

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

*PRÄVALENZ VARISCHER BEINACHSEN IM JUGENDFUßBALL IM VERGLEICH  
MIT ATHLETEN AUS DEM HANDBALL UND AUSMAß DER  
BEINACHSABWEICHUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT VON  
SPORTARTSPEZIFISCHEN ATTRIBUTEN*

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
*der Zahnmedizin*

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
*Andreas Eckmann*

2024



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

*PRÄVALENZ VARISCHER BEINACHSEN IM JUGENDFUßBALL IM VERGLEICH  
MIT ATHLETEN AUS DEM HANDBALL UND AUSMAß DER  
BEINACHSABWEICHUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT VON  
SPORTARTSPEZIFISCHEN ATTRIBUTEN*

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
*der Zahnmedizin*

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
*Andreas Eckmann*

2024

Dekan: Prof. Dr. Dirk Hellwig  
1. Berichterstatter: Prof. Dr. Werner Krutsch  
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Matthias Hornung, M.A.  
Tag der mündlichen Prüfung: 25.11.2024

# INHALTSVERZEICHNIS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. ZUSAMMENFASSUNG .....</b>  | <b>3</b>  |
| SUMMARY .....  | 4         |
| <b>2. EINLEITUNG.....</b>  | <b>6</b>  |
| 2.1. DEFINITION GENU VARUM ET GENU VALGUM .....  | 7         |
| 2.2. ANATOMIE DES KNIEGELENKS .....  | 7         |
| 2.3. MECHANIK DES KNIEGELENKS .....  | 9         |
| 2.4. PHYSIOLOGISCHE ENTWICKLUNG DER BEINACHSEN.....  | 13        |
| 2.5. AUSWIRKUNGEN EINER PATHOLOGISCHEN BEINACHSE.....  | 14        |
| 2.6. AKUTELLER FORSCHUNGSSTAND .....   | 16        |
| 2.7. FRAGESTELLUNGEN.....  | 17        |
| <b>3. MATERIAL UND METHODEN.....</b>   | <b>19</b> |
| 3.1. STUDIENDESIGN UND -ABLAUF.....  | 19        |
| 3.2. STUDIENPOPULATION.....  | 19        |
| 3.3. DATENERHEBUNG.....  | 20        |
| 3.3.1. <i>Pseudonymisierung</i> .....  | 20        |
| 3.3.2. <i>Body-Mass-Index</i> .....  | 20        |
| 3.3.3. <i>Trainings- und Wettkampfbelastung</i> .....  | 21        |
| 3.4. VERFAHREN DER BEINACHSEN-MESSUNG.....   | 21        |
| 3.4.1. <i>Aufbau der Testbatterie</i> .....  | 22        |
| 3.4.2. <i>Messung des Oberschenkelumfangs</i> .....  | 23        |
| 3.4.3. <i>Messung des ICD und IMD</i> .....  | 23        |
| 3.4.4. <i>Messung des HKA-Winkels</i> .....  | 24        |
| 3.5. STATISTISCHE AUSWERTUNG .....   | 28        |
| <b>4. ERGEBNISSE .....</b>   | <b>29</b> |
| 4.1. ANTHROPOMETRISCHE DATEN DER GESAMTPOPULATION .....                                      | 29        |
| 4.1.1. <i>ICD und IMD</i> .....  | 30        |
| 4.1.2. <i>Beinachsenmessung anhand des HKA-Winkels</i> .....                                 | 32        |
| 4.2. VERGLEICH DER POPULATIONEN DER FUßBALLSPIELER UND HANDBALLSPIELER.....                  | 34        |
| 4.2.1. <i>Anthropometrische Daten</i> .....  | 34        |
| 4.2.2. <i>Vergleich der Beinachsen von Jugendfußballspielern und -handballspielern</i> ..... | 35        |
| 4.2.2.1. Vergleich der Beinachsenmessungen anhand des ICD/IMD.....                           | 35        |
| 4.2.2.2. Vergleich der Beinachsenmessung anhand des HKA-Winkels .....                        | 39        |
| 4.2.2.3. Zusammenhang zwischen BMI und ICD/IMD.....  | 43        |
| 4.2.2.4. Trainingsbelastung im Fußball und Handball .....                                    | 45        |
| 4.2.2.5. Verletzungshistorie der Population von Fuß- und Handballspielern.....               | 48        |
| <b>5. DISKUSSION .....</b>   | <b>51</b> |
| <b>6. LIMITIERUNGEN DER UNTERSUCHUNG .....</b>   | <b>62</b> |

|     |                            |    |
|-----|----------------------------|----|
| 7.  | FAZIT.....                 | 64 |
| 8.  | ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS..... | 65 |
| 9.  | LITERATURVERZEICHNIS ..... | 66 |
| 10. | DANKSAGUNG .....           | 72 |
| 11. | LEBENS LAUF .....          | 73 |

Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Dissertation das generische Maskulinum verwendet. Die in dieser Arbeit verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich - sofern nicht anders kenntlich gemacht - auf alle Geschlechter.

# 1. Zusammenfassung

## Einleitung

Bisher wurde in mehreren Studien auf eine Korrelation zwischen intensivem Fußballspielen im jugendlichen Alter und der Entwicklung von varischen Beinachsen hingewiesen. Der Zweck dieser Studie bestand darin, die Prävalenz von Beinachsabweichungen im Jugendfußball im Vergleich zu Handballspielern derselben Altersstufe zu beantworten und ob das Ausmaß der Beinachsabweichungen in Abhängigkeit von sportartspezifischen Attributen wie beispielsweise Trainingsbelastung oder dominantes Bein steht.

## Material und Methoden

In dieser epidemiologischen Querschnittsstudie wurden die Beinachsen in der Frontalebene von 278 Fußballspielerinnen und -spielern sowie Handballspielerinnen und -spielern verschiedener Altersklassen (7-18 Jahre) und Spielklassen (Amateur- bis Profilevel) klinisch vermessen. Es kam zur Anwendung von zwei klinischen Messmethoden. Diese waren einerseits die Messung des ICD bzw. IMD und zum anderen die Messung des HKAs mithilfe einer fotografischen Aufnahme der unteren Extremität.

## Ergebnisse

Die Fußballspieler ( $M = -4,4 \text{ mm}$ ;  $SD = 31,8 \text{ mm}$ ) wiesen einen höheren ICD/IMD-Wert als die Handballspieler ( $M = -10,2 \text{ mm}$ ;  $SD = 32,0 \text{ mm}$ ) auf. Demnach wurden bei 177 Fußballspielern (75,6 %) und 33 Handballspielern (75 %) physiologische Beinachsen gemessen. Der Anteil an Genua valga war bei den Handballspielern (20,5 %) höher als bei den Fußballspielern (12,3 %). Die varischen Beinachsen waren hingegen bei den Fußballspielern (11,9 %) vermehrt anzutreffen (11,9 % vs. 4,6 %). Der HKA-Winkel beim dominanten Bein wies bei den Fußballspielern ( $M = -0,24^\circ$ ;  $SD = 3,1^\circ$ ) einen höheren Wert als bei den Handballspielern ( $M = -0,45^\circ$ ;  $SD = 3,1^\circ$ ) auf, dieser war aber nicht signifikant ( $p = 0,703$ ) größer. Der HKA-Winkel beim nicht-dominanten Bein betrug bei den Fußballspielern ( $M = 0,4^\circ$ ;  $SD = 3,0^\circ$ ) einen geringeren Wert als bei den Handballspielern ( $M = 0,62^\circ$ ;  $SD = 3,1^\circ$ ), dieser war aber nicht signifikant ( $p = 0,711$ ) geringer.

## **Fazit**

Die Ergebnisse hinsichtlich der erhöhten Prävalenz von Genu varum bei Jugendfußballspielern im Vergleich zu Handballspielern im Adoleszentenalter legt die Vermutung nahe, dass fußballspezifische Bewegungen Einfluss auf die Beinachse in der Frontalebene haben können. Eine Längsschnittstudie muss als nächster Schritt durchgeführt werden, um eine mögliche Entwicklung einer varischen Beinachse unter Einfluss von Fußball zu untersuchen.

## **Summary**

### **Introduction**

Previously, several studies have indicated a correlation between intensive soccer play in adolescence and the development of varus leg axes. The purpose of this study was to answer the prevalence of leg axis deviations in youth soccer compared to handball players of the same age group and whether the extent of leg axis deviations is related to sport-specific attributes such as training load or dominant leg.

### **Material und Methods**

In this epidemiological cross-sectional study, the leg axes in the frontal plane of 278 soccer players and handball players of different age groups (7-18 years) and playing levels (amateur to professional level) were clinically measured. Two clinical measurement methods with good test accuracy and no radiation exposure were used. These were, on the one hand, the measurement of the ICD or IMD and, on the other hand, the measurement of the PCA using a photographic image of the lower extremity.

### **Results**

The soccer players (M= -4.4 mm; SD= 31.8 mm) had a higher ICD/IMD value than the handball players (M= -10.2 mm; SD= 32.0 mm). Accordingly, physiological leg axes were measured in 177 soccer players (75.6 %) and 33 handball players (75 %). The proportion of genua valga was higher in the handball players (20.5 %) than in the soccer players (12.3 %). In contrast, varus leg axes were more common in soccer players (11.9 % vs. 4.6 %). The PCA angle in the dominant leg showed a higher value in the soccer players (M= -0.24°; SD= 3.1°) than in the handball players (M= -0.45°; SD= 3.1°), but this was not significantly ( $p= 0.703$ ) greater. The PCA angle in the non-

dominant leg was lower in the soccer players ( $M= 0.4^\circ$ ;  $SD= 3.0^\circ$ ) than in the handball players ( $M= 0.62^\circ$ ;  $SD= 3.1^\circ$ ), but this was not significantly ( $p= 0.711$ ) lower.

### **Conclusion**

The results regarding the increased prevalence of genu varum in youth soccer players compared to adolescent handball players suggest that soccer-specific movements may have an influence on the leg axis in the frontal plane. The next step is to conduct a longitudinal study to investigate the possible development of a varus leg axis under the influence of soccer.

## 2. Einleitung

Der „Volkssport“ Fußball begeistert weltweit Kinder und Erwachsene, Männer wie Frauen. Laut einer Erhebung des Deutschen Fußball Bundes (DFB) sind in den 21 Landesverbänden knapp 7,2 Millionen Personen angemeldet, dies sind 40 000 mehr als im Vorjahr 2019. Diese Steigerung ist insbesondere auf den Zuwachs bei den Senioren und den Unter-14-Jährigen zurückzuführen. (1) Gemäß einer Erhebung des Deutschen Olympischen Sportbundes (DOSB) stellt der Fußballsport mit Abstand die beliebteste Sportart bei Jungen (7-14 Jahre) und männlichen Jugendlichen (15-18 Jahre) sowie die am zweithäufigsten praktizierte Sportart bei Mädchen dieser Altersgruppe dar - nach Turnen. Insgesamt waren laut dem Deutschen Olympischen Sportbund (DOSB) im Jahr 2022 circa 4,23 Millionen männliche und 3,07 Millionen weibliche Athleten im Wachstumsalter in Deutschland im Verein sportlich aktiv. (2) Verschiedene Autoren (2013) postulieren, dass sich regelmäßiger Ausdauersport positiv auf die Psyche auswirkt. Das Gehirn wird besser vaskularisiert und der Körper schüttet Opioide, Endocannabinoide und Endorphine aus. Sport hebt so die Stimmung, verbessert die geistige Leistung und hemmt die Schmerzwahrnehmung. Sport kann sogar unterstützend zur Behandlung von psychischen Erkrankungen eingesetzt werden. Insbesondere bei Depressionen, Burnout und Alzheimer Erkrankungen wird hier von Erfolgen berichtet. Körperliche Aktivität erweist sich als kardiovaskulär protektiv bei Myokardinfarkt und Schlaganfällen. (3) Zudem erweist sich Sport in der Gemeinschaft als positives Element im sozialgesellschaftlichen Bereich.

Das langfristige Ausüben des Ballsports ab dem Kindesalter scheint jedoch, auch Risiken zu bergen. Vor allem die untere Extremität ist in den Feldsportarten wie Fußball oder Handball bei regelmäßigem Training und Wettkampf mehrmals wöchentlich großen mechanischen Belastungen wie z.B. Scherkräften durch Richtungswechsel ausgesetzt. (4) Fußballer und Fußballerinnen weisen eine erhöhte Prävalenz von Kniegelenksbeschwerden und Gonarthrose auf, die bei älteren Menschen die häufigste Gelenkarthrose der Extremitäten darstellt. Diese degenerativen Erkrankungen können u.a. als Folge von langjähriger Fehlbelastung durch beispielsweise Genua vara (s. Abschnitt 2.1.) auftreten. Verschiedene Autoren stellten dar, dass bei varischen Beinachsen die Prävalenz für Verletzungen wie Meniskusrupturen, patellofemorales Schmerzsyndrom oder auch das mediale Tibiakantensyndrom erhöht ist. (5–7)

## **2.1. Definition Genu varum et Genu valgum**

Das Genu varum ist definiert als eine Abweichung der frontalen Kniegelenksachse in die „O-Beinstellung“, d.h. die Unterschenkelachsenachse weicht im Vergleich zur Oberschenkelachsenachse nach medial ab. (8) Im Gegensatz dazu steht das Genu valgum mit einer „X-Beinstellung“ bzw. einer Abweichung der Unterschenkelachse nach lateral. Die varischen Beinachsen, im Volksmund auch als „O-Beine“ bezeichnet, haben nicht nur einen ästhetischen Nachteil, sondern bringen vor allem eine vermehrte biomechanische Belastung des Kniegelenks mit sich. (8,9)

## **2.2. Anatomie des Kniegelenks**

Die Anatomie des Kniegelenks weist nach Aumüller et al. (2010) mehrere Merkmale auf, die als Erklärung für die Häufigkeit von Knieverletzungen und degenerativen Veränderungen angesehen werden. Das Kniegelenk verbindet die längsten Hebelarme des Skeletts (Femur und Tibia). Die Weichteilbedeckung ist beispielweise im Vergleich zum Hüftgelenk äußerst gering. Insbesondere die Inkongruenz der artikulierenden Gelenkkörper, bestehend aus Femurkondylen und Tibiaplateau bzw. Patella, erklärt die große Anfälligkeit des Kniegelenks für chronisch degenerative Erkrankungen. Bei diesen rangiert das Kniegelenk nach der Wirbelsäule und vor dem Hüftgelenk auf dem zweiten Platz. (8,9) Das Kniegelenk ist ein aus mehreren Teilgelenken zusammengesetztes Gelenk, an dem das distale Femur, die proximale Tibia bzw. der Tibiakopf und die Patella beteiligt sind. Man unterscheidet das femoropatellare und das femorotibiale Gelenk. Bei Ersterem werden die Gelenkflächen von der Patella und der Facies patellaris des distalen Femurs gebildet. Beim Femorotibialgelenk bestehen die Gelenkflächen aus dem medialen und lateralen Femurkondylus sowie aus dem medialen und lateralen Tibiakondylus, die das Tibiaplateau bilden. Aus klinisch-praktischen Erfordernissen wird das Kniegelenk in ein mediales und laterales Kompartiment unterteilt. Funktionell gesehen stellt es ein Drehscharniergelenk (sog. Trochoginglymus) dar und erlaubt Flexion und Extension sowie Rotation um die Längsachse des Unterschenkels (s. Abb. 1). Bei Beugung im Kniegelenk kommt es parallel zum Drehen der Femurkondylen auf dem Tibiaplateau zu einem Abrollen nach dorsal. Dies führt dazu, dass die Kontaktfläche der Femurkondylen mit der Tibia bei maximaler Flexion an den dorsalen Rand des Tibiaplateaus gerät. Parallel dazu gleitet die Patella bei der Beugung im Femoropatellargelenk nach kaudal, bei Extension nach kranial. Sie sind somit mit den

Femurkondylen nicht kongruent. Dadurch steigt die Druckbelastung pro Quadratcentimeter enorm an. Die Inkongruenz der Gelenkflächen des femorotibialen Teilgelenks werden durch folgende Mechanismen verbessert. (8,9)

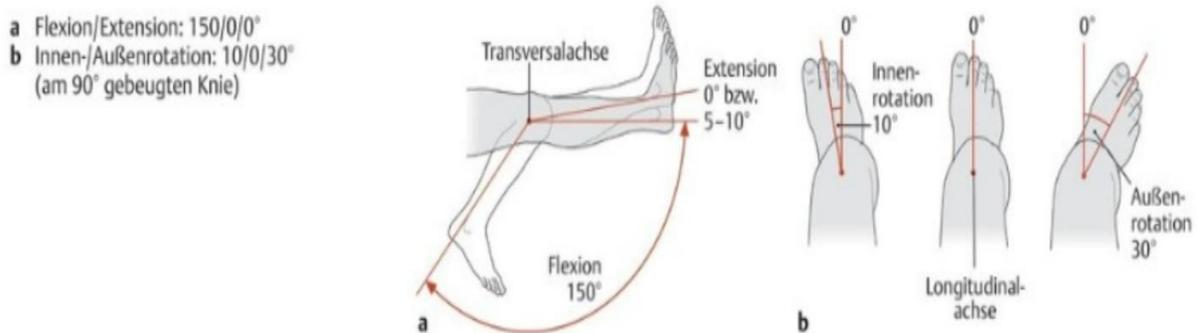


Abbildung 1: Bewegungsumfang im Kniegelenk nach der Neutral-Null-Methode in der Transversal- (a) und Longitudinalachse (b). [Aumüller et al. (2010)] (8)

Das Kniegelenk weist von allen Gelenken die höchste Dicke an hyalinem Gelenkknorpel auf. Die Inkongruenz wird zum Teil durch die Dicke des Gelenkknorpels gemildert. Diese beträgt im Mittel 2-3 mm. Die verhältnismäßig kleinen Kontaktflächen der Femur- und Tibiakondylen tragen eine enorme Druckbelastung. Die im Gelenkspalt liegenden, C-förmigen Menisci bestehen aus Faserknorpel und haben einen keilförmigen Querschnitt. Sie vergrößern die belasteten Gelenkflächen von Femur und Tibia, wodurch die Druckkräfte zusätzlich verringert werden. Die Menisci sind an der Basis mit der Gelenkkapsel verwachsen. Als Besonderheit des ausgeprägten Kapsel-Band-Apparats sind mehrere Strukturen in die Gelenkkapsel integriert. Diese werden unterteilt in die Sehne des M. quadriceps femoris, die Patella und das Ligamentum patellae. Die beiden Kollateralbänder Ligamentum collaterale tibiale und Ligamentum collaterale fibulare sichern das Kniegelenk in der Frontalebene. Die beiden Kreuzbänder liegen im Schnittpunkt der Drehachsen intrakapsulär in der Fossa intercondylaris. Bei gebeugtem Kniegelenk sorgen sie für die wesentliche Bandsicherung (s. Abb. 2). (8–10)

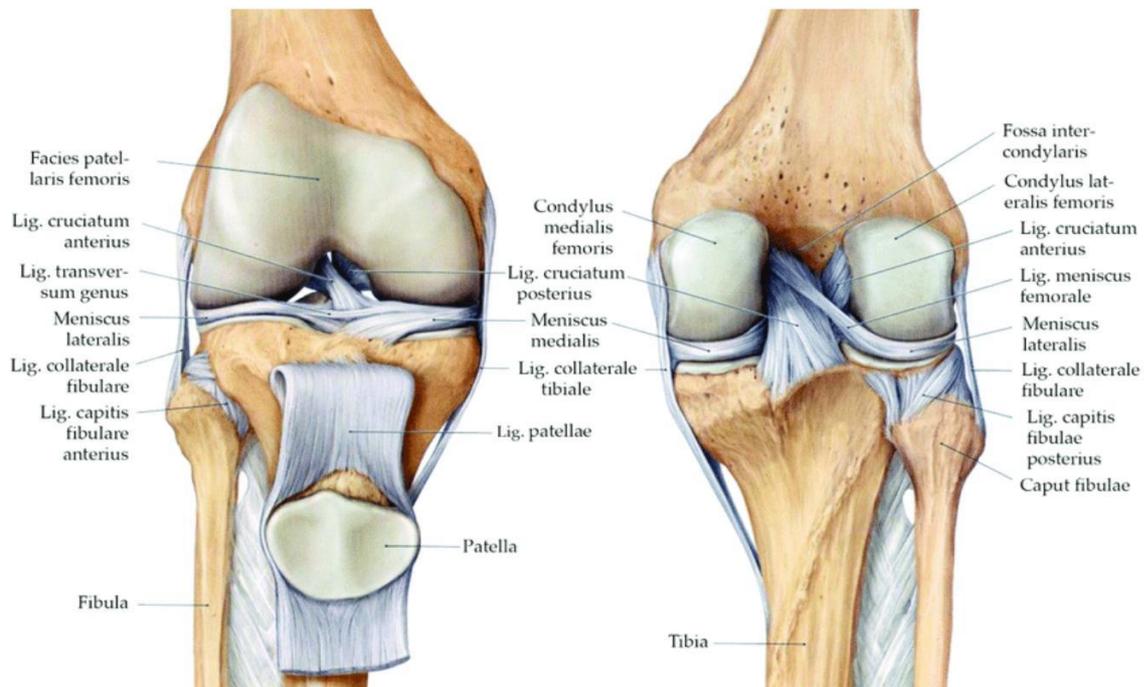


Abbildung 2: Aufbau des Kniegelenks. Links: Ansicht von anterior, Rechts: Ansicht von posterior [Schünke et al. (2018)] (10)

Das Kniegelenk hat drei Artikulationen: zwei Artikulationen zwischen Femur und Tibia (eine laterale und eine mediale) und eine Artikulation zwischen Femur und Patella. Seine Stabilität hängt von den angrenzenden Muskeln und ihren Sehnen sowie den Bändern zwischen Femur und Tibia ab. Die Muskulatur ist der Hauptfaktor für die Stabilität. Das Knie hat eine Gelenkkapsel, die aus einer äußeren Faserschicht und einer inneren Synovialmembran besteht. Die wichtigsten Bewegungen, die das Knie ausführt, sind Extension und Flexion, gleichwohl auch eine leichte Rotation auftritt, wenn das Knie gebeugt ist. Physiologische Knie können 0-10° gestreckt werden. Der Hauptmuskel, der an diesem Streckvorgang beteiligt ist, ist der M. quadrizeps femoris. Dieser erreicht sein maximales Maß an Effizienz, wenn das Hüftgelenk gestreckt ist. Der Grad der Kniebeugung hängt von der Stellung der Hüfte ab. Bei gestreckter Hüfte erreicht das Knie eine Beugung von 120°. Bei gebeugter Hüfte erreicht das Knie 140°. Zusätzlich kann das Knie passiv um 160° gebeugt werden. Das Knie kann auch eine mediale Rotation bis zu 10° in Beugung und 5° in Streckung ausführen. Die laterale Rotation kann 30° erreichen, wenn das Knie gebeugt ist. (8,9)

### 2.3.Mechanik des Kniegelenks

Der Bandapparat erlaubt eine praktisch uneingeschränkte Flexion des Kniegelenks. Wegen aktiver Insuffizienz der ischiokruralen Muskulatur lässt sich der volle Umfang der Beugung nicht aktiv nutzen. Die Rotation im Kniegelenk ist nur in vermehrter

Beugstellung möglich. Wegen der Anspannung sowohl der Kollateralbänder als auch der Kreuzbänder wird bei getrecktem Kniegelenk keine Rotation zugelassen. Der größte Teil der Beugeleistung wird von der ischiokruralen Muskulatur erbracht. Ihre begrenzte Dehnbarkeit ist dafür verantwortlich, dass bei gestrecktem Kniegelenk keine volle Flexion möglich ist. Die dreiteilige Semimembranosussehne ist für die Stabilisierung des Kniegelenks bedeutsam. (8–10)

Wie in Abbildung 3 veranschaulicht, wird der frontale laterale Kniewinkel von  $174^\circ$  durch die anatomische Femurachse und Tibiaachse gebildet. Die Achse des Femurschaftes mit der Horizontalen (Kniebasislinie) durch den Gelenkspalt beträgt etwa  $81^\circ$  und der Winkel zwischen Tibiaachse und Horizontalen etwa  $93^\circ$ . (8,9,11)

Schünke et al. (2014) legen dar, dass bei normalen Achsenverhältnissen die großen Gelenke der unteren Extremität (Hüft-, Knie- und oberes Sprunggelenk) auf einer Geraden - der mechanischen Längsachse bzw. Traglinie des Beines - liegen, die sogenannte Mikulicz-Linie. Diese verbindet das Drehzentrum des Femurkopfes, die Eminentia intercondylaris des Tibiaplateaus und die Mitte der Malleolengabel (s. Abb. 3). Während beim Tibiaschaft mechanische und anatomische Achse übereinstimmen, schließen anatomische und mechanische Achse des Femurschafts einen Winkel von  $6^\circ$  ein. Auf diese Weise bilden die anatomischen Längsachsen von Ober- und Unterschenkel den beschriebenen frontalen Knieaußenwinkel von  $174^\circ$ . (10)

Laut Ruchholtz et al. (2013) verläuft die Mikulicz-Linie unter physiologischen Achsenverhältnissen (s. Abb. 3a) durchschnittlich  $4 \pm 2$  mm medial des Kniegelenkszentrums. Sie verschiebt sich bei einer Veränderung der Achsen und Winkel des Beines beim Genu varum (s. Abb. 3b) oder Genu valgum (s. Abb. 3c) nach medial bzw. lateral, wodurch es zu einer Mehrbelastung des medialen respektive lateralen Kompartiments kommt. (12)

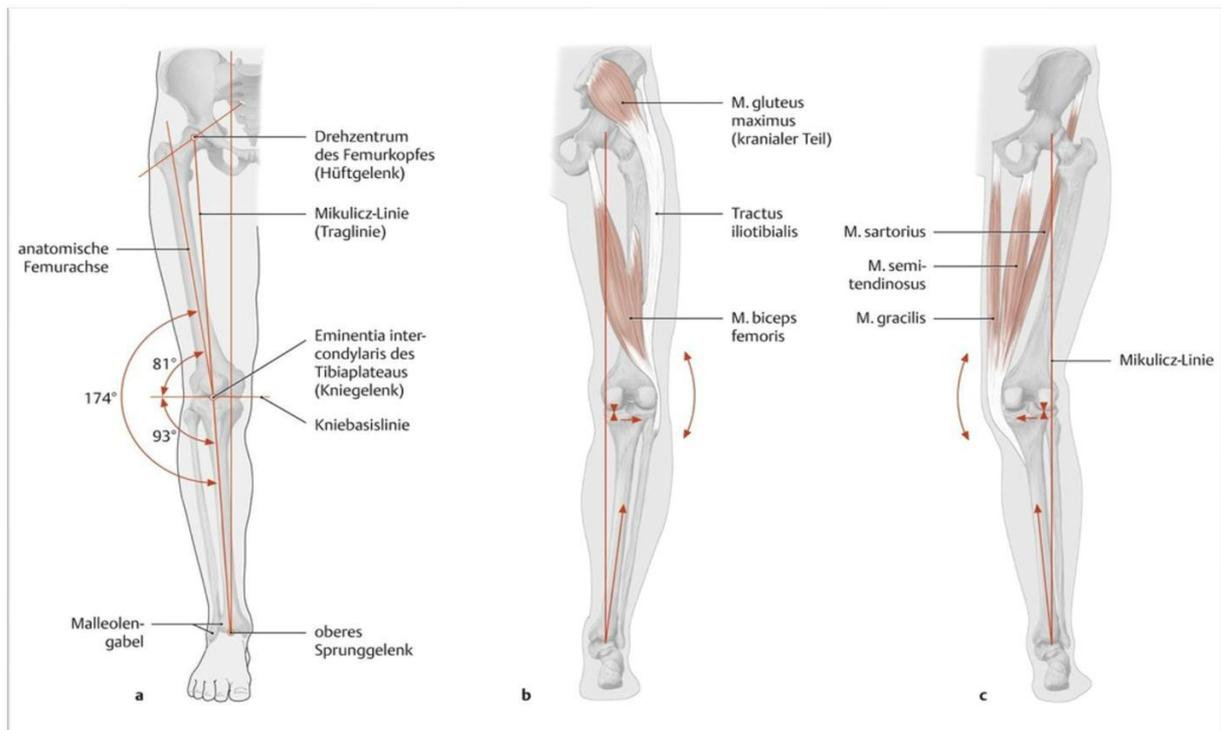


Abbildung 3: Darstellung physiologischer und pathologischer Beinachsenverhältnisse in der Frontalebene  
 a) Ansicht des rechten Beines von anterior, b) Ansicht des rechten Beines von posterior bei Genu varum, c) Ansicht des rechten Beines von posterior bei Genu valgum. [Aumüller et al. (2010)] (8)

Die Mikulicz-Linie ist physiologisch um  $3 \pm 3^\circ$  nach medial gekippt, d.h. der physiologische Winkel zwischen Gelenklinie und mechanischer Femurachse (mL DFA= mechanischer lateraler distaler Femurwinkel) beträgt  $87 \pm 3^\circ$  und der Winkel zwischen Gelenklinie und mechanischer Tibiaachse (MPTA= mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel) beträgt  $87 \pm 3^\circ$  (siehe Abb. 4). Bei varischen Beinachsen wird besonders das mediale (tibiofemorale) Gelenk belastet. Die Ursache, ob eine femorale oder tibiale Achsendeviation vorliegt, lässt sich daher unter anderem durch die Bestimmung der Winkel mL DFA und MPTA ermitteln. (8,9,13)

Wichtige Parameter für die Entwicklung des tibiofemorale Gelenks sind Faktoren wie Größe und Gewicht und deren Verhältnis zueinander, die mit zunehmendem Alter Einfluss auf die Beinachsen nehmen. (14) Daher galt es, diese Faktoren in Messungen stets zu berücksichtigen.

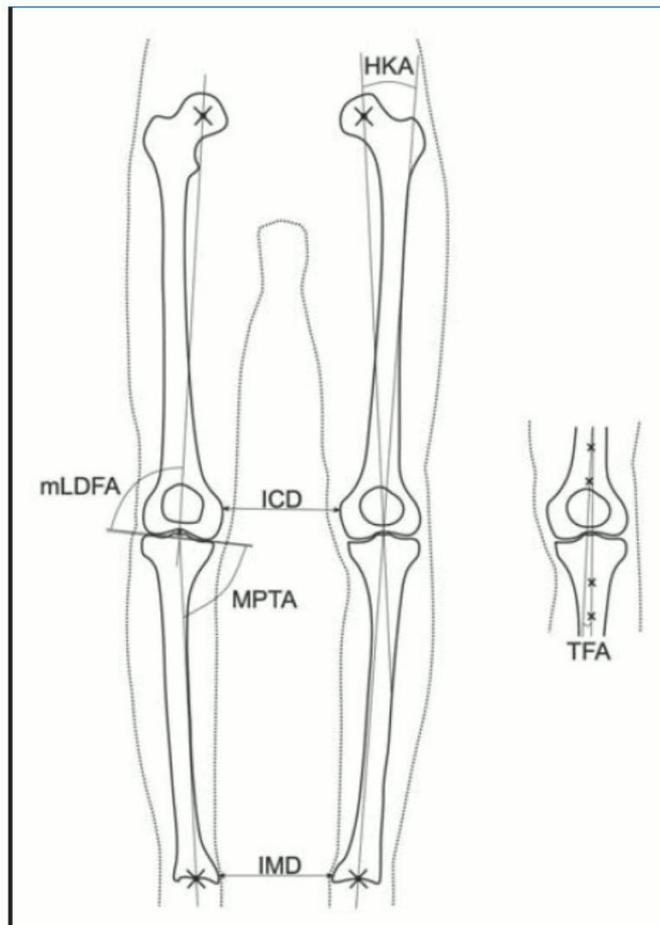


Abbildung 4: Die Beinachsengeometrie in der Frontalebene. Klinische und radiologische Messmethoden zur Bestimmung der Beinachsengeometrie. HKA: Hüft-Knie-Winkel; ICD: interkondylärer Abstand; IMD: intermalleolärer Abstand; mLDFA: mechanischer lateraler distaler Femurwinkel; MPTA: medialer proximaler Femurwinkel; TFA: tibiofemorale Winkel. [Thaller et al. (2018)] (15)

Nach Schünke et. al (2014) wird die Beinachse im Allgemeinen als „gerade“ angesehen, wenn sich bei geschlossenen Füßen jeweils beide Innenknöchel und die medialen Kniegelenkskondylen gleichzeitig berühren. Daher dienen Kondylen- (ICD) und Malleolenabstand (IMD) als Referenzpunkte für Messungen der Beinachse. Ein Kondylenabstand mit ICD  $\geq 3$  cm und ein Malleolenabstand mit IMD  $\geq 4$  cm gelten dabei bei Erwachsenen als pathologisch. (10)

Der Hüft-Knie-Knöchel-Winkel (HKA) wird oft als mechanischer Femur-Schienbein-Winkel in der Frontalebene charakterisiert. Er wird durch den Schnittpunkt einer Linie, die die Mittelpunkte der Hüft- und Kniegelenke verbindet und einer zweiten Linie, die die Mittelpunkte der Knie- und Fußgelenke verbindet, gebildet. Die Größe und Richtung des HKA-Winkels hängt von den Gelenkwinkeln des distalen Teils des Femurs und des proximalen Teils der Tibia sowie vom Winkel zwischen den Gelenkflächen des distalen Teils des Femurs und des proximalen Teils der Tibia ab.

Trotz der Verwendung unterschiedlicher Orientierungspunkte zur Definition dieser Gelenkzentren haben mehrere Autoren unabhängig voneinander nahezu identische Referenzwerte von 1-1,5° Varuswinkelung bei der erwachsenen Bevölkerung angegeben. Der HKA-Winkel wurde zwischen einer Linie, die das Zentrum des verknöcherten Femurkopfes mit dem Zentrum der distalen Femurepiphyse verbindet und einer zweiten Linie, die das Zentrum der distalen Femurepiphyse mit dem Zentrum der Taluskuppel verbindet, gemessen. Wenn der Scheitelpunkt der Hüft-, Knie-, Knöchel- und anatomischen Femur- und Schienbeinwinkel lateral (varus) war, wurde er mit einem Pluszeichen angegeben. Bei einem medialen Scheitelpunkt (valgus) wurde ein Minuszeichen markiert. Es wurde ein Winkel mit 0° notiert, wenn die beiden Linien parallel (neutral) waren. (10)

#### **2.4. Physiologische Entwicklung der Beinachsen**

Um pathologische Abweichungen von physiologischen zu differenzieren, ist ein grundlegendes Verständnis der physiologischen Beinachsenentwicklung in allen drei Ebenen eine wesentliche Voraussetzung. Während des Wachstums kommt es zu charakteristischen Veränderungen der Achsen- und Torsionsverhältnisse, die sich an Ober- und Unterschenkel sowie am Fuß jeweils gegenseitig beeinflussen. Während des ersten Lebensjahres führt die Innenrotationskontraktur des Knies zu einer Außenrotation der gesamten unteren Extremität und zu einer varischen Haltung. (16) Im Alter von etwa einem Jahr kommt es mit Beginn der Vertikalisierung (Stehen, Gehen, Laufen) zu asymmetrischen Belastungen der kniegelenknahen Wachstumsfugen. Medial dominiert die Druckbelastung, lateral die Zugbelastung. Dies führt zur asymmetrischen biomechanischen Beeinflussung des Knorpels und löst damit ein asymmetrisches Wachstum mit der Folge eines überproportionalen Wachstums medialseitig aus. Damit wandert die Mikulicz-Linie nach lateral. Typischerweise kommt es bis zum 3./4. Lebensjahr zu einer valgischen Beinachse von etwa 10°. Die Traglinie verläuft dann lateral der Kniegelenksmitte. Dies hat ein asymmetrisches Wachstum zur Folge, mit einer laterseitigen Wachstumsstimulation, bis die physiologische Valgusstellung des Kniegelenks von 5-7° im Alter von etwa 8-10 Jahren entwickelt ist. Die äußerst große Streubreite im Kleinkindalter wird mit zunehmender Skelettreife geringer. (16–18)

Während des Wachstums verändern sich in der Transversalebene die Torsionsverhältnisse an Ober- und Unterschenkel in typischer Weise. Physiologisch besteht zwischen der Schenkelhalsachse und der Kondylenebene des Femurs ein

nach ventral offener Winkel, der als Antetorsion des Femurs bezeichnet wird. Im Rahmen der weiteren Entwicklung kommt es zu einer Rückbildung der Außenrotationskontraktur, so dass die Antetorsionsverhältnisse zunehmend die Rotationsfähigkeit des Hüftgelenks bestimmen. Die Antetorsion reduziert sich über die gesamte Wachstumsphase insbesondere in beschleunigten Detorsionsschüben im Alter zwischen 6 und 8 Jahren sowie 12 und 14 Jahren. (16–18)

Bei Wachstumsende besteht eine femorale Antetorsion von durchschnittlich 15°. Für die Rückbildung der Antetorsion sind v.a. dynamische Kräfte verantwortlich, die beim Gehen wirksam werden, gleichzeitig aber auch das enchondrale Wachstum der proximalen Femurepiphysenfuge, da sie nicht senkrecht zum Schenkelhals steht, sondern mit ihm einen nach dorsal spitzem Winkel bildet. Bei einer vermehrten Antetorsion besteht klinisch eine vermehrte Innenrotationsfähigkeit im Hüftgelenk. Diese manifestiert sich beim Gehen in einem Innenrotationsgang. Typischerweise werden viele Kinder im Alter von 2-4 Jahren wegen solch einer Problematik beim Kinderarzt oder Kinderorthopäden vorgestellt. Pathologische Beinachsenentwicklungen sind jedoch selten und oft idiopathisch. Sekundäre Ursachen sind vielfältig. Sorgfältige klinische Untersuchungen sind für die Differenzierung zwischen physiologischen und pathologischen Abweichungen notwendig. (16)

## **2.5.Auswirkungen einer pathologischen Beinachse**

Infolge von Fehlbelastungen kommt es im Laufe von Jahren und Jahrzehnten zu degenerativen Veränderungen des Knorpel- und Knochengewebes (Gonarthrose) sowie zu Überdehnungen von Kapsel-, Band- und Muskelanteilen. Beim Genu varum beispielsweise wird der mediale Gelenkkomplex vermehrt auf Druck beansprucht. Die lateralen Gelenkstrukturen (z.B. lig. collaterale fibulare) sowie der tractus iliotibialis und der M. biceps femoris hingegen werden vermehrt auf Dehnung belastet. Zusätzlich wird der laterale Fußrand stärker belastet, was ein Absinken des Fußgewölbes nach sich zieht. (9,10,13)

Die langfristigen Folgen sind Knorpelschäden und schließlich Arthrose im Kniegelenk, durch konsekutive Achsenfehlstellung der benachbarten Gelenke potenziell auch im Hüft- oder Sprunggelenk. Beinachsendeformationen gelten daher als präarthrotische Deformität. (12,19–21)

Kniegelenksachsendeformationen können kongenitalen Ursprungs sein und durch degenerative Knorpelschäden, vorzeitigen Epiphysenfugenschluss oder seltener

durch rheumatoide Arthritis entstehen. Auch zu metabolischen Erkrankungen wie Rachitis und Osteopathien oder myopathischen und neurologischen Krankheiten gibt es kausale Zusammenhänge. Diese sind jedoch deutlich seltener vorzufinden. (12)

Die kniegelenksnahen Wachstumsfugen generieren den Hauptanteil des Beinlängenwachstums und sind gerade im präpubertären Wachstumsschub durch Traumata anfällig für ein asymmetrisches Wachstum. (22,23) Laut Colyn et al. (2016) ist hier besonders die mediale tibiale Wachstumsfuge anfällig. (24)

Arliani et al. (2014) konnten im Fußball ein gehäuftes Auftreten (55-63 %) von Genua vara bei ehemaligen professionellen Fußballspielern verzeichnen. (25) Bereits Chantraine und Drawer (1985) zeigten in ihren Untersuchungen eine hohe Prävalenz für Genua vara von 73 % bei ehemaligen Fußballspielern. (26) Profifußballer ohne Makroverletzung des Kniegelenks haben ein um circa 30 % und damit signifikant erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer Kniegelenksarthrose. Dieses Risiko steigt unter Berücksichtigung schon vorhandener Läsionen um das 2,9-fache zusätzlich weiter an. (27) Brouwer et al. (2007) weisen bei varischen Beinachsen auf ein zweifach erhöhtes Risiko zur Ausprägung einer Osteoarthritis hin. (5) Hofmann et al. (2008) stellen klar, dass die Pathogenese der Arthrose in der Normalbevölkerung grundsätzlich multifaktoriell bedingt ist. (11) Ursächlich für den Knorpelverschleiß ist im Allgemeinen das Missverhältnis zwischen Belastung und Belastbarkeit des Gelenkknorpels, welches zur Überbelastung und zur Störung des Knorpelstoffwechsels mit konsekutiver verminderter Belastbarkeit führt. Hier kommt es zur Interaktion verschiedener ätiologischer Faktoren, die sowohl endogener als auch exogener Natur sein können. In Relation zu Beanspruchung und Dauer führt es zu einer Dysregulation des Chondrozytenstoffwechsels mit daraus resultierendem Knorpelsubstanzverlust. Zu den endogenen Faktoren zählen Alter, Geschlecht, Genetik und Mängel der Gelenkarchitektur. Als exogene Faktoren führen Hofmann et al. (2008) Adipositas und mechanische Belastung durch Beruf, aber auch Einflüsse durch sportliche Aktivitäten oder Traumata an. (11) Pathologische Beinachsen sind oft erst nach mehrfacher Beobachtung über einen längeren Zeitraum zu erkennen. Ein pathologisches frontales Kniegelenksmoment bei einer Varus- oder Valgusabweichung stellt einen ungünstigen Faktor hinsichtlich der Entwicklung degenerativer Gelenkveränderungen bis hin zur Entstehung von Arthrose dar. (19,21,28,29) Eine verminderte Antetorsion im Falle von Coxa retrotorta ist im Gegensatz zu Coxa antetorta mit einem erhöhten Arthroserisiko verbunden und

entspricht damit einer präarthrotischen Deformität. Desweiteren stellt sie einen Risikofaktor für das Auftreten einer Epiphyseolysis capitis femoris dar. Eine vermehrte Unterschenkelaußentorsion führt dazu, dass der Impuls zur Korrektur der femoralen Antetorsion im Wachstum ausbleibt. Biomechanisch führt die übermäßige Außentorsion zu einer Veränderung der Hebelverhältnisse, die sich insbesondere während der Abstoßphase zeigt, sowie zu einem Fersenvalgus mit Pronation des Rückfußes. Sekundär bedingte Beinachsenabweichungen finden sich häufig infolge einer Schädigung der Wachstumsfuge z. B. nach Traumata, Infektionen oder Tumoren. Ausgesprochen typisch ist die Entwicklung eines Genu valgum bei proximalen metaphysären Tibiafrakturen. Burssens et al. (2020) und Xie et al. (2019) zeigten, dass sowohl Genu varum als auch Genu valgum zu einer korrektiven, gegenläufigen Kippung im oberen Sprunggelenk führen kann, was eine Achsabweichung im oberen Sprunggelenk begünstigt. (30,31)

Krankengymnastische Behandlungen beeinflussen die Achsenfehlstellung nicht. Der Effekt von Orthesen im Kleinkindalter, insbesondere Oberschenkelnachtlagerungsschienen ist umstritten. Sie sind allenfalls bei extremen Fehlstellungen anzuwenden und ab dem Schulalter ineffektiv. Die Problematik liegt darin, dass die Schienen nur bei Nacht eingesetzt werden können, wenn keine dynamischen Kräfte wirken. Desweiteren findet die Korrektur eher im Gelenk und nicht an den Knochen statt, da die Ligamenta elastischer sind. Schuhzurichtungen wie eine Innenranderhöhung bei Genua valga bzw. Außenranderhöhung bei Genua vara von etwa 5 mm sollen die Belastungsachse beeinflussen und dadurch eine Entlastung des vermehrt belasteten Kniegelenkabschnitts bewirken. Dadurch soll ein ausgleichendes Wachstum ermöglicht werden. Die Wirksamkeit solch einer Maßnahme konnte bislang nicht belegt werden, jedoch ist sie so wenig belastend und aufwändig, dass sie selbst unter sozioökonomischen Gesichtspunkten gut zu vertreten ist. (16)

## **2.6. Akuteller Forschungsstand**

Bereits im Vorfeld haben mehrere Forschungsgruppen versucht, den Zusammenhang zwischen sportlicher Betätigung im Breiten- und Individualsport und dem möglichen Einfluss auf die Beinachse von Jugendlichen oder Erwachsenen zu untersuchen. Abreu et al. (1996) stellten bereits im Alter von 12 Jahren eine verfrühte Entwicklung von Genua vara fest. Die Prävalenz von varischen Beinachsen war bei den Fußballspielern fast doppelt so hoch (73,3 %) wie bei sportlich nicht Aktiven (40,6 %). (32)

Thaller et al. (2018) schlossen für ihre Metaanalyse mehrere Studien ein, die den interkondylären Abstand (ICD in cm) als Zielgröße verwendeten. Es wurden n= 3 Studien mit insgesamt n= 1344 Fußballspielern und n= 1277 Kontrollpersonen eingeschlossen. Es zeigte sich eine signifikante Mittelwertdifferenz der ICD-Messungen von 1,50 cm in Richtung Genu varum (95 %-Konfidenzintervall: 0,53; 2,46) bei den Fußballern verglichen mit Nicht-Sportlern. (15)

Asadi et al. (2015) untersuchten mit einer klinischen Messung des ICD 750 professionelle Fußballspieler und 750 Nicht-Fußballspieler im Alter von 10-18 Jahren. Die Gruppe der Fußballspieler (3,1 cm) zeigten einen größeren Interkondylarabstand als die Nicht-Sportler (2,8 cm). Dieser Effekt verstärkt sich zudem mit steigender Trainingsintensität und schon erlittenen Traumata im Kniegelenksbereich. Die Prävalenz für Genu varum war vor allem bei den Probanden im Alter von 16-18 Jahren erhöht. (4)

In der retrospektiven Studie von Colyn et al. (2016) wurde bei Männern, die sich im Kindesalter intensiv dem Fußball widmeten, signifikant kleinere HKA-Winkel (varisch) als bei sportlich weniger Aktiven vernommen. Auch in einer Vergleichsgruppe mit anderen Sportlern aus anderen Disziplinen (Handball und Basketball) auf gleicher Leistungsstufe konnte für die Altersgruppe der 10- bis 12-Jährigen und 15- bis 17-Jährigen ein signifikant kleinerer HKA-Winkel nachgewiesen werden. Eine Verminderung des medialen proximalen Tibiawinkels (MPTA) wurde als vorrangige Ursache der Varusdeviation bei Fußballspielern definiert. Der HKA-Winkel wurde anhand von konventionell-radiologischen Ganzbeinaufnahmen gemessen. In allen Altersgruppen der Fußballspieler zeigte sich eine Verminderung des MPTA. (24) Anders als in der vorliegenden Studie definieren Colyn et. al (2016) negative HKA-Winkel als varische Beinachsen.

## **2.7.Fragestellungen**

In mehreren Studien wurde auf eine Korrelation zwischen intensivem Fußballspielen im jugendlichen Alter und der Entwicklung von varischen Beinachsen hingewiesen. (4,5,15,24)

Aufgrund der geringen Anzahl von qualitativ hochwertigen Studien bedarf es weiterer Untersuchungen, um einen Kausalzusammenhang evidenzbasiert zu belegen. Das FIFA Medical Center Regensburg hat daraufhin mit Unterstützung der FIFA (Fédération Internationale de Football Association) und des Universitätsklinikums Regensburg eine Studie initiiert. In dieser epidemiologischen Querschnittsstudie

wurden die Beinachsen in der Frontalebene von 278 Fußballspielerinnen und -spielern sowie Handballspielerinnen und -spielern verschiedener Altersklassen (7-18 Jahre) und Spielklassen (Amateur- bis Profilevel) klinisch vermessen.

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

1. Gibt es eine erhöhte Prävalenz von Beinachsabweichungen im Jugendfußball im Vergleich zu Handballspielern derselben Altersstufe?
2. Ist das Ausmaß der Beinachsabweichungen abhängig von sportartspezifischen Attributen wie Trainingsbelastung oder dominantem Bein?
3. Gibt es bei Jugendfußball und -handballspielern eine Korrelation zwischen den Beinachsabweichungen und dem BMI-Wert?

### **3. Material und Methoden**

#### **3.1. Studiendesign und -ablauf**

In dieser epidemiologischen Querschnittsstudie wurden die Beinachsen in der Frontalebene von Fußballspielerinnen und -spielern sowie Handballspielerinnen und -spielern verschiedener Altersklassen (7-18 Jahre) und Spielklassen (Amateur- bis Profinevel) klinisch vermessen. Aus strahlenschutztechnischen Gründen sind Messmethoden unter Verwendung ionisierender Strahlung zu Studienzwecken im Kindes- und Jugendalter nicht zulässig. Stattdessen kam es zur Anwendung von zwei klinischen Messmethoden mit guter Testgenauigkeit ohne Strahlenbelastung. Diese war einerseits die Messung des ICD bzw. IMD in mm mittels Caliper und zum anderen die Messung des HKAs mithilfe einer fotografischen Aufnahme der unteren Extremität (s. Abschnitt 3.4.4.). Zusätzlich wurden neben anthropometrischen Daten auch sportartspezifische Daten der Probanden erhoben. Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Universität Regensburg in der Sitzung vom 13.11.2019 geprüft und bewilligt (Antrags-Nr. 19-1571-101).

#### **3.2. Studienpopulation**

Im Rahmen der Studie wurden ausschließlich Probanden und Probandinnen im Alter von 7 bis 18 Jahren untersucht. Die Teilnehmer wurden dabei aus verschiedenen Gruppen rekrutiert. Als Hauptsportart wurde die Sportart mit der zeitlich intensivsten Aktivität definiert. Bei den Spielklassen wurde auf ein breites und ausgeglichenes Spektrum zwischen Amateur- und Profinevel geachtet. Teilnehmer wurden ausgeschlossen, wenn sie über einen Hüft- oder Kniegelenkersatz, Hüftarthrititis oder andere Pathologien berichteten, die zu Gelenkkontrakturen, Beckenschiefstand, Kniegelenkssubluxation, angeborenen Anomalien oder früheren Operationen an den unteren Extremitäten führten. Des Weiteren wurden Angaben zu Lateralität also Schuss-, Sprungbein oder Wurfarm erfasst. Probanden mit Vorerkrankungen im Bereich des Knie-, Hüft- und Sprunggelenks oder anderweitigen Beschwerden konnten diese detailliert in den „Angaben zur Krankheitsgeschichte“ darlegen. Die Rekrutierung erstreckte sich innerhalb des Einzugsbereichs des BFV (Bayerischer Fußballverband). Der Kontakt zu den Vereinen entstand durch die bereits bestehende Infrastruktur zwischen Universitätsklinikum Regensburg und dem FIFA Medical Center Regensburg und den regionalen Verbänden und Vereinen.

### **3.3. Datenerhebung**

Die Datenerhebung zu Studienzwecken erfolgte erst nach Einholung der schriftlichen Einwilligung der Erziehungsberechtigten in die Teilnahme ihres Kindes an der Studie nach vorheriger Aufklärung über die Studie. Ebenso musste die Einwilligung des Probanden selbst gegeben sein. Die Aufklärung geschah durch Ausgeben einer Informationsschrift und eines Einwilligungsdokuments an die Erziehungsberechtigten der Probanden. Das Einholen der personenbezogenen Daten mittels Fragebögen und die Messungen wurde erst nach Vorliegen der schriftlichen Einverständniserklärung von den zugehörigen Erziehungsberechtigten sowie der Probanden selbst durchgeführt. Zur Erhebung der anthropometrischen Daten wie Alter oder Geschlecht sowie der sportartspezifischen Daten wie Vereinszugehörigkeit, Dauer der Ausübung des Sports, Lateralität etc. wurde ein Fragebogen entwickelt, der persönlich den Erziehungsberechtigten und Probanden der Jugendmannschaften ausgehändigt wurde.

#### **3.3.1. Pseudonymisierung**

Alle Bild- und Messdaten wurden pseudonymisiert erfasst und ausschließlich für den wissenschaftlichen Zweck erhoben und insbesondere nicht an Dritte weitergegeben. Alle im Rahmen der Studie erhobenen Daten wurden entsprechend der ärztlichen Schweigepflicht und den gesetzlichen Bestimmungen vertraulich behandelt. Zudem wurden im Rahmen der Studie keine ärztlichen Diagnosen und Leistungen erbracht. Da die Daten pseudonymisiert sind, waren Rückschlüsse auf individuelle Personen nur mit erheblichem Aufwand möglich.

#### **3.3.2. Body-Mass-Index**

Sowohl die Childhood Group der International Obesity Task Force (IOTF) als auch die European Childhood Obesity Group (ECOG) empfehlen den Body-mass-Index (BMI) als Beurteilungskriterium für Übergewicht und Adipositas bei Kindern und Jugendlichen. Im Erwachsenenalter erfolgt die Definition von Übergewicht und Adipositas anhand fester Grenzwerte, bei der Beurteilung von Kindern und Jugendlichen müssen die alters- und geschlechtsspezifischen Veränderungen des BMI berücksichtigt werden.

### 3.3.3. Trainings- und Wettkampfbelastung

Die Erhebung von fußballspezifischen Angaben wie die Dauer der aktiven Fußballkarriere (Anzahl aktiv gespielter Saisons) und Trainingseinheiten pro Woche sind für die Beantwortung der Forschungsfrage ebenso notwendig. Hier gibt es je nach Spielklasse Unterschiede in den Trainingszeiten (min pro Woche), welche einen Einfluss auf die Belastung und Regeneration der Spieler nehmen können. Die Einteilung in Amateur- und Profiniveau wurde anhand der Trainingszeit pro Woche (in min) vorgenommen (s. Tab. 1). Die Dauer einer Saison beläuft sich auf ein ca. halbes Jahr und kommt zusätzlich zur Trainingsbelastung hinzu.

Tabelle 1: Einteilung der Trainingsbelastungen anhand Trainingszeit pro Woche (in min).

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| <b>„basic training exposure“:</b>    | <b><math>x \leq 180 \text{ min}</math></b>          |
| <b>„moderate training exposure“:</b> | <b><math>180 &lt; x &lt; 360 \text{ min}</math></b> |
| <b>„high training exposure“:</b>     | <b><math>x \geq 360 \text{ min}</math></b>          |

### 3.4. Verfahren der Beinachsen-Messung

Den Goldstandard für die Bestimmung der Beinachsen stellt nach Navali et al. (2012) die radiologische Ganzbeinstandaufnahme dar. Dort wird die mechanische Achse, welche als Winkel zwischen femoraler und tibialer mechanischen Achse definiert wird, als Referenzwert verwendet. Hier gelten Werte unter  $180^\circ$  als varische und Werte über  $180^\circ$  als valgische Beinachsen. Diese Methodik birgt jedoch aufgrund der Strahlenbelastung gesundheitliche Risiken. Das Mittel der Wahl ist eine Röntgenaufnahme des kompletten Beins, die sog. Ganzbeinstandaufnahme (GBA). Anhand dieser Aufnahmen kann die mechanische Achse des Femurs (vom Mittelpunkt des Femurkopfes bis zur Einkerbung der Interkondylen des Femurs) und die mechanische Achse der Tibia (bis zum Mittelpunkt des Talus) exakt bestimmt werden. (33)

Wu et al. (2017) bezeichnen die klinische Messung von der anterioren Spina iliaca zur Mitte des Kniegelenks als praktikable und übliche Methode. In der Studie von Wu et al. (2017) zeigte die klinische Messung eine hohe Korrelation zur anatomischen Schaftachse (Korrelationskoeffizient  $r \geq 0,9$ ). Obwohl der Vergleich der Winkel der anatomischen Schaftachse (SAA) und der klinisch anatomischen Achse (CAA) statistisch gesehen von Bedeutung ist, beträgt diese Differenz jedoch nur  $0,8^\circ$  ( $3,6^\circ$  vs.  $2,8^\circ$ ). (34) Die Grundlage der klinischen Messung ist die Caliper-Methode. Hier

werden bei aufrechtem Stand die ICD und IMD (in mm) zwischen den medialen Kondylen bzw. Malleolen gemessen.

Navali et al. (2012) führen auch an, dass übermäßiges Weichgewebe an der medialen Knieseite irrtümlich als Genu valgum klassifiziert werden kann, obwohl es sich skelettal um eine varische Ausprägung handelt. (33) Desweiteren wird verdeutlicht, dass alternative Methoden zur Messung der Knieausrichtung, die eine geringe oder keine Strahlenbelastung mit sich bringen, überraschend gut mit dem Knieausrichtungswinkel korrelieren. Diese Studie zeigte, dass die radiologische anatomische Achse und die Messung der interkondylären und intermalleolären Abstände valide Aussagen zur Bestimmung der Knieausrichtung erlauben. Klinisch können solche Methoden die Beurteilung dieses Parameters durch Kliniker und Forscher verbessern. Zukünftige Forschung sollte die prädiktive Validität von klinischen Maßnahmen im Hinblick auf die Früherkennung und Progression von Achsabweichungen der unteren Extremität bewerten. (33)

#### **3.4.1. Aufbau der Testbatterie**

An einer Wand wurde mit einem Tape ein Zollstock für die Bestimmung der Körpergröße befestigt und am Boden eine Tapelinie mit einer Länge von ca. 40 cm markiert. Zudem wurde eine Personenwaage aufgestellt. Nach Identifikation des Probanden bzw. der Probandin und Überprüfung der vorhandenen Einverständniserklärung wurden anthropometrische Daten wie Alter, Körpergröße und -gewicht sowie das dominante Bein bzw. Sprungbein ermittelt. Die Messung erfolgte mit einem eigens dafür entwickelten Hygienekonzept, welches den notwendigen Einsatz von Hände- und Flächendesinfektion sowie das Tragen von FFP2-Masken beinhaltete. Dann wurde am Zollstock die Körpergröße und auf der Personenwaage das Körpergewicht ermittelt. Für einen geregelten Ablauf während der Messungen wurde ein Messprotokoll zur Erfassung der Messdaten erstellt. Das Kürzel für die Kennzeichnung der Probanden wurde neben dem Fragenbogen auch auf dem Messprotokoll und der fotografischen Ganzbeinstandbeinaufnahme vermerkt. Die Messungen erfolgten zumeist im Rahmen einer Trainingseinheit auf dem Vereinsgelände. Zu Beginn des Trainings wurde die Studie erneut den Probanden und Betreuern kurz vorgestellt und die Methodik klar verständlich und spielerisch erläutert.

### **3.4.2. Messung des Oberschenkelumfangs**

Für die Analyse einer möglichen muskulären Dysbalance wurde der Oberschenkelumfang (in cm) beider Beine bestimmt. Dazu wurden die Probanden gebeten, einen schulterbreiten und entspannten Stand einzunehmen mit gleichmäßiger Belastung beider Beine. Der Umfang wurde mit einem Maßband (formaR Körper- und Umfangsmaßband 150 cm von Hoechstmass) auf halber Oberschenkellänge bestimmt. Die Oberschenkellänge wurde definiert als die Distanz von Spina iliaca anterior superior zu lateralem Kniegelenksspalt. Eine Vergleichbarkeit war somit gewährleistet.

### **3.4.3. Messung des ICD und IMD**

Laut Navali et al. (2012) stellen die Vermessung des Intermalleolarabstandes (IMD) und Interkondylarabstandes (ICD) mittels Caliper eine valide Methode für die Bestimmung der Beinachsen dar. Es ergab eine große Übereinstimmung mit den Ergebnissen der radiologischen Diagnostik. (33)

Die Calipermethode wurde als erste Methode gewählt. Die Spieler wurden darum gebeten, aus dem schulterbreiten Stand mittels kleinsten Toppelschritten möglichst langsam aufeinander zuzugehen, bis sich Kondylen oder Malleolen berühren. Dieses Manöver wurde zu Trainings- und Demonstrationszwecken bei jedem Probanden dreimalig durchgeführt, um die für die Messung ideale Positionierung zu erreichen. Mit einem Messzirkel (Feder-Innentaster 125 mm von Vogel Germany) wurde der ICD bzw. IMD gemessen, anhand eines Lineals mit einer Messskala in Milli- und Zentimetern abgelesen und der Abstand in das Messprotokoll übertragen. Shohat et al. (2018) definieren einen ICD  $\geq 3$  cm als Genu varum und den IMD  $\geq 4$  cm als Genu valgum. Für die exakte Einteilung der Fehlstellungen wurden dort mithilfe des ICD und IMD nach verschiedenen Schweregraden des Genu varum (GVR) und Genu valgum (GVL) eingeteilt (s. Abb. 5). (35)

Sowohl das Genu varum severity level null als auch Genu valgum severity level null stehen für Normwerte. Diese geben nur eine leichte Tendenz in Richtung Genu varum bzw. valgum wieder. In der vorliegenden Studie wurden ICD-Werte (in mm) als positiv und die IMD-Werte als negativ definiert. Daraus ließ sich ein Gesamt- „ICD/IMD“-Wert bestimmen.

|                               |                                    | BMI category         |                  |                     |                  | Total<br>47,588 |
|-------------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------|---------------------|------------------|-----------------|
|                               |                                    | Underweight<br>1,760 | Normal<br>39,733 | Overweight<br>4,285 | Obesity<br>1,810 |                 |
| Genu varum<br>severity level* | 0 (Normal)                         | 81.93%               | 87.47%           | 97.53%              | 98.62%           | 88.60%          |
|                               | 1 ( $3 \leq \text{ICD} < 5$ )      | 14.77%               | 11.10%           | 2.26%               | 1.27%            | 10.06%          |
|                               | 2 ( $5 \leq \text{ICD} < 10$ )     | 3.01%                | 1.39%            | 0.21%               | 0%**             | 1.29%           |
|                               | 3 ( $10 \leq \text{ICD} < 15$ )    | 0.28%                | 0.04%            | 0.00%               | 0.11%            | 0.05%           |
| Genu valgum<br>severity level | 0 (Normal)                         | 98.47%               | 96.65%           | 82.29%              | 71.16%           | 94.45%          |
|                               | 1 ( $4 \leq \text{IMD} \leq 8$ )   | 1.53%                | 3.19%            | 15.87%              | 21.10%           | 4.95%           |
|                               | 2 ( $8 < \text{IMD} < 12$ )        | 0%**                 | 0.16%            | 1.80%               | 7.29%            | 0.57%           |
|                               | 3 ( $12 \leq \text{IMD} \leq 15$ ) | 0%**                 | 0%**             | 0.05%               | 0.39%            | 0.02%           |
|                               | 4 ( $15 < \text{IMD}$ )            | 0%**                 | 0%**             | 0%**                | 0.06%            | 0.002%          |

\*Two additional severity levels were included in the study (4:  $15 \leq \text{ICD} < 20$ ; and 5:  $20 \leq \text{ICD}$ ), yet no recruits were diagnosed with genu varum at these levels, therefore they were omitted from the table.

\*\*No cases were observed

ICD = Intercondylar distance, IMD = Intermalleolar distance, BMI = body mass index

Abbildung 5: Prävalenz von Genu varum und Genu valgum, stratifiziert nach Schweregrad und BMI-Kategorien. [Shohat et al. (2018)] (35)

### 3.4.4. Messung des HKA-Winkels

Als zweite Methode wurde die ultraschallassistierte, fotografische Ganzbeinstandaufnahme angewendet. Unter Verwendung einer tragbaren Ultraschallsonde (Butterfly IQ © Ultraschallsonde Lightning, Modellnummer 850-200003), die mit einem Tablet (iPad Air © Wifi 64GB Space grey) verbunden wurde, konnte das Femurkopffzentrum in anterior-posterior-Ausrichtung der Probanden beidseits detektiert werden. Dieses wurde mit einem Hautmarker (Edding © 8020 Hautmarker blau/grün) markiert. Zum Abschluss der Messung wurde für die Messung des HKA-Winkels eine Fotostandaufnahme mit dem iPadAir gemacht. Die Positionierung der Probanden erfolgte analog zur ICD/IMD-Messung (s. Abschnitt 4.4.3.). Es wurde auf eine streng orthograde Ausrichtung der Patellae geachtet, um Torsionsfehler zu vermeiden. Die Beine durften dabei nicht überstreckt werden. Für die Markierung des Kniegelenkspalts wurde an beiden Beinen ein Gummiband angebracht, welches durch die Eigenelastizität sich im zuvor sonographisch detektierten Kniegelenksspalt einfand.

Die photographische Aufnahme der Beine erfolgte unter Zuhilfenahme eines Stativs (Tripod © Stativ 106 3D) mit dem iPad, das mit der Kameralinse auf Kniehöhe der

Probanden aus einem Meter Abstand eingestellt wurde. Auf der Aufnahme mussten Hüften, Beine und die Sprunggelenke inklusive der angebrachten Markierungen deutlich sichtbar sein. Letztlich wurde die Ganzbeinaufnahme mit dem entsprechenden Probandenkürzel versehen und die Markierungen am Probanden und verwendete Geräte mit Desinfektionstüchern (Incidin OxyWipe S von Ecolab) entfernt und gesäubert. Das Bild wurde im Nachgang am Computer mit dem Grafikprogramm Gimp® Version 2.10.22 geöffnet und ausgewertet (s. Abb. 6). Diese Methode der Beinachsenmessung wurde bereits im Rahmen einer Studie von Memmel et al. (2023) validiert und zeigt, dass diese Methode ausreichend valide und genaue Ergebnisse liefert. (36)



Abbildung 6: Auswertung der Bildaufnahmen mittels Gimp® Version 2.10.22.

Bei Sabharwal et al. (2009) wurden 253 Kinder (149 Jungen und 104 Mädchen) mit 354 Röntgenbildern in die Studie aufgenommen. Das Alter der Probanden reichte von 1,1-17,9 Jahren (M= 9,4 Jahre). Die Mittelwerte, Standardabweichungen und 95 %-Konfidenzintervalle für die HKA- und anatomischen Femur-Schienbein-Winkel sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Messwerte von Sabharwal et al. (2009) dienen als altersabhängige Referenzwerte der Einteilung der in der Studie gemessenen HKA-Winkel. (37)

Tabelle 2: Altersabhängige Messwerte des HKA-Winkels (linke Spalte) der unteren Extremität nach Sabharwal et al. (2009). (37)

| 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             |

Tabelle drei zeigt die Referenzwerte für die Einteilung der HKA-Werte am dominanten und nicht-dominanten Bein. Die varischen und valgischen Deviationen wurden anhand der folgenden Perzentile eingeordnet.

Tabelle 3: Altersadaptierte HKA mit Perzentilen, adaptiert nach Sabharwal et al. [HKA: Hüft-Knie-Winkel; MW: Mittelwert; SD: Standardabweichung; a (10/90) und a (5/95): Differenz zwischen Mittelwert und der 10./90. und 5./95. Perzentile; P.: Perzentile;]

| HKA | -    | a    |         | 5. P.    |      | 10. P. | 90. P. | 95. P. |
|-----|------|------|---------|----------|------|--------|--------|--------|
| age | mean | SD   | (10/90) | a (5/95) |      |        |        |        |
| 7   | -0,4 | 2,9  | 3,7     | 4,8      | -5,2 | -4,1   | 3,3    | 4,4    |
| 8   | 0,7  | 2,40 | 3,1     | 3,9      | -3,2 | -2,4   | 3,8    | 4,6    |
| 9   | -0,1 | 2,8  | 3,6     | 4,6      | -4,7 | -3,7   | 3,5    | 4,5    |
| 10  | 0,6  | 2,1  | 2,7     | 3,5      | -2,9 | -2,1   | 3,3    | 4,1    |
| 11  | 0,2  | 2,1  | 2,7     | 3,5      | -3,3 | -2,5   | 2,9    | 3,7    |
| 12  | 0,2  | 2,5  | 3,2     | 4,1      | -3,9 | -3     | 3,4    | 4,3    |
| 13  | 0,1  | 2,3  | 2,9     | 3,8      | -3,7 | -2,8   | 3      | 3,9    |
| 14  | -0,1 | 2,3  | 2,9     | 3,8      | -3,9 | -3     | 2,8    | 3,7    |

|    |     |     |     |     |      |      |     |     |
|----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|
| 15 | 1   | 2,1 | 2,7 | 3,5 | -2,5 | -1,7 | 3,7 | 4,5 |
| 16 | 1,1 | 2,2 | 2,8 | 3,6 | -2,5 | -1,7 | 3,9 | 4,7 |
| 17 | 0,1 | 2,6 | 3,3 | 4,3 | -4,2 | -3,2 | 3,4 | 4,4 |
| 18 | 0,1 | 2,6 | 3,3 | 4,3 | -4,2 | -3,2 | 3,4 | 4,4 |

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
|  | Starker Valgus (< 5. Perzentile) |
|  | Valgus (< 10. Perzentile)        |
|  | Norm (10. bis 90. Perzentile)    |
|  | Varus (> 90. Perzentile)         |
|  | Starker Varus (> 95. Perzentile) |

Sabharwal et al. (2009) geben an, dass bei Erwachsenen ein Mittelwert von  $1,2 \pm 2,3^\circ$  der Norm entspricht. Bei Kindern im Alter von ein bis zwei Jahren betrug der mittlere HKA-Winkel  $3,6^\circ$  (varus) und im Alter von zwei bis drei Jahren  $2,5^\circ$  (valgus). Nach dem 7. Lebensjahr passte sich der mittlere HKA-Winkel im Wesentlichen der Norm der Erwachsenen an (s. Tab. 3). (37)

Die Analyse von Volllängen-Röntgenaufnahmen im Stehen der unteren Extremität zeigte bei Salenius und Vankka et al. (1975), dass sich der HKA-Winkel mit fortschreitendem Alter bei Kindern bis zum Alter von 7 Jahren verändert. Die Tendenz zu Genua vara, die bei Kindern unter zwei Jahren beobachtet wurde, ging bei Kindern, die ein Jahr älter waren, in ein Genu valgum über. Auf der Grundlage einer Untersuchung von Knie-Röntgenaufnahmen bei skandinavischen Kindern zeigten Salenius und Vankka et al. (1975) graphisch Referenzwerte für den anatomischen Oberschenkel-Schienbein-Winkel (s. Abb. 7). (38)

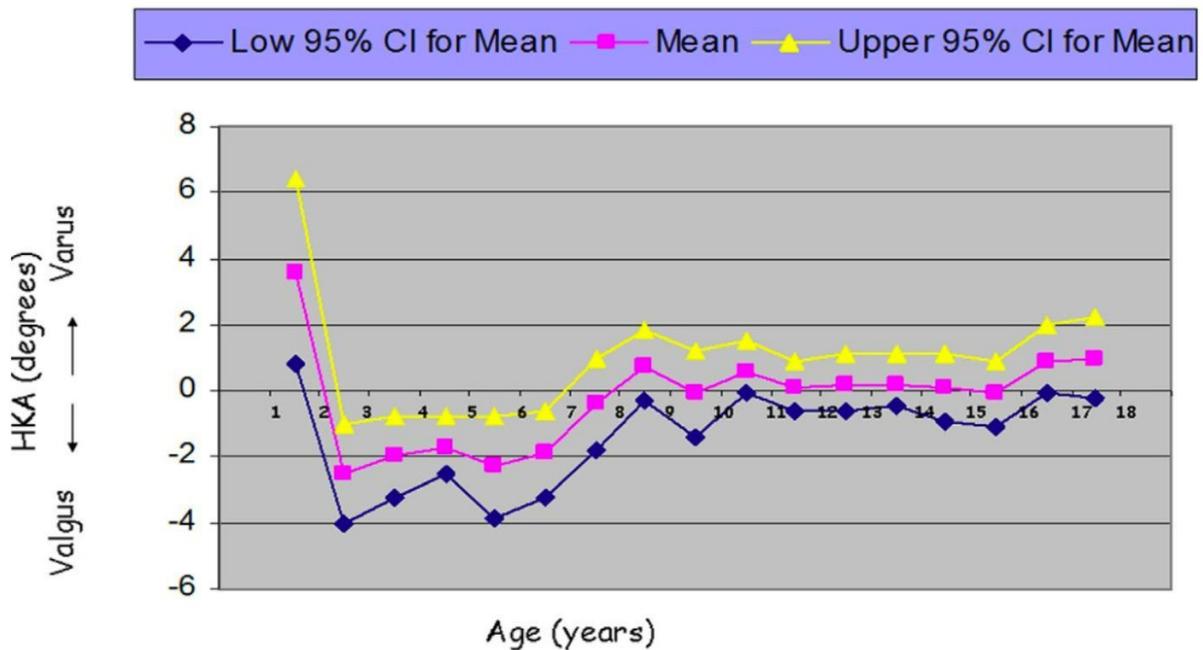


Abbildung 7: Graphische Darstellung der Referenzwerte (Mittelwert und 95 %-Konfidenzintervall) für die HKA-Winkel, gemessen an Ganzkörper-Röntgenaufnahmen im Stehen von 253 Kindern im Alter von eins bis 18 Jahren [Salenius et al. (1975)] (38)

### 3.5. Statistische Auswertung

Die erfassten Daten aus Fragebögen und klinischen Messungen wurden in Microsoft Excel gesammelt und ausgewertet. Für die Teilnehmer wurden Mittelwerte (mean) und Standardabweichungen (SD) ermittelt. Für die Berechnungen und die Erstellung der Graphen wurden die Programme von Microsoft Excel® und IBM SPSS® Statistics 27.0 verwendet. Das statistische Signifikanzniveau wurde auf 5 % festgelegt (p-Wert von 0,05). Um Unterschiede zwischen Mittelwerten zweier Gruppen mit unabhängigen Stichproben festzustellen, wurde zweiseitige t-Tests durchgeführt.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Anthropometrische Daten der Gesamtpopulation

Folgender Abschnitt befasst sich mit der Auswertung der Gesamtpopulation, welche sowohl 207 männliche und 27 weibliche Fußballspieler sowie 28 männliche und 16 Handballspieler beinhaltet. Das durchschnittliche Alter der 281 Probanden lag bei 12,9 Jahren  $\pm$  2,6 Jahren und einer durchschnittlichen Körpergröße von 161,2 cm  $\pm$  16,1 cm. Bei 241 (86,4 %) Probanden und Probandinnen wurden BMI-Werte innerhalb der Norm bestimmt. 11 (3,9 %) Teilnehmer waren untergewichtig und 4 (1,4 %) Probanden hatten ein starkes Untergewicht, von welchen alle männlich waren. Bei 9 (3,2 %) Probandinnen zeigte sich anhand des BMI-Wertes eine Adipositas. 16 (5,7 %) Mädchen und ein Junge (0,4 %) waren übergewichtig, was vor allem in den Altersstufen 7-13 Jahre zu sehen war.

Tabelle 4: Anthropometrische Daten der Studienpopulation. cm: Zentimeter; kg: Kilogramm; m: Meter; n: Anzahl; SD: Standardabweichung; min: Minimum; max: Maximum.

|                                  | <b>Studienpopulation<br/>gesamt</b><br>n= 281<br>mean $\pm$ SD (min;<br>max) | <b>männlich</b><br>n= 238<br>mean $\pm$ SD (min;<br>max) | <b>weiblich</b><br>n= 43<br>mean $\pm$ SD (min;<br>max) |
|----------------------------------|--|--|---|
| <b>Alter (in Jahren)</b>         | 12,9 $\pm$ 2,6 (7; 18)   | 12,9 $\pm$ 2,7 (7; 18)                                   | 13,2 $\pm$ 2,0 (8; 16)                                  |
| <b>Größe (in cm)</b>             | 161,2 $\pm$ 16,1 (124;<br>202)   | 161,4 $\pm$ 16,7 (124;<br>202)                           | 160,5 $\pm$ 11,8 (129;<br>178)                          |
| <b>Gewicht (in kg)</b>           | 51,9 $\pm$ 15,3 (21,9;<br>97,4)  | 51,7 $\pm$ 15,8 (21,9;<br>97,4)                          | 53,1 $\pm$ 10,7 (28,2;<br>86,4)                         |
| <b>BMI (in kg/m<sup>2</sup>)</b> | 19,5 $\pm$ 3,0 (12,1;<br>30,3)   | 19,4 $\pm$ 2,9 (12,1;<br>27)                             | 20,4 $\pm$ 3,0 (16;<br>30,3)                            |

#### 4.1.1. ICD und IMD

Es wurde ein ICD/IMD-Gesamtmittelwert von  $-5,2 \text{ mm} \pm 31,6 \text{ mm}$  mit einer Range von  $-135\text{-}35 \text{ mm}$  gemessen.

Nach der Einteilung in die verschiedenen Schweregrade konnten 179 (63,7%) Probanden in das normgerechte Level null eingeordnet werden. 29 (10,3%) Probanden wurden in das GVR I ( $3 \text{ cm} \leq \text{ICD} < 5 \text{ cm}$ ) eingeteilt. Das GVR II ( $5 \text{ cm} \leq \text{ICD} < 10 \text{ cm}$ ) wurde nur bei einem Jungen (0,3 %) festgestellt und das GVR III ( $10 \text{ cm} \leq \text{ICD} < 15 \text{ cm}$ ) war nicht anzutreffen.

34 (12,1 %) Probanden konnten in das GVL I ( $4 \text{ cm} \leq \text{IMD} \leq 8 \text{ cm}$ ) eingeordnet werden. Das GVL II ( $8 \text{ cm} \leq \text{IMD} < 12 \text{ cm}$ ) wurde bei 5 (1,8 %) Teilnehmer und Teilnehmerinnen festgestellt. Ein Junge (0,3 %) konnte dem GVL III ( $12 \text{ cm} \leq \text{IMD} \leq 15 \text{ cm}$ ) zugeteilt werden (s. Abb. 8).

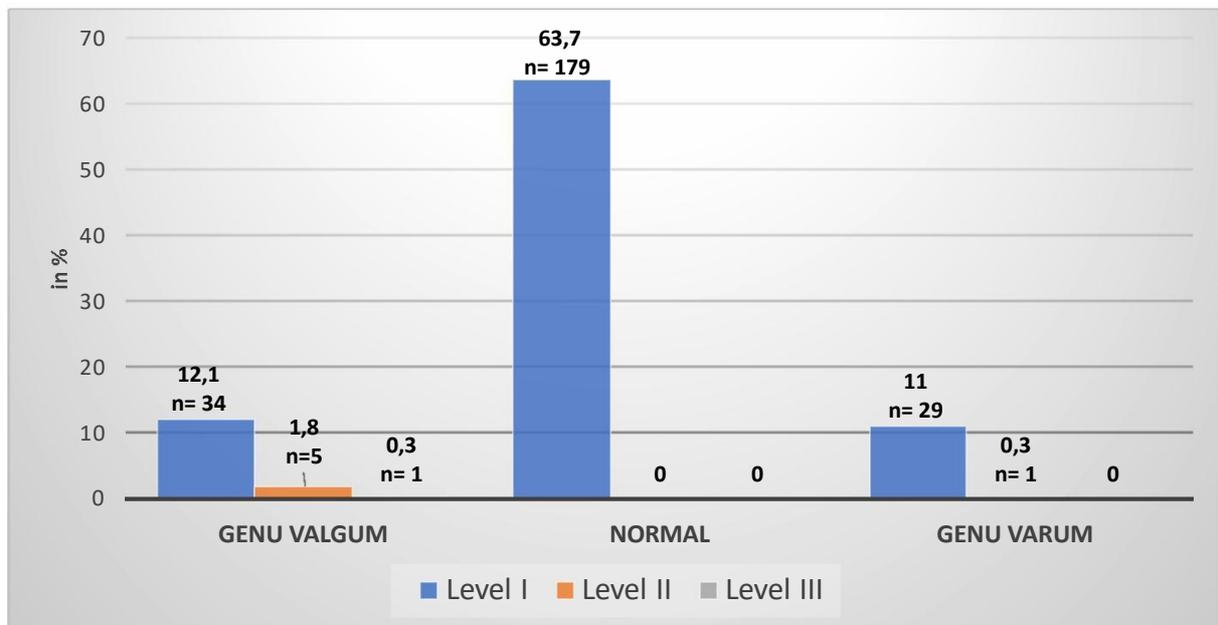


Abbildung 8: Einteilung der Probanden (in %) in die Schweregrade nach Shohat et al. (2018) (35)

Abbildung 9 zeigt eine Übersicht über die ICD/IMD-Gesamtwerte in den verschiedenen Altersstufen mit einer Progression der Mittelwerte mit zunehmendem Alter.

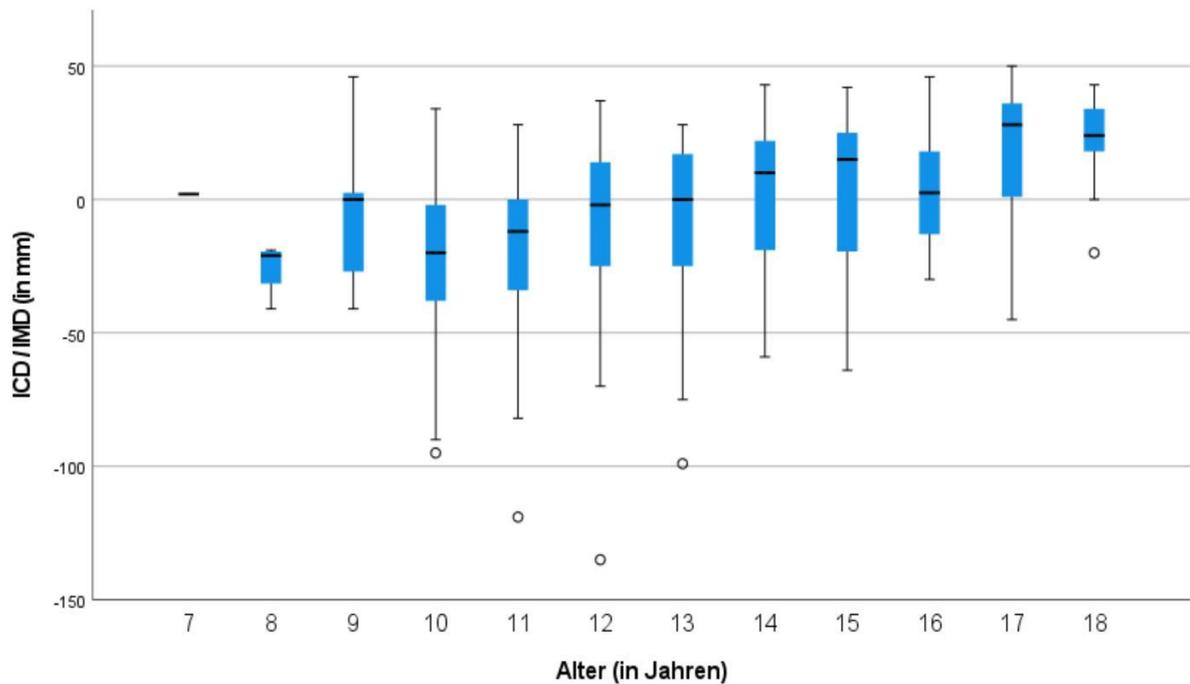


Abbildung 9: Übersicht über die Gesamtdurchschnittswerte ICD/IMD in mm in den verschiedenen Altersgruppen der Studienpopulation. Die Kreise in der Abbildung zeigen Ausreißer. Dies sind Werte, die außerhalb des ersten und dritten Interquartilsabstandes liegen.

Abbildung 10 stellt die Verteilung von Genu valgum und varum in der Gesamtpopulation dar. Während im 7. bis 13. Lebensalter mehr valgische als varische Achsabweichungen zu finden waren, stieg der Anteil von Genu varum ab dem Alter von 14 Jahren stärker an. Die höchste Prävalenz von Genu valgum ist in der Altersstufe 11 zu sehen mit 23,3 %. Die höchste Prävalenz eines Genu varum hingegen in der Altersstufe 17 mit 46,7 %.

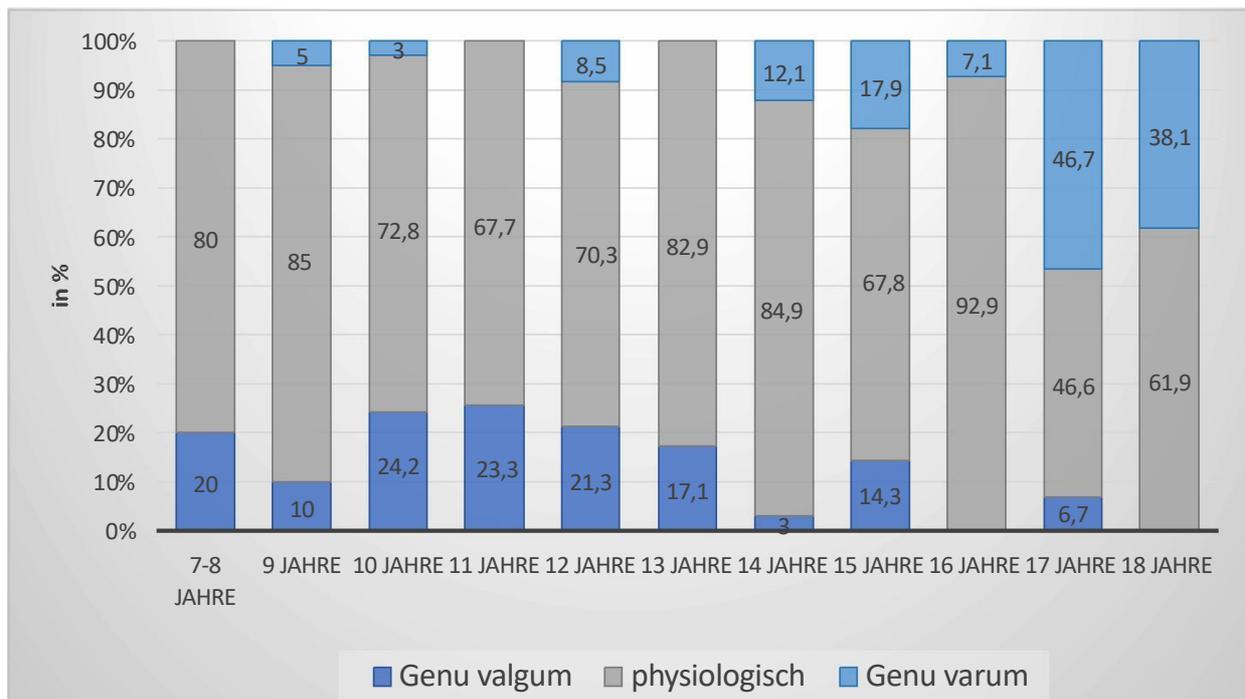
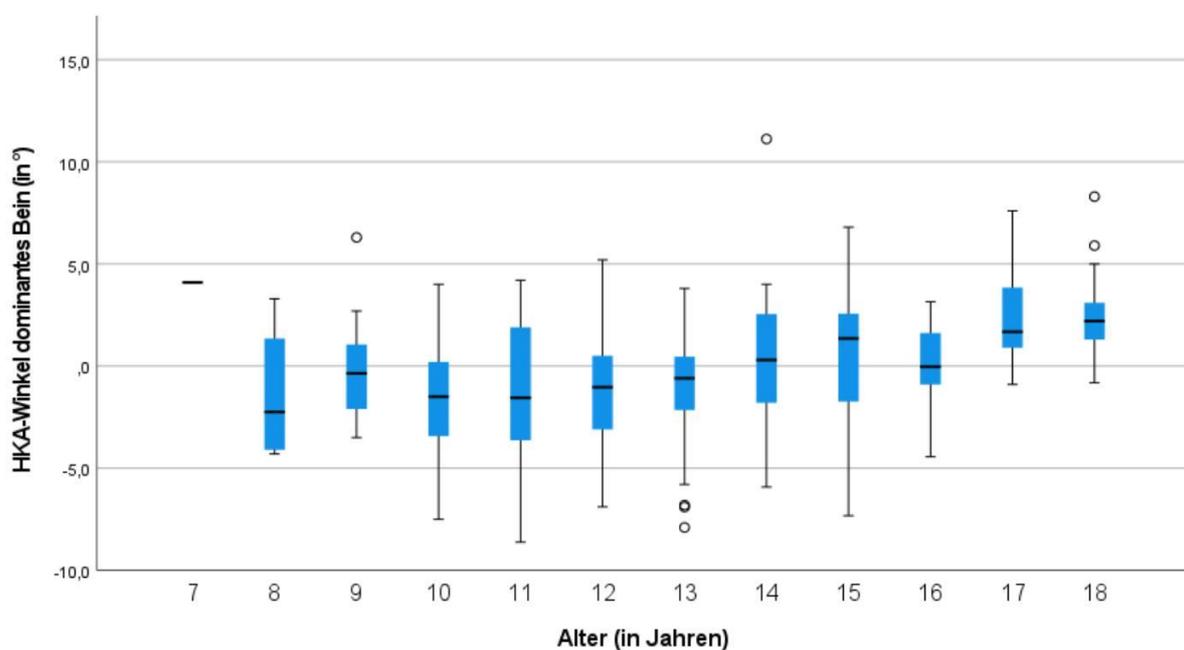


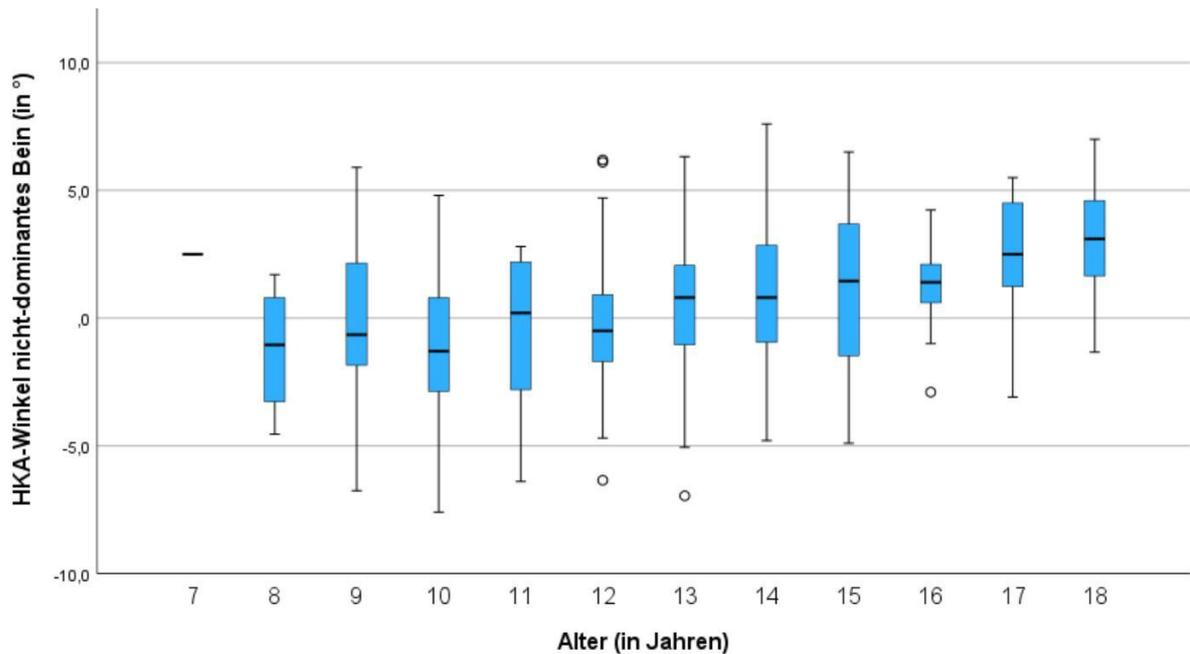
Abbildung 10: Anteil der Beinachsen-Stellungen (Genu valgum, physiologisch und Genu varum) an der Gesamtpopulation in den verschiedenen Altersgruppen (in %).

#### 4.1.2. Beinachsenmessung anhand des HKA-Winkels

Auch hier sollen die diversen Altersgruppen hinsichtlich des HKA-Winkels genauer betrachtet werden. Dies erfolgte, wie bereits erwähnt, in Anlehnung an die Ausführungen von Sabharwal et al. (2009). (37)

Ab dem 13. Lebensjahr war der Mittelwert und somit varische Deviationen dargelegt, der Mittelwert befindet sich allerdings im physiologischen Bereich.





Abbildungen 11 und 12: HKA-Mittelwerte dominant und nicht dominant (in Grad mit Standardabweichung) in den Altersgruppen der Gesamtpopulation.

Zu einem Anstieg der Mittelwerte kam es bei der Gruppe der 17-Jährigen. Diese Zunahme setzt sich im Alter von 18 Jahren nochmals fort. Die Neigung der Mittelwerte hin zum Positiven ab dem Alter von 17 Jahren stimmt mit den Auswertungen des Verhältnisses IMD zu ICD überein (s. Abb. 11 und 12).

Die Abbildung 13 demonstriert die Verteilungen der Deviationen anhand der HKA-Werte des dominanten und nicht dominanten Beins. Die Abweichungen der Beinachsen waren hierbei bei dominantem und nicht-dominantem Bein nicht signifikant ( $p= 0,43$ ) Auffälligkeiten gab es einerseits beim dominanten Bein mit häufiger auftretendem „starken Valgus“ (14,7 % vs. 10,4 %) und andererseits beim nicht-dominanten Bein mit sich häufiger zeigendem „starken Varus“ (11,8 % vs. 5,8 %). Das Ergebnis war nicht signifikant ( $p= 0,61$ ).

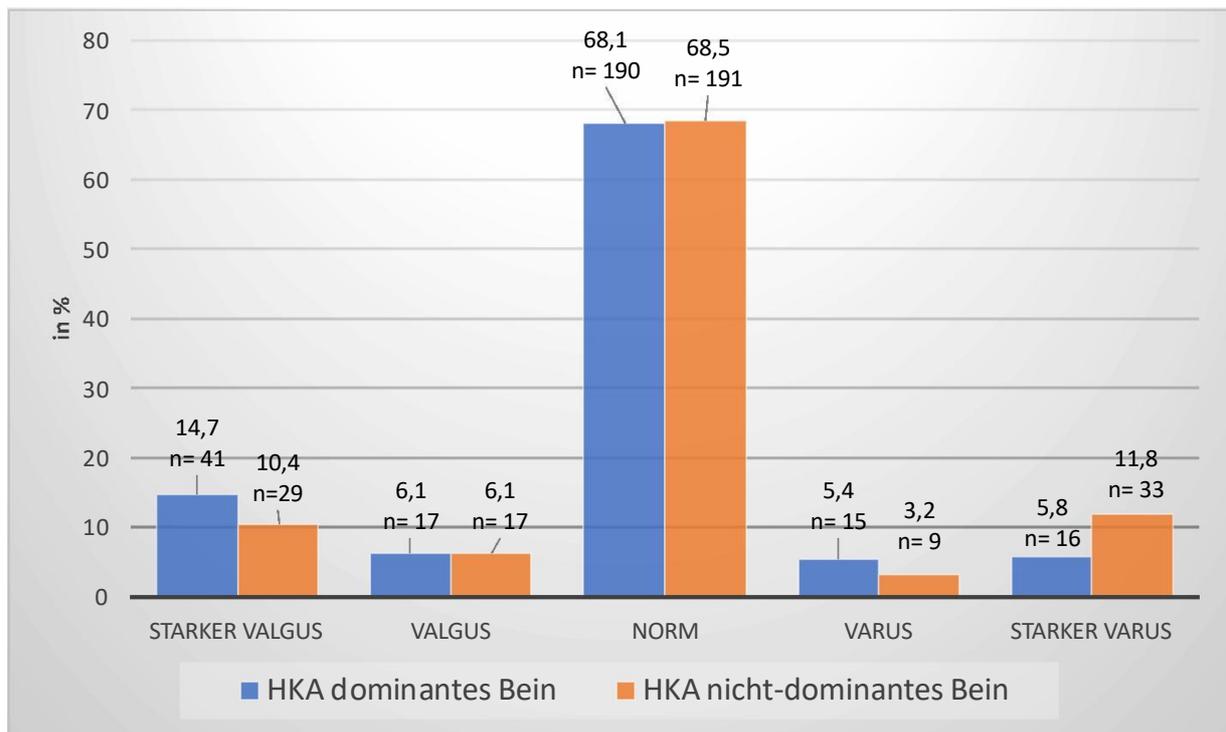


Abbildung 13: Verteilung der Deviationen anhand der HKA-Mittelwerte dominantes und nicht-dominantes Bein (in %).

## 4.2. Vergleich der Populationen der Fußballspieler und Handballspieler

### 4.2.1. Anthropometrische Daten

Die Handballspieler (M= 167,7 cm; SD= 15,78 cm) waren signifikant ( $p= 0,004$ ) größer als die Fußballspieler (M= 160,1 cm; SD= 15,98 cm). Des Weiteren waren die Handballspieler (M= 59,7 kg; SD= 14,8 kg) signifikant ( $p < 0,001$ ) schwerer als die Fußballspieler (M= 50,7 kg; SD= 15,2 kg). Bei den Handballspielern (M= 20,91 kg/m<sup>2</sup>; SD= 2,76 kg/m<sup>2</sup>) zeigte sich ein signifikant ( $p= 0,001$ ) größerer BMI als bei den Fußballspielern (M=19,28 kg/m<sup>2</sup>; SD= 3,0 kg/m<sup>2</sup>). 197 Fußballspieler (84,9 %) und 37 Handballspieler (84,1 %) wurden in den BMI-Normbereich eingeteilt. 12 Fußballspieler (5,2 %) und 5 Handballspieler (11,4 %) waren übergewichtig. 8 Fußballspieler (3,4 %) und eine Handballspielerin (2,3 %) hatten Adipositas.

Tabelle 5: Anthropometrische Daten der Fuß- und Handballer. cm: Zentimeter; kg: Kilogramm; m: Meter; n: Anzahl; SD: Standardabweichung; min: Minimum; max: Maximum; a: in Jahren.

|                                  | <b>Fußball</b><br>n= 234<br>mean ± SD (min;<br>max) | <b>Handball</b><br>n= 44<br>mean ± SD (min;<br>max) |
|----------------------------------|---|---|
| <b>Alter (in Jahren)</b>         | 12,9 ± 2,7 (7; 18)                                  | 13,4 ± 2,2 (8; 18)                                  |
| <b>Geschlecht (n)</b>            | Männlich: 207<br>Weiblich: 27                       | Männlich: 28<br>Weiblich: 16                        |
| <b>Größe (in cm)</b>             | 160,1 ± 15,9 (124;<br>197)                          | 167,7 ± 15,6 (138;<br>202)                          |
| <b>Gewicht (in kg)</b>           | 50,7 ± 15,1 (21,9;<br>97,4)                         | 61,1 ± 13,6 (35,1;<br>92,5)                         |
| <b>BMI (in kg/m<sup>2</sup>)</b> | 19,3 ± 3 (13,7; 27)                                 | 20,9 ± 2,7 (16; 30,3)                               |

Die Fußballspieler (M= 12,9 a; SD= 2,7 a) waren im Durchschnitt jünger als die Handballspieler (M= 13,4 a; SD= 2,3 a), jedoch nicht signifikant (p= 0,202).

#### 4.2.2. Vergleich der Beinachsen von Jugendfußballspielern und -handballspielern

##### 4.2.2.1. Vergleich der Beinachsenmessungen anhand des ICD/IMD

Die Fußballspieler (M= -4,4 mm; SD= 31,8 mm) wiesen einen höheren ICD/IMD-Wert als die Handballspieler (M= -10,2 mm; SD= 32,0 mm) auf.

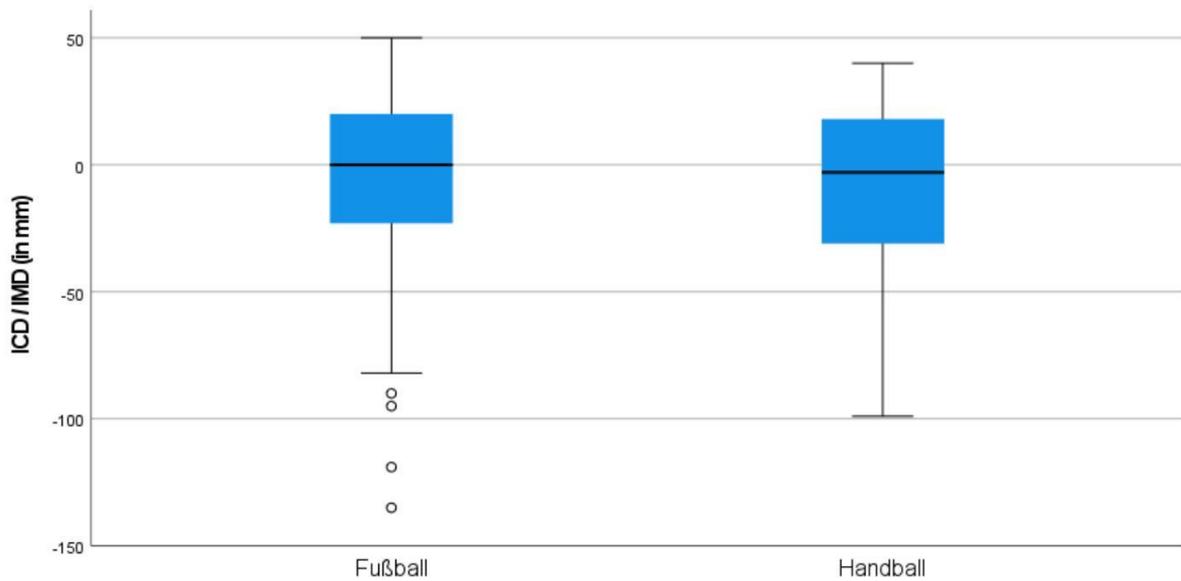


Abbildung 14: Vergleich des ICD/IMD-Gesamtwertes der Fuß- und Handballspieler.

Abbildungen 15 und 16 zeigen die Einordnung der verschiedenen Beinachsen bei den Fuß- und Handballspielern. Demnach wurden bei 177 Fußballer (75,6 %) und 33 Handballspielern (75,0 %) physiologische Beinachsen gemessen. Der Anteil an Genua valga war bei den Handballspielern (20,5 %) höher als bei den Fußballspielern (12,3 %). Die varischen Beinachsen waren hingegen bei den Fußballspielern (11,9 %) vermehrt anzutreffen. Bei den Handballspielern lag die Prävalenz eines Genu varum bei 4,6 %.

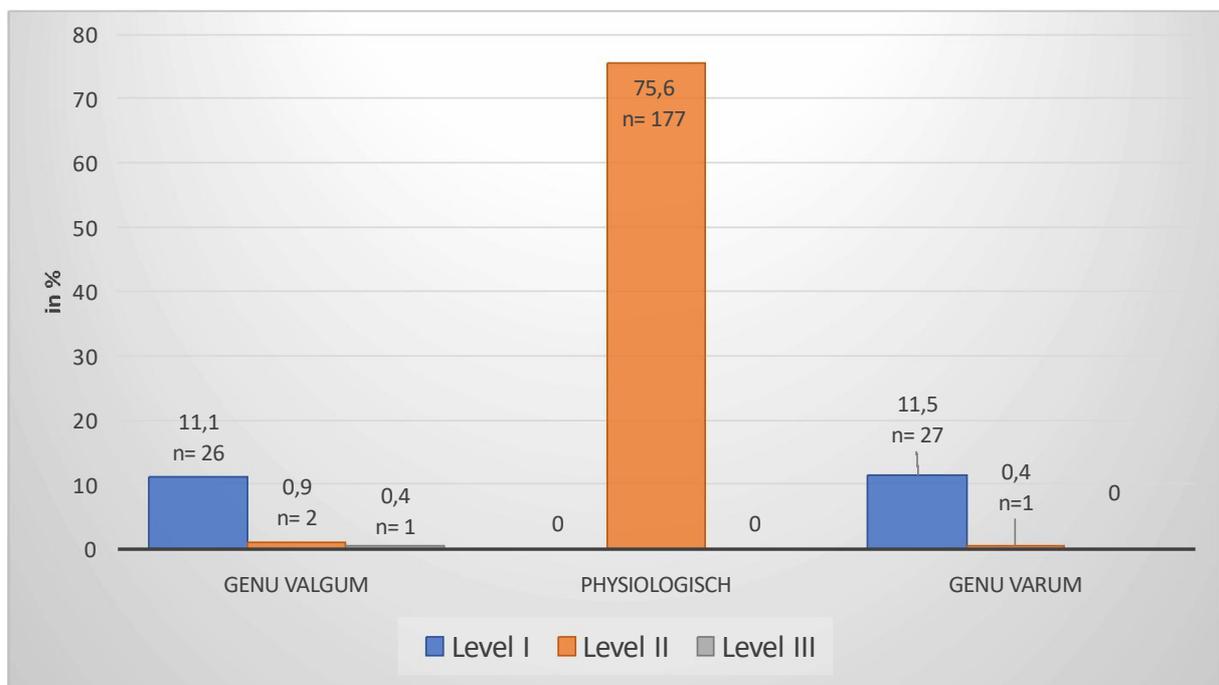


Abbildung 15: Einteilung in die Schweregrade nach Shohat (in %) anhand ICD/IMD bei den Fußballspielern.

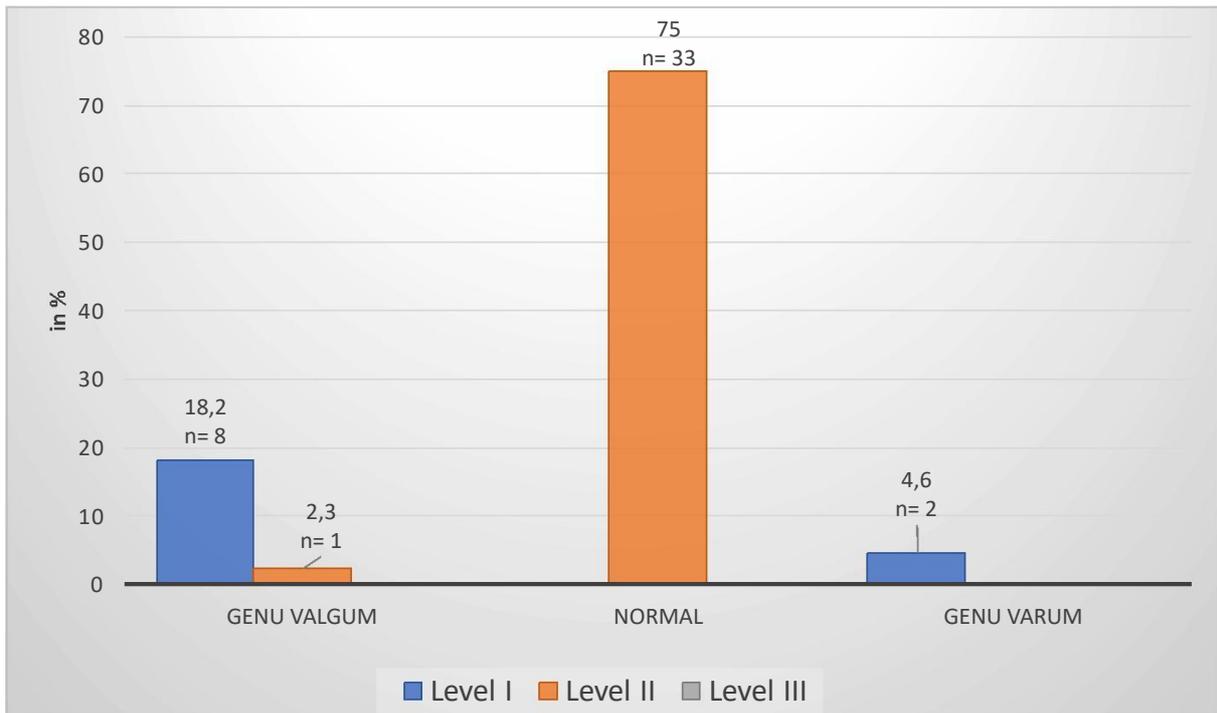


Abbildung 16: Einteilung in die Schweregrade nach Shohat (in %) anhand ICD/IMD bei den Handballspielern.

Abbildung 17 stellt eine Gegenüberstellung der Fuß- und Handballspieler hinsichtlich der ICD/IMD-Gesamtwerte dar. Ersichtlich wird, dass im Alter von 13 Jahren die Mittelwerte im Fußball positiv (varisch) werden und im Handball erst bei den 16-Jährigen.

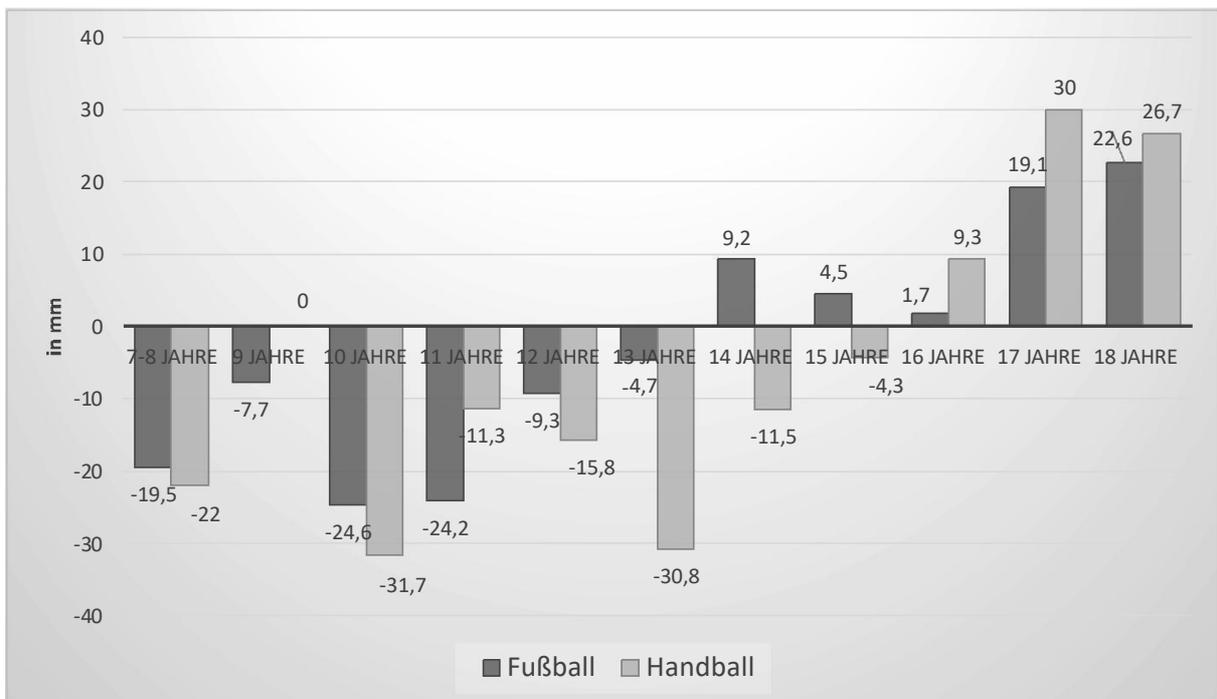


Abbildung 17: Übersicht über die ICD/IMD-Gesamtmittelwerte (in mm) in den verschiedenen Altersgruppen der Fuß- und Handballspieler.

Die Abbildungen 18 und 19 demonstrieren die Beinachsen-Verhältnisse in den jeweiligen Altersgruppen. Bei den Handballspielern (77,5 %) und Fußballspielern (78,1 %) wird deutlich, dass physiologische Beinachsen über die Altersgruppen 8-16 Jahren dominanter auftreten. Erst im Alter von 17-18 Jahren sind sowohl im Handball (50,0 % vs. 50,0 %) als auch im Fußball (62,5 % vs. 37,5 %) neben physiologischen auch die varischen Beinachsen häufiger vorhanden.

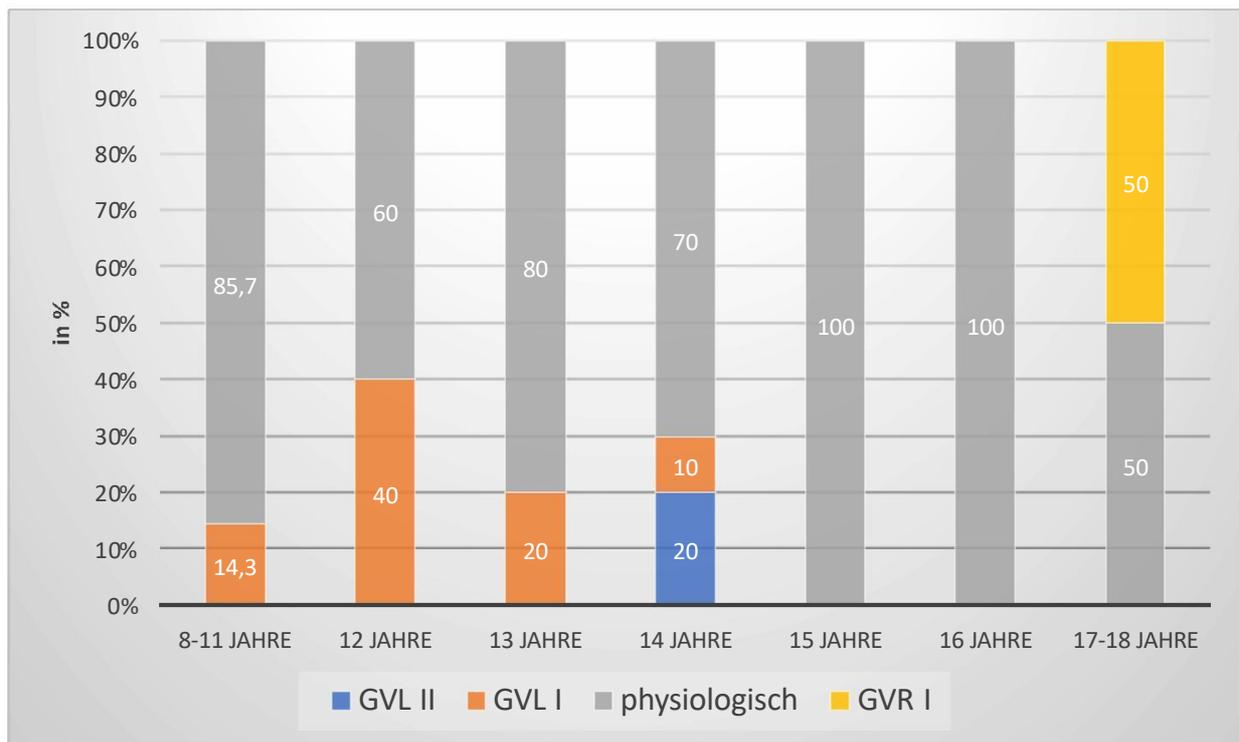


Abbildung 18: Verteilung von Genu varum und Genu valgum bei den Handballspielern anhand der ICD/IMD-Mittelwerte in den Altersgruppen 8-18 Jahre (in %).

Im Gegensatz zu den Handballspielern vergrößern sich bei den Fußballspielern die Anteile an varischen Beinachsen bereits im Alter von 14 Jahren und nehmen vor allem im 17. und 18. Lebensjahr deutlicher zu.

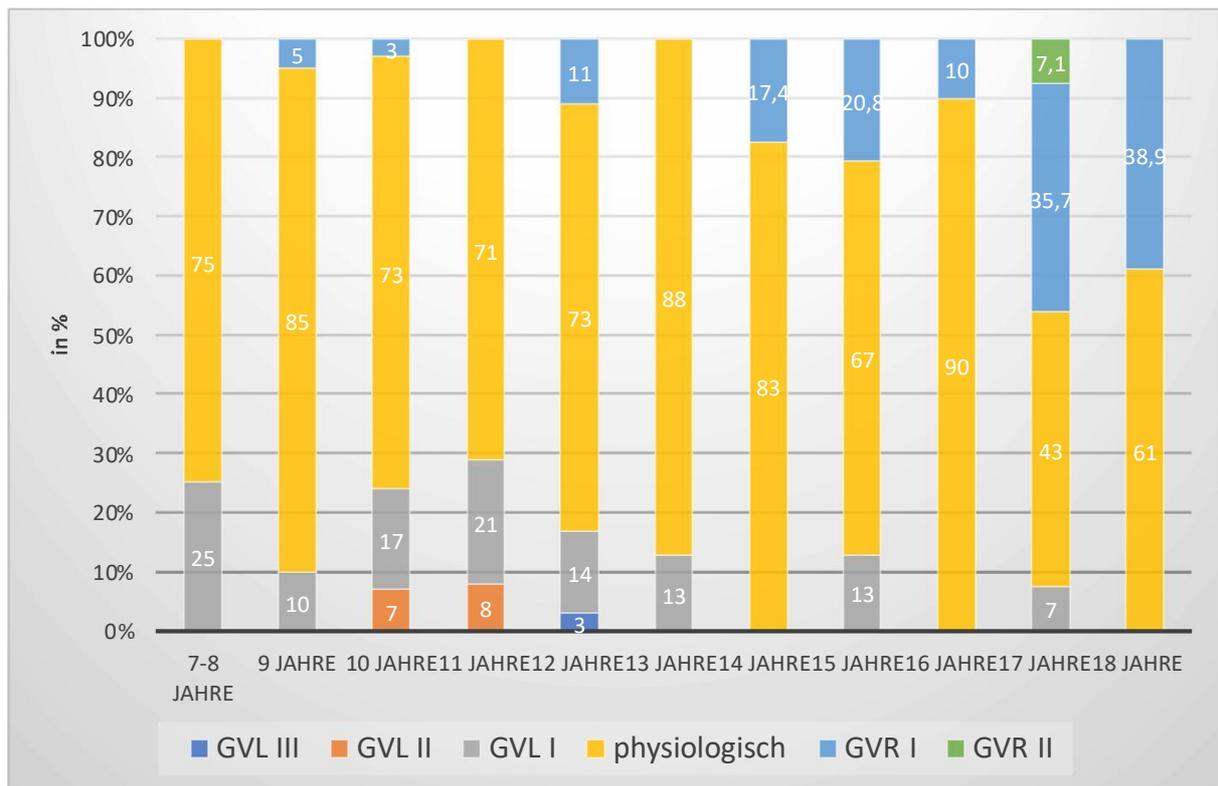


Abbildung 19: Verteilung von Genu varum und Genu valgum bei den Fußballspielern anhand der ICD/IMD-Mittelwerte in den Altersgruppen 8-18 Jahre (in %).

#### 4.2.2.2. Vergleich der Beinachsenmessung anhand des HKA-Winkels

Der HKA-Winkel beim dominanten Bein wies bei den Fußballspielern ( $M = -0,19^\circ$ ;  $SD = 3,1^\circ$ ) einen höheren Wert als bei den Handballspielern ( $M = -0,45^\circ$ ;  $SD = 3,1^\circ$ ) auf, dieser war aber nicht signifikant ( $p = 0,703$ ) größer.

Der HKA-Winkel beim nicht-dominanten Bein betrug bei den Fußballspielern ( $M = 0,43^\circ$ ;  $SD = 3,0^\circ$ ) einen geringeren Wert als bei den Handballspielern ( $M = 0,62^\circ$ ;  $SD = 3,1^\circ$ ) auf, dieser war aber nicht signifikant ( $p = 0,711$ ) geringer.

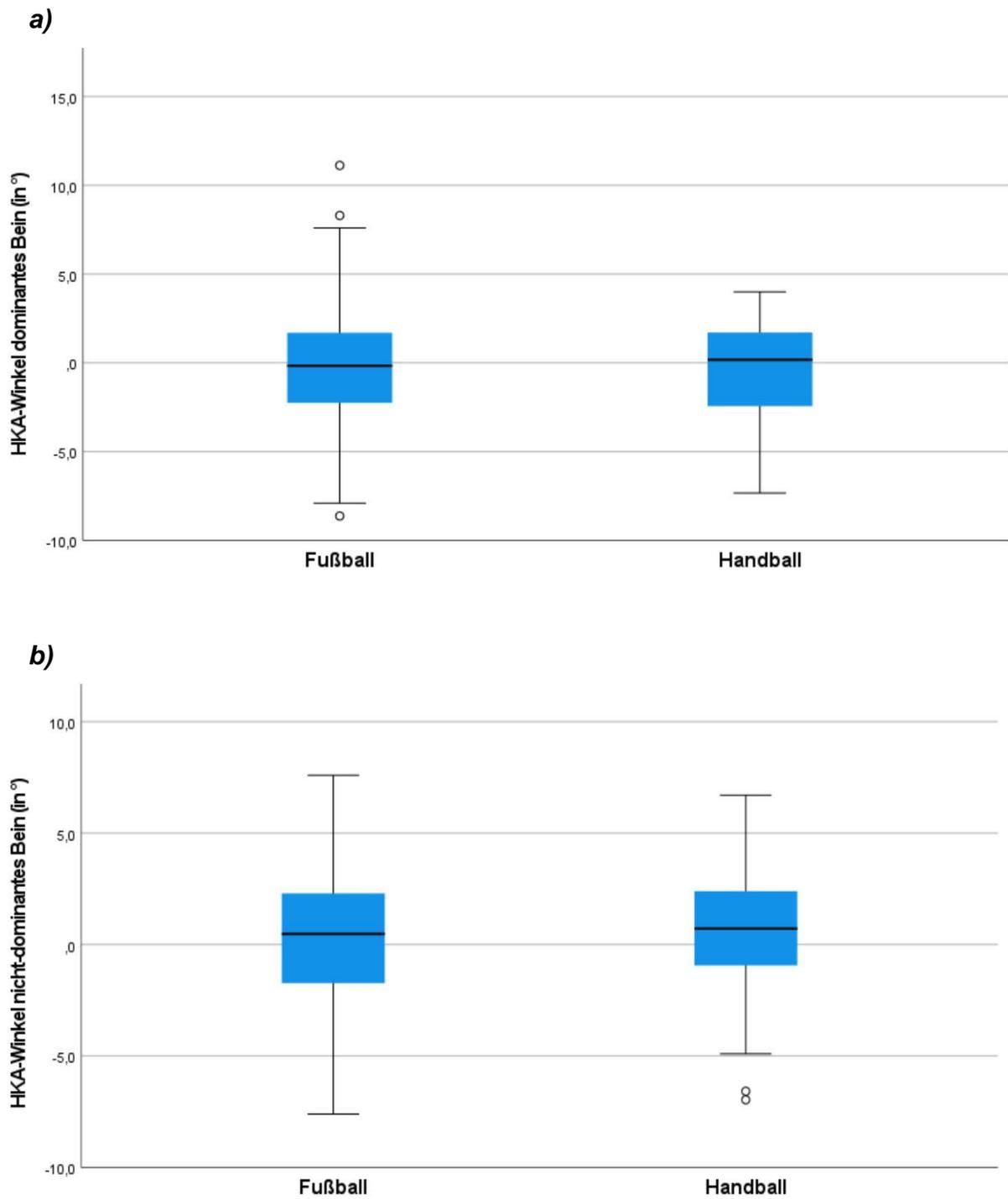


Abbildung 20: Vergleich der HKA-Mittelwerte in Abhängigkeit von dominantem und nicht-dominanten Bein im Fuß- und Handball. a) dominantes Bein, b) nicht-dominantes Bein.

Die Auswertungen zeigen im Alter von 7 bis 13 Jahren leicht negative HKA-Werte (valgisch), die sich dann ab dem 14. Lebensjahr Richtung Genu varum (positiv) verändern. Im Alter von 17 und 18 Jahre nahmen die positiven (varischen) Werte deutlicher zu (s. Abb. 17).

Die Abbildungen 21 und 22 zeigen die Verteilung innerhalb der Gruppe der Fußballspieler innerhalb der verschiedenen Altersgruppen. Auffällig bei den Fußballspielern war, dass starke valgische Beinachsen eher am dominanten Bein (13,8 %) vorhanden und starke varische (12,9 %) Beinachsen eher am nicht-dominanten Bein ausgeprägt waren. Diese Beobachtung bestätigte sich auch bei den Handballspielern (22,7 % vs. 11,4 %).

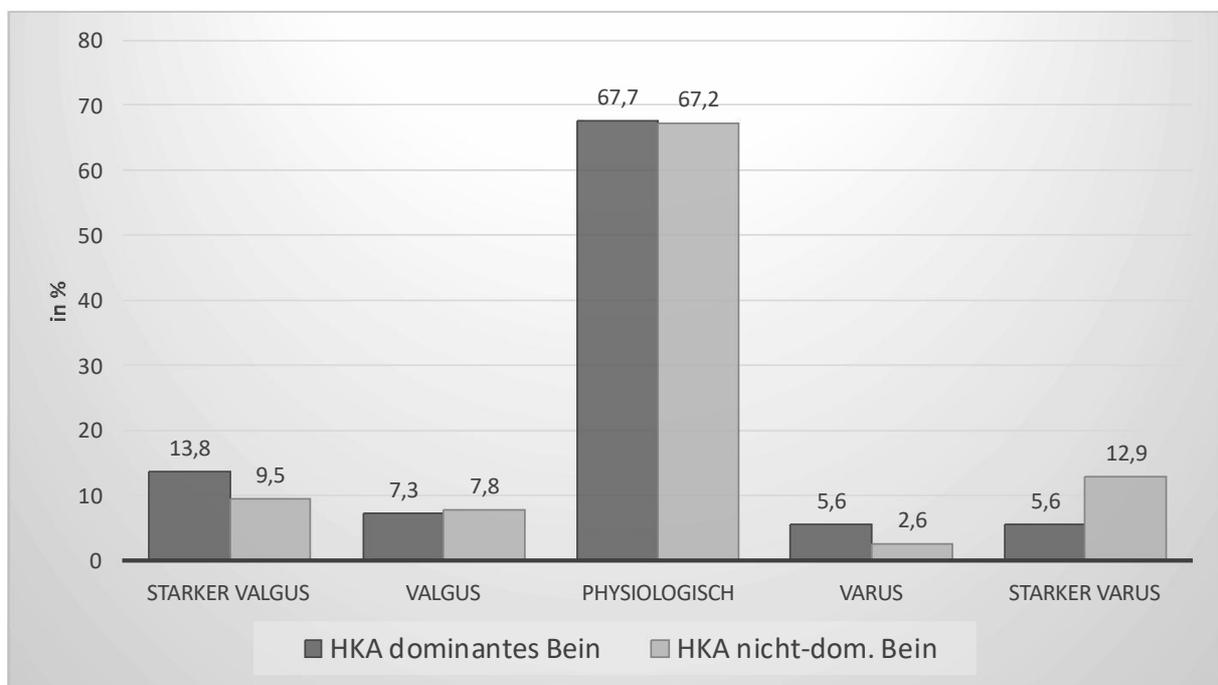


Abbildung 21: Seitengetrennte Verteilung der HKA in Subgruppen gemäß dem Grad der Abweichung der Beinachse bei den Fußballspielern (in %).

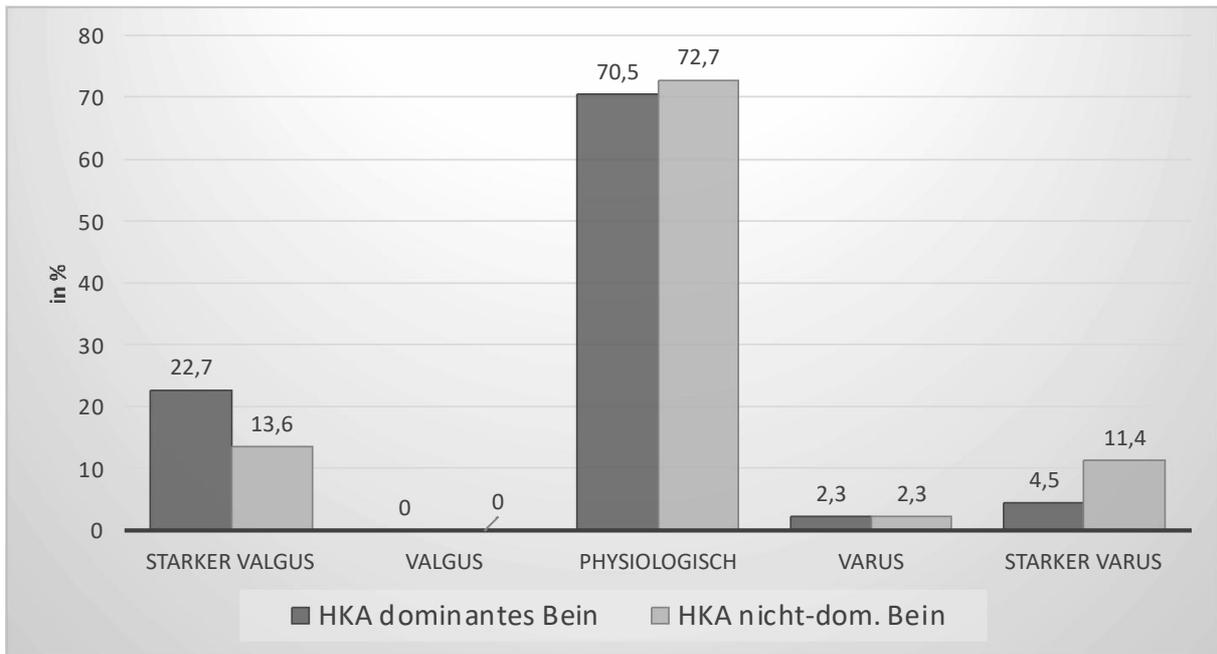


Abbildung 22: Seitengetrennte Verteilung der HKA in Subgruppen gemäß dem Grad der Abweichung der Beinachse bei den Handballspielern (in %).

Wie schon beim Vergleich des ICD/IMD (in mm) sind die starken varischen Beinachsen v.a. im Alter von 17 und 18 Jahren bei den Fußballspielern häufiger ausgeprägt (s. Abb. 23 und 24).

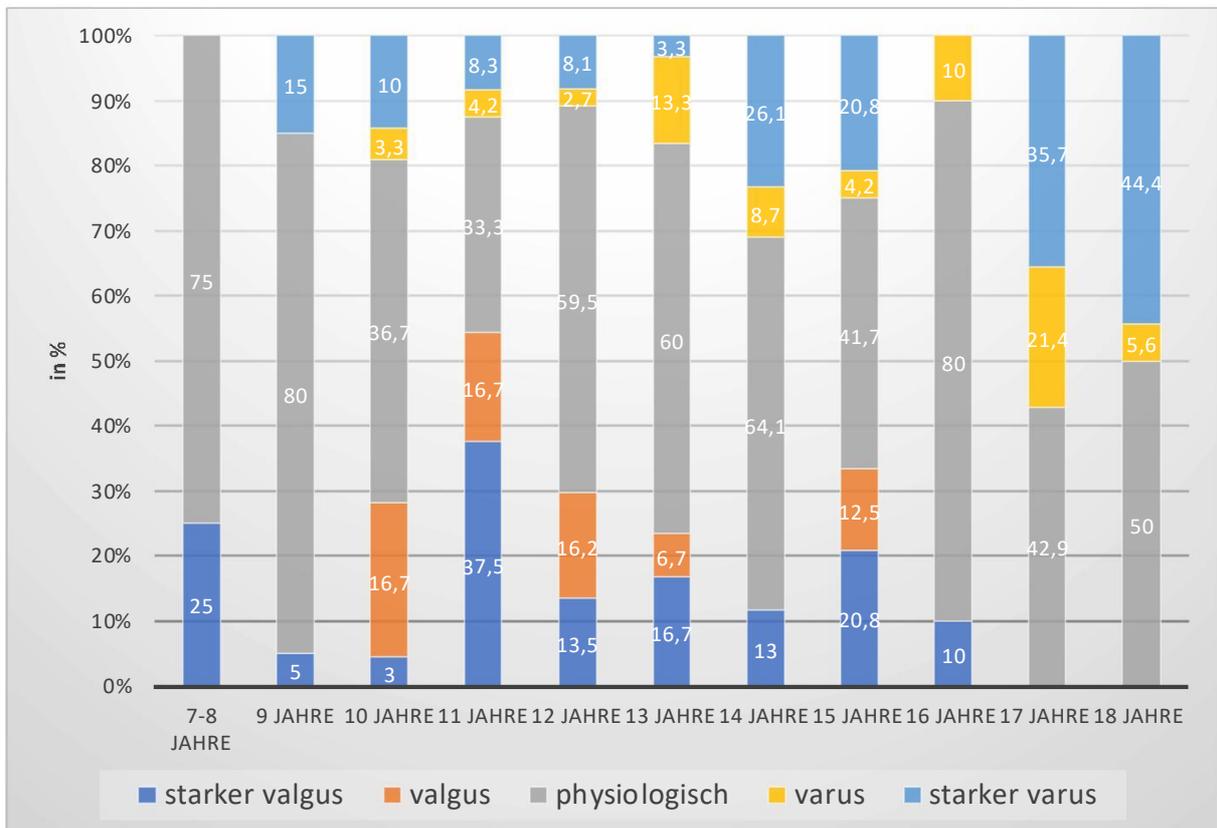


Abbildung 23: Verteilung der Beinachsen Deviationen anhand der HKA-Winkel bei den Fußballspielern (in %).

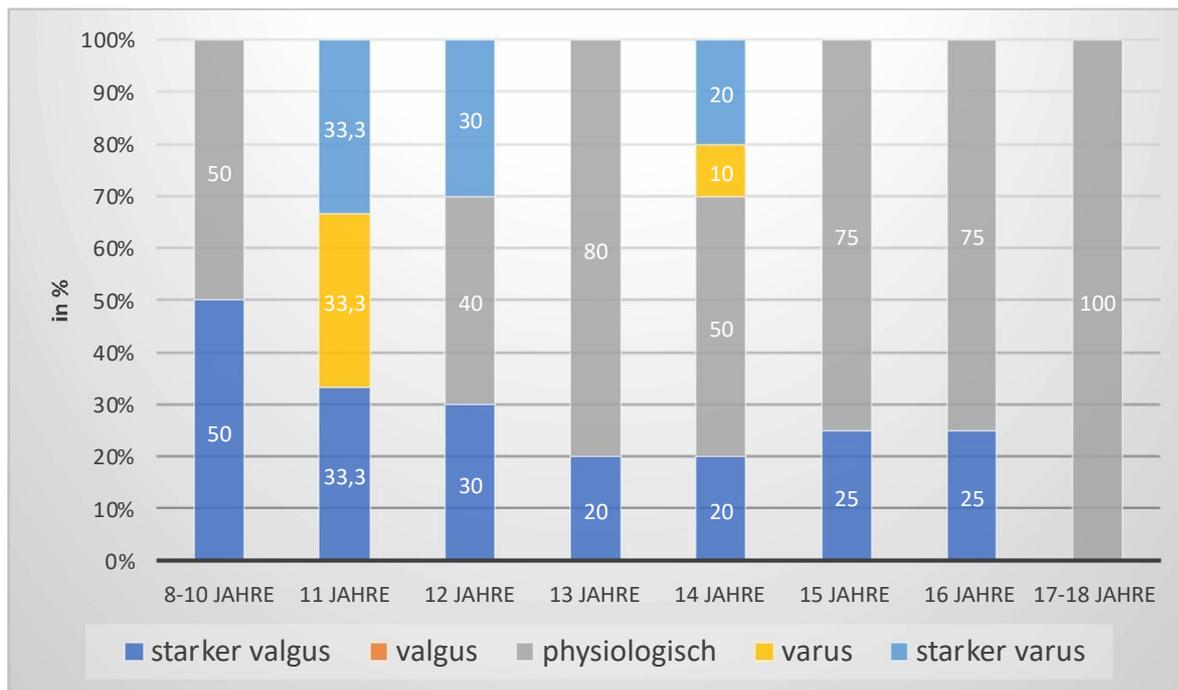


Abbildung 24: Verteilung der Beinachsen Deviationen anhand der HKA-Winkel bei den Handballspielern (in %).

#### 4.2.2.3. Zusammenhang zwischen BMI und ICD/IMD

Für eine Überprüfung des Zusammenhangs wurde der Pearsons-Korrelationskoeffizient  $r$  zwischen BMI- und ICD/IMD-Werten berechnet. Dieser ergab einen signifikant ( $p < 0,001$ ) negativen Wert ( $r = -0,256$ ). Dies zeigt, dass der ICD/IMD-Wert mit einem Anstieg des BMI absinkt bzw. je mehr valgische Beinachsen vorhanden sind, desto höher ist der BMI-Wert. Bei den untergewichtigen Fuß- und Handballspielern sind überwiegend physiologische Beinachsen vorhanden. Auch im BMI-Normbereich werden bei den Fußballern ein erhöhter Anteil an physiologischen Beinachsen und gleichermaßen varische und valgische Beinachsen festgestellt. Im Vergleich dazu nehmen bei den Handballern die varischen Beinachsen im Normbereich etwas ab und befinden sich überwiegend im physiologischen Bereich. Bei den übergewichtigen Handballspielern werden hauptsächlich Genua valga festgestellt. Dagegen ist die Verteilung bei den Fußballspielern gleichmäßiger angeordnet (s. Abb. 25 und 26).

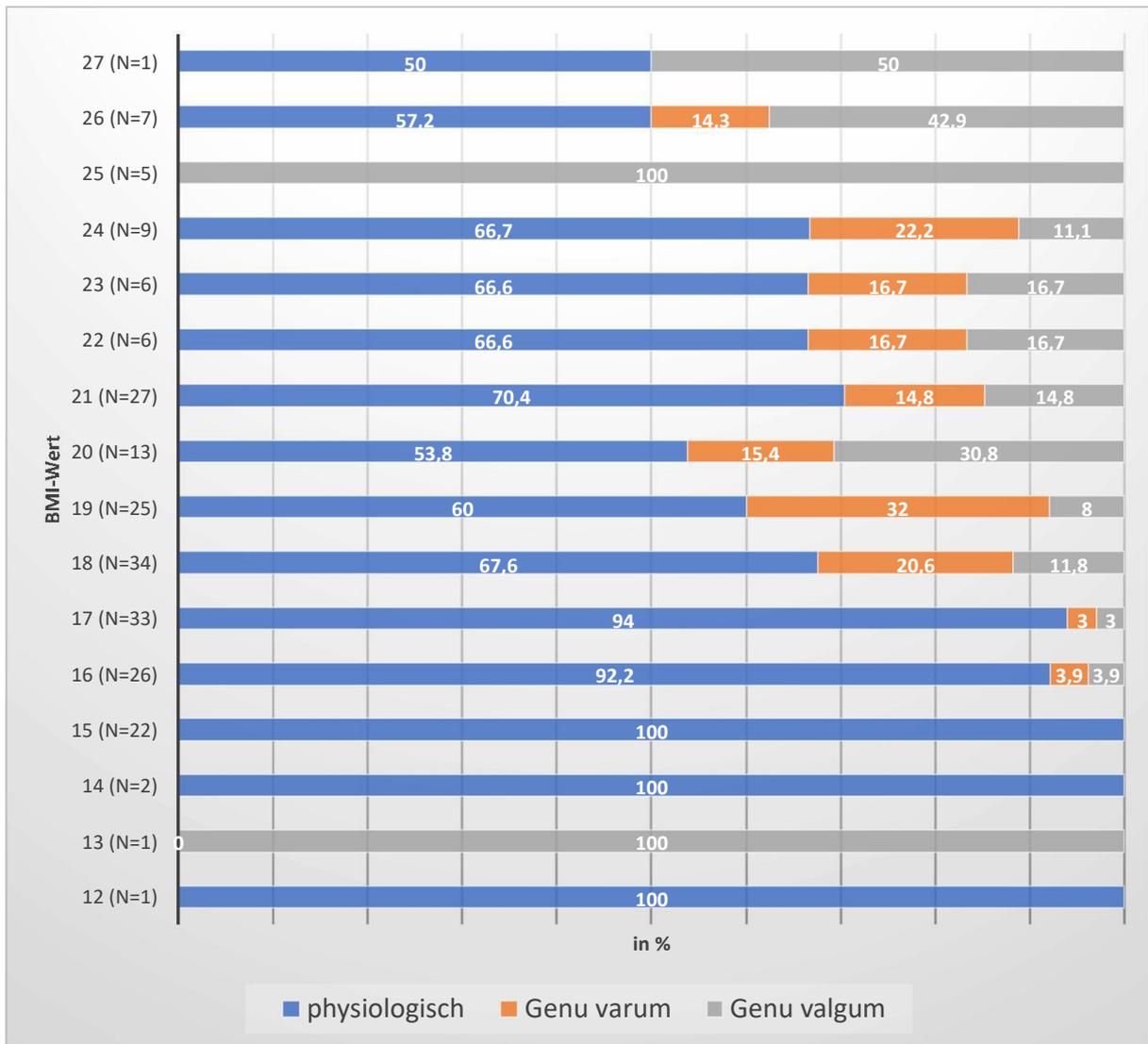


Abbildung 25: Prävalenz von Genu varum und Genu valgum stratifiziert nach BMI bei den Fußballspielern (in %).

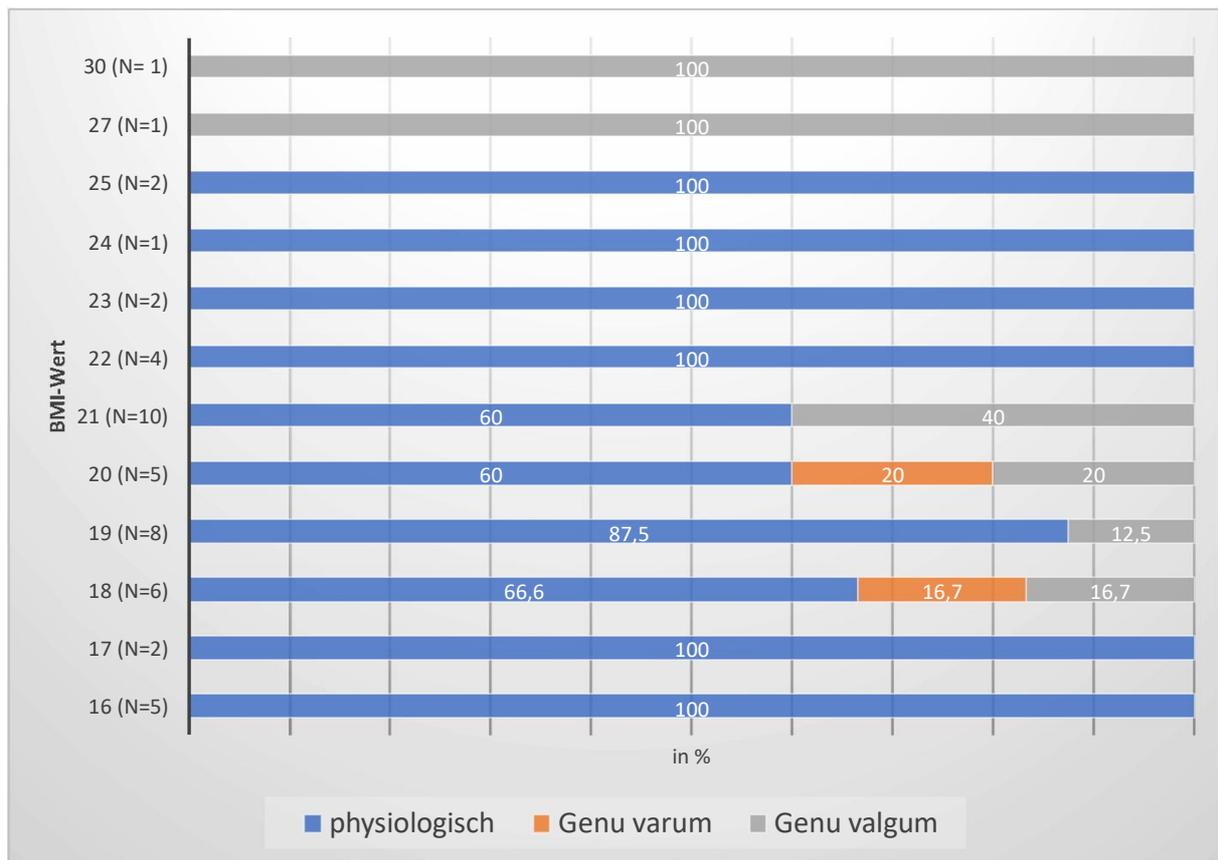


Abbildung 26: Prävalenz von Genu varum und Genu valgum stratifiziert nach BMI bei den Handballspielern (in %).

#### 4.2.2.4. Trainingsbelastung im Fußball und Handball

Es sollte ein möglicher Zusammenhang zwischen Trainings- und Wettkampfintensitäten mit der Entstehung von Genu varum anhand der verschiedenen Altersgruppen untersucht werden. Die Intensität wurde bestimmt durch die Aktivität im Verein in Jahren, die Trainingsminuten pro Woche und die Spielminuten pro Saison (s. Tab. 6).

Als Referenz diente der ICD/IMD-Wert in mm. Bei den Fußballern wurden die Teilnehmer ab dem 14. Lebensjahr genauer betrachtet, da hier erstmals der Anteil an Genu varum den valgischen Beinachsen überwogen hat.

Tabelle 6: Trainingsexposition pro Woche und Saison inklusive aktiv teilgenommener Spielzeiten in Jahren bei den Fußballspielern.

| <i>Alter</i>      | <i>aktiv seit Jahren</i> | <i>Trainingsmin./<br/>Woche</i> | <i>Spielmin. / Saison</i> |
|-------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 14                | 8,7                      | 291 min                         | 1 535 min                 |
| 15                | 9,3                      | 251 min                         | 1 423 min                 |
| 16                | 11,1                     | 280 min                         | 1 527 min                 |
| 17                | 11,1                     | 255 min                         | 1 155 min                 |
| 18                | 11,4                     | 218 min                         | 1 656 min                 |
| <b>Mittelwert</b> | <b>10,1</b>              | <b>258 min</b>                  | <b>1 482 min</b>          |

Gemessen an der durchschnittlichen Trainingszeit von 258 min/Woche, wurden die Fußballer in eine mittlere Belastung eingestuft. Auch die Handballer hatten mit 262 min/Woche eine mittlere Belastung. Die Aktivität in den Vereinen und Spielminuten pro Saison waren bei den Fußballern deutlicher erhöht (s. Tab. 4 und 5). Die Spiele pro Saison waren bei 14-18 Jahre alten Handballern (M= 16,4; SD= 6,2) signifikant weniger ( $p= 0,044$ ) als bei den Fußballern (M= 20,3; SD= 8,8).

Tabelle 7: Trainingsexposition pro Woche und Saison inklusive aktiv teilgenommener Spielzeiten in Jahren bei den Handballspielern.

| <i>Alter</i>      | <i>aktiv seit Jahren</i> | <i>Trainingsmin./Woche</i> | <i>Spielmin./Saison</i> |
|-------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 14                | 6,2                      | 345 min                    | 1 050 min               |
| 15                | 5,7                      | 313 min                    | 350 min                 |
| 16                | 6,8                      | 230 min                    | 770 min                 |
| 17-18             | 6                        | 160 min                    | 530 min                 |
| <b>Mittelwert</b> | <b>6,2</b>               | <b>262 min</b>             | <b>675 min</b>          |

Beim Vergleich durch alle Altersgruppen hinweg hatten die Fußballer (M= 20,3; SD= 8,8) signifikant ( $p= 0,01$ ) mehr Spiele pro Saison als die Handballer (M= 16,4; SD= 6,2). Die Fußballspieler (M= 7,8 Jahre; SD= 2,99 Jahre) waren im Gegensatz dazu länger in ihren Vereinen aktiv als die Handballspieler (M= 4,9 Jahre; SD= 2,97 Jahre). Das Ergebnis war signifikant ( $p < 0,001$ ). Bei den Trainingsminuten pro Woche hatten

die Handballspieler (M= 287,8 min; SD= 119,8 min) signifikant ( $p= 0,04$ ) mehr Belastung als die Fußballspieler (M= 255,3 min; SD= 78,0 min).

Da eine Zweisportart die Trainingsintensitäten nochmals verstärkt, wurden die varischen Beinachsen in der Studienpopulation bezüglich der Zweisportarten miteinander verglichen. Darunter finden sich Sportarten wie Tennis, Volleyball, Tischtennis und Skifahren. Bei den Fußballspielern mit physiologischen Beinachsen übten 94 Probanden (53,7 %) eine zweite Sportart aus. Die Fußballspieler mit Genu varum gaben zu 56,5 % ( $n= 30$ ) eine Zweisportart an und 11 Probanden (35,5 %) mit Genu varum waren über den Fußball hinaus in einer weiteren Sportart aktiv. Bei den Handballspielern mit physiologischen Beinachsen gaben 13 Personen (39,4 %) eine Zweisportart an. Bei den zwei Probanden mit Genu vara im Handball gaben beide Jungen eine Zweisportart an. Die 9 Handballer mit Genu valgum hatten zu 44,4 % ( $n= 4$ ) neben dem Handball eine weitere Sportart. Darunter finden sich Sportarten wie Fahrradfahren, Fußball und Klettern.

Die Teilnehmer mit den höchsten Intensitäten im Training und Wettkampf zwischen dem 14. und 18. Lebensjahr wurden auf varische Beinachsen überprüft. Für den Vergleich wurden bei der Intensität die Werte über der 80. Perzentile verwendet. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Fußballspieler mit den höchsten Intensitäten zu 61,1 % ein Genu varum aufwiesen. Diese waren im Schnitt 11,3 Jahre im Verein aktiv, trainierten 297 min pro Woche und kamen zudem auf 1.951 Spielminuten pro Saison. Bei den Handballspielern mit den höchsten Intensitäten (Training und Wettkampf) waren keine varischen Beinachsen vorhanden. Bei den Handballspielern fand sich als Mittelwert eine Aktivität seit 3,2 Jahren mit einer Intensität von 128,9 min pro Woche.

Bei 198 Fußballspielern (87,2 %) war das rechte Bein dominant. Bei 27 Teilnehmern (12,0 %) wurde das linke Bein als dominantes Bein auf. Ein Proband (0,4 %) gab beide Seiten als dominant an. Von den 105 Fußballern mit Genu varum waren 94 Rechtsfüßer (89,5 %). Von den 199 Rechtsfüßer hatten 91 (45,7 %) eine varische und 87 (43,7 %) eine valgische Beinachse. Bei den Fußballern gab es 28 Linksfüßer (12,3 %). 10 Linksfüßer (35,8 %) hatten eine varische und 14 (50 %) eine valgische Beinachse.

#### 4.2.2.5. Verletzungshistorie der Population von Fuß- und Handballspielern

Ein weiterer Aspekt war das Auftreten von Verletzungen an den unteren Extremitäten bei den Fuß- und Handballspielern. Die Tabellen 8 und 9 zeigen die verschiedenen Arten an Verletzungen der Probanden. Beim Stand der Messungen hatten sich 24,4 % (n= 57) der Fußballer und 13,6 % (n= 6) der Handballer im Laufe ihrer sportlichen Aktivität eine Verletzung der unteren Extremitäten zugezogen. In diesem Zusammenhang hatten sowohl 66,7 % (n= 38) der Fußballer als auch der Handballer (n= 4) eine Ausfallzeit von über 4 Wochen.

Tabelle 8: Art der Verletzungen bei Fußballspielern

| <b>Art der Verletzungen</b> | <b>n</b> | <b>% of total</b> |
|-----------------------------|----------|-------------------|
| <i>Fraktur</i>              | 8        | 3,7 %             |
| <i>Bänderläsion</i>         | 17       | 7,9 %             |
| <i>Muskelverletzung</i>     | 7        | 3,3 %             |
| <i>Prellung</i>             | 4        | 1,9 %             |
| <i>Sehnenentzündung</i>     | 3        | 1,4 %             |
| <i>Sonstiges</i>            | 8        | 3,7 %             |

Innerhalb der Altersgruppen wurde untersucht, inwiefern eine Korrelation zwischen Verletzungen und Beinachsenedeviationen besteht. Bei den Fußballern hatten gemäß der ICD/IMD-Werte 24,4 % (n= 57) eine Beinachsenedeviation, davon hatten 22,8 % (n=13) bereits Verletzungen an den unteren Extremitäten. Bei den Handballern hatten gemäß der ICD/IMD-Werte 25 % (n= 11) eine Beinachsenedeviation, davon hatten 18,2 % (n=2) bereits Verletzungen an den unteren Extremitäten. Im Alter von 13-18 Jahren gaben bereits 38,7 % (n=42) der Fußballspieler an, eine Verletzung an den unteren Extremitäten gehabt zu haben. Davon hatten 25,6 % eine Ausfallzeit über 4 Wochen. Bei den 7-11-Jährigen hingegen hatten nur 14,5 % eine Verletzung der unteren Extremitäten. Davon hatten 50 % eine Ausfallzeit über 4 Wochen. Der Mittelwert bei der Ausfallzeit in Wochen betrug 8,9 mit einer Standardabweichung von 12,2. Bei der verletzten Seite war zu 54 % die rechte Seite, zu 36,9 % die linke Seite und zu 9,1 % beide Seiten betroffen. 8 % haben aktuell Beschwerden in den besagten Bereichen. In der Altersgruppe der 14-18 Jahre alten Fußballern wurde untersucht, wie viele Teilnehmer mit varischen Beinachsen eine vorangegangene Verletzung aufwiesen. Von 20 Jungen und Mädchen mit Genu varum hatten 6 Fußballer (30 %) Verletzungen

an den unteren Extremitäten. Drei Fußballer machten keine Angaben dazu. Bei den Probanden zeigten sich in 15,4 % der Fälle orthopädische Erkrankungen. Die häufigsten davon waren Knick-Senk-Spreizfuß, Plattfuß, Morbus Osgood-Schlatter oder Entzündung der Wachstumsfuge der Ferse. 21,2 % befanden sich infolgedessen in konservativer Therapie, ohne dass dadurch die aktive Teilnahme an sportlicher Betätigung beeinträchtigt war. Diese wurde vor allem in Form von Einlagen, aber auch mit Bandagen und Physiotherapie durchgeführt. 8,1 % der Fußballspieler trugen Schuheinlagen beim Sport. Beim Stand der Messungen traten nur bei 7,9 % aktuelle Beschwerden und bei 10 % Beschwerden beim Ausüben der Sportart auf. Nur ein Mädchen hatte eine Voroperation am Knie, ein Junge eine Voroperation am Fuß, ohne postoperative Beschwerden oder operative Versorgungen, die die Beinachse beeinflussen würden.

Bei den Handballspielern im Alter von 13-18 Jahren gaben 24 % an, eine Verletzung an den unteren Extremitäten gehabt zu haben. Davon hatten 42,9 % eine Ausfallzeit über 4 Wochen. Bei den 7-11-Jährigen hingegen gab es keine Verletzungen der unteren Extremitäten. Der Mittelwert bei der Ausfallzeit in Wochen betrug  $7,7 \pm 7,8$ . Bei der verletzten Seite war zu 66,7 % die rechte Seite und beim restlichen Teil die linke Seite betroffen.

Tabelle 9: Art der Verletzungen bei Handballspielern

| <b>Art der Verletzungen</b>        | <b>n</b> | <b>% of total</b> |
|------------------------------------|----------|-------------------|
| <i>Meniskusriss</i>                | 1        | 2,3 %             |
| <i>Bänderäsion im Knie</i>         | 1        | 2,3 %             |
| <i>Fraktur d. Tibiakopfepiphy.</i> | 1        | 2,3 %             |
| <i>Sonstiges</i>                   | 2        | 4,5 %             |

In der Altersgruppe der 14-18 Jahre alten Probanden wurde untersucht, wie viele Teilnehmer mit varischen Beinachsen eine vorangegangene Verletzung aufwiesen. Von 14 Jungs und Mädchen mit Genu varum hatten 28,6 % bereits Verletzungen an den unteren Extremitäten. Desweiteren wurde untersucht, inwiefern die 5 „Verletzten“ ein Genu varum hatten. Hier zeigte sich ein Wert von 80 %. Bei den Probanden zeigten sich in 13 % der Fälle orthopädische Erkrankungen wie Plattfuß (n= 2) und Entzündung der Wachstumsfuge der distalen und proximalen Tibia (n= 1). Bei allen Probanden waren beide Seiten betroffen. 75 % befanden sich infolgedessen in Therapie. Zwei

Probanden mit orthopädischen Erkrankungen trugen Einlagen beim Sport. Beim Stand der Messungen hatte nur ein Junge aktuelle Beschwerden und bei zwei Probanden Beschwerden beim Ausüben der Sportart auf.

Voroperationen oder Muskelerkrankungen fanden sich bei den Handballspielern nicht.

## 5. Diskussion

In den Ergebnissen wurde dargelegt, dass anhand des ICD/IMD-Wert bei den Fußballspielern (11,9 %) der Anteil an Genua vara im Vergleich zu den Handballspielern (4,6 %) leicht erhöht war. Im Gegensatz zu den Handballspielern vergrößern sich bei den Fußballspielern die Anteile an varischen Beinachsen bereits im Alter von 14 Jahren und nehmen vor allem im 17. und 18. Lebensjahr deutlicher zu. Auffällig bei den Fußballspielern war, dass starke valgische Beinachsen eher am dominanten Bein (13,8 %) vorhanden und starke varische (12,9 %) Beinachsen eher am nicht-dominanten Bein ausgeprägt waren. Diese Beobachtung bestätigte sich auch bei den Handballspielern (22,7 % vs. 11,4 %). Die Teilnehmer mit den höchsten Intensitäten im Training und Wettkampf zwischen dem 14. und 18. Lebensjahr wurden auf Genua vara überprüft. Es lässt sich festhalten, dass die Fußballspieler mit den höchsten Intensitäten zu 61,1 % ein Genu varum aufwiesen. Bei den Handballspielern mit den höchsten Intensitäten waren keine varischen Beinachsen vorhanden.

In der Studie von Shohat et al. (2018) mit 5 437 Probanden betrug die Prävalenz des Genu varum 11,4 %. Darunter konnten 10,1 % in das GVR eins, 1,3% in das Level zwei und 0,05 % in das Level drei eingeteilt werden. (35) Diese Ergebnisse sind fast identisch mit der vorliegenden Studie (s. Abb. 8). Die Prävalenz von Genu valgum lag bei 5,5 %. Darunter wurden 4,9 % in das GVL eins, 0,6 % in das GVL zwei, 0,02 % in das GVL drei und 0,002 % in das GVL 4 zugeordnet. Die Level zwei und drei ergaben keinerlei Auffälligkeiten bzw. waren kaum anzutreffen. Bei den Genua valga war der Anteil im Handball (20,5 %) deutlicher als im Fußball (12,4 %) zu sehen. Bei den Handballspielern trat vorwiegend das GVL eins auf. Größere Deviationen der Level zwei und drei waren wie bei Shohat et al. (2018) sehr gering (s. Abb. 17). Der Anteil in der Gesamtpopulation an valgischen Achsabweichungen (14,2 %) war höher als bei Shohat et al. (2018). Dies trifft v.a. auf das GVL eins mit 12,1 % zu (s. Abb. 7). Cahuzac et al. (1995) untersuchten die ICD/IMD-Werte bei 427 gesunden europäischen Kindern im Alter von 10-16 Jahren. Basierend auf diesen Werten betrugen die Prävalenzraten von Genu varum und Genu valgum 11,4 % bzw. 5,5 %. (39)

Bei den ICD/IMD-Gesamtmittelwerten in den verschiedenen Altersgruppen wird ersichtlich, dass die Werte bis zum 13. Lebensjahr negativ (valgisch) sind und erst im 17. und 18. Lebensjahr deutlich positiver werden. Die Fußballspieler weisen bereits im Alter von 14 Jahren erstmal positive (varisch) Werte auf. Die Handballspieler hingegen

hatten erst im Alter von 16 Jahren positive (varische) ICD/IMD-Werte und keine GVR I in den Altersstufen unter 17 Jahren. Der erhöhte Anteil an valgischen Beinachsen der Handballspieler bzw. der erhöhte Anteil an varischen Beinachsen steht möglicherweise in Zusammenhang mit dem erhöhten BMI und der größeren Körpergröße der Handballspieler.

Die Gesamt-ICD/IMD-Werte beider Kohorten befinden sich im physiologischen Bereich, mit einem etwas positiveren Wert bei den Fußballspielern (-4,4 mm) als bei den Handballspielern (-10,2 mm). Bei den diversen Levels nach Shohat et al. (2018) gab es sowohl bei Fußballspielern als auch Handballspielern im Alter von 7 bis 14 Jahre ein gleichmäßiges Auftreten von GVL eins. Im Gegensatz zu den Handballspielern gab es bei den Fußballspielern einen gewissen Anteil (10-20,8 %) an GVR eins, welcher sich ab dem Alter von 14 Jahre erhöht und im Alter von 17 und 18 Jahren deutlicher angestiegen war (s. Abb. 19). Dabei gibt es einen kleinen Anteil an GVR zwei (7,1 %). Die varischen Beinachsen waren bei den Handballspielern nur im 17. und 18. Lebensjahr vorhanden. Mit Blick auf die verschiedenen Altersgruppen wird ersichtlich, dass die Fußballspieler schon im Alter von 14 Jahren varische (positive) ICD/IMD-Mittelwerte aufwiesen (s. Abb. 17) und in den Altersgruppen von 9-16 Jahren geringe Anteile an GVR I existierten. Auch bei Rezende et al. (2011) zeigten Fußballspieler im Alter von 15-17 Jahren eine steigende Tendenz der ICD-Werte, während die IMD-Werte zwischen den Altersgruppen schwankten. Diese Werte waren jedoch statistisch nicht signifikant. In allen Altersgruppen war der ICD-Wert in der Gruppe der Fußballspieler höher als in der Gruppe der Nicht-Fußballspieler. Allerdings war dieser Unterschied nur im Alter von 14 und 17 Jahren statistisch signifikant ( $p < 0,05$ ). (40)

In den Abb. 16 und 17 wird veranschaulicht, dass sich beide Gruppen bei den physiologischen Beinachsen nicht unterscheiden, jedoch GVL eins im Handball (18,2 %) häufiger auftritt als im Fußball (11,2 %) und dagegen im Fußball (11,5 %) stärker GVR eins vorhanden ist als im Handball (4,6 %). Die Deviationen in Level zwei und drei waren kaum anzutreffen und waren nicht erhöht.

Auch Witvrouw et al. (2009) nutzten die Messung des ICD. In deren Auswertungen wurden 336 Fußballspieler und 458 männlichen Nicht-Fußballspieler erfasst. Die Fußballspieler bis zur Altersgruppe von 12-13 Jahren wiesen einen negativen Wert (valgisch) auf. Ab der Altersgruppe von 14-15 Jahren waren diese, wie auch in der

vorliegenden Studie, erstmals positiv (varisch). Ein signifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen war nicht gegeben ( $p > 0,05$ ). (41)

Im Vergleich der Genua valga und vara anhand der ICD/IMD-Werte-Einteilung war bei beiden Gruppen stets der Anteil an physiologischen Beinachsen vorherrschend. Im Alter von 7 bis 13 Jahren war hinsichtlich der GVL eins kein Unterschied in der Verteilung erkennbar. Bei den Fußballspielern (11-20,8 %) waren in den Altersgruppen von 12-16 Jahren die im Vergleich zu den Handballspielern (0 %) erhöhten Anteile an GVR eins erkennbar. Im Alter von 17 und 18 Jahren waren bei den Handballspielern zu 50 % GVR eins vorhanden. Bei den Fußballspielern waren im 17. Lebensjahr zu 42,3 % (davon 7,1 % GVR zwei) Genua vara und im Alter von 18 Jahre zu 38,9 % vorhanden. In beiden Populationen war eine deutliche Zunahme an varischen Beinachsen ab 17 Jahren zu sehen. Bei den Fußballspielern beginnt diese Tendenz schon mit 14 Jahren.

In der Studie von Asadi et. al (2015) wurden 1 500 Probanden im Alter von 10 bis 18 Jahren vermessen. Es gab signifikante Unterschiede zwischen Fußballspielern und der Kontrollgruppe hinsichtlich der unterschiedlichen Grade des Genu varum ( $p=0,0001$ ). Von 750 Fußballspielern hatten 317 (42,3 %) ein GVR eins, 403 (53,7 %) Grad zwei, 29 (3,9 %) Grad drei und ein Proband (0,1 %) Grad 4. In der Kontrollgruppe hatten 504 (67,2 %) ein GVR eins, 232 (30,9 %) Grad zwei, 14 (1,9 %) Grad drei. (4)

Kromeyer-Hauschild et al. (2001) demonstrierten, dass sportlich nicht-aktive männliche Probanden bis zur Altersgruppe von 13-15 Jahren einen negativen (valgisch) ICD/IMD-Wert aufwiesen. Erst in der Altersgruppe der 16-18-Jährigen wurde der ICD/IMD-Wert leicht positiv (varisch). Sportlich aktive Probanden zeigten bis zum Alter von 10-12 Jahren einen negativen ICD/IMD-Abstand und wurden ab 13-15 Jahren stärker positiv (varisch), mit einer zunehmenden Tendenz in der Altersgruppe der 16- bis 18-Jährigen. Diese Erkenntnisse sind auch in der vorliegenden Studie zu erkennen. (42)

Beim Vergleich der ICD/IMD-Werte waren die starken varischen Beinachsen anhand der HKA-Winkel v.a. im Alter von 17 und 18 Jahren bei den Fußballspielern häufiger (ca. 50 %) ausgeprägt (s. Abb. 23) und bei den Handballspielern nur im Alter von 10 (33,3 %) und 14 Jahren (10 %) niedrige Anteile vorhanden (s. Abb. 24). Wie bereits

erwähnt, ergaben die Auswertungen in der vorliegenden Studie bei Fußballspielern ( $M = -0,19^\circ$ ;  $SD = 3,1^\circ$ ) etwas stärker positivere HKA-Winkel beim dominanten Bein als bei den Handballspielern ( $M = -0,45^\circ$ ;  $SD = 3,1^\circ$ ). Beim HKA-Winkel des nicht-dominanten Beines war jedoch der Wert bei den Handballspielern ( $M = 0,62^\circ$ ) positiver (varisch) als bei den Fußballspielern ( $M = 0,4^\circ$ ). In den Abbildungen 21 und 22 wurden die verschiedenen Beinachsabweichungen beim dominanten und nicht-dominanten Bein dargestellt. Bei den Fußballspielern waren insgesamt wenige Unterschiede bezüglich der HKA-Winkel innerhalb der Dominanz des Beines zu finden, der Großteil waren physiologische Beinachsen (67,2 %). Beim dominanten Bein waren vermehrt starker Valgus (13,8 %) und beim nicht-dominanten Bein erhöhte starke Genua vara (12,9 %) vorhanden. Im Gegensatz dazu lässt sich bei Handballspielern sowohl beim dominanten (22,7 %) als auch nicht-dominanten Bein (13,6 %) ein größerer Wert an starken Genua valga feststellen. Es gab jedoch keine valgischen Beinachsen. Hinsichtlich der physiologischen und varischen Beinachsen waren keine Unterschiede erkennbar. Hägglund et al. (2013) beobachteten, dass Verletzungen häufiger am dominanten Schussbein (56 %) auftreten. (43) In der vorliegenden Studie war bei beiden Kohorten das dominante Bein ebenso häufiger (54-61 %) betroffen.

In der Studie von Coyn et al. (2016) hatten die 54 Fußballspieler am dominanten Bein einen kleineren mittleren HKA-Winkel  $2,6^\circ$  ( $SD = 2,2^\circ$ ) als das nicht-dominante Bein  $3,0^\circ$  ( $SD = 2,5^\circ$ ). Auch in der vorliegenden Studie sind bei den Fußballspielern die HKA-Winkel des nicht-dominanten Beins stärker positiv (varisch) als beim dominanten Bein. Diese befinden sich weiterhin im Normbereich. In Bezug auf die Feldposition wurden auch in dieser Studie keine signifikanten Unterschiede zwischen Torhütern, Verteidigern, Mittelfeldspielern und Stürmern festgestellt. (24)

Bei den Fußballspielern ist von 9-13 Jahre stets ein geringer Teil (3,3-15 %) an starken Genua vara zu sehen. Ab dem Alter von 14 Jahre nehmen starke varische Beinachsen mehr zu (26,1 %). Erst im Alter von 17 und 18 Jahren überwiegen „varus“ und „starker varus“ bei den Beinachsen. Auch bei den Handballspielern war im Alter von 11-14 Jahren ein größerer Anteil (20-33,3 %) „starker Varus“ zu finden, es sind aber bis zum 18. Lebensjahr ausschließlich physiologische Beinachsen zu finden.

In der Studie von Coyn et al. (2016) waren die Werte über  $180^\circ$  ( $HKA > 180^\circ$ ) per definitionem valgisch (positiv). Die Werte unter  $180^\circ$  ( $HKA > 180^\circ$ ) wurden in das Genu varum (negativ) eingeteilt. Der mittlere HKA war bei männlichen Athleten mit hoher

Aktivität  $-2,8^\circ$  (SD=  $2,4^\circ$ ) signifikant niedriger ( $p < 0,001$ ) als bei männlichen Athleten mit geringer Aktivität  $-0,9^\circ$  (SD=  $1,9^\circ$ ). Männliche Probanden, die im 10.-12. und 15.-17. Lebensjahr Fußball betrieben, hatten wiederum einen niedrigeren (varisch) HKA-Winkel als Athleten, die andere Hochleistungssportarten in diesen Altersstufen ausübten. Bei Männern, die in der Jugend intensiv Fußball gespielt hatten, zeigten sich im Vergleich zu sportlich wenig Aktiven signifikant ( $p < 0,009$ ) verminderte HKA-Winkel und somit ein deutlich ausgeprägteres Genu varum. Auch im Vergleich zu Sportlern anderer „high impact“-Sportarten auf gleicher Leistungsstufe konnte für die Altersgruppe der 10- bis 12-Jährigen und 15- bis 17-Jährigen ein signifikant ( $p < 0,05$ ) kleinerer HKA-Winkel nachgewiesen werden. Bei der Analyse aller 200 Probanden betrug der mittlere HKA  $-2,1^\circ$  (SD=  $2,4^\circ$ ). Männliche Probanden, die im Jugendalter Fußball spielten, hatten in allen Alterskategorien signifikant ( $p < 0,009$ ) niedrigere (varisch) HKA-Winkel als diejenigen, die nicht Fußball spielten. Männliche Fußballspieler hatten im Vergleich zu männlichen Hochleistungssportlern aus anderen Sportarten ebenfalls niedrigere HKA-Winkel, jedoch nur signifikant in der Alterskategorie von 10-12 Jahren ( $p = 0,046$ ) und 15-17 Jahren ( $p = 0,037$ ). Beim Vergleich der Untergruppe, die im Alter von 10-12 Jahren, aber danach nicht mehr aktiv war, mit der Untergruppe, die erst ab dem 15. Lebensjahr mit hoher Aktivität begann, betrug die absolute Differenz des mittleren HKA  $1,3^\circ$ . Dabei wurden mehr valgische Beinachsen bei denen, die nur im Alter von 10 bis 12 Jahren Hochleistungssport betrieben haben, vermerkt. (24)

Der Pearsons-Korrelationskoeffizient ergab einen signifikant ( $p < 0,001$ ) negativen Wert ( $r = -0,256$ ) und demonstriert eine erhöhte Anzahl an Genua valga mit steigendem BMI. Die Auswertungen ergaben, dass die Handballspieler signifikant größer und schwerer waren als die Fußballspieler. Folglich war auch der BMI bei Ernstgenannten signifikant größer. Die Verteilung im BMI-Normbereich war mit knapp 85 % nahezu identisch. Auch bei Raschka et al. (2007) war der anteilige Fettanteil, vermessen mit Calipometrie, bei den Fußballspielern ( $6,6 \pm 1,6$  %) im Durchschnittsalter von 24 Jahren deutlich geringer als bei den Handballspielern ( $8,4 \pm 2,5$  %). Zudem gaben diese für Handballspieler einen wesentlich größeren Oberschenkelumfang (7,9 cm vs. 5,8 cm) und eine größere Körpergröße (189,1 cm vs. 178,6 cm) an. (44) Handballspieler benötigen tendenziell mehr Muskelmasse in den Armen und im Oberkörper, um die spezifischen Anforderungen ihres Sports zu erfüllen. Daher liegt

es nahe, dass der BMI im Handball aufgrund des erhöhten Muskelanteils im Oberkörper erhöht ist. Ein negativer Aspekt der Beobachtung ist die ungleiche Verteilung an Fußballspielern ( $n= 234$ ) und Handballspielern ( $n= 44$ ) und die große Mehrheit an männlichen gegenüber weiblichen Probanden (s. Tab. 5). Dieser Aspekt dürfte sich durch den aktuellen Zulauf an weiblichen Fußballspielern in den Vereinen in zukünftigen Untersuchungen verbessern.

Taylor et al. (2006) stellten eine signifikant höhere Prävalenz von Genu valgum bei übergewichtigen Kindern und Jugendlichen im Vergleich zu nicht Übergewichtigen fest. (45) Während die Fußballspieler im Normbereich von 20-24 stets um die 20 % Genu vara aufwiesen (s. Abb. 25), waren bei den Handballspielern fast ausschließlich physiologische Beinachsen vorhanden (s. Abb. 26). Es wurde deutlich, dass insgesamt bei den untergewichtigen Probanden mit 75 % eine große Mehrheit varische Beinachsen hatten. Der Anteil an Genu valgum war bei den Handballspielern erhöht. Die Deviationen können sportartspezifisch verursacht worden sein. Im Vergleich der beiden Populationen ist zu sehen, dass bei den Fußballspielern stets ein gewisser Anteil (14,8-32 %) an Genu vara vorhanden ist. Bei den Handballspielern sind varische Beinachsen nur bis zu einem BMI-Wert von 20 zu erkennen. Während bei den übergewichtigen Fußballspielern die Achsenabweichungen noch ausgeglichen sind, überwiegen die Genu valga in der Gruppe der Handballspieler.

Den Zusammenhang zwischen Geschlecht, Body-Mass-Index und der Knieausrichtung untersuchten auch Shohat et al. (2018) im Alter von 16 bis 19 Jahren. Das Genu varum war bei untergewichtigen Probanden häufiger und bei übergewichtigen und fettleibigen Probanden seltener anzutreffen ( $p < 0,001$ ). Das Genu valgum war bei übergewichtigen und fettleibigen Probanden im Vergleich zu denen mit Norm-BMI signifikant häufiger anzutreffen, während es bei untergewichtigen Probanden weniger häufig auftrat ( $p < 0,001$ ). (35)

Bei den untergewichtigen ( $BMI < 18,5$ ) Fußballspielern waren die varischen Beinachsen leicht vermehrt vorhanden. Beim Normalgewicht ( $18,5 < BMI < 24,9$ ) war ein ähnliches Verhältnis von Genu varum und valgum zu sehen. Die übergewichtigen ( $BMI > 25$ ) Probanden im Fußball wiesen mit großer Mehrheit ein Genu valgum auf. Bei den Handballspielern war ein Genu varum vermehrt im Bereich der unter- und normgewichtigen Probanden anzutreffen. Bei den weiblichen Fußballspielern und

Handballspielern war die Prävalenz für valgische Beinachsen höher als bei den männlichen und weiblichen Fußballspielern.

Hauptzweck in der Studie von Soheilipour et al. (2020) war es, den Zusammenhang zwischen dem BMI von Patienten mit Adipositas und dem Auftreten von Genu varum und Genu valgum in Form von strukturellen und Winkelanomalien am Knie zu beurteilen. In jener Studie war der BMI in der Genu varum-Gruppe niedriger, aber in der Genu valgum-Gruppe höher. (46) Martinelli et al. (2011) stellten dar, dass die Prävalenz von Genu valgum bei übergewichtigen Kindern beiderlei Geschlechts im Alter von 5 bis 9 Jahren 87 % betrug. Diese Autoren fanden keinen statistischen Unterschied zwischen den Geschlechtern. (47)

Thijs et al. (2012) führten eine Studie durch, in der 265 gesunde kaukasische Jungen im Alter von 7 bis 18 Jahren die Wettkampfsportarten (Leichtathletik, Feldhockey, Basketball, Volleyball, Tennis, Badminton und Squash) betrieben. Als Vergleich dienten 256 andere nicht sportlich-aktive Jungen mit denselben biologischen Altersmerkmalen. Die Autoren kamen zu dem Entschluss, dass das Ausüben von Belastungssportarten signifikant mit einem erhöhten Auftreten von Genu varum bei Jugendlichen zusammenhängt. (48) Auch in den Fall-Kontroll-Studien von Abreu et al. und Witvrouw et al. (2009) wurde jeweils eine deutlich stärkere Ausprägung des Genu varum bei den Subgruppen der älteren Fußballspieler festgestellt. Bereits Abreu et al. (1996) beobachteten den Wechsel der physiologisch mehrheitlich valgischen Beinachse zur überwiegend varischen Beinachse schon in der Altersgruppe der 12-Jährigen, wohingegen Witvrouw et al. (2009) dies erst ab der Altersgruppe der 14-Jährigen feststellten. (32,41) Eine valide Aussage zur Trainingsintensität und zu Trainingsmethoden der verschiedenen Fußballclubs konnte hier nicht getroffen werden. In der Studie von Colyn et al. (2016) wurden junge, erwachsene Studienteilnehmer retrospektiv zur ihrer sportlichen Aktivität im Kindesalter befragt und die Ergebnisse der Beinachse durch Ganzbeinröntgenaufnahmen ausgewertet. Bei Männern, die in der Jugend intensiv Fußball gespielt hatten, zeigten sich im Vergleich zu sportlich wenig Aktiven signifikant ( $p < 0,009$ ) verminderte HKA-Winkel und deutlich ausgeprägtere varische Beinachsen. Auch im Vergleich zu Sportlern anderer „high impact“-Sportarten auf gleicher Leistungsstufe konnte für die Altersgruppe der 10- bis 12-Jährigen und 15- bis 17-Jährigen ein signifikant ( $p < 0,05$ ) kleinerer HKA-Winkel nachgewiesen werden. Als Ergebnis konnte eine Verminderung des medialen proximalen Tibiawinkels (MPTA) als spezifische und vorrangige Ursache

der Varusdeviation bei Fußballspielern definiert werden. In allen Altersgruppen zeigte sich eine signifikante Verminderung des MPTA bei den Fußballspielern. (24)

- 10- bis 12-Jährige:  $85,8 \pm 2,1^\circ$ ;  $p = 0,002$
- 13- bis 14-Jährige:  $85,9 \pm 2,3^\circ$ ;  $p = 0,030$
- 15- bis 17-Jährige:  $85,6 \pm 2,1^\circ$ ;  $p = 0,001$ .

Yaniv et al. (2006) führten eine Kohortenstudie an Fußball- und Tennisspielern im Alter von 10–21 Jahren durch, wobei klinisch bestimmter ICD und IMD zur Beurteilung der Beinachse verwendet wurden. Bei den Fußballspielern konnte ab dem 13. Lebensjahr eine signifikant ( $p < 0,001$ ) höhere Prävalenz des Genu varum festgestellt werden. Yaniv et al. (2006) führen einerseits zusätzliche Belastungsmechanismen beim Fußballspiel, wie die Schussbewegung, aber auch eine Selektionsbias aufgrund potenzieller Vorteile, wie bessere Balance bei Richtungswechseln und Dribbling durch eine varische Beinachse als mögliche Ursachen für die höhere Prävalenz des Genu varum an. (49) Mehrere Autoren stellen die Hypothese auf, dass während Dribbling- und Richtungsbewegungen die Adduktoren Muskeln des Oberschenkels Stress ausgesetzt werden, der ein Ungleichgewicht innerhalb der Adduktoren- und Abduktorenmuskulatur erzeugt. Die Muskeln werden im medialen Teil des Beins fixiert, was die laterale Knochenflexion während der Entwicklung erhöht und somit ein Genu varum erzeugt. Häufige und wiederholte Kontraktionen der m. sartorius, m. gracilis, m. semitendinosus und m. semimembranosus können ebenfalls zur mechanischen Überlastung der medialen Physis der proximalen Tibia beitragen. (50) Ursächlich für die Ausbildung einer varischen Beinachse können chronisch-repetitive, asymmetrische Überlastungen der kniegelenksnahen Wachstumsfugen und der Zug der Hamstring-Muskulatur sein. Jene Muskeleinheit besteht aus m. semitendinosus, semimembranosus und biceps femoris. Sie stellt die beim Fußballer am häufigsten verletzte Muskelgruppe dar. (43,51)

Besier et al. (2001) untersuchten varische und valgische Belastungen bei Fußballbewegungen und stellten fest, dass jene in unvorhergesehenen Situationen doppelt so hoch ist wie in zuvor geplanten. Richtungsänderungen verursachen eine erhöhte mechanische Spannung. (52) Wenn dabei eine neuromuskuläre Ermüdung auftritt, wird die dynamische Kniestabilisierung beeinträchtigt und die Verletzungsrisiko steigt. (53–55) Diese Belastungen treten jedoch auch in anderen Sportarten wie

Handball, Basketball oder Tennis auf. Ein wichtiger Aspekt könnte sein, dass Fußballschuhe in der Stützphase die Außenrotation der Spieler in orthostatischer Position einschränken, was durch das Beugen der Beine die varische Belastung des Kniegelenks verstärkt. (56)

Besier et al. (2001) maßen die äußere Belastung des Kniegelenks und berichteten, dass varische und valgische Belastungen des Kniegelenks während abrupten Richtungswechseln (sog. Schneidmanöver) im Vergleich zum normalen Laufen deutlich erhöht waren. Der Unterschied zwischen Fußballspielern und anderen Sportteilnehmern könnte auf die diagonale Schussbewegung im Fußball zurückzuführen sein, die bei den Fußballspielern zu Genu varum führte. Ob diese Schneidbewegungen (sog. Cutting-Manöver) jedoch ausschließlich zu Genu varum führen können, ist nicht klar. Daher könnte auch ein anderes Bewegungsmuster für die Ausprägung verantwortlich sein. Mehrere biomechanische Studien zeigten, dass die Schussbewegung zu einer diagonalen Annäherung des Beins an den Ball führt. Dieser diagonale Ansatz wird anstelle einer geraden Schussaktion betont, da er zu einer höheren Spitzengeschwindigkeit des Balls führt. Die Trittbewegung beinhaltet nicht nur eine Hüftbeugung und Kniestreckung, sondern auch eine Adduktionskomponente. Die Spieler entwickeln im Fußball stark ausgeprägte Adduktorenmuskeln im Vergleich zu anderen Sportarten. (52) Eine derartige Schussbewegung, wenn auch in deutlich weniger ausgeprägter Form, findet man neben dem Fußball nur im American Football. Kontrollstudien mit Auswertungen dieser isolierten Schussbewegungen wären hilfreich.

Die Ergebnisse von Park et al. (2014) zeigten, dass die Genu varum-Gruppe eine höhere Aktivität des m. vastus medialis aufwies, während die Genu valgum-Gruppe eine höhere Aktivität des m. vastus lateralis hatte. Auch zeigte der m. vastus medialis in der Genu valgum-Gruppe eine höhere Aktivität bei der Knieflexion (60°). Daher sollten Rehabilitationstrainingsprogramme zur Stärkung des m. quadrizeps durchgeführt werden. Ob gezielte Quadrizeps-Krafttrainingsprogramme, die die Knieausrichtungszustände der Zielpersonen berücksichtigen, Schmerzen oder Fehlstellungen aufgrund von Kniefehlstellungen vorbeugen oder behandeln können, muss in Zukunft durch Studien überprüft werden. (57)

In vorherigen Studien gab es signifikante Unterschiede ( $p = 0,0001$ ) zwischen den durchschnittlichen Trainingsstunden pro Woche und den Jahren des Fußballspiels mit den unterschiedlichen Genu varum Grade bei den Fußballspielern. Das mehrfache intensive Trainieren sorgte für einen höheren Grad an Genu varum. (4) Hohe Belastungen und Intensitäten tragen zu einem höheren Risiko einer Ausprägung von Genu varum bei. Dieses Risiko lässt sich mit den Auswertungen individuell nur schwer beurteilen. Diese bereits erwähnten Risikofaktoren müssen durch entsprechende prophylaktische Maßnahmen während und abseits des Trainings beachtet und angewendet werden. Hinsichtlich der Trainingsintensitäten bei den Fußballern wurde festgestellt, dass die Probanden mit den höchsten Belastungen im Alter von 14 bis 18 Jahren zu 66,7 % ein Genu varum zeigten. Bei den Teilnehmern mit Genu varum, die wiederum die höchsten Trainingsbelastungen aufwiesen, ergab sich ein uneinheitliches Bild. Bei der Gruppe der 17- und 18-Jährigen nahmen die Trainingsintensitäten (in min) leicht ab. Bei den Probanden mit Zweitsportarten ließ sich festhalten, dass von den 20 Probanden mit den höchsten Intensitäten 14 Probanden (70 %) ein Genu varum hatten. Es ließ sich jedoch keine Signifikanz zwischen einer zusätzlichen Zweitsportart und der Entwicklung von Genu varum darstellen. 63,5 % der Probanden mit varischen Beinachsen waren dazu in einer zweiten Sportart aktiv. Bei den Handballspielern wurde ausgewertet, dass die Probanden im Alter von 14 bis 18 Jahren zu 63,6 % ein Genu varum hatten. Für die genauere Prüfung wurden zudem alle 14 Teilnehmern mit varischen Beinachsen anhand des ICD in mm im Alter von 14 bis 18 Jahren mit den jeweiligen Intensitäten gegenübergestellt. Es lässt sich festhalten, dass die 14 Probanden mit Genu varum im Schnitt 5,8 Jahre im Verein aktiv waren und 254,5 min pro Woche trainierten. Bei der Einordnung in die „training exposure“ zeigt sich hier eine mittlere Belastung. Von den 6 Probanden mit den höchsten Intensitäten hatten 66,7 % ein Genu varum. 92,9 % der Probanden mit varischen Beinachsen gaben eine Zweitsportart an.

Mit Blick auf die Intensitäten der Probanden im Fußball wurde dargelegt, dass der Mittelwert für die wöchentliche sportliche Belastung eine mittlere Belastung aufzeigt. Die Fußballspieler mit varischen Beinachsen hatten ebenso eine mittlere Belastung, die zudem im Alter von 17 und 18 Jahren leicht abgenommen hat. Die wöchentliche Belastung verringerte sich in diesem Alter sowohl im Fußball als auch im Handball. Die Trainingsintensität war im Alter von 14 bis 16 Jahre ( $M = 272$  min/ Woche) intensiver als im Alter von 17 und 18 Jahre ( $M = 234$  min/ Woche). Die größeren

Belastungen können eine Ursache für ein erhöhtes Risiko an Achsabweichungen darstellen. Es gab keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Belastung in beiden Sportarten. Bei den Zweitsportarten waren die Werte an Genua vara innerhalb der Sportarten etwas erhöht. Es liegt nahe, dass die zunehmende sportliche Intensität eine Entstehung von varischen Beinachsen begünstigt. Eine signifikante Aussage lässt sich dennoch nicht treffen. Es besteht jedoch ein enger Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Genu varum und dem signifikanten Risiko, dass Sportler durch einen Verschleiß des Gelenkknorpels im medialen tibiofemorale Kompartiment des Knies eine tibiofemorale Osteoarthritis (OA) entwickeln. Die Verletzungsquote der unteren Extremitäten war bei den Fußballern mit 26,5 % etwas höher als bei den Handballern. Die Auswertungen ergaben, dass die verschiedenen Arten an Verletzungen keinen Zusammenhang mit Genu vara aufwiesen.

Die vorliegenden Ergebnisse sind vergleichbar mit bereits durchgeführten Studien und erhärten den Verdacht, dass intensiv praktizierter Fußballsport im Sinne von hohen Trainingszeiten bei Heranwachsenden ab dem Alter von 14 Jahren das Risiko zur Ausbildung eines Genu varum erhöhen kann. Zudem besteht eine signifikante ( $p < 0,001$ ) Korrelation zwischen steigendem BMI-Wert und erhöhte Anzahl an Genua valga.

Es konnten jedoch auch neue Erkenntnisse gewonnen werden. Im Gegensatz zu den Handballspielern vergrößern sich bei den Fußballspielern die Anteile an varischen Beinachsen bereits im Alter von 14 Jahren und nehmen vor allem im 17. und 18. Lebensjahr deutlicher zu. Die Fußballspieler mit den höchsten Intensitäten wiesen zu 61,1 % ein Genu varum auf. Bei den Handballspielern mit den höchsten Intensitäten waren keine varischen Beinachsen vorhanden. Es zeigte sich bei den Fußballspielern, dass starke valgische Beinachsen eher am dominanten Bein (13,8 %) vorhanden und starke varische (12,9 %) Beinachsen eher am nicht-dominanten Bein ausgeprägt waren. Diese Beobachtung bestätigte sich auch bei den Handballspielern (22,7 % vs. 11,4 %).

## 6. Limitierungen der Untersuchung

Die vorliegende Studie unterliegt mehreren Limitationen, die im Folgenden kurz erläutert werden sollen. Die ursprünglich geplante Studienpopulationspopulation konnte aufgrund der Covid19-Pandemie nicht erreicht werden. Es bedarf weiterer Untersuchungen mit größeren Populationen, um die in dieser Studie erbrachten Erkenntnisse zu bestätigen. Durch die im Vergleich zu den Fußballern geringere Probandenzahl der Handballer konnte beispielsweise bei den ICD/IMDs und HKA-Winkeln keine signifikanten Ergebnisse bestimmt werden. In diesem Zusammenhang wäre auch eine Population mit jugendlichen Nicht-Sportlern für einen Vergleich hilfreich.

Die radiologische Methode mit anteroposterioren Röntgenaufnahmen beider unterer Gliedmaßen in voller Länge war aufgrund der erhöhten Strahlenexposition zu Studienzwecken aus ethischen Gesichtspunkten nicht durchführbar und wurde daher in dieser Studie nicht verwendet. Die klinische Messung hat potenzielle Fehlerquellen, wie z.B. eine ungenaue Positionierung der Kamera, die zu einer falschen Profilierung von Gliedmaßen und Fehlern beim Markieren von Achsen und beim Messen führen kann. Da es sich um eine klinische Studie handelte, kann die Voreingenommenheit des Beobachters ein Problem darstellen. Obwohl eine minimale Variation innerhalb des Beobachters erzielt wurde und Verdachtsfälle mit Anomalien der unteren Extremitäten ausgeschlossen wurden, kann eine Verzerrung nicht vollständig ausgeschlossen werden. Kawakami et al. (2004) zeigten, dass die Extremitätenrotationen die Messungen der Beinachsen beeinflussen können und mehr Messvariabilität der anatomischen Achse als der mechanischen Achse erzeugen. (62) Daher kann eine ungenaue Rotationspositionierung während der klinischen und röntgenologischen Beurteilung irreführend sein. Andererseits besteht aufgrund der beobachteten schwächeren Korrelation mit der mechanischen Achse ein größeres Risiko einer Fehlklassifizierung, wenn diese klinischen Ausrichtungsmaße anstelle der anatomischen Achse verwendet werden. Die Einfachheit, Wiederholbarkeit, Zuverlässigkeit und Gültigkeit dieser Messtechnik in Kombination mit der Standardisierung der Position des Patienten während des klinischen Messverfahrens zur Minimierung von Fehlern macht es jedoch ideal für den Einsatz in der klinischen Praxis und wurde daher in dieser Studie verwendet und bereits in einer Vorstudie validiert. (36) Die begrenzte Anzahl von Studien in der Literatur, die sich mit der Validität klinischer Methoden zur Messung der Knieausrichtung befassen, haben,

erfordert die Durchführung weiterer Studien, um festzustellen, ob signifikante Fehlklassifikationen mit klinischen Messmethoden tatsächlich auftreten. Hinsichtlich der Limitation der beschriebenen Messtechniken ist zu beachten, dass übermäßiges Weichgewebe am medialen Knie bei adipösen Patienten zu einer falschen Klassifizierung einer Valgusfehlstellung in der Caliper-Methode führen kann. Im Hinblick auf die Verwendung eines Langarm-Goniometers sind die knöchernen Orientierungspunkte insbesondere bei adipösen Patienten gelegentlich schwierig zu lokalisieren und die Positionierung des Goniometers kann ungenau sein. Die Verbindung zwischen Messinstrumenten, Beobachtungen und biomechanischen Erklärungen sollte ebenfalls berücksichtigt werden. Zum Beispiel kann eine Gewichtszunahme zu einer Vermehrung des Weichteilmantels der unteren Extremitäten führen, hauptsächlich das Hüft- und Kniegelenk betreffend, und kann zu einer Verlängerung des Abstands zwischen den Hüften führen (was als „Pseudo“-Genu valgum klassifiziert werden kann). Dies wiederum kann auch zu einem vergrößerten Abstand zwischen den Malleolen und einer Kniefehlstellung („echter“ Genu valgum) führen. Die richtige Unterscheidung zwischen solchen „Pseudo“- und „echten“ Fehlstellungen, wie oben beschrieben, würde eine Röntgenbildgebung erfordern, die den Grad des Genu varum und des Genu valgum angemessen bestimmen und weitere Informationen über die Gültigkeit und Zuverlässigkeit des Genu varum und des Genu valgum liefern könnte. Eine solche Bildgebung war jedoch aus strahlenschutztechnischen Gründen nicht möglich. Es war von Vorteil, dass Probanden verfügbar waren, die sich einer schnellen, aber umfassenden und unkomplizierten Untersuchung unterzogen, die problemlos überall durchgeführt werden konnte.

## 7. Fazit

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass intensiv praktizierter Fußballsport ab dem Alter von 14 Jahren im Sinne von hohen Trainingszeiten bei Heranwachsenden als möglicher Risikofaktor für varische Beinachsen gilt. Die Tendenz zu Genu vara nimmt im Gegensatz zu den Handballspielern vor allem im 17. und 18. Lebensjahr deutlicher zu. Bei den Handballspielern mit den höchsten Intensitäten waren keine varischen Beinachsen vorhanden. Auffällig bei den Fußball- und Handballspielern war, dass starke valgische Beinachsen eher am dominanten Bein und starke varische Beinachsen eher am nicht-dominanten Bein ausgeprägt waren.

Nur auf Grundlage der Ergebnisse dieser Studien kann nicht geschlossen werden, ob ein Fußballstoß eine wichtige Rolle bei der Entstehung von Genu varum bei Fußballspielern spielt. Die wichtigsten biomechanischen Prinzipien im Fußball sind: das Laufen, Passen, Laufen mit Richtungswechsel, Tackling und das Schießen des Balles. Es ist noch nicht geklärt, welche spezifischen Bewegungsmuster zu einer solchen übermäßigen kompressiven asymmetrischen Belastung des Knies führen und eine varische Deviation besonders im präpubertären Wachstumsschub auslösen könnten. Hier scheint die mediale tibiale Wachstumsfuge besonders anfällig zu sein. Zur Untersuchung des Risikos der Ausprägung von Genu varum bei Fußballspielern wäre es daher sinnvoll, das Vorhandensein von Genu varum in anderen Sportarten wie beispielsweise Basketball und Handball intensiver zu beobachten. Zukünftige biomechanische Studien sollten zudem untersuchen, auf welche Weise fußballspezifische Bewegungsabläufe wie beispielsweise der Schuss oder der Pass das Risiko für Genu varum am Kniegelenk erhöhen. Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse dieser Studie sollte der Einfluss von Kräftigungsübungen der Abduktorenmuskulatur und einer intensiven Dehnung der verkürzten Adduktoren auf die Beinachsenentwicklung ebenso untersucht und derartige Übungen perspektivisch in den Jugendfußball integriert werden.

Weitere sportwissenschaftliche und medizinische Forschung ist notwendig, um die Pathomechanismen besser zu ergründen und spezifische Strategien zur Prävention zu erarbeiten.

## 8. Abkürzungsverzeichnis

|          |   |
|----------|---|
| <i>a</i> | <i>Konfidenzintervall</i>                                   |
| BFV      | <i>Bayerischer Fußballverband</i>                           |
| CAA      | <i>klinische anatomische Achse</i>                          |
| cm       | <i>Zentimeter</i>   |
| ECOG     | <i>European Childhood Obesity Group</i>                     |
| FFP2     | <i>filtering face piece 2</i>                               |
| FIFA     | <i>Fédération Internationale de Football Association</i>    |
| GBA      | <i>Ganzbeinstandaufnahme</i>                                |
| GVL      | <i>Genu valgum, Genu valgum Level</i>                       |
| GVR      | <i>Genu varum, Genu varum Level</i>                         |
| HKA      | <i>Hüft-Knie-Winkel</i>                                     |
| ICD      | <i>interkondylärer Abstand</i>                              |
| IMD      | <i>intermalleolärer Abstand</i>                             |
| IOTF     | <i>Childhood Group der International Obesity Task Force</i> |
| kg       | <i>Kilogramm</i>  |
| m        | <i>Meter</i>  |
| M        | <i>Mittelwert</i>   |
| max.     | <i>Maximum</i>  |
| mean     | <i>Mittelwert</i>   |
| min.     | <i>Minimum</i>  |
| mLDFA    | <i>mechanischer lateraler distaler Femurwinkel</i>          |
| MPTA     | <i>medialer proximaler Femurwinkel</i>                      |
| n        | <i>Anzahl</i>   |
| NMT      | <i>neuromuskuläres Training</i>                             |
| OA       | <i>Osteoarthritis</i>                                       |
| <i>P</i> | <i>Perzentil</i>  |
| r        | <i>Radius</i>   |
| RT       | <i>reguläres Training</i>                                   |
| SAA      | <i>anatomische Schaftachse</i>                              |
| SD       | <i>Standardabweichung</i>                                   |
| TFA      | <i>tibiofemorale Winkel</i>                                 |

## 9. Literaturverzeichnis

1. Sportnachrichtendienst. Sport1. 2020. DFB beklagt Rückgang der Vereine. Verfügbar unter: <https://www.sport1.de/fussball/2020/06/fussball-mehr-mitglieder-beim-dfb-rueckgang-bei-vereinen-und-mannschaften>
2. Deutscher Olympischer Sportbund e. V. Bestandserhebung 2023 [Internet]. Otto-Fleck-Schneise 12 · 60528 Frankfurt am Main; 2023 Okt [zitiert 20. Dezember 2023]. Report No.: 1. digitale Auflage. Verfügbar unter: [www.dosb.de/de/service/download-center/statistiken/](http://www.dosb.de/de/service/download-center/statistiken/)
3. Weisser B, Preuß M, Predel HG. Körperliche Aktivität und Sport zur Prävention und Therapie von inneren Erkrankungen im Seniorenalter. Med Klin. April 2009;104(4):296–302.
4. Asadi K, Mirbolook A, Heidarzadeh A, Mardani Kivi M, Emami Meybodi MK, Rouhi Rad M. Association of Soccer and Genu Varum in Adolescents. Trauma Mon. Mai 2015;20(2):e17184.
5. Brouwer GM, van Tol AW, Bergink AP, Belo JN, Bernsen RMD, Reijman M, u. a. Association between valgus and varus alignment and the development and progression of radiographic osteoarthritis of the knee. Arthritis Rheum. April 2007;56(4):1204–11.
6. Sharma L, Song J, Dunlop D, Felson D, Lewis CE, Segal N, u. a. Varus and valgus alignment and incident and progressive knee osteoarthritis. Ann Rheum Dis. November 2010;69(11):1940–5.
7. Wu DD, Burr DB, Boyd RD, Radin EL. Bone and cartilage changes following experimental varus or valgus tibial angulation. J Orthop Res. Juli 1990;8(4):572–85.
8. Aumüller G, Herausgeber. Anatomie. Buch: Anatomie: 208 Tabellen / Gerhard Aumüller. 2., überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2010. 1218 S.
9. Kohn D, Adam F, Herausgeber. Knie: 67 Tabellen. Stuttgart New York: Thieme; 2005. 542 S. (Orthopädie und orthopädische Chirurgie / hrsg. von Carl Joachim Wirth und Ludwig Zichner).
10. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Herausgeber. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: LernAtlas der Anatomie [Internet]. 4. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014 [zitiert 20. Juni 2020]. Verfügbar unter: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/book/10.1055/b-004-129726>
11. Hofmann C. Vergleichende Untersuchung frühfunktioneller Ergebnisse von bikondylären Knieschlittenendoprothesen mit festem und Rotationsplateau [Internet].

Freie Universität Berlin; 2008 [zitiert 20. Juni 2020]. Verfügbar unter: <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/2084>

12. Ruchholtz S, Wirtz DC, Herausgeber. Orthopädie und Unfallchirurgie essentials [Internet]. 2. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2013 [zitiert 22. Juni 2020]. Verfügbar unter: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/book/10.1055/b-002-35715>

13. Lobenhoffer P, Van Heerwaarden R, Agneskirchner JD, Herausgeber. Kniegelenknahe Osteotomien: Indikation - Planung - Operationstechniken mit Plattenfixateuren [Internet]. 2. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014 [zitiert 3. April 2024]. Verfügbar unter: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/b-002-94108>

14. Baruah RK, Kumar S, Harikrishnan SV. Developmental pattern of tibiofemoral angle in healthy north-east Indian children. *J Child Orthop*. Oktober 2017;11(5):339–47.

15. Thaller PH, Fürmetz J, Chen F, Degen N, Manz KM, Wolf F. Bowlegs and Intensive Football Training in Children and Adolescents. *Dtsch Arzteblatt Int*. 15. Juni 2018;115(24):401–8.

16. Westhoff B, Jäger M, Krauspe R. Kindliche Beinachsen: Was ist pathologisch? *Orthop*. Mai 2007;36(5):485–500.

17. Exner U, Herausgeber. Normalwerte in Wachstum und Entwicklung [Internet]. 2. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2003 [zitiert 3. April 2024]. Verfügbar unter: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/book/10.1055/b-002-15438>

18. Fabry G, MacEwen GD, Shands AR. Torsion of the femur. A follow-up study in normal and abnormal conditions. *J Bone Joint Surg Am*. Dezember 1973;55(8):1726–38.

19. Andriacchi TP, Mündermann A. The role of ambulatory mechanics in the initiation and progression of knee osteoarthritis. *Curr Opin Rheumatol*. September 2006;18(5):514–8.

20. Mündermann A, Dyrby CO, Hurwitz DE, Sharma L, Andriacchi TP. Potential strategies to reduce medial compartment loading in patients with knee osteoarthritis of varying severity: reduced walking speed. *Arthritis Rheum*. April 2004;50(4):1172–8.

21. Sharma L, Hurwitz DE, Thonar EJ, Sum JA, Lenz ME, Dunlop DD, u. a. Knee adduction moment, serum hyaluronan level, and disease severity in medial tibiofemoral osteoarthritis. *Arthritis Rheum*. Juli 1998;41(7):1233–40.

22. Langenskiöld A, Riska EB. TIBIA VARA (OSTEOCHONDROSIS DEFORMANS TIBIAE): A SURVEY OF SEVENTY-ONE CASES. *J Bone Joint Surg Am.* Oktober 1964;46:1405–20.
23. Cook SD, Lavernia CJ, Burke SW, Skinner HB, Haddad RJ. A Biomechanical Analysis of the Etiology of Tibia Vara: *J Pediatr Orthop.* September 1983;3(4):449–54.
24. Colyn W, Agricola R, Arnout N, Verhaar JAN, Bellemans J. How does lower leg alignment differ between soccer players, other athletes, and non-athletic controls? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* November 2016;24(11):3619–26.
25. Arliani GG, Astur DC, Yamada RKF, Yamada AF, Miyashita GK, Mandelbaum B, u. a. Early osteoarthritis and reduced quality of life after retirement in former professional soccer players. *Clinics.* September 2014;69(9):589–94.
26. Chantraine A. Knee joint in soccer players: osteoarthritis and axis deviation: *Med Sci Sports Exerc.* August 1985;17(4):434–9.
27. Spahn G, Grosser V, Schiltenswolf M, Schröter F, Grifka J. [Football as risk factor for a non-injury-related knee osteoarthritis - results from a systematic review and metaanalysis]. *Sportverletz Sportschaden Organ Ges Orthopadisch-Traumatol Sportmed.* März 2015;29(1):27–39.
28. Hurwitz DE, Ryals AB, Case JP, Block JA, Andriacchi TP. The knee adduction moment during gait in subjects with knee osteoarthritis is more closely correlated with static alignment than radiographic disease severity, toe out angle and pain. *J Orthop Res.* Januar 2002;20(1):101–7.
29. Mündermann A, Dyrby CO, Andriacchi TP, King KB. Serum concentration of cartilage oligomeric matrix protein (COMP) is sensitive to physiological cyclic loading in healthy adults. *Osteoarthritis Cartilage.* Januar 2005;13(1):34–8.
30. Burssens ABM, Buedts K, Barg A, Vluggen E, Demey P, Saltzman CL, u. a. Is Lower-limb Alignment Associated with Hindfoot Deformity in the Coronal Plane? A Weightbearing CT Analysis. *Clin Orthop.* Januar 2020;478(1):154–68.
31. Xie K, Han X, Jiang X, Ai S, Dai K, Yu Z, u. a. The effect of varus knee deformities on the ankle alignment in patients with knee osteoarthritis. *J Orthop Surg.* Dezember 2019;14(1):134.
32. Abreu AVD, Barbosa J, Paiva F. Alinhamento dos joelhos no plano frontal dos 12 aos 17 anos [Alignment of the knees in the frontal plane from 12 to 17 years]. 1996.
33. Navali AM, Bahari LAS, Nazari B. A comparative assessment of alternatives to the full-leg radiograph for determining knee joint alignment. *Sports Med Arthrosc*

Rehabil Ther Technol. Dezember 2012;4(1):40.

34. Wu CC. Is clinical measurement of anatomic axis of the femur adequate? *Acta Orthop.* August 2017;88(4):407–10.
35. Shohat N, Machluf Y, Farkash R, Finestone AS, Chaiter Y. Clinical Knee Alignment among Adolescents and Association with Body Mass Index: A Large Prevalence Study. *Isr Med Assoc J IMAJ.* Februar 2018;20(2):75–9.
36. Memmel C, Meier C, Huber L, Szymiski D, Achenbach L, Koch M, u. a. 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? *Appl Sci.* 9. August 2023;13(16):9074.
37. Sabharwal S, Zhao C. The hip-knee-ankle angle in children: reference values based on a full-length standing radiograph. *J Bone Joint Surg Am.* Oktober 2009;91(10):2461–8.
38. Salenius P, Vankka E. The development of the tibiofemoral angle in children. *J Bone Joint Surg Am.* März 1975;57(2):259–61.
39. Cahuzac JP, Vardon D, Sales de Gauzy J. Development of the clinical tibiofemoral angle in normal adolescents. A study of 427 normal subjects from 10 to 16 years of age. *J Bone Joint Surg Br.* September 1995;77(5):729–32.
40. Rezende LFM de, Santos M do, Araújo TL, Matsudo VKR. A prática do futebol acentua os graus de Geno Varo? *Rev Bras Med Esporte.* Oktober 2011;17(5):329–33.
41. Witvrouw E, Danneels L, Thijs Y, Cambier D, Bellemans J. Does soccer participation lead to genu varum? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* April 2009;17(4):422–7.
42. Kromeyer-Hauschild K, Wabitsch M, Kunze D, Geller F, Geiß HC, Hesse V, u. a. Perzentile für den Body-mass-Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben. *Monatsschr Kinderheilkd.* August 2001;149(8):807–18.
43. Hägglund M, Waldén M, Ekstrand J. Risk Factors for Lower Extremity Muscle Injury in Professional Soccer: The UEFA Injury Study. *Am J Sports Med.* Februar 2013;41(2):327–35.
44. Raschka C, Wolthausen C. Raschka, Christoph, and Christina Wolthausen. “Vergleich Körperbautypologischer Unterschiede Bei Fußball- Und Handballspielern Mit Methoden Deutscher Und Angloamerikanischer Konstitutionsschulen / Comparison of Somatotype Differences of Soccer and Handball Players Based on the

Methods of German and Anglo-American Schools of Constitutional Biology.” *Anthropologischer Anzeiger*, vol. 65, no. 3, 2007, pp. 303–16. JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/29542858>. Accessed 25 Nov. 2023. *Anthropologischer Anzeiger*. September 2007;(Jahrg. 65, H. 3):14.

45. Taylor ED, Theim KR, Mirch MC, Ghorbani S, Tanofsky-Kraff M, Adler-Wailes DC, u. a. Orthopedic Complications of Overweight in Children and Adolescents. *Pediatrics*. 1. Juni 2006;117(6):2167–74.

46. Soheilipour F, Pazouki A, Mazaherinezhad A, Yagoubzadeh K, Dadgostar H, Rouhani F. The Prevalence of Genu Varum and Genu Valgum in Overweight and Obese Patients: Assessing the Relationship between Body Mass Index and Knee Angular Deformities: Genu varum and genu valgum in obese patients. *Acta Biomed Atenei Parm*. 5. Oktober 2020;91(4):ahead of print.

47. Martinelli AR, Purga MO, Mantovani AM, Camargo MR, Rosell AA, Fregonesi CEPT, u. a. Análise do alinhamento dos membros inferiores em crianças com excesso de peso. DOI: 10.5007/1980-0037.2011v13n2p124. *Rev Bras Cineantropometria E Desempenho Hum*. 28. Februar 2011;13(2):124–30.

48. Thijs Y, Bellemans J, Rombaut L, Witvrouw E. Is High-Impact Sports Participation Associated with Bowlegs in Adolescent Boys? *Med Sci Sports Exerc*. Juni 2012;44(6):993–8.

49. Yaniv M, Becker T, Goldwirt M, Khamis S, Steinberg DM, Weintraub S. Prevalence of bowlegs among child and adolescent soccer players. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med*. September 2006;16(5):392–6.

50. Cardoso FL, Seneme EDL, Silva MVMD, Laraya MHF, Galbiatti JA, Yanasse RH. FROM GARRINCHA’S LEGS TO NEYMAR’S LEGS: THE GENU VARUM AND VALGUM IN SOCCER. HISTORICAL OVERVIEW AND UPDATE. *Acta Ortop Bras*. Oktober 2021;29(5):277–82.

51. Lynn SK, Costigan PA. Effect of foot rotation on knee kinetics and hamstring activation in older adults with and without signs of knee osteoarthritis. *Clin Biomech*. Juli 2008;23(6):779–86.

52. Besier TF, Lloyd DG, Ackland TR, Cochrane JL. Anticipatory effects on knee joint loading during running and cutting maneuvers: *Med Sci Sports Exerc*. Juli 2001;1176–81.

53. Nyland JA, Caborn DN, Shapiro R, Johnson DL. Crossover cutting during hamstring fatigue produces transverse plane knee control deficits. *J Athl Train*. April

1999;34(2):137–43.

54. Coventry E, O'Connor KM, Hart BA, Earl JE, Ebersole KT. The effect of lower extremity fatigue on shock attenuation during single-leg landing. *Clin Biomech.* Dezember 2006;21(10):1090–7.

55. Savage RJ, Lay BS, Wills JA, Lloyd DG, Doyle TLA. Prolonged running increases knee moments in sidestepping and cutting manoeuvres in sport. *J Sci Med Sport.* Mai 2018;21(5):508–12.

56. Andrews M, Noyes FR, Hewett TE, Andriacchi TP. Lower limb alignment and foot angle are related to stance phase knee adduction in normal subjects: A critical analysis of the reliability of gait analysis data. *J Orthop Res.* März 1996;14(2):289–95.

57. Park S, Ko YM, Jang GU, Hwang YT, Park JW. A Study on the Differences of Quadriceps Femoris Activities by Knee Alignment during Isometric Contraction. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(11):1685–8.

## **10. Danksagung**

Die vorliegende Arbeit wäre ohne die Unterstützung vieler Personen nicht möglich gewesen. Mein Dank gilt zunächst Herrn Prof. Dr. Krutsch für die Betreuung dieser Arbeit und die Erstellung dieses Projektes.

Des Weiteren möchte ich mich ganz besonders bei Herrn Dr. Clemens Memmel für die langjährige Betreuung bedanken. Die zahlreichen Gespräche auf intellektueller und persönlicher Ebene werden mir immer als bereichernder und konstruktiver Austausch in Erinnerung bleiben. Ich habe unsere Dialoge stets als Ermutigung und Motivation empfunden.

Ebenso danke ich der gesamten Arbeitsgruppe an der Klinik für Unfallchirurgie des Universitätsklinikums Regensburg und der guten Zusammenarbeit mit dem FIFA Medical Center of Excellence Regensburg.

Mein außerordentlicher Dank gilt allen Teilnehmern aus den Vereinen ohne deren mühevollen Geduld und Verständnis ein solcher Arbeitsumfang nicht möglich gewesen wäre.

Tief verbunden und dankbar bin ich meinen Eltern, die mich durch mein Studium hindurch vor allem finanziell stets unterstützt haben.



Ich, Andreas Thomas Eckmann, geboren am 05.10.1996 in Straubing, erkläre hiermit, dass Ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen.

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

---

Ort, Datum

---

Unterschrift