

# **Risikofaktorenanalyse für Knieverletzungen in einer Gruppe von weiblichen professionellen Fußballspielerinnen**

Philipp Karl Zepnik

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung eines  
Doktors der Medizin (Dr. med)  
genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr. Lars Mägdefessel

Prüfer\*innen der Dissertation:

1. Priv.-Doz. Dr. Andrea E. Achtnich
2. Priv.-Doz. Dr. Theresa A. Diermeier

Die Dissertation wurde am 01.06.2022 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 08.11.2022 angenommen.

*Meinen Eltern in tiefer Dankbarkeit*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	10
1.1	Epidemiologie .....	10
1.2	Funktionelle Anatomie und Biomechanik des VKB.....	10
1.3	Ruptur und Folgen .....	12
1.4	Risikofaktoren .....	13
1.5	Fragestellung und Hypothese .....	14
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	15
2.1	Patientenkollektiv .....	15
2.2	Anamnestische Erhebung.....	15
2.3	Klinische Untersuchung.....	16
2.4	Funktionstests .....	17
2.4.1	Kniebeuge – einbeinig .....	18
2.4.2	Vertical Drop Jump.....	19
2.5	Kraftmessung .....	21
2.6	Follow-Up.....	22
2.7	Statistische Auswertung.....	22
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	23
3.1	Kniewinkel.....	23
3.2	Hüftwinkel.....	24
3.3	einbeinige Kniebeuge .....	25
3.4	Quadrizeps-Muskel Kraft .....	25
3.5	Follow-Up.....	26
3.6	Inter- und Intra-Rater Reliabilität: .....	26
<b>4</b>	<b>Diskussion</b> .....	27
4.1	Limitationen .....	30

<b>5</b>	<b>Schlussfolgerung</b> .....	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>32</b>
<b>7</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>37</b>
<b>8</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>38</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>39</b>

# Abkürzungsverzeichnis

2D	zwei-dimensional
AM-Bündel	Anteromediales-Bündel
BMI	Body Mass Index
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
et al.	et altera
HKB	hinteres Kreuzband
ICC	Intraklassenkorrelation
IKDC	International Knee Documentation Committee
MAA	Motion Analysis Application
Max	Maximum
Mean	Mittelwert
Min	Minimum
mm	Millimeter
n	Fallzahlen
NE	Nebraska
p	Signifikanzwert (p-Wert)
PL-Bündel	Posterolaterales-Bündel
SD	Standardabweichung
TU-München	Technische Universität München
U17	Unter 17 Jahren
U20	Unter 20 Jahren
VDJ	Vertical Drop Jump
VKB	Vorderes Kreuzband
°	Winkelgrad

# Zusammenfassung

## Ziel/Hypothese:

Eine funktionelle Valgusstellung in der einbeinigen Kniebeuge und ein geringer Kniebeugewinkel nach Landemanövern sind bekannte Risikofaktoren für Knieverletzungen, insbesondere bei jungen Sportlerinnen. Ziel der vorliegenden Studie war es, diese Risikofaktoren mit drei einfach zu handhabenden Tests bei Profifußballerinnen zu bewerten und altersabhängige Unterschiede zu untersuchen.

## Material und Methoden:

In diese prospektive Studie wurden Profifußballerinnen einer Mannschaft verschiedener Altersgruppen: U17 (unter 17 Jahren), U20 (unter 20 Jahren) und Profis - 1. Bundesliga (Erwachsene) eingeschlossen. Es wurden demographische Daten zu Alter und BMI sowie sportartspezifische Daten wie Trainingsintensität, dominantes Bein und Vorgeschichte von Knieverletzungen erfasst. Die klinische Untersuchung umfasste die Kniefunktion und funktionelle Analysen: einbeinige Kniebeugen und Vertical Drop Jump mit Gegenbewegung. Alle Tests wurden mit einer zweidimensionalen (2D) mobilen Bewegungsanalyse-App (MAA) (HUDL, Lincoln, NE, USA) in frontaler und sagittaler Ansicht aufgezeichnet und von drei unabhängigen Untersuchern analysiert. Die Hüft- und Kniebeugung wurde an der tiefsten Position während des Drop-Jump-Tests gemessen. Die einbeinige Kniebeuge wurde nach Crossley beurteilt und in angemessen oder schlecht eingestuft. Die Kraft beider Quadrizepsmuskeln wurde mit einem MicroFET-Handdynamometer gemessen. Die Signifikanz wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

## Resultate:

Insgesamt wurden siebenundvierzig Sportlerinnen mit einem Durchschnittsalter von 20 Jahren (14-33) in die Studie aufgenommen. Die Kniebeugewinkel unterschieden sich signifikant ( $p = 0,045$ ), wobei die höchsten Winkel in der U20-Mannschaft auftraten, während die Hüftbeugewinkel in den Jugendgruppen höher waren ( $p > 0,05$ ). Eine Subgruppenanalyse der Jugendmannschaften (U17 und U20 zusammen) zeigte eine signifikante positive Korrelation zwischen Alter und Kniebeugewinkel ( $p = 0,017$ ), Alter und Hüftbeugewinkel ( $p = 0,015$ ) sowie zwischen BMI und Kniewinkel ( $p = 0,034$ ).

Bei der Untersuchung der einbeinigen Kniebeuge wiesen in der U17-Mannschaft 47,2 % der untersuchten Beine, in der U20-Mannschaft 64,3 % und in der Erwachsenenmannschaft 30,6 % eine funktionelle Valgusstellung auf, auch wenn diese Unterschiede nicht signifikant waren ( $p= 0,077$ ).

Die Quadrizeps-Muskelkraft war bei den erwachsenen Spielern signifikant höher als bei den U17-Spielern ( $p=0,002$ ), wobei keine signifikante Korrelation zwischen Kraft und funktioneller Valgusstellung oder dominantem Schussbein bestand ( $p>0,05$ ).

Die Intra-Rater-Korrelation der MAA für sagittale Ansichten wurde insgesamt als gut bis ausgezeichnet bewertet.

#### Schlussfolgerung:

Die vorliegende Studie unterstreicht die Prävalenz typischer Risikofaktoren für VKB-Verletzungen in verschiedenen Altersgruppen weiblich ambitionierter Sportlerinnen. Die drei Tests könnten für das Screening von verletzungsgefährdeten Athletinnen in einem einfach zu bedienenden 2D Setting wertvoll sein.

# Abstract

## Purpose:

Functional valgus position in single leg squat and low knee flexion angles after landing maneuvers are well-known risk factors for knee injuries in young female athletes. The purpose of the present study was to assess these risk factors with three easy-to-use tests in professional female soccer players and to evaluate age- dependent differences.

## Methods:

Professional female soccer players from one team with different age groups, U17 (under 17 years), U20 (under 20 years) and professionals - 1. Bundesliga (adults) were enrolled in this prospective study. Data for age, BMI, training intensity, dominant leg and previous history for knee injuries were recorded. Clinical examination included knee function and functional tests: single leg squats and drop jump with counter movement. All tests were recorded with a two-dimensional mobile motion analysis (MAA) app (HUDL, Lincoln, NE, USA) in frontal and sagittal view and analyzed by three independent investigators. Hip- and knee flexion were measured at the deepest position during the drop jump test. The single leg squat was categorized as fair or poor according to Crossley grading criteria. Quadriceps muscle strength were evaluated with MicroFET handheld dynamometer. Significance was set at  $p < 0.05$ .

## Results:

Forty- seven female athletes with a mean age of 20 years (14-33) were enrolled. Knee flexion angles differed significantly ( $p = 0.045$ ) with the highest angles in the U20 team, whereas hip flexion angles were higher in the youth groups ( $p > 0.05$ ). A subgroup analysis of the youth teams (U17 and U20 combined) showed a significant positive correlation between age and knee flexion angle ( $p = 0.017$ ), age and hip flexion angle ( $p = 0.015$ ), as well as between BMI and knee angle ( $p = 0.034$ ).

Investigating the single leg squat, in the U17 team 47.2% of the screened legs, in the U20 team 64.3%, and in the adult team 30.6% showed a functional valgus position, even though these differences were not significant ( $p = 0.077$ ).



Quadriceps muscle strength was significantly higher in the adult team compared to the U17 players ( $p=0.002$ ), with no significant correlation between strength and functional valgus position or dominant shooting leg ( $p>0,05$ ).

The Intra-rater Correlation of the MAA for sagittal views was overall rated as good to excellent.

#### Conclusion:

The present study underlines the prevalence of typical risk factors of ACL injuries in different age groups. The three tests might be valuable for screening athletes at risk of injury with an easy-to-use two-dimensional setting.

# 1 Einleitung

## 1.1 Epidemiologie

Das vordere Kreuzband (VKB) ist bei einer Knieverletzung die am häufigsten betroffene Bandstruktur (Johnson et al., 1992). Ihre Inzidenz wird dabei auf 1:3500 geschätzt (Miyasaka, 1991). Mit 38.000 Kreuzbandrissen pro Jahr sind Sportlerinnen zwei- bis achtmal häufiger betroffen als ihre männlichen Kollegen (Toth and Cordasco, 2001). Aufgrund der spieltypischen Sprung- und Abbremsbewegungen kommen Kreuzbandrupturen im Ballsport vergleichsweise häufig vor. Im Fußball ist die Inzidenz von Verletzungen des VKB bei weiblichen Sportlern mehr als doppelt so hoch wie bei männlichen (Prodromos et al., 2007, Waldén et al., 2011).

## 1.2 Funktionelle Anatomie und Biomechanik des VKB

Das vordere Kreuzband verläuft von seinem femoralen Ursprung an der Innenseite der lateralen Kondyle zu seiner Insertion an der Eminentia intercondylaris des Tibiaplateaus. Dabei zeigt sich eine nahezu rechteckige femorale Insertionsfläche von 11-17mm x 3mm, ein bandhafter Verlauf, sowie eine elliptisch bis C-förmige tibiale Insertion (Smigielski et al., 2015, Guenther et al., 2017, Siebold et al., 2015).

Anatomisch lässt sich das Band in viele einzelne strukturelle Bündel unterteilen, jedoch ergeben sich funktionell und biomechanisch eine vereinfachte Einteilung in ein anteromediales (AM) und ein posterolaterales (PL) Bündel. Die Namensgebung basiert auf deren tibialen Lokalisation zueinander.

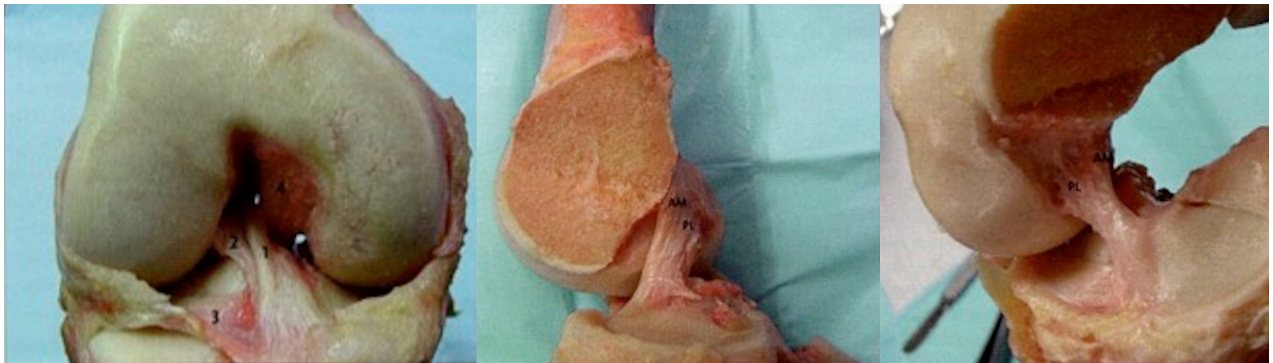


Abbildung 1: links: Ansicht eines 90° gebeugten Kniegelenkes von anterior, (1) AM-Bündel, (2) PL-Bündel des VKB, (3) Außenmeniskus Vorderhorn, (4) HKB; Mitte: Aufsicht auf lateralen Femurkondylus von medial bei gestrecktem und rechts: gebeugtem Kniegelenk. (modifiziert nach (Petersen and Zantop, 2009))

Das vordere Kreuzband zählt im Kniegelenk zu einem der wichtigsten Stabilisatoren und hat insbesondere eine wichtige Funktion im Steuern der Roll-Gleitbewegung. Im gestreckten Zustand des Knies ist das PL-Bündel gestreckt und das AM-Bündel entspannt. Im gebeugten Knie wird das AM-Bündel gespannt und das PL-Bündel entspannt sich. Funktionell ist das AM-Bündel der Hauptstabilisator in der anterior-posterior Translation, wohingegen das PL-Bündel das Knie in der Streckung gegen die Innenrotation stabilisiert (Petersen and Zantop, 2007). Somit zeigen die beiden Bündel ein reziprokes Spannungsverhalten.

Klinisch getestet werden diese beiden Funktionen zum einen durch den Lachmann-Test für die AP-Translation (Torg et al., 1976) sowie den Pivot-shift - Test für die Rotationsstabilität (Galway and MacIntosh, 1980). Dabei konnte die Theorie der isolierten Zuordnung von Funktion zu Bündel bei in-vitro - Studien nicht uneingeschränkt nachgewiesen werden (Sakane et al., 1997). Zusätzlich konnten Sakane et al. in ihrer Studie zeigen, dass die Reißkraft auf das gesamte VKB durch eine anterior-tibiale Belastung bei etwa 15° Flexion am größten ist.

## 1.3 VKB Ruptur und Folgen

Analog zur physiologischen Funktion des VKB lässt sich im Falle einer Ruptur eine vergrößerte anteriore Translation sowie eine verstärkte Innenrotation beobachten. Durch die veränderte Gelenkskinematik verschiebt sich auch die Druckbelastung im Kniegelenk (Andriacchi et al., 2004), was wiederum auf längere Sicht durch den erhöhten Druck auf nicht adaptierte Knorpelflächen im Gelenk für die Entstehung einer Arthrose verantwortlich sein kann (Lohmander et al., 2007).

Einer der häufigsten Verletzungsmechanismen des Knies im Fußball, der valgische Kollaps, entsteht ohne gegnerischen Kontakt, häufig bei der Landung eines Sprunges oder bei Richtungswechseln. Dabei ist das Knie nach innen geknickt (X-Beinstellung), der aufgesetzte Fuß nach außen rotiert und es folgt ein Einbrechen der Beinachse mit Rotation des Oberschenkels nach innen.



Abbildung 2: Typischer Verletzungsmechanismus mit Knie-Valgus-Verdrehtrauma und tibialer Translationskraft (aus (Angele et al., 2013))

Da das vordere Kreuzband eine wichtige Funktion für die Kinematik des Kniegelenkes hat, bedeutet eine Kreuzbandruptur ernsthafte Konsequenzen für den betroffenen Sportler. Eine chronische Instabilität kann die sportliche Leistungsfähigkeit unmittelbar beeinträchtigen. Langfristig führen rezidivierende Subluxationsereignisse zu Meniskus-

und Knorpelschäden (Petersen, 2012). Die Inzidenz der Osteoarthrose ist bei Sportlern mit einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes deutlich erhöht (Lohmander et al., 2004).

## 1.4 Risikofaktoren

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen allgemeinen und modifizierbaren Faktoren. Allgemeine, nicht modifizierbare Risikofaktoren für das Erleiden einer VKB-Ruptur sind das Alter und das Geschlecht. Personen unter 20 Jahren und Frauen haben ein signifikant erhöhtes Risiko für eine VKB-Verletzung (Dunn et al., 2010, Leys et al., 2012, Bisciotti et al., 2019).

Zu den modifizierbaren Risikofaktoren gehören die Sportart, der Hormonstatus und der neuromuskuläre Status des Sportlers. Zu den Risikosportarten gehören Fußball, Basketball, Handball und Alpin-Ski (Alentorn-Geli et al., 2009). Ein weiterer modifizierbarer Risikofaktor für Knie- und insbesondere für VKB-Verletzungen ist die dynamische Valgusstellung des Knies (Numata et al., 2018). Risikoathleten landen nach einem Sprung zudem aufrechter mit einem nur wenig gebeugten Kniegelenk. In dieser Position ist das vordere Kreuzband nur schlecht durch die ischiokrurale Muskulatur geschützt. Zusätzlich sind Risikoathleten häufig quadrizepsdominant. Die valgische Kniestellung wird durch eine Schwäche der Hüftrotatoren sowie eine verminderte Rumpfstabilität unterstützt. Verschiedene Sprungtests und einbeinige Kniebeugen wurden bereits verifiziert, um Risikosportler zu identifizieren (Mehl et al., 2018).

Frauenfußball wird insgesamt immer populärer, daher gewinnt die geschlechtsspezifische Analyse von Verletzungshäufigkeiten und Risikofaktoren an Bedeutung. In der gegenwärtigen Literatur gibt es schon einige vergleichende Studien zwischen der Verletzungshäufigkeit und dem Auftreten von Risikofaktoren bei männlichen und weiblichen Fußballspieler:innen (Nilstad et al., 2014, Walden et al., 2011, Quisquater et al., 2013). Jedoch sind nicht nur geschlechterspezifisch, sondern auch altersspezifische Unterschiede bekannt. So weisen jüngere Athletinnen ein deutlich höheres Risiko für das Auftreten einer Kreuzbandruptur auf (Walden et al., 2011).

## 1.5 Fragestellung und Hypothese

Ziel der vorliegenden Studie war es, altersbedingte Unterschiede und die Häufigkeit von Risikofaktoren bei Profifußballerinnen mit einfach zu handhabenden Tests zu untersuchen.

Konkret ergeben sich folgende Fragestellungen:

1. Vergleich der Verletzungshäufigkeit in den einzelnen Altersklassen
2. Häufigkeit von Risikofaktoren für Knieverletzungen, insbesondere funktioneller Valgus und Vergleich in den einzelnen Altersklassen

Hinsichtlich der zu erwartenden Ergebnisse wurde folgende Hypothesen erstellt:

3. Jüngere Fußballspielerinnen weisen eine höhere Rate an schlechter Ausführung in der einbeinigen Kniebeuge (funktioneller Valgus) auf als die älteren Spielerinnen der Profigruppe.
4. Jüngere Fußballspielerinnen weisen häufiger Verletzungen auf als die älteren Spielerinnen

## **2 Material und Methoden**

Die vorliegende prospektive Forschungsarbeit wurde im Rahmen der jährlichen Saisonvorbereitungs-Checkup Untersuchung an unserem Institut durchgeführt.

Alle Teilnehmerinnen gaben ihre schriftliche Einwilligung zur Teilnahme. Die Studie wurde von der zuständigen Ethikkommission der TU-München (Nr.: 307/16) genehmigt und gemäß der Deklaration von Helsinki und deren ethischen Grundsätzen für die Forschung durchgeführt.

### **2.1 Patientenkollektiv**

Eingeschlossen wurden Spielerinnen der Damenmannschaften U17, 2. und 1. Mannschaft des FC-Bayern-München, die im Rahmen ihrer leistungs-diagnostischen Untersuchung zu Beginn der Saisonvorbereitung untersucht wurden.

Von der Studie ausgeschlossen wurden Spielerinnen, welche aufgrund einer akuten behandlungsbedürftigen Verletzung nicht an einer Funktionsuntersuchung teilnehmen konnten oder sich nicht zur Teilnahme bereit erklärten.

### **2.2 Anamnestische Erhebung**

An insgesamt 7 Terminen im Juni und Juli 2018 (29.06. sowie 10., 11., 16., 17., 19. und 24.07.2018) erschienen 47 Spielerinnen zur Untersuchung.

Nach einer Aufklärung, der Übergabe eines Probanden-Informationsblattes sowie einer schriftlichen Einverständniserklärung zur Teilnahme an dieser Studie durch die Spielerinnen, begann die Untersuchung mit der Erhebung der standardisierten Anamnese mittels Fragebogen (siehe Anhang).

Zunächst wurden demographische Patientendaten wie Name, Geschlecht, Geburtsdatum, Größe und Gewicht erfasst. Es folgte eine allgemeine Anamnese der Grunderkrankungen, regelmäßig eingenommenen Medikamente sowie des Alkohol- und Nikotinkonsums. Anschließend folgte die spezielle Anamnese hinsichtlich der Sporthistorie. Dazu gehörte

die Erhebung des Berufes (falls vorhanden), des Schussbeines sowie die Dauer der aktiven Fußball-Karriere. Des Weiteren wurden auch alle anderen betriebenen Sportarten erhoben, inklusive deren zeitlichen Umfang.

Weitere erhobenen Variablen waren das durchschnittliche Wochenpensum (Training/Spiele), die hauptsächlich gespielte Position sowie die Verletzungsvorgeschichte mit Fokus auf den Kniegelenken, inklusive möglicher Operationen und den daraus resultierenden Trainingsausfällen.

Zum Schluss der Anamnese wurden aktuelle Knieprobleme mit Begleitung einer bemerkten Schwellneigung, Krepitationen oder Blockadephänomene sowie nach der Einnahme von Schmerzmitteln aufgrund von Kniegelenksbeschwerden gefragt. Alle gewonnenen Informationen wurden standardisiert durch einen eigenen, spezifischen Fragebogen erhoben und dokumentiert (siehe Anhang).

## **2.3 Klinische Untersuchung**

Die klinische Untersuchung des Kniegelenkes richtete sich zur Vereinheitlichung der Dokumentation und im Sinne der Vergleichbarkeit an das „Formblatt zur Untersuchung des Knies“ aus dem IKDC-Score (International Knee Documentation Committee) – siehe Anlage. Die Untersuchung wurde von einer erfahrenen Assistenzärztin oder einer Oberärztin/einem Oberarzt aus der Abteilung für Sportorthopädie sowie dem Doktoranden durchgeführt.

Es wurde die allgemeine Laxizität der Gelenke untersucht. Die Beinachse wurde im Stehen beurteilt und unterteilt in varus, valgus und gerade, ähnlich der von Hinman et al beschriebenen Methode (Hinman et al., 2006). Die Patellastellung wurde überprüft, eingeteilt in Patella baja/normal/alta, sowie das Bewegungsausmaß mit Hilfe eines Winkelmessers nach der Neutral-0-Methode dokumentiert. Des Weiteren wurde das retropatellare Gleitlager durch Ertasten von Krepitationen und durch Testen des Zohlen-Zeichens untersucht. Eine mögliche Instabilität der Patella wurde durch den Apprehension-Test erfasst sowie deren Luxierbarkeit geprüft. Der Erguss im Knie wurde in „leicht“/„mäßig“/„deutlich“ eingeteilt und entsprechend bewertet. Anschließend wurde das passive Streck- und Beugedefizit überprüft. Die Untersuchung des vorderen Kreuzbandes erfolgte durch den Lachman-Test in 25° Beugung (Torg et al., 1976) und den Pivot-shift-Test (Galway and MacIntosh, 1980).





Abbildung 3: Lachmann Test mit der Hand gehalten (modifiziert nach (Barié and Scheffler, 2016) )

Das hintere Kreuzband wurde durch die hintere Schublade getestet (Rubinstein et al., 1994). Eine mediale und laterale Instabilität des Knies, insbesondere verursacht durch die medialen und lateralen Kollateralbänder, wurde durch die Aufklappbarkeit durch Varus- und Valgusstress in gestrecktem Zustand und bei 30° Beugung untersucht (Hepp and Debrunner, 2004). Die posterolaterale Stabilität des Knies wurde durch den Außenrotationstest in 30° und 90° überprüft. Abschließend wurde der Innen- und Außenmeniskus anhand des McMurray-, Thessaly- und Apley-Grind Test evaluiert.

## 2.4 Funktionstests

Im Rahmen der funktionellen Tests des Kniegelenkes wurden die Bewegungen während bestimmter Sprungtests analysiert. Dazu absolvierten die Sportlerinnen insgesamt 3 spezifische Übungen, die allesamt mit einem Ipad und der Huddl-Technique-App (HUDDL, Lincoln, NE, USA) gefilmt und anschließend von drei unabhängigen Analysten ausgewertet wurden. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Standpositionen der

Kamera und der Athletinnen am Boden mit Hilfe von Tapes markiert. Die Tests beinhalteten einbeinige Kniebeugen sowie Vertical Drop Jumps (VDJ) beidbeinig. Die Tests wurden von vorn gefilmt, mit Ausnahme der VDJ, die sowohl von vorne als auch von der Seite gefilmt wurden. Zur besseren Auswertung trugen alle Sportlerinnen kurze Trainingshosen und Sportschuhe.

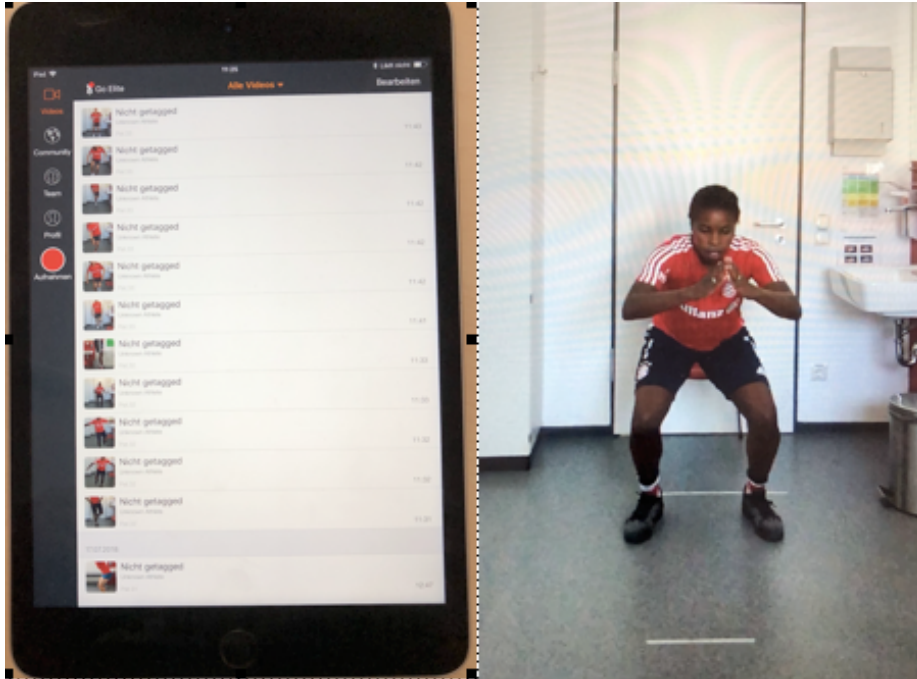


Abbildung 4: Huddl Technique App auf Ipad, Spielerin in Testsituation

### 2.4.1 Kniebeuge – einbeinig

In diesem Test sollten die Spielerinnen eine möglichst tiefe und saubere einbeinige Kniebeuge absolvieren, wobei insbesondere darauf geachtet wurde, dass sich die Ferse während der gesamten Übung auf dem Boden befand. Die Armhaltung wurde nicht vorgegeben und auch die Position des anderen Beines konnten die Spielerinnen frei wählen. Die Übung wurde mit beiden Beinen nacheinander durchgeführt.

Die einbeinigen Kniebeugen wurden gemäß der Crossley Grading Kriterien als „gut“ oder „schlecht“ bewertet (Crossley et al., 2011).

Sobald eines der folgenden Kriterien erfüllt wurde zählte die Ausführung als „schlecht“:

- (1) ipsilaterale Ausgleichsbewegung des Oberkörpers,
- (2) Beckenneigung,
- (3) Hüftadduktion oder Innenrotation,
- (4) dynamischer Valgus des Knies,
- (5) Gleichgewichtsverlust

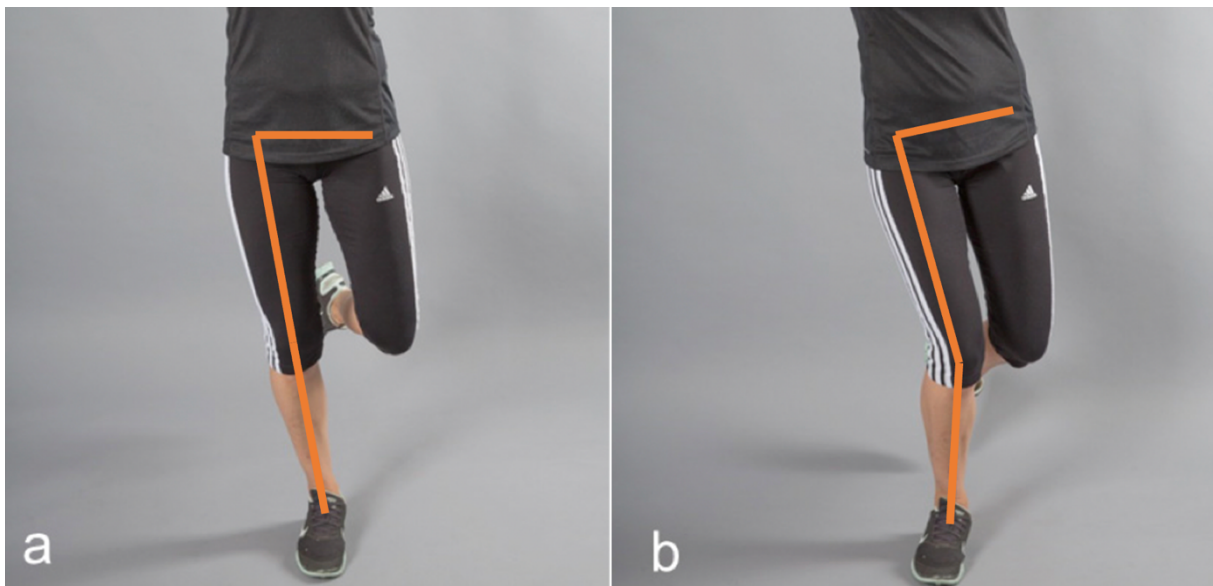


Abbildung 5: Grading-Kriterien: 1a gut, 1b schlecht (modifiziert nach (Petersen et al., 2016))

### 2.4.2 Vertical Drop Jump

Ausgangspunkt für die beidbeinigen Vertical Drop Jumps war die Sitzfläche eines Stuhles. Aus 45cm Standhöhe sprangen die Athletinnen beidbeinig mit einem kleinen Schritt nach vorne vom Stuhl. Die Aufgabenstellung sah vor, die Landung abzufedern und anschließend direkt noch einmal einen Strecksprung zu absolvieren. Diese Übung wurde zweimal durchgeführt. Einmal mit Videoaufnahme von vorne und das zweite Mal von der Seite. In der Auswertung wurde in der sagitalen Aufnahme die Hüftflexion, die Knieflexion sowie die Dorsiflexion des Sprunggelenkes am tiefsten Punkt der Landung analysiert. Wie dabei bereits verschiedene Studien zeigen konnten, korreliert ein gestreckterer

Kniewinkel bei der Landung mit einer höheren Verletzungswahrscheinlichkeit (Augustsson et al., 2018, Lepley and Kuenze, 2018).

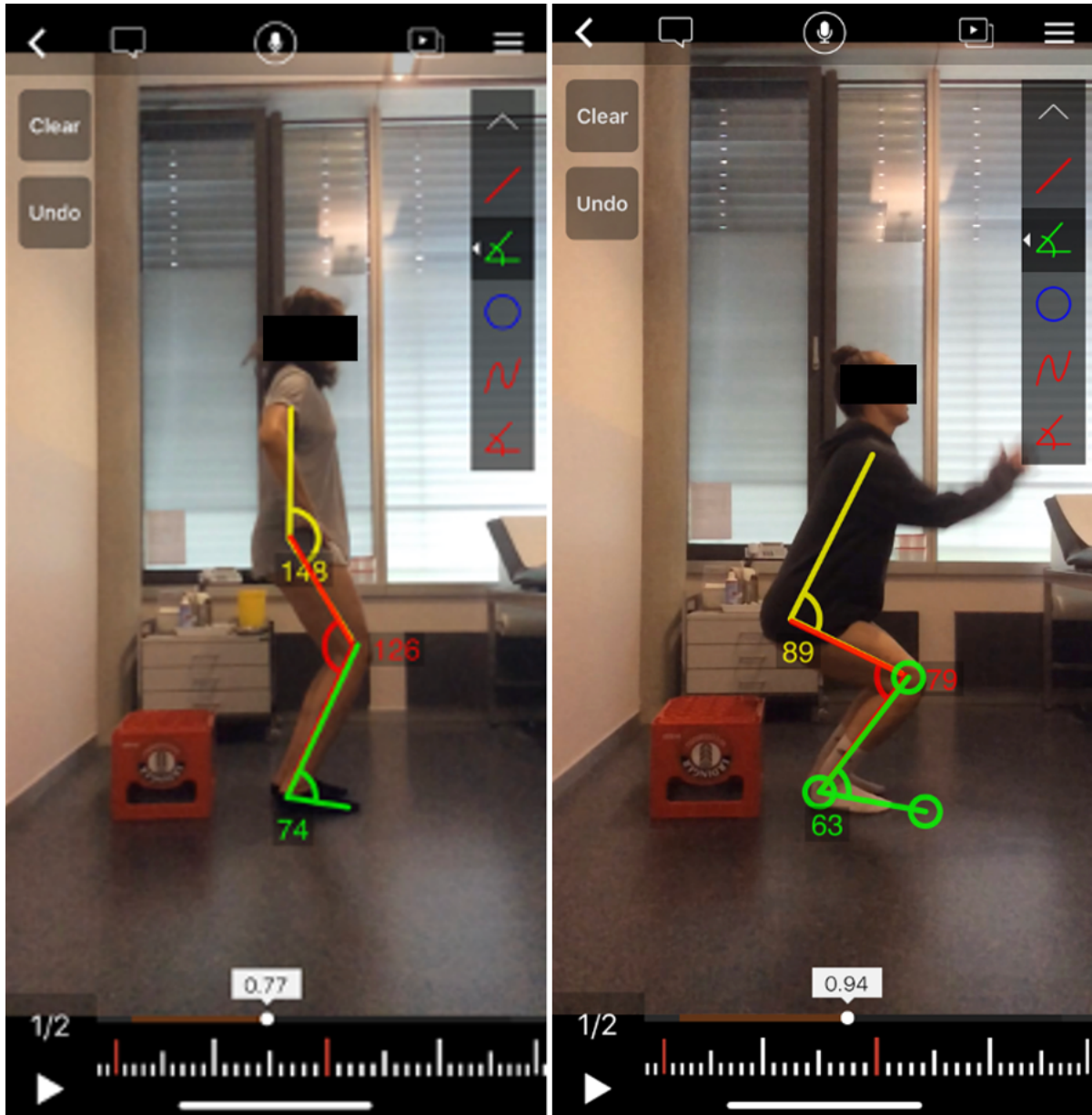


Abbildung 6: Vertical Drop Jump: Vier Linien wurden gezogen. Von der Schulter zum Mittelpunkt der Hüfte, zur Patella, zum Zentrum des Sprunggelenkes und zu den Zehen. Die entstehenden Hüft- und Kniewinkel wurden gemessen.

## 2.5 Kraftmessung

Die isometrische Kraftmessung des Musculus Quadriceps femoris erfolgte einbeinig, auf einer Liege sitzend und in 90° Flexion in Hüft- und Kniegelenk durch Extension des Unterschenkels gegen ein statisches Kraftmessgerät (MicroFET2 hand held measurement, Hoggan Scientific, Utah, USA), das nach hinten gegen die Wand fixiert wurde. Die Spielerinnen durften sich während der Messung mit den Händen seitlich an der Liege festhalten, um möglichst wenig Ausgleichsbewegung im Oberkörper zuzulassen. Es erfolgte je Bein ein Probedurchlauf, gefolgt von drei gewerteten Kraftmessungen. Dabei ermittelte das Messgerät den Peak-Wert in Pfund (lbs.) mit einer Genauigkeit von 1%. Mentiplay et al. belegten in ihrer Studie bereits die hohe bis exzellente Intra-Rater, Inter-Rater sowie Inter-Device Reliabilität und Validität für junge Sportler mit Fokus auf die untere Extremität (Mentiplay et al., 2015).



Abbildung 7: MicroFET 2, in der Hand gehaltenes Kraftmessgerät

## 2.6 Follow-Up

Im August 2019 folgte das Follow-Up zur ersten Untersuchung nach einem Jahr. In der Zwischenzeit lag teilweise die Vorbereitungsphase auf die Saison, die eigentliche Liga-Spielsaison 2018/2019 sowie für einige Spielerinnen im Anschluss die Weltmeisterschaft 2019 in Frankreich.

Bei 34 Spielerinnen erfolgte das Follow-Up telefonisch. In 13 Fällen, wenn die Spielerinnen aufgrund von zwischenzeitlichen Wechseln zu anderen Vereinen nicht mehr telefonisch erreichbar waren, wurden die Daten per Email bzw. durch Recherche im Internet (DFB.Datencenter und Social-Media-Kanäle) erhoben. Von 2 Spielerinnen waren aufgrund von fehlender Erreichbarkeit keine Daten zu erheben.

In der Befragung wurden alle neu aufgetretenen Verletzungen am Knie in der abgelaufenen Saison erfasst. Zusätzlich wurde das aktuelle Trainingspensum, die Spielposition sowie die Spielklasse erhoben.

## 2.7 Statistische Auswertung

Die Analyse der Hauptzielkriterien erfolgt deskriptiv. Für quantitative Zielgrößen wurden Mittelwerte, Standardabweichungen, Quantile, sowie Minima und Maxima berechnet. Für qualitative Merkmale wurden absolute und relative Häufigkeiten bestimmt. Für die sekundären Fragestellungen erfolgten explorative Analysen, sowohl mittels deskriptiven Verfahren als auch durch inferenzstatistische Methoden, entsprechend der einzelnen Fragestellungen: t-Test bzw. Mann-Whitney U Test für Zwei-Gruppen-Vergleiche, Korrelationen nach Pearson bzw. Spearman zur Analyse von Zusammenhängen zweier stetiger Variablen und für qualitative Variablen der Chi<sup>2</sup>-Test bzw. der exakte Test nach Fisher.

Intra-Rater und Inter-Rater Reliabilität wurden berechnet, um die Konsistenz und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, bei einem Signifikanzniveau von  $p < 0.05$ .

## 3 Ergebnisse

Insgesamt konnten 47 Spielerinnen in dieser Studie eingeschlossen werden. Die demographischen Daten sind in Tabelle eins, die Beinachse in Tabelle zwei zusammengefasst.

	n	Alter	BMI	dominanter Fuß rechts	Einheiten/Woche	Knieverletzung
Total	47	20 (14 - 33)	21.5 (18.0 - 25.2)	41	5.7 (4 - 8)	21
U17	18	15 (14 - 16)	20.5 (18.0 - 25.2)	17	4.2 (4 - 6)	5
U20	11	19 (16 - 24)	22.5 (21.2 - 24.2)	10	5.5 (5 - 7)	5
Jugend (U17 +U20)	29	17 (14 - 14)	21.3 (18.0 - 25.2)	27	4.7 (4 - 7)	10
Profis	18	25 (20 - 33)	21.8 (19.7 - 23.8)	14	7.2 (7 - 8)	11

Tabelle 1: Daten für 47 Athletinnen insgesamt und in Teams unterteilt mit jeweiligem Alter, BMI, dominanten Fuß (bevorzugtes Schussbein), sowie die Anzahl an Einheiten pro Woche. Vorherige Knieverletzungen wurde definiert mit einer Trainingspause von mindestens drei Wochen in der Karriere.

	n	klarer Varus	normal	klarer Valgus
Total	47	14	31	1
U17	18	0	17	1
U20	11	7	4	0
Jugend (U17 +U20)	29	7	21	1
Profis	18	7	10	0

Tabelle 2: Subgruppenanalyse der Beinachse in der klinischen Untersuchung

### 3.1 Kniewinkel

Die Kniebeugewinkel der jungen Athletinnen ( $83,5^{\circ} \pm 19,9^{\circ}$ ) waren ähnlich wie bei den Profis ( $82,4^{\circ} \pm 19,6^{\circ}$ ). In einer Subgruppenanalyse unterschieden sich die Kniebeugewinkel bei der Landung jedoch signifikant ( $p=0,045$ ), wobei die höchsten Winkel in der U20-Gruppe ( $97,0^{\circ} \pm 17,5^{\circ}$ ) auftraten.

In der Gesamtgruppe der Athletinnen wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Kniebeugewinkeln und dem Alter oder BMI festgestellt ( $p= 0,931$  und  $p= 0,267$ ). In den Jugendgruppen (U17 und U20) getrennt sowie in der kombinierten U17 und U20 Gruppe fanden wir jedoch eine signifikante positive Korrelation für Alter ( $p= 0,017$ ) und BMI ( $p= 0,034$ ).

	Kniewinkel	Range
Total	82.9	40.3 - 126.0
U17	73.7	40.3 - 97.7
U20	97.0	73.0 - 126.0
Jugend (U17 +U20)	83.5	40.3 - 126.0
Profis	82.4	55.0 - 117.7

Tabelle 3: Subgruppenanalyse der Kniebeugewinkel und der dazugehörigen Range.

## 3.2 Hüftwinkel

Die jungen Athletinnen landeten mit höheren Hüftbeugewinkeln ( $89,0^\circ \pm 25,6^\circ$ ) im Vergleich zu den Profis ( $84,6^\circ \pm 30,5^\circ$ ), mit den höchsten Winkeln in der U20-Gruppe ( $107,8^\circ \pm 24,7^\circ$ ), auch wenn die Ergebnisse nicht signifikant waren. Für die Hüftbeugewinkel in der Gesamtgruppe wurde keine signifikante Korrelation mit dem Alter ( $p= 0,750$ ) oder dem BMI ( $p= 0,717$ ) gefunden. In der Subgruppenanalyse der kombinierten Jugendgruppen konnte eine signifikante Korrelation für das Alter ( $p= 0,015$ ) festgestellt werden.

	Hüftwinkel	Range
Total	86.9	52.0 - 150.0
U17	75.4	52.0 - 104.3
U20	107.8	72.3 - 150.0
Jugend (U17 +U20)	89.0	52.0 - 150.0
Profis	84.6	52.0 - 144.0

Tabelle 4: Subgruppenanalyse der Hüftwinkel und der dazugehörigen Range.



### 3.3 Einbeinige Kniebeuge

Eine funktionelle Valgusstellung, die sich als ungünstigere Form bei der einbeinigen Kniebeuge äußerte, wurde häufiger bei jüngeren Athletinnen festgestellt, wobei die Inzidenz bei den Erwachsenen am niedrigsten war (30,6 %). Bei den jugendlichen Athletinnen zeigte eine Subgruppenanalyse die höchste Inzidenz in der U20-Mannschaft mit 64,3 % ( $p > 0,05$ ).

	schlecht	Beine	Prozent
Total	37	86	43.0
U17	17	36	47.2
U20	9	14	64.3
Jugend (U17 +U20)	26	50	52.0
Profis	11	36	30.6

Tabelle 5: Subgruppenanalyse der einbeinigen Kniebeuge (Valgusposition) in Prozent der insgesamt untersuchten Beine.

### 3.4 Quadrizeps-Muskel Kraft

Die Quadrizepsmuskelkraft war bei der Erwachsenenmannschaft im Vergleich zur U17-Mannschaft für beide Beine signifikant höher. ( $p = 0,002$ ).

		N	Mean	SD	Min	Max
Jugend	Kraft Quadrizeps links [N]	18	59.9	13.4	38.4	89.2
	Kraft Quadrizeps rechts [N]	18	64.4	19.4	38.8	103.0
Profis	Kraft Quadrizeps links [N]	18	80.3	20.9	54.7	130.2
	Kraft Quadrizeps rechts [N]	18	88.8	25.0	58.0	131.9
Total	Kraft Quadrizeps links [N]	36	73.1	22.6	38.5	130.2
	Kraft Quadrizeps rechts [N]	36	77.6	25.5	38.8	131.9

Tabelle 6: Subgruppenanalyse für die Quadrizepsmuskelkraft, für rechtes und linkes Bein.

Es gab jedoch keine signifikante Korrelation zwischen der Quadrizepsmuskelkraft und der funktionellen Valgusstellung während einbeiniger Kniebeuge oder dem dominanten Schussbein ( $p > 0,05$ ).

### 3.5 Follow-Up

Die Verletzungsrate in der Saison 18/19 war mit 22,2% im Profiteam am höchsten und im U17 Team am niedrigsten ( $p > 0,05$ ).

	n	Verletzungen	Prozent
Total	47	8	17.0
U17	18	2	11.1
U20	11	2	18.2
Jugend (U17 +U20)	29	4	13.8
Profis	18	4	22.2

Tabelle 7: Subgruppenanalyse der neu aufgetretenen Verletzungen in der Saison 18/19

Korrelationen zwischen neu aufgetretenen Knieverletzungen und funktioneller Valgusposition, niedrigen Kniebeugewinkeln im VDJ oder den Kraftwerten ergaben allesamt keine signifikanten Ergebnisse ( $p > 0,05$ ).

### 3.6 Inter- und Intra-Rater Reliabilität

Für alle Messungen wurde eine gute bis ausgezeichnete Interrater-Reliabilität festgestellt (Cicchetti, 1994, Koo and Li, 2016). Der ICC-Wert für die sagittale Ansicht betrug 0,99 (0,987 - 0,997,  $p < 0,0001$ ) und für die frontale Ansicht 0,82 (0,82 - 0,82). Die Interrater-Reliabilität für sagittale Ansichten betrug 0,96 (0,933 - 0,978,  $p < 0,0001$ ) und 0,85 (0,750 - 0,948) für frontale Ansichten.

## 4 Diskussion

Die wichtigste Erkenntnis der vorliegenden Studie ist, dass Risikofaktoren für Knieverletzungen bei Profifußballerinnen häufiger bei jüngeren Athleten vorkommen und mit einfach zu handhabenden Tests in Kombination mit einem zweidimensionalen Videoaufzeichnungssystem bewertet werden können. Im Vergleich zu den Profis zeigten jüngere Sportlerinnen häufiger eine funktionelle Valgusstellung in der einbeinigen Kniebeuge, einen höheren Knie- und Hüftbeugewinkel in der Landeposition und eine geringere Quadrizepsmuskelkraft.

Eine kürzlich durchgeführte Studie von Numata et al. (Numata et al., 2018) an High-School-Athletinnen (Durchschnittsalter  $15,0 \pm 0$ ) zeigte, dass der dynamische Valgus des Knies bei jungen Sportlerinnen mit nachfolgenden kontaktlosen Verletzungen signifikant größer war. In der vorliegenden Studie wurde eine funktionelle Valgusstellung, die als schlechte Form in der einbeinigen Kniebeuge bewertet wurde, bei jüngeren Athletinnen häufiger gefunden als bei den Athletinnen der Erwachsenenmannschaft. Die höchste Inzidenz der funktionellen Valgusstellung innerhalb der drei Gruppen war jedoch in der U20-Mannschaft zu verzeichnen.

Neben der funktionellen Valgusstellung haben verschiedene Studien gezeigt, dass ein geringer Kniebeugewinkel in sagittaler Ansicht ein wichtiger Risikofaktor ist (Alentorn-Geli et al., 2009, Hewett et al., 2010). In der vorliegenden Studie korrelierte der Knie- und Hüftbeugewinkel im Vertical Drop Jump mit Gegenbewegung signifikant mit Alter und BMI. Im Einzelnen landeten die älteren Athletinnen, d. h. die Athletinnen in der Mannschaft unter 20 Jahren, mit signifikant höheren Knie- und Hüftwinkeln im Vergleich zu den jüngeren Athletinnen in der U17-Mannschaft. Diese Korrelation setzte sich jedoch in der Profimannschaft nicht fort. Dies deutet darauf hin, dass das Training in Jugendmannschaften eine wichtige Rolle bei der Vorbeugung dieser Risikofaktoren spielt, da erwachsene Sportlerinnen eine höhere Trainingsintensität und eine höhere durchschnittliche Muskelkraft aufwiesen (Mehl et al., 2018).

Arundale et al. (2020) zeigten, dass Frauen beim Vertical Drop Jump in geringerer Hüftflexion landeten als Männer. Gleichzeitig korrelierte der Kniewinkel bei

Jugendspielerinnen auch mit dem BMI. Spielerinnen mit einem höheren BMI landeten mit einem signifikant höheren Kniewinkel, während sich diese Korrelation bei erwachsenen Spielerinnen nicht fortsetzte. Dies lag wahrscheinlich daran, dass in der Erwachsenenengruppe aufgrund ihrer höheren Trainingsintensität keine Athletinnen mit einem erhöhten BMI mehr vorhanden waren.

Hinsichtlich der Bewertung des funktionellen Valgus und der Knie- und Hüftflexionswinkel hat sich die zweidimensionale MAA als geeignete Methode zur Beurteilung dieser Faktoren erwiesen (Ortiz et al., 2016, Peebles et al., 2021, Ramirez et al., 2018).

Walden et al. (2011) zeigten, dass die Häufigkeit von VKB-Verletzungen bei weiblichen Elite-Fußballerinnen mehr als doppelt so hoch war wie bei ihren männlichen Kollegen und dass sie bei einer VKB-Verletzung deutlich jünger waren ( $20,6 \pm 2,2$  gegenüber  $25,2 \pm 4,5$ ).

In unser Follow-Up Erhebung nach der Saison 2018/2019 zeigte sich zum einen, dass die höchste Verletzungsinzidenz mit 22,2% der Athletinnen zwar im Profiteam war, was jedoch vermutlich auf die erhöhte Trainings- und Wettkampfbelastung zurückzuführen ist. Unter den Jugendteams hatten ebenfalls die Athletinnen des U20-Teams mit 18,2% im Vergleich zu 11,1% im U17-Team die höchsten Verletzungsraten. Dies deckt sich ebenfalls mit der Beobachtung der deutlich erhöhten Risikofaktoren der älteren Athletinnen des U20-Teams im Vergleich zu den jüngeren Athletinnen des U17-Teams.

In der vorliegenden Studie waren die wichtigsten veränderbaren Risikofaktoren für eine VKB-Verletzung in den Jugendgruppen höher und in der U20-Gruppe am höchsten.

Bei der Betrachtung der drei Tests in der vorliegenden Studie wurde deutlich, dass die Risikofaktoren bei jüngeren Sportlerinnen offensichtlicher sind, was eine Erklärung für die höhere Rate an Knieverletzungen bei jüngeren Sportlerinnen sein könnte. Beide Jugendgruppen wiesen eine höhere Inzidenz von funktionellem Valgus auf, der sich als schlechte Form in der einbeinigen Kniebeuge zeigte. Innerhalb der Jugendgruppen hatten die älteren Athletinnen zusätzlich ein höheres Risiko aufgrund ihres höheren Knielandungswinkels nach dem Vertical Drop Jump.

Außerdem war die Quadrizeps-Muskelkraft in beiden Beinen bei den Spielerinnen der Profigruppe signifikant höher als bei den U17-Athletinnen. Diese Trends setzten sich

jedoch in der Profigruppe nicht fort. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass die Gruppe der Profis zu klein war und zu wenige Risikosportler in der Gruppe waren.

Ein Grund dafür, dass ältere Sportlerinnen einen stabileren Bandapparat des Kniegelenkes aufweisen, könnte die Selektion von Sportlerinnen ohne Risikofaktoren sein. Während der vielen Jahre als Profisportlerinnen neigen diejenigen mit schwerwiegenden Risikofaktoren zu mehr Verletzungen und könnten daher gezwungen sein ihre Karriere früher zu beenden. Theoretisch schaffen es nur diejenigen, die keine schweren Verletzungen und stabile Knie haben, in die Profiligen der Erwachsenen.

Ein weiterer Grund dafür könnte sein, dass erfahrene Sportlerinnen und besser trainierte Sportlerinnen geringfügige Instabilitäten des Kniegelenkes besser kompensieren können und eine bessere Kontrolle über das Kniegelenk haben. Profisportlerinnen hatten eine signifikant höhere Quadrizeps-muskelkraft als U17-Spielerinnen, was darauf hindeuten könnte, dass die jüngeren Athletinnen eine unzureichende Kraftbasis haben.

In einer Meta-Analyse zeigten Webster KE et al. (2021), dass die gesamt Return-to-sport Rate nach einer VKB-Verletzung bei Profi-Sportlerinnen bei 85 % lag. Die höchste Rückkehrquote wurde im Skisport festgestellt (100 %) (Haida et al., 2016), wobei die Athletinnen und Athleten nach der Verletzung sogar bessere Leistungen erbrachten, besser platziert waren und weniger FIS-Punkte hatten als ohne Verletzung. Bei Kontaktsportarten wie Basketball (69 %) (Tramer et al., 2020) und Fußball (85 % (Howard et al., 2016) und 86 % (Walden et al., 2011)) wurde eine geringere Rückkehrquote festgestellt. Dies erklärt einerseits das Fehlen von Hochrisikosportlerinnen in unserer Profigruppe und unterstreicht andererseits die Bedeutung eines einfach anzuwendenden Screening-Tests für Hochrisikosportlerinnen.

## 4.1 Limitationen

Diese Studie hat mehrere Einschränkungen, die berücksichtigt werden müssen. Erstens wurden nur eine zweidimensionale Videoauswertungssoftware und ein Handdynamometer zur Kraftmessung verwendet, was die Anwendung im Trainingsalltag erleichtert. Der Goldstandard für ein Screening wäre jedoch eine dreidimensionale Auswertung (Vicon™ motion capture system) (Irawan et al., 2022) und ein isokinetisch - stationäres Setting. Zweitens war unsere Gruppe mit nur 47 Sportlerinnen relativ klein. Auf der anderen Seite waren alle Athletinnen aus dem gleichen Team (FC Bayern München) aus 3 Gruppen, daher ist ihre Trainingsbelastung ähnlich und vergleichbar. Drittens ist diese Studie eine Querschnittsstudie. Eine Folgestudie wäre sehr interessant, um neben den Verletzungen auch noch die Veränderungen bei den Risikofaktoren zu ermitteln.

Trotz dieser Einschränkungen unterstreicht diese Studie die bereits vorhandenen Hinweise auf Risikofaktoren bei Profifußballerinnen. Sie zeigt, dass eine detailliertere Untersuchung verschiedener Altersgruppen bei jungen Sportlerinnen erforderlich ist und unterstreicht den Stellenwert der Prävention durch die Erfassung von Risikofaktoren. Junge Sportlerinnen sollten mit einfach anzuwendenden Tests wie diesem untersucht werden, damit sie ein gezieltes Training absolvieren können, um diese veränderbaren Risikofaktoren anzugehen.

## 5 Schlussfolgerung

Die Prävalenz typischer Risikofaktoren für Knieverletzungen bei Profifußballerinnen ist ein altersabhängiges Phänomen und tritt häufiger bei jüngeren Sportlerinnen auf. Die vorgestellten, einfach anzuwendenden Tests mit einem 2D-Screening könnten für die Untersuchung von Risikosportlern wertvoll sein. Das Training junger Sportlerinnen sollte sich auf die funktionelle Kniestabilität beider Beine konzentrieren, um künftigen Knieverletzungen vorzubeugen.

## 6 Literaturverzeichnis

- ALENTORN-GELI, E., MYER, G. D., SILVERS, H. J., SAMITIER, G., ROMERO, D., LAZARO-HARO, C. & CUGAT, R. 2009. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 17, 705-29.
- ANDRIACCHI, T. P., MUNDERMANN, A., SMITH, R. L., ALEXANDER, E. J., DYRBY, C. O. & KOO, S. 2004. A framework for the in vivo pathomechanics of osteoarthritis at the knee. *Ann Biomed Eng*, 32, 447-57.
- ANGELE, P., EICHHORN, H., HOFFMANN, H. & KRUTSCH, W. 2013. Prävention von vorderen Kreuzbandrupturen. *Arthroskopie aktuell*, 26.
- ARUNDALE, A. J. H., KVIST, J., HÄGGLUND, M. & FÄLTSTRÖM, A. 2020. Jump performance in male and female football players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 28, 606-613.
- AUGUSTSSON, S. R., TRANBERG, R., ZUGNER, R. & AUGUSTSSON, J. 2018. Vertical drop jump landing depth influences knee kinematics in female recreational athletes. *Phys Ther Sport*, 33, 133-138.
- BARIÉ, A. & SCHEFFLER, S. 2016. Diagnostik des Kniebandapparates. *AGA-Komitee-Knie-Ligament*, 24.
- BISCIOTTI, G. N., CHAMARI, K., CENA, E., BISCIOTTI, A., BISCIOTTI, A., CORSINI, A. & VOLPI, P. 2019. Anterior cruciate ligament injury risk factors in football. *J Sports Med Phys Fitness*, 59, 1724-1738.
- CICCHETTI, D. 1994. Guidelines, Criteria, and Rules of Thumb for Evaluating Normed and Standardized Assessment Instrument in Psychology. *Psychological Assessment*, 6, 284-290.
- CROSSLEY, K. M., ZHANG, W. J., SCHACHE, A. G., BRYANT, A. & COWAN, S. M. 2011. Performance on the single-leg squat task indicates hip abductor muscle function. *Am J Sports Med*, 39, 866-73.
- DUNN, W. R., SPINDLER, K. P. & CONSORTIUM, M. 2010. Predictors of Activity Level 2 Years After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction (ACLR) A Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) ACLR Cohort Study. *The American journal of sports medicine*, 38, 2040-2050.



- GALWAY, H. R. & MACINTOSH, D. L. 1980. The lateral pivot shift: a symptom and sign of anterior cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop Relat Res*, 45-50.
- GUENTHER, D., IRARRAZAVAL, S., NISHIZAWA, Y., VERNACCHIA, C., THORHAUER, E., MUSAHL, V., IRRGANG, J. J. & FU, F. H. 2017. Variation in the shape of the tibial insertion site of the anterior cruciate ligament: classification is required. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 25, 2428-2432.
- Haida, A., COULMY, N., DOR, F., ANTERO-JACQUEMIN, J., MARC, A., LEDANOIS, T., TOURNY, C., ROUSSEAUX-BLANCHI, M. P., CHAMBAT, P., SEDEAUD, A. & TOUSSAINT, J. F. 2016. Return to Sport Among French Alpine Skiers After an Anterior Cruciate Ligament Rupture: Results From 1980 to 2013. *Am J Sports Med*, 44, 324-30.
- HEPP, W. R. & DEBRUNNER, H. U. 2004. *Orthopädisches Diagnostikum*, Stuttgart, Thieme.
- HEWETT, T. E., FORD, K. R., HOOGENBOOM, B. J. & MYER, G. D. 2010. Understanding and preventing acl injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations - update 2010. *N Am J Sports Phys Ther*, 5, 234-51.
- HINMAN, R. S., MAY, R. L. & CROSSLEY, K. M. 2006. Is there an alternative to the full-leg radiograph for determining knee joint alignment in osteoarthritis? *Arthritis Rheum*, 55, 306-13.
- HOWARD, J. S., LEMBACH, M. L., METZLER, A. V. & JOHNSON, D. L. 2016. Rates and Determinants of Return to Play After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in National Collegiate Athletic Association Division I Soccer Athletes: A Study of the Southeastern Conference. *Am J Sports Med*, 44, 433-9.
- IRAWAN, D. S., HUOTH, C., SINSURIN, K., KIRATISIN, P., VACHALATHITI, R. & RICHARDS, J. 2022. Concurrent Validity and Reliability of Two-dimensional Frontal Plane Knee Measurements during Multi-directional Cutting Maneuvers. *Int J Sports Phys Ther*, 17, 148-155.
- JOHNSON, R. J., BEYNNON, B. D., NICHOLS, C. E. & RENSTROM, P. 1992. The treatment of injuries of the anterior cruciate ligament. *JBJS*, 74, 140-151.
- KOO, T. K. & LI, M. Y. 2016. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*, 15, 155-63.
- LEPLEY, A. S. & KUENZE, C. M. 2018. Hip and Knee Kinematics and Kinetics During Landing Tasks After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Athl Train*, 53, 144-159.

- LEYS, T., SALMON, L., WALLER, A., LINKLATER, J. & PINCZEWSKI, L. 2012. Clinical results and risk factors for reinjury 15 years after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective study of hamstring and patellar tendon grafts. *Am J Sports Med*, 40, 595-605.
- LOHMANDER, L. S., ENGLUND, P. M., DAHL, L. L. & ROOS, E. M. 2007. The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: osteoarthritis. *Am J Sports Med*, 35, 1756-69.
- LOHMANDER, L. S., OSTENBERG, A., ENGLUND, M. & ROOS, H. 2004. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis Rheum*, 50, 3145-52.
- MEHL, J., DIERMEIER, T., HERBST, E., IMHOFF, A. B., STOFFELS, T., ZANTOP, T., PETERSEN, W. & ACHTNICH, A. 2018. Evidence-based concepts for prevention of knee and ACL injuries. 2017 guidelines of the ligament committee of the German Knee Society (DKG). *Arch Orthop Trauma Surg*, 138, 51-61.
- MENTIPLAY, B. F., PERRATON, L. G., BOWER, K. J., ADAIR, B., PUA, Y. H., WILLIAMS, G. P., MCGAW, R. & CLARK, R. A. 2015. Assessment of Lower Limb Muscle Strength and Power Using Hand-Held and Fixed Dynamometry: A Reliability and Validity Study. *PLoS One*, 10, e0140822.
- MIYASAKA, K. 1991. The incidence of knee ligament injuries in the general population. *Am J Knee Surg*, 1, 43-48.
- NILSTAD, A., ANDERSEN, T. E., BAHR, R., HOLME, I. & STEFFEN, K. 2014. Risk factors for lower extremity injuries in elite female soccer players. *Am J Sports Med*, 42, 940-8.
- NUMATA, H., NAKASE, J., KITAOKA, K., SHIMA, Y., OSHIMA, T., TAKATA, Y., SHIMOZAKI, K. & TSUCHIYA, H. 2018. Two-dimensional motion analysis of dynamic knee valgus identifies female high school athletes at risk of non-contact anterior cruciate ligament injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 26, 442-447.
- ORTIZ, A., ROSARIO-CANALES, M., RODRÍGUEZ, A., SEDA, A., FIGUEROA, C. & VENEGAS-RÍOS, H. L. 2016. Reliability and concurrent validity between two-dimensional and three-dimensional evaluations of knee valgus during drop jumps. *Open Access J Sports Med*, 7, 65-73.
- PEEBLES, A. T., ARENA, S. L. & QUEEN, R. M. 2021. A new method for assessing landing kinematics in non-laboratory settings. *Phys Ther Sport*, 49, 21-30.

- PETERSEN, W. 2012. Does ACL reconstruction lead to degenerative joint disease or does it prevent osteoarthritis? How to read science. *Arthroscopy*, 28, 448-450.
- PETERSEN, W., STOFFELS, T., ACHTNICH, A. & ZANTOP, T. 2016. STOP-X, Programm zur Prävention von Sportverletzungen am Kniegelenk. *Deutscher Ärzteverlag*.
- PETERSEN, W. & ZANTOP, T. 2007. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res*, 454, 35-47.
- PETERSEN, W. & ZANTOP, T. 2009. Das vordere Kreuzband; Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie.
- PRODRAMOS, C. C., HAN, Y., ROGOWSKI, J., JOYCE, B. & SHI, K. 2007. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy*, 23, 1320-1325.e6.
- QUISQUATER, L., BOLLARS, P., VANLOMMEL, L., CLAES, S., CORTEN, K. & BELLEMANS, J. 2013. The incidence of knee and anterior cruciate ligament injuries over one decade in the Belgian Soccer League. *Acta Orthop Belg*, 79, 541-6.
- RAMIREZ, M., NEGRETE, R., W, J. H. & KOLBER, M. J. 2018. QUANTIFYING FRONTAL PLANE KNEE KINEMATICS IN SUBJECTS WITH ANTERIOR KNEE PAIN: THE RELIABILITY AND CONCURRENT VALIDITY OF 2D MOTION ANALYSIS. *Int J Sports Phys Ther*, 13, 86-93.
- RUBINSTEIN, R. A., JR., SHELBORNE, K. D., MCCARROLL, J. R., VANMETER, C. D. & RETTIG, A. C. 1994. The accuracy of the clinical examination in the setting of posterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med*, 22, 550-7.
- SAKANE, M., FOX, R. J., WOO, S. L., LIVESAY, G. A., LI, G. & FU, F. H. 1997. In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res*, 15, 285-93.
- SIEBOLD, R., SCHUHMACHER, P., FERNANDEZ, F., SMIGIELSKI, R., FINK, C., BREHMER, A. & KIRSCH, J. 2015. Flat midsubstance of the anterior cruciate ligament with tibial "C"-shaped insertion site. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 23, 3136-42.
- SMIGIELSKI, R., ZDANOWICZ, U., DRWIEGA, M., CISZEK, B., CISZKOWSKA-LYSON, B. & SIEBOLD, R. 2015. Ribbon like appearance of the midsubstance fibres of the anterior cruciate ligament close to its femoral insertion site: a cadaveric study including 111 knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 23, 3143-50.
- TORG, J. S., CONRAD, W. & KALEN, V. 1976. Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *Am J Sports Med*, 4, 84-93.

- TOTH, A. P. & CORDASCO, F. A. 2001. Anterior cruciate ligament injuries in the female athlete. *J Gen Specif Med*, 4, 25-34.
- TRAMER, J. S., KHALIL, L. S., ZIEDAS, A., MEHRAN, N. & OKOROHA, K. R. 2020. Return to Play and Performance in the Women's National Basketball Association After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med*, 8, 2325967120947078.
- WALDEN, M., HAGGLUND, M., MAGNUSSON, H. & EKSTRAND, J. 2011. Anterior cruciate ligament injury in elite football: a prospective three-cohort study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 19, 11-9.
- WALDÉN, M., HÄGGLUND, M., WERNER, J. & EKSTRAND, J. 2011. The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): a review of the literature from a gender-related perspective. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 19, 3-10.
- WEBSTER, K. E. 2021. Return to Sport and Reinjury Rates in Elite Female Athletes After Anterior Cruciate Ligament Rupture. *Sports Med*, 51, 653-660.

## 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: links: Ansicht eines 90° gebeugten Kniegelenkes von anterior, (1) AM-Bündel, (2) PL-Bündel des VKB, (3) Außenmeniskus Vorderhorn, (4) HKB; Mitte: Aufsicht auf lateralen Femurkondylus von medial bei gestrecktem und rechts: gebeugtem Kniegelenk. (modifiziert nach (Petersen and Zantop, 2009)).....	11
Abbildung 2: Typischer Verletzungsmechanismus mit Knie-Valgus-Verdrehtrauma und tibialer Translationskraft (aus (Angele et al., 2013) .....	12
Abbildung 3: Lachmann Test mit der Hand gehalten (modifiziert nach (Barié and Scheffler, 2016) ).....	17
Abbildung 4: Huddl Technique App auf Ipad, Spielerin in Testsituation .....	18
Abbildung 5: Grading-Kriterien: 1a gut, 1b schlecht (modifiziert nach (Petersen et al., 2016) .....	19
Abbildung 6: Vertical Drop Jump: Vier Linien wurden gezogen. Von der Schulter zum Mittelpunkt der Hüfte, zur Patella, zum Zentrum des Sprunggelenkes und zu den Zehen. Die entstehenden Hüft- und Kniewinkel wurden gemessen.....	20
Abbildung 7: MicroFET 2, in der Hand gehaltenes Kraftmessgerät.....	21

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Daten für 47 Athletinnen insgesamt und in Teams unterteilt mit jeweiligem Alter, BMI, dominanten Fuß (bevorzugtes Schussbein), sowie die Anzahl an Einheiten pro Woche. Vorherige Knieverletzungen wurde definiert mit einer Trainingspause von mindestens drei Wochen in der Karriere.....	23
Tabelle 2: Subgruppenanalyse der Beinachse in der klinischen Untersuchung.....	23
Tabelle 3: Subgruppenanalyse der Kniebeugewinkel und der dazugehörigen Range. ....	24
Tabelle 4: Subgruppenanalyse der Hüftwinkel und der dazugehörigen Range. ....	24
Tabelle 5: Subgruppenanalyse der einbeinigen Kniebeuge (Valgusposition) in Prozent der insgesamt untersuchten Beine.....	25
Tabelle 6: Subgruppenanalyse für die Quadrizepsmuskelkraft, für rechtes und linkes Bein. ....	25
Tabelle 7: Subgruppenanalyse der neu aufgetretenen Verletzungen in der Saison 18/19 .....	26

## 9 Anhang

Name

### Untersuchungsbogen Knie

#### Allgemein/ Anamnese

**Datum der Untersuchung:**

**Größe:**

**Grunderkrankung/Medikamente:**

**Rauchen:**

**Schussbein:**

**Alkohol:**

Welchen Beruf haben Sie?

Seit wann spielen Sie Fußball?

Durchschnittliches Wochenpensum (Training/Spiele)?

Welche Position spielen Sie?

Hatten Sie in der Vergangenheit Knieverletzungen?

Wurden Sie schon einmal am Knie operiert?

Wie lang war der Trainingsausfall?

Aktuelle Knieprobleme?

Schwellneigung , Krepitation , Blockadephänomene

Schmerzmittleinnahme aufgrund von Kniegelenksbeschwerden?

**Allgemeine Laxizität:**  verminderte Laxizität  normal  erhöhte Laxizität

**Beinachse:**  eindeutig Varus  normal  eindeutig Valgus

**Patellastellung:**  baja  normal  alta

**Patella:**  zentriert  sublaxierbar  sublaxiert  disloziert

**Krepitationen:**  pos.  neg. **Zohlen:**  pos.  neg.

**Apprehension:**  pos.  neg.

**Bewegungsausmaß (Streckung/Beugung):** rechts 0/0/0 links 0/0/0

**Erguß**  keine  leicht  mäßig  deutlich

### Passives Bewegungsdefizit

**Δ Streckdefizit°**  <3°  3-5°  6-10°  >10°

**Δ Beugedefizit**  0-5°  6-15°  16-25°  >25°

### Ligamentuntersuchung

Δ Lachman Test (25° Beugung)  1-2mm  3-5mm  6-10mm  >10mm

Vorderer Endpunkt:  fest  unsicher

Δ Hintere Schublade (70°)  0-2mm  3-5mm  6-10mm  >10mm

Δ Valgusstress  0-2mm  3-5mm  6-10mm  >10mm

Δ Varusstress  0-2mm  3-5mm  6-10mm  >10mm

Δ Außenrotationstest (30°)  < 5°  6-10°  11-19°  >20°

Δ Außenrotationstest (90°)  < 5°  6-10°  11-19°  >20°



Δ Pivot shift                       gleich                       + (Gleiten)    ++(dumpf)    +++ (laut)

Meniskus: (pos/neg)

McMurray Test : R- L-

Thessaly : R- L-

Apley-Grind: R- L-