

## Spontanheilungsrate und klinische Stabilität nach konservativ versorgter Ruptur des vorderen Kreuzbandes

Klaus Trinnes

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

Vorsitz: Prof. Dr. Gabriele Multhoff

Prüfer\*innen der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. Stephan Vogt
2. Prof. Dr. Rüdiger von Eisenhart-Rothe

Die Dissertation wurde am 02.02.2023 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 15.08.2023 angenommen.



## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	6
1 Einleitung.....	8
1.1 Anatomie des Kniegelenkes.....	9
1.2 Das vordere Kreuzband.....	11
1.2.1 Biomechanik.....	12
1.2.2 Propriozeption .....	14
1.2.3 Verletzungen des vorderen Kreuzbandes .....	15
1.2.3.1 Epidemiologie der vorderen Kreuzbandruptur .....	15
1.2.3.2 Ätiologie der vorderen Kreuzbandruptur .....	15
1.2.3.3 Diagnostik .....	16
1.2.3.4 Behandlungsmöglichkeiten der vorderen Kreuzbandruptur .....	17
1.2.3.5 Vorgehen in der Hessing-Klinik Augsburg .....	17
1.3 Zielsetzung.....	19
2 Methodik.....	20
2.1 Allgemeine Patientendaten .....	20
2.2 Ein- und Ausschlusskriterien .....	21
2.3 Datenerfassung .....	23
2.3.1 Evaluation Begleitverletzungen im MRT .....	23
2.3.2 Kategorisierung der VKB-Ruptur in der MRT .....	26
2.3.3 Beurteilung der intraoperativen Situation.....	27
2.3.4 Nachlese der durchgeführten Untersuchung in Narkose .....	27
2.3.5 Nachlese arthroskopische Diagnostik/ Operationstechnik .....	27
2.3.6 Nachlese MRT-Bericht zum Abgleich auf übersehene Begleitverletzungen ....	28
2.3.7 Vermessung des <i>Posterior Inferior Tibial Slope</i> (PITS).....	28
2.4 Nachuntersuchung.....	29
2.4.1 Fragebogen IKDC .....	30
2.4.2 Tegner Activity Scale (TAS).....	31
2.4.3 körperliche Untersuchung IKDC .....	32
2.4.4 Apparative Messung der anterioren tibialen Translation (ATT) .....	36
2.4.5 Funktionstest .....	37
2.5 Statistik und Software .....	38
3 Ergebnisse .....	39
3.1 Auswertung der retrospektiv erfassten Daten.....	39

3.1.1	Einfluss der Begleitverletzungen.....	39
3.1.2	Einfluss der Art der Verletzung .....	41
3.1.2.1	Rupturlokalisierung .....	41
3.1.2.2	Rupturmuster .....	42
3.1.2.3	Integrität des Bandstumpfes.....	43
3.1.3	Einfluss des <i>Posterior inferior Tibial Slope (PITS)</i> .....	44
3.2	Auswertung der Nachuntersuchung.....	46
3.2.1	Therapieversager .....	46
3.2.2	Auswertung IKDC-Score .....	46
3.2.3	Einfluss der <i>Follow-Up</i> -Zeit auf den IKDC-Score .....	47
3.2.4	Einfluss des Patientenalters auf den IKDC-Score.....	48
3.2.5	Auswertung Tegner Activity Scale (TAS).....	49
3.2.6	Auswertung der apparativen Messung per <i>KT-1000</i> .....	50
3.2.7	Auswertung der Gruppengrade.....	52
3.2.7.1	Erguss.....	52
3.2.7.2	Passives Beweglichkeitsdefizit.....	53
3.2.7.3	Ligamentuntersuchung .....	54
3.2.7.4	Funktionstest .....	55
3.2.7.5	Zusammenfassung Gruppengrade .....	56
3.3	Zusammenfassung der Hauptergebnisse .....	58
4	Diskussion.....	61
4.1	Diskussion des Materials.....	62
4.2	Diskussion der Methode .....	63
4.3	Diskussion der Ergebnisse .....	65
4.3.1	Spontanheilungsrate .....	66
4.3.2	Therapieversager .....	67
4.3.3	Begleitverletzungen.....	68
4.3.4	Kreuzbandverletzung .....	69
4.3.5	<i>Posterior inferior Tibial Slope</i> .....	70
4.3.6	<i>Follow-Up</i> -Untersuchung .....	71
4.4	Limitationen der Studie.....	77
4.5	Ausblick.....	78
5	Zusammenfassung .....	79
6	Literaturverzeichnis.....	82
7.	Abbildungsverzeichnis .....	93
8.	Anhang.....	95

a.	Fragebogen IKDC subjektiv .....	95
b.	Tegner Activity Scale .....	97
c.	Untersuchungsbogen zur objektiven Kniefunktion (modifiziert nach IKDC).....	98
9.	Danksagung .....	99

# Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
AM	Anteromediales (Bündel)
AR	Außenrotation
ASK	Arthroskopie
ATT	anteriore tibiale Translation
BTB	Bone-Tendon-Bone (Transplantat)
COX	Cyclooxygenase
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.
FNE	Freie Nervenendigung
HKB	hinteres Kreuzband
IR	Innenrotation
LCL	Ligamentum collaterale laterale (lateral collateral ligament)
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
LSI	Limb Symmetry Index
MCL	Ligamentum collaterale mediale (medial collateral ligament)
MDC	minimal detectable change
MRT	Magnetresonanztomografie
N.	Nervus
Nn.	Nervi
NSAID	Non-steroidal anti-inflammatory drugs
PITS	Posterior-inferior tibial slope
PL	Posterolaterales (Bündel)
SD	Standard Deviation (Standardabweichung)

ST-G	Semitendinosus-Gracilis (Plastik)
TAS	Tegner Activity Scale
VKB	vorderes Kreuzband

# 1 Einleitung

Rupturen des vorderen Kreuzbandes (VKB) stellen als häufige und nicht selten mit deutlicher Einschränkung der Kniegelenksfunktion einhergehende Verletzung einen zentralen Aspekt der modernen Kniechirurgie dar. Auch wenn VKB-Verletzungen in der heutigen Zeit mittels arthroskopischer Operationstechniken vergleichsweise schonend operiert werden können und die biomechanischen Eigenschaften der Bandplastiken sehr nah an die der ursprünglichen Bandstruktur heranreichen (Zampeli et al. 2018), so sind Zielparameter wie femorotibiale Osteoarthritis oder die alltägliche Kniefunktion zwischen der operativen und der konservativen Behandlung nicht in hohem Maße verschieden (Smith et al. 2014). Gerade die für den Patienten entscheidende Frage, ob die subjektive Kniegelenksfunktion durch eine OP immer signifikant verbessert werden kann lässt sich anhand der verfügbaren Studienlage nicht sicher mit „ja“ beantworten (Frobell et al. 2013). Aufgrund dieser bisherigen Studienergebnisse ist es schwer zu beantworten, warum nach Kreuzbandruptur die OP auf lange Sicht bei der Alltagsfunktion des Gelenkes in einigen Fällen keinen entscheidenden Vorteil bringt. Dass ein insuffizientes VKB zur Wiederherstellung einer zufriedenstellenden Funktion und zur Vermeidung von Folgeschäden ersetzt werden muss, steht in aller Regel außer Frage. Genauso ist aber auch klar, dass das native VKB mit biomechanischen und propriozeptiven Eigenschaften ausgestattet ist die eine Plastik in der Form nicht bieten kann. Jede Operation konfrontiert den Patienten zudem mit Risiken und Einschränkungen. Es stellt sich also die Frage, ob gewisse Rupturformen auch einer konservativen Therapie zugänglich sein können und worin ein möglicher Erklärungsansatz für gute konservative Ergebnisse liegen könnte. Die bisher vergleichsweise wenig beschriebene spontane Heilung des rupturierten VKB soll dazu genauer untersucht werden (Costa-Paz et al. 2012; Malanga et al. 2001).

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, die Beobachtung von vermehrten Spontanheilungen im Intervall von 6 – 8 Wochen nach Verletzung anhand eines größeren Patientenkollektivs genauer zu untersuchen. Es soll der Frage nachgegangen werden, welche Umstände diese Heilung eventuell begünstigen und ob bereits über apparative Diagnostik bestimmter Marker eine Prognose über die Chancen einer spontanen Heilung der verletzten Bandstruktur abgegeben werden kann. Weiterhin soll die Hypothese, dass die Kniegelenke mit spontan eingetretener Heilung des VKB nach einer *Follow-Up*-Zeit von mindestens 12 Monaten subjektiv und objektiv zufriedenstellende Ergebnisse zeigen, überprüft werden.



## 1.1 Anatomie des Kniegelenkes

Das Kniegelenk ist das größte Gelenk des menschlichen Körpers. Es handelt sich um ein zusammengesetztes Gelenk, knöchern bestehend aus den Condyli medialis et lateralis des distalen Femur, den Facies articulares superiores der proximalen Tibia und der Facies articularis Patellae. Genauere Betrachtung findet im Folgenden der femorotibiale Anteil des Gelenkes.

Die beiden Gelenkanteile von Femur und Tibia bieten durch ihre Formgebung nur eine geringe knöcherne Führung, wodurch der muskulären und besonders auch der passiven Stabilisation durch den kapsuloligamentären Apparat eine herausragende Bedeutung für die Funktion des Gelenkes zufällt.

Das Kniegelenk ist von einer Gelenkkapsel bestehend aus einer straff-fibrösen äußeren Schicht, der Membrana fibrosa, und einer feinen inneren Schicht, der Membrana synovialis, umgeben. Die Kapsel inseriert distal nahe der Knorpel-Knochen-Grenze am anterioren, lateralen und medialen Aspekt des Tibiaplateaus. An der dorsalen Tibia teilen sich die Blätter der Kapsel in Richtung Intercondylarregion auf, sodass die Membrana fibrosa im Bereich der tibialen Insertion des HKB verbleibt, die Membrana synovialis jedoch die Kreuzbänder zentral im Gelenk von anterior mit einem synovialen „Schlauch“ umhüllt (Kohn et al. 2005; Platzer et al. 2013). Die Kapsel überspannt die Gelenkhöhle und inseriert proximal der Knorpel-Knochen-Grenze an den Femurcondylen. Im anterioren Bereich, in dem sie auch die Patella einbettet, umfasst die Gelenkkapsel die Facies patellaris femoris und bildet eine Aussackung, den für die Kinematik der Patella wichtigen Recessus suprapatellaris. Lateral und dorsal inseriert die Kapsel in direkter Nähe proximal der condylären Gelenkflächen. Ähnlich den dorsalen tibialen Kapselverhältnissen teilt sich die Gelenkkapsel auch am dorsalen Femur in ihre zwei Blätter auf, wobei die Synovialmembran in die Tiefe der area intercondylaris gleitet und die Kreuzbänder ebenfalls von anterior umhüllt. Diese Konfiguration der Kapsel in der Area intercondylaris führt dazu, dass die Lage der Kreuzbänder als intrakapsulär, aber extraartikulär beschrieben wird (Jagodzinski et al. 2016; Platzer et al. 2013). Funktionell kommt der Gelenkkapsel zum einen eine passiv stabilisierende Aufgabe zu, da sie mit ihren fibrösen Anteilen Maximalbewegungen limitiert, zum anderen wurden in der Kapsel eingebettete Propriozeptoren beschrieben, die über neuromuskuläre Regelkreise aktive Stabilisationsmechanismen der gelenkumgebenden Muskulatur aktivieren (Ralphs und Benjamin 1994; Standring et al. 2016). Die synoviale Innenschicht der Kapsel übernimmt zudem die wichtige Funktion der Sezernierung von Gelenkflüssigkeit in den Gelenkraum. Diese ist von entscheidender Bedeutung für die Trophik schwach durchbluteter Gewebe wie beispielsweise zentrale Anteile der Menisken oder den Gelenkknorpel.

Der Ausgleich der femorotibialen Inkongruenz findet durch die beiden Menisken statt, welche als „transportable Gelenkpfannen“ (Kapandji 2009) zwischen den beiden Gelenkpartnern im medialen und lateralen Kompartiment verortet sind und bis zu 70% der tibialen Kontaktfläche mit dem Femur ausmachen (Toru Fukubayashi und Hlsashi Kurosawa 1980). Somit wird die axiale Kraftverteilung vom Femur auf die Tibia wesentlich durch die Menisken gewährleistet. Weiterhin ist den Menisken eine limitierende Funktion sowohl bei der Rotation als auch bei der anterioren tibialen Translation (ATT) (Kohn et al. 2005) des Kniegelenkes zu attribuieren – speziell zu Verletzungen der Meniskuswurzeln sind signifikante Zunahmen der Rotations- und Translationsbewegungen der Tibia gegenüber dem Femur im Sinne einer Instabilität beschrieben worden (Frank et al. 2017).

Als weitere wichtige Stabilisatoren des Kniegelenkes stellen sich die Ligamenta collateralia mediale (MCL) et laterale (LCL) dar. Das MCL kann in ein oberflächliches und ein tiefes Blatt aufgeteilt werden. Es verläuft als komplexeres und breiteres der beiden Kollateralbänder mit seinen oberflächlichen, vertikal geordneten Faserzügen vom medialen Aspekt des Epicondylus medialis femoris nach antero-distal etwa 5-8 cm unterhalb des Tibiaplateaus und inseriert dorsal des Pes anserinus superficialis. Die schräg verlaufenden Faserzüge des MCL strahlen vom posteroinferioren Aspekt des medialen Epicondylus in die Gelenkkapsel ein und inserieren zusammen mit dieser am posteromedialen Rand des Tibiaplateaus und im Hinterhorn des medialen Meniskus. Das tiefe Blatt, welches weitgehend nicht mit dem oberflächlichen verwachsen ist, verstärkt die mediale Kapsel und strahlt ebenfalls in den medialen Meniskus ein (Kapandji 2009; Schünke et al. 2011; Standring et al. 2016). Das LCL zieht als runder gut palpabler Strang vom lateralen Epicondylus femoris nach postero-distal außen an das Caput fibulae (Schünke et al. 2011). Durch den Verlauf der Seitenbänder ist deren Funktion als primäre Stabilisatoren der Valgusrotation für das MCL und der Varusrotation für das LCL gegeben. Ferner limitiert das MCL als primärer und sekundärer Stabilisator die Innenrotation der Tibia gegenüber dem Femur im Bereich von etwa 0-60° Flexion und das LCL die Außenrotation der Tibia gegenüber dem Femur von 0-90° Flexion (Kohn et al. 2005). Ähnlich den Meniskuswurzelrupturen können sich auch Verletzungen der Kollateralbänder empfindlich auf die Stabilität des Kniegelenkes auswirken. So bewirkt eine Komplettruptur des MCL eine rotatorische und translatorische Instabilität mit konsekutiver Zunahme der Krafteinwirkung auf das VKB bei Innenrotation der Tibia und bei der ATT (Zhu et al. 2018). Diesen Umstand gilt es besonders bei Begleitverletzungen des VKB zu beachten, wie im Verlauf der Arbeit genauer erörtert wird. Verletzungen des LCL sind insgesamt deutlich seltener als Verletzungen des MCL (Vahlensieck et al. 2015).

Als letzte jedoch nicht minder wichtige passive Stabilisatoren des Kniegelenkes bleiben die Ligamenta cruciata anterius und posterius zu nennen. Da auf die Anatomie des vorderen

Kreuzbandes im Folgenden noch genauer eingegangen wird soll in diesem Abschnitt nur das hintere Kreuzband (HKB) beschrieben werden. Das HKB entspringt als zugstärkstes der Kniebänder (Amis et al. 2003; Kohn et al. 2005; Standing et al. 2016) von der anterioren Fossa intercondylaris des medialen Femurcondylus nahe der Knorpel-Knochen-Grenze, in die es auch mit einigen Fasern einstrahlen kann (Kohn et al. 2005). Das Band nimmt seinen Verlauf zentral im Kniegelenk nach distal und dorsal in den Bereich der Area intercondylaris posterior. Mit seinen distalen Fasern reicht das HKB ca. 7-10 mm über des Tibiaplateau hinaus an das dorsale Caput tibiae (Kapandji 2009; Kohn et al. 2005). Am HKB lassen sich zwei funktionelle Faserzüge abgrenzen: ein anterolaterales Bündel und ein posteromediales Bündel (Amis et al. 2003; Logterman et al. 2018). Kapandji beschreibt zusätzlich ein drittes, intermediäres Bündel (Kapandji 2009). Das HKB ist neben dem VKB als Hauptstabilisator des Kniegelenkes zu sehen. Es verhindert primär die übermäßige posteriore Translation der Tibia gegenüber dem Femur und die Hyperextension (Logterman et al. 2018; Kohn et al. 2005), ebenfalls beschrieben ist eine Zunahme der Innen- und Außenrotation bei HKB-defizienten Kniegelenken in Kadaverstudien (LaPrade et al. 2015).

## 1.2 Das vordere Kreuzband

Das vordere Kreuzband ist eine zentral und in enger topographischer Beziehung zum HKB im Knie verlaufende Struktur. Es entspringt im posteromedialen Bereich an der Innenfacette des lateralen Femurcondylus und zieht in Richtung ventral, medial und caudal durch die Fossa intercondylaris in die anteriore Zone der Area intercondylaris (Kohn et al. 2005; Kapandji 2009). In seinem Ansatzbereich fächert sich das VKB auf und inseriert breitflächig direkt anterior der Eminentia intercondylaris anterior. Diese breite Fächerung ist der engen Beziehung zum femoralen Dach der Fossa intercondylaris, der sogenannten Notch, geschuldet. Unter Beibehaltung seiner kaliberstärkeren bandförmigen Morphologie könnte es zu einer physiologischen Einklemmung, im klinischen Sprachgebrauch als *Impingement* bezeichnet, kommen (Giuliani et al. 2009). Wie vorausgehend angeführt (Kap. 1.1) wird die Lage des VKB innerhalb der Membrana fibrosa, aber außerhalb der die Gelenkhöhle definierenden Membrana synovialis als intrakapsulär, jedoch extraartikulär beschrieben. Somit liegt das VKB in einem von der Membrana synovialis gebildeten "Schlauch", welcher mit einem dichten, netzartigen Geflecht kleinster Blutgefäße ausgestattet ist (Toy et al. 1995). Das Gros der Autoren beschreibt beim VKB zwei funktionelle Bündel, ein anteromediales und ein posterolaterales, welche – genau wie die Kreuzbänder an sich – nach der Lokalisation ihrer tibialen Insertion benannt sind (Markatos et al. 2013; Giuliani et al. 2009; Schillhammer et al. 2016). Obwohl die Theorie der zwei Bündel weitgehend akzeptiert scheint, herrscht noch eine gewisse Kontroverse, da auch ein drittes,

intermediäres Bündel in der Literatur beschrieben ist (Amis und Dawkins 1991; Kato et al. 2012).

Histologisch besteht das VKB aus einer dicht organisierten Kollagenmatrix, die etwa 75% der Trockenmasse des Bandes ausmacht. Es findet sich mit 90% hauptsächlich Typ-I-Kollagen, somit sind die viskoelastischen Eigenschaften mit denen anderer Ligamenta vergleichbar (Giuliani et al. 2009; Markatos et al. 2013). Der übrige Anteil der kollagenen Matrix wird von Kollagen Typ III gestellt. Weiterhin beschreiben (Markatos et al. 2013), dass im Bereich der Insertion des Bandes eine stabile Verbindung zum Knochen geschaffen wird, indem die Kollagenfibrillen des Bandes direkt in die Kollagenfibrillen des Knochens übergehen.

Die Blutversorgung des vorderen (und hinteren) Kreuzbandes wird über die A. media genu, einen Ast der A. poplitea, sichergestellt. Die hauptsächliche Vaskularisation beider Kreuzbänder besteht an den proximalen und distalen knochennahen Enden bei einer geringer ausgeprägten zentralen Blutversorgung (Standring et al. 2016; Toy et al. 1995).

Die Hauptfunktion des vorderen Kreuzbandes besteht in der Limitation der anterioren tibialen Translation und folglich in der Koordinierung der Roll-Gleit-Bewegung der Gelenkpartner in Flexion, wie im folgenden Abschnitt genauer erläutert wird. Als sekundärer Stabilisator fungiert das VKB bei der Innenrotation der Tibia gegenüber dem Femur in jeder Gelenkstellung und der Valgusrotation in Extensionsstellung (Kohn et al. 2005; Markatos et al. 2013; Giuliani et al. 2009; Siegel et al. 2012) Zusätzlich gerät das VKB mit zunehmender Extension unter Spannung und begrenzt diese somit endgradig (Petersen und Tillmann 2002; Kapandji 2009; Markatos et al. 2013).

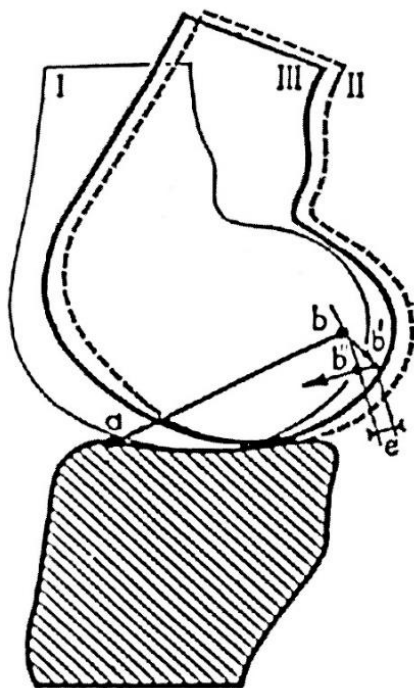
### **1.2.1 Biomechanik**

Die in Kap. 1.1 angesprochene hohe Inkongruenz der artikulierenden Gelenkanteile von Tibia und Femur führt dazu, dass prinzipiell ein großer arthrokinematischer Bewegungsspielraum vorhanden ist. Die grundsätzliche biomechanische Aufgabe des VKB besteht darin, die Bewegung von Tibia und Femur zueinander zu koordinieren, den Umfang überschießender Arthrokinematik zu begrenzen und dem Gelenk Stabilität zu verleihen.

Um die Funktion des VKB bei der Gelenkbewegung zu verstehen ist es zunächst wichtig, sich den sogenannten Roll-Gleit-Mechanismus, der insbesondere bei Flexion des Knies stattfindet, vor Augen zu führen. Die antero-posteriore Ausdehnung der Condylus femoris ist deutlich länger als die des Tibiaplateaus, somit käme es bei einer reinen Rollbewegung des Femur nach dorsal zu einem Hinabrollen des Femur vom Tibiaplateau. Es muss gleichzeitig

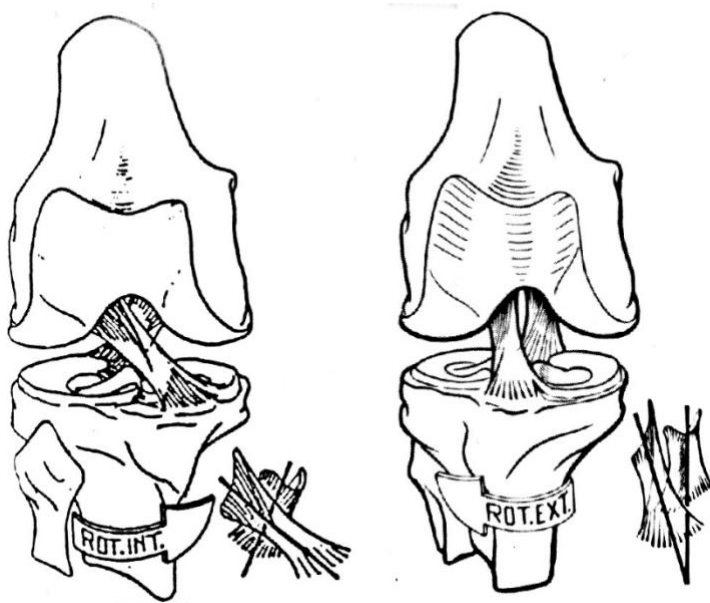
also auch ein Gleiten des Femurs auf der Tibia stattfinden, damit der Kontakt zwischen den Gelenkflächen bestehen bleibt (Standring et al. 2016). Es ist bei der Knieflexion die Aufgabe des VKB, die nach dorsal rollenden Femurcondylen nach ventral gleiten zu lassen (Kapandji 2009), somit die physiologische Bewegung des Gelenkes zu koordinieren und folglich eine starke Beanspruchung der Meniskushinterhörner zu verhindern. Betrachtet man die relative Bewegung der Tibia zum Femur, so verhindert das VKB bei der Flexion eine ventrale Translation, im klinischen Sprachgebrauch als vordere Schublade bezeichnet (vgl. Abb. 1). Bei verletztem VKB kann eben diese gesteigerte Translationsfähigkeit klinisch anhand des *Lachman-Tests* (vgl. Kap. 2.4.3) überprüft werden um die Diagnose zu untermauern. Zwischen 20° und 30° Knieflexion lässt sich das Kreuzband isoliert am sichersten untersuchen. Liegt eine Ruptur des VKB vor, so lässt sich die Tibia um ca. 5-10 mm nach ventral verschieben (Petersen und Tillmann 2002).

Neben der Translation sichern die Kreuzbänder sekundär auch die Rotation, wobei dem VKB vor allem bei der Stabilisierung der Innenrotation eine Rolle zukommt. Dreht sich die Tibia gegenüber dem Femur nach innen, so wickeln sich die Kreuzbänder umeinander, spannen sich gegenseitig und bewirken eine Approximation der femoralen und tibialen Gelenkflächen und die weitere Innenrotation wird blockiert, wie in Abb. 2 schematisch dargestellt (Kapandji 2009; Petersen und Tillmann 2002).



**Abb. 1:** Funktionelle Bedeutung des VKB bei Knieflexion. Die Strecke [ab] stellt schematisch das VKB dar. Ausgehend von der Extension (Stellung I) würde die femorale Insertion ohne koordinierte Roll-Gleit-Bewegung nach b' (bei Stellung II) wandern. Tatsächlich wandert sie aber durch das vom VKB geleistete Zurückhalten des Dorsalrollens des Femur nach b'' (bei Stellung III). Der Punkt b'' befindet sich auf der Kreisbahn des mit dem Radius der VKB-Länge [ab]. Somit hat das VKB ein Dorsalrollen um die Distanz e verhindert

(aus Kapandji 2009)



**Abb. 2:** Darstellung der Kreuzbänder in IR- und AR-Stellung des Kniegelenkes. Bei der Innenrotation „wickeln“ sich die Kreuzbänder umeinander, was zu einer Anspannung des VKB und einer Limitierung der weiteren IR führt (linke Ansicht). Bei der Außenrotation (rechte Ansicht) kommt es zu einer „Parallelisierung“ der Kreuzbänder, es findet keine direkte Bewegungslimitierung statt.

(aus Kapandji 2009)

Was den Spannungszustand des VKB im Verlauf der Bewegung des Knies angeht muss zwischen dem anteromedialen und dem posterolateralen Anteil des Bandes unterschieden werden. In voller Extension sind alle Teile des Bandes angespannt. Bei einer Hyperextension senkt sich zusätzlich die Fossa intercondylaris auf den mittleren Bereich des VKB ab und bewirkt eine Zunahme der Spannung. Ab einer Flexion von ca. 30° nimmt die Spannung im gesamten VKB deutlich ab. Bewegt sich das Gelenk noch weiter in Flexion, so nimmt die Spannung im anteromedialen Anteil des Bandes wieder zu, der posterolaterale Anteil entspannt sich weiter (Kapandji 2009; Amis und Dawkins 1991; Sakane et al. 1996). Das anteromediale Bündel ist über einen größeren Anteil des Bewegungsumfanges unter Spannung als das posterolaterale und wird deshalb von (Fuss 1989) auch als „Führungsbündel“ bezeichnet.

### 1.2.2 Propriozeption

Neben der unmittelbaren Bedeutung für die Stabilität des Knies ist dem vorderen Kreuzband auch eine indirekte Wirkung auf die kontrollierte Bewegung des Gelenkes zuzuschreiben. Im Bereich der Insertionen des VKB befinden sich Rezeptoren, die auf neuromuskulärer Ebene entscheidend zur funktionellen Stabilität des Kniegelenkes beitragen (Nyland et al. 2017). Verschiedene Autoren beschreiben das Vorliegen von diversen Mechanorezeptoren und neuralen Strukturen. Es finden sich afferente sowie efferente freie Nervenendigungen (FNE), Vater-Pacini-Körperchen und Ruffini-Körperchen. Diese sind jeweils subsynovial (Vater-Pacini) bzw. zusätzlich im interfaszikulären Bindegewebe (FNE, Ruffini) am tibialen und femoralen Insertionsbereich des VKB verortet und werden über den N. articularis posterior aus dem N. tibialis an das Nervensystem angeschlossen. (Haus et al. 1992; Halata und

Haus 1989). Funktionell kommt den afferenten FNE die Detektion von unphysiologischen Belastungen im Sinne einer Schmerz Wahrnehmung und den efferenten FNE eine vasomotorische Aufgabe zu (Haus et al. 1992). Die nachgewiesenen Mechanorezeptoren lassen sich funktionell mit ihren allgemein beschriebenen Eigenschaften ihrer Funktion im Knie zuordnen (Haus et al. 1992). So sind die Ruffini-Körperchen als langsam-adaptierende Spannungssensoren für die Detektion länger wirkender Kräfte auf das Gelenk zuständig während angenommen wird, dass den Vater-Pacini-Körperchen als schnell-adaptierenden Sensoren bei unvermittelt stattfindenden Kraftänderungen wie Richtungswechseln eine vermittelnde Rolle zukommt. Der Effektor der beschriebenen Sensoren ist die kniegelenkumgebende Muskulatur (Nyland et al. 2017) Analog dazu konnten Tsuda et al. in ihrer Studie an gesunden männlichen Probanden nachweisen, dass eine arthroskopisch gesteuerte elektrische Stimulation des vorderen Kreuzbandes eine erhöhte elektromyographische Aktivität der ischiocruralen Muskulatur bewirkt (Tsuda et al. 2001).

### **1.2.3 Verletzungen des vorderen Kreuzbandes**

#### **1.2.3.1 Epidemiologie der vorderen Kreuzbandruptur**

Epidemiologische Studiendaten aus Europa und den USA belegen die hohe Relevanz in der Behandlung von Verletzungen des VKB. Mit einer Inzidenz, die bei diversen Autoren je nach Region von 14-69 pro 100.000 Personenjahren in der Allgemeinbevölkerung variiert, gehören Kreuzbandrupturen zu den häufigsten Verletzungen der unteren Extremität (Janssen et al. 2012; Jameson et al. 2012; Gianotti et al. 2009; Sanders et al. 2016). Diese Studien beschreiben die Zahl der chirurgisch versorgten VKB-Rupturen und sind noch höher anzunehmen wenn auch übersehene oder konservativ behandelte Rupturen eingeschlossen wären. Obwohl es belastbare Daten gibt, dass Frauen verglichen mit Männern im Sport ein drei- bis fünffach höheres Risiko für eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes haben (Myklebust et al. 1998; Messina et al. 1999), sind absolut gesehen junge Männer im Alter von 15-35 Jahren am häufigsten betroffen (Gianotti et al. 2009; Loes et al. 2000; Janssen et al. 2012; Sanders et al. 2016). Diese Feststellung ist vermutlich weitgehend auf die höhere Prävalenz von aktiven Männern in den risikoträchtigen Kontaktsportarten wie Fußball, Handball oder American Football zurückzuführen.

#### **1.2.3.2 Ätiologie der vorderen Kreuzbandruptur**

Die Verletzungsmechanismen sind in zahlreichen Studien an Sportlern untersucht worden. Der Großteil der VKB-Rupturen ereignet sich demnach ohne Fremdkontakt (Myklebust et al. 1998; Olsen et al. 2004; Gianotti et al. 2009). Olsen et al. beschreiben in ihrer Studie im

Handballsport, dass VKB-Rupturen vor allem bei schnellen Richtungswechseln mit feststehendem Fuß sowie beim Landen aus Sprungsituationen entstehen. Videoanalysen zeigten hier konsistent eine am Knie angreifende forcierte Valgus-Belastung unter leichter Flexion ( $<10^\circ$ ) mit zusätzlicher Innen- oder Außenrotationskomponente (Olsen et al. 2004). Diese Ergebnisse decken sich mit den Erkenntnissen einer Studie von Johnston et al. an professionellen American Football Spielern, mit dem Unterschied, dass hier die Mehrzahl der Verletzungen in Außenrotationsstellung des Fußes auftraten (Johnston et al. 2018). Für das in Kap. 1.2.3.1 beschriebene höhere Verletzungsrisiko von Frauen werden unterschiedliche Gründe diskutiert: Zyklusabhängige, die Bandlaxizität beeinflussende hormonelle Aspekte (Eiling et al. 2007; Herzberg et al. 2017) sowie mangelnde dynamische muskuläre Kontrolle der Beinachse bei Landungen (Myklebust et al. 1998). Anatomische Unterschiede wie z.B. die Weite der intercondylären Notch werden kontrovers diskutiert, konnten aber bisher nicht zweifelsfrei als geschlechtsspezifischer Risikofaktor herausgestellt werden (Sturnick et al. 2015; Anderson et al. 2001).

### **1.2.3.3 Diagnostik**

Nach den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU) aus dem Jahr 2018 soll die Diagnostik zusätzlich zu den bereits aus der Anamnese erhaltenen Informationen über den Verletzungshergang notwendigerweise noch eine genaue klinische Untersuchung und bildgebende Verfahren enthalten. Bei Vorliegen von entsprechenden Begleiterkrankungen oder bereits geplanter Operation ist außerdem eine Laboruntersuchung vorzunehmen. (Herbort und Lobenhoffer 2018).

Die klinische Untersuchung soll neben der Inspektion und Palpation der relevanten Strukturen des Gelenkes eine aktive und passive Bewegungsprüfung, die Betrachtung des Gangbildes, Meniskustests sowie die Prüfung der Stabilität der Kreuz- und Seitenbänder enthalten. Eine genaue Beschreibung der relevanten klinischen Tests zur Evaluation der Kreuzbandfunktion und dem Untersuchungsprotokoll in der vorliegenden Studie findet sich in Kapitel 2.4.3.

Die gängigen diagnostischen bildgebenden Verfahren sind Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen und die Magnetresonanztomografie (MRT). Während das konventionelle Röntgen dem Ausschluss von Begleitfrakturen oder der Darstellung knöcherner Avulsionen der Kniebandstrukturen dient, zeichnet sich die MRT in der genaueren Wiedergabe der Weichteilstrukturen und Flüssigkeitsverteilungen aus. Es lassen sich Aussagen über die Schwere von Bandverletzungen und deren Lokalisation treffen, außerdem demaskiert die MRT Flüssigkeitsansammlungen im Gelenkraum und im Knochen. Insbesondere bei



Vorliegen im posterolateralen Tibiaplateau und der anterolateralen Femurkondyle sind Knochenödeme diagnostisch wegweisend, da pathognomonisch für eine VKB-Ruptur (Sanders et al. 2000).

#### **1.2.3.4 Behandlungsmöglichkeiten der vorderen Kreuzbandruptur**

Die Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU) aus dem Jahr 2018 legen als Goldstandard die Kreuzband-Ersatzplastik nach VKB-Ruptur nahe. Das körpereigene Transplantat wird zu diesem Zweck zumeist aus den Sehnen des Pes anserinus superficialis, insbesondere M. semitendinosus und M. gracilis entnommen und aufbereitet. Anschließend wird es in einem hauptsächlich arthroskopisch durchgeführten Eingriff über im Gelenkbinnenraum an den ursprünglichen Insertionsstellen des Bandes positionierte Bohrkanäle durch Tibia und Femur eingezogen und befestigt. Alternativ kann das Transplantat auch aus dem Lig. patellae oder der Quadricepssehne entnommen werden.

Seltene, aber von der Leitlinie ebenfalls genannte Therapieoptionen sind die transossäre Refixation unter Augmentation sowie die intraligamentäre dynamische Stabilisierung. Diese beiden Verfahren sind nur bei proximalen und frischen Rupturen in Betracht zu ziehen.

Neben den etablierten operativen Verfahren ist bei isolierter Ruptur des VKB auch die konservative Therapieoption in den Leitlinien vermerkt. Unter engmaschiger Kontrolle und bei schwacher Ausprägung der Symptomatik kann – soweit keine Verschlechterung der Symptome auftritt – auf eine Operation verzichtet werden. Als für einen konservativen Therapieversuch geeignet werden ältere Patienten, Patienten mit einem geringen sportlichen Anspruch oder Patienten, die bereit sind ihren sportlichen Anspruch deutlich zu reduzieren, genannt. (Herbort und Lobenhoffer 2018)

#### **1.2.3.5 Vorgehen in der Hessing-Klinik Augsburg**

In der Hessing-Klinik Augsburg wird bei diagnostizierter Ruptur des VKB frühestens 6 – 8 Wochen nach der Verletzung eine Operation zur arthroskopischen Ersatzplastik geplant. Innerhalb dieses Zeitraumes werden üblicherweise physiotherapeutische Anwendungen zur Schwellungsreduktion, Förderung der Beweglichkeit und Kräftigung der kniegelenksumgebenden Muskulatur rezeptiert. Es wird schmerzadaptiert bis zur Vollbelastung gesteigert, die Beweglichkeit wird ebenfalls schmerzangepasst sukzessive freigegeben. Zudem wird eine 4-Punkt-Knieorthese angepasst (M.4s® comfort, medi GmbH & Co. KG, Bayreuth, Deutschland), um translatorische Bewegung des Knies im

physiologischen Rahmen zu halten. Nach 6 – 8 Wochen findet eine ambulante Re-Evaluation des verletzten Gelenkes mittels einer körperlichen Untersuchung statt. Dabei wird besonders auf Instabilitätszeichen wie einen positiven *Lachman*- oder *Pivot-Shift-Test* geachtet. Zudem findet eine genaue Anamnese bezüglich der subjektiven Stabilität statt. Bei weiterhin bestehender Instabilität wird dem Patienten zur Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes geraten. Zeigen sich sowohl die subjektive Instabilität als auch die Befunde des *Lachman*- und *Pivot-Shift-Test* als Normalbefund, so wird dem Patienten zur letzten Sicherheit eine OP auf Wunsch angeboten. Üblicherweise kann sich in diesen Fällen auf ein komplett konservatives Procedere geeinigt werden. Sind die Beschwerden rückläufig und eine Instabilität des Gelenkes in der Untersuchung sowie im Bericht des Patienten nicht sicher festzustellen, werden dem Patienten gemäß DGU-Leitlinien zur vorderen Kreuzbandruptur (Herbort und Lobenhoffer 2018) zwei Optionen angeboten:

1. Physiotherapeutische Weiterbehandlung und nochmalige Re-Evaluation zu späterem Zeitpunkt
2. zeitnahe Planung einer Operation zur Ersatzplastik, wobei dem Operateur nach vorheriger Absprache mit dem Patienten die Entscheidungsbefugnis erteilt wird, die Operation wie geplant durchzuführen oder unter bestimmten Bedingungen abbrechen. Die Voraussetzungen für einen Abbruch sind - zusammen mit der präoperativ guten subjektiven Einschätzung des Patienten - ein maximal erstgradiger *Lachman*- und *Pivot-Shift-Test* in der Narkoseuntersuchung sowie im arthroskopischen Aspekt ein auf Tasthakenzug stabil und orthotop eingeheltes VKB. Die angewandte Operationstechnik zur geplanten Ersatzplastik ist eine anatomische Rekonstruktion in Einzelbündeltechnik und femoraler Fixation mit ACL TightRope® (Arthrex® Inc., Naples, Florida, U.S.A.). Standardmäßig wird ein Autograft der Semitendinosus-/ Gracilissehne entnommen, dies wird vierfach gefaltet und armiert. Über einen Durchzugsfaden wird der Endobutton des TightRope®-Systems auf der lateralen Kortikalis des Femur angebracht und anschließend das Transplantat über die tibialen und femoralen Bohrkanäle anatomisch platziert. Die tibiale Fixation erfolgt über eine BioComposite™ Interferenzschraube (Arthrex® Inc., Naples, Florida, U.S.A.).

### **1.3 Zielsetzung**

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, die Beobachtung von vermehrten Spontanheilungen im Intervall von 6 – 8 Wochen nach Verletzung anhand eines größeren Patientenkollektivs genauer zu untersuchen. Es soll der Frage nachgegangen werden, welche Umstände diese Heilung eventuell begünstigen und ob bereits über apparative Diagnostik bestimmter Marker eine Prognose über die Chancen einer spontanen Heilung der verletzten Bandstruktur abgegeben werden kann. Weiterhin soll die Hypothese, dass die Kniegelenke mit spontan eingetretener Heilung des VKB nach einer *Follow-Up*-Zeit von mindestens 12 Monaten subjektiv und objektiv zufriedenstellende Ergebnisse zeigen, überprüft werden.

## 2 Methodik

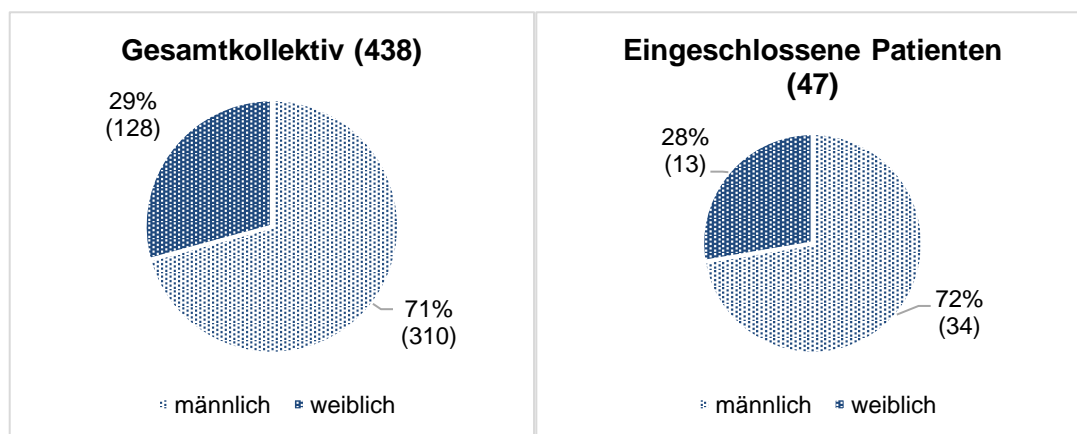
Bei der von uns durchgeführten Studie handelt es sich um eine retrospektive Kohortenstudie mit *Follow-Up*-Untersuchungen im Mindestabstand von 12 Monaten. Die Studie ist dem Evidenzgrad III zuzuordnen (Wright et al. 2003), und zielt darauf ab, die Spontanheilungsrate des VKB kritisch zu untersuchen sowie die subjektive und objektive Kniefunktion der eingeschlossenen Patienten im *Follow-Up* zu erfassen und zu bewerten.

Vor Beginn der Durchführung unserer Studie wurde ein Ethikantrag bei der Ethikkommission der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München Klinikum Rechts der Isar (TU München) eingereicht. Dieser wurde am 05.12.2018 positiv votiert.

Die nachfolgenden Punkte beschreiben die Patientenkohorte und die verwendeten Methoden.

### 2.1 Allgemeine Patientendaten

Als Grundlage für die Studie dienen alle Patienten, die zwischen dem 1.1.2014 und dem 6.10.2017 für eine Arthroskopie zur Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes in der Helsing-Klinik Augsburg geplant waren. Dies trifft im genannten Zeitraum auf 438 Patienten zu (310 männlich und 128 weiblich  $\hat{=}$  70,8% bzw. 29,2%). Nach Anwenden der im Folgenden aufgeführten Ein- und Ausschlusskriterien konnten aus dem Gesamtkollektiv 47 Patienten (34 männlich und 13 weiblich  $\hat{=}$  72,3% bzw. 27,7%) in die Studie eingeschlossen werden. Die Geschlechterverteilung ist grafisch in Abb. 3 dargestellt. Das mittlere Patientenalter zum Zeitpunkt der Arthroskopie betrug 27,4 Jahre beim Gesamtkollektiv (8 – 64 Jahre) und 33,5 Jahre bei den eingeschlossenen Patienten (18 – 63 Jahre).



**Abb. 3:** Geschlechterverteilung der Patienten

## 2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Es wurden vor der Erfassung der Daten Ein- und Ausschlusskriterien definiert, um bei der abschließenden Bewertung der Gelenkfunktion eine möglichst gute Eingrenzung auf die Stabilität des vorderen Kreuzbandes zu erreichen. Störfaktoren für die Beurteilung der Rotationsstabilität des vorderen Kreuzbandes bewirkten einen Ausschluss aus der Studie.

Die Kriterien für einen Einschluss in die Studie waren die Folgenden:

- Gesicherte Diagnose der VKB-Ruptur im MRT
- Arthroskopisch gesicherte suffiziente und spontane Einheilung des rupturierten VKB
- Maximal erstgradiger Pivot-Shift und maximal erstgradiger *Lachman-Test* in der Narkoseuntersuchung
- Vollendetes 18. Lebensjahr

Von der Studie ausgeschlossen wurden Patienten, welche folgende Kriterien erfüllten:

- Abriss mindestens einer Meniskuswurzel
- Komplettruptur von MCL und/ oder LCL
- Weitere operative Intervention im Bereich des Kniegelenkes
- Vorbestehende Verletzungen oder Operationen am betroffenen VKB

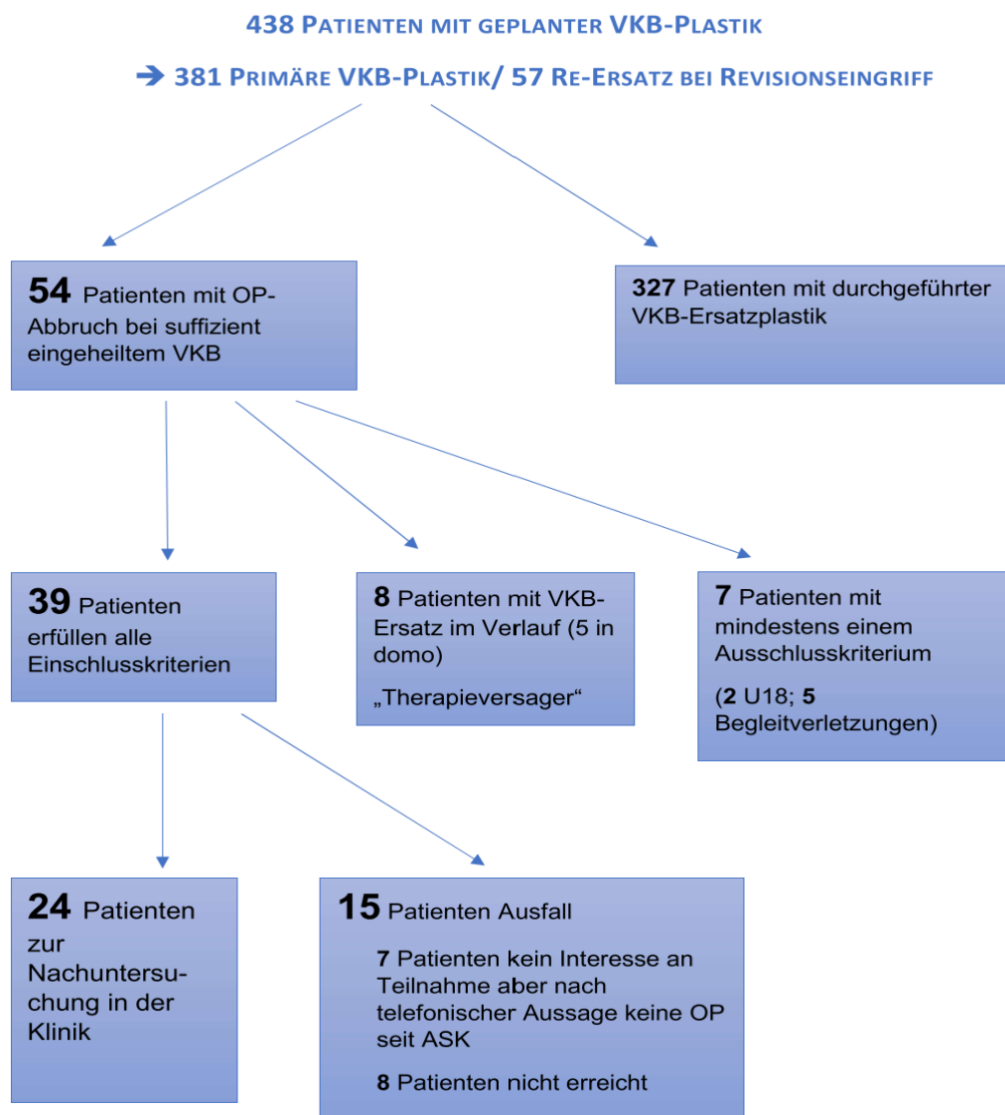
Es ergibt sich unter Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien somit die in Abb. 4 dargestellte Übersicht über unser Patientenkollektiv.

Im Untersuchungszeitraum wurden 381 primäre VKB-Plastiken geplant, welche bei 327 Patienten durchgeführt wurde (85,8%). Die übrigen 54 Patienten (14,2%) zeigten im Operationssitus ein suffizient eingeheltes und stabiles VKB, weshalb die OP unter den in Abschnitt 1.2.3.5 genannten Kriterien abgebrochen wurde. Von den Patienten, deren OP ohne Ersatzplastik abgebrochen wurde sind 47 (87,0%) für die Nachuntersuchung einschussfähig, während 7 Patienten (13,0%) Kriterien aufweisen, die einen Ausschluss aus der Studie bedingen. Eine Darstellung der Gründe für den Ausschluss dieser Patienten ist Abb. 5 zu entnehmen. 8 Patienten (17,0%) mussten als Therapieversager klassifiziert werden und waren somit für eine Nachuntersuchung nachträglich auszuschließen. In diesen Fällen ist seit der Arthroskopie ein Ersatz des verletzten Kreuzbandes notwendig geworden. In 7 Fällen war eine zunehmende Instabilität für die Revision verantwortlich, in einem Fall ein erneutes Trauma des Kniegelenkes. 5 der Patienten erhielten die Ersatzplastik ebenfalls in

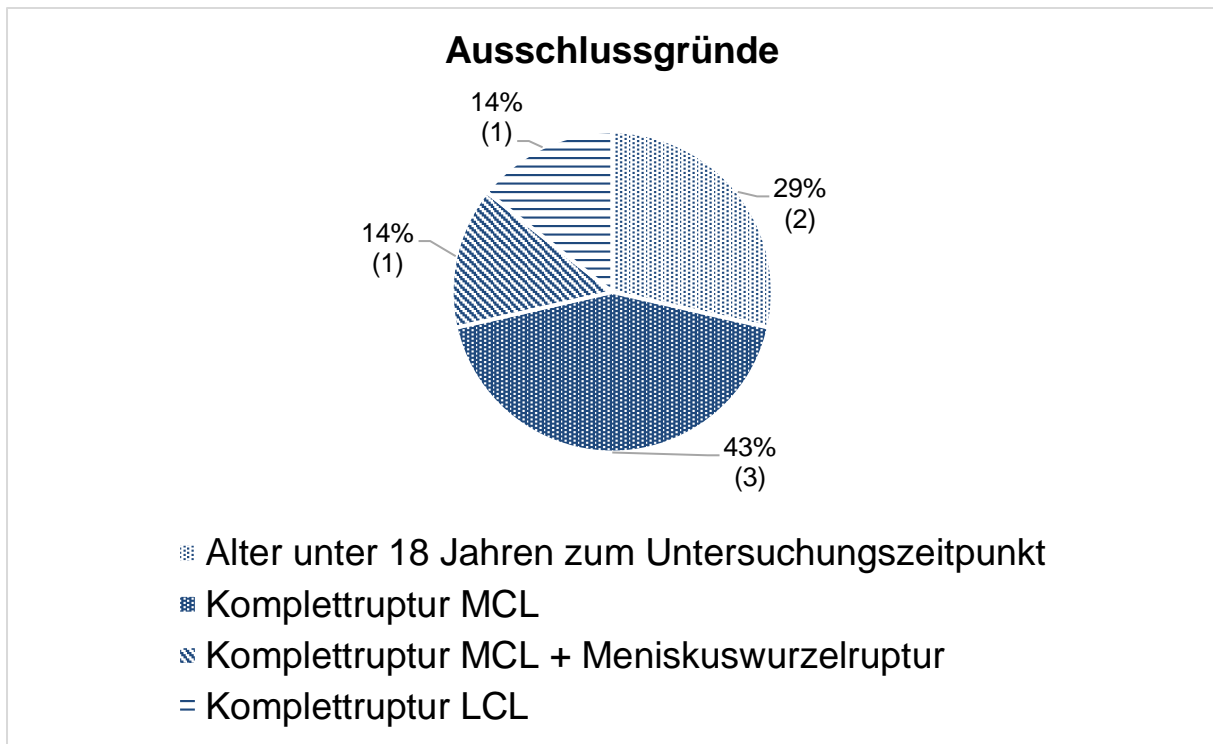
der Hessing-Klinik Augsburg, 3 Patienten in einer anderen Klinik. Nach allen Ausschlüssen waren damit 39 Patienten für eine Nachuntersuchung in unserer Klinik geeignet.

Die 39 in die Studie eingeschlossenen Patienten wurden zur Nachuntersuchung zunächst postalisch und anschließend telefonisch kontaktiert. Aus dieser Gruppe konnten 24 Patienten (61,5%) für eine Nachuntersuchung in der Hessing-Klinik Augsburg gewonnen werden. 7 Patienten (18,0%) zeigten kein Interesse an einer Teilnahme an der Studie, es konnte jedoch von Patientenseite telefonisch versichert werden, dass bisher keine weitere operative Maßnahme am betroffenen Kniegelenk notwendig war. Weitere 8 Patienten (20,5%) konnten trotz mehrfachem Versuch weder auf dem Postweg noch telefonisch erreicht werden.

Alle Patienten, die zur Nachuntersuchung vorstellig wurden, willigten schriftlich in die Verwendung ihrer Gesundheitsdaten zur statistischen Auswertung ein.



**Abb. 4:** Gesamtübersicht Patientenkollektiv



**Abb. 5:** Übersicht Gründe für den primären Ausschluss

## 2.3 Datenerfassung

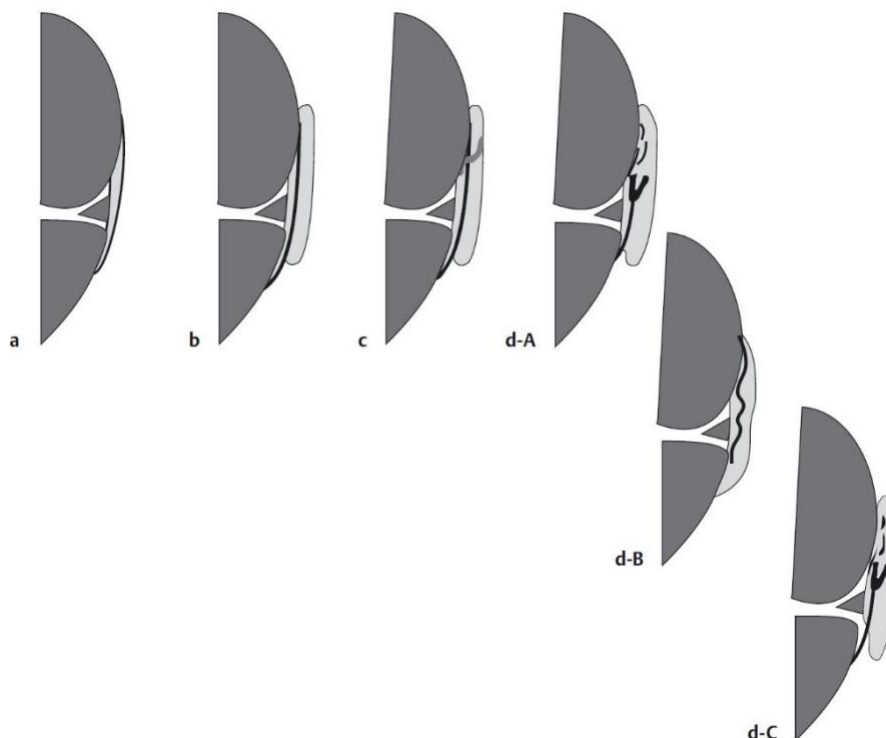
Die retrospektive Datenerfassung erfolgte aus der elektronischen Patientendatenbank der Hessing-Klinik Augsburg. Die radiologischen Aufnahmen wurden im klinikeigenen PACS-System evaluiert. Um eine standardisierte und unvoreingenommene Beurteilung der MRT-Bilder bei der Datenakquise zu gewährleisten wurde bei jedem Patienten nach dem gleichen aus sieben Schritten bestehenden Schema vorgegangen. Die einzelnen Schritte sind in den folgenden Abschnitten 2.3.1 bis 2.3.7 beschrieben.

### 2.3.1 Evaluation Begleitverletzungen im MRT

Zunächst wurden die MRT-Aufnahmen aller Patienten durch den im Vorhinein speziell geschulten Doktoranden und einen Facharzt der Abteilung auf Begleitverletzungen geprüft. Hierbei galt besonderes Augenmerk jenen Verletzungen, die einen Ausschluss aus der Studie bedingen würden. Es sollten keine Patienten in die Studie eingeschlossen werden, welche neben der Verletzung des VKB weitere potenziell zu einer Rotationsinstabilität des Kniegelenkes beitragende kapsulo-ligamentäre Schäden erlitten haben. Wie bereits in Kap.

1.1 beschrieben, zählen die Ligg. collateralia und die Menisken zu den Strukturen, die neben dem VKB in besonderem Maße zur Rotationsstabilität des Kniegelenkes beitragen.

Bei Schäden am MCL wurde genauer daraufhin untersucht, ob diese als Teilruptur oder als Komplettruptur einzuordnen waren, wobei nur vollständige Rupturen einen Ausschluss aus der Studie zur Folge hatten. Es wurde eine Serie koronarer und axialer Schnitte gewählt, um die Integrität des Bandes in seinen oberflächlichen und tiefen Schichten zu beurteilen. Abb. 6 zeigt eine schematische Übersicht der Innenbandverletzungen in koronarer Ansicht. Die Zeichnung a stellt den Normalbefund des intakten Innenbandes dar. Die Bilder b – d beschreiben Läsionen von Grad I (Zeichnung b) bis zu Grad III (Zeichnung d-A bis d-C). Patienten mit einer Verletzung, die wir als Grad III kategorisierten wurden als Komplettruptur interpretiert und somit ausgeschlossen. Unsere dichotome Einteilung in das Vorliegen oder Nichtvorliegen einer Komplettruptur des MCL machte die Unterscheidung zwischen Grad I und II sowie die genaue Unterteilung in Grad III A-C obsolet. Wie von (Schweitzer et al. 1995) beschrieben, ist die MRT ein probates diagnostisches Mittel, um Rupturen des MCL festzustellen. Indizien sind vor allem eine veränderte Morphologie des Bandes im Sinne eines welligen Verlaufes, eine proximale oder distale Kontinuitätsunterbrechung und ein ausgedehntes subkutanes und fasziales Ödem.

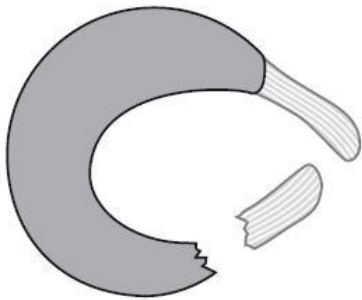


**Abb. 6:** Schematische Darstellung der Innenbandverletzungen im MRT  
(aus Vahlensieck et al. 2015)



Das Vorgehen zur Identifikation von Komplettrupturen des LCL war analog zur Beurteilung des MCL.

Weitere wichtige Strukturen, deren Verletzung einen Ausschluss aus der Studie bewirken könnten und somit einer genauen Prüfung bedurften waren die Menisken. Hier galt es im Speziellen, Rupturen der tibialen Befestigung, der Meniskuswurzeln, zu identifizieren (sog. „*Root-Tears*“). Meniskuswurzelrupturen zeigen typischerweise eine Kontinuitätsunterbrechung und hyperintense Signalalterationen im Bereich der tibialen Anheftungszone (Smet et al. 2009). Eine Ruptur der anterioren Anheftung des Außenmeniskus ist in Abb. 7 in einem axialen Schnitt schematisch dargestellt. Abb. 8 zeigt die koronare Ansicht des MRT-Befundes einer Innenmeniskuswurzelruptur (weißer Pfeil).



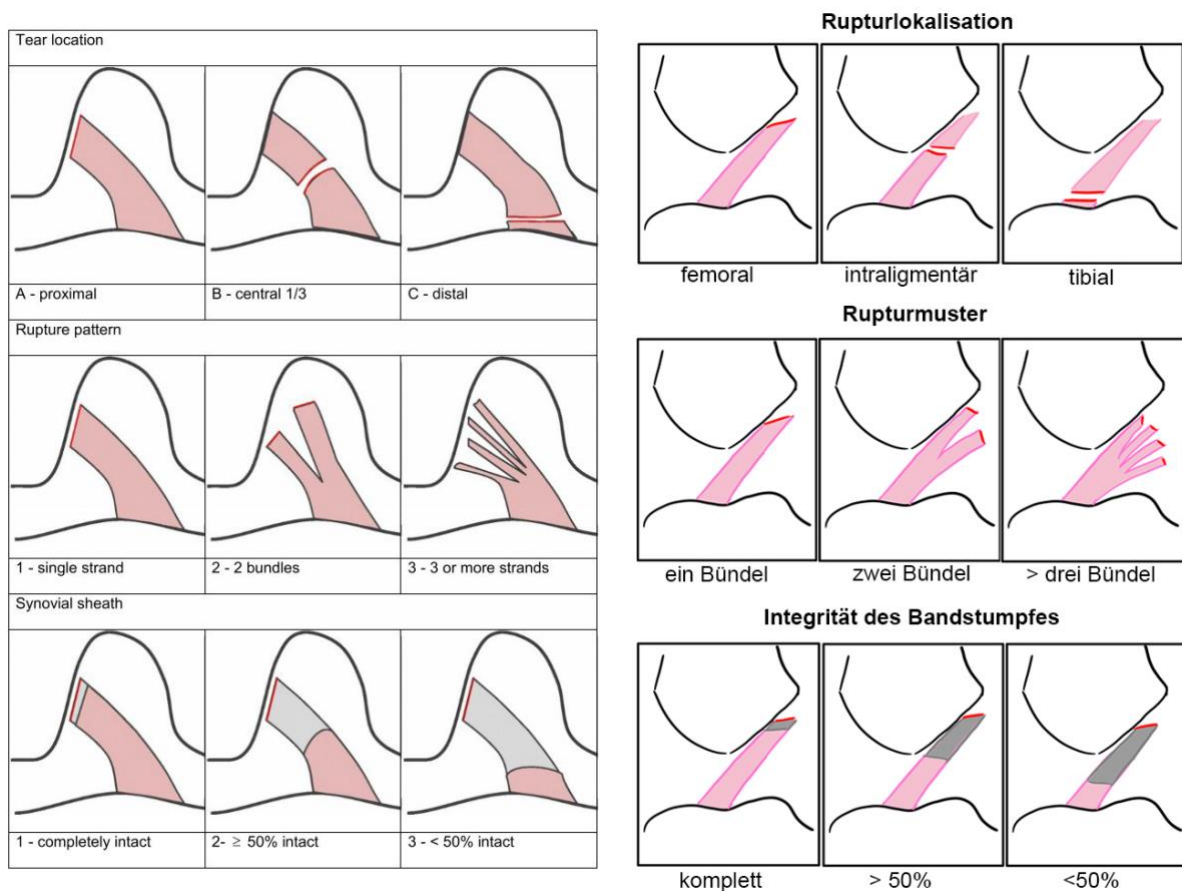
**Abb. 7:** Schematische Darstellung eines *Root-Tear* der vorderen AM-Wurzel  
(aus Vahlensieck et al. 2015)



**Abb. 8:** MRT-Befund eines *Root-Tear* des Innenmeniskus  
(aus Vahlensieck et al. 2015)

### 2.3.2 Kategorisierung der VKB-Ruptur in der MRT

Als zweiter Schritt wurde anhand der MRT-Bilder eine Einteilung der Verletzungsmuster des vorderen Kreuzbandes vorgenommen. Um eine gleichmäßige und reproduzierbare Kategorisierung zu ermöglichen wurden drei Unterkategorien definiert, nach denen die Ruptur des VKB beurteilt werden sollte. Als Grundlage für unsere Befundung diente die auch von Henle et al. verwendete Einteilung in Rupturlokalisierung, Rupturmuster und Integrität des tibialen Bandstumpfes (mitsamt des ihm anliegenden Synovialüberzuges) (Henle et al. 2015). Wir klassifizierten Rupturen als „tibial“, wenn sie zwischen der tibialen Insertion und etwa 25% der Gesamtbandlänge auftraten, zwischen 25% und 75% als „intragamentär“ und von 75% bis zur femoralen Insertion als „femoral“. Abb. 9 zeigt schematisch eine Übersicht der Einteilung in einer sagittalen und einer koronaren Ansicht. Für die Befundung wurden Sagittal- und Koronarschnitte der Intercondylarregion gewählt, die das VKB möglichst langstreckig und deutlich zeigen. Es sollte das Ziel dieser genauen Einordnung der VKB-Verletzung sein, Hinweise auf das mögliche Vorliegen eines Zusammenhanges zwischen den Rupturformen und der Potenz zur Spontanheilung zu erhalten.



**Abb. 9:** Klassifikation der VKB-Verletzungen im MRT. Linkes Schema in koronarer Ansicht (Henle et al. 2015), daran angelehnt das von uns zusätzlich genutzte modifizierte Schema in sagittaler Ansicht auf der rechten Seite.

### **2.3.3 Beurteilung der intraoperativen Situation**

Die intraoperative Situation wurde von den Chirurgen der Hessing-Klinik Augsburg per arthroskopischer Bilddokumentation festgehalten. Anhand dieser Bilder aus der Patientenakte wurde die Vernarbung nach Möglichkeit dokumentiert und in „sehr gut“, „teilweise“ oder „gar nicht“ eingeteilt. Ein weiterer Hinweis auf die Belastbarkeit im Falle einer guten Vernarbung wurde durch die auf Tasthakenzug imponierende Stabilität des Bandes gegeben. Patienten, bei denen keine stabile Vernarbung des Bandes eingetreten war, wurden mit einer Ersatzplastik des vorderen Kreuzbandes versorgt und waren somit für unsere Studie nicht mehr verfügbar.

### **2.3.4 Nachlese der durchgeführten Untersuchung in Narkose**

Um das Bild der präoperativen Funktion des vorderen Kreuzbandes zu erweitern wurde aus den Operationsberichten – wenn dokumentiert – das Ergebnis des *Lachman*- und des *Pivot-Shift-Test* unter Allgemeinanästhesie übernommen. Diese Untersuchung ist deshalb besonders informativ, da sie eine unverfälschte Testung vor allem der Rotationsstabilität des Kniegelenkes durch den *Pivot-Shift-Test* zulässt. Wie Leblanc et al. in einer systematischen Übersichtsarbeit mehrerer Studien zeigen konnten, sind beide Tests aufgrund des muskulären Gegenhalten des wachen Patienten von höherer Spezifität und Sensitivität wenn sie in Narkose durchgeführt werden (Leblanc et al. 2015). Die Einteilung durch die Chirurgen erfolgte für den *Lachman-Test* in die Grade 1-3 und für den *Pivot-Shift-Test* in positiv und negativ. Diese Einteilung übernahmen wir auch in unsere Daten.

Eine genaue Beschreibung von Funktion und Durchführung des *Lachman*- und *Pivot-Shift-Tests* erfolgt in Kapitel 2.4.3 zur Nachuntersuchung der eingeschlossenen Patienten.

### **2.3.5 Nachlese arthroskopische Diagnostik/ Operationstechnik**

Der nächste Schritt sah vor, den aus der Einsicht der Operationsbilder in Abschnitt 2.3.3 gewonnenen Eindruck mit der Dokumentation des Operateurs abzugleichen. Es wurde zunächst der intercondyläre Befund bezüglich der Vernarbung des VKB aus dem Operationsbericht aufgesucht. Dieser wurde analog zu der bereits vorgenommenen eigenen Analyse als „sehr gut“, „teilweise“ oder „gar nicht“ klassifiziert. Die Sicht des Operateurs hatte in unserer Aufzeichnung Vorrang vor dem Eindruck der retrospektiven Datenerhebung.

Unter anderem auf der Grundlage des VKB-Befundes wurde schließlich auch vom Operateur entschieden, ob eine Ersatzplastik angestrebt wurde, oder man sich zum Abbruch der OP entscheiden konnte. Auch dies wurde selbstverständlich in der Datenerhebung festgehalten.

### **2.3.6 Nachlese MRT-Bericht zum Abgleich auf übersehene Begleitverletzungen**

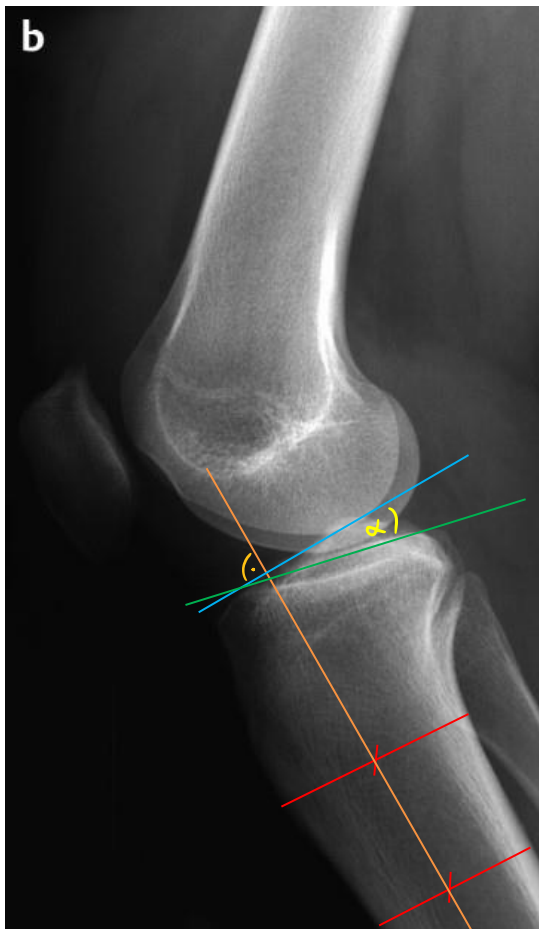
Vorletzter Schritt war die Nachlese des MRT-Berichtes. Alle Patienten wurden von verschiedenen niedergelassenen Radiologen MR-tomographisch untersucht, somit kann bei jedem Patienten von einem erfahrenen Untersucher ausgegangen werden. Die Nachlese des Berichtes fand zum Zwecke der Qualitätssicherung statt. Jene Begleitverletzungen, die einen Ausschluss aus der Studie bedingt hätten, waren in der Regel im Zuge der Befundung für die Studie eindeutig und deckten sich mit dem Befund der Radiologen. Dennoch konnte auf diese Art die Gefahr, gravierende Läsionen der Seitenbänder und der Menisken zu übersehen, minimiert werden. Seitens der Radiologen wurde nur selten eine Aussage über die in Abschnitt 2.3.2 beschriebenen Rupturformen getroffen, sodass hier kaum Vergleiche möglich waren.

### **2.3.7 Vermessung des *Posterior Inferior Tibial Slope* (PITS)**

Am Schluss der retrospektiven Datenerfassung stand die Vermessung des *Posterior Inferior Tibial Slope* (PITS). Dieser beschreibt den posterioren Winkel, zwischen dem Lot auf die Längsachse des Tibiaschaftes und dem Tibiaplateau. Der PITS wurde anhand der präoperativ angefertigten seitlichen Röntgenbilder oder, falls diese nicht verfügbar waren, anhand der sagittalen Schnitte der MRT-Aufnahmen angefertigt. Als Programm zur digitalen Messung diente das PACS-System der Hessing-Klinik Augsburg. Abb. 10 zeigt beispielhaft die Messung des PITS an einem Röntgenbild. Es wurde nach der Methode von Brandon et al. vorgegangen: Zunächst wurde die Längsachse der Tibia (orange Linie) über zwei Hilfslinien (rote Linien) bestimmt. Hilfslinie 1 umfasst den tibialen Durchmesser knapp unterhalb der Tuberositas Tibiae lotrecht zu den Corticales. Hilfslinie 2 umfasst ebenfalls den tibialen Durchmesser analog zu Hilfslinie 1 und befindet sich mindestens 5cm distal ebendieser. Verbindet man die Mittelpunkte der beiden Linien, so erhält man die Tibialängsachse (TL). Am Schnittpunkt der TL mit dem Tibiaplateau wird ein Lot auf die TL gefällt (blaue Linie). Zusätzlich wird eine Tangente an das Tibiaplateau angelegt (grüne Linie). Der dazwischen entstandene Winkel  $\alpha$  beschreibt den PITS (Brandon et al. 2006).

Dieser Schritt erfolgte in einem gesonderten Arbeitsgang für alle Patienten, dem Untersucher war dabei nicht mehr über den Patienten bekannt als die Diagnose der VKB-Ruptur.

Dejour et al. konnten zeigen, dass durch Standbelastung des Beines eine anteriore tibiale Translation ausgelöst wird. Diese ist mit hoher Signifikanz direkt proportional zum PITS und ihre Auslenkung ist dabei am VKB-defizienten Kniegelenk konsistent größer als am gesunden (Dejour und Bonnin 1994).



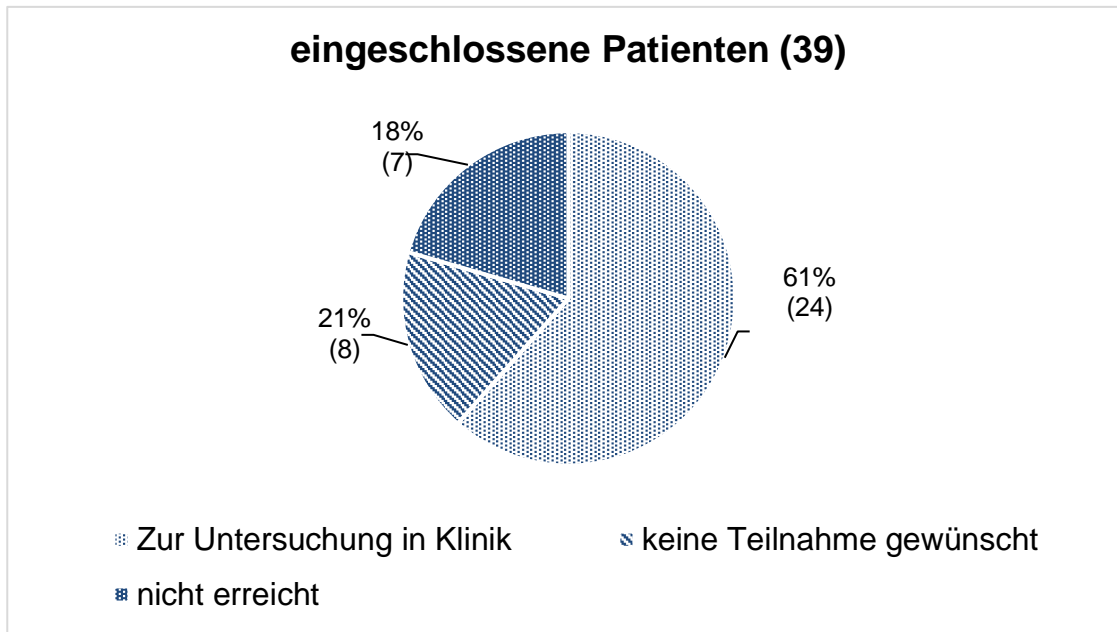
**Abb. 10:** Vermessung des PITS (modifiziert aus Reiser et al. 2017)

## 2.4 Nachuntersuchung

Alle Patienten unterzogen sich zwischen Dezember 2018 und April 2019 einer Nachuntersuchung. Hierbei wurde auf eine erneute Bildgebung verzichtet. Es handelt sich um eine körperliche Untersuchung, die durch standardisierte Fragebögen ergänzt wird.

Wie bereits in Kapitel 2.2 beschrieben, konnten für die *Follow-Up*-Untersuchung zunächst 47 Patienten eingeschlossen werden, deren Zahl reduzierte sich jedoch nach Sichtung der

„Therapieversager“ mit Kreuzbandplastik im Verlauf auf 39. 24 Patienten (61,5%) konnten zur Untersuchung in der Hessing-Klinik Augsburg gewonnen werden. 15 Patienten (38,5%) konnten nicht für die Untersuchung akquiriert werden, da sie weder postalisch noch telefonisch zu erreichen waren (8 Patienten; 20,5%) oder keine Teilnahme an der Studie wünschten (7 Patienten; 18,0%). Abb. 11 zeigt eine Übersicht der eingeschlossenen Patienten.



**Abb. 11:** Übersicht eingeschlossene Patienten

### 2.4.1 Fragebogen IKDC

Für die Erfassung der subjektiven Kniefunktion wurde der Fragebogen des *International Knee Documentation Committee* (IKDC) in deutscher Sprache verwendet. Das IKDC ist eine Konvention aus Experten der *American Orthopedic Society of Sports Medicine* (AOSSM) und der *European Society of Sports Traumatology, Knee Surgery and Arthroscopy* (ESSKA) (Higgins et al. 2007). Der Fragebogen ist in die drei Hauptkategorien Symptome, sportliche Aktivität und Funktion unterteilt und umfasst insgesamt zehn *Multiple-Choice Fragen*. Sieben Fragen (1-7) beziehen sich auf die Symptome, zwei Fragen (8,9) auf die sportliche Aktivität und eine Frage (10) auf die Funktion des Gelenkes. Frage 9 ist nochmals in 9 Sub-Fragen unterteilt, sodass der gesamte Bogen 18 bewertbare *Items* zählt. Ziel des Fragebogens ist es, durch die Verwendung eines standardisierten Assessments einen interindividuell vergleichbaren Wert für die subjektive Kniefunktion des einzelnen Patienten erlangen. Im

Einzelnen adressieren die *Items* das Auftreten von Schmerzen und deren Intensität, Schwellung, Steifigkeitsgefühl, Sperren des Gelenkes, Stabilitätsempfinden, sportliches Aktivitätslevel, Aktivitäten des täglichen Lebens und eine Gesamteinschätzung der Funktion.

Die einzelnen Werte der Fragen werden zu einem *Score* addiert und so umgerechnet, dass dessen Bestwert pro Test 100 sein kann, wobei höhere Punktzahlen eine höhere Funktionsfähigkeit und geringere Symptome repräsentieren. Ein Ergebnis von 100 bedeutet, dass sowohl in den alltäglichen Aktivitäten als auch bei sportlicher Belastung keinerlei Symptome vorliegen und diese ohne Einschränkung ausgeübt werden können.

Auch bei fehlenden Daten kann das Ergebnis des IKDC berechnet werden, sofern mindestens 90% der Fragen beantwortet wurden. Um einen *Score* wie bei vollständiger Beantwortung des Bogens zu erhalten wird für die fehlenden Fragen das Durchschnittsergebnis der beantworteten Fragen eingesetzt und somit wiederum aus allen Werten das Ergebnis berechnet. Dies war in der vorliegenden Studie jedoch nicht notwendig.

Um die Einordnung der *Scores* des IKDC im klinischen Gebrauch zu erleichtern wurden in einer Querschnittsstudie in den USA von Anderson et al. an 5246 Kniegelenken normative Daten erhoben. In der Gesamtpopulation konnte ein Mittelwert von 82 festgehalten werden, wobei erwartungsgemäß eine signifikante negative Korrelation zwischen Patientenalter und IKDC-*Score* gezeigt werden konnte (Anderson et al. 2006). In die Auswertung flossen sowohl Daten von völlig Gesunden als auch von Patienten mit vorbestehenden Kniepathologien ein. Auf Grundlage dieser Studie wählten wir einen *Score* von 80, entsprechend etwa der 25. Perzentile der Daten von Anderson et al. in der betreffenden Altersgruppe, als Richtwert für eine als zufriedenstellend bewertbare globale Kniefunktion.

Ein Exemplar des Fragebogens findet sich zur Einsicht auch im Anhang unter 8.a, Abb. 36 und Abb. 37.

#### **2.4.2 Tegner Activity Scale (TAS)**

Um die globale funktionelle Leistungsfähigkeit der Patienten vor der Verletzung und im aktuellen Zustand festzuhalten wurde in unserer Studie der *Tegner Activity Scale (TAS)* verwendet. Der TAS lässt den Patienten selbst im Rahmen von elf Wertungsstufen von 0 – 10 wählen, in welches Aktivitäts- und Sportniveau er sich einteilt. Der Bogen ist auf eine DIN-A4-Seite beschränkt und in drei Spalten gegliedert. Die mittlere Spalte bietet dem Patienten eine Auswahl an Tätigkeiten verschiedenen sportlichen Anspruches absteigend vom Seitenanfang an. In diesem Teil des Bogens kann zunächst eine grobe Orientierung seitens

des Patienten erfolgen. Der nächste Blick sollte auf die linke Spalte fallen. Hier ist der Aktivitätsgrad aufgelistet, welcher vom Wettkampfsport auf (inter-)nationalem Niveau als höchster über den Freizeitsport bis hin zum Gehen als niedrigster Stufe reicht. Hat sich der Patient also beispielsweise für Fußball als Tätigkeit entschieden und als Aktivitätsgrad den Freizeitsport bestimmt, so muss er in der rechten Spalte die zugehörige Wertungsstufe ankreuzen – im beschriebenen Fall Stufe 7.

Die Stärke des TAS liegt darin, Unterschiede in den Aktivitätsstufen der Patienten vor Verletzungen und nach deren Therapie zu detektieren. Die Fähigkeit des Tests, diese Veränderungen zu messen ist dabei speziell bei Verletzungen des vorderen Kreuzbandes höher als bei anderen Kniepathologien (Briggs et al. 2009). Für die deutsche Fassung des TAS wurde die „*minimal detectable change*“ (MDC) bei 1,4 ermittelt (Wirth et al. 2013). Erst ab diesem Delta kann also von einer nicht zufälligen Veränderung des Wertes ausgegangen werden. Für den einzelnen Patienten bedeutet dies, dass erst ab einem Delta von 2 tatsächlich eine Veränderung der Aktivitätsstufe stattgefunden hat.

Eine Kopie des von uns verwendeten Bogens des TAS ist im Anhang unter 8.b, Abb. 38 bereitgestellt.

### **2.4.3 körperliche Untersuchung IKDC**

Die körperliche *Follow-Up*-Untersuchung der Patienten wurde frühestens 12 Monate nach der von uns durchgeführten Arthroskopie des einzelnen Patienten geplant. Um die Untersuchung bei allen Patienten möglichst nach dem gleichen Standard durchführen zu können wurde ein Untersuchungsbogen angelehnt an den offiziellen Bogen des IKDC erstellt. Der offizielle Untersuchungsbogen des IKDC erfasst neben den allgemeinen Patientendaten, der operierten Seite und der Beweglichkeit beider Kniegelenke sieben weitere Gruppenuntersuchungen. Erguss, passives Bewegungsdefizit, Ligamentuntersuchung, Kompartimentbefunde, Transplantatentnahmemorbidität, Röntgenbefund und Funktionstest. Wir modifizierten diesen Bogen für die Studie. Es wurde auf die Gruppen Kompartimentbefund, Transplantatentnahmemorbidität und Röntgenbefund verzichtet, da sie uns keine differenzierten Aussagen über die Heilung des vorderen Kreuzbandes lieferten oder keine Relevanz in unserer Studie hatten. Auffälligkeiten wie beispielsweise übermäßige Krepitation der Kompartimente wurden – falls vorhanden – gesondert notiert. Bei der Gruppe Ligamentuntersuchung wurde lediglich die genaue Untersuchung des vorderen Kreuzbandes im Untersuchungsbogen übernommen, da schwere anfänglich diagnostizierte oder nachträglich eingetretene Verletzungen der übrigen Ligamentstrukturen einen Ausschluss bedingt hätten und bei unseren Patienten somit ohnehin nicht vorkamen. Neben der



Streichung der drei angesprochenen Gruppen fügten wir eine Umfangsmessung der Oberschenkel im Seitenvergleich hinzu, um Hinweise auf eventuell länger bestehende muskuläre Dysbalancen zwischen beiden Beinen zu erhalten. Jeder Gruppe kann nach Abschluss der Untersuchung anhand der Ergebnisse ein Gruppengrad von A-D zugeordnet werden. Die Gruppengrade unterteilen sich in A – „normal“, B – „fast normal“, C – „abnormal“ und D – „deutlich abnormal“ und richten sich nach dem schwächsten Ergebnis einer Teiluntersuchung innerhalb der Gruppe.

Abschließend kann für jeden Patienten eine Gesamtbeurteilung abgegeben werden. Diese richtet sich nach dem schlechtesten Gruppengrad der vier Hauptkategorien.

Eine Kopie des modifizierten Untersuchungsbogens nach IKDC findet sich im Anhang unter 8.c, Abb. 39.

Die körperliche Untersuchung wurde vom Doktoranden (Student der Humanmedizin im 10. Fachsemester mit vorheriger physiotherapeutischer Ausbildung) und einem Facharzt der Abteilung vorgenommen. Das Vorgehen im Einzelnen war wie folgt: Zunächst wurde ein Anamnesegespräch bezüglich des Verletzungsmechanismus, der zur ursprünglichen Diagnose der VKB Ruptur führte, und der Funktion des Gelenkes in Alltag und Sport seit der Arthroskopie durchgeführt. Anschließend wurde der Patient im Stand und Gang auf Besonderheiten der Beinachsen untersucht. Hier wurden grobe Achsabweichungen varischer oder valgischer Art sowie auffällige Seitendifferenzen notiert. Zu Beginn der Untersuchung in Rückenlage wurde die Beweglichkeit beider Kniegelenke in Extension und Flexion mit einem Goniometer gemessen und nach der Neutral-Null-Methode dokumentiert.

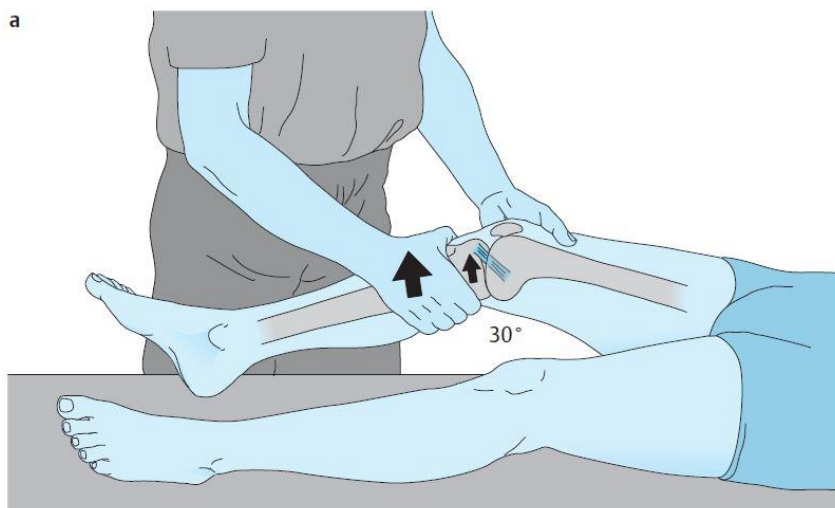
Anschließend wurde der Umfang beider Oberschenkel 15cm oberhalb der Patellaspitze gemessen und auf 0,5 Zentimeter genau gerundet notiert.

Der nächste Punkt sah die Prüfung auf aktuelle Ergussbildung im Gelenk vor. Hierzu wurde bei voll extendiertem Knie der Recessus suprapatellaris mit der einen Hand nach distal ausgestrichen und komprimiert, mit der anderen Hand wurden die übrigen Kapselanteile von medial und lateral komprimiert und mit dem Zeigefinger der gleichen Hand die Patella Richtung Gelenkraum gedrückt. Es wurde darauf geachtet, ob ein „Tanzen“ der Patella auf einem Ergusskissen palpabel war. Je nach Ausprägung des Befundes wurde hier auf Ordinalskalenniveau in „kein“, „leicht“, „mäßig“ oder „deutlich“ eingeteilt.

Der nächste Untersuchungsschritt galt der Ligamentuntersuchung, im Speziellen der Untersuchung der Funktion des vorderen Kreuzbandes. Es wurden die beiden

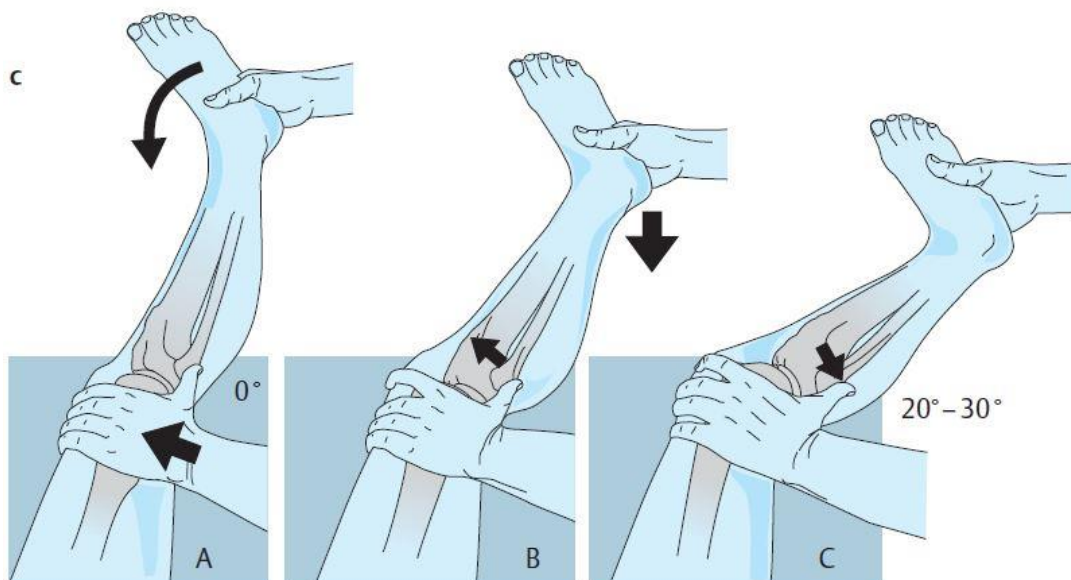
Stabilitätstests, die bereits in der Narkoseuntersuchung zum Einsatz kamen, angewendet: der *Lachman-Test* und der *Pivot-Shift-Test*.

1. Der *Lachman-Test* ist einer der gängigen klinischen Tests um eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes und eine daraus folgende antero-posteriore Instabilität des Kniegelenkes zu eruieren. Der Test wird in Rückenlage in ca. 25 - 30° Flexion durchgeführt. Diese Gelenkstellung eignet sich besonders, da sekundäre Stabilisatoren der anterioren Translation wie der Tractus Iliotibialis und das MCL eine relativ entspannte Position einnehmen und somit eine Isolierte Testung der gesuchten Struktur eher möglich ist (Jagodzinski et al. 2016). Wie Abb. 12 zeigt positioniert sich der Untersucher mit Blick in Richtung Kopf des Patienten und hält mit der patientenfernen Hand den Oberschenkel gelenknah des zu testenden Beines in genannter Stellung von etwa 25° - 30° Flexion. Die patientennahe Hand umgreift das Tibiaplateau und übt einen schnellen Zug parallel zur Verlaufsrichtung des Tibiaplateaus aus. Der Untersucher achtet auf den Bewegungsweg bis zum Widerstand und auf die Qualität des Endgefühls der durchgeführten Bewegung. Das Endgefühl wurde als „fest“ bei sicher spürbarer Anspannung des vorderen Kreuzbandes oder als „unsicher“ bei nicht klar spürbarem festem Endpunkt definiert. Zusätzlich wurde das Delta des Gelenkspiels bis zum Anschlag im Vergleich zur Gegenseite von den Untersuchern bewertet. Eine Einteilung erfolgte nach IKDC in „gleich“, „einfach positiv“, „zweifach positiv“ und „dreifach positiv“. Diese subjektive Bewertung wurde im Lauf der Untersuchung durch eine objektive apparative Untersuchung mit dem *KT-1000™ Arthrometer* unterstützt (siehe Abschnitt 2.4.4)



**Abb. 12:** Durchführung des *Lachman-Tests* (aus Kohn et al. 2005)

2. Der *Pivot-Shift-Test* ist ein etablierter manueller Test zur Überprüfung der Rotationsstabilität des Kniegelenkes. Das zu Grunde liegende biomechanische Prinzip des *Pivot-Shift-Tests* ist die vermehrte Rotation und die Desintegration von Rollen und Gleiten bei einem VKB-Defizienten Kniegelenk (Kittl et al. 2014; Jagodzinski et al. 2016). Abb. 13 stellt die Durchführung der Untersuchung schematisch dar. Der Test wird in Rückenlage des Patienten durchgeführt, das zu testende Bein vom Untersucher bei extendiertem Kniegelenk angehoben. Über die Ferse wird durch die distale Hand eine Innenrotation eingestellt (Abb. 13A). Diese bewirkt sowohl eine Anspannung des Tractus iliotibialis als auch eine Translation des lateralen Kompartiments nach anterior. Die proximale Hand übt Valgusstress auf das Knie aus (Abb. 13B). Aus dieser Position und unter Beibehaltung der voreingestellten Rotationsmomente wird das Knie durch den Untersucher passiv gebeugt. Unter Valgusstress und der daraus resultierenden Kompression des lateralen Kompartiments kommt es insbesondere dort zu einem vermehrten Rollen des Femur nach dorsal. Ab einem Flexionswinkel von etwa 30-40° wandert der Tractus iliotibialis relativ zum Drehpunkt des Gelenkes von ventral nach dorsal und reponiert nun theoretisch das Femur unter einem spür- und hörbaren schnappen zurück auf das Tibiaplateau (Jagodzinski et al. 2016). Tatsächlich findet eine Reposition der Tibia statt, da das Femur mit der Masse des Rumpfes verbunden ist (Abb. 13C). Nach IKDC wurde der Test in Relation zur Gegenseite in „gleich“, „spürbares Gleiten“ ( $\triangleq$  Grad I), „hörbar dumpf“ ( $\triangleq$  Grad II) und „hörbar laut“ ( $\triangleq$  Grad III) eingeteilt.

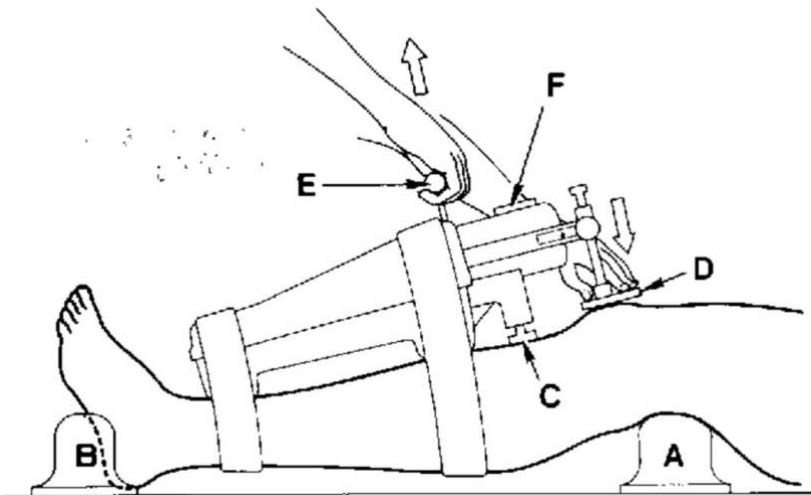


**Abb. 13:** Durchführung des *Pivot-Shift-Tests* (aus Kohn et al. 2005)

#### 2.4.4 Apparative Messung der anterioren tibialen Translation (ATT)

Um die vom vorderen Kreuzband zugelassene anteriore translatorische Bewegung der Tibia gegenüber dem Femur zu quantifizieren wurde eine Messung mittels *KT-1000™ Knee Ligament Arthrometer* (MEDmetric®, San Diego, California, U.S.A.) durchgeführt. Unter Verwendung dieses Messinstrumentes kann anhand von Sensorplatten auf der Tuberositas Tibiae und der Patella die Bewegung der Tibia relativ zum Femur auf 0,5mm genau bestimmt werden (Daniel et al. 1985). Die diagnostische Genauigkeit des *KT-1000™* stellte sich in mehreren Studien als gut dar und konnte sich im Vergleich mit anderen Messgeräten behaupten (Anderson et al. 1992; Wroble et al. 1990). Die Durchführung der instrumentellen Messung geschah analog zur Beschreibung von (Daniel et al. 1985): Die Patienten befanden sich in Rückenlage auf der Liege. Um eine vergleichbare Knieflexion von  $30^\circ \pm 5^\circ$  bei den einzelnen Messungen zu gewährleisten wurde die zum Gerät gehörige Oberschenkelaufgabe (A) verwendet. Die Füße wurden auf der zugehörigen Fußstütze (B) seitengleich positioniert, sodass die Patellae direkt nach oben gerichtet waren. Zudem wurde auf Höhe des mittleren Oberschenkels eine Schlinge um beide Beine gelegt, um eine Veränderung der Rotationsstellung im Kniegelenk zu vermeiden.

Anschließend wurde das Arthrometer wie in Abb. 14 schematisch dargestellt am Unterschenkel angelegt und mit den beiden Schlingen so fixiert, dass die proximale Sensorplatte (D) auf der Patella und die distale Sensorplatte (C) auf der Tuberositas Tibiae zu liegen kam. Mit einer Hand wurde die proximale Sensorplatte Richtung Patella gedrückt, um diese in der Trochlea zu fixieren. Nun wurde mit der anderen Hand am Griff (E) zunächst zur Nullwert-Einstellung dreimal hintereinander Schub nach dorsal gegeben und zwischen den Schüben die justierbare Messanzeige (F), wenn nötig, auf den Ausgangswert „0“ korrigiert. War die Nullstellung in Ruhe eingestellt, so wurde mit der Messung der anterioren tibialen Translation begonnen. Hierzu wurde unter Beibehaltung der manuellen Fixation an der proximalen Sensorplatte ein Zug von bis zu 134N (gekennzeichnet durch den dritten Informationston für die Zugkraft am Gerät) auf den Unterschenkel ausgeübt und die Skala abgelesen. Diese Messung wurde pro Bein dreimal durchgeführt und das Ergebnis gemittelt und auf den vollen Millimeter gerundet notiert. Studien haben gezeigt, dass ausgedehnte interindividuelle Unterschiede in der messbaren ATT vorherrschen (Daniel et al. 1985; Wroble et al. 1990), sodass eine sinnvolle Aussage vor allem über den intraindividuellen Vergleich mit der nicht betroffenen Seite getroffen werden sollte. Nach dem Formblatt des IKDC wurde die ATT bei 134N bis zu einer Seitendifferenz von 2 mm als „normal“, von 3 bis 5 mm als „fast normal“, von 6 bis 10 mm als „abnormal“ und über 10 mm als „deutlich abnormal“ bewertet.



**Abb. 14:** Anlage des KT-1000™ Knee Ligament Arthrometer (aus Daniel et al. 1985)

### 2.4.5 Funktionstest

Den Abschluss der einzelnen Untersuchung markierte der auch im IKDC-Bogen vertretene Einbeinsprungtest (*Single-Legged Hop-Test*). Dieser wird in der Literatur als der gängigste funktionelle Test zur Beurteilung der globalen Kniefunktion nach Kreuzbandverletzung beschrieben (Abrams et al. 2014; Losciale et al. 2019; Grindem et al. 2011). Er wird im Seitenvergleich durchgeführt, wobei pro Seite drei Versuche auszuführen sind und deren gemittelttes Ergebnis in die Wertung eingeht.

Die Patienten standen zu Beginn des Tests immer an gleicher Stelle mit festem Schuhwerk ausgestattet auf gleichem Untergrund (in unserem Setting Teppichboden) und führten den ersten Sprung mit dem nicht betroffenen Bein aus. Es musste mit dem gleichen Bein abgesprungen und gelandet werden, dabei war es erlaubt, den Sprung unter Zuhilfenahme der Arme als Schwunggeber durchzuführen. Es wurde darauf geachtet, dass die Probanden eine sichere Landung auf dem gleichen Bein erreichten. Landungen mit Ausfallschritten oder zusätzlichen kleinen Sprüngen mussten wiederholt werden. Der erreichte Weitenwert wurde zentimetergenau von der Großzehenposition am Startpunkt zur Großzehenposition am Landepunkt erfasst und aus drei Versuchen pro Seite für jedes Bein einzeln gemittelt. Anschließend wurde aus diesen Zahlen der prozentuale Weitenwert der betroffenen Seite in Relation zur nicht betroffenen Seite berechnet und in die vom IKDC-Bogen vorgegebenen Kategorien eingeordnet. Als „normal“ gilt hier für das betroffene Bein ein Wert von  $\geq 90\%$  des nicht betroffenen Beines, als „fast normal“ 89-76%, als „abnormal“ 75-50% und als „deutlich abnormal“  $< 50\%$ .

## **2.5 Statistik und Software**

Alle Daten und Texte wurden mit Microsoft® Excel und Microsoft® Word verwaltet, Abbildungen wurden mit Hilfe von Adobe® Photoshop erstellt bzw. modifiziert.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm „R“ (RStudio, Version 1.2.1335), die Analyse kategorialer Variablen erfolgte mit dem exakten Test nach Fisher. Für stetige Variablen wurde abhängig von der Verteilungsform der Variablen ein t-Test oder der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Bei den Tests wurde ein Signifikanzniveau von 5% gewählt. Für eine unterstützende Beratung zu statistischen Fragen gilt mein Dank meiner Partnerin, M. Sc. (Wirtschaftsmathematik) Jasmin Durstin.

Das Literaturverzeichnis wurde mit Hilfe von Citavi® (Swiss Academic Software, Version 6.8.0.0) organisiert.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Auswertung der retrospektiv erfassten Daten**

Eine Übersicht über das Gesamtkollektiv der Patienten bietet Abb. 4, welche in Kap. 2.2 genauer erläutert wurde. In den folgenden Abschnitten wird zunächst der Einfluss der durch die Verletzung bedingten Parameter (Begleitverletzung, Rupturmuster und Rupturlokalisierung) auf die Spontanheilung des vorderen Kreuzbandes und die daraus folgende Art der Therapie untersucht. Anschließend wird der Einfluss der anatomisch vorgegebenen Beschaffenheit des posterioren tibialen *Slope* untersucht.

Im beschriebenen Zeitraum wurden insgesamt 381 Patienten mit der gesicherten Diagnose „Ruptur des vorderen Kreuzbandes“ in der Hessing-Klinik Augsburg für eine primäre VKB-Plastik vorstellig. Geht man von der Richtigkeit der Diagnose aus, so zeigte sich im arthroskopischen Aspekt bei 54 Patienten ein orthotop und suffizient eingehheiltes VKB. Dies entspricht einer Spontanheilungsrate von 14,2%.

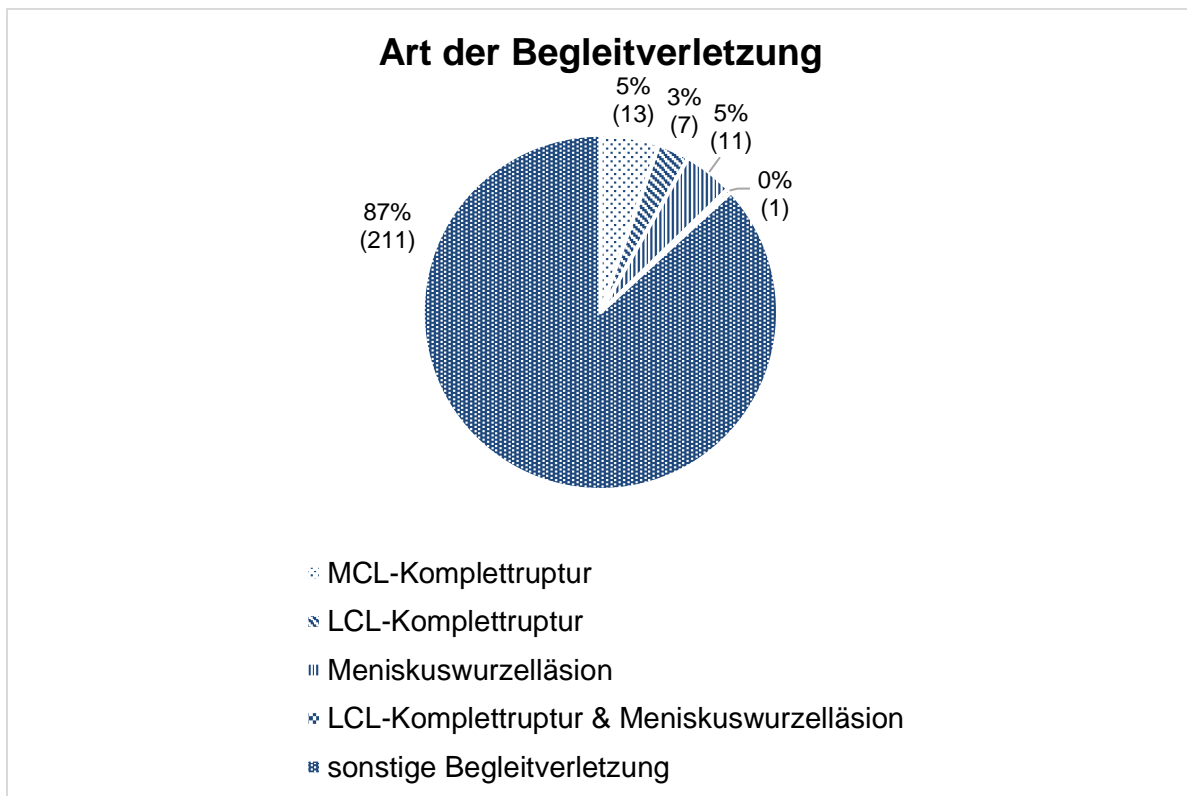
Im folgenden Teil der Auswertung können zwei Vergleichsgruppen gebildet werden. Die Gruppe der Patienten, die wie geplant einen Ersatz des vorderen Kreuzbandes erhielten (Gruppe „Ersatzplastik“, n = 327). Gegenübergestellt wird die Gruppe der Patienten, deren OP unter den in Kap. 1.2.3.5 erläuterten Bedingungen abgebrochen werden und ein konservatives weiteres Therapieregime gefahren werden konnte (Gruppe „OP-Abbruch“, n = 54).

#### **3.1.1 Einfluss der Begleitverletzungen**

243 der 381 arthroskopierten Patienten (63,8%) wiesen mindestens eine Begleitverletzung auf. Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, wurden Komplett rupturen des MCL und/ oder des LCL sowie Läsionen der Meniskuswurzeln als Ausschlusskriterien für die Nachuntersuchung definiert. Auf Grundlage dieser Kriterien mussten 13 Patienten mit einer Komplett ruptur des MCL, 7 Patienten mit einer Komplett ruptur des LCL, 11 Patienten mit Meniskuswurzelläsion und 1 Patient mit einer Kombinationsverletzung aus LCL-Ruptur und Meniskuswurzelläsion ausgeschlossen werden. Die Gesamtzahl der aufgrund von Begleitverletzungen auszuschließenden Patienten beläuft sich auf 32. Bei 27 dieser Patienten war eine Ersatzplastik notwendig, eine Nachuntersuchung demnach ohnehin obsolet. Von den insgesamt 54 Patienten, welche die Einschlusskriterien erfüllen, mussten demnach 5 Patienten aufgrund von Begleitverletzungen ausgeschlossen werden (vgl. Abb. 5)

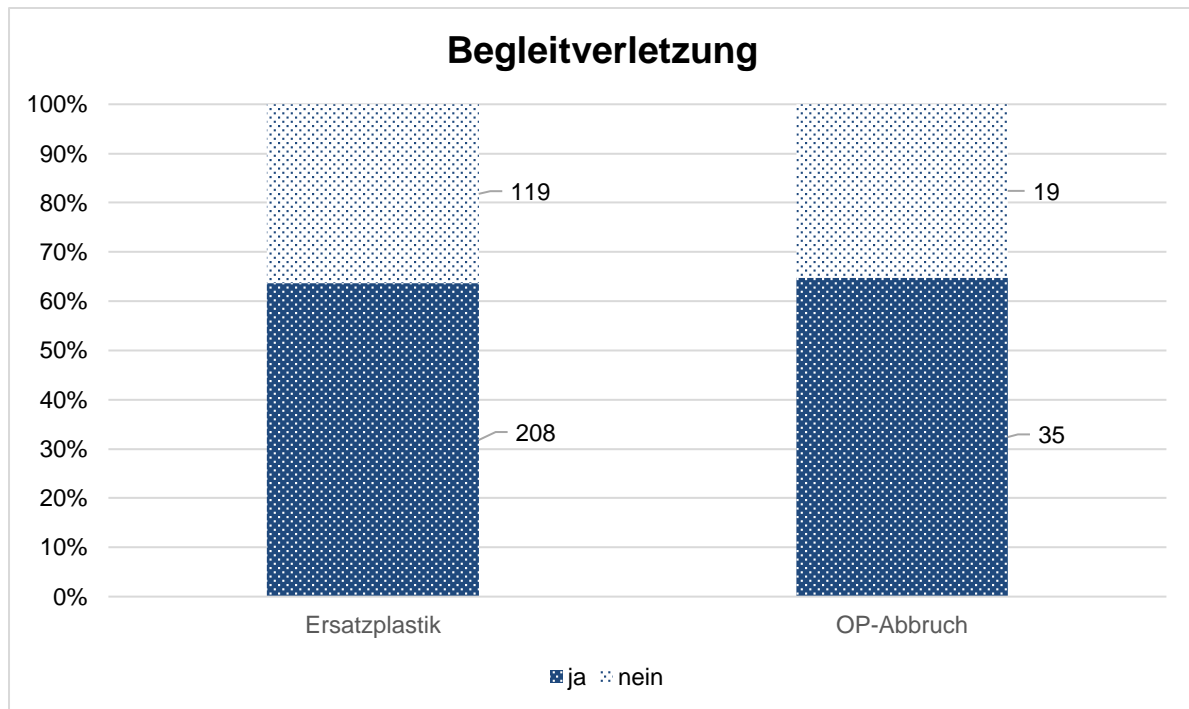
Von den Patienten mit Begleitverletzungen hatten 211 (86,8%) anderweitige Verletzungen, die keinen Ausschluss erforderten. Es handelte sich dabei hauptsächlich um Teilrupturen der Seitenbänder sowie fokale Läsionen der Menisken. Genaue Daten über diejenigen Begleitverletzungen, welche keinen Ausschluss bedingen, wurden nicht erhoben. Abb. 15 zeigt eine Übersicht der Begleitverletzungen.

Es wird untersucht, inwiefern die Begleitverletzungen einen Einfluss auf die Art der Therapie haben. Unter den 327 Patienten, die eine Ersatzplastik erhielten, wiesen 208 (63,6%) eine Begleitverletzung auf. Bei den 54 Patienten, deren arthroskopischer Aspekt einen Abbruch der OP erlaubte befanden sich 35 (64,8%) mit Begleitverletzung. Der Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen ist dabei nicht signifikant ( $p = 1$ ). Eine Übersicht über die Verteilung der Begleitverletzungen bei den Patienten mit Ersatzplastik und den Patienten mit einem OP-Abbruch ist in Abb. 16 dargestellt.



**Abb. 15:** Übersicht der Begleitverletzungen





**Abb. 16:** Übersicht Verteilung der Begleitverletzungen

### 3.1.2 Einfluss der Art der Verletzung

Die Art der Verletzung wurde im MRT genauer untersucht und in Rupturlokalisierung, Rupturmuster und Integrität des verbleibenden Bandstumpfes klassifiziert. In den folgenden Abschnitten wird der Einfluss der einzelnen Parameter auf die Spontanheilung des VKB untersucht.

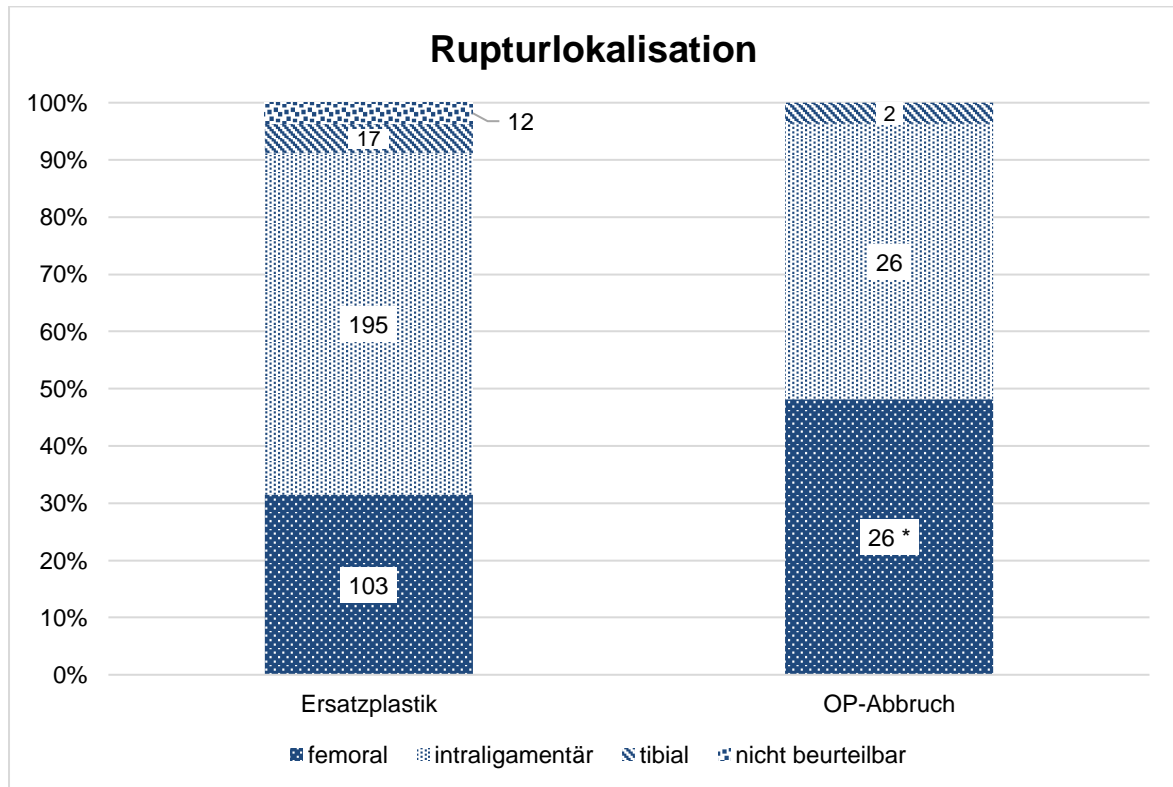
#### 3.1.2.1 Rupturlokalisierung

Unser Gesamtklientel der 381 Patienten weist eine Verteilung von 129 femoralen Rupturen (33,85%), 221 intraligamentären Rupturen (58,01%) und 19 tibialen Rupturen (4,99%) auf. In 12 Fällen erlaubten die Bilder keine genaue Beurteilung (3,15%)

103 der 327 mit Ersatzplastik versorgten Patienten hatten eine femoral lokalisierte Ruptur, dies entspricht einem Anteil von 31,5%. Bei den Patienten mit einer Spontanheilung des VKB und folgendem Abbruch der OP lag in 26 von 54 Fällen eine femorale Ruptur vor, dies entspricht einem Anteil von 48,1%.

Der Anteil der femoralen Rupturlokalisierung unter den OP-Abbrüchen ist dabei signifikant größer als in der Gruppe der Patienten mit durchgeführter VKB-Plastik ( $p = 0,01998$ ).

Der Anteil der intraligamentären bzw. der tibialen Rupturlokalisationen ist dabei jedoch nicht signifikant kleiner als in der Vergleichsgruppe ( $p = 0,1366$  bzw.  $p = 1$ ). Die nachfolgende Grafik (Abb. 17) veranschaulicht die Verteilung der tibialen, intraligamentären und femoralen Rupturen unter den Patienten mit Ersatzplastik und jenen mit einem Abbruch der OP.



**Abb. 17:** Übersicht Verteilung der Rupturlokalisation (\* Ergebnis signifikant)

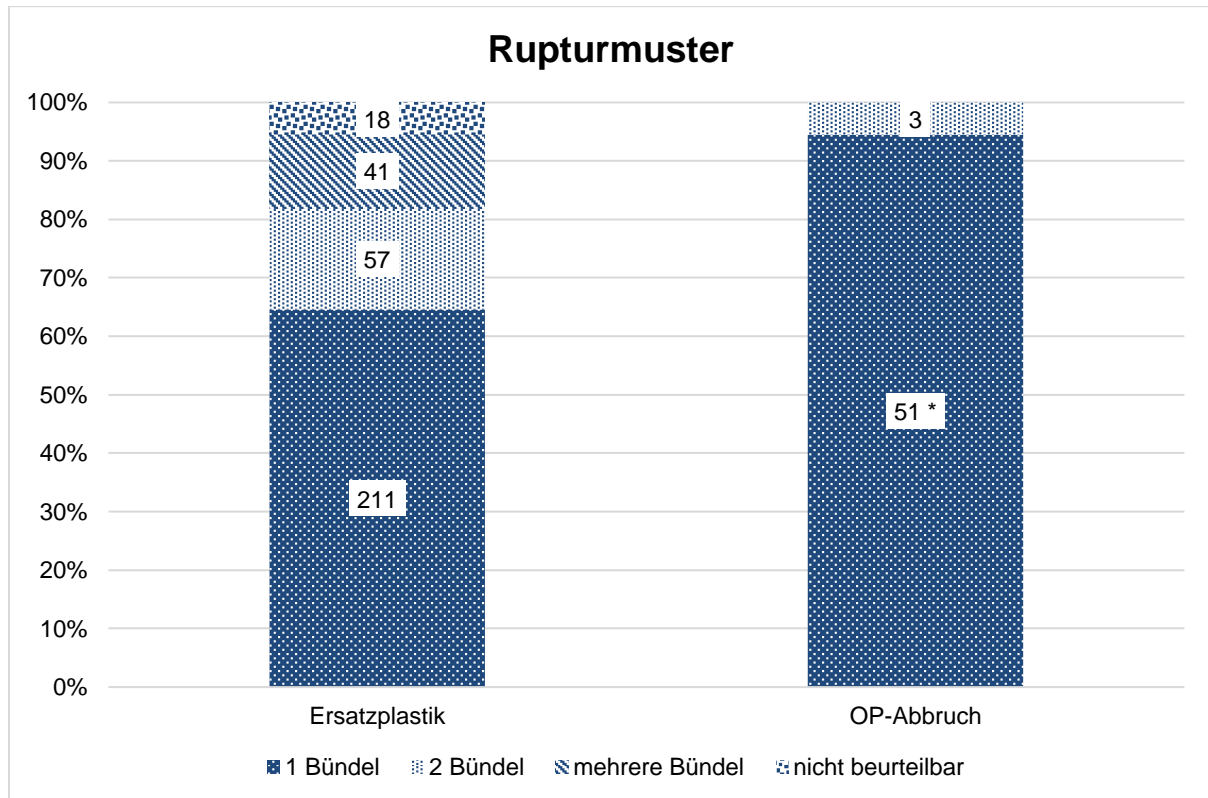
### 3.1.2.2 Rupturmuster

Bei 262 der insgesamt 381 arthroskopierten Patienten (68,8%) konnte im MRT „ein Bündel“, bei 60 „zwei Bündel“ (15,7%) und bei 41 „drei oder mehr Bündel“ (10,8%) nachgewiesen werden. Im Falle von 18 Patienten (4,7%) war das Rupturmuster aufgrund mangelnder Qualität der MRT-Bilder nicht sicher beurteilbar.

Unter den 54 Patienten mit spontaner Heilung des VKB konnten 51 (94,4%) in „ein Bündel“ und drei (5,6%) in „zwei Bündel“ eingeordnet werden. Von den Patienten mit mehreren Bündeln oder nicht beurteilbarem Rupturmuster erhielten alle eine Ersatzplastik.

Der Anteil des Rupturmusters mit einem Bündel ist unter den Patienten mit eingetretener Spontanheilung und folgendem OP-Abbruch dabei signifikant größer als in der

Vergleichsgruppe der Patienten mit einer durchgeführten Ersatzplastik ( $p < 0,001$ ). Veranschaulicht wird die Verteilung der Rupturmuster in Abb. 18.



**Abb. 18:** Übersicht Verteilung der Rupturmuster (\* Ergebnis signifikant)

### 3.1.2.3 Integrität des Bandstumpfes

Bei 77 der 381 Patienten (20,2%) ist der verbleibende Bandstumpf in nahezu seiner kompletten Integrität nachweisbar, bei 187 zu mehr als 50% (49,1% der Patienten) und bei 99 zu weniger als 50% (26,0% der Patienten). In 18 Fällen (4,7%) erlaubten die Bilder diesbezüglich keine sichere Beurteilung.

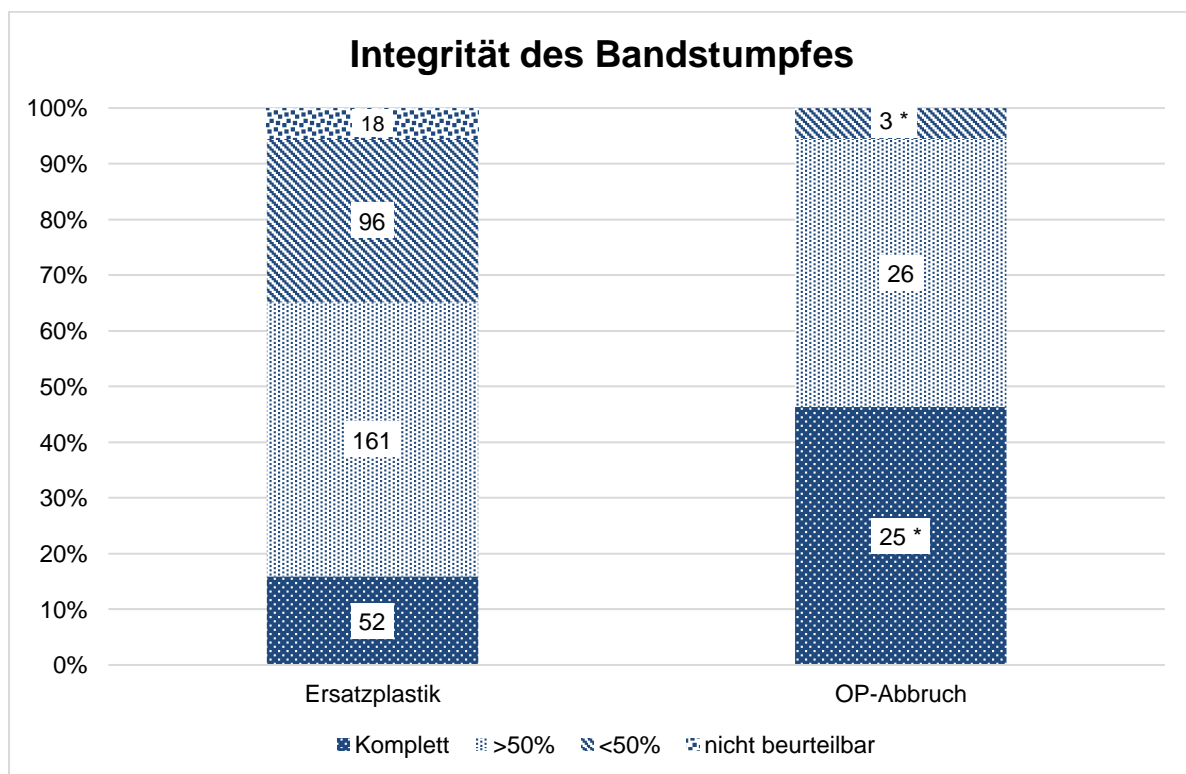
Abbildung 19 zeigt grafisch eine Übersicht zur Verteilung der Integrität des Bandstumpfes auf die Gruppe der Operierten und der Patienten mit OP-Abbruch.

Bei den OP-Abbrechern war in 25 von 54 (46%) Fällen das VKB in kompletter Integrität nachweisbar, bei weiteren 26 (48%) zu mehr als 50%. Bei nur 3 der 54 Patienten konnte der Stumpf als < 50% eingeteilt werden.

Der Anteil der Patienten mit komplett erhaltener Bandintegrität unter den OP-Abbrechern ist dabei signifikant größer als in der Vergleichsgruppe ( $p < 0,001$ ). Ebenso ist der Anteil der Patienten mit kompletter Integrität oder mehr als 50% des Bandstumpfes signifikant größer als in der Vergleichsgruppe ( $p < 0,001$ ).

Betrachtet man isoliert den Anteil der Patienten mit einem Residuum von mehr als 50% des Bandstumpfes, so ist dieser unter den OP-Abbrechern nicht signifikant größer als in der Vergleichsgruppe ( $p=1$ ).

Der Anteil der Patienten mit weniger als 50% unter den OP-Abbrechern ist signifikant kleiner als in der Vergleichsgruppe ( $p < 0,001$ ).



**Abb. 19:** Übersicht Verteilung der Integrität des Bandstumpfes (\* Ergebnis signifikant)

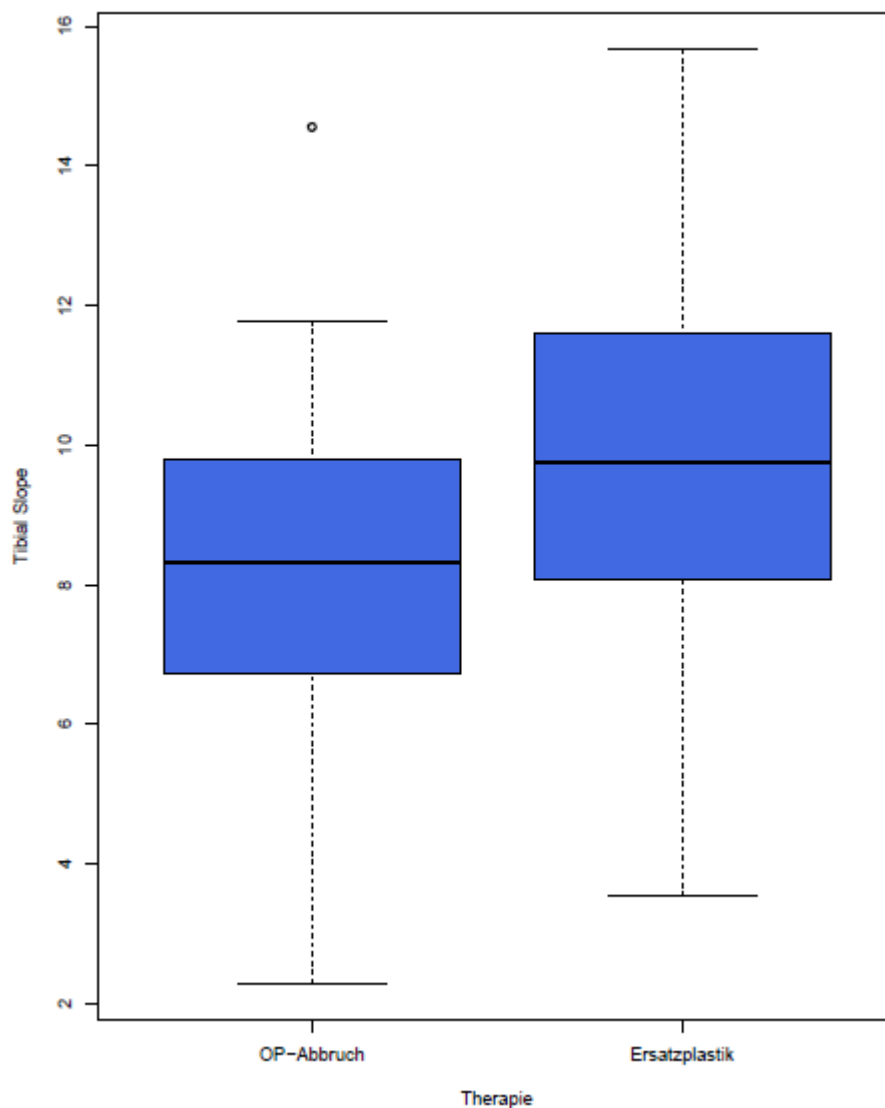
### 3.1.3 Einfluss des *Posterior inferior Tibial Slope (PITS)*

Der PITS stellt in biomechanischen Überlegungen einen möglichen Faktor dar, der eine spontane Heilung der VKB-Ruptur beeinflussen kann. Der Zusammenhang zwischen dem PITS und der Spontanheilung des VKB wird im Folgenden untersucht.

Der Mittelwert des PITS der Patienten, die eine Ersatzplastik erhielten, beträgt  $9,84^\circ \pm 3,54^\circ$  (Standardabweichung, Median =  $9,77^\circ$ , Spannweite  $3,54 - 15,67^\circ$ ). Bei den Patienten mit OP-Abbruch beträgt der Mittelwert  $8,16^\circ \pm 2,44^\circ$  (Standardabweichung, Median =  $8,31^\circ$ , Spannweite  $2,29 - 14,56^\circ$ ).

Die Gruppe der Patienten, deren OP abgebrochen wurde, haben dabei einen signifikant kleineren PITS ( $p < 0,001$ ).

Abb. 20 stellt die Werte des PITS der beiden Gruppen in Boxplots gegenüber.



**Abb. 20:** Übersicht der Werte des PITS für beide Gruppen

## **3.2 Auswertung der Nachuntersuchung**

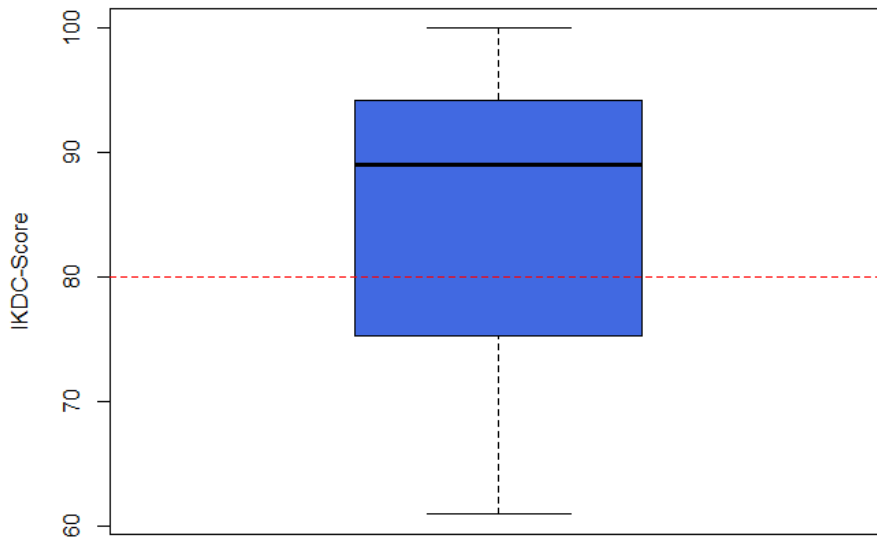
Für die Nachuntersuchung in der Hessing-Klinik Augsburg trafen auf 47 Patienten alle Einschlusskriterien zu. Da bei acht Patienten (17,0%) seit dem Abbruch der OP eine Kreuzbandplastik notwendig geworden war belief sich die Zahl der zur Nachuntersuchung verfügbaren Patienten auf 39. Vierundzwanzig dieser 39 Patienten (61,5%) konnten für die Untersuchung in unserer Klinik gewonnen werden. Die übrigen 15 potenziell zum *Follow-Up* verfügbaren Patienten (38,5%) waren entweder aus mangelndem Interesse oder weil sie nicht aufzufinden waren leider nicht für die Untersuchung verfügbar. Es existiert keine studieneigene Vergleichsgruppe für die Auswertung der Nachuntersuchung. Zur orientierenden Einordnung der Ergebnisse wird im weiteren Verlauf diverse Studien bezüglich des Outcomes von Patienten mit durchgeführter VKB-Plastik herangezogen.

### **3.2.1 Therapieversager**

Acht der einschlussfähigen Patienten, die wir telefonisch erreichen konnten benötigten im Verlauf eine Ersatzplastik. In fünf Fällen (62,5%) zeigt sich eine intraligamentäre und in drei Fällen (37,5%) eine femoral lokalisierte Ruptur. Bis auf einen Patienten mit zwei Bündeln sind alle Rupturen als ein Bündel abgrenzbar. Die Integrität des Bandstumpfes ist immer > 50%, in drei Fällen komplett. Der PITS befindet sich mit einem Mittelwert von 8,81° zwischen den Werten der OP-Abbrüche und der Ersatzplastiken in unserer Studie.

### **3.2.2 Auswertung IKDC-Score**

Der Mittelwert des IKDC-Scores liegt bei  $84,63 \pm 11,76$  (Standardabweichung, Median = 89,09, Spannweite 60,92 – 100). 16 der 24 Patienten (66,7%) erreichten einen IKDC-Score von mindestens 80. Dabei liegt jedoch keine Signifikanz vor ( $p = 0,067$ ). Abb. 21 zeigt in einem Boxplot die Verteilung der Werte. Die rote Linie markiert den IKDC-Score von 80, den wir in Anlehnung an die Ergebnisse einer Querschnittstudie zu normativen Daten des IKDC von Anderson et al. Als Richtwert für eine zufriedenstellende Kniefunktion anlegten.

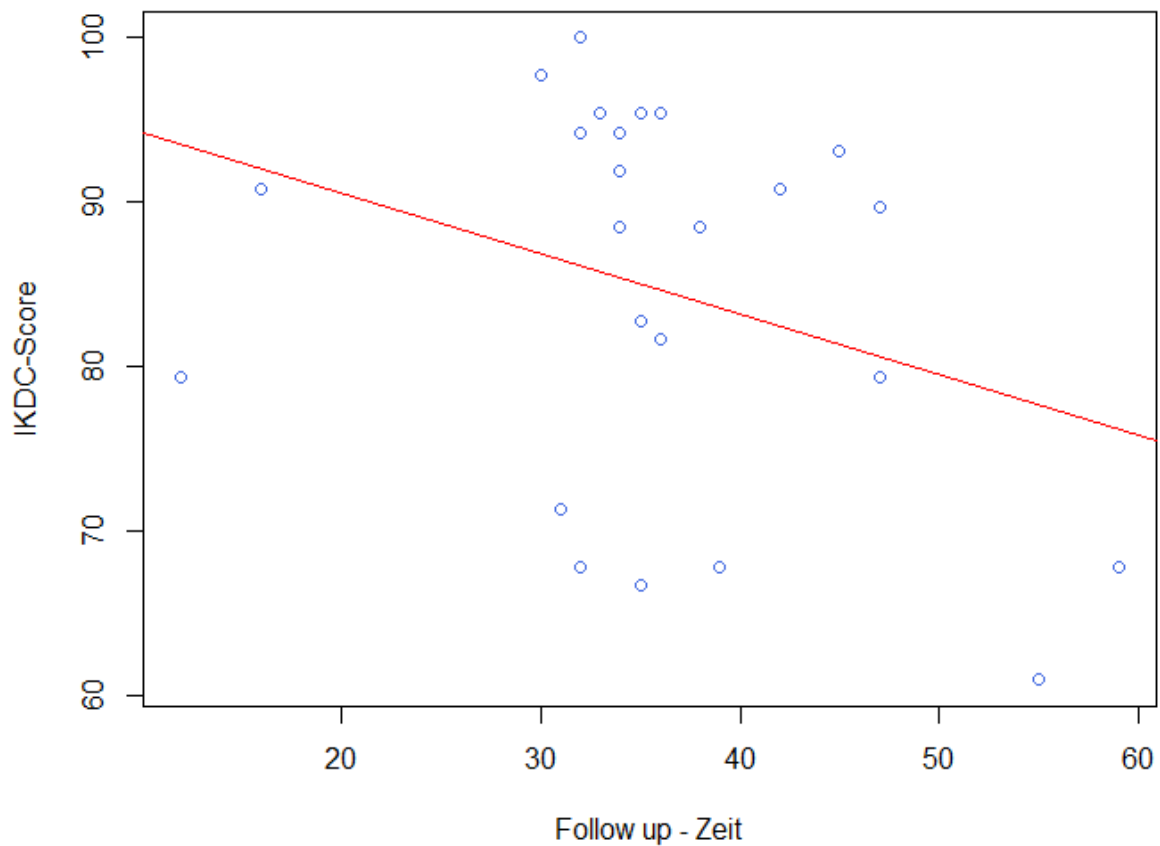


**Abb. 21:** Verteilung der IKDC-Scores

### 3.2.3 Einfluss der *Follow-Up*-Zeit auf den IKDC-Score

Ein Einschlusskriterium für die Nachuntersuchung war eine *Follow-Up*-Zeit von mindestens 12 Monaten. Die längste *Follow-Up*-Zeit im untersuchten Kollektiv betrug 59 Monate. Es wird untersucht, ob die *Follow-Up*-Zeit das Ergebnis des IKDC in der Nachuntersuchung beeinflusst.

Abb. 22 zeigt die Verteilung der einzelnen IKDC-Scores der Nachuntersuchten Patienten (Ordinatenachse) in Abhängigkeit der *Follow-Up*-Zeit (Abszissenachse). Die in rot angelegte Regressionsgerade lässt eine negative Korrelation vom erreichten IKDC-Score mit der *Follow-Up*-Zeit vermuten. Dies ist jedoch nicht signifikant ( $p = 0,1193$ ).



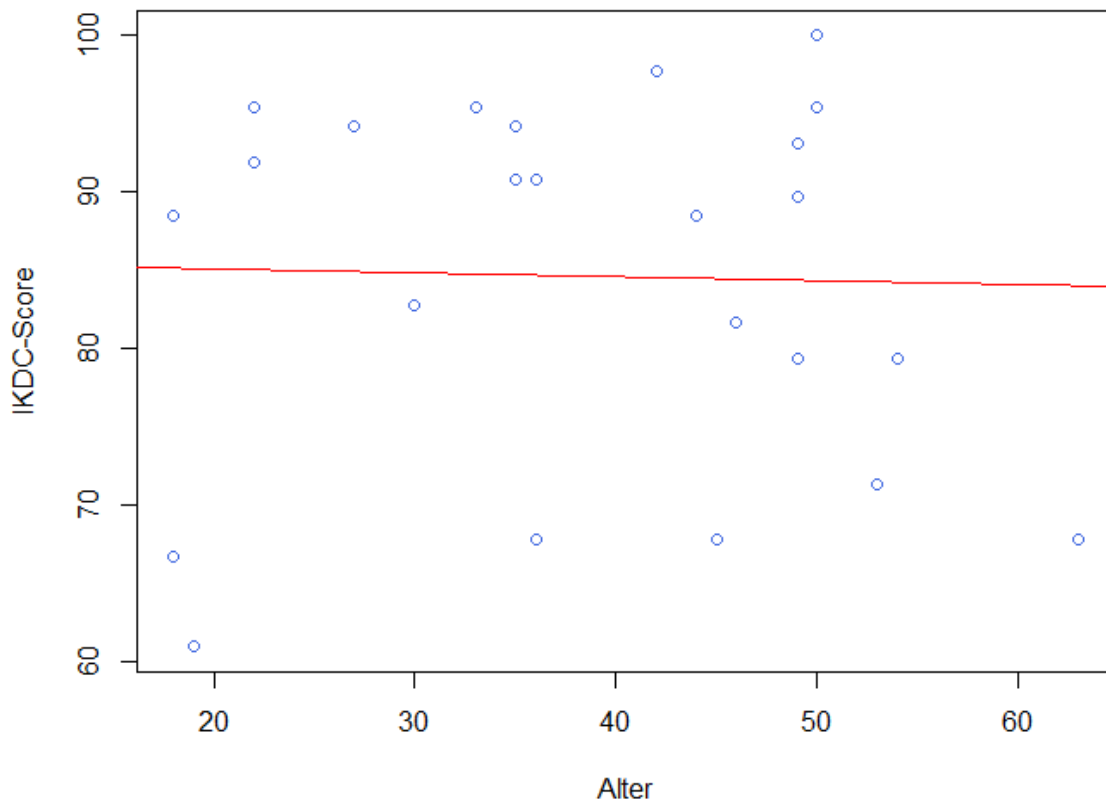
**Abb. 22:** Einfluss der *Follow-Up*-Zeit auf den IKDC-Score

### 3.2.4 Einfluss des Patientenalters auf den IKDC-Score

Es wird untersucht, inwiefern das Patientenalter zum Zeitpunkt der Untersuchung einen Einfluss auf den erreichten IKDC-Score hat.

In Abb. 23 ist die Korrelation grafisch dargestellt. Hier deutet die angelegte Regressionsgerade auf eine negative Korrelation hin, aus den vorliegenden Daten kann jedoch keine signifikante Abhängigkeit des IKDC-Scores vom Patientenalter festgestellt werden ( $p = 0,90$ )

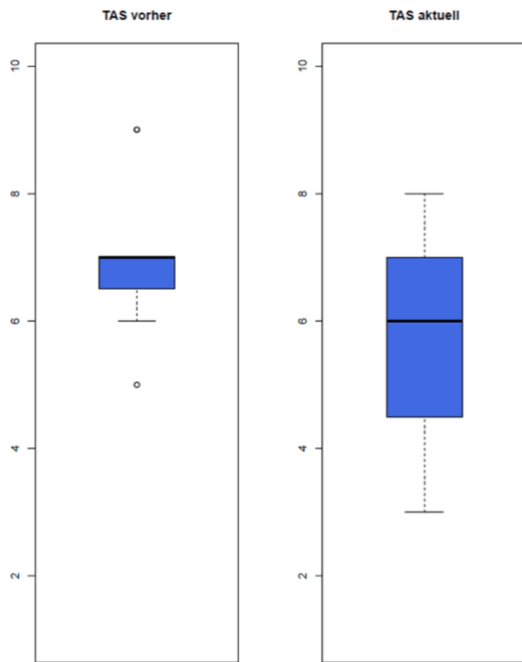




**Abb. 23:** Einfluss des Patientenalters zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung auf den IKDC-Score

### 3.2.5 Auswertung Tegner Activity Scale (TAS)

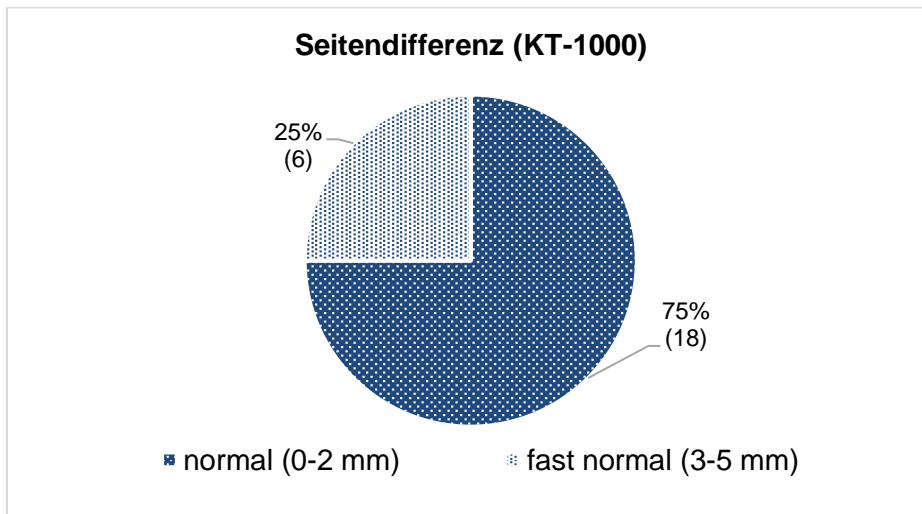
Der durchschnittliche Wert des TAS vor der Verletzung war  $6,92 \pm 1,02$  (Standardabweichung, Median = 7, Spannweite 5 – 9). Der aktuelle Wert des TAS lag durchschnittlich bei  $5,79 \pm 1,53$  (Standardabweichung, Median = 6, Spannweite 3 – 8). Der Unterschied in der Selbsteinschätzung der Patienten beträgt somit im Schnitt 1,13 Punkte. Die Verringerung des Punktwertes im TAS zum Zustand vor der Verletzung ist dabei signifikant. ( $p < 0,001$ ). Sieben der 24 Patienten (29,2%) zeigen ein Delta von  $\geq 2$  und befinden sich somit über der „Minimal Detectable Change“ (MDC) des TAS. Abbildung 24 stellt die Werteverteilung des TAS vor der Verletzung und wie zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung eingeschätzt gegenüber.



**Abb. 24:** Werteverteilung des TAS vor der Verletzung und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung

### 3.2.6 Auswertung der apparativen Messung per *KT-1000*

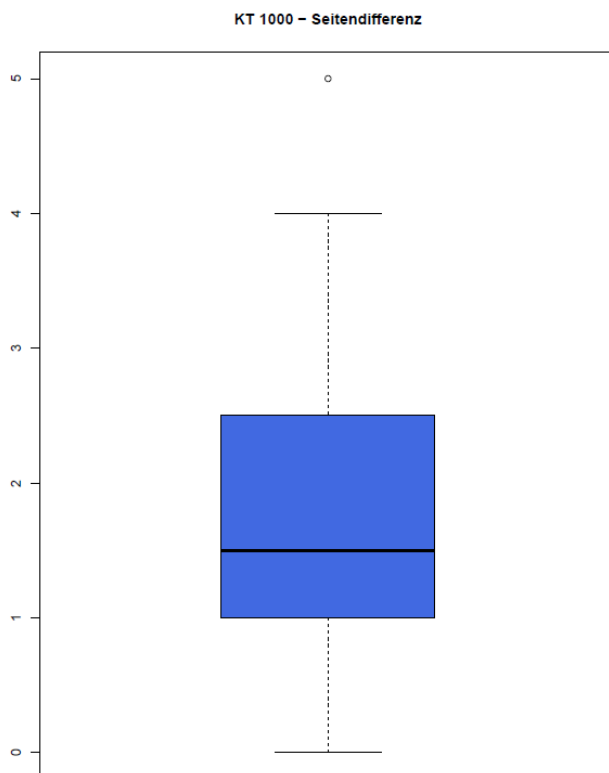
Gemäß der nach IKDC vorgenommenen Gruppeneinteilung für die Seitendifferenzen fielen 18 der 24 Patienten in die Gruppe „normal“ (0 – 2 mm), die 6 weiteren Patienten fielen in die Gruppe „fast normal“ (3 – 5 mm). Es wurden keine „abnormalen“ (6 – 10 mm) oder „deutlich abnormalen“ (> 10 mm) Abweichungen gemessen. Abb. 25 zeigt grafisch die Verteilung der untersuchten Patienten auf die einzelnen Gruppengrade.



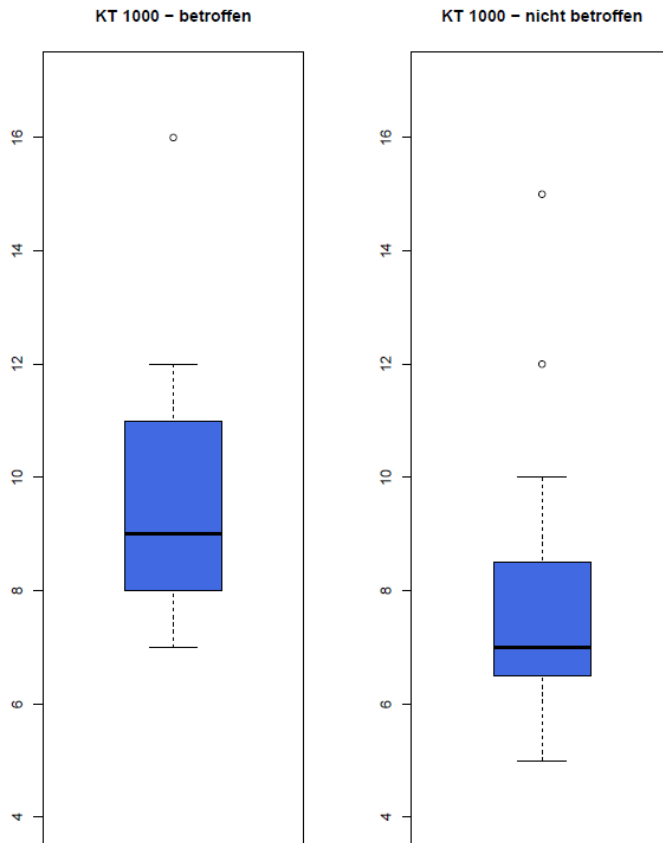
**Abb. 25:** Verteilung der Patienten auf die Gruppengrade in der apparativen Messung per *KT-1000*

Der durchschnittliche Wert der Seitendifferenz bei der Messung mit dem *KT-1000 Arthrometer* liegt bei  $1,79 \text{ mm} \pm 1,32 \text{ mm}$  (Standardabweichung, Median = 1,5 mm, Spannweite 0 – 5 mm), vgl. Abb. 26.

Betrachtet man beide Seiten gesondert, so liegt der durchschnittliche Wert der apparativen Messung der betroffenen Seite bei  $9,46 \text{ mm} \pm 2,09 \text{ mm}$  (Standardabweichung, Median = 9 mm, Spannweite 7 – 16 mm). Bei der nicht betroffenen Seite ergab die Messung einen durchschnittlichen Wert von  $7,67 \pm 2,33$  (Standardabweichung, Median = 7mm, Spannweite 5 – 15 mm). Der Unterschied zwischen der betroffenen und der nicht betroffenen Seite ist signifikant ( $p < 0,001$ ). Abb. 27 stellt die Boxplots der Messungen beider Seiten gegenüber.



**Abb. 26:** Seitendifferenz der *KT-1000* Messungen



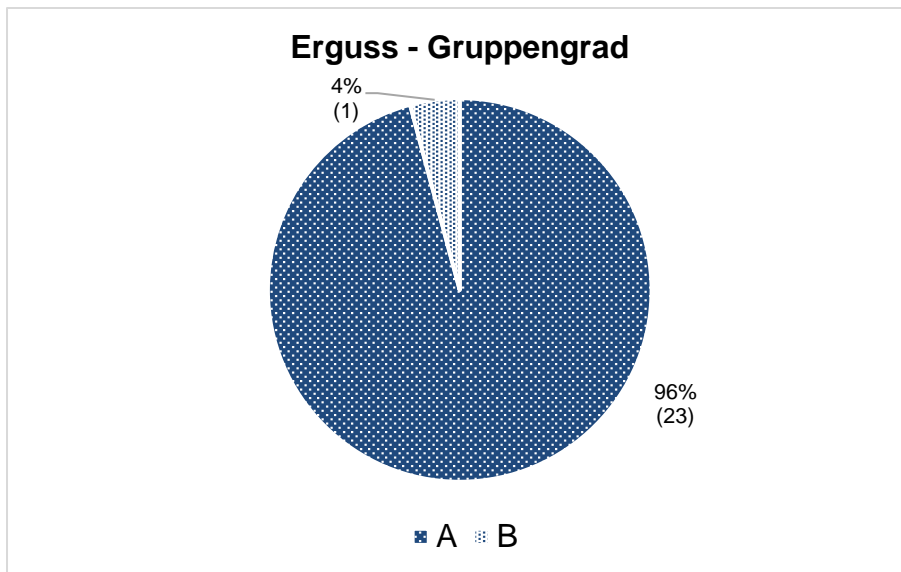
**Abb. 27:** Gegenüberstellung der Messungen von betroffener und nicht-betroffener Seite

### 3.2.7 Auswertung der Gruppengrade

Wie in Kap. 2.4.3 beschrieben, erlaubt der von uns verwendete IKDC-Untersuchungsbogen eine Einordnung der Patienten in vier Gruppengrade absteigend von A – D. Die Einordnung in den Gruppengrad erfolgt dabei in den Hauptkategorien „Erguss“, „passives Beweglichkeitsdefizit“, „Ligamentuntersuchung“ und „Funktionstest“. Der Gruppengrad D „deutlich abnormal“ wurde bei keinem der untersuchten Patienten gefunden und ist deshalb in der folgenden Darlegung nicht aufgeführt. Ein ideales Ergebnis stellt die Einordnung in den Gruppengrad A in allen getesteten Kategorien dar.

#### 3.2.7.1 Erguss

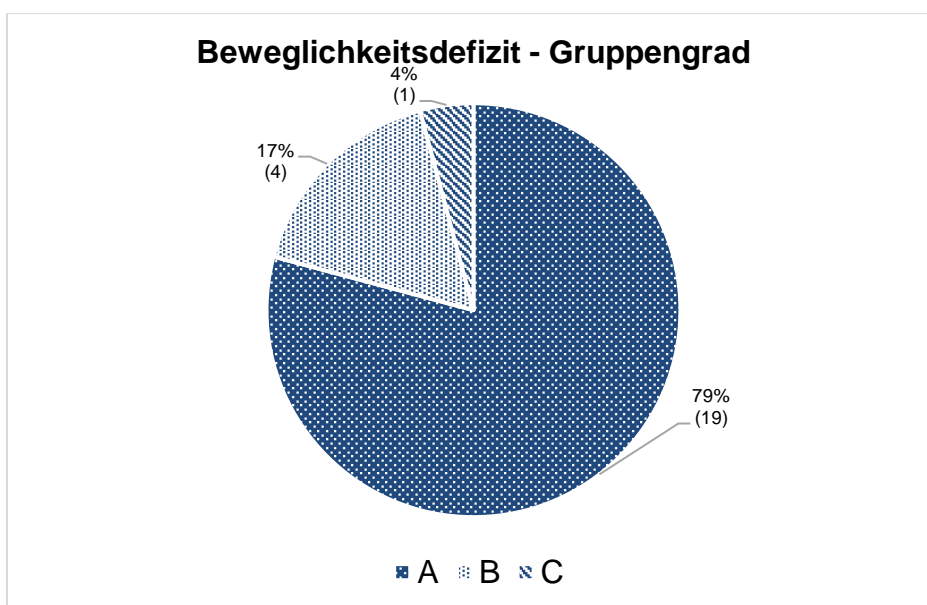
Ein Patient präsentierte einen wenig ausgeprägten, tastbaren Erguss, alle anderen 23 Patienten waren unauffällig und in dieser Kategorie der Gruppe A zuzuordnen.



**Abb. 28:** Gruppengrade „Erguss“

### 3.2.7.2 Passives Beweglichkeitsdefizit

19 Patienten (79,2%) sind ohne relevantes Beweglichkeitsdefizit in der passiven Bewegungsuntersuchung und können dem Gruppengrad A zugeordnet werden. Zwei Patienten hatten ein Beugedefizit von 6-15°, zwei weitere Patienten präsentierten ein Streckdefizit von 3-5°. Diese vier Patienten (16,6%) gehören somit dem Gruppengrad B an. Ein Teilnehmer der Nachuntersuchung (4,2%) zeigte ein Streckdefizit von 6-10° und fällt somit in den Gruppengrad C. Abb. 29 zeigt diese Verteilung grafisch auf.



**Abb. 29:** Gruppengrade „Passives Beweglichkeitsdefizit“

### 3.2.7.3 Ligamentuntersuchung

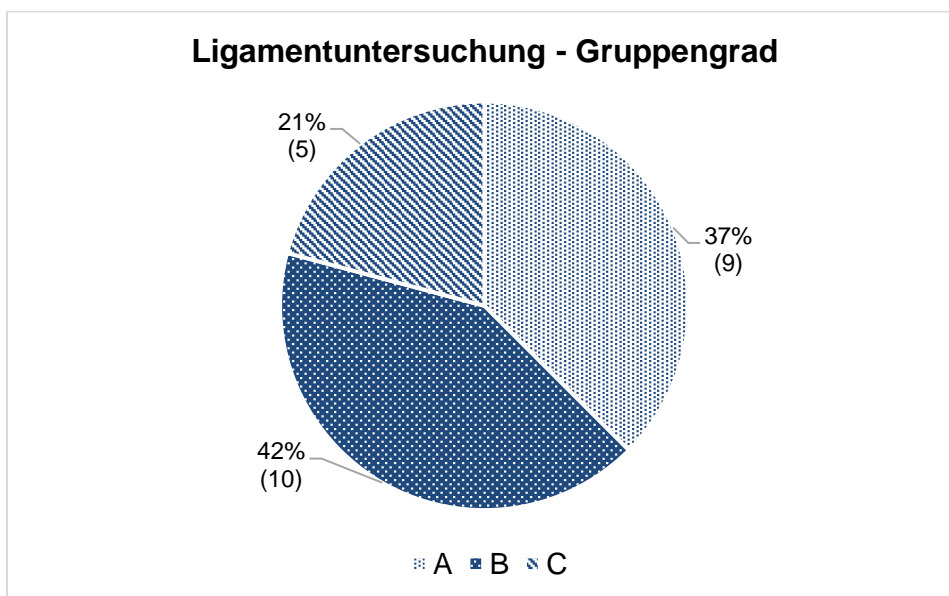
Für die Ligamentuntersuchung wird das Abschneiden im *Lachman-Test*, dem *Pivot-Shift-Test* und der apparativen Untersuchung mit dem *KT-1000* einbezogen. Der Gruppengrad richtet sich dabei nach dem schlechtesten Einzelergebnis.

Neun Patienten (37,5%) sind in der Untersuchung nicht auffällig und fallen in den Gruppengrad A.

Zehn Patienten (41,7%) fallen durch ein spürbares, erstgradiges Gleiten im *Pivot-Shift-Test* im Seitenvergleich auf und erfüllen somit ein Kriterium zur Einordnung in Gruppengrad B. Von diesen zehn Patienten fallen zwei zusätzlich durch eine Seitendifferenz von 3 mm und ein weiterer Patient durch eine Seitendifferenz von 5 mm in der Messung mit dem *KT-1000* auf.

Fünf Patienten (20,8%) zeigen Untersuchungsergebnisse, die eine Einteilung in Gruppengrad C notwendig machen. Das Endgefühl im *Lachman-Test* ist in diesen Fällen unsicher. Zusätzlich ist bei zwei dieser Patienten ein zweitgradiges, dumpfes Gleiten, bei einem ein erstgradiges Gleiten im *Pivot-Shift-Test* zu spüren.

In Abb. 30 wird Verteilung der Gruppengrade in der Ligamentuntersuchung grafisch dargestellt.

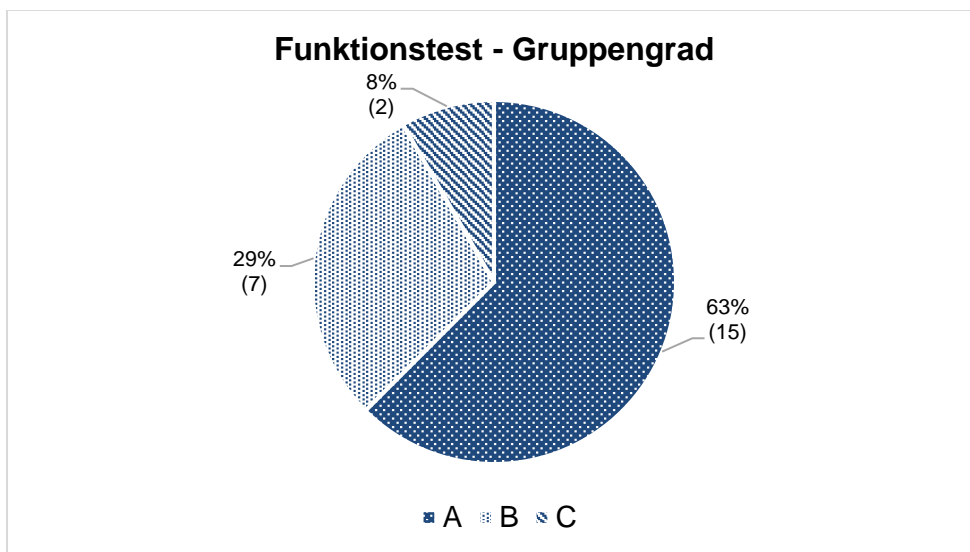


**Abb. 30:** Gruppengrade „Ligamentuntersuchung“

### 3.2.7.4 Funktionstest

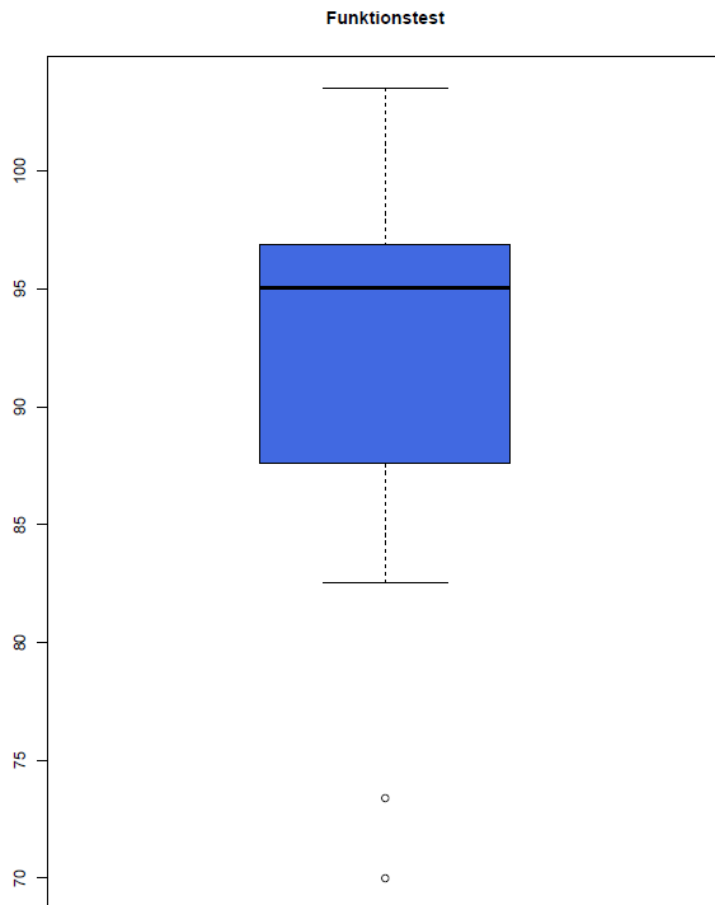
Als Test der Gesamtfunktion des Beines wird der Einbeinsprungtest auf jeder Seite durchgeführt und die erreichte Weite des betroffenen Beines verglichen mit der Sprungweite des nicht betroffenen Beines als Prozentwert angegeben.

15 Patienten (62,5%) erreichten hier einen Wert  $\geq 90\%$  (Gruppengrad A), sieben Patienten (29,2%)  $\geq 80\%$  (Gruppengrad B) und zwei Patienten (8,3%)  $\geq 70\%$  (Gruppengrad C).



**Abb. 31:** Gruppengrade „Funktionstest“

Der durchschnittliche Prozentwert des Funktionstests liegt bei  $91,77 \pm 8,44$  (Standardabweichung, Median = 95,05, Spannweite 70 – 103,54). Vier Patienten erreichen einen Wert  $> 100\%$ , das betroffene Bein übertrifft in diesem Fall in der Funktionsuntersuchung das Ergebnis des nicht betroffenen. Abb. 32 veranschaulicht das Ergebnis des Funktionstests in einem Boxplot.



**Abb. 32:** Werteverteilung Funktionstest

### 3.2.7.5 Zusammenfassung Gruppengrade

Zusammenfassend zeigt sich bei neun (37,5%) der untersuchten Patienten in allen vier Kategorien der Idealwert A, bei weiteren sechs Patienten (25%) war dies in drei Kategorien der Fall. Unter den Patienten mit Gruppengrad A in drei Kategorien ist jeweils die Kategorie der Ligamentuntersuchung einem geringeren Gruppengrad zuzuordnen.

In der Abschlussbeurteilung, welche sich nach dem niedrigsten Wert einer der Hauptkategorien richtet, können 17 Patienten (70,8%) den beiden oberen Gruppengraden A und B zugeordnet werden.

Abb. 33 zeigt tabellarisch alle Konstellationen von Gruppengraden der von uns nachuntersuchten Patienten.



<b>Erguss</b>	<b>Beweglichkeits- defizit</b>	<b>Ligament- untersuchung</b>	<b>Funktions- test</b>	<b>Anzahl</b>
A	A	A	A	9
A	A	B	A	3
A	A	C	A	3
A	A	B	B	3
B	A	B	B	1
A	B	B	C	1
A	B	C	C	1
A	C	C	B	1
A	A	C	B	1
A	B	B	B	1
				<b>24</b>

**Abb. 33:** Übersicht Gruppengrade und deren aufgetretene Kombinationen

### 3.3 Zusammenfassung der Hauptergebnisse

Die wichtigsten Erkenntnisse der Studie lassen sich in folgende Kernaussagen zusammenfassen

1. Die Spontanheilungsrate des vorderen Kreuzbandes beläuft sich in der von uns untersuchten Patientengruppe auf 14,2% (54 von 381).
2. Der posteriore tibiale *Slope* zeigt eine signifikante Korrelation mit dem Auftreten einer spontanen Heilung des vorderen Kreuzbandes. Der PITS der operierten Patienten, ist in unserer Studie signifikant größer als der PITS der Patienten mit abgebrochener OP/ Spontanheilung ( $p < 0,001$ ).
3. Sowohl die femorale Rupturlokalisierung ( $p = 0,02$ ) als auch die Rupturen mit einer hohen Integrität des verbleibenden tibialen Bandstumpfes von mehr als 50% ( $p < 0,001$ ) haben in der Gruppe der Patienten mit einer spontanen Heilung einen signifikant höheren Anteil als in der Gruppe der Patienten mit durchgeführter VKB-Plastik.
4. Die funktionellen Ergebnisse der Patienten mit Spontanheilung sind nach mindestens 12 Monaten *Follow-Up*-Zeit zufriedenstellend. Es wird ein mittlerer IKDC-Score  $> 80$  erreicht.

Abb. 34 gibt eine Übersicht der wichtigsten Ergebnisse der Studie. Signifikante Zusammenhänge sind mit \* gekennzeichnet.

<b>Kriterium</b>	<b>Graduierung</b>	<b>Ersatzplastik n = 327 [SD]</b>	<b>OP-Abbruch n = 54 [SD]</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Rupturlokalisation</b>	femoral	103	26	p = 0,02 *
	intragamentär	195	26	p = 0,14
	tibial	17	2	p = 1
	Beurteilung nicht möglich	12	/	
<b>Rupturmuster</b>	Ein Bündel	211	51	p < 0,001 *
	Zwei Bündel	57	3	
	Drei+ Bündel	41	/	
	Beurteilung nicht möglich	18	/	
<b>Integrität des Bandstumpfes</b>	komplett	52	25	p < 0,001 *
	> 50%	161	26	p = 1
	< 50%	96	3	p < 0,001 *
	Beurteilung nicht möglich	18	/	
<b>PITS</b>		9,84° [3,54]	8,16° [2,44]	p < 0,001 *
<b>VKB Rekonstruktion zwischen ASK und <i>Follow-Up</i>- Untersuchung</b>		/	8	

<b>IKDC Score</b>		/	84,63 [11,76]	
<b>KT-1000 (mm)</b>			Betroffen: 9,46 [2,09] Nicht betroffen: 7,67 [2,33]	p < 0,001 *
<b>TAS</b>			vor Verletzung: 6,92 [1,02] <i>Follow-Up</i> : 5,79 [1,53]	p < 0,001 **

**Abb. 34:** Übersicht der wichtigsten Ergebnisse. (\* Ergebnis signifikant; \*\* Ergebnis signifikant, aber < MDC des Tools)

## 4 Diskussion

Das VKB gilt als eine der meistuntersuchten Strukturen in der Orthopädie, dennoch kann die Studienlage bezüglich der Spontanheilung dieser Struktur nicht als befriedigend angesehen werden. Wie bereits in den einleitenden Worten erwähnt, konnte in einer hochwertigen randomisierten Studie von Frobell et al. Nicht nachgewiesen werden, dass die Entstehung einer posttraumatischen Osteoarthrose nach VKB-Ruptur bei erhaltener moderater sportlicher Aktivität entscheidend durch eine rekonstruktive Operation des Bandes beeinflusst wird. Weder das subjektive Stabilitätsgefühl noch die radiografisch nachweisbaren Zeichen einer Osteoarthrose unterschieden sich zwischen früh operierten, optional später operierten und konservativ behandelten Patienten fünf Jahre nach VKB-Ruptur. Im Gegensatz dazu war die mechanische Stabilität der Operierten im *Lachman-* und *Pivot-Shift-Test* signifikant besser als bei den konservativ behandelten Kniegelenken (Frobell et al. 2013). Für die zufriedenstellende subjektive Kniefunktion dieser „*Coper*“, sprich derer Patienten, die trotz stattgehabter Verletzung des VKB keine merkliche Einschränkung ihres Aktivitätslevels erfahren, (Eastlack et al. 1999) sind verschiedene Erklärungsansätze denkbar. Dazu zählen eine gute muskuläre Kontrolle des Gelenkes, eventuell erhaltene Restkontinuität und propriozeptive Funktion des verletzten Bandes, vorsichtigeres und bewussteres Verhalten bei sportlicher Aktivität beziehungsweise Einschränkung von Belastung und wahrscheinlich auch die spontane Heilung des Bandes. Untersuchungen haben gezeigt, dass selbst bei hohem sportlichen Anspruch unter konservativer Therapie der VKB-Ruptur ein „Return to Sport“ gelingen kann, wenngleich das Risiko einer nachfolgenden Meniskusverletzung erhöht ist (Myklebust et al. 2003; Roos et al. 1995; van Yperen et al. 2018; Nebelung und Wuschech 2005; Irvine und Glasgow 1992; Shelton et al. 1997). Verschiedene Studien beschrieben zudem eine ähnliche oder gar höhere Inzidenz radiographisch nachweisbarer Osteoarthrosezeichen im *Follow-Up* bei Patienten mit rekonstruiertem VKB gegenüber konservativ versorgten (Daniel et al. 1994; van Yperen et al. 2018; Tsoukas et al. 2016).

Anhand dieser Studie wurde erstmals versucht, an einem größeren Patientenkollektiv die Rate an Spontanheilungen nach MRT-diagnostisch festgehaltener VKB Ruptur zu detektieren. Durch eine konsequente Einteilung und Vermessung der wichtigsten Verletzungsparameter und anatomischen Landmarken in MRT- und Röntgenaufnahmen ist es außerdem gelungen, Hinweise auf Einflussfaktoren zur spontanen Heilung des VKB herauszustellen. Die aktuelle Literatur beschränkt sich auf Einzelfallberichte und kleinere beschreibende Studien (Malanga et al. 2001; Costa-Paz et al. 2012). Eine aktuelle Studie hat ebenfalls die Rate an Spontanheilungen untersucht, ohne dabei jedoch prognostische Marker in der Bildgebung zu beschreiben (Razi et al. 2020). Dass bereits Untersuchungen zu

diesem Thema angestellt wurden, legt aber auch nahe, dass die Spontanheilungsrate höher sein könnte als bisher angenommen. Deswegen sollte die Spontanheilung des VKB und deren Umstände weiterhin genauer untersucht werden.

#### **4.1 Diskussion des Materials**

In der Nachuntersuchung der Patienten in der Hessing-Klinik Augsburg ging es darum, die Stabilität des Kniegelenkes nach spontaner Heilung des vorderen Kreuzbandes zu untersuchen. Um dabei den Einfluss anderer Strukturen auf die Stabilität des Gelenks möglichst gering zu halten, legten wir Ausschlusskriterien zur Selektion geeigneter Patienten fest. Die Stärke unserer Selektion der Patienten nach den beschriebenen Auswahlkriterien liegt darin, dass eine etwaig bestehende Instabilität in der klinischen Nachuntersuchung idealerweise auf eine Insuffizienz des VKB zurückzuführen ist. Durch den Ausschluss von Begleitverletzungen wie Meniskuswurzelrupturen und Komplettrupturen von mindestens einem Seitenband wurden die Hauptstörfaktoren für eine Bewertung der isolierten VKB-Stabilität ausgeschaltet.

Nach Anwendung der Kriterien konnten von den 54 Patienten, deren OP aufgrund einer spontanen Heilung des VKB abgebrochen wurde, 47 Patienten (87%) eingeschlossen werden. Dieser hohe prozentuale Anteil ist darauf zurückzuführen, dass die für diese Art der Therapie verfügbaren Patienten vor dem Eingriff bereits eine hohe subjektive Stabilität und Zufriedenheit mit der Gelenkfunktion aufwiesen. Die Arthroskopie war in diesen Fällen ein Angebot, einen genauen Status des Bandes zu erheben und es – wenn nötig – zu ersetzen. Schwere Begleitverletzungen wie die Ruptur von Meniskuswurzeln oder die Komplettruptur von mindestens einem Seitenband sind häufige beschriebene Gründe für subjektive Beschwerden wie Schmerz oder Instabilität (Bonasia et al. 2015; Engelhardt 2016; Schweitzer et al. 1995). Bei Beschwerden dieser Art war eine Bandplastik in fast allen Fällen notwendig. Unter den OP-Abbrüchen erfolgte ein Ausschluss aufgrund einer kombinierten Meniskuswurzel- und LCL-Ruptur und vier Ausschlüsse aufgrund von Komplettrupturen von MCL oder LCL. Im Gegensatz dazu waren unter den operierten Patienten 27 Patienten mit diesen Verletzungen zu finden (10 MCL-, 6 LCL und 11 Meniskuswurzelrupturen). Die höhere Zahl an ausschchlussbedingenden Begleitverletzungen unter den operierten Patienten ist wahrscheinlich darin begründet, dass die Patienten mit diesen Verletzungen eher eine subjektive Instabilität sowie vermehrt Schmerzen aufwiesen und folglich eine Ersatzplastik erhielten. Bereits vor der Nachuntersuchung in der Hessing Klinik Augsburg mussten acht der 47 Patienten als „Therapieversager“ klassifiziert werden. In diesen Fällen wurde eine

Ersatzplastik des Bandes im Verlauf notwendig. Damit beläuft sich die Zahl an potenziell zur Nachuntersuchung verfügbaren Patienten auf 39.

Es war in unserer Studie leider nicht möglich, eine größere Gruppe an Patienten mit Spontanheilung für die Nachuntersuchungen zu rekrutieren. Hierfür wäre zunächst ein längerer Beobachtungszeitraum wünschenswert gewesen, sodass mehr spontane Heilungen hätten beobachtet werden können. Weiter wäre eine Patienteneinbindung in die Studie direkt nach der Arthroskopie wahrscheinlich mit einem geringeren „Loss to Follow-Up“ verbunden gewesen. Viele der Patienten waren rückwirkend aufgrund von Verzug nicht mehr ausfindig zu machen oder aus mangelndem Interesse nicht für eine Teilnahme zu gewinnen. Dennoch stellt unsere Patientengruppe mit 24 untersuchten Patienten nach unserem Kenntnisstand die größte und somit auch aussagekräftigste Gruppe in vergleichbaren Studien dar (Costa-Paz et al. 2012; Malanga et al. 2001). Unser Patientenkollekt entspricht einem repräsentativen Querschnitt der üblicherweise betroffenen Patienten einer VKB-Ruptur und ist somit mit dem Outcome anderer Querschnittstudien vergleichbar. Dies unterstreicht die Studie zur Inzidenz der VKB-Verletzungen von Gianotti et al.. In der Altersgruppe der 30 – 34-jährigen waren etwas mehr als doppelt so viele Männer wie Frauen betroffen. Analog dazu verzeichnen wir ein Verhältnis (m:w) von 2,6:1. Auch das durchschnittliche Alter unserer Patienten ist mit 33,5 Jahren im Bereich der Inzidenzspitze von Kreuzbandverletzungen angesiedelt (Gianotti et al. 2009).

Es wäre wünschenswert gewesen, eine größere Homogenität bezüglich Alter, Geschlecht und Aktivitätslevel unter den eingeschlossenen Patienten zu erzeugen. Somit hätten diese Faktoren als mögliche „Confounder“ auf die Abschlussbewertung der Kniefunktion minimiert werden können. Aufgrund der insgesamt geringen Fallzahl war uns dies jedoch leider nicht möglich.

## **4.2 Diskussion der Methode**

Die retrospektive Datenerhebung erfolgte in mehreren Schritten, die bei jedem Patienten auf die gleiche Weise abgearbeitet wurden (vgl. Abschnitt 2.3). Die Information, welche Therapie durchgeführt wurde, ist dabei erst nach der Beurteilung und Einordnung der MRT-Bilder ersichtlich geworden. Dadurch konnte eine unvoreingenommene Bewertung der Rupturformen und -lokalisationen gewährleistet werden. Bei der Beurteilung der MRT-Bilder lag das Augenmerk auf den Begleitverletzungen und der Art der VKB-Ruptur. Verletzungen der Menisken in Form einer Wurzelruptur oder Komplett rupturen der Ligg. Collateralia waren Begleitumstände, die sich mit einer Aufnahme in unsere Studie aufgrund ihres Beitrages zur Rotationsinstabilität nicht vereinbaren ließen.

Die Kategorisierung der Kreuzbandverletzungen in Lokalisation und Rupturform ist eine in der Literatur bisher kaum verwendete Praxis. Wir erachteten diese als zielführend, da sich aus der genauen Einordnung der Art der Ruptur möglicherweise ein Ansatz für das weitere Management der Verletzung ergibt. Wir orientierten uns für die Klassifikation am neu eingeführten Schema der Arbeit über die dynamische intraligamentäre Stabilisation von Henle et al. aus dem Jahr 2015. Die MRT-Bildqualität war in aller Regel ausreichend um die Rupturlokalisierung sicher in tibial (distales Drittel), intraligamentär (intermediäres Drittel) oder femoral (proximales Drittel) einzuteilen. Gleiches galt auch für die Rupturform, also die Zahl der abgrenzbaren Bündel und die Integrität des verbleibenden Bandstumpfes samt Synovialschlauch (komplett; >50%; <50%). Die Patienten wurden in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle mit einer MRT-Diagnostik von verschiedenen niedergelassenen Radiologiepraxen vorgestellt. Es fanden sich somit je nach MRT-Gerät Unterschiede in der Aufnahmequalität, was unsere vergleichende Einordnung erschwerte.

In einem gesonderten Arbeitsgang wurde der *Posterior Inferior Tibial Slope* (PITS) aller Patienten vermessen. Dem Untersucher war dabei nicht bekannt, ob der Patient eine VKB-Rekonstruktion erhalten hatte oder konservativ behandelt wurde. Somit wurde auch bei dieser Messung eine Art der Verblindung geschaffen, die eine voreingenommene Beurteilung verhindern sollte. Andere Studien haben bereits den Einfluss des PITS auf die Verletzungsanfälligkeit des VKB untersucht, nicht jedoch auf das Potenzial zur spontanen Heilung (Brandon et al. 2006; Kostogiannis et al. 2011; Şenişik et al. 2011; Kızılgöz et al. 2019).

Um die Kniefunktion im *Follow-Up* zu evaluieren verwendeten wir den subjektiven IKDC-Score sowie weite Teile des objektiven IKDC-Scores. Zudem sollte sich jeder Patient auf dem Tegner Activity Scale (TAS) bezüglich der Aktivitätsstufe vor der Verletzung und aktuell einordnen. Die Beantwortung der subjektiven Fragebögen führten die Patienten allein und in Ruhe vor der geplanten körperlichen Untersuchung durch, somit konnte hier eine Beeinflussung ausgeschlossen werden. Mit dem Einsatz dieser beiden Evaluationsbögen nutzten wir international anerkannte und weit verbreitete Testverfahren (Johnson und Smith 2001).

Die körperliche Untersuchung wurde von einem speziell auf die geplanten Untersuchungstechniken geschulten Doktoranden und einem Facharzt der Abteilung für Sportorthopädie durchgeführt. Die Ergebnisse der zuvor erhobenen subjektiven Scores waren den Untersuchern zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht bekannt, um eine Beeinflussung der Untersuchungsergebnisse zu vermeiden. Zur klinischen Einordnung der Kniestabilität bedienten wir uns des *Lachman*- und des *Pivot-Shift-Tests*, welche als Testverfahren bei der Fragestellung der Kreuzbandstabilität etabliert sind. In einer



systematischen Übersicht verschiedener Studien fanden LeBlanc et al. Für den *Lachman-Test* eine gepoolte Sensitivität von 89% und Spezifität von 78% für Teil- und Komplettrupturen des VKB. Analog dazu treffen die Autoren auch eine Aussage zur diagnostischen Genauigkeit des *Pivot-Shift-Test*. Die Werte für dessen Sensitivität und Spezifität bei Teil- und Komplettrupturen des VKB betragen dieser Untersuchung nach 79% respektive 86% (Leblanc et al. 2015). Die vorliegenden Gütekriterien machen den Pivot-Shift und den *Lachman-Test* somit zu geeigneten Stabilitätstests für unsere körperliche *Follow-Up*-Untersuchung. Trotz aller Sorgfalt und Standardisierung in der manuellen Testung wird jeder Untersucher von seiner Art der Ausbildung und seiner klinischen Erfahrung in der Testbewertung beeinflusst (Branch et al. 2010). Um zusätzlich eine objektivierbare Messung des Delta der anterioren tibialen Translation des betroffenen vs. Des nicht betroffenen Gelenkes zu erhalten, schlossen wir eine Messung per *KT-1000 Ligament Arthrometer* an. Der Vorteil der apparativen Messung gegenüber den manuellen Tests liegt in einer – bei korrekter Anlage – immer vergleichbaren Messung, speziell was Zugrichtung und Auslenkung angeht (Branch et al. 2010). Jedoch ist auch diese Art der instrumentgestützten Messung nicht frei von Limitationen. Branch et al. Berichten beispielsweise, dass die Platzierung der Hand an der Zugvorrichtung sowie eine zu starke oder zu schwache Zugkraft das Messergebnis beeinflussen können. Ebenfalls muss streng darauf geachtet werden, dass weder Muskelspannung noch der Weichteilmantel des Patienten zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen. In einer anderen Studie fanden Sernert et al. Zusätzlich eine mögliche Beeinflussung des Messergebnisses durch die dominante Hand des Untersuchers (Sernert et al. 2007). Es finden sich auch vergleichende Daten zwischen dem *KT-1000* und dem *Lachman-Test*. Hier konnte gezeigt werden, dass die instrumentierte Messung mittels *KT-1000* sowohl in der inter-rater-Reliabilität, als auch in der intra-rater-Reliabilität die Retest-Verlässlichkeit des *Lachman-Tests* eines erfahrenen Untersuchers nicht erreicht (Wiertsema et al. 2008). Myrer et al. Konnten in ihrer Arbeit zeigen, dass die Reliabilität der Seitendifferenz Messung höher einzuordnen ist, als die der Absolutmessung (Myrer et al. 1996).

### **4.3 Diskussion der Ergebnisse**

Es gibt eine Vielzahl an Studien, die sich mit der konservativen Behandlung der vorderen Kreuzbandruptur befassen (Kannus und Järvinen 1987; Lehnert et al. 1993; Frobell et al. 2013; Andersson et al. 1989; Costa-Paz et al. 2012; Razi et al. 2020; Strehl und Eggli 2007). Interessanterweise zeigen diese bisher nur unzureichend die Gründe auf, warum einige Patienten auch ohne Operation ein gutes bis sehr gutes Ergebnis erzielen. Andersson et al. Beispielsweise schließen aus ihren Untersuchungen, dass nicht operierte VKB-Rupturen im

Mittel ein deutlich schlechteres Outcome bezüglich Ihres maximal möglichen Aktivitätslevels haben als operierte (Andersson et al. 1989). Es war hier allerdings auch in der Gruppe der konservativ behandelten Patienten bei etwa einem Drittel im TAS ein Wert  $\geq 7$  verzeichnen. In diesem Punktebereich ist bereits das Wettkampfniveau der „*Stop-and-Go*“-Sportarten angesiedelt, somit ist eine sehr gute Kniefunktion Voraussetzung. Ähnliche Ergebnisse zeigt auch eine Studie von Strehl et al.: Ein Drittel der in dieser Studie konservativ behandelten Patienten zeigen hervorragende Ergebnisse bezüglich Zufriedenheit und Stabilität (Strehl und Egli 2007). In diesen Studien wird nicht ersichtlich, warum einige Patienten bei konservativer Behandlung deutlich bessere Ergebnisse zeigen als andere. Ein möglicher Erklärungsansatz für diese guten Ergebnisse kann die Spontanheilung des vorderen Kreuzbandes sein.

#### **4.3.1 Spontanheilungsrate**

Wir konnten in unserer Untersuchung die Spontanheilungsrate auf 14,17% (54/381 Patienten) beziffern. Aufgrund der bisher dünnen Studienlage zur Untersuchung der Spontanheilung des vorderen Kreuzbandes ist ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen ähnlich konzipierter Studien kaum möglich. Eine vergleichbare aktuelle Studie findet sich in der Fachliteratur, hierin wird die Spontanheilungsrate unter 350 Patienten auf 5% beziffert. Die Autoren haben im Unterschied zu unserer Studie die Verletzungsmechanismen genauer untersucht. Dabei zeigte sich vor allem unter den Alpin-Ski assoziierten Verletzungen mit einem typischen Valgus- und Außenrotationsmechanismus eine „überraschende“ Spontanheilungsrate von 18,5% (Razi et al. 2020). Insgesamt variieren bisherige Publikationen in der Aussage über die spontane Heilung des VKB, meist ohne dabei genaue Zahlen zur Spontanheilung zu nennen. Verschiedene Studien beurteilen die Fähigkeit des vorderen Kreuzbandes zur spontanen Heilung als schlecht. Hefti et al. Zeigten am Tiermodell des Hasen, dass drei Monate nach Transsektion des VKB keine Bandreste mehr nachzuweisen waren. Bei keinem der 24 Versuchstiere trat eine spontane Heilung ein. Nach einem Jahr waren deutliche Zeichen der Osteoarthritis in den Kniegelenken der Tiere nachweisbar. Nagini et al. Verglichen die Proliferationstendenz von Zellen des MCL und des VKB in vitro. Beide Kulturen proliferierten, die Wachstumskurve des MCL-Zellansatzes zeigte sich jedoch deutlich steiler. (Hefti et al. 1991; Nagineni et al. 1992). Andere Autoren berichten über gute konservative Ergebnisse (Frobell et al. 2013; Costa-Paz et al. 2012; Razi et al. 2020; van Yperen et al. 2018; Myklebust et al. 2003; Streich et al. 2011) oder konnten die spontane Heilung in Case Reports beschreiben (Malanga et al. 2001; Kurosaka et al. 1998).

Bezüglich der sich aus dieser Studie ergebenden Spontanheilungsrate sind mögliche Störfaktoren zu diskutieren. Die wahre Spontanheilungsrate ist möglicherweise höher, als wir sie in unserer Studie ermitteln konnten. Ein Grund hierfür könnte in der Patientenauswahl liegen. Es wurden nur Patienten zur VKB-Plastik eingeplant, deren Zustand einen letzten Zweifel über die Stabilität des VKB zuließ. Wenn die Patienten in den 6 – 8 Wochen seit der Verletzung völlig beschwerdefrei waren und zugleich die klinische Untersuchung mit dem subjektiven Empfinden des Patienten in Einklang zu bringen war, so wurde auf weitere Schritte verzichtet. Es ist vorstellbar, dass unter diesen Patienten ebenfalls Spontanheilungen aufgetreten sind, die wir in unserem Studiendesign nicht erfassen konnten. Ebenso wie ein falsch niedriger Wert erklärbar ist, ist auch ein falsch hoher Wert der Spontanheilung nicht auszuschließen. Eine mögliche Ursache hierfür kann die Diagnostik sein. Bei allen Patienten wurde die Diagnose anhand der klinischen Untersuchung und der MRT eines niedergelassenen Radiologen gestellt und in unserer Studie nochmals verifiziert. Diverse Quellen der Literatur ermitteln eine Spezifität der MRT bezüglich der Erkennung von Komplettrupturen des VKB zwischen 89% (Boeree et al. 1991) und 98% (Ha et al. 1998; Riel et al. 1996; Spiers et al. 1993), somit ist letztlich nicht sicher, dass jede als Komplettruptur diagnostizierte Verletzung tatsächlich auch eine solche war. Die Fähigkeit zur Selbstheilung von Partialrupturen des VKB wurde bereits vor Jahren in verschiedenen Studien untersucht und zeigte durchaus gute Ergebnisse, die mit der Erfolgsrate unserer Patienten vergleichbar sind (Fruensgaard und Johannsen 1989; Bak et al. 1997; Lehnert et al. 1993). Trotz der hohen Spezifität für die Erkennung von Kreuzbandrupturen ist es folglich gut möglich, dass auch bei den Patienten der vorliegenden Studie unter den Spontanheilungen die Fälle der subtotalen Partialrupturen mit teilerhaltenem Synovialschlauch dominieren. Dies stellt ein Argument dar, trotz Diagnose einer Kreuzbandruptur das Intervall von 6 – 8 Wochen zur OP auf jeden Fall abzuwarten um eine mögliche positive konservative Entwicklung nicht zu verpassen. Auch im Hinblick auf das Risiko einer postoperativen Arthrofibrose ist eine abwartende Haltung empfehlenswert. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass signifikant weniger Arthrofibrosen nach VKB-Ersatz auftreten, wenn das Intervall zwischen Verletzung und OP mindestens drei Wochen beträgt (Shelbourne et al. 1991) beziehungsweise Beweglichkeit, Schmerzsituation und muskuläre Kontrolle nur noch möglichst gering eingeschränkt sind (Mayr et al. 2004).

#### **4.3.2 Therapieversager**

Betrachtet man die acht Patienten, bei denen eine Ersatzplastik im Verlauf notwendig wurde, genauer, so zeigt sich in fünf Fällen eine intraligamentäre und in drei Fällen eine femoral lokalisierte Ruptur. Bis auf einen Patienten mit zwei Bündeln sind alle Rupturen als ein

Bündel abgrenzbar. Die Integrität des Bandstumpfes ist immer > 50%, in drei Fällen komplett. Der PITS befindet sich mit einem Mittelwert von 8,81° zwischen den Werten der OP-Abbrüche und der Ersatzplastiken in unserer Studie. Es wurde in sieben Fällen telefonisch von zunehmendem Instabilitätsgefühl berichtet, welches eine Ersatzplastik notwendig machte. In einem Fall sei ein erneutes Trauma für die Operation verantwortlich gewesen. Insgesamt ergibt sich hier ein Bild, welches keine konsistenten Schlüsse auf eventuelle Zusammenhänge mit den vor der Intervention aufgenommenen Bildern erlaubt. Es ist daher von multifaktoriellen Gründen für das Therapieversagen auszugehen. Es gibt verschiedene denkbare Erklärungsansätze. Die physiotherapeutische Nachbehandlung unserer Patienten fand nicht am gleichen Standort und somit nicht mit gleichen Schwerpunkten und gleicher Qualität statt. Die Schulung der Propriozeption und muskulären Kontrolle hat jedoch entscheidenden Einfluss auf die Erfolgsaussichten für Patienten nach VKB-Ruptur – unabhängig ob eine Ersatzplastik durchgeführt wurde oder nicht (Barrett 1991; Borsa et al. 1997; Muaidi et al. 2009; Eastlack et al. 1999). Auch die zugemutete Belastung und der eigene sportliche Anspruch der Patienten ist naturgemäß unterschiedlich, sodass Instabilitäten in unterschiedlichem Maß festgestellt und als störend empfunden werden können.

### **4.3.3 Begleitverletzungen**

Wir untersuchten zudem, welche Begleitverletzungen bei unseren Patienten auftraten. In beiden Gruppen traten in ca. 2/3 der Fälle relevante Begleitverletzungen auf (63,6% OP-Gruppe vs. 64,8% OP-Abbruch-Gruppe). Es kursiert in der Literatur bereits die Annahme, dass die Fähigkeit zur Spontanheilung des VKB durch die Mitverletzung anderer Strukturen und die folglich ablaufende Entzündungsreaktion potenziert werden kann. Razi et al. Haben an 15 Patienten eine spontane Heilung des VKB beobachtet. Vor allem Begleitverletzungen des MCL schienen sich in dieser Studie günstig auf die Heilung des VKB auszuwirken (Razi et al. 2020). Wir können dies mit den Daten unserer Studie nicht bestätigen. Zwischen unseren beiden Gruppen war kein signifikanter Unterschied der relativen Anzahl an Begleitverletzungen messbar ( $p = 1$ ). Dennoch ist der Aspekt der verstärkten Entzündungsreaktion als Zugpferd für die Spontanheilung ein interessantes Denkmodell, welches in der weiteren Forschung genauerer Untersuchung bedarf. Die These wird unterstützt durch ein systematisches Review von Studien zur Auswirkung von *non-steroidal-anti-inflammatory-drugs* (NSAID) auf die muskuloskeletale Bindegewebsheilung. Ghosh et al. Fassten Ergebnisse aus 44 Studien zusammen, wobei eine negative Auswirkung auf die Heilung von Bändern und Sehnen vor allem für COX-selektive NSAID gezeigt werden konnte. Was die unselektiven NSAID angeht konnte keine klare Aussage getroffen werden,

da die Literatur positive und negative Auswirkungen dieser Medikamente beschreibt (Ghosh et al. 2019). Ob dieser Ergebnisse muss im Umkehrschluss die mögliche positive Auswirkung einer verstärkten inflammatorischen Antwort aber auf jeden Fall in Erwägung gezogen werden.

#### **4.3.4 Kreuzbandverletzung**

Zur Kategorisierung der Verletzung des VKB haben wir eine Einteilung in drei Untergruppen vorgenommen: Rupturlokalisierung, Rupturmuster und Integrität des Bandstumpfes. Die Rupturlokalisierung unterscheidet sich deutlich in unseren beiden Gruppen. In der Gruppe der abgebrochenen Ops fanden sich signifikant häufiger Patienten mit einer femoralen Ruptur als in der Gruppe der mit einer Bandplastik Versorgten (48,1% vs. 32,1%;  $p = 0,02$ ). In der einzigen uns bekannten weiteren Studie, die die Spontanheilung untersucht, kamen die Autoren zu einem noch extremeren Ergebnis: Alle der 15 spontan geheilten Kreuzbandverletzungen waren im proximalen Drittel gerissen (Razi et al. 2020). Van der List et al. Untersuchten an 353 Patienten (Durchschnittsalter 37,1 Jahre) die Inzidenz verschiedener Rupturlokalisierungen in einer Einteilung in fünf Grade (van der List et al. 2017). Die Erkenntnisse dieser Studie sind mit unseren Ergebnissen vergleichbar: 43% wiesen in jener Untersuchung eine mit unserer femoralen Ruptur vergleichbare Rupturlokalisierung auf. Wir konnten insgesamt 34% als femoral klassifizieren. Die intraligamentären Rupturen fanden List et al. In 52% der Fälle (unsere Studie: 58%) und die tibialen Rupturen in 4% (unsere Studie 5%) der Fälle. Vergleicht man nun die Altersgruppen, so rücken die Zahlen der beiden Studien noch näher zusammen. Die Autoren fanden heraus, dass bei Patienten unter 35 Jahren (Durchschnittsalter unserer Patienten: 27,4 Jahre gesamt und 33,5 Jahre bei den eingeschlossenen Patienten) die Inzidenz der intraligamentären Rupturen steigt und die Inzidenz der femoralen Rupturen fällt, was die Inzidenzen der beiden Studien durchaus vergleichbar macht. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Einteilung der Rupturlokalisierung in der MRT ein Werkzeug zu sein scheint, welches reproduzierbare Ergebnisse erzeugt und in der Abschätzung der weiteren Therapie dienlich sein kann. Es ist bekannt, dass die Nährstoffversorgung an der femoralen und tibialen Insertion des VKB durch den direkten Anschluss an den Blutkreislauf am besten ist und somit bessere Voraussetzungen für eine Gewebeheilung vorliegen (Standring et al. 2016; Toy et al. 1995). Folglich bietet es sich gerade bei der häufig auftretenden femoralen Ruptur an, bei entsprechender guter klinischer Verfassung des Patienten zunächst eine abwartende Haltung über mehrere Wochen einzunehmen und den weiteren Heilungsverlauf zu beobachten.

Die Einteilung des Rupturmusters ist in der Literatur bisher in dieser Form kaum vertreten. In unserer Untersuchung fällt auf, dass die überwältigende Mehrheit von 94% der Patienten, deren OP abgebrochen wurde ein als einzelner Strang nachweisbares und nicht gespaltenes Bündel aufwies. In der Gruppe der Operierten konnte bei 69% der Patienten ein Bündel nachgewiesen werden. Eine mögliche Erklärung für die präferierte Heilung bei Einzelbündelrupturen könnte der synoviale Überzug des VKB liefern. Ateschrang et al. bemerkten in ihrer Studie zur primären Reparatur des VKB ebenfalls, dass eine auf ein Bündel begrenzte Ruptur eine signifikant bessere Heilungstendenz nach einer dynamischen intraligamentären Stabilisation zeigte, als dies bei zwei oder mehr Bündeln der Fall war. Im arthroskopischen Aspekt zeigte sich hier bei nicht gespaltenen, als komplettes Bündel abgrenzbaren Rupturen regelhaft ein intakter Synovialüberzug des Bandes (Ateschrang et al. 2019). Unsere Beobachtungen zur Integrität des verbleibenden Bandstumpfes und seinem anliegenden Synovialüberzug zeigen ein ähnliches Bild: in 51 von 54 Fällen (93,6%), in denen die OP abgebrochen werden konnte, war der tibiale Stumpf zu mehr als 50% erhalten.

#### **4.3.5 Posterior inferior Tibial Slope**

Der PITS stellt in biomechanischen Überlegungen einen Faktor dar, der die auf das VKB wirkenden Kräfte beeinflussen kann. Ein steiler nach dorsal kippendes tibiales Plateau („*slope*“) ist in verschiedenen Studien aufgrund der hieraus resultierenden Zugkräfte als Risikofaktor für eine Ruptur des VKB beschrieben (Şenişik et al. 2011; Brandon et al. 2006; Kostogiannis et al. 2011; Hendrix et al. 2017). Dejour et al. konnten außerdem zeigen, dass ein VKB-defizientes Knie im monopodalen Stand eine höhere Auslenkung in die anteriore tibiale Translation erfährt, als ein gesundes (Dejour und Bonnin 1994). Auf diesen Überlegungen basierend haben wir den PITS unserer beiden Patientengruppen ebenfalls verglichen, um mögliche Auswirkungen auf die Spontanheilung zu untersuchen. Der Mittelwert des PITS der Patienten, die eine Ersatzplastik erhielten, beträgt  $9,84^\circ \pm 3,54^\circ$ . Bei den Patienten mit OP-Abbruch beträgt der Mittelwert  $8,16^\circ \pm 2,44^\circ$ . Der Unterschied zwischen den Gruppen ist dabei signifikant ( $p < 0,001$ ). Diese Erkenntnis legt nahe, dass ein kleinerer Winkel und damit ein flacher abfallender PITS eine spontane Heilung des VKB günstig beeinflussen kann. Biomechanisch ist dies mit einer geringeren Separation der tibialen und femoralen Insertionen des VKB vor allem im Einbeinstand (wie beispielsweise im normalen Gangbild vorkommend) zu erklären. Jeder unserer Patienten wurde zwischen dem Kontakt in unserer Ambulanz und dem Operationstermin mit einer beweglichen Knieorthese versorgt, welche translatorische Bewegungen limitieren soll. Fleming et al. konnten zeigen, dass eine solche Orthese die Scherkräfte in antero-posteriorer Richtung zwar reduzieren,

nicht aber eliminieren kann (Fleming et al. 2000). Folglich kann der Effekt des PITS mit großer Wahrscheinlichkeit auch bei adäquater Orthesenversorgung und konsequentem Tragen derselben nicht komplett vernachlässigt werden.

#### **4.3.6 Follow-Up-Untersuchung**

In der *Follow-Up*-Untersuchung wurde die Kniefunktion der Patienten mindestens 12 Monate nach OP-Abbruch bei stattgehabter Spontanheilung anhand verschiedener Parameter evaluiert. Für die Nachuntersuchung lag uns keine eigene Vergleichsgruppe mit Patienten nach Kreuzbandplastik vor. Aus diesem Grund werden zur Einordnung unserer Patienten aktuelle Studien zum *Outcome* von Patienten mit VKB-Ersatzplastik herangezogen.

Um sowohl ein Bild vom aktuellen subjektiven Empfinden der Patienten als auch von objektivierbaren Größen der Kniefunktion zu bekommen, bedienten wir uns der Formblätter des IKDC und des Tegner Activity Scale (TAS). Die Fragebögen wurden in verschiedenen Studien auf Reliabilität und Validität untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass diese Assessments unabhängig von der genauen Pathologie des Kniegelenkes zuverlässig interindividuell vergleichbare Werte zur Einschätzung der Kniefunktion liefern (Irrgang et al. 2001; Higgins et al. 2007; Ebrahimzadeh et al. 2015). Während der TAS für einen intra-individuellen Vergleich der sportlichen Möglichkeiten vor und nach Verletzung dient ist der IKDC-Score inter-individuell für Vergleiche zu bemühen.

Mit einem mittleren IKDC-Score von 84,63 Punkten  $\pm$  11,76 (Standardabweichung, Median = 89,09, Spannweite 60,92 - 100) im Formblatt zur subjektiven Beurteilung schneiden unsere Patienten zufriedenstellend ab. Dieser Wert lässt sich anhand zahlreicher Studien in den Kontext mit Patienten nach Operation mit Ersatzplastik oder dynamischer intraligamentärer Stabilisation bringen. In der Literatur schwanken die mittleren IKDC-Scores bei den verschiedenen Formen der Therapie einer VKB-Ruptur zwischen 62,2 und 93,86. In allen zum Vergleich herangezogenen Studien zeigte sich auch beim Ergebnis des TAS ein ähnliches Bild wie in unserer Studie: Es wurde nie das Ausgangsniveau erreicht, unabhängig von der Therapie der VKB-Ruptur. In unserer Studie war die Reduktion des TAS zum Wert vor der Verletzung mit einem durchschnittlichen Delta von 1,13 zwar signifikant ( $p < 0,001$ ), sie lag jedoch unterhalb des „minimal detectable change“ (MDC) für den in deutscher Sprache verfassten Test, welcher bei 1,4 ermittelt wurde (Wirth et al. 2013). Eine Reduktion des TAS über die MDC hinaus zeigt sich auch in diversen Studien zur Untersuchung des Outcomes nach VKB-Ersatzplastik (Streich et al. 2011; Frobell et al. 2013; Zaffagnini et al. 2006; van Yperen et al. 2018). Im Folgenden sind die Ergebnisse der Vergleichsstudien in tabellarischer Form zusammengefasst.

<b>Patienten (n)</b>	<b>mittl. IKDC- Score [SD]</b>	<b>TAS (prä- Verletzung → Follow- Up)</b>	<b>mittl. Alter bei Verl. (y)</b>	<b>Follow- Up (months)</b>	<b>Intervention</b>	<b>Quelle</b>
120	90,8 [11,1]	/	26	≥ 12	ST-G Plastik	(Logerstedt et al. 2012)
467	83,1	/	/ Meta-Analyse	≥ 12	Quadriceps- Plastik	(Mouarbes et al. 2019)
252	81,02	/	/ Meta-Analyse	≥ 12	BTB-Transplantat Patella	(Mouarbes et al. 2019)
87	80,26	/	/ Meta-Analyse	≥ 12	ST-G Plastik	(Mouarbes et al. 2019)
30	62,2 [21,1]	/	34	> 6	ST-G Plastik	(Łyp et al. 2018)
25	77,1	9 → 8	37,6	≥ 120	BTB-Transplantat Patella	(Meuffels et al. 2009)
40	69,9 [17,0]	7,6 → 4,7 *	26,0	≥ 180	BTB-Transplantat Patella	(Streich et al. 2011)
32	93,68	6 → 5,5	27,7	≥ 12	DIS	(Ateschrang et al. 2018)
17	86,7 [6,5]	7 → 7	31	≥ 120	ST-G Plastik	(Tsoukas et al. 2016)
25	/	8 → 7,8	30,5	≥ 8	BTB-Transplantat Patella	(Zaffagnini et al. 2006)
25	/	8 → 7,1	31,3	≥ 9	ST-G Plastik (4- fach)	(Zaffagnini et al. 2006)
25	/	9 → 8,5	26,7	≥ 11	ST-G Plastik (intra+extraart.)	(Zaffagnini et al. 2006)
22	82,5	7 → 5 *	25,5	≥ 180	nicht beschrieben	(Kostogiannis et al. 2007)
59	/	9 → 4 *	26,4	≥ 59	BTB/ ST-G (sofort)	(Frobell et al. 2013)
30	/	9 → 4 *	25,8	≥ 57	BTB/ ST-G (delayed)	(Frobell et al. 2013)
25	81,6	9 → 5 *	27,6	≥ 240	BTB-Transplantat Patella	(van Yperen et al. 2018)
15	77,5 [13]	7 → 5 *	33	≥ 120	konservativ	(Tsoukas et



						al. 2016)
25	78,2	9 → 4 *	27,8	≥ 240	konservativ	(van Yperen et al. 2018)
29	/	9 → 4 *	25,8	≥ 55	konservativ	(Frobell et al. 2013)
<b>24</b>	<b>84,63 [11,76]</b>	<b>6,92 → 5,79</b>	<b>33,5</b>	<b>≥ 12</b>	<b>konservativ nach Spontanheilung</b>	<b>unsere Studie</b>

**Abb. 35:** Übersichtstabelle Vergleichsstudien (\* Delta im TAS > MDC von 1,4)

Die Tabelle zeigt, dass sowohl der durchschnittliche IKDC-Wert als auch die Veränderung des TAS vom Wert vor der Verletzung zum Wert nach mindestens 12 Monaten nicht wesentlich vom erreichten Wert operierter Patienten abweichen. Höhere IKDC-Scores in Vergleichsstudien lassen sich möglicherweise durch ein geringeres Durchschnittsalter der untersuchten Patienten erklären. Dass grundsätzlich eine umgekehrt proportionale Korrelation zwischen IKDC-Score und Patientenalter vorzuliegen scheint, konnte in einer großen Querschnittsstudie an über 5000 Kniegelenken nachgewiesen werden (Anderson et al. 2006). Diese Tendenz ist innerhalb unserer Studienpopulation ebenfalls angedeutet, hierbei liegt jedoch keine Signifikanz vor ( $p = 0,90$ ). Die Ergebnisse des TAS unterliegen ebenfalls in einem gewissen Grad dem Patientenalter. Jenseits der 40 Jahre findet auch bei kniegesunden ein signifikanter Stufenabstieg statt (Andersson-Molina et al. 2002). Dies könnte eine Erklärung für die Veränderung des TAS bei einigen der hier angeführten Studien sein, bei anderen wiederum lässt sich dieser Alterseffekt nicht ablesen.

Die Mehrheit der hier gelisteten Studien legten die ersten *Follow-Up* Untersuchungen nach frühestens 12 Monaten post interventionem an. Auch in unserer Studie wurde so verfahren. Wir konnten eine Tendenz erkennen, dass eine längere *Follow-Up*-Zeit mit einem schlechteren subjektiven IKDC-Score korreliert, diese Auffälligkeit war jedoch nicht signifikant ( $p = 0,1193$ ). Aus den hier zum Vergleich angeführten Studien lässt sich diesbezüglich keine sichere Aussage ableiten.

Einige Studien konnten bisher bei konservativ behandelten Patienten eine verglichen mit Patienten nach VKB-Plastik verstärkte Neigung zur Entwicklung von Meniskusschäden beobachten (Shelton et al. 1997; Irvine und Glasgow 1992). In einer Langzeitstudie über drei Jahrzehnte, durchgeführt an 19 Hochleistungsathleten verschiedener Sportarten konnten Nebelung et al. zeigen, dass Meniskusverletzungen nach konservativ versorgter VKB-Ruptur bereits nach etwa 6 Monaten eintraten. In der *Follow-Up* Untersuchung nach zehn Jahren

war eine Meniskektomie – zumeist des medialen Meniskus – in drei Viertel der Fälle notwendig geworden (Nebelung und Wuschech 2005). Dementgegen steht die Aussage von Daniel et al.: Hier musste bei 191 konservativ behandelten und als instabil eingestuften Kniegelenken nach VKB-Verletzung nur in etwa 20% der Fälle eine operative Behandlung von Meniskusschäden stattfinden. (Daniel et al. 1994). Im Unterschied zu der Studienpopulation von Nebelung et al. handelte es sich hier um einen repräsentativen Querschnitt der Bevölkerung ohne Tendenz zum Leistungssport. Frobell et al. stellten in ihrer randomisierten Studie fest, dass sich die Hälfte aller Patienten - unabhängig von der Art der Therapie des VKB – im Fünfjahreszeitraum einer Meniskusoperation unterziehen mussten. Zwischen operierten und konservativen Patienten gab es jedoch keinen signifikanten Unterschied in der Häufigkeit der Meniskusverletzungen (Frobell et al. 2013). Wir konnten in unseren Untersuchungen keine klinisch auffälligen Meniskusdefekte nachweisen oder durch Berichte der Patienten darauf schließen. Verglichen mit den vorgenannten Untersuchungen war unser Beobachtungszeitraum im Schnitt jedoch kürzer. Eine weitere *Follow-Up*-Untersuchung könnte hier ein klareres Bild schaffen.

Das Formblatt des IKDC zur objektiven Bewertung der Kniefunktion liefert gut vergleichbare Messwerte und die Möglichkeit, die Patienten für eine Übersicht der Gesamtfunktion in einen Gruppengrad von A – D, absteigend nach der Stabilität und Funktion des Knies einzuteilen. Erstrebenswert und als Therapieerfolg zu bezeichnen ist mindestens Grad B, der eine „annähernd normale“ Kniefunktion beschreibt. In der abschließenden Einordnung, welche sich nach der schwächsten Bewertung in einer der vier Unterkategorien richtet, waren 17 (71%) unserer Patienten mindestens dem Grad B zuzuordnen. In neun Fällen (38%) konnte in allen Kategorien dem Bestwert A zugeordnet werden, in weiteren 6 Fällen waren die Patienten in drei der vier Kategorien mit Grad A einzuordnen. Über eine längere Zeit des *Follow-Ups* mit mehreren Untersuchungen zu verschiedenen Zeitpunkten scheint eine gewisse Mobilität über die Gruppengrade möglich zu sein. Diese kann entweder verschlechternd oder aber auch verbessernd ausfallen. Van Yperen et al. untersuchten 50 Patienten nach zehn und nochmals nach 20 Jahren. Dabei „erholten“ sich einige Patienten von einem abnormalen zu einem normalen Testergebnis. Sie führten diese veränderten Befunde zum einen auf osteophytäre Anbauten und Verdickung der Kapsel zurück, die eine Laxität der Bandstrukturen möglicherweise limitiert, zum anderen kann am wachen Patienten nicht bei jeder Untersuchung für die gleiche Muskelspannung garantiert werden (van Yperen et al. 2018).

In der Kategorie der Ligamentuntersuchung waren Auffälligkeiten in der Nachuntersuchung zu verzeichnen. Neun Patienten (38%) zeigten in keinem der drei Ligament-Assessments

einen pathologischen Befund und wurden dem Gruppengrad A zugeordnet. Bei zehn (42%) weiteren Patienten war eine Zuordnung zum Gruppengrad B aufgrund eines spürbaren Gleitens im *Pivot-Shift-Test* und evtl. zusätzlich einer relevanten Seitendifferenz in der Messung per *KT-1000* angezeigt. Fünf Patienten (20%) konnten entweder aufgrund eines unsicheren Endgefühls im *Lachman-Test* oder wegen eines zweitgradig positiven *Pivot-Shift-Tests* mit dumpf hör- und spürbarem Gleiten nicht als normal eingestuft werden. Es war also bei knapp zwei Dritteln unserer Patienten eine objektive Auffälligkeit in der Untersuchung des vorderen Kreuzbandes festzustellen, obwohl die subjektiven Fragebögen mit einem durchschnittlichen Score nahe an der „gesunden“ Norm dies nicht erwarten lassen. Es konnte von verschiedenen Autoren bereits gezeigt werden, dass konservativ behandelte Patienten nach VKB-Ruptur bezüglich des funktionellen Outcomes nicht signifikant schlechter abschneiden als operierte Patienten mit gleicher Verletzung. Dementgegen steht, was auch in der vorliegenden Studie sichtbar wird: Die Testung der mechanischen Stabilität des Bandes konservativ Behandelter zeigt Mängel auf. Es lässt sich in aller Regel eine erhöhte Laxität und/oder eine angedeutete Rotationsinstabilität nachweisen. Eine signifikante Seitendifferenz mit größerem Ausschlag am betroffenen als am nicht betroffenen Kniegelenk in der Messung mittels *KT-1000* war nachweisbar ( $p < 0,001$ ). Diese Probleme können offensichtlich durch eine Operation behoben werden. Eine Feststellung, die auch in Studien belegt werden konnte (Frobell et al. 2013; van Yperen et al. 2018; Streich et al. 2011; Myklebust et al. 2003). Es stellt sich die Frage, worin die Diskrepanz zwischen dem guten subjektiven Empfinden und der messbaren Einschränkung der Stabilität des VKB bei konservativ Behandelten begründet ist. Eine mögliche Erklärung liegt in einer Veränderung des Verhaltens der Patienten. Das Niveau des TAS, also der höchsten regelmäßig ausgeübten Aktivitätsstufe, sinkt unabhängig von der Therapie in vielen beschriebenen Fällen signifikant, sodass auch mit einer ausreichenden Kniestabilität der Alltag oder leichte sportliche Aktivität als wenig eingeschränkt empfunden werden (Kostogiannis et al. 2007; Streich et al. 2011; Frobell et al. 2013; van Yperen et al. 2018; Fink et al. 2001). Dennoch ist in der Literatur auch ein „Return to Sport“ auf hohem Niveau bei pivotierenden Sportarten unter konservativem Management beschrieben (Roos et al. 1995; Myklebust et al. 2003). Einen weiteren Erklärungsansatz lieferten schon im Jahr 1999 Eastlack et al. mit der Beschreibung von „*Coper*“ und „*Non-Coper*“. *Coper* können eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes durch eine gute muskuläre Kontrolle und Kraft des Quadriceps femoris besser kompensieren. Sowohl in funktionsorientierten Sprungtests, als auch in der *maximum voluntary isometric contraction* (MVIC) des Quadriceps wiesen die *Coper* signifikant bessere Ergebnisse auf (Eastlack et al. 1999). Allerdings stellt sich bei dieser Schlussfolgerung die Frage, ob nicht ein anderer, noch nicht untersuchter Faktor die bessere muskuläre Kraft und Kontrolle des Quadriceps erst ermöglicht hat. Dieser Faktor kann als dritter Erklärungsansatz

beispielsweise die Spontanheilung des vorderen Kreuzbandes sein. Dass die Propriozeption eines Kniegelenkes durch eine Ruptur des VKB eingeschränkt ist, konnten Relph et al. in einer Meta-Analyse von sechs Studien herausstellen. Sowohl im Vergleich zur gesunden Gegenseite des einzelnen Patienten als auch im Vergleich mit Kontrollgruppen schnitten die VKB-defizienten Gelenke im Assessment der Tiefensensibilität und der kleinsten spürbaren Gelenkauslenkung signifikant schlechter ab (Relph et al. 2014). Es scheint auch bei operierten Patienten trotz mechanisch stabilem Bandersatz von entscheidender Bedeutung für den subjektiv empfundenen Erfolg zu sein, wie gut sich die Propriozeption erholt. Verschiedene Autoren konnten zeigen, dass die gemessene propriozeptive Fähigkeit eng mit der subjektiven Zufriedenheit der Patienten korreliert (Barrett 1991; Borsa et al. 1997; Muaidi et al. 2009). Dass bei den konservativ therapierten Patienten unserer Studie und, wie zuvor bereits beschrieben, auch in anderen Untersuchungen an konservativ Behandelten in nicht unerheblichem Maße gute funktionelle Ergebnisse auftreten ist wahrscheinlich auf die spontane Heilung der Struktur zurückzuführen. Da kein Material anderer Körperstrukturen eingebracht wird und nur die Kreuzbandstruktur samt der hier physiologisch vorhandenen Rezeptoren verheilt, ist von einer Mechanorezeptorendichte nahe am gesunden Zustand auszugehen. Dies führt im Falle der spontanen Heilung in der Konsequenz zu einer guten Propriozeption und hoher Zufriedenheit des Patienten. Auch in der Kreuzbandchirurgie werden Versuche unternommen, die Mechanorezeptoren des Kreuzbandes zu erhalten und ein Einwachsen in die Bandplastik zu ermöglichen. Zu diesem Zweck wird das sogenannte „Remnant Preserving“ unternommen, bei dem die Fasern der proximalen und distalen Insertion des Bandes zu einem Teil belassen werden, um die hier in hoher Dichte vorhandenen Mechanorezeptoren zu erhalten. Untersuchungen verschiedener Autoren konnten keine sichere Aussage über den Nutzen dieser Therapie treffen. Einerseits wird von fehlender Evidenz für einen propriozeptiven und funktionellen Vorteil gegenüber der konventionellen OP-Technik (Dhillon et al. 2016; Kondo et al. 2015) berichtet, andererseits zeigte eine Meta-Analyse von sieben Studien einen signifikanten Vorteil des Remnant Preserving für das funktionelle Outcome ohne dabei explizit auf die propriozeptive Funktion einzugehen (Wang et al. 2018).

Zur Bewertung der Funktion des betroffenen Beines im Vergleich der Funktion des nicht betroffenen Beines (Limb-Symmetry-Index, LSI) bedienten wir uns nach IKDC des „*single-legged hop-tests*“. Dieser Test konnte als guter Prädiktor für die allgemeine Kniefunktion verifiziert werden, eine Kombination mit weiteren *hop-tests* wie dem „*crossover-hop for distance*“ oder dem „*6-m timed hop*“ zeigte dabei keine weitere Verbesserung der Voraussagekraft (Grindem et al. 2011). 15 unserer Patienten (62,5%) erreichten einen Wert  $\geq 90\%$  (Gruppengrad A), sieben Patienten (29,2%)  $\geq 80\%$  (Gruppengrad B) und zwei Patienten (8,3%)  $\geq 70\%$  (Gruppengrad C). Unter unseren Patienten konnten wir einen

Durchschnittswert von  $91,77 \pm 8,44$  (Standardabweichung, Median = 95,05, Spannweite 70 - 103,54) ermitteln. Mit diesem Wert lässt sich unsere Patientenpopulation im Outcome mit den Ergebnissen anderer Studien vergleichen. Sekiya et al. untersuchten 107 Patienten durchschnittlich zwei Jahre nach VKB-Ersatzplastik wobei ein LSI von 92% erreicht werden konnte (Sekiya et al. 1998). Eine Meta-Analyse mit 88 inkludierten Studien konnte ebenfalls einen LSI von 92% 12 Monate nach VKB-Rekonstruktion zeigen (Abrams et al. 2014). Dass allerdings der *Hop-Test* nicht frei von Einschränkungen ist lässt sich aus der Studie von Augustsson et al. ablesen. Wurde der M. Quadriceps vor dem *Hop-Test* in Form einer einmalig durchgeführten Maximalbelastung ermüdet (sog. *One-Repetition-Maximum; 1RM*), so waren 13 von vorher 19 mit einem LSI > 90% gemessenen Patienten in der anschließenden Messung nur noch Gruppengrad B zuzuordnen. Gerade bei der Entscheidung ob eine Rückkehr zum Sport empfehlenswert ist sollte man diesen Umstand im Hinterkopf behalten (Augustsson et al. 2004).

#### **4.4 Limitationen der Studie**

Trotz aller Überlegungen und Sorgfalt ist die vorliegende Studie nicht frei von Limitationen.

Zunächst ist die insgesamt geringe Zahl an einschussfähigen Patienten, die durch einen hohen „*Loss-to-Follow-Up*“ noch verstärkt wird, zu nennen. Ein größeres Patientenkollektiv wäre mit einer größeren statistischen Aussagekraft verbunden, die gerade in der Bewertung der Kniefunktion nach spontaner Heilung wünschenswert gewesen wäre. Es ist anzunehmen, dass die Bindung der Patienten an die Studie und die Nachuntersuchung stärker gewesen wäre, wenn schon zur Zeit der Intervention ein *Follow-Up* Prozedere festgelegt worden wäre.

Eine weitere Schärfung des Ergebnisses hätte durch ein einheitliches Nachbehandlungskonzept bewirkt werden können. Unsere Patienten führten zwar alle eine physiotherapeutische Rehabilitation durch, jedoch ist dies nicht immer in der gleichen Einrichtung und somit nicht immer nach dem gleichen Konzept durchgeführt worden. Auch ist uns nicht bekannt, ob außer den von uns verordneten Physiotherapieeinheiten noch weitere, durch andere Einrichtungen verordnete Therapien durchgeführt wurden.

Wünschenswert wäre es für die Beurteilung und Einordnung der Heilungschance anhand der von uns festgelegten Kriterien der MRT-Bilder, wenn diese in unserer Studie alle mit einem vergleichbaren Gerät aufgenommen worden wären. Die uns zur Verfügung stehenden MRT-Aufnahmen waren zwar durchweg zufriedenstellend, jedoch waren vereinzelt Bildserien aufgrund ihrer Qualität schwerer zu kategorisieren als das Gros. Einerseits durch

Bewegungsartefakte, andererseits durch eine geringere Aufnahmeschärfe. Eine Bildgebung in einheitlicher Qualität mit genauer Instruktion der Patienten würde diesen potenziellen Störfaktor weitgehend ausschalten.

Es wäre zur Verifikation der Bandheilung ideal gewesen, nochmals eine MRT-Aufnahme des Kniegelenks im Rahmen der *Follow-Up*-Untersuchung zu erstellen. Leider konnte dies aufgrund fehlender finanzieller Mittel nicht realisiert werden. Um einen Vorher-Nachher-Vergleich zu ermöglichen und das Ergebnis der Therapie weiter zu objektivieren sollte dies in folgenden Studien dieser Art angestrebt werden. Klinisch inapparente Defekte der Menisken waren in unserer Studie leider nicht zu detektieren, auch diesbezüglich wäre eine abschließende MRT ein sinnvolles Werkzeug.

Der sportliche Anspruch des einzelnen Patienten ist als beeinflussender Faktor ebenfalls zu nennen. Unser Patientenkontext bildet einen Querschnitt der Bevölkerung ab, somit sind auch sehr unterschiedliche persönliche Leistungsansprüche vertreten. Dies kann wiederum zu Verzerrungen der subjektiven Bewertung der Kniefunktion führen, da ein Patient mit geringem sportlichen Anspruch wahrscheinlich eher auch eine ausreichende Kniefunktion hinnimmt, als ein sportlich höher ambitionierter. Eine Untersuchung einer Kohorte von beispielsweise nur Vereinssportlern oder explizit ohne sportlich organisierte Patienten hätte das Potenzial diese Störfaktoren auszuschalten.

Eine studieneigene Vergleichsgruppe operierter Patienten in der Nachuntersuchung wäre bei Erweiterung des Forschungsprojektes ebenfalls wünschenswert. Da es sich in der vorliegenden Arbeit um eine retrospektive Studie handelt, müssen Vergleichsdaten aus diversen anderen Studien entnommen werden. Die *Follow-Up*-Zeiten und auch das Patientenmanagement bezüglich therapeutischer Begleitung und Anbindung an das Studienzentrum sind dabei verschieden. Ein Vergleich, um Unterschiede bestmöglich herauszustellen, lässt sich am besten anstellen, wenn die Gruppen sich nur in der durchgeführten Therapie unterscheiden. Dies können wir bei unseren Vergleichsstudien zwar annehmen, aber nicht garantieren.

## **4.5 Ausblick**

Die Ergebnisse dieser Studie unterstützen ein abwartendes, konservatives Procedere bei Patienten nach VKB-Ruptur als sinnvolle Behandlungsalternative zur etablierten Kreuzbandchirurgie. Auf diese Art kann die Spontanheilung eines eventuell nur subtotal rupturierten VKB ermöglicht und abgewartet werden. Dass bei entsprechend geringer klinischer Symptomatik und eingeschränktem sportlichen Anspruch ein konservatives

Vorgehen möglich ist, besagen bereits die Leitlinien der DKG. Wir konnten zusätzlich zeigen, dass auch bei sportlich aktiven Patienten nach Sichtung der MRT- und Röntgenbilder vor allem in Bezug auf die Rupturlokalisierung und den posterior tibial slope ein abwartendes Vorgehen zufriedenstellende Ergebnisse liefern kann. Zudem reduziert das Intervall von mindestens sechs Wochen und die konsequente Verbesserung von Schmerz, Beweglichkeit und muskulärer Kontrolle das Risiko einer postoperativen Arthrofibrose. Diesbezüglich sehen wir ein übereinstimmend positives Bild, da bei unseren Patienten im Untersuchungszeitraum keine postoperativen Arthrofibrosen auftraten.

Die Frage nach den Langzeitergebnissen und der Zufriedenheit kann unsere Studie nicht über einen Zeitraum von mehr als fünf Jahren beantworten. Die durchschnittliche Zeit bis zur Nachuntersuchung beträgt in unserer Studie 36,2 Monate, das längste *Follow-Up* 59 Monate. Studien zu den Ergebnissen der Kreuzbandchirurgie und auch des „Schicksals“ der konservativ Versorgten sind nicht selten mit mehreren *Follow-Up*-Untersuchungen und über einen Beobachtungszeitraum von mehr als zehn Jahren durchgeführt worden. Diese Daten sollten auch für diese spezieller selektierte konservative Art der Therapie in Zukunft noch akquiriert werden um ein genaueres Bild über mögliche Folgeverletzungen wie beispielsweise Meniskusschäden zu erhalten.

Bei weiterer Forschung in die Richtung der konservativen Therapie bei Spontanheilung ist es möglicherweise auch sinnvoll, den Verletzungsmechanismus so genau wie möglich zu dokumentieren, um eine Abschätzung der Chance auf Spontanheilung zu verbessern. Eine aktuelle Studie von Razi et al. liefert Hinweise, dass der Mechanismus einer VKB-Ruptur eine wichtige Rolle bei der Chance zur spontanen Heilung spielt. Als mögliche Ursache für eine verbesserte Chance zur Spontanheilung sahen die Autoren die für bestimmte Verletzungsmechanismen typischen Begleitverletzungen und resultierende Entzündungsvorgänge (Razi et al. 2020). Wir konnten keinen eindeutigen Zusammenhang der Heilung mit einzelnen Begleitverletzungen herstellen, jedoch ist die Genauigkeit sowohl unserer als auch der Ergebnisse von Razi et al. durch die geringe Patientenzahl limitiert. Somit sollte die Untersuchung von Verletzungsmechanismen und deren Folgen für die Spontanheilung weiterhin in größer angelegten Studien Gegenstand der Forschung bleiben.

## **5 Zusammenfassung**

Kreuzbandverletzungen zählen zu den häufigsten Bandverletzungen in der Medizin. Diese meist sportassoziierte Verletzung bedeutet nicht selten einen gravierenden Einschnitt für den Patienten. Sei es aufgrund in der Folge dauerhaft eingeschränkter sportlicher

Leistungsfähigkeit oder im Ausblick auf den bevorstehenden langen Weg der Rehabilitation bis hin zum angestrebten Erreichen des Ausgangsniveaus. Der Goldstandard gerade bei jungen und aktiven Patienten ist die Kreuzbandplastik mit einer körpereigenen Sehne. Das konservative Procedere steht als Therapiealternative bei geringem sportlichen Anspruch oder fehlender Symptomatik zur Verfügung. Es hat sich immer wieder in Studien gezeigt, dass auch Patienten mit konservativem Prozedere sehr gute Ergebnisse bezüglich der sportlichen Aktivitätsstufe und des subjektiven Stabilitätsgefühls erzielen konnten. Eine schlüssige Erklärung, warum einige Patienten bei konservativer Therapie gute, andere wiederum keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielen können, bleibt die Fachliteratur im Moment noch schuldig. Als Gründe für das „Coping“ mit einer VKB-Ruptur wird beispielsweise eine gute muskuläre Stabilisation genannt. Auch die vermeintliche „*Restitutio ad Integrum*“ durch ein Herunterfahren des sportlichen Anspruches wird in diesem Zusammenhang diskutiert. Die spontane Heilung des Bandes wird von Fachkreisen kaum beachtet, zu gering wurde schon vor Jahren die Potenz zur Selbstheilung des Bandes eingeschätzt.

Wir haben uns in der vorliegenden Studie den Fragen gewidmet, ob die Spontanheilungsrate höher als bisher angenommen ist, welche Verletzungscharakteristika und anatomischen Landmarken diese begünstigen und ob Patienten mit einer spontanen Heilung des VKB auch nach mindestens einem Jahr eine zufriedenstellende globale Kniefunktion im Vergleich zu operativ Versorgten haben.

Anhand unseres Kollektivs von 381 erstmalig im MRT mit einer Kompletttraktur des VKB diagnostizierten Patienten konnten wir eine Spontanheilungsrate von mindestens 14,2% nachweisen. Der Nachweis gelang durch eine arthroskopische Untersuchung. Jeder der Patienten wurde 6 – 8 Wochen nach der Verletzung für eine Kreuzbandplastik aufgeklärt und eingeplant. Bei entsprechend geringer Symptomatik in der Voruntersuchung der OP wurde mit den Patienten im „*informed consent*“ präoperativ besprochen, dass bei stabil anmutendem VKB im arthroskopischen Aspekt auf eine Ersatzplastik verzichtet und auf ein konservatives Procedere umgestiegen werde. Von den 54 Patienten konnten nach Anwenden der Ausschlusskriterien 39 in unsere Studie eingeschlossen werden. 24 Patienten erschienen letzten Endes in unserer Klinik zur Nachuntersuchung.

Unsere Untersuchung bestätigt die Anfangshypothese. Sie kann zeigen, dass eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes unter den Bedingungen einer femoralen Ruptur und einer guten Darstellbarkeit sowie Vollständigkeit des verbleibenden Bandstumpfes signifikant höhere Chancen einer spontanen Heilung der Bandstruktur aufweist als andere Rupturformen. Diese Merkmale sind mit dem Bild eines noch vorhandenen Synovialschlauches, also einer Form der Partialruptur, vereinbar. Ebenfalls signifikant stellt sich der Unterschied im PITS der



operierten und der Patienten mit Spontanheilung dar. Ein kleinerer PITS wirkt sich biomechanisch günstig auf die Heilungstendenz aus, sodass unter den genannten Voraussetzungen und bei geringer Symptomatik des Patienten auch ein konservatives Procedere versucht werden kann. Die letzte Sicherheit in der Unterscheidung einer subtotalen Partialruptur und einer Komplettruptur des VKB ist in der Bildgebung nicht sicher möglich. Es bietet sich deshalb an, jeden Patienten zunächst für mindestens sechs Wochen einem abwartenden Procedere mit Verbesserung der Beweglichkeit, der Schmerzsituation und muskulären Kontrolle zuzuführen um anschließend über eine operative oder konservative Weiterführung der Therapie zu entscheiden. Dieses Intervall wirkt sich ebenfalls positiv auf das Risiko einer postoperativen Arthrofibrose aus. Unabhängig vom Konzept der Behandlung muss das Ziel für jeden Patienten ein für den eigenen Anspruch stabiles Knie sein. Instabile Kniegelenke sollten operiert werden um Folgeschäden, vor allem an den Menisken, zu vermeiden. Bei einem Durchschnittsalter der untersuchten Patienten von 33,5 Jahren und zum Teil sportlichem Anspruch im Hobbybereich konnten wir zufriedenstellende Ergebnisse der untersuchten Kniegelenke feststellen. Die *Follow-Up*-Zeit zur Nachuntersuchung betrug mindestens 12 Monate. Die Untersuchung zielte über die Funktionsscores IKDC und TAS sowie die Messung der anterioren Translation mittels *KT-1000 Arthrometer* auf die Bewertung der subjektiven und objektiven Kniefunktion ab.

## 6 Literaturverzeichnis

Abrams, Geoffrey D.; Harris, Joshua D.; Gupta, Anil K.; McCormick, Frank M.; Bush-Joseph, Charles A.; Verma, Nikhil N. et al. (2014): Functional Performance Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. In: *Orthopaedic journal of sports medicine* 2 (1), 2325967113518305. DOI: 10.1177/2325967113518305.

Amis, A. A.; Bull, A. M. J.; Gupte, C. M.; Hijazi, I.; Race, A.; Robinson, J. R. (2003): Biomechanics of the PCL and related structures: posterolateral, posteromedial and meniscofemoral ligaments. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 11 (5), S. 271–281. DOI: 10.1007/s00167-003-0410-7.

Amis, A. A.; Dawkins, G. P. (1991): Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries. In: *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume* 73-B (2), S. 260–267. DOI: 10.1302/0301-620X.73B2.2005151.

Anderson, A. F.; Dome, D. C.; Gautam, S.; Awh, M. H.; Rennirt, G. W. (2001): Correlation of anthropometric measurements, strength, anterior cruciate ligament size, and intercondylar notch characteristics to sex differences in anterior cruciate ligament tear rates. In: *Am J Sports Med* 29 (1), S. 58–66. DOI: 10.1177/03635465010290011501.

Anderson, A. F.; Snyder, R. B.; Federspiel, C. F.; Lipscomb, A. B. (1992): Instrumented evaluation of knee laxity: a comparison of five arthrometers. In: *Am J Sports Med* 20 (2), S. 135–140. DOI: 10.1177/036354659202000207.

Anderson, Allen F.; Irrgang, James J.; Kocher, Mininder S.; Mann, Barton J.; Harrast, John J. (2006): The International Knee Documentation Committee Subjective Knee Evaluation Form: normative data. In: *Am J Sports Med* 34 (1), S. 128–135. DOI: 10.1177/0363546505280214.

Andersson, C.; Odensten, M.; Good, L.; Gillquist, J. (1989): Surgical or non-surgical treatment of acute rupture of the anterior cruciate ligament. A randomized study with long-term follow-up. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 71 (7), S. 965–974.

Andersson-Molina, Helene; Karlsson, Håkan; Rockborn, Peter (2002): Arthroscopic partial and total meniscectomy: A long-term follow-up study with matched controls. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 18 (2), S. 183–189. DOI: 10.1053/jars.2002.30435.

Ateschrang, Atesch; Ahmad, Sufian S.; Stöckle, Ulrich; Schroeter, Steffen; Schenk, Willem; Ahrend, Marc Daniel (2018): Recovery of ACL function after dynamic intraligamentary stabilization is resultant to restoration of ACL integrity and scar tissue formation. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 26 (2), S. 589–595. DOI: 10.1007/s00167-017-4656-x.

Ateschrang, Atesch; Schreiner, Anna Janine; Ahmad, Sufian S.; Schröter, Steffen; Hirschmann, Michael T.; Körner, Daniel et al. (2019): Improved results of ACL primary repair in one-part tears with intact synovial coverage. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 27 (1), S. 37–43. DOI: 10.1007/s00167-018-5199-5.

Augustsson, Jesper; Thomeé, Roland; Karlsson, Jon (2004): Ability of a new hop test to determine functional deficits after anterior cruciate ligament reconstruction. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 12 (5), S. 350–356. DOI: 10.1007/s00167-004-0518-4.

- Bak, K.; Scavenius, M.; Hansen, S.; Nørring, K.; Jensen, K. H.; Jørgensen, U. (1997): Isolated partial rupture of the anterior cruciate ligament. Long-term follow-up of 56 cases. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 5 (2), S. 66–71. DOI: 10.1007/s001670050028.
- Barrett, D. S. (1991): Proprioception and function after anterior cruciate reconstruction. In: *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume* 73-B (5), S. 833–837. DOI: 10.1302/0301-620X.73B5.1894677.
- Boeree, N. R.; af Watkinson; Ackroyd, C. E.; Johnson, C. (1991): Magnetic resonance imaging of meniscal and cruciate injuries of the knee. In: *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume* 73-B (3), S. 452–457. DOI: 10.1302/0301-620X.73B3.1670448.
- Bonasia, Davide Edoardo; Pellegrino, Pietro; D'Amelio, Andrea; Cottino, Umberto; Rossi, Roberto (2015): Meniscal Root Tear Repair: Why, When and How? In: *Orthopedic reviews* 7 (2), S. 34–39. DOI: 10.4081/or.2015.5792.
- Borsa, P. A.; Lephart, S. M.; Irrgang, J. J.; Safran, M. R.; Fu, F. H. (1997): The effects of joint position and direction of joint motion on proprioceptive sensibility in anterior cruciate ligament-deficient athletes. In: *The American journal of sports medicine* 25 (3), S. 336–340. DOI: 10.1177/036354659702500311.
- Branch, Thomas P.; Mayr, Hermann O.; Browne, Jon E.; Campbell, John C.; Stoehr, Amelie; Jacobs, Cale A. (2010): Instrumented examination of anterior cruciate ligament injuries: minimizing flaws of the manual clinical examination. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 26 (7), S. 997–1004. DOI: 10.1016/j.arthro.2010.01.019.
- Brandon, Mark L.; Haynes, Paul T.; Bonamo, Joel R.; Flynn, Marylrene I.; Barrett, Gene R.; Sherman, Mark F. (2006): The association between posterior-inferior tibial slope and anterior cruciate ligament insufficiency. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 22 (8), S. 894–899. DOI: 10.1016/j.arthro.2006.04.098.
- Briggs, Karen K.; Lysholm, Jack; Tegner, Yelverton; Rodkey, William G.; Kocher, Mininder S.; Steadman, J. Richard (2009): The reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm score and Tegner activity scale for anterior cruciate ligament injuries of the knee: 25 years later. In: *The American journal of sports medicine* 37 (5), S. 890–897. DOI: 10.1177/0363546508330143.
- Costa-Paz, Matias; Ayerza, Miguel Angel; Tanoira, Ignacio; Astoul, Juan; Muscolo, Domingo Luis (2012): Spontaneous healing in complete ACL ruptures: a clinical and MRI study. In: *Clinical orthopaedics and related research* 470 (4), S. 979–985. DOI: 10.1007/s11999-011-1933-8.
- Daniel, D. M.; Stone, M. L.; Dobson, B. E.; Fithian, D. C.; Rossman, D. J.; Kaufman, K. R. (1994): Fate of the ACL-injured patient. A prospective outcome study. In: *Am J Sports Med* 22 (5), S. 632–644. DOI: 10.1177/036354659402200511.
- Daniel, D. M.; Stone, M. L.; Sachs, R.; Malcom, L. (1985): Instrumented measurement of anterior knee laxity in patients with acute anterior cruciate ligament disruption. In: *Am J Sports Med* 13 (6), S. 401–407. DOI: 10.1177/036354658501300607.

- Dejour, H.; Bonnin, M. (1994): Tibial translation after anterior cruciate ligament rupture. Two radiological tests compared. In: *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume* 76 (5), S. 745–749.
- Dhillon, Mandeep S.; Prabhakar, Sharad; Bali, Kamal (2016): No evidence that remnant-preserving anterior cruciate ligament reconstruction ensures better proprioceptive function than a standard single-bundle reconstruction: a systematic review of randomised controlled trials. In: *J ISAKOS* 1 (6), S. 316–320. DOI: 10.1136/jisakos-2015-000036.
- Eastlack, M. E.; Axe, M. J.; Snyder-Mackler, L. (1999): Laxity, instability, and functional outcome after ACL injury: copers versus noncopers. In: *Medicine and science in sports and exercise* 31 (2), S. 210–215.
- Ebrahimzadeh, Mohammad Hosein; Makhmalbaf, Hadi; Golhasani-Keshtan, Farideh; Rabani, Shadi; Birjandinejad, Ali (2015): The International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Short Form: a validity and reliability study. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 23 (11), S. 3163–3167. DOI: 10.1007/s00167-014-3107-1.
- Eiling, E.; Bryant, A. L.; Petersen, W.; Murphy, A.; Hohmann, E. (2007): Effects of menstrual-cycle hormone fluctuations on musculotendinous stiffness and knee joint laxity. In: *Knee Surg, Sports traumatol, Arthroscopy* 15 (2), S. 126–132. DOI: 10.1007/s00167-006-0143-5.
- Engelhardt, Martin (Hg.) (2016): Sportverletzungen - GOTS Manual (Dritte Ausgabe). Diagnose, Management und Begleitmaßnahmen. 3., überarbeitete Auflage. München: Urban & Fischer. Online verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/book/9783437240928>.
- Fink, C.; Hoser, C.; Hackl, W.; Navarro, R. A.; Benedetto, K. P. (2001): Long-term outcome of operative or nonoperative treatment of anterior cruciate ligament rupture--is sports activity a determining variable? In: *International journal of sports medicine* 22 (4), S. 304–309. DOI: 10.1055/s-2001-13823.
- Fleming, B. C.; Renstrom, P. A.; Beynon, B. D.; Engstrom, B.; Peura, G. (2000): The influence of functional knee bracing on the anterior cruciate ligament strain biomechanics in weightbearing and nonweightbearing knees. In: *The American journal of sports medicine* 28 (6), S. 815–824. DOI: 10.1177/03635465000280060901.
- Frank, Jonathan M.; Moatshe, Gilbert; Brady, Alex W.; Dornan, Grant J.; Coggins, Ashley; Muckenhirn, Kyle J. et al. (2017): Lateral Meniscus Posterior Root and Menisiofemoral Ligaments as Stabilizing Structures in the ACL-Deficient Knee: A Biomechanical Study. In: *Orthopaedic journal of sports medicine* 5 (6), 2325967117695756. DOI: 10.1177/2325967117695756.
- Frobell, Richard B.; Roos, Harald P.; Roos, Ewa M.; Roemer, Frank W.; Ranstam, Jonas; Lohmander, L. Stefan (2013): Treatment for acute anterior cruciate ligament tear: five year outcome of randomised trial. In: *BMJ (Clinical research ed.)* 346, f232. DOI: 10.1136/bmj.f232.
- Fruensgaard, S.; Johannsen, H. V. (1989): Incomplete ruptures of the anterior cruciate ligament. In: *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume* 71-B (3), S. 526–530. DOI: 10.1302/0301-620X.71B3.2722951.
- Fuss, F. K. (1989): Anatomy of the cruciate ligaments and their function in extension and flexion of the human knee joint. In: *The American journal of anatomy* 184 (2), S. 165–176. DOI: 10.1002/aja.1001840208.

- Ghosh, Niloy; Kolade, Oluwadamilola O.; Shontz, Edward; Rosenthal, Yoav; Zuckerman, Joseph D.; Bosco, Joseph A.; Virk, Mandeep S. (2019): Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drugs (NSAIDs) and Their Effect on Musculoskeletal Soft-Tissue Healing: A Scoping Review. In: *JBS reviews* 7 (12), e4. DOI: 10.2106/JBS.RVW.19.00055.
- Gianotti, Simon M.; Marshall, Stephen W.; Hume, Patria A.; Bunt, Lorna (2009): Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: a national population-based study. In: *Journal of science and medicine in sport* 12 (6), S. 622–627. DOI: 10.1016/j.jsams.2008.07.005.
- Giuliani, Jeffrey R.; Kilcoyne, Kelly G.; Rue, John-Paul H. (2009): Anterior cruciate ligament anatomy: a review of the anteromedial and posterolateral bundles. In: *The journal of knee surgery* 22 (2), S. 148–154.
- Grindem, Hege; Logerstedt, David; Eitzen, Ingrid; Moksnes, Håvard; Axe, Michael J.; Snyder-Mackler, Lynn et al. (2011): Single-legged hop tests as predictors of self-reported knee function in nonoperatively treated individuals with anterior cruciate ligament injury. In: *The American journal of sports medicine* 39 (11), S. 2347–2354. DOI: 10.1177/0363546511417085.
- Ha, T. P.; Li, K. C.; Beaulieu, C. F.; Bergman, G.; Ch'en, I. Y.; Eller, D. J. et al. (1998): Anterior cruciate ligament injury: fast spin-echo MR imaging with arthroscopic correlation in 217 examinations. In: *AJR. American journal of roentgenology* 170 (5), S. 1215–1219. DOI: 10.2214/ajr.170.5.9574587.
- Halata, Zdenek; Haus, Joachim (1989): The ultrastructure of sensory nerve endings in human anterior cruciate ligament. In: *Anat Embryol* 179 (5), S. 415–421. DOI: 10.1007/BF00319583.
- Haus, J.; Halata, Z.; Refior, H. J. (1992): Propriozeption im vorderen Kreuzband des menschlichen Kniegelenkes--morphologische Grundlagen. Eine licht-, raster- und transmissionselektronenmikroskopische Studie. In: *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete* 130 (6), S. 484–494. DOI: 10.1055/s-2008-1039657.
- Hefti, F. L.; Kress, A.; Fasel, J.; Morscher, E. W. (1991): Healing of the transected anterior cruciate ligament in the rabbit. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 73 (3), S. 373–383.
- Hendrix, Steven T.; Barrett, Austin M.; Chrea, Bopha; Replogle, William H.; Hydrick, Josie M.; Barrett, Gene R. (2017): Relationship Between Posterior-Inferior Tibial Slope and Bilateral Noncontact ACL Injury. In: *Orthopedics* 40 (1), e136-e140. DOI: 10.3928/01477447-20161013-06.
- Henle, Philipp; Röder, Christoph; Perler, Gosia; Heitkemper, Sven; Egli, Stefan (2015): Dynamic Intraligamentary Stabilization (DIS) for treatment of acute anterior cruciate ligament ruptures: case series experience of the first three years. In: *BMC musculoskeletal disorders* 16, S. 27. DOI: 10.1186/s12891-015-0484-7.
- Herbort, M.; Lobenhoffer, P. (2018): DGU-Leitlinie 012-005 Vordere Kreuzbandruptur. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/012-005.html>, zuletzt geprüft am 06.05.2019.
- Herzberg, Simone D.; Motu'apuaka, Makalapua L.; Lambert, William; Fu, Rongwei; Brady, Jacqueline; Guise, Jeanne-Marie (2017): The Effect of Menstrual Cycle and Contraceptives on ACL Injuries and Laxity: A Systematic Review and Meta-analysis. In: *Orthopaedic journal of sports medicine* 5 (7), 1-10. DOI: 10.1177/2325967117718781.
- Higgins, Laurence D.; Taylor, Marcus K.; Park, Daniel; Ghodadra, Neil; Marchant, Milford; Pietrobon, Ricardo; Cook, Chad (2007): Reliability and validity of the International Knee Documentation

Committee (IKDC) Subjective Knee Form. In: *Joint, bone, spine : revue du rhumatisme* 74 (6), S. 594–599. DOI: 10.1016/j.jbspin.2007.01.036.

Irrgang, J. J.; Anderson, A. F.; Boland, A. L.; Harner, C. D.; Kurosaka, M.; Neyret, P. et al. (2001): Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. In: *Am J Sports Med* 29 (5), S. 600–613. DOI: 10.1177/03635465010290051301.

Irvine, G. B.; Glasgow, M. M. (1992): The natural history of the meniscus in anterior cruciate insufficiency. Arthroscopic analysis. In: *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume* 74 (3), S. 403–405.

Jagodzinski, Michael; Friederich, Niklaus; Müller, Werner (2016): *Das Knie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Jameson, Simon S.; Downen, Daniel; James, Philip; Serrano-Pedraza, Ignacio; Reed, Mike R.; Deehan, David (2012): Complications following anterior cruciate ligament reconstruction in the English NHS. In: *The Knee* 19 (1), S. 14–19. DOI: 10.1016/j.knee.2010.11.011.

Janssen, K. W.; Orchard, J. W.; Driscoll, T. R.; van Mechelen, W. (2012): High incidence and costs for anterior cruciate ligament reconstructions performed in Australia from 2003-2004 to 2007-2008: time for an anterior cruciate ligament register by Scandinavian model? In: *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 22 (4), S. 495–501. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2010.01253.x.

Johnson, David S.; Smith, Roger B. (2001): Outcome measurement in the ACL deficient knee — what's the score? In: *The Knee* 8 (1), S. 51–57. DOI: 10.1016/S0968-0160(01)00068-0.

Johnston, Jeffrey T.; Mandelbaum, Bert R.; Schub, David; Rodeo, Scott A.; Matava, Matthew J.; Silvers-Granelli, Holly J. et al. (2018): Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Tears in Professional American Football Athletes. In: *The American journal of sports medicine* 46 (4), S. 862–868. DOI: 10.1177/0363546518756328.

Kannus, P.; Järvinen, M. (1987): Conservatively treated tears of the anterior cruciate ligament. Long-term results. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 69 (7), S. 1007–1012.

Kapandji, Ibrahim A. (2009): *Funktionelle Anatomie der Gelenke. Schematisierte und kommentierte Zeichnungen zur menschlichen Biomechanik ; einbändige Ausgabe - obere Extremität, untere Extremität, Rumpf und Wirbelsäule*. 5. Aufl. Stuttgart, New York: Thieme.

Kato, Yuki; Ingham, Sheila J. M.; Maeyama, Akira; Lertwanich, Pisit; Wang, Joon Ho; Mifune, Yutaka et al. (2012): Biomechanics of the human triple-bundle anterior cruciate ligament. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 28 (2), S. 247–254. DOI: 10.1016/j.arthro.2011.07.019.

Kittl, C.; Weiler, A.; Amis, A. A. (2014): Anterolaterale Rotationsinstabilität. In: *Arthroskopie* 27 (3), S. 170–176. DOI: 10.1007/s00142-014-0816-x.

Kızılgöz, V.; Sivrioğlu, A. K.; Ulusoy, G. R.; Yıldız, K.; Aydın, H.; Çetin, T. (2019): Posterior tibial slope measurement on lateral knee radiographs as a risk factor of anterior cruciate ligament injury: A cross-sectional study. In: *Radiography (London, England : 1995)* 25 (1), S. 33–38. DOI: 10.1016/j.radi.2018.07.007.

Kohn, Dieter; Adam, F.; Wirth, Carl-Joachim (Hg.) (2005): *Knie*. 67 Tabellen. Stuttgart: Thieme (Orthopädie und orthopädische Chirurgie, / hrsg. von Carl Joachim Wirth).

- Kondo, Eiji; Yasuda, Kazunori; Onodera, Jun; Kawaguchi, Yasuyuki; Kitamura, Nobuto (2015): Effects of Remnant Tissue Preservation on Clinical and Arthroscopic Results After Anatomic Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. In: *The American journal of sports medicine* 43 (8), S. 1882–1892. DOI: 10.1177/0363546515587713.
- Kostogiannis, Ioannis; Ageberg, Eva; Neuman, Paul; Dahlberg, Leif; Fridén, Thomas; Roos, Harald (2007): Activity level and subjective knee function 15 years after anterior cruciate ligament injury: a prospective, longitudinal study of nonreconstructed patients. In: *The American journal of sports medicine* 35 (7), S. 1135–1143. DOI: 10.1177/0363546507299238.
- Kostogiannis, Ioannis; Swärd, Per; Neuman, Paul; Fridén, Thomas; Roos, Harald (2011): The influence of posterior-inferior tibial slope in ACL injury. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 19 (4), S. 592–597. DOI: 10.1007/s00167-010-1295-x.
- Kurosaka, M.; Yoshiya, S.; Mizuno, T.; Mizuno, K. (1998): Spontaneous healing of a tear of the anterior cruciate ligament. A report of two cases. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 80 (8), S. 1200–1203. DOI: 10.2106/00004623-199808000-00015.
- LaPrade, Christopher M.; Civitarese, David M.; Rasmussen, Matthew T.; LaPrade, Robert F. (2015): Emerging Updates on the Posterior Cruciate Ligament: A Review of the Current Literature. In: *The American journal of sports medicine* 43 (12), S. 3077–3092. DOI: 10.1177/0363546515572770.
- Leblanc, Marie-Claude; Kowalczyk, Marcin; Andruszkiewicz, Nicole; Simunovic, Nicole; Farrokhyar, Forough; Turnbull, Travis Lee et al. (2015): Diagnostic accuracy of physical examination for anterior knee instability: a systematic review. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 23 (10), S. 2805–2813. DOI: 10.1007/s00167-015-3563-2.
- Lehnert, M.; Eisenschenk, A.; Zellner, A. (1993): Results of conservative treatment of partial tears of the anterior cruciate ligament. In: *International orthopaedics* 17 (4), S. 219–223. DOI: 10.1007/BF00194182.
- Loes, M. de; Dahlstedt, L. J.; Thomee, R. (2000): A 7-year study on risks and costs of knee injuries in male and female youth participants in 12 sports. In: *Scand J Med Sci Sports* 10 (2), S. 90–97. DOI: 10.1034/j.1600-0838.2000.010002090.x.
- Logerstedt, David; Grindem, Hege; Lynch, Andrew; Eitzen, Ingrid; Engebretsen, Lars; Risberg, May Arna et al. (2012): Single-legged hop tests as predictors of self-reported knee function after anterior cruciate ligament reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. In: *The American journal of sports medicine* 40 (10), S. 2348–2356. DOI: 10.1177/0363546512457551.
- Logterman, Stephanie L.; Wydra, Frank B.; Frank, Rachel M. (2018): Posterior Cruciate Ligament: Anatomy and Biomechanics. In: *Current reviews in musculoskeletal medicine* 11 (3), S. 510–514. DOI: 10.1007/s12178-018-9492-1.
- Losciale, Justin M.; Bullock, Garrett; Cromwell, Christina; Ledbetter, Leila; Pietrosimone, Laura; Sell, Timothy C. (2019): Hop Testing Lacks Strong Association With Key Outcome Variables After Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. In: *The American journal of sports medicine*, 363546519838794. DOI: 10.1177/0363546519838794.
- Łyp, Marek; Stanisławska, Iwona; Witek, Bożena; Majerowska, Małgorzata; Czarny-Działak, Małgorzata; Włostowska, Ewa (2018): The Timing of Rehabilitation Commencement After

Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament. In: *Advances in experimental medicine and biology* 1096, S. 53–57. DOI: 10.1007/5584\_2018\_210.

Malanga, G. A.; Giradi, J.; Nadler, S. F. (2001): The spontaneous healing of a torn anterior cruciate ligament. In: *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine* 11 (2), S. 118–120.

Markatos, K.; Kasetas, M. K.; Lallios, S. N.; Korres, D. S.; Efstathopoulos, N. (2013): The anatomy of the ACL and its importance in ACL reconstruction. In: *European journal of orthopaedic surgery & traumatology : orthopedie traumatologie* 23 (7), S. 747–752. DOI: 10.1007/s00590-012-1079-8.

Mayr, Hermann O.; Weig, Thomas G.; Plitz, Wolfgang (2004): Arthrofibrosis following ACL reconstruction--reasons and outcome. In: *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 124 (8), S. 518–522. DOI: 10.1007/s00402-004-0718-x.

Messina, D. F.; Farney, W. C.; DeLee, J. C. (1999): The incidence of injury in Texas high school basketball. A prospective study among male and female athletes. In: *Am J Sports Med* 27 (3), S. 294–299. DOI: 10.1177/03635465990270030401.

Meuffels, D. E.; Favejee, M. M.; Vissers, M. M.; Heijboer, M. P.; Reijman, M.; Verhaar, J. A. N. (2009): Ten year follow-up study comparing conservative versus operative treatment of anterior cruciate ligament ruptures. A matched-pair analysis of high level athletes. In: *British journal of sports medicine* 43 (5), S. 347–351. DOI: 10.1136/bjism.2008.049403.

Mouarbes, Dany; Menetrey, Jacques; Marot, Vincent; Courtot, Louis; Berard, Emilie; Cavaignac, Etienne (2019): Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Outcomes for Quadriceps Tendon Autograft Versus Bone-Patellar Tendon-Bone and Hamstring-Tendon Autografts. In: *The American journal of sports medicine* 47 (14), S. 3531–3540. DOI: 10.1177/0363546518825340.

Muaidi, Qassim Ibrahim; Nicholson, Leslie Lorenda; Refshauge, Kathryn Margaret; Adams, Roger David; Roe, Justin Phillip (2009): Effect of anterior cruciate ligament injury and reconstruction on proprioceptive acuity of knee rotation in the transverse plane. In: *The American journal of sports medicine* 37 (8), S. 1618–1626. DOI: 10.1177/0363546509332429.

Myklebust, G.; Maehlum, S.; Holm, I.; Bahr, R. (1998): A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. In: *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 8 (3), S. 149–153. DOI: 10.1111/j.1600-0838.1998.tb00185.x.

Myklebust, Grethe; Holm, Inger; Maehlum, Sverre; Engebretsen, Lars; Bahr, Roald (2003): Clinical, functional, and radiologic outcome in team handball players 6 to 11 years after anterior cruciate ligament injury: a follow-up study. In: *The American journal of sports medicine* 31 (6), S. 981–989. DOI: 10.1177/03635465030310063901.

Myrer, J. W.; Schulthies, S. S.; Fellingham, G. W. (1996): Relative and absolute reliability of the KT-2000 arthrometer for uninjured knees. Testing at 67, 89, 134, and 178 N and manual maximum forces. In: *The American journal of sports medicine* 24 (1), S. 104–108. DOI: 10.1177/036354659602400119.

Nagineni, C. N.; Amiel, D.; Green, M. H.; Berchuck, M.; Akeson, W. H. (1992): Characterization of the intrinsic properties of the anterior cruciate and medial collateral ligament cells: an in vitro cell culture



study. In: *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society* 10 (4), S. 465–475. DOI: 10.1002/jor.1100100402.

Nebelung, Wolfgang; Wuschech, Heinz (2005): Thirty-five years of follow-up of anterior cruciate ligament-deficient knees in high-level athletes. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 21 (6), S. 696–702. DOI: 10.1016/j.arthro.2005.03.010.

Nyland, John; Gamble, Collin; Franklin, Tiffany; Caborn, David N. M. (2017): Permanent knee sensorimotor system changes following ACL injury and surgery. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 25 (5), S. 1461–1474. DOI: 10.1007/s00167-017-4432-y.

Olsen, Odd-Egil; Myklebust, Grethe; Engebretsen, Lars; Bahr, Roald (2004): Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. In: *The American journal of sports medicine* 32 (4), S. 1002–1012. DOI: 10.1177/0363546503261724.

Petersen, W.; Tillmann, B. (2002): Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes. In: *Der Orthopade* 31 (8), S. 710–718. DOI: 10.1007/s00132-002-0330-0.

Platzer, Werner; Fritsch, Helga; Kühnel, Wolfgang; Kahle, Werner (Hg.) (2013): Taschenatlas Anatomie. 11., überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme.

Ralphs, J. R.; Benjamin, M. (1994): The joint capsule: structure, composition, ageing and disease. In: *Journal of anatomy* 184 (Pt 3), S. 503–509.

Razi, Mohammad; Soufali, Amir Payman; Ziabari, Elaheh Ziaei; Dadgostar, Haleh; Askari, Alireza; Arasteh, Peyman (2020): Treatment of Concomitant ACL and MCL Injuries: Spontaneous Healing of Complete ACL and MCL Tears. In: *The journal of knee surgery*. DOI: 10.1055/s-0040-1708858.

Reiser, Maximilian; Kuhn, Fritz-Peter; Debus, Jürgen (2017): Radiologie. 4., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme (Duale Reihe).

Relph, N.; Herrington, L.; Tyson, S. (2014): The effects of ACL injury on knee proprioception: a meta-analysis. In: *Physiotherapy* 100 (3), S. 187–195. DOI: 10.1016/j.physio.2013.11.002.

Riel, K. A.; Kersting-Sommerhoff, B.; Reinisch, M.; Ottl, G.; Golder, W.; Lenz, M. et al. (1996): Prospektiver Vergleich von ARTOSCAN-MRT und Arthroskopie bei Kniegelenkverletzungen. In: *Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete* 134 (5), S. 430–434. DOI: 10.1055/s-2008-1037433.

Roos, H.; Ornell, M.; Gärdsell, P.; Lohmander, L. S.; Lindstrand, A. (1995): Soccer after anterior cruciate ligament injury--an incompatible combination? A national survey of incidence and risk factors and a 7-year follow-up of 310 players. In: *Acta orthopaedica Scandinavica* 66 (2), S. 107–112. DOI: 10.3109/17453679508995501.

Sakane, Masataka; Woo, Savio L.-Y.; Hildebrand, Kevin A.; Fox, Ross J. (1996): The contribution of the anterior cruciate ligament to knee joint kinematics: Evaluation of its in situ forces using a robot/universal force-moment sensor test system. In: *Journal of Orthopaedic Science* 1 (5), S. 335–347. DOI: 10.1007/BF02348844.

Sanders, T. G.; Medynski, M. A.; Feller, J. F.; Lawhorn, K. W. (2000): Bone contusion patterns of the knee at MR imaging: footprint of the mechanism of injury. In: *Radiographics : a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* 20 Spec No, S135-51. DOI: 10.1148/radiographics.20.suppl\_1.g00oc19s135.

- Sanders, Thomas L.; Maradit Kremers, Hilal; Bryan, Andrew J.; Larson, Dirk R.; Dahm, Diane L.; Levy, Bruce A. et al. (2016): Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. In: *The American journal of sports medicine* 44 (6), S. 1502–1507. DOI: 10.1177/0363546516629944.
- Schillhammer, Carl K.; Reid, John B.; Rister, Jamie; Jani, Sunil S.; Marvil, Sean C.; Chen, Austin W. et al. (2016): Arthroscopy Up to Date: Anterior Cruciate Ligament Anatomy. In: *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association* 32 (1), S. 209–212. DOI: 10.1016/j.arthro.2015.10.009.
- Schünke, Michael; Schulte, Erik; Schumacher, Udo (Hg.) (2011): Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 182 Tabellen. Unter Mitarbeit von Markus Voll und Karl Wesker. 3. Auflage. Stuttgart, New York, Stuttgart: Georg Thieme Verlag; Thieme.
- Schweitzer, M. E.; Tran, D.; Deely, D. M.; Hume, E. L. (1995): Medial collateral ligament injuries: evaluation of multiple signs, prevalence and location of associated bone bruises, and assessment with MR imaging. In: *Radiology* 194 (3), S. 825–829. DOI: 10.1148/radiology.194.3.7862987.
- Sekiya, I.; Muneta, T.; Ogiuchi, T.; Yagishita, K.; Yamamoto, H. (1998): Significance of the single-legged hop test to the anterior cruciate ligament-reconstructed knee in relation to muscle strength and anterior laxity. In: *The American journal of sports medicine* 26 (3), S. 384–388. DOI: 10.1177/03635465980260030701.
- Şenişik, Seçkin; Özgürbüz, Cengizhan; Ergün, Metin; Yüksel, Oğuz; Taskiran, Emin; İşlegen, Çetin; Ertat, Ahmet (2011): Posterior Tibial Slope as a Risk Factor for Anterior Cruciate Ligament Rupture in Soccer Players. In: *Journal of Sports Science & Medicine* 10 (4), S. 763–767.
- Sernert, Ninni; Helmers, Janett; Kartus, Catarina; Ejerhed, Lars; Kartus, Jüri (2007): Knee-laxity measurements examined by a left-hand- and a right-hand-dominant physiotherapist, in patients with anterior cruciate ligament injuries and healthy controls. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 15 (10), S. 1181–1186. DOI: 10.1007/s00167-007-0347-3.
- Shelbourne, K. D.; Wilckens, J. H.; Mollabashy, A.; DeCarlo, M. (1991): Arthrofibrosis in acute anterior cruciate ligament reconstruction. The effect of timing of reconstruction and rehabilitation. In: *Am J Sports Med* 19 (4), S. 332–336. DOI: 10.1177/036354659101900402.
- Shelton, W. R.; Barrett, G. R.; Dukes, A. (1997): Early season anterior cruciate ligament tears. A treatment dilemma. In: *The American journal of sports medicine* 25 (5), S. 656–658. DOI: 10.1177/036354659702500511.
- Siegel, Leon; Vandenakker-Albanese, Carol; Siegel, David (2012): Anterior cruciate ligament injuries: anatomy, physiology, biomechanics, and management. In: *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine* 22 (4), S. 349–355. DOI: 10.1097/JSM.0b013e3182580cd0.
- Smet, Arthur A. de; Blankenbaker, Donna G.; Kijowski, Richard; Graf, Ben K.; Shinki, Kazuhiko (2009): MR diagnosis of posterior root tears of the lateral meniscus using arthroscopy as the reference standard. In: *AJR. American journal of roentgenology* 192 (2), S. 480–486. DOI: 10.2214/AJR.08.1300.
- Smith, T. O.; Postle, K.; Penny, F.; McNamara, I.; Mann, C. J. V. (2014): Is reconstruction the best management strategy for anterior cruciate ligament rupture? A systematic review and meta-analysis

comparing anterior cruciate ligament reconstruction versus non-operative treatment. In: *The Knee* 21 (2), S. 462–470. DOI: 10.1016/j.knee.2013.10.009.

Spiers, A. S.; Meagher, T.; Ostlere, S. J.; Wilson, D. J.; Dodd, C. A. (1993): Can MRI of the knee affect arthroscopic practice? A prospective study of 58 patients. In: *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume* 75 (1), S. 49–52.

Standring, Susan; Ananad, Neel; Gray, Henry (Hg.) (2016): *Gray's anatomy. The anatomical basis of clinical practice*. 41. ed. Philadelphia, Pa.: Elsevier.

Strehl, Alexander; Egli, Stefan (2007): The value of conservative treatment in ruptures of the anterior cruciate ligament (ACL). In: *The Journal of trauma* 62 (5), S. 1159–1162. DOI: 10.1097/TA.0b013e31805006e7.

Streich, Nikolaus A.; Zimmermann, David; Bode, Gerrit; Schmitt, Holger (2011): Reconstructive versus non-reconstructive treatment of anterior cruciate ligament insufficiency. A retrospective matched-pair long-term follow-up. In: *International orthopaedics* 35 (4), S. 607–613. DOI: 10.1007/s00264-010-1174-6.

Sturnick, Daniel R.; Vacek, Pamela M.; DeSarno, Michael J.; Gardner-Morse, Mack G.; Tourville, Timothy W.; Slauterbeck, James R. et al. (2015): Combined anatomic factors predicting risk of anterior cruciate ligament injury for males and females. In: *The American journal of sports medicine* 43 (4), S. 839–847. DOI: 10.1177/0363546514563277.

Toru Fukubayashi; Hlsashi Kurosawa (1980): *The Contact Area and Pressure Distribution Pattern of the Knee: A Study of Normal and Osteoarthrotic Knee Joints*.

Toy, Brian J.; Yeasting, Richard A.; Morse, Dennis E.; McCann, Patricia (1995): Arterial Supply to the Human Anterior Cruciate Ligament. In: *Journal of Athletic Training* 30 (2), S. 149–152.

Tsoukas, Dimitrios; Fotopoulos, Vasilios; Basdekis, Georgios; Makridis, Konstantinos G. (2016): No difference in osteoarthritis after surgical and non-surgical treatment of ACL-injured knees after 10 years. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 24 (9), S. 2953–2959. DOI: 10.1007/s00167-015-3593-9.

Tsuda, E.; Okamura, Y.; Otsuka, H.; Komatsu, T.; Tokuya, S. (2001): Direct evidence of the anterior cruciate ligament-hamstring reflex arc in humans. In: *Am J Sports Med* 29 (1), S. 83–87. DOI: 10.1177/03635465010290011801.

Vahlensieck, Martin; Reiser, Maximilian; Baur-Melnyk, Andrea (Hg.) (2015): *MRT des Bewegungsapparats*. 4., vollst. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme.

van der List, Jelle P.; Mintz, Douglas N.; DiFelice, Gregory S. (2017): The Location of Anterior Cruciate Ligament Tears: A Prevalence Study Using Magnetic Resonance Imaging. In: *Orthopaedic journal of sports medicine* 5 (6), 2325967117709966. DOI: 10.1177/2325967117709966.

van Yperen, Daan T.; Reijman, Max; van Es, Eline M.; Bierma-Zeinstra, Sita M. A.; Meuffels, Duncan E. (2018): Twenty-Year Follow-up Study Comparing Operative Versus Nonoperative Treatment of Anterior Cruciate Ligament Ruptures in High-Level Athletes. In: *The American journal of sports medicine* 46 (5), S. 1129–1136. DOI: 10.1177/0363546517751683.

Wang, Hong-De; Wang, Fu-Shun; Gao, Shi-Jun; Zhang, Ying-Ze (2018): Remnant preservation technique versus standard technique for anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis

of randomized controlled trials. In: *Journal of orthopaedic surgery and research* 13 (1), S. 231. DOI: 10.1186/s13018-018-0937-4.

Wiertsema, S. H.; van Hooff, H. J. A.; Migchelsen, L. A. A.; Steultjens, M. P. M. (2008): Reliability of the KT1000 arthrometer and the Lachman test in patients with an ACL rupture. In: *The Knee* 15 (2), S. 107–110. DOI: 10.1016/j.knee.2008.01.003.

Wirth, B.; Meier, N.; Koch, P. P.; Swanenburg, J. (2013): Entwicklung und Evaluation einer deutschen Version der Tegner Aktivitätsskala zur Erfassung der Funktion nach einer Verletzung des vorderen Kreuzbands. In: *Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin* 27 (1), S. 21–27. DOI: 10.1055/s-0032-1330752.

Wright, James G.; Swiontkowski, Marc F.; Heckman, James D. (2003): Introducing levels of evidence to the journal. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 85-A (1), S. 1–3.

Wroble, R. R.; van Ginkel, L. A.; Grood, E. S.; Noyes, F. R.; Shaffer, B. L. (1990): Repeatability of the KT-1000 arthrometer in a normal population. In: *Am J Sports Med* 18 (4), S. 396–399. DOI: 10.1177/036354659001800411.

Zaffagnini, Stefano; Marcacci, Maurilio; Lo Presti, Mirco; Giordano, Giovanni; Iacono, Francesco; Neri, Maria Pia (2006): Prospective and randomized evaluation of ACL reconstruction with three techniques: a clinical and radiographic evaluation at 5 years follow-up. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 14 (11), S. 1060–1069. DOI: 10.1007/s00167-006-0130-x.

Zampeli, Frantzeska; Terzidis, Ioannis; Espregueira-Mendes, João; Georgoulis, Jim-Dimitris; Bernard, Manfred; Pappas, Evangelos; Georgoulis, Anastasios D. (2018): Restoring tibiofemoral alignment during ACL reconstruction results in better knee biomechanics. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 26 (5), S. 1367–1374. DOI: 10.1007/s00167-017-4742-0.

Zhu, Junjun; Dong, Jiangtao; Marshall, Brandon; Linde, Monica A.; Smolinski, Patrick; Fu, Freddie H. (2018): Medial collateral ligament reconstruction is necessary to restore anterior stability with anterior cruciate and medial collateral ligament injury. In: *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 26 (2), S. 550–557. DOI: 10.1007/s00167-017-4575-x.

## 7.      **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1: Funktionelle Bedeutung des VKB bei Knieflexion.....	13
Abb. 2: Darstellung der Kreuzbänder in IR- und AR-Stellung des Kniegelenkes.....	14
Abb. 3: Geschlechterverteilung der Patienten.....	20
Abb. 4: Gesamtübersicht Patientenkollektiv.....	22
Abb. 5: Übersicht Gründe für den primären Ausschluss.....	23
Abb. 6: Schematische Darstellung der Innenbandverletzungen im MRT.....	24
Abb. 7: Schematische Darstellung eines <i>Root-Tear</i> der vorderen AM-Wurzel.....	25
Abb. 8: MRT-Befund eines <i>Root-Tear</i> des Innenmeniskus.....	25
Abb. 9: Klassifikation der VKB-Verletzungen im MRT.....	26
Abb. 10: Vermessung des PITS (modifiziert aus Reiser et al. 2017).....	29
Abb. 11: Übersicht eingeschlossene Patienten.....	30
Abb. 12: Durchführung des <i>Lachman-Tests</i> .....	34
Abb. 13: Durchführung des <i>Pivot-Shift-Tests</i> .....	35
Abb. 14: Anlage des <i>KT-1000™ Knee Ligament Arthrometer</i> .....	37
Abb. 15: Übersicht der Begleitverletzungen.....	40
Abb. 16: Übersicht Verteilung der Begleitverletzungen.....	41
Abb. 17: Übersicht Verteilung der Rupturlokalisation.....	42
Abb. 18: Übersicht Verteilung der Rupturmuster.....	43
Abb. 19: Übersicht Verteilung der Integrität des Bandstumpfes.....	44
Abb. 20: Übersicht der Werte des PITS für beide Gruppen.....	45
Abb. 21: Verteilung der IKDC-Scores.....	47
Abb. 22: Einfluss der <i>Follow-Up-Zeit</i> auf den IKDC-Score.....	48
Abb. 23: Einfluss des Patientenalters zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung auf den IKDC-Score.....	49
Abb. 24: Werteverteilung des TAS vor der Verletzung und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.....	50
Abb. 25: Verteilung der Patienten auf die Gruppengrade in der apparativen Messung per <i>KT-1000</i> .....	50
Abb. 26: Seitendifferenz der <i>KT-1000</i> Messungen.....	51
Abb. 27: Gegenüberstellung der Messungen von betroffener und nicht-betroffener Seite....	52
Abb. 28: Gruppengrade „Erguss“.....	53
Abb. 29: Gruppengrade „Passives Beweglichkeitsdefizit“.....	53
Abb. 30: Gruppengrade „Ligamentuntersuchung“.....	54
Abb. 31: Gruppengrade „Funktionstest“.....	55
Abb. 32: Werteverteilung Funktionstest.....	56

Abb. 33: Übersicht Gruppengrade und deren aufgetretene Kombinationen .....	57
Abb. 34: Übersicht der wichtigsten Ergebnisse .....	60
Abb. 35: Übersichtstabelle Vergleichsstudien .....	73
Abb. 36: IKDC-Fragebogen zur subjektiven Kniefunktion (Seite 1) .....	95
Abb. 37: IKDC-Fragebogen zur subjektiven Kniefunktion (Seite 2) .....	96
Abb. 38: Tegner Activity Scale .....	97
Abb. 39: Untersuchungsbogen Kniefunktion objektiv (modifiziert nach IKDC) .....	98

## 8. Anhang

### a. Fragebogen IKDC subjektiv

Patient	M <input type="checkbox"/> W <input type="checkbox"/>	Datum der ASK, Seite  Datum der Untersuchung
---------	--	--

---

**Spontanheilungsrate und klinische Stabilität nach konservativer Behandlung bei VKB-Ruptur –**

**Follow-Up-Untersuchung zur Erfassung klinischer Marker für die objektive und subjektive Funktion des Kniegelenkes (nach IKDC)**

**Symptome\***  
\* Wählen Sie zur Beurteilung der Symptome die höchste Aktivitätsstufe, die Sie Ihrer Meinung nach ohne erhebliche Symptome ausüben könnten, selbst wenn Sie auf dieser Stufe keine Aktivitäten ausüben.

1. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche Schmerzen im Knie ausüben können?
  - Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
  - Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
  - Mäßig anstrengende Tätigkeiten wie mäßige körperl. Arbeit, Laufen oder Joggen
  - Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
  - Ich kann aufgrund meiner Schmerzen im Knie keine der o.g. Aktivitäten ausführen
2. Wie oft hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung Schmerzen?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
nie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ständig
3. Wie stark sind Ihre Schmerzen?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
keine Schmerzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	unerträgl. Schmerzen
4. Wie steif oder geschwollen war Ihr Knie während der vergangenen 4 Wochen?
  - überhaupt nicht
  - etwas
  - ziemlich
  - sehr
  - extrem
5. Was ist das höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliches Anschwellen des Knies ausüben können?
  - Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
  - Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
  - Mäßig anstrengende Tätigkeiten wie mäßige körperl. Arbeit, Laufen oder Joggen
  - Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
  - Ich kann aufgrund meiner Schwellung im Knie keine der o.g. Aktivitäten ausführen

Abb. 36: IKDC-Fragebogen zur subjektiven Kniefunktion (Seite 1)

6. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen ein gesperrtes Knie oder ist Ihr Knie aus- und wieder eingeschnappt?
- ja  nein
7. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche durch Knieschwäche verursachte Gangunsicherheit einhalten können?
- Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
  - Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
  - Mäßig anstrengende Tätigkeiten wie mäßige körperl. Arbeit, Laufen oder Joggen
  - Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
  - Ich kann aufgrund der Knieschwäche keine der o.g. Aktivitäten ausführen

**Sportliche Betätigung**

8. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, an der Sie regelmäßig teilnehmen können?
- Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
  - Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
  - Mäßig anstrengende Tätigkeiten wie mäßige körperl. Arbeit, Laufen oder Joggen
  - Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
  - Ich kann aufgrund meines Knies keine der o.g. Aktivitäten ausführen
9. Wie schwierig sind aufgrund Ihres Knies die folgenden Aktivitäten für Sie?

	überhaupt nicht schwierig	minimal schwierig	ziemlich schwierig	extrem schwierig	unmögl.
• Treppensteigen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Treppe hinunter gehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Auf dem vorderen Knie knien	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Hockstellung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Normal sitzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Vom Stuhl aufstehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Geradeaus laufen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Hochspringen und auf dem betroffenen Bein Landen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Beim Gehen (bzw. Laufen) schnell anhalten und starten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Funktion**

10. Wie würden Sie die Funktionsfähigkeit Ihres Knies auf einer Skala von 0 bis 10 beurteilen, wobei 10 eine normale und ausgezeichnete Funktionsfähigkeit bezeichnet und 0 die Unfähigkeit, irgendeine Ihrer normalen täglichen Aktivitäten, darunter möglicherweise auch Sport, auszuführen?

**Funktionsfähigkeit vor der Knieverletzung**

Kann keine täglichen Aktivitäten ausführen											keine Einschränkungen bei tägl. Aktivitäten
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Derzeitige Funktionsfähigkeit Ihres Knies**

Kann keine täglichen Aktivitäten ausführen											keine Einschränkungen bei tägl. Aktivitäten
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Abb. 37:** IKDC-Fragebogen zur subjektiven Kniefunktion (Seite 2)



## b. Tegner Activity Scale

Aktivitätsgrad	Tätigkeit	Wertung
Wettkampfsport – auf nationalen und internationalem Niveau	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fußball, Ski alpin (auf nationalem oder internationalem Niveau)</li> </ul>	10
Wettkampfsport	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eishockey, Ringen, Turnen, Fußball, Ski alpin (auf regionalem Niveau)</li> </ul>	9
Wettkampfsport	<ul style="list-style-type: none"> <li>Snowboard, Badminton, Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen)</li> </ul>	8
Wettkampfsport	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tennis, Leichtathletik, (Lauf- und Wurfdisziplinen), Geräteturnen, Handball, Basketball, Orientierungslauf, Crosslauf</li> </ul>	7
Freizeitsport	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eishockey, Fußball, Ski alpin</li> </ul>	
Freizeitsport	<ul style="list-style-type: none"> <li>Badminton, Tennis, Squash, Basketball, Handball, Volleyball, Orientierungslauf, Crosslauf, Snowboard, Aerobic (high impact), Joggen (mindestens 5x die Woche)</li> </ul>	6
Wettkampfsport Freizeitsport	<ul style="list-style-type: none"> <li>Radfahren, Skilanglauf, Eiskunstlauf</li> <li>Turnen, Gymnastik, In-line-skating, Klettern, Bergsteigen, Skitouren, Schneeschuhlaufen, Joggen auf unebenem Boden (mindestens 2x die Woche)</li> </ul>	5
Arbeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schwere körperliche Arbeit (Bauarbeit, Waldarbeit)</li> </ul>	
Freizeitsport	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skilanglauf, Radfahren, Tanzen, Aerobic (low impact), , Bergwandern (abwärts), Joggen auf ebenem Boden (mind. 2x die Woche)</li> </ul>	4
Arbeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mittelschwere körperliche Arbeit (schwere Hausarbeit)</li> </ul>	
Wettkampf- und Freizeitsport Arbeit Gehen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schwimmen, Wandern, Walking, Kegeln, Bowling</li> <li>Leichte körperliche Arbeit</li> <li>Querfeldein ist möglich</li> </ul>	3
Arbeit Gehen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorwiegend sitzende Tätigkeit</li> <li>Auf unebenem Boden möglich</li> </ul>	2
Arbeit Gehen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sitzende Tätigkeit</li> <li>Nur auf ebenem Boden möglich</li> </ul>	1
Arbeit Gehen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arbeitsunfähig oder berentet aufgrund von Knieproblemen</li> <li>Nur eingeschränkt möglich</li> </ul>	0

**Abb. 38:** Tegner Activity Scale

### c. Untersuchungsbogen zur objektiven Kniefunktion (modifiziert nach IKDC)

Patient	M <input type="checkbox"/> W <input type="checkbox"/>	Datum der ASK, Seite  Datum der Untersuchung
---------	--	--

**Spontanheilungsrate und klinische Stabilität nach konservativer Behandlung bei VKB-Ruptur –**  
**Follow-Up-Untersuchung zur Erfassung klinischer Marker für die objektive und subjektive**  
**Funktion des Kniegelenkes (nach IKDC)**

**Bewegungsausmaß (Ext. /Flex.)**

Aktiv nicht betr. Seite	___/___/___	Aktiv betr. Seite	___/___/___
Passiv nicht betr. Seite	___/___/___	Passiv betr. Seite	___/___/___

	Normal	fast normal	abnormal	deutlich abnormal
<b>Gruppengrad*</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>

1. **Umfangsmessung (15cm proximal d. Patellaspitze)**

Oberschenkel re.	_____ cm	<input type="checkbox"/> betroffen	
Oberschenkel li.	_____ cm	<input type="checkbox"/> betroffen	
Relation seitenvergleich (in % der stärkeren Seite)	_____ %		
2. **Erguss**

<input type="checkbox"/> kein	<input type="checkbox"/> leicht	<input type="checkbox"/> mäßig	<input type="checkbox"/> deutlich
-------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------
3. **Pass. Bewegungsdefizit**

Streckdefizit	<input type="checkbox"/> <3°	<input type="checkbox"/> 3-5°	<input type="checkbox"/> 6-10°	<input type="checkbox"/> <10°
Beugdefizit	<input type="checkbox"/> 0-5°	<input type="checkbox"/> 6-15°	<input type="checkbox"/> 16-26°	<input type="checkbox"/> >25°
4. **Ligamentuntersuchung**

Δ Lachman-Test (25° Fl.)	<input type="checkbox"/> 1-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm (1+)	<input type="checkbox"/> 6-10mm (2+)	<input type="checkbox"/> >10mm (3+)
Vorderer Endpunkt	<input type="checkbox"/> fest		<input type="checkbox"/> unsicher	
Δ Pivot Shift	<input type="checkbox"/> gleich	<input type="checkbox"/> +Gleiten	<input type="checkbox"/> ++ (dumpf)	<input type="checkbox"/> +++ (laut)
KT-1000 (25° Fl.; 134N) re.	_____ mm	<input type="checkbox"/> betroffen		
li.	_____ mm	<input type="checkbox"/> betroffen		
Δ KT-1000	<input type="checkbox"/> 1-2mm	<input type="checkbox"/> 3-5mm (1+)	<input type="checkbox"/> 6-10mm (2+)	<input type="checkbox"/> >10mm (3+)
5. **Funktionstest**

Einbeinsprung re.	_____ cm	<input type="checkbox"/> betroffen		
Einbeinsprung li.	_____ cm	<input type="checkbox"/> betroffen		
Relation seitenvergleich (in % der stärkeren Seite)	<input type="checkbox"/> ≥ 90%	<input type="checkbox"/> 89-76%	<input type="checkbox"/> 75-50%	<input type="checkbox"/> < 50%

Pro Seite 3  
 Versuche.  
 Ergebnisse werden  
 gemittelt

\* Gruppengrad:  
 Der Gruppengrad richtet sich nach dem niedrigsten Grad innerhalb einer Gruppe.

**Abb. 39:** Untersuchungsbogen Kniefunktion objektiv (modifiziert nach IKDC)

## **9. Danksagung**

Mein Dank gilt meinen Eltern und meiner Partnerin für die Unterstützung in der Zeit des Studiums und der Promotion. Diese Arbeit wäre ohne deren tatkräftige Mithilfe nicht möglich gewesen.

Weiterhin danke ich Prof. Dr. A.B. Imhoff samt Abteilung für die Übernahme der Funktion des Mentors für meine Promotion an der TU München und für die Bereitstellung von benötigter technischer Ausrüstung aus dem Klinikum Rechts der Isar. Ich danke außerdem Prof. Dr. S. Vogt und Dr. F. Blanke an der Hessing Klinik Augsburg für die Betreuung, die stets gute Kommunikation, die schnelle Unterstützung bei fachlichen Fragen sowie das Bereitstellen eines Computerarbeitsplatzes zur Datenerhebung oder von Räumlichkeiten der Klinik zu Untersuchungszwecken. Weiterhin gilt mein Dank auch Prof. Eisenhart-Rothe für die Übernahme der Funktion des Mentors nach Ausscheiden von Prof. Dr. Imhoff.