

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

Vergleich der Prävalenz von varischen Beinachsen im Jugendfußball:

Gibt es Unterschiede zwischen Athleten und Schiedsrichtern?

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
(Dr. med.)

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
André Denzlein

im Jahr
2024

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

Vergleich der Prävalenz von varischen Beinachsen im Jugendfußball:

Gibt es Unterschiede zwischen Athleten und Schiedsrichtern?

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
(Dr. med.)

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
André Denzlein

im Jahr
2024

Dekan:

Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter:

Prof. Dr. med. Werner Krutsch

2. Berichterstatter:

PD Dr. med. Stephan Gerling

Tag der mündlichen Prüfung:

09. August 2024

Gliederung

1	Zusammenfassung	4
2	Einleitung	8
2.1	Fußball – der Volkssport	8
2.2	Anatomische und physiologische Grundlagen	9
2.2.1	Anatomie des Kniegelenks	9
2.2.2	Anatomie und physiologische Entwicklung der Beinachse	11
2.3	Folgeschäden einer pathologischen Beinachse.....	14
2.4	Aktueller Stand der Forschung	15
2.5	Fragestellungen.....	16
3	Material und Methoden	17
3.1	Studiendesign.....	17
3.2	Studienpopulation.....	17
3.2.1	Einschlusskriterien	17
3.2.2	Ausschlusskriterien	17
3.2.3	Kontrollpopulation Schiedsrichter	18
3.3	Probandenaufklärung und Einverständniserklärung.....	18
3.4	Erhebung anthropometrischer und sportartspezifischer Daten.....	18
3.5	Methodik der Beinachsenmessung	19
3.5.1	Aufbau der Testbatterie	19
3.5.2	Bestimmung von Größe und Gewicht	20
3.5.3	Messung des Oberschenkelumfangs	20
3.5.4	Messung des Intercondylarabstands und Intermalleolarabstands (ICD / IMD). 21	
3.5.5	Sonografisch-assistierte fotografische Methode der Beinachsenmessung.....	22
3.6	Kategorisierung und Definitionen von anthropometrischen Daten, Trainingsbelastung und beinachsenspezifischen Werten.....	25

3.7	Statistische Methoden.....	28
4	Ergebnisse	29
4.1	Studienpopulation Fußballspieler	29
4.1.1	Anthropometrische Daten der Fußballspieler	29
4.1.2	Fußballspezifische Daten – Spielklasse, Intensität, Exposition	29
4.1.3	Erhobene Messwerte bei der Beinachsenmessung der Fußballspieler.....	31
4.1.4	Hip-Knee-Ankle-Winkel der Gesamtpopulation Fußballspieler.....	32
4.1.5	Prävalenz von Varus- und Valgusachsfehlstellungen Fußballspieler	32
4.1.6	Beinachsen der Fußballspieler nach Altersgruppen	35
4.1.7	Beinachsen der Fußballspieler in Abhängigkeit der Exposition	38
4.2	Kontrollpopulation der Schiedsrichter.....	41
4.2.1	Anthropometrische Daten der Kontrollpopulation der Schiedsrichter.....	42
4.2.2	Schiedsrichterspezifische Daten – Spielklasse, Intensität, Exposition	42
4.2.3	Erhobene Messwerte bei der Beinachsenmessung der Kontrollpopulation der Schiedsrichter	43
4.2.4	Hip-Knee-Ankle-Winkel der Schiedsrichter	44
4.2.5	Prävalenz von Varusachsfehlstellungen Schiedsrichter	45
4.2.6	Beinstellung in Abhängigkeit der Exposition	47
4.3	Vergleichende Ergebnisse von Fußballspielern und Schiedsrichtern.....	50
4.3.1	Vergleichsgruppen Fußballspieler - Fußballschiedsrichter.....	50
4.3.2	Anthropometrische Daten im Vergleich zwischen Fußballspieler und Schiedsrichter	51
4.3.3	Vergleich der sportlichen Aktivität zwischen Spieler und Schiedsrichter	51
4.3.4	Vergleich der Beinachsen zwischen Spieler und Schiedsrichter	52
5	Diskussion	57
6	Limitationen	66
7	Fazit.....	67
8	Abkürzungsverzeichnis	68

9	Quellenverzeichnis	69
10	Danksagung	74

1 Zusammenfassung

Einleitung

Fußball als einer der größten Sportarten ist häufig mit der Tatsache konfrontiert, dass eine Ausübung dessen zu einer varischen Beinstellung (O-Bein) führen könne. Mehrere Studien lassen dies ebenfalls vermuten, allerdings konnte bisher kein Kausalzusammenhang gefunden werden. Ziel dieser Arbeit ist es, die Prävalenz von varischen Beinachsen im Kinder-/Jugendfußball herauszufinden und einen Vergleich von varischen Beinachsen von jugendlichen Fußballspielern zu gleichaltrigen Fußballschiedsrichtern herzustellen.

Methodik

Die Ausrichtung des Knies wird anhand der Messung des Intercondylar- und des Intermalleolarabstandes (ICD/IMD) sowie mittels einer Sonografie-gestützten fotografischen Aufnahme der Beinachse zur Berechnung des HKA-Winkels bestimmt. Zudem wird ein Fragebogen zur Erhebung von anthropometrischen und sportartspezifischen Daten verwendet.

Ergebnisse

Es werden insgesamt 183 männliche jugendliche Fußballspieler im Alter von sechs bis 19 Jahren untersucht. Das durchschnittliche Alter der Studienpopulation liegt bei $12,8 \pm 2,9$ Jahren. Die Prävalenz varischer Beinachsen liegt bei der HKA-Messung bei 13,9% und bei 12,0% bei der ICD/IMD-Messung. Es werden die Beinachsen von 29 männlichen Fußballschiedsrichtern mit den Beinachsen von 28 altersgleichen jugendlichen Fußballspielern verglichen. Hinsichtlich der Messgrößen Alter, Größe, Gewicht, BMI und wöchentlicher Sportbelastung unterscheiden sich die Fußballspieler und Schiedsrichter dabei nicht signifikant. Die Fußballspieler weisen einen signifikant höheren (in Richtung Varus) HKA-Winkel als die Schiedsrichter auf (rechts: $2,25^\circ \pm 2,26^\circ$ vs. $0,5^\circ \pm 2,76^\circ$; links: $2,53^\circ \pm 2,53^\circ$ vs. $0,81^\circ \pm 2,62^\circ$; $p=0,011$ bzw. $p=0,015$). Vereint man die beiden Beinachsen rechts und links miteinander, ergibt sich somit ein statistisch signifikant höherer HKA-Wert in Richtung Varus bei den Fußballspielern als bei den Schiedsrichtern ($2,38^\circ \pm 2,38^\circ$ vs. $0,66^\circ \pm 2,67^\circ$; $p=<0,001$). Bei der Messung des ICD/IMD zeigt sich sowohl bei Vorliegen eines IMD (10 ± 19 mm vs. 4 ± 11 mm; $p=0,2$) als auch bei Vorliegen eines ICD (19 ± 16 mm vs. 22 ± 17 mm; $p=0,6$) im Vergleich zwischen Fußballschiedsrichtern und Fußballspielern kein signifikanter Unterschied. Die Prävalenz varischer Beinstellungen in Abhängigkeit der Trainingsbelastung entspricht bei der Messung der HKA-Winkel 15,2% bei der Gruppe der niedrigen, 17,3% bei der Gruppe der moderaten und 4,2% bei der Gruppe der hohen Trainingsbelastung.

Schlussfolgerung

Anhand der vorliegenden Ergebnisse dieser Studie zeigt sich eine höhere varische Abweichung der Beinachse bei jugendlichen Fußballspielern im Vergleich zu gleichaltrigen Fußballschiedsrichtern. Ebenfalls zeigt sich, dass die untersuchten Fußballspieler, welche eine sehr hohe Trainingsintensität haben, eine geringere Prävalenz an varischen Beinachsenabweichungen vorweisen als Fußballspieler, die eine geringere Trainingszeit aufweisen. Ein besseres Verständnis der Beinachsenentwicklung und -beeinflussung durch sportliche Betätigung bedarf zukünftig weiterer Forschung.

Summary

Introduction

As one of the biggest sports, soccer is often confronted with the hypothesis that playing soccer might lead to a varus leg position (bow leg). Even though several studies suggest this hypothesis, no causal relationship has been found to date. This study aims to determine the prevalence of varus leg axis in youth soccer and to compare the varus leg axis of young soccer players with that of soccer referees of the same age.

Methodology

The alignment of the knee is determined by measuring the intercondylar and intermalleolar distance (ICD/IMD) and using a sonography-based photographic image of the leg axis to determine the Hip-Knee-Ankle (HKA) angle. In addition, a questionnaire is used to collect anthropometric and sport-specific data.

Results

A total of 183 male adolescent soccer players were examined. The average age of the study population was 12.8 ± 2.9 years. The prevalence of varus leg axes was 13.9% for the HKA measurement and 12.0% for the ICD/IMD measurement. The leg axes of 29 male soccer referees were compared with the leg axes of 28 young soccer players of the same age. The soccer players and referees did not differ significantly in terms of age, height, weight, BMI and weekly sporting activity. The soccer players have a significantly higher (in the varus direction) HKA angle than the referees (right: 2.25 ± 2.26 vs. 0.5 ± 2.76 ; left: 2.53 ± 2.53 vs. 0.81 ± 2.62 ; $p=0.011$ and $p=0.015$ respectively). If the two leg axes on the right and left are combined, this results in a statistically significant higher HKA value in the varus direction in the soccer players than in the referees (2.38 ± 2.38 vs. 0.66 ± 2.67 ; $p < 0.001$). When measuring the ICD/IMD, there was no significant difference between soccer referees and soccer players both in the presence of an IMD (10 ± 19 mm vs. 4 ± 11 mm; $p=0.2$) and in the presence of an ICD (19 ± 16 mm vs. 22 ± 17 mm; $p=0.6$). The prevalence of varus leg positions in relation to training load corresponds to 15.2% in the low training load group, 17.3% in the moderate training load group and 4.2% in the high training load group when measuring HKA angle.

Conclusion

The results of this study show a higher varus deviation of the leg axis in young soccer players compared to soccer referees of the same age. It also points out that the examined soccer players

with a very high training intensity have less pronounced varus leg axis deviations than those with less training time. A better understanding of leg axis development and how it might be influenced by sporting activity requires further research.

2 Einleitung

2.1 Fußball – der Volkssport

Die Sportart Fußball zählt in Deutschland mit über 7 Millionen Mitgliedern in den Vereinen des Deutschen Fußballbundes (DFB) im Jahr 2023 zu den beliebtesten Sportarten. Viele Kinder und Jugendliche sind bereits in jungen Jahren als Mitglieder in Fußballvereinen angemeldet. So lautet die Zahl der unter 14- Jährigen registrierten Junioren etwas mehr als eine Million und die der 14- bis 18-Jährigen etwa 475 000 (Deutscher Fußballbund, 2023). Die sportliche Leistungsdichte im Fußball ist sehr breit. Es ist hier vom Amateurfußball in den unteren Ligen bis hin zum Profifußball, welcher als Beruf ausgeübt wird, eine große Streuung zu sehen. Während im Profibereich nur die ersten drei Ligen im Bundesgebiet und teilweise die Regionalligen als vierte Liga mit Spielern im Profistatus ausgestattet sind, ist die deutliche Mehrheit der aktiven Fußballspieler im Amateur- oder Freizeitsport aktiv. Aufgrund dessen zählt Fußball für viele Aktive zum Freizeitsport, der überwiegend Spaß machen und die gesunde Bewegung fördern soll. Dies ist natürlich auch bei den Kindern und Jugendlichen der Fall. Diese sollen sich spielerisch bewegen und Spaß haben, was nachweislich zur gesunden Lebensführung beiträgt (Lampert et al., 2007). Allerdings sind auch Risiken hinsichtlich Verletzungen durch den Fußballsport ein relevantes Thema. Durch die Kontaktsportartart bestehen hier sowohl die Verletzungsrisiken durch Gegnerkontakt als auch die Risiken, welche ohne Gegnereinwirkung entstehen können. Im Bereich des Kinder- und Jugendfußballs können solche Verletzungen Auswirkung auf das Wachstum und die körperliche Entwicklung der Kinder haben (z.B. Frakturen, Bänderverletzungen im Sprung- oder Kniegelenk) oder sich erst im Erwachsenenalter zeigen (z.B. Kniegelenksarthrose) (Schneider et al., 2013; Sokka, 2021).

Ein faires Fußballspiel benötigt allerdings sowohl im Jugend- als auch bei Spielen im Erwachsenenbereich auf allen Ebenen einen Schiedsrichter oder ein Schiedsrichter-Gespann mit Assistenten. Ohne diese Spieloffiziellen wäre eine ordnungsgemäße Durchführung der Spiele mit der Einhaltung aller Regeln schwer umsetzbar. Als Fußballschiedsrichter waren in der Saison 2021/2022 insgesamt etwa 50 000 Männer und Frauen tätig (Stand: 30.06.2022). Hiervon waren circa 8600 Jugendliche unter 18 Jahren. Hinzu kommen über 5000 „Neulinge“, die im Zeitraum von 01. Juli 2021 bis zum 30. Juni 2022 den Schiedsrichter Neulingskurs absolvierten (Knebel, 2022). Das Kniegelenk ist beim Fußballspiel eines der häufigsten schwer verletzten Gelenke (Bram et al., 2021; Henke et al., 1994; Rose & Imhoff, 2006) und spielt zudem auch bei der Beinachsenentwicklung eine tragende Rolle (Exner, 2003). Daher werden zunächst die anatomischen und physiologischen Grundlagen des Gelenks erklärt.

2.2 Anatomische und physiologische Grundlagen

2.2.1 Anatomie des Kniegelenks

Das Kniegelenk (Articulatio genus) verbindet den Oberschenkel mit dem Unterschenkel und besteht aus mehreren Teilgelenken. Diese werden aus dem Femur, der Tibia und der Patella gebildet (vgl. Abbildung 1).



Abbildung 1: Knöchernes Kniegelenk in der Ansicht von ventral (a), dorsal (b) und lateral (c) nach Wurzinger, 2020

Anatomische Landmarken des distalen Femurs sind am dorsalen Ende der Kondylen die Fossa intercondylaris, ventral die Fossa patellaris und dazwischen die Facies poplitea (Wurzinger, 2020). Die proximale Tibia unterteilt sich in einen medialen, konkaven Anteil und einem lateralen, leicht konvexen Anteil der Gelenkfläche, wodurch sich die schlechte Kongruenz mit dem Femur darstellt. Diese lässt sich durch einen dicken vorhandenen Knorpelüberzug verbessern, welcher am Kniegelenk mit durchschnittlich zwei bis drei Millimetern die höchste Dicke aller Gelenke vorweist (Wurzinger, 2020). Zwischen den Gelenkflächen der proximalen Tibia liegt die Eminentia intercondylaris, die als Ansatzstelle für Bänder und Menisken dient.

Die dementsprechenden Teilgelenke sind das Femoropatellargelenk aus Patella und distalem Femur und das Femorotibialgelenk aus dem distalen Femur und der proximalen Tibia. Weiterhin wird das Femorotibialgelenk aufgeteilt in ein mediales und ein laterales Kompartiment (Wurzinger, 2020). Aus funktioneller Sicht handelt es sich beim Kniegelenk um ein Drehscharniergelenk, ein sogenanntes Trochogynglimus. Dadurch ergeben sich als Bewegungsrichtungen sowohl die Extension und Flexion als auch die Außen- und Innenrotation um die Längsachse bei gebeugtem Knie (Wurzinger, 2020). Bei der Flexion entsteht eine

Rollbewegung des Femurkondylus über der Tibia, sodass bei maximaler Beugung der Femurkondylus an den dorsalen Rand des Tibiaplateaus gleitet. Bei Extension erfolgt ebenfalls ein Gleiten des Femurs über dem Tibiaplateau mit anschließender Außenrotation des Unterschenkels in vollständiger Streckung, der sogenannten Schlussrotation (Matziolis & Röhner, 2015). Durch die gekrümmte Form des Femurs entsteht bei flektiertem Kniegelenk eine geringere Kontaktfläche zwischen Femur und Tibia als bei der Extension. Dies entspricht einer geringeren Stabilität des Kniegelenks in Flexion.

Weiterhin gehören zum Kniegelenk der Bandapparat und die Menisken. Die Bänder werden unterteilt in die beiden Binnenbänder – vorderes und hinteres Kreuzband (Ligamentum cruciatum anterior und posterior) – und die beiden Außenbänder – mediales und laterales Kollateralband (Ligamentum collaterale tibiale und fibulare) (vgl. Abbildung 2).

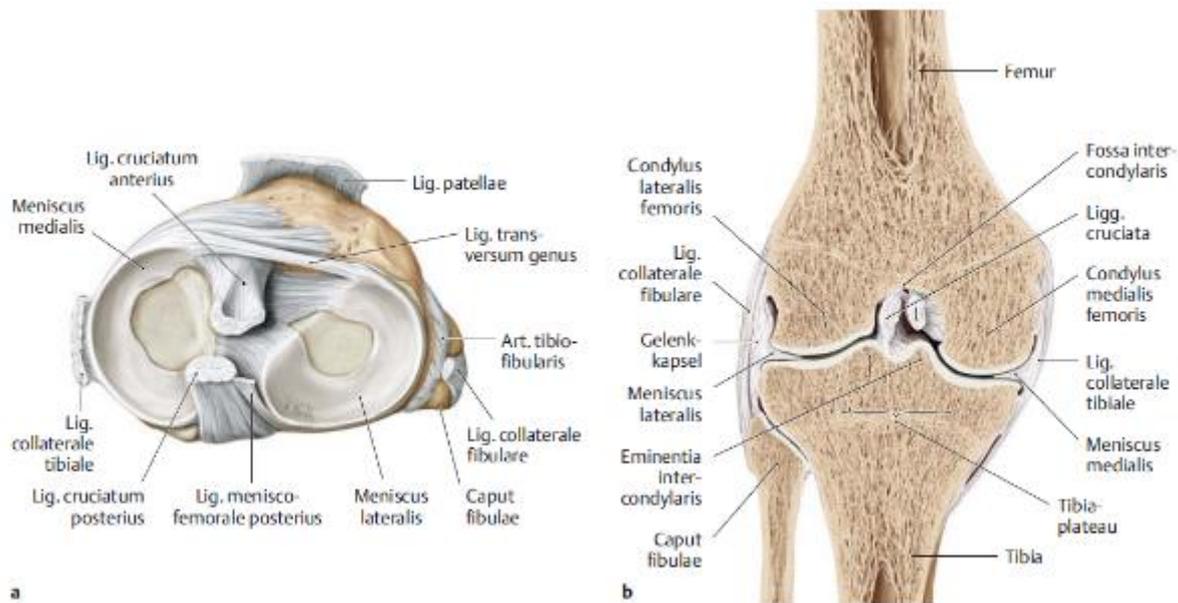


Abbildung 2: Die Menisken im Femorotibialgelenk: a) Rechtes Tibiaplateau in der Ansicht von proximal nach Durchtrennung der Kreuz- und Kollateralbänder sowie Entfernung des Oberschenkelknochens: Sichtbar sind die dem Tibiaplateau aufliegenden Menischi mit ihren Anheftungsstellen. b) Frontaler Sägeschnitt durch das rechte Femorotibialgelenk in der Ansicht von ventral nach Wurzünger, 2020

Ebenfalls zum Kniegelenk gehören der aus Faserknorpel bestehende mediale und laterale Meniskus, welche in ihrer Form C – förmig sind und im Querschnitt der Form eines Keils ähneln, wobei die größte Dicke an der Außenseite der Meniskusbasis entspricht (vgl. Abbildung 2). Die Funktion dieser ist hauptsächlich die Vergrößerung der Oberfläche, um die punktuelle Druckbelastung zu verringern und zu verteilen (Wurzünger, 2020).

Das Kniegelenk ist nach dem Hüftgelenk aufgrund der vorliegenden Inkongruenz von Tibiaplateau und Femurkopf besonders anfällig für degenerative Erkrankungen wie die Gonarthrose (Wurzinger, 2020).

2.2.2 Anatomie und physiologische Entwicklung der Beinachse

Die untere Extremität trägt die Last des gesamten Körpergewichts im Stehen auf beiden Beinen als statische Funktion. Weiterhin aber auch beim Gehen und Laufen einbeinig und dynamisch sowie bei Sprung- und Landebewegungen dynamisch ein- oder beidbeinig. Deshalb ist physiologisch eine mechanisch ergonomische Achse vorgesehen, die die großen Gelenke der unteren Extremität miteinander verbindet, die sogenannte Mikulicz-Linie (vgl. Abbildung 3).

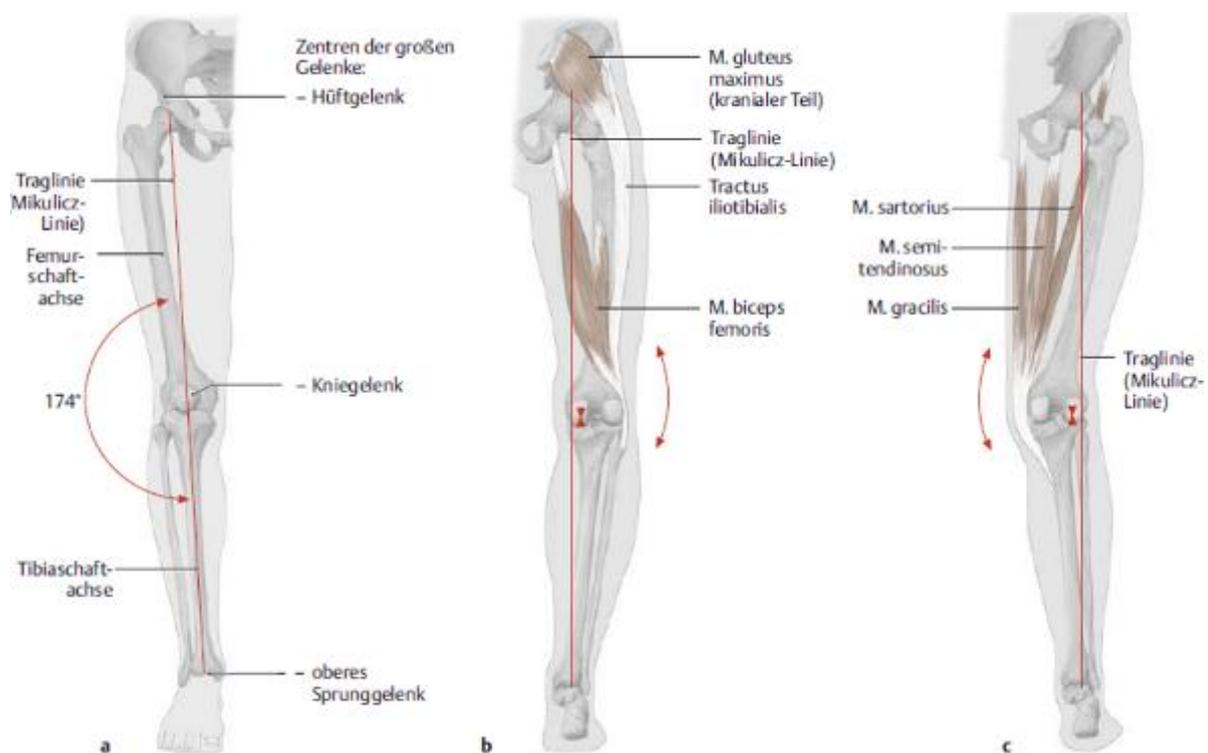


Abbildung 3: Die Traglinien der Beinachsen: a) physiologischer Verlauf in der Ansicht von ventral. b) Verlauf der Traglinie beim Genu varum (O-Bein) in der Ansicht von dorsal. c) Verlauf der Traglinie beim Genu valgum (X-Bein) in der Ansicht von dorsal nach Wurzinger, 2020

Diese wird beschrieben als Linie zwischen dem Caput femoris der Hüfte, der Eminentia intercondylaris des Kniegelenks und der Talusrolle am oberen Sprunggelenk. Durch den nach anterolateral stehenden Schenkelhals (Collum femoris) zeigt sich eine Verschiebung der Mikulicz-Linie im Vergleich zur anatomischen Beinachse, der Verbindungslinie zwischen der Femur- und der Tibiaschaftachse. Hierdurch entsteht ein nach lateral geöffneter Winkel, der sogenannte anatomische Femorotibialwinkel (Lobenhoffer et al., 2014; Wurzinger, 2020). Physiologisch beträgt dieser zwischen der Femur- und Tibiaschaftachse 174° . Es sind allerdings

auch Schreibweisen dieses Winkels geläufig, in dem dieser mit 6° beschrieben wird (Kraus & Steinwender, 2014; Lobenhoffer et al., 2014; Westhoff et al., 2002). Die mechanische Beinachse läuft etwa vier Millimeter medial des Zentrums des Kniegelenks parallel zur anatomischen Beinachse (Lobenhoffer et al., 2014). Dadurch bilden die anatomische und die mechanische Beinachse den beschriebenen Winkel von etwa 6° (vgl. Abbildung 4).

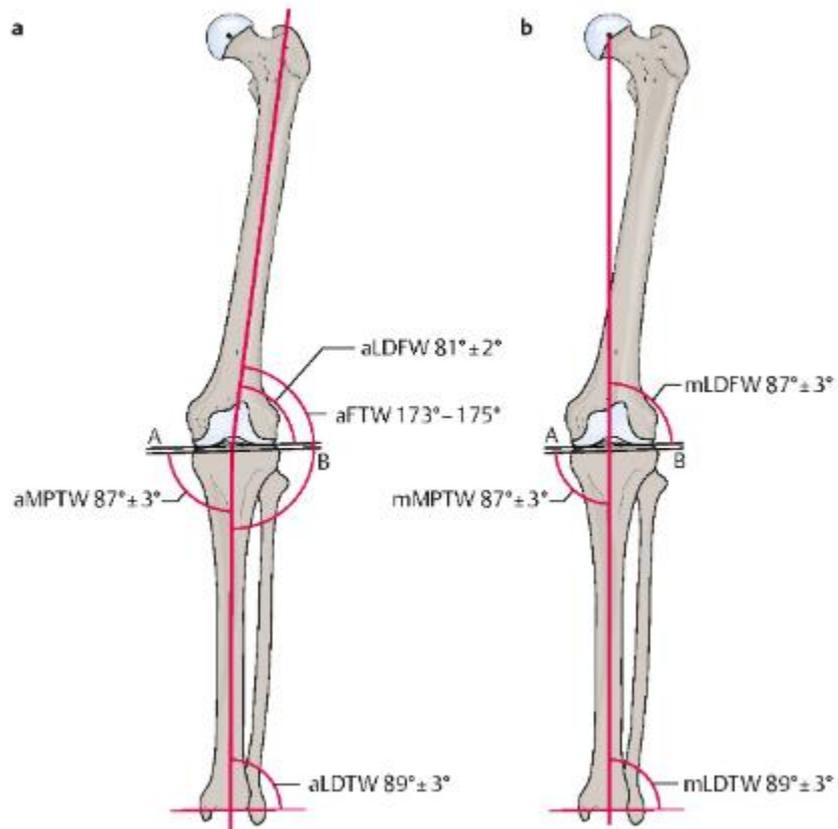


Abbildung 4: Achs- und Gelenkwinkel in Frontalebene: a) Anatomische Achsen und Gelenkwinkel mit Normwerten. Anatomischer Femorotibialwinkel (aFTW = 173° - 175°), anatomischer lateraler distaler Femurwinkel (aLDFW = $81^\circ \pm 2^\circ$), anatomischer medialer proximaler Tibiawinkel (aMPTW = $87^\circ \pm 3^\circ$), anatomischer lateraler distaler Tibiawinkel (aLDTW = $89^\circ \pm 3^\circ$). b) Mechanische Achsen und Gelenkwinkel mit Normwerten. Mechanischer lateraler distaler Femurwinkel (mLDFW $87^\circ \pm 3^\circ$), mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel (mMPTW = $87^\circ \pm 3^\circ$), mechanischer lateraler distaler Tibiawinkel (mLDTW = $89^\circ \pm 3^\circ$). A = Femurkondylentangente, B = Tibiaplateautangente nach Lobenhoffer et al., 2014

Wie in Abbildung 3 zu sehen, kann sich der Femorotibialwinkel sowohl vergrößert als auch verkleinert darstellen. Ist dieser vergrößert, ergibt sich ein Genu varum, das umgangssprachlich genannte O-Bein. Bei einem verkleinerten Winkel ergibt sich ein Genu valgum, das als X-Bein bekannt ist. Ebenfalls ist in Abbildung 3 zu erkennen, dass eine varische Beinachse zu einer erhöhten Belastung des medialen Kompartiments des Kniegelenks führt, da sich die mechanische Linie dadurch nach medial verschiebt. Wohingegen eine valgische Beinachse eine erhöhte Belastung des äußeren Kompartiments als Folge hat, da die Linie im Kniegelenk nach lateral verschoben ist. Weitere Eigenschaften und die Folgen aus diesen beschriebenen Belastungen werden in Punkt 2.3 erläutert.

Bei der Entwicklung der physiologischen Beinachse im Verlauf des Wachstums ist zur Beurteilung die Beobachtung aller drei Ebenen im Raum nötig (Transversal-, Sagittal- und Frontalebene). Unmittelbar nach der Geburt zeigen sich in der Frontalebene varische Beinachsen von etwa 15° , die eher einem Crus varum als einem Genu varum entsprechen (Kraus & Steinwender, 2014; Westhoff et al., 2002). Eine Außenrotationsbeugehaltung des Hüftgelenks verstärkt dies. Durch veränderte Druckbelastung im Stehen kommt es zu einer Stimulation der medialen Wachstumsfuge, was eine Valgisierung des Kniegelenks zu Gehbeginn ab dem Alter von etwa einem Jahr nach sich zieht (vgl. Abbildung 5). Es kommt daher nach der Varisierung im Säuglingsalter zunehmend zu einer Valgisierung im Alter von etwa ein bis zwei Jahren.

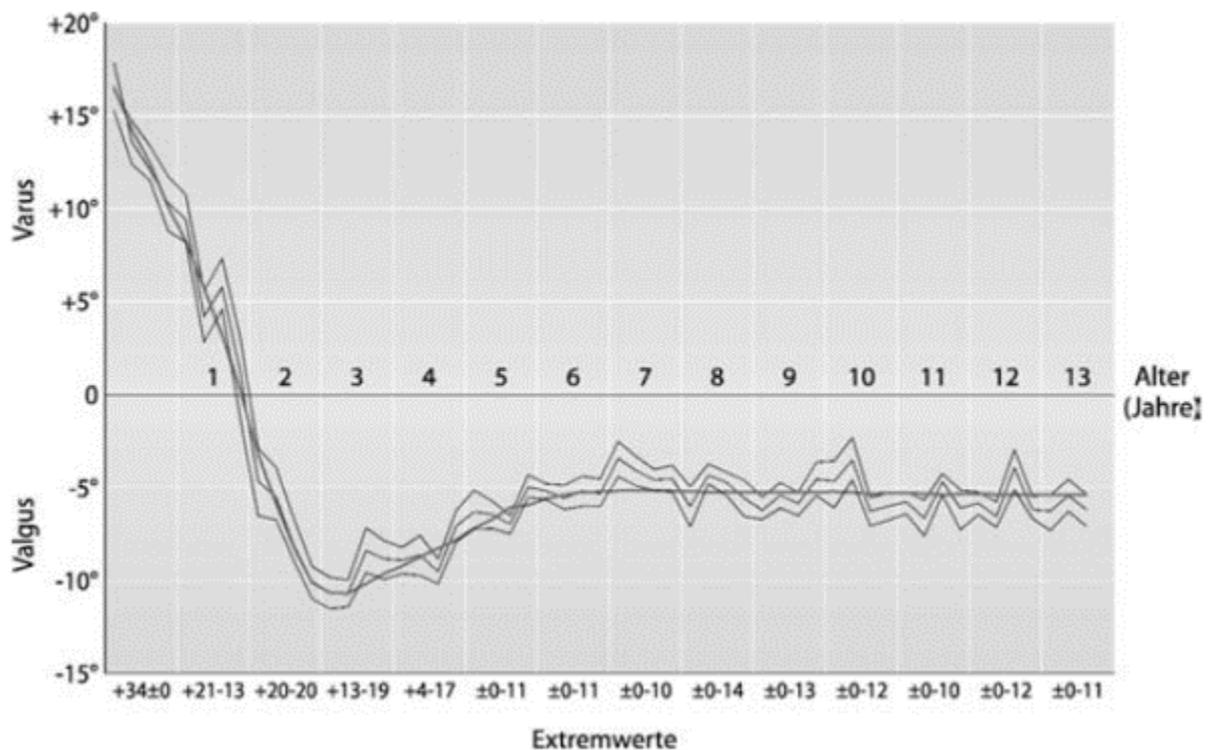


Abbildung 5: Physiologie der Beinachsenentwicklung nach Salenius & Vankka (1975) aus Westhoff et al., 2002: Man sieht die Darstellung des tibiofemorale Winkels in Abhängigkeit von Alter in der anterior-posterior-Ebene (Varus +, Valgus -)

Der physiologische Valgus erreicht im Alter von drei bis vier Jahren sein Maximum mit maximal 10° (Westhoff et al., 2002). Durch die erneut veränderten Druckbelastungen verringert sich die Valgisierung und erreicht bis zum Alter von acht bis zehn Jahren die physiologische Stellung des adulten Kniegelenks von etwa 6° Valgus.

In der Transversalebene beschreibt der Antetorsionswinkel des Hüftgelenks einen nach ventral offenen physiologischen Winkel zwischen der Achse des Schenkelhalses und der Ebene der Femurkondylen bei etwa 30° nach der Geburt (Kraus & Steinwender, 2014). Durch eine

vermehrte Innenrotation entsteht vorwiegend im Alter von zwei bis vier Jahren ein Gangbild mit starker Innenrotation. Dies bildet sich aber im Verlauf des Wachstums zurück, sodass ein Antetorsionswinkel von 7° bis 15° als physiologisch anzusehen ist (Kraus & Steinwender, 2014).

Bei Kleinkindern und Säuglingen ist ein Bewegungsausmaß des Kniegelenks von 15-0-150 (Extension-Flexion nach Neutralnullmethode) möglich (Westhoff et al., 2002). Bei Erwachsenen ist das Bewegungsausmaß mit 5 bis 10-0-120 bis 150 beschrieben (Wirth & Kohn, 2016).

2.3 Folgeschäden einer pathologischen Beinachse

Zuvor ist bereits in Punkt 2.2.2 beschrieben, dass eine Veränderung der physiologischen Beinachse zu einer veränderten biomechanischen Beanspruchung aufgrund der erhöhten Krafteinwirkung auf das Kniegelenk führt. Wegen dieser anatomisch-biomechanischen Gegebenheit ist durch die vermehrte Beanspruchung von einer Überbelastung und damit von einer Schädigung der kartilaginären Strukturen auszugehen. Dies entsteht nach einem Untergang des faserknorpeligen Meniskus, wodurch es zu einer Verringerung der Kontaktfläche kommt und dadurch eine vermehrte Beanspruchung des hyalinen Knorpels entsteht. Dies führt im Verlauf zu einer Osteoarthrose, welche gemäß Definition einen degenerativen Knorpelabbau durch falsche oder erhöhte Belastung beschreibt (Spahn G et al., 2016). Im Bereich des Kniegelenks ergaben Studien von Sharma et al. (2013) und Brouwer et al. (2007) ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung und das Fortschreiten der Gonarthrose bei einer Abweichung von der physiologischen Beinachse. Besonders ausgeprägt ist dies bei adipösen Menschen beobachtet worden (Brouwer et al., 2007). Da bei einem Genu varum eine vermehrte Belastung auf das mediale Kompartiment im Kniegelenk besteht, zeigt sich ein höherer Grad an medialer tibiofemorale Knorpelschädigung in der radiologischen Bildgebung als bei Menschen mit physiologischer Beinachse (Sharma et al., 2013). Bei bestehender physiologischer Beinachse konnte gezeigt werden, dass auch hier bereits etwa 70% der Belastung über das mediale Kompartiment übertragen wird (Sharma et al., 2013). Eine varische Abweichung bewirkt eine weitere Progression der medialen Belastung. Bei einer valgischen Abweichung zeigte sich, dass erst bei einem stark ausgeprägten Valgus die Belastung auf dem lateralen Kompartiment liegt und bis zu diesem Stadium eher eine Verteilung der Belastung zur Gelenkmitte stattfindet (Sharma et al., 2013).

Weiterhin wurde *in vitro* an Beinen bereits Verstorbener die kartilaginäre Mehrbelastung durch extern veränderte Krafteinwirkung beleuchtet (van de Pol et al., 2009). Hierbei wurde die Belastung unter physiologischen Achsverhältnissen und unter verschiedenen Stadien der Varusabweichung untersucht. Dabei konnte herausgefunden werden, dass bei vermehrter medialer Krafteinwirkung – was einem Genu varum entspricht – eine direkte Beziehung zwischen der Abweichung der Beinachse und einer signifikant größeren Spannung am vorderen Kreuzband zu messen ist (van de Pol et al., 2009). Ebenfalls zeigten Chaudhari & Andriacchi (2006), dass ein Genu varum oder Genu valgum zu einem erhöhten Verletzungsrisiko für eine vordere Kreuzbandruptur führt. Ob dadurch ein Genu varum oder valgum tatsächlich ein höheres Risiko für eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes im Fußball darstellt, muss in weiteren Studien gezeigt werden. Zudem besteht bei der Abweichung von der physiologischen Beinachse das Risiko eines patellofemorales Schmerzsyndroms und von Meniskusläsionen (Lun et al., 2004; Messier et al., 1991; Taunton et al., 2002; Wen et al., 1998).

2.4 Aktueller Stand der Forschung

Aktuelle wissenschaftliche Arbeiten deuten darauf hin, dass bereits bei jugendlichen Fußballspielern im Vergleich zur restlichen Bevölkerung oder zu Sportlern anderer Sportarten – unter anderem Basketball, Handball, Volleyball, Tennis und Squash – eine höhere Prävalenz von Varusfehlstellungen der Kniegelenke vorliege (Colyn et al., 2016; Thijs et al., 2012). Eine retrospektive Kohortenstudie von Witvrouw et al. (2009) zeigt einen Zusammenhang zwischen Fußballspielen im Jugendalter und dem Auftreten von varischen Beinachsen bei Junioren ab 16 Jahren. Schmitt et al. (2018) untersuchten insgesamt 860 Leistungskaderathleten des Deutschen Olympischen Sportbundes (DOSB). Dabei stellten sie fest, dass Fußballspieler in etwa doppelt so häufig varische Beinachsen zeigten als Sportler anderer Sportarten. Allerdings scheint die Populationsgröße mit 35 Fußballspielern relativ gering. Ein systematisches Review von Thaller et al. (2018) kommt zu dem Schluss, dass bereits im Kindes- und Jugendalter Beinachsenfehlstellungen durch intensives Fußballtraining gefördert werden können. Die Autoren beider wissenschaftlichen Arbeiten führten die verstärkte varische Achsabweichung durch vermehrte varische Belastungen der medialen Wachstumsfuge am Kniegelenk mit asymmetrischen, varisierenden Muskelkräften in Zusammenhang mit Start-Stopp-Laufmanövern und dem Gegnerkontakt durch Mikrotraumata als Erklärungsansatz an (Schmitt et al., 2018; Thaller et al., 2018). Spahn et al. (2015) widmeten sich in einem systematischen Review dem Zusammenhang zwischen aktiver Tätigkeit als Fußballspieler und dem Gonarthroseerisiko ohne stattgefundenem Makrotrauma hinsichtlich der Anerkennung der

Gonarthrose als Berufskrankheit bei Profifußballspielern. Wie in Punkt 2.3 erläutert wird, führt eine Veränderung der Beinachse mittelfristig zu einem erhöhten Arthroserisiko.

Allerdings ist bis heute keine gesicherte Aussage möglich, inwiefern sich die bisher erhobenen Ergebnisse von Fußballspielern im Kindes- und Jugendalter reproduzieren lassen und Fußballspielen oder allgemeine sportliche Aktivität hierfür tatsächlich als Risikofaktor angenommen werden kann. Ebenso muss es das Ziel zukünftiger Forschungsarbeiten sein, mögliche Faktoren herauszufinden, die zu einer vermehrten Varusachsenstellung bei Jugendfußballspielern führen, um dadurch eine mögliche Kausalität zwischen Fußballspielen und Varusfehlstellungen der unteren Extremität zu beweisen oder zu widerlegen. Dadurch kann im nächsten Schritt im Sinne der Prävention durch beispielsweise Anpassung von Trainingsmethodik, Spielregularien oder bestimmtes Verhalten die mögliche Progression einer Achsfehlstellung der unteren Extremität verlangsamt werden. Als Beispiel für das Einführen von Präventivmaßnahmen auf Basis von zuvor durchgeführten Studien kann das strikte Verbot von Kopfbällen im Jugendfußball in den USA genannt werden. Hierbei konnte in einigen Publikationen eine vermehrte gesundheitliche Schädigung für Kinder bei Kopfbällen vermutet werden, weshalb der Amerikanische Fußballverband *US Soccer Federation* reagierte und bei Kindern, die jünger als zehn Jahre sind, Kopfbälle gänzlich untersagt (Lalji et al., 2020; Rivara & Graham, 2014). Bei Kindern im Alter von elf bis 13 Jahren ist weiterhin das Trainieren von Kopfbällen verboten. Zudem wurde für Spiele in diesen Altersklassen die Wechselregelung angepasst, sodass das Wechselkontingent durch eine vorsorgliche Auswechslung wegen möglicher *Commotio cerebri* nicht tangiert wird. Möglicherweise kann dieses Beispiel eine Grundlage für die Thematik dieser Arbeit hinsichtlich neuer Trainingsmethoden sein.

2.5 Fragestellungen

Eine Fragestellung der vorliegenden Studie ist es die Prävalenz der Beinachsenabweichung bei männlichen jugendlichen Fußballspielern in der Gesamtheit und in Abhängigkeit von Variablen wie beispielsweise Alter und Trainingsintensität herauszufinden. Zudem liegt das Augenmerk vorwiegend auf dem Vergleich der Prävalenz von Beinachsenfehlstellungen von männlichen jugendlichen Fußballspielern und Fußballschiedsrichtern. Die primäre Fragestellung bezieht sich auf den Unterschied der Beinachsen zwischen einem gleichaltrigen Kollektiv aus Jugendfußballspielern und Fußballschiedsrichtern.

3 Material und Methoden

3.1 Studiendesign

Die vorliegende Studie ist eine Querschnittstudie. Zuerst ist aufgrund des klinischen Studiencharakters das Forschungsvorhaben der Ethikkommission der Universität Regensburg vorgelegt worden. Die Prüfung und das positive Ethikvotum der Studie ist am 13.11.2019 erfolgt (Zeichen: 19-1571-101). Ebenfalls ist eine Registrierung im Deutschen Register für klinische Studien DRKS (Registrierungsnummer: DRKS00020446) veranlasst worden. Im Anschluss ist zur Rekrutierung der Studienpopulation mit mehreren Nachwuchsmannschaften und Schiedsrichtergruppen Kontakt aufgenommen worden. Die Datenerhebung erfolgt von Oktober 2020 bis Oktober 2022.

3.2 Studienpopulation

3.2.1 Einschlusskriterien

Untersucht werden Nachwuchsfußballspieler von Amateur- bis Profiligen im Alter zwischen sechs und 19 Jahren. Die Probanden sind alle Mitglieder in Vereinen des Bayerischen Fußballverbandes, nennen den Fußballsport als Hauptsportart und sind aktuell im Spielbetrieb mit Trainingseinheiten und Spielen tätig. Als Vergleichsgruppe werden Fußballschiedsrichter in der gleichen Altersgruppe untersucht, um einen Vergleich der Beinachsen zwischen Fußballspielern und Schiedsrichtern darstellen zu können. Auch die untersuchten Schiedsrichter sind alle im Bayerischen Fußballverband gemeldet und als aktive Schiedsrichter mit Trainingseinheiten und Saisonspielen im Verlauf der Untersuchungszeit tätig. Weiterhin erfüllen ein vollständig ausgefüllter Fragebogen und die Einverständniserklärung von Erziehungsberechtigten und Probanden die Voraussetzung als Einschlusskriterium.

3.2.2 Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie sind stattgefunden orthopädische Operationen an Hüfte, Kniegelenk oder Sprunggelenk, sowie kongenitale oder genetische muskuloskelettale Deformitäten der unteren Extremität. Weiterhin werden relevante aktuelle Beschwerden der unteren Extremität oder relevante abgelaufene Knieverletzungen wie zum Beispiel eine chronische Instabilität, eine Osteoarthritis oder eine akute Knieverletzung wie etwa eine vordere Kreuzbandruptur als Ausschlusskriterien festgelegt. Die Beschwerden oder stattgefundenen Verletzungen dürfen den aufrechten, ausbalancierten Stand nicht beeinträchtigen. Zudem ist dadurch eine Teilnahme an der aktuellen Trainingseinheit bzw. der

Spiele in der laufenden Saison nicht möglich. Ausgeschlossen werden unvollständige Datensätze der Fragebögen sowie weibliche Fußballspielerinnen.

3.2.3 Kontrollpopulation Schiedsrichter

Die Messung der Kontrollpopulation der Fußballschiedsrichter wird anhand desselben Messprotokolls wie bei den Fußballspielern vollzogen (siehe Kapitel 3.5). Weiterhin wird für die vergleichende Auswertung der gleiche oben genannte Fragebogen ausgefüllt. Ein- und Ausschlusskriterien sind identisch zur Studienpopulation der Fußballspieler. Als Schiedsrichter werden Fußballschiedsrichter des Deutschen Fußballbundes im Alter bis 19 Jahren ausgewählt, welche unabhängig der jeweiligen Spielklasse und Dauer der Tätigkeit allesamt in der laufenden Saison aktiv Spiele als Schiedsrichter leiten.

3.3 Probandenaufklärung und Einverständniserklärung

Zur Aufklärung von Erziehungsberechtigten und Probanden ist ein Aufklärungsbogen erstellt worden. Nach der Kontaktaufnahme mit den jeweiligen Ansprechpartnern werden eine Probandenaufklärung und eine Einverständniserklärung an jeden potenziellen Teilnehmer der Studie ausgehändigt. Die Datenerhebung wird erst nach Einholen der schriftlich dokumentierten Einverständniserklärung von Erziehungsberechtigten und Probanden durchgeführt.

3.4 Erhebung anthropometrischer und sportartspezifischer Daten

Zusätzlich zur Vermessung der Beinachse ist ein Fragebogen zur Erhebung von anthropometrischen und sportartspezifischen Daten entwickelt worden. Dieser soll bei jüngeren Teilnehmern mit Unterstützung der Erziehungsberechtigten ausgefüllt werden. Der Fragebogen ist in mehrere Teilbereiche gegliedert:

- Persönliche Angaben
- Fußballspezifische oder sportartspezifische Angaben
- Angaben zu weiterem sportlichem Verhalten
- Angaben zur Krankheitsgeschichte
- Angaben zu orthopädischen Erkrankungen
- Angaben zu Voroperationen
- Angaben zu Muskelerkrankungen

Abgefragt werden unter anderem anthropometrische Angaben mit Größe und Gewicht, Art der ausgeübten Sportarten, sportartspezifische Fragestellungen zur jeweiligen Sportart, sowie Angaben zum allgemeinen sportlichen Umfang als auch gesundheitsspezifische Fragen und

orthopädische Grunderkrankungen. Zudem wird über den Fragebogen die wöchentliche Trainingsbelastung abgefragt, die als Grundlage die Zuteilung in die entsprechende Gruppe der Trainingsexposition ermöglicht. Dies ist in Punkt 3.6 beschrieben.

3.5 Methodik der Beinachsenmessung

3.5.1 Aufbau der Testbatterie

Die zur Methodik verwendeten Materialien werden in Tabelle 1 beschrieben.

Tabelle 1: Datenblatt Material der Methodik (eigene Darstellung)

Material	Hersteller	
Butterfly iQ[®] Ultraschallsonde Lightning	Butterfly [®]	Ultraschallsonde
iPad Air[®] WiFi 64 GB Space grey	Apple [®]	Tablet (Endgerät)
Tripod Stativ 106 3D[®]	Hama [®]	Stativ
Incidin[®] OxyWipe S Desinfektionstücher	Ecolab [®]	Reinigungstücher
Echoson[®] Ultraschallgel, 250 ml	Sport-Tec [®]	Ultraschallgel
Feder-Innentaster, 125 mm	Vogel Germany [®]	Innentaster
forma[®] Körper- und Umfangmaßband 150 cm	Hoechstmass [®]	Umfangmaßband
Prym[®] Maßband Color 150 cm	Prym [®]	Maßband
Edding[®] 8020 Hautmarker blau	Edding [®]	Markierungsstift
RENPHO[®] digitale Personenwaage	Renpho [®]	Waage

Im Vorfeld der Testung wird in einem Raum mit ebenem Boden, zum Beispiel einer Umkleidekabine, der Aufbau der Messbatterie durchgeführt. Dazu wird für die Größenmessung und Skalierung eine Messlatte an der Wand installiert. Am Boden wird ein Klebestreifen fixiert. Dieser dient in Verlängerung des Unterschenkels der Probanden als deren Standpunkt, der Proband steht auf der Markierung auf Höhe der oberen Sprunggelenkachse. Im rechten Winkel dazu wird in einem definierten Abstand von einem Meter das Stativ der Marke Hama[®] (vgl. Tabelle 1) für das Anfertigen der fotografischen Aufnahme aufgestellt. Die Höhe des Stativs wird für jeden Probanden neu justiert, sodass die fotografische Aufnahme auf Höhe des Kniegelenks in streng anterior-posteriorer Richtung erfolgt, um den parallaxtischen Fehler möglichst gering zu halten. Der Aufbau wird exemplarisch in Abbildung 6 gezeigt.



Abbildung 6: Aufbau der Testbatterie (eigene Darstellung)

3.5.2 Bestimmung von Größe und Gewicht

Die Messung der Körpergröße erfolgt durch die angebrachte Messlatte an der Wand. Die Größe wird in Zentimetern bestimmt. Die Feststellung des Gewichts in Kilogramm erfolgt durch eine digitale Personenwaage der Firma Renpho® (vgl. Tabelle 1). Aufgrund dieser beiden Werte kann im Nachgang der Messung der Body-Mass-Index (BMI) bestimmt werden, welcher als $(\text{Körpergewicht in kg}) / (\text{Körpergröße in cm})^2$ definiert ist.

3.5.3 Messung des Oberschenkelumfangs

Zur Messung des Oberschenkelumfangs werden Gummizügel auf Höhe des Kniegelenkspalts an beiden Knien des Probanden angebracht. Der Vorteil dieses Tools ist, dass aufgrund des eigenelastischen Zugs des Gummizügels sich dieser in den Kniegelenkspalt positioniert. Der Oberschenkelumfang wird mit einem Umfangsmaßband der Firma forma® (vgl. Tabelle 1) auf Höhe des Mittelpunkts zwischen medialem Kniegelenkspalt und Spina iliaca anterior superior gemessen, um muskuläre Dysbalancen hinsichtlich des Stand- oder Schussbeines zu analysieren. Hierbei sind der gleichmäßige Stand und die gleichmäßige Gewichtsverteilung auf

beide Beine wichtig, weshalb für die Messung ein etwa schulterbreiter Stand angestrebt wird. Abbildung 7 zeigt bildlich diese Beschreibung.



Abbildung 7: Messung Oberschenkelumfang 20cm proximal des Kniegelenkspaltes (eigene Darstellung)

3.5.4 Messung des Intercondylarabstands und Intermalleolarabstands (ICD / IMD)

Die Probanden werden aufgefordert sich wie in Punkt 3.5.3 beschrieben schulterbreit aufzustellen und das Gewicht auf beide Beine gleichmäßig zu verteilen. Im Anschluss sollen die Beine mit kleinsten Trippelschritten zusammengeführt werden bis sich entweder die Kniegelenke oder die Sprunggelenke berühren. Dies ist dann der Ausgangspunkt der Messung für den Intercondylar- bzw. Intermalleolarabstand. Berühren sich die beiden Kniegelenke, wird der Abstand zwischen beiden medialen Malleolen gemessen, was dem Intermalleolarabstand (*Intermalleolar distance – IMD*) entspricht. Besteht eine Berührung der beiden Sprunggelenke, wird der Abstand der beiden Femurkondylen zueinander gemessen, der sogenannte Intercondylarabstand (*Intercondylar distance – ICD*). Die Messung erfolgt mittels Feder-Innentaster der Firma Vogel® (vgl. Tabelle 1). Die Messung erfolgt in Millimeter. Eine beispielhafte Messung des ICD zeigt Abbildung 8.



Abbildung 8: Messung des Intercondylarabstandes (ICD) (eigene Darstellung)

3.5.5 Sonografisch-assistierte fotografische Methode der Beinachsenmessung

Am aufrecht stehenden Probanden wird mit der Ultraschallsonde der Firma Butterfly IQ[®] (vgl. Tabelle 1) sonografisch das Hüftkopfzentrum (Caput femoris) von anterior detektiert. Das sonografische Bild der Ultraschallsonde wird auf das Endgerät, ein Apple iPad Air[®], übertragen. Abbildung 9 beschreibt die sonografische Detektion des Caput femoris in anterior-posteriorer Richtung.



Abbildung 9: Sonografische Detektion des Hüftkopfs in anterior-posteriorer Richtung: a) zeigt die Darstellung der Durchführung der Hüftkopfbestimmung aus Sicht des Untersuchers. b) zeigt mit roten Pfeil das sonografische Bild des Hüftkopfs (eigene Darstellung).

Unter sonografischer Sicht wird das Hüftkopfszentrum mit einem Stift (Edding 8020[®], vgl. Tabelle 1) auf der Haut markiert. Das Hüftkopfszentrum wird definiert als die Senkrechte zur Tangente des dem zur Haut naheliegendsten Punkt der konvexen Erhebung des Hüftkopfes. Hinsichtlich der Rotation der Beinachse des Probanden wird auf eine streng orthograde Stellung der Patella geachtet. Im Anschluss an die Detektion und Markierung wird eine fotografische Aufnahme angefertigt. Diese wird mit einem iPad Air[®] befestigt auf einem Stativ der Firma Hama[®] (vgl. Tabelle 1) standardisiert aus einem Meter Entfernung auf Höhe des Kniegelenks des Probanden durchgeführt. Die Stellung des Probanden wird dabei wie in Punkt 3.5.4 beschrieben eingenommen. Die fotografische Aufnahme ist in Abbildung 10 dargestellt.



Abbildung 10: Übersichtsaufnahme Beinachse mit Messpunkten (eigene Darstellung)

Anhand des auf Höhe des Kniegelenkspalts angelegten Gummiringes kann im Anschluss der fotografischen Aufnahme mithilfe des Bildbearbeitungsprogrammes Gimp® der Hip-Knee-Ankle (HKA)-Winkel bestimmt werden. Durch die markierten Punkte kann hiermit die mechanische Femur- und Tibia-Achse abgebildet werden. Beispielhaft kann man die Messung des HKA in der Abbildung 11 sehen.

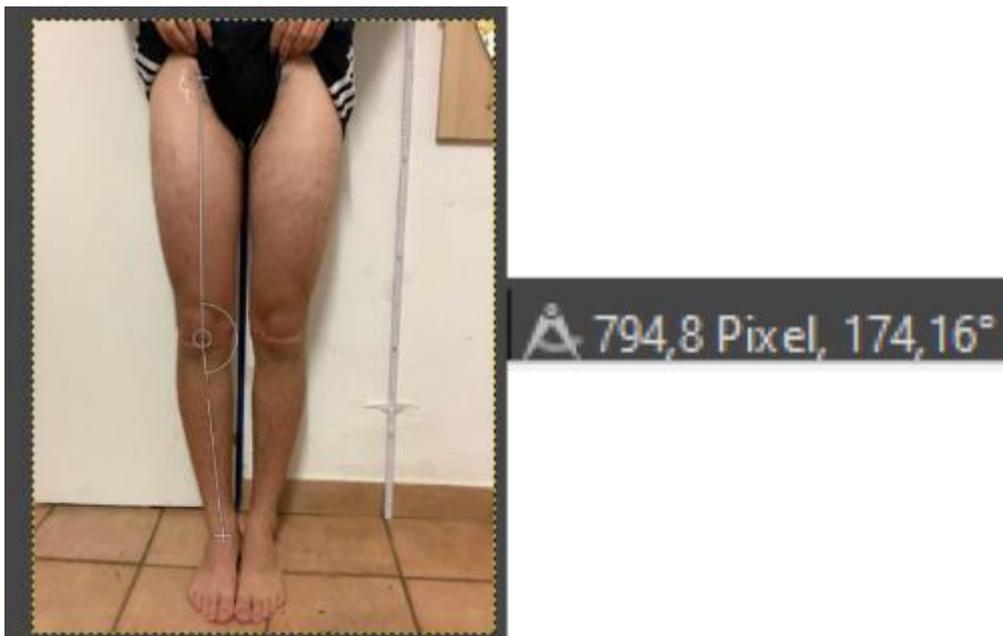


Abbildung 11: Auswertung Beinachse mittels Bildbearbeitungsprogramm Gimp® (eigene Darstellung)

Der hier genannte Winkel von 174,16° entspricht dem Wert der Beinachse. Zur Berechnung des HKA wird dieser von 180° subtrahiert. Der HKA ist somit 5,84°

Die beschriebene Methodik ist bereits validiert und wird mit dem Goldstandard der radiologischen Ganzbeinaufnahme verglichen. Memmel et. al (2023) zeigen eine statistisch signifikante Korrelation zwischen beiden Messverfahren und zuverlässige HKA-Messungen bei einem BMI unter 30 kg/m². Die genannte Messmethode stellt somit eine valide und ausreichend genaue Alternative zur radiologischen Ganzbeinaufnahme dar (Mommel et al. 2023).

3.6 Kategorisierung und Definitionen von anthropometrischen Daten, Trainingsbelastung und beinachsenspezifischen Werten

Um eine standardisierte und vergleichbare Datenlage herzustellen, werden bereits veröffentlichte Studien zur Kategorisierung der einzelnen Messwerte herangezogen. Für die Beziehung zwischen Körpergröße und Gewicht wird der BMI angewendet, welcher sich aus Körpergewicht geteilt durch das Quadrat der Körpergröße berechnet. Dieser orientiert sich an der Einteilung mittels altersspezifischen Perzentilen nach Kromeyer-Hauschild et al. (2001), welche folgender Abbildung zu entnehmen ist (vgl. Abbildung 12).

Alter [Jahre]	L	S	P3	P10	P25	P50 (M)	P75	P90	P97
0	1,31	0,10	10,20	11,01	11,81	12,68	13,53	14,28	15,01
0,5	-0,67	0,08	14,38	15,06	15,80	16,70	17,69	18,66	19,72
1	-1,05	0,08	14,58	15,22	15,93	16,79	17,76	18,73	19,81
1,5	-1,28	0,08	14,31	14,92	15,60	16,44	17,40	18,37	19,47
2	-1,45	0,08	14,00	14,58	15,25	16,08	17,03	18,01	19,14
2,5	-1,58	0,08	13,73	14,31	14,97	15,80	16,76	17,76	18,92
3	-1,67	0,09	13,55	14,13	14,79	15,62	16,59	17,62	18,82
3,5	-1,75	0,09	13,44	14,01	14,67	15,51	16,50	17,56	18,80
4	-1,80	0,09	13,36	13,94	14,60	15,45	16,46	17,54	18,83
4,5	-1,85	0,09	13,30	13,88	14,55	15,42	16,45	17,56	18,90
5	-1,88	0,09	13,24	13,83	14,51	15,40	16,46	17,61	19,02
5,5	-1,90	0,10	13,20	13,80	14,50	15,40	16,50	17,71	19,19
6	-1,92	0,10	13,18	13,79	14,51	15,45	16,59	17,86	19,44
6,5	-1,92	0,10	13,19	13,82	14,56	15,53	16,73	18,07	19,76
7	-1,92	0,11	13,23	13,88	14,64	15,66	16,92	18,34	20,15
7,5	-1,92	0,11	13,29	13,96	14,76	15,82	17,14	18,65	20,60
8	-1,91	0,11	13,37	14,07	14,90	16,01	17,40	19,01	21,11
8,5	-1,89	0,12	13,46	14,18	15,05	16,21	17,68	19,38	21,64
9	-1,87	0,12	13,56	14,31	15,21	16,42	17,97	19,78	22,21
9,5	-1,85	0,13	13,67	14,45	15,38	16,65	18,27	20,19	22,78
10	-1,83	0,13	13,80	14,60	15,57	16,89	18,58	20,60	23,35
10,5	-1,80	0,13	13,94	14,78	15,78	17,14	18,91	21,02	23,91
11	-1,77	0,14	14,11	14,97	16,00	17,41	19,24	21,43	24,45
11,5	-1,75	0,14	14,30	15,18	16,24	17,70	19,58	21,84	24,96
12	-1,72	0,14	14,50	15,41	16,50	17,99	19,93	22,25	25,44
12,5	-1,69	0,14	14,73	15,66	16,77	18,30	20,27	22,64	25,88
13	-1,66	0,14	14,97	15,92	17,06	18,62	20,62	23,01	26,28
13,5	-1,63	0,14	15,23	16,19	17,35	18,94	20,97	23,38	26,64
14	-1,61	0,14	15,50	16,48	17,65	19,26	21,30	23,72	26,97
14,5	-1,58	0,14	15,77	16,76	17,96	19,58	21,63	24,05	27,26
15	-1,55	0,14	16,04	17,05	18,25	19,89	21,95	24,36	27,53
15,5	-1,52	0,13	16,31	17,33	18,55	20,19	22,26	24,65	27,77
16	-1,49	0,13	16,57	17,60	18,83	20,48	22,55	24,92	27,99
16,5	-1,47	0,13	16,83	17,87	19,11	20,77	22,83	25,18	28,20
17	-1,44	0,13	17,08	18,13	19,38	21,04	23,10	25,44	28,40
17,5	-1,41	0,13	17,32	18,39	19,64	21,31	23,36	25,68	28,60
18	-1,39	0,13	17,56	18,63	19,89	21,57	23,61	25,91	28,78

Abbildung 12: Tabelle mit Perzentilen für den Body-Mass-Index (BMI) von Jungen im Alter von 0-18 Jahren nach Kromeyer-Hauschild et al. (2001)

Die Trainingsbelastung des Probanden wird anhand der Trainingszeit pro Woche kategorisiert. Die Gruppe „Basic training exposure“ entspricht einer Trainingsbelastung von höchstens zwei Trainingseinheiten je 90 Minuten und damit bis 180 Minuten pro Woche. Eine „moderate training exposure“ besteht bei zwei bis vier Trainingseinheiten oder zwischen 180 und 360 Minuten pro Woche. Der Kategorie der „high training exposure“ werden Probanden ab vier Trainingseinheiten oder mehr als 360 Trainingsminuten pro Woche eingruppiert.

Für die Bestimmung des ICD/IMD zeigen Cheng et al. (1991), Kaspiris et al. (2013) und Cahuzac et al. (1995), dass ab einem Alter von acht Jahren der physiologische Wert bei null liegt. Somit kann die Einteilung nach Shohat et al. (2018) für die Definition der Beinachse herangezogen werden. Diese besagt ab einem ICD von mehr als drei Zentimeter eine Varusabweichung und ab einem IMD von mehr als vier Zentimeter eine Valgusabweichung.

Eine genauere Stadieneinteilung der Achsabweichung ist in der nachfolgenden Tabelle zu erkennen (vgl. Abbildung 13).

Genu varum severity level*	0 (Normal)
	1 ($3 \leq \text{ICD} < 5$)
	2 ($5 \leq \text{ICD} < 10$)
	3 ($10 \leq \text{ICD} < 15$)
Genu valgum severity level	0 (Normal)
	1 ($4 \leq \text{IMD} \leq 8$)
	2 ($8 < \text{IMD} < 12$)
	3 ($12 \leq \text{IMD} \leq 15$)
	4 ($15 < \text{IMD}$)

Abbildung 13: Einteilung der ICD/IMD-Abweichungen nach Shohat et al. (2018)

Bei der Auswertung der ICD/IMD-Werte wird die Einteilung des Level 1 bei Genu valgum als „Valgus“, die Level 2, 3 und 4 als „starker Valgus“ definiert. Beim Genu varum wird das Level 1 als „Varus“ und die Level 2 und 3 als „starker Varus“ bezeichnet. Diese Einteilung wird vorgenommen, um die Vergleichbarkeit mit den vorhandenen nachfolgend erklärten Werten bei den HKA-Winkeln herzustellen.

Für die Messung des HKA-Winkels wird nachfolgende Abbildung von Sabharwal & Zhao (2009) mit altersspezifischen HKA-Winkeln zur Bewertung herangezogen. Negative Werte entsprechen einer Valgusabweichung, positive Werte einer Varusabweichung (vgl. Abbildung 14).

Age (yr)	No. of Limbs	Hip-Knee-Ankle Angle* (deg)	
		Mean and Stand. Dev.	95% Confidence Interval
1<2	17	3.6 ± 5.6	0.8 to 6.4
2<3	21	-2.5 ± 3.2	-4.0 to -1.0
3<4	24	-2.0 ± 2.8	-3.2 to -0.8
4<5	17	-1.7 ± 1.7	-2.5 to -0.8
5<6	14	-2.3 ± 2.6	-3.9 to -0.8
6<7	13	-1.9 ± 2.1	-3.2 to -0.6
7<8	19	-0.4 ± 2.9	-1.8 to 1.0
8<9	22	0.7 ± 2.4	-0.3 to 1.8
9<10	20	-0.1 ± 2.8	-1.4 to 1.2
10<11	29	0.6 ± 2.1	-0.1 to 1.5
11<12	24	0.2 ± 2.1	-0.6 to 1.1
12<13	36	0.2 ± 2.5	-0.5 to 1.1
13<14	23	0.1 ± 2.3	-0.9 to 1.1
14<15	23	-0.1 ± 2.3	-1.1 to 0.9
15<16	13	1.0 ± 2.1	-0.2 to 2.2
16<17	23	1.1 ± 2.2	0.1 to 2.1
17<18	16	0.1 ± 2.6	-1.3 to 1.4
Total	354	-0.1 ± 3.0	-0.4 to 0.1

Abbildung 14: Tabelle mit HKA-Winkeln nach Alter, Bildausschnitt aus Sabharwal & Zhao (2009)

3.7 Statistische Methoden

Die Auswertung und Erstellung von Grafiken erfolgt mithilfe des Statistikprogramms R[®] (v4.1.3; R Core Team 2022). Die Tabellen und Abbildungen werden ebenfalls mit diesem Programm und mit PowerPoint[®] Version 2019 (Microsoft[®]) erstellt. Die Berechnungen von Mittelwerten und Standardabweichungen werden gleichfalls mit dem Statistikprogramm R[®] (v4.1.3; R Core Team 2022) durchgeführt. Hierbei wird eine Rundung auf die erste Nachkommastelle vorgenommen. Das Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ wird festgelegt. Zusätzlich zur deskriptiven Statistik wird im Bereich der vergleichenden Statistik entweder ein t-Test für unabhängige Stichproben oder ein exakter Test nach Fisher durchgeführt, welcher bei geringer Stichprobengröße zuverlässige Ergebnisse liefert (A. Trujillo-Ortiz et al., 2004).

4 Ergebnisse

4.1 Studienpopulation Fußballspieler

Insgesamt werden 234 männliche und weibliche Jugendfußballspieler*innen im Alter zwischen sieben und 18 Jahren vermessen. Diese Probanden füllen zudem den dazugehörigen Fragebogen aus. Schlussendlich können für die statistische Auswertung vollständige Daten im Datensatz von 183 männlichen Probanden herangezogen werden. Es werden 27 (11,5%) Datensätze der weiblichen Fußballspielerinnen, 23 (9,8%) Datensätze aufgrund fehlender Daten im Fragebogen und ein (0,4%) Datensatz aufgrund der Verletzung einer Unterschenkelfraktur mit stattgefundener Osteosynthese ausgeschlossen. Somit werden 51 (21,8%) Probanden aus dem Datensatz ausgeschlossen. Die nachfolgenden Berechnungen und Interpretationen beziehen sich somit auf den vollständigen Datensatz von 183 Probanden.

4.1.1 Anthropometrische Daten der Fußballspieler

Das durchschnittliche Alter der Studienpopulation liegt bei 12,8 Jahren mit einer Standardabweichung von 2,9 Jahren. Die Probanden haben im Durchschnitt ein Körpergewicht von $51,0 \pm 15,9$ kg und eine Körpergröße von $160,3 \pm 16,6$ cm. Der durchschnittliche BMI liegt bei $19,3 \text{ kg/m}^2$ mit einer Standardabweichung von $3,1 \text{ kg/m}^2$ (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Übersicht anthropometrische Daten Gesamtpopulation Fußballspieler (eigene Darstellung)

Charakteristik		N = 183
Alter (a)	mean (SD)	12.8 (2.9)
Gewicht (kg)	mean (SD)	51.0 (15.9)
Größe (cm)	mean (SD)	160.3 (16.6)
BMI (kg/m ²)	mean (SD)	19.3 (3.1)

4.1.2 Fußballspezifische Daten – Spielklasse, Intensität, Exposition

Im Bereich der fußballspezifischen Daten ist eine Einteilung der Spielklassen in die Kategorien eins bis drei erfolgt. Kategorie eins beschreibt die höherklassigen Fußballspieler, die Kategorie zwei die mittelklassigen Ligen und Kategorie drei die niederklassigen Spielklassen. Die genaue Zuteilung der Ligen in die jeweilige Klasse ist in Abbildung 15 ersichtlich.

Spielklasse 1

- U 16 – U 19: Bayernliga, Landesliga
- U 14 – U 15: Bezirksoberliga, Bayernliga
- U 13: Bezirksoberliga
- U 12: Bezirksoberliga, Förderliga Nachwuchsleistungszentren
- Bis U 11: Förderliga Nachwuchsleistungszentren

Spielklasse 2

- U 16 – U 19: Kreisliga, Bezirksoberliga
- U 12 – U 15: Kreisliga
- U 10: Kreisklasse

Spielklasse 3

- U 12 – U 19: Kreisklasse, Kreisgruppe
- U 10 – U 11: Kreisgruppe
- Unter U 10: FairPlay-Liga

Abbildung 15: Übersicht über Zuteilung der Spielklassen (eigene Darstellung)

In Spielklasse eins befinden sich 74 (40%), in Spielklasse zwei 59 (32%) und in Spielklasse drei 50 (27%) Probanden (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Übersicht fußballspezifische Daten der Gesamtpopulation Fußballspieler: Spielklasse (eigene Darstellung)

Charakteristik	N = 183	
Verein_Spielklasse		
1	n (%)	74 (40%)
2	n (%)	59 (32%)
3	n (%)	50 (27%)

Die Fußballspieler sind im Schnitt seit $7,8 \pm 3,0$ Jahren aktiv. Die durchschnittliche wöchentliche Trainingszeit beträgt 259 ± 82 Minuten. Hinsichtlich der Trainingsdauer sind die Probanden wie in Punkt 3.6 beschrieben anhand der wöchentlichen Trainingszeit in die Kategorien niedrig, moderat und hoch eingruppiert. In der Gesamtpopulation der Fußballspieler sind 69 (38%) Fußballspieler mit niedriger, 78 (43%) mit moderater und 36 (20%) mit hoher Trainingsintensität aufgeführt (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Übersicht fußballspezifische Daten der Gesamtpopulation Fußballspieler: Aktivität und Trainingszeit (eigene Darstellung)

Charakteristik		N = 183
Aktiv seit Jahren	mean (SD)	7.8 (3.0)
Trainingszeit (min pro Woche)	mean (SD)	259 (82)
Trainingszeit		
niedrig	n (%)	69 (38%)
moderat	n (%)	78 (43%)
hoch	n (%)	36 (20%)

4.1.3 Erhobene Messwerte bei der Beinachsenmessung der Fußballspieler

Sowohl im Fragebogen als auch bei den Messungen werden die Probanden nach dem dominanten Fuß (Schussbein) befragt. 157 (86%) der Fußballspieler nennen den rechten Fuß als den Dominanten, wohingegen 25 (14%) der Befragten den linken Fuß als dominanten Fuß angeben. Einer (0,5%) der jugendlichen Fußballspieler gibt an beidfüßig zu sein und keinen dominanten Fuß nennen zu können (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Übersicht erhobene Messdaten vor Ort der Gesamtpopulation Fußballspieler (eigene Darstellung)

Charakteristik		N = 183
dominanter Fuß		
rechts	n (%)	157 (86%)
links	n (%)	25 (14%)
beidseitig	n (%)	1 (0.5%)
Oberschenkel rechts (cm)	mean (SD)	44.4 (6.2)
Oberschenkel links (cm)	mean (SD)	44.4 (6.3)
ICD (mm) (n=X)	mean (SD)	10 (14)
IMD (mm) (n=Y)	mean (SD)	14 (22)
ICD.IMD (mm)	mean (SD)	-4 (32)

Der durchschnittlich gemessene Oberschenkelumfang ergibt rechts $44,4 \pm 6,2$ cm und links $44,4 \pm 6,3$ cm (vgl. Tabelle 5). Bei Vorliegen eines ICD ist dieser im Schnitt bei 10 ± 14 mm, dagegen beträgt bei Vorhandensein eines IMD dieser durchschnittlich 14 ± 22 mm. Der Gesamt-ICD/IMD beträgt somit -4 ± 32 mm (vgl. Tabelle 5).

4.1.4 Hip-Knee-Ankle-Winkel der Gesamtpopulation Fußballspieler

Die ermittelte durchschnittliche Beinachse rechts beträgt $180,22^{\circ} \pm 2,96^{\circ}$. Die Bestimmung der Beinachsen links ergibt im Mittel $179,59^{\circ} \pm 3,16^{\circ}$. Wie in Abbildung 11 beschrieben ergibt sich aus dieser Bestimmung der Beinachse durch Subtraktion von 180° der HKA-Winkel. Die Auswertung der HKA-Winkel-Messung beträgt $-0,22^{\circ} \pm 2,96^{\circ}$ rechts und links $0,41^{\circ} \pm 3,16^{\circ}$ (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Übersicht der nach Messung am PC erhobenen Daten der Gesamtpopulation Fußballspieler (eigene Darstellung)

Charakteristik		N = 183
Beinachse rechts	mean (SD)	180.22 (2.96)
Beinachse links	mean (SD)	179.59 (3.16)
HKA rechts	mean (SD)	-0.22 (2.96)
HKA links	mean (SD)	0.41 (3.16)

4.1.5 Prävalenz von Varus- und Valgusachsfehlstellungen Fußballspieler

In der Gesamtheit der Spieler zeigt Abbildung 16 in absoluten Zahlen die Auswertung der Beinstellungen anhand des ICD/IMD und anhand der HKA-Winkel der Beine rechts und links.

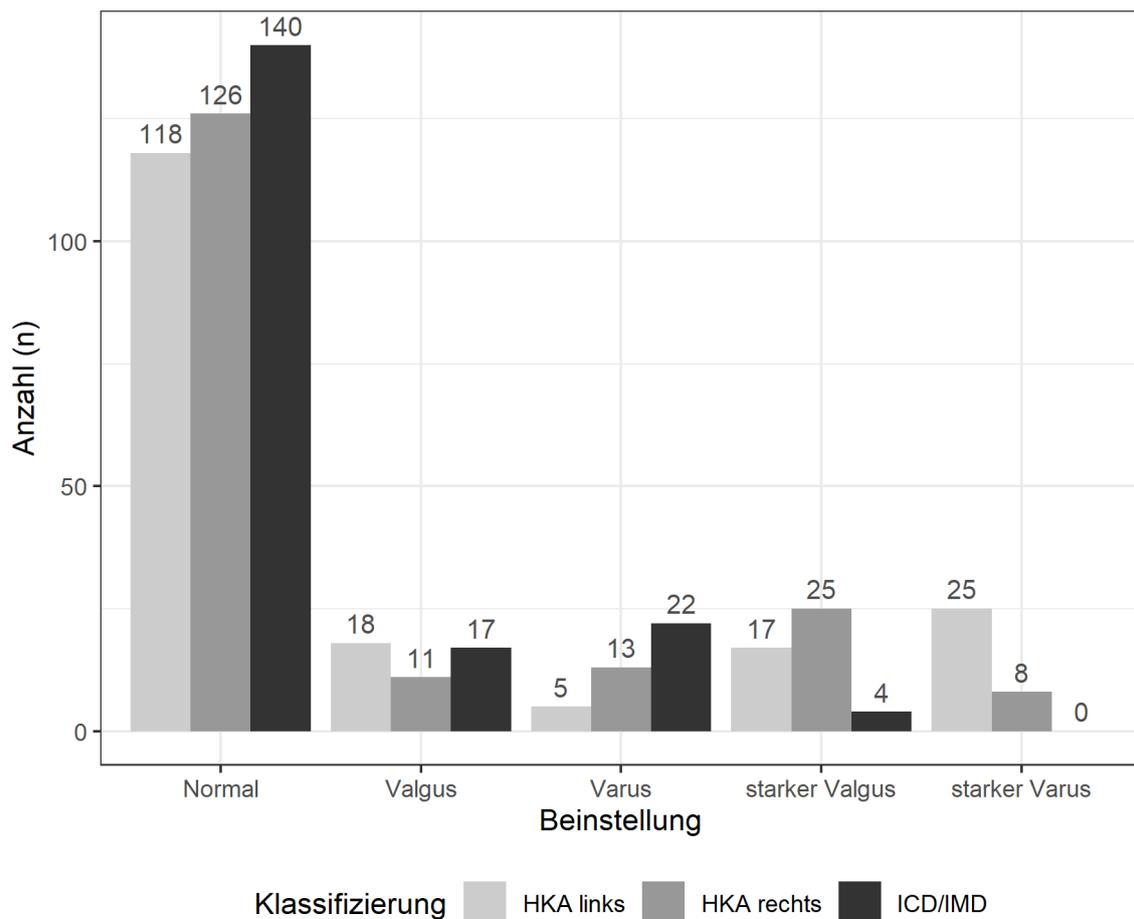


Abbildung 16: Balkendiagramm Beinstellung anhand ICD/IMD und HKA-Winkel der Gesamtpopulation Fußballspieler (eigene Darstellung)

Bei den HKA-Winkeln werden bei jedem Probanden die Beinachse rechts und die Beinachse links getrennt voneinander vermessen. Dies zeigt sich in Abbildung 16 dargestellt als „HKA links“ oder „HKA rechts“. Es muss also bei der Messung der HKA-Winkel beachtet werden, dass beide Beine eines Probanden als einzelne Messung zählen. Somit muss aus den einzelnen relativen Werten der Beinstellung bei den HKA-Winkeln (vgl. Tabelle 6) das arithmetische Mittel für die Berechnung der Prävalenz hergenommen werden. Von der Gesamtpopulation von 183 Probanden haben hierbei insgesamt 18 (4,9%) Beinachsen einen varischen und 33 (9,0%) Beinachsen einen stark varischen HKA-Winkel. Somit liegt die Prävalenz von 51 Varusfehlstellungen der Beine bei 183 Probanden und demnach 366 Beinachsen bei 13,9%. Zudem zeigen sich bei 244 (66,7%) Beinen normale Beinachsen sowie bei 29 (7,9%) Beinen eine valgische und bei 42 (11,5%) Beinen eine stark valgische Beinachse. Die Prävalenz valgischer Beinachsen anhand der HKA-Winkel beträgt bei 71 valgischen Abweichungen somit 19,4%. Insgesamt 66,7% der Beine der Fußballspieler haben eine normale Beinstellung. Tabelle

7 zeigt die Prävalenzen der Beinachsen der Gesamtpopulation Fußballspieler anhand der HKA-Winkel in der Übersicht.

Tabelle 7: Übersicht Prävalenz Beinstellung nach Messung der HKA-Winkel der Gesamtpopulation Fußballspieler (eigene Darstellung)

Charakteristik		N = 183
Beinstellung (HKA_links)		
Normal	<i>n (%)</i>	118 (64%)
Valgus	<i>n (%)</i>	18 (9.8%)
Varus	<i>n (%)</i>	5 (2.7%)
starker Valgus	<i>n (%)</i>	17 (9.3%)
starker Varus	<i>n (%)</i>	25 (14%)
Beinstellung (HKA_rechts)		
Normal	<i>n (%)</i>	126 (69%)
Valgus	<i>n (%)</i>	11 (6.0%)
Varus	<i>n (%)</i>	13 (7.1%)
starker Valgus	<i>n (%)</i>	25 (14%)
starker Varus	<i>n (%)</i>	8 (4.4%)

Bei den Messungen des ICD/IMD haben, wie in Tabelle 8 ersichtlich, 22 (12,0%) Probanden einen varischen und kein Proband einen stark varischen ICD. Die Prävalenz von Varusfehlstellungen bei der ICD/IMD-Messung liegt somit bei 12,0%. Zudem ergeben sich bei 140 (76,5%) Probanden normale Beinachsen sowie bei 17 (9,3%) Probanden eine valgische und bei 4 (2,2%) Probanden eine stark valgische Beinachse. Die Prävalenz valgischer Beinachsen anhand der ICD/IMD-Messung beträgt somit 11,5%. Insgesamt 76,5% der Fußballspieler haben eine normale Beinstellung.

Tabelle 8: Übersicht Prävalenz Beinstellung nach ICD/IMD-Messung der Gesamtpopulation Fußballspieler (eigene Darstellung)

Charakteristik		N = 183
Beinstellung (ICD/IMD)		
Normal	<i>n (%)</i>	140 (76.5%)
Valgus	<i>n (%)</i>	17 (9.3%)
Varus	<i>n (%)</i>	22 (12.0%)
starker Valgus	<i>n (%)</i>	4 (2.2%)
starker Varus	<i>n (%)</i>	0 (0%)

Somit beträgt in der Gesamtheit der vermessenen Fußballspieler die Prävalenz einer varischen Abweichung der Beinachse bei der ICD/IMD-Messung 12,0% und bei der Messung der HKA-Winkel 13,9%.

4.1.6 Beinachsen der Fußballspieler nach Altersgruppen

Es ist eine Einteilung der Fußballspieler in drei Altersgruppen erfolgt. Die 6- bis 10-Jährigen sind als „Minis“, die 11- bis 15-Jährigen als „Kinder“ und die 16- bis 18-Jährigen als „Jugendliche“ eingeteilt.

Abbildung 17 zeigt die Abweichung der Beinachsen nach diesen Altersgruppen in Bezug zu den gemessenen ICD/IMD bzw. den HKA-Winkeln. Hier werden ebenfalls wie im Vorigen beschrieben die HKA-Winkel beider Beine getrennt voneinander vermessen, weshalb beide Beinachsen (rechts und links) in die Auswertung einbezogen werden. Somit muss aus den einzelnen relativen Werten der Beinstellung (vgl. Tabelle 9) das arithmetische Mittel für die Berechnung der Prävalenz hergenommen werden.

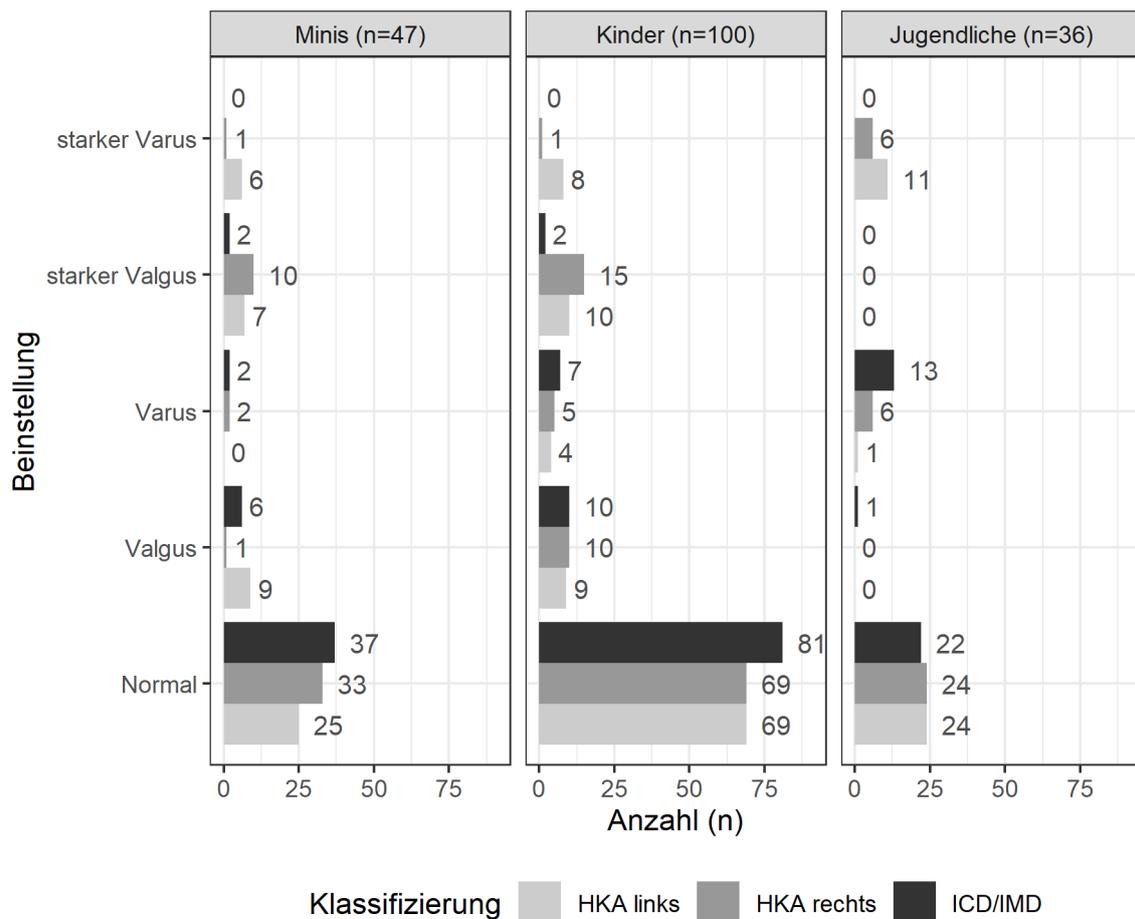


Abbildung 17: Übersicht Beinstellung nach Altersgruppen der Gesamtpopulation Fußballspieler (eigene Darstellung)

Die Abbildung 17 zeigt, dass hinsichtlich der ICD/IMD-Messung vor Ort in der Gruppe der insgesamt 47 Minis bei 37 (78,8%) Probanden eine normale Beinachse, bei 6 (12,8%) eine valgische, bei 2 (4,3%) eine varische, bei 2 (4,3%) eine stark valgische und bei keinem (0%) eine stark varische Beinachse vorliegt. Somit zeigen insgesamt 8 (17,0%) Probanden eine valgische und 2 (4,3%) eine varische Abweichung anhand des ICD. Die Prävalenz varischer Achsabweichungen bei der ICD/IMD-Messung beträgt in der Gruppe der Minis somit 4,3%. (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9: Übersicht Prävalenzen anhand der Altersgruppen (eigene Darstellung)

Charakteristik		Minis, N = 47	Kinder, N = 100	Jugendliche, N =36
Beinstellung (ICD/IMD)				
Normal	<i>n (%)</i>	37 (78.8%)	81 (81%)	22 (61.1%)
Valgus	<i>n (%)</i>	6 (12.8%)	10 (10%)	1 (2.8%)
Varus	<i>n (%)</i>	2 (4.3%)	7 (7%)	13 (36.1%)
starker Valgus	<i>n (%)</i>	2 (4.3%)	2 (2%)	0 (0%)
starker Varus	<i>n (%)</i>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Beinstellung (HKA_links)				
Normal	<i>n (%)</i>	25 (53.2%)	69 (69%)	24 (66.7%)
Valgus	<i>n (%)</i>	9 (19.2%)	9 (9%)	0 (0%)
Varus	<i>n (%)</i>	0 (0%)	4 (4%)	1 (2.8%)
starker Valgus	<i>n (%)</i>	7 (14.9%)	10 (10%)	0 (0%)
starker Varus	<i>n (%)</i>	6 (12.8%)	8 (8%)	11 (30.6%)
Beinstellung (HKA_rechts)				
Normal	<i>n (%)</i>	33 (70.2%)	69 (69%)	24 (66.7%)
Valgus	<i>n (%)</i>	1 (2.1%)	10 (10%)	0 (0%)
Varus	<i>n (%)</i>	2 (4.3%)	5 (5%)	6 (16.7%)
starker Valgus	<i>n (%)</i>	10 (21.3%)	15 (15%)	0 (0%)
starker Varus	<i>n (%)</i>	1 (2.1%)	1 (1%)	6 (16.7%)

Bei den Messungen der HKA-Winkel ergeben die Ergebnisse bei den 47 Minis und somit 94 vermessenen Beinen bei 58 (61,7%) Beinen eine normale Beinachse, bei 10 (10,6%) eine valgische, bei 2 (2,1%) eine varische, bei 17 (18,2%) eine stark valgische und bei 7 (7,4%) Beinen eine stark varische Beinachse (vgl. Abbildung 17). Demnach zeigen sich insgesamt 27 (28,7%) valgische Beine und 9 (9,6%) varische Abweichungen der Beinachse anhand der HKA-Winkel. Die Prävalenz varischer Achsabweichungen bei der Messung der HKA-Winkel beträgt in der Gruppe der Minis 9,6% (vgl. Tabelle 9).

In der Gruppe der Kinder im Alter von 11-15 Jahren zeigen bei der ICD/IMD-Messung von insgesamt 100 Probanden 81 (81,0%) eine normale Beinachse, 10 (10,0%) eine valgische, 7 (7,0%) eine varische, 2 (2,0%) eine stark valgische und keiner (0%) eine stark varische Beinachse (vgl. Abbildung 17). Hier zeigen sich 12 (12,0%) valgische und 7 (7,0%) varische Beinstellungen bei den ICD-Messungen. Die Prävalenz varischer Achsabweichungen bei der ICD/IMD-Messung beträgt in der Gruppe der Kinder 7,0%. (vgl. Tabelle 9).

Bei den Messungen der HKA-Winkel ergeben die Ergebnisse bei den 100 Kindern und somit 200 vermessenen Beinen bei 138 (69,0%) Beinen eine normale Beinstellung, bei 19 (9,5%) eine

valgische, bei 9 (4,5%) eine varische, bei 25 (12,5%) eine stark valgische und bei 9 (4,5%) Beinen eine stark varische Beinachse (vgl. Abbildung 17). Somit zeigen sich insgesamt 44 (22,0%) valgische und 18 (9,0%) varische Abweichungen der Beinachsen bei den HKA-Winkeln. Die Prävalenz varischer Achsabweichungen bei der Messung der HKA-Winkel beträgt in der Gruppe der Kinder 9,0% (vgl. Tabelle 9).

In der Gruppe der Jugendlichen im Alter von 16-18 Jahren ergeben bei der ICD/IMD-Messung von insgesamt 36 Probanden bei 22 (61,1%) eine normale Beinachse, bei 1 (2,8%) eine valgische, bei 13 (36,1%) eine varische, bei keinem (0%) eine stark valgische und bei keinem (0%) eine stark varische Beinachse (vgl. Abbildung 17). Hier zeigen sich 1 (2,8%) valgische und 13 (36,1%) varische Beinstellungen bei den ICD-Messungen. Die Prävalenz varischer Achsabweichungen bei der ICD/IMD-Messung beträgt in der Gruppe der Jugendlichen 36,1% (vgl. Tabelle 9).

Bei den Messungen der HKA-Winkel ergeben die Ergebnisse bei den 36 Jugendlichen und somit 72 vermessenen Beinen bei 48 (66,7%) Beinen eine normale Beinstellung, bei keinem (0%) eine valgische, bei 7 (9,7%) eine varische, bei keinem (0%) eine stark valgische und bei 17 (23,6%) Beinen eine stark varische Beinachse (vgl. Abbildung 17). Somit zeigen sich insgesamt keine (0%) valgische und 24 (33,3%) varische Abweichungen der Beinachsen bei den HKA-Winkeln. Die Prävalenz varischer Achsabweichungen bei der Messung der HKA-Winkel beträgt in der Gruppe der Jugendlichen 33,3% (vgl. Tabelle 9).

Zusammenfassend entspricht die Prävalenz varischer Beinstellungen bei der ICD/IMD-Messung 4,3% bei den Minis, 7,0% bei den Kindern und 36,1% bei den Jugendlichen. Die Prävalenz varischer Beinstellungen bei der Messung der HKA-Winkel entspricht 9,6% bei den Minis, 9,0% bei den Kindern und 33,3% bei den Jugendlichen.

4.1.7 Beinachsen der Fußballspieler in Abhängigkeit der Exposition

Wie in Punkt 3.8 beschrieben, ist eine Einteilung der Intensität der Belastung anhand der Trainingszeit in drei Gruppen erfolgt. Abbildung 18 zeigt das Auftreten der Beinstellungen anhand ICD/IMD- bzw. HKA-Winkel-Messung in Abhängigkeit der jeweiligen Trainingsbelastung. Auch hier werden bei der Messung der HKA-Winkel beide Beine einzeln gemessen, weshalb die Anzahl bei der Bestimmung von beiden Beinen getrennt voneinander berechnet wird. Somit muss aus den einzelnen relativen Werten der Beinstellung (vgl. Tabelle 10) das arithmetische Mittel für die Berechnung der Prävalenz hergenommen werden.

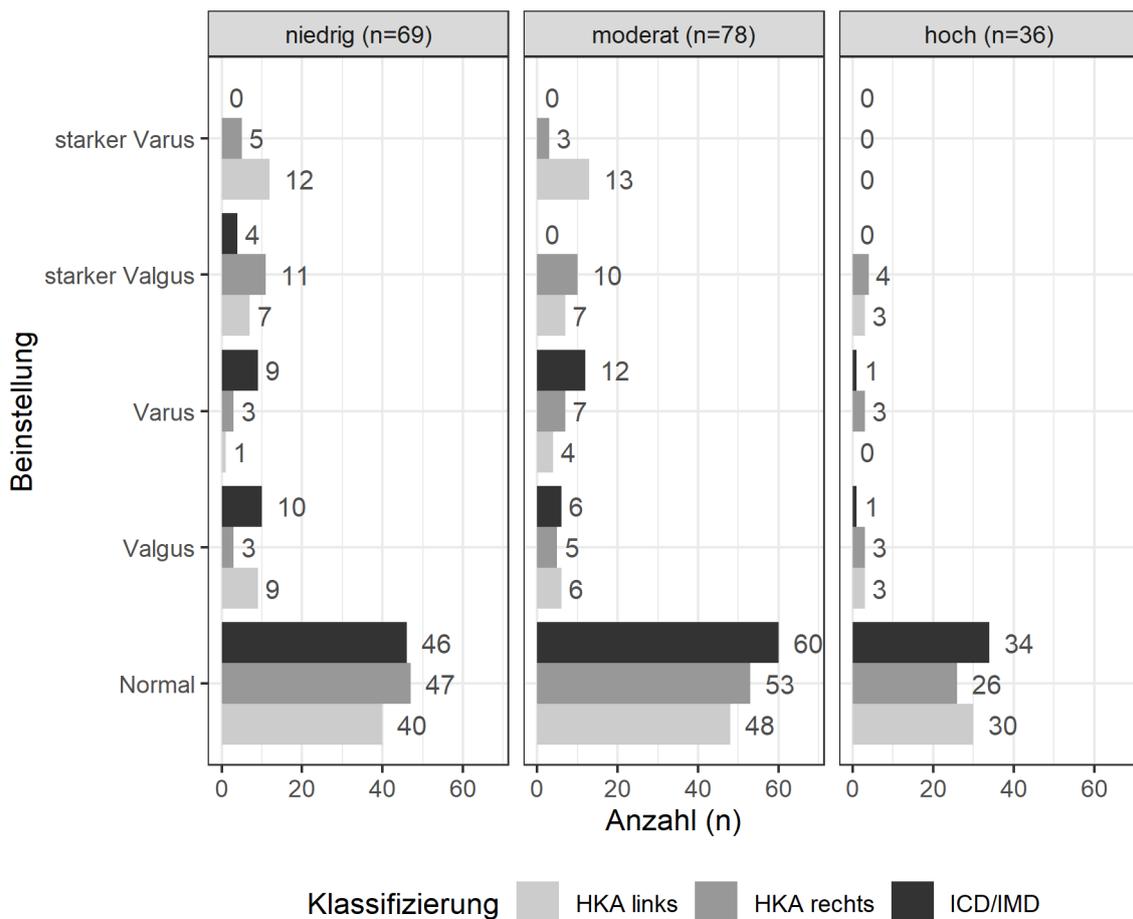


Abbildung 18: Übersicht Beinstellung nach Trainingszeit der Gesamtpopulation Fußballspieler (eigene Darstellung)

In der Gruppe der niedrigen Trainingsbelastung zeigen sich bei der Messung des ICD/IMD von insgesamt 69 Probanden bei 9 (13,0%) Fußballspielern eine varische und bei keinem eine stark varische Beinstellung. Eine normale Beinstellung weisen insgesamt 46 (66,7%) Probanden vor. Eine valgische Beinstellung zeigen 10 (14,5%) und keiner (0%) eine stark valgische Beinstellung (vgl. Abbildung 18). Dies entspricht der Prävalenz einer varischen Beinstellung anhand der ICD/IMD-Messung von 13,0% (vgl. Tabelle 10).

Bei der Messung der HKA-Winkel zeigen sich in der Gruppe der niedrigen Trainingsbelastung von 138 Beinen bei 87 (63,0%) Beinen eine normale Beinstellung. Bei 4 (2,9%) Beinen eine varische und bei 17 (12,3%) eine stark varische Abweichung der Beinachse. Eine valgische Beinachse liegt bei 12 (8,7%) Beinen und bei 18 (13,0%) eine stark valgische Beinachse vor (vgl. Abbildung 18).

Somit beträgt die Prävalenz einer varischen Abweichung der Beinachse in der Gruppe der niedrigen Trainingsbelastung bei der ICD/IMD-Messung 13,0% und bei der Messung der HKA-Winkel 15,2% (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10: Übersicht Prävalenz Beinstellung der Gesamtpopulation Fußballspieler anhand der Trainingszeit (eigene Darstellung)

Charakteristik		niedrig, N = 69	moderat, N = 78	hoch, N = 36
Beinstellung (ICD/IMD)				
Normal	<i>n (%)</i>	46 (66.7%)	60 (77.0%)	34 (94.4%)
Valgus	<i>n (%)</i>	10 (14.5%)	6 (7.7%)	1 (2.8%)
Varus	<i>n (%)</i>	9 (13.0%)	12 (15.4%)	1 (2.8%)
starker Valgus	<i>n (%)</i>	4 (5.8%)	0 (0%)	0 (0%)
starker Varus	<i>n (%)</i>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Beinstellung (HKA_links)				
Normal	<i>n (%)</i>	40 (58.0%)	48 (61.5%)	30 (83.3%)
Valgus	<i>n (%)</i>	9 (13.0%)	6 (7.7%)	3 (8.3%)
Varus	<i>n (%)</i>	1 (1.4%)	4 (5.1%)	0 (0%)
starker Valgus	<i>n (%)</i>	7 (10.1%)	7 (9.0%)	3 (8.3%)
starker Varus	<i>n (%)</i>	12 (17.4%)	13 (16.7%)	0 (0%)
Beinstellung (HKA_rechts)				
Normal	<i>n (%)</i>	47 (68.1%)	53 (68.0%)	26 (72.2%)
Valgus	<i>n (%)</i>	3 (4.3%)	5 (6.4%)	3 (8.3%)
Varus	<i>n (%)</i>	3 (4.3%)	7 (9.0%)	3 (8.3%)
starker Valgus	<i>n (%)</i>	11 (15.9%)	10 (12.8%)	4 (11.1%)
starker Varus	<i>n (%)</i>	5 (7.2%)	3 (3.8%)	0 (0%)

In der Gruppe der moderaten Trainingsbelastung zeigen sich bei der Messung des ICD/IMD von insgesamt 78 Probanden bei 12 (15,4%) Fußballspielern eine varische und bei keinem (0%) eine stark varische Beinstellung. Eine normale Beinstellung weisen insgesamt 60 (77,0%) Probanden auf. Eine valgische Beinstellung zeigen insgesamt 6 (7,7%) Probanden und keiner (0%) eine stark valgische Beinstellung (vgl. Abbildung 18). Dies entspricht der Prävalenz einer varischen Beinstellung bei moderater Trainingsbelastung anhand der ICD/IMD-Messung von 15,4% (vgl. Tabelle 10).

Bei der HKA-Messung zeigt sich in der Gruppe der moderaten Trainingsbelastung von 156 Beinen bei 101 (64,7%) Beinen eine normale Beinstellung, bei 11 (7,1%) Beinen eine varische und bei 16 (10,3%) eine stark varische Abweichung der Beinachse. Eine valgische Beinachse liegt bei 11 (7,1%) Beinen und bei 17 (10,9%) eine stark valgische Beinachse vor (vgl. Abbildung 18).

Somit beträgt die Prävalenz von varischer Abweichung der Beinachse in der Gruppe der moderaten Trainingsbelastung bei der ICD/IMD-Messung 15,4% und bei der Messung der HKA-Winkel 17,3% (vgl. Tabelle 10).

In der Gruppe der hohen Trainingsbelastung zeigt sich bei der Messung des ICD/IMD von insgesamt 36 Probanden bei 1 (2,8%) Fußballspieler eine varische und bei keinem (0%) eine stark varische Beinstellung. Eine normale Beinstellung weisen insgesamt 34 (94,4%) Probanden auf. Eine valgische Beinachse zeigt 1 (2,8%) Proband, wohingegen keiner (0%) eine stark valgische Beinstellung vorweist (vgl. Abbildung 18). Dies entspricht der Prävalenz einer varischen Beinstellung anhand der ICD/IMD-Messung von 2,8% (vgl. Tabelle 9).

Bei der HKA-Messung zeigen sich in der Gruppe der hohen Trainingsbelastung von 72 Beinen bei 56 (77,8%) Beinen eine normale Beinstellung, bei 3 (4,2%) Beinen eine varische und bei keinem (0%) eine stark varische Abweichung der Beinachse. Eine valgische Beinachse liegt bei 6 (8,4%) Beinen und bei 7 (9,8%) eine stark valgische Beinachse vor (vgl. Abbildung 18). Somit beträgt die Prävalenz von varischen Abweichungen der Beinachse in der Gruppe der hohen Trainingsbelastung bei der ICD/IMD-Messung 2,8% und bei der Messung der HKA-Winkel 4,2% (vgl. Tabelle 9).

Zusammenfassend entspricht die Prävalenz varischer Beinstellungen bei der ICD/IMD-Messung 13,0% bei der Gruppe der niedrigen, 15,4% bei der Gruppe der moderaten und 2,8% bei der Gruppe der hohen Trainingsbelastung. Die Prävalenz varischer Beinstellungen bei der Messung der HKA-Winkel entspricht 15,2% bei der Gruppe der niedrigen, 17,3% bei der Gruppe der moderaten und 4,2% bei der Gruppe der hohen Trainingsbelastung.

4.2 Kontrollpopulation der Schiedsrichter

Insgesamt sind 31 männliche Schiedsrichter im Alter zwischen 15 und 19 Jahren vermessen worden. Bei den Schiedsrichtern ist der Fragebogen bei der Messung mit den Probanden durchgesehen und teilweise gemeinsam Ergänzungen hinsichtlich der Schiedsrichtertätigkeit vorgenommen worden, sodass aufgrund der geringen Probandenzahl keine Messung wegen fehlender Daten im Fragebogen ausgeschlossen werden musste. Durch die Ergänzung vor Ort und aufgrund fehlender Ausschlusskriterien bei den Verletzungen und Vorerkrankungen sind keine Datensätze vor der Auswertung ausgeschlossen worden. Ein Schiedsrichter ist ebenfalls im Datensatz der Fußballspieler aufgenommen worden, da die Messung beim Fußballtraining erfolgt ist und dieser in beiden Sportarten tätig ist. Eine genauere Einschätzung, welche Schiedsrichter auch zusätzlich als Fußballspieler aktiv sind, kann aufgrund des fehlenden Ausfüllens der fußballspezifischen Fragen der Schiedsrichter im Fragebogen nicht vorgenommen werden. Dieser Proband, der sowohl als Fußballspieler als auch als Schiedsrichter tätig ist, ist deshalb im Datensatz der Schiedsrichter entfernt worden. Somit sind insgesamt 1 (3,2%) Proband von den 31 vermessenen Schiedsrichtern vor der Auswertung

ausgeschlossen worden. Die nachfolgenden Berechnungen und Interpretationen der Population Schiedsrichter beziehen sich auf den vollständigen Datensatz der 30 Probanden.

4.2.1 Anthropometrische Daten der Kontrollpopulation der Schiedsrichter

Das durchschnittliche Alter der Studienpopulation der Schiedsrichter liegt bei $17,4 \pm 0,9$ Jahren. Die Probanden haben im Durchschnitt ein Körpergewicht von $74,4 \pm 14,3$ kg und eine Körpergröße von $179,9 \pm 6,1$ cm. Der durchschnittliche BMI liegt bei $22,9 \pm 3,8$ kg/m² (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 11: Übersicht anthropometrische Daten Population Schiedsrichter (eigene Darstellung)

Charakteristik		N = 30
Alter (a)	mean (SD)	17.4 (0.9)
Gewicht (kg)	mean (SD)	74.4 (14.3)
Größe (cm)	mean (SD)	179.9 (6.1)
BMI (kg/m ²)	mean (SD)	22.9 (3.8)

4.2.2 Schiedsrichterspezifische Daten – Spielklasse, Intensität, Exposition

Im Bereich der schiedsrichterspezifischen Daten ist eine Einteilung der Spielklassen in vier Kategorien erfolgt. Die Kategorien beschreiben die jeweils höchste Spielklasse der Schiedsrichter, in welcher diese aktiv als Spielleiter tätig sind. Hierbei sind 10 (33%) im Bereich der Junioren, 12 (40%) im Bereich der Kreisebene (B-, A-, Kreisklasse, Kreisliga) bei den Erwachsenen, 7 (23%) auf Bezirksebene (Bezirksliga) und einer (3,3%) in den Ligen des Verbandes (Landesliga) eingesetzt (vgl. Tabelle 12). Die genannte Reihenfolge entspricht aufsteigend dem Niveau der einzelnen Ligenzugehörigkeit, sodass die Juniorenligen den niedrigsten und die Verbandsligen den höchsten Spielklassen entsprechen.

Tabelle 12: Übersicht Spielklassen der Schiedsrichter (eigene Darstellung)

Charakteristik		N = 30
Klasse		
Junioren	n (%)	10 (33%)
Kreis	n (%)	12 (40%)
Bezirk	n (%)	7 (23%)
Verband	n (%)	1 (3.3%)

Hinsichtlich der Trainingszeit werden die Probanden wie in Punkt 3.6 beschrieben anhand der wöchentlichen Trainingszeit in die Kategorien niedrig, moderat und hoch eingruppiert. Es

befinden sich 24 (80%) Schiedsrichter mit niedriger, 2 (6,7%) mit moderater und 4 (13%) mit hoher Trainingsintensität im Datensatz (vgl. Tabelle 13).

Die Schiedsrichter sind durchschnittlich seit 3,4 Jahren mit einer Standardabweichung von 1,6 Jahren aktiv (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13: Übersicht schiedsrichterspezifische Daten Population Schiedsrichter: Aktivität und Trainingszeit (eigene Darstellung)

Charakteristik		N = 30
Aktiv seit Jahren (a)	<i>mean (SD)</i>	3.4 (1.6)
Trainingszeit (min pro Woche)	<i>mean (SD)</i>	178 (91)
Trainingszeit		
niedrig	<i>n (%)</i>	24 (80%)
moderat	<i>n (%)</i>	2 (6.7%)
hoch	<i>n (%)</i>	4 (13%)

4.2.3 Erhobene Messwerte bei der Beinachsenmessung der Kontrollpopulation der Schiedsrichter

Das Procedere zur Erhebung der Messdaten ist in Punkt 3.5 detailliert beschrieben. Der Ablauf erfolgt identisch zur Messung der Fußballspieler. Die daraus resultierenden Ergebnisse der Schiedsrichter werden in diesem Kapitel erläutert.

Sowohl im Fragebogen als auch bei den Messungen werden die Probanden nach dem dominanten Fuß befragt. 28 (93%) Schiedsrichter nennen den rechten Fuß als den Dominanten, wohingegen 2 (6,7%) der Befragten den linken Fuß als dominanten Fuß bezeichnen. Keiner (0%) gibt an beidfüßig zu sein (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14: Übersicht erhobene Messdaten vor Ort Population Schiedsrichter (eigene Darstellung)

Charakteristik		N = 30
dominanter Fuß		
rechts	<i>n (%)</i>	28 (93%)
links	<i>n (%)</i>	2 (6.7%)
beidseitig	<i>n (%)</i>	0 (0%)
Oberschenkel rechts (cm)	<i>mean (SD)</i>	50.2 (5.0)
Oberschenkel links (cm)	<i>mean (SD)</i>	50.1 (4.6)
ICD (mm) (n=X)	<i>mean (SD)</i>	20 (15)
IMD (mm) (n=Y)	<i>mean (SD)</i>	10 (10)
ICD/IMD (mm)	<i>mean (SD)</i>	10 (31)

Der durchschnittlich gemessene Oberschenkelumfang ergibt rechts $50,2 \pm 5,0$ cm und links $50,1 \pm 4,6$ cm (vgl. Tabelle 14).

Bei Vorliegen eines ICD ist dieser im Schnitt bei 20 ± 15 mm, dagegen beträgt bei Vorhandensein eines IMD dieser durchschnittlich 10 ± 31 mm, was zu einem mittleren Wert bei der Variable ICD/IMD von 10 ± 31 mm/mm führt (vgl. Tabelle 14).

4.2.4 Hip-Knee-Ankle-Winkel der Schiedsrichter

Die ermittelte durchschnittliche Beinachse rechts beträgt $179,5^\circ$ mit einer Standardabweichung von $2,8^\circ$. Die Berechnung der Beinachsen links ergibt im Mittel $179,2^\circ$ mit einer Standardabweichung von $2,6^\circ$. Wie in Abbildung 11 beschrieben ergibt sich aus dieser Bestimmung der Beinachse durch Subtraktion von 180° der HKA-Winkel. Der HKA-Winkel entspricht dementsprechend durchschnittlich $0,54^\circ \pm 2,73^\circ$ rechts und links $0,8^\circ \pm 2,6^\circ$ (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15: Übersicht der nach Messung am PC erhobenen Daten der Schiedsrichter (eigene Darstellung)

Charakteristik		N = 30
Beinachse rechts	mean (SD)	179.5 (2.8)
Beinachse links	mean (SD)	179.2 (2.6)
HKA rechts	mean (SD)	0.54 (2.73)
HKA links	mean (SD)	0.8 (2.6)

4.2.5 Prävalenz von Varusachsfehlstellungen Schiedsrichter

Die Anzahl der jeweils gemessenen Beinachsen der Schiedsrichter anhand der ICD/IMD-Messung bzw. HKA-Winkel-Messung und die Einteilung der Beinstellungen ist in absoluten Zahlen im Balkendiagramm (vgl. Abbildung 19) und in relativen Zahlen in den Tabellen 16 und 17 zu sehen.

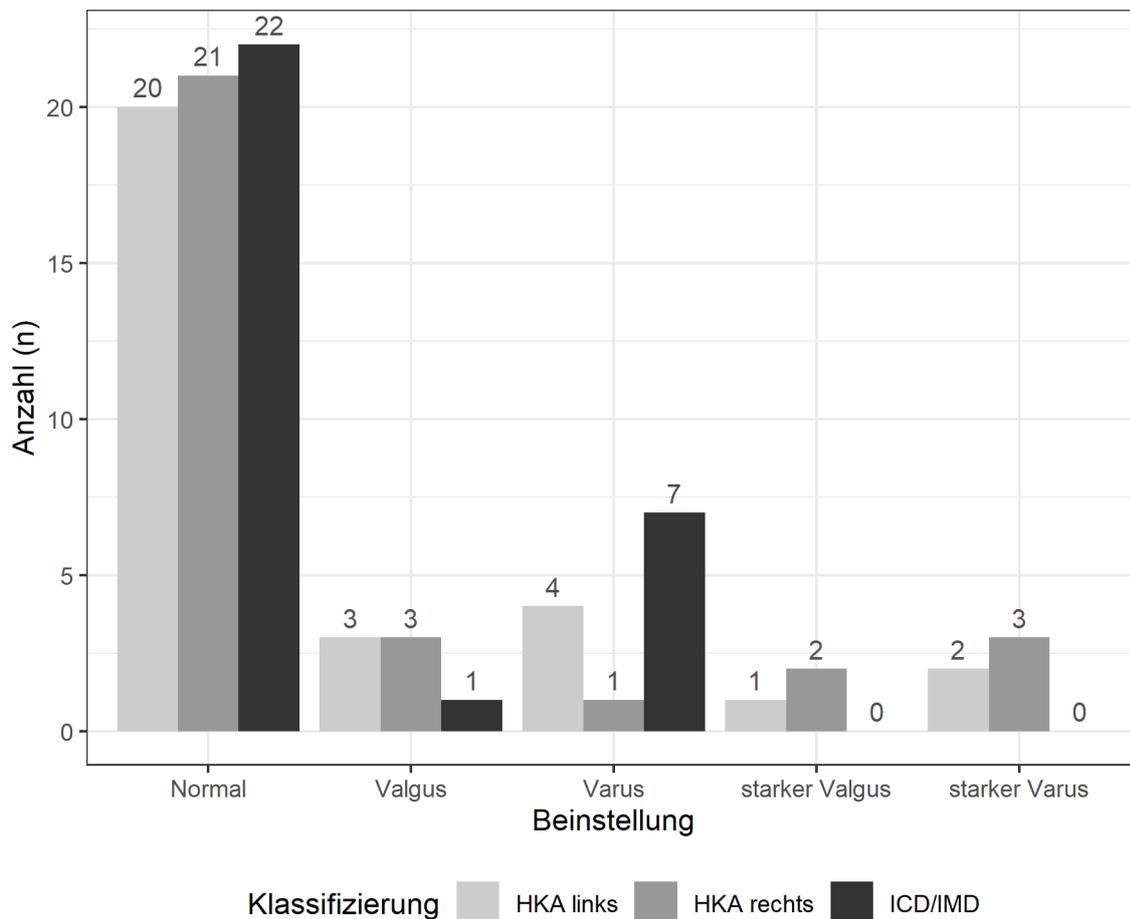


Abbildung 19: Balkendiagramm Beinstellung anhand ICD/IMD und HKA-Winkel der Schiedsrichter (eigene Darstellung)

Wie bei der Population der Fußballspieler werden auch bei den Schiedsrichtern beide Beinachsen getrennt voneinander vermessen. Somit muss aus den einzelnen relativen Werten

der Beinstellung (vgl. Tabelle 16) das arithmetische Mittel für die Berechnung der Prävalenz hergenommen werden. Bei der Auswertung der Messung der HKA-Winkel haben von 60 Beinen insgesamt 41 (68,3%) Beine eine normale Beinstellung. Bei 5 (8,3%) Beinen der Schiedsrichter zeigt sich eine varische und bei 5 (8,3%) eine stark varische Beinstellung. Eine valgische Beinstellung ist bei 6 (10%) Beinen der Schiedsrichter zu sehen, wohingegen 3 (5%) Beine eine starke valgische Beinstellung vorweisen (vgl. Abbildung 19). Somit beträgt die Prävalenz varischer Abweichungen der Beinstellung bei der Messung der HKA-Winkel 16,7% (vgl. Tabelle 16).

Tabelle 16: Übersicht Prävalenz Beinstellung nach Messung der HKA-Winkel der Schiedsrichter (eigene Darstellung)

Charakteristik	N = 30	
Beinstellung (HKA_links)		
Normal	n (%)	20 (67%)
Valgus	n (%)	3 (10%)
Varus	n (%)	4 (13%)
starker Valgus	n (%)	1 (3.3%)
starker Varus	n (%)	2 (6.7%)
Beinstellung (HKA_rechts)		
Normal	n (%)	21 (70%)
Valgus	n (%)	3 (10%)
Varus	n (%)	1 (3.3%)
starker Valgus	n (%)	2 (6.7%)
starker Varus	n (%)	3 (10%)

Bei der ICD/IMD-Messung zeigt sich bei der Auswertung der Schiedsrichter bei 22 (73,3%) von 30 Probanden eine normale Beinstellung. Eine varische Beinstellung kann bei 7 (23,3%) und bei keinem (0%) eine stark varische Beinstellung festgestellt werden. Eine valgische Beinstellung weist 1 (3,3%) Schiedsrichter und eine stark valgische Beinstellung kein (0%) Schiedsrichter vor (vgl. Abbildung 19). Somit liegt in der Gruppe der Schiedsrichter bei 7 (23,3%) Probanden anhand der ICD/IMD-Messung eine varische oder stark varische Abweichung der Beinachse vor (vgl. Tabelle 17).

Tabelle 17: Übersicht Prävalenz Beinstellung nach ICD/IMD-Messung der Schiedsrichter (eigene Darstellung)

Charakteristik	N = 30	
Beinstellung (ICD/IMD)		
Normal	n (%)	22 (73.3%)
Valgus	n (%)	1 (3.3%)
Varus	n (%)	7 (23.3%)
starker Valgus	n (%)	0 (0%)
starker Varus	n (%)	0 (0%)

Zusammenfassend beträgt die Prävalenz einer varischen Abweichung der Beinachse in der Gruppe der Schiedsrichter bei der ICD/IMD-Messung 23,3% und bei der Messung der HKA-Winkel 16,7%.

4.2.6 Beinstellung in Abhängigkeit der Exposition

Wie in Punkt 3.6 beschrieben ist identisch zu der Gruppe der Fußballspieler auch bei den Schiedsrichtern die Intensität der Belastung anhand der Trainingszeit in drei Gruppen eingeteilt. Abbildung 20 zeigt in absoluten Zahlen das Auftreten der Beinstellungen anhand ICD/IMD- bzw. HKA-Winkel-Messung in Abhängigkeit der jeweiligen Trainingsbelastung. Auch hier werden bei der Messung der HKA-Winkel beide Beine einzeln vermessen, weshalb die Anzahl bei der Berechnung von beiden Beinen getrennt voneinander berechnet wird. Somit muss aus den einzelnen relativen Werten der Beinstellung (vgl. Tabelle 18) das arithmetische Mittel für die Berechnung der Prävalenz hergenommen werden.

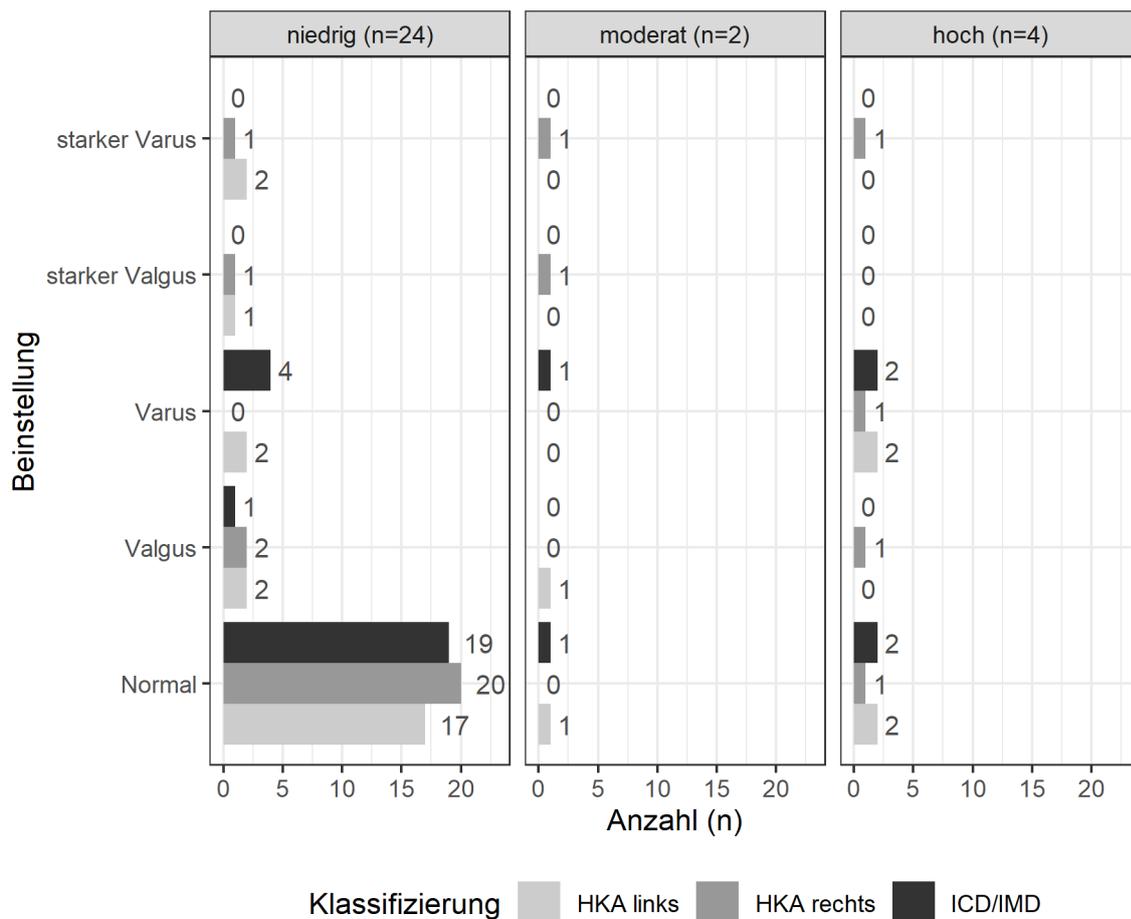


Abbildung 20: Übersicht Beinstellung anhand der Trainingszeit in der Gruppe der Schiedsrichter (eigene Darstellung)

In der Gruppe der niedrigen Trainingsbelastung zeigt sich bei der Messung des ICD/IMD der Schiedsrichter von insgesamt 24 Probanden bei 4 (16,7%) Schiedsrichtern eine varische und bei keinem (0%) eine stark varische Beinstellung. Eine normale Beinstellung weisen insgesamt 19 (79,2%) Probanden auf. Eine valgische Beinstellung zeigt 1 (4,2%) Proband und keiner (0%) eine stark valgische Beinstellung (vgl. Abbildung 20). Dies entspricht der Prävalenz einer varischen Beinstellung anhand der ICD/IMD-Messung von 16,7% (vgl. Tabelle 18).

Bei der Messung der HKA-Winkel zeigen sich bei den Schiedsrichtern in der Gruppe der niedrigen Trainingsbelastung von 48 Beinen bei 37 (77,1%) Beinen eine normale Beinstellung, bei 2 (4,2%) Beinen eine varische und bei 3 (6,3%) eine stark varische Abweichung der Beinachse. Eine valgische Beinachse liegt bei 4 (8,3%) Beinen und bei 2 (4,2%) Beinen eine stark valgische Beinachse vor (vgl. Abbildung 20).

Somit beträgt die Prävalenz varischer Abweichungen der Beinachse bei den Schiedsrichtern in der Gruppe der niedrigen Trainingsbelastung bei der ICD/IMD-Messung 16,7% und bei der Messung der HKA-Winkel 10,4% (vgl. Tabelle 18).

Tabelle 18: Übersicht Prävalenz Beinstellung der Schiedsrichter anhand der Trainingszeit (eigene Darstellung)

Charakteristik		niedrig, N = 24	moderat, N = 2	hoch, N = 4
Beinstellung (ICD/IMD)				
Normal	<i>n (%)</i>	19 (79.2%)	1 (50%)	2 (50%)
Valgus	<i>n (%)</i>	1 (4.2%)	0 (0%)	0 (0%)
Varus	<i>n (%)</i>	4 (16.7%)	1 (50%)	2 (50%)
starker Valgus	<i>n (%)</i>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
starker Varus	<i>n (%)</i>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Beinstellung (HKA_links)				
Normal	<i>n (%)</i>	17 (70.8%)	1 (50%)	2 (50%)
Valgus	<i>n (%)</i>	2 (8.3%)	1 (50%)	0 (0%)
Varus	<i>n (%)</i>	2 (8.3%)	0 (0%)	2 (50%)
starker Valgus	<i>n (%)</i>	1 (4.2%)	0 (0%)	0 (0%)
starker Varus	<i>n (%)</i>	2 (8.3%)	0 (0%)	0 (0%)
Beinstellung (HKA_rechts)				
Normal	<i>n (%)</i>	20 (83.3%)	0 (0%)	1 (25%)
Valgus	<i>n (%)</i>	2 (8.3%)	0 (0%)	1 (25%)
Varus	<i>n (%)</i>	0 (0%)	0 (0%)	1 (25%)
starker Valgus	<i>n (%)</i>	1 (4.2%)	1 (50%)	0 (0%)
starker Varus	<i>n (%)</i>	1 (4.2%)	1 (50%)	1 (25%)

In der Gruppe der moderaten Trainingsbelastung zeigen sich bei der Messung des ICD/IMD von insgesamt 2 Probanden bei 1 (50%) Schiedsrichter eine varische und bei keinem (0%) eine stark varische Beinstellung. Eine normale Beinstellung weist ebenfalls 1 (50%) Schiedsrichter auf. Eine valgische Beinstellung zeigt kein (0%) Proband und ebenfalls keiner (0%) eine stark valgische Beinstellung (vgl. Abbildung 20). Dies entspricht der Prävalenz einer varischen Beinstellung der Schiedsrichter bei moderater Trainingsbelastung anhand der ICD/IMD-Messung von 50% (vgl. Tabelle 18).

Bei der HKA-Messung zeigen sich in der Gruppe der moderaten Trainingsbelastung von 4 Beinen bei 1 (25%) Bein eine normale Beinstellung, bei keinem (0%) Bein eine varische und bei 1 (25%) Bein eine stark varische Abweichung der Beinachse. Eine valgische Beinachse liegt bei 1 (25%) Bein und bei 1 (25%) Bein eine stark valgische Beinachse vor (vgl. Abbildung 20).

Somit beträgt die Prävalenz von varischer Abweichung der Beinachse in der Gruppe der moderaten Trainingsbelastung bei der ICD/IMD-Messung 50% und bei der Messung der HKA-Winkel 25% (vgl. Tabelle 18).

In der Gruppe der hohen Trainingsbelastung zeigen sich bei der Messung des ICD/IMD von insgesamt 4 Probanden bei 2 (50%) Schiedsrichtern eine varische und bei keinem (0%) eine stark varische Beinstellung. Eine normale Beinstellung weisen insgesamt 2 (50%) Probanden auf. Eine valgische Beinachse zeigt kein (0%) Proband, ebenfalls keiner (0%) eine stark valgische Beinstellung (vgl. Abbildung 20). Dies entspricht der Prävalenz einer varischen Beinstellung in der Gruppe der hohen Trainingsbelastung anhand der ICD/IMD-Messung von 50% (vgl. Tabelle 18).

Bei der HKA-Messung zeigen sich bei den Schiedsrichtern in der Gruppe der hohen Trainingsbelastung von 8 Beinen bei 3 (37,5%) Beinen eine normale Beinstellung, bei 3 (37,5%) Beinen eine varische und bei 1 (12,5%) Schiedsrichter eine stark varische Abweichung der Beinachse. Eine valgische Beinachse liegt bei 1 (12,5%) Bein und bei 0 (0%) Beinen eine stark valgische Beinachse vor (vgl. Abbildung 20). Somit beträgt die Prävalenz von varischer Abweichung der Beinachse bei den Schiedsrichtern in der Gruppe der hohen Trainingsbelastung bei der ICD/IMD-Messung 50% und bei der Messung der HKA-Winkel 50% (vgl. Tabelle 18).

Zusammenfassend entspricht die Prävalenz varischer Beinstellungen der Schiedsrichter bei der ICD/IMD-Messung 16,7% bei der Gruppe der niedrigen, 50% bei der Gruppe der moderaten und 50% bei der Gruppe der hohen Trainingsbelastung. Die Prävalenz varischer Beinstellungen der Schiedsrichter bei der Messung der HKA-Winkel entspricht 10,4% bei der Gruppe der niedrigen, 25% bei der Gruppe der moderaten und 50% bei der Gruppe der hohen Trainingsbelastung.

4.3 Vergleichende Ergebnisse von Fußballspielern und Schiedsrichtern

4.3.1 Vergleichsgruppen Fußballspieler - Fußballschiedsrichter

Es sind alle im Datensatz der 183 Probanden befindlichen Fußballspieler im Alter von 16-18 Jahren mit vollständigen Daten aufgenommen worden – im Nachfolgenden als Gruppe „Spieler“ bezeichnet – und mit den Schiedsrichtern, welche sich im Alter von 16-19 Jahren befinden, verglichen worden. Somit können in der Gruppe der Spieler insgesamt 28 Probanden und in der Gruppe der Schiedsrichter insgesamt 29 Schiedsrichter aufgenommen und verglichen werden.

4.3.2 Anthropometrische Daten im Vergleich zwischen Fußballspieler und Schiedsrichter

In nachfolgender Tabelle wird die Charakteristik von Alter, Gewicht, Größe und BMI der Schiedsrichter und Spieler gegenübergestellt und mittels t-Test für zwei unabhängige Stichproben verglichen (vgl. Tabelle 19).

Tabelle 19: Übersicht anthropometrische Daten Schiedsrichter und Spieler im Vergleich (eigene Darstellung)

Charakteristik		Schiedsrichter, N = 29	Spieler, N = 28	p-Wert ¹
Alter (a)	mean (SD)	17.4 (0.9)	17.4 (0.7)	>0.9
Gewicht (kg)	mean (SD)	74.4 (14.3)	72.2 (8.8)	0.5
Größe (cm)	mean (SD)	179.9 (6.1)	181.0 (6.2)	0.5
BMI (kg/m ²)	mean (SD)	22.9 (3.8)	22.0 (2.4)	0.3
¹ T-Test				

In allen vier ausgewerteten anthropometrischen Charakteristika ergeben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede im Vergleich der beiden Gruppen (p-Werte > 0,05).

4.3.3 Vergleich der sportlichen Aktivität zwischen Spieler und Schiedsrichter

Die Charakteristik der sportlichen Aktivität beinhaltet die Zeitspanne, in der die Sportler in der Sportart aktiv sind, die wöchentliche Trainingsintensität anhand der Einteilung in die jeweiligen Gruppen wie in Punkt 3.6 beschrieben und die Anzahl der Spiele bzw. die kumulierten Spielminuten pro Saison. Die Tabelle 20 beschreibt den Vergleich dieser vorhandenen Ergebnisse mittels t-Test für unabhängige Stichproben bzw. mittels dem „Exakten Test nach Fisher“ bei der Untergruppierung der Trainingszeit.

Tabelle 20: Übersicht Vergleich der sportlichen Aktivität zwischen Spieler und Schiedsrichter (eigene Darstellung)

Charakteristik		Schiedsrichter, N = 29	Spieler, N = 28	p-Wert ¹
Aktiv seit Jahren (a)	mean (SD)	3.4 (1.5)	12.0 (2.4)	<0.001
Trainingszeit				<0.001
niedrig	n (%)	23 (79%)	11 (39%)	
moderat	n (%)	2 (6.9%)	15 (54%)	
hoch	n (%)	4 (14%)	2 (7.1%)	
Trainingszeit (min pro Woche)	mean (SD)	178 (93)	245 (76)	0.004
Spiele pro Saison	mean (SD)	45 (22)	17 (8)	<0.001
Spieldauer (min pro Saison)	mean (SD)	3,934 (2,041)	1,466 (713)	<0.001

¹T-Test; Exakter Test nach Fisher

Es zeigt sich, dass Schiedsrichter mit durchschnittlich 3,4 Jahren im Vergleich zu den Spielern mit 12,0 Jahren statistisch signifikant weniger Jahre in der Sportart aktiv sind ($p < 0,001$).

Hinsichtlich der Trainingszeit kann gezeigt werden, dass die Gruppe der Schiedsrichter mit einer durchschnittlichen wöchentlichen Trainingszeit von 178 Minuten signifikant weniger trainieren als die Gruppe der Spieler mit einer durchschnittlichen Trainingszeit von 245 Minuten pro Woche ($p = 0,004$). Ebenfalls zeigt sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Schiedsrichtern und Spielern hinsichtlich der Einteilung der Probanden in die beschriebenen Gruppen der Trainingsintensität ($p < 0,001$).

Bei den Spielen pro Saison bzw. der kumulierten saisonalen Spieldauer in Minuten ergeben sich ebenfalls statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,001$). Hier sind die Schiedsrichter mit durchschnittlich 45 Spielen pro Saison bzw. 3934 Minuten pro Saison häufiger im Einsatz als die Gruppe der Spieler mit 17 Spielen im Mittel und 1466 Spielminuten pro Saison.

4.3.4 Vergleich der Beinachsen zwischen Spieler und Schiedsrichter

Die Anzahl der jeweils gemessenen Beinachsen der Spieler und Schiedsrichter anhand der ICD/IMD-Messung bzw. HKA-Winkel-Messung und die Einteilung der Beinstellungen ist im Vergleich in absoluten Zahlen im Balkendiagramm (vgl. Abbildung 21) und in relativen Zahlen in der Tabelle 21 zu sehen. Hier werden ebenfalls bei der Messung der HKA-Winkel beide Beine einzeln vermessen, weshalb die Anzahl bei der Berechnung von beiden Beinen getrennt voneinander berechnet wird. Somit muss aus den einzelnen relativen Werten der Beinstellung

anhand der HKA-Winkel (vgl. Tabelle 21) das arithmetische Mittel für die Berechnung der Prävalenz hergenommen werden.

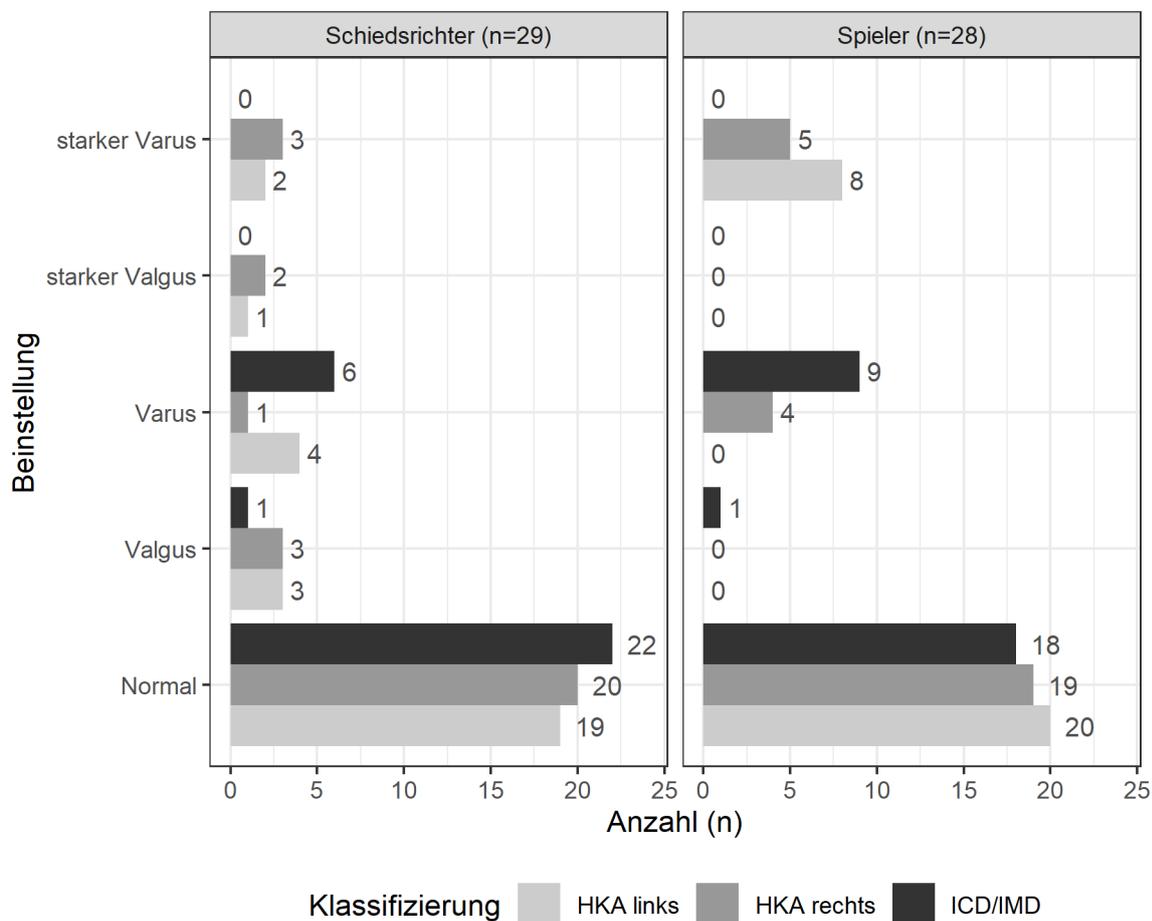


Abbildung 21: Balkendiagramm zur Übersicht der Beinstellungen im Vergleich zwischen Spielern und Schiedsrichtern (eigene Darstellung)

Bei den Messungen des ICD/IMD haben, wie in Abbildung 21 und Tabelle 21 ersichtlich, 22 (75,9%) Schiedsrichter und 18 (64,3%) Spieler eine normale Beinstellung. Einen varischen ICD weisen 6 (20,7%) Schiedsrichter und 9 (32,1%) Spieler vor. In beiden Gruppen zeigt kein Proband einen stark varischen ICD. Bei 1 (3,4%) Schiedsrichtern und bei 1 (3,6%) Spieler zeigt sich eine valgische und bei keinem Probanden in beiden Gruppen eine stark valgische Beinachse. Die Prävalenz valgischer Achsabweichungen anhand der ICD/IMD-Messung beträgt somit 3,4% in der Gruppe der Schiedsrichter und 3,6% in der Gruppe der Spieler. Insgesamt 75,9% der Schiedsrichter und 64,3% der Spieler haben eine normale Beinstellung.

Die Prävalenz von Varusfehlstellungen bei der ICD/IMD-Messung liegt somit bei 20,7% bei den Schiedsrichtern und bei 32,1% bei den Spielern (vgl. Tabelle 21).

Tabelle 21: Übersicht der Beinstellung im Vergleich zwischen Spielern und Schiedsrichtern (eigene Darstellung)

Charakteristik	Schiedsrichter, Spieler,		
	N = 29	N = 28	
Beinstellung (ICD/IMD)			
Normal	n (%)	22 (75.9%)	18 (64.3%)
Valgus	n (%)	1 (3.4%)	1 (3.6%)
Varus	n (%)	6 (20.7%)	9 (32.1%)
starker Valgus	n (%)	0 (0%)	0 (0%)
starker Varus	n (%)	0 (0%)	0 (0%)
Beinstellung (HKA_links)			
Normal	n (%)	19 (65.5%)	20 (71.4%)
Valgus	n (%)	3 (10.3%)	0 (0%)
Varus	n (%)	4 (13.8%)	0 (0%)
starker Valgus	n (%)	1 (3.4%)	0 (0%)
starker Varus	n (%)	2 (6.9%)	8 (28.6%)
Beinstellung (HKA_rechts)			
Normal	n (%)	20 (69.0%)	19 (67.9%)
Valgus	n (%)	3 (10.3%)	0 (0%)
Varus	n (%)	1 (3.4%)	4 (14.3%)
starker Valgus	n (%)	2 (6.9%)	0 (0%)
starker Varus	n (%)	3 (10.3%)	5 (17.9%)

Bei den Messungen der HKA-Winkel ergeben die Ergebnisse bei den 29 Schiedsrichtern und somit 58 vermessenen Beinen bei 39 (61,2%) Beinen eine normale Beinachse und in der Gruppe der Spieler bei insgesamt 56 vermessenen Beinen bei 39 (69,6%) Beinen eine normale Beinstellung. Bei 6 (10,3%) Beinen der Schiedsrichter und bei keinem (0%) der Spieler zeigt sich eine valgische Beinachse. Eine varische Beinachse kann bei 5 (8,6%) Beinen der Schiedsrichter und 4 (7,1%) Beinen der Spieler dargelegt werden. Bei 5 (2,1%) Beinen der Schiedsrichter und bei 13 Beinen der Spieler zeigt sich eine stark varische Achsabweichung (vgl. Abbildung 21).

Die Prävalenz varischer Achsabweichungen bei der Messung der HKA-Winkel beträgt in der Gruppe der Schiedsrichter insgesamt 9,6%, wohingegen 30,4% der Spieler eine Varusabweichung vorweisen (vgl. Tabelle 21).

Bei den absoluten Messwerten der Beinachsen und daraus folgend der Messung der HKA-Winkel in den Gruppen der Schiedsrichter und der Spieler können statistisch signifikante Unterschiede gezeigt werden. Bei den Schiedsrichtern ist der Winkel der Beinachse rechts mit $179,5^{\circ} \pm 2,8^{\circ}$ und der Beinachse links mit $179,2^{\circ} \pm 2,6^{\circ}$ höher als der Winkel der Beinachse der

Spieler rechts mit $177,8^{\circ} \pm 2,3^{\circ}$ und links mit $177,5^{\circ} \pm 2,5^{\circ}$ (p-Wert=0,011 bzw. 0,015). Wie in Abbildung 11 beschrieben ergibt sich aus dieser Bestimmung der Beinachse durch Subtraktion von 180° der HKA-Winkel.

Bei der Messung der HKA-Winkel kann bei den Schiedsrichtern ein statistisch signifikant niedrigerer HKA-Winkel bei beiden Beinen als bei den Spielern festgestellt werden. Der HKA-Winkel rechts beträgt bei den Schiedsrichtern im Durchschnitt $0,50^{\circ} \pm 2,76^{\circ}$ und bei den Spielern $2,25^{\circ} \pm 2,26^{\circ}$ (p=0,011). Bei den HKA-Winkeln links zeigen die Schiedsrichter mit durchschnittlich $0,81^{\circ} \pm 2,62^{\circ}$ einen statistisch signifikant niedrigeren Wert als die Gruppe der Spieler mit $2,53^{\circ} \pm 2,53^{\circ}$ (p=0,015). Diese Ergebnisse und die statistischen Vergleiche, welche mit einem t-Test für unverbundene Strichproben durchgeführt werden, sind in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Messwerte der Beinachsen und HKA-Winkel im Vergleich zwischen Spieler und Schiedsrichter mittels t-Test, angegeben in Grad (eigene Darstellung)

Charakteristik		Schiedsrichter,	Spieler,	p-Wert ¹
		N = 29	N = 28	
Beinachse rechts	mean (SD)	179.5 (2.8)	177.8 (2.3)	0.011
Beinachse links	mean (SD)	179.2 (2.6)	177.5 (2.5)	0.015
HKA rechts	mean (SD)	0.50 (2.76)	2.25 (2.26)	0.011
HKA links	mean (SD)	0.81 (2.62)	2.53 (2.53)	0.015
¹ T-Test				

Vereint man die HKA-Winkel der beiden Beinachsen rechts und links miteinander ergeben sich für die Schiedsrichter eine Anzahl von 58 Beinachsen und für die Fußballspieler eine Anzahl von 56 Beinachsen. Hierbei zeigt sich ein statistisch signifikant höherer HKA-Wert der Fußballspieler in Richtung Varus als bei den Schiedsrichtern. Dies ist in Abbildung 22 in Form eines Box-Whisker-Plots bildlich dargestellt. Während die Spieler durchschnittlich einen HKA-Wert von $2,38^{\circ} \pm 2,38^{\circ}$ aufweisen, zeigen die Schiedsrichter einen HKA-Wert von $0,66^{\circ} \pm 2,67^{\circ}$ (p-Wert <0,001), wie in Tabelle 23 zu sehen ist.

Tabelle 23: HKA-Winkel aller Beinachsen im Vergleich zwischen Fußballspieler und Schiedsrichter mittels t-Test, angegeben in Grad (eigene Darstellung)

Charakteristik		Schiedsrichter,	Spieler,	p-Wert ¹
		N = 58	N = 56	
HKA gesamt	mean (SD)	0.66 (2.67)	2.38 (2.38)	<0.001
¹ T-Test				

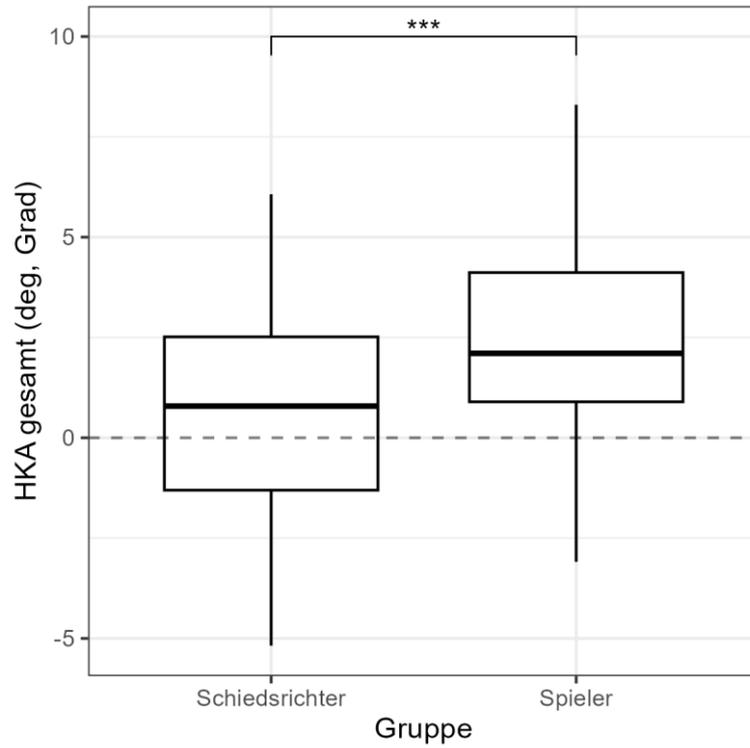


Abbildung 22: Box-Whisker-Plot zu den Gesamt-HKA-Messungen von Fußballspielern und Fußballschiedsrichtern. Die Linie im Kasten zeigt den Median, die Boxlinien das obere und untere Quartil (5 bzw. 95%) und die Whisker das Minimum bzw. Maximum (eigene Darstellung)

5 Diskussion

Ziel dieser Arbeit ist der Vergleich von Beinachsen männlicher jugendlicher Fußballspieler im Vergleich zu männlichen jugendlichen Fußballschiedsrichtern. Anhand der vorliegenden Ergebnisse der durchgeführten Studie zeigt sich ein höherer Grad an varischen Abweichungen der Beinachse bei jugendlichen Fußballspielern im Vergleich zu gleichaltrigen Fußballschiedsrichtern. Allerdings zeigt sich auch, dass die untersuchten Fußballspieler, welche eine sehr hohe Trainingsintensität haben, geringer ausgeprägte varische Beinachsenabweichungen vorweisen als Fußballspieler, die eine geringere Trainingszeit aufweisen. Die Hypothese, dass eine höhere Exposition von Fußballspielen im Jugendalter mit einer höheren Prävalenz an varischen Beinachsenabweichungen korreliert, ist in dieser Arbeit falsifizierbar.

Die Ergebnisse zeigen eine Prävalenz von varischen Beinachsen bei insgesamt 183 Fußballspielern im Alter von sieben bis 18 Jahren von 12,0% bei der Messung von ICD/IMD und von 13,9% bei der Messung der HKA-Winkel. Thijs et al. (2012) vergleichen in ihrer Studie kindliche Beinachsen bei allgemeiner sportlicher Aktivität in verschiedenen Sportarten. Hierbei sind allerdings keine Fußballspieler berücksichtigt worden. Die Messung der Probanden ist mittels Messschieber und ICD/IMD-Messung durchgeführt worden. Die Einteilung zwischen Sportler und Nicht-Sportler ist anhand der wöchentlichen Trainingszeit von mehr oder weniger als drei Stunden festgelegt worden. Thijs et al. (2012) besagen, dass sportliche männliche Kinder im Alter von 13 bis 15 Jahren einen höheren Grad an Varus haben als nicht-sportliche Vergleichsgruppen. Hier kann im Bezug zu dieser Arbeit vorwiegend die sportliche Population herangezogen werden, da ein Vergleich zu einer Kontrollgruppe an Nicht-Sportlern fehlt. Es kann jedoch ein Vergleich mit der Kontrollgruppe der Schiedsrichter hergestellt werden, welche eine geringere wöchentliche Trainingszeit vorweisen als die Gruppe der Fußballspieler. Thijs et al. (2012) nehmen wie beschrieben ab einer wöchentlichen Trainingszeit von drei Stunden die Einteilung in Sportler oder Nicht-Sportler vor. Da die Gruppe der Schiedsrichter dieser Studie mit 178 Trainingsminuten pro Woche darunterliegt, kann man diese ansatzweise mit der Gruppe der Nicht-Sportler aus Thijs et al. (2012) vergleichen. Der Zusammenhang der unterschiedlichen Ausprägung von Varusfehlstellungen nach Trainingsbelastung wird in Punkt 4.1.7 erklärt. Somit besteht bei dieser Arbeit eine vergleichende Studienpopulation (Fußballschiedsrichter) wie bei der Publikation von Thijs et al. (2012). Bei Thijs et al. (2012) haben die Nicht-Sportler im Alter von 13 bis 15 Jahren einen negativen ICD/IMD in Richtung Valgus ($-6,33 \pm 3,16$ mm). Bei den Nicht-Sportlern im Alter von 16 bis 18 Jahren zeigt sich ein

leicht positiver ICD/IMD in Richtung Varus ($4,99\pm 3,19$ mm). Die Gruppe der 16- bis 18-Jährigen bei Thijs et al. (2012) weist bei den Sportlern mit einer Trainingszeit von über drei Stunden pro Woche einen statistisch signifikant höheren ICD/IMD in Richtung Varus auf als bei den Nicht-Sportlern, welche weniger als drei Stunden pro Wochen trainieren ($24,67\pm 2,46$ mm vs. $4,99\pm 3,19$ mm; $p < 0,001$). Gemäß den Ergebnissen dieser Untersuchung zeigen die Schiedsrichter im Alter von 16 bis 19 Jahren, welche ebenfalls durchschnittlich weniger als drei Stunden pro Woche trainieren einen durchschnittlichen ICD/IMD von $9,3\pm 31,5$ mm, wohingegen die Fußballspieler im gleichen Alter einen ICD/IMD von $17,3\pm 24,8$ mm aufweisen. Dieser Unterschied ist zwar mit einem p-Wert von 0,3 nicht statistisch signifikant, kann aber dennoch mit den Ergebnissen von Thijs et al. (2012) verglichen werden. Der statistisch signifikante Unterscheid an Varus der verschiedenen Altersgruppen, welcher ebenfalls in Thijs et al. (2012) genannt wird, wird im Punkt 4.1.6 beschrieben. Bei Thijs et al. (2012) zeigt sich eine signifikante Zunahme der varischen Achsabweichung bei der Gruppe der Sportler bei Zunahme des Alters. So ist in der Gruppe der 16- bis 18- Jährigen ein erhöhtes Maß an varischen Beinstellungen im Vergleich zu der jüngeren Population vorzufinden ($24,67\pm 2,46$ mm vs. $4,91\pm 2,85$ mm). Dies ist identisch zu den Ergebnissen dieser Arbeit. Hier haben bei der Messung des ICD/IMD insgesamt 4,3% Minis von sechs bis zehn Jahren, 7,0% Kinder von elf bis 15 Jahren und 36,0% Jugendliche von 16 bis 18 Jahren eine varische Beinstellung. Im Hinblick auf die Prävalenz von Varusfehlstellungen der Normalbevölkerung kann die Veröffentlichung von Bellemans et al. (2012) herangezogen werden. Diese beschreibt bei 125 jungen Erwachsenen im Alter von 20 bis 27 Jahren mittels untersuchter Röntgen-Ganzbeinaufnahme bei 32% einen konstitutionellen Varus von mehr als 3° bei der HKA-Messung. Dies ist im Vergleich zu den hier genannten Ergebnissen mit 13,9% eine höhere Prävalenz in der Normalbevölkerung als in der untersuchten Gesamtpopulation der Fußballspieler. Allerdings muss dabei genannt werden, dass Bellemans et al. (2012) die Querschnittstudie mit einer älteren Studienpopulation durchgeführt haben. Zudem deutet die Studie von Bellemans et al. (2012) darauf hin, dass die Probanden einen höheren Grad an Varus vorweisen, wenn diese in ihrer Jugendzeit sportlich aktiv waren. Bellemans et al. (2012) nennen auch, dass ein Großteil der Menschen nach dem Wachstum einen konstitutionellen Varus von mindestens 3° zeigen. Beim konstitutionellen Varus liegt eine geringe Verschiebung der Traglinie im Kniegelenk nach medial vor (Flörkemeier & Lobenhoffer, 2016). In Anbetracht der Publikationen von Bellemans et al. (2012) und Thijs et al. (2012) kann keine eindeutige und konkrete Aussage dieser Arbeit über die Prävalenz von Varusfehlstellungen in der Gesamtpopulation der Fußballspieler im Alter von sechs bis 18 Jahren im Zusammenhang mit

der fußballerischen Aktivität als Risikofaktor für die Entwicklung einer Wachstumsdeformität getroffen werden. Dies lässt sich durch andere Messmethoden, andere Altersgruppen und einen anderen Forschungsschwerpunkt der einzelnen Studien nicht identisch miteinander vergleichen.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit zeigt sich eine Prävalenz varischer Beinstellungen bei den Fußballspielern bei der ICD/IMD-Messung von 4,3% bei den Minis (6- bis 10-Jährige), 7,0% bei den Kindern (11- bis 15-Jährige) und 36,1% bei den Jugendlichen (16- bis 18-Jährige). Die Prävalenz varischer Beinstellungen der Fußballspieler bei der Messung der HKA-Winkel entspricht 9,6% bei den Minis, 9,0% bei den Kindern und 33,3% bei den Jugendlichen. Diese Ergebnisse stehen im Einklang zu den Aussagen von Witvrouw et al. (2009). Dabei sind 366 Fußballspieler im Alter zwischen acht und 18 Jahren mittels ICD/IMD-Messung untersucht worden. Hierbei sprechen Witvrouw et al. (2009) von einer statistisch signifikanten Zunahme der Varusfehlstellungen ab einem Alter von 14 Jahren. Ab einem Alter von etwa 16 Jahren beschreiben Witvrouw et al. (2009) zudem einen statistisch signifikant höheren Grad an Varusabweichung bei Fußballspielern im Vergleich zu den Nicht-Fußballspielern. Ebenfalls beschreiben diese einen signifikant höheren Grad an varischen Beinachsen bei der jugendlichen Altersgruppe im Vergleich zu den jüngeren Fußballspielern. Zusätzlich zeigen Thaller et al. (2018) retrospektiv in einem systematischen Review unter Einbeziehung mehrerer Studien, dass Fußballspieler einen höheren Grad an Varus vorweisen als die Kontrollgruppen. Thaller et al. (2018) schließt in diese Metaanalyse drei Studien von Abreu et al. (1996), Witvrouw et al. (2009) und Asadi et al. (2015) ein. Somit sind durch alle drei Studien eine Gesamtzahl von 1344 Fußballspielern und 1277 Kontrollen retrospektiv eingeschlossen. Abreu et al. (1996) stellen vermehrte varischen Beinachsen bei den Fußballspielern bereits bei Jugendlichen im Alter von zwölf Jahren fest, wohingegen dies in der Kontrollgruppe erst ab einem Alter von 16 Jahren zu beobachten war. Die Prävalenz der O-Beine zeigt sich in der Gruppe der Fußballspieler bei 73,3% fast doppelt so hoch wie die Prävalenz in der Kontrollgruppe, welche 40,6% varische Abweichungen vorweisen. Die Kontrollgruppe besteht aus Gleichaltrigen ohne sportliches Aktivitätsniveau (Abreu et al., 1996). Witvrouw et al. (2009) verwenden ebenfalls die ICD/IMD-Messung. Auch hier zeigt die Gruppe der 16- bis 18-Jährigen Fußballspieler wie bereits genannt einen höheren Varus als die Kontrollgruppe (ICD/IMD: $25,73 \pm 21,05$ mm vs. $18,95 \pm 23,10$ mm). Bei Witvrouw et al. (2009) besteht die Kontrollgruppe aus Heranwachsenden mit ähnlichem Leistungsniveau in anderen Sportarten. Ebenso beschreiben Witvrouw et al. (2009) eine größere Varusabweichung bei Fußballspielern im Alter von 16 bis

18 Jahren im Vergleich zu den jüngeren Fußballspielern. Asadi et al. (2015) vergleichen die Fußballspieler mit einer Exposition von mehr oder weniger als sechs Stunden pro Woche mittels ICD/IMD-Messung und mit einer Subgruppe die Beinachsen anderer Sportarten mit ähnlichem Bewegungsprofil (Volleyball, Handball, Basketball). Auch hier zeigt sich zum einen ein signifikant höherer Varus bei den Fußballspielern gegenüber den Sportlern anderer Sportarten. Zum anderen auch erhöhte Varusabweichungen bei den Fußballspielern, welche mehr als sechs Stunden pro Woche Exposition vorweisen als die Fußballspieler mit weniger als sechs Stunden Exposition (Asadi et al., 2015). Vereint man diese drei Studien beschreiben Thaller et al. (2018), dass sich eine signifikante Mittelwertdifferenz der ICD/IMD-Messung zwischen Fußballspielern und Kontrollgruppe ergibt, wobei die Fußballspieler stets höhere mittlere ICD-Messungen zeigen (gepoolter Effektschätzer für Mittelwertdifferenz 1,5 cm). Aufgrund der hohen Probandenzahl von Asadi et al. (2015) mit je 750 Probanden in Studien- und Kontrollgruppe trägt diese Studie allerdings eine besonders große Gewichtung bei der Gesamtschätzung des systematischen Reviews von Thaller et al. (2018). Aufgrund dessen und wegen der unterschiedlichen Kontrollgruppen kann keine Heterogenität der einzelnen in die Metaanalyse eingeschlossenen Studien hergestellt werden (Thaller et al., 2018). Allerdings zeigen alle in die Metaanalyse eingeschlossenen Arbeiten einen möglichen Zusammenhang zwischen Aktivität im Fußballsport und varischer Abweichung der Beinachse (Thaller et al., 2018). Da die Metaanalyse an leistungsorientierten Fußballspielern durchgeführt worden ist, bezweifeln Thaller et al. (2018) die Übertragung der Ergebnisse in den Freizeitsport. Hierhingehend kann diese Arbeit eine Übertragbarkeit leisten, denn es sind Fußballspieler sämtlicher Leistungsniveaus inbegriffen. Wie bereits erwähnt zeigen auch die Ergebnisse dieser Untersuchung wie die Metaanalyse von Thaller et al. (2018) eine erhöhte varische Beinstellung bei jugendlichen Fußballspielern im Vergleich zu einer altersgleichen Kontrollgruppe (Fußballschiedsrichter). Ebenso zeigen Thijs et al. (2012) wie im Vorigen beschrieben, dass Sportler über drei Stunden wöchentlichen Trainings ab einem Alter von 16 bis 18 Jahren einen höheren Grad an Varus vorweisen als jüngere Sportler. Hier entspricht die vorliegende Arbeit ähnlichen Daten wie die der aktuellen Studienlage. Es ergibt sich somit sowohl aus den Ergebnissen dieser Untersuchung als auch aus den Ergebnissen von Thaller et al. (2018), Thijs et al. (2012) sowie Witvrouw et al. (2009) die Aussage, dass jugendliche Fußballspieler einen höheren Grad an Varus bzw. eine höhere Prävalenz von Varusfehlstellungen vorweisen als jüngere im Fußball aktive Altersgruppen und als die jeweiligen Kontrollgruppen.

Bei der ICD/IMD-Messung zeigt sich hier in Bezug auf die Prävalenz in Abhängigkeit der Exposition in der Gruppe der niedrigen Trainingsbelastung eine varische Beinstellung bei 13,0%. In der Gruppe der moderaten Trainingsbelastung ist die Prävalenz bei 15,4% und bei der hohen Trainingsbelastung bei 2,8%. Zudem beschreibt diese wissenschaftliche Abhandlung, dass die Prävalenz varischer Beinstellung bei der Messung der HKA-Winkel in der Gruppe der niedrigen Trainingsbelastung bei 15,2%, bei der Gruppe der moderaten Trainingsbelastung bei 17,3% und bei der hohen Trainingsbelastung bei 4,2% liegt. Somit sind bei beiden Messungen eine niedrigere Prävalenz von varischen Beinachsen bei hoher wöchentlicher Trainingsbelastung im Vergleich zur niedrigen oder moderaten Trainingsbelastung festzustellen. Diese Ergebnisse stehen nicht im Einklang zu den Ergebnissen anderer Forschungsprojekte. Colyn et al. (2016) beschreiben, dass aktive Sportler ab einer Tegner Zahl (Aktivitätsindex) von über 7, was einer hohen sportlichen Aktivität entspricht, mehr Varus entwickeln als weniger aktive Sportler mit einer Tegner Zahl von unter 7. Diese Einteilung ist vergleichbar mit der Einteilung dieser Arbeit in die Gruppen der niedrigen, moderaten und hohen Trainingsbelastung. Witvrouw et al. (2009) und Colyn et al. (2016), welche hervorbringen, dass sich bei erhöhter sportlicher Betätigung ein höherer Grad an Varusabweichung zeigt, stellen die These auf, dass varische Beinabweichungen im Fußball durch eine muskuläre Dysbalance zwischen Adduktoren und Abduktoren zugunsten der Adduktoren entstehen können. Die Schussbewegungen, die bei Fußballspielern häufig durchgeführt werden, sind keine exakt linearen Bewegungen aus Kniestreckung und Hüftbeugung, sondern besitzen eine ausgeprägte Adduktionskomponente (Witvrouw et al., 2009). Dadurch werde die Muskulatur im Adduktorenbereich vermehrt gefordert und präge sich stärker aus als bei den muskulären Gegenspielern, den Abduktoren. Hieraus könne im Heranwachsen ein vermehrter Zug an der medialen tibialen Wachstumsfuge entstehen, wodurch die Entwicklung von Wachstumsdeformitäten im Sinne einer Varusachsabweichung begünstigt werden könne (Witvrouw et al., 2009). Zudem könne deshalb eine vermehrte Druckbelastung des medialen Kompartiments entstehen (Thijs et al., 2012; Witvrouw et al., 2009). Nach dem Hueter-Volkman-Gesetz verstärke dies eine vermehrte Druckbelastung des medialen Kompartiments (Mehlman et al., 1997). Hueter (Hueter C., 1862) und Volkman (Volkman R., 1869) stellen fest, dass ein erhöhter Druck parallel zur Epiphysenfuge das Wachstum hemmt und ein verminderter Druck das Wachstum fördert, wodurch ein verändertes Wachstum durch unterschiedliche Krafteinwirkungen des Gelenks entstehen kann. Somit kann das mediale Kompartiment durch vermehrten Druck eine Wachstumsdeformität entwickeln (Hueter C., 1862; Mehlman et al., 1997; Volkman R., 1869). Zusätzlich zu nennen ist die

„chondrale Modellierung“ der Theorie nach Frost (Frost, 1979). Frost (1979) erwähnt, dass physiologische Belastung das Wachstum stimuliert, wohingegen nicht-physiologische Belastungen (stärker oder geringer) das Wachstum hemmen und dadurch zu einer Wachstumsdeformität führen können. Eine mögliche Erklärung der Ergebnisse dieser Studie, dass höhere Trainingsbelastung zu geringerer varischer Achsabweichung der Kniegelenke führt, könne die Trainingsmethodik in der Gruppe der hohen Trainingsbelastung sein. Die Probanden dieser Gruppe sind vorwiegend in den höheren Spielklassen aktiv und haben bereits lizenzierte Trainer, welche in die Trainingspläne verschiedene protektive und prophylaktische Aspekte als Trainingseinheiten einbauen (Krutsch et al., 2020). Eventuell entsteht hierdurch eine bessere muskuläre Balance zwischen Adduktoren und Abduktoren in etwa durch Übungen mit Widerstandsbändern (Gymnastikbänder). Die Hypothese, dass Fußballspieler, welche intensiver trainieren, ein besseres muskuläres Gleichgewicht der unteren Extremität besitzen, muss in zukünftigen biomechanischen Studien mit quantitativer und qualitativer Messung der einzelnen Muskelgruppen weiter erforscht werden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen in Bezug auf die Vergleichbarkeit der Gruppen von Spielern und Schiedsrichtern ähnliche Ergebnisse bei den anthropometrischen Daten. Deshalb kann von einer homogenen Kontrollgruppe ausgegangen werden, welche eine gute Vergleichbarkeit darstellt (vgl. Tabelle 19). Exemplarisch wird das Durchschnittsalter der beiden Gruppen genannt, das sich nicht unterscheidet (Fußballspieler 17,39 Jahre und Schiedsrichter 17,41 Jahre; $p > 0,9$). Hinsichtlich der Trainingszeit zeigt sich eine geringere Trainingsbelastung bei den Schiedsrichtern als bei der Vergleichsgruppe der Spieler. Während Schiedsrichter im Mittel nur 178 Minuten pro Woche trainieren, absolvieren die Gruppe der Spieler durchschnittlich 245 Trainingsminuten pro Woche. Es ist davon auszugehen, dass dies von der unterschiedlichen Eingruppierung der Sportarten bedingt ist. Während die Schiedsrichter als Einzel- und Individualsportler gelten, sind die Fußballspieler als Mannschaftssportler im Team tätig und haben regelmäßige Trainingseinheiten, die durch die Trainer geplant sind. Bei den Schiedsrichtern beruhen das einzelne Training und der Trainingsablauf einzig auf der Motivation des Sportlers. Im Profibereich werden den Schiedsrichtern Trainingspläne gestellt und vorgegeben. In den Klassen des Amateursports, in denen sich die Probanden dieser Arbeit befinden, ist dies nicht vorgesehen. Somit muss jeder einzelne Schiedsrichter seinen eigenen individuellen Trainingsplan erstellen und umsetzen, wohingegen Fußballspieler zu den definierten Trainingseinheiten ein vorgefertigtes Trainingsprogramm erhalten, das im Team umgesetzt wird (Szymiski et al., 2022; Weston et al.,

2012). Ebenfalls kann gezeigt werden, dass Spieler im Schnitt mit 12,0 Jahren im Vergleich zur Gruppe der Schiedsrichter mit 3,4 Jahren deutlich länger in der Sportart aktiv sind. Dies ist gekennzeichnet durch das Eintrittsalter in die jeweilige Sportart. Im Fußball ist es bereits Kindern möglich in der G-Jugend bis sieben Jahre oder jünger sportlich aktiv zu sein. Bei den Schiedsrichtern empfiehlt die Schiedsrichterordnung des DFB ein Mindestalter für die Anmeldung bei einem Neulingskurs von zwölf Jahren (Deutscher Fußballbund, 2022). Da in dieser Studie das Augenmerk explizit auf jugendliche Sportler liegt, spiegeln die Ergebnisse der Auswertung diese Thematik wider. Im Bereich der Spiele pro Saison ist ersichtlich, dass die Schiedsrichter mit durchschnittlich 45 Einsätzen signifikant mehr als die Spieler mit 17 Spielen pro Saison absolvieren. Das zeigt sich auch am signifikanten Unterschied der kumulierten Spieldauer pro Saison, welche bei Schiedsrichter mit 3.934 Spielminuten im Vergleich zu den Spielern mit 1.466 Minuten deutlich erhöht ist. Aufgrund dieser Auswertung ist davon auszugehen, dass Schiedsrichter wöchentlich mehrere Spieleinsätze – im Vergleich zu den Spielern mehr als doppelt so viel – absolvieren. Schiedsrichter sind im Gegensatz zu den Fußballspielern in mehreren Spielklassen tätig. Neben der Tätigkeit in ihrer höchsten Spielklasse ist auch der Einsatz in allen Spiel- und Altersklassen unterhalb dieser möglich. Daraus ergibt sich die hohe Anzahl an Spielen der Schiedsrichter im Vergleich zur Gruppe der Fußballspieler. Diese Annahme deckt sich mit der Publikation von Opitz (2015), in der der Einsatz aktiver Fußballschiedsrichter mit mehr als 40 Spielen pro Saison beschrieben ist.

Zudem zeigt sich, dass in der altersangepassten vergleichenden Gruppe zwischen Spielern und Schiedsrichter ein signifikanter Unterschied bei den Beinachsen und den HKA-Winkeln vorliegt. Wohingegen Schiedsrichter Beinachsen von rechts $179,50^\circ$ und links $179,19^\circ$ aufweisen, sind es bei den Spielern $177,75^\circ$ rechts und $177,47^\circ$ links. Dies lässt sich auch auf die berechneten HKA-Winkel übertragen, die bei Schiedsrichtern rechts $0,50^\circ$ und links $0,81^\circ$ ergeben. Bei den Spielern liegen die HKA-Winkel durchschnittlich bei $2,25^\circ$ rechts und $2,53^\circ$ links (vgl. Tabelle 22). Beim vereinten Gesamt-HKA-Winkel aller Beinachsen zeigt sich im altersgleichen Vergleich bei den Fußballspielern mit $2,39 \pm 2,38^\circ$ ein signifikant höherer HKA-Wert in Richtung Varus als bei den Fußballschiedsrichtern mit $0,66 \pm 2,67^\circ$ (vgl. Tabelle 23). Die genannten Ergebnisse lassen sich in den Konsens der bisherigen Studienlage stellen. Colyn et al. (2016) und Thijs et al. (2012) zeigen, dass Fußballspieler bzw. Sportler mehr Varus im Vergleich zu anderen Sportarten oder zur Normalbevölkerung in Form von Nicht-Sportlern entwickeln. Colyn et al. (2016) nutzt als Methode wie in dieser Arbeit die Messung der HKA-Winkel. Allerdings liegt bei Colyn et al. (2016) eine retrospektive Betrachtung vor. Die

Probanden sind mit einer konventionell-radiologischen Ganzbeinaufnahme untersucht worden. Diese Untersuchung kann mit der hier verwendeten Methodik der fotografischen Aufnahme verglichen werden. Eine Bestimmung der HKA-Winkel mit sonografischer Detektion des Hüftkopfzentrums, der Mitte der Femurkondylen und der Mitte der Talusrolle mit anschließender fotografischer Aufnahme lässt sich auch durch diese Methode durchführen (Mommel et al., 2023). Colyn et al. (2016) beschreiben allerdings die Interpretation der HKA-Winkel-Messung gegensätzlich, hier entspricht ein positiver HKA-Winkel einem Valgus und ein negativer einen Varus. Ebenfalls zeigen Thaller et al. (2018) in einem systematischen Review, dass retrospektiv Untersuchte einen höheren Grad an Varus vorweisen, wenn sie in ihrer Jugend Fußballsport ausüben. Weiterhin zeigt die Publikation von Schmitt et al. (2018) mit ähnlicher Methodik, dass mehr als die Hälfte der untersuchten jugendlichen Fußballspieler in der gleichen Alterskategorie der hier Untersuchten eine varische Beinabweichung zeigen, wohingegen bei anderen Sportarten nur etwa ein Viertel der Jugendlichen eine Varusabweichung der Kniegelenke vorwies (Schmitt et al., 2018). Somit ergibt sich auch bei Schmitt et al. (2018) eine erhöhte Prävalenz varischer Beinachsen bei den Fußballspielern im Vergleich zu anderen Sportarten. Abschließend kann gesagt werden, dass die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit die aktuell vorliegenden wissenschaftlichen Thesen in Bezug auf eine erhöhte Varusabweichung der Kniegelenke bei heranwachsenden Fußballspielern im Vergleich zu den Schiedsrichtern als Kontrollgruppe bestätigen. Wie bereits erwähnt muss allerdings zukünftig noch weitere Forschung geleistet werden, um die Risikofaktoren herauszufinden und die Folgen der Deformität prophylaktisch protektiv zu verhindern.

Im Studienprotokoll sind zwei unterschiedliche Messmethoden der Beinachse durchgeführt worden. Dies ist zum einen die ICD/IMD-Messung mit einem Messzirkel anhand der Beinstellung vor Ort. Zum anderen ist dies mit einer neuartigen sonografischen Messung des Hüftkopfzentrums mit anschließender Vermessung der Beinachse anhand einer fotografischen Aufnahme erfolgt (Mommel et al., 2023). Beide Messverfahren sind in den Punkten 3.5.4 und 3.5.5 detailliert beschrieben. In der Auswertung der beiden Messverfahren zeigt sich, dass bei der sonografischen Messung ein signifikant höherer HKA-Winkel bei den Spielern im Vergleich zur Kontrollgruppe der Schiedsrichter zu sehen ist. Bei der Messung der ICD/IMD ist kein signifikanter Unterschied feststellbar. Hinsichtlich der Prävalenz der gemessenen Probanden besteht allerdings wie in der Auswertung genannt eine ähnlich hohe Prozentzahl an varischen Kniegelenksachsen bei beiden Messvarianten. Womöglich ist durch die Vermessung beider Beinachsen separat voneinander bei der Messung der HKA-Winkel mit den

vorgegebenen Messpunkten eine genauere Messung im Vergleich zur ICD/IMD-Messung möglich. Möglicherweise ist die ICD/IMD-Messung mittels Messzirkel aufgrund der in Punkt 6 beschriebenen fehlenden Verteilung des Gleichgewichts auf beide Beine oder dem nicht exakten Standpunkt bei Berühren von Femurkondylen oder Malleolen ungenauer. In weiteren klinischen Studien sollte zukünftig die Genauigkeit der Messmethode mittels sonografischer Hüftkopfdetektion und anschließender Messung der HKA-Winkel im Vergleich zur ICD/IMD-Messung miteinander verglichen werden. Eventuell kann hiermit durch die neue Messmethode eine sichere, strahlenfreie und exakte Messung der Beinachse und somit eine valide Alternative zur radiologischen Ganzbeinaufnahme hergestellt werden.

6 Limitationen

Im März 2020 wurde aufgrund der Corona-Pandemie ein bundesweiter Lockdown ausgerufen, der eine sportliche Betätigung im Mannschaftssport über mehrere Monate hinweg unmöglich machte. Deshalb hat sich die Rekrutierung und Vermessung der Probanden für diese Arbeit über insgesamt zwei Jahre erstreckt. Jugendliche Fußballmannschaften konnten lange Zeit keine Trainingseinheiten durchführen und nachdem Fußball wieder erlaubt war, durften die Messungen aufgrund des Nichteinhaltens des in der Coronaschutzmaßnahmenverordnung (12. BayIfSMV, 2021) genannten Mindestabstandes bei der Messung für weitere Zeit nicht umgesetzt werden. Weiterhin war durch diese Thematik die Kooperation der Vereine bzw. deren Vertreter und der Schiedsrichter hinsichtlich der Teilnahme und dem Ausfüllen der Fragebögen teilweise unzuverlässig. Durch den Lockdown waren die Rekrutierung der Probanden und die Durchführung der Messung bei den Vereinen vor Ort erschwert. Diese Punkte müssen als Limitierung der Arbeit genannt werden. Als weiterer Punkt soll erwähnt werden, dass die Beinachsenmessung mittels Sonografie und fotografischer Aufnahme untersucherabhängig ist. Da allerdings die Untersucher im Vorfeld in der Methodik geschult wurden und die Methode valide Ergebnisse liefert (Mommel et al., 2023), ist durch ein standardisiertes Vorgehen von zuverlässigen Ergebnissen auszugehen. Bei der Messung des ICD/IMD zeigt sich als Limitierung die Muskelaktivierung und die einbeinige Gewichtsverlagerung beim aufrechten Stand, obwohl die Probanden darauf hingewiesen wurden einen entspannten Stand mit beidbeiniger Gewichtsverteilung einzunehmen. Der Einsatz ionisierender Strahlen ist aus den Gründen aus dem Ethikvotum weiterhin nicht zulässig. Die neue sonografische Messmethode liefert bei geschultem Untersucher valide Ergebnisse (Mommel et al., 2023) und könne somit zukünftig als mögliche Alternative etabliert werden. Diese Arbeit liefert somit zuverlässige Ergebnisse, vor allem im Vergleich der Varusabweichung zwischen Fußballspieler und Schiedsrichter.

7 Fazit

Anhand der vorliegenden Ergebnisse dieser Studie und dem dargelegten aktuellen Stand der Forschung kann Fußball im jugendlichen Alter durch spezifische Bewegungen und Belastungen ein möglicher Risikofaktor für eine vermehrte varische Abweichung der Beinachse sein. Allerdings zeigt sich, dass Fußballspieler mit hoher Trainingsintensität eine geringere Prävalenz an varischen Beinachsenabweichungen vorweisen als Fußballspieler, die weniger Trainingszeit aufweisen. Ein möglicher Faktor kann die veränderte Trainingsmethodik in den professionellen höherklassigen Mannschaften sein, die häufig von lizenzierten Trainern trainiert werden. Diese erstellen Trainingspläne oftmals auf Grundlage wissenschaftlicher Forschungsergebnisse, wodurch ein Ausprägen von varischen Fehlstellungen der Beinachse im Wachstum möglicherweise geringer ausgeprägt ist. Im Vergleich zu den Schiedsrichtern kann die Exposition an fußballspezifischen Aktivitäten in Training und Spiel jedoch ein Risikofaktor für eine veränderte varische Abweichung der Beinachse sein. Eine Möglichkeit zur Prophylaxe wäre das Anpassen der Trainingspläne ab einem Alter von 14 Jahren im Amateurfußball, sodass gezielte Trainingsmethoden für die Muskelgruppe der Abduktoren erstellt und durchgeführt werden. Hiermit könne man einer möglichen muskulären Dysbalance und einer Entstehung einer Beinachsabweichung prophylaktisch entgegenwirken. Es zeigt sich, dass Fußballspielen im jugendlichen Alter zwar kein direkter Risikofaktor für eine Varusabweichung ist, aber dennoch einen möglichen Einfluss auf die Entwicklung der Beinachse in varische Richtung haben kann. Zu sehen ist dies vor allem an den erhöhten Varusabweichungen der Beinachsen der älteren Fußballspieler und einer stärker ausgeprägten varischen Beinachse im Vergleich zu den Fußballschiedsrichtern. Die Hypothese, dass eine höhere Exposition von Fußballspielen auch eine höhere Prävalenz an Varusfehlstellungen der Beinachse in Analogie zur geringeren Exposition bewirkt, kann durch die vorliegenden Ergebnisse nicht gestützt werden.

Perspektivisch könne man bei zukünftigen Längsschnittstudien ergänzend Daten zur muskulären Balance von Abduktoren und Adduktoren sowohl quantitativ als auch qualitativ erheben und daraus Trainingspläne für den Amateurfußball im Nachwuchsbereich ableiten. Dadurch wird bezogen auf die künftige Forschung auch eine Gegenüberstellung der Daten zu anderen Sportarten und der Normalbevölkerung hergestellt. Dabei könne man die aktuellen Thesen der Studienlage, dass vermehrte varische Achsabweichungen durch die muskuläre Dysbalance zwischen Abduktoren und Adduktoren und den dadurch entstehenden Zugkräften an der medialen tibialen Wachstumsfuge entstehen, verifizieren oder entkräften.

8 Abkürzungsverzeichnis

BMI	Body-Mass-Index
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
DFB	Deutscher Fußballbund
DOSB	Deutscher Olympischer Sportbund
HKA	Hip-Knee-Ankle
ICD	Intercondylarabstand
IMD	Intermalleolarabstand
kg	Kilogramm
kg/m ²	Kilogramm pro Quadratmeter
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel
Mean	Mittelwert
SD	Standardabweichung

9 Quellenverzeichnis

12. BayIfSMV (2021) *Zwölfte Bayerische Infektionsschutzmaßnahmenverordnung (12. BayIfSMV)*, Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege.
- A. Trujillo-Ortiz, R. Hernandez-Walls & A. Castro-Perez (2004) *Fisher's Exact Probability Test* [Online].
- Abreu, A. V. de, Barbosa, J. R. P. & Paiva Coelho, F. J. de (1996) „Alinhamento dos joelhos no plano frontal dos 12 aos 17 anos [Alignment of the knees in the frontal plane from 12 to 17 years]“, *Braz J Phys Ther*, No. 31.
- Asadi, K., Mirbolook, A., Heidarzadeh, A., Mardani Kivi, M., Emami Meybodi, M. K. & Rouhi Rad, M. (2015) „Association of Soccer and Genu Varum in Adolescents“, *Trauma monthly*, Vol. 20, No. 2, e17184.
- Bellemans, J., Colyn, W., Vandenuecker, H. & Victor, J. (2012) „The Chitranjan Ranawat award: is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus“, *Clinical orthopaedics and related research*, Vol. 470, No. 1, S. 45–53.
- Bram, J. T., Magee, L. C., Mehta, N. N., Patel, N. M. & Ganley, T. J. (2021) „Anterior Cruciate Ligament Injury Incidence in Adolescent Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis“, *The American journal of sports medicine*, Vol. 49, No. 7, S. 1962–1972.
- Brouwer, G. M., van Tol, A. W., Bergink, A. P., Belo, J. N., Bernsen, R. M. D., Reijman, M., Pols, H. A. P. & Bierma-Zeinstra, S. M. A. (2007) „Association between valgus and varus alignment and the development and progression of radiographic osteoarthritis of the knee“, *Arthritis and rheumatism*, Vol. 56, No. 4, S. 1204–1211.
- Cahuzac, J. P., Vardon, D. & Sales de Gauzy, J. (1995) „Development of the clinical tibiofemoral angle in normal adolescents. A study of 427 normal subjects from 10 to 16 years of age“, *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, Vol. 77, No. 5, S. 729–732.
- Chaudhari, A. M. & Andriacchi, T. P. (2006) „The mechanical consequences of dynamic frontal plane limb alignment for non-contact ACL injury“, *Journal of biomechanics*, Vol. 39, No. 2, S. 330–338.
- Cheng, J. C., Chan, P. S., Chiang, S. C. & Hui, P. W. (1991) „Angular and rotational profile of the lower limb in 2,630 Chinese children“, *Journal of pediatric orthopedics*, Vol. 11, No. 2, S. 154–161.
- Colyn, W., Agricola, R., Arnout, N., Verhaar, J. A. N. & Bellemans, J. (2016) „How does lower leg alignment differ between soccer players, other athletes, and non-athletic

- controls?“, *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, Vol. 24, No. 11, S. 3619–3626.
- Deutscher Fußballbund (2022) *DFB Spiel- und Schiedsrichterordnung* [Online].
- Deutscher Fußballbund (2023) „DFB Statistik Fußballer Deutschland 2023“.
- Exner, U (Hg.) (2003) *Normalwerte in Wachstum und Entwicklung: 11 Beinachse*, Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- Flörkemeier, S. & Lobenhoffer, P. (2016) „Umstellungsosteotomien und posttraumatische Deformitäten“, in Kohn, D. (Hg.) *Expertise Knie*, Stuttgart, Georg Thieme Verlag, S. 295–316.
- Frost, H. M. (1979) „A chondral modeling theory“, *Calcified tissue international*, Vol. 28, No. 3, S. 181–200.
- Henke, T., Gläser, H. & Marées, H. de (1994) „Epidemiology and prevention of injuries in soccer“, *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin der Gesellschaft für Sportmedizin*, Vol. 45, 11/12, S. 450–456.
- Hueter C. (1862) „Anatomical study of the limb joints of newborns and adults“, *Virchows Arch.*, No. 25, S. 572–599.
- Kaspiris, A., Zaphiropoulou, C. & Vasiliadis, E. (2013) „Range of variation of genu valgum and association with anthropometric characteristics and physical activity: comparison between children aged 3-9 years“, *Journal of pediatric orthopedics. Part B*, Vol. 22, No. 4, S. 296–305.
- Knebel, M. (2022) „SR Statistik DFB 2021-22“.
- Kraus, T. & Steinwender, G. (2014) „Kindliche Beinachsen und Füße in ihrer physiologischen Entwicklung“, *Pädiatrie & Pädologie*, Vol. 49, No. 3, S. 8–13.
- Kromeyer-Hauschild, K., Wabitsch, M., Kunze, D., Geller, F., Geiß, H. C., Hesse, V., Hippel, A. von, Jaeger, U., Johnsen, D., Korte, W., Menner, K., Müller, G., Müller, J. M., Niemann-Pilatus, A., Remer, T., Schaefer, F., Wittchen, H.-U., Zabransky, S., Zellner, K., Ziegler, A. & Hebebrand, J. (2001) „Perzentile für den Body-mass-Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben“, *Monatsschrift Kinderheilkunde*, Vol. 149, No. 8, S. 807–818.
- Krutsch, W., Lehmann, J., Jansen, P., Angele, P., Fellner, B., Achenbach, L., Krutsch, V., Nerlich, M., Alt, V. & Loose, O. (2020) „Prevention of severe knee injuries in men’s elite football by implementing specific training modules“, *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, Vol. 28, No. 2, S. 519–527.

- Lalji, R., Snider, H., Chow, N. & Howitt, S. (2020) „The 2015 U.S. Soccer Federation header ban and its effect on emergency room concussion rates in soccer players aged 10-13“, *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, Vol. 64, No. 3, S. 187–192.
- Lampert, T., Mensink, G. B. M., Romahn, N. & Woll, A. (2007) „Körperlich-sportliche Aktivität von Kindern und Jugendlichen in Deutschland. Ergebnisse des Kinder- und Jugendgesundheits surveys (KiGGS)“, *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, Vol. 50, 5-6, S. 634–642.
- Lobenhoffer, P, van Heerwaarden, R & Agneskirchner, J (Hg.) (2014) *Kniegelenknahe Osteotomien: Indikation ; Planung ; Operationstechniken mit Plattenfixateuren*, 2. Aufl., s.l., Georg Thieme Verlag KG.
- Lun, V., Meeuwisse, W. H., Stergiou, P. & Stefanyshyn, D. (2004) „Relation between running injury and static lower limb alignment in recreational runners“, *British journal of sports medicine*, Vol. 38, No. 5, S. 576–580.
- Matziolis, G. & Röhner, E. (2015) „Die mediale Gonarthrose“, *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, Vol. 153, No. 5, 553-564.
- Mehlman, C. T., Araghi, A. & Roy, D. R. (1997) „Hyphenated history: the Hueter-Volkman law“, *American journal of orthopedics (Belle Mead, N.J.)*, Vol. 26, No. 11, S. 798–800.
- Memmel, C., Meier, C., Huber, L., Szymski, D., Achenbach, L., Koch, M., Alt, V., Krusch, W. & Weber, J. (2023) „Preliminary Results of Measurements of Frontal Plane Knee Alignment Using a Standardized, Sonographic-Assisted Digital Photograph—A Reliable and Accurate Alternative to a Full-Leg Radiograph?“, *Applied Sciences*, Vol. 13, No. 16, S. 9074.
- Messier, S. P., Davis, S. E., Curl, W. W., Lowery, R. B. & Pack, R. J. (1991) „Etiologic factors associated with patellofemoral pain in runners“, *Medicine and science in sports and exercise*, Vol. 23, No. 9, S. 1008–1015.
- Opitz, S. (2015) *Epidemiologie von Verletzungen bei Fußballschiedsrichtern in Deutschland*, Universität Regensburg.
- Rivara, F. P. & Graham, R. (2014) „Sports-related concussions in youth: report from the Institute of Medicine and National Research Council“, *JAMA*, Vol. 311, No. 3, S. 239–240.
- Rose, T. & Imhoff, A. B. (2006) „Verletzungen beim Fußball: Football injuries“, *Deutsches Ärzteblatt*, 23/2006, A-1611 / B-1376 / C-1328 [Online]. Verfügbar unter <https://www.aerzteblatt.de/archiv/51673/Verletzungen-beim-Fussball> (Abgerufen am 9 Dezember 2023).

- Sabharwal, S. & Zhao, C. (2009) „The hip-knee-ankle angle in children: reference values based on a full-length standing radiograph“, *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, Vol. 91, No. 10, S. 2461–2468.
- Salenius, P. & Vankka, E. (1975) „The development of the tibiofemoral angle in children“, *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, Vol. 57, No. 2, S. 259–261.
- Schmitt, H., Kappel, U., Kappel, H. & Berrsché, G. (2018) „Beinachsabweichungen bei jugendlichen Leistungssportlern“, *Sports Orthopaedics and Traumatology*, Vol. 34, No. 4, S. 379–384.
- Schneider, A. S., Schneider, C., Rumpf, M. C., Geißler, U. & Mayer, M. (2013) „Kniewerletzungen bei männlichen und weiblichen adoleszenten Fußballspielern“, *Sports Orthopaedics and Traumatology*, Vol. 29, No. 1, S. 40–44.
- Sharma, L., Chmiel, J. S., Almagor, O., Felson, D., Guermazi, A., Roemer, F., Lewis, C. E., Segal, N., Torner, J., Cooke, T. D. V., Hietpas, J., Lynch, J. & Nevitt, M. (2013) „The role of varus and valgus alignment in the initial development of knee cartilage damage by MRI: the MOST study“, *Annals of the rheumatic diseases*, Vol. 72, No. 2, S. 235–240.
- Shohat, N., Machluf, Y., Farkash, R., Finestone, A. S. & Chaiter, Y. (2018) „Clinical Knee Alignment among Adolescents and Association with Body Mass Index: A Large Prevalence Study“, *The Israel Medical Association journal : IMAJ*, Vol. 20, No. 2, S. 75–79.
- Sokka, T. (2021) „Akute Verletzungen im Kinder- und Jugendfußball“, *Sportverletzung Sportschaden (Sportverletzung · Sportschaden)*, Vol. 35, No. 03, S. 125.
- Spahn, G., Grosser, V., Schiltenswolf, M., Schröter, F. & Grifka, J. (2015) „Fußballsport als Risikofaktor für nicht unfallbedingte Gonarthrose - Ergebnisse eines systematischen Review mit Metaanalyse“, *Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin*, Vol. 29, No. 1, S. 27–39.
- Spahn G, Stojanowic I, Biehl M, Klemm HT & Hofmann GO (2016) „Klassifikation von Knorpelschaden und Arthrose.“, *OUP*, No. 9, S. 509–514.
- Szymiski, D., Opitz, S., Pfeifer, C., Rupp, M., Angele, P., Alt, V., Krutsch, W. & Krutsch, V. (2022) „High injury rates and weak injury prevention strategies in football referees at all levels of play“, *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, Vol. 32, No. 2, S. 391–401.
- Taunton, J. E., Ryan, M. B., Clement, D. B., McKenzie, D. C., Lloyd-Smith, D. R. & Zumbo, B. D. (2002) „A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries“, *British journal of sports medicine*, Vol. 36, No. 2, S. 95–101.

- Thaller, P. H., Fürmetz, J., Chen, F., Degen, N., Manz, K. M. & Wolf, F. (2018) „Bowlegs and Intensive Football Training in Children and Adolescents“, *Deutsches Arzteblatt international*, Vol. 115, No. 24, S. 401–408.
- Thijs, Y., Bellemans, J., Rombaut, L. & Witvrouw, E. (2012) „Is high-impact sports participation associated with bowlegs in adolescent boys?“, *Medicine and science in sports and exercise*, Vol. 44, No. 6, S. 993–998.
- van de Pol, G. J., Arnold, M. P., Verdonschot, N. & van Kampen, A. (2009) „Varus alignment leads to increased forces in the anterior cruciate ligament“, *The American journal of sports medicine*, Vol. 37, No. 3, S. 481–487.
- Volkman R. (1869) „Impairments of the musculoskeletal system“, *Pitha, Billroth, editors. Handbook for Common and Special Surgery.*, S. 845–920.
- Wen, D. Y., Puffer, J. C. & Schmalzried, T. P. (1998) „Injuries in runners: a prospective study of alignment“, *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, Vol. 8, No. 3, S. 187–194.
- Westhoff, B., Wild, A. & Krauspe, R. (2002) „Entwicklung der Beinachse im Kindesalter und Therapieoptionen bei kniegelenknahen Fehlstellungen“, *Der Orthopade*, Vol. 31, No. 12, 1198-208; quiz 1208-9.
- Weston, M., Castagna, C., Impellizzeri, F. M., Bizzini, M., Williams, A. M. & Gregson, W. (2012) „Science and medicine applied to soccer refereeing: an update“, *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, Vol. 42, No. 7, S. 615–631.
- Wirth, C. J. & Kohn, D. (2016) „Befunddokumentation“, in Kohn, D. (Hg.) *Expertise Knie*, Stuttgart, Georg Thieme Verlag, S. 66–70.
- Witvrouw, E., Danneels, L., Thijs, Y., Cambier, D. & Bellemans, J. (2009) „Does soccer participation lead to genu varum?“, *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, Vol. 17, No. 4, S. 422–427.
- Wurzinger, L. J. (2020) „Hüfte, Oberschenkel und Knie“, in Aumüller, G., Aust, G., Engele, J. & Kirsch, J. (Hg.) *Duale Reihe Anatomie*, 5. Aufl., Stuttgart, New York, Thieme, S. 345–394.

10 Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Werner Krutsch für die Möglichkeit der Durchführung dieser Arbeit unter seiner Leitung. Hierbei darf ich besonders seine unkomplizierte, kollegiale und sehr menschliche Art hervorheben.

Weiterhin bedanke ich mich für die hervorragende Betreuung bei Dr. Clemens Memmel, welcher mir in jeder Phase der Arbeit mit fachlichem Rat unterstützend zur Seite stand. Zudem bedanke ich mich für die mühevollen Arbeit des Korrekturlesens.

Mein besonderer Dank gilt meiner Freundin, meiner Familie und meinen Freunden, die mich im Verlauf dieser Arbeit und während des gesamten Medizinstudiums in jeglicher Hinsicht und jederzeit tatkräftig unterstützten. Ohne sie wäre diese Arbeit sicher so nicht möglich gewesen. Einzig durch Ihre unermüdete Unterstützung war es mir möglich das Medizinstudium abzuschließen und jetzt den Arztberuf ausüben zu können.

Danke!

Ich, André Denzlein – geboren am 02.09.1992 in Lichtenfels – erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Unterschrift