern, R. A., Daneshvar, D. H., Alvarez, V. E., ... & Cantu, R. C. (2013). The spectrum of disease in chronic traumatic encephalopathy. *Brain*, 136(1), 43-64.
 77. Meaney, D. F., & Smith, D. H. (2011). Biomechanics of concussion. *Clinics in sports medicine*, 30(1), 19-31.
 78. Mihalik, J. P., Lynall, R. C., Wasserman, E. B., Guskiewicz, K. M., & Marshall, S. W. (2017). Evaluating the "threshold theory": can head impact indicators help?. *Medicine and science in sports and exercise*, 49(2), 247-253.
 79. Montenigro, P. H., Corp, D. T., Stein, T. D., Cantu, R. C., & Stern, R. A. (2015). Chronic traumatic encephalopathy: historical origins and current perspective. *Annual review of clinical psychology*, 11(1), 309-330.

80. Mooney, J., Self, M., ReFaey, K., Elsayed, G., Chagoya, G., Bernstock, J. D., & Johnston, J. M. (2020). Concussion in soccer: a comprehensive review of the literature. *Concussion*, 5(3), CNC76.
81. Morgan, C. D., Zuckerman, S. L., Lee, Y. M., King, L., Beaird, S., Sills, A. K., & Solomon, G. S. (2015). Predictors of postconcussion syndrome after sports-related concussion in young athletes: a matched case-control study. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*, 15(6), 589-598.
82. Niedfeldt, M. W. (2011). Head injuries, heading, and the use of headgear in soccer. *Current sports medicine reports*, 10(6), 324-329
83. Nilsson, M., Hägglund, M., Ekstrand, J., & Waldén, M. (2013). Head and neck injuries in professional soccer. *Clinical journal of sport medicine*, 23(4), 255-260.
84. O'donoghue, P. (2009). *Research methods for sports performance analysis*. Routledge.
85. Omalu, B., Bailes, J., Hamilton, R. L., Kambou, M. I., Hammers, J., Case, M., & Robert Fitzsimmons, J. D. (2011). Emerging histomorphologic phenotypes of chronic traumatic encephalopathy in American athletes. *Neurosurgery*, 69(1), 173-183.
86. Pierpoint, L. A., & Collins, C. (2021). Epidemiology of sport-related concussion. *Clinics in sports medicine*, 40(1), 1-18.
87. Pinggera, D., Geiger, P., & Thomé, C. (2023). Schädel-Hirn-Trauma. *Der Nervenarzt*, 94(10), 960-972.
88. Preiss-Farzanegan, S. J., Chapman, B., Wong, T. M., Wu, J., & Bazarian, J. J. (2009). The relationship between gender and postconcussion symptoms after sport-related mild traumatic brain injury. *Pm&r*, 1(3), 245-253.
89. Putukian, M., Echemendia, R. J., Chiampas, G., Dvorak, J., Mandelbaum, B., Lemak, L. J., & Kirkendall, D. (2019). Head Injury in Soccer: From Science to the Field; summary of the head injury summit held in April 2017 in New York City, New York. *British journal of sports medicine*, 53(21), 1332-1332.
90. Putukian, M., Echemendia, R., Dettwiler-Danspeckgruber, A., Duliba, T., Bruce, J., Furtado, J. L., & Murugavel, M. (2015). Prospective clinical assessment using Sideline Concussion Assessment Tool-2 testing in the evaluation of sport-related concussion in college athletes. *Clinical journal of sport medicine*, 25(1), 36-42.

91. Rutherford, A., Stephens, R., Fernie, G., & Potter, D. (2009). Do UK university football club players suffer neuropsychological impairment as a consequence of their football (soccer) play? *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 31(6), 664-681.
92. Schmitt, D. M., Hertel, J., Evans, T. A., Olmsted, L. C., & Putukian, M. (2004). Effect of an acute bout of soccer heading on postural control and self-reported concussion symptoms. *International journal of sports medicine*, 25(05), 326-331.
93. Schneider, K. J., Patricios, J., Echemendia, R. J., Makdissi, M., Davis, G. A., Ahmed, O. H., ... & Engebretsen, L. (2022). Concussion in sport: the consensus process continues. *British journal of sports medicine*, 56(19), 1059-1060.
94. Shenton, M. E., Hamoda, H. M., Schneiderman, J. S., Bouix, S., Pasternak, O., Rathi, Y., ... & Zafonte, R. (2012). A review of magnetic resonance imaging and diffusion tensor imaging findings in mild traumatic brain injury. *Brain imaging and behavior*, 6, 137-192.
95. Sollmann, N., Echlin, P. S., Schultz, V., Viher, P. V., Lyall, A. E., Tripodis, Y., ... & Koerte, I. K. (2018). Sex differences in white matter alterations following repetitive subconcussive head impacts in collegiate ice hockey players. *Neuroimage: clinical*, 17, 642-649.
96. Tarnutzer, A. A., Straumann, D., Brugger, P., & Feddermann-Demont, N. (2017). Persistent effects of playing football and associated (subconcussive) head trauma on brain structure and function: a systematic review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 51(22), 1592-1604.
97. Tarzi, G., Tarzi, C., Mirsu, D., Patel, J., Dadashi, E., El-Sabbagh, J., ... & Cusimano, M. D. (2022). Effect of a new concussion substitute rule on medical assessment of head collision events in Premier League football. *Injury prevention*, 28(6), 521-525.
98. Tator, C. H., Davis, H. S., Dufort, P. A., Tartaglia, M. C., Davis, K. D., Ebraheem, A., & Hiploylee, C. (2016). Postconcussion syndrome: demographics and predictors in 221 patients. *Journal of neurosurgery*, 125(5), 1206-1216.
99. Tierney, G. J., & Higgins, B. (2021). The incidence and mechanism of heading in European professional football players over three seasons. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(4), 875-883.

100. UEFA. Women's football across the National Associations 2017. https://www.uefa.com/MultimediaFiles/Download/OfficialDocument/uefaorg/Women%27sfootball/02/51/60/57/2516057_DOWNLOAD.pdf. Accessed: 04.02.2024
101. Vedung, F., Hänni, S., Tegner, Y., Johansson, J., & Marklund, N. (2020). Concussion incidence and recovery in Swedish elite soccer—prolonged recovery in female players. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 30(5), 947-957.
102. Weber, J. (2020). Head Injuries. *Injury and Health Risk Management in Sports: A Guide to Decision Making*, 111-116.
103. Weber, J., Huber, L., Frankewycz, B., Krutsch, W., Alt, V., & Szymiski, D. (2022). Sports-Related Concussion Is a Personalized Issue—Evaluation of Medical Assessment and Subjective Feeling of the Athlete in a German Level 1 Trauma Center. *Journal of personalized medicine*, 12(10), 1596.
104. Weber, J., Reinsberger, C., Krutsch, V., Seiffert, R., Huber, L., Alt, V., & Krutsch, W. (2023). Heading and risk of injury situations for the head in professional German football: a video analysis of over 150,000 headers in 110,000 match minutes. *Science and medicine in football*, 7(4), 307-314.
105. Zuckerman, S. L., Apple, R. P., Odom, M. J., Lee, Y. M., Solomon, G. S., & Sills, A. K. (2014). Effect of sex on symptoms and return to baseline in sport-related concussion. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*, 13(1), 72-81.
106. Zuckerman, S. L., Brett, B. L., Jeckell, A., Yengo-Kahn, A. M., & Solomon, G. S. (2018). Chronic traumatic encephalopathy and neurodegeneration in contact sports and American football. *Journal of Alzheimer's disease*, 66(1), 37-55.

8. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	= Abbildung
aCRF	= annotated case report form
bzw.	= beziehungsweise
ca.	= zirka
CI	= critical incident
CT	= Computertomographie
DFB	= Deutscher Fußball Bund
et al.	= et alii
FIFA	= Fédération Internationale de Football Association
MRT	= Magnetresonanztomographie
GCS	= Glasgow Coma Scale
HHIs	= Head impact incidents
insg.	= insgesamt
KB	= Kopfbälle
KV	= Kopfverletzungen
o. g.	= oben genannt
mind.	= mindestens
mTBI	= mild traumatic brain injury
OR	= Odds Ratio
REDCap	= Research Electronic Data Capture
RSHI	= repetitive subconcussive head impact
s.	= siehe
SD	= Standardabweichung
SHT	= Schädel-Hirn-Trauma
sog.	= sogenannt
SRC	= sport related concussion
Tab.	= Tabelle
UEFA	= Union of European Football Associations
VBG	= Verwaltungs-Berufsgenossenschaft
vgl.	= vergleiche
vs.	= versus
z. B.	= zum Beispiel

9. Danksagung

Hier möchte ich allen nachstehenden Personen meinen großen Dank aussprechen, die mich bei der Anfertigung meiner Promotionsarbeit unterstützt haben:

Mein Dank gilt zunächst Prof. Dr. Werner Krutsch, meinem Doktorvater, der mir durch seine tatkräftigen Unterstützungen im Prozess der Bewerbung als externe Doktorandin diese Arbeit unter seiner Leitung ermöglicht hat.

Des Weiteren möchte ich besonders Dr. Johannes Weber für die hervorragende Betreuung und ständig verfügbare Unterstützung Dank sagen. Auch für die mühevollen Arbeit des Korrekturlesens möchte ich mich herzlich bedanken.

Außerdem möchte ich auf diesem Wege meine Wertschätzung für Gunnar Huppertz am Zentrum für klinische Studien, und Dr. Lorenz Huber, Klinik für Unfallchirurgie, zum Ausdruck bringen, deren stete Hilfsbereitschaft wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir immerzu Vertrauen und Zuspruch während des Studiums und der Promotionsarbeit geschenkt haben. Auch möchte ich mich bei meiner Ehefrau Felizitas bedanken, die mir unentwegt mit Verständnis und Geduld zur Seite stand. Ihr und meinen Eltern widme ich diese Arbeit.

10. Lebenslauf

11. Selbstständigkeitserklärung

Ich, Susanne Martina Waitz, geboren am 13.09.1993 in Augsburg, 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.

Susanne Waitz, Regensburg den 16.09.2025