

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR UNFALLCHIRURGIE
Prof. Dr. Dr. Volker Alt
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

Videogestützte Analyse des Kopfballspiels und seiner Folgen im
Übergangsbereich Profi-/ Amateurfußball in Deutschland

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Robin Frederic Seiffert

2020

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR UNFALLCHIRURGIE
Prof. Dr. Dr. Volker Alt
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

Videogestützte Analyse des Kopfballspiels und seiner Folgen im
Übergangsbereich Profi-/ Amateurfußball in Deutschland

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Robin Frederic Seiffert

Dekan:

Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter:

PD Dr. Werner Krutsch

2. Berichterstatter:

Prof. Dr. Karl-Michael Schebesch

Tag der mündlichen Prüfung:

09.12.2020

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Einleitung	5
2.1	Der Kopfball im Fußball	6
2.2	Kopfverletzungen	7
2.2.1	Das Schädelhirntrauma	10
2.2.2	Repetitive subconcussive head impacts	18
2.2.3	Zentral neurologische Langzeitschäden	20
2.3	Kopfballspiel und Folgen	21
2.4	Prävention im Fußball	22
2.4.1	Primäre Prävention	23
2.4.2	Sekundäre Prävention	25
2.4.3	Tertiäre Prävention	26
2.5	Die Videoanalyse im Sport	27
2.6	Zielsetzung	28
3	Material und Methoden	30
3.1	Methodik	30
3.1.1	Studiendesign	30
3.1.2	Analyseverfahren	31
3.1.2.1	Quantitative Analyse	32
3.1.2.2	Qualitative Analyse	32
3.1.3	Statistische Auswertung	34
3.2	Material	35
3.3	Studienförderung	35
4	Ergebnisse	36
4.1	Charakterisierung des Studienkollektivs	36

4.2	Epidemiologische Analyse von Kopfbällen	38
4.2.1	Spielsituation	40
4.2.2	Kopfball- und Zweikampfverhalten	43
4.3	Epidemiologische Analyse verletzungsträchtiger Situationen am Kopf	46
4.3.1	Saisonübergreifende Inzidenz von kopfverletzungsträchtigen Situationen	46
4.3.2	Analyse der zugrunde liegenden Spielsituation	47
4.3.3	Konsequenz der kopfverletzungsträchtigen Situation	51
4.3.4	Risikofaktoren für eine kopfverletzungsträchtige Situation	53
5	Diskussion	57
5.1	Das Kopfballspiel und seine Folgen	57
5.1.1	Reales Abbild von Kopfbällen des Spielbetriebs	57
5.1.2	Kopfverletzungen als Folge des Kopfballspiels?	58
5.1.3	Vergleich zwischen Amateur- und Profibereich	61
5.1.4	Fort- und Weiterbildung zur Prävention von Kopfverletzungen	63
5.2	Methodische Aspekte	64
5.2.1	Die Videoanalyse als Instrument der Spielanalyse	64
5.2.2	Standardisierte Fragebögen zur Erfassung der Daten	66
5.2.3	Der Critical Incident als Marker potentieller Verletzungssituationen	67
5.3	Fazit	68
6	Literaturverzeichnis	70
7	Abkürzungsverzeichnis	81
8	Danksagung	
9	Selbstständigkeitserklärung	

1 Zusammenfassung

Kopfverletzungen im Fußball sind aufgrund befürchteter gravierender Konsequenzen im Verlauf der letzten zwei Jahrzehnte - trotz ihrer im Vergleich zu anderen Verletzungen geringeren Frequenz - in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Speziell das Kopfballspiel als integraler Teil der Sportart wird zunehmend im Hinblick auf mögliche Kurz- und Langzeitfolgen kontrovers diskutiert.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden erstmals adäquate epidemiologische Daten zum Kopfballspiel in ausreichender Stückzahl mithilfe der Videoanalyse von 669 Spielen der Saison 2016/17 der 3. Liga und Regionalliga Bayern gesammelt. Außerdem wurden kopfverletzungsträchtige Situationen (Critical Incidents) nach in der Literatur vordefinierten und verwendeten Kriterien begutachtet. Als Erfassungsinstrument der Analyse dienten dabei standardisierte, bereits validierte Fragebögen. Diese beinhalteten diverse Items, um die einzelnen Situationen zeitlich, räumlich und situativ umfassend zu beschreiben.

In über 1000 Stunden regulärer Spielzeit wurden so 87.105 Kopfbälle und 572 kopfverletzungsträchtige Situationen ausgewertet. Für die 3. Liga ergaben sich damit Mittelwerte von 141,7 Kopfbällen pro Spiel und 6,4 Kopfbällen pro Spieler und Spiel. In der Regionalliga Bayern fielen mit 115,8 Kopfbällen pro Spiel und 5,3 Kopfbällen pro Spieler und Spiel diese geringer aus. Insgesamt führten vor allem defensive Spieler - und hier insbesondere Verteidiger - Kopfbälle aus. Überwiegend im Mittelfeld wurde dabei der Kopfball aus dem freien Spiel heraus zum Passen oder Klären von Situationen benutzt, wovon wiederum 52,3% (3. Liga) bzw. 44,7% (Regionalliga Bayern) sich im Rahmen einer Zweikampfsituation ereigneten.

Die Analyse der kopfverletzungsträchtigen Situationen führte zu inhomogeneren Ergebnissen bei deutlich geringeren Fallzahlen. In der 3. Liga konnten Häufigkeiten von etwa 0,9 kopfverletzungsträchtigen Situationen pro Spiel und in der Regionalliga von 0,8 kopfverletzungsträchtigen Situationen pro Spiel festgestellt werden. Als Risikofaktoren mit hoher Effektstärke konnten vor allem das Vorliegen eines Foulspiels, Zweikampfs, eine Beteiligung mehrerer Spieler, hohe Ellenbogenpositionen sowie der Abschuss des Kopfes durch den Ball bestimmt werden.

Zukünftige Forschungen zum Thema Kopfballspiel und möglicher Folgen sollten sich an den im Rahmen dieser Studie gewonnenen Erkenntnissen, welche erstmals den realen Spielbetrieb zweier Spielklassen über eine Saison hinweg abbilden, orientieren. Auch können durch die Studienerkenntnisse, gerade im Hinblick auf verletzungsgefährliche Situationen, Präventionsstrategien abgeleitet werden. Pädagogische Maßnahmen sowie theoretische und praktische Trainingsschulungen können neben der Aufklärung aller Beteiligten zu einer Reduktion von schweren Kopfverletzungen im Sport, insbesondere im Fußball, führen.

2 Einleitung

Fußball ist die am meisten gespielte Sportart der Welt mit über 265 Millionen ausübenden Spielerinnen und Spielern, welche 2018 in 207 Mitgliedsverbänden organisiert waren. Aktiv involviert sind rund 270 Millionen Spieler, Schiedsrichter und Funktionäre, demnach gut 4% der Weltbevölkerung (Dvorak et al., 2009; FIFA, 2007). Alleine in Deutschland spielen laut einer erhobenen Umfrage der Fédération Internationale de Football Association, kurz FIFA, (2007) 20% der Bevölkerung regelmäßig Fußball, was etwa 16 Millionen Deutschen entspricht. Beim Deutschen Fußball-Bund (DFB) sind in der Saison 2016/2017 über sieben Millionen Mitglieder registriert gewesen (DFB, 2017). Der DFB stellt damit den größten nationalen Dachverband der Welt dar.

Fußball stellt die einzige Sportart weltweit dar, bei der der Kopf als Körperteil im Rahmen eines Kopfballs zur Ballannahme, -weitergabe und zum Erzielen eines Torerfolgs üblich ist (Krutsch et al., 2017). Dies führt konsekutiv auch zu Verletzungen des Kopfes, die, wenn auch seltener, etwa 5 % aller Verletzungen im Fußballsport ausmachen (Andersen et al., 2003; Junge et al., 2002). Kopfverletzungen adäquat und schnell zu diagnostizieren, stellt Mediziner aufgrund der Vielfalt und teils zeitlich verzögert auftretenden Symptomen mitunter vor Probleme. Vereinzelt kam es in der Vergangenheit zu langen Ausfällen von Spielern aufgrund von schwereren Kopfverletzungen, wie z.B. 2017 im Falle des Fußball-Bundesligaspielers Christian Gentner, der sich bei einem Zusammenstoß mit dem gegnerischen Torwart eine Gehirnerschütterung sowie mehrere Schädelfrakturen zuzog. Derartige schwere Kopfverletzungen führen dazu, dass das Fußballspiel und damit potenziell zusammenhängende Kopfverletzungen vermehrt hinterfragt werden und seit 20 Jahren zunehmend unter öffentlicher Beachtung stehen. Besonders das Schädelhirntrauma und seine möglichen Konsequenzen, welche bis zum heutigen Zeitpunkt nicht abgeschätzt werden können und daher viel Spielraum für Interpretationen bieten, werden gefürchtet. Außerdem ist im vergangenen Jahrzehnt das Kopfballspiel als fragliches Risiko für kurz- und langfristige zentralnervöse Folgen vermehrt in den Vordergrund gerückt. Medial wird das Thema „Kopfball“ im Hinblick auf seine Gefährlichkeit kontrovers diskutiert (Baroff, 1998; Bartens, 2016; Krutsch et al., 2017; Shewchenko et al., 2005; Straume-Naesheim et al., 2005).

Ob ein Verbot - wie 2015 das durchgesetzte U13-Kopfballverbot in den USA - eine geeignete Präventionsmaßnahme darstellt, erfordert daher einer weitergehenden Analyse des Kopfballspiels und seiner Folgen.

2.1 Der Kopfball im Fußball

Das Kopfballspiel ist ein integraler Teil der Sportart Fußball. Seit über 100 Jahren beinhaltet Fußball als einzige Kontaktsportart das absichtliche und zweckmäßige Benutzen des Kopfes als Mittel zur Kontrolle und zum Weiterleiten des Balles (Kirkendall et al., 2001). Er ist damit ein wichtiges Hilfsmittel im offensiven wie auch defensiven Spiel, mit dem nicht nur ein Ball kontrolliert oder Pass gespielt, sondern auch ein Torerfolg erzielt oder verhindert werden kann. Besonders im Erwachsenenfußball und mit steigendem professionellem Level fungiert der Kopfball als erfolgreiches Mittel zur Entscheidung von Spielen. Aufgrund des untersagten Spielens des Balles mit der oberen Extremität bleibt der Kopfball gerade für hohe Bälle ein wichtiges Werkzeug im Umgang mit dem Ball. Durch das Kopfballspiel unterscheidet sich der Fußball klar von anderen Sportarten wie Handball, American Football, Basketball oder Eishockey. Der Kopfball würde in diesen Sportarten keinen Vorteil erzielen, sodass der Fußball hier eine Sonderstellung einnimmt (Krutsch et al., 2017).

Epidemiologische Daten zum Kopfballspiel, dessen Inzidenz und insbesondere auch dessen Folgen findet man in der wissenschaftlichen Literatur bislang kaum. Derzeit ist noch unklar, wie oft ein Spieler pro Spiel den Ball köpft und welche Spielerposition dabei besonders prädisponiert ist. Außerdem unklar sind die Rahmenbedingungen der Kopfballsituationen: Ob sich Kopfbälle vor allem in Duellsituationen ereignen, inwieweit Körperkontakt als externer Einflussfaktor vorliegt, wie sich die Spieler in einem Kopfballduell verhalten und wie oft und unter welchen Bedingungen es zu Fouls und zu Kopfverletzungen kommt. Genauso wenig sind Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den verschiedenen Klassen und Altersstufen bekannt.

Das Kopfballspiel und dessen neurokognitiven Auswirkungen sind bislang nur in wenigen interventionellen Studien untersucht worden. Diese verwendeten Kopfballintervalle von 10 bis 15 Minuten (Putukian et al., 2000; Rieder und Jansen, 2011) mit geschätzt bis zu 100 Kopfbällen pro Spieler und Einheit. Es bleibt zweifelhaft,

ob diese Studien die praktische Routine eines Fußball-Trainings oder eines richtigen Spiels widerspiegeln. In einer Studie von Spiotta et al. (2012) wird von lediglich 6 bis 12 Kopfbällen pro Spieler und Spiel ausgegangen.

Weitere groß angelegte Studien, welche sich vor allem auf die verschiedenen Klassen und Bereiche des Fußballs beziehen, sind hier dringend erforderlich. Besonders abseits der großen Ligen und des Profibereichs fehlen Studien. Ein Ziel dieser Arbeit ist es, hierzu einen Beitrag zu leisten und Kopfballzahlen und -situationen im deutschen oberen Amateur- und unteren Profibereich erstmals näher zu untersuchen und zu charakterisieren.

2.2 Kopfverletzungen

Laut interner Studien der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), welche die gesetzliche Unfallversicherung im professionellen Fußballbereich darstellt, machen Kopfverletzungen etwa 6,5% aller gemeldeten Verletzungen im Fußballsport aus (Luig et al., 2017). Aufgrund ihrer häufig verzögerten Diagnose und teilweise neurologischen Mitbeteiligung (Krutsch et al., 2017) nehmen Kopfverletzungen eine besondere Rolle ein. Dies stützt auch die hohe Varianz in den Ausfallzeiten, abhängig von Art und Schwere derartiger Verletzungen und der großen Varianz der Folgen.

Die Muster hinter den Verletzungen zu verstehen ist aufgrund zahlreicher negativer Konsequenzen wichtig. Neben den möglichen persönlichen Konsequenzen wie Sport- und Arbeitsabstinenz für die verletzten Spieler führt eine Verletzung zusätzlich zu medizinischen Kosten und finanziellen Verlusten für Vereine im Profibereich. Weltweit werden hier die dadurch entstehenden Kosten auf etwa 30 Milliarden Dollar geschätzt (Jones, 2014). Zahlen zu einzelnen Nationen und Ligen, beispielsweise für Deutschland, fehlen in der Fachliteratur. Lange Verletzungspausen haben außerdem auch sportliche Konsequenzen für die Mannschaften, insbesondere wenn ein wichtiger Spieler ausfällt.

Bei Kontaktsportarten kann es prinzipiell auf zwei unterschiedlichen Wegen zu Verletzungen kommen. Entweder wird die Verletzung durch einen direkten Körperkontakt zwischen zwei Spielern an der entsprechenden Körperregion verursacht oder durch einen kontaktlosen Verletzungsmechanismus ausgelöst. Bei vielen anderen Kontaktsportarten stellt besonders der Körperkontakt den

Ausgangspunkt für Verletzungen dar (Dvorak et al., 2009; Nilsson et al., 2013). So bilden Kontaktverletzungen laut des bereits erwähnten VBG-Sportreports (Luig et al., 2017) die folgende Verteilung ab:

Eishockey	73,1%
Basketball	56,2%
Handball	52,3%
Fußball	49,9%

Inwiefern ein möglicher Kontakt zwischen Spielern speziell für Kopfverletzungen die Ursache darstellt, bleibt aufgrund fehlender Studien unklar.

Die Inzidenz für Verletzungen von Fußballspielern liegt zwischen 1,8 und 7,6 Verletzungen in 1000 Trainingsstunden und zwischen 10,2 und 35 Verletzungen in 1000 Spielstunden (Hagglund, 2007). Junge und Dvorak (2013) verwendeten Daten der FIFA, die in den Weltmeisterschaften 1998 und 2002 erfasst worden waren, um die Inzidenz für Verletzungen und deren Häufigkeitsverteilung auf die Körperregionen zu ermitteln. In eben genannter Studie wurden im Durchschnitt 2,6 Verletzungen pro Spiel festgestellt, wobei die untere Extremität mit 70% am häufigsten betroffen war. Kopf und Nacken waren mit 15% vor Rumpf (8%) und oberer Extremität (7%) gelistet.

Beaudouin et al. (2017) werteten in einer Studie 160.413 Stunden Spielzeit der 1. Bundesliga der Saisons 2000/01 bis 2012/13 im Hinblick auf Kopfverletzungen aus (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Kopfverletzungen in der 1. Bundesliga in Deutschland (modifiziert nach Beaudouin et al., 2017).

	2000/01-2012/13	Inzidenz in 1000 Spielstunden
<i>Spielstunden</i>	160.413	
Kopfverletzungen, gesamt	356	2,22
Platzwunden	119	0,74
Schädelhirntraumata	90	0,56
Kopf-/Gesichtsfrakturen	89	0,56
Gehirnprellung	42	0,26
Andere Verletzungen	16	0,10

Festgestellt wurden insgesamt 356 Kopfverletzungen, was insgesamt einer Inzidenz von 2,22 Kopfverletzungen in 1000 Spielstunden entsprach. Zu den häufigsten

Kopfverletzungen gehören demnach in absteigender Häufigkeit Platzwunden, Schädelhirntraumata, Frakturen und Kontusionen.

Im Fußball treten Kopfverletzungen im Vergleich zu anderen Sportarten wie Eishockey, American Football oder auch Boxen relativ selten auf. Die Schädelhirntrauma-Inzidenz ist beispielsweise im Vergleich zwischen Fußball und American Football acht Mal niedriger (3,02/1000 Spielstunden American College Football gegenüber 0,38/1000 Spielstunden Fußball) (Delaney et al., 2006; Guskiewicz et al., 2005; Jordan, 2000; McAllister et al., 2012; McAllister und McCrea, 2017). Die folgende Verteilung von Marar et al. (2012) gibt die SHT-Inzidenz bei verschiedenen Sportarten von 1000 High School Sportlern über den Zeitraum 2008 bis 2010 an:

Football	0,64
Eishockey	0,54
Fußball (<i>Juniorinnen</i>)	0,34
Feldhockey	0,22
Wrestling	0,22
Fußball (<i>Junioren</i>)	0,19
Basketball	0,16

Trotzdem sind besonders Kopfverletzungen im Fußball aufgrund dessen Breitenwirkung im Hinblick auf Ätiologie und kurz- und langfristige Folgen vermehrt im Fokus öffentlicher Diskussionen. Die zunehmende Präsenz des Themas in der Öffentlichkeit und den Medien, speziell auch in Deutschland, ist auch durch medienwirksame Kopfverletzungen im Profifußball zu begründen. Entsprechende Beispiele dafür sind die Gehirnerschütterung von Christoph Kramer im WM-Finale 2014 gegen Argentinien oder die obengenannte schwere Kopfverletzung Christian Gentners der vergangenen Bundesliga-Saison. Ein weiteres kürzlich zurückliegendes Beispiel repräsentiert die Gehirnerschütterung des Torwarts Loris Karius vom FC Liverpool im Champions League-Finale 2018, die nach einem Zweikampfduell mit dem Innenverteidiger Sergio Ramos von Real Madrid nachträglich festgestellt wurde.

2.2.1 Das Schädelhirntrauma

Die Definition eines Schädelhirntraumas wurde im Laufe der Zeit immer komplexer und schließt heutzutage eine Vielzahl von Charakteristika mit ein. Die folgende Definition des Schädelhirntraumas, englisch „concussion“, entstammt der Arbeit von McCrory et al. (2013) und wurde auf der vierten internationalen Konferenz zum Thema „concussion in sports“ 2012 in Zürich vorgestellt. Das SHT ist demzufolge als eine zentralnervöse Verletzung anzusehen und wird als komplex pathophysiologischer Prozess im Gehirn definiert, der durch biomechanische Kräfte induziert wird. Verursacht wird es entweder durch ein direktes Trauma auf den Kopfbereich oder indirekt durch eine impulsive Kraftweiterleitung nach einer Krafteinwirkung auf den Körper, z.B. bei einem Autounfall. Gekennzeichnet wird das SHT durch schnell auftretende Kurzzeitstörungen neurologischer Funktionen, die unter Umständen zu neuropathologischen Veränderungen der Gehirnstruktur führen können. Ein SHT kann diffuse Mikrotraumen des Gehirns verursachen, die wiederum funktionelle Veränderungen der Zellmembranen bedingen können. Folglich kann es aufgrund einer beeinträchtigten Hirndurchblutung zu einem Ungleichgewicht von Energieverbrauch und -angebot kommen. Die akuten klinischen Symptome repräsentieren dabei oft eher eine funktionelle Dysbalance als strukturelle Schäden. Symptome können von somatischen über kognitiven bis hin zu emotionalen Aspekten sehr variabel ausfallen. Sie schließen Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit und Erbrechen bis hin zu Sehstörungen, Amnesie und Krampfanfällen mit ein. Der Bewusstseinsverlust ist dabei kein notwendiges Kriterium und tritt lediglich bei circa 10% der Betroffenen ein (Giza et al., 2013). Schlafstörungen und Störungen der Emotionen und Persönlichkeit können ebenfalls auftreten, bleiben dabei aber ohne morphologische Veränderungen im MRT.

Derzeit koexistieren, abhängig von Land, medizinischer Fachgesellschaft und Arbeitsgruppe, mehrere Definitionen zum SHT, welche sich in ihren Merkmalen und deren Ausprägungen teils unterscheiden (Biberthaler und Aschenbrenner, 2012; Firsching et al., 2014; McCrory et al., 2017; Ruhe et al., 2014). So können neurologische Beeinträchtigungen divers vorhanden sein. Beispielsweise werden Symptome wie Persönlichkeitsveränderungen und Lähmungen oder Spastiken nicht einheitlich geführt. Zum Teil lässt sich diese Vielfalt der Definitionen mit der Tatsache erklären, dass die Diagnose eines Schädelhirntraumas sehr komplex ist, häufig

Experten verschiedener Fachabteilungen bedarf und nicht selten mit einem langen und umfangreichen Diagnoseweg verbunden ist.

Bei einem Verdacht auf ein SHT kann abhängig vom Zeitpunkt der zurückliegenden Verletzung und vom aufgesuchten medizinischen Experten die Diagnosefindung und -stellung variieren. In die Akutdiagnostik im klinischen Alltag gehört neben einer ausführlichen Anamnese zu Unfallhergang, Symptomen und deren Verlauf eine umfassende körperliche Untersuchung. Hierbei sollte vor allem der neurologische Status im zeitlichen Verlauf vielseitig und repetitiv untersucht werden. Bei der neurologischen Untersuchung wird das Vorhandensein von Ausfallerscheinungen durch Untersuchung der Hirnnervenfunktionen, der Kraftentfaltung, der Sensibilität, der Muskeleigenreflexe und der Koordination überprüft. Unter anderem kommen hier Augentests, Reflextests, Reaktionstests und koordinative Tests zum Einsatz. Auf laborchemischer Ebene kann außerdem die Bestimmung des Proteins S100B hilfreich sein, das als Biomarker für strukturelle Hirnschädigungen mehrfach untersucht ist. Der Serumspiegel scheint dabei mit der Größe der Läsion zu korrelieren und sich auch als Möglichkeit der Erfolgskontrolle einer Therapie zu eignen (Kleindienst, 2017). In den skandinavischen SHT-Guidelines wurde dieser Biomarker 2013 aufgrund seiner hohen Sensitivität und seines hohen negativen prädiktiven Wertes bereits in einen Entscheidungsalgorithmus aufgenommen. Aufgrund der niedrigen Spezifität eignet er sich aber nicht als alleiniges Kriterium für die Diagnose eines Schädelhirntraumas. S100B kommt auch außerhalb des zentralen Nervensystems vor und kann daher auch bei anderen Verletzungen und Pathologien erhöht sein (Kleindienst, 2017). Die Pathophysiologie sowie präklinischen und klinischen Einsatzmöglichkeiten vom S100B gilt es noch weiter zu untersuchen. Bei mittleren und schwereren Schädelhirntraumata ist eine weitere Bildgebung mittels CT oder MRT, auch als Diagnosekriterium, obligat (Gänsslen und Schmehl, 2015).

Der fachliche Umgang mit einer Gehirnerschütterung erfordert daher einen interdisziplinären Ansatz. Als eigenes Fachgebiet befasst sich die Sport-Neuropsychologie mit der Komplexität der Diagnosestellung (Moser et al., 2007). Auch in der Beurteilung des Return to Play-Prozesses ist deren Einbeziehung von Bedeutung. Aufgrund der jedoch geringen Versorgungsdichte ist deren Einbeziehung auch in Industrienationen mit hohem Versorgungsstandard bislang nicht flächendeckend etabliert.

Im Sportbereich ist die wichtigste primäre Maßnahme bei Verdacht auf ein SHT den Spieler umgehend aus dem laufenden Spielbetrieb zu nehmen und diesem schnellstmöglich einer weiterführenden Diagnostik zukommen zu lassen. Instrumente wie das „Concussion Recognition Tool“ (vgl. Abbildung 1) für Laien oder das „Sports Concussion Assessment Tool“ (SCAT) für Ärzte wurden daher von verschiedenen Sportverbänden entwickelt, um mittels standardisierter Methode Spieler mit fraglichem SHT am Spielfeldrand schneller evaluieren zu können.

CONCUSSION RECOGNITION TOOL™
Taschenkarte
 Hilfe für das Erkennen einer Gehirnerschütterung bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen

ERKENNEN UND HANDELN
 Eine Gehirnerschütterung sollte bei Vorliegen **eines oder mehrerer** der im Folgenden unter Punkt 1 bis 3 genannten sichtbaren Hinweise, Zeichen, Symptome oder bei falschen Antworten auf die Gedächtnisfragen vermutet werden.

1. Sichtbare Hinweise für den Verdacht auf eine Gehirnerschütterung
 Jeder der folgenden sichtbaren Hinweise kann auf eine Gehirnerschütterung hinweisen:

Bewusstseinsverlust oder verlangsamte Reaktion
 Liegt bewegungslos auf dem Boden/ verlangsamt beim Aufstehen
 Unsicherheit auf den Füßen/ Gleichgewichtsprobleme oder Fallen/Koordinationsstörungen
 Sich an den Kopf fassen/den Kopf mit den Händen stützen
 Benommener, leerer oder ausdrucksloser Blick
 Verwirrtheit/ nicht des Spiels oder der Geschehnisse bewusst

2. Zeichen und Symptome für eine mögliche Gehirnerschütterung
 Jedes der folgenden Zeichen und Symptome kann eine Gehirnerschütterung anzeigen:

- Bewusstseinsverlust
- Krampfanfall
- Gleichgewichtsprobleme
- Übelkeit oder Erbrechen
- Benommenheit/Schläfrigkeit
- Emotionaler als gewohnt
- Reizbarkeit
- Traurigkeit
- Erschöpfung/Ermüdung oder wenig Energie
- Nervös oder ängstlich
- „Etwas stimmt nicht mit mir“
- Schwierigkeiten, sich zu erinnern
- Kopfschmerzen
- Schwindelgefühl
- Verwirrtheit
- Gefühl „verlangsamt/ langsam zu sein“
- „Druck im Kopf“
- Verschwommenes Sehen
- Lichtempfindlichkeit
- Gedächtnislücke
- Gefühl „wie im Nebel/benebelt zu sein“
- Nackenschmerzen
- Geräuschempfindlichkeit
- Schwierigkeiten, sich zu konzentrieren

3. Gedächtnisfunktion
 Wenn eine Frage nicht richtig beantwortet wird, besteht der Verdacht auf eine Gehirnerschütterung.

„An welchem Spielort sind wir heute?“
 „Welche Halbzeit ist jetzt?“
 „Wer hat in diesem Spiel zuletzt ein Tor erzielt?“
 „Gegen welches Team haben Sie letzte Woche/ im letzten Spiel gespielt?“
 „Hat Ihre Mannschaft das letzte Spiel gewonnen?“

Jede(r) Sportlerin/Sportler mit Verdacht auf eine Gehirnerschütterung ist UMGEHEND AUS DEM SPIEL ZU NEHMEN und darf nicht zur Aktivität zurückkehren, bevor sie/er medizinisch untersucht worden ist. Sportlerinnen/Sportler mit Verdacht auf eine Gehirnerschütterung dürfen nicht allein gelassen werden und kein Fahrzeug führen.

Bei Verdacht auf eine Gehirnerschütterung ist empfohlen, dass die Spielerin/der Spieler an eine medizinische Fachperson zur Diagnosestellung, Betreuung und Rückkehr zum Spiel-Entscheid überwiesen wird, auch wenn die Symptome abgeklungen sind.

WARNEZEICHEN
 Bei JEDEM der unten aufgeführten Warnzeichen ist die Spielerin/der Spieler sicher und umgehend aus dem Spiel zu nehmen. Wenn keine medizinische Fachperson verfügbar ist, sollte ein Notfalltransport in das nächstliegende Krankenhaus zur umgehend ärztlichen Untersuchung erwogen werden.

- Sportler(in) klagt über Nackenschmerzen
- Verschlechterung des Bewusstseinszustandes
- Zunehmende Verwirrtheit/Reizbarkeit
- Schwere oder zunehmende Kopfschmerzen
- Wiederholtes Erbrechen
- Ungewöhnliche Verhaltensänderung
- Krampfanfälle
- Doppelbilder
- Schwäche oder Brennen/Kribbeln in Armen oder Beinen

Wichtig:

- In allen Fällen müssen die grundlegenden Prinzipien der Ersten Hilfe (Gefahr erkennen, Reaktion prüfen, stabile Seitenlage, Atmung und Kreislauf stabilisieren) befolgt werden
- Nicht versuchen, die Sportlerin/den Sportler zu bewegen (ausser, um sie/ihn in die stabile Seitenlage zu bringen), wenn keine spezifische Ausbildung besteht
- Einen (evtl. vorhandenen) Helm nicht abnehmen, wenn keine spezifische Ausbildung besteht.

Abbildung 1: Concussion Recognition Tool (aus McCrory et al., 2013).

Das Letztere und im Fußballsport am häufigsten verwendete SCAT steht mittlerweile in der fünften Version als SCAT5 zur Verfügung (McCrory et al., 2017). Der SCAT3 ist bisher am meisten untersucht und findet daher weiterhin oft Verwendung. Dieser Bewertungsbogen umfasst die Beurteilung klinischer und neurokognitiver bzw. neuropsychologischer Folgen einer Gehirnerschütterung und besteht aus verschiedenen Abschnitten (vgl. Abbildung 2).

Zunächst werden Symptome wie Wachheitszustand und Orientierung abgefragt und ein standardisierter Fragebogen zur kognitiven Einschätzung ausgefüllt. Dazu werden Fragen zu Kurzzeitgedächtnis und Konzentrationsfähigkeit beantwortet. Darüber hinaus werden die Nackenmuskulatur sowie die Balance und Koordination des Spielers überprüft. Bei einem Hinweis auf ein SHT durch Auffälligkeiten oder Symptome wird empfohlen, den Spieler sofort aus dem Spielbetrieb zu nehmen (McCrary et al., 2013). Denn nicht nur das SHT als potenzielle Verletzung des Gehirns gefährden den Spieler. Aufgrund der oben erwähnten Symptome kann eine uneingeschränkte Konzentrationsfähigkeit und -performance vom Spieler nicht gewährleistet werden, sodass es zusätzlich zu anderen Verletzungen kommen kann.

Die Symptome eines Schädelhirntraumas können in 10 bis 15% der Fälle persistieren (McCrary et al., 2013). Eine gefürchtete Langzeitfolge stellt hierbei insbesondere das sog. „Postconcussive Syndrome“ dar. Betroffene klagen beispielsweise über anhaltende Symptome wie Apathie, Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit oder Erschöpfung und Konzentrationsstörungen. Viele der Symptome sind dabei nicht spezifisch für das SHT, sodass andere Pathologien mitberücksichtigt werden müssen. Als klinische Bedingung fungiert dabei der enge zeitliche Zusammenhang mit einem Schädelhirntrauma (Helmich et al., 2015; McCrary et al., 2013).

Der Großteil der Schädelhirntraumata bildet sich innerhalb einer kurzen Zeit, meist sieben bis zehn Tage, zurück (McCrea et al., 2003; Schneider et al., 2017). Innerhalb dieser Zeitspanne befindet sich das Gehirn in einer sogenannten vulnerablen Phase. Autoren postulieren gerade für Kinder und Jugendliche aufgrund der Unreife des ZNS und für Patienten mit vorausgegangen Schädelhirntraumata aufgrund der posttraumatischen Vulnerabilität des Gehirns längere Regenerationszeiten (Giza et al., 2013; McCrary et al., 2013). Potenzielle Konsequenzen vom zu frühen Wiedereinstieg in den Sport nach einem initialen SHT können gravierend sein (Cantu, 1998; Vagnozzi et al., 2005). Bei einem zweiten Trauma auf den Kopf kann es laut Gänsslen und Schmehl (2015) zu einem sog. „Second-Impact-Syndrom“ kommen, das im schlimmsten Fall sogar tödlich verlaufen kann. Dabei käme es in Folge des zweiten Traumas zu einer schnellen Entwicklung neurologischer Schädigungen, ohne die Möglichkeit durch medizinische Interventionen die Komplikationen zu reversieren. Bei den meisten dokumentierten Second-Impact-Syndromen sind die Gründe entweder bei einer unterlassenen Meldung des initialen Schädelhirntraumas oder bei einer

trivialisieren und nicht fachgerechten Beurteilung und Versorgung der Verletzung anzusiedeln (Kaut et al., 2003; McCrea et al., 2004).

Gerade für den niedrigklassigen Spielbereich bzw. im Breitensport stellt dies ein ernstzunehmendes Problem dar, da gerade in diesen Klassen die medizinische Versorgung meist eingeschränkt ist. Die Mannschaften besitzen meist keinen festen Teamarzt, weswegen die Spielerbeurteilung und Verdachtsdiagnosestellung oftmals auf Trainer, Physiotherapeuten oder den Spieler selbst entfällt, welche ohne Schulungen ein deutliches Wissensdefizit aufweisen (White et al., 2014). Die Aufklärung über Kopfverletzungen und eine entsprechende Schulung des betreuenden Personals könnte daher ein essentieller Baustein sein, um eine schnelle und adäquate Betreuung eines betroffenen Spielers zu gewährleisten (Cournoyer und Tripp, 2014; McCrea et al., 2004).

Strategien zum richtigen Zeitpunkt des Wiedereinstiegs in den Sport sind in Zukunft aufgrund immer weiterwachsender Professionalisierung und der Notwendigkeit zur Risikostratifizierung erstrebenswert.

Unterschiedliche Protokolle befassen sich vor allem im professionellen Bereich mit einem stufenweisen Rehabilitationsplan, welcher den Spieler je nach Stufe dabei für bestimmte Aktivitäten oder Trainingsinhalte freigibt. Dabei werden beispielhafte Aktivitätsempfehlungen nach adäquater Ruhepause gegeben (Gänsslen und Schmehl, 2015; McCrory et al., 2017). Die Wiedereinstiegszeiten folgen dabei keinem festen Wochenplan, sondern sind durch das zeitlich variable Erreichen der verschiedenen Stufen bei entsprechender Symptomlosigkeit gekennzeichnet. Im Rahmen dessen wurden auch die Begriffe Return to Activity, Return to Sport, Return to Play und Return to Competition etabliert.

Der Return to Activity-Prozess bezeichnet den Übergang von der klinischen Versorgung in das allgemeine Rehabilitationstraining. Die Phase von der Aufnahme des sportartspezifischen Rehabilitationstrainings bis in das individualisierte Mannschaftstraining wird als Return to Sport bezeichnet.

Das derzeit im Fußballsport am häufigsten angewandte Return to Play-Protokoll von Fuller et al. (2006) (siehe Tabelle 2), welches auch von der FIFA empfohlen wird, sieht eine schrittweise Wiedereingliederung des Sportlers vor und empfiehlt das Return to Play nach frühestens sieben bis zehn Tagen nach dem Verletzungsereignis. Dabei

wird der Sportler nach einer ausreichenden Ruhephase ohne Aktivität nach und nach an den Sport wieder herangeführt. Der Übergang zwischen den einzelnen Phasen ist erst bei einer Symptomfreiheit von mindestens 24 Stunden vorgesehen.

Nach der ersten Ruhephase steigt der Sportler in der zweiten Phase mit einer Aktivität im leicht aeroben Trainingsbereich, wie z.B. Schwimmen oder Fahrradfahren, ein. In der darauffolgenden Phase absolviert der Sportler zunächst sportspezifische Intervalltrainings, wie beispielsweise Laufübungen, bevor er anschließend das erste Mannschaftstraining wieder aufnehmen darf. Der Körperkontakt ist während dieser Zeit aber weiterhin untersagt. Passübungen sollen hierbei den Spieler koordinativ und kognitiv fördern, bevor er in der vorletzten Phase am normalen Mannschaftstraining wieder einsteigt. Bei medizinischer Freigabe und nach weiteren 24 Stunden darf der Spieler in der letzten Phase wieder am regulären Spielbetrieb teilnehmen. Hier setzt auch das Return to Competition an, der den gesamten Reintegrationsprozess bis zum ersten Wettkampfeinsatz beinhaltet (Bloch et al., 2015).

Tabelle 2: Return to Play-Protokoll (modifiziert nach Fuller et al., 2006).

Rehabilitation-Stufe	Funktionelle Übung	Ziel
1. Keine Aktivität	-	Erholung
2. Leichtes aerobes Training	Gehen, schwimmen, fahrradfahren, <70% max. Herz-Rate	Erhöhte Herz-Rate
3. Sportspezifisches Intervalltraining	Laufübungen, keine Kopfschlag-übungen	Bewegungen hinzufügen
4. Mannschaftstraining ohne Kontakt	Progression zu komplexeren Übungen, z.B. Passen	Übung, Koordination und kognitive Leistung
5. Normales Mannschaftstraining	Bei medizinischer Freigabe normale Trainingsaktivitäten	Selbstvertrauen zurückgewinnen und Bewertung funktioneller Skills durch Trainer
6. Return to Play	Normales Spiel	

Andere Protokolle weisen hinsichtlich ihres Inhalts und zeitlichen Verlaufs eine deutlich größere Variabilität auf. Dieser Sachverhalt kann mit der bereits beschriebenen unzureichenden Erforschung des Krankheitsbildes SHT begründet werden. In den verschiedenen Sportarten und Mannschaften werden daher aufgrund der unzureichenden Datenlage oft eigene Protokolle von den Mannschaftsärzten und Physiotherapeuten entwickelt. Mit absteigender Professionalität wird dabei eine engmaschige ärztliche Mitbetreuung unwahrscheinlicher.

Einige Studien zeigen, dass Sportler aufgrund von Bagatellisierung des Traumas, fehlendem Hintergrundwissen oder fehlender Symptomkenntnis beurteilender Personen und falschem sportlichen Ehrgeiz zu früh wieder einsteigen und dass ein Wiedereinstieg nicht nur verkürzt, sondern teilweise direkt nach der Verletzung vollzogen wird. Diese Sportler weisen unter Umständen neuropsychologische Defizite auf, die an der Seitenlinie nicht offensichtlich ersichtlich sind oder erst verspätet auftreten (Guskiewicz et al., 2005; Lovell et al., 2004; McCrea et al., 2004). Im post-akuten Zustand können klinische Symptome regressiv, die physiologische Dysfunktion jedoch noch existent sein. Das Gehirn weist hierbei weiterhin eine erhöhte Vulnerabilität auf (Nelson et al., 2013). Die Symptome eines Schädelhirntraumas sind dabei nicht pathognomonisch für die Verletzung, sodass besondere Vorsicht geboten ist. Einige Verletzungen wie Mittelgesichtsfrakturen können aber einen Hinweis auf ein SHT geben (Krutsch et al., 2017) und müssen daher weiter und ausführlich abgeklärt werden.

Verschiedene Unfallmechanismen konnten als Ursache für Kopfverletzungen und insbesondere Schädelhirntraumata identifiziert werden. Delaney et al. (2006) listet diese Mechanismen mit absteigender Häufigkeit folgendermaßen auf:

1. Kopf an Kopf Trauma (33,3%)
2. Kopf auf Boden Trauma (22,2%)
3. Ellenbogen an Kopf Trauma (16,7%)
4. Fuß an Kopf Trauma (11,1%)
5. Ball an Kopf Trauma (11,1%)
6. Knie an Kopf Trauma (5,6%)

Weitere Studien ermittelten ähnliche Zahlen (Andersen et al., 2004; Fuller et al., 2005). Die Verletzung des Kopfes durch den Ball wird mitunter ebenfalls für Schädelhirntraumata verantwortlich gemacht, obwohl Studien darauf hinweisen, dass andere Unfallmechanismen führend sind (Beaudouin et al., 2017; Comstock et al., 2015; Delaney et al., 2006). Es wird dabei vermutet, dass ein Kopftrauma durch einen Ball zu großen Teilen durch unabsichtliches Abschießen verursacht wird und selten zu schwerwiegenden Verletzungen führt. Die Spielerposition des Torhüters wäre zudem aufgrund ihres Anforderungsprofils als Risikofaktor hervorzuheben (Ekblom, 1994; Krutsch et al., 2017). Weitere Daten zur Verletzungsexposition für die einzelnen

Spielerpositionen fehlen weitestgehend und sollen für den unteren Profi- und oberen Amateurbereich in dieser Arbeit erhoben werden.

Ein bereits erlittenes SHT soll laut einiger Autoren die Gefahr für das Erleiden eines weiteren erhöhen (Delaney et al., 2002; Gänsslen und Schmehl, 2015). Der Zusammenhang und Mechanismus dahinter bleiben jedoch fraglich. Bei repetitiven Schädelhirntraumata neigen die Symptome dazu, sich zu intensivieren. Für die Genesung von diesen benötigen die Betroffenen wiederum deutlich länger (Guskiewicz et al., 2000, 2003; Lovell et al., 2003).

Als Risiko- und Einflussfaktoren identifiziert wurde außerdem unter anderem eine aggressive Spielweise (Giannotti et al., 2010). Weiterhin untersucht wurde das Geschlecht als Risikofaktor: Spielerinnen erleiden demnach zwei- bis dreimal häufiger ein SHT als ihre männlichen Kollegen (Giza et al., 2013; Harmon et al., 2013; McCrory et al., 2013). Als eine mögliche Erklärung wird die bei Frauen schwächer ausgebildete Halsmuskulatur diskutiert, welche bei gleicher Ballgröße zu erhöhten Krafterwirkungen auf den Kopf und damit das Gehirn führen würde. Auch Kinder sind laut einiger Experten allgemein aufgrund anatomischer und physiologischer Unterschiede, vor allem aber durch das sich in der Entwicklungsphase befindende Gehirn, im Gegensatz zu Erwachsenen anfälliger für das Auftreten eines Schädelhirntraumas (Andersen et al., 2004; Barnes et al., 1998). Als Erklärung wird hierbei das sich im Vergleich mit Erwachsenen unterscheidende Größenverhältnis zwischen Kopf und Rumpf postuliert. Auch hier müssen weitere Untersuchungen Ansatzpunkt für Studien sein, um diese Thesen zu überprüfen und verifizieren.

2.2.2 Repetitive subconcussive head impacts

Neben Schädelhirntraumata stehen vor allem sog. repetitive kleine Kopftraumata (repetitive subconcussive head impacts, RSHI) im Verdacht über einen kumulativen Effekt kognitive Funktionsstörungen zu bedingen. Der Begriff "Subconcussion" wurde im vergangenen Jahrzehnt eingeführt, um mildere Traumata aufs Gehirn zu beschreiben, die zwar ähnliche neuronale Veränderungen wie bei einem SHT vorweisen, nicht aber zu dessen Symptomen führen (Broglion et al., 2012; Koerte et al., 2015).

Diese Kopftraumata sind mit subtilen neuropsychologischen Defiziten oder Veränderungen im funktionellen MRT (fMRT) assoziiert (McKee et al., 2014). Konsequenzen auf Neurologie und Psyche sind zum derzeitigen Zeitpunkt noch unklar. Gehirnstrukturelle und kognitive Veränderungen bei Fußballern durch RSHI sind in der Literatur mehrfach beschrieben und werden oft auf das Kopfballsport zurückgeführt (Koerte et al., 2015, 2016; Lipton et al., 2013; Spiotta et al., 2012; Zhang et al., 2013). Der angenommene pathologische Effekt bedarf allerdings noch einer beweisenden Kausalität. Von besonderem Interesse könnten nach der Meinung von Cantu und Hyman (2012) „Rotations“-Kopfbälle sein, da sie im Vergleich mit linearen Kopfbällen zu mehr Verletzungen aufgrund der veränderten Krafteinwirkung und -verteilung führen sollen.

Es wird vermutet, dass RSHI bereits bei jungen Athleten zu Veränderungen der weißen Hirnsubstanz führen können (Koerte et al., 2016; Lipton et al., 2013). Verifiziert und bestätigt sind weder diese These noch Konsequenzen, die sich daraus ergeben würden. Bei ehemaligen Fußballspielern wurden chemische Veränderungen der Gehirnstruktur nachgewiesen, allerdings ist deren medizinische Bedeutung noch unklar, da diese Veränderungen auch Ausdruck eines Umbau- bzw. Anpassungsprozesses sein können. Auch langfristige Störungen und mögliche Erkrankungen wie Demenz oder die chronisch-traumatische Enzephalopathie werden aufgrund von bekannten Kausalitäten wie im American Football oder Eishockey befürchtet (Delaney et al., 2006; Koerte et al., 2015; McAllister und McCrea, 2017). Hierbei müssen allerdings die unterschiedlichen Krafteinwirkungen, die höhere Frequenz erlittener Schädelhirntraumata im Laufe der Sportlerkarriere und der anderweitige sportartenabhängige Umgang damit angemerkt werden.

Währenddessen existieren Studien, die im Gegensatz zu den postulierten möglichen Langzeitfolgen suggerieren, dass Verschlechterungen des Kurzzeitgedächtnisses und kognitiver Funktionen nur vorübergehend seien (Li et al., 2006; Zetterberg et al., 2007). In Teilen der Fachliteratur werden RSHI hypothetisch über einen kumulativen Effekt in Verbindung mit Gehirnschäden gebracht (Rutherford et al., 2003). Ob auch repetitives Kopfballsport das Potenzial für RSHI und damit für rasch auftretende Veränderungen der Gehirnstruktur birgt, bleibt fraglich. Unklar ist auch, ob ein Zusammenhang zwischen Kopfballsport, RSHI, SHT und langfristigen Folgen wie degenerativen Erkrankungen im Fußballsport besteht. Die vorgestellten widersprüchlichen

Ergebnisse offenbaren, dass weitere Forschungsarbeiten zu den Auswirkungen von RSHI auf das Gehirn und dessen kognitiven Funktionen dringend erforderlich sind.

2.2.3 Zentral neurologische Langzeitschäden

Der Rückzug einiger professioneller Athleten aus dem Sport aufgrund von wiederkehrenden Schädelhirntraumata führte zu einer Sensibilisierung der Gesellschaft für Gefahren und potenzielle Spätschäden durch Kopfverletzungen beim Sport. Eine große Komponente dieser Debatte ist dabei die Angst, die gerade medial aufgrund der damit verbundenen Schlagzeilen genährt wird.

Zu den befürchteten und schwerwiegendsten Langzeitfolgen gehört die chronisch-traumatische Enzephalopathie (CTE), welche als eine Sonderform der Demenz angesehen wird (Gardner et al., 2014). Die Diagnose kann bislang erst post-mortem durch den mikroskopischen Nachweis einer Akkumulation von hyperphosphoryliertem tau-Protein und transactive response DNA binding protein 43 kDa (TDP-43), ein primär nukleär lokalisiertes Nukleinsäure-bindendes Protein mit wichtiger Funktion bei der Eiweißsynthese, mit Sicherheit gestellt werden (Baugh et al., 2012; Ling et al., 2017). Mit CTE wird eine neurodegenerative Erkrankung beschrieben, bei der vermutet wird, dass sie führend durch repetitive Gehirntraumen verursacht wird. Weitere Risikofaktoren sind bislang unbekannt. Zu ihren Symptomen, die auch bei der Demenz als typische bekannt sind, gehören neurologisch-kognitive Einschränkungen und psychosoziale Folgen. Letztendlich kann die Symptomatik bei dieser Erkrankung sehr variabel sein. Sie ist aus medizinischer Sicht bisher nur in Bruchteilen verstanden. In einigen Fällen kann die klinische Repräsentation ununterscheidbar zu anderen dementiellen Erkrankungen, wie z.B. Alzheimer oder Frontotemporale Demenz, sein (Stern et al., 2013). McCrory (2011) bemerkte, dass der kognitive Verfall typischerweise erst 10 bis 20 Jahre nach Austritt aus dem Sport detektiert werden könne. Letztendlich bleibt das Auftreten und Voranschreiten der Erkrankung und ihrer Symptome aber schwer vorherzusagen (Gardner et al., 2014).

In bisher durchgeführten Studien in Sportarten wie Boxen, American Football oder Eishockey wird eine Assoziation zwischen Schädelhirntraumata und späteren kognitiven Einschränkungen vermutet (Makdissi und Davis, 2016; McKee et al., 2014; Ruhe et al., 2014; Smith, et al., 2013). In den Studien wurden bei einigen ehemaligen Spielern post-mortem neuropathologische Veränderungen gefunden, die zur CTE

passen. Gleichzeitig lagen weitere Komorbiditäten wie vaskuläre Erkrankungen, Alzheimer oder Krebs vor, die eine direkte Kausalität fraglich werden lassen (Gardner et al., 2014). Außerdem werden neben den Schädeltraumata weitere Risikofaktoren wie Geschlecht, Alter, Ethnie und eine genetische Disposition diskutiert (Baugh et al., 2012). Durch die Größe der Population, die möglicherweise betroffen sein könnte, würde CTE im Falle einer sich bestätigenden Kausalität von großer sozioökonomischer Bedeutung sein (Baugh et al., 2012; Gardner et al., 2014).

Eine Kausalität zwischen Fußball und CTE konnte bislang nicht gezeigt werden. Generell konnten bisher keine Kausalitäten zwischen Fußball und neurologischen Langzeitfolgen wie beispielsweise Beeinträchtigungen der Kognitionen und Emotionen bewiesen werden. Weitere Studien zum Thema CTE und zum Zusammenhang zwischen wiederholten Kopftraumen und CTE sind daher unabdingbar.

2.3 Kopfballspiel und Folgen

In der wissenschaftlichen Literatur sind das Kopfballspiel und seine Folgen bislang kaum untersucht. Bislang existieren lediglich drei Interventionsstudien, die sich direkt mit dem Einfluss von Kopfballspiel auf neurologische Funktionen beschäftigen.

Rieder und Jansen (2011) und Putukian et al. (2000) konnten in prospektiven kontrollierten Studien den Verdacht auf kurzfristige neuropsychologische Folgeerscheinungen durch Kopfballtraining bei Erwachsenen nicht bestätigen. Di Virgilio et al. (2016) testeten unter anderem die Gedächtnisfunktion nach Rotationskopfbällen und zeigten eine verminderte Erinnerungsfähigkeit nach Durchführung der Kopfbälle. Allerdings weist die obengenannte Studie von Di Virgilio keine Kontrollgruppe auf, zudem ist die Reproduzierbarkeit auf den Fußballalltag mit 20 in Folge durchgeführten Rotations-Kopfbällen in 10 Minuten fraglich. Allen bislang durchgeführten Studien ist eine kleine Teilnehmeranzahl gemein, sodass diese bislang nur sehr eingeschränkt repräsentative Rückschlüsse zulassen.

Weitere praxisnahe experimentelle Studien zum Kopfball und seinen Einfluss auf kognitive Funktionen sind nicht bekannt und in der Zukunft daher notwendig (Krutsch et al., 2017).

Ein 2014 veröffentlichter systematischer Review von Maher et al. bestätigt den bisherigen Stand der Forschung, dass es ungewiss sei, ob die kognitiven Fähigkeiten eines Fußballers durch das Kopfballsport beeinflusst werden. Viele der existierenden Studien hätten diverse methodische Probleme (Tarnutzer et al., 2017). Kontos et al. (2017) stimmen in einer aktuellen Metaanalyse dieser Annahme zu und deklarieren, dass derzeit auch aufgrund mangelnder Studien keine ungünstigen Effekte auf das Kopfballsport zurückzuführen sind. Zukünftige Forschungen sind unabdingbar, um kurz- und langfristige Auswirkungen des Kopfballsports zu verstehen. Zugleich ist es wichtig, sich an die Sorgen und Ängste von Eltern und Sportlern zu richten und über Forschungsstand und Präventionsmöglichkeiten für Kopfverletzungen zu informieren (McCrory et al., 2013). Die Aufklärung nimmt eine zentrale Stellung im Umgang mit dem Thema Kopfverletzungen im Sport ein. Nicht nur Spieler und Eltern, sondern auch Trainer und Physiotherapeuten müssen sensibilisiert und informiert werden, da Unwissenheit oftmals zu Angst der Beteiligten führt.

2.4 Prävention im Fußball

Die Prävention von Krankheiten nimmt einen immer größer werdenden Stellenwert in der gegenwärtigen Gesundheitspolitik ein. Auch im Sport rückt das Thema zunehmend in den Mittelpunkt und führt zu Diskussionen über diverse Strategien zur Verletzungsprävention.

Präventionsmaßnahmen können dabei in drei verschiedene Ansatzpunkte untergliedert werden: Primäre, sekundäre und tertiäre Prävention. Die Präventionsmaßnahmen für Kopfverletzungen im Fußball können anhand dieser Strukturierung analog eingeteilt werden (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Präventionsmaßnahmen bei Kopfverletzungen [modifiziert nach Krutsch et al., 2017]

Stufen der Prävention	Art der Maßnahmen	Beispiele
Primär	Verhinderung des Unfallmechanismus	Kopfballsituations- und Zweikampftraining Training Kopfballtechnik Fair Play
	Änderung des Regelwerks	Rote Karte für gefährliches Spiel (Ellenbogen-Kopf) Verbot des Kopfballspiels
	Änderung des Equipments	Anpassung Ballgrößen an Altersstufen Tragen von Kopfschutz
Sekundär	Änderung des Regelwerks	3-Minuten-Regel zur Diagnostik eines SHT
	Weiterbildung	Fortbildung Akutdiagnostik (z.B. SCAT3)
Tertiär	Änderung des Equipments	Tragen von Kopfschutz
	Weiterbildung	Adäquate Initialtherapie Adäquate Nachbehandlung/ Rehabilitation Return to play-Prozeduren

2.4.1 Primäre Prävention

Alle Maßnahmen, die den Erhalt der Gesundheit von einzelnen Individuen, Personengruppen oder einer Population zum Ziel haben, werden der Primärprävention zugeordnet (Bundesgesundheitsministerium, 2018).

In Bezug auf Kopfverletzungen im Fußball zählt zur primären Prävention die Verhinderung des Unfalls. Ein Ansatz können hier Zweikampfschulungen und Trainingseinheiten zu diversen Kopfballsituationen sein (Dvorak et al., 2009; McCrory et al., 2013). Dabei sollte auch die Kopfballtechnik geübt werden. Eine gute Technik und saubere Ausführung des Kopfballs sind erforderlich, um die Belastungsgrenze der biologischen Strukturen infolge der mechanischen Belastung durch den Ball nicht zu überschreiten (Shewchenko et al., 2005). Aber nicht nur Kopfballtechnik, sondern auch Stellungsspiel und Sprungverhalten sind wichtige Fähigkeiten, die Fußballspieler erlernen und üben müssen. Essentiell müssen speziell auch Kopfballduelle trainiert werden. Ob das US-Kopfballverbot für die U13 durch eine Änderung des Regelwerks

in Anbetracht dessen zielführend ist, bleibt fraglich. In Deutschland wurde bis 2017 vom DFB ein repetitives Kopfballtraining vor der U13 ohnehin nicht empfohlen (Krutsch et al., 2017).

Studien haben gezeigt, dass gerade eine gut ausgebildete Hals- und Nackenmuskulatur wichtig für eine optimale Kraftverteilung beim Kopfball ist (Dezman et al., 2013; Shewchenko et al., 2005). Diese muss aber erst antrainiert und definiert werden. Gerade in unteren Spielklassen oder bei Hobbyspielern sowie bei Frauen im nicht-professionellen Bereich und bei Kindern ist die Kopf- und Nackenmuskulatur oftmals nur unzureichend trainiert, da es an spezifischem Training mangelt. Speziell angepasste Trainingspläne an die unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Zielgruppen könnten in diesem Kontext ein Ansatz sein, die Muskulatur richtig aufzubauen und so präventiv tätig zu werden (Toninato et al., 2018). Ein weiterer möglicher Ansatzpunkt für die unterschiedlichen Anforderungen zwischen den Altersstufen stellt die Anpassung der Ballgrößen dar, um das Spielgerät an die körperlichen Voraussetzungen im Juniorenfußball zu adaptieren (Krutsch et al., 2017). Diese Maßnahme ist bislang allerdings lediglich auf den Vereinsfußball in Deutschland beschränkt.

Das Tragen von protektivem Equipment wie einem Kopfschutz kann zu einer Reduzierung der Krafteinwirkung bei Kopf an Kopf Traumen führen (Withnall et al., 2005). Protektoren zeigen allerdings keinen Unterschied im relativen Risiko für das Auftreten von Schädelhirntraumata (Dvorak et al., 2009; Schneider et al., 2017). Bislang hat sich bis auf Ausnahmen das Tragen von Kopfschutz in der Breite im Fußball nicht durchgesetzt. Auch wird derzeit dessen Tragen von keinem Verband empfohlen.

Eine weitere Schlüsselrolle bezogen auf die Verletzungsvermeidung nehmen Schiedsrichter ein. Durch die Art und Weise der Ahndung von Fouls können diese die Spielhärte mitsteuern. 2006 wurde eine Regelwerksänderung umgesetzt, die vorsieht, dass direkte und absichtliche Ellenbogenstöße gegen den gegnerischen Kopf mit einer Roten Karte bestraft werden. Es konnte gezeigt werden, dass diese Maßnahme die Zahl der Kopfverletzungen deutlich reduziert (Beaudouin et al., 2017). Das suggeriert nicht nur, dass Regelwerksänderungen eine Möglichkeit der Prävention sein können, sondern auch, dass eine striktere Interpretation von existierenden Regeln durch Schiedsrichter eine mögliche Verletzungsprävention möglich macht (Nilsson et al., 2013).

Einer der wichtigsten Säulen der Primärprävention bleibt letztlich aber das Fair Play, das Respekt vor dem sportlichen Gegner und seiner physischen und psychischen Unversehrtheit gebietet. Dieses kann und sollte daher grundlegend zur sportlichen Mentalität gehören und fester Bestandteil in sportlichen Wettkämpfen und Trainingseinheiten sein.

2.4.2 Sekundäre Prävention

Die Sekundärprävention dient der Frühdiagnostik und -behandlung von Krankheiten. Sie umfasst Maßnahmen, die sich gezielt an Personen richten, bei denen Risikofaktoren vorliegen (Bundesgesundheitsministerium, 2018).

Ein potentiell SHT eines Spielers an der Seitenlinie richtig zu diagnostizieren zählt zu den schwierigsten Aufgaben für medizinisch betreuendes Personal. Bislang gibt es wenige biologische Marker und keinen spezifischen Test. Erschwert wird die Diagnosefindung dadurch, dass Symptome nur subtil vorhanden sein, sich innerhalb weniger Minuten zurückbilden oder gar erst nach einigen Tagen auftreten können (Cournoyer und Tripp, 2014). Außerdem neigen Spieler dazu, Symptome zu unterschätzen oder sogar zu negieren, um schneller wieder ins Spielgeschehen einsteigen zu können (McCrea et al., 2004). Der dafür ursächliche Mangel an Informationen über Schädelhirntraumata und ihre potenziellen Folgen ist nicht nur bei Spielern, sondern auch bei Eltern und Trainern zu erkennen. Das führt dazu, dass Symptome oftmals nicht erkannt oder ernst genommen werden (Cournoyer und Tripp, 2014; Lin et al., 2015; White et al., 2014). Auch hier können Informationsveranstaltungen einen Ansatz darstellen, um für das Thema „Kopfverletzungen im Fußball“ zu sensibilisieren. Die Aufklärung nimmt hier einen zentralen Stellenwert im Umgang mit Kopfverletzungen ein.

Instrumente wie die oben abgebildete Taschenkarte oder das SCAT3 dienen zur ersten Evaluation von Schädelhirntraumata. Hierbei ist es wichtig, bei den Tests, die unter anderem auch auf die Reaktionsgeschwindigkeit zielen, Basiswerte als Vergleich heranziehen zu können. Diese fehlen aber bislang.

Ein zusätzliches Hilfsmittel könnten Programme bzw. Apps werden, die Realzeit-Testungen direkt auf dem Platz ermöglichen. Dabei könnte der neurokognitive Status des Spielers bewertet und eine Entscheidung zum Verbleib des Spielers getroffen werden. Hier setzt auch eine Entscheidung des DFBs zu einer Regelwerksänderung

ab der Saison 2014/15 an. Mit der Drei-Minuten-Regel kann der Schiedsrichter das Spiel für drei Minuten unterbrechen und dem medizinischen Team Zeit für eine Kurzzeitdiagnostik bei Verdacht auf ein SHT gewähren, die dann über den Verbleib des betroffenen Spielers entscheiden kann (Krutsch et al., 2017). Diese Regelwerksänderung ist bislang aber nur im Amateur- und Jugendbereich realisiert, nicht jedoch im Profibereich.

2.4.3 Tertiäre Prävention

Als Tertiärprävention bezeichnet man die Gesamtheit aller Maßnahmen, die der Verringerung der Schwere und Ausweitung von bereits manifest gewordenen Erkrankungen dienen. Sie beinhaltet zusätzlich die Rückfallprophylaxe und die Prävention von Komplikationen und Folgeerscheinungen (Bundesgesundheitsministerium, 2018).

Zur tertiären Prävention gehört beispielsweise die bereits ausführlich beschriebene Strategie zum Return to Play zur schrittweisen Heranführung eines Spielers ans Spiel nach erlittenem SHT (siehe Tabelle 2: RTP-Protokoll). Wenn ein Spieler eine schwerere Kopfverletzung erlitten hat, ist neben dem Ausschluss des Spielers vom Spiel die Einleitung einer adäquaten Therapie essentiell. Die Nachbehandlung und Rehabilitation sind weitere wichtige Bestandteile im Umgang mit der Verletzung und in der Wiedereingliederung des Spielers in den Sportalltag und ggf. in die Arbeitswelt. Schulungen und Weiterbildungen des medizinischen Personals von Sportvereinen bieten hierbei die Möglichkeit, das Verständnis und Wissen zum richtigen Umgang mit Kopfverletzungen, insbesondere des Schädelhirntraumas, weiter zu fördern (Fuller et al., 2006; Klügl et al., 2010; Krutsch et al., 2017; McCrory et al., 2013). Auch werden derzeit im professionellen Spielbetrieb spezielle Rehabilitationsprotokolle und deren Umsetzung in speziell dafür geschaffenen Zentren diskutiert.

Übermäßige Aggressivität und Gewalt in Spielsituationen muss auch zukünftig thematisiert werden, um das Risiko für Verletzungen zu reduzieren. Spezielle Trainings zur Vermeidung von verletzungsträchtigen Situationen könnten dabei ein Ansatzpunkt sein. Fair Play und Respekt sollten als Schlüsselemente des Sports und der Prävention weiter unterstützt und gefördert werden. Hierbei nehmen gerade Profis in ihrer Rolle als Vorbilder eine wichtige Funktion ein. Schiedsrichter, Trainer und

betreuendes Personal müssen geschult werden, mit dem Thema Kopfverletzungen sensibel umzugehen. Auch die Gesellschaft sollte durch wissenschaftlich fundierte Informationen über Themen wie Kopfverletzungen im Fußball aufgeklärt werden.

2.5 Die Videoanalyse im Sport

Das Erkennen und die Analyse von verletzungsverursachenden Situationen im Sport stellen in der Verletzungsprävention einen wichtigen Ansatzpunkt dar. Als ein mögliches Werkzeug hierfür könnte die Videoanalyse fungieren. In der National Youth Rugby League wurde 2014 mit einer neuen Regelung die Videoanalyse eingeführt, um mögliche Verletzungsmechanismen im Hinblick auf Schädelhirntraumata direkt während des Spiels zu untersuchen und so das medizinische Personal bei der Entscheidung zu unterstützen, ob der betroffene Spieler ausgewechselt werden sollte. Auf diese Art und Weise können verletzungsträchtige Situationen zeitnah repetitiv und präzise untersucht werden. Auch in anderen Sportarten wie Boxen oder Eishockey wurde die Videoanalyse von Situationen mit möglichem SHT eingeführt. Studien hierzu haben gezeigt, dass die Entscheidungsfindung an der Seitenlinie im Hinblick auf die Notwendigkeit der Entfernung des Spielers vom Spiel verbessert werden konnte (Gardner et al., 2017). Trotz dessen ersetzt die Videoanalyse dabei nicht eine adäquate, multimodale klinische Beurteilung des Betroffenen (Makdissi und Davis, 2016).

In der bisherigen Praxis im Fußball ist die Videoanalyse seit der Saison 2017/18 als neue Möglichkeit für Bundesliga-Schiedsrichter eingeführt worden, um mithilfe des Videoassistenten kritische Spielsituationen noch einmal in Zeitlupe und aus unterschiedlichen Blickwinkeln ansehen und so Entscheidungen treffen oder gegebenenfalls revidieren zu können.

Abseits des Wettkampfes wurde die Videoanalyse als probates Mittel identifiziert, um auch das Kopfballspiel zu erforschen und verletzungsträchtige Situationen zu identifizieren (Andersen et al., 2003, 2004; Tucker et al., 2017). Dabei ist es wichtig, auf allen Ebenen möglichst standardisiert vorzugehen. Die zu untersuchenden Parameter gilt es, präzise zu definieren, um die Interrater-Reliabilität zu verbessern (Gardner et al., 2016). Hierzu wurden im Rahmen dieser Arbeit standardisierte Fragebögen entwickelt. Bekannt ist, dass die Qualität der Analyse maßgeblich von den Untersuchern abhängt und auch die Kameraperspektive eine wichtige Rolle spielt. Zu

wenige Untersucher und zu häufige Wechsel der Kameraperspektiven könnten demnach zu einem Bias führen und die Analyse verzerren (Makdissi und Davis, 2016). Eine hohe Videoqualität und möglichst multiple Kamerawinkel-Einstellungen sind daher notwendig, um die Qualität der Videoanalyse zu verbessern.

2.6 Zielsetzung

Bislang sind das Kopfballsportspiel und seine Folgen aus wissenschaftlicher Sicht noch kaum untersucht worden. Unter anderem fehlen adäquate epidemiologische Daten über die Frequenz von Kopfballsportspiel, verletzungsträchtigen Situationen und Kopfverletzungen in ausreichender Stückzahl, um sichere und valide Aussagen über die Gefährlichkeit und Inzidenz von Kopfverletzungen im Hinblick auf vorangegangene Kopfbälle zu treffen. Bisherige Studien bezogen sich auf theoretische Überlegungen zur Kopfballsportfrequenz und führten bislang nur unter experimentellen Bedingungen Untersuchungen durch.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, ein Abbild der Kopfballsporthäufigkeit und seiner Folgen im realen Spielbetrieb einer Saison zu generieren und damit repräsentative Daten zum Kopfballsportspiel anhand einer hohen Anzahl untersuchter Kopfbälle zu schaffen. Hierbei sollen Erkenntnisse über die Entstehung von Kopfballsportsituationen, deren verschiedene Anforderungsprofile und Risikosituationen für Verletzungen gewonnen werden. Dazu wurden deskriptiv epidemiologische Daten zur Häufigkeit und zu verschiedenen Charakteristika derartiger Situationen gesammelt.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden 669 Spiele der 3. Liga und Regionalliga Bayern der Saison 2016/17 mittels Videoanalyse untersucht. Anhand der Auswahl der beiden Ligen als Querschnittsbereich zwischen Profi- und Amateurbereich sollen Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede zwischen den Spielniveaus herausgearbeitet werden. Bei einem Großteil der Spiele wurden Zahlen zur Häufigkeit von Kopfbällen und kopfverletzungsträchtigen Situationen erhoben und anschließend in eine geschützte Online-Datenbank eingepflegt. Zudem wurde pro Spieltag per Zufallsgenerator ein Spiel bestimmt, das hinsichtlich des Kopfballsportspiels und seiner Folgen im Detail analysiert wurde. Hierzu wurden zwei validierte Fragebögen in die obengenannte Online-Datenbank integriert, welche das Kopfballsportverhalten jedes

Kopfballs und jede kopfverletzungsträchtige Situation des analysierten Spiels charakterisieren.

Auf Basis der Analyse des Kopfballspiels und kopfverletzungsträchtiger Situationen sollen einerseits reale Häufigkeiten und spezifische Spielsituationen charakterisiert als auch Risikofaktoren für Kopfverletzungen identifiziert werden. Aus diesen ist langfristig die Generierung von Präventionsstrategien vorgesehen.

3 Material und Methoden

3.1 Methodik

3.1.1 Studiendesign

Im Rahmen dieser Promotionsarbeit wurden in einer retrospektiven Kohortenstudie videounterstützt alle Spiele der 3. Liga und Regionalliga Bayern der Saison 2016/17 untersucht. Unter Verwendung von online-basierten Analyseprotokollen wurden digital die Kopfballspielsituationen sowie kopfverletzungsträchtigen Situationen in eine relationale Datenbank erfasst und analysiert.

Die Spiele der beiden Fußballpopulationen wurden mittels quantitativer Analyse bezüglich der Häufigkeit von stattgefundenen Kopfbällen und kopfverletzungsträchtigen Situationen evaluiert. Außerdem wurde mittels qualitativer Analyse je ein Spiel pro Spieltag zufällig ausgewählt und detailliert jeder Kopfball und jede kopfverletzungsträchtige Situation bezüglich des Profils und der entstehenden Situation analysiert.

Die Spiele wurden auf der Internetseite www.dieligen.de über eine Kooperation mit dem Bayerischen Fußballverband bereitgestellt und standen archiviert in Form von einzelnen Videodateien in elektronischer Form zum Download zur Verfügung. Die Videolänge einer Datei umfasste dabei jeweils die Spielzeit einer Halbzeit und lag in Form einer nicht-geschnittenen ca. 45-minütigen Frequenz vor. Aufgenommen wurden die Spiele mit einer einzigen Kamera aus einer standardisierten Perspektive, größtenteils auf Höhe der Mittellinie: Abhängig von der Stadion- bzw. Spielfeldkonzeption aus der Vogelperspektive mit einer erhöhten oder ebenen Perspektive. Eine Auswahl zwischen verschiedenen Kameraperspektiven oder Zeitlupen stand nicht zur Verfügung.

Im Falle unvollständigen Videomaterials in Form von fehlenden Spielminuten wurden betroffene Spiele bereits vor der Analyse detektiert, aufgrund eines eventuell vorhandenen Bias nicht berücksichtigt und von der Analyse ausgeschlossen.

Die Videoanalyse basierte auf dem sog. Mehraugenprinzip, bei dem sich mehrere Beobachter in einem Raum gemeinsam die jeweiligen Spielhälften am Bildschirm ansahen und die jeweiligen Kopfbälle und kopfverletzungsträchtigen Situationen im Konsens bewerteten.

Bei unklaren Situationen dienten Funktionen des Videoplayers wie die Zeitlupe und das Standbild als Möglichkeiten der genaueren Analyse der Spielszenen. Auch ein wiederholtes Ansehen der Szene in verschiedenen Geschwindigkeiten war ein probates Mittel, um Unsicherheiten bei der Auswertung weitgehend auszuschließen. Im Falle fehlenden Konsenses bestimmter Szenen bei der Auswahl zwischen den digital zur Verfügung stehenden Möglichkeiten wurden verschiedene Items nicht ausgefüllt. Diese werden als Datenfehlraten im Kapitel 5.2.1 aufgeführt.

Die Dateneingabe erfolgte in Echtzeit in das online-basierte, von der Vanderbilt Universität (Tennessee, USA) 2004 entwickelte Eingabeprogramm REDCap (Research Electronic Data Capture), in das die oben genannten Fragebögen als elektronische Prüfbogen („electronic Case Report Form“, eCRF) integriert wurden. Dieses wurde als geschützte Datenbank im Sinne eines klinischen Datenbankmanagementsystems gemeinsam mit dem Zentrum für klinische Studien des Universitätsklinikums Regensburg neu initiiert. Anhand der verwendeten Datenbank war es möglich, Daten zu kumulieren, zu speichern und im Verlauf anhand generierter digitaler Datenausgaben einer standardisierten statistischen Auswertung zu unterziehen. Die Vorlagen der eCRFs waren als Fragebögen bereits in Papierform im Rahmen vorangehender Studien in der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie am Universitätsklinikum Regensburg etabliert und validiert worden. Im Rahmen der vorliegenden Studie erfolgten nochmals zur besseren Dateneingabe geringfügige Anpassungen.

3.1.2 Analyseverfahren

Im Rahmen dieser Arbeit wurden das Kopfballspiel und dessen Folgen aus mehreren Blickwinkeln analysiert. Dazu wurde einerseits die Häufigkeit stattgefundener Kopfbälle und verletzungsträchtiger Situationen des Kopfes - in der Folge als quantitative Analyse bezeichnet - ermittelt. Andererseits wurden in geringerem Ausmaß anhand zufällig ausgewählter Spiele jeder Kopfball und jede kopfverletzungsträchtige Situation detailliert anhand der eCRFs - in der Folge als qualitative Analyse bezeichnet - analysiert.

Grundlage der kopfverletzungsträchtigen Situation war das Vorliegen einer sogenannten verletzungsträchtigen Situation (engl. „Critical Incident“). Kriterien hierfür waren ein Liegenbleiben des Spielers für mindestens 15 Sekunden, die

Spielunterbrechung durch den Schiedsrichter und ein offensichtlicher Schmerzzustand des Spielers bzw. eine erhaltende medizinische Versorgung. Diese Kriterien wurden erstmals von Andersen et al. (2003) veröffentlicht und von Bjørneboe, Bahr und Andersen (2014) weiterentwickelt. Mittlerweile sind der Critical Incident und dessen Kriterien wissenschaftlich anerkannt und als Beschreibung verletzungsträchtiger Situationen etabliert. Im Rahmen sportlicher Analysen fand der Critical Incident schon mehrfach sportarten-übergreifend Verwendung (Bjørneboe et al., 2014; Carling et al., 2005; O'Donoghue, 2010; Olsen et al., 2004).

3.1.2.1 Quantitative Analyse

Bei der quantitativen Analyse wurden alle Spiele der Saison 2016/17 beider Ligen hinsichtlich der Häufigkeit von Kopfbällen und kopfverletzungsträchtigen Situationen untersucht, um eine saisonübergreifende Querschnittsabbildung der Kopfballbelastung jedes Spielers und der individuellen Verletzungsgefährdung zu ermöglichen. Gezählt wurden sowohl Kopfbälle als auch kopfverletzungsträchtige Situationen für jedes Spiel einzeln mittels Handzellergerät. Nach Reevaluierung unklarer Situationen erfolgte die Dateneingabe in REDCap.

3.1.2.2 Qualitative Analyse

Die sog. qualitative Analyse diente der genauen Untersuchung der einzelnen Kopfballsituationen und kopfverletzungsträchtigen Situationen. Hierbei wurden alle Kopfballsituationen und kopfverletzungsträchtigen Situationen eines pro Spieltag der jeweiligen Klasse zufällig ausgewählten Spiels detailliert charakterisiert. Ein Ziel hierbei war es anhand der Auswahl der beiden Ligen als Übergangsbereich zwischen Profi- und Amateurfußball Aussagen über die Unterschiede im Kopfballspiel zwischen den Spielniveaus treffen zu können.

Auf Basis dreier verschiedener, in Papierform bereits validierter Fragebögen erfolgte die Erstellung einer Online-Eingabemaske zur Erfassung der Studiendaten in REDCap. Die Fragebögen wurden hierzu in geringem Ausmaß für die internet-basierte Eingabe modifiziert und als eCRFs integriert. Zunächst wurde jedes Spiel, das es im Zusammenhang mit der qualitativen Analyse zu untersuchen galt, im Hinblick auf seine Rahmencharakteristika eingeordnet. Hierbei dienten acht Items der Kategorisierung

des Spiels, um neben allgemeinen Informationen zum Spiel wie Liga, Datum, Spieltag, spielende Mannschaften und Spielfeld zeitpunktabhängige Daten zum Wetter und Flutlicht zu sammeln. Dieser elektronische Erfassungsbogen fungierte durch die Verwendung einer festen Spielnummer für jedes Spiel als Bezugspunkt für die Analyse aller in diesem Spiel zu untersuchenden Kopfbällen und kopfverletzungsträchtigen Situationen. Zusätzlich wurden hier die Daten der übrigen Spiele des jeweiligen Spieltags im Rahmen der quantitativen Analyse gespeichert (siehe 3.1.2.1).

Für die anschließende detaillierte Analyse der einzelnen Kopfbälle wurden bis zu 26 Items erfasst, wobei die jeweilige Spielsituation genauer charakterisiert wurde. Zur Konstruktion eines kontextuellen Überblicks über die zu untersuchende Spielszene diente die Erfassung zeitlicher, räumlicher und situativer Informationen zur Spielszene und zum Spieler. Diesbezüglich wurden Informationen zu Spielminute, Spielstand und Lokalisation der Szene auf dem Spielfeld erhoben und die Position des Spielers festgehalten. Anschließend galt es, das Kopfballspiel detailliert im Hinblick auf dessen Entstehung und Ausgang zu kategorisieren. Hierbei wurden einerseits Daten zur Ballherkunft und Bewegung des Spielers zum Ball und zum Flugweg und Eingangswinkel des Balles gesammelt. Andererseits wurden Informationen zur Auftrefffläche des Balles auf den Kopf des Spielers, die anschließende Richtungsänderung des Balles und die Art des Kopfballs dokumentiert.

Außerdem wurde ein möglicher situativer Zweikampf beurteilt, bei dem Fragen zu Lokalisation zum Gegner, Körperkontaktregionen, Ellenbogenpositionen und Sprungverhalten beantwortet wurden. Ebenfalls protokolliert wurde die Entscheidung über ein mögliches Foul, um auch die Beteiligung des Schiedsrichters bei der Prävention von gefährlichen Situationen des Kopfes zu hinterfragen.

Kopfverletzungsträchtige Situationen wurden mithilfe von 27 Items eines separaten elektronischen Erfassungsbogen erfasst und ausgewertet. Analog zur Analyse der Kopfballsituationen wurden auch die Rahmenbedingungen der kopfverletzungsträchtigen Situationen, wie oben erläutert, festgehalten. Neben diesen Informationen zum Spiel erfolgte eine Informationsabfrage zum Spieler und dessen Schicksal, um die Schwere der möglichen Situation einzuordnen. Zur detaillierten Erfassung der Spielsituation, die zur kopfverletzungsträchtigen Situation geführt hatte,

wurden anschließend die Aktionen des betroffenen Spielers zugeordnet sowie Fragen zur Spielphase und zum Ballbesitz geklärt.

Essentiell für die Analyse einer verletzungsträchtigen Situation waren Aspekte zum Thema Zweikampf. Ein Zweikampf wurde als Beteiligung eines anderen Spielers bei der Verursachung der kopfverletzungsträchtigen Situation definiert und in verschiedene Zweikampfarten kategorisiert. Synchron zum elektronischen Erfassungsbogen der Kopfballanalyse wurden auch hierbei die affektierten Körperregionen zwischen den Beteiligten festgehalten. Der Bewertung des Schiedsrichters wurde eine eigene Bewertung gegenübergestellt. In denjenigen Fällen, in denen der Schiedsrichter aufgrund der Vorteils-Regel das Spiel nicht unterbrach, wurde die Entscheidung über das Vorliegen einer kopfverletzungsträchtigen Situation von der Aktivität des betroffenen Spielers und der anschließenden Sanktion durch den Schiedsrichter abhängig gemacht.

3.1.3 Statistische Auswertung

Alle Datenbankeingaben wurden webbasiert erhoben und mittels spezieller Verschlüsselung in eine neu geschaffene, speziell abgesicherte und zugriffsbeschränkte Datenbank des Datenbankmanagementsystems (REDCap) aufgenommen. Adaptierend an die Zielsetzungen dieser Studie, wurden die zur Berechnung notwendigen Rohdaten aus den erfassten Daten der elektronischen Erfassungsbögen ausgewählt. Hierzu wurden die Daten direkt als SPSS-Datenbank exportiert und anhand des Statistikprogramms SPSS Version 25.0 von IBM auf Macintosh-basierten Computern analysiert. Zur deskriptiven Auswertung der Parameter wurden Berechnungen von Häufigkeiten, Mittelwerten und Standardabweichungen durchgeführt. Zur Bestimmung von Odds Ratios wurde die Vier-Felder-Tafel herangezogen.

Zur Erstellung sämtlicher Abbildungen und Tabellen wurden die Programme Word und Excel von Microsoft genutzt.

3.2 Material

Zur videobasierten Spielanalyse sowie Erstellung und Bearbeitung der Promotionsarbeit hätten grundsätzlich verschiedene Programme genutzt werden können. Verwendet wurden im Rahmen dieser Dissertation die folgend aufgezählte Software:

Abbildungen:	Microsoft Office für Mac 2017 (Microsoft, Redmond, WA, USA) SPSS Version 25 (IBM, Armonk, NY, USA)
Auswertung und Statistik:	Microsoft Office für Mac 2017 (Microsoft, Redmond, WA, USA) SPSS Version 25 (IBM, Armonk, NY, USA)
Literaturverwaltung:	Mendeley (Mendeley Ltd., New York, NY, USA)
Videoanalyse:	QuickTime Player Version 10.4 (Apple, Cupertino, CA, USA)

3.3 Studienförderung

Die Akquisition der im Rahmen der vorliegenden Dissertation analysierten Videodateien als auch die Initiierung der Online-Datenbank, in der die erhobenen Daten digital gespeichert wurden, wurden mit monetärer Bezuschussung des Bundesinstituts für Sportwissenschaften (BiSP) realisiert. Die vorliegende Studie wurde dabei als Teilprojekt des Studienprojekts „Kopfbälle im Sport“, welches am Universitätsklinikum Regensburg durch die Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie koordiniert wird, geführt.

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

4 Ergebnisse

4.1 Charakterisierung des Studienkollektivs

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden das Kopfballsportspiel und seine Folgen anhand von Spielen der 3. Liga und der Regionalliga Bayern der Saison 2016/2017 charakterisiert. Zur besseren Unterscheidung und Veranschaulichung der Ergebnisse wurde bei einigen Abbildungen eine farbliche Unterscheidung zwischen den Ligen vorgenommen: Die der 3. Liga wurden schwarz und die der Regionalliga Bayern blau dargestellt.

Nach Sichtung des Videomaterials konnten 17 Spiele aufgrund des Vorliegens von Ausschlusskriterien in Form von unvollständigem Videomaterial nicht für die Videoanalyse herangezogen werden (Drop-Out-Rate von 17/686, 2,5%; siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Liste der von der Analyse ausgeschlossenen Spiele

	Spieltag	Spielpartie
3. Liga	2	SC Paderborn 07 - 1. FSV Mainz 05 II
	2	VfR Aalen - Holstein Kiel
	3	FC Rot-Weiß Erfurt - VfR Aalen
	6	MSV Duisburg - SV Werder Bremen II
	16	FSV Zwickau - SC Preußen Münster
	19	FSV Zwickau - MSV Duisburg
	29	SSV Jahn Regensburg - VfL Osnabrück
	32	SV Werder Bremen II - Chemnitzer FC
	32	SC Fortuna Köln - VfL Sportfreunde Lotte L
Regionalliga Bayern	4	1. FC Nürnberg II - SpVgg Bayern Hof
	7	SpVgg Bayreuth - FC Bayern München II
	14	SpVgg Unterhaching - SpVgg Bayern Hof
	20	TSV 1860 Rosenheim - TSV 1860 München II
	21	TSV 1860 Rosenheim - SpVgg Bayern Hof
	21	SpVgg Unterhaching - FC Bayern München II
	27	SpVgg Bayreuth - 1. FC Nürnberg II
	33	TSV Buchbach - TSV 1860 München II

Aufgrund dessen wurden insgesamt 669 Spiele mittels Videoanalyse untersucht (vgl. Abbildung 3).

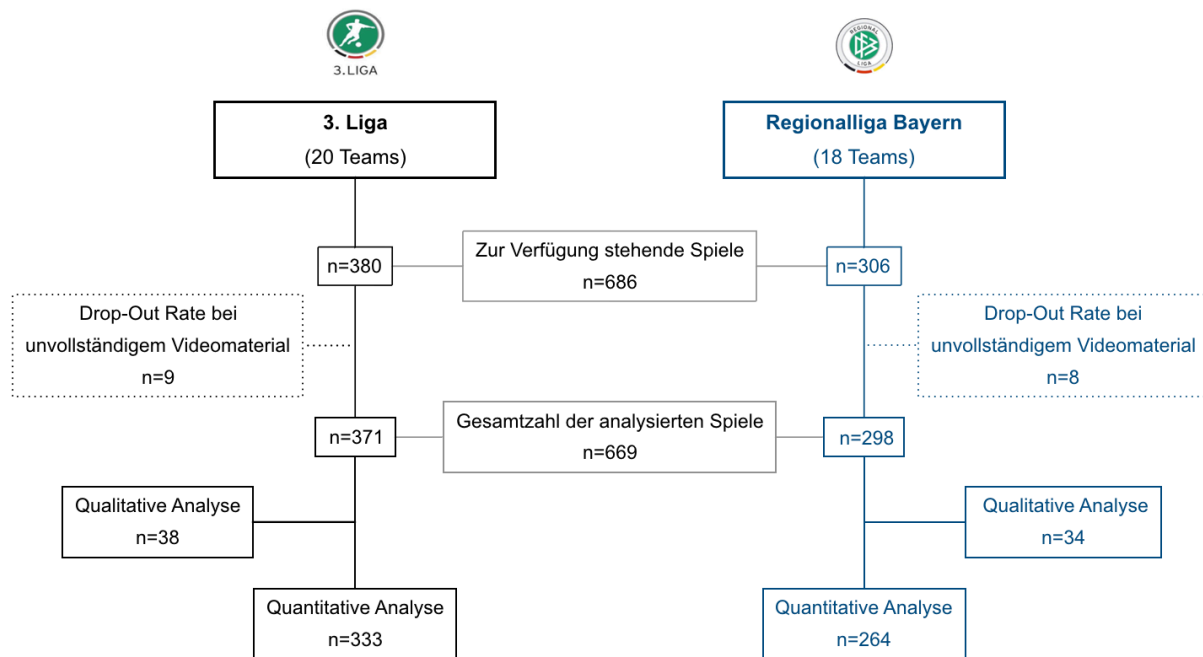


Abbildung 3: Zusammensetzung des Studienkollektivs

Dies entsprach einer regulären Spielzeit von 60.210 Minuten, in denen insgesamt 87.105 Kopfbälle und 572 kopfverletzungsträchtige Situationen gezählt wurden. Dabei entfielen auf die 3. Liga 371 Spiele und auf die Regionalliga Bayern 298 Spiele (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Übersicht über die quantitative Verteilung von Kopfbällen und kopfverletzungsträchtigen Situationen zwischen den beiden Ligen

	3. Liga	Regionalliga
Spiele	371	298
Spielminuten	33.390	26.820
Kopfbälle (KB)	52.589	34.516
KB/Spiel	141,7 ± 30,4	115,8 ± 26,6
KB/min	1,6 ± 0,3	1,3 ± 0,3
KB/Person und Spiel	6,4 ± 1,4	5,3 ± 1,2
Kopfverletzungsträchtige Situationen (KS)	340	232
KS /Spiel	0,9 ± 1,0	0,8 ± 0,9

In der Saison 2016/17 wurden in der 3. Liga durchschnittlich 142 Kopfbälle pro Spiel und 6,4 Kopfbälle pro Spieler und Spiel gezählt. Wenn man den Torwart aufgrund seiner Sonderstellung hierbei ausschließt, entfielen somit 7,1 Kopfbälle pro Spieler

und Spiel auf die Feldspieler. In 1000 Spielstunden ergaben sich damit 4266 Kopfbälle und 28 kopfverletzungsträchtige Situationen pro Spieler.

In der Regionalliga Bayern wurden im gleichen Zeitraum im Vergleich zur 3. Liga eine geringere Gesamtanzahl Kopfbälle (116 Kopfbälle pro Spiel) als auch eine geringere Kopfballbelastung pro Spieler (5,8 Kopfbälle pro Spieler und Spiel) gezählt. Auf 1000 Spielstunden hochgerechnet ergab sich eine Kopfballbelastung pro Spieler von 3533 Kopfbällen und eine Last von 24 kopfverletzungsträchtigen Situationen.

4.2 Epidemiologische Analyse von Kopfbällen

Im Rahmen der qualitativen Analyse wurde ein Spiel pro Spieltag (72/669) zufällig ausgewählt und in jedem dieser jede Kopfballsituation sowie jede kopfverletzungsträchtige Situation detailliert untersucht (siehe Tabelle 6). In 6480 Spielminuten wurden so mithilfe der elektronischen Erfassungsbögen (eCRFs) 9266 Kopfbälle und 82 kopfverletzungsträchtige Situationen analysiert. Für die 3. Liga wurden damit 5439 Kopfbälle und 45 kopfverletzungsträchtige Situationen erfasst, für die Regionalliga Bayern 3827 Kopfbälle und 37 kopfverletzungsträchtige Situationen.

Tabelle 6: Durch Zufallsprinzip ausgeloste Spiele. ST: Spieltag.

ST	Spielpartie (3. Liga)	Spielpartie (Regionalliga)
1	SSV Jahn Regensburg - FC Hansa Rostock	SpVgg Bayern Hof - SpVgg Bayreuth
2	VfL Osnabrück - MSV Duisburg	TSV Buchbach - FC Memmingen
3	Holstein Kiel - VfL Sportfreunde Lotte	FC Augsburg II - SV Seligenporten
4	MSV Duisburg - 1. FSV Mainz 05 II	FV Illertissen - 1. FC Schweinfurt 05
5	SC Preußen Münster - 1. FSV Mainz 05 II	SpVgg Bayern Hof - TSV 1860 Rosenheim
6	SC Paderborn 07 - Holstein Kiel	TSV 1860 München II - FC Memmingen
7	SSV Jahn Regensburg - SC Fortuna Köln	1. FC Nürnberg II - SV Wacker Burghausen
8	VfR Aalen - Hallescher FC	SpVgg Unterhaching - 1. FC Schweinfurt 05
9	SC Preußen Münster - SV Werder Bremen II	FC Bayern München II - TSV 1860 Rosenheim
10	VfL Sportfreunde Lotte - FSV Frankfurt 1899	TSV 1860 München II - SV Schalding-Heining
11	Hallescher FC - FSV Zwickau	SV Seligenporten - SpVgg Unterhaching
12	1. FC Magdeburg - Chemnitzer FC	VfR Garching - SV Schalding-Heining
13	FC Rot-Weiß Erfurt - SV Wehen Wiesbaden	FC Augsburg II - SpVgg Greuther Fürth II
14	MSV Duisburg - Hallescher FC	SpVgg Bayreuth - SV Wacker Burghausen
15	VfL Sportfreunde Lotte - SC Paderborn 07	SpVgg Unterhaching - FC Ingolstadt 04 II
16	1. FC Magdeburg - Hallescher FC	SpVgg Greuther Fürth II - 1. FC Nürnberg II
17	SC Fortuna Köln - VfL Osnabrück	1. FC Nürnberg II - FC Bayern München II
18	Holstein Kiel - SG Sonnenhof Großaspach	SV Seligenporten - SpVgg Greuther Fürth II
19	FC Hansa Rostock - Chemnitzer FC	FC Memmingen - TSV Buchbach
20	VfL Osnabrück - SC Preußen Münster	VfR Garching - SpVgg Bayreuth
21	FC Rot-Weiß Erfurt - FSV Frankfurt 1899	TSV 1860 München II - VfR Garching
22	VfR Aalen - FC Rot-Weiß Erfurt	FC Bayern München II - FC Ingolstadt 04 II
23	SV Werder Bremen II - SC Paderborn 07	SpVgg Unterhaching - SV Schalding-Heining
24	VfR Aalen - SSV Jahn Regensburg	SpVgg Bayreuth - SV Schalding-Heining
25	Chemnitzer FC - SC Fortuna Köln	FV Illertissen - SV Wacker Burghausen
26	VfL Sportfreunde Lotte - FC Hansa Rostock	FC Bayern München II - FC Garching
27	Hallescher FC - VfR Aalen	TSV 1860 München II - 1. FC Schweinfurt 05
28	1. FC Magdeburg - SV Wehen Wiesbaden	SpVgg Bayern Hof - TSV Buchbach
29	SG Sonnenhof Großaspach - FSV Zwickau	SpVgg Unterhaching - TSV Buchbach
30	SV Werder Bremen II - Holstein Kiel	SV Seligenporten - FC Augsburg II
31	Hallescher FC - Paderborn 07	FV Illertissen - TSV 1860 Rosenheim
32	1. FSV Mainz 05 II - FC Hansa Rostock	FC Bayern München - SV Schalding-Heining
33	Chemnitzer FC - SV Wehen Wiesbaden	SV Wacker Burghausen - TSV 1860 Rosenheim
34	MSV Duisburg - FSV Frankfurt 1899	SpVgg Bayreuth - FC Ingolstadt 04 II
35	SC Fortuna Köln - SC Paderborn 07	
36	FC Rot-Weiß Erfurt - SSV Jahn Regensburg	
37	FSV Frankfurt 1899 - SV Werder Bremen II	
38	MSV Duisburg - FSV Zwickau	

4.2.1 Spielsituation

Im Rahmen der qualitativen Analyse wurde unter anderem die Spielsituation des sich ereignenden Kopfballs näher untersucht. Um eine räumliche Verteilung der Kopfballhäufigkeit auf dem Spielfeld zu generieren, wurde dieses in mehrere Zonen aufgeteilt. Bei der Verteilung der Kopfbälle auf die einzelnen Spielfeldzonen zeigte sich hierbei ein ähnliches Verteilungsmuster in der 3. Liga und der Regionalliga Bayern (siehe Tabelle 7). Auffällig war eine Kumulierung der Kopfbälle im gesamten Mittelfeld. In den Strafräumen fand mit lediglich einem Fünftel - noch hinter den Außenbahnen - die geringste Anzahl aller Kopfbälle statt.

Tabelle 7: Verteilung der Kopfballsituationen im Spielfeld

	3. Liga (n=5413)	Regionalliga (n=3795)
Strafraum	20,4% (1103)	19,6% (743)
Mittelfeld	50,7% (2745)	53,3% (2022)
Außenbahnen	28,8% (1560)	26,8% (1018)
Außerhalb des Spielfelds	0,1% (5)	0,3% (12)

Kongruent zum Spielfeldort fiel auch die Verteilung der Kopfballanzahl auf die einzelnen Spielerpositionen beider Ligen aus (vgl. Abbildung 4). Führend beim Kopfballspiel waren demnach besonders Verteidiger und Mittelfeldspieler.

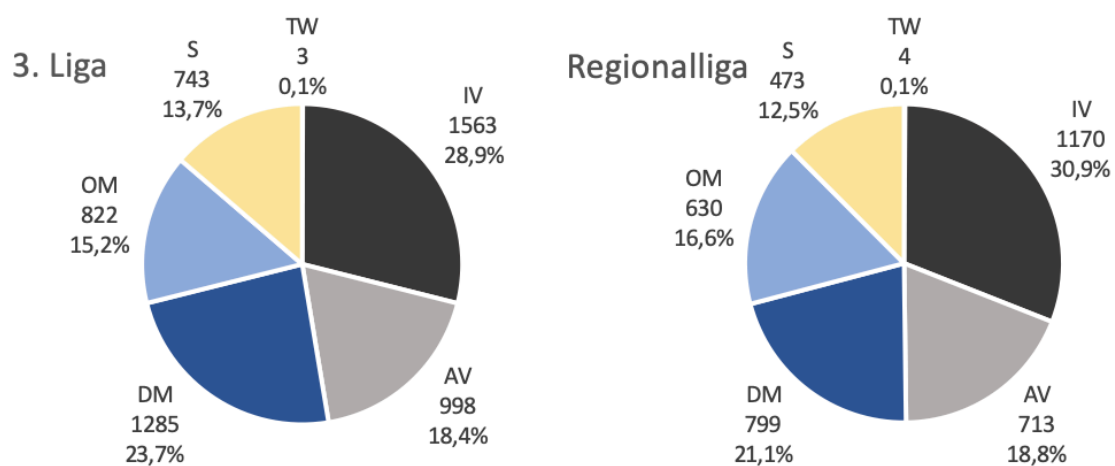


Abbildung 4: Spielerposition-bezogene Verteilung der Kopfbälle in der 3. Liga (links, n=5414) und Regionalliga Bayern (rechts, n=3789). TW: Torwart (grün), IV: Innenverteidiger (schwarz), AV: Außenverteidiger (grau), DM: Defensives Mittelfeld (dunkel-blau), OM: Offensives Mittelfeld (hell-blau), S: Sturm (gelb).

Die Verteidiger führten in der vorliegenden Datenkonstellation fast die Hälfte aller Kopfbälle durch. Das Verhältnis von Innen- zu Außenverteidiger lag ligen-übergreifend bei etwa 3:2 Kopfbällen. Auch Mittelfeldspieler bestritten mit knapp unter 40% einen großen Anteil der Kopfbälle. Auf die Stürmer entfiel knapp ein Achtel aller Kopfbälle. Torhüter köpften den Ball nur in Ausnahmefällen (insgesamt 7/9203 Kopfbällen). Fast zwei Drittel aller Kopfbälle wurden im Rahmen defensiver Spielaktionen in der 3. Liga (63,1% bzw. 3423/5414) und Regionalliga Bayern (65,2% bzw. 2475/3789) ausgeführt. Der Ball selbst kam dabei mehrheitlich vom Gegner mit 66,9% (3581/5353) in der 3. Liga bzw. mit 67,4% (2510/3722) in der Regionalliga Bayern.

Insgesamt ließ sich die Spielsituation vor dem jeweiligen Kopfball weiter in zwei unterschiedliche Spielgeschehen einordnen (vgl. Abbildung 5). Der Ball wurde entweder nach einer Standardsituation oder aus dem freien Spiel heraus geköpft. Die meisten Kopfbälle erfolgten dabei in beiden Ligen größtenteils aus Situationen des freien Spiels heraus, führend dabei nach hohen Bällen und vorherigen Kopfbällen.

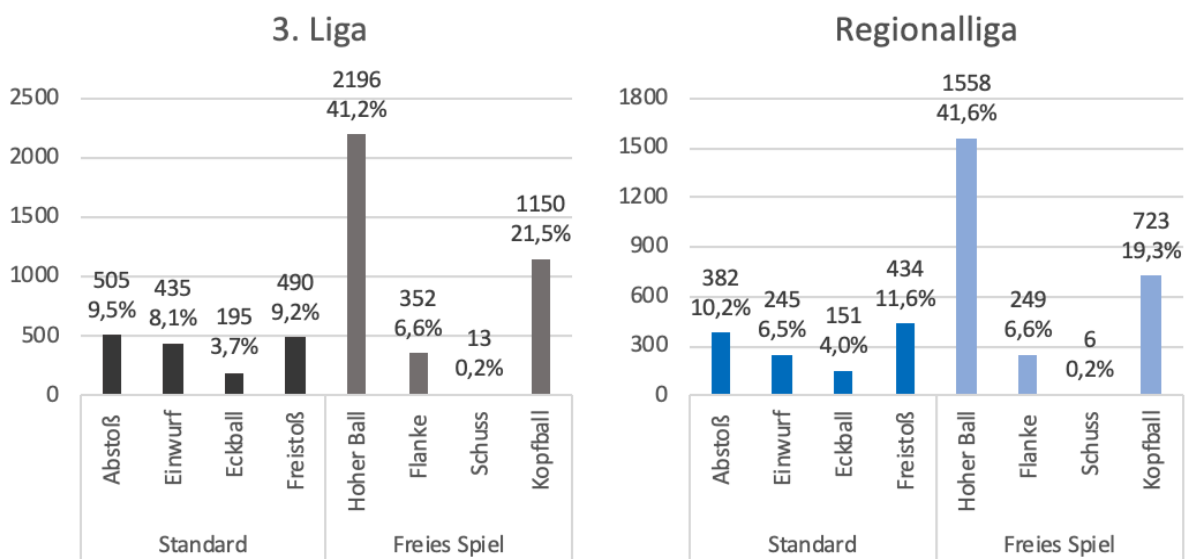


Abbildung 5: Ligen-spezifische Häufigkeitsverteilung der zum Kopfball führenden Spielsituation. Links: 3. Liga (n=5336), rechts: Regionalliga Bayern (n=3748).

Die meisten Kopfbälle erfolgten nach mittellangen Flugwegen (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Flugweg des Balles

		3. Liga (n=5437)	Regionalliga (n=3819)
Kurz	(<5 Meter)	9,7% (525)	6,3% (239)
Mittel	(5 bis 20 Meter)	43,5% (2365)	37,1% (1418)
Lang	(20-50 Meter)	28,3% (1541)	37,1% (1418)
Sehr lang	(>50 Meter)	18,5% (1006)	19,5% (744)

In über 80% der Fälle wurden die Kopfbälle aus der Luft von oben kommend geköpft: 82,5% (4482/5434) in der 3. Liga bzw. 84,4% (3225/3823) in der Regionalliga Bayern.

Bei der Verteilung der Spielminuten, in denen Kopfbälle erfolgten, war zwischen den Halbzeiten insgesamt keine Gewichtung zu verzeichnen. Bei den nochmals in Drittel aufgeteilten Halbzeiten war jeweils eine leichte Häufung der Kopfballanzahl in den letzten 15 Minuten und eine leichte Minderung in der Mitte der zweiten Halbzeit zu vermerken (vgl. Abbildung 6).

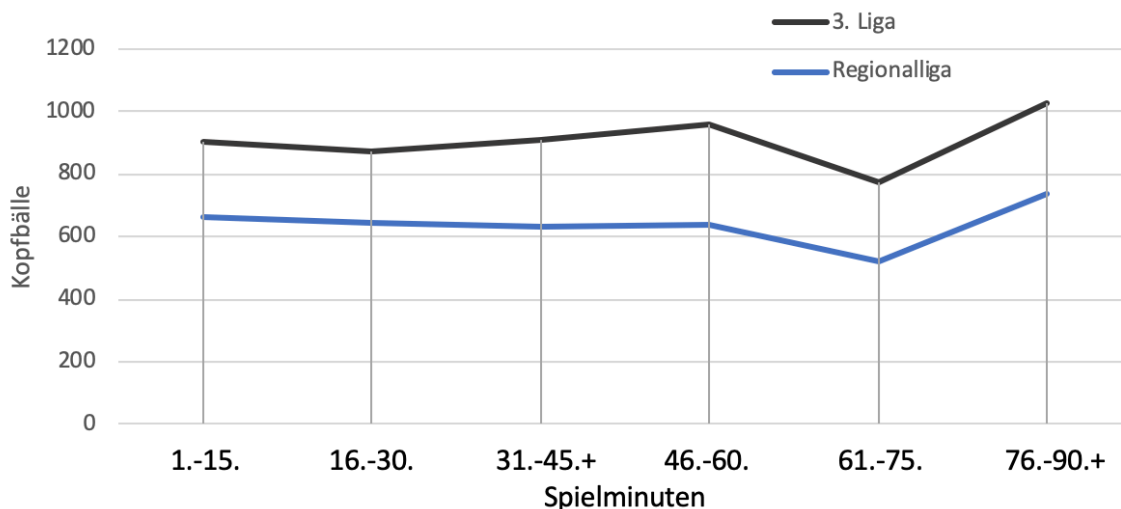


Abbildung 6: Spielminutenverteilung der Kopfbälle. Die Halbzeiten sind in Drittel rubriziert, 3. Liga (n=5439): schwarze Kurve, Regionalliga Bayern (n=3827): blaue Kurve.

Auch beim Spielstand zum Zeitpunkt des Kopfballs lag eine gleiche Verteilung der Kopfballzahlen in beiden Ligen vor. Folglich ließ sich keine Tendenz hinsichtlich des Spielstandes ausmachen.

4.2.2 Kopfball- und Zweikampfverhalten

Neben der Spielsituation wurde auch das Kopfballverhalten der in den jeweiligen Kopfball involvierten Spieler genauer untersucht. Dabei wurde unter anderem die Bewegung des Spielers zum Ball näher beleuchtet (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Bewegung des Spielers zum Ball

	3. Liga (n=5409)	Regionalliga (n=3772)
Keine	28,5% (1543)	35,7% (1346)
Vorwärts	29,9% (1615)	21,8% (823)
Zur Seite	21,5% (1165)	26,5% (1000)
Rückwärts	20,1% (1086)	16,0% (603)

Bei zwei von drei Kopfbällen befand sich der Spieler nach vorherigem Sprung in der Luft: 66,5% (3604/5422) in der 3. Liga bzw. 61,4% (1738/3794) in der Regionalliga Bayern. Mit dem Sprungverhalten vergesellschaftete Stürze auf den Kopf wurden nur in der 3. Liga festgehalten und traten insgesamt mit 0,1% sehr selten auf (3/3592 Kopfbälle mit vorherigem Sprung).

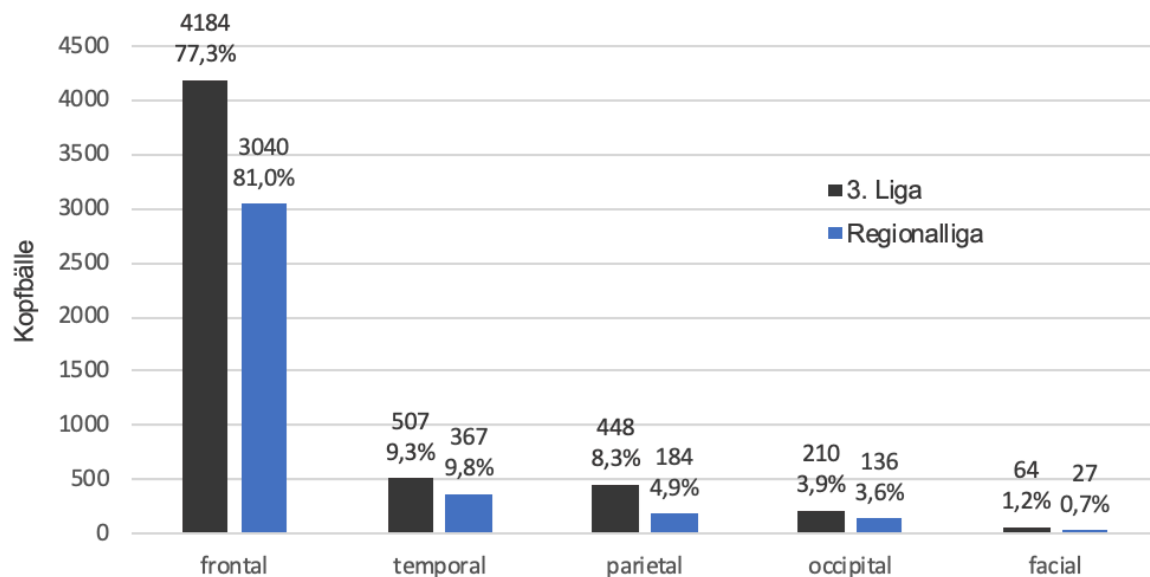


Abbildung 7: Auftrefffläche des Balles auf den Kopf. Links: 3. Liga (n=5413), rechts: Regionalliga Bayern (n=3754).

Der Kontaktpunkt des Balles mit dem Kopf erfolgte meist frontal (vgl. Abbildung 7). Zum Kontakt des Balles mit dem Gesichtsbereich unterhalb der Stirn kam es nur in 1,2 % bzw. 0,7% der Fälle (3. Liga bzw. Regionalliga Bayern) - ein großer Teil war dabei

durch einen direkten Abschuss aus meist kurzer Distanz bedingt (3. Liga, 20,3%, 13/64; Regionalliga Bayern, 48,1%, 13/27). Unbeabsichtigte Kopfbälle durch einen Abschuss traten mit fast jedem 100. Kopfball in beiden Ligen selten auf (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Art des Kopfballs

	3. Liga (n=5425)	Regionalliga (n=3795)
Pass	52,6% (2856)	53,3% (2021)
Schuss	2,9% (157)	3,4% (129)
Tiefer Kopfball	1,3% (70)	0,2% (9)
Abgleiten	8,2% (442)	9,3% (355)
Abschuss	0,9% (51)	1,1% (40)
Klären	30,9% (1675)	29,7% (1127)
Ballaufnahme	3,2% (174)	3,0% (114)

Die Absicht der Spieler zum Kopfball war ebenfalls in beiden Ligen vergleichbar (siehe Tabelle 10). Über 80% der analysierten Kopfbälle erfolgten mit der Intention des Passes oder wurden zur Klärung einer Angriffssituation gespielt. Als direkter Torschuss wurden 2,9% bzw. 3,4% aller Kopfbälle (3. Liga bzw. Regionalliga Bayern) ausgeführt. Dies führte in der 3. Liga zu 17 und in der Regionalliga Bayern zu 9 Kopfballtoren. Mit jeweils 57% veränderten die meisten Bälle nach erfolgtem Kopfball ihre Richtung stark (3. Liga, 57,1%, 3102/5434; Regionalliga Bayern, 57,0%, 2175/3816) im Sinne einer Richtungsänderung von über 90° gegenüber dem Einfallswinkel vor dem Kopfball.

Im Rahmen der Analyse des Kopfballverhaltens wurde auch das Zweikampfverhalten evaluiert. Insgesamt ereigneten sich 52,3% (2841/5434) bzw. 44,7% (1701/3807) aller Kopfbälle (3. Liga bzw. Regionalliga Bayern) im Rahmen eines Zweikampfes. Ein Zweikampf wurde als solcher gewertet, wenn beim Kopfball zwei Spieler Körperkontakt zueinander hatten oder mit einem Höchstabstand von unter einem Meter zueinanderstanden. Bei Vorliegen eines Kopfballs mit Zweikampfbeteiligung wurde zunächst die Lokalisation des köpfenden Spielers zum Kontrahenten bestimmt. Insgesamt war die Verteilung nicht nur im Ligen-Vergleich, sondern auch bezogen auf die Positionen des köpfenden Spielers zum Gegner vergleichbar. Am häufigsten stand der köpfende Spieler hinter seinem Gegner (3. Liga: 38,3 %, 1084/2831; Regionalliga

Bayern: 36,2%, 610/1687). In Folge eines Zweikampfes bestand zwischen den Beteiligten in der 3. Liga bei 77,4% und in der Regionalliga Bayern bei 84,0% der Zweikämpfe Körperkontakt (siehe Tabelle 11). Meist kam es dabei zum Körperkontakt zwischen gegnerischen Spielern.

Tabelle 11: Körperkontakt beim Kopfball

	3. Liga (n=2827)	Regionalliga (n=1682)
Kein Körperkontakt	22,6% (639)	16,0% (269)
Körperkontakt (insgesamt)	77,4% (2188)	84,0% (1413)
mit Gegner	93,9% (2054)	96,4% (1362)
mit Mitspieler	1,3% (28)	1,1% (16)
mit Mehreren	4,8% (106)	2,5% (35)

Im Zuge dessen wurden bei den Kopfballduellen, bei denen Körperkontakt vorlag, die Körperkontaktregionen zwischen den Spielern bestimmt. Der Schädel des köpfenden Spielers wurde in der 3. Liga dabei in 2,2% (49/2188) aller Kopfballduelle mit Körperkontakt berührt, derjenige eines Gegenspielers in 3,9% (86/2188) der Fälle. In der Regionalliga Bayern lagen die Prozentzahlen mit 1,5% (21/1413) beim köpfenden und mit 2,9% (49/1413) beim Gegenspieler etwas niedriger.

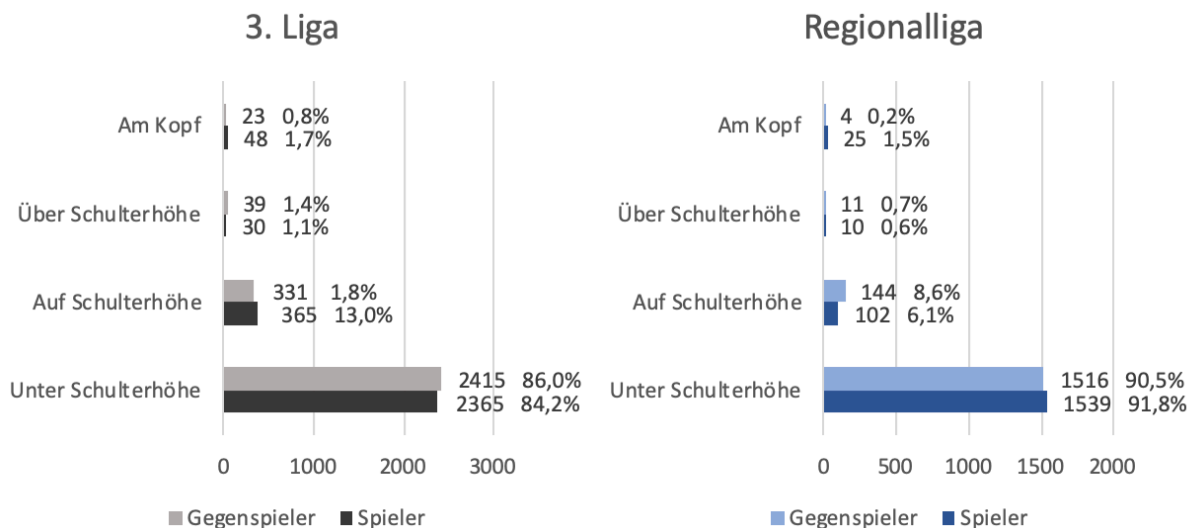


Abbildung 8: Ellenbogenpositionen während eines Kopfballduells. Links: 3. Liga (n=2808), rechts: Regionalliga Bayern (n=1676).

Aufgrund der bekannten Gefahr einer hohen Ellenbogenposition für Verletzungen wurde diese zusätzlich dokumentiert. Eine hohe Ellenbogenposition auf oder über

Schulterhöhe oder am Kopf des Gegenspielers lag dabei in 14,9% bis 16,8% (393 bis 443/2808) aller Kopfbälle in der 3. Liga und in 8,2 bis 9,5% (137 bis 159/1676) in der Regionalliga Bayern vor (vgl. Abbildung 8). In der 3. Liga wurde eine gefährliche Spielweise durch hohe Ellenbogenpositionen deutlich häufiger dokumentiert als in der Regionalliga Bayern. Insgesamt fiel zudem auf, dass besonders in der 3. Liga der köpfende Spieler häufiger grenzwertig hohe Ellenbogenpositionen einnahm.

Der Großteil der Kopfballzweikämpfe mit jeweils über 90% pro Liga kam ohne Foulspiel aus (siehe Tabelle 12). In der 3. Liga lag in 7,4% (162/2178) der Kopfballsituationen ein Foulspiel vor, in der Regionalliga Bayern waren es vergleichbar 8,1% (115/1408).

Tabelle 12: Foulspiel bei Kopfballduell

	3. Liga (n=2178)	Regionalliga (n=1408)
Kein Foul	92,6% (2016)	91,8% (1293)
Foul durch den Spieler	2,8% (62)	3,4% (47)
Foul durch den Gegner	4,6% (100)	4,8% (68)

4.3 Epidemiologische Analyse verletzungsträchtiger Situationen am Kopf

Im Kontaktsport Fußball kann es immer wieder zu Verletzungen unterschiedlicher Ätiologie kommen. Kopfverletzungen treten dabei eher seltener auf. Dennoch nehmen gerade Kopfverletzungen einen wichtigen Stellenwert aufgrund ihrer potenziellen Gefährlichkeit ein. Im Folgenden werden zunächst die Inzidenz und Situationen von kopfverletzungsträchtigen Situationen in der Saison 2016/17 in der 3. Liga und Regionalliga Bayern beschrieben und mit denen der Kopfballsituationen (Kapitel 4.2) verglichen. Danach wird die Konsequenz der Situation für den Spieler bewertet und abschließend Risikofaktoren für das Auftreten von verletzungsgefährdeten Situationen für den Kopf identifiziert.

4.3.1 Saisonübergreifende Inzidenz von kopfverletzungsträchtigen Situationen

Im Rahmen der Analyse kopfverletzungsträchtiger Situationen wurden in der 3. Liga insgesamt 340 und in der Regionalliga Bayern 232 derartige Situationen registriert.

Für die 3. Liga ergab sich damit eine Inzidenz von 0,9 kopfverletzungsträchtigen Situationen pro Spiel, für die Regionalliga Bayern demnach 0,8 pro Spiel (siehe Tabelle 5). Von den 340 kopfverletzungsträchtigen Situationen der 3. Liga bzw. 232 der Regionalliga Bayern waren im Rahmen der qualitativen Analyse 45 bzw. 37 kopfverletzungsträchtige Situationen mithilfe des elektronischen Erfassungsbogens (eCRF) analysiert worden (siehe Kapitel 3.1.2.2).

In der 3. Liga fiel dabei auf, dass sich zwei Drittel der kopfverletzungsträchtigen Situationen in der Rückrunde ereigneten (60,0%, 27/45), während in der Regionalliga Bayern das Verhältnis Hinrunde (48,6%, 18/37) zu Rückrunde (51,4%, 19/37) ausgeglichen war. Außerdem schienen Spieler der Gastmannschaft öfter in einer kopfverletzungsträchtigen Situation involviert zu sein als ihre Gastgeber (3. Liga: 62,2%, 28/45; Regionalliga Bayern: 62,2%, 23/37).

4.3.2 Analyse der zugrunde liegenden Spielsituation

Parallel zu den Kopfballsituationen wurden auch die Situationen detailliert analysiert, in denen eine kopfverletzungsträchtige Situation nach den bereits beschriebenen Kriterien eines Critical Incidents vorlag.

Die kopfverletzungsträchtigen Situationen verteilten sich in der 3. Liga symmetrisch auf die Spielfeldzonen der Strafräume, des Mittelfelds und der Außenbahnen, während in der Regionalliga Bayern vor allem das Mittelfeld mit über der Hälfte der registrierten Situationen der prädestinierte Ort war. Im Strafraum ereignete sich hierbei eine von vier kopfverletzungsträchtigen Situationen (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Spielfeldzonen der kopfverletzungsträchtigen Situationen

	3. Liga (n=45)	Regionalliga (n=37)
Strafraum	33,3% (15)	24,3% (9)
Mittelfeld	33,3% (15)	56,8% (21)
Außenbahnen	33,3% (15)	18,9% (7)

Demgegenüber war in der Regionalliga Bayern diese Verteilung deutlich inhomogener, mit der Spielfeldzonenverteilung der Kopfbälle aber annähernd vergleichbar. Strafraum und Außenbahnen verhielten sich im Vergleich beider Statistiken vice versa: Ein Fünftel aller Kopfbälle (19,6% bzw. 743/3795) und ein Viertel aller

kopfverletzungsträchtigen Situationen (24,3% bzw. 9/37) fand im Strafraum, ein Viertel aller Kopfbälle (26,8% bzw. 1018/3795) und ein Fünftel aller kopfverletzungsträchtigen Situationen auf den Außenbahnen (18,9% bzw. 7/37) statt. Bei der Häufigkeitsverteilung der kopfverletzungsträchtigen Situationen nach den aufgeteilten Spielminuten fiel eine zeitliche Kumulierung um die Spielzeit nahe der Halbzeitpause auf (vgl. Abbildung 9). Besonders in der 3. Liga ereigneten sich viele dieser zwischen der 31. und 60. Spielminute (46,6% bzw. 21/45).

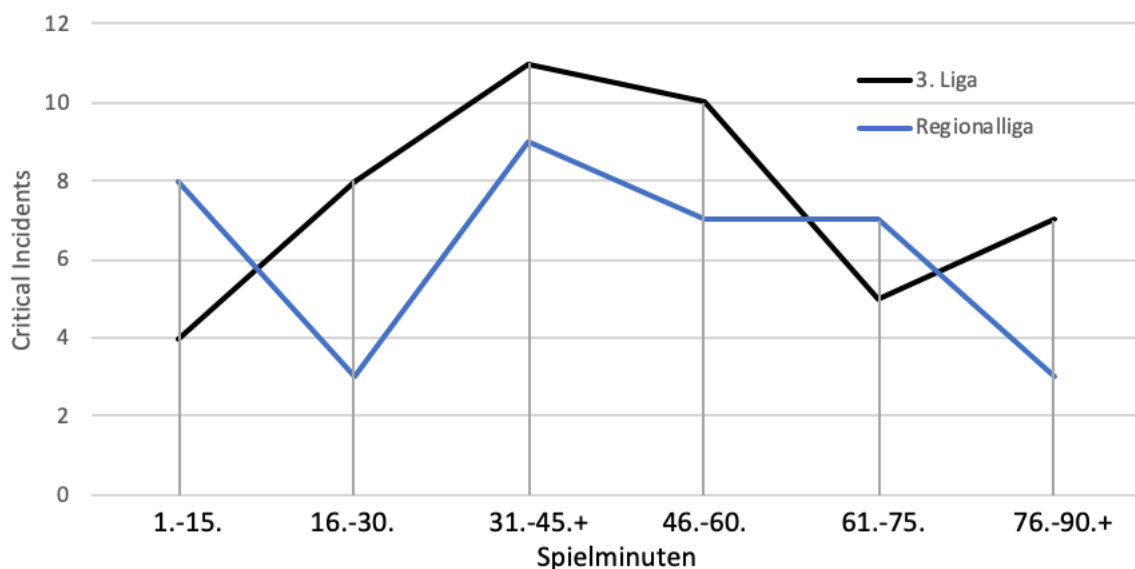


Abbildung 9: Spielminutenverteilung der kopfverletzungsträchtigen Situationen. Die Halbzeiten sind in Drittel rubriziert, 3. Liga (n=45): schwarze Kurve, Regionalliga Bayern (n=37): blaue Kurve.

In der 3. Liga hob sich keine Spielerposition der Feldspieler durch eine erhöhte Gefährdung für das Involviert-Sein in kopfverletzungsträchtigen Situationen hervor. Währenddessen waren in der Regionalliga Bayern die Positionen des Stürmers und Innenverteidigers häufiger betroffen als andere (vgl. Abbildung 10).

Während der Stürmer im Rahmen der Kopfballstatistik lediglich ein Achtel aller Kopfbälle ausführte (vgl. Abbildung 4), war er mit fast einem Drittel aller kopfverletzungsträchtigen Situationen besonders exponiert. Insgesamt schienen Außenverteidiger verglichen mit ihrer Kopfballhäufigkeit seltener in kopfverletzungsträchtigen Situationen involviert zu sein. Auch Torhüter blieben von verletzungsträchtigen Situationen nicht verschont, zeigten insgesamt aber kein

erhöhtes Risiko. Ihr Anteil an allen registrierten stand dabei im Kontrast zu der geringen Anzahl der von ihnen durchgeführten Kopfbälle.

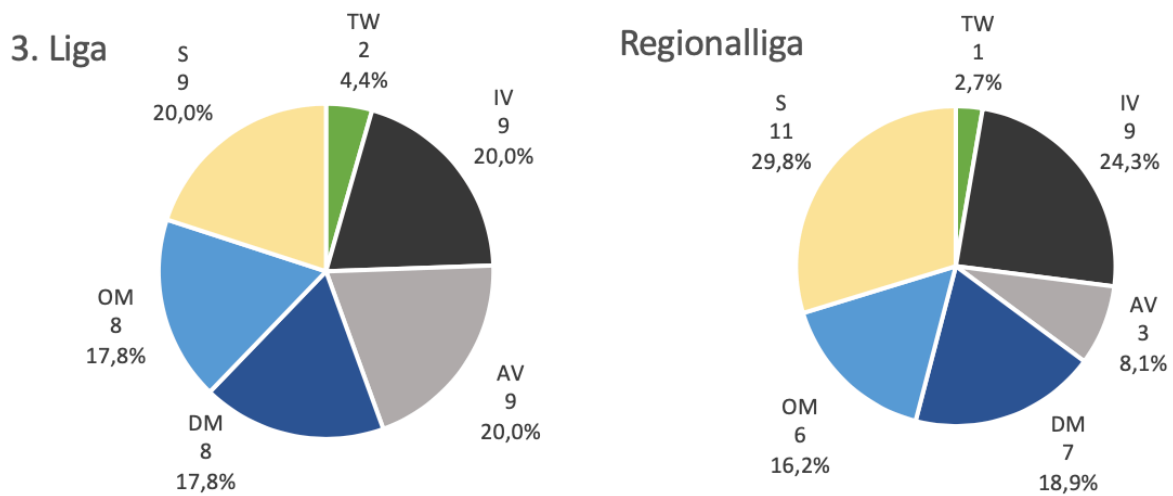


Abb. 10: Verteilung der kopfverletzungsträchtigen Situationen in der 3. Liga (links, n=45) und Regionalliga Bayern (rechts, n=37) auf die jeweiligen Spielerpositionen bezogen. TW: Torwart (grün), IV: Innenverteidiger (schwarz), AV: Außenverteidiger (grau), DM: Defensives Mittelfeld (dunkelblau), OM: Offensives Mittelfeld (hellblau), S: Sturm (gelb).

Die Spielsituationen, die einerseits zu den Kopfbällen und andererseits zu den kopfverletzungsträchtigen Situationen führten, wurden gleichermaßen gegenübergestellt. Die meisten Kopfbälle fanden, wie oben beschrieben, aus dem freien Spiel heraus statt (vgl. Abbildung 5). Auch die kopfverletzungsträchtigen Situationen ereigneten sich in einem Großteil der Fälle aus dem freien Spiel heraus - besonders in der Regionalliga Bayern (3. Liga: 64,4%, 29/45; Regionalliga Bayern 81,1%, 30/37). In der 3. Liga trug sich verglichen mit der Regionalliga Bayern folglich ein deutlich höherer Prozentsatz der kopfverletzungsträchtigen Situationen nach Standardsituationen zu (35,6%, 16/45).

Die kopfverletzungsträchtigen Situationen ereigneten sich fast ausschließlich durch direkten Kontakt zu einem anderen Spieler oder zum Ball (93,3% bzw. 42/45 in der 3. Liga und 97,3% bzw. 36/37 in der Regionalliga Bayern), wobei in 84,4% (38/45, 3. Liga) bzw. 91,9% (34/37, Regionalliga Bayern) Kontakt zu einem anderen Spieler - besonders zum Gegenspieler - vorlag. Selten führten Stürze, ob indirekt durch einen vorherigen Kontakt mit einem anderen Spieler oder eigens verschuldet, zu einer kopfverletzungsträchtigen Situation (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Ursachen der kopfverletzungsträchtigen Situationen

	3. Liga (n=45)	Regionalliga (n=37)
Kontakt mit Gegner (insgesamt)	75,5% (34)	83,8% (31)
Kollision	35,3% (12)	51,6% (16)
Schlag des Gegners	50,0% (17)	45,2% (14)
Tritt des Gegners	14,7% (5)	3,2% (1)
Kollision mit Mitspieler	8,9% (4)	8,1% (3)
Kollision mit Ball	8,9% (4)	5,4% (2)
Sturz	6,7% (3)	2,7% (1)

Kopfverletzungsträchtige Situationen wurden dabei fast ausschließlich durch Zweikämpfe verursacht (siehe Tabelle 15). Besonders häufig waren demnach Kopfballduelle ursächlich für das Eintreten einer kopfverletzungsträchtigen Situation.

Tabelle 15: Charakterisierung der Art des vorliegenden Zweikampfes als Ausgangspunkt für das Vorliegen einer kopfverletzungsträchtigen Situation

	3. Liga (45)	Regionalliga (n=37)
Kein Zweikampf	8,9% (4)	5,4% (2)
Zweikampf (insgesamt)	91,1% (41)	94,6% (35)
Laufduell	14,6% (6)	5,7% (2)
Kopfballduell	61,0% (25)	71,4% (25)
Tackling des Gegners	12,2% (5)	11,4% (4)
Eigenes Tackling	12,2% (5)	8,6% (3)
Grätsche des Gegners	0% (0)	2,9% (1)
Eigene Grätsche	0% (0)	0% (0)

Weiterhin dokumentiert wurde die Grundaktion des involvierten Spielers (vgl. Abbildung 11). Besonders häufig kam es zur kopfverletzungsträchtigen Situation im Rahmen einer Sprungaktion (3. Liga: 47,7% 21/44; Regionalliga Bayern: 48,6% 18/37).

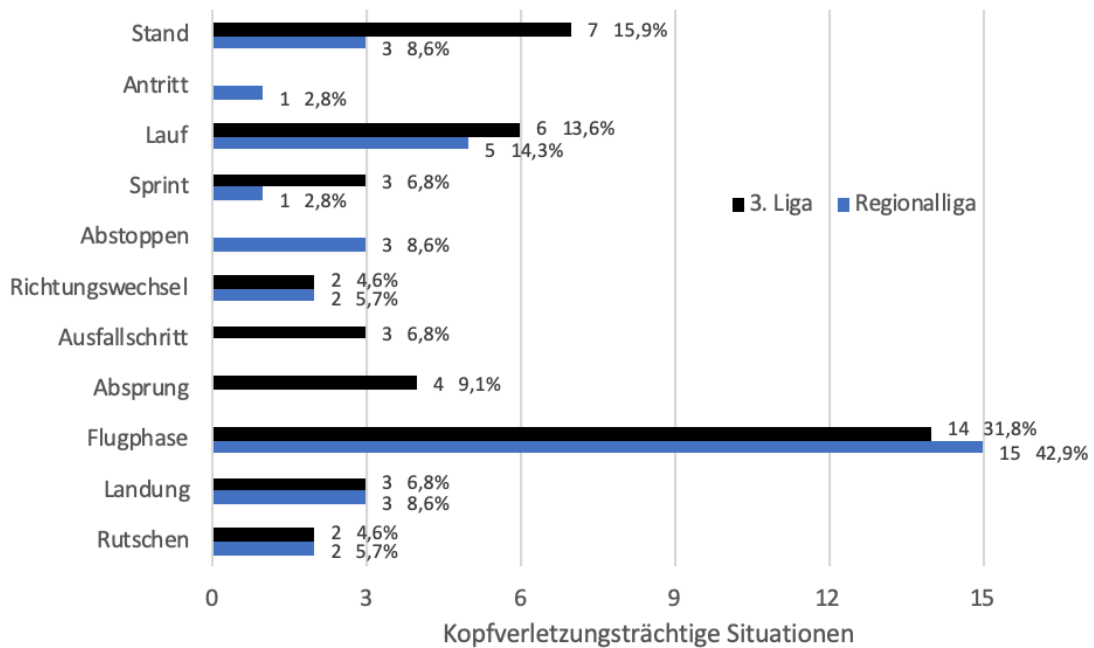


Abbildung 11: Grundaktion des Spielers bei der kopfverletzungsträchtigen Situation. 3. Liga (n=44): schwarze Balken, Regionalliga Bayern (n=37): blaue Balken. Fehlende Balken bei nicht vorliegender Grundaktion.

In beiden Ligen war am häufigsten der Gesichtsbereich im Rahmen der kopfverletzungsträchtigen Situation affektiert. Auch die Temporoparietalregion oder das Occiput waren häufig (mit-)betroffen (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Kontaktregion am Kopf (Mehrfachauswahl möglich).

	3. Liga (n=45)	Regionalliga (n=37)
Facial	55,6% (25)	56,8% (21)
Frontal	20,0% (9)	32,4% (12)
Temporoparietal	40,0% (18)	54,0% (20)
Occipital	33,3% (15)	43,2% (16)
Cervical/nuchal	26,6% (12)	16,2% (6)

4.3.3 Konsequenz der kopfverletzungsträchtigen Situation

Auch die durch eine kopfverletzungsträchtige Situation bedingten Konsequenzen für den Spieler wurden im Rahmen der vorliegenden Analyse erfasst. Dabei wurden nicht nur persönliche Konsequenzen für die beteiligten Spieler aus sportlicher und medizinischer Sicht beurteilt, sondern auch die Entscheidungen des Schiedsrichters berücksichtigt. In der deutlichen Mehrheit der Spielsituationen wurden die Spiele

aufgrund der jeweiligen verletzungsträchtigen Situation unterbrochen (3. Liga: 80,0% bzw. 36/45; Regionalliga Bayern 78,4% bzw. 29/37). In den näher untersuchten Situationen musste dabei weder in der 3. Liga noch in der Regionalliga Bayern einer der Verletzten vom Platz getragen werden. In der 3. Liga verließen etwa ein Viertel (24,4%, 11/45) der betroffenen Spieler selbstständig das Spielfeld für eine weitere medizinische Behandlung, in der Regionalliga Bayern war der Anteil mehr als doppelt so hoch (52,8%, 19/37). Insgesamt wurden von allen Spielern, die in einer kopfverletzungsträchtigen Situation involviert waren, nur vier Spieler ausgewechselt – zwei in der 3. Liga (4,4%, 2/45) und zwei in der Regionalliga Bayern (5,6%, 2/36).

Etwa die Hälfte der Situationen wurden vom jeweiligen Schiedsrichter als Foul gewertet. Der situativen Schiedsrichterbewertung der einzelnen Szenen wurde additiv eine eigene Bewertung nach mehrmaligem Anschauen im gemeinsamen Konsens der Begutachter gegenübergestellt (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Bewertung der Entscheidung über ein Foulspiel beim Vorliegen einer kopfverletzungsträchtigen Situation

	3. Liga (n=45)	Regionalliga (n=37/n=35)
	Schiedsrichter / Eigene	Schiedsrichter / Eigene
Kein Foul	44,4% (20) / 44,4% (20)	62,2% (23) / 48,6% (17)
Foul durch Betroffenen	48,9% (22) / 46,7% (21)	32,4% (12) / 42,9% (15)
Foul durch Gegenspieler	6,7% (3) / 6,7% (3)	5,4% (2) / 5,7% (2)
Tätlichkeit	0% (0) / 2,2% (1)	0% (0) / 2,8% (1)

In der 3. Liga piff der Schiedsrichter demnach in über der Hälfte (55,6% bzw. 25/45) der Situationen ein Foul. In der Regionalliga Bayern lag diese Quote mit 37,8% (14/37) niedriger. Hier ließ der Unparteiische ca. zwei von drei Situationen ungeahndet. Auffällig war, dass größtenteils der Betroffene selbst das Foul beging (3. Liga: 88,0% bzw. 22/25; Regionalliga Bayern: 85,7% bzw. 12/14). Nach gemeinsamer Auffassung der Begutachter wurde vor allem in der Regionalliga Bayern mehrfach ein Foul übersehen (10,8% bzw. 4/37; 3. Liga: 2,2% bzw. 1/45). Außerdem wurde nach eigener Bewertung jeweils eine Szene in beiden Ligen als Tätlichkeit eines Spielers ausgelegt.

Beim Großteil der Situationen verzichteten die Schiedsrichter auf eine Bestrafung durch eine Karte. Besonders in der Regionalliga Bayern blieb so der Großteil der

kopfverletzungsträchtigen Situationen ohne ein festgestelltes Foul durch den Schiedsrichter. In 14,3% (2/14) der gepfiffenen Fouls wurde der Schiedsrichter in der Regionalliga Bayern einen Spieler mittels Gelber Karte. In der 3. Liga war dieser Wert prozentual gesehen mehr als doppelt so hoch (32,0% bzw. 8/25). In einem der 25 erfassten Fouls führte hier die zweite Gelbe Karte folglich zum Platzverweis durch eine Gelb-Rote Karte (4,0%). Direkte Platzverweise durch Rote Karten wurden im Rahmen der untersuchten Situationen in keiner der beiden Ligen ausgesprochen.

4.3.4 Risikofaktoren für eine kopfverletzungsträchtige Situation

Aus der Analyse der Kopfball- und kopfverletzungsträchtigen Situationen ließen sich Risikofaktoren für das Auftreten der letzteren errechnen. Diese wurden mithilfe von Odds Ratios (OR) abgeleitet. Das OR stellt eine Messzahl aus der Statistik dar, die etwas über die Stärke eines Zusammenhangs von zwei Merkmalen aussagt. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden bei den kopfverletzungsträchtigen Situationen nur diejenigen berücksichtigt, die im Rahmen einer Kopfballsituation entstanden bzw. Kopftreffer im Rahmen von Abschüssen beinhalteten. In der 3. Liga entstanden 66,7% (30/45) der kopfverletzungsträchtigen Situationen im Rahmen einer Kopfballsituation, in der Regionalliga Bayern 75,7% (28/37). In 5439 (3. Liga) bzw. 3827 (Regionalliga Bayern) Kopfballsituationen kam es demnach zu 30 bzw. 28 kopfverletzungsträchtigen Situationen.

Hinsichtlich des Risikoprofils wurden die Spielerpositionen, die Spielfeldorte sowie die Spielsituationen genauer evaluiert. Bei letzterem wurden Ball- und Spieler-spezifische Parameter wie etwa Flugweg des Balles oder Ellenbogenpositionen genauer betrachtet. Außerdem wurde eine mögliche Risikoerhöhung durch Beteiligung eines dritten Spielers untersucht sowie der Wert der Spielunterbrechung durch den Schiedsrichter für das Vorliegen einer kopfverletzungsträchtigen Situation ermittelt (siehe Tabelle 17).

Von den Spielerpositionen hob sich lediglich in der Regionalliga Bayern die Position des Stürmers hervor, mit einem 2,8-fach erhöhten Risiko in einer kopfverletzungsträchtigen Situation involviert zu sein. Bei den Torhütern wurde auf die

OR-Berechnung aufgrund geringer bzw. fehlender Fallzahlen verzichtet. Im Vergleich der Spielfeldpositionen führte in der 3. Liga ein Kopfball im Strafraum 2,6-fach häufiger zu einer kopfverletzungsträchtigen Situation. In der Regionalliga Bayern war keine Spielfeldposition durch ein erhöhtes Risiko belastet. Insgesamt war in der 3. Liga eine vorherige Standardsituation mit einem gering erhöhten Risiko für das Auftreten einer derartigen Situation verbunden (OR 2,0). In der Regionalliga Bayern entstanden diese tendenziell eher aus dem freien Spiel heraus. In beiden Ligen verdoppelten vorherige Abstoße und Flanken das Risiko, eine kopfverletzungsträchtige Situation zu verursachen. In der Regionalliga Bayern trat außerdem ein vorheriger Kopfball mit einer OR von 2,0 als Risikofaktor in Erscheinung. Bei einem vorherigen Eckball oder Schuss wurde auf die OR-Berechnung aufgrund geringer bzw. fehlender Fallzahlen verzichtet. Der Abschuss des Kopfes eines Spielers erhöhte das Risiko für ein Kopftrauma im Rahmen einer kopfverletzungsträchtigen Situation deutlich (3. Liga: OR von 11,7; Regionalliga Bayern: OR von 7,2).

Außerdem stellte ein kurzer Flugweg, definiert als zurückgelegter Weg nach dem Abspiel und vor dem Kopfball von unter fünf Metern, einen Risikofaktor dar. Besonders in der Regionalliga Bayern war dabei das Risiko für eine verletzungsgefährdende Situation 4,1-fach erhöht. Kopfbälle nach Anspielen über längere Flugstrecken führten zu keiner erhöhten Risikowahrscheinlichkeit.

Spieler, die einen Kopfball im Rahmen eines Kopfballduells durchführten, wurden öfter mit einer kopfverletzungsträchtigen Situation konfrontiert als diejenigen, die den Kopfball alleinstehend köpften. Besonders in der Regionalliga Bayern stellte das Kopfballduell somit einen Risikofaktor für das Vorliegen einer solchen Situation dar (OR von 16,1 gegenüber 4,6 in der 3. Liga). Zu hohe Ellenbogenpositionen über der eigenen Schulter oder am Kopf des Gegenspielers führten deutlich häufiger zu einer kopfverletzungsträchtigen Situation. Das Risiko lag 9,3-fach in der 3. Liga bzw. 7,9-fach in der Regionalliga Bayern höher als bei Kopfballduellen mit Ellenbogenpositionen unterhalb der Schultern. Auch im Falle eines dritten involvierten Spielers stieg das Risiko.

Wenn der Schiedsrichter ein solches Kopfballduell durch Pfeifen eines Foulspiels unterband, lag vor allem in der 3. Liga sehr häufig eine kopfverletzungsträchtige Situation vor (3. Liga: OR 18,7; Regionalliga Bayern: OR 6,2).

Tabelle 18: Odds Ratios in kopfverletzungsträchtigen Situationen

	3. Liga	Regionalliga
Spielerposition		
Innenverteidiger	0,7	1,1
Außenverteidiger	1,3	0,5
Defensives Mittelfeld	0,6	1,0
Offensives Mittelfeld	0,9	0,4
Sturm	1,6	2,8
Spielfeldposition		
Strafraum	2,6	1,1
Mittelfeld	0,6	1,9
Außenbahnen	0,8	0,3
Spielsituation		
Standard gesamt	2,0	0,6
Abstoß	1,9	1,9
Einwurf	1,7	-
Eckball	1,9	-
Freistoß	1,1	-
Freies Spiel gesamt	0,5	1,8
Hoher Ball	1,0	0,7
Flanke	2,2	2,4
Kopfball	0,4	2,0
Abschuss	11,7	7,2
Flugweg des Balles		
Kurz	1,9	4,1
Mittel	0,9	1,1
Lang	0,8	0,7
Sehr lang	0,9	0,5
Sprungsituation		
Kopfballduell	4,6	16,1
Dritter Spieler involviert	2,9	3,6
Ellenbogenposition hoch		
	9,3	7,9
Spielunterbrechung durch den Schiedsrichter		
	18,7	6,2

Zusammenfassend lassen sich als Risikofaktoren hoher Effektstärke (OR >4) der Abschuss des Kopfes durch den Ball, das Vorliegen eines Kopfballduells sowie zu hohe Ellenbogenpositionen beschreiben. In der Regionalliga Bayern war noch eine kurze Flugdistanz des Balles vor dem Kopfball als ebensolcher zu werten. Außerdem lag bei einem Pfiff des Schiedsrichters aufgrund eines Foulspiels mit hoher

Wahrscheinlichkeit eine kopfverletzungsträchtige Situation vor, besonders in der 3. Liga.

5 Diskussion

5.1 Das Kopfballspiel und seine Folgen

Ziel der vorliegenden Analyse war die Charakterisierung von Kopfbällen und damit verbundenen kopfverletzungsträchtigen Situationen über eine Saison hinweg im Übergangsbereich der Profis und Amateure. Viele der hierbei gewonnenen epidemiologischen Daten wurden erstmals erhoben.

5.1.1 Reales Abbild von Kopfbällen des Spielbetriebs

Die Spielsituation, in der es zum jeweiligen Kopfball kam, konnte anhand verschiedener Charakteristika beschrieben werden. Die erhobenen epidemiologischen Daten gaben dabei Aufschluss über die einzelnen Mechanismen, die zu Kopfballsituationen führten, und wie sich die Spieler während der Kopfballsituationen verhielten. Von 686 Spielen mussten 17 Spiele ausgeschlossen werden, sodass 669 Spiele und damit insgesamt 97,5% analysiert werden konnten. Anhand der daraus gewonnenen Informationen konnte ein tatsächliches Abbild des Spielbetriebs einer Saison generiert werden. Daraus ableitend konnten Vorhersagen zu Expositionspositionen und -situationen gegeben und auf diesen Aussagen aufbauend Präventionsstrategien abgeleitet werden.

Die vorliegende Studie zeigte erstmals die Kopfballbelastung der Spieler im unteren Profi- und oberen Amateurbereich im deutschen Fußball über eine Saison. Die Quantifizierung der Kopfballzahlen pro Spieler und Spiel stellte dabei eine der wichtigsten Erkenntnisse dieser Studie dar. Bisherige Studien gingen von signifikant höheren Kopfballfrequenzen aus (Di Virgilio et al., 2016; Haran et al., 2013; Putukian et al., 2000; Rieder et al., 2011; Straume-Naesheim et al., 2005) verglichen mit den Kopfballzahlen von 5,3 bis 6,4 Kopfbällen pro Spieler, Spiel und Liga dieser Studie. Auf Basis dieser Erkenntnisse müssen die existierenden interventionellen Studien neu betrachtet und bewertet werden (Di Virgilio et al., 2016; Putukian et al., 2000; Rieder et al., 2011). Auch sollten diese Studienergebnisse aktuellen Arbeiten hinsichtlich der Bewertung kumulativer Belastungen und potentiellen Folgen als Orientierungsmaß dienen. Gleichermäßen sollten sich zukünftige Forschungen an den im Rahmen dieser Studie festgestellten Kopfballfrequenzen orientieren.

In der vorliegenden Studie lag Liga-übergreifend ein relativ homogenes Kollektiv vor. Die meisten Kopfbälle fanden in beiden Ligen vor allem im jeweiligen defensiven Mittelfeld statt und waren einer defensiven Spielweise geschuldet. Abwehr- und Mittelfeldspieler führten entgegen der Vermutung der öffentlichen Wahrnehmung deutlich mehr Kopfbälle als Stürmer durch. Präventiv sollten demnach nicht nur defensive Spielsituationen im Hinblick auf kopfverletzungsträchtige Situationen trainiert, sondern auch besonders belastete Spielerpositionen gesondert geschult werden. Parallel könnte ein präventives Training von Standardsituationen, die gemessen am Gesamtanteil der Spielzeit verhältnismäßig oft zu Kopfbällen und kopfverletzungsträchtigen Situationen führten, eine vorausschauende Spielweise der Spieler vermitteln.

Viele Bälle gelangten vom Gegner über mittellange Flugwege von 5 bis 20 bzw. 20 bis 50m nach Abstoßen oder vorherigen Kopfbällen zu den köpfenden Spielern, die in überwiegender Mehrzahl der Fälle den Kopf zum Passen oder Klären des Balles nutzten. Da eine gut ausgebildete Halsmuskulatur (Dezman et al., 2013; Shewchenko et al., 2005) die Belastung pro Kopfball auf den Kopf verringert, ist ein spezifisches Training hierfür gerade im professionellen Fußball unabdingbar. Auch könnten in Trainingseinheiten Situationen mit längeren Flugbällen, wie beispielsweise nach Abstoßen, repetitiv und multisituativ trainiert werden, um während der langen Flugphase des Balls die Orientierung der Spieler im Spielfeld und zu den umgebenden Spielern zu schulen. Bei etwa der Hälfte der Kopfbälle wurde der Spieler in einen Zweikampf verwickelt. In vier von fünf Zweikämpfen erforderte der Kopfball eine Behauptung des Kopfball-ausführenden Spielers im direkten Körperkontakt. Zweikampfsituationen und besonders Kopfballduelle – gegebenenfalls auch mit mehreren beteiligten Spielern in einer Situation – sollten speziell auf und neben dem Spielfeld in theoretischen wie praktischen Einheiten ins Training integriert werden, um einen verletzungsvermeidenden und letztlich verantwortungsvollen Umgang mit derartigen Situationen zu fördern.

5.1.2 Kopfverletzungen als Folge des Kopfballspiels?

Folglich der intensiven Forschung zum Kopfballspiel innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte resümierten einige Studien, dass das Kopfballspiel potentiell gefährlich für das Gehirn sei und es strukturell und neurochemisch verändere. Mögliche

Konsequenzen seien schwerwiegende Langzeitfolgen, wie z.B. die Chronisch-traumatische Enzephalopathie (CTE) (Allen und Karceski, 2017; Di Virgilio et al., 2016; Haran et al., 2013; Koerte et al., 2015, 2016; Lipton et al., 2013). Vor diesem Hintergrund gilt es auch das 2015 erlassene Kopfballverbot für die U-13 durch den US-amerikanischen Fußballverband zu sehen. Metaanalysen bestätigten währenddessen, dass bisher keine negativen Konsequenzen und Langzeitfolgen bei Kopfbällen bewiesen und daher zu erwarten sind (Kontos et al., 2016, 2017; Maher et al., 2014).

Die Prozentangaben für Kopfverletzungen unter allen Verletzungen im Fußball variieren in der Literatur (Andersen et al., 2004; Fuller et al., 2005; Junge und Dvorak, 2004, 2013; Luig et al., 2017). So bezifferte Luig et al. (2017) in einer Verletzungsanalyse die Rate für Kopfverletzungen bezogen auf alle zugezogenen Verletzungen im Fußball auf 6,6%. Dabei wurden Spiele der höchsten Ligen sportartenspezifisch untersucht und alle Verletzungen berücksichtigt, die zu Versicherungsfällen führten. Der Anteil der Schädelhirntraumata am Gesamtkollektiv der Kopfverletzungen wurde mit 16,6% angegeben. Laut Beaudouin et al. (2017) wurden in den Bundesliga-Saisons 2000/01 bis 2012/13 2,22 Kopfverletzungen pro 1000 Spielstunden gezählt. In der Metaanalyse von Maher et al. (2014) lagen die Raten für Schädelhirntraumata im Fußball zwischen 0,17 und 0,6 pro 1000 Spielstunden je nach gefundener Studie. In dieser Studie wurden Raten von kopfverletzungsträchtigen Situationen mit 24 bis 28 pro Spieler und 1000 Spielstunden ermittelt, wobei nicht jede kopfverletzungsträchtige Situation eine Kopfverletzung oder speziell ein SHT beinhaltete. Da im Rahmen dieser Studie kopfverletzungsträchtige Situationen nur innerhalb der qualitativen Analyse ausgewertet wurden, war die Fallzahl dieser relativ klein. Damit können allgemeine Aussagen auf Basis dieser Daten nur unzureichend getroffen werden. Zukünftige Studien zu kopfverletzungsträchtigen Situationen könnten sich vornehmlich auf die Analyse dieser konzentrieren und die so erhobenen Zahlen mit denen der vorliegenden Studie vergleichen.

Repräsentative und stratifizierte Studien zur Risikoeinschätzung Kopfball-bedingter Verletzungen, deren Umfang und Verteilung sowie zu verletzungs- und nicht-verletzungsbedingten Langzeitfolgen fehlen nach wie vor (Andersen et al., 2004; Kontos et al., 2016, 2017; Maher et al., 2014). In weiteren Studien sollte anhand der Auswertung von Verletzungsmeldungen oder einer prospektiven

Verletzungserhebung geklärt werden, wie hoch Inzidenzen von Schädelhirntraumata und schwere Verletzungen im Kopfbereich wirklich sind. Studien mit methodisch ausgereiftem Aufbau und praktischer Orientierung sind daher dringend erforderlich, um valide Aussagen zur Gefährlichkeit des Kopfballspiels treffen zu können.

Beim Vergleich der Kopfverletzungsgefahr mit anderen Sportarten zeigten die bislang durchgeführten Studien trotz heterogener Quoten durchweg niedrigere Verletzungshäufigkeiten beim Fußball als bei Sportarten wie American Football (0,7 SHT/1000 Spielstunden), Eishockey (0,8 SHT/1000 Spielstunden) oder Wrestling (1,1 SHT/1000 Spielstunden) (Mannix et al., 2016). Verglichen mit anderen Ballsportarten jedoch ist beim Fußball von einem eher hohen Risiko für Kopfverletzungen auszugehen, was die Notwendigkeit einer Sensibilisierung und Aufklärung unterstreicht.

Die vorliegende Studie wies auf einen vorhandenen Zusammenhang zwischen dem Kopfballspiel und kopfverletzungsträchtigen Situationen hin. So schienen Kopfballduelle in 61,0% (3. Liga) bis 71,4% (Regionalliga Bayern) für kopfverletzungsträchtige Situationen verantwortlich zu sein. Im Falle eines vorliegenden Zweikampfes erhöhte sich deren Anteil auf über 90%. Damit stellen Kopfballduelle und damit verbundene Zweikämpfe den Haupteinflussfaktor für kopfverletzungsträchtige Situationen dar. Vorherige Studien bezifferten den Einfluss von Kopfballduellen auf Kopftraumata als etwas geringer (Andersen et al., 2004; Fuller et al., 2005; Maher et al., 2014).

Spezielle Zweikampf- und Duell-spezifische Trainingseinheiten könnten als präventive Möglichkeiten zur Verringerung der Anzahl derartiger Situationen angesehen werden. Dabei gilt es - je nach Liga - spezielle Risikofaktoren zu identifizieren und in Trainingsschulungen einzubinden. Bezogen auf die vorliegende Arbeit wurden beispielsweise in der 3. Liga besonders viele kopfverletzungsträchtige Situationen im Strafraum erfasst. In der Regionalliga Bayern war besonders häufig die Stürmerposition involviert. Diese speziellen Risikofaktoren müssen in weiteren Studien Liga-spezifisch mit größeren Fallzahlen weiter untersucht und identifiziert werden.

Zusätzliche Liga-übergreifende Risikofaktoren für das Eintreten einer kopfverletzungsträchtigen Situation stellten hohe Ellenbogenpositionen (9,3 bzw. 7,9-fache OR-Erhöhung) sowie die Beteiligung von mehr als zwei Spielern dar (2,9 bzw.

3,6-fach erhöhtes Risiko). Andersen et al. (2004) zeigte bereits, dass zu hohe Ellenbogen-, Arm- und Handpositionen besonders im Kopfbereich des Gegners gefährlich im Hinblick auf Verletzungen sein können. In der hier durchgeführten Studie wurden bei 8,2% bis 9,5% (Regionalliga Bayern) bzw. 14,9% bis 16,8% (3. Liga) aller Kopfbälle zu hohe Ellenbogenpositionen beobachtet. Der Schlag des Gegners als Verletzungsursache mit einem Gesamtanteil von 37,8% steht dabei im Zusammenhang mit dem gefährlichen Spiel bei zu hohen Ellenbogenpositionen. Beaudouin et al. (2017) zeigte in einer Studie, dass auch Regeländerungen zu einer verminderten Verletzungsanzahl führen können. So nahm das härtere Bestrafen zu hoher Ellenbogenpositionen durch die gelbe Karte Einfluss auf die Inzidenz von Verletzungen. Der mögliche Zusammenhang eines erhöhten Risikos für kopfverletzungsträchtige Situationen bei Beteiligung mehrerer Spieler in einer Situation wurde im Rahmen dieser Arbeit erstmals festgestellt und sollte in fortführenden Studien weiter untersucht werden. Unbeabsichtigte Abschüsse aus kurzer Distanz und Stürze gelten laut einiger Studien als Risikofaktoren (Beaudouin et al., 2017; Delaney et al., 2006), traten in der vorliegenden Datenkonstellation aber seltener auf als bisher angenommen und sind ohnehin präventiv schwer zu verhindern.

5.1.3 Vergleich zwischen Amateur- und Profibereich

Mit der Auswahl der 3. Liga und Regionalliga Bayern als Übergangsbereich zwischen den Profis und Amateuren sollten Aussagen über die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Spielniveaus bezüglich des Kopfballspiels und kopfverletzungsträchtiger Situationen ermöglicht werden. Insgesamt zeigte sich ein homogenes Kopfball-Verteilungsmuster bezüglich der Spielfeldaufteilung mit dem Mittelfeld als führenden Bereich. Auch die dominierenden Spielerpositionen glichen sich in beiden Ligen. So führten größtenteils Verteidiger und Mittelfeldspieler und davon wiederum jeweils die defensiv ausgerichteten Akteure die Kopfbälle mit überwiegend defensiver Intention aus.

Parallel fiel auch bei der Analyse der Spielsituationen auf, dass eine Zwei-Drittel-Mehrheit der Kopfbälle aus dem freien Spiel heraus stattfand und Folge eines Anspiels vom Gegner war. In derselben Größenordnung ereigneten sich die Kopfbälle in beiden Ligen im Rahmen eines Sprunges. Als weitere Gemeinsamkeit beider Ligen wurde festgestellt, dass die Spieler den Kopfball überwiegend als Möglichkeit des Passes

bzw. Klärens einer Situation benutzen und dabei den Ball vor allem frontotemporal mit dem Kopf berührten.

Der Kopfball wird gerade mit steigender Professionalität und Altersklasse als Spielmittel und für einen Torerfolg genutzt (Ekblom, 1994; Krutsch et al., 2017). Anhand der Ergebnisse dieser Studie konnte dies unterstrichen werden, da in der 3. Liga beispielsweise mit dem Kopf bei weniger Torschussversuchen mehr Tore erzielt wurden. Auch zeigte sich eine um 20% höhere Kopfballbelastung der professionellen Spieler der 3. Liga im Vergleich zur denen der Regionalliga Bayern. Jeder Spieler der 3. Liga führte im Durchschnitt einen Kopfball mehr pro Spiel aus (6,4 Kopfbälle pro Spiel und Spieler in der 3. Liga gegenüber 5,3 in der Regionalliga Bayern). Auch die Rate kopfverletzungsträchtiger Situationen war in der 3. Liga mit 0,9 pro Spiel höher als die der Regionalliga Bayern mit 0,8. In der 3. Liga lag außerdem eine deutlich erhöhte Frequenz kopfverletzungsträchtiger Situationen nach Standardsituationen vor, was ein erhöhtes Risiko nach ruhenden Bällen bei steigender Professionalisierung vermuten lässt. Im Hinblick auf Präventionsmaßnahmen sollte daher regelmäßiges Standardsituationstraining - auch theoretischer Natur - Einzug finden. Verletzungen und (kopf-)verletzungsträchtige Situationen könnten durch eine aggressivere Spielweise leichter auftreten (Giannotti et al., 2010). Als Bestätigung dieser Beobachtungen kann auch die gefährlichere Spielweise durch zu hohe Ellenbogenpositionen herangezogen werden, die als Risikofaktor in beiden Ligen identifiziert, in der 3. Liga jedoch fast doppelt so häufig beobachtet wurde. Bei der Risikoanalyse ließ sich auf der anderen Seite für die Regionalliga Bayern ein um den Faktor vier erhöhtes Liga-spezifisches Risiko für das Vorliegen einer kopfverletzungsträchtigen Situation beim Vorliegen eines Kopfballduells bestimmen (4-fach vs. 16-fach). Ob das Fußballspiel mit steigender Professionalisierung risikoreicher, körperbetonter und dynamisch schneller ausgeführt wird und darüber zu insgesamt mehr Verletzungen und speziell Kopfverletzungen führt, konnte im Rahmen dieser Studie nicht beantwortet werden. Weitere Studien anderer Studienkollektive und mit größeren Fallzahlen zur Überprüfung dieser These und zur Risikoeinschätzung anderer Ligen sind hier dringend erforderlich.

Beim Vergleich der verletzungsbedingten Auswechslungen war zu beobachten, dass es in der niedrigeren Spielklasse zu mehr Auswechslungen kam (5,6% gegenüber 4,4%). Ob dies an unterschiedlichen Risikobewertungen, einer verletzungsbilligenden

Einstellung mit steigender Professionalisierung oder aber dem verbesserten Trainingszustand der Kopf-Hals-Muskulatur gründete, lässt sich in der vorliegenden Studienkonstellation nicht nachvollziehen.

5.1.4 Fort- und Weiterbildung zur Prävention von Kopfverletzungen

Die geringe Meldequote von Kopfverletzungen ist als unterrepräsentiertes Problem im Sport bekannt (Krutsch et al., 2017; McCrea et al., 2004). Aufgrund der erschwerten Diagnosefindung in Akutsituationen, insbesondere am Spielfeldrand, ist die Rate übersehener sportassoziierter Schädelhirntraumata sowie Gehirnverletzungen gerade im Amateurbereich hoch. Auch das Fehlen medizinischen Fachpersonals am Spielfeldrand bedingt dies mit (Krutsch et al., 2017). Diese Situation verdeutlicht, dass dringend Strategien zur verbesserten Akutdiagnostik und wissenschaftlichen Versorgung notwendig sind.

Ein möglicher Ansatzpunkt hierbei können Schulungen und Weiterbildungen sein, um für das Thema Kopfverletzung im Sport zu sensibilisieren (Fuller et al., 2006; Klügl et al., 2010; Krutsch et al., 2017; McCrory et al., 2013). Training von Fair Play und Vermeidungsstrategien von Foulspielen in Zweikampfsituationen sowie das Trainieren einer adäquaten Halsmuskulatur und Erlernen der richtigen Kopfballtechnik sind weitere wichtige Präventionsstrategien (Dezman et al., 2013; Dvorak et al., 2009; McCrory et al., 2013; Shewchenko et al., 2005). Die Analyse der Zweikampfsituationen bei Kopfbällen und kopfverletzungsträchtigen Situationen dieser Studie kann dabei als Fundament zur Erstellung von geeigneten Trainingsplänen dienen.

Durch restriktives Eingreifen bei gefährlichen Spielweisen und Foulspielen kann auch der Schiedsrichter Einfluss auf die Prävalenz von Verletzungen nehmen (Beaudouin et al., 2017; Nilsson et al., 2013). Nach eigener Bewertung der kopfverletzungsträchtigen Situationen im gemeinsamen Konsens der Begutachter wurden - vermehrt in der Regionalliga Bayern - Foulspiele fehlbewertet. Demnach wurden insgesamt vier Foulspiele (10,8%) vom Schiedsrichter übersehen. Zusätzlich wurde jeweils eine vermeintliche Tätlichkeit in beiden Ligen vom Schiedsrichter nicht geahndet. Auch bei der Kartenbestrafung zeigte sich, dass Schiedsrichter gerade in der Regionalliga Bayern die Foulspiele der kopfverletzungsträchtigen Situationen seltener mit einer Karte ahndeten: Im Rahmen der Statistik der

kopfverletzungsträchtigen Situationen wurden in der Regionalliga Bayern bei 85,7% der Foulspiele keine Karte gezeigt gegenüber 68,0% in der 3. Liga. Dies unterstreicht die Wichtigkeit der Schiedsrichter-Bildung auch in den unteren Spielklassen, um über einen stringenteren Führungsstil Verletzungen vorzubeugen.

Gerade im Hinblick auf kopfverletzungsträchtige Situationen sollten daher auch die Schiedsrichter sensibilisiert und angehalten werden, diese strenger zu ahnden, um so deren Zahl zu reduzieren.

5.2 Methodische Aspekte

5.2.1 Die Videoanalyse als Instrument der Spielanalyse

Im Rahmen dieser Promotionsarbeit wurden die Spiele der Saison 2016/17 der 3. Liga und Regionalliga Bayern standardisiert mithilfe der Videoanalyse untersucht (vgl. 3.1.1). Die Videoanalyse kann nicht nur von Vereinen und Sportexperten zur Spielaufbereitung, sondern auch zu wissenschaftlichen Zwecken genutzt werden. Sie diente bereits in mehreren Forschungsarbeiten (Andersen et al., 2003, 2004; Burger et al., 2016; Gardner et al., 2016, 2017; Makdissi und Davis, 2016; Tucker et al., 2017; Waldén et al., 2015) als suffizientes Instrument zur Analyse von Spiel- und verletzungsträchtigen Situationen. So wurden bereits zu verschiedenen Forschungsfragen neben dem Fußball die Sportarten American Football, Rugby oder auch Eishockey mithilfe des Instruments der Videoanalyse untersucht.

Einer der größten Vorteile der Videoanalyse ist es dabei, dass der zu untersuchende Sachverhalt zeitverzögert repetitiv und – wenn vorhanden – aus mehreren Blickwinkeln betrachtet werden kann. Zeitlupen und Geschwindigkeitsveränderungen können dabei zur besseren Einsicht spezieller, zuvor definierter Sachverhalte hilfreich sein. Qualitativ hochwertige Videoaufnahmen mit gleichbleibendem Blickwinkel bzw. standardisierten Kameraeinstellungen erhöhen dabei die Qualität der Analyse. Übersichtspositionen der Kamera verschaffen außerdem eine bessere Einsicht auf das Spielgeschehen. Im Rahmen dieser Studie lagen bei den einzelnen Spielen überwiegend einheitliche Kamerapositionen vor. Die Videoqualität glich sich außerdem durch eine überwiegende Ähnlichkeit der Aufnahmen. Mit absteigender Professionalität der Ligen verringerte sich mitunter die Bildqualität der Videos, sodass vorwiegend in der Regionalliga Bayern einige Spielsituationen aufgrund dessen nicht adäquat beurteilt werden konnten und so zu minimalen Fehlraten einzelner Parameter

führten (3. Liga: 0,04% bzw. 389/96145 fehlende Einträge, Regionalliga Bayern: 0,1% bzw. 646/66078 fehlende Einträge; siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Datenvollständigkeit

	3. Liga	Regionalliga
Kopfballanalyse		
Kopfbälle insgesamt	5439	3827
Spielstand	99,9% (5434)	99,6% (3810)
Spielerposition	99,5% (5414)	99,0% (3789)
Taktische Ausrichtung	99,7% (5424)	99,2% (3795)
Spielsituation	98,1% (5336)	97,9% (3748)
Ballherkunft	98,4% (5353)	97,3% (3722)
Flugweg des Balles	99,9% (5437)	99,7% (3817)
Bewegung zum Ball	99,4% (5409)	98,6% (3772)
Eingangswinkel des Balles	99,9% (5434)	99,9% (3823)
Richtungsänderung des Balles nach Kopfball	99,9% (5434)	99,7% (3816)
Art des Kopfballs	99,7% (5425)	99,2% (3795)
Auftrefffläche auf den Kopf	99,5% (5413)	98,1% (3754)
Zweikampf-Aktion	99,9% (5435)	99,5% (3807)
Zweikampfactionen insgesamt	2841	1701
Lokalisation der Spieler	99,6% (2831)	99,2% (1687)
Körperkontakt	99,5% (2827)	98,9% (1682)
Registrierter Körperkontakt insgesamt	2188	1413
Foulspiel	99,5% (2178)	99,6% (1408)
Ellenbogenposition des Spielers	98,8% (2808)	98,5% (1676)
Ellenbogenposition des Gegners	98,8% (2808)	98,5% (1675)
Sprungsituation des Gegners	99,6% (2829)	99,1% (1685)
Sprungsituation des Spielers	99,7% (5422)	99,1% (3794)
Registrierte Sprünge insgesamt	3606	2582
Art der Landung des Spielers nach Sprung	99,6% (3592)	100% (2582)
Spielfeldzone	99,5% (5413)	99,2% (3795)
Analyse der kopfverletzungsträchtigen Situationen		
Kopfverletzungsträchtige Situationen insgesamt	45	37
Spielerschicksal	100% (45)	97,3% (36)
Auswechslung	100% (45)	97,3% (36)
Grundaktion	100% (45)	94,6% (35)
Spielaktion	100% (45)	94,6% (35)
Eigene Bewertung der Foulsituation	100% (45)	91,6% (34)

Die genannten fehlenden Einträge führten daher potentiell zur etwaigen Nichterfassung einzelner Situationen und stellen dadurch eine Fehlerquelle in Form zu niedrig erfasster Kopfball- und kopfverletzungsträchtiger Situationen dar. Aufgrund der Fehlraten von max. 0,1 % ist der daraus entstehende Fehler jedoch als geringfügig zu bewerten. Anders ausgedrückt wurden also insgesamt 99,9% aller möglichen Daten erhoben.

Insgesamt war die Qualität der zur Verfügung stehenden Videoaufnahmen hinsichtlich der Erfassung epidemiologischer Zahlen zu Kopfball- und kopfverletzungsträchtigen Situationen für die vorliegende Analyse als adäquat und vergleichbar zu betrachten.

Wichtig für die Objektivität einer Studie ist, dass der zu untersuchende Sachverhalt möglichst unabhängig subjektiver Wertungen des Untersuchers analysiert wird. Zu diesem Zweck erfolgte die Auswertung der Spiele situationsbezogen anhand standardisierter Erhebungsbögen und mittels des Mehraugenprinzips. Anhand der gemeinsamen Analyse mehrerer Untersucher und der Anwendung des Konsensverfahrens wurde versucht, eine größtmögliche Untersucherobjektivität zu gewährleisten.

5.2.2 Standardisierte Fragebögen zur Erfassung der Daten

Im Rahmen dieser Arbeit dienten standardisierte Fragebögen, die bereits für vorherige Forschungszwecke in der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie der Universitätsklinik Regensburg entwickelt und validiert wurden, der Erfassung der Parameter (vgl. 3.1.2). Diese wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit in eine online-basierte Form integriert. Um die Interrater-Reliabilität zu verbessern, galt es, die zu untersuchenden Parameter möglichst präzise zu definieren (Gardner et al., 2016; Makdissi et al., 2016). Im Rahmen der Online-Integration wurden daher die Erhebungsbögen weiterhin auf deren Präzision verbessert, jedoch in ihrem Charakter und deren Zusammensetzung nicht verändert. Die meisten dieser Verbesserungen zielten auf Items mit qualitativen Fragestellungen, wie beispielsweise die Klärung der Spielposition des köpfenden Spielers, ab. Bei diesen Parametern konnte – anders als im Fragebogen in Papierform – in der Online-basierten Form nur noch eine Antwortmöglichkeit ausgewählt werden. Bei einigen quantitativen Rubriken wurden die Auswahlmöglichkeiten zu einer einzigen

zusammengefasst, beispielsweise bei der Abschätzung der zurückgelegten Strecke oder dem Ein- und Ausgangswinkel des Balles vor dem Kopfball.

5.2.3 Der Critical Incident als Marker potentieller Verletzungssituationen

Bei der bereits beschriebenen qualitativen Analyse wurden neben den Kopfballen auch kopfverletzungsträchtige Situationen analysiert. Diese wurden anhand der bereits im Kapitel 3.1.2. beschriebenen Kriterien bewertet. Im Rahmen sportlicher Analysen fand der Critical Incident schon mehrfach sportarten-übergreifend Verwendung (Bjørneboe et al., 2014; Carling et al., 2005; O'Donoghue, 2010).

Schwächen der Critical Incident-Definition bestehen aufgrund der im Fußballsport im Vergleich zu anderen Sportarten vermehrten Theatralik nach begangenen oder nicht begangenen Foulspiel. Diese Entwicklung war und ist auch im Amateur- und unteren Profiligabereich zu beobachten und führt so zu einer erhöhten Erfassung kopfverletzungsträchtiger Situationen ohne pathologische Relevanz, was eine Trennung zwischen wahrer potentieller Foul- und Verletzungssituation und vorgetäuschter Verletzung verschwimmen lässt. Andererseits verzichteten einige Spieler trotz tatsächlich vorhandenem Schmerzzustand auf eine medizinische Behandlung, um am Spiel weiter teilnehmen zu können. Diejenigen Situationen entgingen somit einer Aufnahme in die Datenbank. Gerade in der Regionalliga Bayern war außerdem zu beobachten, dass trotz offensichtlicher Verletzung nicht immer eine Spielunterbrechung durch den Schiedsrichter stattfand. In die Datenbank aufgenommen wurden im Rahmen der vorliegenden Analyse alle Situationen, bei denen theoretisch eine mögliche kopfverletzungsträchtige Situation vorlag – unabhängig von der Schwere der Verletzung, einem möglichen Simulieren des Spielers oder dem Pfiff des Schiedsrichters. Eine weitere Schwäche im Hinblick auf das Vorliegen von Schädelhirntraumata ist die Tatsache, dass diese sich auch zeitverzögert manifestieren können, sodass sie bei einer Selektion von kopfverletzungsträchtigen Situationen nach den genannten Kriterien gegebenenfalls nicht erfasst werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde nur eine begrenzte Anzahl an kopfverletzungsträchtigen Situationen untersucht, sodass Aussagen zu Risikoprofilen, beispielsweise im Rahmen der OR-Berechnung, nur bedingten Aussagewert besitzen.

In zukünftigen Studien sollten größere Fallzahlen verwendet werden. Die daraus gewonnenen Ergebnisse könnten dann mit denen dieser Studie verglichen werden.

Zu den Stärken der Definition eines Critical Incident gehört die Überauswahl von Situationen, die im Rahmen der Kriterien-Auswahl aufgenommen wurden. Bei der Ableitung von Präventionsstrategien kann bei der großen Anzahl von erfassten Situationen auf ein breiteres Anforderungsprofil Bezug genommen werden und damit könnten theoretisch durch Aufklärung und Training mehr Kopfverletzungen verhindert werden (Junge et al., 2002; Kaut et al., 2003, Shewchenko et al., 2005; Klügl et al., 2010; Lin et al., 2015; Toninato et al., 2018). Die wahre Verletzungsanzahl entspricht dabei nur einem Teil der erfassten Frequenz kopfverletzungsträchtiger Situationen. Von diesem wiederum liegt nur bei einem kleinen Bruchteil eine schwere Kopfverletzung wie beispielsweise eine Schädelfraktur oder ein Schädelhirntrauma vor. Hierbei sind mehr Studien für die Gewinnung von verlässlicheren epidemiologischen Daten notwendig. Zur Klärung der wahren Verletzungshäufigkeit ist ein Abgleich mit einer Verletzungsdatenbank oder die prospektive Erhebung epidemiologischer Daten während einer Saison von Nöten.

5.3 Fazit

Das Köpfen des Balles ist ein wichtiger integraler Teil des Fußballsports. Mögliche gesundheitsschädigende Auswirkungen und Folgen sind in den letzten zwei Jahrzehnten medial viel diskutiert worden und bereits Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten gewesen. Dabei sind diverse neuropsychologische Kurzzeit- und Langzeitfolgen beschrieben worden, die sich auf unterschiedliche Kopfballzahlen und theoretische Überlegungen stützen.

Die vorliegende, retrospektive Studie hatte zum Ziel, erstmals epidemiologische Daten zum Kopfballspiel und zu damit verbundenen kopfverletzungsträchtigen Situationen zu erheben, um damit möglichst genau den realen Spielbetrieb abzubilden. Dazu wurden mithilfe der Videoanalyse die Spiele der Saison 2016/17 der 3. Liga als unterste Profiligen und der Regionalliga Bayern als oberste Amateurliga auf verschiedene Fragestellungen hin analysiert. Diese wurden im Rahmen der Datengewinnung durch bereits verwendete, standardisierte Fragebögen einer umfassenden Analyse unterzogen.

Im Rahmen dieser Studie zeigte sich, dass es neben Gemeinsamkeiten auch einige Unterschiede zwischen den Spielniveaus, insbesondere im Hinblick auf die Häufigkeit von Kopfbällen und deren Anforderungsprofil, gab. Diese Arbeit konnte durch die epidemiologische Analyse der Kopfballfrequenz zeigen, dass – abhängig von der Liga – von einer gemittelten Kopfballhäufigkeit von 5,3 bis 6,4 Kopfbällen pro Spiel und Spieler ausgegangen werden kann. Bisherige Studien sollten auf Basis dieser Werte neu eingeordnet und bewertet werden. Zukünftige interventionelle Studien zum Thema Kopfballsport und dessen Folgen können die hier ermittelten Parameter als Fundament für einen praxisorientierten Aufbau nutzen. Außerdem können die Ergebnisse dieser Studie in präventiven Maßnahmen in Form von Aufklärung und Trainingsschulungen Verwendung finden, um so zukünftig für das Thema Kopfverletzungen zu sensibilisieren und letztlich das Auftreten von Kopfverletzungen zu reduzieren.

6 Literaturverzeichnis

1. Allen, B., Karceski, S. (2017). Soccer and head injuries: What is the risk? *Neurology*, 88(9), 74–75. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000003669>
2. Andersen, T. E., Árnason, Á., Engebretsen, L., Bahr, R. (2004). Mechanisms of head injuries in elite football. *British Journal of Sports Medicine*, 38(6), 690–696. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2003.009357>
3. Andersen, T. E., Larsen, O., Tenge, 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.
4. Barnes, B., Cooper, L., Kirkendall, D., McDermott, T., Jordan, B., Garrett, W. (1998). Concussion history in elite male and female soccer players. *American Journal of Sports Medicine*, 26(3), 433–438. Abgerufen am 10.10.2018 von <http://myaccess.library.utoronto.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=rzh&AN=107300396&site=ehost-live>
5. Baroff, G. (1998). Is heading a soccer ball injurious to brain function? *J Head Trauma Rehabil*, 13(2), 45–52.
6. Bartens, W. (2016). Wie Kopfbälle das Gehirn schädigen. *Süddeutsche Zeitung*, 2–5.
7. Baugh, C. M., Stamm, J. M., Riley, D. O., Gavett, B. E., Shenton, M. E., Lin, A., Stern, R. A. (2012). Chronic traumatic encephalopathy: Neurodegeneration following repetitive concussive and subconcussive brain trauma. *Brain Imaging and Behavior*, 6(2), 244–254. <https://doi.org/10.1007/s11682-012-9164-5>
8. Beaudouin, F., aus der Fünten, K., Tröß, T., Reinsberger, C., Meyer, T. (2017). 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*, 1–6. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097217>
9. Biberthaler, P., Aschenbrenner, I. (2012). Schädel-Hirn-Trauma. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20697-9>
10. 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. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091856>
11. Broglio, S., Eckner, J., Paulson, H., Kutcher, J. (2012). Cognitive decline and

- aging: the role of concussive and subconcussive impacts. *Exerc Sport Sci Rev*, 40(3), 138–144. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3182524273>
12. Bundesgesundheitsministerium. (2018). Glossar: Prävention. Abgerufen am 10.10.2018 von <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/begriffe-von-a-z/p/praevention.html>
 13. Burger, N., Lambert, M. I., Viljoen, W., Brown, J. C., Readhead, C., Hendricks, S. (2016). Tackle technique and tackle-related injuries in high-level South African Rugby Union under-18 players: Real-match video analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 50(15), 932–938. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095295>
 14. Cantu, R. (1998). Second-impact syndrom. *Clin J Sport Med*, 17(1), 37–44.
 15. Cantu, R., Hyman, M. (2012). *Concussions and Our Kids: America's Leading Expert on How to Protect Young Athletes and Keep Sports Safe*. Houghton Mifflin Harcourt.
 16. Carling, C., Education, P., Behaviour, M., Federations, N., Sciences, E., Commission, W. (2005). *Handbook of Soccer Match Analysis*. <https://doi.org/10.4324/9780203448625>
 17. Comstock, R. D., Currie, D. W., Pierpoint, L. A., Grubenhoff, J. A., Fields, S. K. (2015). An evidence-based discussion of heading the ball and concussions in high school soccer. *JAMA Pediatrics*, 169(9), 830–837. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2015.1062>
 18. Cournoyer, J., Tripp, B. L. (2014). Concussion knowledge in high school football players. *Journal of Athletic Training*, 49(5), 654–658. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.34>
 19. Delaney, J. S., Al-Kashmiri, A., Correa, J. A. (2006). Mechanisms of injury for concussions in university Football, Ice hockey and Soccer. *Clin J Sport Med.*, 24(3), 233–237. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000017>
 20. Delaney, J. S., Lacroix, V. J., Leclerc, S., Johnston, K. M., West, P. A. (2002). Concussions Among University Football and Soccer Players 1- McGill Sport Medicine Clinic 1- McGill Sport Medicine Clinic. *Health (San Francisco)*, (514), 1–26.
 21. Dezman, Z. D. W., Ledet, E. H., Kerr, H. A. (2013). Neck Strength Imbalance Correlates With Increased Head Acceleration in Soccer Heading. *Sports Health*, 5(4), 320–326. <https://doi.org/10.1177/1941738113480935>
 22. DFB. (2017). Mitglieder-Statistik. Abgerufen am 8.3.2018 von

https://assets.dfb.de/uploads/000/141/295/original_Mitglieder-Statistik_2017_final.pdf?1499162648

23. Di Virgilio, T. G., Hunter, A., Wilson, L., Stewart, W., Goodall, S., Howatson, G., Letswaart, M. (2016). Evidence for Acute Electrophysiological and Cognitive Changes Following Routine Soccer Heading. *EBioMedicine*, 13, 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2016.10.029>
24. Dvorak, J., Junge, A., Grimm, K. (2009). F-MARC Football Medicine Manual 2. F-MARC Football Medicine Manual.
25. Ekblom, B. (1994). Goalkeeper injuries. *Handbook of sports medicine and science*. London.
26. Ekblom, B. (1994). The history of football (soccer). *Handbook of Sports Medicine and Science*, Blackwell.
27. FIFA. (2007). 265 Millionen spielen Fußball. *FIFA Magazine*, 11–13.
28. Firsching, R., Rickels, E., Mauer, U. M., Sakowitz, M., Messing-Jünger, M., Engelhard, K., Schwerdtfeger, K. (2014). Leitlinie Schädelhirntrauma im Erwachsenenalter. Abgerufen am 20.03.2017 von www.awmf.org/uploads
29. Fuller, C., 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(1). <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.018937>
30. Fuller, C., Molloy, M., Bagate, C., Bahr, R., Brooks, J., Donson, H., ... Wiley, P. (2006). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures for studies of injuries in rugby union. 16(September), 1–14. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.025270>
31. Gänszlen, A., Schmehl, I. (2015). Leichtes Schädel-Hirn-Trauma im Sport. Handlungsempfehlungen. Bundesinstitut für Sportwissenschaft. Abgerufen am 15.6.2018 von https://www.bisp.de/SharedDocs/Downloads/Publikationen/Athletenbroschüren/LSHT_Schaedel_Hirn_Trauma_Sport.pdf?__blob=publicationFile&v=1
32. 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. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092646>
33. Gardner, A. J., Iverson, G. L. I., Stanwell, P., Moore, T., Ellis, J., Levi, C. R. (2016). A Video Analysis of Use of the New ‘Concussion Interchange Rule’ in the National Rugby League. *Int J Sports Med*, 37(4), 267–273. <https://doi.org/10.1055/s-0035->

34. Gardner, A. J., Kohler, R. M. N., 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(1), 71–75. <https://doi.org/10.1055/s-0042-116072>
35. Giannotti, M., Al-Sahab, B., McFaull, S., Tamim, H. (2010). Epidemiology of acute head injuries in Canadian children and youth soccer players. *Injury*, 41(9), 907–912. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2009.09.040>
36. Giza, C., Kutcher, J., Ashwal, S., Barth, J., Getchius, T., Gioia, G., ... Zafonte, R. (2013). Summary of evidence-based guideline update: evaluation and management of concussion in sports: report of the Guideline Development Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*, 80(24), 2250–2257. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e31828d57dd>
37. Guskiewicz, K., Marshall, S., Bailes, J., McCrea, M., Cantu, R., Randolph, C., Jordan, B. (2005). Association between recurrent concussion and late-life cognitive impairment in retired professional football players. *Neurosurgery*, 57(4), 719–726.
38. Guskiewicz, K., McCrea, M., Marshall, S., Cantu, R., Randolph, C., Barr, W., ... Kelly, J. (2003). Cumulative effects associated with recurrent concussion in collegiate football players: the NCAA Concussion Study. *JAMA*, 290(19), 2549–2555. <https://doi.org/10.1001/jama.290.19.2549>
39. Guskiewicz, K., Weaver, N., Padua, D., Garrett, W. J. (2000). Epidemiology of concussion in collegiate and high school football players. *Am J Sports Med*, 28(5), 643–650. <https://doi.org/10.1177/03635465000280050401>
40. Hagglund, M. (2007). *Epidemiology and Prevention of Football Injuries [dissertation]*. Linköping (Schweden).
41. Haran, F., Thierney, R., Wright, W., Keshner, E., Silter, M. (2013). Acute Changes in Postural Control after Soccer Heading. *Int J Sport Med*, 34, 350–354. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2003.004887>
42. Harmon, K., Drezner, J., Gammons, M., Guskiewicz, K., Halstead, M., Herring, S., ... Roberts, W. (2013). American Medical Society for Sports Medicine position statement: concussion in sport. *Br J Sports Med*, 47(1), 15–26. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091941>
43. Helmich, I., Saluja, R. S., Lausberg, H., Kempe, M., Furley, P., Berger, A., ... Ptito,

- A. (2015). Persistent Postconcussive Symptoms Are Accompanied by Decreased Functional Brain Oxygenation. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 27(4), 287–298.
<https://doi.org/10.1176/appi.neuropsych.14100276>
44. Jones, N. S. (2014). Update: Soccer injury and prevention, concussion, and chronic groin pain. *Current Sports Medicine Reports*, 13(5), 319–325.
<https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000085>
45. Jordan, B. (2000). Chronic traumatic brain injury associated with boxing. *Semin Neurol.*, 20(2), 179–185.
46. Junge, A., Dvorak, J. (2004). Soccer injuries: a review on incidence and prevention. *Sports Med.*, 34(1), 929–938.
47. Junge, A., Dvorak, J. (2013). Injury surveillance in the World Football Tournaments 1998-2012. *British Journal of Sports Medicine*, 47(12), 782–788.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092205>
48. Junge, A., Rösch, D., Peterson, L., Graf-Baumann, T., Dvorak, J. (2002). Prevention of soccer injuries: a prospective intervention study in youth amateur players. *American Orthopaedic Society for Sports Medicine*, 30(5), 652–659.
<https://doi.org/10.1177/03635465020300050401>
49. Kaut, K., DePompei, R., Kerr, J., Congeni, J. (2003). Reports of head injury and symptom knowledge among college athletes: implications for assessment and educational intervention. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 13(4), 213–221.
50. Kirkendall, D., Jordan, S., Garrett, W. (2001). Heading and head injuries in soccer. *Sports Med.*, 31(5), 369–386.
51. Kleindienst, A. (2017). S100B als Biomarker für Schädel-Hirn-Traumen. *Trillium Diagnostik*. Abgerufen am 6.8.2018 von <https://www.trillium.de/zeitschriften/trillium-diagnostik/trillium-diagnostik-ausgaben-2017/td-12017/in-vitro-diagnostik/s100b-als-biomarker-fuer-schaedel-hirn-traumen-mit-cme-fragebogen.html>
52. Klügl, M., Shrier, I., McBain, K., Meeuwisse, W., Garza, D., Matheson, G. (2010). The prevention of sport injury: an analysis of 12,000 published manuscripts. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 20(6), 407–412.
<https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3181f4a99c>
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. <https://doi.org/10.1089/neu.2014.3715>
54. 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(3), 792–798. <https://doi.org/10.1007/s11682-015-9442-0>
55. Kontos, A. P., Braithwaite, R., Chrisman, S. P. D., McAllister-Deitrick, J., Symington, L., Reeves, V. L., Collins, M. W. (2016). Meta-analytical review of the effects of football heading. *BJSM*, 0(December), 1–8. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096276>
56. Kontos, A. P., Braithwaite, R., Chrisman, S. P. D., 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. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096276>
57. Krutsch, V., Krutsch, W., Jansen, P., Hoffmann, H., Angele, P., Lehmann, J., ... Weber, J. (2017). Prevention of Head and Brain Injuries in Football: Is there a Need to Ban Headings? *Sportverletzung-Sportschaden*, 31(3). <https://doi.org/10.1055/s-0043-113208>
58. Krutsch, V., Gesslein, M., Loose, O., Weber, J., Nerlich, M., Gaensslen, A., ... Krutsch, W. (2017). Injury mechanism of midfacial fractures in football causes in over 40% typical neurological symptoms of minor brain injuries. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 0(0), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4431-z>
59. Li, S., Kuroiwa, T., Ishibashi, S., Endo, S., Ohno, K. (2006). Transient cognitive deficits are associated with the reversible accumulation of amyloid precursor protein after mild traumatic brain injury. *Neuroscience Letters*, 409(3), 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.09.054>
60. Lin, A. C., Salzman, G. A., Bachman, S. L., Burke, R. V., Zaslow, T., Piasek, C. Z., ... Upperman, J. S. (2015). Assessment of Parental Knowledge and Attitudes Toward Pediatric Sports-Related Concussions. *Sports Health*, 7(2), 124–129. <https://doi.org/10.1177/1941738115571570>
61. Ling, H., Morris, H. R., Neal, J. W., Lees, A. J., Hardy, J., Holton, J. L., ... Williams, D. D. R. (2017). Mixed pathologies including chronic traumatic encephalopathy account for dementia in retired association football (soccer) players. *Acta Neuropathologica*, 133(3), 337–352. <https://doi.org/10.1007/s00401-017-1680-3>

62. 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. <https://doi.org/10.1148/radiol.13130545>
63. Lovell, M., Collins, M., Bradley, J. (2004). Return to play following sports-related concussion. *Clin Sports Med.*, 23(3), 421–441.
64. Lovell, M. R., Collins, M., Iverson, G., Field, M., Maroon, J., Cantu, R., ... Fu, F. (2003). Recovery from mild concussion in high school athletes. *J Neurosurg*, 98(2), 296–301. <https://doi.org/10.3171/jns.2003.98.2.0296>
65. Luig, P., Bloch, H., Burkhardt, K., Klein, C., Kühn, N. (2017). VBG-Sportreport 2017. VBG.
66. 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. <https://doi.org/10.3109/02699052.2013.865269>
67. Makdissi, M., Davis, G. (2016). 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. Abgerufen am 10.10.2018 von http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/707423/description#description%5Cnhttp://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed18b&NEWS=N&AN=609133924
68. Makdissi, M., Davis, G. (2016). Using video analysis for concussion surveillance in Australian football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(12), 958–963. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.02.014>
69. Mannix, R., Meehan, W., Pascual-Leone, A. (2016). Sports-related concussions - media, science and policy. *Nat Rev Neurol*, 12(8). <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2016.99>
70. Marar, M., McIlvain, N. M., Fields, S. K., Comstock, R. D. (2012). Epidemiology of concussions among United States high school athletes in 20 sports. *Am J Sports Med.*, 40(4), 747–755. <https://doi.org/10.1177/0363546511435626>
71. McAllister, T. W., Flashman, L. A., Maerlender, A., Greenwald, R. M., Beckwith, J. G., Tosteson, T. D., ... Turco, J. H. (2012). Cognitive effects of one season of head impacts in a cohort of collegiate contact sport athletes. *Neurology*, 78(22), 1777–1784. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3182582fe7>

72. McAllister, T. W., McCrea, M. (2017). Long-Term Cognitive and Neuropsychiatric Consequences of Repetitive Concussion and Head-Impact Exposure. *J Athl Train*, 52(3), 309–317. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-52.1.14>.
73. McCrea, M., Hammeke, T., Olsen, G., Leo, P., Guskiewicz, K. (2004). Unreported concussion in high school football players: implications for prevention. *Clin J Sport Med*, 14(1), 13–17. <https://doi.org/10.1097/00042752-200401000-00003>
74. McCrea, M., Guskiewicz, K. M., Marshall, S. W., Barr, W., Randolph, C., Cantu, R. C., ... Kelly, J. P. (2003). Acute Effects and Recovery Time Following. *The Journal of the American Medical Association*, 290(19), 2556–2563. <https://doi.org/10.1001/jama.290.19.2556>
75. McCrory, P. (2011). Sports concussion and the risk of chronic neurological impairment. *Clin J Sport Med*, 21(1), 6–12. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e318204db50>
76. McCrory, P., Meeuwisse, W., Dvořák, 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. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097699>
77. McCrory, P., Meeuwisse, W. H., Aubry, M., Cantu, B., Dvořák, J., Echemendia, R. J., ... Turner, M. (2013). Consensus statement on concussion in sport: The 4th International Conference on Concussion in Sport held in Zurich, November 2012. *British Journal of Sports Medicine*, 47(5), 250–258. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092313>
78. McKee, A. C., Daneshvar, D. H., Alvarez, V. E., Stein, T. D. (2014). The neuropathology of sport. *Acta Neuropathologica*, (127), 29–51. <https://doi.org/10.1007/s00401-013-1230-6>
79. Moser, N., Bloch, H. (2015). Return-to-Competition: Testmanual zur Beurteilung der Spielfähigkeit nach Ruptur des VKB. *VBG-Fachwissen*, 39.
80. Moser, R., Iverson, G., Echemendia, R., Lovell, M., Schatz, P., Webbe, F., ... Barth, J. (2007). Neuropsychological evaluation in the diagnosis and management of sport-related concussion. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22(8), 909–916. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.09.004>
81. Nelson, L., Janecek, J., McCrea, M. (2013). Acute clinical recovery from sport-related concussion. *Neuropsychol Rev.*, 23(4). <https://doi.org/10.1007/s11065-013-9240-7>

82. Nilsson, M., Hägglund, M., Ekstrand, J., Waldén, M. (2013). Head and Neck Injuries in Professional Soccer. *Clin. J. Sport Med.*, 23, 255–260.
83. O'Donoghue, P. (2010). *Research Methods for Sports Performance Analysis*. London.
84. Olsen, O.-E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Bahr, R. (2004). Injury Mechanisms for Anterior Cruciate Ligament Injuries in Team Handball: A Systematic Video Analysis. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(4), 1002–1012. <https://doi.org/10.1177/0363546503261724>
85. Putukian, M., Echemendia, R. J., Mackin, S. (2000). The Acute Neuropsychological Effects of Heading in Soccer: A Pilot Study. *Clin J Sport Med*, 10(2), 104–109. <https://doi.org/10.1097/00042752-200004000-00004>
86. Putukian, M., Echemendia, R. J., Mackin, S. (2000). The acute neuropsychological effects of heading in soccer: A pilot study. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 10(2), 104–109. <https://doi.org/10.1097/00042752-200004000-00004>
87. Rieder, C., Jansen, P. (2011). No neuropsychological consequence in male and female soccer players after a short heading training. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 26(7), 583–591. <https://doi.org/10.1093/arclin/acr055>
88. Ruhe, A., Gänsslen, A., Klein, W. (2014). The incidence of concussion in professional and collegiate ice hockey: are we making progress? A systematic review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 48(2). <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091609>.
89. Rutherford, A., Stephens, R., Potter, D. (2003). The neuropsychology of heading and head trauma in Association Football (Soccer): A review. *Neuropsychol Rev*, 13(3), 153–179.
90. Schneider, D. K., Grandhi, R. K., Bansal, P., Kuntz, G. E., Webster, K. E., Logan, K., ... Myer, G. D. (2017). Current state of concussion prevention strategies: A systematic review and meta-analysis of prospective, controlled studies. *British Journal of Sports Medicine*, 51(20), 1473–1482. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095645>
91. Shewchenko, N., Withnall, C., Keown, M., Gittens, R., Dvorak, J. (2005). Heading in football. Part 2: Biomechanics of ball heading and head response. *British Journal of Sports Medicine*, 39(SUPPL. 1), 26–32. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.019042>

92. Smith, D., Johnson, V., Stewart, W. (2013). Chronic neuropathologies of single and repetitive TBI: substrates of dementia? *Nat Rev Neurol*, 9(4), 211–221. <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2013.29>
93. Spiotta, A. M., Bartsch, A. J., Benzel, E. C. (2012). Heading in Soccer: Dangerous Play. *Neurosurgery*, 70(1), 1–11. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e31823021b2>
94. Stern, R., Daneshvar, D., Baugh, C., Seichepine, D., Montenigro, P., Riley, D., ... McKee, A. (2013). Clinical presentation of chronic traumatic encephalopathy. *Neurology*, 81(13), 1122–1129.
95. Straume-Naesheim, T. M., Andersen, T. E., Dvorak, J., Bahr, R. (2005). Effects of heading exposure and previous concussions on neuropsychological performance among Norwegian elite footballers. *British Journal of Sports Medicine*, 39(SUPPL. 1), 70–77. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.019646>
96. Tarnutzer, 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. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096593>
97. Toninato, J., Casey, H., Uppal, M., Abdallah, T., Bergmann, T., Eckner, J., Samadani, U. (2018). Traumatic brain injury reduction in athletes by neck strengthening (TRAIN). *Contemp Clin Trials Commun.*, 11, 102–106. <https://doi.org/10.1016/j.conctc.2018.06.007>
98. Tucker, R., Raftery, M., Fuller, G. W., Hester, B., Kemp, S., Cross, M. J. (2017). A video analysis of head injuries satisfying the criteria for a head injury assessment in professional Rugby Union: A prospective cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, 51(15), 1147–1151. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097883>
99. Vagnozzi, R., Signoretti, S., Tavazzi, B., Cimatti, M., Amorini, A. M., Donzelli, S., ... Lazzarino, G. (2005). Hypothesis of the postconcussive vulnerable brain: Experimental evidence of its metabolic occurrence. *Neurosurgery*, 57(1), 164–171. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000163413.90259.85>
100. Waldén, M., Krosshaug, T., Bjørneboe, J., Andersen, T. E., Faul, O., Hägglund, M. (2015). Three distinct mechanisms predominate in noncontact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: A systematic video analysis

- of 39 cases. *British Journal of Sports Medicine*, 49(22), 1452–1460.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094573>
101. Wallesch, C.-W., Unterberg, A., Dietz, V. (2005). *Neurotraumatologie*. Thieme.
<https://doi.org/10.1055/b-0034-22452>
102. Weber, J., Koch, M., Kerschbaum, M., Reinsbeger, C., Krutsch V., Nerlich, M., Krutsch, W. (2018). Gehirnschäden durch nur 5 Kopfbälle pro Spieler und Spiel? Eine detaillierte Analyse von 11.514 Kopfbällen. Wissenschaftspreis, 1. Deutscher Olympischer Sportärztekongress, Hamburg.
103. White, P. E., Newton, J. D., Makdissi, M., Sullivan, S. J., Davis, G., McCrory, P., ... Finch, C. F. (2014). Knowledge about sports-related concussion: Is the message getting through to coaches and trainers? *British Journal of Sports Medicine*, 48(2), 119–124. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092785>
104. Withnall, C., Shewchenko, N., Wonnacott, M., Dvorak, J., Scott, D. (2005). Effectiveness of headgear in football. *British Journal of Sports Medicine*, 39(1), 40–48. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.019174>
105. Zetterberg, H., Jonsson, M., Rasulzada, A., Popa, C., Styruud, E., Hietala, M. A., ... Blennow, K. (2007). No neurochemical evidence for brain injury caused by heading in soccer. *British Journal of Sports Medicine*, 41(9), 574–577. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.037143>
106. Zhang, M. R., Red, S. D., Lin, A. H., Patel, S. S., Sereno, A. B. (2013). Evidence of Cognitive Dysfunction after Soccer Playing with Ball Heading Using a Novel Tablet-Based Approach. *PLoS ONE*, 8(2), 8–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057364>

7 Abkürzungsverzeichnis

AV	Außenverteidiger (Position im Fußball)
bzw.	beziehungsweise
CI	Critical Incident
CT	Computertomographie
DFB	Deutscher Fußball Verband
DM	Defensives Mittelfeld (Position im Fußball)
dt.	deutsch
eCRF	electronic Case Report Form
eng	englisch
fMRT	funktionelles MRT
FIFA	Fédération Internationale de Football Association
GCS	Glasgow Coma Scale
IR	Inzidenzrate
IV	Innenverteidiger (Position im Fußball)
KB	Kopfball
MRT	Magnetresonanztomographie
n	Gesamtmenge
OM	Offensives Mittelfeld (Position im Fußball)
OR	Odds Ratio
RSHI	Repetitive subconcussive head impacts
RTP	Return to play
S	Sturm (Position im Fußball)
SCAT	Sports Concussion Assessment Tool
SHT	Schädelhirntrauma
TW	Torwart (Position im Fußball)
VBG	Verwaltungs-Berufsgenossenschaft
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel

8 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen besonderen Dank nachstehenden Personen entgegenbringen, ohne deren Mithilfe die Anfertigung dieser Promotionsschrift niemals zustande gekommen wäre:

Zunächst möchte ich mich bei Herrn PD Dr. Werner Krutsch, meinem Doktorvater, herzlichst bedanken, der mir diese Arbeit erst überlassen und ermöglicht hat. Seine freundliche Art und sein Einsatz für uns Studenten werden mir besonders in Erinnerung bleiben.

Mein außerordentlicher Dank gilt Herrn Dr. Johannes Weber, dem Betreuer unserer Arbeitsgruppe, der mir von Anfang an mit freundschaftlicher Unterstützung zur Seite stand. Über ihn bin ich durch das Überlassen des Themas an die Arbeit gekommen und ohne ihn hätte ich sie nicht fertigstellen können. Der mehrfachen Durchsicht dieser Abhandlung, seinen kritischen Betrachtungen und differenzierten Anmerkungen gebührt hier mein voller und herauszustellender Dank.

Außerdem möchte ich meine große Wertschätzung für die Arbeit von Gunnar Huppertz bei der Erstellung und Verwaltung der RedCAP-Datenbank und seine stets hilfsbereite Art zum Ausdruck bringen.

Bedanken möchte ich mich darüber hinaus bei Herrn Prof. Dr. Karl-Michael Schebesch für die Zweitbegutachtung meiner Arbeit.

Mein größter Dank gilt aber meiner Familie und meinen Freunden, die mich zu dem gemacht haben, der ich heute bin. Besonders meine Eltern haben mich immer unterstützt und mir auf meinem bisherigen Lebensweg alles erst ermöglicht. Dafür und für alles andere bin ich ihnen auf ewig dankbar. Ihnen widme ich diese Arbeit.

9 Selbstständigkeitserklärung

Ich, Robin Frederic Seiffert, geboren am 31.05.1994 in Bremerhaven, 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.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'R. Seiffert', with a stylized flourish at the end.

Regensburg, den 09.12.2020