

---

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Kniestabilität, Kniekinematik und -kinetik nach erfolgreicher Rekonstruktion  
des hinteren Kreuzbandes im Langzeitverlauf**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Julia Ohde

aus Mülheim an der Ruhr

Datum der Promotion: 09.09.2016

**Inhaltsverzeichnis**

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>I</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>IV</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>V</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRAKT</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>VIII</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>9</b>
<b>1.1 VERLETZUNGEN DES HINTEREN KREUZBANDES</b>	<b>9</b>
1.1.1 EINFÜHRUNG	9
1.1.2 EPIDEMIOLOGIE UND ÄTIOLOGIE DER HINTEREN KREUZBANDLÄSION	9
1.1.3 KLINIK DER HINTEREN KREUZBANDLÄSION	10
<b>1.2 FUNKTIONELLE ANATOMIE UND BIOMECHANIK DES KNIEGELENKS</b>	<b>11</b>
1.2.1 ANATOMIE DES HINTEREN UND VORDEREN KREUZBANDES	11
1.2.2 BIOMECHANIK DES HINTEREN UND VORDEREN KREUZBANDES	12
1.2.3 POSTEROLATERALE GELENKECKE	13
<b>1.3 DIAGNOSTIK EINER HKB RUPTUR</b>	<b>14</b>
1.3.1 ANAMNESE	14
1.3.2 KLINISCHE UNTERSUCHUNG	14
1.3.3 BILDGEBENDE VERFAHREN	16
1.3.4 ARTHROSKOPIE	18
<b>1.4 KLASSIFIKATION DER HKB LÄSIONEN</b>	<b>19</b>
<b>1.5 THERAPIE DER RUPTUR DES HINTEREN KREUZBANDES</b>	<b>19</b>
1.5.1 KONSERVATIVE THERAPIE DER AKUTEN, ISOLIERTEN HKB-VERLETZUNG	21
1.5.2 OPERATIVE THERAPIE	21
1.5.3 TRANSPLANTATE	21
1.5.4 OPERATIONSTECHNIKEN	22
<b>1.6 DER MENSCHLICHE GANGZYKLUS</b>	<b>22</b>
<b>1.7 AUFGABENSTELLUNG</b>	<b>23</b>
<b>2 MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>25</b>
<b>2.1 PATIENTENKOLLEKTIV</b>	<b>25</b>
2.1.1 EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN	26
<b>2.2 UNFALLÄTIOLOGIE UND VERLETZUNGSMUSTER</b>	<b>28</b>
<b>2.3 OPERATIVE VERSORGUNG</b>	<b>28</b>
2.3.1 HINTERER KREUZBANDERSATZ	29
2.3.2 POSTEROLATERALE STABILISIERUNG	29
2.3.3 TRANSPLANTATE	29
<b>2.4 NACHBEHANDLUNGSSHEMA</b>	<b>30</b>
<b>2.5 POSTOPERATIVE VERLAUFSKONTROLLE</b>	<b>30</b>
<b>2.6 KLINISCHE NACHUNTERSUCHUNG NACH IKDC-2000</b>	<b>30</b>
2.6.1 UNTERSUCHUNG DER BÄNDER	31
<b>2.7 RADIOLOGISCHE UNTERSUCHUNG</b>	<b>34</b>
2.7.1 STRESSAUFNAHMEN IM TELOS-HALTEAPPARAT	34

<b>2.8 SUBJEKTIVE EVALUATION DURCH FRAGEBÖGEN</b>	<b>35</b>
2.8.1 FORMBLATT ZUR SUBJEKTIVEN BEURTEILUNG DES KNIES NACH IKDC-2000	35
2.8.2 FORMBLATT ZUR UNTERSUCHUNG DES KNIES	35
2.8.3 LYSHOLM-SCORE	36
2.8.4 KOOS-SCORE	36
<b>2.9 ERFASSUNG DER FUNKTIONELLEN KINEMATIK UND DER BODENREAKTIONSKRÄFTE MITTELS INSTRUMENTIERTER GANGANALYSE</b>	<b>37</b>
2.9.1 MESSAUFBAU UND EQUIPMENT	37
2.9.2 DURCHFÜHRUNG DER MESSUNG	39
2.9.3 AUSWERTUNG DER GANGANALYSE	40
<b>2.10 MEDLINE RECHERCHE</b>	<b>41</b>
<b>2.11 STATISTIK UND DATENANALYSE</b>	<b>42</b>
<b>3 ERGEBNISSE</b>	<b>43</b>
<hr/>	
<b>3.1 KLINISCHE UNTERSUCHUNG UND IKDC EVALUATION</b>	<b>43</b>
3.1.1 ERGUSS	43
3.1.2 BEWEGUNGSGRADE	43
3.1.3 LACHMANTEST	43
3.1.4 HSL-TEST	43
3.1.5 TEST DER SEITENBÄNDER	44
3.1.6 DIALTEST	44
3.1.7 PIVOT SHIFT TEST	44
3.1.8 KREPITATION	44
3.1.9 FUNKTIONSTEST (EINBEINSPRUNG)	45
3.1.10 ERGEBNISSE DER KLINISCHEN UNTERSUCHUNG NACH IKDC PRÄ- UND POSTOPERATIV	45
3.1.11 STEP OFF TEST	45
3.1.12 BEINUMFÄNGE	46
3.1.13 SCHMERZEN IM ALLTAG	47
<b>3.2 RADIOLOGISCHE UNTERSUCHUNG</b>	<b>47</b>
3.2.1 ALLGEMEIN	47
3.2.2 EVALUATION DER RÖNTGENAUFNAHMEN IM TELOS HALTEAPPARAT	47
<b>3.3 SUBJEKTIVE ERFASSUNG DES KNIEGELENKZUSTANDES</b>	<b>49</b>
3.3.1 IKDC	49
3.3.2 KOOS	50
3.3.3 LYSHOLM	51
<b>3.4 GANGANALYSE</b>	<b>52</b>
3.4.1 BODENREAKTIONSKRÄFTE	52
3.4.2 KINEMATIK	54
3.4.3 TREPPENSTEIGEN	57
3.4.4 TREPPENABSTEIGEN	59
3.4.5 ANALYSE DER SUBGRUPPEN	63
<b>4 DISKUSSION</b>	<b>68</b>
<hr/>	
<b>4.1 DIE KLINISCHE UNTERSUCHUNG DES KNIEGELENKS NACH IKDC</b>	<b>69</b>
<b>4.2 RADIOLOGISCHE UNTERSUCHUNG</b>	<b>72</b>
<b>4.3 FRAGEBÖGEN (IKDC, LYSHOLM, KOOS)</b>	<b>74</b>
4.3.1 IKDC-FORMBLATT ZUR SUBJEKTIVEN BEURTEILUNG DES KNIES	74
4.3.2 KOOS	75
4.3.3 LYSHOLM	77
<b>4.4 INSTRUMENTIERTE GANGANALYSE</b>	<b>78</b>
<b>4.5 KRITISCHE BETRACHTUNG DER STUDIE</b>	<b>81</b>
<b>5 ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>83</b>
<hr/>	

<b>5.1 EINLEITUNG UND ZIELE DER ARBEIT</b>	<b>83</b>
<b>5.2 METHODIK</b>	<b>84</b>
<b>5.3 ERGEBNISSE</b>	<b>84</b>
<b>5.4 DISKUSSION</b>	<b>85</b>
<b>6 LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>86</b>
<hr/>	
<b>7 ANHANG</b>	<b>94</b>
<b>7.1 EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG</b>	<b>94</b>
<b>7.2 LEBENSLAUF</b>	<b>95</b>
<b>7.3 DANKSAGUNG</b>	<b>97</b>

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ANATOMIE DES KNIEGELENKS VON VENTRAL	12
ABBILDUNG 2: DIE POSTEROLATERALE GELENKECKE	14
ABBILDUNG 3: RADIOLOGISCHE STRESSAUFNAHMEN IN 90° FLEXION MIT TELOS-HALTEAPPARAT	17
ABBILDUNG 4: Z.N. HYPEREXTENSIONSTRAUME MIT HKB-RUPTUR UND INTAKTEM VKB	18
ABBILDUNG 5: DIE 8 PHASEN DES GANGZYKLUSES	23
ABBILDUNG 6: DARSTELLUNG DER ANZAHL DER DURCHGEFÜHRTEN EINGRIFFE AM BANDAPPARAT	29
ABBILDUNG 7: PATIENTEN MIT VICON MARKERN	37
ABBILDUNG 8: DARSTELLUNG DER ANATOMISCHEN POSITIONEN DER 52 VICON MARKER	39
ABBILDUNG 9: PATIENTEN BEI AUSFÜHRUNG VON ALLTAGAKTIVITÄTEN IM GANGLABOR	40
ABBILDUNG 10: 3-D DARSTELLUNG DER VICON-NEXUS-SOFTWARE	41
ABBILDUNG 11: ERGEBNISSE DER MANUELLEN UNTERSUCHUNG DER HSL	44
ABBILDUNG 12: VERGLEICH DER PRÄ- UND POSTOPERATIVEN ERGEBNISSE DER KLINISCHEN UNTERSUCHUNG ANHAND DES IKDC-FORMBLATTES	45
ABBILDUNG 13: VERGLEICH BEINUMFÄNGE VON PATIENTEN MIT BANDPLASTIK	46
ABBILDUNG 14: BEINUMFÄNGE DER PATIENTEN IN DER KATEGORIE HSL	46
ABBILDUNG 15: HSL IM BEZUG ZUR INSTABILITÄT UND ZUM VERLETZUNGSMODUS	48
ABBILDUNG 16: ENTWICKLUNG DER HSL 5-15 JAHRE NACH HKB-PLASTIK	48
ABBILDUNG 17: IKDC SCORE ERGEBNIS & VERLETZUNGSARTEN IN DEN JEWEILIGEN GRADEN	50
ABBILDUNG 18: DURCHSCHNITTliche ERGEBNISSE DES PATIENTENKOLLEKTIVS IN DEN KATEGORIEN DES KOOS-SCORES	50
ABBILDUNG 19: ERGEBNISSE DES KOOS-FRAGEBOGENS INNERHALB DER SUBGRUPPE ALTER	51
ABBILDUNG 20: KOOS-ERGEBNISSE IN DEN SUBGRUPPEN HSL UND SSD	51
ABBILDUNG 21: ERGEBNISSE DES LYSHOLM FRAGEBOGENS	52
ABBILDUNG 22: VERGLEICH DER ENTSTANDENEN VERTIKALEN BODENREAKTIONSKRÄFTE BEIM TREPPENSTEIGEN	53
ABBILDUNG 23: VERGLEICH DER ENTSTANDENEN VERTIKALEN BODENREAKTIONSKRÄFTE BEIM TREPPENABSTEIGEN	53
ABBILDUNG 24: VERGLEICH DER KNIEFLEXIONSWINKEL BEIM GEHEN	55
ABBILDUNG 25: VERGLEICH DER GEMESSENEN ADDUKTIONSMOMENTE BEIM GEHEN	55
ABBILDUNG 26: VERGLEICH DER INTERNEN ROTATIONSWINKEL BEIM GEHEN	56
ABBILDUNG 27: VERGLEICH DER INTERNEN ROTATIONSMOMENTE BEIM GEHEN	56
ABBILDUNG 28: KNIEFLEXIONSWINKELVERGLEICH BEIM TREPPENSTEIGEN	58
ABBILDUNG 29: VERGLEICH DER KNIEFLEXIONSMOMENTE BEIM TREPPENSTEIGEN	58
ABBILDUNG 30: VERGLEICH DER INTERNEN ROTATIONSWINKEL BEIM TREPPENSTEIGEN	59
ABBILDUNG 31: VERGLEICH DER KNIEFLEXIONSWINKEL BEIM TREPPENABSTEIGEN	60
ABBILDUNG 32: VERGLEICH DER KNIEFLEXIONSMOMENTE BEIM TREPPENABSTEIGEN	61
ABBILDUNG 33: VERGLEICH DER KNEIADDUKTIONSWINKEL BEIM TREPPENABSTEIGEN	61
ABBILDUNG 34: VERGLEICH DER KNIEROTATIONSWINKEL BEIM TREPPENABSTEIGEN	62
ABBILDUNG 35: VERGLEICH DER KNIEROTATIONSMOMENTE BEIM TREPPENABSTEIGEN	62
ABBILDUNG 36: VERGLEICH DER MFW VON MÄNNERN UND FRAUEN	63
ABBILDUNG 37: PFL IN DEN UNTERSCHIEDLICHEN ALTERSKLASSEN	64
ABBILDUNG 38: DARSTELLUNG DES PFA NACH VERLETZUNGSMODUS	65
ABBILDUNG 39: PFA IN DER SUBGRUPPE HSL	65
ABBILDUNG 40: VERGLEICH DER PFA IM BEZUG AUF DIE GRÖÖE DER SSD	66
ABBILDUNG 41: VERGLEICH DES PFA NACH DEM IKDC SCORE DER KLINISCHEN UNTERSUCHUNG	67

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
A.	Arterie
AL-Bündel	Antero-laterales Bündel
aMFL	Anteriores menisko-femorales Ligament
BMI	Body Mass Index
BPTB	Bone Patellatendon-Bone
3-D	Dreidimensional
DMS	Durchblutung, Motorik, Sensibilität
EMG	Elektromyographie
FHS	Fixierte hintere Schublade
HKB	Hinteres Kreuzband
HTO	Hohe tibiale Umstellungsosteotomie
HSL	Hintere Schublade
IKDC	International Knee Documentation Committee
ISAKOS	International Society of Arthroscopy, Knee Surgery and Orthopaedic Sports Medicine
KOOS	Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score
LCL	Ligamentum collaterale mediale
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
MCL	Ligamentum collaterale laterale
MFL	Meniskofemorales Ligament
MFW	maximaler Flexionswinkel des Kniegelenks
MRT	Magnetresonanztherapie
MW	Mittelwert
N.	Nervus
OA	Osteoarthritis
OP	Operation
p.a.	Posterior-anterior
PFL	Patellofemorales Ligament
PLRI	Postero-laterale rotatorische Instabilität
PLS	Postero-laterale Stabilisierung
PM-Bündel	Postero-mediales Bündel
PTS-Schiene	Posterior tibial support-Schiene
ROM	Range of motion (Bewegungsumfang)
SD	Standardabweichung
SSD	Side-to-side-difference (Seitendifferenz)
VKB	Vorderes Kreuzband
VSL	Vordere Schublade

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: EINTEILUNG DER RADIOLOGISCH ERMITTELTEN HSL IN GRADE ANHAND DER SSD (MM)	17
TABELLE 2: KLASSIFIKATION DER HKB-INSUFFIZIENZ NACH HARNER	19
TABELLE 3: EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN DER STUDIE	26
TABELLE 4: EPIDEMIOLOGISCHE DATEN DES PATIENTENKOLLEKTIVS	27
TABELLE 5: UNFALLÄTIOLOGIE DES PATIENTENKOLLEKTIVS	28
TABELLE 6: EPIDEMIOLOGISCHE DATEN DER PATIENTEN	49
TABELLE 7: VERGLEICH DER BEWEGUNGSUMFÄNGE VON REKONSTRUIERTEN UND KONTRALATERALEN BEIN DER PATIENTEN UND DER GESUNDER VERGLEICHSGRUPPE WÄHREND DES GANGES	54
TABELLE 8: VERGLEICH DER EXKURSIONEN DER VERSCHIEDENEN FREIHEITSGRADE VON REKONSTRUIERTEN UND KONTRALATERALEN BEIN DER PATIENTEN UND DER GESUNDER VERGLEICHSGRUPPE WÄHREND DES TREPPENSTEIGENS	57
TABELLE 9: VERGLEICH DER EXKURSIONEN DER VERSCHIEDENEN FREIHEITSGRADE VON REKONSTRUIERTEM UND KONTRALATERALEN BEIN DER PATIENTEN UND DER GESUNDER VERGLEICHSGRUPPE WÄHREND DES TREPPENABSTEIGEN	60

**Abstrakt****Kniestabilität, Kniekinematik und -kinetik nach erfolgreicher Rekonstruktion des hinteren Kreuzbandes im Langzeitverlauf**

Julia Ohde

Deutsch

**Einleitung:** Kniebandverletzungen (HKB) sind schwere und ernsthafte Traumata, die häufig aus Hochrasanztraumen resultieren. In vorherigen Studien wurden Diskrepanzen zwischen den subjektiven und objektiven Untersuchungen deutlich, die die Vermutung nahe legen, dass die Kniefunktion postoperativ nicht wieder vollständig hergestellt werden kann. Ziel dieser Studie ist eine Korrelation der klinischen Langzeituntersuchung mit den Ergebnissen der Ganganalyse von Patienten, die eine Rekonstruktion des HKBs erhalten haben in Kombination mit Fragebögen. Im Fokus steht die Kniegelenksstabilität, -kinematik und -kinetik.

**Methodik:** 34 Patienten mit HKB-Plastik erhielten 5-15 Jahre postoperativ eine klinische Untersuchung, gehaltene Röntgenaufnahmen (Telos), eine 3-D instrumentierte Ganganalyse (Vicon Nexus) sowie Fragebögen (IKDC, Lysholm, KOOS). Für die Ganganalyse wurden 10 Infrarotkameras zur Bewegungsanalyse während der Durchführung von Alltagsaktivitäten (Gehen, Treppensteigen, -absteigen) verwendet. Als Vergleichsparameter für die erfassten Daten des operierten Beins dienten die des kontralateralen Beins und eine gesunde Kontrollgruppe.

**Ergebnisse:** ROM E/ F 10/0/120-145, verminderter Beinumfang rekonstruiertes Bein; mittlere HSL 9mm, SSD 5 mm, 33-50% Reduktion; mittlerer IKDC Score 73 Punkte, mittlerer Lysholm Score 75 Punkte, mittlerer KOOS Score 81%; reduziertes Knieflexionsmoment im Vergleich des verletzten zum kontralateralen Bein. Signifikante kinematische und kinetische Unterschiede der Patienten bezüglich MFW, externer Rotationswinkel sowie Momenten im Vergleich zur gesunden Gruppe. Verminderter MFW beim Treppensteigen und -absteigen beim kontralateralen Bein der über 30 Jährigen im Vergleich zu 20-29 Jährigen.

**Schlussfolgerung:** 5-15 Jahre nach Rekonstruktion des HKBs sind die Patienten zu normalen Aktivitäten des Alltags zurückgekehrt und sportlich aktiv. Die klinische Untersuchung liefert befriedigende Ergebnisse, eine dauerhafte Reduktion der HSL konnte erreicht werden. Die Patienten sind mit dem Operationsergebnis zufrieden, zeigen allerdings in der Ganganalyse ein biomechanisch verändertes Gangbild und funktionelle Defizite beim Vergleich mit Gesunden.

**Abstract****Knee joint stability, kinematic and kinetic after successful reconstruction of the posterior cruciate ligament - a clinical follow-up**

Julia Ohde

English

**Introduction:** Injuries of the posterior cruciate ligament (PCL) and other ligaments of the knee are serious and severe which often occur in high-energy mechanisms. Former studies pointed out that there are differences between subjective and objective examinations which could be an indicator, that knee function is not fully restored. The purpose of this study was to perform clinical follow-up and gait analysis on patients with PCL and multiple ligament reconstruction. The focus of the study is on the joint stability, kinematics and kinetics.

**Methodology:** Thirty-four patients who underwent a PCL reconstruction five to fifteen years ago participate in this study. We performed clinical examination, radiological exam including PCL stress radiographs (Telos), three-dimensional gait analysis (Vicon Nexus) and a clinical score evaluation (IKDC, Lysholm, KOOS). To detect the motions of the patients while activities of daily life (walk, stairs up and down) and calculate kinematics we used ten infrared cameras (120 Hz) to perform gait analysis. To evaluate the collected data of the operated knee they were compared to the data of the contralateral and healthy group.

**Results:** ROM extension/ flexion 10/0/120-145, mid-thigh-circumference 1,1 mm less on reconstructed knees, mean posterior translation 9mm, SSD 5 mm, 33-50% reduction; Median IKDC Score was 73, Lysholm Score 75, KOOS Score 81%; Significantly reduced knee flexion moment in the reconstructed knee compared to contralateral knee. Significantly different Knee flexion angles, moments and external rotation angles and moments compared to the healthy controls. Significantly lower PFA in the contralateral knee of the thirty year old patients compared to the twenty to twenty-nine ones while ascending and descending a step. **Conclusion:** The results of this study indicate that persons who underwent reconstruction of the PCL and other ligaments are able to return to normal daily activities and sports five to fifteen years after the operation. The clinical follow-up revealed good results. Posterior drawer could be reduced and subjective scores demonstrate that the patients are satisfied with the postoperative results. Gait analysis shows that patients are able to return to normal gait patterns but with different biomechanical forces and functional deficits.

## **1 Einleitung**

### **1.1 Verletzungen des hinteren Kreuzbandes**

#### **1.1.1 Einführung**

In den letzten Jahren ist die Zahl der Kniegelenksverletzungen in unserer Gesellschaft deutlich angestiegen. Bisher lag der Fokus auf den Verletzungen des vorderen Kreuzbandes (VKB), welches die am häufigsten verletzte Bandstruktur des Kniegelenks ist. Durch die Verbesserung der technischen Diagnosemöglichkeiten, rücken nun auch die wesentlich seltenere Verletzung des hinteren Kreuzbandes (HKB) und deren Rekonstruktion mehr in den Vordergrund. Mit Hilfe des MRTs können Läsionen des hinteren Kreuzbandes wesentlich früher und genauer diagnostiziert werden. Es ist anzunehmen, dass diese Art von Läsionen wesentlich häufiger als bisher angenommen vorkommen und in der Vergangenheit aufgrund von fehlenden diagnostischen Möglichkeiten sowie unzureichender Einschätzung häufig übersehen oder zu spät diagnostiziert wurden. Häufig treten Verletzungen des HKBs in Kombination mit anderen Bandverletzungen (LCL & MCL) auf. Eine verzögerte oder keine Therapie hat große Auswirkungen auf die Funktion des Kniegelenks und kann irreversible Folgeschäden mit sich bringen, welche für die häufig sehr jungen Patienten eine enorme Funktionseinschränkung des Kniegelenks sowie eine Verminderung der Lebensqualität bedeutet [1]. Aus diesem Grund ist das zunehmende Interesse an einer erfolgreichen Therapie sowie die weitere Erforschung der klinischen und operativen Möglichkeiten zu unterstützen, denn bisher sind die operativen Ergebnisse nicht vergleichbar mit denen des VKBs.

#### **1.1.2 Epidemiologie und Ätiologie der hinteren Kreuzbandläsion**

Die hintere Kreuzbandruptur ist immer noch eine relativ seltene Erkrankung. In Deutschland liegt ihre Häufigkeit bei ungefähr 3-44% der schweren Kapselbandverletzungen [2]–[6]. Es wird jedoch eine hohe Dunkelziffer vermutet, da gerade bei Polytraumapatienten leicht Knieverletzungen übersehen werden. Patienten werden erst zu einem späteren Zeitpunkt durch patellofemorale Schmerzen oder Instabilitäten auffällig [7]. Zu 95% tritt die Ruptur des HKBs in Kombination mit weiteren Verletzungen, wie Femur- und Tibiakopfluxationsfrakturen sowie Läsionen weiterer Bänder (VKB, MCL, PCL), Meniskus- und Knorpelschäden auf. Besonders häufig sind die posterolateralen Gelenkanteile, mit einer daraus resultierenden rotatorischen

Instabilität, beteiligt [8]. Unfallursächlich sind sowohl Hochgeschwindigkeitstraumata wie Verkehrs- und Motorradunfälle (45%) als auch Traumata geringerer Energie wie Sportunfälle (40%). Gerade Ball- und Kontaktsportarten können als Risikosportarten zu Verletzungen des HKBs mit einer Häufigkeit von > 40% führen [9]. Das Verletzungsspektrum reicht über isolierte HKB-Rupturen bis zur Knieluxation. Besonders häufig wird der Unfallmechanismus des direkten prätibialen Anpralltraumas (dashboard-injury) sowie der Sturz auf das gebeugte Knie beschrieben, aber auch Rotationsverletzungen und Hyperextensionstraumata können eine HKB-Ruptur bewirken. Bei gebeugtem Knie wird die gesamte Unfallenergie vom hinteren Kreuzband aufgenommen, da alle sekundären Gelenkstabilisatoren entspannt sind. Ist diese zu stark kommt es zur Verletzung des Bandes [1], [2].

### **1.1.3 Klinik der hinteren Kreuzbandläsion**

#### **1.1.3.1 Akute hintere Kreuzbandläsion**

Die akute Klinik der HKB-Ruptur ist meist unspezifisch. Es kann zu diffusen Schmerzen, einer schmerzhaften Einschränkung der Beugung des Kniegelenks und zu Schmerzen im Bereich der Kniekehle kommen. Ein Erguss und Instabilität sind bei der isolierten HKB-Verletzung selten, treten jedoch gehäuft bei Kombinationsverletzungen vor allem mit der posterolateralen bzw. medialen Gelenkecke auf [4]. Die Patienten berichten dann ebenfalls gehäuft über Schmerzen im jeweiligen Knieanteil. Hämatome in der Kniekehle oder Prellmarken am Schienbein und Unterschenkel können richtungsweisend für die Diagnose sein. Eine besonders sensible Untersuchungsmethode ist der Hyperextensionstest, die so genannte palpatorische hintere Schublade [10], [11]. Bei leichtem, nach dorsal gerichtetem manuellem Druck lässt sich eine posteriore Translation der Tibia gegenüber der Patella verzeichnen.

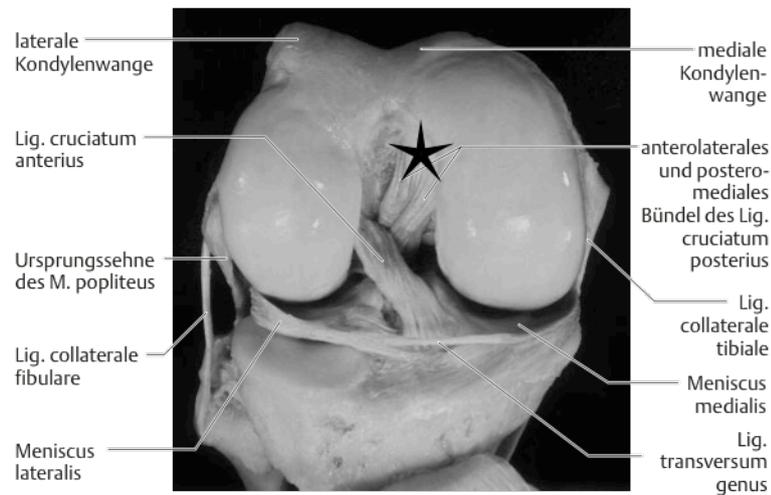
#### **1.1.3.2 Chronische hintere Kreuzbandläsion**

Die chronische HKB-Läsion äußert sich vor allem durch femoropatellare und mediale Kniegelenkschmerzen sowie Instabilität insbesondere bei Kombinationsverletzungen [10], welche vor allem extensionsnah auftritt und zu erheblichen Funktionseinschränkungen im Alltag führt. Weitere Beschwerden sind Schmerzen beim Treppensteigen und Steifheitsgefühle nach längerem Sitzen mit dem Bedürfnis das Kniegelenk zu strecken [11], [12].

## **1.2 Funktionelle Anatomie und Biomechanik des Kniegelenks**

### **1.2.1 Anatomie des hinteren und vorderen Kreuzbandes**

Das HKB ist die kräftigste Struktur des Kniegelenks und hat einen wichtigen Einfluss auf die Stabilität des Gelenks [13]. Es ist ungefähr 38 mm lang, 13 mm breit und verläuft von dorso-caudal-lateral nach antero-cranial-medial zum medialen Femurkondylus. Die dünnste Stelle des Bandes liegt zentral. Nach distal und proximal fächert sich das Band auf seine 3-fache Querschnittsfläche auf und inseriert elliptisch die laterale Seite des medialen Femurkondylus, wie auch rechteckförmig die Tibiarückseite mit Kontakt zur hinteren Kapsel [14]. Der Ursprung des Bandes liegt femoral, der Ansatz etwa 1 cm distal der Area interkondylaris posterior an der Tibiarückseite [15]. Das vordere und hintere Kreuzband befinden sich intraartikulär jedoch retrosynovial, da sie nur von vorne und von beiden Seiten mit Synovia bedeckt sind. Die beiden Kreuzbänder kreuzen sich in einem 90° Winkel bei flektiertem Kniegelenk. Das HKB ist von ventral von einem Fettkörper bedeckt, welcher womöglich die gute endogene Heilungstendenz des Ligaments bedingt. Es besteht aus parallel zueinander angeordneten Faserbündeln und im zentralen Anteil aus Kollagen Typ IV, distal nahe der ossären Insertion aus Typ III Kollagen. Das HKB setzt sich aus zwei Bündeln zusammen [16]. Man unterscheidet das kräftigere ovale anterolaterale (AL) Leit-Bündel vom dicken, flachen posteromedialen (PM) Bündel. Das kürzere AL-Bündel verläuft in sagittaler Ebene zum Dach der interkondylären Notch, das längere PM-Bündel schräg vom medialen Femur zur lateralen Tibia [17]. Die unterschiedliche Bündeldicke spiegelt sich in ihrer Reißfestigkeit wieder. Das anteriore (Humphrey-Ligament) und häufigere posteriore meniskofemorale Ligament (Wrisberg-Ligament) entspringen beide dem posteromedialen Teil des Außenmeniskushinterhorns [18], [19]. Sie kommen unregelmäßig und unabhängig von einander im Kniegelenk vor, begleiten das HKB von ventral und dorsal und dienen zur zusätzlichen Gelenkstabilisierung [19] (Abb. 1). Im Gegensatz zum vorderen ist das hintere Kreuzband sehr gut vaskularisiert. Es wird von Endästen der A. media genus, welche der A. poplitea entspringt, versorgt [20]. Menisken, Gelenkkapsel und beide Kreuzbänder werden vom N. articularis posterior innerviert. Dieser setzt sich aus Fasern des posterioren Astes des N. tibialis und einem terminalen Ast des N. obturatorius zusammen. Der anterolaterale Anteil wird zusätzlich noch vom N. saphenus innerviert. Die Oberfläche der Kreuzbänder besitzt zudem Propriozeptoren, welche Druck- und Geschwindigkeitsänderungen vermitteln sowie freie Nervenenden, die als Schmerzrezeptoren fungieren [21]. Zusammen vermitteln diese Rezeptoren statische und dynamische Informationen über die Gelenkposition und nehmen so Einfluss auf die Reflexbögen [21].



**Abbildung 1: Anatomie des Kniegelenks von ventral;** Das AL- und PM-Bündel des HKBs sind gut erkennbar

Quelle: modifiziert nach Wirth et al. [22]

### 1.2.2 Biomechanik des hinteren und vorderen Kreuzbandes

Das vordere und hintere Kreuzband bilden gemeinsam den Zentralpfeiler des Kniegelenks und steuern als passive Führungselemente die Roll-Gleitbewegung der Femurkondylen auf dem Tibiaplateau. Dieser Mechanismus wird durch die Fixation der beiden Bänder am Femur und an der Tibia sowie ihre Lage zueinander erzielt [23], [24]. Sie bilden eine Viergelenkskette und erzeugen zusammen mit den Kollateralbändern einen Anpressdruck, der für den Zusammenhalt der beiden Gelenkpartner sorgt. Die wesentliche Funktion des HKBs besteht darin, den posterior gerichteten Translationsbewegungen der Tibia entgegenzuwirken [25]. Zusätzlich wirkt es als sekundärer Stabilisator gegen Varus-, Valgusstress und Rotationsbewegungen. Vor allem wird die Innenrotation beschränkt [23]. Das VKB dient als primärer Stabilisator des Kniegelenks gegen eine übermäßige Ventralverschiebung der Tibia. Es limitiert zusätzlich eine zu starke Innenrotation des Unterschenkels. Laut Butler *et al.* [26] liegt das Stabilisierungspotential des VKBs bei über 80% des Rückhaltepotentials des Kniegelenks. Das HKB ist ein nicht-isometrisches Band da die beiden Bündel des HKBs sich durch ein gegenläufiges Spannungsverhalten auszeichnen und in unterschiedlichen Beugegraden signifikanten Längenänderungen unterliegen. Das AL-Bündel ist in mittleren Flexionsgraden (40-120°) gespannt, in Extension hingegen entspannt. Das PM-Bündel ist in Extension sowie endgradiger

Flexion maximal gespannt und in Beugung entspannt [25]. Es verhindert durch seine senkrecht zur Transversalebene verlaufenden Bandstrukturen die Hyperextension des Kniegelenks, jedoch ohne Einfluss auf die posteriore Translation. In extensionsnaher Stellung sichern posteromediale und posterolaterale Strukturen die Stabilisierung in der Transversalebene [23]. Die Seitenbänder sind in Streckung gestrafft, in Beugung entspannt und somit entlastet. Die meniskofemorale Ligamente sind eigenständige Bandstrukturen. Sie wirken als sekundäre Stabilisatoren des HKBs und des Außenmeniskushinterhorns in Flexion (Humphrey-Ligament) und Extension (Wrisberg-Ligament) des Kniegelenks. Mit zunehmendem Alter ist mit einer Abnahme der Reißfestigkeit der Bänder zu rechnen [10].

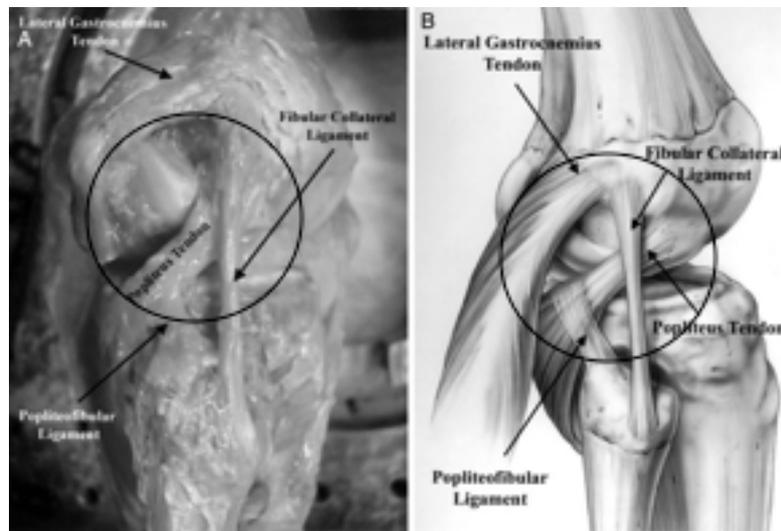
### 1.2.3 Posterolaterale Gelenkecke

Die posterolaterale Gelenkecke gehört zu den wichtigsten sekundären Stabilisatoren in der Transversalebene des Kniegelenks. Zu 60% wird sie mit dem HKB zusammen verletzt. Dies zeigt sich durch eine deutliche Zunahme der posterioren Verschieblichkeit und durch Rotationsinstabilität im Vergleich zur isolierten HKB-Ruptur [4], [27]. Die posterolaterale Gelenkecke ist aus drei Schichten aufgebaut und setzt sich aus folgenden Strukturen zusammen [28] (Abb. 2):

- Oberflächliche Schicht: Fascia lata, Tractus iliotibialis, M. biceps femoris
- Mittlere Schicht: Retinaculum patellae laterale, Lig. patellofemorale
- Tiefe Schicht: Gelenkkapsel, Lig. collaterale laterale (LCL), Lig. arcuatum, Sehne des M. popliteus, Lig. popliteofibulare, Lig. fabellofibulare

Für die Rotationsinstabilität sind vor allem die tiefen Schichten der posterolateralen Gelenkecke von Bedeutung. Das ovale LCL hat seinen Ansatz ungefähr 2 cm über dem Gelenkspalt des lateralen Femurs und inseriert am lateralen Teil des Fibulaköpfchens [29]. Der M. popliteus unterkreuzt das LCL. Er entspringt an der posteromedialen Seite des Tibiaschafts und inseriert an der lateralen Femurkondyle, am Außenmeniskushinterhorn und durch das Lig. popliteofibulare (muskulotendinöse Einheit) am Fibulaköpfchen [29]. Die muskulotendinöse Einheit des M. popliteus ist der tragende Pfeiler für die Stabilisierung der posterolateralen Gelenkecke sowie bei der Innenrotation und zur Stabilisierung des Außenmeniskus [30]. Von hoher Wichtigkeit ist der Popliteuskomplex auch zusammen mit der lateralen Gelenkkapsel für die Rotationsstabilität bei Außenrotation. Für Stabilität bei Varusstress in allen Flexionsgraden

sorgt das LCL. Die posterolateralen Kapselbandstrukturen fungieren als sekundäre Stabilisatoren des HKBs [31].



**Abbildung 2: Die posterolaterale Gelenkecke; Anatom. Präparat (A) und Illustration (B) rechtes Knie lateral**

Quelle: modifiziert nach LaPrade et al. [29]

### 1.3 Diagnostik einer HKB Ruptur

#### 1.3.1 Anamnese

Eine ausführliche Anamnese ist wichtig. Hierbei sollten mit Hilfe des Patienten der genaue Unfallmechanismus sowie vorausgegangene Knieverletzungen eruiert werden. Der Patient beschreibt häufig eine schmerzhafte und eingeschränkte Kniebeugung sowie Schmerzen im Bereich der Kniekehle und klagt über ein Instabilitätsgefühl bei komplexeren Knieverletzungen. Bei chronischen Verletzungen bestehen Schmerzen im patellofemoralem Gelenk und ein Instabilitätsgefühl vor allem in der Flexion [10].

#### 1.3.2 Klinische Untersuchung

Vor Beginn der klinischen Untersuchung sollten Frakturen und knöcherne Bandausrisse röntgenologisch ausgeschlossen werden. Am Anfang steht die Inspektion des Kniegelenks. Besonders sollte hierbei auf typische Prellmarken (prätibial), Hämatome (Kniekehle) und Weichteilschwellung geachtet werden. Ein Kniegelenkserguss wird mit Hilfe der Palpation erfasst und Schmerzpunkte festgestellt [1], [10]. Es folgt die Bewegungsumfangs- und

Beinachsenbestimmung. Bei der Stabilitätsprüfung der Bänder wird die Laxizität wie auch die Qualität des Endpunkts (fest oder weich) geprüft. Anhand dieser Ergebnisse kann der Grad der Instabilität eingeschätzt und zwischen Teil- und Komplett rupturen unterschieden werden. Die Menisken werden auf ihre Intaktheit untersucht [32]. Ebenfalls sollte die Untersuchung der Parameter Durchblutung, Motorik und Sensibilität (DMS) nicht vergessen werden. Wichtig ist, dass alle Untersuchungen beidseits durchgeführt und im Seitenvergleich bewertet werden. Eine besonders sensible Untersuchungsmethode ist der Hyperextensionstest bei akuten HKB-Rupturen, die so genannte palpatorische hintere Schublade [32]. Die flache Hand des Untersuchers wird auf die Tuberositas tibiae gelegt und die Patellavorderfläche mit den Fingerspitzen palpiert. Unter manuellem, nach dorsal gerichteten Druck kommt es bei einer HKB-Läsion zu einer Überstreckung der Fingergrundgelenke durch ein vermehrtes Zurücksinken der Tuberositas tibiae gegenüber der Patella. Der Step-off Test gilt ebenfalls als sensitiver Test im akuten Stadium der HKB-Läsion [32]. Hier wird durch den Untersucher die Prominenz des medialen Tibiaplateaus bei 90° flektiertem Knie beurteilt. Wird im Seitenvergleich eine Verminderung deutlich kann dies ein Hinweis auf eine Verletzung des HKBs sein. Dieser Test ist nach *Shelbourne and Rubinstein* in 3 Grade unterteilt [33]:

- Grad I: Posteriore Translation bis 5 mm. Der Vorderrand des medialen Tibiaplateaus liegt im Vergleich zur gesunden Seite dorsal der Normalposition, jedoch noch vor dem Femur.
- Grad II: Posteriore Translation bis 10 mm. Das mediale Tibiaplateau und der Femur liegen in einer Ebene.
- Grad III: Posteriore Translation > 10 mm. Das Tibiaplateau liegt dorsal des Femurs.

Beim aktiven Quadrizepstest bittet man den Patienten bei 60-90° angewinkeltem Knie den M. Quadrizeps anzuspannen. Lässt sich eine sichtbare Ventraltranslation der Tibia aus der posterioren Subluxationsstellung heraus erkennen, sollte man an eine HKB-Läsion denken [32]. Die Durchführung des Dialtests erfolgt in Bauchlage einmal bei 30° flektiertem Knie und einmal bei 90°. Beide Füße werden passiv nach außen gedreht und das Ausmaß der Rotation in Grad im Seitenvergleich bestimmt. Der Dialtest dient zur Feststellung der posterolateralen Rotationsinstabilität (PLRI) [10]. Die Überprüfung der Stabilität der Kollateralbänder erfolgt in Rückenlage unter Anwendung von Valgus- und Varusstress bei 0° Streckung und 30° Beugung. Wird eine vermehrte Aufklappbarkeit deutlich, muss an eine Verletzung des jeweiligen Bandes gedacht werden. Eine isolierte Aufklappbarkeit in 30° Flexion spricht für eine isolierte Kollateralbandverletzung. In Kombination mit einer vermehrten Aufklappbarkeit in 0° Extension

lässt sich eher eine kombinierte Verletzung von HKB und posterolateralen Strukturen vermuten [32].

### **1.3.3 Bildgebende Verfahren**

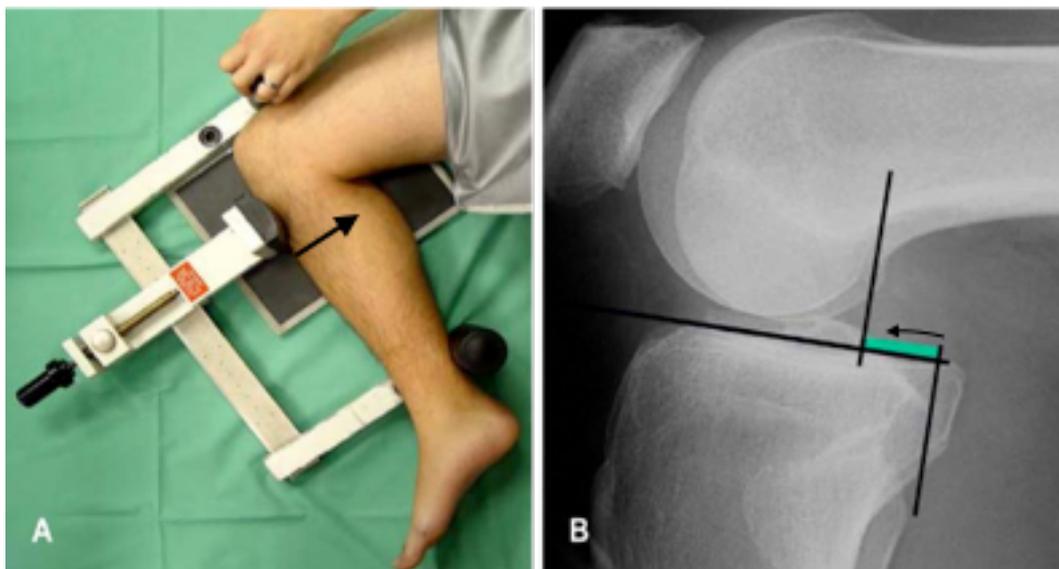
Bei Verdacht auf eine akute HKB-Verletzung werden zunächst konventionelle Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen sowie meist auch eine p.a.-45° Belastungsaufnahme nach Rosenberg zum Ausschluss knöcherner Verletzungen angefertigt [34] sowie MRT-Aufnahmen zur funktionellen Beurteilung der Bänder und Weichteile des Kniegelenks. Werden die Röntgenaufnahmen bei chronischen HKB-Läsionen ausgewertet, fallen häufig Verkalkungen im HKB-Verlauf oder Osteophyten im Bereich der Area intercondylaris posterior auf. Zudem können degenerative Veränderungen im patellofemorale sowie medialen Kompartiment des Kniegelenks dargestellt werden [10]. Zum Nachweis einer chronischen HKB-Instabilität werden gehaltene Röntgen Aufnahmen in 90° Knieflexion im Telos-Halteapparat (Telos GmbH, Marburg, Germany) angefertigt [35], [36]. Dieses Verfahren zur objektiven Evaluation hat sich als Goldstandard etabliert. Die gehaltenen Stressaufnahmen dienen der Quantifizierung der posterioren Tibiaverschiebung, dem präoperativen Ausschluss einer fixierten vorderen oder hinteren Schublade und der postoperativen Verlaufskontrolle zudem lässt sich der funktionelle Zustand des Bandes im Seitenvergleich beurteilen [10].

Die Aufnahmen werden in Seitenlage bei 90° Knieflexion und neutralrotiertem Knie mit dem Haltegerät nach Scheuba (Fa. Telos GmbH, Marburg) durchgeführt (Abb. 3). Im Gegensatz zur chronischen Läsion wird bei der akuten HKB-Läsion nur mit einer maximalen Kraft von 5 kPa die Tibia nach anterior bzw. posterior gedrückt und radiologisch aufgenommen. Bei chronischen Läsionen werden 15 kPa verwendet. Sollte bei der akuten Verletzung der Unfall mehr als 14 Tage zurückliegen, wird auf die gehaltenen Aufnahmen verzichtet und konservativ therapiert. Ansonsten besteht die Gefahr, die bereits heilenden Fasern des HKBs zu elongieren [10]. Die Aufnahmen werden im Seitenvergleich an beiden Knien in gleicher Art und Weise durchgeführt um die Seit-zu-Seit-Differenz für vordere und hintere Schublade zu bestimmen. Die Auswertung erfolgt mit der Technik nach Jacobson und Stäubli [35] (Abb. 3). Ab einer Seitendifferenz von 5 mm besteht der Verdacht einer HKB-Verletzung. Bei mehr als 10 mm muss von einer kombinierten Verletzung des HKB und der posterolateralen bzw. -medialen Strukturen ausgegangen werden. Die radiologische Einteilung der hinteren Schublade erfolgt in Graden nach SSD.

**Tabelle 1: Einteilung der radiologisch ermittelten HSL in Grade anhand der SSD (mm) [37]**

Grad	Hintere Schublade in SSD	FHS in SSD
I (+)	3-5 mm	3-5 mm
II (++)	6-10 mm	6-10 mm
III (+++)	>10 mm	>10 mm

Als fixierte hintere Schublade wird die fehlende Mobilisation aus der posterioren Subluxation bezeichnet. Selbst bei Applikation eines vorderen Schubladenstress es nicht zu einer ausreichenden ventralen Tibiatranslation. Die Tibia steht im Vergleich zur gesunden Seite mehr 3 mm nach dorsal subluxiert [37]



**Abbildung 3: Radiologische Stressaufnahmen in 90° Flexion mit Telos-Halteapparat (A); Ausmessung der HSL nach Jacobsen (B)**

Quelle: modifiziert nach Weiler et al. [38]

Das MRT sollte als ergänzende Untersuchung bei akuten Verletzungen durchgeführt werden, es ist jedoch nicht obligat [7]. Es dient der strukturellen Beurteilung des hinteren Kreuzbandes, zur Darstellung der Lokalisation der Ruptur, zur Unterscheidung zwischen partiellen und kompletten Rupturen und zur Diagnose von Kombinationsverletzungen bei eingeschränkter Untersuchbarkeit des Knies. Es können jedoch keine Aussagen über den funktionellen Zustand

des Gelenks getroffen werden sondern lediglich über die Morphologie der anatomischen Strukturen [7]. Bei chronischen Läsionen hat das MRT keine Aussagekraft [12].



**Abbildung 4: Z.n. Hyperextensionstraume mit HKB-Ruptur und intaktem VKB (A). Bone bruise (B) als indirektes Zeichen für eine HKB-Ruptur**

Quelle: modifiziert nach Weiler et al. [38]

#### 1.3.4 Arthroskopie

Die diagnostische Arthroskopie des hinteren Kreuzbandes wird nur in Einzelfällen durchgeführt. Die Beurteilung des HKBs ist über einen dorsomedialen Arthroskopiezugang und auch dann nur eingeschränkt möglich. Eine vollständige Darstellung und Beurteilung des hinteren Kreuzbandes erfordert Manipulationen an umliegenden Strukturen und zusätzliche Portale [10]. Anzeichen für eine akute HKB-Verletzung können ein eingebluteter Fettkörper und Risse in der Plica infrapatellaris sein, als auch Verletzungen des lateralen Meniskus, der Kapsel oder der Popliteusesehne sowie eine posterolaterale Instabilität. Als Zeichen einer chronischen HKB-Insuffizienz gelten vor allem am medialen Femurkondylus gelegene Knorpelschäden [39]. Eine Mitbeteiligung des VKBs lässt sich hingegen leicht diagnostizieren. Häufig kommt es durch eine Ruptur des HKBs zum „floppy ACL sign“ (scheinbar elongiertes vorderes Kreuzband) da sich der Tibiakopf in einer posterioren Lage befindet und daraus eine Relaxierung des VKB resultiert. Übt der Operateur einen vorderen Schubladenstress aus, spannt sich das VKB wieder [10].

## 1.4 Klassifikation der HKB Läsionen

Läsionen des hinteren Kreuzbandes lassen sich wie folgt einteilen:

- Akut (< 14 Tage), subakut (2-8 Wochen), chronisch (> 8 Wochen)
- Stabil vs. instabil
- Isolierte vs. komplexe Bandverletzung(en)

Alle Klassifikationen dienen der systemischen Erfassung der Verletzungsschwere und des Grades der Instabilität nach denen sich letztendlich die Therapie richtet. Eine viel verwendete Klassifikation ist die Klassifikation der HKB-Insuffizienz nach **Harner et al.** [5]. Hier werden neben der Einteilung nach Schwere der Verletzung Therapieempfehlungen gegeben.

**Tabelle 2: Klassifikation der HKB-Insuffizienz nach Harner [5]**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>HSL</b>	< 5 mm	5-10 mm	10-15 mm	> 15 mm
<b>HSL in Innenrotation</b>	abnehmend	gleich bleibend	gleich bleibend	zunehmend
<b>Varusinstabilität</b>	-	-	+/-	+
<b>Diagnose</b>	isoliert	isoliert	kombiniert	kombiniert
<b>Therapieempfehlung</b>	Physiotherapie	OP, wenn symptomatisch	OP	OP

## 1.5 Therapie der Ruptur des hinteren Kreuzbandes

Bei der Auswahl der Therapiemethode spielen Faktoren wie Alter, Aktivitätsniveau, Verletzungsschwere und Begleitverletzungen eine wichtige Rolle. Bei der akuten isolierten HKB-Ruptur mit einer HSL (SSD) von < 10 mm ist zunächst ein konservatives Vorgehen indiziert [10].

Eine akute kombinierte HKB-Ruptur wird durch eine einzeitige operative Refixation und Rekonstruktion der betroffenen Strukturen therapiert [38].

Liegt eine chronische isolierte nicht symptomatische HKB-Ruptur ohne Rotationskomponente vor, ist eine funktionelle physiotherapeutische Behandlung angemessen. Besonderes Augenmerk liegt auf dem Aufbau des M. quadrizeps. Bei einer chronischen isolierten aber symptomatischen

und instabilen HKB-Läsion mit Schmerzen wird der Brace-Test 6 Wochen lang durchgeführt. Der Patient trägt während dieser Zeit eine funktionelle HKB-Orthese (DonJoy 4-Titude PCL, Fa. Dj Orthopedics Deutschland GmbH, Neudrossenfeld) [10]. Eine operative Rekonstruktion des hinteren Kreuzbandes ist bei deutlicher Beschwerdeminderung unter dem Tragen der Schiene indiziert.

Bei Vorliegen einer chronisch komplexen hinteren Instabilität ist neben dem HKB auch die posterolaterale Gelenkecke mitbetroffen. Häufig klagen die Patienten über Schmerzen im Patellofemoralgelenk sowie im medialen Kniegelenksanteil. Degenerative Veränderungen lassen sich in diesen Bereichen radiologisch meist nachweisen. Ist die HSL (SSD) größer als 20 mm ist eine zusätzliche VKB-Verletzung wahrscheinlich. Eine einzeitige kombinierte HKB-/ VKB-Rekonstruktion mit posterolateraler Stabilisierung stellt die Kniegelenkskinematik wieder her [38]. Indiziert ist sie ab einer HSL im Seitenvergleich von mindestens 12 mm, bei einer vermehrten Varusaufklappbarkeit und / oder einer vermehrten Außenrotation in 30° und / oder 90° Flexion.

Die fixierte hintere Schublade muss vor Erfolgen der Rekonstruktionen unbedingt ausgeschlossen bzw. behandelt werden. Meist ist eine Aufdehnung der posterioren Strukturen mit Hilfe einer PTS-Schiene ausreichend [37]. Die Schiene sollte vom Patienten nachts getragen werden. Alle 6 Wochen wird das Therapieergebnis durch gehaltene Röntgenaufnahmen kontrolliert und erst beendet, wenn das Gelenk optimalerweise „maximal instabil“ ist. Eine operative Rekonstruktion kann nun durchgeführt werden. Bei FHS Grad 3 kann eine arthroskopische Artholyse zur Lösung von Verwachsungen zwischen HKB und VKB durchgeführt und somit die Therapiedauer verkürzt werden [10], [37].

Bei einer ausgeprägten Achsenfehlstellung vor allem einer Varusdeformität mit oder ohne patellofemorale oder mediale Gelenkdegeneration ist dem Patienten eine Achsenkorrektur, die so genannte hohe tibiale Umstellungsosteotomie (HTO) anzuraten [40]. Gerade bei einem HKB-Ersatz mit PLS würde es ansonsten zu einer Überlastung der lateralen Kapselbandkomplexe mit Reinsuffizienz kommen.

### **1.5.1 Konservative Therapie der akuten, isolierten HKB-Verletzung**

Die konservative Therapie untergliedert sich in 2 Behandlungskonzepte. Zum einen gibt es die frühe Mobilisation ohne Schienenbehandlung. Dieses Therapiekonzept richtet sich vor allem an junge, sportliche Patienten, denen man ein schnelles Wiedererlangen der früheren Beweglichkeit ermöglichen möchte. Das andere konservative Therapiekonzept setzt sich aus einer 6-wöchigen Schienenbehandlung und anschließender langsamer Mobilisation zusammen [10]. Die PTS-Schiene (Posterior-Tibial-Support-Schiene, Fa. Medi, Bayreuth) wird in den ersten 6 Wochen 24 Stunden täglich getragen. Durch ein posteriores Inlay wird die Tibia nach ventral geschoben und das HKB entlastet. Zur Mobilisation werden unter physiotherapeutischer Aufsicht passive Bewegungsübungen in Bauchlage in den ersten 2 Wochen bis 20°, in der 3.- 4. Woche bis 40° und in der 5.- 6. Woche bis 60° durchgeführt. Eine Teilbelastung mit 10 kg des Körpergewichtes in den ersten 2 Wochen und einer stetigen Verdopplung der Belastung pro Woche bis zur Vollbelastung ab der 6. Woche ist gestattet. Nach der 6. Woche trägt der Patient die PTS-Schiene nur noch nachts für weitere 6 Wochen. Tagsüber wird auf eine funktionelle HKB-Orthese (z. B. DonJoy 4-Titude PCL, Fa. Dj Orthopedics Deutschland GmbH, Neudrossenfeld) gewechselt.

### **1.5.2 Operative Therapie**

Die operative Rekonstruktion des HKB sowie weiterer verletzter lateraler und posterolateraler Kapsel- und Bandstrukturen ist indiziert, wenn eine HSL im Seitenvergleich von mindestens 12 mm, einer vermehrten Varusaufklappbarkeit und / oder einer vermehrten Außenrotation in 30° und oder 90° Flexion vorliegt [38]. Je nach Verletzungsschwere werden der Tractus iliotibialis, das LCL und die Sehne des M. popliteus rekonstruiert. Hierzu steht die Therapie der primären Naht, unter zu Hilfenahme von Fadenankern, zur Verfügung [1], [11].

### **1.5.3 Transplantate**

Für die Rekonstruktion des HKBs stehen verschiedene Materialien (Sehnen) zur Verfügung. Am häufigsten finden die sogenannten „Hamstring-Sehnen“ (Semitendinosus/ Gracillis) Verwendung. Es eignen sich aber auch das mittlere Patellasehnedrittel, die Quadrizepssehne und verschiedene Allotransplantate, wie der M. tibialis anterior und die Achillessehne, zur Rekonstruktion [41]. Die Sehnenentnahme erfolgt vom patienteneigenen verletzten Bein und alternativ auch von der gesunden Gegenseite. Bei der Verwendung von patienteneigener

Patellarsehne mit Knochenblock besteht die Gefahr der Entstehung einer fixierten hinteren Schublade sowie einer Gravierung der für HKB-Patienten typischen patellofemorale Beschwerden Symptomatik, allerdings wird eine direkte Knochen-zu-Knochenheilung im Tunnel ermöglicht [37]. Die Semitendinosus- und Gracillissehnenentnahme ist hingegen mit einer geringen Morbidität verbunden und gelingt problemlos. In den meisten Fällen können sowohl HKB, posterolaterale Gelenkecke als auch ggf. das VKB aus dem entnommenen autogenen Material rekonstruiert werden [10].

#### **1.5.4 Operationstechniken**

Es gibt verschiedene anerkannte Operationstechniken zur Rekonstruktion des hinteren Kreuzbandes die je nach Zeitintervall vom Verletzungszeitpunkt bis zur Operation angewendet werden. Es kann zwischen offen und arthroskopischen Verfahren gewählt werden sowie zwischen verschiedenen Rekonstruktionstechniken (Ein-/ Doppelbündeltechnik) und Transplantatfixierungen. Das Transplantat kann femoral anatomisch in Insertionsnähe oder kortikal fixiert werden. Tibial wird mit oder ohne Knochentunnel in *tibial inlay*-Technik gearbeitet [10], [38], [41].

#### **1.6 Der menschliche Gangzyklus**

Der Gangzyklus ist als Zeitraum zwischen dem ersten Bodenkontakt eines Fußes und dem zweiten Kontakt des Fußes definiert. Dieser Ablauf kann in 2 Phasen untergliedert werden: die Standphase, in der der Fuß Bodenkontakt hat und die Schwungphase, in der sich der Fuß in der Luft befindet und nach vorne bewegt. Die Standphase wird in 5 weitere Phasen untergliedert, die Schwungphase in 3. Alle Phasen erfüllen folgende funktionelle Aufgaben: Gewichtsübernahme, Einbeinstand und Vorwärtsbewegung des Schwungbeins [42] (Abb. 5).

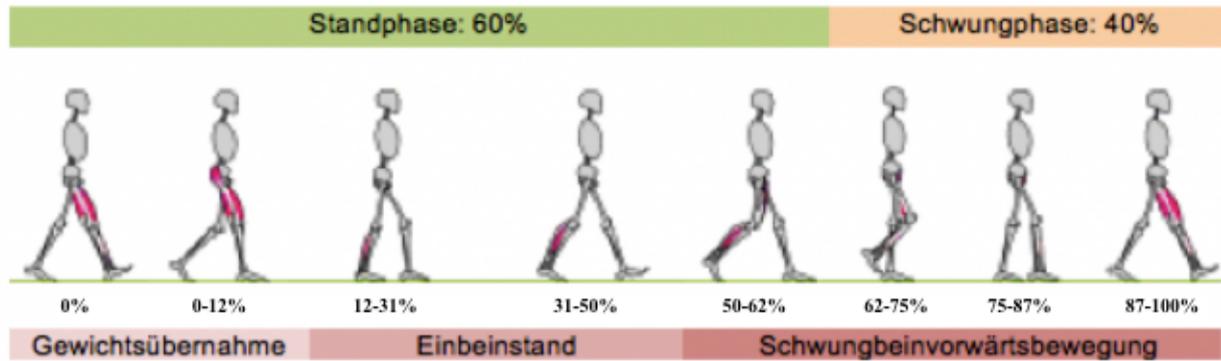


Abbildung 5: Die 8 Phasen des Gangzykluses

Quelle: modifiziert nach Götz-Neumann et al. [42], [43]

## 1.7 Aufgabenstellung

Die Verletzungen des HKBs rücken zunehmend in den Fokus der Kliniker aufgrund der verbesserten bildgebenden Verfahren. Es existieren einige Studien, die das postoperative Ergebnis in den ersten Jahren untersuchen. Häufig werden zur Evaluation Knie-Scores verwendet und subjektive sowie objektive Ergebnisse miteinander verglichen. Dabei wurde häufig eine deutliche Diskrepanz zwischen der klinischen Untersuchung des Kniegelenks und dem subjektiven Empfinden des Patienten beschrieben, wobei das klinische Ergebnis schlechter ausfiel. Eine ähnliche Diskrepanz zwischen zwei Ergebnissen wurde in verschiedenen Studien im Bezug auf den Vergleich der manuell untersuchten HSL und der röntgenologisch gemessenen beschrieben. Dabei fiel das Ergebnis der röntgenologischen Ermittlung deutlich schlechter aus. Diese Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass die Kniefunktion postoperativ nicht vollständig wiederhergestellt werden kann. Aus diesem Grunde wurden in dieser Studie verschiedene Untersuchungen (Fragebögen, Ganganalyse, klinische Untersuchung, radiologische Untersuchung) zusammengefasst und ausgewertet. Ziel ist es, einen Überblick über den funktionellen Zustand des Kniegelenks und des Patienten 5-15 Jahre postoperativ zu erhalten und mögliche Auswirkungen und Einflussfaktoren zu detektieren. Durch eine Umfangsmessung des Oberschenkels soll ein möglicher muskulärer Unterschied dargestellt und mit Hilfe der Ganganalyse kinematische Daten bei Alltagsaktivitäten gewonnen werden. Vorherige Studien konnten das funktionelle Gangbild, Kinematik und Kinetik bei HKB-Patienten untersuchen und morphologische sowie strukturelle Veränderungen detektieren, dabei wurde jeweils eine gesunde Kontrollgruppe als Vergleichsparameter genutzt. Die Anwendung der Ganganalyse in Kombination mit klinischen Untersuchungen und verschiedenen Arten von Fragebögen wurde in

diesem Rahmen noch nicht an HKB-Patienten durchgeführt. Die Ganganalyse bietet sich als kostengünstige, reliable, nicht-invasive Untersuchung an.

Im Rahmen der vorliegenden Dissertationsschrift soll auf folgende Fragen eingegangen werden:

- Besteht eine Korrelation zwischen chronische Instabilität des HKBs der Kniegelenkskinematik und -kinetik?
- Gibt es Unterschiede zwischen der Kinematik und Kinetik des Patientenkollektiv und einer gesunden Vergleichsgruppe?
- Korrelieren die Ergebnisse der Ganganalyse mit denen der klinischen Untersuchung, HSL, subjektiven Empfinden?
- Lassen sich Unterschiede in der Ganganalyse je nach Verletzungsmodus, Alter, Geschlecht oder Laxheit feststellen?
- Besteht eine Korrelation zwischen Stabilität und subjektiv empfundenem funktionellen Ergebnis nach erfolgreicher HKB-Rekonstruktion im Langzeitverlauf?
- Finden Adaptationsvorgänge statt?

Folgende Hypothesen werden aufgestellt:

1. Die Patienten kehren nicht zu einem „normalen“ Gangbild nach erfolgter Rekonstruktion zurück und unterscheiden sich in ihren Beinen sowie von einer gesunden Vergleichsgruppe.
2. Die Patienten zeigen eine veränderte Kinetik und Kinematik im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe.
3. Die Kinematik wird in der Rotation und Flexion beim Treppensteigen und –absteigen vermindert sein im Vergleich zur kontralateralen Seite und gesunden Gruppe.
4. Eine dauerhafte postoperative Verminderung der HSL wird erreicht.
5. Die Ergebnisse der klinischen Untersuchung, der Fragebögen und des Röntgens sind nicht untereinander sowie mit der Ganganalyse vergleichbar.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Patientenkollektiv**

Zwischen Mai 2000 und Dezember 2008 wurden im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité Campus Virchow Klinikum, Sektion Arthroskopie und Sporttraumatologie, 230 Patienten mit einem arthroskopisch assistierten Ersatz des hinteren Kreuzbandes versorgt. Alle 230 Patienten wurden von ein und demselben Operateur mit wechselnder Assistenz operiert und anhand des gleichen Nachbehandlungsschemas postoperativ betreut. Im Dezember 2011 wurde ein Ethikantrag eingereicht und im Februar 2012 von der Ethik-Kommission der Charité bewilligt (EA2/071/10; EA2/055/10). Unterstützt wurde die Durchführung der Studie durch die Richard und Annemarie Wolf-Stiftung.

Im Zeitraum von April 2012 bis April 2013 wurden alle Patienten des Kollektivs telefonisch sowie schriftlich kontaktiert und zu einer kontrollierten Nachuntersuchung eingeladen. Von den vorhandenen 230 Patienten konnten 63 (27 %) erfolgreich rekrutiert werden. Insgesamt waren 34 (15 %) bereit eine Ganganalyse durchführen zu lassen. Die verbliebenen 167 Patienten konnten telefonisch sowie schriftlich aufgrund von Wohnortwechseln, Namensänderungen et cetera nicht erreicht werden. 43 Patienten lehnten aufgrund der weiten Anfahrt sowie aus beruflichen Gründen die Teilnahme ab. 10 Patienten hatten bereits eine Totalendoprothese des Kniegelenks erhalten und wurden aus diesem Grund von der Studie ausgeschlossen. Vor Beginn der Nachuntersuchung wurde jeder Patient ausführlich mündlich und schriftlich über die geplanten Untersuchungen aufgeklärt und auf die Freiwilligkeit ihrer Teilnahme hingewiesen. Alle Patienten gaben ihre schriftliche Einverständniserklärung zur Nutzung ihrer Daten für die wissenschaftliche Nachuntersuchung. Es ist anzumerken, dass alle Patienten, welche einen arthroskopisch assistierten Ersatz des hinteren Kreuzbandes im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité Campus Virchow Klinikum erhalten haben, vor Beginn dieser Studie vor sowie bis zu zwei Jahren nach der Operation regelmäßig untersucht wurden. Es wurde ebenfalls eine radiologische Diagnostik durchgeführt sowie der funktionelle Zustand des Knies anhand des Formblatt zur Knieuntersuchung (IKDC) erhoben.

Das an der Ganganalyse teilnehmende Patientenkollektiv setzte sich aus 10 Frauen und 24 Männern zusammen, welche zum Untersuchungszeitpunkt 2012 / 2013 ein mittleres Alter von 36 ( $\pm$  10) Jahren und einen durchschnittlichen BMI von 28 ( $\pm$  4) aufwiesen. Im Durchschnitt lagen 104 Monate zwischen der OP und dem Nachuntersuchungszeitpunkt. Als Kontrollgruppe für die Ganganalyse dienten 10 gesunde Probanden mit einem mittleren Alter von 30 ( $\pm$  4) Jahren, einem durchschnittlichen BMI von 24 ( $\pm$  2), 3 Frauen und 7 Männern. Die Durchführung

der Ganganalyse und ihre Auswertung sowie die Erhebung der klinischen Daten erfolgte in Zusammenarbeit mit den Doktoranden Teresa Benert und Yanlin Zhong in Kooperation mit dem Julius Wolff Institut für Biomechanik und muskuloskeletale Regeneration der medizinischen Fakultät Charité Berlin.

### 2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Folgende Kriterien wurden bei der Zusammenstellung des Patientenkollektivs dieser Studie beachtet:

**Tabelle 3: Ein- und Ausschlusskriterien der Studie**

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆Rekonstruktion des hinteren Kreuzbandes bis 2008</li> <li>◆Verletzung eines Beines, kontralaterales Bein unverletzt und gesund</li> <li>◆Ein Operateur</li> <li>◆Eine Op-Technik</li> <li>◆Patienten ab 17 Jahre zum Operationszeitpunkt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆Revisionsoperation(en)</li> <li>◆Vorerkrankungen des betroffenen Beines</li> <li>◆Beidseitige Verletzung</li> <li>◆Fehlende präoperative gehaltene Röntgenaufnahmen</li> <li>◆Kniegelenksinfekt</li> </ul>

Tabelle 4: Epidemiologische Daten des Patientenkollektivs

ID	Sex	Alter '12 (j)	BMI	Monate seit Op	Verletzte Bänder	HSL (mm)	SSD (mm)	IKDC
1	M	35	27	74	HKB/VKB/PLS	12	11	56,3
2	F	25	28	68	HKB	4	1	94,3
3	F	27	30	88	HKB/PLS	4	4	56,3
4	F	31	29	80	HKB/VKB/PLS	7	0	71,3
5	M	36	24	69	HKB/PLS	4	3	83,9
6	M	31	26	113	HKB/PLS	7	6	89,7
7	M	45	31	98	HKB	9	4	85,1
8	M	27	24	66	HKB/PLS	5	1	88,5
9	F	44	33	177	HKB/VKB/PLS	7	3	69
10	M	36	33	106	HKB/VKB/PLS	9	5	72,4
11	M	52	24	140	HKB/VKB/PLS	6	5	64,4
12	M	50	36	65	HKB/PLS	13	8	90,8
13	M	54	29	168	HKB/PLS	5	3	33,3
14	M	28	24	120	HKB/PLS	5	4	96,6
15	M	27	25	114	HKB/PLS	4	2	87,4
16	F	56	32	80	HKB/PLS	10	4	56,3
17	M	43	24	179	HKB/PLS	20	16	82,8
18	M	31	33	104	HKB	11	4	69
19	M	25	30	99	HKB	6	0	43,7
20	M	50	29	114	HKB/PLS	11	7	75,9
21	M	25	34	76	HKB/VKB/PLS	14	13	62,1
22	F	20	26	88	HKB/VKB/PLS	2	2	50,6
23	F	42	25	112	HKB/PLS	7	0	39,1
24	F	35	28	94	HKB/VKB/PLS	15	15	82,8
25	M	29	23	125	HKB/VKB/PLS	15	15	79,3
26	M	27	27	74	HKB/VKB/PLS	14	13	80,5
27	F	54	28	111	HKB/PLS	10	5	79,3
28	M	27	29	121	HKB/PLS	9	2	93,1
29	F	35	25	128	HKB	9	2	65,5
30	M	30	27	82	HKB/VKB/PLS	10	1	65,5
31	M	43	25	92	HKB/VKB/PLS	4	1	88,5
32	M	29	24	123	HKB/PLS	13	12	40,2
33	M	47	26	97	HKB/VKB/PLS	7	2	89,7
34	M	31	32	83	HKB/VKB/PLS	8	1	90,8
MW		36,1	27,9	103,8		8,7	5,1	74,8
STABW		±10,3	± 3,5	± 30		± 4,1	± 4,8	± 17

## 2.2 Unfallätiologie und Verletzungsmuster

Unfallursächlich waren bei 14 Patienten (41%) Hochgeschwindigkeitstraumata, wie Motorrad- und andere Verkehrsunfälle. Mit 47% (16 Patienten) sind aber auch Traumata geringer Geschwindigkeit, welche beim Sport vor allem bei Kontakt- und Ballsportarten und im Alltag passierten nicht zu vernachlässigen. Bei 5 Patienten (15%) zeigt sich eine isolierte HKB-Verletzung, 15 Patienten (44%) hatten zusätzlich zu der Ruptur des hinteren Kreuzbandes eine Beteiligung der posterolateralen Gelenkecke. 14 Patienten (41%) unseres Kollektives haben eine komplexe Knieverletzung mit Ruptur des VKB, HKB und Verletzung der posterolateralen Gelenkecke erlitten (Tab. 5).

**Tabelle 5: Unfallätiologie des Patientenkollektivs**

<b>Hochgeschwindigkeitsunfälle</b>	<b>Anzahl (n=12)</b>
Motorrad	9
Automobil	3
<b>Unfälle bei geringer Geschwindigkeit</b>	<b>(n=22)</b>
<b>Sportunfälle</b>	10
Ski	1
Handball	3
Volleyball	1
Fußball	2
Fahrrad	3
<b>Unfälle im Alltag</b>	6
<b>Unbekannt</b>	6

## 2.3 Operative Versorgung

Alle Patienten erhielten eine arthroskopisch assistierte Rekonstruktion der verletzten Bandstrukturen. Alle rupturierten Bandstrukturen wurden in einer Operation rekonstruiert. Kein Patient wurde akut, innerhalb von wenigen Tagen nach seinem Unfall operiert. Die Patienten wurden im Durchschnitt 33 Monate ( $\pm$  55) nach ihrem Unfall operativ behandelt. Davon erhielten 14 Patienten (41%) eine Bandrekonstruktion nach weniger als 12 Monaten.

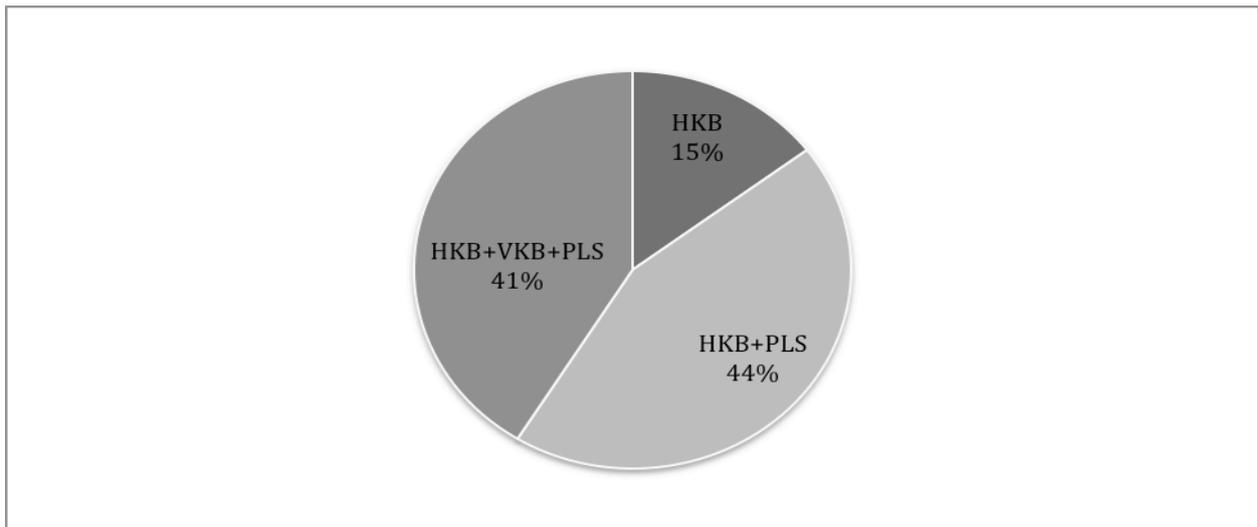


Abbildung 6: Darstellung der Anzahl der durchgeführten Eingriffe am Bandapparat (n=34)

### 2.3.1 Hinterer Kreuzbandersatz

Alle Patienten des Kollektivs erhielten eine Einbündelrekonstruktion des AL-Bündels in tibialer Tunneltechnik und femoraler *inside-out*-Technik mit Fixierung des Transplantats in Hybridtechnik [44]. Für die Rekonstruktion des hinteren Kreuzbandes wurden bei 25 Patienten (74%) die sogenannten „Hamstringsehnen“ des Muskulus Semitendinosus und Gracilis verwendet. Zu 17% wurde auch die Sehne des M. Tibialis anterior als Transplantat genutzt. In seltenen Fällen (9%) kamen die Achillessehne sowie die Sehne des M. Quadriceps femoris als Transplantate zum Einsatz.

### 2.3.2 Posterolaterale Stabilisierung

Die posterolaterale Stabilisierung erfolgte nach der von Strobel modifizierten Larson-Technik [44]. Bei 33 Patienten wurde die Sehne des M. semitendinosus verwendet. Selten wurden auch der M. gracilis als Transplantat eingesetzt (1 Patient). Die Rekonstruktion der posterolateralen Gelenkecke erfolgt nicht anatomisch korrekt, sondern ist isometrisch und dreiecksförmig angeordnet.

### 2.3.3 Transplantate

Bei insgesamt 27 Patienten (79%) konnten Auto-Transplantate des ipsi- bzw. contralateralen Beines verwendet werden. Bei 7 Patienten (21%) wurden Allo-Transplantate eingesetzt. Alle

Patienten erhielten eine primäre HKB-Rekonstruktion. Der postoperative Verlauf war bei allen Patienten komplikationslos.

#### **2.4 Nachbehandlungsschema**

Die postoperative Nachbehandlung verlief bei allen Patienten nach einem einheitlichen Nachbehandlungsschema, welches in den ersten 6 Wochen das ganztägige konsequente Tragen einer PTS-Orthese (posterior tibial support, Medi Bayreuth GmbH, Bayreuth) bei 15 kg Teilbelastung sowie eine drei- bis viermal wöchentlich stattfindende Physiotherapie umfasst. Postoperativ erfolgt eine Ruhigstellung des Kniegelenks in PTS- Schiene für 72 Stunden. Die Kniegelenksdrainagen werden nach 48 Stunden entfernt. Ab dem 4. / 5. postoperativen Tag wird mit passiven Flexionsübungen in Bauchlage unter physiotherapeutischer Anleitung begonnen. Diese werden langsam bis zur 6. Woche auf 70° gesteigert. Erst nach 6 Wochen postoperativ wird die PTS-Orthese tagsüber durch eine DonJoy 4-Titude PCL-Orthese (Fa. Dj Orthopedics Deutschland GmbH, Neudrossenfeld) ersetzt und das Gehen unter Vollbelastung gestattet. Die Beugung wird nun freigegeben. In der Nacht sollte weiterhin die PTS-Orthese getragen werden. Zusätzlich erhalten die meisten Patienten 12 Wochen postoperativ eine intensive stationäre Rehabilitation. Hier wird nun ein intensiver Muskelaufbau betrieben sowie die maximale Knieflexion erarbeitet.

#### **2.5 Postoperative Verlaufskontrolle**

Alle Patienten unseres Kollektivs wurden postoperativ mehrfach klinisch und radiologisch nachuntersucht. Die Kontrolluntersuchungen fanden 3, 6, 12, 24 Monate postoperativ statt sowie nun nach 5-15 Jahren (durchschnittlich 9 Jahre). Die Untersuchungen wurden nach dem Formblatt zur Knieuntersuchung des IKDC [45] von zwei erfahrenen Untersuchern durchgeführt und dokumentiert. Alle Daten wurden anonymisiert.

#### **2.6 Klinische Nachuntersuchung nach IKDC-2000**

Die Klinische Untersuchung der Patienten wurde im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité Campus Virchow Klinikum, Sektion Arthroskopie und Sporttraumatologie von zwei erfahrenen Ärzten durchgeführt. Als Vorlage für die Untersuchung diente das Formblatt zur Untersuchung des Knies des IKDC 2000 [45]. Beide Beine wurden im Seitenvergleich

untersucht und die Ergebnisse dokumentiert. Die Befundung erfolgte qualitativ nach folgenden vier Graden:

- A: normal
- B: fast normal
- C: abnormal
- D: deutlich abnormal

Die jeweils schlechteste Gruppenqualifikation bestimmte die Gesamtbewertung. Für die Gesamtevaluation wurden drei (Erguss, passives Bewegungsdefizit, Ligamentuntersuchung) der insgesamt sieben Gruppen berücksichtigt. Die verbleibenden vier Gruppen wurden dokumentiert ohne in die Gesamtbewertung mit einzufließen.

Zu Beginn wurde die Beinachse des Patienten, wie auch die Stellung der Patella beurteilt. Das passive Bewegungsausmaß wurde nach der Neutral-Null-Methode mit Hilfe eines Goniometers ermittelt und die Kniegelenke auf Ergüsse sowie Weichteilschwellungen untersucht. Beuge- und Streckdefizite wurden ebenfalls mit dem Goniometer gemessen und im Vergleich zum normalen Knie beurteilt. Bei Streckung des Knies gegen einen geringen Widerstand konnte das patellofemorale Kompartiment auf Krepitationen hin untersucht werden. Zur Untersuchung des lateralen und medialen Kompartiments sollte der Patient sein Knie aus der Streckung heraus beugen dabei wurde durch den Untersucher ein Varus- bzw. Valgusstress ausgeführt. Die Beurteilung des Tests erfolgte nach Schmerz und Intensität der Krepitation. Sie werden im IKDC in 4 Ausprägungsgrade (Grad A: keine Krepitation, Grad B: mäßige Krepitation, Grad C: Krepitation mit leichtem Schmerz und Grad D: Krepitation mit deutlichem Schmerz) eingeteilt. Als Funktionstest diente ein Ein-Bein-Sprung aus dem Stand. Der Patient wurde aufgefordert, so weit wie möglich auf einem Bein zu springen. Die Ergebnisse beider Beine wurden daraufhin verglichen und prozentual eingestuft.

### **2.6.1 Untersuchung der Bänder**

Sind im Seitenvergleich Unterschiede in der Bandstabilität festzustellen werden diese anhand der Seitendifferenz (SSD) der Verschiebung bzw. Aufklappbarkeit des Gelenkspalts in mm unter Berücksichtigung der IKDC-Einteilung [45] dokumentiert.

Die Einteilung umfasst vier Stabilitätsgrade:

- A: SSD 0-2mm = normal
- B: SSD 3-5 mm = fast normal
- C: SSD 6-10 mm = abnormal
- D: SSD >10 mm = deutlich abnormal

### **2.6.1.1 Vorderes Kreuzband (Lachmantest, Pivot shift)**

Der Lachmantest wird in Rückenlage durchgeführt. Der Untersucher hält das Bein des Patienten an Ober- und Unterschenkel, extensionsnah in 20° Beugung fest und bewegt unter Zug Femur und Tibia gegeneinander. Er erzeugt so eine vordere Schublade. Mit Hilfe dieser Untersuchung lässt sich der Anschlag des vorderen Kreuzbandes beurteilen (fest oder weich). Bei einer Ruptur des hinteren Kreuzbandes kann das Untersuchungsergebnis durch eine nach dorsal subluxierte Tibia falsch positiv ausfallen.

Der Pivot-Shift-Test wird ebenfalls in Rückenlage durchgeführt. Er dient zur Beurteilung des vorderen Kreuzbandes und ist ein dynamisch passiver Subluxationstest. Der Untersucher fixiert das nach innen rotierte gestreckte Bein des Patienten mit der einen Hand. Mit der anderen Hand wird die laterale Femurkondyle gegriffen und Fibula sowie Tibia palpirt. Bei einer Läsion des vorderen Kreuzbandes subluxiert die Tibia in Extensionsstellung unter Valgusstress nach ventral. Kommt es bei zunehmender Flexion (20-40° Flexion) im Kniegelenk zu einer spontanen und spürbaren Reposition der Tibia nach dorsal weist dies auf eine Läsion des vordere Kreuzbandes hin. Im IKDC werden ein seitengleichen Normalbefund, Gleiten (+), ein dumpfes (++) und ein lautes Shiften (+++) unterschieden.

### **2.6.1.2 Hinteres Kreuzband (Hinterer Schublade Test, Step-off)**

Bei der Untersuchung der hinteren Schublade und des Step-off liegt der Patient auf der Untersuchungsliege auf dem Rücken. Der Untersucher flektiert das Bein des Patienten um 90° und fixiert dies indem er sich zum Beispiel leicht daraufsetzt. Nun umfasst er mit beiden Händen die Tibia, palpirt mit beiden Daumen den medialen bzw. lateralen Gelenkspalt und legt seine anderen Finger in die Kniekehle des zu untersuchenden Beines. Zur Überprüfung der hinteren Schubladen wird der Unterschenkel gegenüber dem Oberschenkel nach dorsal verschoben.

Während dieser Untersuchung kann die posteriore Tibiatranslation sowie der Endpunkt beurteilt werden. Die gleiche Untersuchung wird nun wieder aus der Neutralstellung heraus mit einem ventral gerichteten Druck wiederholt (vordere Schublade). Der Endpunkt und die anteriore Tibiatranslation lassen sich auch hier beurteilen. Dies geschieht bei beiden Untersuchungen im Seitenvergleich. Die Translation der Tibia wurde in verschiedene Grade eingeteilt [37]:

- Grad 1 = 0-5 mm
- Grad 2 = 6-10 mm
- Grad 3 = >10 mm

Der hintere Schubladentest ist mit einer Sensitivität von 90% und einer 99% Spezifität einer der genauesten Tests zur Untersuchung des funktionellen Zustandes des Knies.

Der Step-off Test kann zusätzlich zum hinteren Schubladen-Test durchgeführt werden. Er dient ebenfalls der Beurteilung einer möglichen hinteren Kreuzbandruptur. Der Untersucher palpiert hierzu bei 90° gebeugtem Knie den Gelenkspalt. Beim gesunden Knie lässt sich eine Stufe zwischen Tibiaplateau und medialer Femurkondyle palpieren. Diese kann bei Rupturen des HKB vermindert sein.

### **2.6.1.3 Mediales/ Laterales Kollateralband (Valgus-/ Varusstress)**

Auch diese Untersuchung wird in Rücklage durchgeführt. Der Untersucher palpiert mit der einen Hand den lateralen bzw. medialen Gelenkspalt. Seine Hand stellt im selben Moment ein Widerlager für die Untersuchung dar. Mit der anderen Hand wird das Sprunggelenk umfasst und das jeweilige Bein adduziert (Varusstress) bzw. abduziert (Valgusstress). Diese Untersuchung wird im Seitenvergleich in Extension sowie in 20-30° Knieflexion durchgeführt. Kommt es bei 20°-30° zu einer vermehrten Aufklappbarkeit, spricht dies für eine Instabilität des jeweilig untersuchten Seitenbandes. Ist auch in Extension eine vermehrte Aufklappbarkeit festzustellen, kann von einer Mitbeteiligung der dorsolateralen Kapsel-Band-Strukturen ausgegangen werden. Als Normalbefund (Grad A) wird nach IKDC 2000 eine Aufklappbarkeit von 0-2mm angesehen [46].

#### **2.6.1.4 Posterolaterale Gelenkecke (Dial-Test)**

Der Dial-Test wird in Bauchlage durchgeführt und dient der Beurteilung der postolateralen Stabilität. Der Untersucher flektiert dazu die Beine des Patienten gleichzeitig auf 30° und rotiert mit gleichbleibendem Druck die Füße maximal nach außen. Bei maximaler Außenrotation wird der Winkel zwischen medialer Fußkante und Tibia mit Hilfe des Goniometers vermessen. Derselbe Vorgang wird bei 90° wiederholt. Wird eine Differenz im Seitenvergleich festgestellt kann bei vermehrter Außenrotation von einer Instabilität der postolateralen Bandstrukturen ausgegangen werden.

### **2.7 Radiologische Untersuchung**

#### **2.7.1 Stressaufnahmen im Telos-Halteapparat**

Mit Hilfe des Haltegerätes nach Scheuba (Fa. Telos GmbH, Marburg) werden prä- und postoperativ Stressaufnahmen von beiden Beinen zur Quantifizierung der posterioren und anterioren Tibiaverschiebung im Seitenvergleich angefertigt. Das Bein kann in verschiedenen Positionen und Beugegraden im Haltegerät fixiert und die Tibia mit einer definierten Kraft von 15 kPa in die vordere bzw. hintere Schublade gedrückt werden. Zur optimalen Beurteilung der HKB-Funktion wird eine Knieflexion von 90° angestrebt und der Druck ausübende Stempel auf Höhe der Tuberositas tibiae platziert [36], [47]. Die Untersuchung wird in Seitenlage durchgeführt. Der Patient liegt auf der zu untersuchenden Seite auf dem Röntgentisch. Der Standardabstand zwischen Röntgenröhre und Kassette beträgt 1,15 m. Die Aufnahme wird im seitlichen Strahlengang von medial nach lateral angefertigt. Dabei liegt das laterale Knie der Röntgenkassette an. Die Tibia befindet sich in Neutralrotationsstellung: Patellaspitze, Tuberositas tibiae und Os metatarsale II befinden sich in einer vertikalen Achse. Anhand der Röntgenbilder wird die posteriore Tibiaverschiebung ermittelt und im Seitenvergleich zum gesunden Bein beurteilt. In der gleichen Sitzung werden auch gehaltene Aufnahmen mit vorderem Schubladenstress von beiden Beinen angefertigt. Diese sind notwendig um eine nicht zu reponierende dorsale Subluxation, die sogenannte fixierte hintere Schublade zu diagnostizieren [47]. Sie liegt bei etwa 10% der hinteren Kreuzbandpatienten vor [37]. Diese sind entweder bereits operativ versorgt worden oder haben eine chronische HKB-Läsion. Die anteriore Aufnahme wird wie die vorherige durchgeführt, mit dem Unterschied, dass der Druck dieses Mal nach ventral gerichtet ist. Liegt eine fixierte hintere Schublade vor, erreicht der Tibiakopf nicht die Neutralstellung. Die gehaltenen Röntgenaufnahmen werden mit Hilfe der

Technik nach Jacobsen ausgewertet [35], [48]. Als erstes wird das Tibiaplateau mit Hilfe einer Geraden dargestellt. Nun werden 2 Lote auf das Tibiaplateau gefällt. Diese gehen von der als knöchernen Bezugspunkte dienenden Mitte der am weitesten posterior gelegenen medialen und lateralen Konturen der Femurkondyle sowie der Mitte der am weitesten posterior gelegenen Hinterkanten des medialen und lateralen Tibiaplateaus aus. Der Abstand zwischen diesen Senkrechten stellt die Translation des Tibiakopfes gegenüber dem Femur entlang der Transversalebene (HSL) dar. Sie wird in Millimetern gemessen. Physiologisch ist ein Übereinstimmen der tibialen und femoralen Senkrechten auf der Transversalebene [35], [48], [49]. Die HSL wird in negativen Zahlenwerten, die VSL in positiven Zahlenwerten angegeben. Die im postoperativen Verlauf wiederholt bestimmten HSL- und VSL-Werte geben Auskunft über die Funktionsfähigkeit des HKB-Transplantates und ermöglichen eine Transplantatlockerung abzuschätzen.

## **2.8 Subjektive Evaluation durch Fragebögen**

Der IKDC-2000 ist ein Standardvaluationsblatt zur Dokumentation von Knieverletzungen. Er setzt sich aus dem Formblatt zur Untersuchung des Knies, dem Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies und dem Formblatt zur Beurteilung des gegenwärtigen Gesundheitszustandes (in Anlehnung an SF-36 Health Survey) zusammen [46]. In dieser Studie kamen die beiden erstgenannten Formblätter zur Anwendung.

### **2.8.1 Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies nach IKDC-2000**

Mit Hilfe des IKDC-Formblatts zur subjektiven Beurteilung des Knies wurden die Patienten zu den Merkmalen: Symptome, sportliche Betätigung und Funktionsfähigkeit ihres Knies befragt und das Formblatt numerisch nach Anleitung des IKDCs ausgewertet [45], [46], [50]. Zur Ermittlung des Summen-Scores wurden die Einzelergebnisse addiert und auf einen Wertebereich zwischen 0 bis 100 Punkte transformiert.

### **2.8.2 Formblatt zur Untersuchung des Knies**

Die klinische Untersuchung der Patienten dieser Studie erfolgte anhand des IKDC 2000 Evaluationsbogens. Insgesamt werden sieben Gruppen (Erguss, passives Bewegungsdefizit,

Ligamentuntersuchung, Kompartimentbefunde, Transplantatentnahmemorbidität, Röntgenbefund und Funktionstest) dokumentiert und mit den vier Qualifikationsgraden (Grad A: normal, B: fast normal, C: abnormal, D: stark abnormal) bewertet. In der abschließende Bewertung werden jedoch nur die ersten drei Gruppen (Erguss, passives Bewegungsdefizit und Ligamentuntersuchung) berücksichtigt, wobei die schlechteste Qualifikation in den drei Gruppen den Grad der Abschlussbeurteilung bestimmt [45], [46], [51].

### **2.8.3 Lysholm-Score**

Der Lysholm-Score dient der Erfassung der subjektiven Funktionalität und Stabilität des Kniegelenks [52]. In dieser Studie wird die Fassung von 1982 in deutscher Übersetzung verwendet. Insgesamt werden 8 verschiedene Kategorien (Hinken, Belastung, Blockierung, Instabilität, Schmerzen, Schwellung, Treppensteigen, Hocken) abgefragt und mit unterschiedlicher Gewichtung zu einem Gesamtergebnis summiert. Die Punktzahl reicht von 0-100, wobei 100 die Höchstpunktzahl ist und 0 die niedrigste [52]. In dieser Studie wurde die folgende anerkannt Einteilung der Ergebnisse verwendet [52]:

- >90 = Ausgezeichnet
- 84-90 = Gut
- 65-83 = Mäßig
- < 65 = Schwach

### **2.8.4 KOOS-Score**

Der „Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score“ (KOOS) ist ein Fragebogen, der für Patienten mit Verletzungen des vorderen Kreuzbandes sowie Meniskus- und Knorpelschäden bzw. Osteoarthrose entwickelt worden ist. Er untergliedert sich in 5 Kategorien, welche die Bereiche Symptome, Steifigkeit, Schmerzen, Aktivitäten des täglichen Lebens, Sport und Freizeit umfassen [53]. Diese unterteilen sich wiederum in 42 Fragen, welche anhand einer Fünf-Punkte-Skala beantwortet werden. In dieser Studie wurde die Deutsche Version LK1.01 des KOOS verwendet. Die Auswertung des Fragebogens erfolgte einmal als Gesamtergebnis und ebenfalls für jede Kategorie einzeln. Jeder Frage sind 5 Antwortmöglichkeiten vorgegeben, welcher jeweils ein Zahlenwert von 0 bis 4 Punkten zugeordnet ist. Zur Berechnung wurden alle

Punktwerte addiert und im Anschluss auf einen Zahlenwert von 0 bis 100 transformiert. 100 entspricht der vollkommenen Beschwerdefreiheit und 0 starken Knieproblemen [53]–[55].

In dieser Studie wurden vor allem die Ergebnisse der einzelnen Kategorien verwendet, da diese einen spezifischeren Aussagewert über den aktuellen, subjektiven Zustand des Patienten liefern.

## 2.9 Erfassung der funktionellen Kinematik und der Bodenreaktionskräfte mittels instrumentierter Ganganalyse

Die Ganganalyse wurde im Ganglabor des Julius Wolff Institutes am Charité Campus Mitte an allen 34 Patienten des Kollektives durchgeführt. Sie ist eine spezielle Methode zur Erfassung von Bewegungsabläufen und extern auftretenden Kräften. Mit Hilfe der Kombination aus Ganganalyse und Kraftmessung lassen sich die Geschwindigkeit, Beschleunigung der Gliedmaßen und Momente, aber auch verschiedene Winkel im Gelenk und die auf die Gelenke wirkenden Kräfte bestimmen.



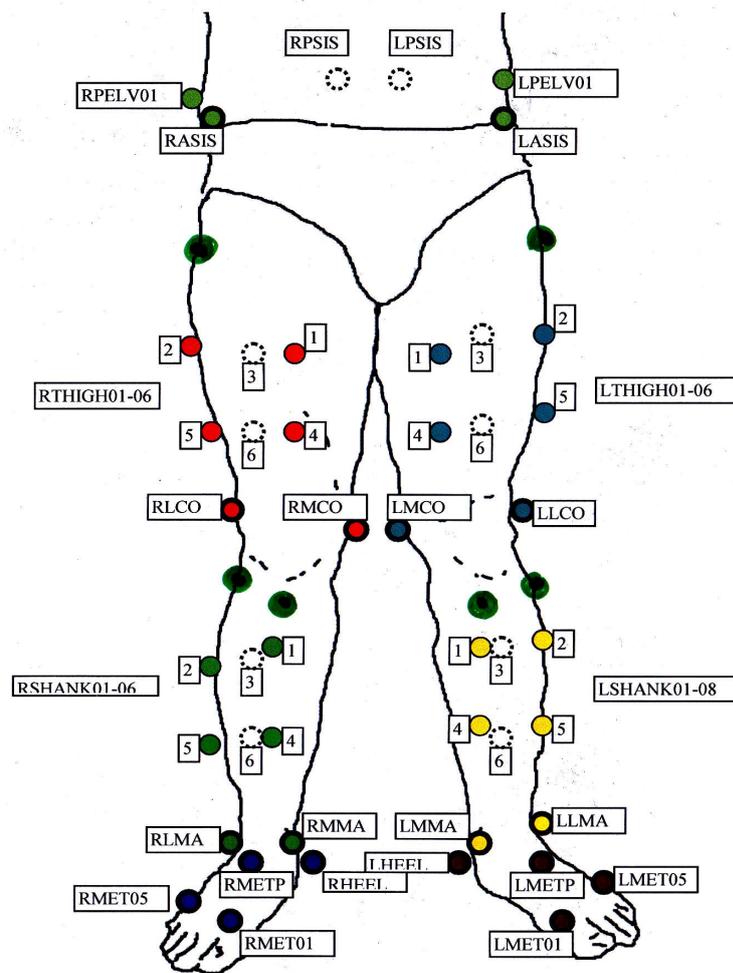
Abbildung 7: Patienten mit Vicon Markern

### 2.9.1 Messaufbau und Equipment

Für die Durchführung der Ganganalyse wurden das *real-time Motion Capture System* (Vicon, Oxford, UK) bei 120 Hz, 10 Infrarot-Kameras (Vicon T-Series T20S) und 52 retroreflektierende am Patienten angebrachte Marker (Abb. 7, 8) sowie 2 Kraftmessplatten (AMTI, Watertown, MA) verwendet. Die Kameras wurden so im Raum verteilt und kalibriert, dass zu jedem Zeitpunkt jeder Marker von mindestens zwei Kameras sicher aufgenommen wurde. Die in den

Boden eingelassenen Kraftmessplatten waren so angeordnet, dass der Patient beim Gehen mit je einem Fuß eine Kraftmessplatte traf und so die von ihm erzeugten Momente erfasst werden konnten. Um das physiologische Gangbild nicht zu beeinflussen, erfuhren die Patienten erst im Nachhinein von den beiden Kraftmessplatten.

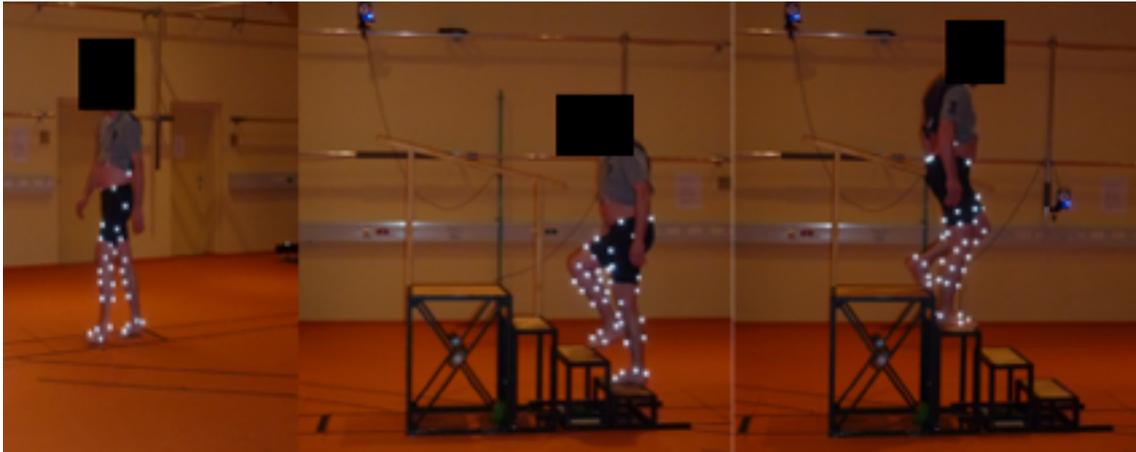
Vor der Messung wurde der Patient gewogen, seine Beinlänge sowie die Umfänge seiner Ober- und Unterschenkel vermessen und notiert. Mit Hilfe der Frage „Mit welchem Bein würden Sie einen Fußball schießen?“ wurden die Patienten nach ihrem dominanten Bein gefragt. Es folgte das Anbringen von 52 retroreflektierenden Markern an definierten Weichteil- und Knochenpunkten des Beckens, der Ober- und Unterschenkel sowie des Fußes (Abb. 8). Die Knochenmarker wurden an den Metatarsalen I und V, mittig des Fußrückens, an der Ferse sowie am Malleolus medialis und lateralis, an beiden Fibulaköpfchen, auf der Tuberositas tibiae, am Kondylus medialis und lateralis femoris, am Trochanter major, an der Spina iliaca anterior superior, an der Crista iliaca sowie des Os sacrum jeweils seitengleich angebracht. Die 24 Weichteilmarker wurden karoförmig auf dem Unter- und Oberschenkel beider Beine angeordnet. Jeweils 6 Marker pro Oberschenkel und 6 pro Unterschenkel je Bein. Der Patient lief während der gesamten Ganganalyse barfuß, um einen standardisierten Lauf zu gewährleisten und den Einfluss unterschiedlichen Schuhwerks zu verhindern. Vor Beginn der 3-D-Messung musste das Kamerasystem kalibriert werden. Um eine möglichst präzise Datenaufnahme zu gewährleisten, wurden an jeder Kamera die Blende und der Fokus individuell eingestellt. Im Anschluss erfolgte eine dynamische Kalibrierung mit Hilfe eines mit Markern beklebten Kalibrierstabs. Die Marker sind in definierten Abständen zueinander angeordnet. Durch willkürliches Bewegen des Kalibrierstabs durch das gesamte Sichtfeld wurden die Kameras maßgetreu zueinander ausgerichtet. Durch die Positionierung des Kalibrierstabes an einer definierten Position im Raum wurde der Nullpunkt des Koordinatensystems definiert. Bei der anschließenden Messung wurden die Trajektorien von jedem Marker zu jedem Zeitpunkt aufgenommen und dargestellt.



**Abbildung 8: Darstellung der anatomischen Positionen der 52 Vicon Marker**

### 2.9.2 Durchführung der Messung

Die Patienten führten während der Ganganalyse alltägliche Bewegungen, wie Gehen auf gerader Strecke, Treppensteigen und Treppe runter gehen, in ihrem eigens gewählten Tempo aus. Für die Aufnahme des Gangbildes liefen die Patienten einen 10 Meter langen Weg mehrmals auf und ab, wobei sie die in den Boden eingelassenen Kraftmessplatten überquerten. Für das Treppensteigen wurde eine Treppenkonstruktion mit drei 20 cm hohen Stufen verwendet und so positioniert, dass die zweite Stufe über einer der beiden Kraftmessplatte platziert war und somit die extern auftretenden Bodenreaktionskräfte auch beim Treppensteigen und runter gehen gemessen werden konnten. Alle Messungen wurden 4 Mal für jedes Bein wiederholt (Abb. 9).

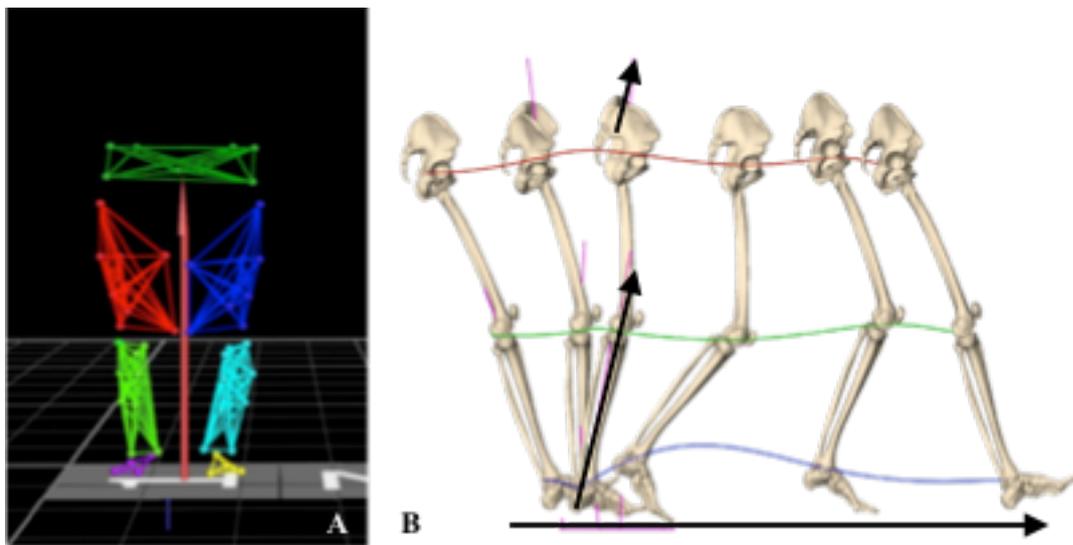


**Abbildung 9: Patienten bei Ausführung von Alltagaktivitäten im Ganglabor (Gehen, Treppensteigen und -absteigen)**

### 2.9.3 Auswertung der Ganganalyse

Zur Ermittlung der Kinematik im Kniegelenk während der Durchführung alltäglicher Aktivitäten wird die vorherige Durchführung von definierten Referenzbewegungen vorausgesetzt. Diese werden benötigt um auf dem tibialen und femoralen Segment ein Koordinatensystem zu konstruieren, welches zur Bestimmung der relativen tibio-femorale Bewegung benötigt wird. Während der Referenzmessungen wird eine Bewegung standardisiert so ausgeführt, dass der gesamte Bewegungsumfang des jeweiligen Gelenkes ausgenutzt wird. Zur Bestimmung des funktionellen Hüftgelenkzentrums wird eine Bewegung namens „star arc“ durchgeführt. Beim Knie hingegen wird bei angewinkeltem Oberschenkel eine Flexion/Extension des Unterschenkels durchgeführt um die funktionelle Achse im Kniegelenk zu bestimmen [58]. Zur Quantifizierung femoro-tibiale Bewegung während dynamischer Aktivitäten wird die Technik basierend aus *OSSCA* (*OCST* (Optical Common Shape Technique), *SARA* (Symmetrical Axis of Rotation Approach), *SCoRE* (Symmetrical Centre of Rotation Estimation) verwendet [56]. Jeder Mensch bewegt sich auf eine spezielle Art und Weise. Mittels *SCoRE* gelingt die funktionelle Ermittlung des Gelenkzentrums von Hüfte und Knie. *SARA* dient zur Erfassung der Achsen des Gelenks [57] [58]. Mit Hilfe dieser Technik können Positionen von 2 Achsen (Femur und Tibia) für jedes Knie rekonstruiert werden. Die Bewegungen der Achsen sind abhängig von der Bewegung des jeweiligen Segments [58], [59]. Bringt man die 3-D Koordinaten der knöchernen Strukturen des Hüft-, Knie- und Fußgelenks zusammen lässt sich ein femorales und tibiales Koordinatensystem erstellen. Zur Vermeidung von Weichteilartefakten welche z.B. durch die Hautelastizität entstehen wurde eine Methode namens *OCST* verwendet.[56]–[58].

Um die Unterschiede zwischen Gesunden und Kranken zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Gangzyklus herauszufinden, wurden für jede Kinematikvariable 101 diskrete Punkte auf 0-100 % des Gangzyklus bezogen und durch eindimensionale Interpolation mit Hilfe statistischer Analyse 1% eruiert [56], [59]. Als Vergleichsgruppe diente jeweils das kontralaterale gesunde Bein des Patienten.



**Abbildung 10:** 3-D Darstellung der Vicon-Nexus-Software (A), Stellung des Segmente bei Bewegungen (B)

## 2.10 Medline Recherche

In den Zeiträumen Februar bis April 2012 und August bis September 2012 wurde mittels Pubmed die Datenbank Medline nach Literatur durchsucht. Zunächst wurde die Suche sehr breit angelegt und nach Veröffentlichungen zum hinteren Kreuzband und dessen Verletzungen dieses gesucht. Im weiteren Verlauf wurde die Suche konkretisiert. Es galt Veröffentlichungen zum Thema Ganganalyse bei HKB-Patienten sowie zum postoperativen Verlauf zu finden, die den aktuellen Forschungsstand aufzeigen.

Folgende Suchbegriffe wurden verwendet:

*„knee, pcl, pcl injury, knee joint instability, pcl deficiency, gait analysis, kinematics, multiple ligament injury, knee ligament reconstruction, osteoarthritis“*

Es wurden Ein- und Ausschlusskriterien für die Sichtung der Treffer festgelegt. Voraussetzung für die Auswahl waren die Ganganalyse, HKB-Verletzungen, klinischer Verlauf nach

konservativer und operativer Behandlung der HKB-Ruptur. Diese wurden verwendet um nur geeignete Studien und Veröffentlichungen für die Arbeit ausfindig zu machen. Eine Aktualisierung der Pubmed Recherche wurde im Juli 2015 vorgenommen.

## **2.11 Statistik und Datenanalyse**

Alle prä- und postoperativen Untersuchungsergebnisse wurden auf einem Dokumentationsbogen erfasst, in eine Excel-Datei (Version 2003) überführt und im Anschluss einer Plausibilitätskontrolle unterzogen, um Eingabefehler zu erkennen und korrigieren zu können. Die Patienten wurden zudem Subgruppen nach den Faktoren Geschlecht, Alter, Verletzungsart, HSL, SSD und klinischer Untersuchung zugeordnet. Die statistische Auswertung wurde mit IBM SPSS Statistics (Version 22.0) durchgeführt. Für die erhobenen Daten der klinischen Untersuchung und der Fragebögen wurde die Methode der deskriptiven Statistik gewählt, um einen genaueren Überblick zu schaffen. Ermittelt wurden der arithmetische Mittelwert (MW) und die Standardabweichung (SD). Der minimalste und der maximalste Wert sowie deren Differenz (Range) wurden dokumentiert. Die graphischen Darstellungen dienen der Veranschaulichung der Ergebnisse und geben Auskünfte über die Verteilungsform. Die Daten der Ganganalyse wurden zunächst auf ihre Normalverteilung mit Hilfe des Kolmogoroff-Smirnov-Tests analysiert. Ein T-Test zur Untersuchung von Mittelwertunterschieden hinsichtlich X und Y wurde für gepaarte Stichproben verwendet. Die univariante Varianzanalyse (ANOVA) wurde für die Testung der gesunden Kontrollgruppe im Vergleich zum rekonstruierten Bein sowie kontralateralen Bein des Patienten verwendet. Im Anschluss erfolgte die Testung auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen bzw. Subgruppen. Für die Detektion statistischer Unterschiede in den einzelnen (Sub-)Gruppen wurde eine multivariate Varianzanalyse (MANOVA) durchgeführt. Im Anschluss erfolgte eine Post-hoc Betrachtung. Zur Kontrolle wurde der Levene-Test zur Feststellung der Gleichheit der Fehlervarianzen und zur Prüfung der Nullhypothese angeschlossen sowie der Box-Test zur Prüfung der Gleichheit der Kovarianzmatrizen über die abhängigen Variablen durchgeführt. Die verschiedenen Subgruppen wurden miteinander sowie untereinander auf signifikante Unterschiede mit Hilfe der oben genannten Tests geprüft. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p \leq .05$  festgelegt. Mithilfe der statistischen Tests wurden die aufgestellten Hypothesen überprüft und statistisch widerlegt bzw. verifiziert. Kurvendiagramme wurden für die in den 3 Gruppen durchschnittlich gemessenen Winkel und Momente der Flexion, Add-/Abduktion, Innen- sowie Außenrotation zur graphischen Darstellung konstruiert.

### **3 Ergebnisse**

#### **3.1 Klinische Untersuchung und IKDC Evaluation**

Zur Auswertung der Daten der klinischen Untersuchung wurde die Methode der deskriptiven Statistik gewählt.

##### **3.1.1 Erguss**

Bei 30 Patienten zeigt sich kein Erguss. Bei jeweils 2 Patienten stellte sich ein leichter bzw. mäßiger Erguss dar.

##### **3.1.2 Bewegungsgrade**

Die Bewegungsgrade der Patienten lagen bei 10-0/0/120-145 ipsilateral zu 15-0/0/120-145 kontralateral. Ein Streckdefizit von 3-5° wurde bei 4 Patienten diagnostiziert, bei den anderen 30 Patienten lag es bei < 3°. Ebenfalls zeigten 23 Patienten ein Beugedefizit < 5°, 10 zwischen 6-15° und einer > 25%.

##### **3.1.3 Lachmantest**

59% (20) der Patienten hatten einen negativen Lachmantest, 35% (12 Patienten) zeigten eine Translation von 3-5 mm und 6% 6-10 mm. Ein fester Anschlag ließ sich bei 94% (32) der Patienten feststellen. Bei 6% war sich der Untersucher unsicher.

##### **3.1.4 HSL-Test**

Der manuelle Test auf HSL fiel bei 85% der Patienten normal bis fast normal aus. 5 Patienten hatten eine vergrößerte HSL (siehe Abb. 11).

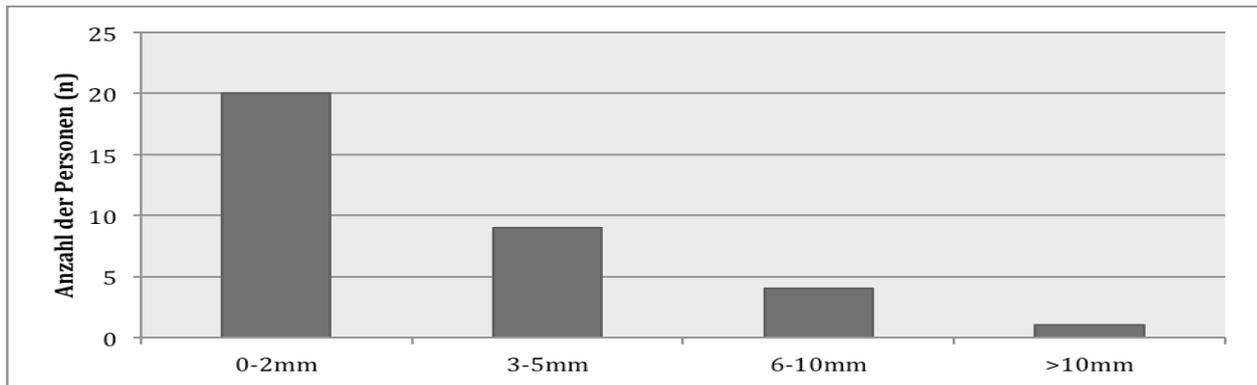


Abbildung 11: Ergebnisse der manuellen Untersuchung der HSL (n=34)

### 3.1.5 Test der Seitenbänder

Beim Varusstress zeigten 31 Patienten ein sehr gutes Ergebnis mit 0-2 mm Aufklappbarkeit. Bei 3 Patienten wurden 3-5 mm laterale Aufklappbarkeit gemessen. Dieselben Ergebnisse zeigten sich beim der Ausübung von Valgusstress. Hier zeigte sich eine mediale Aufklappbarkeit von 0-2 mm bei 28 Patienten, 3-5 mm bei 5 und 6-10 mm bei 1 Patienten.

### 3.1.6 Dialtest

Der Dialtest wurde in Bauchlage jeweils bei 30° und 90 ° Knieflexion durchgeführt. Bei 30° wurde bei 19 Patienten keine vermehrte Außenrotation festgestellt, bei 11 hingegen eine Außenrotation von 6-10° und bei 4 Patienten von 11-19°. In 90° Flexion zeigte sich bei den gleichen Patienten eine vermehrte Außenrotation.

### 3.1.7 Pivot Shift Test

Der Pivot Shift Test war bei 7 Patienten gleitend und bei 2 dumpf.

### 3.1.8 Krepitation

Patellofemoral zeigte sich bei 4 Patienten eine mäßiger sowie bei 1 Patienten ein leichter Schmerz. Im medialen Kompartiment zeigten ebenfalls 4 Patienten eine mäßige Krepitation. Lateral konnte dies bei 2 Patienten ausgelöst werden. Bei einem Patienten wurde eine deutliche Krepitation diagnostiziert.

### 3.1.9 Funktionstest (Einbeinsprung)

Im Einbeinsprungtest erreichten 21 Patienten sehr gute Ergebnisse. Beim Vergleich des Beines mit rekonstruiertem Bandapparat und des kontralateralen Beines zeigten sich bei 5 Patienten deutliche Unterschiede. Hiervon hatten 3 eine Verletzung von HKB und PLS, 2 von HKB, VKB und PLS. 8 Patienten lagen mit 76-89% im Mittelfeld. In dieser Gruppe lagen sowohl eine isolierte Verletzung des HKBs (2), in Kombination mit PLS (3) und multi-ligamentäre Verletzung (3) vor.

### 3.1.10 Ergebnisse der klinischen Untersuchung nach IKDC prä- und postoperativ

Insgesamt bestand bei 34 Patienten (100%) präoperativ eine mäßige bzw. schlechte Kniefunktion (Gruppe C 24%, Gruppe D 76%). 5-15 Jahre postoperativ erreichten 13 Patienten eine normale bzw. fast normale Kniefunktion (Gruppe A 9%, Gruppe B 29%). 19 Patienten (56%) wurden als mäßig bewertet und konnten die präoperative Kniefunktion verbessern, während 2 Patienten (6%) auf dem präoperativen Niveau blieben (siehe Abb. 12).

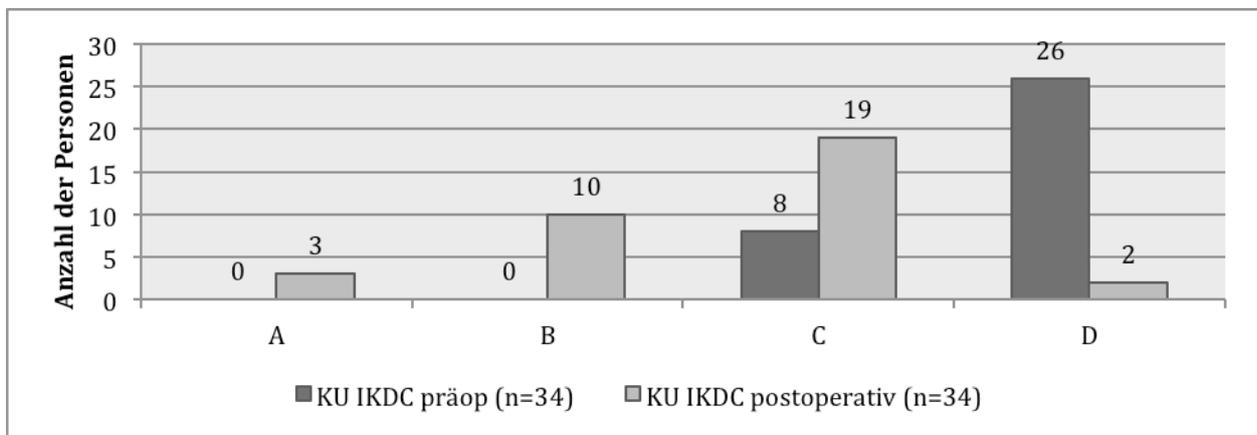


Abbildung 12: Vergleich der prä- und postoperativen Ergebnisse der klinischen Untersuchung anhand des IKDC-Formblattes

### 3.1.11 Step off Test

7 Patienten zeigten einen verminderten bis keinen Step off. Einer dieser Patienten litt an einer isolierten HBK-Ruptur, 2 an HKB und PLS Verletzungen und 4 an einem Riss beider Kreuzbänder und einer Verletzung der posterolateralen Gelenkecke.

### 3.1.12 Beinumfang

Bei der Ausmessung der Beinumfangs konnte eine signifikante Verminderung des mittleren Oberschenkelumfangs um 1,1 cm im Vergleich zum unverletzten Bein festgestellt werden. Der mittlere Oberschenkelumfang lag beim Bein mit rekonstruiertem Bandapparat bei 52,6cm ( $\pm 4,4$ cm), bei dem unverletzten Bein bei 53,7cm ( $\pm 4,5$ cm),  $p=0,0018$  (siehe Abb. 13, 14).

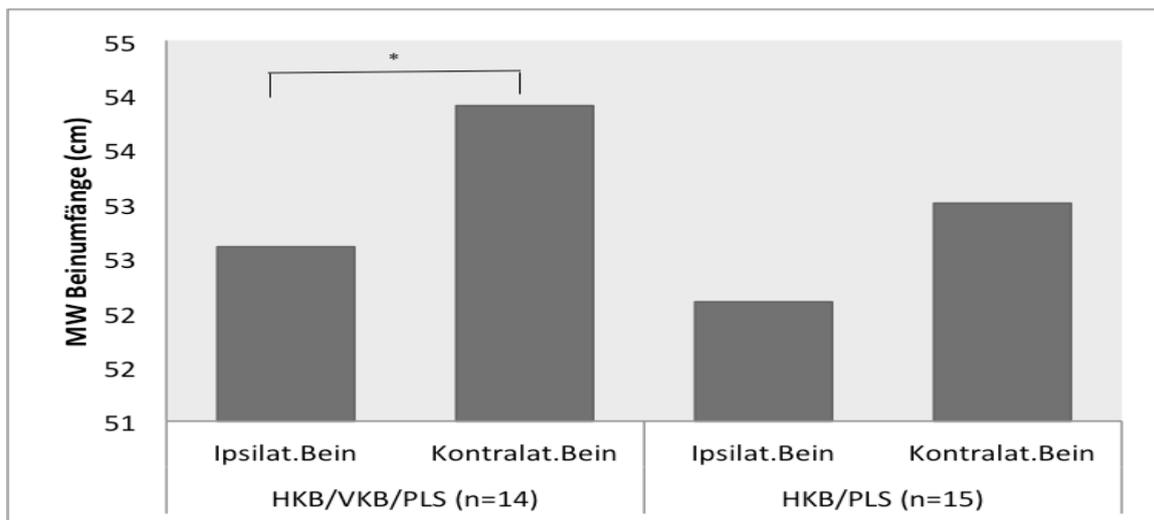


Abbildung 13: Vergleich Beinumfangs von Patienten mit Bandplastik von zwei und drei Bändern; (\*) $p=0,031$

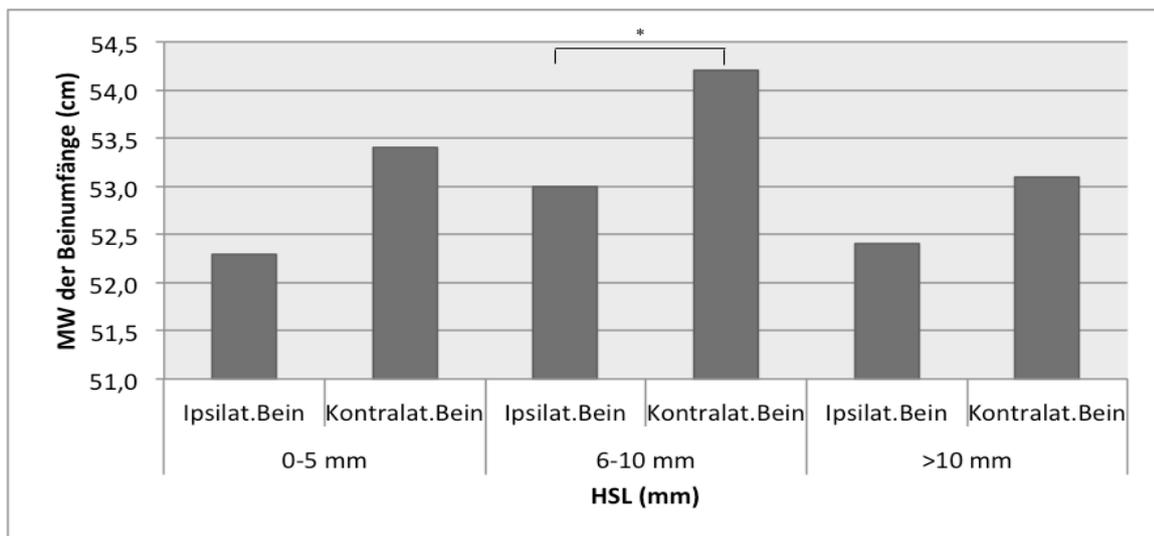


Abbildung 14: Beinumfangs der Patienten in der Kategorie HSL; (\*) $p=0,054$  marginal nicht signifikant

### **3.1.13 Schmerzen im Alltag**

80% der Patienten unseres Kollektivs gaben an im Alltag keine oder nur bei körperlich sehr großen Anstrengungen geringe Schmerzen im operierten Kniegelenk zu verspüren. 1 Patient verspürt ständig Schmerzen. Die restlichen 18% haben deutliche Knieschmerzen bei oder nach schwerer körperlicher Anstrengung bzw. einer Gehstrecke von weniger als 2 km.

## **3.2 Radiologische Untersuchung**

### **3.2.1 Allgemein**

Im a.p. sowie seitlichem Strahlengang zeigten sich im medialen Kompartiment bei 3 Patienten geringe sowie bei 2 Patienten mäßige Veränderungen. Lateral konnte dies ebenfalls bei 7 mit geringen und 1 mit mäßigen Veränderungen gezeigt werden. Patellofemoral gab es bei 4 Patienten geringe, bei 1 mäßige und bei 1 deutliche röntgenologische Veränderungen. Im vorderen Anteil und hinteren Anteil wurde dies bei jeweils 2 bzw. 3 mit geringen und bei 1 Patienten mit deutlichen Veränderungen deutlich. Dabei wiesen 6 Patienten radiologische Veränderungen in 2 und mehr Kompartimenten auf. 3 davon im gesamten Kniegelenk. Die Röntgenaufnahmen wurden im Rahmen einer klinischen Nachuntersuchung bei den Patienten aufgenommen und zur Auswertung aus dem System SAP entnommen.

### **3.2.2 Evaluation der Röntgenaufnahmen im Telos Halteapparat**

Im Durchschnitt lag die ausgemessene Hintere Schublade unseres Patientenkollektivs bei 9 mm ( $\pm 4$  mm). 29% der Patienten hatten eine HSL von 0-5 mm, die restlichen 71% lagen jeweils bei 6-10 mm (41%) und über 10 mm (30%). Betrachtet man die Verletzungen der Patienten mit einer HSL über 10 mm, hatten 5 eine Ruptur aller 3 Bänder, 4 von HKB und PLS, und 1 Patient eine isolierte HKB-Verletzung. Bei den Patienten mit einer HSL zwischen 6-10 mm gab es 7 mit Dreibandverletzung, 5 mit Zweibandverletzung und 2 mit isolierter HKB-Verletzung. Die SSD betrug im MW 5 mm ( $\pm 5$  mm). Hier lagen lediglich 29% des Kollektivs bei Werten über 5 mm und hiervon der Großteil (7) über 10mm. Bei diesen Patienten waren Verletzungen von allen 3 Bandstrukturen (5) am häufigsten, gefolgt von 2 Zweibandverletzungen. Isolierte Bandverletzungen gab es in dieser Gruppe nicht. Insgesamt gaben 13 Patienten an eine Instabilität im Kniegelenk zu empfinden. Die genaue Zusammensetzung im Hinblick auf die Verletzungsart lässt sich der folgenden Abbildung entnehmen.

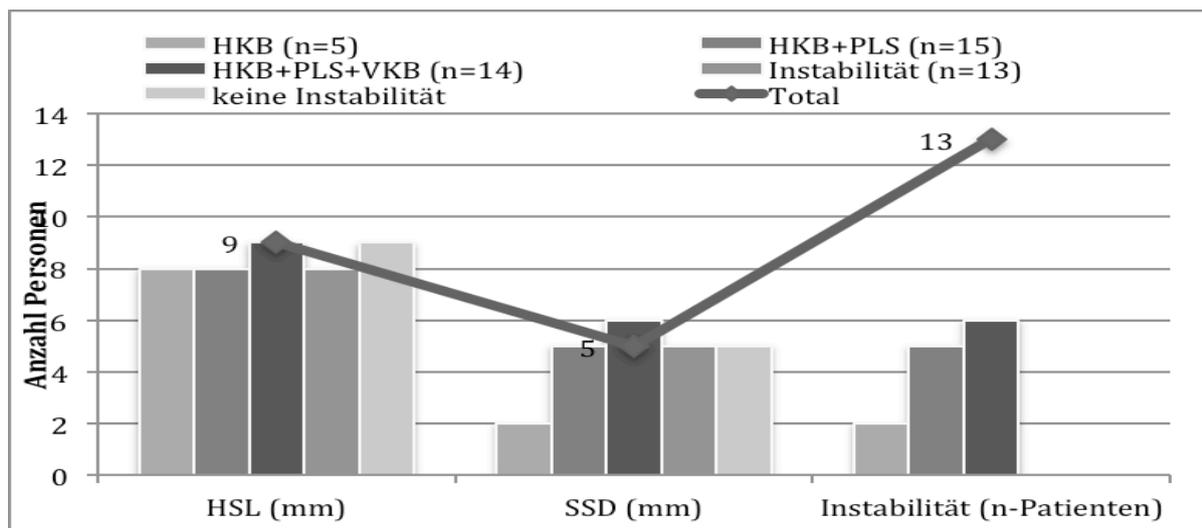


Abbildung 15: HSL im Bezug zur Instabilität und zum Verletzungsmodus

Der Vergleich der aktuellen gemessenen Werte der HSL und der SSD unseres Kollektivs mit den präoperativen Werten zeigt sich eine Reduktion der durchschnittlichen HSL um 33% sowie der durchschnittlichen SSD um 50%.

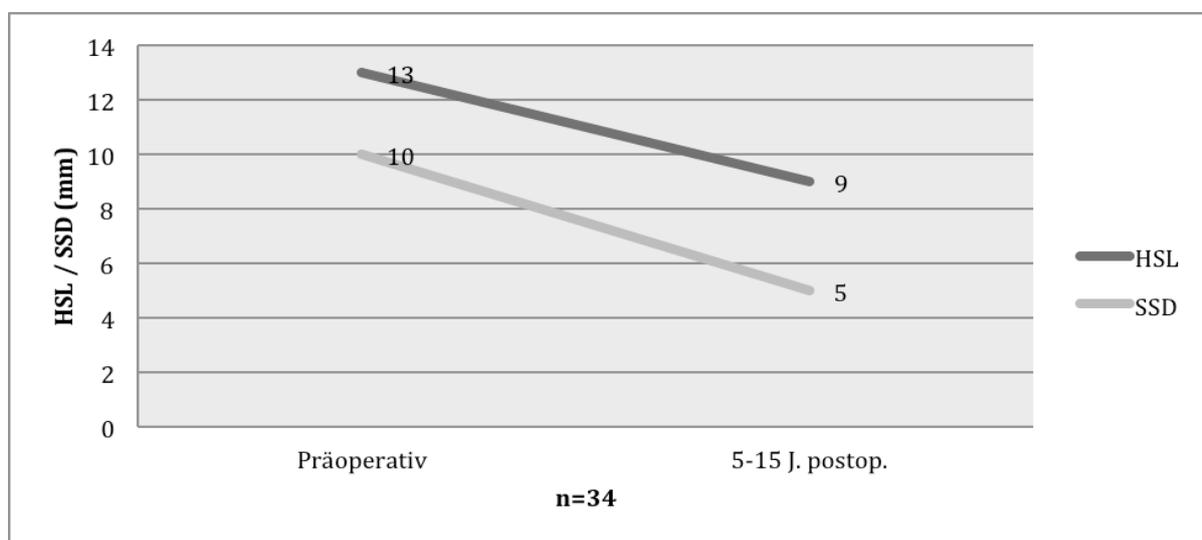


Abbildung 16: Entwicklung der HSL 5-15 Jahre nach HKB-Plastik

### 3.3 Subjektive Erfassung des Kniegelenkzustandes

#### 3.3.1 IKDC

Im Durchschnitt erzielte unser Patientenkollektiv im IKDC Fragebogen 73 Punkte ( $\pm 18$ ). 5 Patienten erreichten den Buchstaben A („normal“), 10 B („fast normal“), 5 C („abnormal“) und 14 D („deutlich abnormal“). Von 15 der insgesamt 34 Patienten, die einen IKDC Score von A oder B in den Fragebögen erreichten, hatten 2 Patienten eine isolierte HKB-Verletzung, 8 eine Verletzung von HKB und PLS und 5 Patienten eine kombinierte Dreibandverletzung (HKB, PLS, VKB).

**Tabelle 6: Epidemiologische Daten der Patienten**

<b>Patienten-ID</b>	<b>IKDC- Fragebogen</b>	<b>Verletzung</b>
PCL_01	D	HKB+VKB+PLS
PCL_02	A	HKB
PCL_03	D	HKB+ PLS
PCL_04	C	HKB+VKB+PLS
PCL_05	B	HKB+ PLS
PCL_06	B	HKB+ PLS
PCL_07	B	HKB
PCL_08	B	HKB+ PLS
PCL_09	D	HKB+VKB+PLS
PCL_10	C	HKB+VKB+PLS
PCL_11	D	HKB+VKB+PLS
PCL_12	A	HKB+ PLS
PCL_13	D	HKB+ PLS
PCL_14	A	HKB+ PLS
PCL_15	B	HKB+ PLS
PCL_16	D	HKB+ PLS
PCL_17	B	HKB+ PLS
PCL_18	D	HKB
PCL_19	D	HKB
PCL_20	C	HKB+ PLS
PCL_21	D	HKB+VKB+PLS
PCL_22	D	HKB+VKB+PLS
PCL_23	D	HKB+ PLS
PCL_24	B	HKB+VKB+PLS
PCL_25	C	HKB+VKB+PLS
PCL_26	B	HKB+VKB+PLS
PCL_27	C	HKB+ PLS
PCL_28	A	HKB+ PLS
PCL_29	D	HKB
PCL_30	D	HKB+VKB+PLS
PCL_31	B	HKB+VKB+PLS
PCL_32	D	HKB+ PLS
PCL_33	B	HKB+VKB+PLS
PCL_34	A	HKB+VKB+PLS

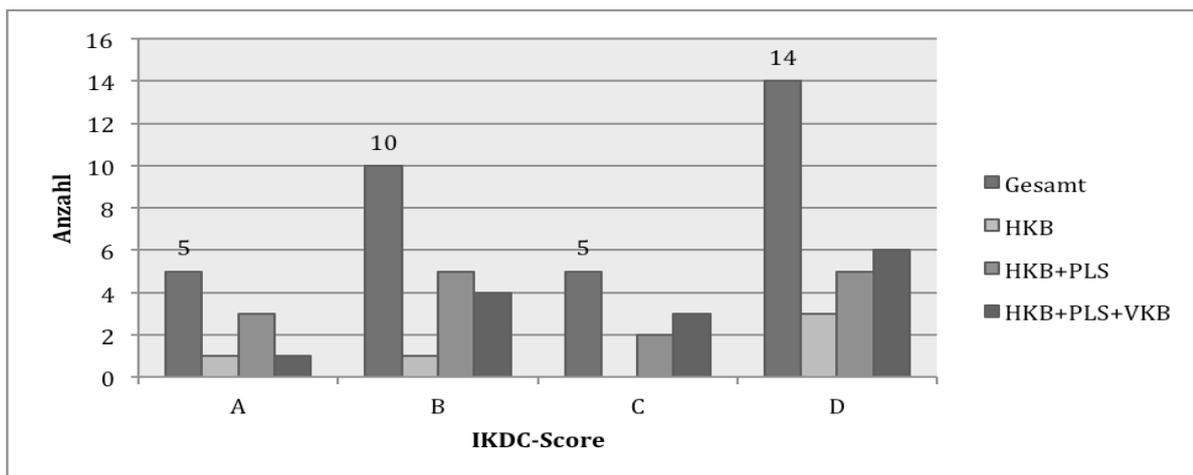


Abbildung 17: IKDC Score Ergebnis & Verletzungsarten in den jeweiligen Graden

### 3.3.2 KOOS

Das durchschnittliche Ergebnis unseres Patientenkollektivs lag bei 81 ( $\pm 14$ ) Prozent von maximal 100 zu erreichenden Punkten. Die Ergebnisse in den 5 Kategorien sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

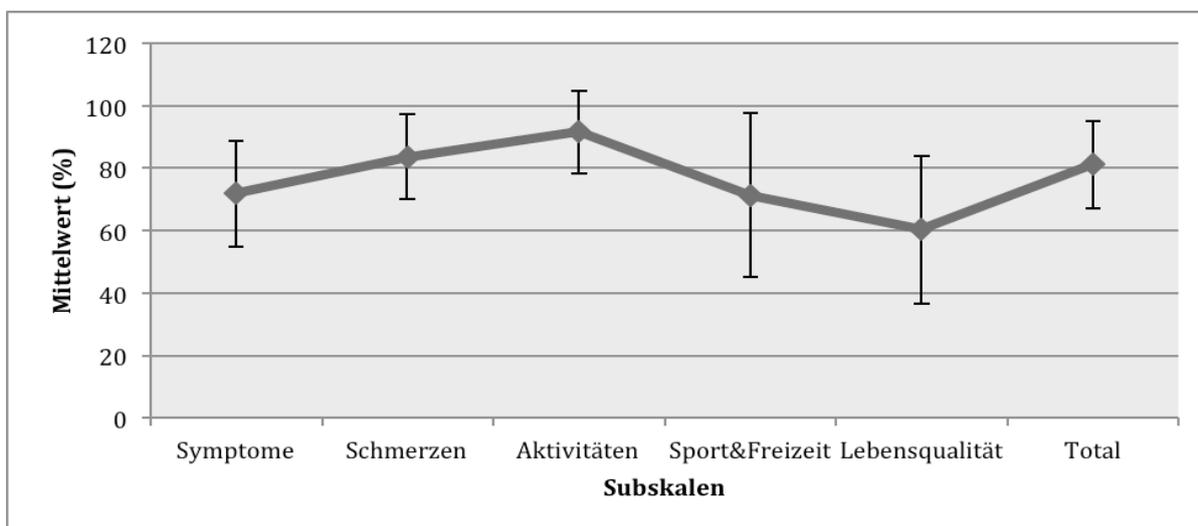


Abbildung 18: Durchschnittliche Ergebnisse des Patientenkollektivs in den Kategorien des KOOS-Scores

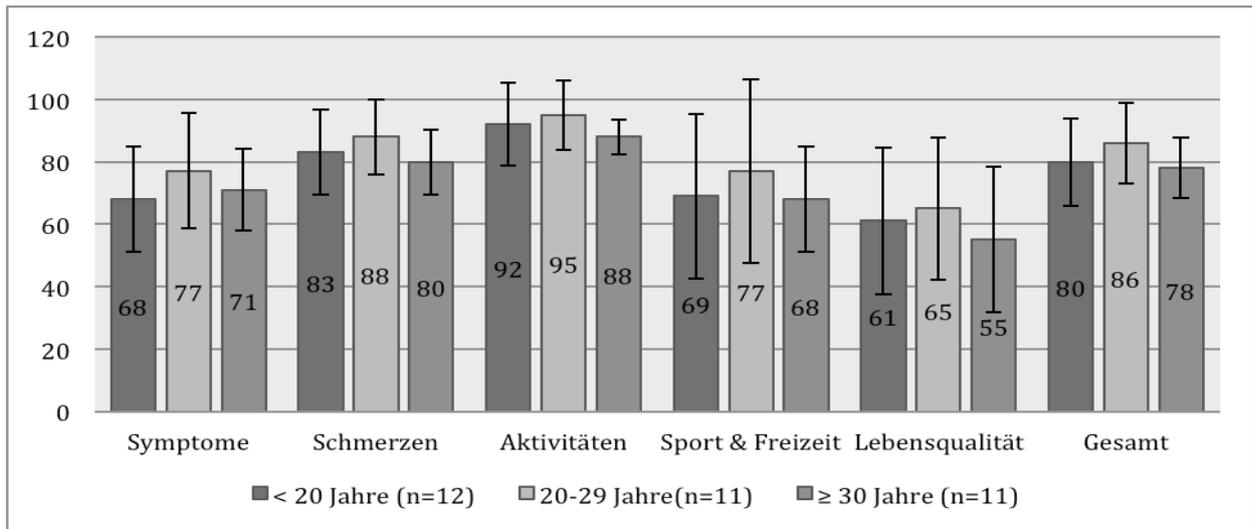


Abbildung 19: Ergebnisse des KOOS-Fragebogens innerhalb der Subgruppe Alter

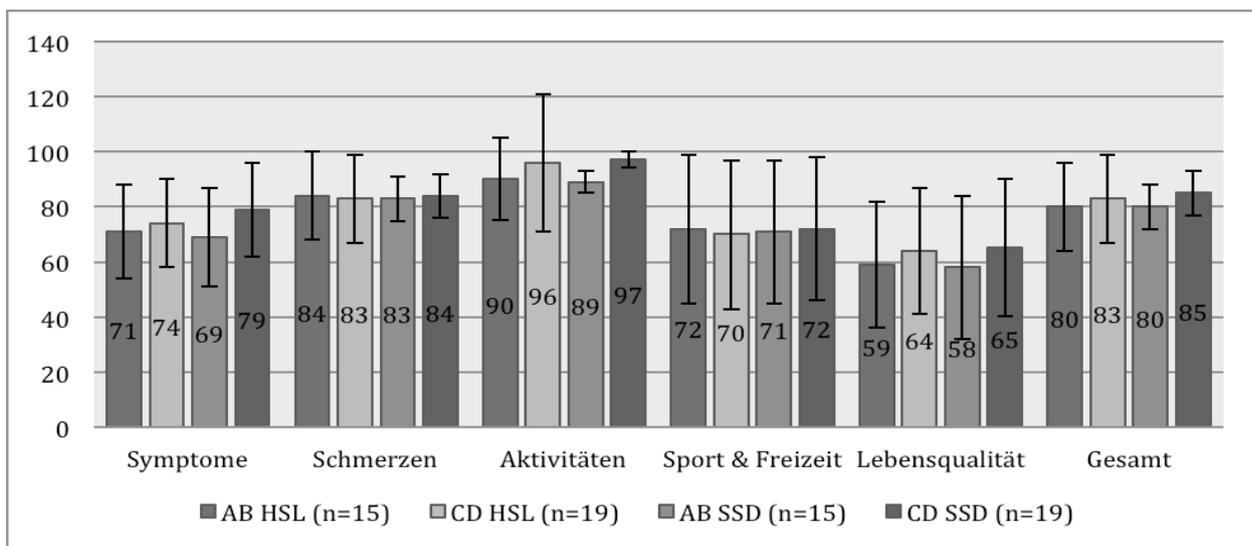


Abbildung 20: KOOS-Ergebnisse in den Subgruppen HSL und SSD

### 3.3.3 Lysholm

Der Durchschnitt der Patienten erreichte 75 ( $\pm 17$ ) Punkte. Davon wurden 5 Ergebnisse mit excellent, 9 mit good, 10 mit fair und 10 mit poor bewertet. Von den 14 Patienten, die im Fragebogen ein exzellentes oder gutes Ergebnis erreichen konnten, hatten 9 Patienten eine Verletzung von HKB und PLS sowie 5 Patienten eine kombinierte Verletzung von HKB, PLS und VKB. Von den weiteren 20 Patienten mit schlechten Ergebnissen litten 5 an einer Verletzung des HKB, 7 an einer Zweibandverletzung und 8 an einer Verletzung aller 3 Bänder.

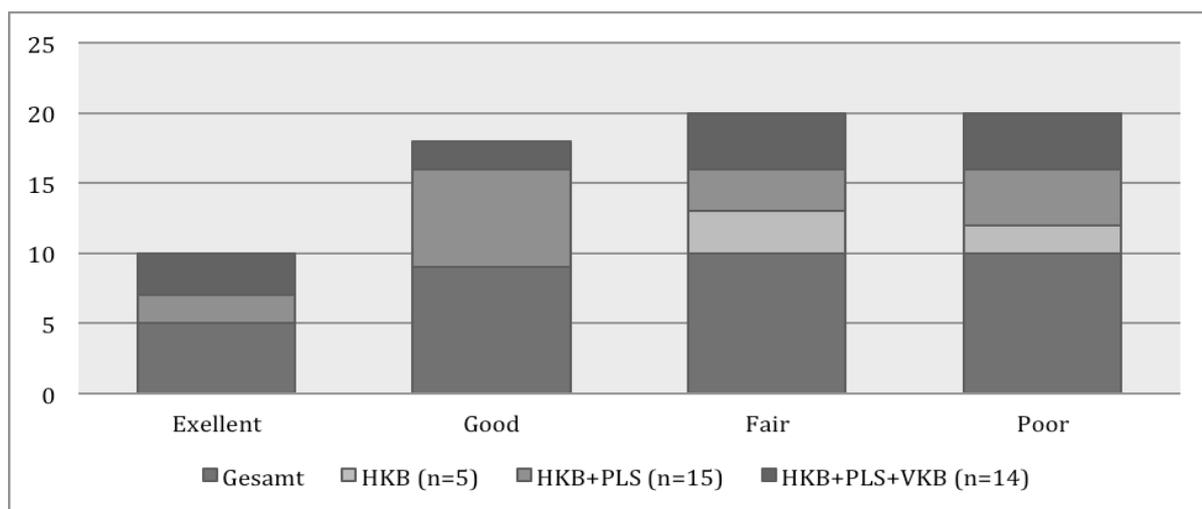
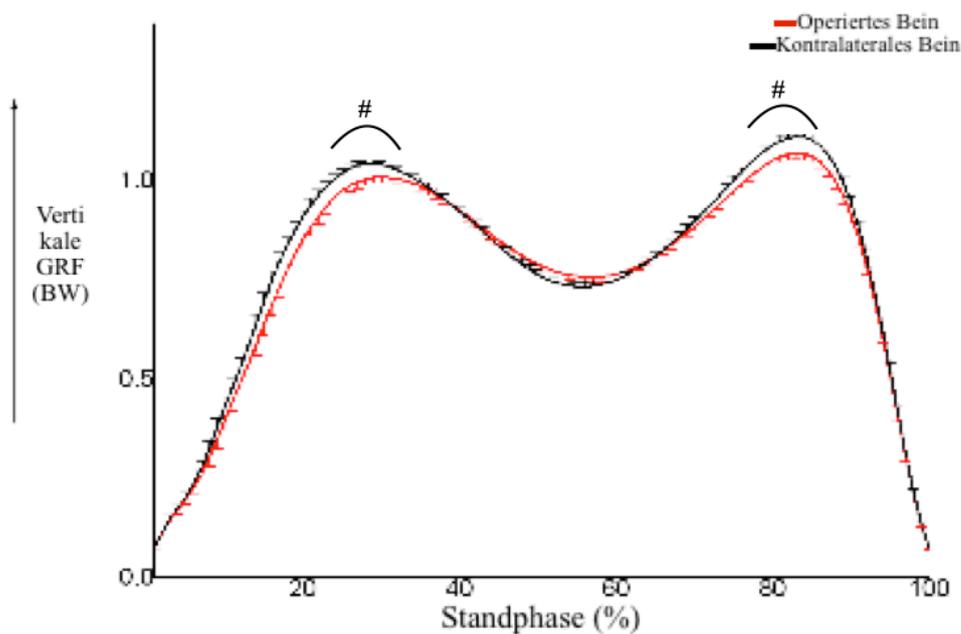


Abbildung 21: Ergebnisse des Lysholm Fragebogens

### 3.4 Ganganalyse

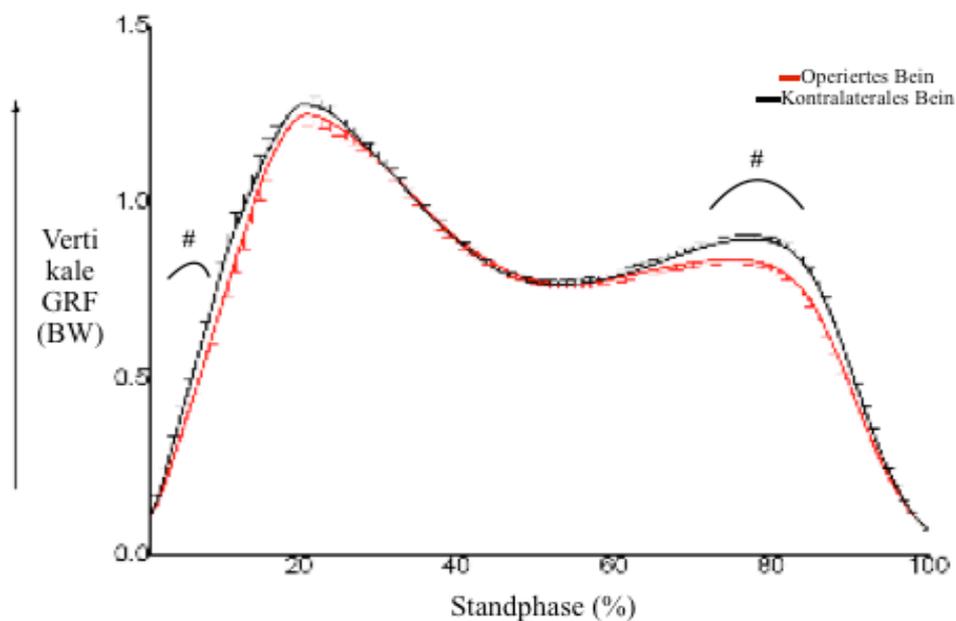
#### 3.4.1 Bodenreaktionskräfte

Die gemessenen vertikalen Bodenreaktionskräfte beim Gehen auf ebener Strecke unterscheiden sich nicht zwischen dem rekonstruierten und kontralateralen Bein der Patienten. Vergleicht man jedoch die wirkenden Kräfte beim Treppensteigen und -absteigen so wird ein signifikanter Unterschied zwischen den Beinen deutlich. Beim Treppensteigen unterscheiden sich das kontralaterale und rekonstruierte Bein bei 27-30% sowie 76-84% des Gangzyklus (Abb. 22). Beim Treppenabsteigen bei 7-10% und 71-90% (Abb. 23). Beim rekonstruierten Bein (in Rot dargestellt) wurden in beiden Übungen geringer wirkende Kräfte als auf der kontralateralen Seite (schwarz) gemessen.



**Abbildung 22: Vergleich der entstandenen vertikalen Bodenreaktionskräfte beim Treppensteigen vom rekonstruierten und kontralateralen Bein; # zeigt die signifikanten Unterschiede während des Gangzyklus**

Quelle: modifiziert nach Zhong [60]



**Abbildung 23: Vergleich der entstandenen vertikalen Bodenreaktionskräfte beim Treppenabsteigen vom rekonstruierten und kontralateralen Bein; # zeigt die signifikanten Unterschiede während des Gangzyklus**

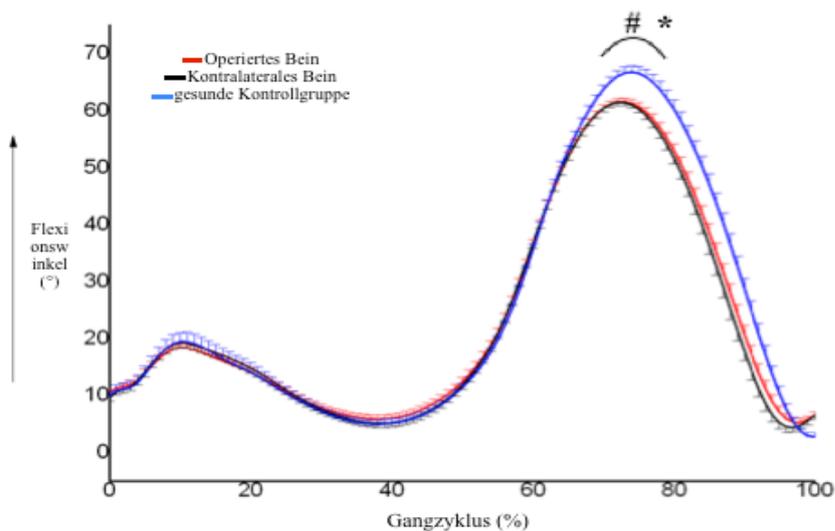
Quelle: modifiziert nach Zhong [60]

### 3.4.2 Kinematik

Der Vergleich der maximalen Knieflexionswinkel des kranken zum gesunden Bein beim Gehen auf ebenerdiger, gerader Strecke zeigt keine statistisch relevanten Unterschiede (s. Abb. 24). In keiner der durchgeführten alltäglichen Bewegungen konnten signifikante Unterschiede zwischen den beiden Beinen der Patienten ermittelt werden. Im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe zeigen sich jedoch reduzierte Flexionswinkel bei 68-94% des Gangzyklus. Dies wird ebenfalls beim Vergleich des kontralateralen Beins mit der Kontrollgruppe deutlich. Dies ist in Abbildung 24 dargestellt. Beim Vergleich der Flexionsmomente gab es keine signifikanten Unterschiede. Ein signifikant reduziertes Adduktionsmoment bei 72-76% der Standphase des Gangzykluses wird in Abbildung 25 verdeutlicht. Dabei wird das rekonstruierte Bein in Bezug zur Kontrollgruppe gesetzt. Selbiges findet sich bei 27-38% der Standphase beim Vergleich von kontralateralem Bein und gesunder Gruppe (Abb. 25). Im Hinblick auf die Rotationswinkel wurden bei 1-5%, 15-28% und 77-90% der Gangphase signifikant reduzierte Werte zwischen dem rekonstruierten Patientenbein und der gesunden Gruppe herausgearbeitet ( $p < .05$ ). Gleiche Ergebnisse finden sich im Vergleich vom kontralateralen Knie und Gesunden. Abbildung 26 verdeutlicht dies graphisch. Abbildung 27 zeigt das reduzierte Rotationsmoment des rekonstruierten Beins bei 49-71% der Standphase. Vergleicht man das Bewegungsausmaß der gesunden Kontrollgruppe mit dem der Patienten im Bezug auf die Flexion – Extension so zeigen sich signifikante Unterschiede von  $p = .001$  beim Gehen,  $p = .02$  beim Treppensteigen und  $p = .001$  beim Treppenabsteigen. Ebenso  $p < .05$  bei der Innenrotation – Außenrotation beim Vergleich der Patientenbeine mit denen der Gesunden ( $p = .028$ ) und dem kontralateralen mit dem Gesunden ( $p = .003$ ) (Tab. 7).

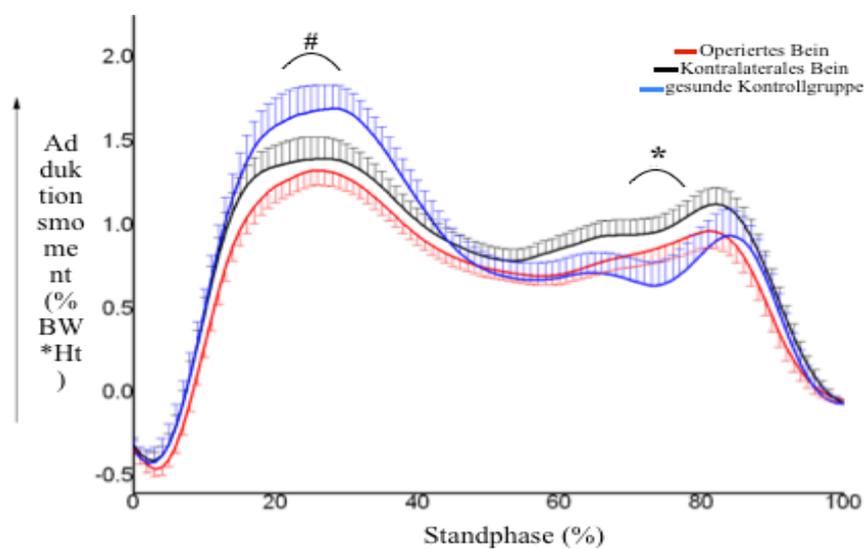
**Tabelle 7: Vergleich der Bewegungsumfänge von rekonstruierten und kontralateralen Bein der Patienten und der gesunder Vergleichsgruppe während des Ganges**

	Verletztes Bein	Kontralaterales Bein	Kontrollgruppe
Flexion - Extension	59,3° ( $\pm 4,4^\circ$ )	60,3° ( $\pm 4,6^\circ$ )	66,1° ( $\pm 6,1^\circ$ )
Adduktion - Abduktion	7,8° ( $\pm 3,0^\circ$ )	8,2° ( $\pm 2,8^\circ$ )	8,7° ( $\pm 4,4^\circ$ )
Innen-/Außenrotation	12,5° ( $\pm 4,3^\circ$ )	11,5° ( $\pm 2,8^\circ$ )	14,9° ( $\pm 4,9^\circ$ )



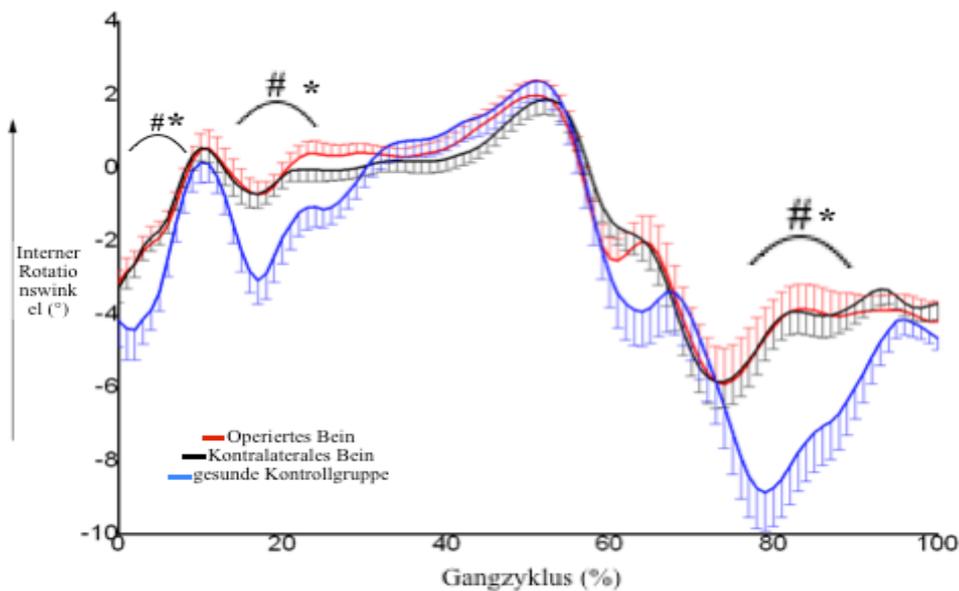
**Abbildung 24: Vergleich der Knieflexionswinkel der Patientenbeine mit denen der gesunden Vergleichsgruppe beim Gehen; # signifikanter Unterschied zwischen rekonstruiertem Bein und dem gesunden Vergleichskollektiv.\* signifikanter Unterschied zwischen kontralateralem Bein und Vergleichsgruppe**

Quelle: modifiziert nach Zhong [60]



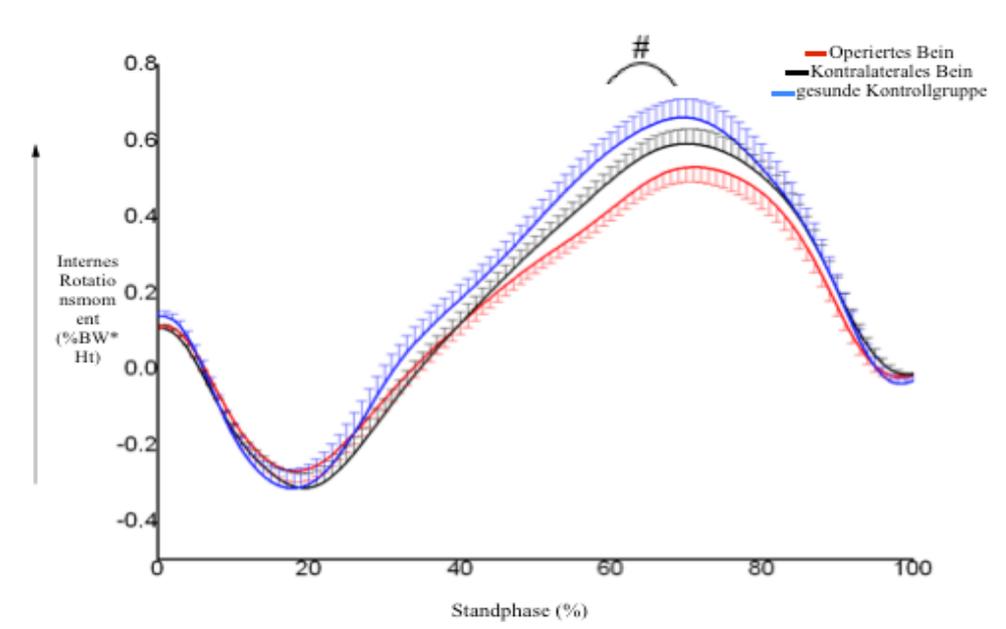
**Abbildung 25: Vergleich der gemessenen Adduktionsmomente von Patienten und gesundem Kollektiv beim Gehen; # signifikanter Unterschied zwischen rekonstruiertem Bein und dem Vergleichskollektiv.\* signifikanter Unterschied zwischen kontralateralen Bein und gesunder Vergleichsgruppe**

Quelle: modifiziert nach Zhong [60]



**Abbildung 26: Vergleich der internen Rotationswinkel beim Gehen;** # signifikanter Unterschied zwischen rekonstruiertem Bein und gesunder Vergleichsgruppe. \* signifikanter Unterschied zwischen kontralateralem Bein und gesunder Vergleichsgruppe

Quelle: modifiziert nach Zhong [60]



**Abbildung 27: Vergleich der internen Rotationsmomente beim Gehen;** # signifikanter Unterschied zwischen rekonstruiertem Bein und gesunder Vergleichsgruppe

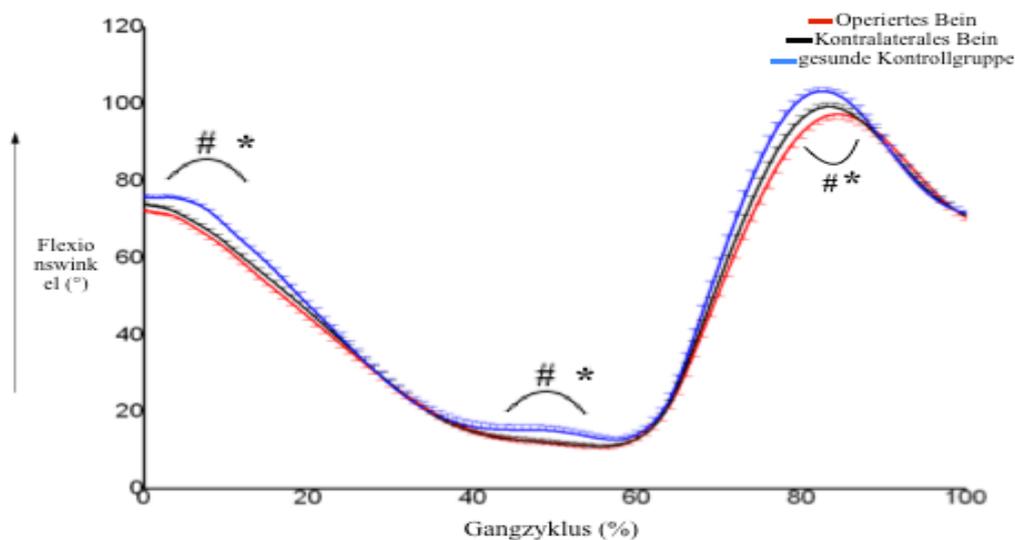
Quelle: modifiziert nach Zhong [60]

### 3.4.3 Treppensteigen

Beim Heraufgehen der Treppen unterschieden sich die Mittelwerte des maximalen Knieflexionswinkels (MFW) des kranken und gesunden Beines um  $1^\circ$  nicht signifikant. Betrachtet man die Knieflexionsmomente der beiden Beine unterscheiden sich diese bei 18-26% der Standphase signifikant voneinander (Abb. 28). Im Vergleich zur gesunden Vergleichsgruppe weisen beide Beine reduzierte Flexionswinkel 0-18%, 47-55% und 71-83% des Gangzykluses auf (Abb. 28) sowie das rekonstruierte Knie ein reduziertes Flexionsmoment bei 19-29% und 63-82% der Standphase (Abb. 29). Im Vergleich mit der gesunden Gruppe ist die Exkursion bei Extension – Flexion des rekonstruierten Beins signifikant ( $p=.02$ ) reduziert (Tab.8). Ebenso die Innen – Außenrotation ( $p=.028$ ) wie in Tabelle 8 dargestellt. Das kontralaterale Bein zeigt ebenfalls eine verminderten Bewegungsumfang bei der Innen – und Außenrotation ( $p=.014$ ) (Abb. 30). Ein Unterschied zwischen den Patientenbeinen stellte sich nicht dar.

**Tabelle 8: Vergleich der Exkursionen der verschiedenen Freiheitsgrade von rekonstruierten und kontralateralen Bein der Patienten und der gesunder Vergleichsgruppe während des Treppensteigens**

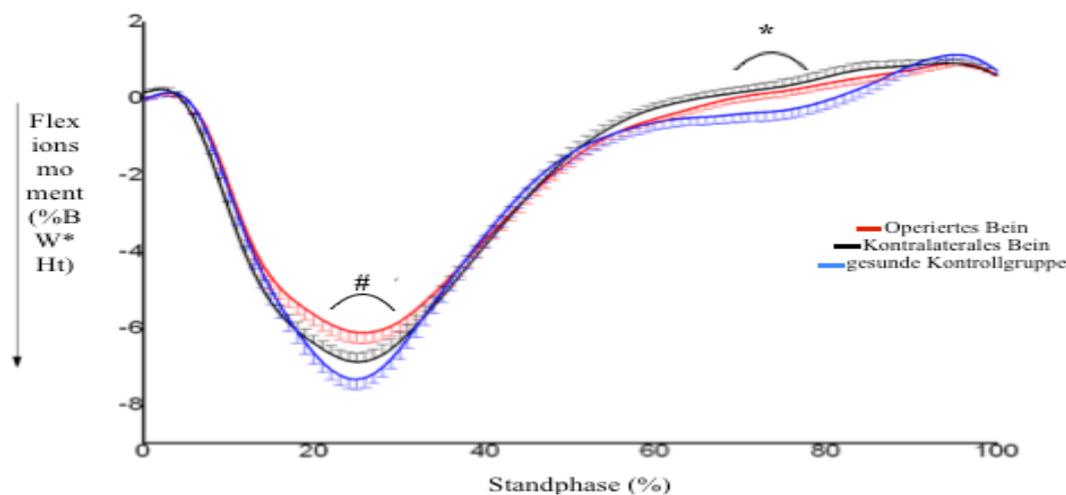
	Verletztes Bein	Kontralaterales Bein	Kontrollgruppe
Flexion - Extension	88,9° ( $\pm 7,5^\circ$ )	91,1° ( $\pm 6,0^\circ$ )	93,7° ( $\pm 6,0^\circ$ )
Adduktion - Abduktion	8,4° ( $\pm 2,6^\circ$ )	8,0° ( $\pm 2,2^\circ$ )	9,3° ( $\pm 3,4^\circ$ )
Innen-/Außenrotation	10,8° ( $\pm 4,4^\circ$ )	11,4° ( $\pm 3,3^\circ$ )	14,1° ( $\pm 3,1^\circ$ )



**Abbildung 28: Knieflexionswinkelvergleich von beiden Patientenbeinen und der gesunden**

**Vergleichsgruppe während des Treppensteigens; # signifikanter Unterschied zwischen rekonstruiertem Bein und dem gesunden Vergleichskollektiv.\* signifikanter Unterschied zwischen kontralateralem Bein und Vergleichsgruppe**

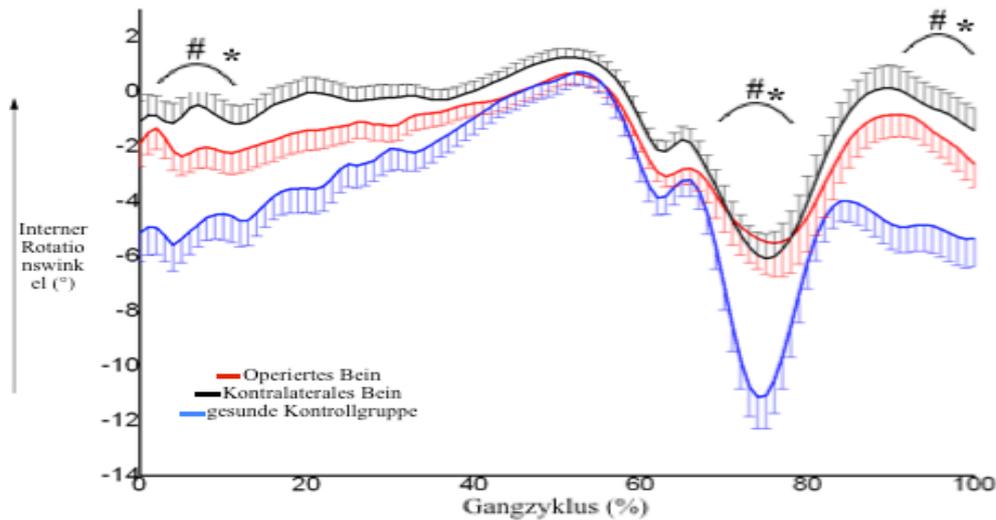
Quelle: modifiziert nach Zhong [60]



**Abbildung 29: Vergleich der Knieflexionsmomente der Patienten und der gesunden**

**Vergleichsgruppe; # signifikanter Unterschied zwischen rekonstruiertem Bein und dem gesunden Vergleichskollektiv.\* signifikanter Unterschied zwischen kontralateralem Bein und Vergleichsgruppe**

Quelle: modifiziert nach Zhong [60]



**Abbildung 30: Vergleich der internen Rotationswinkel;** # signifikanter Unterschied zwischen rekonstruiertem Bein und gesunder Vergleichsgruppe; \* signifikanter Unterschied zwischen kontralateralem Bein und gesunder Vergleichsgruppe

Quelle: modifiziert nach Zhong [60]

### 3.4.4 Treppenabsteigen

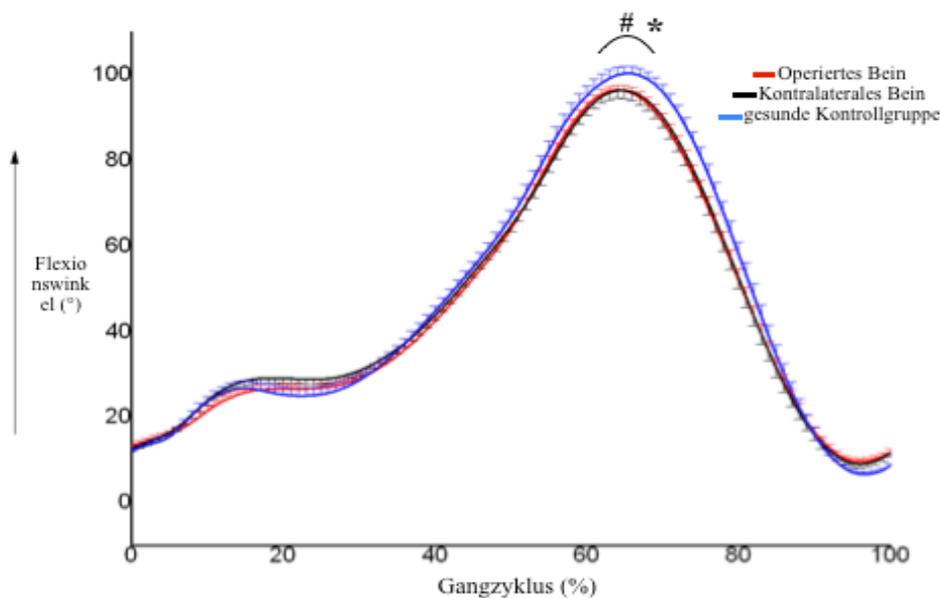
Die gemessenen Flexionswerte unterschieden sich auch beim Herabgehen der Treppen nicht signifikant zwischen dem rekonstruierten und kontralateralen Bein. Betrachtet man die Flexionsmomente, ist im rekonstruierten Bein ein signifikant geringeres Moment als im kontralateralen gemessen worden (Abb. 32). Beim direkten Vergleich der Patientenbeine mit denen der gesunden Vergleichsgruppe zeigten sich verminderte Flexionsmomente beim Treppenabsteigen bei 80-94% der Standphase beim rekonstruierten Bein. In 36-51% der Standphase kam es zu gesteigerten Flexionsmomenten. Bei 6-10%, 44-57% und 69-78% des Gangzyklus zeigten im Vergleich zur gesunden Gruppe beide Beine der Patienten signifikant reduzierte Rotationswinkel (Abb. 34). Bei den Kinematikdaten zeigten sich ebenfalls signifikante Veränderungen zwischen rekonstruierten Gelenken und Gesunden, aber auch zwischen den Kontralateralen und Gesunden (Abb. 31, 33,34).

Die Exkursion von Flexion – Extension war signifikant beim rekonstruierten Bein im Vergleich zur gesunden Gruppe beim Treppenabsteigen reduziert ( $p=0.001$ ). Dasselbe zeigte das kontralaterale Bein ( $p=0.04$ ). Für das Bewegungsausmaß der Abduktion – Adduktion wurde ein

signifikant Reduziertes beim Vergleich des rekonstruierten Beins sowie des kontralateralen jeweils im Vergleich zur gesunden Gruppe deutlich ( $p=.004$ ,  $p=.001$ ). Bei der tibialen Rotation fielen nur die kontralateralen Beine durch eine signifikant verminderte Rotation im Vergleich zur gesunden Vergleichsgruppe auf ( $p=.0012$ ). Dies zeigen die folgenden Abbildungen und Tab. 9.

**Tabelle 9: Vergleich der Exkursionen der verschiedenen Freiheitsgrade von rekonstruiertem und kontralateralen Bein der Patienten und der gesunden Vergleichsgruppe während des Treppenabsteigen**

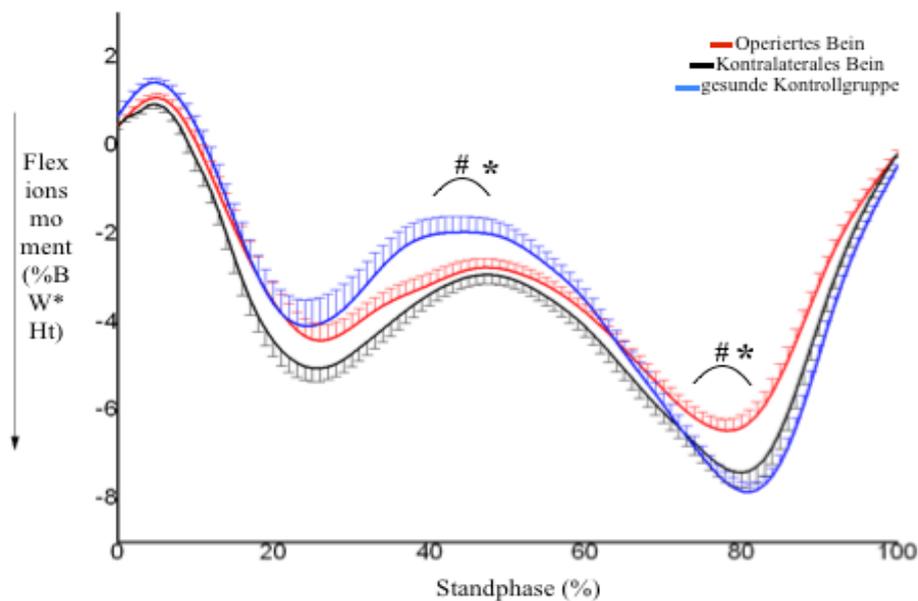
	Verletztes Bein	Kontralaterales Bein	Kontrollgruppe
Flexion - Extension	90,2° ( $\pm 5,6^\circ$ )	92,1° ( $\pm 6,5^\circ$ )	96,0° ( $\pm 6,5^\circ$ )
Adduktion - Abduktion	6,2° ( $\pm 1,8^\circ$ )	6,1° ( $\pm 1,5^\circ$ )	8,4° ( $\pm 3,3^\circ$ )
Innen-/Außenrotation	10,6° ( $\pm 3,8^\circ$ )	9,7° ( $\pm 2,9^\circ$ )	12,2° ( $\pm 3,3^\circ$ )



**Abbildung 31: Vergleich der Knieflexionswinkel der Patienten und der gesunden Vergleichsgruppe;**

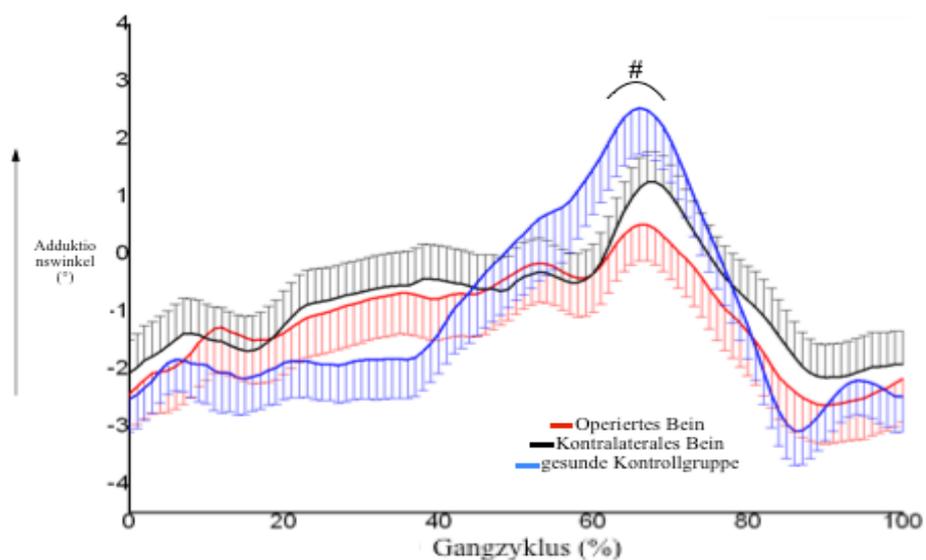
# signifikanter Unterschied zwischen rekonstruiertem Bein und dem gesunden Vergleichskollektiv.\* signifikanter Unterschied zwischen kontralateralem Bein und Vergleichsgruppe

Quelle: modifiziert nach Zhong [60]



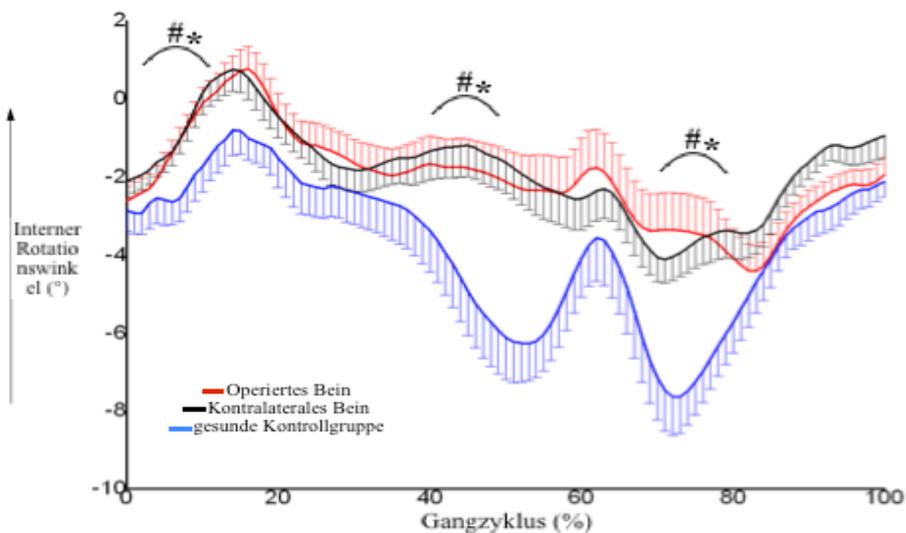
**Abbildung 32: Vergleich der Knieflexionsmomente der Patienten und der gesunden Vergleichsgruppe; # signifikanter Unterschied zwischen rekonstruiertem Bein und dem gesunden Vergleichskollektiv. \* signifikanter Unterschied zwischen kontralateralem Bein und Vergleichsgruppe**

Quelle: modifiziert nach Zhong [60]



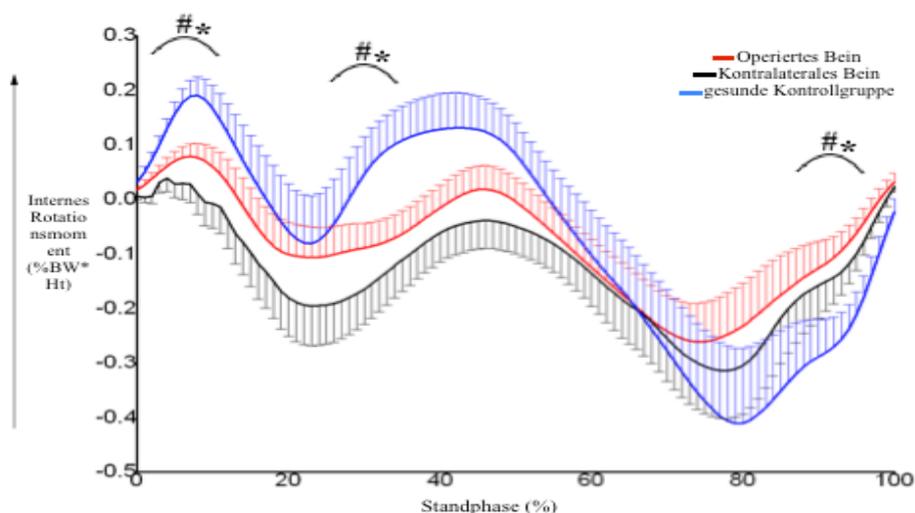
**Abbildung 33: Vergleich der Knieadduktionswinkel der Patienten und der gesunden Vergleichsgruppe; # signifikanter Unterschied zwischen rekonstruiertem Bein und dem gesunden Vergleichskollektiv**

Quelle: modifiziert nach Zhong [60]



**Abbildung 34: Vergleich der Knierotationswinkel der Patienten und der gesunden Vergleichsgruppe;**  
 # signifikanter Unterschied zwischen rekonstruiertem Bein und dem gesunden Vergleichskollektiv.\* signifikanter Unterschied zwischen kontralateralem Bein und Vergleichsgruppe

Quelle: modifiziert nach Zhong [60]



**Abbildung 35: Vergleich der Knierotationsmomente der Patienten und der gesunden Vergleichsgruppe;** # signifikanter Unterschied zwischen rekonstruiertem Bein und dem gesunden Vergleichskollektiv.\* signifikanter Unterschied zwischen kontralateralem Bein und Vergleichsgruppe

Quelle: modifiziert nach Zhong [60]

### 3.4.5 Analyse der Subgruppen

Im Anschluss wurden die Patienten nach den Kriterien: Geschlecht, Alter, Verletzungsart, Ergebnis der klinischen Untersuchung nach IKDC und dem im Röntgen gemessenen Wert der HSL bzw. SSD Subgruppen zugeordnet. Diese Subgruppen wurden auf signifikante Unterschiede zwischen gesundem und operiertem Knie im Bezug auf ihren, in der Ganganalyse gemessenen, MFW beim Gehen auf gerader Strecke, Treppensteigen und –absteigen getestet. Die Tests wurden zuerst innerhalb der Subgruppe durchgeführt um Unterschiede zwischen den beiden Beinen zu detektieren. Im Anschluss wurden die einzelnen Untergruppen miteinander in Beziehung gesetzt und verglichen. Zum Beispiel wurde getestet, ob eine > 30 jährige Frau mit einer HSL von A oder B nach IKDC einen geringeren MFW als eine < 20 Jährige hat.

#### 3.4.5.1 Geschlecht

Beim Vergleich der MFW von Männern (n= 24) und Frauen (n= 10) zeigte sich bei keinem der durchgeführten Versuche (Gehen, Treppensteigen, -absteigen) ein signifikanter Unterschied. Mit  $p=0,059$  marginal nicht signifikant waren die MFW des ipsilateralen Beins beim Treppenabsteigen bei Männern und Frauen. Bei Frauen wurde durchschnittlich ein Winkel von  $100,4^\circ$  und bei Männern von  $97,2^\circ$  gemessen. Es handelt sich dabei um einen reduzierten Flexionswinkel von  $3,2^\circ$  des operierten Beins bei Männern im Vergleich zur Frau.

Die Flexionswinkel des kontralateralen und des operierten Beins bei Frauen und Männern zeigt die Abbildung 36.

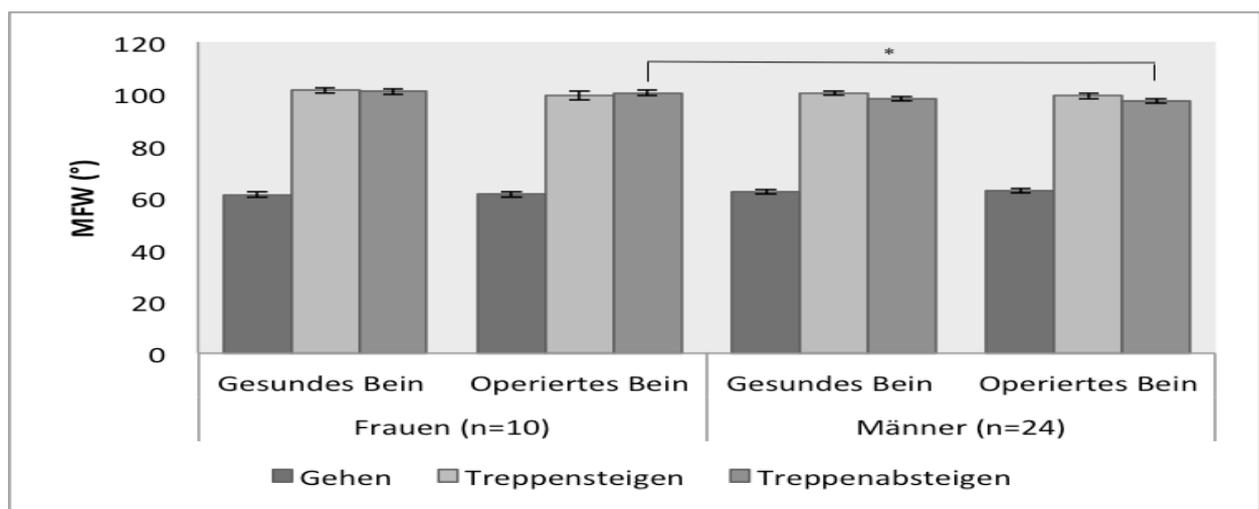


Abbildung 36: Vergleich der MFW von Männern und Frauen; (\*) $p=0,059$

### 3.4.5.2 Alter

Alle Patienten wurden gemäß ihres Alters zum Zeitpunkt der Operation folgenden Subgruppen zugeordnet: < 20 Jahre (12 Personen), 20-29 Jahre ( 11 Personen) und  $\geq$  30 Jahre (11 Personen). Der Vergleich der Subgruppen untereinander in Bezug auf den MFW des operierten Beines bei den 3 durchgeführten Übungen erbrachte keine signifikanten Unterschiede. Ein signifikanter Unterschied von  $p=.031$  konnte beim Vergleich der gesunden Beine von 20-29 und  $\geq$  30 Jährigen beim Treppensteigen und  $p=.012$  beim Treppenabsteigen gefunden werden. Der MFW des gesunden Knies lag bei den 20-29 Jährigen im Durchschnitt bei  $98,1^\circ$  beim Treppensteigen und bei  $95,6^\circ$  beim Treppenabsteigen. Im Vergleich lag er bei den  $\geq$  30 Jährigen bei  $103,9^\circ$  und  $101,9^\circ$ . Dies bedeutet eine Reduktion des Flexionswinkels um  $5,8^\circ$  beim Treppensteigen und  $6,3$  beim Treppenabsteigen bei den 20-29 Jährigen im Vergleich zu den über 30-jährigen (Abb. 37).

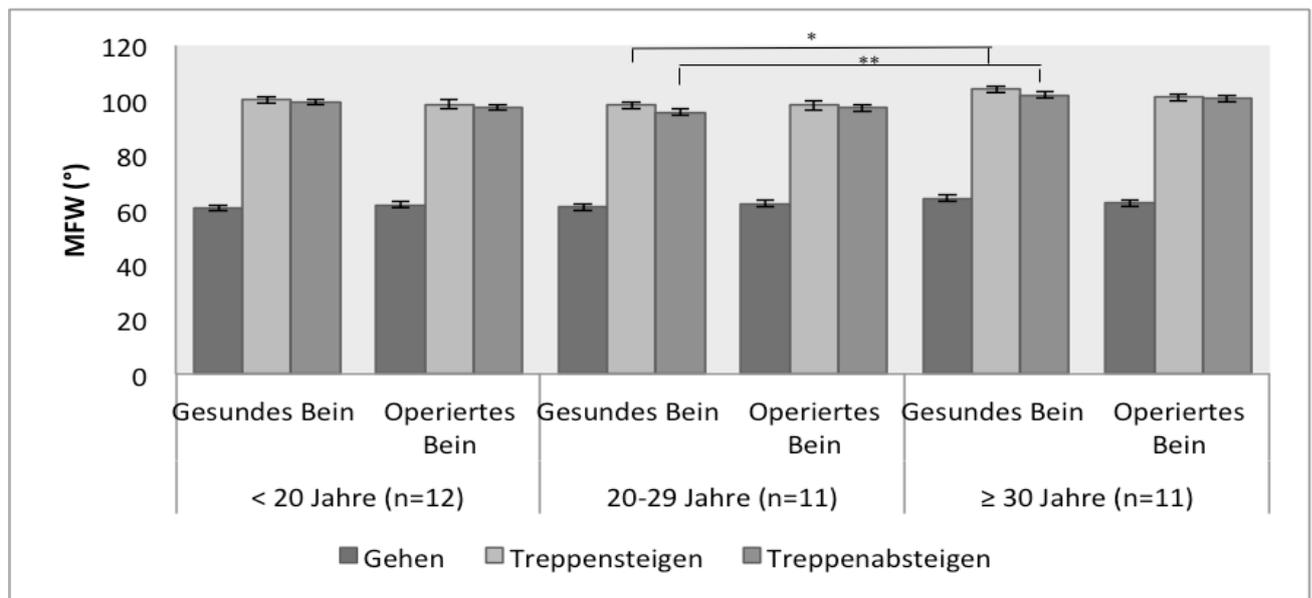


Abbildung 37: PFL in den unterschiedlichen Altersklassen; (\*) $p=0,0031$ , (\*\*) $p=0,012$

### 3.4.5.3 Verletzungen/ Rekonstruierte Bänder

Der Vergleich der MFW der einzelnen Subgruppen HKB (5 Personen), HKB+PLS (15 Personen) und HKB+VKB+PLS (14 Personen) erbrachte keine signifikanten Unterschiede. Zusätzlich wurden die Verletzungen weiter nach Alter, Geschlecht, HSL, SSD und klinischer Untersuchung untergliedert und auf Unterschiede in der Knieflexion untersucht. Auch bei diesem Vergleich zeigten sich keine signifikanten Unterschiede, weder beim operierten noch

beim kontralateralen Bein. Die durchschnittlichen MFW sind in der folgenden Abbildung 38 dargestellt.

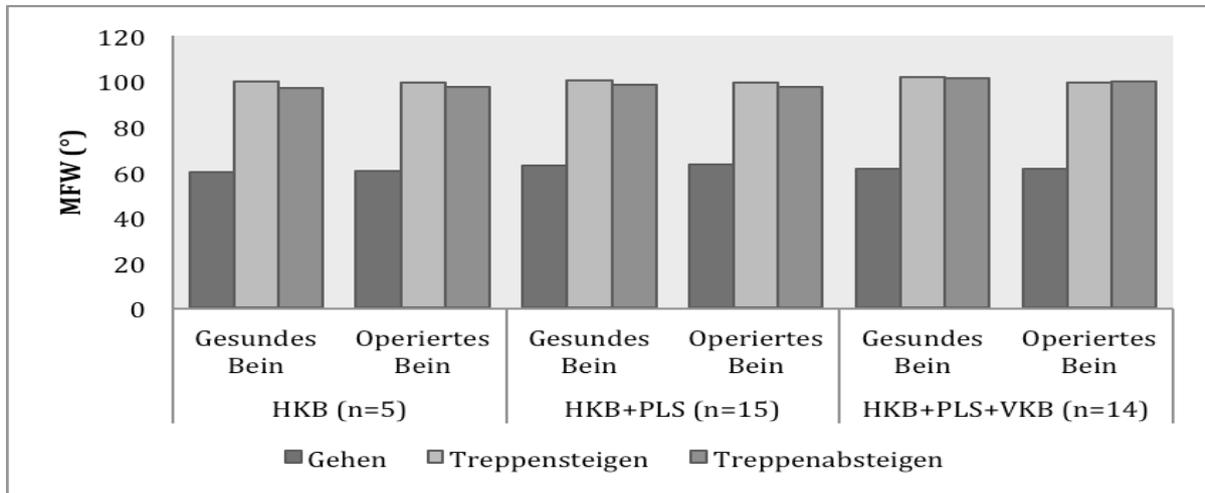


Abbildung 38: Darstellung des PFA nach Verletzungsmodus

### 3.4.5.4 HSL

Die Subgruppierung der Patienten in Gruppe AB (bis 5 mm HSL, 24 Personen) und CD (> 5mm HSL, 10 Personen) erbrachte keine signifikanten Unterschiede (Abb. 39).

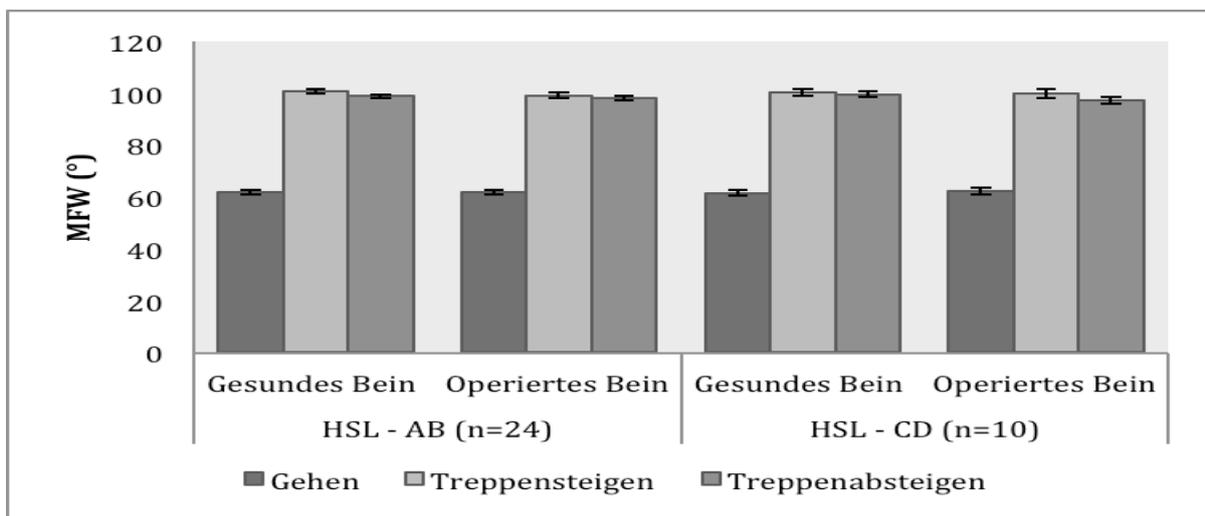


Abbildung 39: PFA in der Subgruppe HSL

### 3.4.5.5 SSD

Der Vergleich der nach den Werten der SSD gegliederten Subgruppen (AB mit 24 Personen und CD mit 10 Personen) zeigte keine signifikanten Unterschiede im Hinblick auf den Flexionswinkel während der durchgeführten Übungen. Eine weitere Unterteilung nach Alter, Geschlecht, KU und Verletzung erbrachte ebenfalls keine deutliche Verminderung der MFW (Abb. 40).

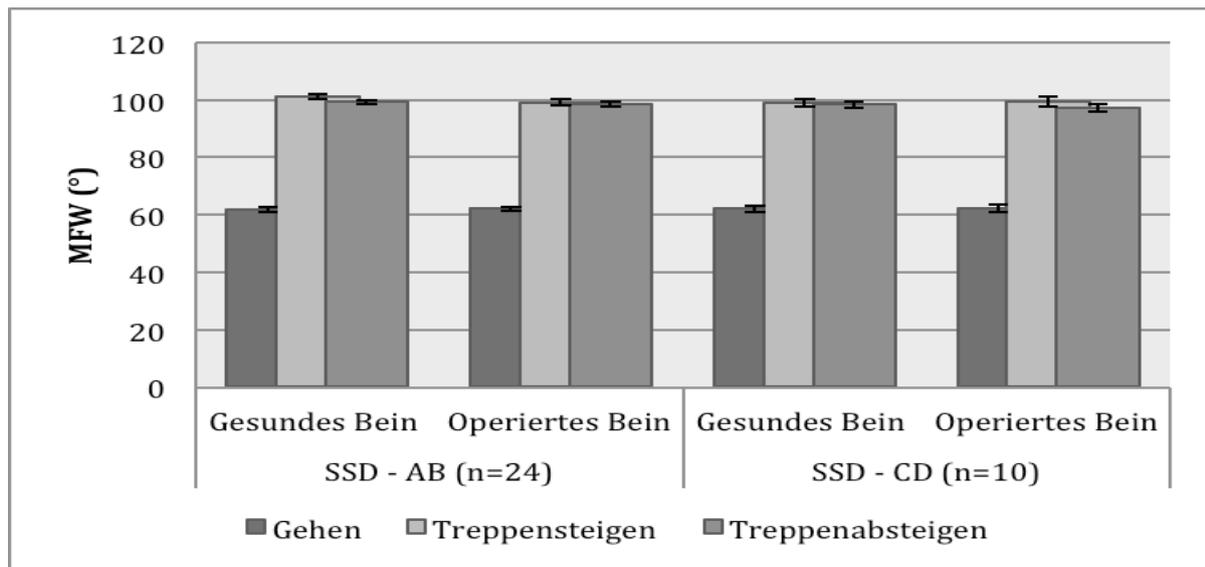


Abbildung 40: Vergleich der PFA im Bezug auf die Größe der SSD

### 3.4.5.6 Klinische Untersuchung

Anhand der Ergebnisse der klinischen Untersuchung nach dem IKDC Formblatt wurden die Patienten, welche ein A und B erreichten, zu einer Gruppe zusammengefasst, ebenso die Patienten mit C und D. Der Vergleich der Patientengruppe im Hinblick auf die durchschnittlich erreichte MFW beim Gehen, Treppensteigen und -absteigen erbrachte keine signifikanten Differenzen. Ebenso konnte keine Veränderung der Flexionswinkel im Zusammenhang mit weiteren Subdifferenzierungen nach Alter, Geschlecht, Verletzung, HSL, SSD festgestellt werden (Abb. 41).

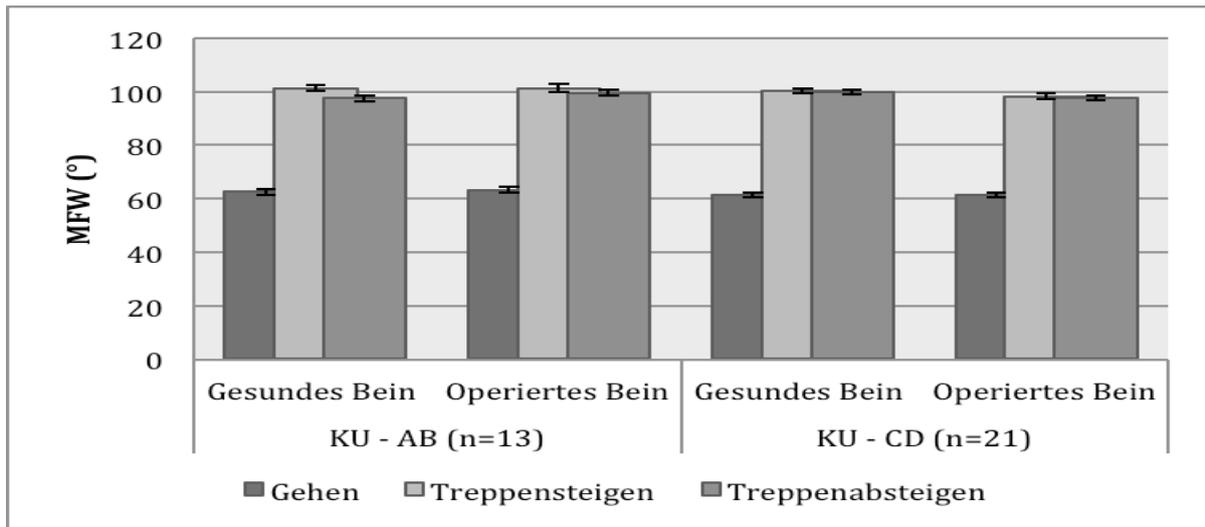


Abbildung 41: Vergleich des PFA nach dem IKDC Score der klinischen Untersuchung

#### 4 Diskussion

Die Verletzung des hinteren Kreuzbandes und weiterer Bänder des Kniegelenks sind schwere und ernstzunehmende Verletzungen, die den behandelnden Arzt in der Diagnostik vor einige Herausforderungen stellen können. Die Diagnostik und Behandlung von Rupturen des HKBs gestaltet sich nicht immer einfach und eindeutig [1], [10]. Des Öfteren werden Verletzungen übersehen und nicht behandelt. Mit Hilfe des MRTs lassen sich HKB-Rupturen und weitere ligamentäre Verletzungen effektiver detektieren. Eine weitere Hilfestellung bieten Röntgenaufnahmen mit dem TELOS Halteapparat. Die operative Rekonstruktion der verletzten Bänder, im speziellen des HKBs wird in Deutschland nur in wenigen spezialisierten Zentren angeboten und routinemäßig durchgeführt. Dabei werden mittlerweile spezielle arthroskopisch assistierte Techniken angewendet, die mit Hilfe der postoperativen Ergebnisse der letzten Jahre stetig weiterentwickelt und verbessert werden.

Ziel dieser Studie ist die klinische Nachuntersuchung von Patienten nach HKB- bzw. multipler Kniegelenksbandrekonstruktion und die Durchführung einer Ganganalyse zur Evaluation des funktionellen Langzeitergebnisses. Es wurde untersucht inwiefern die erreichte Reduktion der HSL nach Bandersatz nach 5-15 Jahren gehalten werden konnte, ob die klinische Untersuchung und die gehaltenen Röntgenaufnahmen in Zusammenhang stehen, wie das Gangbild der Patienten nach durchgeführter Rekonstruktion bei Aktivitäten des täglichen Lebens ausfällt, ob sich Unterschiede in der Kinematik und Kinetik zwischen Knie mit rekonstruiertem Bandapparat und gesundem Knie sowie zu einer gesunden Vergleichsgruppe zeigen, ob subjektive Knie-Scores das objektive Untersuchungsergebnis widerspiegeln oder es Differenzen gibt.

Mit Hilfe der festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien konnten 34 Patienten in die Studie eingeschlossen werden, eine klinische Nachuntersuchung sowie Ganganalyse durchgeführt und die erhaltenen Ergebnisse ausgewertet werden.

In unserer Studie wurde nachgewiesen, dass eine chronische Insuffizienz des Kniegelenks durch eine Rekonstruktion der verletzten Bänder deutlich verbessert werden kann und sich dies ebenfalls in den guten Ergebnissen der klinischen Untersuchung widerspiegelt. Es konnte gezeigt werden, dass eine Reduktion der gemessenen HSL um 30% nach erfolgter HKB-Rekonstruktion 5-15 Jahre postoperativ erreicht wird. Dies führt zu einem verbesserten Ergebnis der Kniefunktion im IKDC-Score, trägt zur Zufriedenheit der Patienten bei, indem auch das Gefühl

der Instabilität des Kniegelenks vermindert bzw. behoben wird und die untersuchten Patienten wieder in das alltäglichen Leben zurückgekehrt und in der Lage sind, sportliche aktiv zu sein. Es wurde dargestellt, dass keine Unterschiede in der Ganganalyse in Bezug auf die Kinematik und Kinetik bei der Ausübung täglicher Aktivitäten zwischen rekonstruiertem und kontralateralem Kniegelenk zeigen, diese jedoch im Vergleich mit einer gesunden Kontrollgruppe signifikant unterschiedlich sind und somit trotz guter klinischer Ergebnisse und subjektivem Empfinden eine veränderte Gelenkfunktion deutlich wird.

#### **4.1 Die Klinische Untersuchung des Kniegelenks nach IKDC**

Die klinische Untersuchung der Patienten dieses Kollektivs wurde anhand des IKDC Formblatts zur funktionellen Untersuchung des Kniegelenks durchgeführt [46], [50]. Zusammenfassend lässt sich von einem sehr zufriedenstellenden postoperativen Langzeitergebnis sprechen, welches sich auch im Vergleich des prä- und postoperativen IKDC-Scores zeigt. Insgesamt konnte eine Verbesserung von präoperativ 76% schlechter, auf eine langfristig postoperativ 39% exzellente bis gute und 56% mäßige Kniefunktion erzielt werden. Goudie et al. [61] berichten von einem normalen bis fast normalen IKDC-Score bei 83% ihrer Patienten. Bei Strobel et al. [62] erreichten 29,4% der Patienten einen Score von B, 58,8% von C und 11,8% D. Ein A-Score wurde nicht vergeben. Das Patientenkollektiv bestand aus 17 Patienten, die eine komplexe Bandrekonstruktion von HKB, VKB und PLS nach schwerem Knie Trauma erhalten hatten und ist vergleichbar mit dem Kollektiv dieser Studie. Eine Studie mit sehr guten postoperativen Ergebnissen veröffentlichten Ahn et al. [63]. Die 61 Patienten der Studie erreichten einen IKDC Score von A oder B. Insgesamt fallen die Ergebnisse des IKDC-Scores zur Untersuchung des Knies schlechter aus als in den meisten Studien.

Ein Grund könnte sein, dass sich viele Patienten mit Beschwerden zur Teilnahme an der klinischen Nachuntersuchung bereit erklärten. Patienten, die keine Einschränkungen im Alltag verspüren nehmen diesen Zeitaufwand vielleicht eher weniger in Kauf. Zudem könnte der relativ hohe BMI-Wert von durchschnittlich 28 eine Rolle spielen. 62% unseres Patientenkollektivs sind übergewichtig. Ein weiterer Grund für das schlechtere Abschneiden könnte sein, dass die meisten Patienten komplexe Knieverletzungen erlitten haben, die erst zu einem späteren Zeitpunkt behandelt wurden und somit chronisch waren. Ein unterschiedliches Abschneiden je nach Verletzungsschwere lässt sich nicht erkennen. Patienten, die die Bewertung A oder B erhielten, hatten nicht weniger komplexe Verletzungen als diejenigen mit C oder D.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen ebenfalls die folgenden ab 2006 veröffentlichten Studien:

Lahner et al. [49] beschrieben in ihrer prospektiven Studie mit 14 Patienten 4 Jahre nach isolierter HKB-Plastik eine signifikante Verbesserung der Gelenkfunktion mit guten Ergebnissen in der klinischen Untersuchung bei 73% der Patienten. 93% hatten eine freie Gelenkbeweglichkeit. Lediglich 1 Patient wies postoperativ ein Streckdefizit zwischen 3-5° auf. Die HSL wurde bei 72% als 1. oder 2. Grades nach Harner und Hoher [3] eingestuft.

Hart et al. [64] veröffentlichten folgende Ergebnisse der klinischen Untersuchung mehr als 2 Jahre nach durchgeführten Bandrekonstruktionen nach komplexen Knieverletzungen:

Extension/ Flexion  $121,8 \pm 12,9^\circ / 0 / 1,7 \pm 3,4^\circ$ . 83% der Patienten hatten einen negativen Lachmann-Test, 96% negativen Pivot shift, 58% negative HSL, 92% negativen Valgus- und 96% Varus-Test. Der Dial-Test war bei 96% sowohl bei 30° als auch bei 90° symmetrisch.

Goudie et al. [61] untersuchten das funktionelle Langzeitergebnis nach komplexen Bandrekonstruktionen am Kniegelenk bei 23 Patienten. In der klinischen Untersuchung kam er folgenden Ergebnissen: Streck- und Beugedefizite bis 15° bei 26%, die Bandnachlässigkeit konnte von präoperativ Grad 3 bei 48% postoperativ auf Grad 1 und weniger, 39% Grad 2 und 13% Grad 3 verbessert werden. 39% wiesen eine patellofemorale Krepitation ohne Schmerzen auf. 43% der Patienten erreichten im Einbeinsprung ein sehr gutes Ergebnis von 90%, weitere 39% lagen im Mittelfeld und 1 Patient unter 75%.

Karataglis et al. [65] führten bei 35 Patienten im Durchschnitt 40 Monate nach erfolgreicher HKB-Rekonstruktion bei chronischer Kniegelenksinstabilität eine Nachuntersuchung durch und veröffentlichten folgende Ergebnisse: Extension/ Flexion  $0-10^\circ / 0 / 95-135^\circ$  mit einem durchschnittlichen Extensionsdefizit von 3°, HSL-Test 6 normal, 23 Grad 1 und 3 Grad 2/3 posteriore Instabilität mit Hyperextension. 81% hatten einen negativen Lachmann Test. Bei allen Patienten wurde ein fester Anschlag bemerkt. Einen positiven Dialtest bei 30° hatten 19% der Patienten. Die Seitenbänder wurden bei 44% als Grad 2/3 Instabilität eingestuft.

Chan et al. [66] untersuchten 20 Patienten 3-5 Jahre nach HKB-Plastik: 85% hatten eine freie Beweglichkeit des Kniegelenks. Kein Patient hatte ein Streck- bzw. Beugedefizit größer als 10° bzw. 25°. Bei jeweils 10% fanden die Untersucher eine patellofemorale Krepitation mit bzw. ohne Schmerzen. Der funktionelle 1-Bein-Sprung war bei 55% ohne Differenz zum

kontralateralen Bein, 35% erreichten 89-76% der Sprungweite des anderen Beines und 10% lagen bei 75-50%. 95% der untersuchten Patienten hatten eine Differenz des mittleren Oberschenkelumfangs beider Beine von < 10 mm.

Im Hinblick auf den gemessenen durchschnittlichen mittleren Oberschenkelumfang, der sich bei den Patienten dieser Studie signifikant zwischen operiertem und gesundem Bein unterschied, lag der durchschnittliche Umfang des operierten Beines 11 mm unter dem des kontralateralen, wurden auch in anderen Studien ähnliche Ergebnisse beschrieben. Es kann jedoch nicht sicher davon ausgegangen werden, dass ein verminderter Oberschenkelumfang mit einer Muskelschwäche korreliert. Arangio et al. [67] untersuchten den Einfluss der Muskelgröße auf dessen Stärke 49 Monate nach erfolgter VKB-Rekonstruktion an 33 Patienten und kamen zu dem Ergebnis, dass die durch Messung des Oberschenkelumfangs gefolgerte Muskelatrophie sich nicht in einer Verminderung der Kraft oder im Muskel-MRT wiederfinden lässt. Die Abnahme des Muskelumfangs muss demnach andere pathophysiologische Gründe haben, die zur Zeit noch diskutiert werden. Bei den Patienten unserer Studie wurde keine vergleichbare Kraftmessung durchgeführt und es sind keine präoperativen Umfangsmessungen erfolgt. Demnach gibt es keine Vergleichswerte zu den aktuellen Daten. Die Ursachen für eine Muskeldysbalance sind vielfältig, so spielen der Trainingszustand, einseitige sportliche Aktivitäten, Osteoarthritis, veränderte Bewegungsabläufe und Schmerzen eine Rolle. Für Arangio et al. [67] bedingen zudem ein reduzierter Muskeltonus den Verlust der runden Form des Muskels sowie ein Verlust des subcutanen Fettgewebes die Umfangsdifferenz zwischen operiertem und kontralateralem Bein. Lorentzon et al. [68] gehen davon aus, dass eine nicht optimale Aktivierung der Muskeln während unwillkürlicher Kontraktionen der mögliche ursächliche Mechanismus für den Kraftverlust ist. Eine Korrelation zwischen Muskelgröße/ –morphologie und isokinetischer Leistung konnten sie nicht finden. Ein gut durchgeführtes, intensives und vielfältiges postoperativ durchgeführtes Rehabilitationsprogramm bildet die Grundlage für den langfristigen Therapieerfolg und die Patientenzufriedenheit. Es bietet die Möglichkeit, die Muskulatur optimal aufzubauen, zu stärken, Dysbalancen und Vermeidungsverhalten entgegenzuwirken. Einen positiven Einfluss von elektrischen Stimulationen auf die Muskelmorphologie und Stärke konnten Snyder-Mackler et al. [69] in ihrer Studie dokumentieren.

## 4.2 Radiologische Untersuchung

Die gehaltenen Röntgenaufnahmen mit dem Telos-Halteapparat und die sich anschließende Ausmessung der posterioren Translation der Tibia mit Hilfe der Technik nach Jacobsen bilden den Goldstandard zur Detektion einer HKB-Insuffizienz bzw. Ruptur [10], [35], [47], [70]. Eine genaue Einschätzung der Verletzungsschwere mit Einbeziehung weiterer Bandverletzungen ist nicht möglich. Jedoch bietet die Größe der HSL einen Anhaltspunkt, ob eine HKB-Läsion vorliegt. Ab einer SSD von 5 mm besteht der Verdacht einer HKB-Verletzung. Bei einer HSL von 10 mm ist eine kombinierte Bandverletzung des Kniegelenks als wahrscheinlich anzusehen [10]. Eine Verfälschung der Messergebnisse aufgrund von durch Schmerzen hervorgerufener Muskelanspannung der Hamstrings bzw. aufgrund von für den Patienten unbequemer Lagerung sollte bedacht werden.

Das untersuchte Patientenkollektiv (n=34) wurde 5-15 Jahre (durchschnittlich 104 Monate) nach erfolgter Rekonstruktion des HKBs erneut radiologisch mit Hilfe gehaltener Aufnahmen auf seine HSL und SSD hin untersucht. Wie zuvor hypohthetisiert (4) zeigte sich eine 30%-ige Reduktion der HSL von präoperativ durchschnittlich 13 mm ( $\pm 3$ mm) auf 9 mm ( $\pm 4$  mm). Es wurde zudem eine 50%-ige Reduzierung der SSD von 10 mm ( $\pm 4$  mm) auf 5 mm ( $\pm 5$  mm) festgestellt. Eine vermehrte HSL bei Patienten mit Instabilitätsgefühl konnte nicht dargestellt werden.

Es konnte nur eine vergleichbare Studie, welche eine postoperative Evaluation mit Einbeziehung einer Ganganalyse, radiologischen Stressaufnahmen, klinischer Untersuchung und subjektiven Knie-Score mit einbezieht, ausfindig gemacht werden:

Hart et al. [64] führten bei 24 Patienten eine klinische Nachuntersuchung mehr als 2 Jahre postoperativ mit den oben genannten vier Untersuchungen durch. Ein Vergleich der präoperativen und postoperativen HSL und SSD wurde jedoch nicht durchgeführt. Das Patientenkollektiv dieser Studie zeigte ein durchschnittliche SSD von 3,8 mm ( $\pm 3,1$  mm) in der Stressradiographie.

Die folgenden 5, speziell auf die postoperative Evaluation der HSL nach einer isolierten oder kombinierten HKB-Rekonstruktion bezogenen Studien sind mit unseren Ergebnissen vergleichbar. In den meisten Fällen unterscheiden sich jedoch die Fallzahlen und

Verletzungsspektren. So wurden Verletzungen, im Gegensatz zu unserer Studie, als homogenes Patientenkollektiv verglichen. Die meisten Studien wurden ab 2 Jahren postoperativ durchgeführt und verglichen Operationstechniken sowie Transplantatarten.

Lahner et al. [49] berichteten von einer mehr als 50%-igen Reduktion der HSL bei 14 Patienten durchschnittlich 4 Jahre nach isolierter HKB-Rekonstruktion.

Odd et al. [55] führten bei 16 Patienten mit isolierter HKB-Verletzung durchschnittlich 2 Jahre postoperativ eine klinische Nachuntersuchung durch. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bestand eine Reduzierung der posterioren Translation um 4,8 mm im Vergleich zum präoperativen Wert.

Kim et al. [71] verglichen die präoperative und postoperative SSD von 22 Patienten mit isolierter HKB-Rekonstruktion und 24 Patienten mit Rekonstruktion von HKB/PLS und konnten zeigen, dass eine kombinierte Bandrekonstruktion zu einer signifikanten Reduktion der HSL im Seitenvergleich führt.

Lee et al. [72] erzielten eine signifikante Reduktion der SSD von 10,3 mm ( $\pm$  2,4 mm) auf 2,2 mm ( $\pm$ 1,5 mm) postoperativ bei 70 Patienten (57,1%, SSD bei  $<$  3mm).

Fanelli et al. [73] beobachteten bei 35 Patienten mit arthroskopisch assistiertem Ersatz von HKB und VKB 2-10 Jahre postoperativ eine Normalisierung der posterioren Translation. Bei 52% der Patienten lag die postoperative HSL zwischen 0-3 mm.

Die Ergebnisse der 34 Patienten unserer Studien mit einer Reduktion der hinteren Schublade von 30% und der SSD von 50% sind mit denen der anderen Arbeitsgruppen vergleichbar und erscheinen als gutes langfristiges Operationsergebnis. Dies wurde ebenfalls dem ISAKOS-Konsens 2002 zufolge als erfolgreiche Rekonstruktion gewertet.

Schaut man sich die Ergebnisse des Patientenkollektivs dieser Studie genauer an, fällt auf, dass über 70% der Patienten eine tibiale Translation von 6-10 mm (41%) oder größer (30%) aufweisen, hingegen beträgt die SSD in 71% nicht mehr als 5 mm. Auffällig sind die hohen SSD-Werte bei den kombinierten Bandverletzungen. Gerade die 3-Bandverletzungen erreichen die durchschnittlich höchsten Werte. Dabei scheint die Verletzungsschwere bei der Größe der

HSL keine Rolle zu spielen. Ein Gefühl der Instabilität im Alltag gaben 13 Patienten an, es bestand jedoch kein Unterschied bei den HSL- und SSD-Werten im Vergleich zu den Patienten ohne Instabilitätsgefühl. Die Ergebnisse der Untergliederung in einzelne Verletzungsmodi ist als nicht aussagekräftig anzusehen, da sich die Gruppenstärken zu sehr unterscheiden. Eine mögliche Ursache für den besonders großen Anteil an Patienten mit hohen HSL-Werten ist zum einen ein hoher Anteil von Patienten, die komplexe Knie Trauma erlebt haben und zum anderen eine muskuläre Schwäche sowie eine Elongierung des Transplantats. Scheffler et al. [74] beschrieben einen zunehmenden Zelluntergang und dadurch mechanische Schwäche des Transplantats, die Umbauprozesse in den ersten 6 Wochen nach der Operation sowie die Wichtigkeit der korrekten anatomischen Rekonstruktion des Gelenks, sodass die wirkenden biomechanischen Kräfte stimulierenden Einfluss auf die Einheilung und die Funktion des Transplantats nehmen. Aus diesem Grund sind das konsequente Tragen der PTS-Schiene in der postoperativen Phase sowie eine kontrollierte Beübung wichtige Bestandteile der Rehabilitation und somit des Therapieerfolgs.

### **4.3 Fragebögen (IKDC, Lysholm, KOOS)**

#### **4.3.1 IKDC-Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies**

Bei der Evaluation des IKDC-Formblattes zur subjektiven Beurteilung des Knies wurde bei unserem Patientenkollektiv ein durchschnittlicher Wert von 73 Punkten ermittelt. Dabei erreichten 44% der Patienten den Score A oder B sowie 56% C oder D. Auffällig ist, dass 41% der Patienten mit D abschnitten. Ein Grund, dass viele Patienten ihren aktuellen Zustand als schlecht bewerten, könnte die Schwere der vorangegangenen Verletzung sein. In dieser Studie handelt es sich um kein homogenes Patientenkollektiv. Etwa Hälfte der Patienten erlitten schwere Knie Traumatata. Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen auch andere Studien.

Lee et al. [72] berichtete über einen durchschnittlichen IKDC-Score von 79,3 bei Patienten mit Rekonstruktion von HKB und PLS bei chronischen Verletzungen.

Van der Tempel et al. [75] evaluierten einen IKDC Score von 87 Punkten bei ihren 26 Patienten mit isolierter HKB-Ruptur und erzielte damit die besten postoperativen Ergebnisse der subjektiven Zufriedenheit der Patienten.

Lahner et al. [49] konnten eine deutliche Verbesserung von präoperativ 41 auf postoperativ 65 Punkte der subjektiven Kniefunktion dokumentieren.

Der durchschnittliche IKDC-Score lag bei den Patienten von Strobel et al. [62] bei 72 Punkten.

Die oben genannten Studien von Lee, Lahnert und Strobel et al. lieferten allesamt mit unserer Studie vergleichbare Ergebnisse. Trotz verbleibender Restschublade ist fast die Hälfte der Patienten mit ihrem Zustand zufrieden bis sehr zufrieden. Es lässt sich somit davon ausgehen, dass ein, für die Verletzungsschwere, gutes postoperatives Ergebnis erzielt worden ist und sich dies in der Patientenzufriedenheit widerspiegelt. Es konnte jedoch keine Korrelation zwischen dem subjektiven IKDC und der Kniestabilität festgestellt werden. Gründe für die Unzufriedenheit mit dem aktuellen Zustand des Kniegelenks gibt es viele. Zum einen besteht immer der Vergleich mit dem nicht verletzten Bein, zum anderen kam es zu beruflichen Veränderungen bei einem Teil der Patienten sowie zu Einschränkungen im Alltag und bei sportlichen Aktivitäten. Ein deutliche Gewichtszunahme und Schmerzen haben ebenfalls Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung. Den psychischen Zustand und die möglichen Einflussfaktoren auf die Wahrnehmung wie der aktuelle Gesundheitszustand, die familiäre und berufliche Situation, versucht das IKDC-Formblatt zur Beurteilung des gegenwärtigen Gesundheitszustandes, welches in dieser Studie jedoch nicht zur Anwendung kommt, und der Fragebogen des Knee and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) zu ermitteln.

#### **4.3.2 KOOS**

Ziel des KOOS-Scores ist die Evaluation der Befindlichkeit des Patienten bezogen auf sein Kniegelenk. Ein spezieller Fragebogen für die Evaluation von HKB Verletzungen wurde bislang nicht veröffentlicht, daher greifen wir in dieser Studie unter anderem auf den KOOS Fragebogen zurück, der für das Erfassen des Befindens des Patienten mit Verletzungen des VKBs, Meniskus- und Knorpelschäden oder Osteoarthrose anhand von Expertenmeinungen, Pilotstudien und Literatúraussagen speziell entwickelt wurde, um mit Hilfe der zwei weiteren Fragebögen eine umfassende Aussage über das subjektive Befinden unseres Patientenkollektivs treffen zu können [53]. Van Meer et al. [54] testeten die Wirksamkeit der verschiedenen subjektiven Scores und kamen zu dem Ergebnis, dass der IKDC-Score am besten und umfangreichsten testet.

Mit einem durchschnittlichen Gesamtscore von 81% von maximal 100% bewerteten die Patienten dieser Studie ihren Zustand als ausgesprochen gut. In den Unterkategorien wird deutlich, dass die meisten Patienten eine Einschränkung ihrer Lebensqualität sowie bei Sport und Freizeit empfinden, sich aber in Ihrer Aktivität nicht limitiert fühlen. Symptome werden nur von wenigen als störend beschrieben. 84% der Patienten verspüren geringe Knieschmerzen nach sehr starker körperlicher Anstrengung, die weiteren 16% deutliche. Lediglich 1 Patient gab an, täglich Schmerzen zu haben. Die Unterteilung der Patienten in die Subgruppen Laxizität erbrachte keine Unterschiede. In der Subgruppe Alter schnitten die Patienten ab 30, bis auf die Kategorie Symptome, immer etwas schlechter ab als die jüngeren.

Odd et al. [55] verwendeten den KOOS-Fragebogen bei der Nachuntersuchung von 43 HKB-Patienten 48 Monate postoperativ. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit denen unserer Studie. Die schlechtesten Ergebnisse wurden in den Kategorien Sport und Freizeit sowie Lebensqualität erzielt. Die anderen 3 Kategorien lagen um und über 80%. Zusätzlich verglichen die Autoren ihre Ergebnisse mit denen des nationalen norwegischen Registers für Kniebandverletzungen, welche sich auf VKB-Verletzungen beziehen und konnten ein besseres Abschneiden der VKB- gegenüber den HKB-Patienten feststellen.

Gauffin et al. [76] untersuchten, ob die Rekonstruktion des HKBs nach Kniegelenksluxation entscheidend ist. In einem Nachuntersuchungszeitraum von 6-10 Jahren wurden 4 Patienten, die eine Plastik des VKBs und PLS erhalten haben, mehrmals untersucht und unter anderem der KOOS-Score ermittelt. Folgende Ergebnisse der einzelnen Kategorien wurden beschrieben: Schmerzen 62%, Symptome 58%, ADL 76%, Sport und Freizeit 20%, Lebensqualität 30%.

Adler et al. [77] verwendeten den KOOS-Score zur subjektiven Evaluation der Operationsergebnisse 24 Jahren nach HKB- und PLS-Plastik bei 16 Patienten. Folgende Werte wurden veröffentlicht: Schmerzen 40%, Symptome 26%, ADL 18%, Sport und Freizeit 51%, Lebensqualität 44%.

Im Vergleich mit den letzten Studien wird deutlich, dass das Patientenkollektiv von Odd et al. und das unserer Studien durchaus sehr zufrieden mit ihrem gegenwärtigen Gesundheitszustand sind. Die am häufigsten bemängelten Kategorien sind in fast allen Studien die Punkte Lebensqualität, Sport und Freizeit. Schaut man sich die Fragen des KOOS in diesen beiden Kategorien noch mal an, zielen diese auf die Kniestabilität, Schmerzen, veränderte Lebensweise,

bestimmte Bewegungen und Schwierigkeiten, die durch das erkrankte Knie entstehen, ab. All dies sind Punkte, die sich nach einer schweren Knieverletzung nur eingeschränkt vollständig beheben lassen. Ziel sollte es sein, die Einschränkungen im Alltag so weit wie möglich zu reduzieren und den Patienten zu Bewegung und zur aktiven Mitarbeit zu motivieren. Gerade auf lange Sicht ist es für den behandelnden Arzt kaum noch möglich, Einfluss auf den Patienten zu nehmen. Dieser ist nun selber für sein Wohl verantwortlich und sollte versuchen, sein Kniegelenk durch Sport und Dehnung beweglich zu halten. Dies könnte ein möglicher Grund für die besseren Ergebnisse der jüngeren Patienten sein. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Operation die Lebensqualität der Patienten verbessert hat und dass diese mit dem Resultat der Operation sichtlich zufrieden sind. Viele Patienten konnten zu ihren vorherigen Sportarten zurückkehren. Dies zeigte sich ebenfalls in vorangegangenen Studien [78], [64].

### **4.3.3 Lysholm**

Der Lysholm Score dient der subjektiven Evaluation von Funktionalität und Stabilität des Kniegelenks und wurde zunächst als Hilfestellung zur ärztlichen Untersuchung entwickelt [52]. Die durchschnittlich erreichte Punktzahl lag bei 75. 5 exzellent, 9 gut, 10 mäßig und 10 schlecht.

In der Studie von Kim et al. [79] lag der Lysholm Score 2 Jahre postoperativ bei 24 Patienten mit HKB und PLS Rekonstruktion bei 83 Punkten.

Bei Van der Tempel et al. [75] verbesserten 26 Patienten nach HKB-Plastik ihr Abschneiden signifikant im Lysholm Score von 64 präoperativ auf 90 Punkte 10 Jahre postoperativ.

Hayashi et al. [80] berichteten von einem durchschnittlichen Score von 95 Punkten bei ihren 19 Patienten mit HKB- und VKB-Plastik dreieinhalb Jahre postoperativ.

Tzurbakis et al. [81] untersuchten das Outcome von komplexen Knieverletzungen 2-8 Jahre nach operativer Behandlung. Der Lysholm Score lag bei 87 Punkten.

Iwata et al. [82] untersuchten den Unterschied zwischen Patienten mit und ohne Giving-way Phänomen und ohne und konnte unter anderem einen signifikanten Unterschied im Lysholm Score vermerken. Durchschnittlich erreichten die Giving-way-Gruppe 54, die Non-Giving-way-Gruppe 91 Punkte.

Im Vergleich zu den oben genannten Studien liegen die Ergebnisse der Patienten dieser Studie hinter denen der anderen. Es muss jedoch bedacht werden, dass die Hälfte eine schwere und komplexe Knieverletzung mit langjähriger Rehabilitationsphase erlitten hat und dass das Patientenkollektiv größer ist als das der anderen. Zudem lässt sich vermuten, dass sich wie zuvor schon erwähnt gerade die Patienten mit Problemen zur Teilnahme an der Studie bereiterklärt haben und sich dies auch in den Ergebnissen bemerkbar macht.

#### **4.4 Instrumentierte Ganganalyse**

Ziel der Ganganalyse war es, Unterschiede zwischen dem ehemals verletzten und dem kontralateralen gesunden Bein zu detektieren, diese in Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe zu setzen und mit den weiteren Untersuchungen in Verbindung zu bringen. Dabei wurde die Frage gestellt, ob sich die Untersuchungsergebnisse des Röntgens, der klinischen manuellen Untersuchung sowie der Evaluation der subjektiven Beurteilung des Patienten ähneln und zu einem stimmigen Gesamtbild zusammenfügen lassen. In dieser Studie wurde mit Hilfe der Ganganalyse die Kinematik und Kinetik der sagittalen, koronaren und transversalen Achse berechnet. Der Fokus lag auf den Winkeln sowie auf dem Bewegungsausmaß bei alltäglichen Aktivitäten wie Laufen, Treppensteigen und Treppenabsteigen. Dabei konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Beinen bei einer der Aktivitäten festgestellt werden. Auch eine Gliederung die Subgruppen Alter, Geschlecht, Verletzungsmodus, Größe der HSL/ SSD, IKDC Score der klinischen Untersuchung und der anschließende Vergleich in den einzelnen Kategorien sowie untereinander, erbrachte keine signifikanten Unterschiede. Als marginal nicht signifikant stellten sich die maximalen Flexionswerte zwischen Männern und Frauen beim Treppenabsteigen dar. Es muss jedoch beachtet werden, dass sich die Gruppengrößen mit 10 Frauen und 24 Männern stark unterschieden. Ein signifikanter Unterschied besteht bei der Ausführung des Treppensteigens und -absteigens zwischen den kontralateralen Beinen der 20-29 und 30 Jährigen. Eine mögliche Ursache können morphologische Unterschiede sein. Interessant ist der Vergleich der Werte mit denen einer gesunden Kontrollgruppe. Dabei stellten sich signifikante Unterschiede sowohl zum rekonstruierten Kniegelenk als auch zum kontralateralen in Kinetik und Kinematik dar. Somit konnte die von uns aufgestellte erste Hypothese, dass die Patienten nicht zu einem physiologischen Gangbild zurückkehren nur im Bezug auf den Vergleich mit Gesunden nicht

jedoch auf die kontralaterale Seite verifiziert werden, was die Vermutung von veränderten Bewegungsabläufen als Anpassung an veränderte Gegebenheiten wie Schmerzen, Bandlaxizität, Steifigkeit und verminderte Beweglichkeit des Kniegelenks zulässt. So zeigten sich in allen durchgeführten Messungen ein reduzierter Bewegungsumfang in Flexion - Extension des Kniegelenks in der Schwungphase beider Patientenbeine im Vergleich zum gesunden Probanden. Eine reduzierte Rotation des rekonstruierten Knies im Vergleich zum gesunden Knie wurde ebenfalls in der Schwungphase aller Messungen deutlich. Somit bestätigt sich die dritte Hypothese.

Hart et al. [64] untersuchten 24 Patienten mit multiplen Kniebandrekonstruktionen ab 2 Jahre postoperativ mit Hilfe der Ganganalyse nach. Dabei fand sie im Vergleich mit einer Kontrollgruppe eine um 33% reduziertes Bewegungsausmaß des rekonstruierten Beins sowie ein 19% geringeres Flexionsmoment im Vergleich zur kontralateralen Knie während des Gehens. Ein reduzierter MFW des operierten Knies konnte beim Treppenabsteigen im Vergleich zum kontralateralen Bein und der Kontrollgruppe gemessen werden, ebenso ein geringeres Bewegungsausmaß. Dies zeigte sich auch im Vergleich zur gesunden Gruppe.

In der Studie von Iwata et al. [82] wurde eine Ganganalyse an 22 Patienten mit HKB-Ruptur 6-156 Monate nach dem Unfall durchgeführt und auf Unterschiede zwischen Patienten mit und ohne, 'giving-way' Phänomen getestet. Dabei wurden signifikant reduzierte maximale Knieflexionswinkel und -momente, sowie wirkende Bodenreaktionskräfte in der 'giving-way'-Gruppe gemessen.

Für eine gute Adaptation unserer Patienten spricht, dass sich in dem Patientenkollektiv keine signifikanten Unterschiede zwischen rekonstruiert und kontralateral sowie in den Unterkategorien gezeigt haben. Unterschiede in der Kinematik wurden erst deutlich beim Vergleich der Kniegelenke unseres Patientenkollektivs mit denen einer gesunden Vergleichsgruppe und verifiziert unsere zweite Hypothese. Dies erhärtet den Verdacht, dass eine Anpassung des Gangverhaltens bei den Patienten mit Bandrekonstruktionen stattgefunden hat. Aus diesem Grund war es wichtig die objektiveren Untersuchungen mittels Telos-Halteapparat und klinischer Untersuchung durchzuführen und ein Gesamtbild zu erstellen. Frühere Studien nehmen an, dass Patienten mit vermehrter HSL oder in der klinischen Untersuchung festgestellter Laxheit durch unterbewusste Umprogrammierung von Bewegungsabläufen sowie einer vermehrten Muskelaktivierung das Knie vor starker Translation schützen [27], [83]–[85].

In zukünftigen Studien könnte dies ebenfalls ein interessanter Aspekt sein. Mit Hilfe einer EMG Untersuchung könnte die Rolle der Muskelaktivierung näher erforscht werden. Eine weitere Hypothese ist, dass sich das kontralaterale Bein so weit adaptiert hat, dass ein gleichmäßiges Gangbild suggeriert wird, die Patienten aus diesem Grunde gute Ergebnisse in subjektiven Knie-Scores erreichen und mit ihrem Zustand zufrieden sind [60]. Die verschiedenen Adaptationsvorgänge bringen jedoch nicht nur Vorteile mit sich. Durch eine vermehrte Muskelaktivierung zur Stabilisierung des Gelenks wird der Anpressdruck auf das Kniegelenk erhöht und langfristig die Ausbildung einer Osteoarthritis gefördert. Zhong [60] vergleicht in seiner Dissertation das Gangbild der Patienten mit dem eines OA-Patienten und führt hierzu die Arbeiten von McCarthy et al. [86] und Nagano Y et al. [87] an, welche reduzierte kinematische Knieexkursionen in Flexion – Extension und Rotation bei OA-Patienten beschreiben. Ein weiterer Aspekt ist die verbleibende Instabilität der Bänder des Kniegelenks, welche möglicherweise die Veränderung lokomotiver Prozesse bedingt [83], [84]. Zudem ist noch nicht geklärt, ob mit Hilfe einer HKB-Plastik die anatomischen Verhältnisse wieder vollständig hergestellt werden, die wirkenden Kräfte an den richtigen Stellen ansetzen und somit den Knorpel nicht zusätzlich schädigen [88]–[90]. Andriacchi et al. [91] fanden in ihrer Untersuchung von OA Patienten mit VKB-Plastik heraus, dass durch eine operative Veränderung der Lokalisation der gewichtstragenden Regionen des Kniegelenks der Knorpel nachhaltig geschädigt wird. Besonders ein erhöhtes Adduktionsmoment wird in der Literatur mit der OA in Zusammenhang gebracht. In zukünftigen Studien könnte, gerade im Bezug auf die HKB-Plastik, eine nähere Untersuchung der gewichtstragenden Regionen und deren korrekte Rekonstruktion im Bezug auf die Muskelaktivierung im Vergleich zu einer Kontrollgruppe neue Erkenntnisse über die wirkenden Kräfte liefern. Betrachtet man die Veränderungen bezüglich der Kinetik des Kniegelenkes im Vergleich zum Gesunden ist ein signifikant reduziertes Flexionsmoment auffallend. Dieses konnte in vorhergehenden Studien bei Patienten mit Verletzungen des vorderen Kreuzbandes festgestellt werden [59]. Als Ursachen für diese Veränderung wurden ebenfalls eine Schwäche des Muskulus Quadriceps sowie veränderte Belastungsverhältnisse beschrieben. Patienten entlasten ihr verletztes Bein schmerzbedingt und behalten dieses veränderte Gangbild anschließend in abgeschwächter Form bei. Dies lässt sich durch die gemessenen veränderten Bodenreaktionskräfte unterlegen. Die Muskelschwäche könnte auch bei unserem Patientenkollektiv eine Ursache darstellen. So wurde eine signifikante Dysbalance zwischen der Oberschenkelmuskulatur im Seitenvergleich gemessen. Hart et al. [64] fanden vergleichbare Muskelumfangsverminderungen und reduzierte Knieflexionsmomente. Der Autor stellte das Oberschenkeltraining für seine Patienten in den Vordergrund, da er die

Schwäche des Quadriceps als Hauptursache sah. Ein für die OA prognostisch relevantes erhöhtes Adduktionsmoment konnte bei unserem Patientenkollektiv nicht gemessen werden, jedoch schlussfolgernd nicht ausschließt, dass es nicht trotzdem zu veränderten Kräften innerhalb des Gelenks kommt, die den Knorpel nachhaltig schädigen können. Eine EMG-Untersuchung könnte hier ebenfalls zum besseren Verständnis beitragen.

Die fünfte Hypothese, dass sich die Ergebnisse der klinischen Untersuchung sowie des Röntgen und der Fragebogen in der Ganganalyse zwischen den beiden Beinen der Patienten wiederfinden, lässt sich nicht bestätigen. Es konnte keine Korrelation zwischen den subjektiven Knie-Scores und der Kniestabilität nachgewiesen werden. Die vermehrte HSL und die manuell gemessene Bandlaxheit fanden sich in der Ganganalyse in einem veränderten Gangbild sowie im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe wieder. Es konnte gezeigt werden, dass die Patienten ihren Gesundheitszustand im Durchschnitt sehr viel besser bewerteten als die objektive Bewertung des Untersuchers bei der klinischen Untersuchung sowie die gemessene HSL in den gehaltenen Aufnahmen den Eindruck vermitteln. Somit konnten auch diese beiden Hypothesen, dass Fragebögen und manuelle Untersuchung bzw. Stressaufnahmen sich gegenseitig bestätigen, nicht verifiziert werden. Es konnte gezeigt werden, dass die klinische Untersuchung sowie die gehaltenen Röntgenaufnahmen zu ähnlichen Ergebnissen kommen, jedoch keine reliable Methode zur Erfassung des Gesundheitszustandes sind, da eine deutliche Diskrepanz zwischen subjektivem Empfinden des Patienten und den Untersuchungsergebnissen besteht. Ziel ist es, alle Methoden zur Beurteilung des Gesundheitszustandes zusammenzubringen, um sich ein umfangreiches Bild machen zu können sowohl objektiv und als auch subjektiv. Abschließend kann gesagt werden, dass die operative Behandlung der Patienten zu einer vermehrten Gelenkstabilität, Schmerzreduzierung und erhöhten Lebensqualität beigetragen hat, obwohl eine verfrühte OA wahrscheinlich nicht verhindert werden kann.

#### **4.5 Kritische Betrachtung der Studie**

An der Studie ist kritisch zu sehen, dass sich die Subgruppen teilweise in ihrer Gruppenstärke unterscheiden sowie insgesamt eine geringe Anzahl an Patienten in die Studie eingeschlossen wurde. Zudem diente das kontralaterale Bein des Patienten als Kontrollmedium für die Messung des Oberschenkelumfangs. Das dominante Bein wurde dabei nicht berücksichtigt. Es erfolgte eine direkte Gegenüberstellung einer der Altersstruktur, Anzahl und BMI nicht entsprechenden Kontrollgruppe. Durch das Übergewicht mancher Patienten konnten die reflektierenden Marker

nicht immer anatomisch korrekt platziert werden. Zudem bestand ein Lerneffekt bei der Ausführung der einzelnen Übungen, sodass diese bei den Wiederholungen präziser ausgeführt werden konnten. Die Motivation und das Engagement bei der Ausführung der Übungen im Ganglabor sowie der Trainingszustand fielen sehr unterschiedlich aus. Das Gangbild der gesunden Kontrollgruppe als physiologisches Maß zu verwenden beinhaltet einige Ungenauigkeiten. So ist es bisher nicht festgelegt, welcher Bewegungsumfang als physiologisch anzusehen ist und in wie weit individuelle Unterschiede noch als regelrecht zu werten sind, da sie sich durch die körperliche Morphologie, Habitus wie ein individuell über Jahre hin entwickeltes Gangbild unterscheiden. Es existieren bislang zu wenige Studien, welche die in unserer Studie verwendete Methode der Ganganalyse angewandt haben und eine Orientierungshilfe für die Bewertung als ‚normaler‘ Flexionswinkel‘ bei den jeweiligen Aktivitäten bieten.

Das Patientenkollektiv ist sehr inhomogen. Ein Großteil der in dieser Studie untersuchten Patienten hat unterschiedlich schwerwiegende Verletzungen des Kniegelenks erlitten. Die meist komplexen Bandrekonstruktionen erfolgten oft erst nach jahrelangem Instabilitätsgefühl und Schmerzzuständen. Aufgrund der verschiedenen Verletzungsmodi wurden dementsprechend unterschiedliche Operationsmethoden angewendet. Diese Tatsachen können möglicherweise das Gangbild der Patienten nachhaltig beeinflusst haben und somit ebenfalls das Ergebnis sowie die Reliabilität dieser Studie. Anzumerken ist, dass es auf Grund der wenigen HKB-Rekonstruktionen schwierig ist, ein homogenes Patientenkollektiv zusammenzustellen und über einen längeren Zeitraum mehrmals nachzuuntersuchen.

Präoperativ wurden leider keine Fragebögen von den Patienten ausgefüllt, keine Oberschenkelumfänge gemessen und keine Ganganalyse durchgeführt. Optimal wäre ein Vergleich der präoperativen mit den postoperativen Langzeitergebnissen, um eine Rückkehr zur normalen Kniegelenksfunktion sowie den Effekt der Operation beurteilen zu können und somit zu einer Verbesserung der Versorgung, postoperativen Betreuung und Optimierung der Operationsmethoden beitragen zu können. Durch mehrere im Verlauf durchgeführte MRT-Aufnahmen könnte der Einfluss einer HKB-Rekonstruktion auf den Knorpel untersucht und somit der Frage nachgegangen werden, ob Patienten mit HKB-Plastik ein erhöhtes OA Risiko haben. Zudem bietet das MRT die Möglichkeit, die Einheilung und das Transplantat selber genauer zu beurteilen. Weitere Untersuchungen wie z.B. ein EMG zur Beurteilung der Muskelaktivierung, könnten dazu beitragen, die Beziehung zwischen den durch die Verletzung

und Operation, veränderten Strukturen und der Kniegelenksfunktion einschließlich Kinematik und Kinetik besser zu verstehen und somit durch eine Optimierung der Nachbehandlungen das Risiko einer verfrühten Knorpeldegeneration zu minimieren.

## **5 Zusammenfassung**

### **5.1 Einleitung und Ziele der Arbeit**

In den vergangenen Jahren sind die Verletzungen des HKB sowie seine Begleitverletzungen vermehrt in den Fokus gerückt sowie mehrere Studien zu den Langzeitergebnissen veröffentlicht worden. Ein Großteil der Studien konzentriert sich auf die Ergebnisse der klinischen Untersuchung sowie internationaler Knie-Scores. Eine Ganganalyse wurde bisher nur in 2 Studien angewendet, dann aber nicht unter Einbeziehung der verschiedenen Score-Systeme. Bisher konnte nicht genau geklärt werden, inwieweit eine chronische Instabilität des HKB Einfluss auf die Kniegelenkskinematik und –kinetik sowie auf den Zustand des Gelenks mehrere Jahre postoperativ nimmt.

Ziel dieser Studie ist es die Kniestabilität, Kniegelenkskinematik sowie Patientenzufriedenheit nach erfolgreicher Rekonstruktion 5-15 postoperativ zu untersuchen und bestehende Instabilitäten, veränderte Bewegungsabläufe und Probleme im Alltag aufzudecken. In vorhergehenden Studien wurde eine deutliche Diskrepanz zwischen der klinischen Untersuchung der hinteren Schublade und der radiologischen Untersuchung sowie der subjektiven Evaluation mit Hilfe eines Knie-Scores beschrieben.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war es, unter Einbeziehung verschiedener Evaluations- und Untersuchungssysteme, sowohl objektiv als auch subjektiv Langzeitergebnisse zu erfassen, diese zu einem Gesamtbild zusammenzufügen und bewerten zu können. Dabei ermöglichten zahlreiche Untersuchungskriterien einen umfassenden Vergleich der Untersuchungsergebnisse untereinander sowie auch mit den Ergebnissen der veröffentlichten Studien. Grundlage hierzu war in dieser Studie die Anwendung international anerkannter Score- und Evaluationssysteme. Die Ganganalyse wurde als neue Untersuchung hinzugefügt. Hierfür existieren bislang leider keine anerkannten Richtwerte sowie Kriterien für die Durchführung.

## 5.2 Methodik

Das Patientenkollektiv dieser Studie setzt sich aus 34 Personen mit einem Altersdurchschnitt von 36 ( $\pm$  10) Jahren, 24 Männern und 10 Frauen sowie einem durchschnittlichen postoperativen Zeitraum von 104 (65-179) Monaten zusammen. 5 Patienten haben eine Rekonstruktion des HKBs, 15 von HKB und PLS sowie 14 von HKB, VKB und PLS erhalten. Alle Patienten erhielten Röntgenaufnahmen im Telos-Halteapparat, eine manuelle klinische Untersuchung anhand des IKDC-Formblattes zur Untersuchung des Knies, Fragebögen (IKDC, KOOS, Lysholm) sowie eine aktive Bewegungsanalyse im Ganglabor. Dabei führten die Patienten Bewegungen des Alltags (Gehen, Treppensteigen, -absteigen) durch. Von allen Patienten liegen zudem präoperative Stressaufnahmen sowie die Ergebnisse der präoperativen klinischen Untersuchung vor, die als Vergleichswerte für die Bewertung des Therapieerfolges dienen.

## 5.3 Ergebnisse

**Klinische Untersuchung:** In der klinischen Untersuchung stellte sich bei zwei Patienten ein leichter bis mäßiger Erguss dar. Die Testung des Bewegungsausmaßes erbrachte ein deutliches Beugedefizit von über  $25^\circ$  bei einem Patienten. 10 weitere hatten ein Defizit zwischen  $6-10^\circ$ . Ein Streckdefizit von  $3-5^\circ$  wurde bei 4 Patienten diagnostiziert. Der Lachmantest war bei 14 Patienten positiv, bei zwei konnte nicht mit Sicherheit ein fester Anschlag erfasst werden. Fünf Patienten hatten im HSL-Test eine vergrößerte posteriore Translation beim Vergleich mit der Gegenseite. Die Seitenbänder wurden bei drei Personen als vermehrt medial aufklappbar empfunden, lateral bestand dieser Befund bei 6 Personen. Der Dialtest war bei über der Hälfte negativ. Sieben Personen zeigten einen gleitenden, 2 einen dumpfen Pivot Shift. patellofemoral, medial und lateral wiesen 4 Knie eine mäßige, ein Knie eine deutliche Krepitation auf. Der Funktionstest wurde von 62% erfolgreich ausgeführt. 24% lagen im Mittelfeld. Anhand der IKDC Grade erhielten alle Patienten präoperativ den Grad C (24%) oder D (76%). Postoperativ erhielten 9% A, 29% B, 56% C, 6% D. Bis auf zwei Patienten konnte eine verbesserte Kniefunktion erreicht werden. 21 hatten einen verminderten Step off. Die Beinumfangsunterschiede zwischen operiertem und kontralateralem Bein unterschieden sich signifikant um durchschnittlich 1,1 cm.

**Röntgen:** Die durchschnittliche HSL lag bei 9 mm. 71% lagen über 5 mm. 33% Reduktion der HSL, 50% der SSD zum präoperativen Wert. **IKDC:** 73 Punkte, 5 A, 10 B, 5 C, 14 D **KOOS:** 81%, am schlechtesten schlossen die Kategorien Lebensqualität und Sport ab. **Lysholm:** 75 Punkte. 14 exzellent und gut, 20 mäßig und schlecht. **Ganganalyse:** Keine Differenzen beim maximalen Flexionswinkel zwischen operiertem und kontralateralem Bein bei der Ausführung

von Alltagsaktivitäten. Ebenso nicht in den Subgruppen Geschlecht, Verletzung, HSL, SSD, IKDC der klinischen Untersuchung. Signifikant reduziertes Knieflexionsmoment im Vergleich des verletzten zum kontralateralen Bein. Beide Beine weisen signifikante kinematische und kinetische Unterschiede bezüglich Knieflexionswinkel, externer Rotationswinkel sowie den jeweiligen Kniemomenten im Vergleich zur gesunden Gruppe auf. Signifikant unterschiedlich waren die maximalen Flexionswinkel des kontralateralen Beins der 20-29 Jährigen und der 30 Jährigen beim Treppensteigen und –absteigen. Marginal nicht signifikant minimierter Flexionswinkel des operierten Beines der Männer im Vergleich zu den weiblichen beim Treppenabsteigen.

#### **5.4 Diskussion**

Die Ergebnisse dieser Studie weisen nach, dass eine chronische Insuffizienz des Knies durch eine Bandplastik verbessert werden kann und zu einer reduzierten HSL und SSD führt. Die Ergebnisse der klinischen Untersuchung zeigen ebenfalls den Erfolg der Behandlung auf, jedoch auch eine verbleibende Laxheit bei einigen wenigen Patienten. In vorhergegangenen Studien wurde eine Diskrepanz zwischen der radiologisch ermittelten HSL und der klinischen Untersuchung festgestellt. Dies wurde ebenfalls in den Ergebnissen unserer Studie deutlich. Die Ergebnisse der HSL fielen bei der radiologischen Untersuchung weitaus schlechter aus als bei der klinischen Evaluation. Die Ergebnisse der Fragebögen verdeutlichten unabhängig von den objektiven Befunden eine weitreichende Patientenzufriedenheit. Es besteht keine Korrelation zwischen subjektiven Knie-Scores und der Kniestabilität. Bei der Ganganalyse fielen biomechanische Unterschiede beider Patientenbeine im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe auf. Somit konnte die Hypothese, dass eine chronische Instabilität zu Veränderungen in der Lokomotion führt, bestätigt werden. Fasst man die Untersuchungen zusammen, lässt sich durchaus von einem erfolgreichen Langzeitergebnis sprechen. Die Operation hat zu einer Verminderung der Instabilität geführt und alle Patienten in ihren Alltag zurückkehren lassen. Einige wenige haben weiterhin mit Schmerzen und Instabilitäten zu kämpfen. Inwiefern eine verfrühte OA feststellbar ist, müsste durch weitere Untersuchungen festgestellt werden.

**6 Literaturverzeichnis**

- [1] M. J. Strobel, A. Weiler, and H. J. Eichhorn, “[Diagnosis and therapy of fresh and chronic posterior cruciate ligament lesions].,” *Chirurg.*, vol. 71, no. 9, pp. 1066–81, Sep. 2000.
- [2] M. S. Schulz, K. Russe, a Weiler, H. J. Eichhorn, and M. J. Strobel, “Epidemiology of posterior cruciate ligament injuries.,” *Arch. Orthop. Trauma Surg.*, vol. 123, no. 4, pp. 186–91, May 2003.
- [3] W. M. Wind, J. A. Bergfeld, and R. D. Parker, “Evaluation and treatment of posterior cruciate ligament injuries: revisited.,” *Am. J. Sports Med.*, vol. 32, no. 7, pp. 1765–75, Oct. 2004.
- [4] G. C. Fanelli and C. J. Edson, “Posterior cruciate ligament injuries in trauma patients: Part II,” *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg.*, vol. 11, no. 5, pp. 526–529, 1995.
- [5] C. D. Harner and J. Höher, “Evaluation and treatment of posterior cruciate ligament injuries.,” *Am. J. Sports Med.*, vol. 26, no. 3, pp. 471–482, 1998.
- [6] S. T. Norbakhsh, Z. Zafarani, A. Najafi, and H. Aslani, “Arthroscopic posterior cruciate ligament reconstruction by using hamstring tendon autograft and transosseous screw fixation: minimal 3 years follow-up,” *Arch. Orthop. Trauma Surg.*, vol. 134, no. 12, pp. 1723–1730, 2014.
- [7] P. Hochstein, T. Schmickal, P. A. Grützner, and A. Wentzensen, “[Diagnostic and incidence of the rupture of the posterior cruciate ligament].,” *Unfallchirurg*, vol. 102, no. 10, pp. 753–62, Oct. 1999.
- [8] G. Rochecongar, S. Plaweski, M. Azar, G. Demey, J. Arndt, M.-L. Louis, R. Limozin, P. Djian, B. Sonnery-Cottet, V. Bousquet, X. Bajard, a. Wajsfisz, and P. Boisrenoult, “Management of combined anterior or posterior cruciate ligament and posterolateral corner injuries: A systematic review,” *Orthop. Traumatol. Surg. Res.*, vol. 100, no. 8, pp. S371–S378, 2014.
- [9] G. C. Fanelli, J. D. Beck, and C. J. Edson, “Current concepts review: the posterior cruciate ligament.,” *J. Knee Surg.*, vol. 23, no. 2, pp. 61–72, Jun. 2010.
- [10] T. Jung, M. Strobel, and A. Weiler, “Diagnostics and treatment of posterior cruciate ligament injuries].,” *Unfallchirurg*, vol. 109, no. 1, pp. 41–59; quiz 60, Jan. 2006.
- [11] A. Weiler, T. Jung, and A. Lubowicki, “Management of posterior cruciate ligament reconstruction after previous isolated anterior cruciate ligament reconstruction,” ... *J. ....*, vol. 23, no. 2, pp. 164–9, Mar. 2007.
- [12] F. Margheritini and P. P. Mariani, “Diagnostic evaluation of posterior cruciate ligament injuries.,” *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, vol. 11, no. 5, pp. 282–8, Sep. 2003.

- [13] J. A. Bergfeld, D. R. McAllister, R. D. Parker, A. D. Valdevit, and H. E. Kambic, "A biomechanical comparison of posterior cruciate ligament reconstruction techniques.," *Am. J. Sports Med.*, vol. 29, no. 2, pp. 129–36, 2001.
- [14] J. A. Bergfeld, S. M. Graham, R. D. Parker, A. D. C. Valdevit, and H. E. Kambic, "A biomechanical comparison of posterior cruciate ligament reconstructions using single- and double-bundle tibial inlay techniques.," *Am. J. Sports Med.*, vol. 33, no. 7, pp. 976–81, Jul. 2005.
- [15] D. Cooper and D. Stewart, "Posterior cruciate ligament reconstruction using single-bundle patella tendon graft with tibial inlay fixation 2-to 10-year follow-up," *Am. J. Sports Med.*, pp. 346–360, 2004.
- [16] A. Race and A. A. Amis, "The mechanical properties of the two bundles of the human posterior cruciate ligament.," *J. Biomech.*, vol. 27, no. 1, pp. 13–24, Jan. 1994.
- [17] F. Girgis, J. Marshall, and A. JEM, "The Cruciate Ligaments of the Knee Joint: Anatomical. Functional and Experimental Analysis," *Clin. Orthop. Relat. ...*, no. 106, pp. 216–31, 1975.
- [18] C. Harriett and J. Xerogeanes, "The Human Posterior Cruciate Ligament Complex: An Interdisciplinary Study," *Am. J. ...*, pp. 736–745, 1995.
- [19] C. D. Harner, G. a Livesay, S. Kashiwaguchi, H. Fujie, N. Y. Choi, and S. L. Woo, "Comparative study of the size and shape of human anterior and posterior cruciate ligaments.," *J. Orthop. Res.*, vol. 13, no. 3, pp. 429–434, 1995.
- [20] R. Scapinelli, "Vascular anatomy of the human cruciate ligaments and surrounding structures," *Clin. Anat.*, vol. 10, no. 3, pp. 151–62, Jan. 1997.
- [21] J. C. Kennedy, I. J. Alexander, and K. C. Hayes, "Nerve supply of the human knee and its functional importance.," *Am. J. Sports Med.*, vol. 10, no. 6, pp. 329–335.
- [22] C. J. Wirth, L. Zichner, and D. Kohn, "Orthopädie und Orthopädische Chirurgie: Knie," in *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie: Knie*, , 2005 ed., D. Kohn, Ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2005.
- [23] A. Race and A. A. Amis, "Loading of the two bundles of the posterior cruciate ligament: an analysis of bundle function in a-P drawer.," *J. Biomech.*, vol. 29, no. 7, pp. 873–9, Jul. 1996.
- [24] F. K. Fuss, "Anatomy of the cruciate ligaments and their function in extension and flexion of the human knee joint.," *Am. J. Anat.*, vol. 184, no. 2, pp. 165–76, Mar. 1989.
- [25] A. A. Amis, A. M. J. Bull, C. M. Gupte, I. Hijazi, A. Race, and J. R. Robinson, "Biomechanics of the PCL and related structures: posterolateral, posteromedial and meniscomfemoral ligaments.," *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, vol. 11, no. 5, pp. 271–81, Sep. 2003.

- [26] D. Butler, N. NR, and G. ES, "Ligamentous restraints to anterior drawer in the human knee : a biomechanical study," *J Bone Jt. Surg*, vol. 62, no. August 2015, 1980.
- [27] E. S. Grood, S. F. Stowers, and F. R. Noyes, "Limits of movement in the human knee. Effect of sectioning the posterior cruciate ligament and posterolateral structures.," *J. Bone Joint Surg. Am.*, vol. 70, no. 1, pp. 88–97, 1988.
- [28] J. R. Seebacher, A. E. Inglis, J. L. Marshall, and R. F. Warren, "The structure of the posterolateral aspect of the knee.," *J. Bone Joint Surg. Am.*, vol. 64, no. 4, pp. 536–41, Apr. 1982.
- [29] R. F. LaPrade, T. V Ly, F. A. Wentorf, and L. Engebretsen, "The posterolateral attachments of the knee: a qualitative and quantitative morphologic analysis of the fibular collateral ligament, popliteus tendon, popliteofibular ligament, and lateral gastrocnemius tendon.," *Am. J. Sports Med.*, vol. 31, no. 6, pp. 854–60, 2003.
- [30] K. Ullrich, W. K. Krudwig, and U. Witzel, "Posterolateral aspect and stability of the knee joint. I. Anatomy and function of the popliteus muscle-tendon unit: an anatomical and biomechanical study.," *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, vol. 10, no. 2, pp. 86–90, Mar. 2002.
- [31] W. K. Krudwig, U. Witzel, and K. Ullrich, "Posterolateral aspect and stability of the knee joint. II. Posterolateral instability and effect of isolated and combined posterolateral reconstruction on knee stability: a biomechanical study.," *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, vol. 10, no. 2, pp. 91–5, Mar. 2002.
- [32] M. Strobel, H.-W. Stedtfeld, and H. J. Eichhorn, *Diagnostik des Kniegelenkes*, 3. illustr. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1995.
- [33] R. A. Rubinstein, K. D. Shelbourne, J. R. McCarroll, C. D. VanMeter, and A. C. Rettig, "The accuracy of the clinical examination in the setting of posterior cruciate ligament injuries.," *Am. J. Sports Med.*, vol. 22, no. 4, pp. 550–7, 1994.
- [34] T. D. Rosenberg, L. E. Paulos, R. D. Parker, D. B. Coward, and S. M. Scott, "The forty-five-degree posteroanterior flexion weight-bearing radiograph of the knee.," *J. Bone Joint Surg. Am.*, vol. 70, no. 10, pp. 1479–83, Dec. 1988.
- [35] K. Jacobsen, "Stress radiographical measurement of the anteroposterior, medial and lateral stability of the knee joint," *Acta Orthop.*, vol. 47, no. 3, pp. 335–4, Jun. 1976.
- [36] F. Margheritini, L. Mancini, C. S. Mauro, and P. P. Mariani, "Stress radiography for quantifying posterior cruciate ligament deficiency.," *Arthroscopy*, vol. 19, no. 7, pp. 706–11, Sep. 2003.
- [37] M. J. Strobel, A. Weiler, M. S. Schulz, K. Russe, and H.-J. Eichhorn, "Fixed posterior subluxation in posterior cruciate ligament-deficient knees: diagnosis and treatment of a new clinical sign.," *Am. J. Sports Med.*, vol. 30, no. 1, pp. 32–8, 2002.

- [38] A Weiler, T. M. Jung, and M. J. Strobel, “[Arthroscopic assisted posterior cruciate ligament reconstruction and posterolateral stabilisation using autologous hamstring tendon grafts].,” *Unfallchirurg*, vol. 109, no. 1, pp. 61–71, Jan. 2006.
- [39] M. J. Strobel, A. Weiler, M. S. Schulz, K. Russe, and H. J. Eichhorn, “Arthroscopic evaluation of articular cartilage lesions in posterior-cruciate-ligament-deficient knees.,” *Arthroscopy*, vol. 19, no. 3, pp. 262–8, Mar. 2003.
- [40] S. Bisicchia and E. Savarese, “Role of High Tibial Osteotomy in Chronic Posterior Cruciate Ligament and Posterolateral Corner Knee Instability,” 2004.
- [41] J. Höher, S. Scheffler, and A. Weiler, “Graft choice and graft fixation in PCL reconstruction.,” *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, vol. 11, no. 5, pp. 297–306, Sep. 2003.
- [42] “8 Gangphasen.” [Online]. Available: [wiki.ifs-tud.de](http://wiki.ifs-tud.de).
- [43] K. Götz-Neumann, *Gehen verstehen: Ganganalyse in der Physiotherapie*. Thieme; Auflage: 2., unveränderte Auflage 199 Abbildungen, 18 Tabellen (19. April 2006), 2006.
- [44] A C. Stähelin, N. P. Südkamp, and a Weiler, “Anatomic double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons.,” *Arthroscopy*, vol. 17, no. 1, pp. 88–97, Jan. 2001.
- [45] N. Collins and D. Misra, “function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee,” *Arthritis care ...*, vol. 63 Suppl 1, no. November, pp. S208–28, Nov. 2011.
- [46] W. Müller, R. Jakob, and H. Stäubli, “Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form,” *Knee Surgery, Sport. Traumatol. ...*, vol. 1, no. 3–4, pp. 226–34, Jan. 1993.
- [47] T. Jung and C. Reinhardt, “Stress radiography to measure posterior cruciate ligament insufficiency: a comparison of five different techniques,” *Knee Surgery, Sport. ...*, pp. 1116–1121, 2006.
- [48] O. Surgery and D. Radiology, “STRESS RADIOGRAPHICAL MEASUREMENT OF THE ANTEROPOSTERIOR , MEDIAL AND LATERAL STABILITY OF THE KNEE JOINT,” pp. 335–341, 1976.
- [49] M. Lahner, T. Vogel, M. S. Schulz, and M. J. Strobel, “[Outcome 4 years after isolated single-bundle posterior cruciate ligament reconstruction].,” *Orthopade*, vol. 41, no. 3, pp. 206–11, Mar. 2012.
- [50] L. C. Schmitt, M. V Paterno, and S. Huang, “Validity and internal consistency of the international knee documentation committee subjective knee evaluation form in children and adolescents.,” *Am. J. Sports Med.*, vol. 38, no. 12, pp. 2443–7, Dec. 2010.
- [51] T. J. Fairbank, “Examination of the Knee Joint,” no. July, pp. 220–222, 1969.

- [52] Y. Tegner and J. Lysholm, "Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries.," *Clin. Orthop. Relat. Res.*, no. 198, pp. 43–9, Sep. 1985.
- [53] E. M. Roos, H. P. Roos, L. S. Lohmander, C. Ekdahl, and B. D. Beynon, "Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)--development of a self-administered outcome measure.," *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, vol. 28, no. 2, pp. 88–96, Aug. 1998.
- [54] B. L. van Meer, D. E. Meuffels, M. M. Vissers, S. M. a Bierma-Zeinstra, J. a N. Verhaar, C. B. Terwee, and M. Reijman, "Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score or International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form: which questionnaire is most useful to monitor patients with an anterior cruciate ligament rupture in the short term?," *Arthroscopy*, vol. 29, no. 4, pp. 701–15, Apr. 2013.
- [55] O. A. Lien, E. J.-L. Aas, S. Johansen, T. C. Ludvigsen, W. Figved, and L. Engebretsen, "Clinical outcome after reconstruction for isolated posterior cruciate ligament injury.," *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, vol. 18, no. 11, pp. 1568–72, Nov. 2010.
- [56] A. Trepczynski, I. Kutzner, E. Kornaropoulos, W. R. Taylor, G. N. Duda, G. Bergmann, and M. O. Heller, "Patellofemoral joint contact forces during activities with high knee flexion.," *J. Orthop. Res.*, vol. 30, no. 3, pp. 408–15, Mar. 2012.
- [57] R. M. Ehrig, W. R. Taylor, G. N. Duda, and M. O. Heller, "A survey of formal methods for determining the centre of rotation of ball joints," *J. Biomech.*, vol. 39, no. 15, pp. 2798–2809, Feb. 2016.
- [58] V. Camomilla, A. Cereatti, G. Vannozzi, and A. Cappozzo, "An optimized protocol for hip joint centre determination using the functional method," *J. Biomech.*, vol. 39, no. 6, pp. 1096–1106, Mar. 2016.
- [59] H. Boeth, G. Duda, and M. Heller, "Anterior Cruciate Ligament–Deficient Patients With Passive Knee Joint Laxity Have a Decreased Range of Anterior-Posterior Motion During Active Movements," *Am. J. ...*, vol. 41, no. 5, pp. 1051–7, May 2013.
- [60] Y. Zhong, "Three-dimensional kinematics and kinetics of the knee in posterior cruciate ligament reconstructed patients during daily activities [dissertation].," Medizinische Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin, 2015.
- [61] E. B. Goudie, E. M. Will, and J. F. Keating, "Functional outcome following PCL and complex knee ligament reconstruction.," *Knee*, vol. 17, no. 3, pp. 230–4, Jun. 2010.
- [62] M. J. Strobel, M. S. Schulz, W. J. Petersen, and H. J. Eichhorn, "Combined anterior cruciate ligament, posterior cruciate ligament, and posterolateral corner reconstruction with autogenous hamstring grafts in chronic instabilities.," *Arthroscopy*, vol. 22, no. 2, pp. 182–92, Feb. 2006.
- [63] J. H. Ahn, H. S. Yang, W. K. Jeong, and K. H. Koh, "Arthroscopic transtibial posterior cruciate ligament reconstruction with preservation of posterior cruciate ligament fibers: clinical results of minimum 2-year follow-up," pp. 194–204, 2006.

- [64] J. M. Hart, B. F. Blanchard, J. a Hart, S. C. Montgomery, R. Schoderbek, and M. D. Miller, "Multiple ligament knee reconstruction clinical follow-up and gait analysis.," *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, vol. 17, no. 3, pp. 277–85, Mar. 2009.
- [65] D. Karataglis, I. Bisbinas, M. a Green, and D. J. a Learmonth, "Functional outcome following reconstruction in chronic multiple ligament deficient knees.," *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, vol. 14, no. 9, pp. 843–7, Sep. 2006.
- [66] Y. Chan, S. Yang, C. Chang, A. C. Chen, L. Yuan, K. Hsu, and C. Wang, "Arthroscopic Reconstruction of the Posterior Cruciate Ligament With Use of a Quadruple Hamstring Tendon Graft With 3- to 5-Year Follow-up," vol. 22, no. 7, pp. 762–770, 2006.
- [67] G. a Arangio, C. Chen, M. Kalady, and J. F. Reed, "Thigh muscle size and strength after anterior cruciate ligament reconstruction and rehabilitation.," *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, vol. 26, no. 5, pp. 238–243, 1997.
- [68] R. Lorentzon, L.-G. Elmqvist, M. Sjöström, M. Fagerlund, and A. R. Fugl-Meyer, "Thigh musculature in relation to chronic anterior cruciate ligament tear : Muscle size , morphology , and mechanical output before reconstruction," pp. 423–429.
- [69] L. Snyder-Mackler, S. Antony, and J. Young, "Electrical Stimulation of the thigh muscles after reconstruction of the anterior cruciate ligament." .
- [70] M. S. Schulz, K. Russe, G. Lampakis, and M. J. Strobel, "Reliability of stress radiography for evaluation of posterior knee laxity.," *Am. J. Sports Med.*, vol. 33, no. 4, pp. 502–6, Apr. 2005.
- [71] S.-J. Kim, S.-K. Lee, S.-H. Kim, S.-H. Kim, and M. Jung, "Clinical outcomes for reconstruction of the posterolateral corner and posterior cruciate ligament in injuries with mild grade 2 or less posterior translation: comparison with isolated posterolateral corner reconstruction.," *Am. J. Sports Med.*, vol. 41, no. 7, pp. 1613–20, Jul. 2013.
- [72] K.-H. Lee, Y.-B. Jung, H.-J. Jung, E.-C. Jang, K.-S. Song, J.-Y. Kim, and S.-H. Lee, "Combined posterolateral corner reconstruction with remnant tensioning and augmentation in chronic posterior cruciate ligament injuries: minimum 2-year follow-up.," *Arthroscopy*, vol. 27, no. 4, pp. 507–15, Apr. 2011.
- [73] G. C. Fanelli and C. J. Edson, "Arthroscopically assisted combined anterior and posterior cruciate ligament reconstruction in the multiple ligament injured knee: 2- to 10-Year follow-up," *Arthroscopy*, vol. 18, no. 7, pp. 703–714, 2002.
- [74] S. U. Scheffler, F. N. Unterhauser, and A. Weiler, "Graft remodeling and ligamentization after cruciate ligament reconstruction," *Knee Surgery, Sport. Traumatol. Arthrosc.*, vol. 16, no. 9, pp. 834–842, 2008.
- [75] W. M. Van Der Tempel, L. J. Salmon, H. A. Williams, and F. N. Sydney, "Endoscopically-assisted single-bundle posterior cruciate ligament reconstruction," pp. 1328–1333.

- [76] H. Gauffin and P. Rockborn, "Knee dislocations: Is reconstruction of the posterior cruciate ligament crucial?," *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.*, vol. 24, no. 3, pp. 371–377, 2014.
- [77] T. Adler, N. F. Friederich, F. Amsler, W. Müller, and M. T. Hirschmann, "Clinical and radiological long-term outcome after posterior cruciate ligament reconstruction and nonanatomical popliteus bypass," *Int. Orthop.*, vol. 39, no. 1, pp. 131–136, 2015.
- [78] J. Nyland, P. Hester, and D. N. M. Caborn, "Double-bundle posterior cruciate ligament reconstruction with allograft tissue: 2-year postoperative outcomes," *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, vol. 10, no. 5, pp. 280–283, 2002.
- [79] S.-J. Kim, S.-K. Lee, S.-H. Kim, S.-H. Kim, and M. Jung, "Clinical outcomes for reconstruction of the posterolateral corner and posterior cruciate ligament in injuries with mild grade 2 or less posterior translation: comparison with isolated posterolateral corner reconstruction.," *Am. J. Sports Med.*, vol. 41, no. 7, pp. 1613–20, Jul. 2013.
- [80] R. Hayashi, N. Kitamura, E. Kondo, Y. Anaguchi, H. Tohyama, and K. Yasuda, "Simultaneous anterior and posterior cruciate ligament reconstruction in chronic knee instabilities: surgical concepts and clinical outcome.," *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, vol. 16, no. 8, pp. 763–9, Aug. 2008.
- [81] M. Tzurbakis, A. Diamantopoulos, T. Xenakis, and A. Georgoulis, "Surgical treatment of multiple knee ligament injuries in 44 patients: 2-8 years follow-up results.," *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, vol. 14, no. 8, pp. 739–49, Aug. 2006.
- [82] S. Iwata, Y. Suda, T. Nagura, H. Matsumoto, T. Otani, T. P. Andriacchi, and Y. Toyama, "Clinical disability in posterior cruciate ligament deficient patients does not relate to knee laxity, but relates to dynamic knee function during stair descending.," *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, vol. 15, no. 4, pp. 335–42, Apr. 2007.
- [83] G. Wexler, D. E. Hurwitz, C. a Bush-Joseph, T. P. Andriacchi, and B. R. Bach, "Functional gait adaptations in patients with anterior cruciate ligament deficiency over time.," *Clin. Orthop. Relat. Res.*, no. 348, pp. 166–175, 1998.
- [84] A. D. Georgoulis, A. Papadonikolakis, C. D. Papageorgiou, A. Mitsou, and N. Stergiou, "Three-dimensional tibiofemoral kinematics of the anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knee during walking.," *Am. J. Sports Med.*, vol. 31, no. 1, pp. 75–79, 2003.
- [85] C. Hubley-Kozey, K. Deluzio, and M. Dunbar, "Muscle co-activation patterns during walking in those with severe knee osteoarthritis," *Clin. Biomech.*, vol. 23, no. 1, pp. 71–80, 2008.
- [86] I. McCarthy, D. Hodgins, A. Mor, A. Elbaz, and G. Segal, "Analysis of knee flexion characteristics and how they alter with the onset of knee osteoarthritis: a case control study.," *BMC Musculoskelet. Disord.*, vol. 14, no. 1, p. 169, Jan. 2013.

- [87] N. Nagano, Y; Naito, K; Saho, Y; Kawashima, “In Vivo Knee Kinematics during Gait Associated with Knee Osteoarthritis Severity,” *In Vivo (Brooklyn)*., vol. 120, no. 1349, pp. 2011–2011, 2011.
- [88] C.-J. Wang, “Injuries to the posterior cruciate ligament and posterolateral instabilities of the knee.,” *Chang Gung Med. J.*, vol. 25, no. 5, pp. 288–97, May 2002.
- [89] M. Englund, “The role of biomechanics in the initiation and progression of OA of the knee,” *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.*, vol. 24, no. 1, pp. 39–46, 2010.
- [90] W. G. Clancy, K. D. Shelbourne, G. B. Zoellner, J. S. Keene, B. Reider, and T. D. Rosenberg, “Treatment of knee joint instability secondary to rupture of the posterior cruciate ligament. Report of a new procedure.,” *J. Bone Joint Surg. Am.*, vol. 65, no. 3, pp. 310–22, Mar. 1983.
- [91] T. P. Andriacchi, P. L. Briant, S. L. Bevill, and S. Koo, “Rotational changes at the knee after ACL injury cause cartilage thinning.,” *Clin. Orthop. Relat. Res.*, vol. 442, no. 442, pp. 39–44, 2006.

## 7 Anhang

### 7.1 Eidesstattliche Versicherung

#### Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Julia Ohde, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Kniestabilität, Kniekinematik und -kinetik nach erfolgreicher Rekonstruktion des hinteren Kreuzbandes im Langzeitverlauf selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -[www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

## 7.2 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.



### 7.3 Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. N. Haas für die Möglichkeit diese Arbeit in seiner Abteilung durchführen zu dürfen sowie für die Bereitstellung des Themas.

Auch meinem Betreuer, Dr. T. M. Jung, gebührt maßgeblicher Dank für das Gelingen des gesamten Projekts, seiner fachlichen Beratung und Unterstützung sowie sein stets offenes Ohr.

Weiterhin möchte ich mich bei den Mitarbeitern des Julius Wolff Instituts Berlin für ihre Hilfe, Unterstützung, Expertise sowie Zusammenarbeit und Bereitstellung der Räumlichkeiten und Materialien bedanken.

Besonderer Dank gilt auch Teresa Benert, ohne die diese Arbeit nur halb so viel Spaß gemacht hätte sowie für die Unterstützung und Freundschaft.

Die vorliegende Arbeit ist meinen Eltern gewidmet, die mir das Studium der Medizin ermöglicht und mich zu jeder Zeit unterstützt haben.

Mein Dank gilt auch meinem Freund für seine Geduld und große Unterstützung sowie meiner Schwester und meinen Großeltern.