“Whole-Organ Magnetic Resonance Imaging Score” als Prädiktor im Profifußball

-

Zusammenhang von MRI-morphologischer Vorschädigung des Kniegelenkes und den Ausfallzeiten für Verletzungen des Kniegelenkes und der Oberschenkelmuskulatur

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades einer
Doktorin der Medizin (Dr. med.)
an der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von:

Anna-Maria Behr
aus
München

2025

Betreuer:in / Gutachter:in der Dissertation: Prof. Dr. Götz H. Welsch
Gutachter:in der Dissertation: Prof. Dr. Florian Barvencik

Vorsitz der Prüfungskommission: Prof. Dr. Florian Barvencik
Mitglied der Prüfungskommission: Prof. Dr. Matthias Krause
Mitglied der Prüfungskommission: PD Dr. Jochen Herrmann

Datum der mündlichen Prüfung: 27.04.2026

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 5

1.1. Kniegelenksarthrose – Ein relevantes Problem im Profifußball 5

1.2. MRT-Diagnostik der Kniegelenksarthrose und SQ-Scoring-Systeme 6

1.3. Zielsetzung der Arbeit 7

2. Material und Methoden 8

2.1. Studienkollektiv 8

2.1.1. Einschlusskriterien 8

2.1.2. Ausschlusskriterien 9

2.2. Datenaufbereitung 9

2.2.1. Ausfallzeiten 9

2.2.2. Ausfallgründe 10

2.2.4. Spielminuten und Positionen 10

2.3. Whole-Organ MRI Score (WORMS) 11

2.3.1. Knorpelsignal und Morphologie 13

2.3.2. Subartikuläres Knochenmarködem 14

2.3.3. Subartikuläre Zysten 15

2.3.4. Subartikulärer Knochenabrieb 16

2.3.5. Marginale Osteophyten 17

2.3.6. Menisken 17

2.3.7. Ligamenta (Kreuz-und Kollateralbänder) 18

2.3.8. Synovitis 18

2.3.9. Freie Gelenkkörper 18

2.3.10. Periartikuläre Zysten und Bursitis 19

2.4. Statistische Analyse 19

2.4.1. Deskriptive Statistik 19

2.4.2. Korrelationen 20

2.4.3. Regressionsanalyse 21

3. Ergebnisse 23

3.1. Deskriptive Statistik 23

3.1.1. Studienkollektiv 23

3.1.2. Ausfallzeiten 24

3.1.3. WORMS 27

3.2. Korrelationen 32

3.2.1. Zusammenhang von WORMS und Ausfallzeiten 32

3.2.2. Zusammenhang von WORMS und Alter *34*
3.2.2. Zusammenhang von WORMS, Spielminuten und Position *34*
3.2.3. Zusammenhang von WORMS-S und Spielbeinseite *36*
3.3. Regressionsanalyse 36
3.3.1. Multiples Modell *36*
3.3.3. Kategoriales Regressionsmodell mit Referenzanalyse *36*
4. Diskussion **38**
4.1. Verletzungen der unteren Extremität und Kniegelenksarthrose im Profifußball 38
4.2. Zusammenhang von WORMS und Ausfallzeiten 41
4.3. Prädiktiver Wert des WORMS für den Medizincheck 48
4.4. Limitationen 50
5. Zusammenfassung **52**
5.1 Abstract 53
6. Abkürzungsverzeichnis **54**
7. Literaturverzeichnis **56**
8. Abbildungsverzeichnis **62**
9. Tabellenverzeichnis **63**
10. Anhang **64**
11. Danksagung **65**
12. Eidesstattliche Versicherung **66**
13. Erklärung zum Eigenanteil **67**

1. Einleitung

1.1. Kniegelenksarthrose – Ein relevantes Problem im Profifußball

Mit über 300 Millionen aktiven Spielern und mehr als 200.000 Berufsspielern ist Fußball die beliebteste Sportart der Welt (Dvorak et al., 2000). Das Ausüben dieser Sportart auf professionellem Niveau erfordert dabei eine maximale Beanspruchung der unteren Extremität (Salzmann et al., 2017). Durch die dauernde Ausführung an dynamischen Bewegungen wie Sprinten, plötzliches Drehen und Dribbling gegen einen Gegner, stellt der Fußball einen Kontaktsport mit hohen Verletzungsinzidenzen der unteren Extremität dar (Hägglund et al., 2016, Salzmann et al., 2017, López-Valenciano et al., 2020). Neben häufigen Verletzungen des Sprunggelenks und der Oberschenkelmuskulatur besteht insbesondere ein „alarmierender Trend“ (Roth and Osbahr, 2018) zu Knieverletzungen (Klein et al., 2019, Hägglund et al., 2013). Etwa 60 - 80% der schweren Verletzungen betreffen das Kniegelenk (Junge et al., 2009). Aufgrund der hohen körperlichen Anforderungen im Profisport sind die Athleten trotz dieser häufigen Verletzungen gezwungen, immer wieder erneut ihre maximale Leistung zu erbringen (Salzmann et al., 2017). Folglich leiden die Sportler wiederholt an akuten Gelenkverletzungen und daraus resultierend an chronischen Gelenkschäden (Flanigan et al., 2010, Mithoefer et al., 2015). So finden sich in der Literatur zahlreiche Studien zur Risikobewertung einer frühzeitigen Entwicklung von Kniegelenksarthrose bei Profifußballern (Lee and Chu, 2012, Roemer et al., 2015, Spahn et al., 2016a). Flanigan et al. (2010) beschreiben einen im Vergleich zur Normalbevölkerung hohen Prozentsatz an Knorpeldefekten bei aktiven und ehemaligen Profisportlern. Knorpelverletzungen im Kniegelenk können typische Symptome wie Schmerzen, Schwellung und Blockaden hervorrufen, welche allerdings auch bei asymptomatischen Spielern auftreten und sich dadurch erst im späteren Verlauf kritisch manifestieren (Andrade et al., 2016).

Degenerative Veränderungen, die bereits im jungen Alter der Spieler auftreten, können zu einer verminderten sportlichen Leistungsfähigkeit führen. Dies zeigt sich anhand hoher Ausfallzeiten im Training und Wettkampf sowie einem frühzeitigen Karriereende durch die Beschwerden im Kniegelenk (Engström et al., 1990, Klein et al., 2019, Drawer and Fuller, 2001). Im Hinblick auf die hohen Ablösesummen und steigenden Gehälter, die im Profifußball gezahlt werden, stellt die frühzeitige Diagnostik solcher Knieschäden einen Schlüsselfaktor mit ökonomischer Relevanz dar (Gouttebarge et al., 2016, Ekstrand, 2013). Somit erhält die ärztliche Untersuchung (Medizincheck) im Rahmen des Spielertransfers einen zunehmenden Stellenwert. Neben der klinischen und sportlichen Untersuchung wird zur Beurteilung der Gelenkgesundheit auch die radiologische Bildgebung eingesetzt. Dadurch gewinnt der behandelnde Arzt eine zusätzliche Visualisierung der Gewebestrukturen und deren Zustand, um in Zusammenschau mit den klinischen Befunden eine bestmögliche

Prognose über die Performance des Spielers aussprechen zu können. Insbesondere die Magnetresonanztomografie (MRT) hat sich dabei zu einem wichtigen Werkzeug für das Verständnis der strukturellen Gelenkveränderungen bei Arthrose etabliert (Magnusson et al., 2021, Nepple et al., 2012, McDonald et al., 2025).

1.2. MRT-Diagnostik der Kniegelenksarthrose und SQ-Scoring-Systeme

Die Verwendung von MRT-Bildgebung hat sich in der Arthrose-Forschung zunehmend bewährt, da sie die komplexen Umbauprozesse der Arthrose-Erkrankung bereits vor Entstehung einer manifesten Arthrose visualisiert (Hunter et al., 2008, Roemer et al., 2016). Der Vorteil der MRT-Diagnostik gegenüber der konventionellen Röntgen-Diagnostik besteht darin, neben dem Knochen alle weiteren Gewebestrukturen des Gelenkes (Knorpel, Bänder, Menisken, Synovia, Fettgewebe, Muskulatur, Sehnen, Gefäße und Nerven) darstellen zu können (Spahn et al., 2016b). Dies schafft das Potenzial, Arthrose und relevante Vorschäden frühzeitig zu detektieren, bevor diese im weiteren Krankheitsprozess symptomatisch und im konventionellem Röntgenbild identifizierbar sind (Yusuf et al., 2011). Es besteht zunehmend Evidenz, dass die Schwere der Symptomatik bei Patienten mit Arthrose im Kniegelenk mit den im MRT festgestellten Veränderungen wie Knorpel -, Meniskus - und Knochenmarkläsionen sowie Synovitis zusammenhängt (Yusuf et al., 2011, Bruyere et al., 2006, Joseph et al., 2018, Perry et al., 2021). In diesem Zusammenhang wurden bereits MRT-basierte semi-quantitative (SQ) Scoring-Systeme entworfen, um die strukturellen Gewebeveränderungen und damit den komplexen Krankheitsverlauf nach standardisierten Kriterien messbar zu machen (Felson et al., 2010, Lynch et al., 2010).
Neben dem MOAKS, KOSS und BLOKS gehört der WORMS („Whole-Organ MRI Score") zu den am häufigsten nicht-invasiv verwendeten SQ-Scoring-Systemen für klinische und epidemiologische Studien (Roemer et al., 2016, McDonald et al., 2025). Aufgrund der detaillierten Begutachtung einzelner Gelenkabschnitte sind diese SQ-Scoring-Systeme komplex sowie zeitaufwendig und bedürfen daher an erfahrenen Begutachtern. Unter erfahrenen Untersuchern wird dabei eine hohe Interobserver-Reliabilität beschrieben (Spahn et al., 2016b, Felson et al., 2010, Lynch et al., 2010). Aufgrund der detaillierten Analyse der strukturellen Gewebeveränderungen stellen diese MR-basierten SQ-Scoring-Systeme einen prädiktiven Wert für das Vorhandensein, den Schweregrad und das Fortschreiten der Kniegelenksarthrose dar (Felson et al., 2010, Hafezi-Nejad et al., 2015). Bisherige Autoren evaluierten den WORMS bereits als Prädiktor und Verlaufsmarker im Krankheitsprozess von Patienten mit Arthrose (Heilmeier et al., 2017, Hafezi-Nejad et al., 2015, Wegrzyn et al., 2011). Auch in der Gesundheitsuntersuchung von Profiathleten stellt die MRT-Diagnostik, insbesondere der Kniegelenke, mittlerweile den Goldstandard dar und findet in

der medizinischen Erstuntersuchung bei der Verpflichtung von Profifußballern standardmäßig Anwendung (Koulouris et al., 2007, Spahn et al., 2016b). Ein standardisiertes MRT-basiertes Scoring-System zur objektiven Messbarkeit und Vergleichbarkeit der Gelenkgesundheit existiert für den Medizincheck im Profifußball bisher jedoch nicht. Verfügbare Daten aus den USA während der so genannten "National Football League (NFL) Combine" im American Football bestätigen bereits erste Zusammenhänge von MRT-basierten Veränderungen des Kniegelenkes und den darauffolgenden Ausfallzeiten sowie der Performance der Athleten (Nepple et al., 2012, Provencher et al., 2018b). Vorhandene Studien im Profifußball untersuchten bisher auch den prädiktiven Wert von MRT-Daten zur Prognose von Muskelverletzungen (Gibbs et al., 2004, Ekstrand et al., 2012). Ferner wurde zunehmend festgestellt, dass die Vorschädigung im Kniegelenk nicht nur mit wiederkehrenden Knieverletzungen, sondern auch mit Verletzungen der dorsalen Oberschenkelmuskulatur (Hamstrings) zusammenhängen könnte (Koulouris et al., 2007).
Anhand der Ausfalldaten der deutschen Bundesliga wird die Notwendigkeit an weiteren Verletzungsanalysen und die Entwicklung neuer Präventionskonzepte deutlich (Klein et al., 2019). Basierend darauf scheint es sinnvoll, für den Medizincheck ein MRT-basiertes Scoring-System des Kniegelenkes anzuwenden, um zusätzlich messbare Information zur Beurteilung der Gelenkgesundheit zu erhalten und konsekutiv eine zuverlässigere Ausfallsprognose ableiten zu können.

1.3. Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den prädiktiven Wert des WORMS im Rahmen der medizinischen Erstuntersuchung (Medizincheck) von Profifußballern zu evaluieren. Dafür wird der Zusammenhang von MRT-morphologisch gemessener Schädigung des Kniegelenks (WORMS) mit den darauffolgenden Ausfallzeiten aufgrund von Verletzungen des Kniegelenks und der Oberschenkelmuskulatur untersucht. Weiterhin wird der Zusammenhang von WORMS, Alter, Spielerposition, Spielminuten und Spielbeinseite analysiert. Die Haupthypothese dieser Arbeit ist, dass ein höherer WORMS mehr Ausfalltage für Verletzungen und Beschwerden der unteren Extremität, im Besonderen für das Kniegelenk und die Knie stabilisierende Oberschenkelmuskulatur, bewirkt. Zudem wird ein Zusammenhang von WORMS und dem Alter, den Spielminuten, der Spielposition und der Spielbeinseite angenommen.

2. Material und Methoden

2.1. Studienkollektiv

Die Stichprobe der vorliegenden Arbeit setzt sich aus 54 männlichen Profi-Fußballspielern eines deutschen Fußballvereins (1. und 2. Bundesliga) zusammen. Dabei wurden zu Beginn 128 Spieler erfasst, welche im Zeitraum von Januar 2012 bis Juli 2019 mindestens 6 Monate für den Verein gespielt hatten. Anhand folgender Ein- und Ausschlusskriterien wurde das Studienkollektiv n=54 aus den 128 erfassten Spielern ausgewählt (Abb. 1.).

2.1.1. Einschlusskriterien

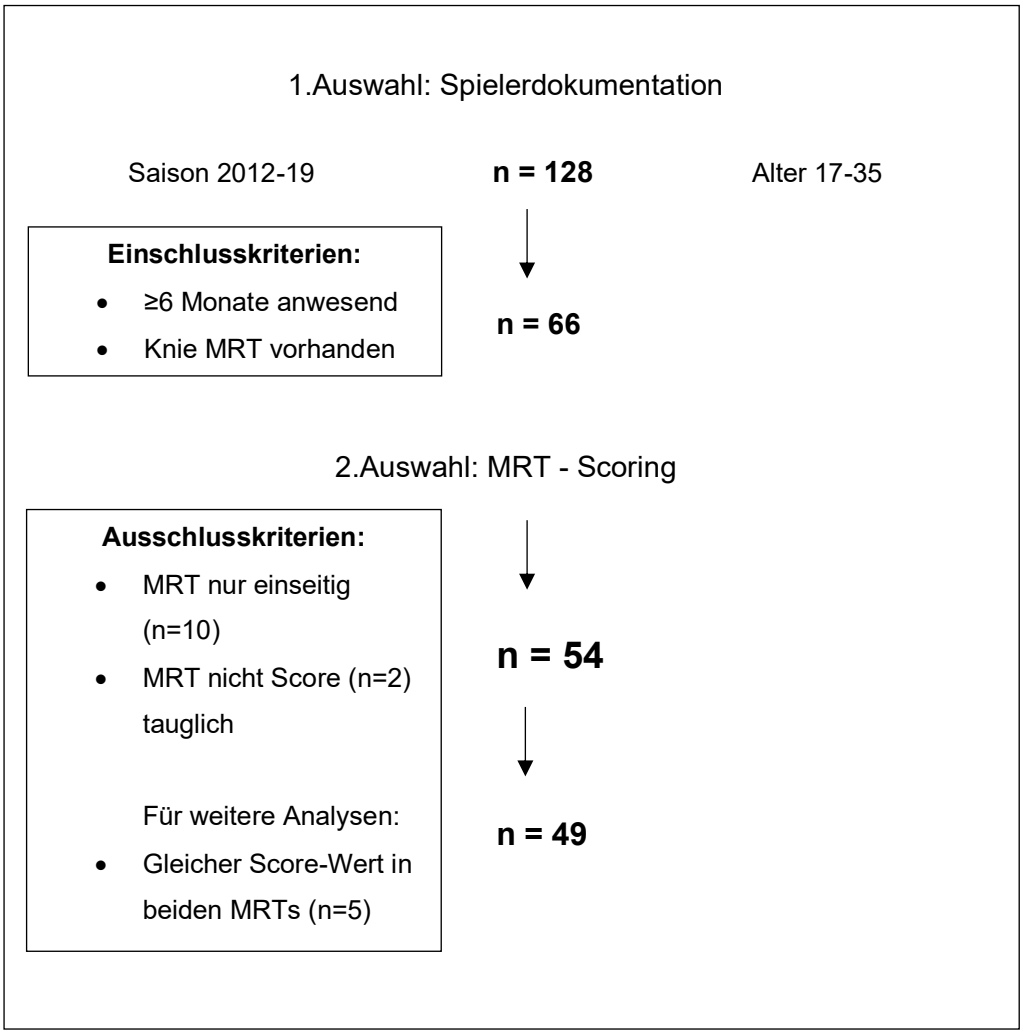


Abb. 1: Ablaufschema zum Auswahlverfahren des Studienkollektives

Für diese Untersuchung wurde festgelegt, dass nur die Spieler, die mindestens sechs Monate im Verein anwesend waren, in das Studienkollektiv miteingeschlossen wurden. War

ein Spieler aufgrund anderer Spielverpflichtungen (z.B. Nationalmannschaft) nicht den gesamten Monat im Verein anwesend, wurde bei mind. 50% Anwesenheit der Monat als voll gewertet, andernfalls als abwesend.
Ein weiteres Kriterium stellte das Vorhandensein einer kompletten 3.0-Tesla Knie MRT-Untersuchung beider Kniegelenke dar, welche im Rahmen des Medizinchecks zur Eingangsuntersuchung durchgeführt wurde. Der Medizincheck wurde zum Zeitpunkt des Spielertransfers und damit vor Spieleinsatz durchgeführt.

2.1.2. Ausschlusskriterien

Das MRT-Scoring führte zum Ausschluss von insgesamt 12 Spielern. Der Hauptgrund hierfür stellte die unvollständige Knie MRT-Untersuchung (n=10) aufgrund einer fehlenden Körperseite dar, hauptsächlich aufgrund von Zeitproblemen. MRT-Aufnahmen, deren Bildqualität nicht 3.0-Tesla entsprach und damit nicht für das Scoring ausreichte (n=2), konnten morphologisch nicht adäquat beurteilt werden und wurden somit ausgeschlossen.
Für die weitere Analyse im Seitenvergleich wurden 5 Spieler ausgeschlossen, da diese für beide Kniegelenk den gleichen Score-Wert zeigten. Die untersuchte Fallzahl für die Analyse im Seitenvergleich betrug n=49.

2.2. Datenaufbereitung

Die vorliegende Arbeit stellt eine Analyse von Verletzungs- und Leistungsdaten männlicher Profifußballer dar. Die Daten wurden dem betreuenden medizinischen Zentrum entnommen, pseudonymisiert ausgewählt sowie anonymisiert bearbeitet.
Die Datenerhebung der Spielerdokumentation begann im Jahr 2017 mit der retrospektiven Aufarbeitung der Saisons 2012-2017. Alle weiteren Daten bis Saisonende des Jahres 2019 wurden zeitparallel aufgenommen. Nach Auswahl der Spieler wurden die ausgewählten MRTs von dem Leiter des Instituts für Sport- und Bewegungsmedizin am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf (UKE) und der Radiologie des UKE anhand des WORMS (Punkt 2.3.) beurteilt.

2.2.1. Ausfallzeiten

Die Ausfallzeit wurde durch die Anzahl der eingetragenen Fehltage definiert. Anhand der monatlichen Trainingsbeteiligungslisten der Trainer konnten die Fehltage ermittelt werden. Für diese Arbeit wurde festgelegt, eine Mindestanzahl von drei Fehltagen in Folge als Ausfallzeit zu definieren. Die Ausfallzeit umfasste sowohl neu aufgetretene Verletzungen als auch Beschwerden aufgrund von älteren Verletzungen.

2.2.2. Ausfallgründe

Anhand des Datums der jeweiligen Ausfallzeit konnte in der elektronischen, pseudonymisierten Spielerakte im Institut der Grund des Ausfalles ermittelt werden. Im Falle eines internistischen Krankheitsausfalles (z.B. grippaler Infekt) wurde dieser in der Dokumentation nicht weiter differenziert und auch nicht miteinbezogen. Für diese Arbeit wurde festgelegt, ausschließlich Ausfallzeiten aufgrund von Beschwerden am Bewegungsapparat, insbesondere der unteren Extremität, zu berücksichtigen.
Die Variable „Ausfallzeiten Total" betrifft alle Ausfalltage für die gesamte untere Extremität. Lag eine Verletzung oder generell Beschwerden des Bewegungsapparates vor, wurde unter folgenden anatomischen Lagen der unteren Extremitäten unterschieden:

- Hüfte/Leiste
- Beckenboden
- Dorsaler Oberschenkel (Ischiocrurale Muskulatur/Hamstrings)
- Ventraler Oberschenkel (Musculus Quadriceps)
- Adduktoren
- Knie
- Wade / Unterschenkel
- Oberes Sprunggelenk (OSG)
- Fuß

Eine klassische Muskelverletzung wurde nach der Münchner Klassifikation von Muskelverletzungen (Ueblacker et al., 2015) über folgende Diagnosen definiert: Muskelzerrung, Muskelfaser- oder Muskelbündelriss. Die gesamten Ausfalltage einer Muskelgruppe setzten sich aus den Ausfalltagen aufgrund einer klassischen Muskelverletzung und den Muskelkontusionen als Zeichen eines direkten Traumas zusammen. Für die Berechnungen in der statistischen Analyse wurden nur die klassischen Muskelverletzungen im Sinne eines indirekten Traumas herangezogen.
Für weitere Analysen wurden die Ausfallzeiten zudem nach Körperseite differenziert (s. 2.4.).

2.2.4. Spielminuten und Positionen

Die Spielminuten der einzelnen Spieler wurden den verfügbaren Daten von „Transfermarkt" (http://www.transfermarkt.com) entnommen. Auf dieser Website sind Spieler gelistet, die in einer der größeren europäischen Fußballligen unter Vertrag stehen. Leistungs- und Verletzungsdaten werden ebenso aus unterschiedlichen Quellen dokumentiert. Diese Daten sind

akzeptiert und wurden bereits von anderen Autoren für Studien herangezogen (Krutsch et al., 2020, Szymski et al., 2021).
Die Spielminuten umfassen dabei die gesamten Match-Spielminuten eines Spielers während der Saison, auch aus Vereins-fremden Spielen wie beispielsweise in der Nationalmannschaft. Die Trainingsminuten konnten retrospektiv nicht individuell erhoben werden und sind daher nicht in den Spielminuten mitinbegriffen. Die Positionen wurden anhand des Spielsystems im Verein und damit dem spezifischen Bewegungsprofil eines jeden Spielers zugeordnet. In dieser Arbeit wurden folgende fünf Positionen unterschieden:

- Torwart
- Innenverteidiger
- Außenspieler (Verteidiger, Mittelfeld, Stürmer)
- Zentrales Mittelfeld
- Mittelstürmer

2.3. Whole-Organ MRI Score (WORMS)

Zur Befundung der Knie-MRTs wurde der Whole-Organ Magnetic Resonance Imaging Score (WORMS) (Peterfy et al., 2004) herangezogen. Dieser semi-quantitative Score dient zur kernspintomographischen Beurteilung von strukturellen Veränderungen der Arthrose im Kniegelenk. Der WORMS stellt ein anerkanntes Scoring-System dar, welches bereits für zahlreiche klinische und epidemiologische Studien genutzt wurde (Peterfy et al., 2004, Hunter et al., 2008, Heilmeier et al., 2017, Hafezi-Nejad et al., 2015, Felson et al., 2010, Zhang et al., 2021).

Der WORMS basiert auf der Bewertung des gesamten Kniegelenkes anhand folgender artikulärer Merkmale:

- Knorpelsignal und Knorpelmorphologie
- Subartikuläres Knochenmarködem
- Subartikuläre Zysten
- Subartikulärer Knochenabrieb
- Marginale Osteophyten
- Zustand des vorderen und hinteren Kreuzbandes sowie des medialen und lateralen Kollateralbandes
- Zustand des medialen und lateralen Meniskus
- Synovitis

- Periartikuläre Zysten und Bursitis
- Freie Gelenkkörper

Da der subchondrale Knochenabrieb erst bei terminaler Arthrose vorzufinden ist und derartige Veränderungen in dieser Stichprobe nicht zu erwarten waren, wurde diese Score Kategorie nicht bewertet. Periartikuläre Zysten, Bursitis und freie Gelenkkörper wurde ebenfalls nicht erhoben. Aus Gründen der Vollständigkeit sollen diese Kategorien dennoch aufgeführt werden.

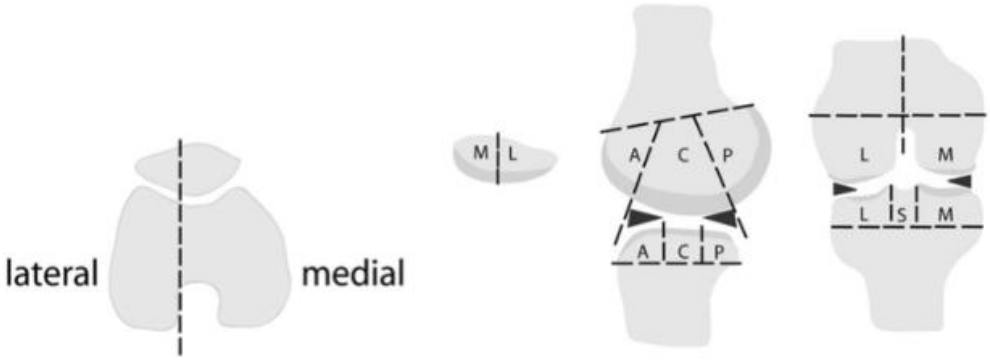


Abb. 2: Regionale Aufteilung der Gelenkflächen für WORMS nach Peterfy et al. (2004)

Zur regionalen Beurteilung der ersten fünf Merkmalskategorien (Knorpelsignal und Morphologie, Knochenmarködem, Zysten, Knochenabrieb und Osteophyten) wird das Kniegelenk in 15 Zonen eingeteilt (Abb. 2.). Dies erfolgt bei vollständig extendiertem Kniegelenk anhand anatomischer Landmarken der Kontaktflächen von Patella, Femur und Tibia. (Peterfy et al., 2004)

Die Patella wird in eine laterale (LP) und mediale (MP) Region aufgeteilt. Dabei ist der Kamm der Patella der medialen Region zuzuordnen. Ebenso werden die femoralen und tibialen Gelenkflächen in eine mediale (MF/MT) und laterale (LF/LT) Region eingeteilt. Die Trochlea femoris gehört der medialen Region an. Die femorale Gelenkfläche ist in weitere drei Zonen unterteilt: Anterior (A), posterior (P) und zentral (C). Dabei gehört die femoral-anteriore Zone dem patello-femoralen Gelenk an, die femoral-posteriore Zone dem Gelenkabschnitt, welcher in maximaler Flexion des Kniegelenks artikuliert. Die zentrale Zone gibt die Gelenkauflagefläche an. Dabei entspricht die zentrale Region der Tibia der Fläche zwischen dem vorderen und hinteren Meniskushorn. Die peripheren Regionen (anterior und posterior) bestimmen die Fläche, die von den Menisken überdeckt ist. Der nicht-artikulierende Teil des Tibiaplateaus ist als S-Region (subspinös) definiert. (Peterfy et al., 2004)

Basierend auf der regionalen Aufteilung der Gelenkflächen sind folgende Subscores zu differenzieren: Mediales femoro-tibiale Gelenk (MFTJ), patello-femorales Gelenk (PFJ), Laterales femoro-tibiale Gelenk (LFTJ) und S-Region. Diese setzen sich wie folgt zusammen:

- MFTJ: MFc, MFp, MTa, MTc und MTp
- PFJ: MP, LP, MFa und LFa
- LFTJ: LFc, LFp, LTa, LTc und Lp

Die einzelnen Subscores werden dann zu einem Gesamtwert „Total-Score“ addiert, der einen maximalen Wert von 332 annehmen kann (Tab. 1.). (Peterfy et al., 2004)

Tab. 1: Maximal zu erreichende Score-Werte für WORMS nach Peterfy et al. (2004)

	MFTJ	**LFTJ**	**PFJ**	**S Region**	**Gesamt**
Knorpel	30	30	24		84
Knochenmarködem	15	15	12	3	45
Knochenzysten	15	15	12	3	45
Knochenabrieb	15	15	12		42
Osteophyten	35	35	28		98
Kompartiment gesamt	110	110	88		
Menisken	6	6			12
Ligamente					3
Synovitis					3
Gesamt					332

Im Folgenden soll nun das Scoring-System der einzelnen Merkmalskategorien detaillierter dargestellt werden.

2.3.1. Knorpelsignal und Morphologie

Das Knorpelsignal und dessen Morphologie werden in jeder Region, mit Ausnahme der Region S, anhand einer 8-Punkte-Skala (Abb. 3. und Tab. 2.) beurteilt. (Peterfy et al., 2004)

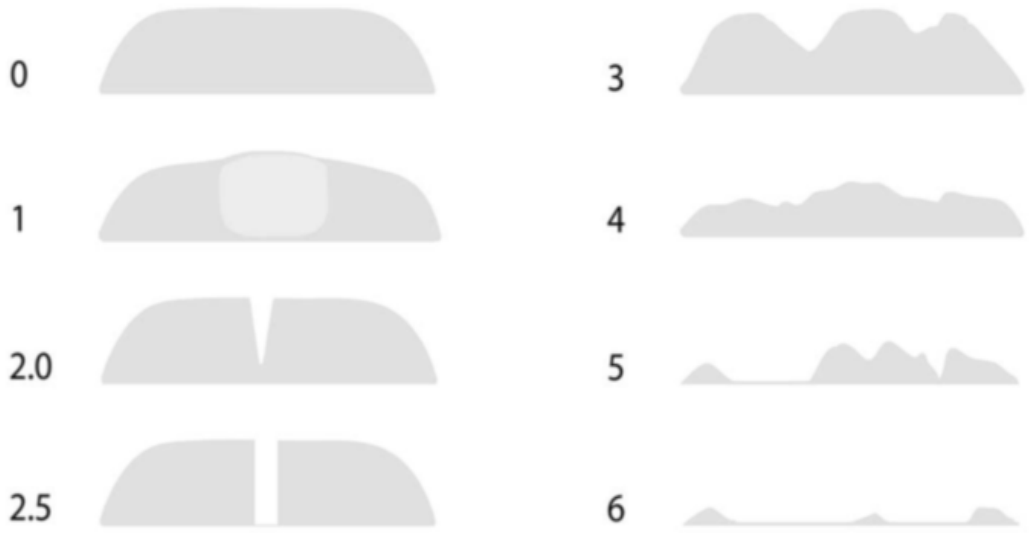


Abb. 3: Knorpelscore (WORMS) nach Peterfy et al. (2004)

Tab. 2: Punkte-Skala für Knorpelscore nach Peterfy et al. (2004)

Punkte-Skala	Knorpelmorphologie
0	Normale Dicke, kein erhöhtes Signal
1	Normale Dicke, erhöhtes Signal
2	Partieller fokaler Defekt <1cm
2,5	Komplett fokaler Defekt <1cm
3	Multiple partielle Defekte bei voller Knorpeldicke oder Skala 2 >1cm bei <75% der Region
4	Diffuser partieller Defekt ≥75% der Region
5	Multiple komplette Defekte oder Skala 2,5 >1cm bei <75% der Region
6	Diffuser kompletter Defekt >75% der Region

2.3.2. Subartikuläres Knochenmarködem

Knochenmarködeme werden in T2-Sequenz anhand unscharf begrenzt erhöhter Signalintensität, als Zeichen freier Flüssigkeit (Wasser), im regulär fetthaltigen Epiphysenmark identifiziert. Die Bewertung basiert auf dem Ausmaß der regionalen Markbeteiligung (Abb. 4. und Tab.3.). (Peterfy et al., 2004)

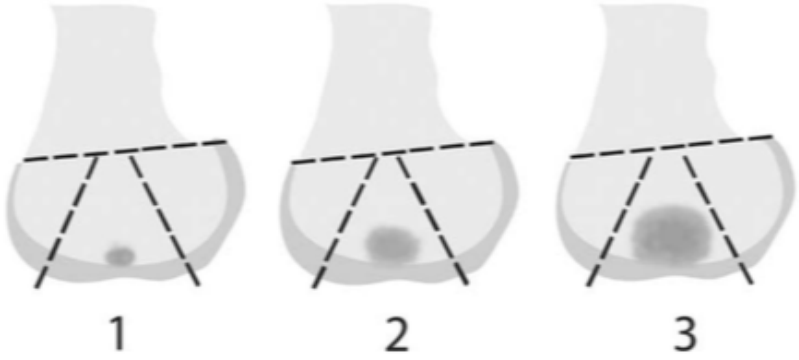


Abb. 4: Knochenmarködem-Score (WORMS) nach Peterfy et al. (2004)

Tab. 3: Punkte-Skala für Knochenmarködem-Score nach Peterfy et al. (2004)

Punkte-Skala	Knochenmarködem
0	kein erhöhtes Signal
1	<25% der Region
2	25-50% der Region
3	≥ 50% der Region

2.3.3. Subartikuläre Zysten

Die subartikulären Zysten werden in T2-Sequenz als scharf begrenzte Signalherde im subartikulären Knochen mit abgerundeten Rändern definiert. Hierfür wird jede Region beurteilt. Abbildung 5 und Tabelle 4 zeigen die 4-Punkte-Skala zur Bewertung der subartikulären Zysten. (Peterfy et al., 2004)

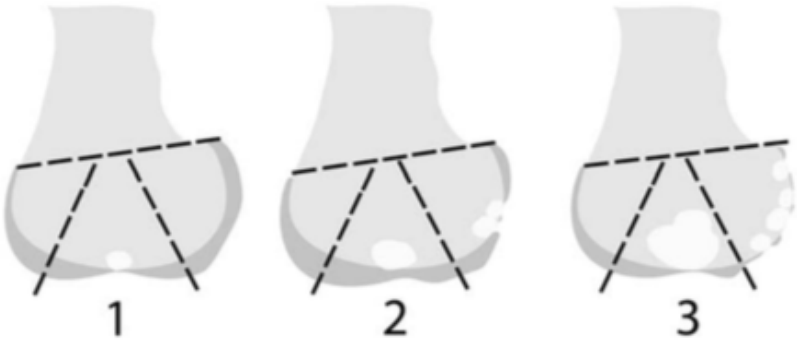


Abb. 5: Score für subartikuläre Zysten (WORMS) nach Peterfy et al. (2004)

Tab. 4: Punkte-Skala für subartikuläre Zysten-Score nach Peterfy et al. (2004)

Punkte-Skala	Subartikuläre Zysten
0	Normal / Kein erhöhtes Signal
1	<25% der Region
2	25-50% der Region
3	≥ 50% der Region

2.3.4. Subartikulärer Knochenabrieb

Als Knochenabrieb wird eine Abflachung oder eine Vertiefung der Gelenkflächen im Vergleich zu einer normalen Knochenkontur bezeichnet. Jede Region, mit Ausnahme der Region S, wird dazu beurteilt. Abbildung 6 und Tabelle 5 zeigen die 4-Punkte-Skala, welche von 0 bis 3 eingestuft wird. (Peterfy et al., 2004)
Die Kategorie Knochenabrieb wurde für diese Arbeit nicht bewertet.

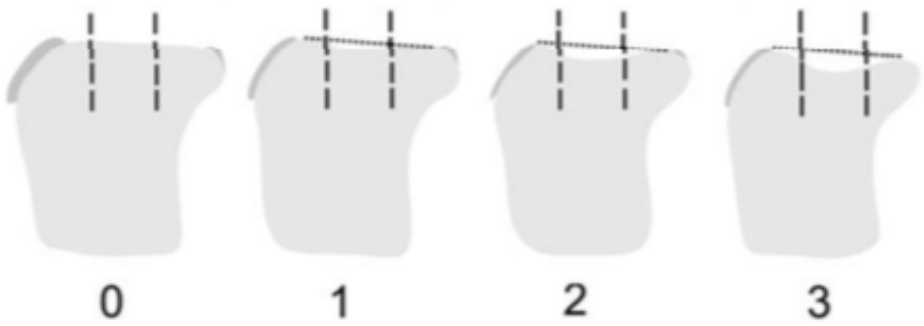


Abb. 6: Score für subartikulären Knochenabrieb (WORMS) nach Peterfy et al. (2004)

Tab. 5: Punkte-Skala für subartikulären Knochenabrieb-Score nach Peterfy et al. (2004)

Punkte-Skala	Subartikulärer Knochenabrieb
0	Normal / Kein Knochenabrieb
1	Leicht
2	Mäßig
3	Schwer

2.3.5. Marginale Osteophyten

Die Osteophyten werden entlang der anterioren, posterioren und zentralen Ränder der Femurkondylen und des Tibiaplateus sowie der medialen und lateralen Ränder der Patella unter Verwendung einer 8-Punkte-Skala (Abb. 7.) bewertet (Peterfy et al, 2004).

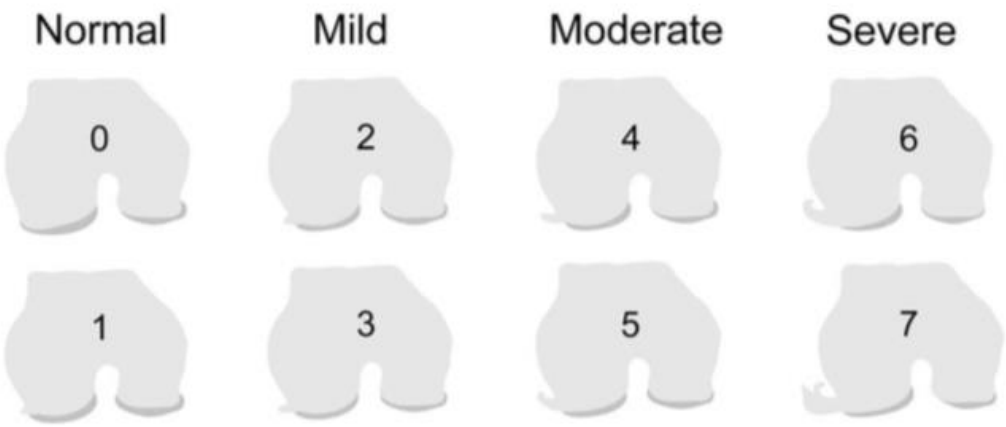


Abb. 7: Score für marginale Osteophyten (WORMS) nach Peterfy et al. (2004)

Tab. 6: Punkte-Skala für marginale Osteophyten-Score nach Peterfy et al. (2004)

Punkte-Skala	Marginale Osteophyten
0	Keine
1	Nicht eindeutig
2	Klein
3	Klein-mäßig
4	Mäßig
5	Mäßig-groß
6	Groß
7	Sehr groß

2.3.6. Menisken

Zur Beurteilung der Menisken werden das Vorderhorn, das Hinterhorn und das Intermediärsegment des lateralen und medialen Meniskus getrennt voneinander anhand einer 4-Punkte-Skala bewertet (s. Tabelle 7). Neben der Meniskusqualität wird für jeden Meniskus zusätzlich beurteilt, wie viele Anteile des Meniskus betroffen sind. Die Summation beider Kriterien ergibt dann den gesamten Score-Wert. Die Unterteilung in diese separate

Bewertung ist notwendig, da die jeweilige Lokalisation der Meniskusschädigung von unterschiedlich biomechanischer Relevanz ist. (Peterfy et al., 2004)

Tab. 7: Punkte-Skala für Gesamt-Score Meniskus nach Peterfy et al. (2004)

Punkte-Skala	Bewertung der Meniskusqualität	Bewertung der Meniskusregionen (Anterior, Intermediär, Posterior)
0	intakt	Kein Defekt
1	kleiner radialer oder parrot-beak Riss	1 Defekt in 1 Region
2	nicht dislozierter Riss / Zustand nach chirurgischer Intervention	2 Defekte in 1 Region
3	dislozierter Riss / partielle Resektion	2 Defekte in >1 Region
4	komplette Destruktion / komplette Resektion	3 Defekte in ≥ 1 Region
5		4 Defekte in 1 Region
6		4 Defekte in > 1 Region

2.3.7. Ligamenta (Kreuz-und Kollateralbänder)

Das vordere und das hintere Kreuzband werden unabhängig voneinander im Sagittalschnitt als intakt (0) oder gerissen (1) bewertet. Das laterale und mediale Kollateralband werden anhand der koronaren Bilder als intakt oder gerissen bewertet. Die Summe der beiden Kreuzbänder wird mit der Hälfte der Summe beider Kollateralbänder in einem Gesamt-Ligament-Score zusammengefasst. (Peterfy et al., 2004)

2.3.8. Synovitis

Es wird nicht zwischen Synovia-Verdickung und Gelenkerguss unterschieden. Beide Merkmale werden gemeinsam anhand der Ausdehnung der Synovialhöhle von 0 bis 3 eingestuft. Dabei liegt bei einem Wert von 0 keine Verdickung vor, bei einem Wert von 1 weniger als 33% der maximal möglichen Ausdehnung, bei einem Wert von 2 zwischen 33 und 66% der maximal möglichen Ausdehnung und bei einem Wert von 3 mehr als 66% der maximal möglichen Ausdehnung. (Peterfy et al., 2004)

2.3.9. Freie Gelenkkörper

Die Beurteilung der freien Gelenkkörper erfolgt anhand der Anzahl: 0=keine, 1=1 Fremdkörper, 2=2 Fremdkörper, 3=3 oder mehr Fremdkörper. (Peterfy et al., 2004)

Diese Merkmalskategorie wird separat notiert und ist nicht im Gesamt-Score des WORMS mitinbegriffen.

2.3.10. Periartikuläre Zysten und Bursitis

Die periartikulären Zysten und Anzeichen einer Bursitis werden subjektiv nach der Größe eingeschätzt: 1=klein, 2=mäßig, 3=groß. (Peterfy et al., 2004)
Diese Merkmalskategorie wird separat notiert und ist nicht im Gesamt-Score des WORMS mitinbegriffen.

2.4. Statistische Analyse

Die statistische Analyse der Daten erfolgte unter Beratung des Instituts für medizinische Biometrie und Epidemiologie des UKE. Die statistischen Berechnungen wurden mittels Statistiksoftware IBM SPSS Statistics Version 25.0 (SPSS, Inc., Chicago, U.S.) durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha<0,05$ festgelegt.

2.4.1. Deskriptive Statistik

Die deskriptive Analyse beschreibt das Studienkollektiv anhand folgender Merkmale:

- Alter
- Position
- Anwesenheitsmonate
- Ausfallzeiten (absolut und pro Anwesenheitsmonat)
- Spielminuten (absolut und pro Anwesenheitsmonat)

Die Darstellung der Ausfallzeiten erfolgte nach Ausfallsgrund (vgl. Punkt 2.2.2.). Da die Spieler unterschiedliche Vertragslaufzeiten hatten, konnten konsekutiv die absoluten Ausfalltage nicht zum Vergleich herangezogen werden. Durch das Verhältnis von Ausfalltagen zu Anwesenheitsmonaten wurde ein Vergleich möglich. Dies erfolgte, indem die Ausfalltage und Spielminuten pro Anwesenheitsmonat berechnet wurden. Folgendes Beispiel soll dies näherbringen:

Spieler A: 100 Ausfalltage in 10 Anwesenheitsmonaten
→ 100/10 = 10 Ausfalltage pro Anwesenheitsmonat
Spieler B: 100 Ausfalltage in 100 Anwesenheitsmonaten
→ 100/100 = 1 Ausfalltag pro Anwesenheitsmonat

In der deskriptiven Darstellung wurden die absoluten und relativen Werte präsentiert. Für die weiteren statistischen Berechnungen wurden die Ausfalltage pro Anwesenheitsmonat verwendet.
Da von jedem eingeschlossenen Spieler beide Kniegelenke (links und rechts) im MRT untersucht wurden, wurden je Spieler zwei WORMS-Werte erhoben. Der Wilcoxon-Test wurde angewandt, um den Unterschied von linken und rechtem WORMS auf Signifikanz zu prüfen. Das Ergebnis fiel signifikant ($p<0,05$) aus, daher wurde die weitere Analyse im Seitenvergleich vorgenommen. Der WORMS wurde als durchschnittlicher Gesamt-WORMS (WORMS-G) beider Knieseiten als auch im Seitenvergleich nach schlechterer Knieseite (WORMS-S) und besserer Knieseite (WORMS-B) betrachtet.
N=5 Spieler zeigten den gleichen WORMS auf beiden Seiten. Die Analyse im Seitenvergleich betraf demnach n=49 Spieler.
Zusätzlich erfolgte eine detailliertere WORMS Analyse von WORMS-G und WORMS-S in den drei Subkategorien, die die höchsten Score Werte zeigten: Knorpel, Knochenmarködem und Osteophyten. Die Subkategorien wurden dabei nach unterschiedlichen Gelenkkompartimenten (PFJ, laterales und mediales TFJ) betrachtet.

2.4.2. Korrelationen

Bivariate Korrelationen wurden nach Spearman-Rho berechnet. Um präziser beurteilen zu können, inwiefern der festgestellte WORMS mit den Ausfallzeiten der jeweiligen Körperseite zusammenhängt, wurde der WORMS in drei Varianten unterteilt:

- WORMS-S ipsilateral
- WORMS-S kontralateral
- WORMS-G bilateral

Der WORMS-S ipsilateral bezog sich auf den WORMS des schlechteren Knies, der mit der Ausfallzeit der schlechteren und damit ipsilateralen Seite korreliert wurde. Anhand dessen konnte eingeschätzt werden, ob der Score des stärker vorgeschädigten Kniegelenkes einen statistischen Zusammenhang mit den Ausfällen dieser zugehörigen Körperseite zeigt.
Der WORMS-S kontralateral bezog sich auf den WORMS des schlechteren Knies, der mit den Ausfallzeiten der besseren und damit kontralateralen Körperseite korreliert wurde. Ziel dieser Analyse war es, die Auswirkung des stärker vorgeschädigten Kniegelenkes auf die gesündere Seite im Sinne einer kontralateralen Kompensation zu betrachten.
Der WORMS-G bilateral stellte den Bezug des WORMS-G zu den durchschnittlichen Ausfallzeiten beider Seiten dar. Dadurch konnte das Gesamtbild der Vorschädigung aus beiden Kniegelenken mit der gesamten Ausfallzeit für beide Körperseiten beobachtet werden.

Aufgrund der geringen Fallzahlen für vereinzelte Diagnosen wie z.B. Beckenboden und der Absicht, sich in dieser Arbeit auf die Ausfälle für das Kniegelenk und der Knie stabilisierenden Muskulatur zu beziehen, wurden folgende Diagnosen für die Korrelationsanalyse berücksichtigt:

- Gesamte untere Extremität
- Dorsaler Oberschenkel (Ischiocrurale / Hamstrings Muskulatur)
- Ventraler Oberschenkel (Musculus Quadriceps)
- Adduktoren
- Knie

Zudem wurde der Zusammenhang von WORMS-G und WORMS-S mit dem Alter und den Spielminuten pro Anwesenheitsmonat (Spielminuten/AM) analysiert.
Der Zusammenhang zwischen Spielbeinseite und Seite des WORMS-S wurde durch den Chi-Quadrat Test, der Zusammenhang von Spielposition und WORMS-G über den ETA-Koeffizienten untersucht. Aufgrund der stark unterschiedlich verteilten Gruppengröße der Positionen wurde diese Variable in weiteren Analysen nicht mehr berücksichtigt.

2.4.3. Regressionsanalyse

Zur präziseren Schätzung des prädiktiven Wertes wurde die Regressionsanalyse herangezogen. Diese erfolgte anhand der Variablen, die bereits einen statistisch signifikanten Zusammenhang in der vorherigen Korrelationsanalyse zeigten. Ein multiples lineares Regressionsmodel wurde herangezogen, um den WORMS-S, das Alter und die Spielzeit (Spielminuten/AM) als mögliche Prädiktoren für die Ausfallzeiten aufgrund von Kniegelenksbeschwerden ipsilateral zu untersuchen.
Das Modell der kategorialen Regression erfolgte zur präziseren Beurteilung des WORMS-S als Prädiktor. Dazu wurde in jedem Modell eine der vier Score-Kategorien als Referenzvariable definiert. So konnte der Vergleich zur entsprechenden Score-Kategorie untersucht und somit die einzelnen Abstände zwischen den jeweiligen Kategorien beobachtet werden. Daraus ließ sich ableiten, inwiefern sich der statistische Zusammenhang mit der Ausfallzeit mit steigender Score-Kategorie ändert. Ziel dieser Analyse war es, einen Schwellenwert des WORMS zu ermitteln. Eine Residuenstatistik mittels Cook-Abstands-Berechnung bestätigte, dass aufgrund des deutlichen Abstandes der WORMS-G Werte eine Analyse in Score-Kategorien für die Regression sinnvoll ist.
Die Kategorienbildung erfolgte anhand der kumulierten Prozente der Score-Verteilung. Dabei entstanden folgende vier Rang-Kategorien:

Tab. 8: Kategorien des WORMS-S anhand kumulierter Werte

Score-Kategorie	Score-Werte
1	0-8
2	9-14
3	15-17
4	≥ 17

3. Ergebnisse

3.1. Deskriptive Statistik

3.1.1. Studienkollektiv

Das Studienkollektiv umfasste N=54 männliche Profifußballspieler im Alter von 17 bis 35 Jahren (Ø23,3 ± 3,9; Median 23,0). Abbildung 8 verdeutlicht die Altersverteilung der Spieler nach Häufigkeiten. Mit 46% war der Großteil der Stichprobe zwischen 21 und 25 Jahren alt. Spieler mit einem Alter von über 30 Jahren (n=3) entsprachen 6% der Stichprobe.

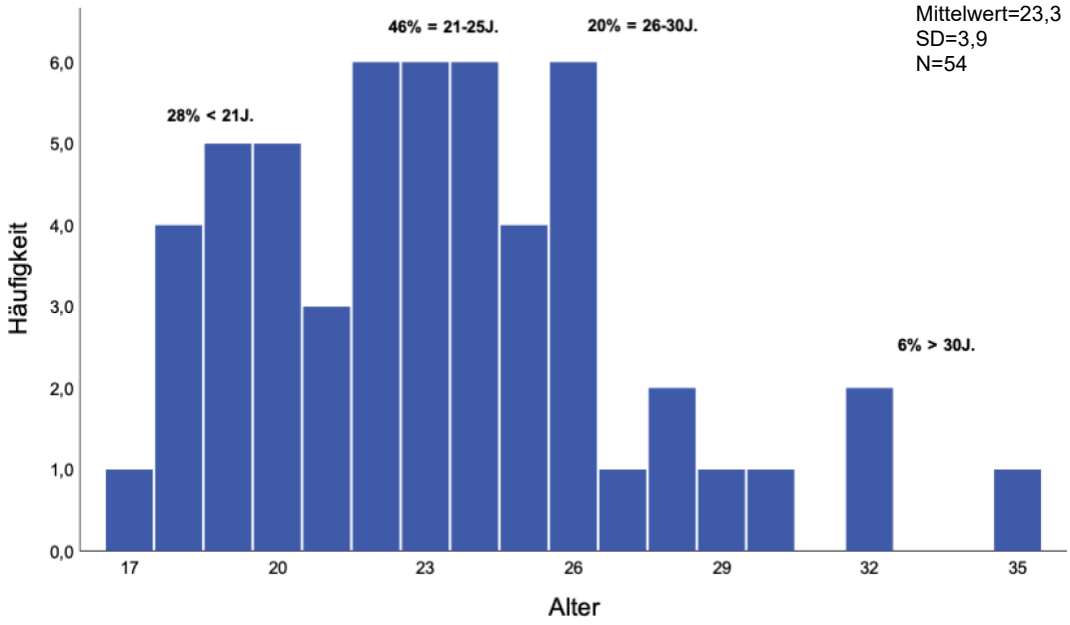


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung nach Alter

Die Spieler waren im Zeitraum von 2012 bis 2019 mindestens sieben und maximal 57 Monate (Ø24,0 ± 15,0; Median 21,0) für den Verein tägig (s. Abb. 9.). Die absoluten Spielminuten während der gesamten Anwesenheit betrugen im Durchschnitt 3508,0 ± 2626,0 min (147,0 – 11590,0; Median 2947,0). Die relativen Spielminuten betrugen im Durchschnitt 151,5 ± 97,1 min pro Anwesenheitsmonat (10,5 – 549,6; Median 135,1). Abbildung 10 zeigt die Häufigkeitsverteilung der unterschiedlichen Positionen. Das zentrale Mittelfeld war mit 33% am häufigsten vertreten. Abbildung 10 zeigt die Verteilung der unterschiedlichen Positionen.

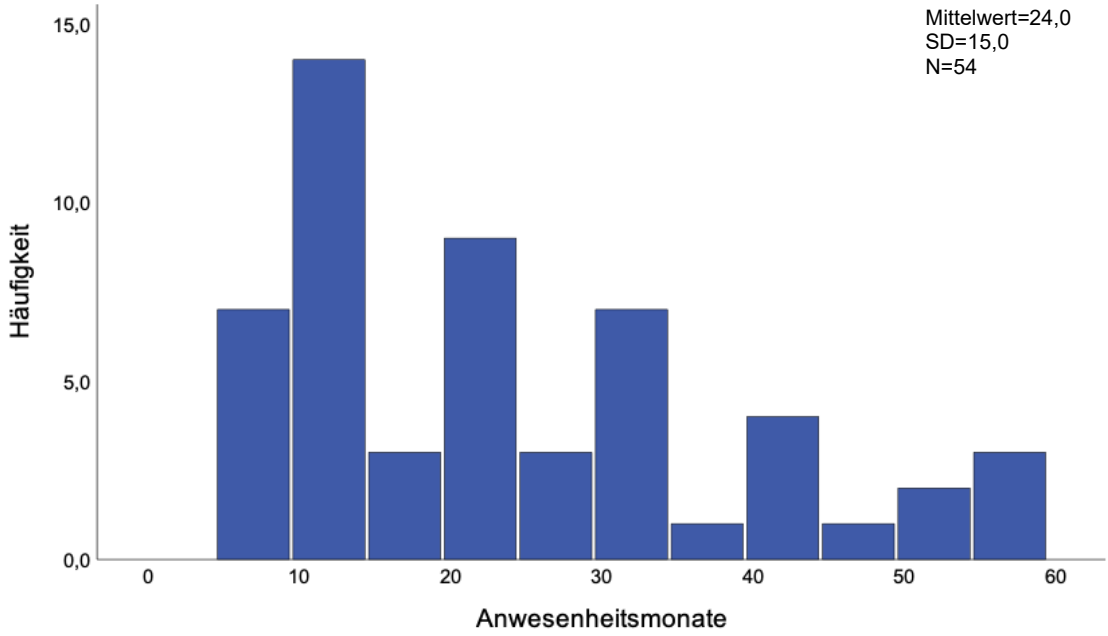


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der Anwesenheitsmonate

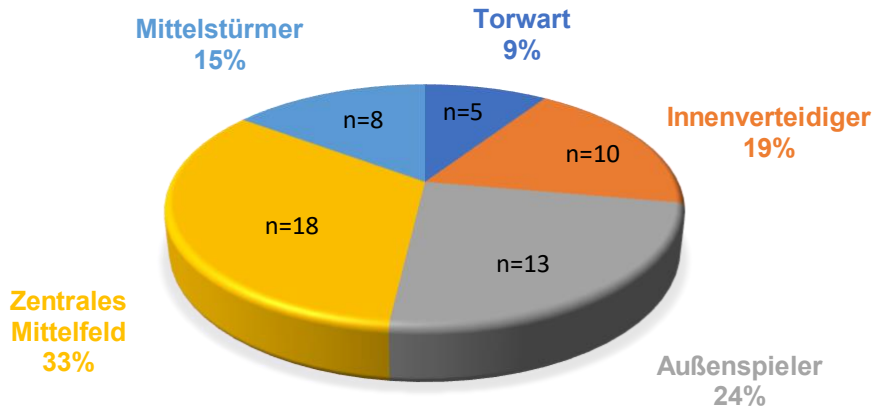


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung der Positionen

3.1.2. Ausfallzeiten

Von 54 Spielern zeigten 49 Spieler während des Beobachtungszeitraumes Ausfalltage aufgrund einer akuten Verletzung oder Beschwerden durch ältere Verletzungen an der unteren Extremität. Die Mehrheit der Spieler fiel aufgrund einer klassischen Muskelverletzung am Oberschenkel (n=34) oder aufgrund einer Verletzung des Kniegelenkes (n=30) aus. Tabelle 9 zeigt dazu die Ausfalltage der Ausfallsereignisse (unter „N“ angegeben) nach anatomischer Lage in absoluten und relativen Werten (pro Anwesenheitsmonat).

Im Folgenden werden aus Gründen der Übersicht die Variablen „Ausfalltage“ mit „AT“ und „Ausfalltage pro Anwesenheitsmonat“ mit „AT/AM“ abgekürzt.

Insgesamt wurden für die gesamte Studienpopulation 201 Ausfallsereignisse mit 4799,0 AT (Ø 23,9 ± 39,3) für die untere Extremität dokumentiert. Durchschnittlich zeigten sich 23,9 (± 39,3) AT bzw. 1,0 (± 1,6) AT/AM je Ausfallsereignis.
Das Kniegelenk war mit 26,4% die häufigste anatomische Lokalisation aller Ausfallsereignisse und zeigte ebenso die höchsten Ausfallzeiten mit 2041,0 AT und 96,7 AT/AM sowie den höchsten Maximalwert von 281,0 AT und 14,8 AT/AM. Durchschnittlich zeigten die Spieler 38,5 (± 65,3) AT und 1,8 (± 3,3) AT/AM für ein Ausfallsereignis am Kniegelenk.
Zweithäufigste anatomische Lokalisation zeigte die dorsale Oberschenkelmuskulatur (15,9%) mit insgesamt 497,0 AT und 24,6 AT/AM sowie durchschnittlich 15,5 (± 9,9) AT und 0,8 (± 0,8) AT/AM. Adduktoren und oberes Sprunggelenk traten zu 12,9% aller Ereignisse auf. Dabei präsentierten Ausfälle am oberen Sprunggelenk die zweithöchste Ausfallzeit mit insgesamt 825,0 AT und 41,0 AT/AM sowie durchschnittlich 31,7 (± 37,8) AT und 1,6 (± 2,1) AT/AM.
Der ventrale Oberschenkel zeigte von der gesamten Oberschenkelmuskulatur die geringste Ausfallzeit mit insgesamt 243,0 AT und 10,0 AT/AM sowie durchschnittlich 12,8 (± 11,8) AT und 0,5 (± 0,6) AT/AM. Weitere anatomische Lokalisationen wie Hüfte/Leiste, Beckenboden, Wade/Unterschenkel und Fuß präsentierten jeweils unter 10% aller Ausfallsereignisse und Ausfallzeiten. Beckenboden zeigte Maximalwerte bis zu 108,0 AT mit 3,4 AT/AM.

Zu beachten ist, dass die im oberen Abschnitt der Tabelle aufgeführten Lokalisationen der Oberschenkelmuskulatur auch Muskelkontusionen miteinbeziehen.

Die klassischen Muskelverletzungen (ohne Muskelkontusionen) bestimmten 42,3% aller Ausfallsereignisse. Dies ergab insgesamt 1395,0 AT mit 62,3 AT/AM und durchschnittlich 16,4 (± 18,2) AT mit 0,7 (± 1,1) AT/AM. Die häufigste Lokalisation der Oberschenkelmuskulatur zeigte die dorsale Gruppe (Hamstrings) mit 32,9% der Ausfallsereignisse und insgesamt 442,0 AT mit 24,2 AT/AM und durchschnittlich 15,8 (± 10,2) AT und 0,9 (± 0,8) AT/AM. Die höchsten Ausfallzeiten sowie auch die höchsten Maximalwerte zeigte die Adduktorengruppe mit insgesamt 464,0 AT und 14,5 AT/AM sowie durchschnittlich 19,3 (± 23,6) AT und 0,6 (± 0,6) AT/AM.

Tab. 9: Ausfalltage nach anatomischer Lage in absoluten und relativen Werten für n=54 Spieler

		Ausfalltage							
Anatomische Lage	**N** (Ausfallsereignis)	**Min***		**Max***		**Mean (SD)***		**Total***	
Untere Extremität gesamt	201 (100%)	3,0	0,1	28,0	10,4	23,9 (39,3)	1,0 (1,6)	4799,0	194,6
Dorsaler Oberschenkel	32 (15,9%)	3,0	0,1	40,0	3,6	15,5 (9,9)	0,8 (0,8)	497,0	24,6
Ventraler Oberschenkel	19 (9,5%)	3,0	0,1	46,0	2,3	12,8 (11,8)	0,5 (0,6)	243,0	10,0
Adduktoren	26 (12,9%)	3,0	0,1	88,0	2,9	19,0 (20,2)	0,7 (0,8)	495,0	17,4
Hüfte/Leiste	9 (4,5%)	3,0	0,1	28,0	0,6	11,4 (9,0)	0,3 (0,2)	103,0	2,8
Beckenboden	5 (2,5%)	8,0	0,2	108,0	3,4	34,4 (41,8)	1,1 (1,3)	172,0	5,3
Knie	53 (26,4%)	3,0	0,1	281,0	14,8	38,5 (65,3)	1,8 (3,3)	2041,0	96,7
Wade / Unterschenkel	18 (9,0%)	4,0	0,1	23,0	0,9	11,2 (6,8)	0,4 (0,2)	201,0	6,5
Oberes Sprunggelenk	26 (12,9%)	3,0	0,1	117,0	7,1	31,7 (37,8)	1,6 (2,1)	825,0	41,0
Fuß	13 (6,4%)	3,0	0,1	88,0	3,8	17,1 (13,0)	0,6 (1,0)	222,0	8,1
Klassische Muskelverletzung°	85 (42,3%)	3,0	0,1	108,0	4,0	16,4 (18,2)	0,7 (1,1)	1394,0	62,3
Dorsaler Oberschenkel (Hamstrings)	28 (32,9%)	3,0	0,1	40,0	3,6	15,8 (10,2)	0,9 (0,8)	442,0	24,2
Ventraler Oberschenkel (Quadrizeps)	12 (14,2%)	3,0	0,1	46,0	1,1	13,5 (13,1)	0,4 (0,3)	162,0	5,1
Adduktoren	24 (28,2%)	3,0	0,1	88,0	2,20	19,3 (23,6)	0,6 (0,6)	464,0	14,5
Hüfte / Leiste	5 (5,9%)	3,0	0,1	13,0	0,3	6,0 (3,8)	0,1 (0,1)	30,0	0,7
Beckenboden	4 (4,7%)	8,0	0,2	108,0	7,2	48,3 (17,4)	2,0 (3,5)	145,0	8,0
Wade / Unterschenkel	11 (12,9%)	4,0	0,1	23,0	2,1	20,6 (16,1)	0,5 (0,6)	144,0	5,3
Fuß	1 (1,2%)	7,0	0,2	7,0	0,2	7,0 (0,0)	0,1 (0,0)	7,0	0,1

*linke Spalte: absolute Ausfalltage, rechte Spalte: relative Ausfalltage (pro Anwesenheitsmonat)
°Die klassischen Muskelverletzungen sind unter den Diagnosen im oberen Feld der Tabelle zusammen mit den Muskelkontusionen aufgeführt.

Tabelle 10 zeigt die Häufigkeiten der AT/AM der besseren (B) und schlechteren Score-Seite (S) nach anatomischer Lage für n=49 Spieler. Die untere Extremität der besseren Score-Seite präsentierte gesamt 108,6 AT/AM mit durchschnittlich 2,2 (± 4,2) AT/AM und einem Median von 0,95 AT/AM. Die gesamten AT/AM für die untere Extremität der schlechteren Score-Seite zeigten 73,1 AT/AM mit durchschnittlich 1,5 (± 2,2) AT/AM. Die Maximalwerte der besseren Score-Seite fielen bis auf die AT/AM der klassischen Muskelverletzung mindestens doppelt so hoch aus wie die der schlechteren Score-Seite. Die höchsten Ausfallzeiten zeigten beide Seiten aufgrund des Kniegelenkes mit durchschnittlich 1,2 (± 3,8) für die bessere und 0,6 (±1,8) für die schlechtere Knieseite.

Tab. 10. Ausfalltage pro Anwesenheitsmonat (AT/AM) nach anatomischer Lage für n=49 Spieler im Seitenvergleich

Anatomische Lage	**Min**		**Max**		**Mean (SD)**		**Median**		**Total**	
N=49 Spieler; AT/AM	**B**	**S**	**B**	**S**	**B**	**S**	**B**	**S**	**B**	**S**
Untere Extremität gesamt	0,0	0,0	24,0	11,4	2,2 (4,2)	1,5 (2,2)	0,95	0,8	108,6	73,1
Dorsaler Oberschenkel	0,0	0,0	8,0	1,7	0,3 (1,2)	0,2 (0,4)	0,0	0,0	14,6	7,7
Ventraler Oberschenkel	0,0	0,0	3,1	1,3	0,1 (0,5)	0,1 (0,2)	0,0	0,0	5,8	2,2
Adduktoren	0,0	0,0	5,3	2,1	0,2 (0,8)	0,1 (0,4)	0,0	0,0	11,1	5,9
Knie	0,0	0,0	24,0	11,2	1,2 (3,8)	0,6 (1,8)	0,0	0,0	56,6	27,8
Klassische Muskelverletzung	0,0	0,0	8,0	7,2	0,6 (1,3)	0,5 (1,2)	0,0	0,0	27,2	22,3

Spalte B gibt die Ausfalltage der besseren Score-Seite, Spalte S gibt die Ausfalltage der schlechterem Score-Seite an. Zu beachten ist: Die AT/AM werden hier (im Vergleich zu Tabelle 9) nach N=49 Spielern und nicht nach Ausfallsereignissen angegeben.

3.1.3. WORMS

Die Kategorie subchrondraler Knochenabrieb ist, wie in Kapitel 2.3 beschrieben, nicht aufgeführt.

Tabelle 11 zeigt die Verteilung des WORMS-G. Der durchschnittliche WORMS-G betrug 14,2 (± 9,3; 14,2), welcher 4,3% des maximal zu erreichenden WORMS darstellt. Der höchste WORMS-G, den ein Spieler erreichte, lag bei 61,0. Dies stellte 18,4% des maximal zu erreichenden WORMS von 332 Punkten dar. Zu den Score-Kategorien mit den höchsten Punktzahlen gehörten Knorpel (Ø 5,8 ± 5,8; 4,0), Knochenmarködem (Ø 2,4 ± 2,6; 1,5) und Osteophyten (Ø 4,4 ± 5,9; 2,5). Den höchsten prozentualen Anteil des maximal zu erreichenden WORMS erreichten die Mittelwerte der Kategorien Synovitis mit 21,7% und Knorpel mit 6,9%. Der Maximalwert der Kategorie Synovitis zeigte mit 3,0 den für diese Kategorie maximal zu erreichenden Score-Wert. Die Maximalwerte von Knorpel (24,0) und Osteophyten (32,0) erreichten 28,6% bzw. 32,7% des maximal zu erreichenden Score-Wertes dieser Kategorie. Knochenzysten zeigten durchschnittlich Werte von 0,4 (± 0,8; 0,0) und Maximalwerte von 3,5. Der Score-Wert für den lateralen Meniskus fiel im Durchschnitt mit 0,3 (± 0,7; 0,0) höher aus als der Score-Wert für den medialen Meniskus mit 0,2 (± 0,7; 0,0).

Tab. 11: Verteilung des WORMS-G (N=54)

	Min	Max	Mean (± SD; Median)	% WORMSmax* Mean	Max
WORMS-G gesamt	0,0	61,0	14,2 (± 9,3; 14,2)	4,3%	18,4%
Knorpel	0,0	24,0	5,8 (± 5,8; 4,0)	6,9%	28,6%
Knochenmarködem	0,0	9,5	2,4 (± 2,6; 1,5)	5,3%	21,1%
Knochenzysten	0,0	3,5	0,4 (± 0,8; 0,0)	0,9%	7,8%
Osteophyten	0,0	32,0	4,4 (± 5,9; 2,5)	4,5%	32,7%
Meniscus med.	0,0	4,0	0,2 (± 0,7; 0,0)	3,7%	66,6%
Meniscus lat.	0,0	3,5	0,3 (± 0,7; 0,0)	5,2%	58,3%
Ligamente	0,0	1,5	0,1 (± 0,3; 0,0)	2,7%	50,0%
Synovitis	0,0	3,0	0,7 (± 0,7; 0,5)	21,7%	100%

* Prozentualer Anteil des maximal zu erreichenden Score-Wertes in der jeweiligen Kategorie

Der WORMS zeigte im Wilcoxon Test mit $p<0,05$ einen signifikanten Unterschied von linker zu rechter Knieseite. Im Seitenvergleich nach schlechterer (WOMRS-S) und besserer (WORMS-B) Score-Seite wurde ein Unterschied von fünf Punkten hinsichtlich des Medians festgestellt. Da n=5 Spieler einen gleichen Score-Wert auf beiden Knieseiten zeigten, wurden diese aus der Seitenanalyse ausgeschlossen. Die Analyse nach WORMS-S und WORMS-B entspricht demnach n=49 Spieler.

Tabelle 12 zeigt die Verteilung des WORMS-S. Der durchschnittliche WORMS-S betrug 20,9 (± 23,4; 14,0). Der Maximalwert stellte mit 111,0 33,4% des maximal zu erreichenden WORMS dar. Die höchsten Werte gaben die Score-Kategorien Knorpel, Knochenmarködem und Osteophyten an. In diesen Kategorien wurden Maximalwerte von 41,0 für Knorpel, 18,0 für Knochenmarködem und 44,0 für Osteophyten erreicht. Die durchschnittlichen Werte für die Kategorie Knorpel stellten mit 8,6 (± 8,5; 6,0) 10,2% des maximal zu erreichenden Score-Wertes dar. Der laterale Meniskus zeigte mit 5,0 83,3% des maximal zu erreichenden Score-Wertes dieser Kategorie. Der Maximalwert des medialen Meniskus zeigte 0,4. In der Kategorie Synovitis erreichte der durchschnittliche Wert von 1,0 (± 1,0; 1,0) 32,7 % des maximal zu erreichenden Score-Wertes, der Maximalwert von 3,0 erreichte 100% des maximal zu erreichenden Score-Wertes.

Tabelle 13 zeigt die Verteilung des WORMS-B. Der durchschnittliche WORMS-B betrug 9,4 (± 8,1; 7,0), dies ergab 2,8% des maximal zu erreichenden WORMS. Der WORMS-B zeigte in allen Kategorien einen um mindestens 50% niedrigeren Maximal-, Durchschnitts- und Medianwert als der WORMS-S, mit Ausnahme des medialen Meniskus mit einem Maximalwert von 4,0 und damit 66,7% des maximalen Score-Wertes. Die höchsten Werte gaben die Score-Kategorien Knorpel, Knochenmarködem und Osteophyten an. In der Kategorie

Synovitis zeigte der Maximalwert von 3,0 den maximal zu erreichenden Score-Wert dieser Kategorie.

Tab. 12: Verteilung WORMS-S (N=49)

	Min	Max	Mean (± SD; Median)	% WORMSmax Mean	% WORMSmax Max
WORMS-S gesamt	2,0	111,0	20,9 (± 23,4; 14,0)	6,3%	33,4%
Knorpel	0,0	41,0	8,6 (± 8,5; 6,0)	10,2%	48,8%
Knochenmarködem	0,0	18,0	4,1 (± 4,5; 3,0)	9,1%	40,0%
Knochenzysten	0,0	6,0	0,7 (± 1,4; 0,0)	1,6%	13,3%
Osteophyten	0,0	44,0	6,7 (± 9,7; 4,0)	6,8%	44,9%
Meniskus med.	0,0	0,4	0,4 (± 1,0; 0,0)	6,2%	6,7%
Meniskus lat.	0,0	5,0	0,5 (± 1,1; 0,0)	8,5%	83,3%
Ligamente	0,0	3,0	0,2 (± 0,6; 0,0)	6,0%	100%
Synovitis	0,0	3,0	1,0 (± 1,0; 1,0)	32,7%	100%

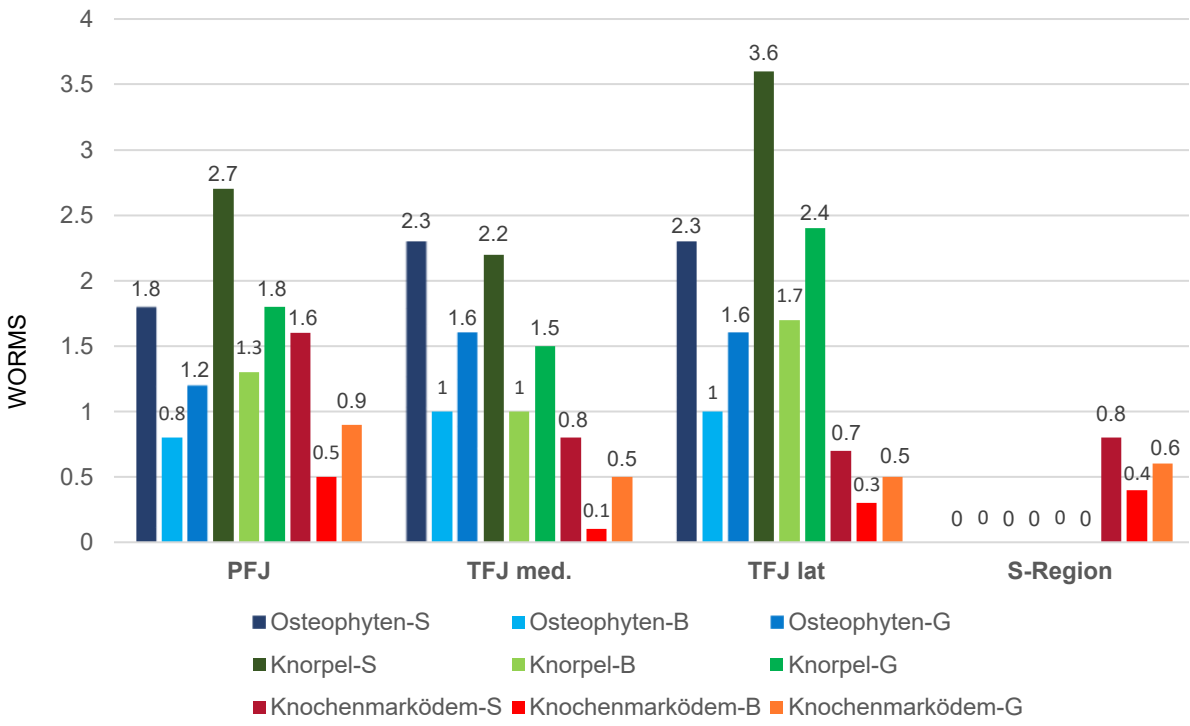
* Prozentualer Anteil des maximal zu erreichenden Score-Wertes in der jeweiligen Kategorie

Tab. 13: Verteilung WORMS-B (N=49)

	Min	Max	Mean (± SD; Median)	% WORMSmax Mean	% WORMSmax Max
WORMS-B gesamt	0,0	30,0	9,4 (± 8,1; 7,0)	2,8%	9,0%
Knorpel	0,0	14,0	3,9 (± 3,8; 3,0)	4,7%	16,7%
Knochenmarködem	0,0	7,0	1,1 (± 1,8; 0,0)	2,5%	31,1%
Knochenzysten	0,0	3,0	0,1 (± 0,5; 0,0)	0,3%	6,7%
Osteophyten	0,0	20,0	2,5 (± 3,5; 2,0)	2,5%	20,4%
Meniskus med.	0,0	4,0	0,1 (± 0,6; 0,0)	2,0%	66,7%
Meniskus lat.	0,0	2,0	0,1 (± 0,4; 0,0)	1,3%	33,3%
Ligamente	0,0	0,0	0,0 (± 0,0; 0,0)	0,0%	0,0%
Synovitis	0,0	3,0	0,4 (± 0,7; 0,0)	13,0%	100%

* Prozentualer Anteil des maximal zu erreichenden Score-Wertes in der jeweiligen Kategorie

Abbildung 11 stellt die Ausprägung von WORMS-G, WORMS-B und WORMS-S nach Gelenkkompartimenten in den Subkategorien Knorpel, Knochenmarködem und Osteophyten im Mittel dar. In allen WORMS Varianten zeigte das laterale TFJ die stärkste Ausprägung an Knorpelveränderungen. Ein Knochenmarködem war in allen WORMS Varianten am stärksten im PFJ ausgeprägt, zweitstärkste Ausprägung zeigte die S-Region. Osteophyten zeigten im WORMS-S und WORMS-B im medialen und tibialen TJF gleiche Ausprägung.



Der dunklere Ton der jeweiligen Farbe gibt die Werte des WORMS-S, der hellere Ton die Werte des WORMS-B, der Mittelton an dritter Stelle die Werte der WORMS-G an.
Zu beachten ist: Für dieses Diagramm wurden die Werte jeweils auf eine Dezimalstelle gerundet und ergeben dadurch in Summe nicht immer 1.

Abb. 11: Durchschnittliche Ausprägung des WORMS in den Kategorien Knorpel, Knochenmarködem und Osteophyten nach Gelenkkompartimenten

Abbildung 12 veranschaulicht die Score-Beurteilung anhand Ausschnitte der MRT-Diagnostik.

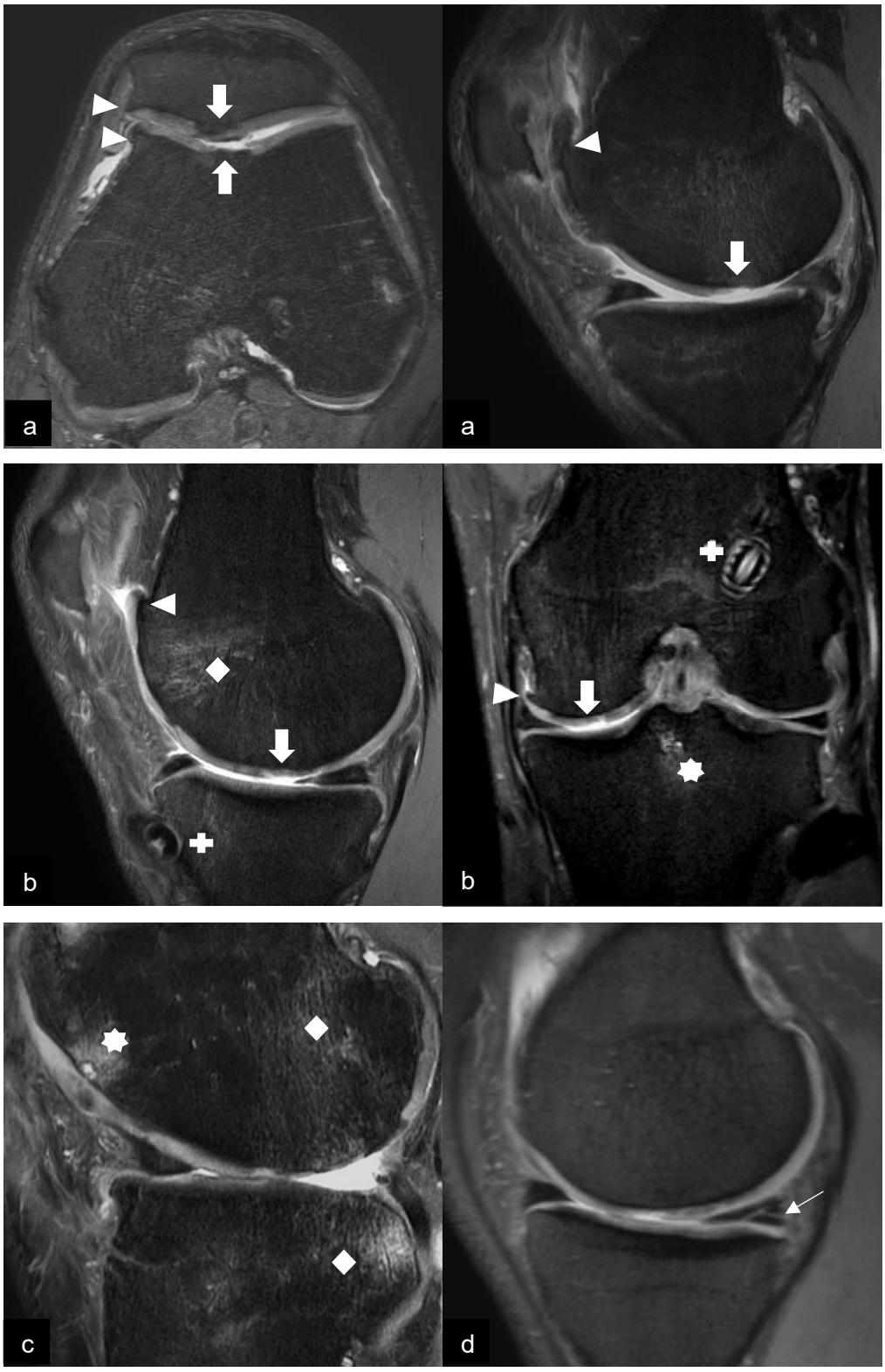


Abb. 12: MRT-Ausschnitte von vier Spielern mit markierten Pathologien

Legende: Dicker Pfeil: Knorpeldefekt, Dreieck-Pfeil: Osteophyten, Raute: Knochenmarködem, Kreuz: VKB-Plastik, Stern: Knochenzysten, schmaler Pfeil: Meniskusriss. a) 29 Jahre, WORMS-S 111 mit Knorpelscore 44, MPFJ: 19, PFJ: 13, Osteophytenscore 44; b) 23 Jahre, WORMS-S 53 mit VKB-Plastik – Ligamente Score zwei, Knochenzyste S-Region Score 3; c) 25 Jahre, WORMS-S 90, Knochenzyste PFJ:3 und Knochenmarködem im LTFJ 11; d) 22 Jahre, WORMS-S 26 mit lateralem Meniskusscore vier.

3.2. Korrelationen

3.2.1. Zusammenhang von WORMS und Ausfallzeiten

Tabelle 14 stellt die Korrelationsanalyse der unterschiedlichen WORMS Varianten und den AT/AM nach der Art der Verletzung und der zugehörigen Körperseite dar. Die Ausfalltage von dorsalem, ventralem Oberschenkel und den Adduktoren beziehen sich dabei auf die Ausfälle aufgrund einer klassischen Muskelverletzung (KM).

WORMS-S und WORMS-G zeigten keinen statistischen Zusammenhang mit den AT/AM der gesamten unteren Extremität der ipsilateralen (p=0,166), kontralateralen (p=0,163) und bilateralen Seite (p=0,230).

Der WORMS-S zeigte einen statistischen Zusammenhang von r=0,326 mit den AT/AM aufgrund von Verletzungen des ipsilateralen Kniegelenks. Dieser statistische Zusammenhang war signifikant (p=0,022). Der WORMS-S zeigte einen Zusammenhang mit den AT/AM der ipsilateralen dorsalen Oberschenkelmuskulatur von r=0,274, ohne statistische Signifikanz (p=0,056). Der WORMS-S zeigte keinen statistischen Zusammenhang mit den AT/AM für die ipsilaterale ventrale Oberschenkelmuskulatur (r=0,043, p=0,789) und den Adduktoren (r=0,049, p=0,740).

Tab. 14: Korrelationen nach Spearman-Rho: AT/AM und WORMS

		WORMS-S ipsilateral (n=49)	WORMS-S kontralateral (n=49)	WORMS-G bilateral (n=54)
Untere Extremität gesamt	Korrelationskoeffizient r	0,201	0,202	0,166
	Sig. (2-seitig)	0,166	0,163	0,230
Knie	Korrelationskoeffizient r	0,326*	0,035	0,253
	Sig. (2-seitig)	0,023	0,810	0,064
Klassischer Muskelverletzung				
Dorsaler Oberschenkel	Korrelationskoeffizient r	0,274	0,062	0,248
	Sig. (2-seitig)	0,056	0,674	0,071
Ventraler Oberschenkel	Korrelationskoeffizient r	0,043	0,152	0,058
	Sig. (2-seitig)	0,769	0,296	0,677
Adduktoren	Korrelationskoeffizient r	0,049	-0,087	0,101
	Sig. (2-seitig)	0,740	0,552	0,466

*p<0,05

Der WORMS-S zeigte keinen statistischen Zusammenhang mit den AT/AM der kontralateralen Seite für das Kniegelenk (p=0,810) und die klassischen Muskelverletzungen (p=0,764; p=0,296; p=0,552).

WORMS-G zeigte einen Zusammenhang mit den gesamten AT/AM beider Kniegelenke von r=0,252 und der dorsalen Oberschenkelmuskulatur von r=0,248, ohne statistische Signifikanz mit p=0,064 und p=0,071.

Abbildung 13 illustriert die Verteilung der ipsilateralen (i) AT/AM des Kniegelenks nach besserer und schlechterer Score-Seite in Abhängigkeit des WORMS-B bzw. WORMS-S. Es zeigt sich ein positiver Trend zwischen WORMS-S und der zugehörigen AT/AM des Kniegelenks. Der Zusammenhang von WORMS-B und der zugehörigen AT/AM des Kniegelenkes zeigt eine nahezu horizontale Regressionslinie. Das Diagramm verdeutlicht die ausgeprägte Streuung der Daten, insbesondere im Bereich der niedrigeren WORMS-Werte (≤20). WORMS-B zeigt die deutlichen Ausreißer-Werte der AT/AM (Knie) in unteren Score-Breiten (WORMS-B<20).

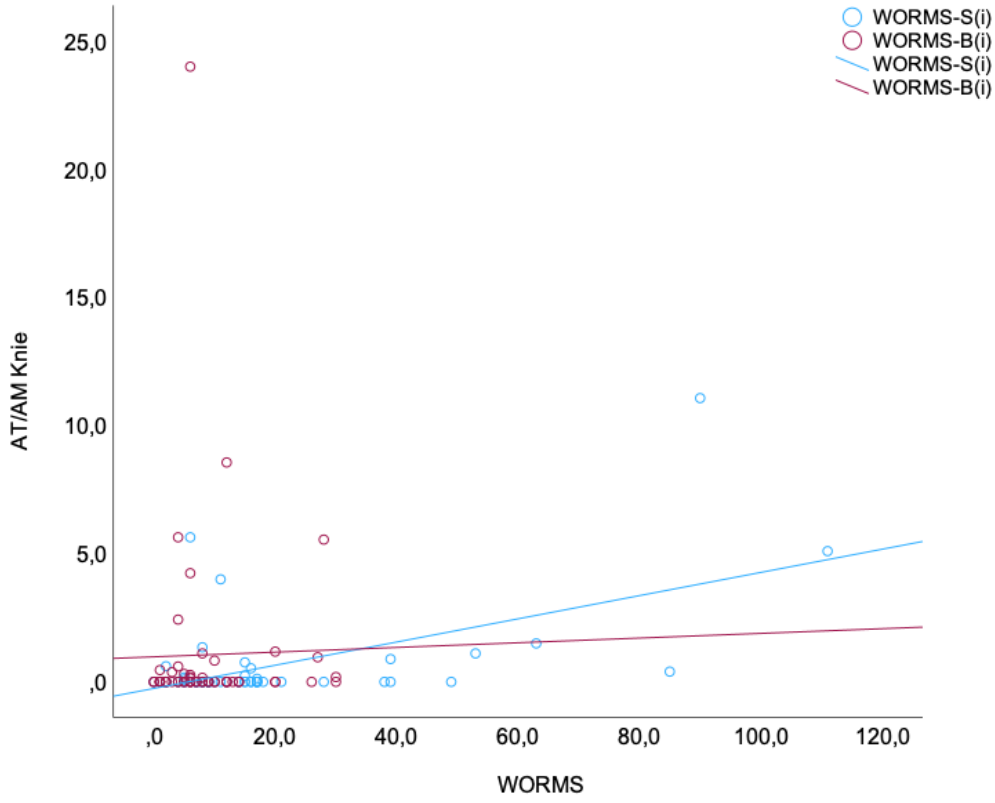


Abb. 13: Streudiagramm der AT/AM (Knie) für die jeweilige Seite des WORMS-S und WORMS-B

3.2.2. Zusammenhang von WORMS und Alter

Der WORMS-G zeigte mit r=0,318 (p=0,019) einen statistisch signifikanten Zusammenhang mit dem Alter der Spieler (s. Tab. 15.). Es konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang von WORMS-S und Alter festgestellt werden (p=0,115).

Tab. 15: Korrelation nach Spearman-Rho: Alter und WORMS

		WORMS-S (n=49)	WORMS-G (n=54)
Alter	Korrelationskoeffizient	0,228	0,318*
	Sig. (2-seitig)	0,115	0,019
	N	49	54

*p<0,05

Abbildung 14 veranschaulicht die Verteilung des WORMS-G nach Alter. Die zwei höchsten Maximalwerte sind in den höheren Altersklassen der Stichprobe (29-35 Jahre) vertreten. In jüngeren Altersklassen (<21 Jahre) zeigen 33% der Spieler einen WORMS-G >10 und 13% einen WORMS-G >20. In der Altersklasse 21-25 Jahre, die 46% aller Spieler umfasst, zeigen 54% der Spieler einen WORMS-G >10 und 25% einen WORMS-G >20.

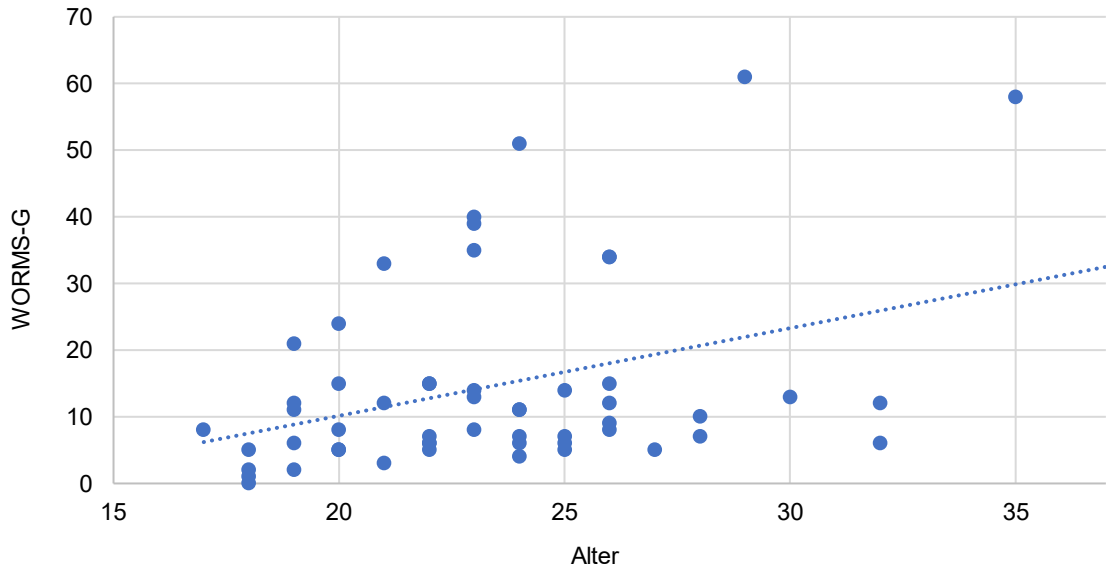


Abb. 14: Streudiagramm Alter und WORMS-G

3.2.2. Zusammenhang von WORMS, Spielminuten und Position

WORMS-G und WORMS-S zeigten beide keinen statistischen Zusammenhang mit den Spielminuten/AM (p=0,928; p=0,517, s. Tab. 16.).

WORMS-G und WORMS-S zeigten beide keinen statistischen Zusammenhang mit den Spielminuten/AM (p=0,928; p=0,517, s. Tab. 16.).

Tab. 16: Korrelationen nach Spearman-Rho Spielminuten/AM und WORMS

		WORMS-S (n=49)	WORMS-G (n=54)
Spielminuten/AM	Korrelationskoeffizient	0,095	-0,013
	Sig. (2-seitig)	0,517	0,928
	N	49	54

Die Zusammenhangsanalyse von WORMS-S und WORMS-G mit der Spielposition zeigten einen Eta-Koeffizienten von Eta=0,313 (WORMS-S) und Eta=0,396 (WORMS-G). Ein Zusammenhang von WORMS und Spielposition ist statistisch anzunehmen.

Abbildung 15 veranschaulicht dazu die Verteilung des WORMS-S nach Position. Mittelstürmer zeigten den höchsten Median im WORMS-S und die größte Streuung der Score-Werte. Ebenso große Spannweite des WORMS-S präsentierten die Innenverteidiger. Deutlicher Ausreißer zeigten die Positionen: Innenverteidiger, Außenspieler und zentrales Mittelfeld. Die niedrigsten WORMS-S stellte die Position Torwart dar.

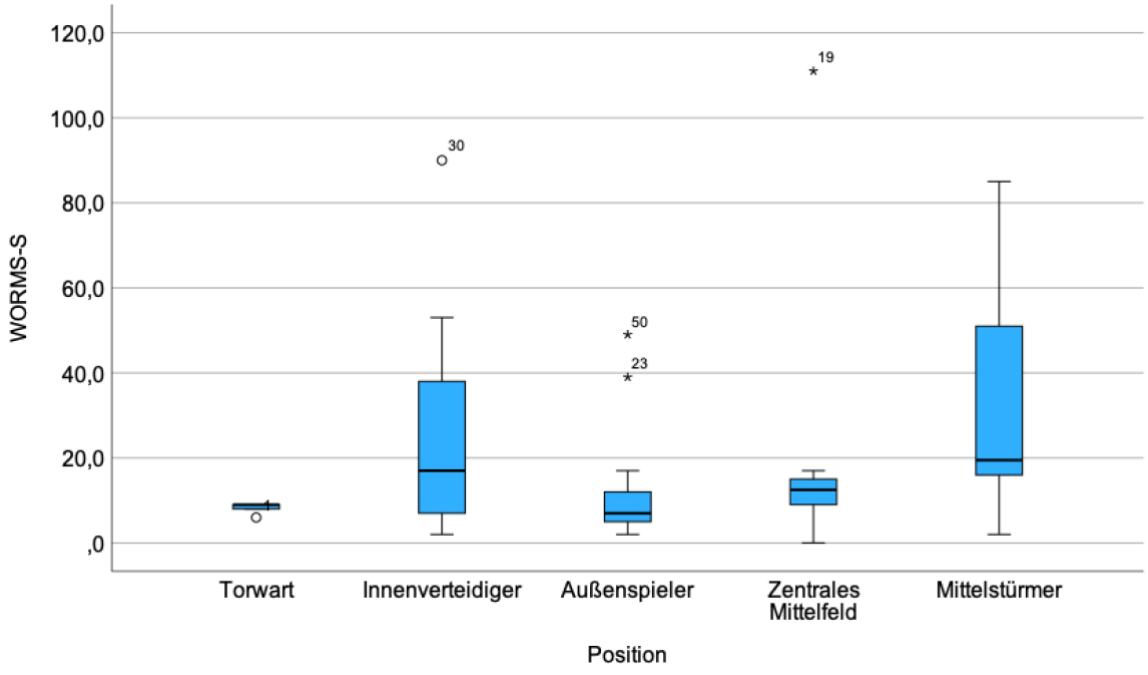


Abb. 15: Boxplot Diagramm: Verteilung WORMS-S nach Position der Spieler

3.2.3. Zusammenhang von WORMS-S und Spielbeinseite

65,3% (n=32) der Spieler zeigten den WORMS-S linksseitig, 34,7% (n=17) rechtsseitig. Bei 69,4% der Spieler stellte die linke Seite das Standbein und die rechte Seite das Spielbein dar. Der Chi-Quadrat Test zeigte keinen statistisch signifikanten Zusammenhang (p=0,311) von Seite des WORMS-S und Spielbeinseite.

3.3. Regressionsanalyse

3.3.1. Multiples Modell

Um den WORMS-S als Prädiktor, insbesondere im Zusammenhang mit den AT/AM für das ipsilaterale Kniegelenk noch präziser beurteilen zu können, wurde ein multiples Regressionsmodell genutzt. Anhang 1 zeigt das Modell, welches neben dem WORMS-S auch das Alter und die Spielminuten/AM als weitere Prädiktoren der AT/AM für das ipsilaterale Kniegelenk miteinschließt. In diesem Modell waren 38,8% der AT/AM des ipsilateralen Kniegelenkes durch den WORMS-S, das Alter und die Spielminuten/AM zu erklären. Dieses Modell war statistisch signifikant (p<0,001). Die geschätzte Zunahme der AT/AM für das ipsilaterale Kniegelenk betrug nach diesem Modell 0,050 AT/AM je Score-Wert WORMS-S (KI: 0,031-0,069). Dieses Ergebnis war signifikant (p<0,001).
Die Variablen Alter und Spielminuten/AM zeigten im Modell keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die AT/AM für das ipsilaterale Kniegelenk (p=0,688; p=0,795).

3.3.3. Kategoriales Regressionsmodell mit Referenzanalyse

Aufgrund der vorherigen Analysen wurde angenommen, dass erst ab einem höheren Schwellenwert des WORMS von einem Effekt auf die Ausfallzeiten auszugehen ist. Daher erfolgte die ergänzende Analyse mittels kategorialem Regressionsmodell.
Die vier Rang-Kategorien wurden anhand der kumulierten Werte in nahezu gleich verteilten Gruppen von n=12 bis n=13 gebildet (Tab. 17.). Anhang 2 gibt die Analyse des kategorialen Regressionsmodells an. Die Wahrscheinlichkeit einen F-Wert von 2,163 oder größer mit den Freiheitsgraden (1,45) zu erhalten, liegt bei p=0,106. Dadurch war die ANOVA des Modells statistisch nicht signifikant. Abbildung 16 veranschaulicht die berechneten Unterschiede des Regressionskoeffizienten zwischen den jeweiligen Score-Kategorien. Die Pfeile geben die Zu-/Abnahme der AF/AM zur nächsthöheren oder angezeigten Score-Kategorie an. Innerhalb der ersten drei Kategorien ließ sich kein statistisch signifikanter Unterschied erkennen (p>0,05). Die Unterschiede von Kategorie 4 im Vergleich zu Kategorie 3 (p=0,036) und Kategorie 1 (p=0,035) waren statistisch signifikant. Ein Spieler

der Kategorie 4 und damit ab einem Score-Wert von 17 zeigte 1,5 AT/AM mehr für das ipsilaterale Kniegelenk als ein Spieler der Score-Kategorie 1 (p=0,035).

Tab. 17: WORMS-S Kategorien

Kategorien	N (Spieler)	Kumulierte Prozente	Score-Werte
1	13	26,5	0-8
2	12	51,0	9-14
3	12	75,5	15-17
4	12	100,0	≥ 17
Gesamt	49		

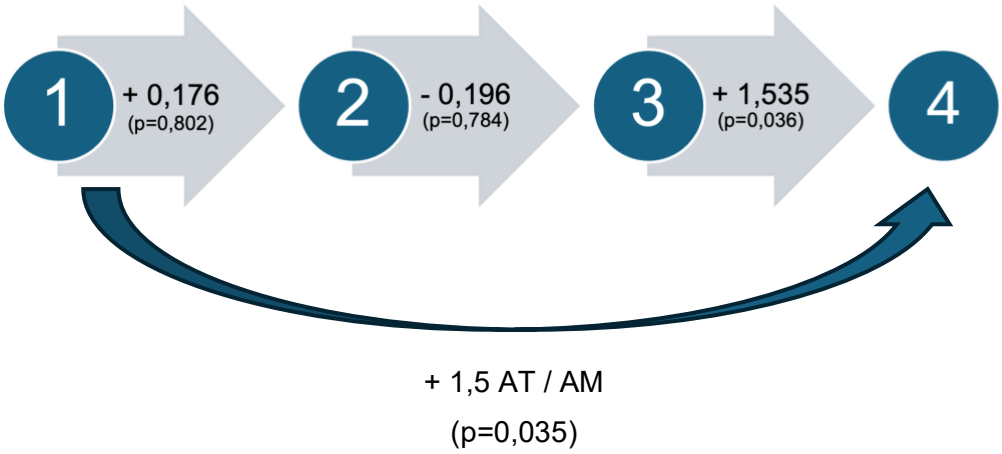


Abb. 16: Kategoriale Regressionsanalyse: WORMS-S und ipsilaterale AT/AM (Knie)

4. Diskussion

Mit dieser Arbeit wurde erstmals im Rahmen des Medizinchecks von deutschen Profifußballern der Zusammenhang zwischen dem Whole-Organ Magnetic Resonance Imaging-Score (WORMS) und den darauffolgenden Ausfallzeiten aufgrund des Kniegelenks und der Oberschenkelmuskulatur untersucht. Diese Arbeit bestätigt die gravierend hohe Zahl an Ausfalltagen aufgrund von Verletzungen der unteren Extremität im Profifußball. Dabei sind insbesondere die Ausfälle aufgrund einer Verletzung des Kniegelenks oder einer klassischen Muskelverletzung am Oberschenkel für den Großteil der Ausfallzeiten verantwortlich. Diese hohen Verletzungszahlen spiegeln sich auch in der Vorschädigung der Kniegelenke wider, in der bereits ein Drittel Höchstwerte des maximal zu erreichenden WORMS zeigten. Dabei wurden Gelenkschäden insbesondere in den Kategorien Knorpel, Osteophyten und Knochenmarkläsionen festgestellt.
Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass der WORMS-S mit den Ausfallzeiten für das ipsilaterale Knie assoziiert ist ($p=0,023$) und als signifikanter Prädiktor dafür zu werten ist ($p<0,001$). Ein tendenzieller Zusammenhang von WORMS und den Ausfallzeiten für die dorsale Oberschenkelmuskulatur ist zu vermuten, allerdings ist dieser nicht statistisch signifikant. Eine kontralaterale Auswirkung des WORMS-S konnte statistisch nicht bestätigt werden, wobei die bessere Score-Seite höhere Ausfallzeiten präsentierte. Der WORMS-G korreliert signifikant mit zunehmendem Alter ($p=0,019$), jedoch zeigen ältere Spieler nicht unbedingt einen höheren WORMS-S ($p=0,115$). Es konnte kein Zusammenhang von WORMS und den nachfolgenden Spielminuten oder der Spielbeinseite festgestellt werden. Ein Zusammenhang von WORMS und der Position ist anzunehmen. Höhere WORMS-Kategorien scheinen von größerer prognostischer Relevanz hinsichtlich der Ausfallzeiten aufgrund von Verletzungen des Kniegelenkes. Die Ergebnisse der Arbeit sprechen für einen potenziell prädiktiven Wert des WORMS im Rahmen des Medizinchecks. Allerdings sind weitere Untersuchungen mit höherer Fallzahl notwendig, um deutlichere Ergebnisse zu formulieren.

4.1. Verletzungen der unteren Extremität und Kniegelenksarthrose im Profifußball

Anhand zahlreicher epidemiologischer Verletzungsstudien besteht ein deutlicher Konsens, dass der Profifußball weltweit nach wie vor von hohen Verletzungszahlen der unteren Extremität, insbesondere des Kniegelenkes, der Oberschenkelmuskulatur und des Sprunggelenkes, geprägt ist (López-Valenciano et al., 2020, Stubbe et al., 2015, Ekstrand et al., 2020, Roth and Osbahr, 2018, Klein et al., 2019). Gleiche Beobachtungen können auch anhand der Stichprobe dieser Arbeit festgestellt werden. 90,7% der eingeschlossenen Spieler zeigen insgesamt 201 Ausfallsereignisse mit 4799 Ausfalltagen für die untere

Extremität. Darunter präsentieren sich als häufigste anatomische Lokalisation die Oberschenkelmuskulatur mit 31,8%, das Kniegelenk mit 26,4% und die Sprunggelenke mit 12,9%. Klein et al. (2019) nennen anhand zuletzt verfügbarer Verletzungsdaten der deutschen Bundesliga mit 1449 Spielern, von denen sich 88,8% eine Verletzung an der unteren Extremität zuzogen, ähnliche Häufigkeitsverteilungen der betroffenen Verletzungen an Oberschenkel (23,6%), Kniegelenk (15,2%) und Sprunggelenk (12,8%).
Europäische und internationale Profivereine zeigen ähnliche Verteilung anhand Inzidenzwerten (Ekstrand et al., 2020, López-Valenciano et al., 2020). An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass in dieser Arbeit keine Inzidenzwerte erhoben wurden, sondern grundsätzlich Ausfallsereignisse, die sowohl neue Verletzungen als auch Beschwerden aufgrund alter Verletzungen umfassen. Dies könnte die im Vergleich zu den anderen Studien zum Teil höhere Häufigkeitsverteilung in dieser Arbeit begründen. Als häufigster Verletzungstyp von Profifußballern wird die Muskelverletzung am Oberschenkel angegeben (Ekstrand et al., 2020, López-Valenciano et al., 2020). Auch dies korreliert mit den Ergebnissen dieser Arbeit. Besonders betroffen ist die dorsale Gruppe und damit die sogenannten Hamstrings, die mitunter die häufigsten Re-Verletzungsrate zeigen (López-Valenciano et al., 2020, Ekstrand et al., 2016, Hägglund et al., 2013). Ekstrand et al. (2016) berichten in einer Longitudinal Studie über 13-Jahre, dass insbesondere die Rate an trainingsassoziierten Hamstringsverletzungen seit 2001 um 4,1% pro Jahr angestiegen ist. In dieser Arbeit fielen 75% aller klassischen Muskelverletzungen auf die Oberschenkelmuskulatur. Davon nahmen 32,9% die dorsale Gruppe und damit die Hamstrings ein. In Zusammenschau der Verletzungsstatistik stellt diese Stichprobe demnach trotz deutlich geringerer Fallzahl eine dennoch aus epidemiologischer Sicht nahezu repräsentative Studienpopulation dar.

Hinsichtlich der Leistungsprognose eines Profiathleten ist der durch Therapie und Rehabilitation resultierende Verlust an Trainings- und Wettkampfbeteiligung entscheidend (Gouttebarge et al., 2016). Im Hinblick auf die hohen Verletzungszahlen ist die Analyse von Ausfallzeiten und die Prognose der Zeitverlustschätzung im Profifußball Gegenstand zahlreicher Studien. Diese bestätigen einstimmig, dass Knieverletzungen die längsten Ausfallzeiten zur Folge haben (Klein et al., 2019, Stubbe et al., 2015, Ekstrand et al., 2020). Auch die Ergebnisse dieser Arbeit bekräftigen diese Annahme. 2041 Ausfalltage und damit 42,5% aller Ausfalltage der unteren Extremität waren nur auf das Kniegelenk zurückzuführen. Die Spanne der Ausfallzeit lag dabei zwischen 3 und 281 Tagen mit einer hohen Standardabweichung von ± 65,3. Dies verdeutlicht den unterschiedlichen Zeitverlust und ist auf die Schwere der Verletzung und letztlich die Diagnose zurückzuführen. Je nach Datenlage treten etwa 60% bis 80% der schweren Verletzungen an der unteren Extremität, insbesondere dem Kniegelenk, auf (Salzmann et al., 2017). In dieser Arbeit wurde lediglich nach

anatomischer Lage und nicht nach genauer Diagnose differenziert. Im Gegensatz dazu stellt eine der größten „Return-to-Play (RTP)-Studien, die UEFA Elite Club Injury Study, die Ausfallzeiten anhand der Verletzungsdiagnosen dar. Ekstrand et al. (2020) berichten dabei anhand eines 16-Jahres Follow-up der 31 häufigsten Verletzungsarten über 22.942 Verletzungen während 494 Team-Saisons. Die Studie unterstreicht, dass die ersten fünf gelisteten Verletzungen mit den längsten Abwesenheitszeiten dem Kniegelenk zu zuschreiben waren. Dazu gehören Verletzungen der Kollateralbänder, des vorderen Kreuzbandes, des Knorpels und des lateralen Meniskus. Die Ausfallzeiten betrugen durchschnittlich je nach Diagnose zwischen 6,1 bis 210,2 Ausfalltagen, ähnlich dieser Stichprobe. Für eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes resultierten demnach bis zu 270 Tage und damit rund neun Monate Ausfallzeit. Klein et al. (2019) geben sogar maximal 544 Tage für Knieverletzungen an. Ferner wird auch anhand der in dieser Arbeit berichteten Daten deutlich, welche Konsequenzen die Knieausfälle zur Folge haben. Bei einer durchschnittlichen Ausfallzeit von 1,8 AT/AM, resultierten demnach rund 16 Ausfalltage je Saison aufgrund eines Knieereignisses.

Im Bereich der klassischen Muskelverletzungen zeigten die Hamstrings und auch die Adduktoren jeweils rund ein Drittel aller Ausfalltage dieser Kategorie. Die Verletzungen des ventralen Oberschenkels bezogen sich dagegen vermehrt auf Kontusionsverletzungen. Im Hinblick auf die hohen Re-Injury Raten der Harmstrings-Verletzungen im Fußball wird deutlich, dass diese Muskelverletzungen einen wesentlichen Beitrag in der Zeitverlustrechnung einnahmen.

Durch die – auch nicht selten wiederholt auftretenden – Knieverletzungen beschreiben Lee and Chu (2012) für Profifußballer eine fünf bis zwölf-mal höhere Wahrscheinlichkeit eine Arthrose zu entwickeln als die Normalbevölkerung. Weitere Publikationen bestätigen den Zusammenhang zwischen Kniegelenksarthrose und vorheriger Verletzungen (Thelin et al., 2006, Lohmander et al., 2007, Spahn et al., 2016a). The Clearwater Osteoarthritis Studie berichtet in einer prospektiven Kohortenstudie mit n=1436, dass eine vorangegangene Knieverletzung mit einem 7,4-fach höheren Risiko eine Kniegelenksarthrose zu entwickeln, verbunden ist (Wilder et al., 2002). Das höchste Risiko wird dabei den vorderen Kreuzband- und Meniskusverletzungen zugeschrieben. Nach Spahn et al. (2012) besteht nach einer vorderen Kreuzbandruptur ein 2,5-fach erhöhtes, nach einer Meniskusruptur 1,8-faches und bei Vorliegen beider Pathologien ein 4,4-faches Risiko einer Kniearthrose. Neben den akuten Traumata kann eine Kniegelenksarthrose auch sekundär durch chronische Belastung des Gelenkknorpels im Rahmen des intensiven Trainings und Wettkampfes entstehen oder dadurch zusätzlich fortschreiten (Mandelbaum et al., 2012). Somit können bereits bei

jungen Athleten radiologisch Arthrose typische Veränderungen nachgewiesen werden (Roemer et al., 2015). Auch in dieser Stichprobe, mit einem geringen Durchschnittsalter von 23,3 Jahren, spiegeln sich die Verletzungsdaten und die Beanspruchung der Kniegelenke in der Darstellung des WORMS. Mit einem durchschnittlichen WORMS-G von 14,2 präsentierten die Spieler mit einem Alter von rund 23,3 Jahren bereits ein Drittel des Durchschnittswertes, der für klassische 65-jährige Arthrose Patienten anhand des WORMS erhoben wurde (Bruyere et al., 2006). Der Maximalwert des WORMS-G lag mit 60,5 Punkten über diesem Wert. Der WORMS-S zeigte mit maximal 111 sogar ein Drittel des maximal zu erreichenden WORMS. Dadurch wird deutlich, wie ausgeprägt die Vorschädigung bereits in den Kniegelenken der jungen Profifußballer ausfiel. Sowohl WORMS-G als auch WORMS-S zeigten besondere Ausprägung in den Kategorien Knorpel, Knochenmarködem und Osteophyten.

4.2. Zusammenhang von WORMS und Ausfallzeiten

Der Hauptaspekt dieser Arbeit lag darin, herauszufinden, ob nun die mittels WORMS festgestellte Vorschädigung im Kniegelenk mit den darauffolgenden Ausfallzeiten der Spieler zusammenhängt. Im Hinblick auf die eingeschränkte Regenerationsfähigkeit des Gelenkknorpels und der stetigen Belastung im Profifußball wurde mit steigendem WORMS eine längere Ausfallzeit vermutet.

Die Ergebnisse der Arbeit bestätigen, dass der WORMS der stärker vorgeschädigten Knieseite (WORMS-S) mit den zugehörigen Ausfallzeiten für das ipsilaterale Kniegelenk signifikant assoziiert ist ($r=0,326$; $p=0,023$). Die Gesamtschädigung beider Kniegelenke (WORMS-G) dagegen zeigte trotz höherer Fallzahl zwar einen Trend, jedoch statistisch nicht signifikanten Zusammenhang ($r=0,253$; $p=0,064$). Der stärkere Zusammenhang des WORMS-S ist zum einen anhand der Score Verteilung zu erklären. Der WORMS-S fiel durchschnittlich in allen Score-Kategorien mindestens doppelt so hoch aus wie der WORMS-B und damit auch höher als der WORMS-G. WORMS-G zeigte zwar gesamt einen ähnlichen Median wie WORMS-S, in den Subkategorien Knorpel, Osteophyten und Knochenmarkläsionen dominierten jedoch die Maximalwerte des WORMS-S. Damit präsentierte der WORMS-S deutliche Ausreißer Werte mit wesentlich ausgeprägterer Vorschädigung im Kniegelenk. Dies begründete auch die Analyse im Seitenvergleich. Hervorzuheben ist hier die Kategorie Knorpel, welche im Schnitt die höchsten Werte zeigte und auch neben der Kategorie Synovitis mit 10,2% den höchsten Anteil am maximal zu erreichenden Score Wert präsentierte. Besonders Gelenkknorpelverletzungen bergen aufgrund der geringen Regenerationsfähigkeit das Risiko für eine fortschreitend schmerzhafte Einschränkungen der Gelenkfunktion, die zu wiederkehrenden Ausfällzeiten und letztlich zur Spielunfähigkeit und frühzeitigen Pensionierung führen kann (Mithoefer et al., 2015, Dvorak, 2011,

Koch et al., 2021). Ekstrand et al. (2020) geben an, dass die „Re-Injury“ Rate für Knorpelverletzungen im Kniegelenk die Höchste von allen Knieverletzungen darstellt.
Schenk et al. (2021) untersuchten anhand neuster MRT T2-Mapping die Knorpelmatrix in Kniegelenken von jungen Profifußballern, um Risiko Regionen zu identifizieren. Als besonders anfällig wurde dabei das mediale TFJ beschrieben, im Genaueren die medial posteriore Zone. Interessanterweise zeigten in der Stichprobe dieser Arbeit die Spieler im lateralen Kompartiment – wenn auch geringfügig – höhere Werte als im medialen Kompartiment. Aufgrund der sportartspezifischen Belastung präsentieren Fußballer tendenziell vermehrt varische Beinachsen (Krajnc et al., 2010, Dalos et al., 2024). Demzufolge waren stärkere Knorpeldefekte im medialen TFJ zu vermuten. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigten allerdings im lateralen TFJ stärkere Knorpelschäden. Zudem waren die lateralen Meniskusschäden ausgeprägter, insbesondere im WORMS-S. Nach Neppel (2012) scheint das laterale TFJ nach Meniskektomien anfälliger für Knorpelschäden als das mediale TFJ. Meniskektomien werden als wesentlicher Risikofaktor der Kniegelenksarthrose bestimmt (Lee and Chu, 2012). Insbesondere laterale Meniskektomien sind dabei mit einer signifikant geringeren Return to play Rate assoziiert (Nawabi et al., 2014). In dieser Studie wurde die chirurgische Historie nicht berücksichtigt. Dennoch kann in Zusammenschau der Meniskuspathologien, die hier im WORMS-S auch lateral stärker ausfielen, für die lateral stärker ausgeprägten Knorpelschäden verantwortlich sein und demnach auch zu vermehrten Ausfalltagen beitragen. Die Lokalisation von Knorpeldefekten bei Profiathleten wird kontrovers diskutiert (Hirshorn et al., 2010, Nepple et al., 2012). Hirshorn et al. (2010) beschrieben die höchste Prävalenz an Knorpeldefekten im PFJ. Die unterschiedliche Verteilung der Arthrose typischen Merkmale ist von der sportartspezifischen Beanspruchung des Gelenkes abhängig. Die Position der Patella, Trochleamorphologie, sowie tibiofemorales und patellofemorales Alignment tragen zudem zur individuellen Belastung der Kniegelenke bei (Tanamas et al., 2009, Macri et al., 2016). Dies wäre in weiteren Studien hinsichtlich der Gelenkkompartimente sinnvoll zu ergänzen. Stärkste Ausprägung im PFJ präsentierten in dieser Arbeit Werte in der Kategorie Knochenmarködeme. Knochenmarködeme sind über die Zunahme an interstitieller Flüssigkeit im Knochen definiert und können Ausdruck eines akuten Traumas sowie auch chronischer Überlastung sein. Insbesondere bei Sportlern sind Knochenmarködeme im MRT kein seltenes Bild und häufig mit Schmerzen assoziiert. Chronische Knochenmarködeme stellen ein für den Arzt herausforderndes Problem dar, da diese Läsionen den Spieler an Teilnahme von Training und Wettkampf hindern und damit zu längeren Spielabsenzen führen können. (Blum et al., 2009, Simon et al., 2014, Zhang et al., 2011, Soder et al., 2011). Die Defektbildung des Knorpels kann zudem sekundär über subchondrale Läsionen wie Knochenmarködeme verstärkt werden (Mrosek et al., 2006). Die bestehenden Erkenntnisse stützen die Ergebnisse

dieser Arbeit nachdrücklich. Insbesondere WORMS-S zeigte hohe Maximalwerte in der Kategorie Knochenmarködeme.
Ebenso begünstigt das Vorhandensein an Synovitis als Zeichen eines inflammatorischen Prozesses aufgrund Arthrose oder Überbelastung die Kniegelenksfunktion und Schmerz (Salzmann et al., 2017). Synovitis war in WORMS-G und WORMS-S ausgeprägt. Ebenso die Bildung von Osteophyten spricht für eine zunehmende Symptomatik mit Schmerzen und Einklemmungserscheinung (Spahn et al., 2016b). Damit einhergehend ist eine vermehrte Ausfallzeit zu erklären. An dieser Stelle ist einzuräumen, dass eine zusätzliche Abfrage der aktuellen Symptomatik mittels klinischen Scores interessant wäre.
Ferner ist auffallend, dass die Ligamente ausschließlich im WORMS-S Vorschädigungen präsentieren. Zudem besteht in der S-Region, der nicht artikulierende Teil des Tibia Plateaus ohne Knorpelüberzug, die zweithöchste Ausprägung des Knochenmarködems. Knochenmarködeme in diesem Bereich werden als insertionelle Knochenmarködeme bezeichnet und sind stark mit einer Schädigung oder übermäßigen Zugbelastung der Kreuzbänder assoziiert (Hernández-Molina et al., 2008). Akute Kreuzband Läsionen und eine anschließend – wie bei Profifußballern üblich – durchgeführte operative Rekonstruktion stellen insbesondere bei jungen Fußballern den Hauptrisikofaktor zur frühen Entstehung einer Kniegelenksarthrose dar (Roemer et al., 2015, Lohmander et al., 2007). Andere Autoren beschreiben sogar eine nach zehn Jahren im gesamten Kniegelenk nachgewiesene Arthrose trotz VKB-Rekonstruktion (Chen et al., 2019).

Neben dem Progress der Kniegelenksarthrose wird im Rahmen von VKB-Rekonstruktionen ebenso ein Verlust an Muskelkraft der kniestabilisierenden Muskulatur und damit einhergehend vermehrte klassische Muskelverletzungen diskutiert (Green et al., 2020, Koulouris et al., 2007). Insbesondere die ventrale (Quadriceps) und dorsale (Hamstrings) Oberschenkelmuskulatur nehmen dabei eine zentrale Rolle für die Stabilisation im Kniegelenk ein (Walsh et al., 2012). Green et al. (2020) zeigten anhand einer großen Metaanalyse mit 78 Studien und über 70.000 Athleten, dass VKB-Rupturen in der Vorgeschichte ein 70% höheres Risiko für klassische Muskelverletzungen der Hamstrings darstellen (Green et al., 2020). Diese Erkenntnisse unterstreichen die Ergebnisse dieser Arbeit. WORMS-G und WORMS-S zeigten beide einen Zusammenhang mit den Ausfallzeiten für klassische Muskelverletzungen der Hamstrings. Dieser Zusammenhang war allerdings nicht statistisch signifikant. Dennoch zeigte insbesondere der WORMS-S mit $p=0,056$ einen statistisch tendenziellen Zusammenhang. Daraus resultiert die Annahme, dass die strukturellen Läsionen im Kniegelenk zu einer, während des Fußballspiels, zusätzlichen Beanspruchung dieser Muskulatur führt. Dies spiegelt sich anhand struktureller Muskelverletzungen und demnach in zunehmenden Ausfallzeiten. Als mögliche Mechanismen werden hierfür eine verminderte

Propriozeption, biomechanische Veränderungen im Gangbild und muskuläre Defizite aufgrund langer Rehabilitation beschrieben (Katayama et al., 2004, Tashman et al., 2004, Abourezk et al., 2017). Ferner könnte das muskuläre Defizit auch durch ein autologes Sehnentansplantat im Rahmen einer VKB-Rekonstruktion passieren (Messer et al., 2019). Angesicht des ligamentären Status und der auffälligen S-Region könnte auch dies der Grund für die statistische Tendenz in dieser Arbeit darstellen. Dabei stellt sich allerdings die Frage, ob die Harmstrings-Ausfälle aufgrund der strukturellen Veränderungen des Kniegelenkes oder eher durch das muskuläre Defizit aufgrund der Transplantatentnahme resultierten. Da keine Verletzungs- oder Operationshistorie in dieser Arbeit berücksichtigt wurde, sollte dies in weiteren Studien implementiert werden. Ekstrand et al. (2012) evaluierten bereits MRT-Diagnostik als prognostisches Instrument für die Ausfallzeiten von Hamstringsverletzungen. Dabei wurden im Gegensatz zu dieser Arbeit morphologische Kriterien der Harmstringsmuskulatur beurteilt und nicht die Strukturen im Kniegelenk. Interessanterweise zeigten dabei 70% der Hamstringsverletzungen kein pathologisches Korrelat in der zuvor durchgeführten MRT-Diagnostik. Ekstrand et al. (2012) diskutierten als mögliche Erklärung dafür das Vorliegen anderer nicht erfasster Diagnosen. Diese Erkenntnisse unterstreichen nochmals die möglichen Auswirkungen von Kniebinnenschäden auf das Verletzungsverhalten der Hamstrings. Im Hinblick auf die hohen „(Re-)injurie“ Rate von Hamstrings Muskelverletzungen im Profifußball (Ekstrand et al., 2020, Hägglund et al., 2013) stellt dies einen relevanten Aspekt in der weiteren Untersuchung des WORMS als Prädiktor dar.

In der Literatur wird mehrfach betont, dass Patienten mit Kniegelenksarthrose eine deutlich geringere Effizienz in der Ausübung der Quadriceps Muskulatur zeigen (Wada et al., 2019, Omori et al., 2013). Ebenso sei die Ansteuerung und Kraft des Quadriceps nach VKB-Rekonstruktion wesentlich vermindert (Kim et al., 2016). Nach den Daten dieser Arbeit scheint jedoch die Auswirkung von struktureller Knieschädigung keinen Einfluss auf die Quadriceps Muskuslatur zu haben. Mögliche Gründe dafür könnten Fußballspezifische Bewegungsmuster während des Laufens und Dribblings darstellen, die sich maßgeblich von den Bewegungen und auch der Intensität der Rehabilitation von klassischer Arthrose Patienten unterscheiden.
WORMS zeigte keinen Zusammenhang mit den Ausfallzeiten klassischer Muskelverletzungen der Adduktoren. In der bisherigen Literatur werden Schmerzen und Verletzungen der Adduktorenmuskulatur vielmehr mit der Leiste assoziiert (Mosler et al., 2018). Da die klassische Muskelverletzungen der Adduktoren aber, wie auch in dieser Arbeit bestätigt, nicht unwesentlich geringe Ausfallzeiten hervorrufen, war eine Korrelationsanalyse interessant. Zudem ist das Kraftverhältnis von Adduktoren und Abduktoren maßgeblich am Gangbild und Alignment der unteren Extremität beteiligt (Macri et al., 2016).

An dieser Stelle ist kritisch anzumerken, dass der WORMS-S zwar einen Zusammenhang mit den Ausfallzeiten zeigt, jedoch die Anzahl an Ausfalltagen pro Anwesenheitsmonat auf der Körperseite des WORMS-S interessanterweise geringer ausfiel als zur Seite des WORMS-B. In nahezu allen anatomischen Lagen zeigte die Körperseite des WORMS-B im Durchschnitt und in den Gesamtwerten bis zu doppelt so viele AT/AM als die des WORMS-S. Dies stellt den (statistischen) Zusammenhang des WORMS-S mit den ipsilateralen Ausfallzeiten in Frage und lässt eine kontralaterale Kompensation vermuten. Die Verteilung beider Seiten nach AT/AM (Knie) macht jedoch deutlich, dass insbesondere in den niedrigeren WORMS-Bereichen (<20) maximale Ausreißer des WORMS-B zu erkennen sind, die wohlmöglich für die höhere Verteilung zu Seiten WORMS-B verantwortlich sind. Es ist dabei plausibel, dass diese Ausreißer möglicherweise neu aufgetretene Verletzungen darstellen, die nicht aufgrund einer Vorschädigung im Kniegelenk und damit auf einen initial höheren WORMS-B zurückzuführen sind, wie beispielsweise Ermüdungsverletzungen aufgrund konsequenter Mehrbelastung. Dafür würde beispielsweise auch die Verteilung des WORMS-B sprechen, da die Kategorien Ligamente und Menisken im Vergleich deutlich geringere Ausprägungen zeigten. Das Streudiagramm zeigt ebenso die steigenden Ausfalltage in höheren WORMS Bereichen, welche ausschließlich dem WORMS-S zuzuordnen sind. Zudem ist zu anzumerken, dass der Median grundsätzlich annähernd ähnlich auf beiden Seiten ausfiel. Gerade aufgrund dieser unterschiedlichen Verteilung von WORMS-S und WORMS-B sowie der Diskrepanz der zugehörigen Ausfallzeiten, war eine Analyse nach kontralateraler Kompensation von WORMS-S zur Gegenseite interessant.

Die Hypothese, dass ein struktureller Schaden im Kniegelenk zu Verletzungen oder Beschwerden und damit zu Ausfallzeiten der kontralateralen Beinseite führt, konnte durch diese Arbeit statistisch nicht bestätigt werden. Diese Annahme beruht auf dem nach Reider et al. (2003) beschrieben Mechanismus, dass afferenter Input von geschädigten Mechanorezeptoren über Rückkopplungsmechanismen die Funktion der Muskelspindeln der kontralateralen Extremität beeinträchtige. Auch weitere Autoren bestätigen diese Annahme (Knoop et al., 2011, Al-Dadah et al., 2020, Arumugam et al., 2021). Al-Dadah et al. (2020) zeigte dazu in einer Kontroll-Studie, dass Patienten mit Knorpelläsionen im Kniegelenk nicht nur ipsilateral, sondern auch auf der kontralateralen Seite ein signifikantes Defizit in der propriozeptiven Funktion aufweisen. Arumugam et al. (2021) beschreiben insbesondere nach Verletzungen des vorderen Kreuzbandes, welches eine besonders hohe Dichte an propriozeptiven Zellen aufweist, eine „neuromotorische Kontrollstörung“. Im Gegensatz zu den Arbeiten der genannten Autoren wurden in dieser Stichprobe Profiathleten untersucht, die besondere Intensität der physio- und trainingstherapeutischen Maßnahmen erfahren

und auch neurokognitives Training zur Rehabilitation durchführen. Daher kann ein Profiathlet die propriozeptiven Defizite wohlmöglich besser kompensieren. Ferner konnte kein Zusammenhang zwischen WORMS-S und der Spielbeinseite festgestellt werden. Allerdings zeigt die Verteilung der Ausfalltage nach schlechter und bessere Knieseite deutlich, dass die Seite des weniger vorgeschädigten Kniegelenkes mehr Ausfalltage präsentierte und damit durchaus eine kontralaterale Kompensation zu vermuten lässt. Auch in der vorhandenen Literatur existieren dazu ebenso kontroverse Daten (Ludwig et al., 2017, Krajnc et al., 2010).

Aus den Ergebnissen konnte nicht abgeleitet werden, dass eine Vorschädigung im Kniegelenk mit der Ausfallzeit der gesamten unteren Extremität zusammenhängt. Kniegelenksarthrose, gemessen mittels WORMS, scheint demnach nicht übergreifend prädiktiv für die Verletzungsanfälligkeit der unteren Extremität zu sein. Dennoch ist nach den Ergebnissen dieser eine erhöhte Ausfallzeit für Verletzungen des Kniegelenkes und der Oberschenkelmuskulatur mit steigendem WORMS anzunehmen. Im Hinblick auf die hohen Ausfallzeiten für weitere Diagnosen der unteren Extremität wie beispielsweise des oberen Sprunggelenks sind also weitere Untersuchungen mittels WORMS sinnvoll.

Der signifikante Zusammenhang zwischen dem Alter und der Gesamtschädigung beider Kniegelenke (WORMS-G) ist nicht überraschend und kann durch die im Laufe der Profikarriere chronisch übermäßige Belastung der Kniegelenke erklärt werden. Im Hinblick auf die Altersverteilung dieser Stichprobe ist jedoch anzumerken, dass über 70% der Spieler unter 26 Jahre alt waren und nur drei Spieler über 30 Jahre, von denen nur ein Spieler einen deutlichen Ausreißer (WOMRS-G>50) zeigte. Allerdings bestätigen auch andere Autoren mit zum Teil deutlich höherer Fallzahl der über 30-jährigen Athleten diese Beobachtungen (Petrillo et al., 2018, Roemer et al., 2015). Der Zusammenhang wird jedoch auch in den jüngeren Altersgruppen deutlich, da der Anteil an WORMS-G >10 und WORMS-G >20 mit dem Alter ansteigt. Interessant ist, dass der WORMS-S keinen Zusammenhang mit dem Alter erkennen ließ. Im Hinblick auf die hohe Verletzungsrate in bereits jungen Jahren eines Fußballprofis liegt es also nahe, dass ebenso junge Spieler bereits fortgeschrittene Gelenkschäden präsentieren. Ein stärker vorgeschädigtes Kniegelenk muss damit nicht unbedingt einem älteren Spieler zuzuschreiben sein, da sich auch junge Spieler bereits schwere Verletzungen zuziehen. So erhält die Prävention als auch die Nachbehandlung schwerer Verletzungen zu Beginn der Karriere von Fußballern enorme Relevanz, um den ohnehin im Laufe der Jahre zunehmenden Gelenkverschleiß zu begrenzen und die Karriere dadurch nicht früher beenden zu müssen. Dies unterstreicht den Nutzen und die Chance eines MRT-

basierten Scoring-System, um insbesondere bei jungen Spielern schwere Vorschäden zu identifizieren und entsprechende Behandlungen rechtszeitig zu initiieren.

Die Spieler zeigten trotz zum Teil ausgeprägter Vorschädigung im Kniegelenk keinen statistisch signifikanten Verlust an Spielzeit. Dies bestärkt insbesondere junge Talente, die bereits eine schwere Verletzung erfahren haben, weiterhin wettkampffähig zu sein. Dabei ist anzumerken, dass die Spielzeit eines Spielers sicherlich nicht ausschließlich von der Gelenkgesundheit abhängt, sondern multifaktoriell bedingt ist. Koch et al. (2021) berichten dazu, dass ehemalige Profispieler angaben, aus Angst, keine Vertragsverlängerung zu erhalten, auch unter Schmerzen am Training und an Wettkämpfen teilnahmen. Eine Symptomabfrage ist in dieser Arbeit nicht inbegriffen. Ferner wurde in dieser Arbeit auch nicht die gesamte Expositionszeit erhoben. Trainingsstunden konnten retrospektiv nicht genau festgelegt werden, damit erfolgte lediglich die Wettkamp-Spielzeit aus Transfermarkt. Andere vorhandene Studien zeigen dagegen, dass durch Arthrose typische Zeichen im MRT ein relevanter Verlust an Spielzeit resultiert (Provencher et al., 2018a, Chahla et al., 2018). In folgenden Studien sollte demnach die gesamte Belastungszeit der Spieler sowie klinische Daten wie Symptome mit einbezogen werden.

In der Untersuchung von Verletzungsrisiken wird die Spielposition als potenzieller Prädiktor diskutiert, wobei die verfügbare Literatur keinen Konsens hinsichtlich der risikoreichsten Spielposition formuliert (Della Villa et al., 2018, Provencher et al., 2018a). Torhüter zeigen im Vergleich zu Feldspielern ein geringeres Verletzungsrisiko, Stürmer weisen ein besonders hohes Risiko für Verletzungen auf (Della Villa et al., 2018). Daraus ergibt sich die Annahme, dass Spieler in Positionen mit höherem Belastungsprofil und Gegnerkontakt, wie z.B. Stürmer und Verteidiger, durch das erhöhte Verletzungsrisiko ebenso größere Vorschädigung im Kniegelenk zeigen. Diese Annahme bestätigt sich auch in der vorliegenden Arbeit, wobei die Anzahl der Torwärter auch ebenso niedrig im Vergleich ausfiel. Ein Zusammenhang von Position und WORMS ist nach diesen Daten anzunehmen und grundsätzlich auch schlüssig. Dabei ist jedoch zusätzlich die unterschiedliche Beanspruchung der Positionen nach Taktik und Spielsystematik des Trainers zu beachten. Aufgrund der stark unterschiedlichen Verteilung der Positionen bei ohnehin geringer Fallzahl, wurde diese Variable in den statistischen Berechnungen nicht weiter berücksichtigt. In zukünftigen Studien mit höherer Fallzahl sollten die Positionen gemeinsam mit jeweiligem Belastungsprofil in ein Prädiktoren Modell einbezogen werden.

4.3. Prädiktiver Wert des WORMS für den Medizincheck

Da die MRT-Diagnostik der Kniegelenke standardmäßig im Rahmen des Medizinchecks von Neuzugängen im Profifußball angewandt wird, stellt sich abschließend die Frage, ob die Etablierung des WORMS als prognostisches Instrument nun einen Mehrwert im Medizincheck bringen könnte. Insbesondere zum Medizincheck ist die Diagnostik von Gelenkschäden von relevanter Bedeutung, da der Verein anhand der ärztlichen Beurteilung erschließen möchte, wie lange der Spieler die erwartete Leistung erbringen kann oder ob therapeutische Maßnahmen aufgrund von Vorschäden zu beachten sind. Gleichzeitig stellt der Medizincheck auch für den Spieler selbst einen Status quo seiner Gelenkgesundheit dar, deren Chancen und Risiken für die weitere Laufbahn gemeinsam mit der ärztlichen Betreuung formuliert werden können. Das Bewusstsein der Notwendigkeit präventiver Ansätze, um die Verletzungshäufigkeit und degenerative Knorpelschäden zu vermeiden, ist im Profifußball durchaus vorhanden (Klein et al., 2019). Allerdings existiert bisher kein standardisiertes Scoring-Verfahren, anhand objektiver MRT-Daten eine Prognose für zukünftige Ausfälle oder Leistungsdaten zu formulieren.

Vergleichbare Daten aus den USA zu den sogenannten „National Football League (NFL) Combine“ des American Football demonstrieren den prädiktiven Wert von frühzeitigen MRT-Screenings bei Profiathleten (Chahla et al., 2018, Provencher et al., 2018b, Wang et al., 2018, Nepple et al., 2012, Hirshorn et al., 2010). Die jährliche „Scouting Combine“ der NFL stellt dabei einen wichtigen Probelauf für die besten College-Football Kandidaten dar, die potenziell in die NFL aufgenommen werden könnten. Grundlage für die Leistungseinstufung im Auswahlverfahren der Athleten ist neben der sportlichen Leistung auch die medizinische Untersuchung. Vorherige Verletzungen und vorhandene Beschwerden sind demnach ein entscheidender Schlüsselfaktor für die Wertung des jeweiligen Spielers und damit seine Chance zur Teilnahme an der NFL. (Wang et al., 2018)

Da auch im American Football die Kniebinnenschäden eine hohe Prävalenz aufweisen, wurde zur NFL-Combine vermehrt auch die MRT-Diagnostik der Kniegelenke eingesetzt. (Provencher et al., 2018b, Hirshorn et al., 2010, Chahla et al., 2018). Dabei stehen insbesondere Scorings-Systeme für Knorpel- und Meniskusläsionen im Vordergrund. Provencher et al. (2018b) berichteten retrospektiv von 2285 Athleten, die innerhalb von 7-Jahren (2009-2015) an der NFL-Combine teilnahmen. Knieknorpelverletzungen wurden im Rahmen der MRT-Diagnostik anhand des ICRS-Scores (International Cartilage Repair Society) in 4 Schweregrade eingestuft. Ein vorhandenes Knochenmarködem im assoziierten Kompartiment wurde ebenfalls dokumentiert. Die Daten zeigten, dass die schweren Knorpeldefekte (ICRS Grad IV) ebenso wie das Vorhandensein eines subchondralen Knochenödems mit geringerer Spielteilnahme in der anfänglichen NFL-Karriere statistisch signifikant assoziiert sind. Chahla et al. (2018) unterstreichen diese Ergebnisse mit ebenso

signifikant schlechteren Leistungsdaten (Draft Position, Spielanzahl in ersten 2 Saisons, Snap Prozentsatz) für Spieler mit chondralen Läsionen Grad IV (ICRS) im medialen und lateralen Kompartiment im Vergleich zur verletzungsfreien Kontrollgruppe. Menisektomien von mind. 10% (nach modifiziertem ISAKOS Score ≤ 8) zeigten ebenso signifikant schwerwiegendere Knorpelläsionen. Höhergradige Läsionen scheinen demnach von entscheidender Konsequenz zu sein. Diese Schlussfolgerung stimmt mit den Ergebnissen dieser Arbeit überein. Nur der WORMS-S zeigte einen signifikanten Zusammenhang und letztlich einen prädiktiven Wert für Ausfallzeiten des ipsilateralen Kniegelenkes. Eine Erhöhung des WORMS-S und den Wert 1 führten im Modell (unter Berücksichtigung des Alters und der Spielzeit) zu 0,05 AT/AM mehr aufgrund des Kniegelenks. Demnach würden erst 20 Score-Werte mehr einen AT/AM mehr Ausfallzeit bewirken. Die Analyse anhand der Score-Kategorien zeigte, dass der WORMS-S in Kategorie 4 (WORMS-S ≥ 17) sogar 1,5 AT/AM mehr als in Kategorie 1 (WORMS-S ≤ 8) bewirkte. Ob sich ein Spieler in einer der ersten drei Kategorien und damit unter einem WORMS-S <17 befand, ist nach den Daten dieser Arbeit relativ unerheblich. Die zugehörige ANOVA war allerdings nicht statistisch signifikant. Dies ist am ehesten auf die niedrige Fallzahl der einzelnen Kategorien zurückzuführen. Dennoch ist aus den bestehenden Daten zu vermuten, dass höhere WORMS-Werte, in diesem Fall ab einem Schwellenwert von möglicherweise 17, von größerer Relevanz bezüglich der Ausfallzeiten aufgrund des Kniegelenkes sind.

Die NFL-Studien nehmen im Gegensatz zu dieser Arbeit keinen Bezug auf die konkrete Anzahl an Ausfalltagen, sondern auf Spielzeit und konkrete Leistungsdaten. Dennoch wird anhand dieser Beobachtungen deutlich, dass spezifische MRT-Kriterien eine Prognose über die Spielfähigkeit und letztlich den Verlauf der Karriere liefern können. Provencher et al. (2018b) weisen zusätzlich auf die Fähigkeit der MRT-Diagnostik hin, zuvor unbekannte Gelenkschäden zu detektieren, die im Verlauf auch zu signifikant verminderter Spielleistung führen. Welsch et al. (2022) bekräftigten dies anhand des WORMS, indem auch frühere Verletzungen, die nicht zuvor dokumentiert wurden, durch das Scoring mittels WORMS detektiert werden konnten. Dies schafft das Potential, Schäden frühzeitig zu erkennen, die auch ohne weitere Verletzung zum Progress der Arthrose beitragen, und entsprechend therapeutische Maßnahmen präventiv einzuleiten.

In Zusammenschau der bestehenden Daten wird demnach deutlich, dass der WORMS im Gegensatz zu anderen Scoring-Systemen einen wesentlichen Vorteil darstellt, da er umfassend alle morphologischen Kriterien des Kniegelenkes erfasst. Ferner zeichnet sich der WORMS durch eine hohe Interobserver- Reliabilität aus (Peterfy et al., 2004, Welsch et al., 2022, Lynch et al., 2010, Felson et al., 2010). Dies spricht für eine standardisierte Methode, die vereinsübergreifend angewandt werden könnte. Neben der Ausfallsvorhersage stellt der WORMS ebenso die Möglichkeit einer objektiven Orientierungshilfe für Spieler dar. Koch et

al. (2021) betonen anhand Daten pensionierter Spieler der deutschen Bundesliga, dass Knieverletzungen der häufigste Verletzungsgrund für eine vorzeitige Pensionierung von Profifußballern darstellen. Die ehemaligen Spieler geben an, während der aktiven Karriere neben den klinischen Symptomen der Arthrose auch unter Ängsten, die Karriere aufgrund des verletzten Knies früher beenden zu müssen, gelitten zu haben. Eine intensivere medizinische Betreuung mit ehrlicher Rücksprache bezüglich der Karrierechancen wäre aus Sicht der Spieler wünschenswert gewesen. So könnte der WORMS im Medizincheck auch psychologisch präventiv wirken.

4.4. Limitationen

Die zentrale Limitation der vorliegenden Arbeit liegt in der geringen Stichprobengröße. Davon sind insbesondere die Analyse der älteren Spieler (>30J.) und die Score-Kategorien zur Identifikation eines Schwellenwerts betroffen. Man muss an dieser Stelle anerkennen, dass die Studienpopulation als solche eine seltene und spezielle Gruppe darstellt und die Ergebnisse einen Trend zur Interpretation bieten. Dennoch sollte in weiterführenden Multicenter-Studien eine deutlich höhere Fallzahl generiert werden, um präziserer Schätzungen des WORMS als Prädiktor vornehmen zu können.

Eine weitere Begrenzung ergibt sich in der Vergleichbarkeit mit ähnlichen Studien aufgrund der gewählten Messeinheit der Ausfallzeit: Ausfalltage pro Anwesenheitsmonat. In bisherigen Studien wird häufig das Format Ausfallzeit pro 1000 Expositionsstunden (Spiel und Training) genutzt (Engström et al., 1990, Stubbe et al., 2015, Klein et al., 2019). Letztere erlaubt einen Bezug der Ausfallzeit zur Gesamtbelastung des Spielers, was in dieser Arbeit ebenso interessant wäre zu betrachten. Die Ergebnisse dieser Arbeit stellen in erster Linie eine Überlegung zur Orientierungshilfe im Medizincheck für die Spieler selbst und den Verein dar. Dabei sind die Anwesenheitsmonate im Voraus besser einzuschätzen als die Expositionsstunden. Basierend auf den gewonnenen Ergebnissen wären nun ergänzende Untersuchungen in zukünftigen Studien sinnvoll, in denen beide Betrachtungen impliziert sind.

Wie bereits in den Methoden dargelegt, sind nur Abwesenheiten von mindestens 3 Tagen berücksichtigt worden. Dies beruht auf der Meldepflicht von Arbeitsunfällen. Infolgedessen könnte die Anzahl der leichten Verletzungen und die Verteilung der Körperregionen minimal verzerrt sein. Zudem werden die Ausfalltage nicht nach Beschwerden aufgrund älterer Verletzungen, akuter Verletzung oder Re-Verletzung differenziert.

Letztlich ist auch anzumerken, dass die Beurteilung von Leistungsfähigkeit und Karrierechance eines Profiathleten multifaktoriell bedingt und nicht nur auf eine MRT-Diagnostik zu reduzieren ist. Hinsichtlich weiterführender Studien wäre es empfehlenswert, die

Ausfallzeiten nach genaueren Diagnosen zu differenzieren sowie Verletzungs- und Operationshistorie, Ganganalyse hinsichtlich präarthrotischer Deformitäten und vor allem Symptome und klinischer Scores zu ergänzen. Zudem sollte ein prospektives Studiendesign gewählt werden.

5. Zusammenfassung

Die Kniegelenksarthrose und daraus resultierend lange Ausfallzeiten stellen ein relevantes Problem im Profifußball dar. Die MRT-Bildgebung gilt im Rahmen des Medizinchecks als Goldstandard zur Beurteilung struktureller Knieveränderungen. Dabei existiert bisher kein standardisiertes Scoring-Modell zur objektiven Messung des Kniegelenksschadens und dessen Prognose hinsichtlich der individuellen Ausfallzeit. Ziel der vorliegenden Arbeit war, den semi-quantitativen Whole-Organ Magnetic Resonance Imaging Score (WORMS) als prognostisches Instrument für zukünftige Ausfallzeiten der unteren Extremität von professionellen Fußballspielern zu evaluieren.

In einer retrospektiven Analyse (Saison 2012–2019) wurden MRT-Aufnahmen beider Kniegelenke von 54 männlichen Profifußballern im Rahmen des Medizinchecks mittels WORMS bewertet. Der Score wurde sowohl als Gesamtscore (WORMS-G) als auch seitengetrennt nach besserem und schlechterem Knie (WORMS-B/WORMS-S) erhoben. Die Ausfallzeiten wurden in Ausfalltagen pro Anwesenheitsmonat (AT/AM) anatomisch zugeordnet. Zusätzlich wurden Variablen wie Alter, Spielposition, Spielminuten und Spielbeinseite berücksichtigt.

Insgesamt wurden 4799 Ausfalltage erfasst, wobei die längsten Ausfälle auf das Kniegelenk und die häufigsten auf klassische Muskelverletzungen des Oberschenkels zurückzuführen waren. Der WORMS bestätigte das Vorhandensein zum Teil schwerer struktureller Gelenkschäden bei bereits jungen Profispielern, wobei ältere Spieler einen signifikant höheren WORMS-G aufwiesen. Der WORMS-S korrelierte signifikant mit den Ausfallzeiten des ipsilateralen Kniegelenks und konnte dafür als Prädiktor bestätigt werden. Dabei scheinen vor allem WORMS-Werte in höheren Score-Bereichen von größerer Relevanz zu sein. Zudem geben die Daten Anhalt, dass der WORMS ebenso mit den Ausfällen der dorsalen Oberschenkelmuskulatur zusammenzuhängt. Die Verteilung der Ausfalltage nach Seitendifferenz ließ eine kontralaterale Kompensation vermuten, welche statistisch nicht belegt werden konnte. Ein signifikanter Zusammenhang mit der Gesamt-Ausfallzeit der unteren Extremität konnte hingegen nicht festgestellt werden, wodurch WORMS-G nicht als übergreifender Prädiktor zu werten ist. WORMS korrelierte nicht mit der Spielzeit oder Spielbeinseite. Ein potenzieller Zusammenhang zwischen WORMS und der Spielposition ist anzunehmen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit deuten darauf hin, dass der WORMS ein potenziell geeignetes Instrument zur Prognose von Ausfallzeiten des Kniegelenkes und vermutlich auch der dorsalen Oberschenkelmuskulatur darstellt. Insbesondere höhere WORMS-Werte scheinen von größerer Relevanz zu sein. Dennoch sind zukünftige Studien mit höherer Fallzahl notwendig, um den WORMS als Prädiktor im Rahmen des Medizinchecks für Profifußballer präziser zu evaluieren.

5.1 Abstract

Context: Knee osteoarthritis and the associated time loss represent substantial challenges in professional soccer. As part of the standard transfer process, professional players undergo medical checks, including magnetic resonance imaging (MRI) scans of both knee joints. However, a standardized scoring system to objectively assess knee joint damage and its impact on future time loss is currently lacking.

Objective: Evaluation of the semi-quantitative Whole-Organ Magnetic Resonance Imaging Score (WORMS) as a prognostic tool in medical check for predicting future time loss due to lower limb in professional soccer players.

Methods: This retrospective study (2012–2019) included 54 male professional soccer players from a German club. Bilateral knee MRIs scans (3.0 Tesla) were assessed using WORMS. Scores were analyzed as mean (WORMS-G), worse side (WORMS-S), and better side (WORMS-B). Time loss was defined as absence days per month of club presence (AT/AM). Bivariate correlations were calculated between WORMS and future time loss in the total lower extremity (LE), knee (K), and typical muscle injuries of posterior tigh (KM-OS), categorized as ipsilateral, contralateral, or bilateral. Additional variables such as age, minutes played, position, and dominant leg were considered. WORMS-S was evaluated as a predictor via linear and categorical regression to determine a threshold value.

Results: The players (mean age 23.3) had a total of 4799 days lost (LE), 2041 (K), and 1394 (KM-OS). Mean scores: WORMS-G 14.2, WORMS-S 20.9, WORMS-B 9.4. Highest subscores were found for cartilage lesions, bone marrow edema, and osteophytes. WORMS-S correlated significantly with time loss of the ipsilateral knee ($r = 0.326$; $p = 0.023$), with an increase of 0.05 AT/AM per WORMS-S point ($p < 0.001$). Categorical regression suggested higher WORMS categories predict greater time loss. No association was found for contralateral compensation, although time loss was greater on WORMS-B side. Trends were seen for WORMS-S and ipsilateral hamstrings ($r = 0.274$; $p = 0.056$), WORMS-G with knee injuries ($r = 0.252$; $p = 0.064$), and bilateral hamstring injuries ($r = 0.248$; $p = 0.071$). WORMS-G correlated with age ($r = 0.318$; $p = 0.019$); WORMS-S did not. WORMS-G did not predict total time loss in the lower extremity. No association was found with minutes played or dominant leg, but a potential link to playing position was observed.

Conclusion: WORMS may serve a potentially useful tool for predicting future time loss due to knee injuries and possibly hamstrings injuries, in professional soccer players. Higher WORMS appear to have increased prognostic relevance. Nevertheless, future studies with larger sample sizes and prospective cohorts are necessary to confirm these findings.

6. Abkürzungsverzeichnis

a	Anterior
Abb.	Abbildung
AT/AM	Ausfalltage pro Anwesenheitsmonat
c	Zentral
Kat.	Kategorie
KI	Konfidenzintervall
KM	Klassische Muskelverletzung
L	Lateral
LT	Laterale Tibia
LF	Lateraler Femur
LFTJ	Laterales femorotibiales Gelenk
LP	Laterale Patella
Mean	Mittelwert
Max	Maximum
Min	Minimum
Min	Minuten
M	Medial
MF	Mediales Femur
MFTJ	Mediales femorotibiales Gelenk
MP	Mediale Patella
MRT	Magnetresonanztomographie
MT	Mediale Tibia
n	Fallzahl der Stichprobe
NFL	National Football League
p	Posterior
PF	Patellofemoral
PFJ	Patellofemorales Gelenk
S	Summe
SE	Standardfehler
SD	Standardabweichung
SQ	Semiquantitativ
Tab	Tabelle
TFJ	Tibiofemorales Gelenk
WORMS	Whole-Organ Resonance Magnetic Imaging Score

WORMS-B	WORMS der besseren Seite
WORMS-G	WORMS gesamt
WORMS-S	WORMS der schlechteren Seite
WORMSmax	Maximaler WORMS
z.B.	Zum Beispiel

7. Literaturverzeichnis

ABOUREZK, M. N., ITHURBURN, M. P., MCNALLY, M. P., THOMA, L. M., BRIGGS, M. S., HEWETT, T. E., SPINDLER, K. P., KAEDING, C. C. & SCHMITT, L. C. 2017. Hamstring Strength Asymmetry at 3 Years After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Alters Knee Mechanics During Gait and Jogging. *The American Journal of Sports Medicine,* 45**,** 97-105.

AL-DADAH, O., SHEPSTONE, L. & DONELL, S. T. 2020. Proprioception deficiency in articular cartilage lesions of the knee. *Knee Surg Relat Res,* 32**,** 25.

ANDRADE, R., VASTA, S., PAPALIA, R., PEREIRA, H., OLIVEIRA, J. M., REIS, R. L. & ESPREGUEIRA-MENDES, J. 2016. Prevalence of Articular Cartilage Lesions and Surgical Clinical Outcomes in Football (Soccer) Players' Knees: A Systematic Review. *Arthroscopy,* 32**,** 1466-77.

ARUMUGAM, A., BJÖRKLUND, M., MIKKO, S. & HÄGER, C. K. 2021. Effects of neuromuscular training on knee proprioception in individuals with anterior cruciate ligament injury: a systematic review and GRADE evidence synthesis. *BMJ Open,* 11**,** e049226.

BLUM, A., ROCH, D., LOEUILLE, D., LOUIS, M., BATCH, T., LECOCQ, S. & WITTE, Y. 2009. [Bone marrow edema: definition, diagnostic value and prognostic value]. *J Radiol,* 90**,** 1789-811.

BRUYERE, O., COLLETTE, J., KOTHARI, M., ZAIM, S., WHITE, D., GENANT, H., PETERFY, C., BURLET, N., ETHGEN, D., MONTAGUE, T., DABROWSKI, C. & REGINSTER, J. Y. 2006. Osteoarthritis, magnetic resonance imaging, and biochemical markers: a one year prospective study. *Ann Rheum Dis,* 65**,** 1050-4.

CHAHLA, J., CINQUE, M. E., GODIN, J. A., SANCHEZ, G., LEBUS, G. F., WHALEN, J. M., PRICE, M. D., KENNEDY, N. I., MOATSHE, G., LAPRADE, R. F. & PROVENCHER, M. T. 2018. Meniscectomy and Resultant Articular Cartilage Lesions of the Knee Among Prospective National Football League Players: An Imaging and Performance Analysis. *Am J Sports Med,* 46**,** 200-207.

CHEN, T., WANG, S., LI, Y., AI, C., JIANG, F. & CHEN, S. 2019. Radiographic Osteoarthritis Prevalence Over Ten Years After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Int J Sports Med,* 40**,** 683-695.

DALOS, D., MARSHALL, P. R., LISSY, M., MAAS, K. J., HENES, F. O., KAUL, M. G., KLEINERTZ, H., FRINGS, J., KRAUSE, M., FROSCH, K. H. & WELSCH, G. H. 2024. Influence of leg axis alignment on MRI T2* mapping of the knee in young professional soccer players. *BMC Musculoskeletal Disorders,* 25**,** 144.

DELLA VILLA, F., MANDELBAUM, B. R. & LEMAK, L. J. 2018. The Effect of Playing Position on Injury Risk in Male Soccer Players: Systematic Review of the Literature and Risk Considerations for Each Playing Position. *Am J Orthop (Belle Mead NJ),* 47.

DRAWER, S. & FULLER, C. W. 2001. Propensity for osteoarthritis and lower limb joint pain in retired professional soccer players. *Br J Sports Med,* 35**,** 402-8.

DVORAK, J. 2011. Osteoarthritis in football: FIFA/F-MARC approach. *Br J Sports Med,* 45**,** 673-6.

DVORAK, J., GRAF-BAUMANN, T., PETERSON, L. & JUNGE, A. 2000. Football, or soccer, as it is called in North America, is the most popular sport worldwide. *Am J Sports Med,* 28**,** S1-2.

EKSTRAND, J. 2013. Keeping your top players on the pitch: the key to football medicine at a professional level. *British Journal of Sports Medicine,* 47**,** 723-724.

EKSTRAND, J., HEALY, J. C., WALDÉN, M., LEE, J. C., ENGLISH, B. & HÄGGLUND, M. 2012. Hamstring muscle injuries in professional football: the correlation of MRI findings with return to play. *Br J Sports Med,* 46**,** 112-7.

EKSTRAND, J., KRUTSCH, W., SPRECO, A., VAN ZOEST, W., ROBERTS, C., MEYER, T. & BENGTSSON, H. 2020. Time before return to play for the most common

injuries in professional football: a 16-year follow-up of the UEFA Elite Club Injury Study. *Br J Sports Med,* 54**,** 421-426.
EKSTRAND, J., WALDÉN, M. & HÄGGLUND, M. 2016. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *Br J Sports Med,* 50**,** 731-7.
ENGSTRÖM, B., FORSSBLAD, M., JOHANSSON, C. & TÖRNKVIST, H. 1990. Does a major knee injury definitely sideline an elite soccer player? *Am J Sports Med,* 18**,** 101-5.
FELSON, D. T., LYNCH, J., GUERMAZI, A., ROEMER, F. W., NIU, J., MCALINDON, T. & NEVITT, M. C. 2010. Comparison of BLOKS and WORMS scoring systems part II. Longitudinal assessment of knee MRIs for osteoarthritis and suggested approach based on their performance: data from the Osteoarthritis Initiative. *Osteoarthritis Cartilage,* 18**,** 1402-7.
FLANIGAN, D. C., HARRIS, J. D., TRINH, T. Q., SISTON, R. A. & BROPHY, R. H. 2010. Prevalence of chondral defects in athletes' knees: a systematic review. *Med Sci Sports Exerc,* 42**,** 1795-801.
GIBBS, N. J., CROSS, T. M., CAMERON, M. & HOUANG, M. T. 2004. The accuracy of MRI in predicting recovery and recurrence of acute grade one hamstring muscle strains within the same season in Australian Rules football players. *J Sci Med Sport,* 7**,** 248-58.
GOUTTEBARGE, V., HUGHES SCHWAB, B. A., VIVIAN, A. & G, M. M. J. K. 2016. Injuries, Matches Missed and the Influence of Minimum Medical Standards in the A-League Professional Football: A 5-Year Prospective Study. *Asian J Sports Med,* 7**,** e31385.
GREEN, B., BOURNE, M. N., VAN DYK, N. & PIZZARI, T. 2020. Recalibrating the risk of hamstring strain injury (HSI): A 2020 systematic review and meta-analysis of risk factors for index and recurrent hamstring strain injury in sport. *Br J Sports Med,* 54**,** 1081-1088.
HAFEZI-NEJAD, N., ZIKRIA, B., ENG, J., CARRINO, J. A. & DEMEHRI, S. 2015. Predictive value of semi-quantitative MRI-based scoring systems for future knee replacement: data from the osteoarthritis initiative. *Skeletal Radiol,* 44**,** 1655-62.
HÄGGLUND, M., WALDÉN, M. & EKSTRAND, J. 2013. Risk factors for lower extremity muscle injury in professional soccer: the UEFA Injury Study. *Am J Sports Med,* 41**,** 327-35.
HÄGGLUND, M., WALDÉN, M. & EKSTRAND, J. 2016. Injury recurrence is lower at the highest professional football level than at national and amateur levels: does sports medicine and sports physiotherapy deliver? *Br J Sports Med,* 50**,** 751-8.
HEILMEIER, U., WAMBA, J. M., JOSEPH, G. B., DARAKANANDA, K., CALLAN, J., NEUMANN, J., HOFMANN, F., KRETZSCHMAR, M., NEVITT, M. C., MCCULLOCH, C. E., LANE, N. E., LIU, F., LYNCH, J. A. & LINK, T. M. 2017. MR-Based Whole-Organ Magnetic Resonance Imaging Score (Worms) Parameters are Predictors of Incident Total knee Arthroplasty 4 to 7 Years Later. *Osteoarthritis and Cartilage,* 25**,** S236.
HERNÁNDEZ-MOLINA, G., GUERMAZI, A., NIU, J., GALE, D., GOGGINS, J., AMIN, S. & FELSON, D. T. 2008. Central bone marrow lesions in symptomatic knee osteoarthritis and their relationship to anterior cruciate ligament tears and cartilage loss. *Arthritis Rheum,* 58**,** 130-6.
HIRSHORN, K. C., CATES, T. & GILLOGLY, S. 2010. Magnetic resonance imaging-documented chondral injuries about the knee in college football players: 3-year National Football League Combine data. *Arthroscopy,* 26**,** 1237-40.
HUNTER, D. J., LO, G. H., GALE, D., GRAINGER, A. J., GUERMAZI, A. & CONAGHAN, P. G. 2008. The reliability of a new scoring system for knee osteoarthritis MRI and the validity of bone marrow lesion assessment: BLOKS (Boston Leeds Osteoarthritis Knee Score). *Ann Rheum Dis,* 67**,** 206-11.

JOSEPH, G. B., MCCULLOCH, C. E., NEVITT, M. C., NEUMANN, J., GERSING, A. S., KRETZSCHMAR, M., SCHWAIGER, B. J., LYNCH, J. A., HEILMEIER, U., LANE, N. E. & LINK, T. M. 2018. Tool for osteoarthritis risk prediction (TOARP) over 8 years using baseline clinical data, X-ray, and MRI: Data from the osteoarthritis initiative. *J Magn Reson Imaging,* 47**,** 1517-1526.

JUNGE, A., GRIMM, K., FEDDERMANN, N. & DVORAK, J. 2009. Precompetition orthopedic assessment of international elite football players. *Clin J Sport Med,* 19**,** 326-8.

KATAYAMA, M., HIGUCHI, H., KIMURA, M., KOBAYASHI, A., HATAYAMA, K., TERAUCHI, M. & TAKAGISHI, K. 2004. Proprioception and performance after anterior cruciate ligament rupture. *International Orthopaedics,* 28**,** 278-281.

KIM, H. J., LEE, J. H., AHN, S. E., PARK, M. J. & LEE, D. H. 2016. Influence of Anterior Cruciate Ligament Tear on Thigh Muscle Strength and Hamstring-to-Quadriceps Ratio: A Meta-Analysis. *PLoS One,* 11**,** e0146234.

KLEIN, C., LUIG, P., HENKE, T. & PLATEN, P. 2019. Injury burden differs considerably between single teams from German professional male football (soccer): surveillance of three consecutive seasons. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*.

KNOOP, J., STEULTJENS, M. P., VAN DER LEEDEN, M., VAN DER ESCH, M., THORSTENSSON, C. A., ROORDA, L. D., LEMS, W. F. & DEKKER, J. 2011. Proprioception in knee osteoarthritis: a narrative review. *Osteoarthritis Cartilage,* 19**,** 381-8.

KOCH, M., KLÜGL, M., FRANKEWYCZ, B., LANG, S., WORLICEK, M., POPP, D., ALT, V. & KRUTSCH, W. 2021. Football-related injuries are the major reason for the career end of professional male football players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,* 29**,** 3560-3568.

KOULOURIS, G., CONNELL, D. A., BRUKNER, P. & SCHNEIDER-KOLSKY, M. 2007. Magnetic resonance imaging parameters for assessing risk of recurrent hamstring injuries in elite athletes. *Am J Sports Med,* 35**,** 1500-6.

KRAJNC, Z., VOGRIN, M., RECNIK, G., CRNJAC, A., DROBNIC, M. & ANTOLIC, V. 2010. Increased risk of knee injuries and osteoarthritis in the non-dominant leg of former professional football players. *Wien Klin Wochenschr,* 122 Suppl 2**,** 40-3.

KRUTSCH, V., GRECHENIG, S., LOOSE, O., ACHENBACH, L., ZELLNER, J., STRIEGEL, H., ALT, V., WEBER, J., BRAUN, M., GERLING, S. & KRUTSCH, W. 2020. Injury Analysis in Professional Soccer by Means of Media Reports - Only Severe Injury Types Show High Validity. *Open Access J Sports Med,* 11**,** 123-131.

LEE, H. H. & CHU, C. R. 2012. Clinical and Basic Science of Cartilage Injury and Arthritis in the Football (Soccer) Athlete. *Cartilage,* 3**,** 63s-8s.

LOHMANDER, L. S., ENGLUND, P. M., DAHL, L. L. & ROOS, E. M. 2007. The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: osteoarthritis. *Am J Sports Med,* 35**,** 1756-69.

LÓPEZ-VALENCIANO, A., RUIZ-PÉREZ, I., GARCIA-GÓMEZ, A., VERA-GARCIA, F. J., DE STE CROIX, M., MYER, G. D. & AYALA, F. 2020. Epidemiology of injuries in professional football: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med,* 54**,** 711-718.

LUDWIG, O., SIMON, S., PIRET, J., BECKER, S. & MARSCHALL, F. 2017. Differences in the Dominant and Non-Dominant Knee Valgus Angle in Junior Elite and Amateur Soccer Players after Unilateral Landing. *Sports (Basel),* 5.

LYNCH, J. A., ROEMER, F. W., NEVITT, M. C., FELSON, D. T., NIU, J., EATON, C. B. & GUERMAZI, A. 2010. Comparison of BLOKS and WORMS scoring systems part I. Cross sectional comparison of methods to assess cartilage morphology, meniscal damage and bone marrow lesions on knee MRI: data from the osteoarthritis initiative. *Osteoarthritis Cartilage,* 18**,** 1393-401.

MACRI, E. M., STEFANIK, J. J., KHAN, K. K. & CROSSLEY, K. M. 2016. Is Tibiofemoral or Patellofemoral Alignment or Trochlear Morphology Associated With Patellofemoral Osteoarthritis? A Systematic Review. *Arthritis Care Res (Hoboken),* 68**,** 1453-70.

MAGNUSSON, K., TURKIEWICZ, A., KUMM, J., ZHANG, F. & ENGLUND, M. 2021. Relationship Between Magnetic Resonance Imaging Features and Knee Pain Over Six Years in Knees Without Radiographic Osteoarthritis at Baseline. *Arthritis Care Res (Hoboken),* 73**,** 1659-1666.
MANDELBAUM, B., MITHOEFER, K., PETERSON, L., SARIS, D. & DVORÁK, J. 2012. Cartilage Issues in Football (Soccer): An Executive Summary of the Fédération Internationale de Football Association (FIFA)/ International Cartilage Repair Society (ICRS) Initiative. *Cartilage,* 3**,** 6s-10s.
MCDONALD, S. M., FELFELIYAN, B., HASSAN, A., KÜPPER, J. C., EL-HAJJ, R., WICHUK, S., ANEJA, A., KWOK, C., ZHANG, C. X. Y., JANS, L., HERREGODS, N., HAREENDRANATHAN, A. R. & JAREMKO, J. L. 2025. Evaluating potential for AI automation of quantitative and semi-quantitative MRI scoring in arthritis, especially at the knee: a systematic literature review. *Skeletal Radiol*.
MESSER, D., SHIELD, A., WILLIAMS, M., TIMMINS, R. & BOURNE, M. 2019. Hamstring muscle activation and morphology are significantly altered 1 to 6 years after anterior cruciate ligament reconstruction with semitendinosus graft. *Journal of Science and Medicine in Sport,* 22**,** S60.
MITHOEFER, K., PETERSON, L., ZENOBI-WONG, M. & MANDELBAUM, B. R. 2015. Cartilage issues in football-today's problems and tomorrow's solutions. *Br J Sports Med,* 49**,** 590-6.
MOSLER, A. B., WEIR, A., EIRALE, C., FAROOQ, A., THORBORG, K., WHITELEY, R. J., HÖLMICH, P. & CROSSLEY, K. M. 2018. Epidemiology of time loss groin injuries in a men's professional football league: a 2-year prospective study of 17 clubs and 606 players. *Br J Sports Med,* 52**,** 292-297.
MROSEK, E. H., LAHM, A., ERGGELET, C., UHL, M., KURZ, H., EISSNER, B. & SCHAGEMANN, J. C. 2006. Subchondral bone trauma causes cartilage matrix degeneration: an immunohistochemical analysis in a canine model. *Osteoarthritis Cartilage,* 14**,** 171-8.
NAWABI, D. H., CRO, S., HAMID, I. P. & WILLIAMS, A. 2014. Return to play after lateral meniscectomy compared with medial meniscectomy in elite professional soccer players. *Am J Sports Med,* 42**,** 2193-8.
NEPPLE, J. J., WRIGHT, R. W., MATAVA, M. J. & BROPHY, R. H. 2012. Full-thickness knee articular cartilage defects in national football league combine athletes undergoing magnetic resonance imaging: prevalence, location, and association with previous surgery. *Arthroscopy,* 28**,** 798-806.
OMORI, G., KOGA, Y., TANAKA, M., NAWATA, A., WATANABE, H., NARUMI, K. & ENDOH, K. 2013. Quadriceps muscle strength and its relationship to radiographic knee osteoarthritis in Japanese elderly. *J Orthop Sci,* 18**,** 536-42.
PERRY, T. A., YANG, X., VAN SANTEN, J., ARDEN, N. K. & KLUZEK, S. 2021. Quantitative and semi-quantitative assessment of synovitis on MRI and the relationship with symptoms in symptomatic knee osteoarthritis. *Rheumatology (Oxford),* 60**,** 1763-1773.
PETERFY, C. G., GUERMAZI, A., ZAIM, S., TIRMAN, P. F., MIAUX, Y., WHITE, D., KOTHARI, M., LU, Y., FYE, K., ZHAO, S. & GENANT, H. K. 2004. Whole-Organ Magnetic Resonance Imaging Score (WORMS) of the knee in osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage,* 12**,** 177-90.
PETRILLO, S., PAPALIA, R., MAFFULLI, N., VOLPI, P. & DENARO, V. 2018. Osteoarthritis of the hip and knee in former male professional soccer players. *Br Med Bull,* 125**,** 121-130.
PROVENCHER, M. T., BRADLEY, J. P., CHAHLA, J., SANCHEZ, A., BEAULIEU-JONES, B. R., ARNER, J. W., KENNEDY, N. I., SANCHEZ, G., KENNEDY, M. I., MOATSHE, G., CINQUE, M. E. & LAPRADE, R. F. 2018a. A History of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction at the National Football League Combine Results in Inferior Early National Football League Career Participation. *Arthroscopy,* 34**,** 2446-2453.

PROVENCHER, M. T., CHAHLA, J., CINQUE, M. E., SANCHEZ, G., KENNEDY, N. I., HABER, D. B., TISOSKY, A. J., BEAULIEU-JONES, B. R., PRICE, M. D., WHALEN, J. M., MOATSHE, G. & LAPRADE, R. F. 2018b. Symptomatic Focal Knee Chondral Injuries in National Football League Combine Players Are Associated With Poorer Performance and Less Volume of Play. *Arthroscopy,* 34**,** 671-677.

REIDER, B., ARCAND, M. A., DIEHL, L. H., MROCZEK, K., ABULENCIA, A., STROUD, C. C., PALM, M., GILBERTSON, J. & STASZAK, P. 2003. Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy,* 19**,** 2-12.

ROEMER, F. W., HUNTER, D. J., CREMA, M. D., KWOH, C. K., OCHOA-ALBIZTEGUI, E. & GUERMAZI, A. 2016. An illustrative overview of semi-quantitative MRI scoring of knee osteoarthritis: lessons learned from longitudinal observational studies. *Osteoarthritis Cartilage,* 24**,** 274-89.

ROEMER, F. W., JARRAYA, M., NIU, J., SILVA, J. R., FROBELL, R. & GUERMAZI, A. 2015. Increased risk for radiographic osteoarthritis features in young active athletes: a cross-sectional matched case-control study. *Osteoarthritis Cartilage,* 23**,** 239-43.

ROTH, T. S. & OSBAHR, D. C. 2018. Knee Injuries in Elite Level Soccer Players. *Am J Orthop (Belle Mead NJ),* 47.

SALZMANN, G. M., PREISS, S., ZENOBI-WONG, M., HARDER, L. P., MAIER, D. & DVORÁK, J. 2017. Osteoarthritis in Football. *Cartilage,* 8**,** 162-172.

SCHENK, H., SIMON, D., WALDENMEIER, L., EVERS, C., JANKA, R., WELSCH, G. H. & PACHOWSKY, M. L. 2021. Regions at Risk in the Knee Joint of Young Professional Soccer Players: Longitudinal Evaluation of Early Cartilage Degeneration by Quantitative T2 Mapping in 3 T MRI. *Cartilage,* 13**,** 595s-603s.

SIMON, M. J., BARVENCIK, F., LUTTKE, M., AMLING, M., MUELLER-WOHLFAHRT, H. W. & UEBLACKER, P. 2014. Intravenous bisphosphonates and vitamin D in the treatment of bone marrow oedema in professional athletes. *Injury,* 45**,** 981-7.

SODER, R. B., SIMÕES, J. D., SODER, J. B. & BALDISSEROTTO, M. 2011. MRI of the knee joint in asymptomatic adolescent soccer players: a controlled study. *AJR Am J Roentgenol,* 196**,** W61-5.

SPAHN, G., SCHIELE, R., HOFMANN, G., SCHILTENWOLF, M., GRIFKA, J., VAITL, T., SCHEIDLER, S., LIEBERS, F., SEIDLER, S. & KLINGER, H. 2012. Metaanalyse zur Bestimmung des relativen Risikos posttraumatischer Gonarthrosen. *Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin,* 22**,** 33-33.

SPAHN, G., SCHILTENWOLF, M., HARTMANN, B., GRIFKA, J., HOFMANN, G. O. & KLEMM, H. T. 2016a. [The time-related risk for knee osteoarthritis after ACL injury. Results from a systematic review]. *Orthopade,* 45**,** 81-90.

SPAHN, G., STOJANOWIC, I., BIEHL, M., KLEMM, H.-T. & HOFMANN, G. O. 2016b. Klassifikation von Knorpelschaden und Arthrose. *OUP,* 9**,** 509-514.

STUBBE, J. H., VAN BEIJSTERVELDT, A. M., VAN DER KNAAP, S., STEGE, J., VERHAGEN, E. A., VAN MECHELEN, W. & BACKX, F. J. 2015. Injuries in professional male soccer players in the Netherlands: a prospective cohort study. *J Athl Train,* 50**,** 211-6.

SZYMSKI, D., ACHENBACH, L., KRUTSCH, V., ALT, V., MEFFERT, R., KRUTSCH, W. & FEHSKE, K. 2021. Injury epidemiology in men's professional team sports: is media analysis helpful? *Arch Orthop Trauma Surg,* 141**,** 655-661.

TANAMAS, S., HANNA, F. S., CICUTTINI, F. M., WLUKA, A. E., BERRY, P. & URQUHART, D. M. 2009. Does knee malalignment increase the risk of development and progression of knee osteoarthritis? A systematic review. *Arthritis Rheum,* 61**,** 459-67.

TASHMAN, S., COLLON, D., ANDERSON, K., KOLOWICH, P. & ANDERST, W. 2004. Abnormal Rotational Knee Motion during Running after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine,* 32**,** 975-983.

THELIN, N., HOLMBERG, S. & THELIN, A. 2006. Knee injuries account for the sports-related increased risk of knee osteoarthritis. *Scand J Med Sci Sports,* 16**,** 329-33.
UEBLACKER, P., MÜLLER-WOHLFAHRT, H. W. & EKSTRAND, J. 2015. Epidemiological and clinical outcome comparison of indirect ('strain') versus direct ('contusion') anterior and posterior thigh muscle injuries in male elite football players: UEFA Elite League study of 2287 thigh injuries (2001-2013). *Br J Sports Med,* 49**,** 1461-5.
WADA, O., KURITA, N., KAMITANI, T., NAKANO, N. & MIZUNO, K. 2019. Influence of the severity of knee osteoarthritis on the association between leg muscle mass and quadriceps strength: the SPSS-OK study. *Clin Rheumatol,* 38**,** 719-725.
WALSH, M., BOLING, M. C., MCGRATH, M., BLACKBURN, J. T. & PADUA, D. A. 2012. Lower extremity muscle activation and knee flexion during a jump-landing task. *J Athl Train,* 47**,** 406-13.
WANG, D., WEISS, L. J., ABRAMS, M., BARNES, R. P., WARREN, R. F., RODEO, S. A. & TAYLOR, S. A. 2018. Athletes With Musculoskeletal Injuries Identified at the NFL Scouting Combine and Prediction of Outcomes in the NFL: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med,* 6**,** 2325967118813083.
WEGRZYN, J., D'APUZZO, M. R., AMRAMI, K. K., LARSON, D. R. & KAUFMAN, K. R. 2011. Could Whole-Organ Magnetic Resonance Imaging Score (WORMS) Components Predict Pain in Knee Osteoarthritis ? *ORS Annual Meeting 2012,* Poster No. 1780.
WELSCH, G. H., BEHR, A. M., FROSCH, K. H., TAHIR, E., PACHOWSKY, M., HENES, F. O., ADAM, G., MAAS, K. J. & WARNCKE, M. L. 2022. Semi-quantitative magnetic resonance imaging scoring of the knee detects previous injuries in professional soccer players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,* 30**,** 1161-1168.
WILDER, F. V., HALL, B. J., BARRETT, J. P., JR. & LEMROW, N. B. 2002. History of acute knee injury and osteoarthritis of the knee: a prospective epidemiological assessment. The Clearwater Osteoarthritis Study. *Osteoarthritis Cartilage,* 10**,** 611-6.
YUSUF, E., KORTEKAAS, M. C., WATT, I., HUIZINGA, T. W. & KLOPPENBURG, M. 2011. Do knee abnormalities visualised on MRI explain knee pain in knee osteoarthritis? A systematic review. *Ann Rheum Dis,* 70**,** 60-7.
ZHANG, Y., NEVITT, M., NIU, J., LEWIS, C., TORNER, J., GUERMAZI, A., ROEMER, F., MCCULLOCH, C. & FELSON, D. T. 2011. Fluctuation of knee pain and changes in bone marrow lesions, effusions, and synovitis on magnetic resonance imaging. *Arthritis Rheum,* 63**,** 691-9.
ZHANG, Y., SHU, D., YAO, W., DING, J., CHEN, L., LIN, X., TIAN, T. & LIU, J. 2021. MRI study of changes in knee bone marrow edema-like signal in asymptomatic amateur marathon runners before and after half-marathon running. *Clin Imaging,* 80**,** 150-157.

8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ablaufschema zum Auswahlverfahren des Studienkollektives 8
Abb. 2: Regionale Aufteilung der Gelenkflächen für WORMS nach Peterfy et al. (2004) 12
Abb. 3: Knorpelscore (WORMS) nach Peterfy et al. (2004) 14
Abb. 4: Knochenmarködem-Score (WORMS) nach Peterfy et al. (2004) 15
Abb. 5: Score für subartikuläre Zysten (WORMS) nach Peterfy et al. (2004) 15
Abb. 6: Score für subartikulären Knochenabrieb (WORMS) nach Peterfy et al. (2004) 16
Abb. 7: Score für marginale Osteophyten (WORMS) nach Peterfy et al. (2004) 17
Abb. 8: Häufigkeitsverteilung nach Alter 23
Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der Anwesenheitsmonate 24
Abb. 10: Häufigkeitsverteilung der Positionen 24
Abb. 11: Durchschnittliche Ausprägung des WORMS in den Kategorien Knorpel, Knochenmarködem und Osteophyten nach Gelenkkompartimenten 30
Abb. 12: MRT-Ausschnitte von vier Spielern mit markierten Pathologien 31
Abb. 13: Streudiagramm der AT/AM (Knie) für die jeweilige Seite des WORMS-S und WORMS-B 33
Abb. 14: Streudiagramm Alter und WORMS-G 34
Abb. 15: Boxplot Diagramm: Verteilung WORMS-S nach Position der Spieler 35
Abb. 16: Kategoriale Regressionsanalyse: WORMS-S und ipsilaterale AT/AM (Knie) 37

9. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Maximal zu erreichende Score-Werte für WORMS nach Peterfy et al. (2004) 13
Tab. 2: Punkte-Skala für Knorpelscore nach Peterfy et al. (2004)..... 14
Tab. 3: Punkte-Skala für Knochenmarködem-Score nach Peterfy et al. (2004)..... 15
Tab. 4: Punkte-Skala für subartikuläre Zysten-Score nach Peterfy et al. (2004) 16
Tab. 5: Punkte-Skala für subartikulären Knochenabrieb-Score nach Peterfy et al. (2004) 16
Tab. 6: Punkte-Skala für marginale Osteophyten-Score nach Peterfy et al. (2004)..... 17
Tab. 7: Punkte-Skala für Gesamt-Score Meniskus nach Peterfy et al. (2004)..... 18
Tab. 8: Kategorien des WORMS-S anhand kumulierter Werte 22
Tab. 9: Ausfalltage nach anatomischer Lage in absoluten und relativen Werten für n=54 Spieler 26
Tab. 10. Ausfalltage pro Anwesenheitsmonat (AT/AM) nach anatomischer Lage für n=49 Spieler im Seitenvergleich 27
Tab. 11: Verteilung des WORMS-G (N=54)..... 28
Tab. 12: Verteilung WORMS-S (N=49)..... 29
Tab. 13: Verteilung WORMS-B (N=49)..... 29
Tab. 14: Korrelationen nach Spearman-Rho: AT/AM und WORMS 32
Tab. 15: Korrelation nach Spearman-Rho: Alter und WORMS 34
Tab. 16: Korrelationen nach Spearman-Rho Spielminuten/AM und WORMS 35
Tab. 17: WORMS-S Kategorien 37

10. Anhang

Anhang 1: Multiples Regressionsmodel

		Abhängige Variable: AT/AM Knie ipsilateral						
Variable	Konstante	Regressionskoeffizient Nicht standardisiert	Regressionskoeffizient Standardisiert	Standardfehler	T	95% KI-Intervalle Untergrenze	95% KI-Intervalle Obergrenze	Sig.
(Konstante)		-0,555		1,371	-0,405	-1,110	0,978	0,688
WORMS-S		0,050	0,648	0,009	5,326	0,031	0,069	0,000
Alter		-0,015	-0,320	0,058	-0,262	-1,333	0,102	0,795
Spielminuten/AM		0,003	0,155	0,002	1,371	-0,001	0,007	0,178
R^2		0,427						
korr. R^2		0,388						
ANOVA								
F (df=3)		11,157						
Sig.		0,000						

Anhang 2: Kategoriale Regression von WORMS-S und AT/AM Knie ipsilateral

		Abhängige Variable: AT/AM Knie ipsilateral						
Variable	Konstante	Regressionskoeffizient Nicht standardisiert	Regressionskoeffizient Standardisiert	Standardfehler	T	95% KI-Intervalle Untergrenze	95% KI-Intervalle Obergrenze	Sig.
WORMS-S Kat. 2 (Referenz Kat. 1)	0,158	0,176	0,042	0,698	0,252	-0,816	1,131	0,802
WORMS-S Kat. 3 (Referenz Kat. 2)	0,333	-0,196	-0,047	0,711	-0,275	-1,629	1,237	0,784
WORMS-S Kat. 4 (Referenz Kat. 3)	0,137	1,535	0,369	0,711	2,158	0,102	2,968	0,036
WORMS-S Kat. 4 (Referenz Kat. 1)	0,158	1,515	0,365	0,698	2,171	0,110	2,092	0,035
R^2		0,126						
korr. R^2		0,068						
ANOVA								
F (df=1.45)		2,163						
Sig.		0,106						

11. Danksagung

Ich bedanke mich aufrichtig und herzlich bei Herrn Professor Götz Welsch, dem Leiter des sportmedizinischen Institutes UKE Athleticum, für die außergewöhnliche Möglichkeit, eine Promotion anhand Daten des Profifußballsports verfassen zu dürfen. Ebenso bedanke ich mich für das vertrauensvolle Verhältnis und die fachliche Unterstützung in der Gestaltung dieser Arbeit.

Besonderer Dank gilt meiner Familie, meinen engsten Freunden und meinem Partner, die mich stets mit positiver Energie unterstützt und Anstrengungen bedingungslos sowie verständnisvoll mitgetragen haben.

Ich danke meinem verstorbenen Vater, Dr. Lothar Behr, einem leidenschaftlichen Sportmediziner, den ich unendlich vermisse und der mir stets seine Faszination für die Medizin zum Vorbild machte. Ich hoffe, diese Leidenschaft in meinem ärztlichen Handeln ebenso weiterzutragen.

12. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe, insbesondere ohne entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- und Beratungsdiensten, verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Das gilt insbesondere auch für alle Informationen aus Internetquellen.
Soweit beim Verfassen der Dissertation KI-basierte Tools („Chatbots“) verwendet wurden, versichere ich ausdrücklich, den daraus generierten Anteil deutlich kenntlich gemacht zu haben. Die „Stellungnahme des Präsidiums der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zum Einfluss generativer Modelle für die Text- und Bilderstellung auf die Wissenschaften und das Förderhandeln der DFG“ aus September 2023 wurde dabei beachtet.
Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.
Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

20.10.2025

Datum Unterschrift: Anna-Maria Behr

13. Erklärung zum Eigenanteil

Die vorliegende Arbeit wurde im UKE Athleticum, dem Zentrum für Sport- und Bewegungsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, unter der Betreuung von Prof. Dr. med. Götz Welsch durchgeführt.
Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. med. Götz Welsch (ärztlicher Leiter UKE Athleticum).
Die Datenerhebung erfolgte im UKE Athleticum nach Absprache mit Prof. Dr. med. Götz Welsch eigenständig durch mich. Die Daten wurden pseudonymisiert erhoben und anonymisiert ausgewertet.
Die Auswahl geeigneter statistischer Methoden sowie die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse erfolgte nach Beratung durch das Institut für Biometrie am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf und unter Nutzung der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics Version 25.0 (SPSS, Inc., Chicago, U.S.).
Die Literaturrecherche erfolgte eigenständig durch mich unter Nutzung der wissenschaftlichen Datenbank „PubMed“.
Ich versichere hiermit, das Manuskript selbstständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Ich versichere, dass alle von mir gemachten Angaben wahrheitsgemäß und vollständig sind.

München, 20.10.2025	
Ort, Datum	Unterschrift der Antragstellerin (Anna-Maria Behr)