

Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie  
der Technischen Universität München  
Klinikum rechts der Isar  
(Leitung: Univ.- Prof. Dr. A. Imhoff)

**Klinische Ergebnisse nach einzeitiger  
Revisionsrekonstruktion des vorderen Kreuzbandes:  
Ein retrospektiver Vergleich zwischen drei  
unterschiedlichen Operationstechniken**

Matthias Jens Feucht

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität  
München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation:

1. Priv.-Doz. Dr. Ph. Schöttle
2. Univ.-Prof. Dr. A. Imhoff

Die Dissertation wurde am 26.01.2011 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 29.06.2011 angenommen.

*Meinen Eltern in tiefer Dankbarkeit*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG</b>	<b>9</b>
<b>1.1</b>	<b>Das VKB</b>	<b>10</b>
1.1.1	Funktionelle Anatomie des VKB	10
1.1.2	Funktion und Biomechanik des VKB	10
1.1.3	Biomechanik des VKB-insuffizienten Kniegelenks und Folgepathologien	11
<b>1.2</b>	<b>Die VKB-Ersatzplastik</b>	<b>12</b>
1.2.1	Transplantatoptionen	13
1.2.1.1	Patellarsehne vs. Hamstring-Sehnen: Vor- und Nachteile	13
1.2.2	Fixationsmöglichkeiten des Transplantats	14
1.2.2.1	Fixations-Buttons	15
1.2.2.2	Transfemorale Fixation (Transfixationssystem)	16
1.2.2.3	Interferenzschrauben-Fixation	16
1.2.3	Die Doppelbündelrekonstruktion	17
<b>1.3</b>	<b>Ursachen für das Versagen einer Kreuzbandplastik</b>	<b>18</b>
1.3.1	Technische Fehler	18
1.3.1.1	Bohrkanallokalisierung	19
1.3.1.2	Begleitpathologien	20
1.3.1.3	Transplantatwahl und -fixation	20
1.3.2	Biologisches Versagen	21
1.3.3	Traumatisch bedingtes Versagen	22
<b>1.4</b>	<b>Revisionsersatz nach fehlgeschlagener VKB-Plastik</b>	<b>22</b>
1.4.1	Präoperative Befundung	22
1.4.1.1	Anamnese	23
1.4.1.2	Klinische Untersuchung	23
1.4.1.3	Radiologische Diagnostik	24
1.4.2	Operatives Vorgehen	24
1.4.2.1	Ein- oder zweizeitiges Vorgehen	24
1.4.2.2	Bohrkanal-Management	25
1.4.2.3	Transplantatoptionen und Fixationsmöglichkeiten	26
<b>1.5</b>	<b>Fragestellung und Hypothesen dieser Studie</b>	<b>27</b>

<b>2</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>28</b>
<b>2.1</b>	<b>Patientenkollektiv</b>	<b>28</b>
2.1.1	Ein- und Ausschlusskriterien	28
2.1.2	Einteilung und Zusammensetzung der Patientengruppen	28
2.1.3	Alter des Patientenkollektivs	29
2.1.4	Body Mass Index (BMI)	30
2.1.5	Operations- und Nachuntersuchungszeiträume	30
2.1.6	Zeiträume ohne suffizientes VKB	31
2.1.6.1	Gesamter Zeitraum ohne ein intaktes VKB	31
2.1.6.2	Zeitraum zwischen erneuter Instabilität und Revisionsoperation	31
<b>2.2</b>	<b>Operative Vorgehensweise</b>	<b>32</b>
2.2.1	Indikation zur Revisionsoperation	32
2.2.2	VKB-Revisionsplastik mit autologem Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Doppelbündeltechnik (4-Kanal-Technik) mit proximaler und distaler Interferenzschrauben-Fixation	32
2.2.3	VKB-Revisionsplastik mit autologem Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Einzelbündeltechnik mit proximaler TransFix®-Fixation und distaler Interferenzschrauben-Fixation	34
2.2.4	VKB-Revisionsplastik mit autologem Patellarsehnentransplantat in Einzelbündeltechnik mit proximaler und distaler Interferenzschrauben-Fixation	34
2.2.5	Nachbehandlung	35
2.2.6	Zusätzliche Eingriffe im Rahmen der Revisionsoperation	35
<b>2.3</b>	<b>Weitere Operationen der Kniegelenke</b>	<b>36</b>
2.3.1	Gesamtzahl der Operationen und durchgeführte Eingriffe am ipsilateralen Kniegelenk	36
2.3.2	Operationen am ipsilateralen Kniegelenk nach der Revisionsoperation	36
2.3.3	Meniskus-Teilresektionen des ipsilateralen Kniegelenks	38
2.3.4	Operationen am kontralateralen Kniegelenk	38
<b>3</b>	<b>METHODE</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Problemspezifischer Fragebogen</b>	<b>39</b>
<b>3.2</b>	<b>Klinische Untersuchung</b>	<b>39</b>
3.2.1	Allgemeine Befundung des Kniegelenks	40
3.2.2	Messung des Bewegungsumfangs	40
3.2.3	Varus- und Valgusstress (Adduktions- und Abduktionstest)	41
3.2.4	Reverse-Pivot-Shift-Test	41
3.2.5	Außenrotationstest	41
3.2.6	Hinterer Schubladentest	42

3.2.7	Vorderer Schubladentest	42
3.2.8	Lachman-Test	42
3.2.9	Pivot-Shift-Test	43
3.2.10	Instrumentelle Messung der anterioren tibialen Translation	44
3.2.11	Klinisch fehlgeschlagene VKB-Revisionsrekonstruktionen	45
3.2.12	Einbeinsprungtest	46
<b>3.3</b>	<b>Scores</b>	<b>46</b>
3.3.1	Tegner-Aktivitäts-Score	46
3.3.2	Lysholm-Score	46
3.3.3	Formblätter des IKDC	47
<b>3.4</b>	<b>Einflussfaktoren auf das Ergebnis</b>	<b>48</b>
<b>3.5</b>	<b>Statistische Auswertung</b>	<b>48</b>
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>49</b>
<b>4.1</b>	<b>Problemspezifischer Fragebogen</b>	<b>49</b>
4.1.1	Subjektive Funktionalität des Kniegelenks	49
4.1.2	Derzeitige Hauptbeschwerde	49
4.1.3	Zufriedenheit mit der Operation und Frage nach nochmaliger Operation	50
<b>4.2</b>	<b>Klinische Untersuchung</b>	<b>51</b>
4.2.1	Allgemeine Befundung des Kniegelenks	51
4.2.1.1	Beinachse	51
4.2.1.2	Transplantatentnahmemorbidity	51
4.2.1.3	Erguss	51
4.2.1.4	Kompartimentbefunde	51
4.2.1.5	Allgemeine Laxizität	52
4.2.1.6	Oberschenkelatrophie	52
4.2.2	Messung des Bewegungsumfangs	53
4.2.2.1	Beugedefizit	53
4.2.2.2	Streckdefizit	53
4.2.3	Varus- und Valgusstress (Adduktions- und Abduktionstest)	54
4.2.4	Reverse-Pivot-Shift-Test	54
4.2.5	Außenrotationstest	55
4.2.6	Hinterer Schubladentest	55
4.2.7	Vorderer Schubladentest	55
4.2.8	Lachman-Test	55
4.2.9	Pivot-Shift-Test	56
4.2.10	Instrumentelle Messung der anterioren tibialen Translation	56

4.2.10.1	Messung bei 134 N Zugkraft	57
4.2.10.2	Messung mit maximaler Zugkraft	57
4.2.11	Klinisch fehlgeschlagene VKB-Revisionsrekonstruktionen	58
4.2.12	Einbeinsprungtest	59
<b>4.3</b>	<b>Scores</b>	<b>59</b>
4.3.1	Tegner-Aktivitäts-Score	59
4.3.2	Lysholm-Score	60
4.3.2.1	Lysholm-Subscores Instabilität und Schmerz	61
4.3.3	Formblätter des IKDC	61
4.3.3.1	Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies (subjektiver IKDC-Score)	61
4.3.3.2	Formblatt zur Untersuchung des Knies	62
<b>4.4</b>	<b>Einflussfaktoren auf das Ergebnis</b>	<b>64</b>
<b>4.5</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse der Hauptzielkriterien</b>	<b>64</b>
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>66</b>
<b>5.1</b>	<b>Diskussion des Materials</b>	<b>67</b>
<b>5.2</b>	<b>Diskussion der Methode</b>	<b>72</b>
<b>5.3</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>73</b>
5.3.1	Diskussion der eigenen Ergebnisse	73
5.3.2	Vergleich der eigenen Ergebnisse mit anderen Studien	82
<b>5.4</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>88</b>
<b>5.5</b>	<b>Ausblick</b>	<b>89</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>90</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>92</b>
<b>8</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>107</b>
<b>9</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>108</b>
<b>10</b>	<b>LEBENS LAUF</b>	<b>109</b>
<b>11</b>	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>111</b>

<b>12</b>	<b>ANHANG</b>	<b>112</b>
12.1	Nachbehandlungsschema	112
12.2	Problemspezifischer Fragebogen	113
12.3	Untersuchungsprotokoll	116
12.4	Tegner-Aktivitäts-Score	118
12.5	Lysholm-Score	119
12.6	IKDC Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies	121
12.7	IKDC Formblatt zur Untersuchung des Knies	124

# Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Abb.	Abbildung
AM	Außenmeniskus
AM-Bündel	anteromediales Bündel
BMI	Body Mass Index
BPTB	Bone-Patellar-Tendon-Bone
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
db	double bundle
d.h.	das heißt
et al.	et altera
IKDC	International Knee Documentation Committee
IM	Innenmeniskus
kg	Kilogramm
m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
n	Anzahl
N	Newton
OATS	Osteochondral Autograft Transfer System
p	Signifikanzwert (p-Wert)
PL-Bündel	posterolaterales Bündel
r	Korrelationskoeffizient
S.	Seite
sog.	sogenannt
STG	Semitendinosus-Gracilis
Tab.	Tabelle
TR	Teilresektion
u.a.	unter anderem
VKB	vorderes Kreuzband
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel
∅	Durchschnitt
%	Prozent
°	Winkelgrad
>, ≥, <, ≤	größer, größer oder gleich, kleiner, kleiner oder gleich

# 1 Einleitung und Problemstellung

Eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes (VKB) stellt die häufigste Bandverletzung des Kniegelenks dar [196, S.1024]. Innerhalb eines Jahres erleiden etwa 100.000 Personen in Deutschland eine Ruptur des VKB [138, S.122]. Die Inzidenz an Kreuzbandrissen ist auf Grund eines steigenden Gesundheitsbewusstseins unserer Bevölkerung und einer damit vergesellschafteten wachsenden Teilnahme an sportlichen Aktivitäten steigend [97, S.25].

Die Standardtherapie nach VKB-Ruptur ist heute eine arthroskopische Rekonstruktion des gerissenen Bandes mit biologischen Sehnentransplantaten [29, S.9; 57, S.124]. Obwohl die Rekonstruktion des VKB als einer der erfolgversprechendsten chirurgischen Eingriffe in der Sportorthopädie betrachtet werden kann [132, S.685], muss davon ausgegangen werden, dass 3-15% aller Patienten im Laufe der Zeit einen Revisionsersatz, d.h. einen erneuten Ersatz des VKB benötigen [211, S.139].

Auf Grund der hohen Rate an guten funktionellen Ergebnissen und der dadurch möglichen Wiederaufnahme von sportlichen Aktivitäten ist eine steigende Anzahl an Transplantatrupturen zu beobachten [212, S.32]. Daneben können auch andere Faktoren, wie z.B. Komplikationen bei der Operation oder Rehabilitation sowie biologische und mechanische Ursachen eine erneute Rekonstruktion des VKB notwendig machen. In spezialisierten Zentren machen Revisionsoperationen bereits 15-20% aller VKB-Ersatzplastiken aus [212, S.32].

Die derzeit erreichten Ergebnisse nach VKB-Revisionsplastiken sind im Allgemeinen schlechter als Ergebnisse nach primären VKB-Rekonstruktionen [15, S.2065; 43, S.6; 148, S.1840]. Da es sich bei den Patienten allerdings meist um relativ junge und körperlich aktive Personen handelt, ist der Anspruch an ein gutes Behandlungsergebnis besonders hoch. Weitere wissenschaftliche Arbeiten sind daher notwendig, um in Zukunft die postoperativen Ergebnisse und die Patientenzufriedenheit zu verbessern.

In der Fachliteratur sind derzeit nur wenige Studien verfügbar, welche die Ergebnisse nach VKB-Revisionsrekonstruktionen unter Verwendung unterschiedlicher Operationsmethoden vergleichen. Zudem existiert nach unserem Wissen derzeit keine Studie, welche die Ergebnisse nach VKB-Revisionen unter Verwendung einer anatomischen Doppelbündelrekonstruktion mit zwei femoralen und zwei tibialen Bohrkanälen sowie beidseitiger Interferenzschrauben-Fixation beschreibt.

In dieser Arbeit werden die mittelfristigen Ergebnisse nach einzeitigen VKB-Revisionsplastiken unter Verwendung von drei unterschiedlichen Techniken bzw. Transplantaten nach einem postoperativen follow-up von mindestens zwei Jahren verglichen und erstmals die Ergebnisse nach VKB-Revisionsrekonstruktionen mit einer anatomischen Doppelbündeltechnik mit zwei femoralen und zwei tibialen Bohrkanälen sowie beidseitiger Interferenzschrauben-Fixation präsentiert.

## 1.1 Das VKB

### 1.1.1 Funktionelle Anatomie des VKB

Das VKB entspringt am Femur von einer halbmondförmigen Fläche im hinteren Anteil der Innenseite der lateralen Femurkondyle [8, S.205; 67, S.218]. Die Ansatzfläche auf dem Tibiaplateau liegt zwischen den Tubercula intercondylare im mittleren Anteil der Area intercondylaris [67, S.218].

Die intraartikuläre Länge des VKB beträgt durchschnittlich 32 mm, die Breite zwischen 7 und 12 mm [6, S.266; 44, S.205], wobei sich das Ligament an beiden Enden auffächert und daher sowohl die femorale, als auch die tibiale Insertionsfläche mehr als 3,5 mal größer ist als der mittlere Abschnitt des Bandes [74, S.743-744]. Das tibiale Insertionsareal ist der breiteste Teil im Verlauf des Bandes [67, S.221; 239, S.988-989].

Funktionell lässt sich das VKB in ein anteromediales und ein posterolaterales Bündel unterteilen [8, S.20; 67, S.230; 74, S.745; 191, S.388]. Bei gestrecktem Kniegelenk kommt das anteromediale Bündel im oberen und vorderen Anteil des femoralen Ursprungsgebiets zu liegen, das posterolaterale Bündel im hinteren und unteren Anteil [44, S.205; 191, S.388]. Tibial inserieren beide Bündel ihrer Nomenklatur entsprechend: das anteromediale Bündel im anteromedialen Anteil der Ansatzfläche, das posterolaterale Bündel im posterolateralen Anteil [8, S.20; 30, S.3; 191, S.388].

In Streckung verlaufen beide Bündel parallel, wird das Knie gebeugt, wandert der femorale Ursprung des posterolateralen Bündels nach anterior, wodurch es zu einer Kreuzung der beiden Bündel kommt [30, S.3; 149, S.258; 191, S.389].

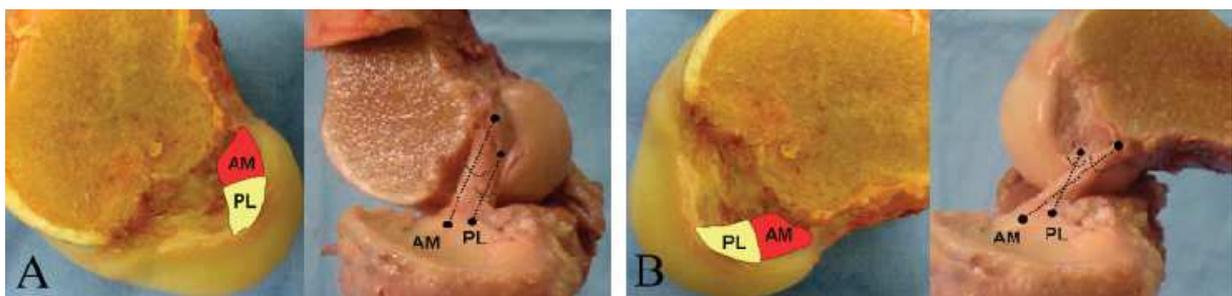


Abb. 1: Relative Position der beiden funktionellen Bündel des VKB (modifiziert nach [30, S.3]). A: Femoraler Ursprung des anteromedialen (AM) und posterolateralen (PL) Bündels und Verlauf beider Bündel in Extension; B: Femoraler Ursprung und Verlauf beider Bündel in 90° Flexion.

### 1.1.2 Funktion und Biomechanik des VKB

Das VKB ist ein wichtiger Stabilisator des Kniegelenks und ein wesentliches Steuerelement der Roll-Gleitbewegung des Femurs gegen die Tibia.

Eine der wichtigsten Funktionen des VKB ist die Sicherung des Kniegelenks gegen eine anteriore Translation der Tibia, wobei 80-85% des Gesamtwiderstandes hierfür vom VKB aufgebracht werden [154, S.711; 172, S.336]. Das posterolaterale Bündel übernimmt neben der anterioren Stabilitätssicherung zusätzlich noch eine entscheidende Rolle bei der Rotationsicherung des Kniegelenks [237, S.225-226]. Auch bei der Sicherung des Kniegelenks gegen einen medialen Shift der Tibia sowie gegen Varus- und Valgusstress spielt das VKB eine wichtige Rolle [154, S.711; 172, S.336].

Durch die vom Beugungsgrad des Kniegelenks bestimmte Position der beiden funktionellen Bündel arbeitet das VKB nicht wie ein einfaches Band, vielmehr kommt es während eines vollen Bewegungsumfangs zu unterschiedlichen Spannungen in beiden Bündeln [8, S.32]. In Streckung ist das posterolaterale Bündel gespannt, während das anteromediale Bündel etwas gelockert ist. Wird das Knie gebeugt, spannt sich das anteromediale Bündel und das posterolaterale Bündel lockert sich etwas [6, S.263; 8, S.20; 191, S.389; 239, S.983]. Das posterolaterale Bündel wird zusätzlich noch bei Innen- und Außenrotation des Unterschenkels gespannt [30, S.3].

Die bei einer antero-tibialen Belastung aufgebrachte Reißkraft des gesamten VKB ist bei ca. 15° Flexion am Höchsten [171, S.289]. Im posterolateralen Bündel ist die Kraft in Extension maximal und nimmt mit zunehmender Flexion ab. Im anteromedialen Bündel ist die Kraft in Streckung niedriger als im posterolateralen Bündel, nimmt aber mit zunehmender Flexion zu und hat sein Maximum bei ca. 60° Flexion erreicht [59, S.88; 171, S.290].

### **1.1.3 Biomechanik des VKB-insuffizienten Kniegelenks und Folgepathologien**

Eine Ruptur des VKB führt zu einer Dissoziation der physiologischen Roll-Gleit-Bewegung zwischen Femur und Tibia mit einer vermehrten anterioren Translation und Innenrotation der Tibia [39, S.5].

Bei Betroffenen kommt es subjektiv zu einem Unsicherheitsgefühl und einer Funktionsminderung des Kniegelenks. Bereits beim normalen Gehen können bei Patienten mit insuffizientem VKB pathologische Kniebewegungen beobachtet werden [64, S.79].

Nach einer VKB-Ruptur kommt es zu einer Verlagerung des Rotationszentrums der Tibia nach medial. Diese Verlagerung der Rotationsachse führt zu einer anterioren Translation der Tibia und erhöht in Kombination mit einer vermehrten Innenrotation die Bewegungsfreiheit des lateralen Tibiaplateaus [156, S.39]. Diese als anterolaterale Rotationsinstabilität bezeichnete Pathologie äußert sich bei Patienten in einem so genannten „giving-way“, einem gefühlten „Weggleiten“ des Kniegelenks bei sportlichen Aktivitäten, aber auch während Bewegungen im Alltag [152, S.1091].

Als Folge des Funktionsverlustes des VKB kommt es weiterhin zu einer Verschiebung der Kontaktpunkte der Knorpeloberflächen zwischen Tibia und Femur. Durch einen pathologisch vermehrten medialen Shift der Tibia kommt es zu einer Lateralverschiebung der Kontaktpunkte sowohl im medialen, als auch im lateralen Kompartiment der Tibia [41, S.1245; 118, S.1826]. Im medialen Kompartiment sind die Kontaktpunkte zusätzlich noch weiter nach dorsal verlagert als in gesunden Kniegelenken [118, S.1826]. Eine solche Veränderung der Kontaktmechanik und

Veränderung der Knorpelbelastung kann für das Entstehen einer Arthrose des Kniegelenks (Gonarthrose) prädestinierend wirken [118, S.1833; 123, S.1763; 174, S.238].

Der mediale Meniskus, welcher funktionell ein sekundärer Stabilisator des Kniegelenks gegen eine anteriore Translation der Tibia darstellt, ist in VKB-insuffizienten Kniegelenken erhöhten Scherkräften unterworfen [153, S.1442]. Vor allem bei Patienten mit hoher körperlicher Aktivität und einem insuffizienten VKB kommt es gehäuft zu sekundären Meniskusschäden [121, S.11]. Außerdem ist bekannt, dass die Prävalenz von Meniskusrissen mit der Dauer einer VKB-Insuffizienz steigt [123, S.1757; 153, S.1443]. Die Menisken sind wichtige Bestandteile des Kniegelenks, da sie axiale Belastungen auf das Tibiaplateau verteilen. Schädigungen der Menisken können folglich den frühen Beginn einer Gonarthrose begünstigen [182, S.1208]. Patienten mit chronischer VKB-Insuffizienz und funktionseingeschränktem Innenmeniskus tragen ein Risiko von bis zu 80% für die Entstehung einer Arthrose im medialen Gelenkkompartiment [174, S.233].

Zum Zeitpunkt der VKB-Ruptur ist die Mehrheit der Patienten jünger als 30 Jahre, viele sogar jünger als 20 Jahre. VKB-Verletzungen sind daher verantwortlich für eine hohe Anzahl früh beginnender arthrotischer Veränderungen zwischen dem 30. und 50. Lebensjahr, welche oftmals mit Schmerzen, Funktionseinschränkung und einer sinkenden Lebensqualität vergesellschaftet sind [123, S.1759].

## **1.2 Die VKB-Ersatzplastik**

Die Mehrzahl der Patienten, welche nach einer VKB-Ruptur konservativ behandelt wurden, zeigen funktionell keine zufriedenstellenden Ergebnisse - viele klagen über anhaltende Instabilitätsgefühle und Schmerzen [56, S.821; 191, S.387].

Der derzeitige Behandlungsstandard nach stattgefundener Ruptur des VKB ist eine arthroskopische Rekonstruktion des gerissenen Bandes mit biologischen Sehnentransplantaten [29, S.9; 57, S.124]. Die am häufigsten angewandte Methode ist die sog. Einzelbündeltechnik, bei welcher das Transplantat in jeweils einem Bohrkanaal in Tibia und Femur fixiert wird [240, S.96].

Eine Naht des rupturierten Bandes stellt keine alternative Behandlungsmethode dar, da es auf Grund einer sehr geringen Heilungstendenz zu schlechten postoperativen Ergebnissen kommt. Auch extraartikuläre Stabilisierungen des Kniegelenks haben keine befriedigenden Ergebnisse erbringen können [57, S.124].

Das Ziel einer Kreuzbandrekonstruktion ist die Stabilisierung und möglichst vollständige Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit sowie der physiologischen Kinematik des Kniegelenks [44, S.204].

Die Indikation für eine operative Versorgung einer VKB-Ruptur stellt eine vom Patienten beklagte Instabilität des Kniegelenks beim Sport oder bei alltäglichen Aktivitäten dar, welche in der weiteren Diagnostik auf eine Insuffizienz des VKB zurückzuführen ist. Auch ein Hoch-Risiko-Lebensstil welcher Sport, andere körperlich beanspruchenden Freizeitaktivitäten und harte körperliche Arbeit beinhaltet,

kann zur Prävention von Sekundärschäden als Indikation zur Stabilisierung des Kniegelenks angesehen werden [17, S.1584].

In den letzten 20 Jahren gab es auf dem Gebiet der Kreuzbandchirurgie weitreichende wissenschaftliche sowie technische Fortschritte, wodurch dem Operateur heute eine Vielzahl verschiedener Transplantate und Rekonstruktionstechniken zur Verfügung stehen. Neben der Einzelbündelrekonstruktion hat sich mittlerweile auch die Technik der Doppelbündelrekonstruktion, mit dem Ziel einer „anatomischen Kreuzbandrekonstruktion“, etabliert.

### **1.2.1 Transplantatoptionen**

Im Rahmen einer VKB-Ersatzplastik kommen autologe, d.h. körpereigene Transplantate („Autografts“) und allogene Transplantate („Allografts“), also Gewebe von Multiorganspendern, zur Anwendung. Transplantate aus synthetischen Materialien, wie z.B. Gore-Tex oder Kohlefaser, konnten sich aufgrund hoher Versagensquoten und ausgeprägten Entzündungsreaktionen der Gelenkschleimhaut auf Fragmente dieser synthetischen Materialien nicht durchsetzen [5, S.69; 29, S.9; 214, S.734].

Die derzeit am häufigsten verwendeten Transplantate sind autologe Patellarsehnentransplantate und autologe Transplantate aus den Sehnen des Musculus semitendinosus und des Musculus gracilis (sog. „Hamstring-Sehnen“) [57, S.125; 176, S.304].

Allografts werden in Deutschland gewöhnlich nur in speziellen Einzelfällen für den primären Ersatz des VKB verwendet; ihr Einsatz erfolgt vornehmlich in der Revisionschirurgie sowie bei komplexen Knieinstabilitäten [14, S.630; 214, S.735].

#### **1.2.1.1 Patellarsehne vs. Hamstring-Sehnen: Vor- und Nachteile**

Das Patellarsehnentransplantat wird meist als 8-11 mm breites Stück mit anhängenden Knochenblöcken aus Patella und Tuberositas tibiae dem mittleren Drittel der Patellarsehne entnommen. Bei den Hamstring-Sehnen kommt entweder die Sehne des Musculus semitendinosus allein, oder in Kombination mit der Sehne des Musculus gracilis zur Anwendung, welche als 3- oder 4fach-Konstrukte verwendet werden. Im Gegensatz zum Knochen-Sehnen-Knochen-Transplantat der Patellarsehne (bone-patellar-tendon-bone, BPTB) handelt es sich hierbei um reine Weichteiltransplantate. Die Vor- und Nachteile der beiden Transplantate sind in Tab. 1 zusammengefasst.

<b>Transplantat</b>		
	<b>Patellarsehne</b>	<b>Hamstring-Sehnen</b>
<b>Vorteile</b>	hohe Maximallast und Steifigkeit; knöcherner Fixationsmöglichkeit an beiden Enden; rasches Einwachsen der Knochenblöcke in den Bohrkanaal im Sinne einer Knochenbruchheilung; schnellere Wiederaufnahme von sportlichen Aktivitäten	höchste Maximallast (als 4fach-Konstrukt); Nachahmung des nativen VKB durch Verwendung von Mehrfachtransplantaten; Dimension und Form entsprechen eher der des nativen VKB; Möglichkeit einer anatomischen Fixation an beiden Enden bei frei bestimmbarer Transplantatlänge; geringe Entnahmemorbidität: Schmerzen an der Entnahmestelle nur selten und von kurzer Dauer, Sehnen regenerieren nahezu komplett
<b>Nachteile</b>	Überlänge im Vergleich zum nativen VKB und damit Unmöglichkeit einer gleichzeitigen anatomischen femoralen und tibialen Fixation; teilweise ausgeprägte Entnahmemorbidität: Vorderer Knieschmerz, Schmerzen beim Knien durch Knochendefekt an Tuberositas tibiae, gestörte Funktion des Streckapparates mit Quadrizepsatrophie und Kraftminderung, Verkürzung der Patellarsehne kann durch erhöhte patellofemorale Kräfte zu frühzeitig beginnender Arthrose beitragen	keine knöcherner Fixationsmöglichkeit; verzögerte ossäre Transplantatintegration; passagere Schwächung eines VKB-Synergisten; mögliche längerfristige Störung der Innenrotation

Tab. 1: Vor- und Nachteile der beiden meistverwendeten Transplantate zur VKB-Ersatzplastik (nach [56; 57; 86; 214]).

Angesichts der Tatsache, dass mit beiden Transplantaten vergleichbare klinische Ergebnisse erzielt werden können [69; 189], gewinnt die Diskussion über eine Reduktion der postoperativen Komplikationen durch die Sehnenentnahme, die sog. „donor side morbidity“, zunehmend an Bedeutung.

Jahrelang galt das Patellarsehnentransplantat als der „Goldstandard“ in der Kreuzbandchirurgie. In den letzten Jahren ist allerdings die Verwendung von Hamstring-Transplantaten aufgrund der geringeren Entnahmemorbidität sowie der Möglichkeit einer anatomischen Fixation auf Gelenkniveau an beiden Enden bei frei bestimmbarer Transplantatlänge zunehmend in den Mittelpunkt des Interesses gerückt [241, S.1204].

### 1.2.2 Fixationsmöglichkeiten des Transplantats

Allgemein kann man direkte von indirekten, sowie gelenknahe von gelenkfernen (bzw. anatomische von nichtanatomischen) Fixationssystemen unterscheiden. Bei einer direkten Fixation wird das Transplantat unmittelbar am Knochen befestigt; bei einer indirekten Fixation erfolgt die Befestigung über zwischengeschaltete Materialien [78, S.596]. Von einer gelenknahe bzw. anatomischen Fixationstechnik spricht man bei einer Transplantatverankerung auf Gelenkniveau im Bereich der Insertion des nativen VKB, von gelenkfern bzw. nichtanatomisch bei einer Fixation am femoralen oder tibialen Kortex [212, S.27].

Derzeit finden vor allem Interferenzschrauben, transfemorale Fixationstechniken und indirekte Fixationssysteme mit kleinen Verankerungsobjekten (sog. Fixations-Buttons) in der Kreuzbandchirurgie Verwendung.

Bei der Verwendung von BPTB-Transplantaten hat sich die Verwendung von Interferenzschrauben zur Verankerung als weit verbreiteter Standard durchgesetzt [18, S.765; 132, S.687]. Für Hamstring-Transplantate gibt es noch immer kontroverse Diskussionen über die „beste“ Verankerungsmethode [176, S.304,311], was sich in einem breiteren Spektrum an eingesetzten Fixationssystemen widerspiegelt.

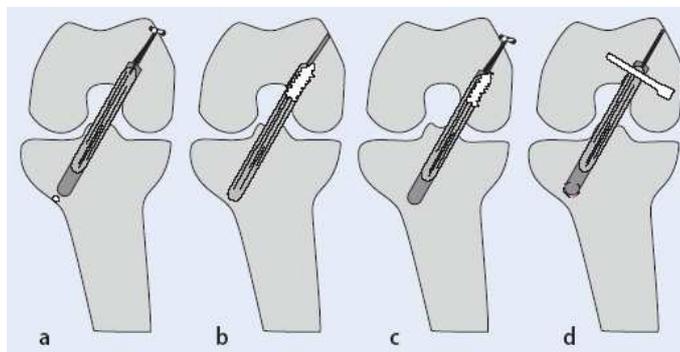


Abb. 2: Femorale Fixationsmethoden (modifiziert nach [175, S.106]). a: Indirekte, gelenkferne Fixation mittels Fixations-Button; b: Gelenknahe (anatomische) Fixation mit einer Interferenzschraube; c: Hybridfixation (Kombination von Interferenzschraube und Fixations-Button); d: Transfemorale Fixation.

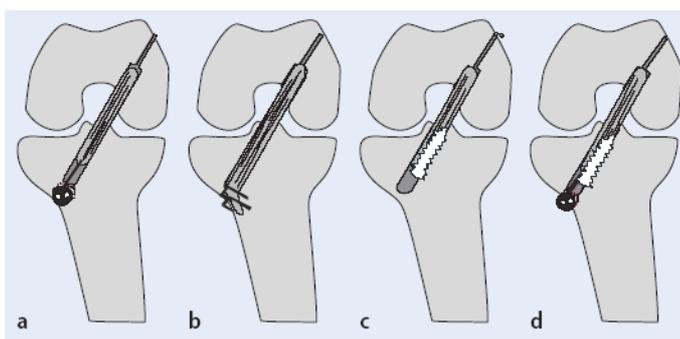


Abb. 3: Tibiale Fixationsmethoden (modifiziert nach [175, S.106]). a: Indirekte, gelenkferne Fixation mittels Fixations-Button; b: Direkte, gelenkferne Fixation mit einer Krampe; c: Gelenknahe (anatomische) Fixation mit einer Interferenzschraube; d: Hybridfixation.

### 1.2.2.1 Fixations-Buttons

Bei indirekten Fixationsmethoden mit Fixations-Buttons wird das Transplantat über zwischengeschaltete Faden- oder Tapematerialien mit einem Fixations-Button auf dem femoralen oder tibialen Kortex verbunden. Einer sehr hohen initialen Versagenslast [215, S.1036] stehen Probleme gegenüber, die sich durch die verwendeten Faden- bzw. Tapematerialien, welche meist eine höhere Elastizität als das eigentliche Transplantat aufweisen, sowie die Gesamtlänge des Konstruktes ergeben. Die dadurch geringere Konstruktsteifigkeit kann zu einer elastischen Deformierung (sog. „bungee effect“) und damit verbundenen longitudinalen Scherbewegungen des Transplantats gegen die Tunnelwand führen [84, S.217-218; 85, S.237; 143, S.814]. Bei Flexions- und Extensionsbewegungen können zusätzlich sagittale Transplantatbewegungen entstehen (sog. „windshield-whiper effect“) [212, S.29-30]. Der „bungee effect“ sowie der „windshield-whiper effect“

können die ossäre Integration des Transplantats negativ beeinflussen und zu Tunnelaufweitungen (sog. „tunnel widening“) führen [51, S.1337; 85, S.236-237; 103, S.34]. Der „windshield-whiper effect“ kann zusätzlich Teilrupturen des Transplantats am Tunneleingang provozieren [212, S.29-30].

#### 1.2.2.2 Transfemorale Fixation (Transfixationssystem)

Das Grundprinzip eines Transfixationssystems ist das transfemorale Einbringen eines oder mehrerer Stifte (Transfixations-Pins) senkrecht zum Tunnelverlauf. Hamstring-Transplantate werden meist im femoralen Tunnelende an ihrer proximalen Schlaufe mit einem Transfixations-Pin aufgehängt. BPTB-Transplantate werden in der Regel mit zwei Pins durch den proximalen Knochenblock fixiert. Vorteile einer transfemorale Fixation sind eine weiter in Richtung Gelenkniveau versetzte Verankerung sowie eine hohe initiale Verankerungsfestigkeit [215, S.1039]. Nachteile sind die durch die Notwendigkeit einer Inzision am Oberschenkel bedingte höhere Invasivität, sowie die nicht komplett anatomische Verankerung des Transplantats. Wagner et al. sprechen hierbei von einer semianatomischen Fixation [212, S.27-28].

#### 1.2.2.3 Interferenzschrauben-Fixation

Die Verwendung von Interferenzschrauben, wobei eine Schraube parallel zum Transplantat in den Bohrkanal eingedreht wird, ermöglicht eine gelenknahe, anatomische und direkte Transplantatverankerung.

Scheffler et al. [176, S.312] konnten in einer biomechanischen Untersuchung zeigen, dass eine gelenknahe, anatomische Verankerung die mechanischen Eigenschaften des nativen VKB besser reproduzieren kann: Im Vergleich zu extrakortikalen Verankerungen kam es zu einer signifikant höheren anterioren Stabilität, was wohl durch eine Verkürzung des Gesamtkonstruktes und einer daraus resultierenden höheren Steifigkeit erklärt werden kann [215, S.1037]. Durch die Verwendung von Interferenzschrauben können desweiteren Transplantat-Tunnel-Bewegungen sowie ein Einstrom von Synovialflüssigkeit zwischen Transplantat und Tunnel verhindert werden [23, S.85; 85, S.235-237]. Die durch das Einbringen der Schraube erzielte Kompression des Transplantats gegen den Knochen unterstützt sowohl das Einheilen von Knochen-Sehnen-Transplantaten als auch von reinen Weichteiltransplantaten [78, S.597-599].

Durch die anatomisch vorgegebene Länge eines BPTB-Transplantats von durchschnittlich 43 mm kommt es zwangsläufig zu einer Längendiskrepanz des ligamentären Anteils im Vergleich zum nativen VKB [86, S.1047,1050]. Hierdurch kann bei der Fixation mit Interferenzschrauben eine direkte Fixation auf Gelenkniveau lediglich an einem Ende des BPTB-Transplantats erfolgen, weshalb sich meist eine nichtanatomische Fixation des distalen Transplantatendes ergibt [83, S.392; 212, S.33]. Bei der Verwendung von Hamstring-Sehnen kann aufgrund der frei bestimmbar Transplantatlänge durch das Einbringen der Interferenzschrauben bis knapp unter das Gelenkniveau sowohl tibial als auch femoral eine direkte und anatomische Fixation erfolgen [212, S.32].

Zur Auswahl stehen Interferenzschrauben aus Metall oder aus bioresorbierbaren Materialien. Für beide Materialien wurden in biomechanischen Untersuchungen vergleichbare Versagenslasten erzielt [19, S.914; 25, S.244; 101, S.454-455].

Vorteile von biodegradierbaren Schrauben gegenüber Metallimplantaten sind die Durchführbarkeit einer artefaktfreieren MRT-Untersuchung sowie weniger Komplikationen bei Revisionsoperationen [25, S.241-242; 217, S.124]. Auch eine Verletzung des Transplantats beim Eindrehen der Schraube, wie es bei Metallinterferenzschrauben beobachtet wurde, kann durch bioresorbierbare Interferenzschrauben vermieden werden [19, S.913; 241, S.1208]. Als nachteilig diskutiert wird eine mögliche Bruchgefahr der Schraube beim Eindrehen sowie eventuelle Reaktionen des Körpers gegen die verwendeten Materialien [78, S.601; 217, S.120,127].

### **1.2.3 Die Doppelbündelrekonstruktion**

Mit der VKB-Ersatzplastik in Einzelbündeltechnik können derzeit in der Mehrzahl der Fälle gute bis sehr gute klinische Ergebnisse erzielt werden. Dennoch bleiben bei einem gewissen Anteil Beschwerden bestehen, so dass die optimale Rekonstruktionstechnik noch nicht gefunden zu sein scheint [24, S.1000; 28, S.1275; 34, S.946; 242, S.99].

Sowohl „in vitro“ als auch „in vivo“ Untersuchungen konnten zeigen, dass mit einer VKB-Rekonstruktion in Einzelbündeltechnik zwar eine anteriore tibiale Translation suffizient verhindert werden konnte, eine Rotationsinstabilität aber weiterhin bestehen blieb [163, S.363; 198, S.978-980; 224, S.913]. Die wahrscheinlichste Erklärung für diese Ergebnisse ist, dass die komplexe Anatomie des VKB und damit auch dessen Funktion nicht vollständig wiederhergestellt werden konnte [28, S.1275; 163, S.363]. Bei der heute standardmäßig durchgeführten VKB-Rekonstruktion in Einzelbündeltechnik wird vorwiegend das anteromediale Bündel rekonstruiert und nicht der Anatomie des nativen VKB entsprechend, beide funktionellen Bündel [24, S.1000; 28, S.1275; 233, S.241]. Da das posterolaterale Bündel aber insbesondere bei der Rotationssicherung eine wichtige Rolle einnimmt, kann dessen Verlust für eine Rotationsinstabilität verantwortlich gemacht werden [59, S.87-88].

Bereits vor über 20 Jahren wurden Techniken zur Rekonstruktion beider funktionellen Bündel des VKB vorgestellt [96, S.291], welche sich allerdings in der Praxis nicht durchsetzen konnten. Durch sukzessive Weiterentwicklung arthroskopischer Operationstechniken sind Rekonstruktionsverfahren mit welchen die Anatomie und damit auch die Funktion des nativen VKB möglichst exakt wiederhergestellt werden kann, erneut in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. In den letzten Jahren wurden verschiedene Techniken mit dem Ziel der arthroskopischen Rekonstruktion beider funktionellen Bündel des VKB entwickelt: Die sog. Doppelbündelrekonstruktion [34, S.947; 242, S.103].

In experimentellen Studien konnte gezeigt werden, dass mit einer Doppelbündelrekonstruktion die physiologische Kinematik des Kniegelenks exakter reproduziert werden kann als mit einer Einzelbündelrekonstruktion [179, S.627; 230, S.106; 231, S.663-665].

Auch in verschiedenen klinischen Studien zeigte sich die Doppelbündelrekonstruktion einer Einzelbündelrekonstruktion hinsichtlich der Rotationssicherung, welche mit dem Pivot-Shift-Test erfasst wurde, signifikant überlegen [96, S.294; 140, S.623; 185, S.141; 233, S.248]. In einigen Studien wurden zudem signifikant bessere Ergebnisse bezüglich der anterioren Stabilität für die Doppelbündelrekonstruktion ermittelt [140, S.623; 233, S.248].

Nachteile einer Doppelbündelrekonstruktion sind neben einer verlängerten Operationszeit und dem Bedarf an doppelt so vielen Fixationsmaterialien auch die Gefahr der doppelten Fehlpositionierung der Bohrkanäle und ein somit höherer technischer Anspruch an den Operateur [34, S.947; 230, S.106]. Bei Revisionseingriffen kann außerdem durch die doppelte Anzahl der Bohrkanäle das operative Vorgehen erschwert werden [34, S.947].

### **1.3 Ursachen für das Versagen einer Kreuzbandplastik**

Der Erfolg einer Kreuzbandrekonstruktion ist von vielen Faktoren abhängig. Eine nicht sorgfältige präoperative Diagnostik, technische Komplikationen während des chirurgischen Eingriffs sowie eine nicht angepasste postoperative Rehabilitation können zu einem Versagen der Kreuzbandplastik führen. Daneben spielen auch Faktoren eine Rolle welche durch den Operateur nicht beeinflusst werden können, wie z.B. die Compliance des Patienten und eine Ruptur des Transplantats durch ein erneutes Trauma.

Eine Kreuzbandrekonstruktion kann als fehlgeschlagen betrachtet werden, wenn der Patient beim Sport sowie im Alltag über persistierende oder neu aufgetretene Instabilitätsgefühle klagt und eine Untersuchung des operierten Kniegelenks eine erhöhte Instabilität ergibt [134, S.224; 169, S.51].

Vereinfacht kann man die Versagensursachen einteilen in: Technische Fehler im Rahmen der VKB-Rekonstruktion, biologische Ursachen und Transplantatrupturen durch ein erneutes Trauma [48, S.319; 107, S.1250.e3; 218, S.181].

#### **1.3.1 Technische Fehler**

In der Literatur werden technische Fehler als die häufigste Ursache für eine fehlgeschlagene VKB-Ersatzplastik genannt [13, S.14; 43, S.856; 218, S.181]. Hierzu gehören u.a. eine falsche Bohrkanallokalisation, übersehene und/oder nicht mitbehandelte Begleitpathologien, eine zu hohe oder zu niedrige Spannung des Transplantats während der Fixation, eine unzureichende Fixation des Transplantats sowie eine unsachgemäß durchgeführte Transplantatentnahme.

### 1.3.1.1 Bohrkannallokalisation

Eine korrekte Bohrkannallokalisation ist der wohl bedeutendste Faktor für ein zufriedenstellendes Ergebnis nach einem VKB-Ersatz [97, S.30]. Das Ziel der Bohrkannalpositionierung sollte eine Wiederherstellung der Stabilität ohne eine unphysiologische Belastung des Neoligaments sein. Das Kreuzbandtransplantat toleriert nur ein bestimmtes Maß an Beanspruchung bevor es zu einer plastischen Deformierung und damit zu einer Insuffizienz der Bandplastik mit erneuter Instabilität des Kniegelenks kommt [66, S.186; 218, S.182].

Der in der Literatur meistgenannte technische Fehler stellt eine zu anteriore Platzierung des femoralen Bohrkannals dar [97, S.30; 188, S.208; 190, S.386]. Die hierdurch resultierende relative Verkürzung des Neoligaments im Vergleich zum nativen VKB bedingt eine erhöhte Spannung des Transplantats während der Flexion [48, S.319; 188, S.208]. Durch die pathologisch erhöhten Kräfte, welche in diesem Fall auf das Transplantat einwirken, kann es zu dessen Elongation mit resultierender sekundärer Instabilität kommen, oder - sofern die VKB-Plastik diesen Kräften widerstehen kann - zu einer Einschränkung der Flexion im Kniegelenk [97, S.30; 188, S.208].

Neben einer zu weit anterioren Platzierung führt auch ein zu weit posterior oder zu vertikal platzierter femoraler Bohrkannal zu postoperativen Problemen. Wird der Bohrkannal zu weit posterior an der Femurkondyle platziert, kommt es neben einer zu starken Erschlaffung des Bandes während der Flexion zu einer übermäßigen Spannung des Transplantats in Streckung, was zu dessen Überdehnung oder einem Extensionsdefizit führen kann [188, S.208; 207, S.314]. Eine in der frontalen Ebene zu vertikale Platzierung führt zu postoperativen Problemen in Form einer persistierenden Rotationsinstabilität, auch wenn eine anteriore Stabilität eventuell gegeben ist [13, S.17; 26, S.313].

Auch die korrekte Positionierung des tibialen Bohrkannals ist für das Ergebnis einer VKB-Rekonstruktion entscheidend: Ein zu weit posterior gelegener tibialer Tunnel führt in der sagittalen Ebene zu einem vertikaleren Verlauf des Bandes, wodurch dieses einer anterior-posterioren Translation nicht suffizient entgegenwirken kann [26, S.312; 97, S.31]. Bei einem zu weit anterior gelegenen tibialen Tunnel kommt es mit zunehmender Extension zu einem Einklemmen des Transplantats am Dach der Fossa intercondylaris [33, S.45; 87, S.49-50; 169, S.52], dem sog. Notch-Impingement. Ein Notch-Impingement kann neben einem Streckdefizit und einer Transplantatelongation auch Abschürfungen am Transplantat verursachen und somit zu einer konsekutiven Schwächung des Transplantats führen [87, S.49-50; 207, S.313]. Durch die Überbelastung der Bandplastik mit zunehmender Extension wird zudem auf die Fixationsmaterialien eine größere Belastung ausgeübt, was zu deren Versagen vor der vollständigen Einheilung des Transplantats führen kann [218, S.182].

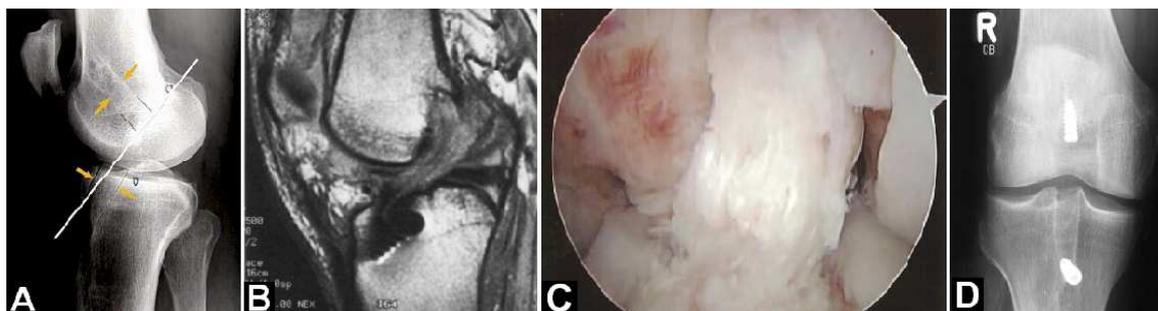


Abb. 4: VKB-Insuffizienz durch nichtanatomische Bohrkannalokalisation. A: Deutlich zu weit anterior platzierter femoraler Bohrkannal und etwas zu anterior platzierter tibialer Bohrkannal (modifiziert nach [211, S.144]). B: Notch-Impingement mit diffuser Signalerhöhung des Transplantats bei zu weit anterior platziertem tibialen Bohrkannal (modifiziert nach [92, S.129]). C: Arthroskopisches Bild eines überdehnten Transplantats bei zu anterior gelegenem femoralen Bohrkannal (modifiziert nach [63, S.2029]). D: Deutlich zu vertikale Positionierung des Transplantats (modifiziert nach [43, S.7]).

### 1.3.1.2 Begleitpathologien

Rupturen des VKB treten häufig in Kombination mit zusätzlichen Verletzungen anderer Strukturen des Kniegelenks auf. Werden bei der präoperativen Befundung des Patienten bestehende Schäden an sekundären Stabilisatoren des Kniegelenks, wie z.B. dem Innen- und Außenband, der hinteren Gelenkkapsel oder dem Innenmeniskus übersehen oder nicht adäquat behandelt, kann es im postoperativen Verlauf zu einer chronischen Überbeanspruchung des Transplantats und einem daraus resultierenden Transplantatversagen kommen [4, S.86; 63, S.2029; 194, S.323]. Auch eine übermäßige Varus- oder Valgusdeformität sollte korrigiert werden, um ein Transplantatversagen auf Grund einer sukzessiven Überdehnung zu verhindern [4, S.87; 50, S.202; 63, S.2029].

### 1.3.1.3 Transplantatwahl und -fixation

Ein Versagen der VKB-Plastik kann auch durch die Wahl des verwendeten Transplantats und dessen Entnahme begünstigt werden: Bei der Verwendung von synthetische Transplantaten, muss mit hohen Versagensquoten und ausgeprägten Entzündungsreaktionen der Gelenkschleimhaut gerechnet werden [5, S.69; 29, S.9; 214, S.734]. Allografts zeigen im Vergleich zu Autografts eine höhere Tendenz zur Transplantatverlängerung und eine höhere Versagensquote [97, S.29]. Weiterhin kann es durch eine unsachgemäße Transplantatentnahme oder -fixation zu Verletzungen und somit zur Schwächung des Transplantats kommen [63, S.2027; 66, S.187]. Bei der Verwendung von BPTB-Transplantaten muss auf eine günstige Dimensionierung und ausreichende Knochenqualität der anhängenden Knochenblöcke geachtet werden, um eine sichere Fixation gewährleisten zu können [207, S.317].

Ein weiterer wichtiger Faktor für eine erfolgreiche VKB-Rekonstruktion ist das Ausmaß der manuell durchgeführten Spannung des Transplantats zum Zeitpunkt der Fixation: Wird das Transplantat mit einer zu geringen Spannung fixiert, ist das Neoligament funktionell insuffizient und es bleibt auch nach der Operation eine Instabilitätssymptomatik bestehen [33, S.47; 218, S.183]. Eine Überspannung des Transplantats resultiert in Bewegungseinschränkungen sowie in erhöhten tibio-femorale Kontaktkräften, welche degenerative Gelenkveränderungen verursachen können [66, S.186-187; 188, S.207]. Neben weiteren Folgen wie einer Transplantatelongation oder einem Versagen der

Befestigungsmaterialien [207, S.316] kann auch die biologische Integration des Transplantats beeinflusst werden: Eine schlechtere Einheilungstendenz sowie verzögerte Revaskularisierung wurde für zu stark gespannte Transplantate beschrieben [33, S.47; 218, S.183].

Bevor das Transplantat vollständig in die Bohrkanäle eingewachsen ist, stellt das Fixationssystem die Schwachstelle des Kreuzbandersatzes dar [18, S.761]. Ist die verwendete Verankerung nicht in der Lage den Belastungen in der frühen postoperativen Rehabilitationsphase zu widerstehen, kommt es zu einer Auslockerung des Transplantats [132, S.685; 207, S.316].

### **1.3.2 Biologisches Versagen**

Bei Patienten ohne Hinweise auf technische Fehler oder ein erneutes Trauma kann ein „biologisches Versagen“ der Grund für eine fehlgeschlagene VKB-Rekonstruktion sein [48, S.321; 65, S.191-192]. Unter dem Begriff „biologisches Versagen“ werden Versagensursachen wie eine unzureichende Einheilung oder ein mangelhafter Umbauprozess des Transplantats zusammengefasst [134, S.225].

Der Umbauprozess des Transplantats besteht aus den nacheinander ablaufenden Stadien: Nekrose, Revaskularisierung, Zelleinwanderung, Umbildung des Kollagengerüsts und Reifung des neuen Bandes [33, S.43]. Verschiedene biologische und biomechanische Faktoren im Verlauf dieses Umbauprozesses und der Einheilphase können dazu führen, dass kein funktionsfähiges neues VKB entsteht.

Während des Stadiums der Nekrose ist das Einsprossen von neuen Blutgefäßen essentiell für den Heilungsprozess des Transplantats. Gründe für eine gestörte Revaskularisierung umfassen ein zu stark gespanntes Transplantat, systemische Grunderkrankungen welche das Gefäßsystem beeinflussen (z.B. Diabetes Mellitus) und Nikotinkonsum [134, S.226-227]. Daneben kann auch die Transplantatwahl eine Rolle spielen: Für Autografts wurde eine schnellere Revaskularisierung und Zelleinwanderung im Vergleich zu Allografts beschrieben [63, S.2029; 134, S.227]. Eine verzögerte oder verminderte Revaskularisierung resultiert in einer Minderversorgung von Zellen die wichtige Wachstumsfaktoren für die Neuorganisation des Transplantats produzieren. Ein hierdurch bedingter Mangel an erforderlichen Wachstumsfaktoren verzögert oder verhindert den Umbau- und Einheilprozess des Transplantats [134, S.228].

Die Reorganisation des Transplantats wird auch direkt durch die mechanische Beanspruchung, welche vor allem durch die chirurgische Technik und das Rehabilitationsprogramm bestimmt wird, beeinflusst: Bei einem zu anterioren femoralen Bohrkanal konnte beispielsweise eine minderwertige Remodellierung und eine Fragmentation des Kollagengerüsts gezeigt werden [134, S.228].

Bohrkanalerweiterungen durch Osteolysen sind mit einem unzureichenden Einwachsen des Transplantats vergesellschaftet und können sowohl bei der Verwendung von Allografts, als auch Autografts beobachtet werden [134, S.228]. Vor allem bei Allografts werden Immunreaktionen gegen das fremde Gewebe für das Entstehen von Osteolysen verantwortlich gemacht [63, S.2029-2030]. Daneben werden auch Mikrobewegungen des Transplantats im Bohrkanal, welche vornehmlich bei gelenkfernen und indirekten Fixationssystemen auftreten, als ursächlich für das Entstehen von Tunnelerweiterungen diskutiert [51, S.1337; 85, S.236-237; 103, S.34].

### **1.3.3 Traumatisch bedingtes Versagen**

Ein traumatisch bedingtes Versagen einer VKB-Rekonstruktion kann in ein frühes Versagen - noch bevor die Einheilung des Transplantats sowie die postoperative Rehabilitation abgeschlossen ist, und ein spätes Versagen - nach der Wiederaufnahme von alltäglichen und sportlichen Aktivitäten, unterteilt werden [66, S.188].

Eine für das rekonstruierte Ligament zu belastende Rehabilitation sowie eine zu frühe Wiederaufnahme von sportlichen Aktivitäten, noch bevor das Transplantat vollständig eingeheilt ist und eine ausreichende neuromuskuläre Kontrolle des Kniegelenkes besteht, können zu einem frühen Versagen der Bandplastik führen [66, S.188; 207, S.318].

Ein spätes Versagen des rekonstruierten Bandes kann auch bei einem perfekten Operationsergebnis durch ein adäquates Trauma jederzeit auftreten. Eine erneute Verletzung tritt meist mehr als 6 Monate postoperativ auf, wenn der Patient wieder beginnt seine Alltags- und Sportaktivitäten aufzunehmen [4, S.87]. Für ein sportlich aktives Patientenkollektiv wird eine Rerupturrate von 5-10% angenommen [4, S.87; 63, S.2027].

## **1.4 Revisionsersatz nach fehlgeschlagener VKB-Plastik**

Es ist davon auszugehen, dass 3-15% aller Patienten nach einer VKB-Ersatzplastik im Laufe der Zeit einen Revisionsersatz benötigen [211, S.139].

Entsprechend den Zielen des primären VKB-Ersatzes werden auch bei einem VKB-Revisionsersatz eine Stabilisierung und Wiederherstellung der physiologischen Kinematik des Kniegelenks angestrebt [66, S.188; 211, S.139].

Das operative Vorgehen bei einem Revisionsersatz wird sowohl durch die Ursachen des Transplantatversagens, als auch durch die bei der primären Operation verwendeten Techniken und Materialien bestimmt. Um ein individuelles und flexibles Vorgehen gewährleisten zu können, muss der Operateur mit einer Vielzahl verschiedener Operationstechniken vertraut sein [65, S.195].

Da es sich bei VKB-Revisionsplastiken um komplexe Eingriffe mit vielen Variablen handelt, muss der Patient darüber aufgeklärt werden, dass das zu erwartende Ergebnis eventuell nicht dem Ergebnis einer primären VKB-Rekonstruktion entspricht. Allgemein muss von einem schlechteren Ergebnis nach Revisionsplastiken ausgegangen werden [15, S.2065; 43, S.6; 148, S.1840].

### **1.4.1 Präoperative Befundung**

Aufgrund der Vielzahl an verwendeten Techniken und Transplantaten zur VKB-Rekonstruktion ergibt sich ein sehr heterogenes Patientenkollektiv, weshalb jeder Patient einer individuellen Analyse bedarf. Um die Ursachen des Transplantatversagens zu beheben und die Wiederholung von Komplikationen

zu vermeiden, ist eine gründliche Eruiierung des Versagensvorgangs die Grundlage eines erfolgreichen Revisionsersatzes [48, S.319; 133, S.778]. Zu einer ausführlichen präoperativen Befundung gehören eine ausführliche Anamnese, eine sorgfältige klinische Untersuchung sowie eine dem Einzelfall angepasste radiologische Diagnostik.

#### 1.4.1.1 Anamnese

In der Anamnese muss das Hauptproblem des Patienten eruiert werden und klar zwischen Schmerz, Bewegungseinschränkung und Instabilität differenziert werden. Mit einer VKB-Revisionsplastik lässt sich zwar eine Instabilität gut behandeln, Schmerzen und Bewegungseinschränkungen benötigen in der Regel aber eine andere Therapie [26, S.315; 169, S.51].

Hinsichtlich der Ursachenanalyse für eine fehlgeschlagene VKB-Rekonstruktion kann die Erfragung des Zeitpunktes des Versagens hilfreich sein. Ein frühes Versagen innerhalb der ersten 6 Monate postoperativ ist oft mit technischen Komplikationen während der Operation, einer unzureichenden biologischen Integration des Transplantats oder einer zu aggressiven Rehabilitation vergesellschaftet. Ein spätes Versagen ist meist auf ein erneutes Trauma zurückzuführen, insbesondere dann, wenn vorangegangene Untersuchungen ein stabiles Kniegelenk zeigten und keine Hinweise auf technische Fehler bestehen [48, S.319; 66, S.186].

Eine Durchsicht aller relevanter Operationsberichte und Patientenbriefe vorangegangener Eingriffe ergibt wichtige Informationen über die Operationstechnik, das verwendete Transplantat und dessen Fixation, mitbehandelte oder belassene Begleitpathologien und die postoperative Rehabilitation [26, S.315; 65, S.194-195].

#### 1.4.1.2 Klinische Untersuchung

Eine gründliche klinische Untersuchung beinhaltet neben einer kompletten Ligamentuntersuchung des Kniegelenks auch eine Bestimmung der Beinachse sowie eine Messung des Bewegungsumfangs. Kann in der klinischen Untersuchung eine pathologisch erhöhte anteriore Verschieblichkeit der Tibia und ein positiver Pivot-Shift-Test bei einem Patienten mit anamnestisch beklagter Instabilität nachgewiesen werden, kann von einer Insuffizienz der VKB-Plastik ausgegangen werden [133, S.780].

Während der Untersuchung muss sorgfältig auf Verletzungen sekundärer Stabilisatoren des Kniegelenks und das Vorliegen einer varischen oder valgischen Beinachse geachtet werden. Werden solche Begleitpathologien übersehen und nicht adäquat behandelt, kann dies ein erneutes Versagen der Revisionsplastik begünstigen [50, 202; 169, S.61; 194, S.323].

Zeigen sich in der Untersuchung Einschränkungen in der Beweglichkeit des Kniegelenks, muss deren Ursache eruiert werden und durch physiotherapeutische oder operative Maßnahmen vor einer erneuten Bandplastik behoben werden [4, S.88-89].

### 1.4.1.3 Radiologische Diagnostik

Mittels Röntgendiagnostik muss beurteilt werden ob die Bohrkanäle korrekt angelegt wurden und ob eine Tunnelerweiterung stattgefunden hat. Daneben können die Position verwendeter Fixationsmaterialien sowie bereits bestehende degenerative Veränderungen des Gelenks beurteilt werden [150, S.1034]. Standardmäßig sollten nach Martinek und Imhoff [133, S.780] Röntgenaufnahmen des Kniegelenks in 3 Ebenen sowie eine anterior-posteriore Belastungsaufnahme in 45° Flexion durchgeführt werden. Zusätzlich kann noch eine Ganzbeinaufnahme zur Bestimmung der Beinachse und eine Frick-Tunnelaufnahme zur Evaluierung der Notchkonfiguration angefertigt werden [133, S.780]. Eine MRT-Untersuchung ist sinnvoll um das VKB-Transplantat und Begleitverletzungen anderer Bänder, den Menisken oder des Knorpels beurteilen zu können [190, S.385]. Für eine genauere Evaluierung der Bohrkanallokalisierung und von ossären Defekten im Bereich der Bohrkanäle kann eine CT-Untersuchung durchgeführt werden [48, S.322; 112, S.1056].



Abb. 5: Radiologische Diagnostik ossärer Defekte im Bereich der Bohrkanäle. Deutliche birnenförmige Erweiterung des tibialen Bohrkanals im Röntgen- und CT-Bild (modifiziert nach [211, S.142]).

## 1.4.2 Operatives Vorgehen

Das operative Vorgehen bei einem Revisionsersatz wird zum einen durch die Gründe des Transplantatversagens, zum anderen durch die bei der Primäroperation verwendete Technik (Transplantatwahl, Fixation, Tunnellage usw.) bestimmt, sodass jeder Patient einer individuellen Planung bedarf [211, S.140].

### 1.4.2.1 Ein- oder zweizeitiges Vorgehen

Anhand der klinischen und radiologischen Diagnostik muss der Operateur entscheiden, ob die Revisionsrekonstruktion in einem einzeitigen Vorgehen technisch machbar ist, oder ob ein zweizeitiges Vorgehen notwendig wird.

Ein zweizeitiges Vorgehen kann notwendig sein, wenn eine exzessive Erweiterung der Bohrkanäle stattgefunden hat oder wenn bei der Entfernung von Fixationsmaterialien große Knochendefekte entstanden sind, und somit eine stabile Fixation sowie ein sicheres Einheilen des neuen Transplantats nicht gewährleistet werden kann [169, S.55,60; 211, S.145; 218, S.185]. In einer solchen Situation wird zunächst in einem ersten Eingriff der Knochendefekt mit autologem oder allogenen

Knochenmaterial aufgefüllt, und erst nach dessen vollständiger Einheilung nach 3-6 Monaten der VKB-Revisionsersatz durchgeführt [26, S.316; 203, S.193]. Da auch bei einer Revisionsrekonstruktion immer eine anatomische Platzierung der Bohrkanäle angestrebt werden sollte, darf deren Anlage nicht durch bereits bestehende Tunnel beeinflusst werden. Im Zweifelsfall sollte auch hier auf ein zweizeitiges Vorgehen ausgewichen werden, und in einer ersten Sitzung zunächst die bestehenden Bohrkanäle mit Knochenmaterial aufgefüllt werden [133, S.781-782; 211, S.145]. Der Vorteil eines zweizeitigen Vorgehens ist, dass nach erfolgreicher Einheilung des Knochenmaterials der Revisionsersatz prinzipiell wie bei einem primären VKB-Ersatz in einem qualitativ guten Knochen erfolgen kann [200, S.1708]. Als nachteilig muss die Notwendigkeit einer zweiten Operation, eine längere Rehabilitation und Arbeitsunfähigkeit sowie eine längere Instabilität angesehen werden [131, S.716; 200, S.1708].

Auch bei signifikanten Bewegungseinschränkungen, welche durch physiotherapeutische Maßnahmen nicht zu beheben sind, sollte zunächst in einer ersten Operation wieder die volle Beweglichkeit des Kniegelenks hergestellt werden (z.B. durch eine Arthrolyse, Synovektomie oder Notchplastik) und erst danach die Revisionsrekonstruktion durchgeführt werden [4, S.90; 75, S.1657]. Zeigen sich in der präoperativen Diagnostik ausgeprägte Achsabweichungen, Knorpel- oder Meniskusschäden, muss ebenfalls überlegt werden, ob solche Pathologien simultan zur VKB-Revisionsrekonstruktion, oder bereits in einem vorherigen Eingriff angegangen werden sollten [75, S.1655; 133, S.782].

#### 1.4.2.2 Bohrkanal-Management

Das operative Management von Bohrkanälen stellt die größte Herausforderung beim VKB-Revisionsersatz dar [65, S.195; 203, S.196]. Wagner et al. [211, S.144] teilen vorhandene Bohrkanäle anhand konventioneller Röntgenaufnahmen in drei Gruppen ein (Abb.6): korrekt, inkorrekt und inkomplett inkorrekt angelegter Bohrkanal.

Ein bei der Erstoperation korrekt angelegter Bohrkanal, ohne den Nachweis problematischer Tunnelerweiterungen, kann in den meisten Fällen erneut verwendet werden [190, S.366; 203, S.197]. Müssen Metallinterferenzschrauben aus dem Bohrkanal entfernt werden ist zu bedenken, dass dies eventuell zu knöchernen Defekten im Bereich der Bohrkanäle führen kann [4, S.92]. Noch nicht vollständig resorbierte biodegradierbare Fixationsmaterialien können hingegen überbohrt werden und müssen nicht zwingend entfernt werden [211, S.142].

Bei komplett inkorrekt angelegten Bohrkanälen kann ein neuer Tunnel gebohrt werden, ohne dass dabei der alte Tunnel tangiert wird [211, S.144]. Eine ausreichend breite Knochenbrücke zwischen altem und neuem Kanal muss allerdings bestehen bleiben um eine sichere Transplantatbefestigung gewährleisten zu können [133, S.782]. Wie bereits erwähnt, stellt eine zu anteriore Positionierung des femoralen Bohrkanals den häufigsten technischen Fehler bei fehlgeschlagenen VKB-Rekonstruktionen dar. Liegt in diesem Fall der Bohrkanal mehr als einen Durchmesser vor der gewünschten Position, kann das Befestigungsmaterial im bestehenden Tunnel belassen werden und der neue Tunnel unabhängig davon gebohrt werden [4, S.92; 169, S.59; 203, S.197].

Problematischer stellt sich die Situation bei inkomplett inkorrekt angelegten Bohrkanälen dar. In einer solchen Situation ist die Neuanlage eines korrekten Bohrkanals ohne eine Berührung des bestehenden Kanals oftmals nicht möglich. Wurden bei der Erstoperation reine Sehnen-Transplantate

verwendet oder sind die Knochenblöcke eines BPTB-Transplantats nicht vollständig eingeeilt, kann die Anlage eines korrekten Bohrkanals zu großen knöchernen Defekten führen, welche für das weitere Prozedere problematisch sind [211, S.144-145]. Da eine anatomische Platzierung der Bohrkanäle auch bei Revisionsplastiken unbedingt anzustreben ist, muss bei Patienten mit inkomplett inkorrekt angelegten Bohrkanälen im Zweifelsfall auf ein zweizeitiges Vorgehen ausgewichen werden [112, S.1062].

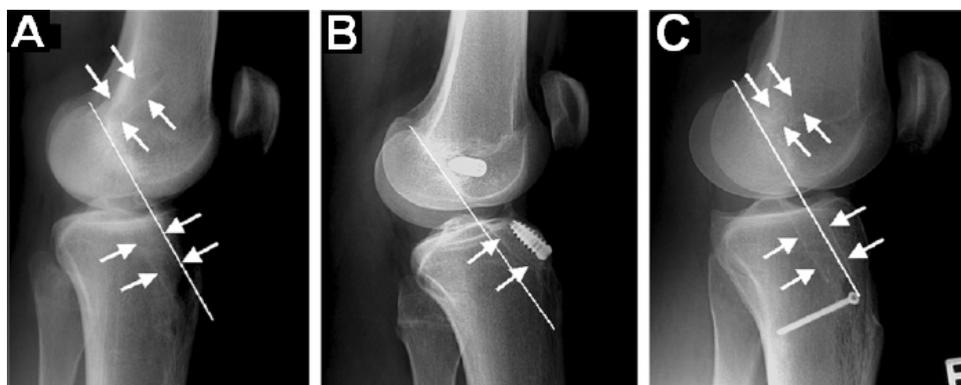


Abb. 6: Einteilung vorhandener Bohrkanäle anhand konventioneller Röntgenaufnahmen (modifiziert nach [216, S.1646]). Die Pfeile markieren die Bohrkanäle, die durchgezogene Linie ist die Verlängerung der Blumensaat-Linie. A: Korrekt angelegter femoraler und tibialer Bohrkanal. B: Inkorrekt angelegter femoraler und tibialer Bohrkanal (jeweils zu weit anterior). C: Inkomplett inkorrekt angelegter femoraler und tibialer Bohrkanal.

#### 1.4.2.3 Transplantatoptionen und Fixationsmöglichkeiten

Prinzipiell können bei einer Revisionsoperation dieselben Transplantate wie bei einer primären VKB-Rekonstruktion verwendet werden. Die am häufigsten verwendeten autologen Transplantate sind die Patellarsehne und die Hamstring-Sehnen [26, S.319]. Die Transplantatwahl beim Revisionseingriff ist allerdings durch das bei der Erstoperation entnommene und damit nicht mehr verfügbare Transplantat eingeschränkt. Sollte das bevorzugte Transplantat bereits bei der Primäroperation verwendet worden sein, kann eine Transplantatentnahme der Gegenseite in Erwägung gezogen werden.

Ein gewisses Regenerationspotential der Patellarsehne nach vorausgegangener Transplantatentnahme und die Möglichkeit der erneuten Verwendung eines ipsilateralen BPTB-Transplantats wurde beschrieben [105]. Angesichts des dadurch aber erhöhten Risikos schwerwiegender Komplikationen im Rahmen der Transplantatentnahme und einer unsicheren Qualität des Transplantats, sollte auf andere Transplantatoptionen ausgewichen werden [65, S.193; 105, S.504; 116, S.783-784].

Allogene Transplantate haben in der Revisionschirurgie einen höheren Stellenwert als in der Primärrekonstruktion und stellen vor allem bei Revisionen mit multiplen Bandrekonstruktionen oder in Fällen, bei welchen kein Autograft entnommen werden kann, eine Alternative dar [209, S.320-321].

Auch die Fixation des Transplantats muss für jeden Patienten individuell festgelegt werden. Da die Verankerungsmethode in der frühen postoperativen Phase das schwächste Glied darstellt, muss die verwendete Fixationsmethode in der Lage sein, den in der frühen Rehabilitationsphase einwirkenden Kräften standzuhalten [26, S.319; 190, S.387]. Sofern es die Umstände erlauben, können prinzipiell dieselben Fixationsmethoden wie bei einer primären VKB-Rekonstruktion verwendet werden.

## 1.5 Fragestellung und Hypothesen dieser Studie

Fragestellung dieser Studie war, ob Unterschiede in den Ergebnissen nach einzeitigen VKB-Revisionsplastiken unter Verwendung unterschiedlicher Techniken bzw. Transplantate nach einem postoperativen follow-up von mindestens 24 Monaten bestehen. Weiterhin sollte untersucht werden, ob die bei primären VKB-Rekonstruktionen beschriebenen Vorteile einer Doppelbündelrekonstruktion [96; 140; 185; 233] auch bei Revisionseingriffen zum Tragen kommen.

Zur Beantwortung dieser Fragestellung wird in dieser Arbeit das objektive und subjektive Ergebnis von VKB-Revisionsplastiken nach einer postoperativen Zeitspanne von mindestens zwei Jahren unter Verwendung folgender Techniken bzw. Transplantaten verglichen:

- VKB-Revisionsplastik mit autologem Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Doppelbündeltechnik (4-Kanal-Technik) mit proximaler und distaler Interferenzschrauben-Fixation nach initialer VKB-Rekonstruktion mit autologem Patellarsehnentransplantat.
- VKB-Revisionsplastik mit autologem Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Einzelbündeltechnik mit proximaler TransFix®-Fixation und distaler Interferenzschrauben-Fixation nach initialer VKB-Rekonstruktion mit autologem Patellarsehnentransplantat.
- VKB-Revisionsplastik mit autologem Patellarsehnentransplantat in Einzelbündeltechnik mit proximaler und distaler Interferenzschrauben-Fixation nach initialer VKB-Rekonstruktion mit autologem Hamstring-Transplantat.

Bezüglich der von uns erwarteten Ergebnisse haben wir folgende zwei Hypothesen aufgestellt:

- I. Patienten nach VKB-Revisionsplastik mit autologem Semitendinosus-Gracilis-Transplantat zeigen ein signifikant besseres objektives und subjektives Ergebnis als Patienten nach VKB-Revisionsplastik mit autologem Patellarsehnentransplantat.
- II. Patienten nach VKB-Revisionsplastik mit autologem Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Doppelbündeltechnik zeigen die besten objektiven und subjektiven Ergebnisse.

## **2 Material**

### **2.1 Patientenkollektiv**

Für die Auswahl des Patientenkollektivs wurde zunächst nach Patienten gesucht, welche sich in den Jahren 2000-2005 einem Revisionsersatz des VKB unterzogen haben. Nach anschließender Durchsicht der jeweiligen Operationsberichte wurden die Patienten in Abhängigkeit des operativen Vorgehens, unter Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien, in drei Patientengruppen eingeteilt.

#### **2.1.1 Ein- und Ausschlusskriterien**

Folgende Kriterien waren Voraussetzung für eine Teilnahme an dieser Studie:

- In der Abteilung für Sportorthopädie des „Klinikums rechts der Isar“ durchgeführter Revisionsersatz des VKB mit autologem Patellarsehnen- oder Hamstring-Transplantat
- Revisionsersatz in Einzel- oder Doppelbündeltechnik
- Einzeitiger Revisionsersatz
- Postoperatives follow-up von mindestens zwei Jahren

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

- VKB-Revisionsplastik mit der Quadrizepssehne sowie allogenen oder synthetischem Transplantat
- Weitere operative Eingriffe am Kniegelenk im Rahmen des Revisionseingriffs (z.B. Umstellungsosteotomie, Meniskusnaht oder knorpelchirurgische Eingriffe), lediglich eine Meniskus-Teilresektion oder Eingriffe, welche für den Revisionsersatz notwendig waren (z.B. die Entfernung von Fixationsmaterialien), galten nicht als Ausschlusskriterien
- Zweizeitiger Revisionsersatz
- Mehrmalige VKB-Revisionsplastiken des ipsilateralen Kniegelenks

#### **2.1.2 Einteilung und Zusammensetzung der Patientengruppen**

Insgesamt unterzogen sich in den Jahren 2000 - 2005 in unserer Klinik 88 Patienten einem Revisionsersatz des VKB. Nach Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien blieben noch 33 Patienten übrig, welche in folgende drei Gruppen eingeteilt wurden:

### STG,db-Gruppe (n = 7):

VKB-Revisionsplastik mit autologem Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Doppelbündeltechnik (4-Kanal-Technik) mit proximaler und distaler Interferenzschrauben-Fixation nach initialer VKB-Rekonstruktion mit autologem Patellarsehnentransplantat.

### STG-Gruppe (n = 13):

VKB-Revisionsplastik mit autologem Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Einzelbündeltechnik mit proximaler TransFix®-Fixation und distaler Interferenzschrauben-Fixation nach initialer VKB-Rekonstruktion mit autologem Patellarsehnentransplantat.

### BPTB-Gruppe (n = 9):

VKB-Revisionsplastik mit autologem Patellarsehnentransplantat in Einzelbündeltechnik mit proximaler und distaler Interferenzschrauben-Fixation nach initialer VKB-Rekonstruktion mit autologem Hamstring-Transplantat.

Leider war es nicht möglich, alle Patienten für eine Teilnahme an dieser Studie zu gewinnen: Aus der STG-Gruppe war ein Patient ins Ausland verzogen und eine Patientin wollte nicht an dieser Studie teilnehmen. Aus der BPTB-Gruppe mussten zwei Patienten auf Grund einer Verlagerung ihres Wohnsitzes ins Ausland gestrichen werden. Zwei weitere Patienten - ein Patient der STG- und ein Patient der BPTB-Gruppe - waren auf Grund einer großen räumlichen Distanz nur dazu bereit ihnen per Post zugeschickte Fragebögen zu beantworten, so dass diese Patienten zwar nicht klinisch untersucht werden konnten, aber dennoch die subjektiven Scores erhoben werden konnten.

Das Gesamtkollektiv bestand somit aus 29 Patienten (88% des ursprünglichen Patientenkollektivs); 7 Patienten (24% des Gesamtkollektivs) bildeten die STG,db-Gruppe, 13 Patienten (45%) die STG-Gruppe und 9 Patienten (31%) die BPTB-Gruppe.

Zehn Patienten (34% des Gesamtkollektivs) waren Frauen, 19 Patienten (66%) waren Männer. Die Geschlechtsverteilung der einzelnen Gruppen ist in Abb. 7 dargestellt.

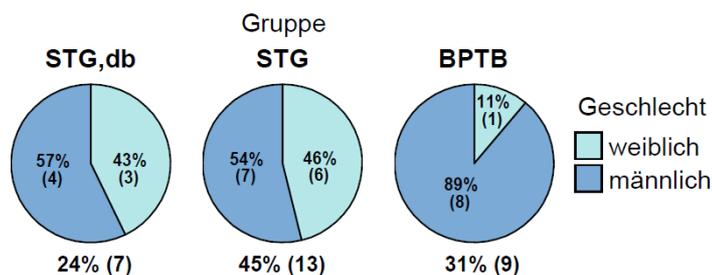


Abb. 7: Zusammensetzung der Patientengruppen. Patientenanzahl pro Gruppe, Anteil am Gesamtkollektiv und Geschlechtsverteilung innerhalb der einzelnen Gruppen ( $p = 0,215$ ).

### 2.1.3 Alter des Patientenkollektivs

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung lag das Durchschnittsalter des gesamten Patientenkollektivs bei  $35,3 \pm 10,3$  Jahre (19-59 Jahre). In der STG,db-Gruppe war das Durchschnittsalter  $32,1 \pm 8,2$  Jahre (23-44 Jahre), in der STG-Gruppe  $39,2 \pm 10,8$  Jahre (27-59 Jahre) und in der BPTB-Gruppe  $32,3 \pm$

10,0 Jahre (19-53 Jahre) (Abb. 8). Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren statistisch nicht signifikant ( $p = 0,197$ ).

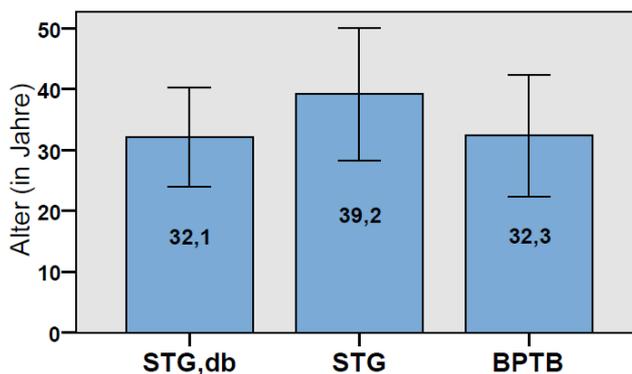


Abb. 8: Durchschnittsalter mit Standardabweichung der einzelnen Patientengruppen ( $p = 0,197$ ).

#### 2.1.4 Body Mass Index (BMI)

Der durchschnittliche BMI des Gesamtkollektivs betrug  $24,9 \pm 3,2 \text{ kg/m}^2$  ( $20,3\text{-}33,7 \text{ kg/m}^2$ ). In der STG,db-Gruppe ergab sich ein mittlerer BMI von  $23,2 \pm 2,7 \text{ kg/m}^2$  ( $20,5\text{-}28,7 \text{ kg/m}^2$ ), in der STG-Gruppe von  $25,0 \pm 3,7 \text{ kg/m}^2$  ( $20,3\text{-}33,7 \text{ kg/m}^2$ ) und in der BPTB-Gruppe von  $26,0 \pm 2,5 \text{ kg/m}^2$  ( $23,4 - 31,1 \text{ kg/m}^2$ ) (Abb. 9). Die drei Gruppen zeigten keinen statistisch signifikanten Unterschied bezüglich des BMI ( $p = 0,066$ ).

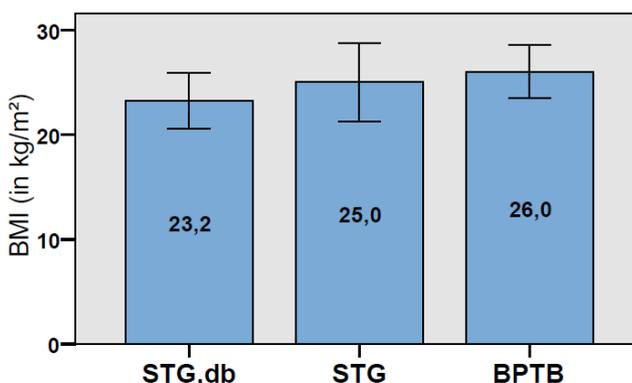


Abb. 9: Durchschnittlicher BMI mit Standardabweichung der einzelnen Patientengruppen ( $p = 0,066$ ).

#### 2.1.5 Operations- und Nachuntersuchungszeiträume

Alle Patienten unterzogen sich zwischen Juli 2000 und Dezember 2005 der VKB-Revisionsrekonstruktion und wurden zwischen Juli und Oktober 2008 nachuntersucht.

Der durchschnittliche Zeitraum zwischen der primären VKB-Rekonstruktion und der VKB-Revisionsrekonstruktion betrug  $45 \pm 32$  Monate (3-119 Monate). Zwischen der Revisionsoperation und der Nachuntersuchung (postoperatives follow-up) lagen im Durchschnitt  $60 \pm 19$  Monate (31-97

Monate). Die entsprechenden Operations- und Nachuntersuchungszeiträume der einzelnen Patientengruppen sind in Tab. 2 dargestellt.

Die statistische Auswertung ergab für die STG,db-Gruppe ein signifikant kürzeres postoperatives follow-up im Vergleich zur STG- ( $p < 0,001$ ) und BPTB-Gruppe ( $p = 0,021$ ). Zwischen der STG- und BPTB-Gruppe ergab sich kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,332$ ). Für den Zeitraum zwischen der primären Rekonstruktion und der Revisionsoperation bestand kein signifikanter Unterschiede zwischen den drei Patientengruppen ( $p = 0,255$ ).

Zeitraum (in Monaten) zwischen:	Gruppe		
	STG,db	STG	BPTB
<b>Rekonstruktion - Revision</b>	59 (24-103)	45 (3-119)	33 (11-80)
<b>Revision - Untersuchung (follow-up)</b>	39 (31-45) <sup>a</sup>	71 (51-97)	62 (34-88)

a. signifikanter Unterschied gegenüber STG und BPTB

Tab. 2: Durchschnittliche Operations- und Nachuntersuchungszeiträume der einzelnen Gruppen (in Monaten). In Klammern sind die jeweiligen Minimal- und Maximalwerte angegeben. Signifikanter Unterschied des follow-up zwischen STG,db und STG ( $p < 0,001$ ) sowie zwischen STG,db und BPTB ( $p = 0,021$ ). Kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen für den Zeitraum Rekonstruktion – Revision ( $p = 0,255$ ).

## 2.1.6 Zeiträume ohne suffizientes VKB

### 2.1.6.1 Gesamter Zeitraum ohne ein intaktes VKB

Der gesamte Zeitraum in welchem die Patienten ohne ein intaktes VKB des betroffenen Kniegelenks lebten, betrug durchschnittlich  $16 \pm 16$  Monate (1-61 Monate). Bei insgesamt fünf Patienten (17% des Gesamtkollektivs - drei Patienten der STG-Gruppe, zwei Patienten der BPTB-Gruppe) konnte dieser Zeitraum nicht erörtert werden, wobei alle fünf Patienten angaben, nach der primären VKB-Rekonstruktion nie ein stabiles Kniegelenk gehabt zu haben.

In der STG,db-Gruppe ergab sich eine durchschnittliche Zeitspanne von  $13 \pm 15$  Monaten (2-39 Monate), in der STG-Gruppe von  $17 \pm 16$  Monaten (1-40 Monate) und in der BPTB-Gruppe von  $18 \pm 19$  Monaten (4-61 Monate). Die Unterschiede zwischen den Patientengruppen waren statistisch nicht signifikant ( $p = 0,856$ ).

### 2.1.6.2 Zeitraum zwischen erneuter Instabilität und Revisionsoperation

Bei 31% der Patienten ( $n = 9$ ) erfolgte die Revisionsoperation innerhalb von 3 Monaten nach der erneuten Instabilität, 17% ( $n = 5$ ) wurden innerhalb von 3-6 Monaten operiert, 17% ( $n = 5$ ) innerhalb von 6-12 Monaten und bei weiteren 17% ( $n = 5$ ) lag mehr als ein Jahr zwischen erneuter Instabilität und der VKB-Revisionsrekonstruktion. Bei den restlichen 17% ( $n = 5$ ) ließ sich dieser Zeitraum nicht exakt bestimmen. Tab. 3 zeigt die Zeiträume zwischen erneuter Instabilität und Revisionsoperation der einzelnen Gruppen. Die statistische Auswertung ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ( $p = 0,770$ ).

		<b>Zeitspanne Instabilität - Revision (in Monaten)</b>			
		<b>&lt;3</b>	<b>3-6</b>	<b>6-12</b>	<b>&gt;12</b>
Gruppe	<b>STG,db<sup>a</sup></b>	43% (3)	14% (1)	14% (1)	-
	<b>STG<sup>b</sup></b>	15% (2)	15% (2)	23% (3)	23% (3)
	<b>BPTB</b>	44% (4)	22% (2)	11% (1)	22% (2)

a. bei 29% (2) konnte die Zeitspanne nicht genau bestimmt werden.

b. bei 23% (3) konnte die Zeitspanne nicht genau bestimmt werden

Tab. 3: Zeitspanne zwischen erneuter Instabilität und Revisionsoperation (in Monaten). Prozentuale Gewichtung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen ( $p = 0,770$ ).

## 2.2 Operative Vorgehensweise

### 2.2.1 Indikation zur Revisionsoperation

Die verschiedenen Indikationen zur VKB-Revisionsrekonstruktion und deren jeweilige Häufigkeit zeigt Tab. 4. Die statistische Auswertung ergab keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Indikation zwischen den drei Patientengruppen ( $p = 0,630$ ).

Indikation zur Revisionsoperation	% (n)
<b>Reinstabilität nach Sporttrauma</b>	41% (12)
<b>Reinstabilität nach Trauma bei alltäglicher Aktivität</b>	31% (9)
<b>fehlgeschlagene primäre Rekonstruktion</b>	21% (6)
<b>Infektion / Arthrofibrose</b>	7% (2)

Tab. 4: Indikationen zur Revisionsrekonstruktion. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten.

### 2.2.2 VKB-Revisionsplastik mit autologem Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Doppelbündeltechnik (4-Kanal-Technik) mit proximaler und distaler Interferenzschrauben-Fixation

Für die Transplantatentnahme wurden zunächst die Semitendinosus- und Gracilissehne dargestellt, mit einem Faden angeschlungen, an der Tibia abgesetzt und mit einem Sehnenstripper entnommen. Die Transplantate wurden anschließend durch fortlaufende Nähte mit nicht resorbierbaren Fäden armiert.

Bei einer Mindestlänge von 8 cm sollte ein gedoppeltes Semitendinosustransplantat, welches für die Rekonstruktion des anteromedialen Bündels verwendet wird, einen Mindestdurchmesser von 7 mm aufweisen; ein gedoppeltes Gracilistransplantat für die Rekonstruktion des posterolateralen Bündels

mindestens 5 mm. Werden die entsprechenden Durchmesser mit gedoppelten Transplantaten nicht erreicht, sollten die Sehnen dreifach gefaltet werden [125, S.479].

Über ein anterolaterales Portal wurde eine 30°-Winkeloptik in das Gelenk eingebracht und unter Sicht ein Instrumentenzugang anteromedial gelegt. Nach Inspektion aller Gelenkkompartimente erfolgte die Präparation der späteren Insertionsstellen. Mit Hilfe eines tibialen Zielbohrgeräts wurde zunächst von tibial ein Bohrdraht für das posterolaterale Bündel eingebracht, gefolgt von einem Bohrdraht für das anteromediale Bündel. Intraartikulär wurde der Bohrdraht für das posterolaterale Bündel 5 mm vor dem hinteren Kreuzband in der Mitte der Eminentia intercondylaris platziert; der Bohrdraht für das anteromediale Bündel 3 mm davor. Auf der Außenseite der Tibia wurde auf einen Mindestabstand der beiden Bohrdrähte von 2 cm geachtet [125, S.480]. Anschließend wurden beide Bohrdrähte entsprechend der Transplantatdicke überbohrt. Über den vorderen tibialen Bohrkanal folgte nun das Einbringen des femoralen Zielbohrgeräts. Bei 90° Flexion liegt der femorale anteromediale Bohrkanal eines rechten Kniegelenks bei 11:00 Uhr in der Frontalebene, knapp vor der dorsalen Knorpel-Knochen-Grenze [125, S.481]. Ein Bohrdraht mit Öse wurde in entsprechender Position eingebracht und bis durch die Haut am lateralen Oberschenkel durchgebohrt. Nach Überprüfung der korrekten Lage erfolgte das Überbohren des Bohrdrahts in Abhängigkeit der Transplantatdicke bis auf eine Tiefe von 25 mm. Mit Hilfe des Bohrdrahts wurde anschließend ein FiberWire®-Faden durch den tibialen und femoralen Bohrkanal für das anteromediale Bündel eingebracht, welcher später dem Einziehen des Transplantats diene. Über ein zweites anteromediales Portal folgte nun das Einbringen des femoralen Zielbohrgeräts für das posterolaterale Bündel. Das Zielgerät wurde an der ventralen Kante des anteromedialen Bohrkanals eingehängt und dann in selber Weise wie für den anteromedialen Bohrkanal verfahren. In der Frontalebene sollte der Bohrkanal für das posterolaterale Bündel bei einem rechten Kniegelenk in 90° Flexion auf 9 Uhr zu liegen kommen und bis 15 mm Tiefe gebohrt werden [125, S. 482]. Mit Hilfe des FiberWire®-Fadens wurde anschließend das Transplantat für das anteromediale Bündel eingezogen und femoral mit einer bioresorbierbaren Interferenzschraube fixiert. Nach Einziehen des posterolateralen Bündels wurde dieses mit einer bioresorbierbaren Tenodeseschraube im Femur fixiert. Die tibiale Fixation des posterolateralen Bündels erfolgte mit einer bioresorbierbaren Interferenzschraube in 10° Beugung unter Vorspannung des Transplantats mit 80 N. Das anteromediale Bündel wurde auf gleiche Weise in 45° Beugung fixiert.

Bei einem Patient brach beim Eindrehen der tibialen Schraube für die Fixation des posterolateralen Bündels der Bohrkanal der primären Kreuzbandplastik ein, weshalb zur weiteren Absicherung eine Kortikalisschraube in die Tibia eingedreht wurde und die Enden der FiberWire®-Fäden über diese Schraube verknotet wurden.

Zuletzt erfolgte eine arthroskopische Kontrolle der Lage und Spannung der Transplantate sowie der freien Beweglichkeit des Kniegelenks.

### **2.2.3 VKB-Revisionsplastik mit autologem Semitendinosus-Gracilis-Transplantat in Einzelbündeltechnik mit proximaler TransFix®-Fixation und distaler Interferenzschrauben-Fixation**

Für die Transplantatentnahme wurden zunächst die Semitendinosus- und Gracilissehne dargestellt, mit einem Faden angeschlungen, an der Tibia abgesetzt und mit einem Sehnenstripper entnommen. Die beiden Sehnen wurden gedoppelt und an ihren Enden mit Haltefäden in einer fortlaufenden Nahttechnik armiert.

Über ein anterolaterales Portal wurde eine 30°-Winkeloptik in das Gelenk eingebracht und unter Sicht ein Instrumentenzugang anteromedial gelegt. Nach Inspektion aller Gelenkkompartimente erfolgte die Präparation der späteren Insertionsstellen. Mit einem tibialen Zielbohrgerät erfolgte das Einbringen eines Bohrdrahts durch die Tibia in das Gelenkinnere, so dass der Austrittspunkt zwischen den Tubercula intercondylaria, ca. 7 mm vor dem hinteren Kreuzband lag. Anschließend wurde der Bohrdraht mit einem kanülierten Bohrer überbohrt, dessen Durchmesser in Abhängigkeit der Transplantatdicke gewählt wurde. In einem nächsten Arbeitsschritt wurde das femorale Zielbohrgerät transtibial eingeführt, ein Bohrdraht in der 10-10:30 Uhr Position für rechte Kniegelenke eingebracht, und bis zu einer Tiefe von 30-40 mm überbohrt. Durch den tibialen Bohrkanal wurde nun ein Zielgerät für die Platzierung des Transfixations-Pins in den femoralen Bohrkanal eingebracht. Über diesen sog. Markierungshaken wurde von lateral ein Zieldraht nach medial eingebohrt. Mit Hilfe des Zieldrahts wurde nun ein Nitinoldraht in den Femur eingezogen und mit einem sog. Tunnelhaken anschließend u-förmig durch den tibialen Bohrkanal ausgeleitet, worüber letztlich das Transplantat in den Bohrkanal eingezogen werden konnte. Die Fixation der nun im femoralen Bohrkanal liegenden Schlaufe des Transplantats erfolgte durch das Einbringen eines Transfixations-Pins, dessen Kopf im Bereich der lateralen Kortikalis versenkt wurde. Bei 10 Patienten wurden Pins aus Titan, bei 3 Patienten bioresorbierbare Pins verwendet. Zur exakten artikularseitigen Abdichtung des femoralen Bohrkanals wurde bei einem Patient noch zusätzlich eine bioresorbierbare Interferenzschraube ventral des Transplantats eingedreht; bei einem anderen Patient wurde ein Spongiosadübel aus der proximalen Tibia eingebracht. Beide Sehnen wurden nun bei 10-20° Flexion des Kniegelenks einzeln mit 80 N vorgespannt und anschließend mit einer bioresorbierbaren Interferenzschraube, welche von außen durch den tibialen Bohrkanal bis kurz unter das Gelenkniveau eingedreht wurde, fixiert. Bei einem Patienten wurden zwei Interferenzschrauben im Sinne einer bikortikalen Fixation eingebracht. Zuletzt erfolgte eine arthroskopische Kontrolle der Lage und Spannung des Transplantats sowie der freien Beweglichkeit des Kniegelenks.

### **2.2.4 VKB-Revisionsplastik mit autologem Patellarsehnen-transplantat in Einzelbündeltechnik mit proximaler und distaler Interferenzschrauben-Fixation**

Für die Transplantatentnahme wurde entweder eine Längsinzision vom distalen Pol der Patella bis zur Tuberositas tibiae (3 Patienten), oder zwei horizontale Inzisionen - je eine am distalen Patellapol sowie über der Tuberositas tibiae (6 Patienten) - durchgeführt. Es wurde jeweils ein 10 mm breites Stück des mittleren Drittels der Patellarsehne mit anhängenden Knochenblöcken aus Patella und

Tuberositas tibiae entnommen, welche mit einer oszillierenden Säge unter Zuhilfenahme einer Sägeschablone ausgelöst wurden. Für die Implantation wurden die Knochenblöcke in der gewünschten Größe zugeschnitten und an beiden Enden mit Fäden armiert.

Über ein anterolaterales Portal wurde eine 30°-Winkeloptik in das Gelenk eingebracht und unter Sicht ein Instrumentenzugang anteromedial gelegt. Nach Inspektion aller Gelenkkompartimente erfolgte die Präparation der späteren Insertionsstellen. Nun wurde das tibiale Zielbohrgerät eingesetzt und ein Bohrdraht ca. 7 mm vor dem hinteren Kreuzband, zwischen die Tubercula intercondylaria platziert, sodass beim Überbohren des Bohrdrahts der intraartikuläre Austrittspunkt unmittelbar ventral des hinteren Kreuzbandes zu liegen kam. Mit Hilfe eines femoralen Zielbohrgeräts erfolgte das transtibiale Einbringen eines Bohrdrahts mit Öse für den femoralen Bohrkanal, welcher entsprechend der Transplantatdicke überbohrt wurde. Das Transplantat konnte anschließend über die Armierungsfäden des patellaren Knochenblocks mit Hilfe des Bohrdrahtes von distal durch den tibialen Bohrkanal nach proximal eingezogen werden. Die Fäden wurden an der Haut ausgeleitet und manuell gespannt, während der femorale Knochenblock von intraartikulär mit einer Interferenzschraube befestigt wurde. Unter Vorspannung des Transplantats mit 80 N erfolgte in 0-20° Beugung die tibiale Fixation mit einer Interferenzschraube. Femoral wurden zur Fixation 7 Bio- und 2 Titaninterferenzschrauben verwendet, tibial 3 Bio-, 5 Titaninterferenzschrauben sowie eine Spongiosaschraube.

Nach der Fixation erfolgte nochmals eine arthroskopische Kontrolle der Position des Transplantats sowie der freien Beweglichkeit des Kniegelenks.

### 2.2.5 Nachbehandlung

Das von uns verwendete Nachbehandlungsschema ist im Anhang unter 12.1 einzusehen.

### 2.2.6 Zusätzliche Eingriffe im Rahmen der Revisionsoperation

Insgesamt wurden bei 22 Patienten 34 zusätzliche operative Eingriffe im Rahmen der Revisionsoperation durchgeführt. Art und Anzahl der Eingriffe sind in Tab. 5 dargestellt.

zusätzliche Eingriffe	n
<b>Entfernung femorales Fixationsmaterial</b>	16 <sup>a</sup>
<b>Entfernung tibiales Fixationsmaterial</b>	11 <sup>b</sup>
<b>Innenmeniskus-Teilresektion</b>	4
<b>Notchplastik</b>	2
<b>Außenmeniskusglättung</b>	1

a. 11 Interferenzschrauben, 3 Spongiosaschrauben,  
3 Transfixations-Pins, 1 Fixations-Button

b. 7 Interferenzschrauben, 3 Fixations-Buttons, 1 Krampe

Tab. 5: Art und Anzahl zusätzlicher Eingriffe im Rahmen der Revisionsoperation.

## 2.3 Weitere Operationen der Kniegelenke

### 2.3.1 Gesamtzahl der Operationen und durchgeführte Eingriffe am ipsilateralen Kniegelenk

Im Durchschnitt wurden pro Patient, inklusive der primären VKB-Rekonstruktion und der VKB-Revisionsrekonstruktion,  $3,3 \pm 1,3$  Operationen (2-6 Operationen) am betroffenen Kniegelenk durchgeführt. Die Gesamtzahl an Operationen des ipsilateralen Kniegelenks zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen ( $p = 0,382$ ).

Insgesamt zwei Operationen, also ausschließlich die VKB-Rekonstruktion sowie die VKB-Revisionsrekonstruktion, wurden bei 35% der Patienten ( $n = 10$ ) durchgeführt, jeweils drei Operationen bei 24% ( $n = 7$ ) und vier oder mehr Operationen bei 41% ( $n = 12$ ). Tab. 6 zeigt die entsprechenden Ergebnisse der drei Untersuchungsgruppen.

		Anzahl Operationen am betroffenen Kniegelenk		
		2	3	4+
Gruppe	<b>STG,db</b>	29% (2)	57% (4)	14% (1) <sup>a</sup>
	<b>STG</b>	15% (2)	23% (3)	62% (8) <sup>b</sup>
	<b>BPTB</b>	67% (6)	-	33% (3) <sup>c</sup>

a. ein Patient mit 5 Operationen

b. sieben Patienten mit jeweils 4 Operationen, ein Patient mit 5 Operationen

c. drei Patienten mit jeweils 6 Operationen

Tab. 6: Anzahl an Operationen am betroffenen Kniegelenk. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen ( $p = 0,096$ ).

Tab. 7 zeigt Art und Anzahl der operativen Eingriffe welche vor der primären VKB-Rekonstruktion, im Rahmen der primären VKB-Rekonstruktion, zwischen der primären VKB-Rekonstruktion und der VKB-Revisionsrekonstruktion sowie nach der VKB-Revisionsrekonstruktion durchgeführt wurden. Als einzelner Eingriff nicht aufgezählt wurden die primäre VKB-Rekonstruktion, die VKB-Revisionsrekonstruktion sowie im Rahmen der Revisionsoperation durchgeführte Eingriffe, welche in Kapitel 2.2.6 bereits näher erläutert wurden.

### 2.3.2 Operationen am ipsilateralen Kniegelenk nach der Revisionsoperation

Insgesamt mussten sich 24% der Patienten ( $n = 7$ ) nach der Revisionsoperation mindestens einer weiteren Operation am ipsilateralen Kniegelenk unterziehen, bei den restlichen 76% ( $n = 22$ ) wurde keine weitere Operation durchgeführt. Tab. 8 zeigt Art und Anzahl der Operationen nach der Revisionsrekonstruktion der einzelnen Patientengruppen. Die Gruppen zeigten keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Anzahl weiterer Operationen nach der Revisionsplastik ( $p = 0,366$ ).

		Anzahl Eingriffe am Kniegelenk			
		0-1	2-3	4-5	6+
Gruppe	<b>STG,db</b>	57% (4) <sup>a</sup>	29% (2) <sup>b</sup>	14% (1) <sup>c</sup>	-
	<b>STG</b>	31% (4) <sup>d</sup>	31% (4) <sup>e</sup>	23% (3) <sup>f</sup>	15% (2) <sup>g</sup>
	<b>BPTB</b>	67% (6) <sup>h</sup>	-	11% (1) <sup>i</sup>	22% (2) <sup>j</sup>

- a. 2 Patienten ohne weitere Eingriffe; 1 Patient Innenbandnaht; 1 Patient AM-TR
- b. 1 Patient IM-TR + VKB-Resektion; 1 Patient IM-TR + AM-TR + VKB-Resektion
- c. 1 Patient valgierende Tibiakopfosteotomie + Traktusumleitung + 2x IM-TR
- d. 1 Patient ohne weiteren Eingriff; 1 Patient Anlage einer Spül-Saug-Drainage; 1 Patient IM-Naht; 1 Patient Entfernung freier Gelenkkörper
- e. 1 Patient IM-Naht + IM-TR; 1 Patient IM-TR + Entfernung Fixationsmaterial; 1 Patient AM-TR + VKB-Resektion + Entfernung Fixationsmaterial; 1 Patient valgierende Tibiakopfosteotomie + Entfernung Fixationsplatte + IM-TR
- f. 1 Patient 2x Notchplastik + Adhäsiolyse + Entfernung Fixationsmaterial; 1 Patient IM-TR + Zyklops-Resektion + Plica-Resektion + Entfernung Fixationsmaterial; 1 Patient AM-TR + IM-TR + Resektion VKB + Adhäsiolyse + Entfernung Fixationsmaterial
- g. 1 Patient mit Abrasions-Arthroplastik + Knorpelglättung + Knorpelzellentnahme + OATS medialer Kondylus + OATS lateraler Kondylus + Knorpelzelltransplantation Trochlea femoris; 1 Patient Narkosemobilisation + Zyklops-Resektion + AM-Glättung + Adhäsiolyse + VKB-Resektion + Entfernung Fixationsmaterial
- h. 3 Patienten ohne weitere Eingriffe; 2 Patienten IM-TR; 1 Patient Mikrotraumatisierung Innenband
- i. 1 Patient mit 4x Spülung + Synovektomie
- j. 1 Patient AM-TR + 2x Spülung + Synovektomie + Entfernung Fixationsmaterial + Entfernung VKB-Transplantat; 1 Patient VKB-Naht + 2x IM-TR + Innenbandnaht + AM-Naht + Hiatusrekonstruktion + Knorpelabrasion Patella

Tab. 7: Art und Anzahl der am ipsilateralen Kniegelenk durchgeführten Eingriffe. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen. Nicht Aufgeführt sind die primäre VKB-Rekonstruktion, die VKB-Revisionsrekonstruktion sowie im Rahmen der Revisionsrekonstruktion durchgeführte Eingriffe. (IM: Innenmeniskus; AM: Außenmeniskus; TR: Teilresektion; OATS: Osteochondral Autograft Transfer System)

		Anzahl Operationen nach Revisionsplastik			
		keine	1	2	3+
Gruppe	<b>STG,db</b>	100% (7)	-	-	-
	<b>STG</b>	62% (8)	23% (3) <sup>a</sup>	8% (1) <sup>b</sup>	8% (1) <sup>c</sup>
	<b>BPTB</b>	78% (7)	-	-	22% (2) <sup>d</sup>

- a. Entfernung eines freien Gelenkkörpers; Entfernung eines Transfixations-Pins; IM-TR
- b. IM-Naht; IM-TR
- c. Patient hatte 3 weitere Operationen: Abrasions-Arthroplastik; Knorpelglättung mit Knorpelzellentnahme; OATS medialer und lateraler Femurkondylus + Knorpelzelltransplantation Trochlea femoris
- d. ein Patient mit 3 weiteren Operationen: AM-Naht; Hiatusrekonstruktion; IM-TR + Knorpelabrasion an der Patella  
ein Patient mit 4 Spülungen + Synovektomie

Tab. 8: Art und Anzahl der Operationen nach der VKB-Revision. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Patientengruppen (p = 0,366).

### 2.3.3 Meniskus-Teilresektionen des ipsilateralen Kniegelenks

Bei insgesamt 45% der Patienten (n = 13) wurde bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung keine Meniskus-Teilresektion (M-TR) des ipsilateralen Kniegelenks durchgeführt; die restlichen 55% (n = 16) unterzogen sich mindestens einer M-TR des ipsilateralen Kniegelenks. Die diesbezügliche Verteilung in den jeweiligen Patientengruppen ist in Tab. 9 dargestellt. Die statistische Auswertung ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen ( $p = 0,573$ ).

		Meniskus-Teilresektion	
		-	+
Gruppe	<b>STG,db</b>	29% (2)	71% (5) <sup>a</sup>
	<b>STG</b>	46% (6)	54% (7) <sup>b</sup>
	<b>BPTB</b>	56% (5)	44% (4) <sup>c</sup>

a. 3 Patienten mit IM-TR, ein Patient mit AM-TR, 1 Patient mit IM- und AM-TR

b. 5 Patienten mit IM-TR, ein Patient mit AM-TR, 1 Patient mit IM- und AM-TR

c. 3 Patienten mit IM-TR, 1 Patient mit AM-TR

Tab. 9: Prozentuale Gewichtung und Anzahl der Patienten ohne M-TR des ipsilateralen Kniegelenks und Patienten mit mindestens einer M-TR in den einzelnen Patientengruppen ( $p = 0,573$ ).

### 2.3.4 Operationen am kontralateralen Kniegelenk

Von den 29 Patienten wurden insgesamt 6 (21%) am kontralateralen Kniegelenk operiert. In der STG,db-Gruppe musste sich ein Patient einer M-TR unterziehen. Von den Patienten der STG-Gruppe wurde bei einem Patient eine VKB-Ersatzplastik, eine M-TR sowie eine Refixation des Innenbandes durchgeführt; bei einem Patient wurde eine VKB-Ersatzplastik, eine M-TR und eine Meniskusnaht durchgeführt und bei einem weiteren Patient wurde eine M-TR durchgeführt. In der BPTB-Gruppe wurde bei einem Patient eine VKB-Ersatzplastik und bei einem weiteren Patient eine Außenbandrekonstruktion durchgeführt.

## **3 Methode**

Bei dieser Studie handelt es sich um eine retrospektive, komparative Untersuchung (level of evidence III [226, S.2]), in welcher das objektive und subjektive Ergebnis nach VKB-Revisionsplastiken zwischen drei unterschiedlichen Rekonstruktionstechniken verglichen wird.

Als Hauptzielkriterien wurden zur Beurteilung der Stabilität des Kniegelenks der Lachman-Test, der Pivot-Shift-Test und die instrumentelle Messung der anterioren tibialen Translation mit dem KT1000™ Knee Ligament Arthrometer® bei 134 N Zugkraft verwendet. Um das Gesamtergebnis zu beschreiben, wurden weiterhin die Formblätter des IKDC, der Lysholm-Score und der Tegner-Aktivitäts-Score als Hauptzielkriterien hinzugezogen.

Im Folgenden werden alle bei dieser Studie verwendeten Instrumente beschrieben.

### **3.1 Problemspezifischer Fragebogen**

Um eine möglichst spezifische Anamnese erheben zu können, wurde von uns ein problemspezifischer Anamnesebogen konzipiert. Neben Angaben zur Person enthielt dieser Anamnesebogen unter anderem Fragen zu den stattgefundenen Kreuzbandrupturen, eventuellen Begleitverletzungen, den durchgeführten Kreuzbandrekonstruktionen, den dazwischen liegenden Zeitintervallen und weiteren operativen Eingriffen an Gelenken, Muskeln oder Knochen. Auch die Zufriedenheit über das Operationsergebnis, eine subjektive Funktionseinschätzung und die derzeitige Hauptbeschwerde des Kniegelenks wurden erfragt. Der gesamte Anamnesebogen ist im Anhang unter 12.2 einzusehen.

Einige der mit diesem Fragebogen erhobenen Daten wurden bereits zur Beschreibung des Materials verwendet und werden bei den Ergebnissen nicht mehr gesondert aufgeführt.

### **3.2 Klinische Untersuchung**

Die klinische Untersuchung setzte sich aus einer allgemeinen Befundung des Kniegelenks, einer Messung des Bewegungsumfanges, einer Ligamentuntersuchung und einem Funktionstest zusammen. Alle Patienten wurden von einem erfahrenen Assistenzarzt unserer Abteilung sowie dem Doktorand standardisiert durchgeführt. Der Assistenzarzt wusste im Vorfeld der Untersuchung nicht welches Operationsverfahren bei den Patienten zum Einsatz kam. Alle Untersuchungen wurden zunächst an der nicht operierten Seite vorgenommen und die Ergebnisse als Maßstab für die betroffene Seite verwendet. Die Untersuchungsergebnisse wurden auf einem für diese Studie erstellten Untersuchungsprotokoll, welches im Anhang unter 12.3 einzusehen ist, dokumentiert.

### 3.2.1 Allgemeine Befundung des Kniegelenks

Im Stehen wurde zunächst die Beinachse des Patienten hinsichtlich einer eventuell bestehenden Varus- oder Valgusdeformität begutachtet.

Am liegenden Patienten wurden die Operationsnarben inspiziert und auf Empfindlichkeit, Reizung und Gefühllosigkeit untersucht.

Durch Palpation des Kniegelenks wurde ein eventueller Gelenkerguss beurteilt. Gemäß dem IKDC Formblatt zur Untersuchung des Knies wurde eine Flüssigkeitswelle als „gering“, eine leicht palpierbare Flüssigkeit als „mäßig“, und ein angespanntes Knie zusätzlich zum Erguss als „ausgeprägt“ bewertet.

Anschließend wurden die Kompartimentbefunde erstellt: Um patellofemorale Krepitationen zu eruieren wurde der Patient aufgefordert das gebeugte Knie gegen einen geringen Widerstand zu strecken, während mit einer Hand auf der Kniescheibe eventuelle Krepitationen gefühlt werden konnten. Laterale oder mediale Krepitationen wurden durch Strecken des gebeugten Knies bei gleichzeitigem Valgus- bzw. Varusstress beurteilt. Bei vorhandenen Krepitationen wurde deren Schmerzhaftigkeit erfragt.

Um vorhandene Muskelatrophien zu quantifizieren wurde der Oberschenkelumfang 10 cm oberhalb des Kniegelenkspalts gemessen und mit dem Umfang der Gegenseite verglichen.

Ergänzend wurde jeder Patient noch auf eine erhöhte allgemeine Bandlaxizität hin untersucht, wobei eine Überstreckbarkeit der Knie- und Ellenbogengelenke, das Anlegen des Daumens an die Volarseite des Unterarms, eine vermehrte Dorsalextension der Finger in den Grundgelenken, eine vermehrte Flexion in den Hüftgelenken, eine multidirektionale Schulterinstabilität sowie eine Außenbandinstabilität am oberen Sprunggelenk als erhöhte allgemeine Bandlaxizität gewertet wurde [81, S.53].

### 3.2.2 Messung des Bewegungsumfangs

Mit Hilfe eines Winkelmessers wurde sowohl der aktive als auch der passive Bewegungsumfang beider Kniegelenke gemessen und nach der Neutral-0-Methode [81, S.52-54] dokumentiert. Um das passive Bewegungsdefizit zu ermitteln, wurden die passiven Messergebnisse beider Seiten verglichen und entsprechend den Vorgaben des IKDC Formblatt zur Untersuchung des Knies bewertet: Ein Streckdefizit unter 3° wurde als „normal“ gewertet, 3-5° Streckdefizit als „fast normal“, 6-10° als „abnormal“ und mehr als 10° als „deutlich abnormal“. Bei der Bewertung des Beugedefizits wurden 0-5° als „normal“ klassifiziert, 6-15° als „fast normal“, 16-25° als „abnormal“ und mehr als 25° als „deutlich abnormal“.

### **3.2.3 Varus- und Valgusstress (Adduktions- und Abduktionstest)**

Diese Tests dienen der Beurteilung einer Seiteninstabilität, welche sich in Form einer medialen bzw. lateralen Aufklappbarkeit des Kniegelenks äußern würde.

Um Varusstress auf das Kniegelenk auszuüben wird bei dem auf dem Rücken liegenden Patienten mit einer Hand der mediale Aspekt des Kniegelenks umfasst und eine leichte, nach lateral gerichtete Kraft ausgeübt, während mit der anderen Hand der proximale Unterschenkel zunehmend in eine Adduktionsstellung geführt wird. Entsprechend wird für Valgusstress eine leichte Kraft vom lateralen Aspekt des Kniegelenks nach medial ausgeübt, während der Unterschenkel zunehmend abduziert wird. Beide Tests wurden in Neutralstellung sowie in 30° Flexion durchgeführt [81, S.168-169]. Das vom Untersucher geschätzte Ausmaß der medialen bzw. lateralen Aufklappbarkeit wurde entsprechend den Vorgaben des IKDC eingeteilt in „normal“ bei einer Aufklappbarkeit von 0-2 mm, „fast normal“ bei 3-5 mm, „abnormal“ bei 6-10 mm sowie „deutlich abnormal“ bei mehr als 10 mm.

### **3.2.4 Reverse-Pivot-Shift-Test**

Der Reverse-Pivot-Shift-Test wurde von Jakob et al. [93] beschrieben und dient der Untersuchung einer posterolateralen Rotationsinstabilität.

In Rückenlage des Patienten wird das um 70-80° flektierte Kniegelenk langsam unter gleichzeitigem Valgusstress und Außenrotation des Unterschenkels gestreckt. Der Test ist positiv wenn das laterale Tibiaplateau bei ca. 10° Flexion aus der hinteren Subluxation zurückspringt [40, S.141]. Die Reposition der Tibia muss vom Untersucher gemäß der Vorgabe des IKDC subjektiv als „gleich“ (negatives Testergebnis), „Gleiten“, „stark“ oder „ausgeprägt“ beurteilt werden. Ein negatives Testergebnis wird als „normal“ bewertet, ein „Gleiten“ als „fast normal“, „stark“ als „abnormal“ und „ausgeprägt“ entspricht einem „deutlich abnormalen“ Testergebnis.

### **3.2.5 Außenrotationstest**

Bei 30° und 90° Flexion im Kniegelenk werden die Unterschenkel des auf dem Bauch liegenden Patienten durch den Untersucher in Außenrotationsstellung gebracht. Die maximale Außenrotation des betroffenen Unterschenkels wird mit der des gesunden Beins verglichen und gemäß den Kriterien des IKDC eingeteilt in „normal“ bei einem Seitenunterschied von < 5°, „fast normal“ bei 6-10° Seitenunterschied, „abnormal“ bei 11-19° und „deutlich abnormal“ bei einem Seitenunterschied von mehr als 20°.

### **3.2.6 Hinterer Schubladentest**

Das Bein des auf dem Rücken liegenden Patienten wird um 45° in der Hüfte und um 90° im Kniegelenk gebeugt. Durch den Untersucher wird nun die Tibia nach dorsal gedrückt. Besonders bei einer chronischen Insuffizienz des hinteren Kreuzbandes konnte für diesen Test eine hohe Sensitivität und Spezifität gezeigt werden [168, S.554].

Das Testresultat wurde nach den Vorgaben des IKDC eingeteilt in: „normal“ bei einer hinteren Schublade von 0-2 mm, „fast normal“ bei einer Schublade von 3-5 mm, „abnormal“ bei 6-10 mm und „deutlich abnormal“ bei einer hinteren Schublade von mehr als 10 mm.

### **3.2.7 Vorderer Schubladentest**

Für diesen Test liegt der Patient auf dem Rücken, die Hüfte wird auf der zu untersuchenden Seite um 45° flektiert, das Knie wird um 90° gebeugt und der Fuß in Neutralstellung auf der Untersuchungsfläche platziert. Der Untersucher setzt sich auf die Liege und stabilisiert mit einer Gesäßhälfte den Fuß in der beschriebenen Position. Mit beiden Händen wird nun die proximale Tibia umfasst und nach vorne gezogen. Obwohl dieser Test in der klinischen Untersuchung des VKB sehr verbreitet ist, ist die Aussagekraft dieses Tests geringer als die des Lachmann- oder Pivot-Shift-Test [102, S.101; 106, S.89].

Der Test ist positiv wenn eine erhöhte Dislokation der Tibia nach anterior besteht und wird abhängig vom Ausmaß der Dislokation in 3 Grade eingeteilt: Grad 1 (1+) bei einer Dislokation bis 5 mm, Grad 2 (2+) bei einer Dislokation zwischen 5 und 10 mm und Grad 3 (3+) bei einer Dislokation von mehr als 10 mm [106, S.89].

### **3.2.8 Lachman-Test**

Der nach seinem Erfinder, John W. Lachman, benannte Test wurde erstmals 1976 von einem seiner Schüler publiziert [201]. Mit einer hohen Sensitivität und Spezifität ist der Lachman-Test eine sehr zuverlässige Methode zur Beurteilung einer Instabilität des VKB [106, S.89; 168, S.554; 201, S.86-88] und in seiner Aussagekraft dem vorderen Schubladentest überlegen [102, S.101; 106, S.89].

In Rückenlage des Patienten werden Ober- und Unterschenkel kniegelenknah umfasst. Bei leichter Kniebeugung von ca. 15-20° wird der Oberschenkel von einer Hand stabilisiert, während mit der anderen Hand ein nach anterior gerichteter Zug auf den Unterschenkel ausgeübt wird [201, S.85].

Der Vorschub der Tibia muss subjektiv durch den Untersucher beurteilt werden und wurde von uns gemäß den Vorgaben des IKDC in vier Grade eingeteilt: als Lachmann negativ bei einem Vorschub von 0-2 mm, als einfach positiv (1+) bei einem Vorschub von 3-5 mm, als zweifach positiv (2+) bei 6-10 mm Vorschub und als dreifach Positiv (3+) bei einem Vorschub von mehr als 10 mm.



Abb. 10: Prüfung der Stabilität des VKB mit dem Lachman-Test (modifiziert nach [195, S.349]).

Wichtig bei der Beurteilung des Lachman-Test ist außerdem die Empfindung des Untersuchers am Endpunkt der auslösbaren Translation, dem sog. endgradigen Anschlag. Bei einem intakten VKB ist der Anschlag fest, wohingegen bei einem rupturierten VKB der Anschlag vom Untersucher als weich oder fehlend charakterisiert wird [201, S.85-86].

### 3.2.9 Pivot-Shift-Test

Der Pivot-Shift-Test, vorgestellt im Jahre 1972 von Galway, Beaupré und MacIntosh [61] dient der Darstellung einer anterolateralen Subluxation der Tibia gegenüber dem Femur, welche im Alltag vom Patienten als sog. „giving-way“ beklagt wird [60, S.45]. Verschiedene Modifikationen des Pivot-Shift-Test wurden im Laufe der Zeit publiziert [60; 126; 186]. Der Test wurde von uns wie folgt durchgeführt: Mit einer Hand wurde der Unterschenkel des auf dem Rücken liegenden Patienten gefasst und das Bein angehoben, während mit der anderen Hand Valgusstress auf das leicht gebeugte Kniegelenk ausgeübt wurde. Unter Aufrechterhaltung des Valgusstress wurde das Kniegelenk weiter gebeugt. Das Pivot-Shift-Phänomen ist charakterisiert durch eine ventrale Subluxation des lateralen Tibiaplateaus nahe der Extensionsstellung des Kniegelenks und einer spontanen, als „Schnappen“ oder „Gleiten“ wahrnehmbaren Reposition bei 30-40° Flexion, bedingt durch das Einwirken des Tractus iliotibialis [40, S.139-140; 60, S.45,48; 94, S.294]. Durch eine leichte Innenrotation des Unterschenkels während des Tests kann die Subluxation der Tibia verstärkt werden [60, S.49].



Abb. 11: Überprüfung einer Rotationsinstabilität mit dem Pivot-Shift-Test (modifiziert nach [195, S.349]).

Bei einem positiven Testergebnis erfolgte die Einteilung nach Jakob et al. [94, S.294-295] in 3 Grade:

- Grad 1 (1+): Der Pivot-Shift-Test ist nur in Innenrotationsstellung des Unterschenkels positiv. Die Reposition wird als sanftes Gleiten wahrgenommen.
- Grad 2 (2+): Der Pivot-Shift-Test ist während Innenrotation und neutraler Rotationsstellung positiv, nicht jedoch in Außenrotationsstellung.
- Grad 3 (3+): Eine abnormale Bewegung mit einem ausgeprägten Schnappen kann in Neutral- sowie Außenrotationsstellung provoziert werden, in Innenrotationsstellung ist das Pivot-Shift-Phänomen weniger deutlich ausgeprägt. Zusätzlich kommt es auch im medialen Kompartiment zu einer Subluxation und Reposition.

Neben einer hohen Sensitivität und Spezifität dieses Tests für eine VKB-Insuffizienz [106, S.89; 168, S.554] konnte von Kocher et al. außerdem ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Testergebnis und der subjektiven Zufriedenheit der Patienten, dem funktionellen Ergebnis und dem wiedererlangten Aktivitätsniveau nach VKB-Rekonstruktion gezeigt werden [111, S.631-632].

### **3.2.10 Instrumentelle Messung der anterioren tibialen Translation**

Mit dem KT1000™ Knee Ligament Arthrometer® (MEDmetric®, San Diego, California, U.S.A.) kann die anterior-posteriore Translation der Tibia gegenüber dem Femur instrumentell quantifiziert werden. Das Gerät misst Relativbewegungen der Tibia gegen den Femur mittels Sensorplatten auf der Patella und der Tuberositas tibiae [36, S.724]. Die Reliabilität und Reproduzierbarkeit der Messergebnisse konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden [7, S.137-139; 162, S.62-63; 229, S.397-399].

Die Untersuchung wurde entsprechen der Beschreibung von Daniel et al. [35; 36] wie folgt durchgeführt:

Mit einer Auflage für die Oberschenkel wurden beide Kniegelenke in  $30 \pm 5^\circ$  Flexion gelagert und die Unterschenkel mit einer Fußstütze symmetrisch positioniert. Um eine Außenrotation in der Hüfte zu vermeiden wurde ein Gurt proximal der Oberschenkelstütze so angebracht, dass die Patellae beider Seiten genau nach oben zeigten. Das Arthrometer wurde am Unterschenkel so befestigt, dass die Sensorplatten genau auf der Tuberositas tibiae und auf der Patella lagen. Durch manuellen Druck auf den Patellasensor wurde die Kniescheibe in der Trochlea femoris fixiert. Mit der Haltevorrichtung wurde der Unterschenkel mit 89 N nach dorsal gedrückt und anschließend wieder losgelassen. Die Messanzeige wurde wieder auf null gestellt und das Manöver so lange wiederholt, bis die Messnadel dreimal in Folge beim Loslassen der Haltevorrichtung dieselbe Position eingenommen hatte. Von dieser Referenzposition wurde nun über die Haltevorrichtung der Unterschenkel nach anterior gezogen. Das Ausmaß der Translation wird auf einer Messanzeige am Instrument angezeigt. Anschließend wurde die Haltevorrichtung mit 89 N nach posterior gedrückt und wieder losgelassen. Nach diesem Manöver sollte die Messnadel bei  $0 \pm 0,5$  mm stehen.

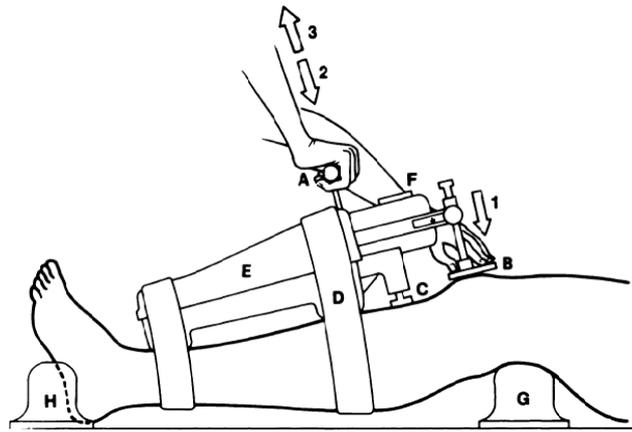


Abb. 12: Messung der anterior-posterioren Translation mit dem KT1000™ (modifiziert nach [36, S.721]). A: Haltevorrichtung; B: Patella-Sensorplatte; C: Tuberositas-Sensorplatte; D: Fixationsband; E: Gehäuse des Arthrometers; F: Messanzeige; G: Oberschenkelauflage; H: Fußstütze; 1: Ein konstanter Druck von 20-30 N wird auf die Patella-Sensorplatte ausgeübt; 2+3: Eine nach posterior bzw. anterior gerichtete Kraft wird ausgeübt.

Für jede Seite wurden 3 Messvorgänge durchgeführt, wobei die anteriore Translation bei 134 N sowie bei maximaler Zugkraft gemessen wurde. Für die jeweilige Kraft wurde aus den drei Messergebnissen, sofern sich diese nicht um mehr als 1 mm unterschieden, die Mittelwerte bestimmt. Aufgrund erheblicher interindividueller Unterschiede der anterior-posterioren Translation in gesunden sowie in VKB-insuffizienten Kniegelenken sollte das gemessene Ergebnis stets im Vergleich zur gesunden Gegenseite interpretiert werden [36, S.724-725; 229, S.399].

Für das IKDC Formblatt zur Untersuchung des Knies wurde der Seitenunterschied der anterioren Translation bei 134 N beurteilt. Ein Seitenunterschied bis 2 mm wurde als „normal“ bewertet, ein Seitenunterschied von 3-5 mm als „fast normal“, 6-10 mm als „abnormal“ und mehr als 10 mm als „deutlich abnormal“.

### 3.2.11 Klinisch fehlgeschlagene VKB-Revisionsrekonstruktionen

Als klinisch fehlgeschlagen galten nach den Stabilitätskriterien von Noyes und Barber-Westin [145, S.116,118] Patienten, bei welchen mit dem KT1000™ Knee Ligament Arthrometer® eine anteriore tibiale Translation von mehr als 5,5 mm im Vergleich zur nicht operierten Gegenseite gemessen wurde, oder ein mindestens zweifach positiver Pivot-Shift-Test beobachtet wurde. Bei Patienten mit einer VKB-Ersatzplastik des kontralateralen Kniegelenks wurde anstelle der instrumentell gemessenen anterioren Translation der Lachman-Test verwendet und ein mindestens zweifach positives Ergebnis als fehlgeschlagene Revisionsrekonstruktion gewertet.

### **3.2.12 Einbeinsprungtest**

Um die Funktion des Kniegelenks zu bewerten, wurde der von Daniel et al. [37; 38] beschriebene Einbeinsprungtest durchgeführt. Mit diesem Funktionstest lassen sich Rückschlüsse auf die wiedererlangte Kraft der Quadrizeps- und Hamstring-Muskulatur nach einer VKB-Rekonstruktion ziehen [178, S.388].

Der Patient wird aufgefordert auf einem Bein zu stehen, soweit wie möglich nach vorne zu springen und auf dem jeweiligen Bein wieder zu landen. Gemessen wird die Distanz von der Großzehenspitze zwischen Ausgangsposition und Landeposition.

Für jedes Bein wurden drei Versuche durchgeführt, die jeweiligen Ergebnisse gemittelt und das Verhältnis vom betroffenen zum kontralateralen Bein berechnet. Entsprechend den Vorgaben des IKDC wurde ein Verhältnis von  $\geq 90\%$  als „normal“ gewertet, 89-76% als „fast normal“, 75-50% als „abnormal“ und  $< 50\%$  als „deutlich abnormal“.

## **3.3 Scores**

### **3.3.1 Tegner-Aktivitäts-Score**

Der Tegner-Aktivitäts-Score [199] wird rein anamnestisch erhoben und ermöglicht eine Einteilung der Patienten auf Grund ihres Aktivitätsniveaus in 11 unterschiedliche Gruppen. Dabei werden sowohl sportliche wie auch alltägliche Aktivitäten bei der Bewertung berücksichtigt. Die Aktivitätslevel reichen von Arbeitsunfähigkeit (Level 0) bis Hochleistungssport auf nationaler und internationaler Ebene (Level 10) [199, S.45-46]. Der Tegner-Aktivitäts-Score ist im Anhang unter 12.4 einzusehen.

### **3.3.2 Lysholm-Score**

Beim Lysholm-Score [128] werden den Rubriken Hinken, Belastbarkeit, Treppensteigen, Beugung (Hocke), Instabilität, Schwellung, Schmerz und Oberschenkelatrophie unterschiedlich viele Punkte zugeteilt [128, S.151]. Bis auf das Ausmaß der Oberschenkelatrophie werden alle Parameter durch die subjektive Beurteilung des Patienten bestimmt. Maximal können 100 Punkte erzielt werden, wobei vor allem die Rubriken Instabilität und Schmerz mit jeweils 30 erreichbaren Punkten eine hohe Gewichtung erhalten. Ein Score von  $\geq 91$  Punkte wird als „sehr gutes“, 90-83 Punkte als „gutes“, 83-65 Punkte als „mäßiges“ und  $< 65$  Punkte als „schlechtes“ Ergebnis gewertet [90, S.108; 199, S.44]. Im Anhang unter 12.5 ist die von uns verwendete Form des Lysholm-Scores einzusehen.

Von Kocher et al. [110, S.1565] konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ergebnis des Lysholm-Scores und der Patientenzufriedenheit nach VKB-Rekonstruktion gezeigt werden.

### 3.3.3 Formblätter des IKDC

Um ein standardisiertes internationales Dokumentationssystem zu entwickeln, wurde 1987 der internationale Ausschuss zur Dokumentation von Knieverletzungen (international knee documentation committee, IKDC) gegründet [79, S.226-227]. Ein standardisierter IKDC Knieevaluationsbogen wurde 1993 von Hefti et al. veröffentlicht [79]. Der in dieser Studie verwendete IKDC Knieevaluationsbogen ist das Ergebnis einer Überarbeitung des ursprünglich vorgestellten Evaluationsbogens [88, S.601], und setzt sich aus folgenden Formblättern zusammen:

- Demographisches Formblatt
- Formblatt zur subjektiven Beurteilung des gegenwärtigen Gesundheitszustandes
- Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies
- Formblatt zur Anamnese des Knies
- Chirurgisches Dokumentationsblatt
- Formblatt zur Untersuchung des Knies

An der Beurteilung des Kniegelenks findet nur das Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies sowie das Formblatt zur Untersuchung des Knies Verwendung. Die restlichen Formblätter dienen Dokumentationszwecken und wurden in dieser Studie nicht eingesetzt. Die beiden von uns verwendeten Formblätter sowie deren Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen sind im Anhang unter 12.6 und 12.7 einzusehen.

Fragen des Formblatts zur subjektiven Beurteilung des Knies umfassen die Bereiche „Symptome“, „Funktion“ und „sportliche Betätigung“. Die Antworten auf die einzelnen Fragen werden rein anamnestisch erhoben und erhalten einen definierten Zahlenwert. Für das Gesamtergebnis werden die einzelnen Werte addiert und mit einer vorgegebenen Formel auf eine Skala mit dem Bereich 0-100 Punkte transformiert. Das umgewandelte Ergebnis wird als Maßstab für die Funktionsfähigkeit des Kniegelenks verwendet, wobei ein Ergebnis von 100 Punkten bedeutet, dass keine Symptome vorliegen und dass bei alltäglichen oder sportlichen Betätigungen keine Einschränkungen vorliegen [88, S.611-613]. Die Zuverlässigkeit und Gültigkeit dieses Evaluationsbogens sowie eine Änderungssensitivität konnte in Studien gezeigt werden [88, S.604-608; 89, S.1570-1572].

Basierend auf den Ergebnissen der Abschlussbeurteilung des Formblatts zur Untersuchung des Knies wird das Kniegelenk des Patienten in vier Grade (A-D) eingeteilt, wobei Grad A einem „normalen“, Grad B einem „fast normalen“, Grad C einem „abnormalen“ und Grad D einem „deutlich abnormalen“ Zustand des operierten Kniegelenks entspricht. Das Formblatt zur Untersuchung des Knies besteht aus sieben Gruppen unterschiedlicher Problembereiche, wobei in die Abschlussbeurteilung nur die Bereiche „Erguss“, „passives Bewegungsdefizit“ und „Ligamentuntersuchung“ miteinbezogen werden. Für jeden dieser drei Gruppen muss der Gruppengrad (A-D) bestimmt werden, welcher dem niedrigsten Grad innerhalb einer Gruppe entspricht. Der niedrigste Gruppengrad bestimmt schließlich die Abschlussbeurteilung. Durch dieses Bewertungsschema wird eine gute Beurteilung trotz bestehender Beschwerden verhindert, da das Abschlussergebnis nicht besser ausfallen kann als das schlechteste Gruppenergebnis.

### **3.4 Einflussfaktoren auf das Ergebnis**

Neben Unterschieden zwischen den drei Patientengruppen haben wir auch untersucht, welche Faktoren das Ergebnis aller Patienten beeinflusst haben. Hierfür wurde berechnet, ob ein Zusammenhang zwischen den klinischen Scores (Lysholm-Score, Tegner-Aktivitäts-Score, subjektiver IKDC-Score, Abschlussbeurteilung des IKDC Formblatt) und folgenden Parametern besteht: Alter zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, BMI, postoperatives follow-up, Gesamtzahl der Operationen am ipsilateralen Kniegelenk, Anzahl der Operationen nach der Revisionsrekonstruktion am ipsilateralen Kniegelenk, stattgehabte Meniskus-Teilresektion, Oberschenkelatrophie, gesamter Zeitraum ohne ein intaktes VKB und Zeitraum zwischen erneuter Instabilität und Revisionsrekonstruktion. Weiterhin haben wir untersucht, ob zwischen dem Lachman-Test, dem Pivot-Shift-Test sowie dem KT1000™-Seitenunterschied bei 134 N und dem postoperativen follow-up, einer stattgehabten Meniskus-Teilresektion, der Oberschenkelatrophie, dem gesamten Zeitraum ohne ein intaktes VKB sowie dem Zeitraum zwischen erneuter Instabilität und Revisionsrekonstruktion ein Zusammenhang besteht.

### **3.5 Statistische Auswertung**

Die Aufarbeitung der erhobenen Daten erfolgte mit SPSS 15.0 for Windows® (SPSS Science Inc, Chicago, Ill, U.S.A.). Für die statistische Auswertung der Daten wurde für stetige Zielgrößen zum Vergleich der drei Patientengruppen der Ranguntersuchungstest nach Kruskal-Wallis verwendet. Binäre oder kategoriale Variablen wurden mit dem exakten Test nach Fischer verglichen. Zur Untersuchung einer eventuellen Korrelation zwischen verschiedenen Parametern wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson bzw. Spearman mit dem entsprechenden zweigeteilten Test auf Signifikanz, der exakte Test nach Fischer sowie der Mann-Whitney U-Test verwendet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde jeweils mit  $p = 0,05$  angenommen.

Die Auswertung der Daten wurde vom Institut für Medizinische Statistik und Epidemiologie des „Klinikum rechts der Isar“ in München fachlich betreut.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Problemspezifischer Fragebogen

#### 4.1.1 Subjektive Funktionalität des Kniegelenks

Die Frage nach der derzeitigen subjektiven Funktionalität des betroffenen Kniegelenks (100% würden einer normalen Funktion entsprechen) ergab eine durchschnittlich Funktion von  $72,2 \pm 20,0\%$  (20-100%).

In der STG,db-Gruppe betrug die durchschnittliche subjektive Funktionalität  $80,0 \pm 12,9\%$  (70-100%), in der STG-Gruppe  $73,1 \pm 23,1\%$  (20-100%) und in der BPTB-Gruppe  $65,0 \pm 19,0\%$  (40-95%). In Abb. 13 sind die Ergebnisse der einzelnen Gruppen als Boxplot veranschaulicht. Die Unterschiede zwischen den drei Patientengruppen waren statistisch nicht signifikant ( $p = 0,284$ ).

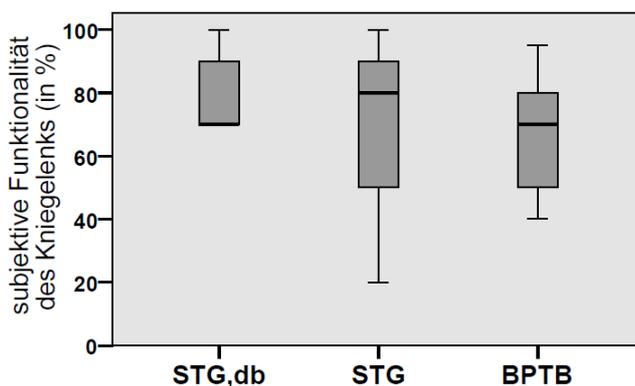


Abb. 13: Derzeitige subjektive Funktionalität des Kniegelenks (in %) (Median: STG,db: 70; STG: 80; BPTB: 70) ( $p = 0,284$ ).

#### 4.1.2 Derzeitige Hauptbeschwerde

Die Frage nach der derzeitigen Hauptbeschwerde des betroffenen Kniegelenks beantworteten 10% der Patienten ( $n = 3$ ) mit „keine Beschwerden“, 52% ( $n = 15$ ) mit „Schmerzen“ und 28% ( $n = 8$ ) mit „Instabilität“. Unter der Kategorie „sonstiges“ wurden weitere 10% der Patienten ( $n = 3$ ) zusammengefasst, welche die Frage mit „Bewegungseinschränkung“, „muskuläres Defizit“ und „Schwellung“ beantworteten. Die entsprechenden Ergebnisse der jeweiligen Patientengruppen sind in Abb. 14 dargestellt.

Die statistische Auswertung ergab einen signifikanten Unterschied zwischen der STG,db- und BPTB-Gruppe ( $p = 0,004$ ) sowie zwischen der STG- und BPTB-Gruppe ( $p = 0,006$ ).

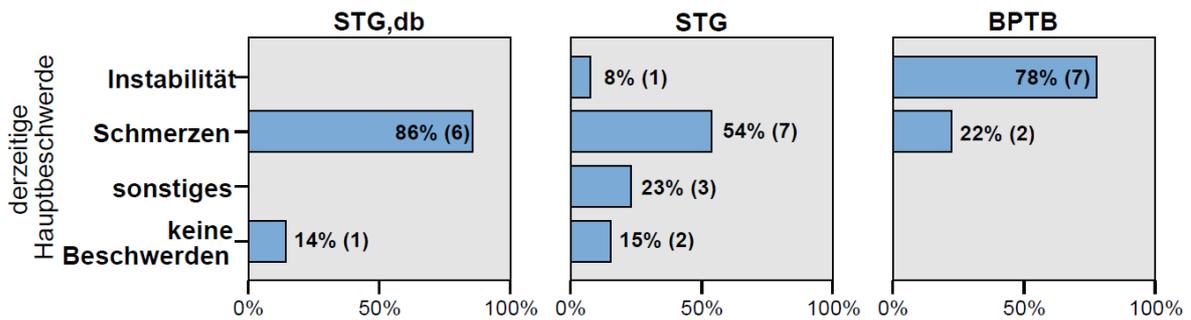


Abb. 14: Derzeitige Hauptbeschwerde des Kniegelenks. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den jeweiligen Gruppen. Unterschiede signifikant zwischen STG,db und BPTB ( $p = 0,004$ ) sowie zwischen STG und BPTB ( $p = 0,006$ ).

#### 4.1.3 Zufriedenheit mit der Operation und Frage nach nochmaliger Operation

Auf die Frage nach der Zufriedenheit mit der Revisionsoperation antworteten 28% der Patienten ( $n = 8$ ) mit „sehr zufrieden“, 24% ( $n = 7$ ) mit „zufrieden“, 31% ( $n = 9$ ) mit „bedingt zufrieden“ und 17% ( $n = 5$ ) mit „unzufrieden“. Die entsprechenden Ergebnisse der Patientengruppen sind in Tab. 10 dargestellt. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen ( $p = 0,347$ ).

		Patientenzufriedenheit mit der OP			
		sehr zufrieden	zufrieden	bedingt zufrieden	unzufrieden
Gruppe	STG,db	43% (3)	-	43% (3)	14% (1)
	STG	31% (4)	38% (5)	23% (3)	8% (1)
	BPTB	11% (1)	22% (2)	33% (3)	33% (3)

Tab. 10: Zufriedenheit der Patienten mit der Operation. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen ( $p = 0,347$ ).

Auf die Frage, ob die Patienten rückblickend nochmals die Operation durchführen lassen würden, antworteten 76% der Patienten ( $n = 22$ ) mit „Ja“ und 24% ( $n = 7$ ) mit „Nein“. Die entsprechenden Ergebnisse der drei Patientengruppen sind in Tab. 11 zusammengefasst. Es ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Untersuchungsgruppen ( $p = 0,638$ ).

		OP rückblickend nochmal?	
		Ja	Nein
Gruppe	STG,db	71% (5)	29% (2)
	STG	85% (11)	15% (2)
	BPTB	67% (6)	33% (3)

Tab. 11: Frage nach nochmaliger OP. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen ( $p = 0,638$ ).

## 4.2 Klinische Untersuchung

### 4.2.1 Allgemeine Befundung des Kniegelenks

#### 4.2.1.1 Beinachse

Bei 70% der Patienten (n = 19) wurde die Beinachse als normal bewertet. Eine Varusfehlstellung wurde bei 26% der Patienten (n = 7), eine Valgusfehlstellung bei 4% der Patienten (n = 1) festgestellt. Die entsprechenden Ergebnisse der einzelnen Gruppen sind in Tab. 12 dargestellt. Die Beurteilung der Beinachse ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen ( $p = 0,520$ ).

		Beinachse		
		normal	varisch	valgisch
Gruppe	<b>STG,db</b>	71% (5)	14% (1)	14% (1)
	<b>STG</b>	75% (9)	25% (3)	-
	<b>BPTB</b>	63% (5)	38% (3)	-

Tab. 12: Beurteilung der Beinachse. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen ( $p = 0,520$ ).

#### 4.2.1.2 Transplantatentnahmemorbidität

Bei 7% der Patienten (n = 2) zeigte sich keine, bei 63% (n = 17) eine leichte, bei 22% (n = 6) eine mäßige und bei 7% (n = 2) eine deutliche Transplantatentnahmemorbidität. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Untersuchungsgruppen ( $p = 0,155$ ).

#### 4.2.1.3 Erguss

Bei 78% der Patienten (n = 21) konnte kein Erguss des Kniegelenks festgestellt werden; einen leichten Erguss zeigten 22% der Patienten (n = 6). Ein mäßiger oder deutlicher Gelenkerguss wurde bei keinem der Patienten beobachtet. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Patientengruppen ( $p = 0,723$ ).

#### 4.2.1.4 Kompartimentbefunde

Krepitationen anterior:

Bei 26% der Patienten (n = 7) konnten keine Krepitationen im anterioren Gelenkkompartiment festgestellt werden, bei 63% (n = 17) konnten mäßige Krepitationen festgestellt werden und bei 11% (n = 3) lagen Krepitationen mit leichtem Schmerz vor. Krepitationen mit mehr als leichtem Schmerz wurden bei keinem der Patienten festgestellt. Die statistische Analyse ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ( $p = 0,686$ ).

Krepitationen medial:

63% der Patienten (n = 17) zeigten keine und weitere 37% (n = 10) zeigten mäßige Krepitationen im medialen Gelenkkompartiment. Krepitationen mit leichtem oder mit mehr als leichtem Schmerz wurden bei keinem der Patienten festgestellt. Zwischen den Gruppen bestand kein signifikanter Unterschied (p = 0,359).

Krepitationen lateral:

Keine Krepitationen im lateralen Gelenkkompartiment wurden bei 89% der Patienten (n = 24) festgestellt, mäßige Krepitationen bei 11% (n = 3). Krepitationen mit leichtem oder mehr als leichtem Schmerz wurden bei keinem der Patienten beobachtet. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ermittelt werden (p = 0,770).

#### 4.2.1.5 Allgemeine Laxizität

Eine normale allgemeine Laxizität zeigten 70% der Patienten (n = 19); bei 30% (n = 8) konnte eine erhöhte allgemeine Laxizität festgestellt werden. Die Patientengruppen zeigten untereinander keinen signifikanten Unterschied (p = 0,752).

#### 4.2.1.6 Oberschenkelatrophie

Die durchschnittliche Oberschenkelatrophie des Gesamtkollektivs betrug  $1,3 \pm 1,0$  cm (-1,0-4,0 cm). In der STG,db-Gruppe wurde eine durchschnittliche Atrophie der Oberschenkelmuskulatur von  $0,9 \pm 1,0$  cm (-1,0-2,0 cm) gemessen, in der STG-Gruppe von  $1,5 \pm 1,1$  cm (0-4,0 cm) und in der BPTB-Gruppe von  $1,4 \pm 1,0$  cm (0,5-3,5 cm). In Abb. 15 sind die Ergebnisse der drei Gruppen als Boxplot veranschaulicht. Es ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Patientengruppen (p = 0,734).

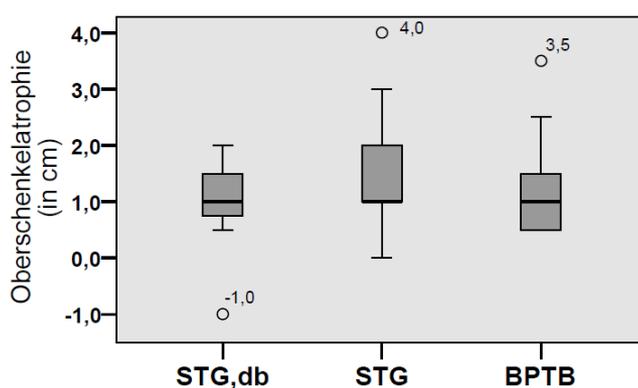


Abb. 15: Oberschenkelatrophie des betroffenen Beins im Vergleich zur Gegenseite (in cm) (Median: STG,db: 1,0; STG: 1,0; BPTB: 1,0) (p = 0,734).

Insgesamt zeigten 28% der Patienten (n = 8) keine Oberschenkelatrophie (Seitendifferenz < 1 cm), 59% (n = 17) zeigten eine Oberschenkelatrophie von 1-2 cm und 14% (n = 4) von mehr als 2 cm. Die entsprechenden Ergebnisse der drei Gruppen sind in Tab. 13 dargestellt. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren nicht signifikant (p = 0,829).

		Oberschenkelatrophie		
		keine	1-2 cm	> 2 cm
Gruppe	<b>STG,db</b>	29% (2)	71% (5)	-
	<b>STG</b>	23% (3)	62% (8)	15% (2)
	<b>BPTB</b>	33% (3)	44% (4)	22% (2)

Tab. 13: Oberschenkelatrophie des betroffenen Beins im Vergleich zur Gegenseite. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen (p = 0,829).

## 4.2.2 Messung des Bewegungsumfangs

### 4.2.2.1 Beugedefizit

Für das gesamte Patientenkollektiv ergab sich ein durchschnittliches passives Beugedefizit von  $3,1 \pm 4,0^\circ$  (0-15°).

In der STG,db-Gruppe betrug das durchschnittliche passive Beugedefizit  $2,4 \pm 3,1^\circ$  (0-7°), in der STG-Gruppe  $3,6 \pm 4,8^\circ$  (0-15°) und in der BPTB-Gruppe  $3,1 \pm 3,7^\circ$  (0-10°). Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen (p = 0,955).

Entsprechend der Einteilung des IKDC konnten 85% der Patienten (n = 23) als „normal“ (passives Beugedefizit von 0-5°) und 15% (n = 4) als „fast normal“ (passives Beugedefizit von 6-15°) bewertet werden. Als „abnormal“ (passives Beugedefizit von 16-25°) oder „deutlich abnormal“ (passives Beugedefizit von > 25°) musste kein Patient klassifiziert werden. Tab. 14 zeigt die entsprechenden Ergebnisse der drei Patientengruppen. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren nicht signifikant (p = 1,000).

		passives Beugedefizit			
		0-5°	6-15°	16-25°	>25°
Gruppe	<b>STG,db</b>	86% (6)	14% (1)	-	-
	<b>STG</b>	83% (10)	17% (2)	-	-
	<b>BPTB</b>	88% (7)	13% (1)	-	-

Tab. 14: Passives Beugedefizit nach den Kriterien des IKDC. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen (p = 1,000).

### 4.2.2.2 Streckdefizit

Das durchschnittliche passive Streckdefizit des Gesamtkollektivs lag bei  $1,4 \pm 1,7^\circ$  (0-6°).

In der STG,db-Gruppe ergab sich ein durchschnittliches passives Streckdefizit von  $0,7 \pm 1,0^\circ$  (0-2°), in der STG-Gruppe von  $2,1 \pm 2,3^\circ$  (0-6°) und in der BPTB-Gruppe von  $1,1 \pm 1,0^\circ$  (0-2°). Zwischen den Gruppen bestand kein signifikanter Unterschied (p = 0,411).

Als „normal“ (passives Streckdefizit von < 3°) konnten gemäß der Einteilung des IKDC 82% der Patienten (n = 22) bewertet werden. Als „fast normal“ (passives Streckdefizit von 3-5°) mussten 15%

der Patienten (n = 4) und als „abnormal“ (passives Streckdefizit von 6-10°) 4% (n = 1) klassifiziert werden. Als „deutlich abnormal“ (passives Streckdefizit von > 10°) musste kein Patient bewertet werden. Von den vier Patienten mit einem Streckdefizit von 3-5° im Vergleich Zur Gegenseite erreichten drei Patienten dennoch 0° Extension. Die entsprechenden Ergebnisse der drei Patientengruppen sind in Tab. 15 zusammengefasst. Es ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen (p = 0,098).

		passives Streckdefizit			
		<3°	3-5°	6-10°	>10°
Gruppe	<b>STG,db</b>	100% (7)	-	-	-
	<b>STG</b>	58% (7)	33% (4) <sup>a</sup>	8% (1)	-
	<b>BPTB</b>	100% (8)	-	-	-

a. hiervon erreichten 3 Patienten dennoch 0° Extension .

Tab. 15: Passives Streckdefizit nach den Kriterien des IKDC. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen (p = 0,098).

#### 4.2.3 Varus- und Valgusstress (Adduktions- und Abduktionstest)

Eine laterale Aufklappbarkeit unter Varusstress (Adduktionstest) von 0-2 mm (negatives Testergebnis) zeigten 89% der Patienten (n = 24); weitere 11% (n = 3) zeigten eine Aufklappbarkeit von 3-5 mm. Eine laterale Aufklappbarkeit von 6-10 mm oder von > 10 mm war bei keinem der Patienten zu beobachten.

Eine mediale Aufklappbarkeit unter Valgusstress (Abduktionstest) von 0-2 mm (negatives Testergebnis) zeigten 93% der Patienten (n = 25) und weitere 7% (n = 2) zeigten eine Aufklappbarkeit von 3-5 mm. Kein Patient zeigte eine mediale Aufklappbarkeit von 6-10 mm oder von > 10 mm.

Tab. 16 zeigt die entsprechenden Ergebnisse der einzelnen Gruppen.

Die statistische Auswertung zeigte sowohl für Varusstress als auch für Valgusstress keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen (p = 0,432 bzw. p = 0,140).

		Varusstress		Valgusstress	
		0-2 mm	3-5 mm	0-2 mm	3-5 mm
Gruppe	<b>STG,db</b>	100% (7)	-	100% (7)	-
	<b>STG</b>	92% (11)	8% (1)	100% (12)	-
	<b>BPTB</b>	75% (6)	25% (2)	75% (6)	25% (2)

Tab. 16: Aufklappbarkeit des Gelenks unter Varus- und Valgusstress. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen (Varusstress: p = 0,432; Valgusstress: p = 0,140).

#### 4.2.4 Reverse-Pivot-Shift-Test

Der Reverse-Pivot-Shift-Test zeigte bei allen Patienten ein negatives Testergebnis.

#### 4.2.5 Außenrotationstest

Die Ergebnisse des Außenrotationstests waren sowohl bei 30° Flexion, als auch bei 90° Flexion bei allen Patienten negativ.

#### 4.2.6 Hinterer Schubladentest

Eine hintere Schublade von 0-2 mm (negatives Testergebnis) zeigten 89% der Patienten (n = 24). Die übrigen 11% (n = 3) zeigten eine hintere Schublade von 3-5 mm, wovon zwei Patienten der STG-Gruppe (17% der STG-Gruppe) und ein Patient der BPTB-Gruppe (13% der BPTB-Gruppe) angehörten. Eine hintere Schublade von 6-10 mm oder von > 10 mm wurde bei keinem der Patienten gemessen. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen (p = 0,770).

#### 4.2.7 Vorderer Schubladentest

Das Ergebnis des vorderen Schubladentests fiel bei 37% der Patienten (n = 10) negativ aus. Ein einfach positives Testergebnis (1+) konnte bei 44% der Patienten (n = 12) festgestellt werden und ein zweifach positives Ergebnis (2+) bei 19% (n = 5). Ein dreifach positives Testergebnis (3+) wurde bei keinem der Patienten beobachtet. Die entsprechenden Ergebnisse der einzelnen Patientengruppen sind in Tab. 17 dargestellt. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren nicht signifikant (p = 0,336).

		Vorderer Schubladentest			
		negativ	1+	2+	3+
Gruppe	<b>STG,db</b>	57% (4)	43% (3)	-	-
	<b>STG</b>	42% (5)	42% (5)	17% (2)	-
	<b>BPTB</b>	13% (1)	50% (4)	38% (3)	-

Tab. 17: Ergebnis des vorderen Schubladentests. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen (p = 0,366).

#### 4.2.8 Lachman-Test

Das Ergebnis des Lachman-Tests fiel bei 37% der Patienten (n = 10) negativ aus. Ein einfach positives Testergebnis (1+) wurde bei 56% der Patienten (n = 15) ermittelt; ein zweifach positives Ergebnis (2+) bei 7% (n = 2). Ein dreifach positives Testergebnis (3+) wurde bei keinem der Patienten beobachtet. Die Entsprechenden Ergebnisse der einzelnen Gruppen sind in Abb. 16 dargestellt.

Die statistische Auswertung ergab einen signifikanten Unterschied zwischen der STG- und der BPTB-Gruppe (p = 0,011). Die Unterschiede zwischen der STG,db- und BPTB-Gruppe sowie zwischen der STG,db- und STG-Gruppe waren nicht signifikant (p = 0,058 bzw. p = 0,650).

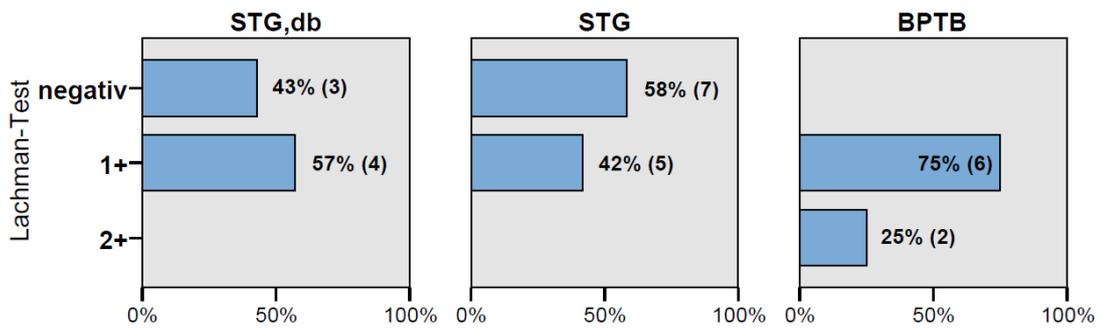


Abb. 16: Ergebnis des Lachman-Tests. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den drei Gruppen. Unterschied signifikant zwischen STG und BPTB ( $p = 0,011$ ). Kein signifikanter Unterschied zwischen STG,db und BPTB ( $p = 0,058$ ) sowie zwischen STG,db und STG ( $p = 0,650$ ).

Bei 93% der Patienten ( $n = 25$ ) war der vordere Endpunkt des Lachman-Tests fest. Ein unsicherer vorderer Endpunkt wurde bei 7% der Patienten ( $n = 2$ ) beobachtet, welche alle der BPTB-Gruppe entstammten (25% der BPTB-Gruppe). Die Beurteilung des vorderen Endpunktes ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen ( $p = 0,140$ ).

#### 4.2.9 Pivot-Shift-Test

Die Resultate des Pivot-Shift-Tests fielen bei 41% der Patienten ( $n = 11$ ) negativ aus. Ein einfach positives Testergebnis (1+) wurde bei 48% der Patienten ( $n = 13$ ) festgestellt; ein zweifach positives Ergebnis (2+) bei 11% ( $n = 3$ ). Ein dreifach positives Testergebnis wurde bei keinem der Patienten beobachtet. Abb. 17 zeigt die entsprechenden Ergebnisse der einzelnen Gruppen.

Die statistische Auswertung ergab einen signifikanten Unterschied zwischen der STG,db- und BPTB-Gruppe ( $p = 0,014$ ). Nicht signifikant waren die Unterschiede zwischen der STG,db- und STG-Gruppe ( $p = 0,057$ ) sowie zwischen der STG- und BPTB-Gruppe ( $p = 0,466$ ).

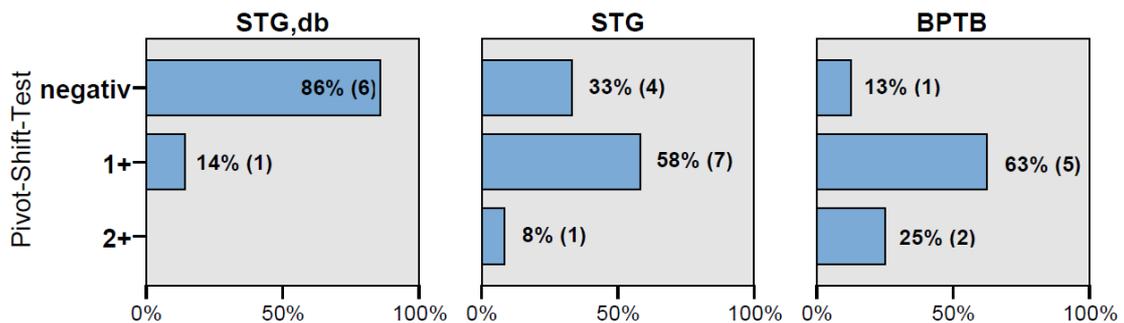


Abb. 17: Ergebnis des Pivot-Shift-Tests. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den drei Gruppen. Unterschied signifikant zwischen STG,db und BPTB ( $p = 0,014$ ). Kein signifikanter Unterschied zwischen STG,db und STG ( $p = 0,057$ ) sowie zwischen STG und BPTB ( $p = 0,466$ ).

#### 4.2.10 Instrumentelle Messung der anterioren tibialen Translation

Für die instrumentelle Messung der anterioren tibialen Translation mussten zwei Patienten der STG-Gruppe (17% der STG-Gruppe) aufgrund einer VKB-Ersatzplastik der kontralateralen Seite ausgeschlossen werden.

#### 4.2.10.1 Messung bei 134 N Zugkraft

Bei 134 N Zugkraft lag die durchschnittliche Seitendifferenz der anterioren tibialen Translation bei  $2,38 \pm 2,14$  mm (-2,67-6,17 mm).

In der STG,db-Gruppe wurde eine durchschnittliche Seitendifferenz von  $2,52 \pm 2,45$  mm (-2,67-4,33 mm) gemessen, in der STG-Gruppe von  $2,32 \pm 2,35$  mm (-1,00-6,17 mm) und in der BPTB-Gruppe von  $2,33 \pm 1,85$  mm (0,16-5,50 mm). In Abb. 18 sind die Ergebnisse der einzelnen Gruppen als Boxplot veranschaulicht. Der Unterschied zwischen den Untersuchungsgruppen war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,733$ ).

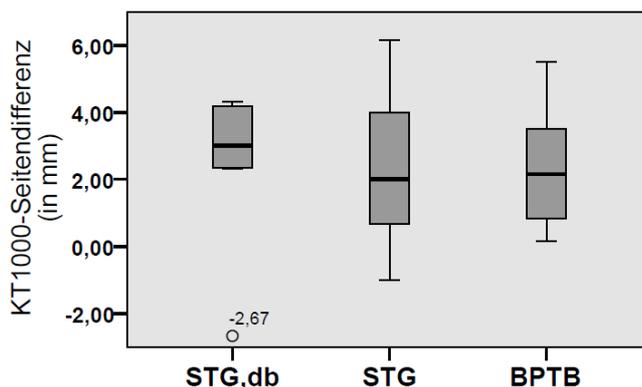


Abb. 18: KT-1000™-Seitendifferenz bei 134 N (in mm) (Median: STG,db: 3,0; STG: 2,01; BPTB: 2,17) ( $p = 0,733$ ).

Gemäß den Kriterien des IKDC wurden 56% der Patienten ( $n = 14$ ) als „normal“ (0-2 mm Seitendifferenz), 32% ( $n = 8$ ) als „fast normal“ (3-5 mm) und 12% ( $n = 3$ ) als „abnormal“ (6-10 mm) bewertet. Ein „deutlich abnormales“ Ergebnis ( $>10$  mm Seitendifferenz) wurde bei keinem der Patienten gemessen. Die entsprechenden Ergebnisse der jeweiligen Gruppen sind in Tab. 18 dargestellt. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren nicht signifikant ( $p = 0,287$ ).

		KT1000-Seitendifferenz (134 N)			
		0-2 mm	3-5 mm	6-10 mm	>10 mm
Gruppe	<b>STG,db</b>	43% (3)	57% (4)	-	-
	<b>STG<sup>a</sup></b>	70% (7)	10% (1)	20% (2)	-
	<b>BPTB</b>	50% (4)	38% (3)	13% (1)	-

a. zwei Patienten dieser Gruppe mussten ausgeschlossen werden

Tab. 18: KT1000™-Seitendifferenz bei 134 N Zugkraft nach den Kriterien des IKDC. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den jeweiligen Gruppen ( $p = 0,287$ ).

#### 4.2.10.2 Messung mit maximaler Zugkraft

Bei maximaler Zugkraft betrug die durchschnittliche Seitendifferenz der anterioren tibialen Translation  $2,73 \pm 2,29$  mm (-2,84-7,67 mm).

In der STG,db-Gruppe ergab sich eine mittlere Seitendifferenz von  $3,19 \pm 2,76$  mm (-2,84-5,17 mm), in der STG-Gruppe von  $2,52 \pm 2,74$  mm (-1,16-7,67 mm) und in der BPTB-Gruppe von  $2,58 \pm 1,21$

mm (1,16-4,33 mm). Abb. 19 zeigt die Ergebnisse der einzelnen Gruppen als Boxplot. Die Unterschiede zwischen den Patientengruppen waren statistisch nicht signifikant ( $p = 0,388$ ).

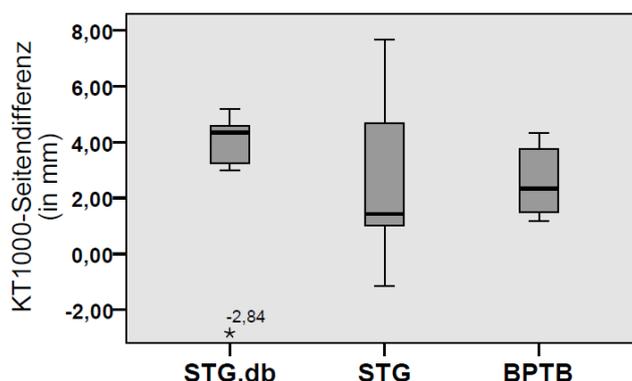


Abb. 19: KT-1000™ Seitendifferenz bei maximaler Zugkraft (in mm) (Median: STG,db: 4,33; STG: 1,42; BPTB: 2,34) ( $p = 0,388$ ).

#### 4.2.11 Klinisch fehlgeschlagene VKB-Revisionsrekonstruktionen

Als unter klinischen Gesichtspunkten fehlgeschlagen mussten 19% der Revisionsrekonstruktionen ( $n = 5$ ) betrachtet werden; bei 82% der Patienten ( $n = 22$ ) konnte die Revisionsplastik als klinisch erfolgreich gewertet werden. Abb. 20 zeigt die entsprechenden Ergebnisse der drei Patientengruppen. Die statistische Auswertung ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ( $p = 0,222$ ).



Abb. 20: Verteilung von klinisch fehlgeschlagenen und klinisch erfolgreichen VKB-Revisionsplastiken in den einzelnen Patientengruppen ( $p = 0,222$ ).

In der STG-Gruppe musste ein Patient aufgrund eines zweifach positiven Ergebnis des Pivot-Shift-Tests und ein Patient aufgrund einer KT1000™-Seitendifferenz von 6,17 mm und einem zweifach positiven Pivot-Shift-Test als fehlgeschlagen betrachtet werden; in der BPTB-Gruppe war bei zwei Patienten ein zweifach positiver Pivot-Shift-Test und bei einem Patient eine KT1000™-Seitendifferenz von 5,60 mm ausschlaggebend.

#### 4.2.12 Einbeinsprungtest

Das Verhältnis zwischen betroffener und kontralateraler Seite beim Einbeinsprungtest lag durchschnittlich bei  $91 \pm 11\%$  (58-107%).

In der STG,db-Gruppe ergab sich ein durchschnittliches Verhältnis von  $96 \pm 4\%$  (91-101%), in der STG-Gruppe von  $85 \pm 13\%$  (58-100%) und in der BPTB-Gruppe von  $95 \pm 8\%$  (88-107%). Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass ein Patient der STG-Gruppe (8% der STG-Gruppe) und 2 Patienten der BPTB-Gruppe (25% der BPTB-Gruppe) sich den Test nicht zutrauten und daher eine Teilnahme ablehnten.

Ein Verhältnis von  $> 90\%$  wurde bei 63% aller Patienten ( $n = 15$ ) ermittelt, ein Verhältnis von 89-76% bei 29% ( $n = 7$ ) und ein Verhältnis von 75-50% bei 8% ( $n = 2$ ). Die entsprechenden Ergebnisse der jeweiligen Gruppen sind in Tab. 19 dargestellt. Die Unterschiede zwischen den drei Patientengruppen waren nicht signifikant ( $p = 0,065$ ).

		Einbeinsprungtest			
		>90%	89-76%	75-50%	<50%
Gruppe	STG,db	100% (7)	-	-	-
	STG <sup>a</sup>	36% (4)	46% (5)	18% (2)	-
	BPTB <sup>b</sup>	67% (4)	33% (2)	-	-

a. ein Patient dieser Gruppe lehnte die Teilnahme ab

b. zwei Patienten dieser Gruppe lehnten die Teilnahme ab

Tab. 19: Ergebnis des Einbeinsprungtests nach den Kriterien des IKDC. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen ( $p = 0,065$ ).

### 4.3 Scores

#### 4.3.1 Tegner-Aktivitäts-Score

Der mittlere Tegner-Aktivitäts-Score des Gesamtkollektivs lag bei  $5,2 \pm 1,3$  Punkten (4-8 Punkte).

In den Patientengruppen erreichte die STG,db-Gruppe einen durchschnittlichen Tegner-Aktivitäts-Score von  $5,9 \pm 1,1$  Punkte (4-7 Punkte), die STG-Gruppe von  $5,0 \pm 1,2$  Punkte (4-7 Punkte) und die BPTB-Gruppe von  $5,0 \pm 1,5$  Punkte (4-8 Punkte). Abb. 21 zeigt die Ergebnisse der einzelnen Gruppen als Boxplot. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren statistisch nicht signifikant ( $p = 0,247$ ).

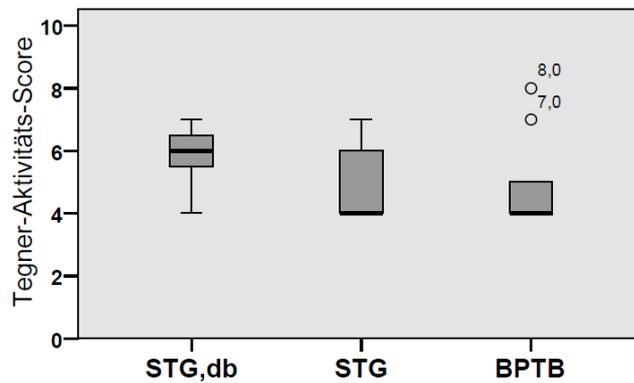


Abb. 21: Ergebnis des Tegner-Aktivitäts-Scores (Median: STG,db: 6,0; STG: 4,0; , BPTB: 4,0) ( $p = 0,247$ ).

### 4.3.2 Lysholm-Score

Der durchschnittliche Lysholm-Score aller Patienten erreichte  $77,5 \pm 14,5$  Punkte (40-100 Punkte).

In der STG,db-Gruppe lag der Durchschnittswert bei  $84,1 \pm 11,7$  Punkten (68-100 Punkte), in der STG-Gruppe bei  $79,9 \pm 11,8$  Punkten (53-93 Punkte) und in der BPTB-Gruppe bei  $68,8 \pm 17,0$  Punkten (40-94 Punkte). In Abb. 22 sind die Ergebnisse als Boxplot veranschaulicht. Die statistische Auswertung ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ( $p = 0,116$ ).

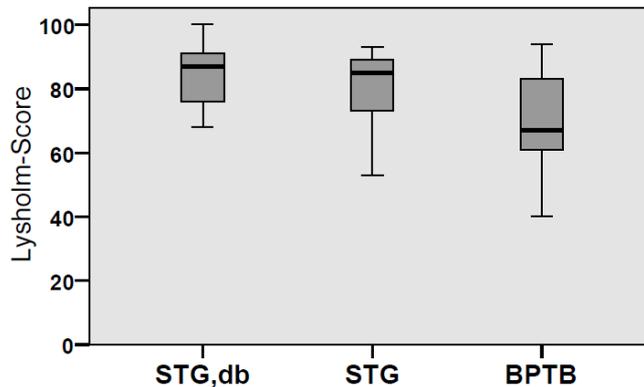


Abb. 22: Ergebnisse des Lysholm-Scores (Median: STG,db: 87; STG: 85; BPTB: 67) ( $p = 0,116$ ).

Als „sehr gut“ (100-92 Punkte) konnte das Ergebnis bei 14% der Patienten ( $n = 4$ ) betrachtet werden, als „gut“ (90-84 Punkte) bei 31% ( $n = 9$ ), als „mäßig“ (83-65 Punkte) bei 38% ( $n = 11$ ) und als „schlecht“ ( $< 65$  Punkte) bei 17% ( $n = 5$ ). Tab. 20 zeigt die entsprechenden Ergebnisse der einzelnen Gruppen. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren nicht signifikant ( $p = 0,214$ ).

		Lysholm-Score			
		100-91	90-84	83-65	<65
Gruppe	STG,db	29% (2)	29% (2)	43% (3)	-
	STG	8% (1)	46% (6)	38% (5)	8% (1)
	BPTB	11% (1)	11% (1)	33% (3)	44% (4)

Tab. 20: Ergebnis des Lysholm-Scores. Prozentuale Gewichtung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen ( $p = 0,214$ ).

#### 4.3.2.1 Lysholm-Subscores Instabilität und Schmerz

Der Lysholm-Subscore Instabilität erreichte im Durchschnitt  $23,4 \pm 6,7$  Punkte (5-30 Punkte); der Subscore Schmerz  $20,9 \pm 5,7$  Punkte (10-30 Punkte).

Der Mittelwert des Subscores Instabilität lag in der STG,db-Gruppe bei  $26,4 \pm 2,4$  Punkten (25-30 Punkte), in der STG-Gruppe bei  $25,8 \pm 3,4$  Punkten (20-30 Punkte) und in der BPTB-Gruppe bei  $17,8 \pm 9,1$  Punkten (5-30 Punkte). Die statistische Auswertung ergab einen signifikanten Unterschied zwischen der STG,db- und BPTB-Gruppe ( $p = 0,05$ ) sowie zwischen der STG- und BPTB-Gruppe ( $p = 0,033$ ). Zwischen der STG,db- und STG-Gruppe war der Unterschied nicht signifikant ( $p = 0,791$ ).

Der Lysholm-Subscore Schmerz erreichte einen Mittelwert von  $22,9 \pm 5,7$  Punkte (15-30 Punkte) in der STG,db-Gruppe, von  $20,8 \pm 5,7$  Punkte (15-30 Punkte) in der STG-Gruppe und von  $19,4 \pm 5,8$  Punkte (10-25 Punkte) in der BPTB-Gruppe. Die Unterschiede zwischen den Patientengruppen waren statistisch nicht signifikant ( $p = 0,473$ ).

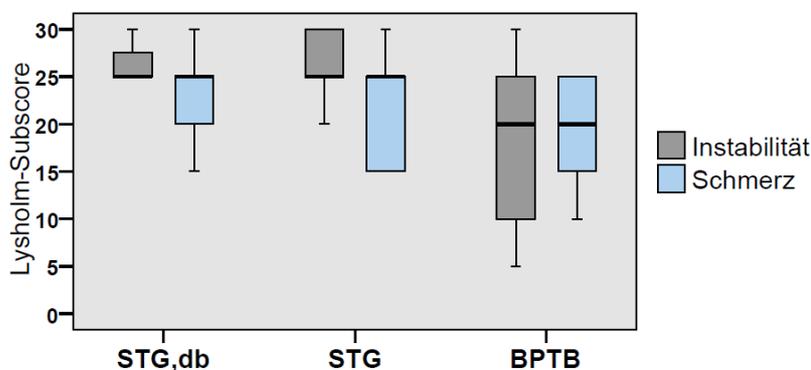


Abb. 23: Ergebnisse der Lysholm-Subscores Instabilität und Schmerz (Median Instabilität: STG,db: 25; STG: 25; BPTB: 20; Median Schmerz: STG,db: 25, STG: 25, BPTB: 20). Die Unterschiede für Instabilität waren signifikant zwischen STG,db und BPTB ( $p = 0,05$ ) sowie zwischen STG und BPTB ( $p = 0,033$ ). Der Subscore Schmerz ergab keine signifikanten Unterschiede ( $p = 0,473$ ).

#### 4.3.3 Formblätter des IKDC

##### 4.3.3.1 Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies (subjektiver IKDC-Score)

Der Gesamtdurchschnitt des subjektiven IKDC-Scores lag bei  $78,5 \pm 12,7$  Punkten (54,0-100 Punkte). In der STG,db-Gruppe lag das durchschnittliche Ergebnis bei  $81,6 \pm 12,5$  Punkten (64,4-100 Punkte), in der STG-Gruppe bei  $80,8 \pm 12,7$  Punkten (54,0-93,0 Punkte) und in der BPTB-Gruppe bei  $72,8 \pm 12,3$  Punkten (57,5-95,4 Punkte). Die Ergebnisse der drei Gruppen sind in Abb. 24 als Boxplot veranschaulicht. Die Unterschiede zwischen den Patientengruppen waren nicht signifikant ( $p = 0,331$ ).

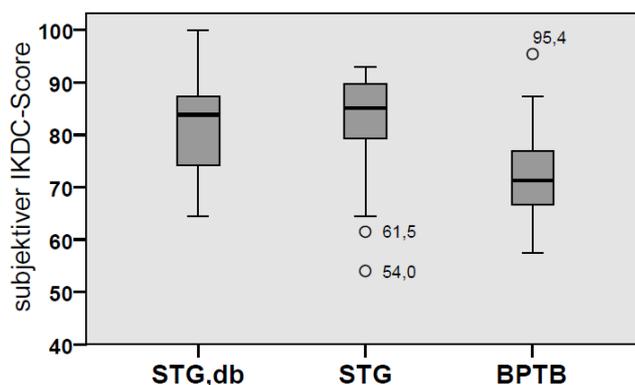


Abb. 24: Ergebnis des subjektiven IKDC-Scores (Median: STG,db: 83,9; STG: 85,1; BPTB: 71,3) ( $p = 0,331$ ).

Einen subjektiven IKDC-Score von mindestens 80 Punkten erreichten 71% der Patienten ( $n = 5$ ) der STG,db-Gruppe, 69% ( $n = 9$ ) der STG-Gruppe und 22% ( $n = 2$ ) der BPTB-Gruppe. Die diesbezüglichen Unterschiede zwischen den drei Gruppen waren nicht signifikant ( $p = 0,081$ ).

#### 4.3.3.2 Formblatt zur Untersuchung des Knies

Der IKDC Gruppengrad für den Bereich „Erguss“ ergab bei 78% der Patienten ( $n = 21$ ) ein Grad A Knie (normaler Zustand des operierten Knies) und bei 22% ( $n = 6$ ) ein Grad B Knie (fast normaler Zustand). Die Bewertung des Bereichs „passives Bewegungsdefizit“ lautete bei 74% der Patienten ( $n = 20$ ) Grad A, bei 22% ( $n = 6$ ) Grad B und bei 4% ( $n = 1$ ) Grad C. Für den Bereich „Ligamentuntersuchung“ wurde bei 19% der Patienten ( $n = 5$ ) Grad A vergeben, bei 59% ( $n = 16$ ) Grad B und bei 22% ( $n = 6$ ) Grad C.

Die IKDC Abschlussbeurteilung ergab somit bei 15% der Patienten ( $n = 4$ ) ein Grad A Knie, bei 59% ( $n = 16$ ) ein Grad B Knie und bei 26% ( $n = 7$ ) ein Grad C Knie. Grad D musste für kein Kniegelenk vergeben werden. Die entsprechenden Ergebnisse der jeweiligen Gruppen sind in den Tab. 22–25 zusammengefasst.

Für keinen Bereich konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ermittelt werden (Gruppengrad Erguss:  $p = 0,723$ ; Gruppengrad passives Bewegungsdefizit:  $p = 0,618$ ; Gruppengrad Ligamentuntersuchung:  $p = 0,165$ ; Abschlussbeurteilung:  $p = 0,215$ ).

		IKDC Gruppengrad Erguss			
		A	B	C	D
Gruppe	<b>STG,db</b>	71% (5)	29% (2)	-	-
	<b>STG</b>	75% (9)	25% (3)	-	-
	<b>BPTB</b>	88% (7)	13% (1)	-	-

Tab. 21: IKDC Gruppengrad Erguss. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen ( $p = 0,723$ ).

		IKDC Gruppengrad passives Bewegungsdefizit			
		A	B	C	D
Gruppe	<b>STG,db</b>	86% (6)	14% (1)	-	-
	<b>STG</b>	58% (7)	33% (4)	8% (1)	-
	<b>BPTB</b>	88% (7)	13% (1)	-	-

Tab. 22: IKDC Gruppengrad passives Bewegungsdefizit. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen ( $p = 0,618$ ).

		IKDC Gruppengrad Ligamentuntersuchung			
		A	B	C	D
Gruppe	<b>STG,db</b>	29% (2)	71% (5)	-	-
	<b>STG</b>	25% (3)	58% (7)	17% (2)	-
	<b>BPTB</b>	-	50% (4)	50% (4)	-

Tab. 23: IKDC Gruppengrad Ligamentuntersuchung. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen ( $p = 0,165$ ).

		IKDC Abschlussbeurteilung			
		A	B	C	D
Gruppe	<b>STG,db</b>	29% (2)	71% (5)	-	-
	<b>STG</b>	17% (2)	58% (7)	25% (3)	-
	<b>BPTB</b>	-	50% (4)	50% (4)	-

Tab. 24: IKDC Abschlussbeurteilung. Prozentuale Verteilung und Anzahl der Patienten in den einzelnen Gruppen ( $p = 0,215$ ).

Zusammenfassend zeigten also alle Patienten ( $n = 7$ ) der STG,db-Gruppe, 75% ( $n = 9$ ) der STG-Gruppe und 50% ( $n = 4$ ) der BPTB-Gruppe einen normalen oder fast normalen Zustand des operierten Kniegelenks (Abb. 25). Der Anteil an Patienten mit normalen oder fast normalen Kniegelenken zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen ( $p = 0,077$ ).

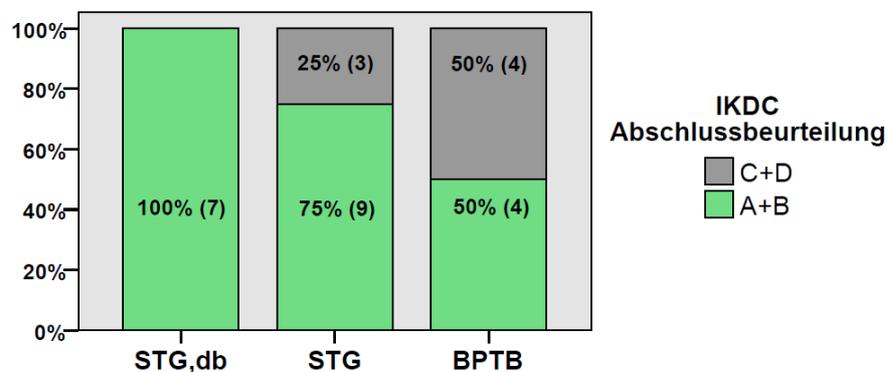


Abb. 25: IKDC Abschlussbeurteilung. Prozentuale Gewichtung und Anzahl an Patienten mit einem normalen oder fast normalen Zustand des operierten Kniegelenks (A+B) und Patienten mit einem abnormalen oder deutlich abnormalen Zustand des operierten Kniegelenks (C+D) ( $p = 0,077$ ).

## 4.4 Einflussfaktoren auf das Ergebnis

Inwieweit die von uns untersuchten Parameter die klinischen Scores beeinflusst haben ist in Tab. 25 dargestellt. Der Lachman-Test, der Pivot-Shift-Test und der KT1000™-Seitenunterschied bei 134 N zeigten mit keinem der untersuchten Parameter (postoperatives follow-up, stattgehabte Meniskus-Teilresektion, Oberschenkelatrophie, gesamter Zeitraum ohne intaktes VKB, Zeitraum zwischen erneuter Instabilität und Revisionsrekonstruktion) einen signifikanten Zusammenhang.

	Lysholm-Score	Tegner-Aktivitäts-Score	subjektiver IKDC-Score	IKDC-Abschlussbeurteilung
Alter	,713	,050 (r = -,368) <sup>a</sup>	,505	,840
BMI	,099	,361	,585	,279
follow-up	,304	,014 (r = -,450) <sup>a</sup>	,593	,062
Anzahl Operationen am betroffenen Kniegelenk	,565	,776	,983	,031 <sup>a</sup>
Operationen nach Revisionsplastik	,410	,354	,546	,001 <sup>a</sup>
stattgehabte Meniskus-Teilresektion	,895	,817	,930	,661
Oberschenkelumfangs-Differenz	,002 (r = -,557) <sup>a</sup>	,143	,012 (r = -,462) <sup>a</sup>	,013 <sup>a</sup>
Zeitraum ohne suffizientes VKB	,535	,430	,455	,906
Zeitraum erneute Instabilität - Revisionsplastik	,700	,448	,591	,932

a. statistisch signifikanter Zusammenhang

Tab. 25: Einfluss unterschiedlicher Parameter auf das Ergebnis der klinischen Scores. Angegeben ist der entsprechende p-Wert sowie bei signifikanten Ergebnissen der jeweilige Korrelationskoeffizient (r). Ein längeres follow-up sowie ein höheres Alter beeinflussten den Tegner-Aktivitäts-Score negativ. Eine stärker ausgeprägte Oberschenkelatrophie korrelierte mit einem niedrigeren Lysholm-Score, einem niedrigeren subjektivem IKDC-Score sowie einem schlechteren Ergebnis in der IKDC-Abschlussbeurteilung. Eine höhere Gesamtzahl an Operationen am ipsilateralen Kniegelenk sowie eine höhere Anzahl an Operationen nach der Revisionsplastik zeigten eine Korrelation mit einer schlechteren IKDC-Abschlussbeurteilung.

## 4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der Hauptzielkriterien

Die klinische Untersuchung zeigte bei 93% der Patienten einen negativen oder einfach positiven Lachman-Test (37% negativ, 56% 1+, 7% 2+) und bei 89% einen negativen oder einfach positiven Pivot-Shift-Test (41% negativ, 48% 1+, 11% 2+). Der durchschnittliche KT1000™-Seitenunterschied bei 134 N ergab  $2,38 \pm 2,14$  mm, bei 88% war der Seitenunterschied kleiner 5 mm. Die IKDC Abschlussbeurteilung ergab bei 74% der Patienten ein Grad A oder Grad B Knie (15% A, 59% B, 26% C). Der Tegner-Aktivitäts-Score erreichte durchschnittlich 5,2 Punkte, der subjektive IKDC-Score 78,5 Punkte und der Lysholm-Score 77,5 Punkte. Der Lysholm-Subscore Instabilität fiel mit durchschnittlich 23,4 Punkten besser aus als der Subscore Schmerz mit 20,9 Punkten.

Der Lachman-Test fiel in der STG-Gruppe signifikant besser aus als in der BPTB-Gruppe (STG: 58% negativ, 42% 1+; BPTB: 75% 1+, 25% 2+; p = 0,011). Auch die STG,db-Gruppe war mit 43%

negativen und 57% einfach positiven Testergebnissen der BPTB-Gruppe überlegen ( $p = 0,058$ ). Der Pivot-Shift-Test fiel in der STG,db-Gruppe mit 86% negativer und 14% einfach positiver Testergebnisse signifikant besser aus als in der BPTB-Gruppe (13% negativ, 58% 1+, 25% 2+;  $p = 0,014$ ) und auch deutlich besser als in der STG-Gruppe (33% negativ, 58% 1+, 8% 2+;  $p = 0,057$ ). Der durchschnittliche KT1000™-Seitenunterschied bei 134 N ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen (STG,db:  $2,52 \pm 2,45$  mm, STG:  $2,32 \pm 2,35$  mm, BPTB:  $2,33 \pm 1,85$  mm;  $p = 0,733$ ). Ein Seitenunterschied unter 5 mm wurde bei allen Patienten der STG,db-Gruppe, bei 80% der STG-Gruppe und bei 88% der BPTB-Gruppe gemessen ( $p = 0,287$ ). In der IKDC Abschlussbeurteilung konnten mit Grad A oder B alle Kniegelenke der STG,db-Gruppe, 75% der STG-Gruppe und 50% der BPTB-Gruppe beurteilt werden ( $p = 0,077$ ) (STG,db: 29% A, 71% B; STG: 17% A, 58% B, 25% C; BPTB: 50% B, 50% C;  $p = 0,215$ ).

In den klinischen Scores ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen, allerdings erreichte die STG,db-Gruppe in allen drei Scores jeweils den höchsten, die BPTB-Gruppe jeweils den niedrigsten Durchschnittswert (Lysholm-Score: STG,db: 84,1, STG: 79,9, BPTB: 68,8,  $p = 0,116$ ; subjektiver IKDC-Score: STG,db: 81,6, STG: 80,8, BPTB: 72,8,  $p = 0,331$ ; Tegner-Aktivitäts-Score: STG,db: 5,9, STG: 5,0, BPTB: 5,0,  $p = 0,247$ ). Im Lysholm-Subscore Instabilität war das Ergebnis der BPTB-Gruppe mit durchschnittlich 17,8 Punkten signifikant schlechter als das der STG,db-Gruppe (26,4 Punkte;  $p = 0,05$ ) sowie der STG-Gruppe (25,8 Punkte;  $p = 0,033$ ). Im Subscore-Schmerz ergab sich kein signifikanter Unterschied, wobei wiederum die STG,db-Gruppe den höchsten, die BPTB-Gruppe den geringsten Durchschnittswert erzielte (STG,db: 22,9; STG: 20,8; BPTB: 19,4;  $p = 0,473$ ).

Ein längeres postoperatives follow-up sowie ein höheres Alter zeigten einen signifikanten Zusammenhang mit einem schlechteren Tegner-Aktivitäts-Score ( $p = 0,014$ ,  $r = -0,450$  bzw.  $p = 0,050$ ,  $r = -0,368$ ). Eine stärker ausgeprägte Oberschenkelatrophie zeigte eine signifikante Korrelation mit einem niedrigeren Lysholm-Score ( $p = 0,002$ ,  $r = -0,557$ ), einem niedrigeren subjektiven IKDC-Score ( $p = 0,012$ ,  $r = -0,462$ ) sowie einem schlechteren Ergebnis der IKDC-Abschlussbeurteilung ( $p = 0,013$ ). Die IKDC-Abschlussbeurteilung verschlechterte sich zudem signifikant mit einer höheren Gesamtzahl an Operationen am ipsilateralen Kniegelenk ( $p = 0,031$ ) sowie einer höheren Anzahl an Operationen nach der Revisionsrekonstruktion ( $p = 0,001$ ).

## 5 Diskussion

Aufgrund der steigenden Anzahl an primären VKB-Plastiken werden VKB-Revisionsplastiken in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen [150, S.1039]. Die operative Behandlung einer erneuten Instabilität nach vorausgegangener VKB-Rekonstruktion stellt auch für den erfahrenen Kniechirurgen eine technisch anspruchsvolle Operation dar [99, S.101]. Erschwerend kommt hinzu, dass es sich hierbei meist um komplexe Fälle mit einer Vielzahl assoziierter Probleme handelt, welche das postoperative Ergebnis beeinflussen können. Neben den technischen Variablen der eigentlichen Kreuzbandrevisionsrekonstruktion, wie z.B. die Wahl des Transplantats, die Fixationsmethode sowie das Bohrkanal-Management, spielen u.a. die Integrität sekundärer Stabilisatoren, der Zustand des Gelenknorpels und der Menisken, Achsfehlstellungen, Muskelatrophien, regionale Schmerzsyndrome aufgrund multipler Voroperationen sowie eine realistische Erwartung des Patienten an das Operationsergebnis eine entscheidende Rolle [99, S.108; 146, S.1141; 223, S.148]. Die zu erwartenden Ergebnisse dürfen daher nicht mit denen von primären VKB-Rekonstruktionen gleichgesetzt werden. Von einigen Autoren wird der Revisionsersatz des VKB sogar als Rückzugsoption betrachtet [31, S.749; 71, S.423; 99, S.101].

Eine Reihe von Studien, welche sich mit den Ergebnissen nach VKB-Revisionsplastiken beschäftigen, wurden in der englisch- und deutschsprachigen Fachliteratur veröffentlicht [3; 11; 15; 31; 42; 43; 45; 54; 71; 99; 145; 146; 147; 148; 173; 197; 206; 216; 222; 238].

Aus mehreren Gründen ist die Interpretation der veröffentlichten Ergebnisse und deren Vergleich untereinander allerdings problematisch: Aufgrund zahlreicher Methoden zur primären Kreuzbandrekonstruktion sowie vielfältiger Gründe für ein mögliches Versagen handelt es sich um ein sehr heterogenes Patientenkollektiv, welches sich einer VKB-Revision unterzieht. Auch bei VKB-Revisionsrekonstruktionen gibt es kein standardisiertes Vorgehen, wodurch sich die oben genannten Studien untereinander, aber auch innerhalb des jeweilig untersuchten Patientenkollektivs erheblich hinsichtlich der Operationstechnik, der verwendeten Transplantate und mitbehandelten Begleitpathologien unterscheiden. Zudem wurden in einigen Studien sowohl Ein- als auch Zweizeitige Eingriffe eingeschlossen. Die Tatsache, dass das postoperative Ergebnis einer Revisionsrekonstruktion oft multifaktoriell ist, macht es außerdem schwierig den alleinigen Effekt der Wiederherstellung des VKB herauszufiltern.

Die einzige allgemein gültige Schlussfolgerung, welche aus den bisherigen Untersuchungen gezogen werden kann ist, dass Patienten von einer Revisionsrekonstruktion zwar sowohl unter objektiven als auch subjektiven Gesichtspunkten profitieren, die Ergebnisse einer primären VKB-Rekonstruktion allerdings meist nicht erreicht werden [50, S.204].

Angesichts der vielen unterschiedlichen Techniken und Transplantate, welche in den bisherigen Publikationen zur Anwendung kamen, scheint ein optimales Vorgehen zur VKB-Revisionsrekonstruktion noch nicht gefunden zu sein. Da sich die meisten Autoren auf die Beschreibung der Ergebnisse ihres gesamten Patientenkollektivs beschränken, sind derzeit nur wenige Studien verfügbar, welche unterschiedliche Transplantate bzw. Operationstechniken untereinander vergleichen.

Wir führten daher diese Studie durch, in welcher die Ergebnisse nach VKB-Revisionsrekonstruktionen unter Verwendung von drei unterschiedlichen Techniken verglichen wurden. Dies ist nach unserem Wissen auch die erste Studie, welche die Ergebnisse einer VKB-Revisionsrekonstruktion unter Verwendung einer Doppelbündeltechnik mit zwei femoralen und zwei tibialen Bohrkanälen sowie beidseitiger anatomischer Interferenzschrauben-Fixation beschreibt, und mit den Ergebnissen zweier Einzelbündel-Techniken vergleicht.

## **5.1 Diskussion des Materials**

Um andere Einflussfaktoren auf das postoperative Ergebnis, neben den von uns verwendeten Techniken bzw. Transplantaten, möglichst gering zu halten, wurde das Patientenkollektiv anhand strenger Ein- und Ausschlusskriterien selektiert. So wurden beispielsweise keine Patienten in die Studie eingeschlossen, bei welchen bereits mehr als eine VKB-Revisionsrekonstruktion durchgeführt wurde oder bei welchen simultan zur Indexoperation weitere Eingriffe, wie z.B. Rekonstruktionen anderer Bänder, knorpelchirurgische Eingriffe oder Umstellungsosteotomien vorgenommen wurden. Aufgrund der strengen Ein- und Ausschlusskriterien konnten von 88 Patienten, bei welchen in den Jahren 2000 - 2005 ein Revisionsersatz des VKB in unserer Klinik durchgeführt wurde, lediglich 33 Patienten in diese Studie aufgenommen werden. Diese relativ kleine Anzahl an Patienten ist dennoch vergleichbar mit anderen Studien [31; 46; 52; 54; 58; 71; 72; 99; 105; 197; 225; 227] und verdeutlicht, dass eine VKB-Revision keine Routineoperation darstellt. Von den 33 eingeschlossenen Patienten konnten letztlich 29 Patienten evaluiert werden, was einer follow-up Rate von 88% entspricht, und mit aktuellen Studien übereinstimmt [15; 27; 42; 43; 54; 71; 114; 173].

Der Vorteil unserer konsequenten Patientenselektion war, dass drei Patientengruppen gebildet werden konnten, welche in sich jeweils sehr homogen waren. Alle Patienten der jeweiligen Gruppe wurden mit einer identischen Operationstechnik unter Verwendung derselben Transplantate und Fixationsmethoden in einem einzeitigen Vorgehen versorgt. Hierdurch unterscheidet sich unser Patientenkollektiv von vielen Studien, bei welchen eine Vielzahl an verschiedenen Operationsmethoden, Transplantaten und Fixationsmethoden verwendet wurden und sowohl einzeitige als auch zweizeitige Operationen eingeschlossen wurden. Auch im Rahmen der primären VKB-Rekonstruktion wurde bei allen Patienten einer jeweiligen Gruppe dasselbe Transplantat verwendet. Weiterhin befanden sich in unserem Patientenkollektiv ausschließlich Patienten, bei welchen die Hauptbeschwerde im Vorfeld der Revisionsoperation eine Instabilität des Kniegelenks war, und nicht zusätzlich Patienten, deren Hauptbeschwerde eine Bewegungseinschränkung war. Patienten mit einer limitierten Bewegung sind oft leichter zu therapieren und müssen nicht unbedingt mit einer erneuten VKB-Rekonstruktion versorgt werden [115, S.864]. Diese Patientengruppe sollte daher unserer Meinung nach getrennt betrachtet werden.

Die drei von uns untersuchten Patientengruppen zeigten keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Alters, des BMI sowie der Zeitspanne zwischen der primären Rekonstruktion und der Revisionsoperation. Auch bezüglich der Gesamtzahl an Operationen am ipsilateralen Kniegelenk, der

Anzahl an Operationen nach der Revisionsrekonstruktion, der Anzahl an Patienten mit stattgehabter Meniskusteilresektion sowie der Zeitspanne zwischen erneuter Instabilität und Revisionsrekonstruktion ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

Die statistische Untersuchung ergab allerdings ein signifikant kürzeres postoperatives follow-up der STG,db-Gruppe (39 Monate) gegenüber der STG- und BPTB-Gruppe (71 bzw. 62 Monate), was durch die im Vergleich zur Einzelbündeltechnik noch relativ „junge“ Technik der Doppelbündelrekonstruktion begründet ist. Ein kürzeres follow-up korrelierte in unserer Untersuchung lediglich signifikant mit einem höheren Tegner-Aktivitäts-Score ( $p = 0,014$ ,  $r = -0,450$ ), alle anderen Hauptzielkriterien zeigten keinen signifikanten Zusammenhang. Der potentielle Einfluss des kürzeren postoperativen follow-up auf das Ergebnis der STG,db-Gruppe wird unter 5.3.1 ausführlich diskutiert. Angesichts eines durchschnittlichen follow-up von 60 Monaten können in dieser Studie aber dennoch die Ergebnisse nach einer vergleichbar langen postoperativen Zeitspanne präsentiert werden.

Nur 35% unserer Studienpatienten unterzogen sich bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung lediglich der VKB-Rekonstruktion und der VKB-Revisionsrekonstruktion. Bei der Mehrzahl der Patienten wurde mindestens ein weiterer Eingriff am ipsilateralen Kniegelenk durchgeführt, wobei 41% der Patienten mindestens zwei zusätzliche Operationen aufwiesen. Insgesamt 24% der Patienten mussten sich nach der Revisionsoperation mindestens einer weiteren Operation am ipsilateralen Kniegelenk unterziehen. Dieser Umstand muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden, da multiple Operationen u.a. durch Vernarbungen, regionale Schmerzsyndrome, längere Inaktivitätsphasen und unrealistische Erwartungen des Patienten das Gesamtergebnis potentiell negativ beeinflussen können [42, S.1898; 54, S.793; 200, S.1707; 216, S.1650]. In unserem Patientenkollektiv ergab sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen einer höheren Gesamtzahl an Operationen am ipsilateralen Kniegelenk sowie einer höheren Anzahl an Operationen nach der Revisionsrekonstruktion mit einem schlechteren Ergebnis in der IKDC-Abschlussbeurteilung. Auf die subjektiven Scores konnte kein signifikanter Einfluss gezeigt werden, was bei unserem kleinen Patientenkollektiv allerdings nur bedingt aussagekräftig ist. So war der Anteil an „guten“ oder „sehr guten“ Ergebnis im Lysholm-Score bei Patienten mit vier oder mehr Operation am ipsilateralen Kniegelenk um 20% geringer als bei Patienten mit nur zwei oder drei Operationen (33% vs. 53% „gute“ oder „sehr gute“ Ergebnisse). Auch berücksichtigt werden muss der Umstand, dass bei 55% der Patienten eine Meniskus-Teilresektion am ipsilateralen Kniegelenk durchgeführt wurde, und diese Patienten somit einem erhöhten Risiko sowohl für eine Knieinstabilität aufgrund der Beeinträchtigung eines sekundären Stabilisators [216, S.1650], als auch für die Entwicklung oder das Fortschreiten von degenerativen Veränderungen des Gelenkknorpels [43, S.858; 49, S.664-667; 127, S.151-152] ausgesetzt waren. In unserem Patientenkollektiv zeigten Patienten ohne eine stattgehabte Meniskus-Teilresektion im Vergleich zu Patienten mit Meniskus-Teilresektion einen höheren Anteil an negativen Ergebnissen im Lachman-Test (50% vs. 27%), einen höheren Anteil an Patienten mit einem negativen oder einfach positivem Pivot-Shift-Test (100% vs. 75%) und einen geringeren durchschnittlichen KT1000™-Seitenunterschied bei 134 N (1,94 mm vs. 2,73 mm). In Bezug auf Schmerzen, welche als Hinweis auf degenerative Knorpelveränderungen hinweisen können, zeigten sich ebenfalls geringe Unterschiede, so lag der durchschnittliche Lysholm-Subscore Schmerz bei Patienten ohne Meniskus-Teilresektion bei 22 Punkten im Vergleich zu 20 Punkten bei Patienten mit Meniskus-Teilresektion.

Für keine der untersuchten Zielgrößen konnte allerdings in der Korrelationsanalyse das geforderte Signifikanzniveau erreicht werden.

Der Großteil der Patienten, von welchen der genaue Zeitpunkt zwischen erneuter Instabilität und Revisionsrekonstruktion zu ermitteln war, unterzog sich der erneuten Rekonstruktion des VKB erst mehr als drei Monate nach der erneuten Instabilität. Von den fünf Patienten, bei welchen dieser Zeitpunkt nicht zu ermitteln war, gaben alle Patienten an, nach der primären VKB-Rekonstruktion nie ein stabiles Kniegelenk gehabt zu haben. Daher muss bei den meisten Patienten dieser Studie von längeren Instabilitätsperioden ausgegangen werden, welche eventuell Meniskusschäden, Knorpelläsionen und Überlastungen sekundärer Stabilisatoren nach sich gezogen haben können [15, S.2064; 43, S.858; 146, S.1142; 151, S.1053; 173, S.1610; 181, S.158] und als Folge dessen zu einem schlechteren Ergebnis auch nach erfolgreicher Operation geführt haben können. Auch die Bestimmung des gesamten Zeitraums in welchem die Patienten ohne ein intaktes VKB lebten unterstreicht mit durchschnittlich 16 Monaten die Gefahr für oben beschriebene Sekundärschäden auf Grund eines instabilen Kniegelenks. Obwohl für die Zeitspanne zwischen erneuter Instabilität und Revisionsrekonstruktion sowie für die gesamte Zeit ohne suffizientes VKB in unserer Untersuchung kein signifikanter Einfluss auf die Hauptzielkriterien nachgewiesen werden konnte, zeigen sich bei genauer Betrachtung der Daten dennoch einige Auffälligkeiten: Patienten welche sich innerhalb von zwölf Monaten nach erneuter Instabilität der Revisionsrekonstruktion unterzogen zeigten im Vergleich zu Patienten bei welchen die Operation erst nach zwölf Monaten durchgeführt wurde einen höheren Lysholm-Score (77,3 vs. 71,6 Punkte), einen höheren Tegner-Aktivitäts-Score (5,4 vs. 4,4 Punkte), einen höheren subjektiven IKDC-Score (78,9 vs. 71,0 Punkte), einen niedrigeren KT1000<sup>TM</sup>-Seitenunterschied (2,14 vs. 4,75 mm) sowie einen höheren Anteil an negativen Ergebnissen im Lachman-Test (37 vs. 0 %). Auffällig war weiterhin, dass Patienten mit einem „guten“ oder „sehr guten“ Ergebnis im Lysholm-Score eine durchschnittliche Zeitspanne ohne intaktes VKB von 11 Monaten aufwiesen, verglichen mit durchschnittlich 20 Monaten bei Patienten mit einem „mäßigen“ oder „schlechten“ Ergebnis.

In der verfügbaren Literatur werden oftmals technische Fehler im Rahmen der primären VKB-Rekonstruktion als die häufigste Ursache für das Versagen einer Kreuzbandplastik genannt [27, S.128; 42, S.1897; 99, S.102; 206, S.94; 218, S.181]. In unserem Patientenkollektiv war allerdings eine Reruptur nach einem Trauma beim Sport oder bei alltäglichen Aktivitäten mit 72% die häufigste Ursache, was aber auch in anderen Untersuchungen die häufigste Versagensursache darstellte [71, S.419; 114, S.274; 146, S.1132; 148, S.1834; 151, S.1052; 173, S.1608; 228, S.1982]. Da in unserer Untersuchung ausschließlich einzeitig durchgeführte Revisionsrekonstruktionen eingeschlossen wurden und letztlich nur 29 Patienten von 88 Revisionsrekonstruktionen untersucht wurden, besteht durchaus die Möglichkeit, dass sich bei der Analyse aller Patienten eine andere Verteilung bezüglich der Versagensursache ergeben würde.

Für die Revisionsoperationen wurden lediglich ipsilaterale, autologe BPTB- und Hamstring-Transplantate verwendet, welche bei primären VKB-Rekonstruktionen heute als Standardtransplantate gelten [57, S.125; 176, S.304]. Potentielle Nachteile von Allografts oder erneut entnommenen BPTB-Transplantaten konnten somit ausgeschlossen werden. Die Fixation von BPTB-Transplantaten erfolgte mit Interferenzschrauben, was derzeit als weit verbreiteter Standard gilt [18,

S.765; 132, S.687]. In der STG-Gruppe erfolgte die femorale Fixation mit der TransFix®-Technik, einem transfemorale Fixationssystem, tibial wurde das Transplantat anatomisch und direkt mit Interferenzschrauben fixiert. Mit der Doppelbündelrekonstruktion untersuchten wir zudem eine anatomische Technik, welche sich in biomechanischen Untersuchungen gegenüber einer Einzelbündelrekonstruktion als vorteilhaft erwies [230; 231]. Die von uns verwendete Technik der Doppelbündelrekonstruktion beinhaltet neben der anatomischen Rekonstruktion der beiden funktionellen Bündel auch eine direkte und anatomische Fixation mit Interferenzschrauben beider Transplantate. Eine potentielle Schwäche dieser Studie besteht somit in den unterschiedlichen Systemen für die femorale Transplantatfixation. Der eventuelle Einfluss der verschiedenen Fixationsmethoden auf das Ergebnis wird in 5.3.1 diskutiert.

Auch für Revisionsrekonstruktionen gibt es verschiedene Konzepte mit dem Ziel einer Doppelbündelrekonstruktion. Brucker et al. [22] haben eine Technik beschrieben, welche bei Patienten mit persistierender Instabilität trotz intaktem VKB-Transplantat nach Einzelbündelrekonstruktion und ohne Hinweise auf technische Fehler zur Anwendung kam: Bei dieser Befundkonstellation wurde das VKB-Transplantat belassen und zusätzlich ein posterolaterales Bündel aus einer allogenen Sehne des Musculus tibialis anterior rekonstruiert [22, S.146-149]. Eine ähnliche Technik wurde von Brophy et al. [20] beschrieben: Bei Patienten mit einem relativ vertikal eingebautem Transplantat und daraus resultierender Rotationsinstabilität wurde das nicht anatomisch positionierte Transplantat belassen und ein zweites Bündel eingesetzt, welches femoral am Ursprung des posterolateralen Bündels und tibial am Ursprung des anteromedialen Bündels lokalisiert war [20, S.683.e2-683e3]. Auch wenn diese beiden Techniken mit dem Ziel einer Doppelbündelaugmentation bei Patienten mit der entsprechenden Indikation alternative Operationsmethoden darstellen, eignen sie sich nicht bei Patienten mit Transplantatrupturen, welche in unserer und anderen Studien den Hauptanteil des Patientenkollektivs ausmachten. Zudem sollte unserer Meinung nach ein nicht anatomisch platziertes Transplantat im Zweifelsfall eher reseziert als augmentiert werden, da sonst eine nichtanatomische Doppelbündelrekonstruktion mit entsprechend veränderter Kinematik des Kniegelenks resultiert [233, S.249; 236, S.682].

Neben Augmentationsverfahren werden in der Literatur auch Doppelbündelrekonstruktionen bei rupturierten oder resezierten Transplantaten beschrieben: Zantop und Petersen [238] stellten eine Methode mit zwei femoralen und einem tibialen Bohrkanal vor. Sie verwendeten autologe Semitendinosus-Transplantate welche femoral mit Fixations-Buttons und tibial mit einer Hybridfixation befestigt wurden [238, S.1288-1289]. Shaver und Johnson [181] stellten eine Technik mit zwei femoralen und zwei tibialen Bohrkanälen vor. Als bevorzugtes Transplantat wurde von den Autoren ein allogenes Achillessehnen-Transplantat mit anhängendem Knochenblock verwendet [181, S.160]. Muneta et al. [139] beschrieben eine Technik, bei welcher die Revisionsrekonstruktion mit zwei femoralen und zwei tibialen Bohrkanälen und autologen Semitendinosus-Transplantaten durchgeführt wurde. Die Fixation der Transplantate erfolgte femoral mit Fixations-Buttons und tibial mit Krampfen [139, S.771-773].

Die von uns verwendete Technik der Doppelbündelrekonstruktion, welche für Primäroperation von unserer Abteilung bereits detailliert beschrieben wurde [21; 125], unterscheidet sich von den oben genannten Methoden in einigen wesentlichen Punkten: Wir verwendeten bei allen Patienten eine Technik mit zwei femoralen und zwei tibialen Bohrkanälen, was hinsichtlich Stabilität und Kinematik

einer Technik mit nur einem tibialen Tunnel überlegen zu sein scheint [155, S.231-233; 233, S.248-249]. Des Weiteren benutzten wir nur autologe Hamstring-Transplantate welche mit Interferenzschrauben sowohl tibial als auch femoral direkt und anatomisch fixiert wurden. Indirekte und gelenkferne Fixationsmethoden sowie allogene Transplantate wurden nicht verwendet. Nach unserem Wissen ist dies die erste Studie, welche über Ergebnisse nach Revisionsoperationen unter Verwendung dieser Operationstechnik berichtet.

Ein Kritikpunkt an den von uns verwendeten OP-Techniken stellt aus heutiger Sicht das Vorgehen zur Anlage des femoralen Bohrkanals dar. Bei beiden Einzelbündeltechniken wurde dieser transtibial, d.h. durch den zuvor platzierten tibialen Bohrkanal angelegt. Auch bei der verwendeten Doppelbündeltechnik erfolgte die Anlage des Kanals für das anteromediale Bündel transtibial. Mehrere Untersuchungen konnten zeigen, dass bei dieser Technik die Gefahr einer nichtanatomischen, zu vertikalen Platzierung des Bohrkanals in der Notch zwischen 11 und 12 Uhr bei rechten Kniegelenken (entsprechend 12 und 1 Uhr bei linken Kniegelenken, sog. „High-noon-Position“), besteht [9; 62; 68; 80]. Diese Bohrkanallokalisierung führt zu einem sehr vertikal verlaufenden Transplantat nahe der Rotationsachse des Kniegelenks, womit zwar die Stabilität in sagittaler Richtung wieder hergestellt werden kann, die Rotationsstabilität allerdings nicht gewährleistet werden kann [187, S.157]. In biomechanischen Untersuchungen wurde gezeigt, dass eine mehr horizontale Bohrkanalplatzierung (nahe der 10-Uhr-Position für rechte Kniegelenke), im Bereich der nativen Insertion des VKB, zu einer besseren Wiederherstellung der Kniekinematik, insbesondere der Rotationsstabilität führte [122; 142; 177]. Um eine anatomische Bohrkanallokalisierung zu gewährleisten, erfolgt in unserer Klinik daher die Anlage des femoralen Bohrkanals (bzw. beider femoralen Kanäle) mittlerweile bei allen VKB-Rekonstruktionen über ein anteromediales Arbeitsportal, wie von verschiedenen Autoren vorgeschlagen [76; 157]. Mit dieser Technik kann sowohl der tibiale, als auch der femorale Bohrkanal unabhängig voneinander in der bevorzugten anatomischen Insertionsstelle platziert werden [76, S.113; 124, S.211; 187, S.158].

Alle Patienten unserer Studie wurden in einem einzeitigen Vorgehen, ohne vorherige Auffüllung der alten Bohrkanäle versorgt. Es lässt sich daher nicht völlig ausschließen, dass bei einigen Patienten ein Kompromiss zwischen nicht gänzlich korrekt angelegten Bohrkanälen und der Gefahr von großen Knochendefekten bei der Anlage eines neuen Kanals eingegangen wurde. Eventuell wurde zugunsten eines einzeitigen Eingriffs ein nicht optimal positionierter Bohrkanal akzeptiert. Da der Lage der Bohrkanäle eine entscheidende Rolle beim VKB-Ersatz zukommt, bietet ein zweizeitiges Vorgehen mit vorheriger Auffüllung der Bohrkanäle daher den Vorteil, dass die Anlage der Bohrkanäle prinzipiell wie bei einem primären VKB-Ersatz in einem qualitativ guten Knochen erfolgen kann, ohne dass hinsichtlich einer anatomischen Bohrkanallokalisierung Kompromisse eingegangen werden müssen [200, S.1708; 211, S.146]. Es ist daher möglich, dass unter Verwendung eines zweizeitigen Vorgehens unsere Ergebnisse eventuell anders ausgefallen wären.

Neben den oben erwähnten Vorteilen eines zweizeitigen Vorgehens muss aber auch betont werden, dass sich durch die Notwendigkeit einer zweiten Operation, einer längeren Rehabilitation und Arbeitsunfähigkeit sowie einer längeren Instabilität für den Patienten auch erhebliche Nachteile ergeben [131, S.716; 200, S.1708], welche sich letztlich negativ auf das Ergebnis auswirken können.

Die Notwendigkeit eines zweizeitigen Vorgehens sollte daher für jeden Patient individuell festgelegt werden.

## 5.2 Diskussion der Methode

Zur Beschreibung der Ergebnisse haben wir sowohl subjektive als auch objektive Parameter verwendet. Mit dem Lysholm-Score, den Formblättern des IKDC und dem Tegner-Aktivitäts-Score wurden international weit verbreitete Evaluationsverfahren [100, S.52] als Hauptzielkriterien eingesetzt. Alle Scores wurden nach einem standardisierten Vorgehen erhoben, wodurch ein Vergleich der Ergebnisse zwischen Patienten innerhalb dieser Studie und mit Ergebnissen aus anderen Studien möglich ist. Als weitere Hauptzielkriterien wurden der Pivot-Shift-Test sowie der Lachman-Test verwendet, da beide über eine hohe Sensitivität und Spezifität bezüglich der Funktionalität des VKB verfügen [106, S.89; 168, S.554]. Da beide Tests subjektiv durch den Untersucher beurteilt werden, wurde zusätzlich die Stabilitätsmessung mit dem KT1000™ Knee Ligament Arthrometer® bei 134 N Zugkraft als objektives Testverfahren zu den Hauptzielkriterien hinzugezogen.

Der Lysholm-Score, das IKDC Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies sowie der Tegner-Aktivitäts-Score wurden selbstständig vom Patient ausgefüllt, sodass keine Beeinflussung durch den Untersucher möglich war. Die klinische Untersuchung wurde bei allen Patienten von den selben zwei Untersuchern, einem erfahrenen Assistenzarzt unserer Abteilung sowie dem Doktoranden, in einem standardisierten Ablauf durchgeführt, wobei der Assistenzarzt im Vorfeld der Untersuchung nicht wusste, welcher Gruppe der Patient angehört. Somit wurde ein gewisses Maß an Verblindung für die klinische Untersuchung erreicht. Da beide Untersucher nicht an der Operation beteiligt waren, konnte eine Verzerrung der Untersuchungsergebnisse minimiert werden.

Schwächen dieser Studie ergeben sich durch den retrospektiven Studienaufbau sowie die fehlende Randomisierung des Patientenkollektivs, wodurch die Vergleichbarkeit der drei Untersuchungsgruppen eingeschränkt ist. Die geringe Fallzahl lässt zudem nur bedingt eine statistische Aussage zu. An dieser Stelle sei noch einmal auf den Pilotcharakter dieser Studie hingewiesen. Da in der gängigen Literatur vergleichende Studien zum Thema „Ergebnisse nach Revisionsersatz des VKB“ rar sind, und bisher noch keine Studie die Ergebnisse nach Revisionsersatz des VKB in Einzelbündeltechnik mit Ergebnissen unter Verwendung einer anatomischen Doppelbündeltechnik mit Interferenzschrauben-Fixation vergleicht, sollte in dieser Studie erstmals untersucht werden, ob die Vorteile einer anatomischen Doppelbündelrekonstruktion trotz der zahlreichen Einflussfaktoren auch bei Revisionseingriffen nachweisbar sind.

## 5.3 Diskussion der Ergebnisse

### 5.3.1 Diskussion der eigenen Ergebnisse

Die Stabilität des Kniegelenks stellt das wichtigste objektive Kriterium nach einer VKB-Ersatzplastik dar. Angesichts 93% negativer oder einfach positiver Ergebnisse im Lachman-Test, 89% negativer oder einfach positiver Ergebnisse im Pivot-Shift-Test sowie einem durchschnittlichen KT1000™-Seitenunterschied bei 134 N von 2,38 mm, kann die große Mehrzahl der untersuchten Kniegelenke als stabil bewertet werden. Den positiven objektiven Resultaten stehen die Ergebnisse der subjektiven Scores gegenüber, welche insgesamt nur als mäßig betrachtet werden können (Lysholm-Score: Ø 77,5 Punkte; subjektiver IKDC-Score Ø 78,5 Punkte; Tegner-Aktivitäts-Score Ø 5,2 Punkte). Beispielsweise erreichten lediglich 45% aller Patienten im Lysholm-Score 84 oder mehr Punkte und somit den Bewertungsrichtlinien entsprechend ein „sehr gutes“ oder „gutes“ Ergebnis.

Beim Vergleich der drei Patientengruppen fiel das Ergebnis des Lachman-Test in der STG-Gruppe (58% negativ, 42% 1+) signifikant besser aus als in der BPTB-Gruppe (75% 1+, 25% 2+;  $p = 0,011$ ). Auch das Ergebnis der STG,db-Gruppe (43% negativ, 57% 1+) war dem der BPTB-Gruppe deutlich überlegen ( $p = 0,058$ ). Die Messergebnisse mit dem KT1000™ ergaben bei 134 N keinen signifikanten Unterschied zwischen den Untersuchungsgruppen ( $p = 0,733$ ). Am besten fiel das Ergebnis in der STG,db-Gruppe aus, in welcher alle Patienten einen Seitenunterschied unter 5 mm zeigten (STG: 80%, BPTB: 88%).

Die Ergebnisse der instrumentell ermittelten anterioren Translation stimmen somit nicht mit denen des Lachman-Tests überein, was auch in anderen Untersuchungen beobachtet wurde [70, S.96-97; 205, S.543]. Unsere Erfahrung war, dass während des Lachman-Tests eher eine komplette Entspannung des zu untersuchenden Beins erreicht werden konnte als während der instrumentellen Messung, bei der die Patienten oftmals die Muskulatur nicht vollständig entspannen konnten. Auf die Beeinflussung der Messergebnisse durch einen erhöhten Muskeltonus, welcher bei ängstlichen Patienten und bei Patienten mit persistierender Instabilität im Sinne eines Apprehensions beobachtet werden kann, wird von mehreren Autoren hingewiesen [53, S.847; 184, S.612; 229, S.399]. Die Unterschiede der Testergebnisse führen wir daher auf einen unterschiedlichen Muskeltonus während der beiden Untersuchungen zurück.

Der Pivot-Shift-Test fiel in der STG,db-Gruppe bis auf ein einfach positives Ergebnis bei allen Patienten negativ aus (86% negativ, 14% 1+). Die Testergebnisse waren damit signifikant besser als die der BPTB-Gruppe (13% negativ, 63% 1+, 25% 2+;  $p = 0,014$ ) und auch deutlich besser als die Resultate der STG-Gruppe (33% negativ, 58% 1+, 8% 2+;  $p = 0,057$ ). Auch die Bewertung der Stabilität nach den Kriterien von Noyes und Barber-Westin [145, S.118] ergab das beste Ergebnis für die STG,db-Gruppe, in welcher keine Revisionsrekonstruktion als fehlgeschlagen beurteilt werden musste, verglichen mit 17% der STG-Gruppe und 38% der BPTB-Gruppe ( $p = 0,222$ ). In der Abschlussbeurteilung des IKDC Formblatt zur Untersuchung des Knies erzielte die STG,db-Gruppe ebenfalls die tendenziell besten Ergebnissen: Alle Kniegelenke konnten als „normal“ oder „fast

normal“ beurteilt werden, wohingegen 25% der STG-Gruppe und 50% der BPTB-Gruppe als „abnormal“ oder „deutlich abnormal“ eingestuft werden mussten ( $p = 0,077$ ).

Hinsichtlich der Stabilität des Kniegelenks kann somit zusammenfassend festgehalten werden, dass die STG,db-Gruppe vor allem hinsichtlich der Rotationsstabilität, aber auch in der Gesamtbeurteilung gegenüber den beiden anderen Gruppen klare Vorteile zeigte, die BPTB-Gruppe dagegen die tendenziell schlechtesten Ergebnisse erzielte.

Die Ergebnisse der klinischen Untersuchung spiegelten sich auch in den subjektiven Scores wieder: In allen drei Scores erreichte die STG,db-Gruppe den höchsten Durchschnittswert, wenngleich die Unterschiede zwischen den Gruppen statistisch nicht signifikant waren (Lysholm-Score: STG,db: 84,1, STG: 79,9, BPTB: 68,8,  $p = 0,116$ ; subjektiver IKDC-Score: STG,db: 81,6, STG: 80,8, BPTB: 72,8,  $p = 0,331$ ; Tegner-Aktivitäts-Score: STG,db: 5,9, STG: 5,0, BPTB: 5,0,  $p = 0,247$ ). Die STG,db-Gruppe war zudem die einzige Gruppe, in welcher der durchschnittliche Lysholm-Score mit „gut“ (84,1 Punkte) bewertet werden konnte. Die BPTB-Gruppe erzielte in allen drei Scores wiederum die tendenziell schlechtesten Werte.

Die Überlegenheit der STG,db-Gruppe gegenüber den beiden anderen Gruppen führen wir in erster Linie auf die von uns verwendete Technik der Doppelbündelrekonstruktion zurück, mit welcher eine „anatomischere“ Rekonstruktion des VKB möglich ist als mit einer Einzelbündeltechnik.

Bei kritischer Betrachtung der Ergebnisse nach konventioneller Einzelbündelrekonstruktion zeigt sich, dass 20-40% der Patienten nicht mit dem Ergebnis zufrieden sind und bei bis zu 90% der Patienten nach 7 Jahren frühzeitige arthrotische Gelenkveränderungen nachweisbar sind [137, S.62; 160, S.1175; 183, S.20]. Eine mögliche Erklärung für diese unbefriedigenden Ergebnisse ist, dass mit einer Einzelbündelrekonstruktion die komplexe Anatomie und somit auch die Funktion des VKB nur unzureichend wiederhergestellt werden kann [232, S.1825; 242, S.99]. Das native VKB besteht aus zwei funktionellen Bündeln, dem anteromedialen sowie dem posterolateralen Bündel, welche ein reziprokes Spannungsverhalten aufweisen und sich somit in unterschiedlichen Stellungen an der Stabilisierung des Kniegelenks beteiligen [8, S.20; 67, S.230; 191, S.389; 239, S.983]. Die Hauptfunktion des anteromedialen Bündels ist in erster Linie die Stabilisierung des Kniegelenks gegen eine anteriore Translation der Tibia in Flexion, das posterolaterale Bündel nimmt neben der Stabilisierung in sagittaler Richtung in Extension zudem noch eine entscheidende Rolle bei der Rotationssicherung ein [171, S.288-289; 237, S.225-226]. In biomechanischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass mit konventionellen Rekonstruktionstechniken, mit welchen vorwiegend das anteromediale Bündel rekonstruiert wurde, eine Rotationsstabilität des Kniegelenks nur unzureichend wiederhergestellt werden konnte [224, S.913; 231, S.665]. Auch in verschiedene Bewegungsanalysen „in vivo“ konnten persistierende pathologische Rotationsbewegungen nach Einzelbündelrekonstruktion nachgewiesen werden [163, S.363; 164, S.1327; 198, S. 979-980]. Diese Untersuchungen zeigen, dass mit einer Einzelbündelrekonstruktion die Funktion des nativen VKB nur unzureichend wiederhergestellt werden kann. Die daraus resultierende pathologische Kinematik des Kniegelenks führt weiterhin zu einer unphysiologischen Belastung des Gelenkknorpels, was dessen frühzeitige Degeneration und letztlich die Entwicklung einer Arthrose begünstigen kann [137, S.63; 164, S.1328; 198, S.981]. Um diesen Problemen entgegenzuwirken wurde die Technik der Doppelbündelrekonstruktion entwickelt, mit welcher beide funktionellen Bündel des VKB

wiederhergestellt werden können. Daneben bietet die Doppelbündeltechnik den Vorteil, dass die breitflächige tibiale und femorale Insertionsfläche, welche beim nativen VKB mehr als 3,5 mal größer ist als der mittlere Anteil des Bandes [74, S.743-744], durch die Anlage von jeweils zwei Bohrkanälen pro Insertionszone exakter als mit nur einem Bohrkanal reproduziert werden kann [185, S.143; 242, S.100-101]. Experimentelle Untersuchungen an Kadaverkniegelenken konnten zeigen, dass mit einer anatomischen Doppelbündelrekonstruktion eine bessere anteriore Stabilität, aber vor allem auch eine bessere Rotationsstabilität gegenüber einer Einzelbündelrekonstruktion erzielt werden kann [129, S.713; 231, S.665; 232, S.1831]. Auch in unserer Studie war die Wiederherstellung der Rotationsstabilität, welche mit dem Pivot-Shift-Test erfasst wurde, mit der Doppelbündelrekonstruktion deutlich effektiver als mit einer Einzelbündelrekonstruktion. Auch bezüglich der anterioren Stabilitätssicherung konnten wir Vorteile für die STG,db-Gruppe feststellen, in welcher alle Patienten einen KT1000™-Seitenunterschied bei 134 N von unter 5 mm zeigten. Zwar wurde in beiden unserer Einzelbündeltechniken versucht, den femoralen und tibialen Bohrkanal so anatomisch wie möglich anzulegen, das reziproke Spannungsverhalten sowie die breitflächigen Insertionszonen des nativen VKB kann allerdings auch mit einer Einzelbündelrekonstruktion nicht wiederhergestellt werden [164, S.1328; 240, S.103]. Auch in verschiedenen Level I und II Studien, in welchen Doppelbündel- mit Einzelbündelrekonstruktionen bei primären VKB-Rekonstruktionen verglichen wurden, zeigte die Doppelbündelrekonstruktion signifikant bessere Ergebnisse im Pivot-Shift-Test [96, S.294; 113, S.1683; 140, S.623; 185, S.141; 230, S.106; 233, S.248], sowie signifikant bessere Ergebnisse bezüglich der anterioren Stabilität [2, S.32; 113, S.1683; 140, S.623; 233, S.248]. Aglietti et al. [2, S.32] und Siebold et al. [185, S.144] konnten zudem ein signifikant besseres Ergebnis in der Abschlussbeurteilung des IKDC Formblatt zur Untersuchung des Knies für die Doppelbündelrekonstruktion nachweisen. Auch in unserer Untersuchung war die STG,db-Gruppe mit ausschließlich „normalen“ oder „fast normalen“ Kniegelenken in der IKDC-Abschlussbeurteilung den beiden Einzelbündel-Gruppen überlegen. Eine weitere interessante Beobachtung wurde in einer Untersuchung von Järvelä et al. [96] gemacht: Bei ihren Patienten mit Doppelbündelrekonstruktion kam es zu signifikant weniger Transplantatversagern durch ein erneutes Trauma im Vergleich zu ihren Patienten mit Einzelbündelrekonstruktion [96, S.295]. Diese Beobachtung erlaubt den Rückschluss, dass die Lastumverteilung auf zwei Transplantate sowie die verbesserte Rotationsstabilität vor einer erneuten VKB-Verletzung schützen [96, S.296; 113, S.1685].

Für die Doppelbündeltechnik werden des Weiteren auch biologische Vorteile diskutiert: Durch die Anlage von jeweils zwei Bohrkanälen pro Insertionsfläche und die Verwendung von zwei dünneren Transplantaten wird die Kontaktfläche zwischen Knochen und Sehne erhöht, was in einem schnelleren Einheilen, einer rascheren Revaskularisation sowie einer qualitativ hochwertigeren Verankerung der Sehnen im Knochen resultieren soll [113, S.1686; 129, S.713; 233, S.249]. Diese biologischen Vorteile könnten ebenfalls für die höhere Stabilität der Doppelbündelrekonstruktion in unserer Untersuchung und den oben genannten Studien mitverantwortlich sein [140, S.626; 141, S.256; 233, S.249].

Trotz der verbesserten postoperativen Stabilität nach Doppelbündelrekonstruktion konnte bisher in keiner der erwähnten Studien ein signifikanter Unterschied bezüglich der subjektiven Scores festgestellt werden. In einigen Studien konnte allerdings, den Ergebnissen unserer Untersuchung entsprechend, ein Trend zugunsten der Doppelbündelrekonstruktion aufgezeigt werden [2, S.31; 113,

S.1682]. Durch die verbesserte Stabilität und Kinematik des Kniegelenks nach einer Doppelbündelrekonstruktion sollte es theoretisch zu einer signifikant geringeren Arthroseentwicklung bzw. –progression im Langzeitverlauf kommen [96, S.297]. Diese Annahme wird durch eine Untersuchung von Morimoto et al. [137] unterstützt: Die Autoren konnten zeigen, dass die tibio-femorale Kontaktflächen und –kräfte unter Verwendung einer Doppelbündelrekonstruktion nahezu denen eines normalen Kniegelenks entsprachen, wohingegen es unter Verwendung einer Einzelbündelrekonstruktion zu einer signifikanten Abnahme der tibio-femorale Kontaktflächen und einer signifikanten Zunahme der Kontaktkräfte kam [137, S.66]. Bei den momentan verfügbaren klinischen Studien zu VKB-Doppelbündelrekonstruktionen handelt es sich lediglich um Kurzeitergebnisse, sodass derzeit nur spekuliert werden kann, dass durch eine geringere Arthroseprogression auch die subjektiven Scores im Langzeitverlauf einen signifikanten Unterschied zugunsten der Doppelbündelrekonstruktion zeigen werden. Langzeituntersuchungen sind notwendig um diese Frage weiter zu klären [24, S.1004; 137, S.68].

Als weiterer Einflussfaktor neben den operationstechnischen Vorteilen muss auch das signifikant kürzere follow-up der STG,db-Gruppe gegenüber der STG- und BPTB-Gruppe diskutiert werden. Es besteht durchaus die Möglichkeit, dass durch den allgemeinen Alterungsprozess, verbunden mit degenerativen Gelenkveränderungen, die Ergebnisse der STG,db-Gruppe nach einem längeren follow-up schlechter ausgefallen wären als zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Angesichts der Tatsache, dass in Untersuchungen 7-10 Jahre nach VKB-Rekonstruktion lediglich über geringe radiologisch nachweisbare Arthroseraten berichtet wurde [77, S.1487; 159, S.572; 165, S.1342] und es nach einer Doppelbündelrekonstruktion theoretisch zu einer deutlich geringeren Arthroseentwicklung kommen sollte [96, S.297], erscheint hier die Differenz des durchschnittlichen follow-up von 23 bzw. 32 Monaten sehr gering. Neben einer Verschlechterung besteht aber auch die Möglichkeit, dass die Ergebnisse der STG,db-Gruppe nach einem längeren follow-up noch besser gewesen wären: In verschiedenen Studien konnte nachgewiesen werden, dass nach VKB-Rekonstruktionen mit Hamstring-Transplantaten es nach einiger Zeit (1–5 Jahre) zu einer signifikanten Zunahme der Stabilität kam [158, S.534; 165, S.1344]. Als ursächlich für dieses Phänomen werden die Remodellierung des Transplantats sowie das Vorhandensein von Myofibroblasten in Hamstring-Sehnen vermutet [158, S.534; 165, S.1344]. Nach VKB-Rekonstruktionen mit BPTB-Transplantaten wurde interessanterweise in derselben Zeitspanne eine Abnahme der Stabilität beobachtet [158, S.534; 165, S.1344]. Aus diesen Gründen glauben wir nicht, dass das kürzere follow-up der STG,db-Gruppe maßgeblich für deren bessere Ergebnisse verantwortlich war.

In der STG,db-Gruppe war der Anteil an Patienten, welche sich der VKB-Revisionsrekonstruktion innerhalb von 12 Monaten nach erneuter Instabilität unterzogen haben und der Anteil an Patienten ohne stattgehabter Meniskusteilresektion am höchsten, zudem musste sich kein Patient dieser Gruppe nach der Revisionsrekonstruktion einer weiteren Operation am entsprechenden Kniegelenk unterziehen. Diese Unterschiede zwischen den Gruppen waren zwar statistisch nicht signifikant, könnten aber potenziell neben den Vorteilen der Doppelbündelrekonstruktion auch einen gewissen Einfluss auf die Ergebnisse der STG,db-Gruppe gehabt haben, wie in 5.1 erläutert.

Die tendenziell schlechtesten Ergebnisse, wenn auch meist statistisch nicht signifikant, erzielte die BPTB-Gruppe. Sowohl in der klinischen Untersuchung als auch in den subjektiven Scores war diese

Gruppe der STG,db- und der STG-Gruppe unterlegen. Das bessere Abschneiden der STG-Gruppe gegenüber der BPTB-Gruppe steht nicht im Einklang mit den Ergebnissen von drei Metaanalysen [55; 69; 235], in welchen eine bessere postoperative Stabilität nach Verwendung von Hamstring-Transplantaten bei primären VKB-Rekonstruktionen beschrieben wurde. Problematisch erscheint allerdings die Tatsache, dass in zwei dieser Metaanalysen [55; 235] auch Studien eingeschlossen wurden, in welchen lediglich gedoppelte Hamstring-Transplantate zur Anwendung kamen. Da heute vor allem 3- oder 4fach Konstrukte zu Anwendung kommen, welche eine deutlich höhere Stabilität besitzen als gedoppelte Sehnenkonstrukte, können diese Ergebnisse nicht auf modernere Rekonstruktionstechniken übertragen werden [69, S.799; 161, S.1202.e2]. In unserer Untersuchung kamen in der STG-Gruppe ausschließlich 4fach-Konstrukte zu Anwendung, welche stabiler und steifer sind als BPTB-Transplantate [69, S.799; 221, S.205-206]. Diese biomechanische Überlegenheit könnte ein Grund für die höhere Stabilität unserer STG-Gruppe im Vergleich zur BPTB-Gruppe darstellen. Auch Prodromos et al. [161] kamen in einer Metaanalyse zu dem Ergebnis, dass unter Verwendung von 4fach-Konstrukten VKB-Rekonstruktionen mit Hamstring-Transplantaten eine höhere postoperative Stabilität im Vergleich zu BPTB-Transplantaten erreichen.

Als weiterer Kritikpunkt ist bei den oben genannten Metaanalysen zu nennen, dass in den meisten der eingeschlossenen Studien die Fixation von Hamstring-Transplantaten mit gelenkfernen und indirekten Verankerungstechniken erfolgte, wohingegen die BPTB-Transplantate mit Interferenzschrauben direkt und näher in Richtung Gelenkspalt fixiert wurden. Bei der Verwendung gelenkferner und indirekter Verankerungstechniken ergeben sich sowohl Probleme durch die verwendeten Faden- bzw. Tapematerialien, welche meist eine höhere Elastizität als das eigentliche Transplantat aufweisen, als auch durch die Zunahme der Gesamtlänge des Konstruktes. Die daraus resultierende geringere Konstruktsteifigkeit kann zu einer elastischen Deformierung des Transplantats führen [84, S.217-218; 85, S.237; 143, S.814], was eine Erklärung für die höhere Instabilitätsrate im Vergleich zum BPTB-Transplantat in diesen Metaanalysen sein kann. Dieser sog. „bungee effect“ resultiert weiterhin in longitudinalen Scherbewegungen des Transplantats gegen die Tunnelwand, was die ossäre Integration des Transplantats negativ beeinflussen und zu Tunnelaufweitungen führen kann [18, S.771; 51, S.1337; 85, S.236-237]. Bei Flexions- und Extensionsbewegungen können zusätzlich sagittale Transplantatbewegungen entstehen (sog. „windshield-whiper effect“), welche Teilrupturen des Transplantats am Tunneleingang provozieren können [212, S.29-30]. Mit moderneren Fixationsmethoden können diese mechanischen und biologischen Nachteile bei der Verwendung von Hamstring-Transplantaten umgangen werden, sodass die Ergebnisse dieser Studien nicht auf heute verwendete Techniken übertragen werden können [161, S.1202.e5; 210, S.1328]. So zeigten Hamstring-Transplantate unter Verwendung modernerer Fixationsmethoden, welche auch in unserer Untersuchung verwendet wurden (Interferenzschrauben und Transfemorale-Fixation) in zahlreichen Studien vergleichbare oder bessere funktionelle und klinische Ergebnisse sowie eine mindestens gleichwertige Stabilität bei gleichzeitig reduzierter Entnahmemorbidität im Vergleich zu BPTB-Transplantaten [32; 47; 119; 159; 165; 170; 210; 219].

Entsprechend den Zielvorstellungen eines möglichst anatomiegerechten VKB-Ersatzes sollte auch die Transplantatfixation so anatomisch wie möglich erfolgen. Als anatomisch ist in diesem Zusammenhang eine direkte intraossäre Transplantatverankerung am Ort der ursprünglichen Insertion des VKB zu verstehen [212, S.27]. Realisiert wird dies durch den Einsatz von Interferenzschrauben,

welche bis knapp unter das Gelenkniveau parallel zum Transplantat eingedreht werden [212, S.32]. Durch eine direkte Fixation auf Gelenkniveau kann im Vergleich zu indirekten und nichtanatomischen Verankerungstechniken die Steifigkeit des Transplant-Fixations-Konstrukts erhöht werden, was die Stabilität des Kniegelenks verbessert und den „bungee effect“ sowie den „windshield-whiper effect“ eliminiert [83, S.393; 91, S.181; 98, S.425; 176, S.312-313]. Zudem konnte gezeigt werden, dass das mechanische Verhalten des Transplantats bei dieser Technik eher dem des nativen VKB entspricht [91, S.181; 176, S.312]. Durch das Verhindern von Transplantat-Tunnel-Bewegungen sowie durch die von der Interferenzschraube erzeugte Kompression des Transplantats gegen die Tunnelwand konnte insbesondere für Weichteiltransplantate auch der Einheilprozess erheblich verbessert werden: Wurde bei nichtanatomischer Fixationstechnik lediglich eine mechanisch minderwertige indirekte Bandinsertion erreicht, so konnte für anatomisch fixierte Hamstring-Transplantate eine Einheilung mit Ausbildung einer direkte Bandinsertion entsprechend der des Nativen VKB nachgewiesen werden [158, S.533; 212, S.30; 214, S.737]. Der für BPTB-Transplantate häufig angeführte Vorteil, dass die Knochen-zu-Knochen-Heilung mechanisch und biologisch günstiger ist als eine Sehnen-zu-Knochen-Heilung [1, S.2152; 214, S.736] verliert somit an Gültigkeit.

Bei der Verwendung von Hamstring-Transplantaten kann durch die frei bestimmbare Transplantatlänge sowohl tibial als auch femoral eine direkte und anatomische Fixation erfolgen, wohingegen bei der Verwendung eines BPTB-Transplantats dies in der Regel nicht möglich ist: Durch die anatomisch vorgegebene Länge eines BPTB-Transplantats kommt es zu einer Überlänge des ligamentären Anteils im Vergleich zum nativen VKB von im Mittel ca. 20 mm [86, S.1047,1050]. Hierdurch kann bei der Fixation mit Interferenzschrauben eine direkte Fixation auf Gelenkniveau lediglich an einem Ende des BPTB-Transplantats erfolgen, weshalb sich meist eine semi- oder nichtanatomische Fixation des tibialen Transplantatendes ergibt [83, S.392; 212, S.33]. Dies erscheint angesichts der Tatsache, dass ein längeres Transplantat zwangsläufig auch eine geringere Steifigkeit aufweist und somit auch einer stärkere Elongation unterliegt, problematisch [91, S.181; 176, S.313]. Ishibashi et al. konnten dieses Problem in einer biomechanischen Studie bestätigen: Je distaler die Verankerung eines BPTB-Transplantats vom Tibiaplateau erfolgte, desto ausgeprägter war der Grad der Instabilität [91, S.181]. Da der ligamentäre Anteil eines BPTB-Transplantats schmaler ist als der anhängende Knochenblock, entsteht im tibialen Bohrkanal bei nichtanatomischer Fixation zusätzlich ein erheblicher Totraum zwischen Tunnelwand und Transplantat, welcher postoperativ durch Bewegungen des Transplantats im Tunnel zu einem „windshield-whiper effect“ führen kann [86, S.1050; 91, S.181]. Dieser Mechanismus könnte eine Erklärung dafür sein, warum in einigen Studien mit der Zeit eine Zunahme der Instabilität nach VKB-Rekonstruktionen mit dem BPTB-Transplantat beobachtet wurde [158, S.534; 165, S.1344].

Die dargestellten Probleme bei Verwendung des BPTB-Transplantats können mit dazu geführt haben, dass die BPTB-Gruppe in unserer Untersuchung schlechter abgeschnitten hat als die STG-Gruppe, in welchen die tibiale Transplantatverankerung direkt und anatomisch erfolgte. Auch Wagner et al. [210] konnten in einer Studie zeigen, dass eine Rekonstruktion des VKB mit BPTB-Transplantaten und Interferenzschrauben-Fixation in fast allen untersuchten Parametern (Pivot-Shift-Test, KT1000™-Arthrometer, IKDC-Score, Lysholm-Score, Einbeinsprungtest) zu signifikant schlechteren Ergebnissen führte als eine Rekonstruktion mit Hamstring-Transplantaten und anatomischer Interferenzschrauben-Fixation. Im Gegensatz zu dieser Studie erfolgte die femorale Fixation der STG-Gruppe in unserer

Untersuchung nicht mit Interferenzschrauben sondern mit der TransFix®-Technik, einem transfemorale Fixationssystem. Diese Technik bietet zwar eine sehr hohe Versagenslast und geringe Elongation unter zyklischer Belastung [18, S.770; 166, S.731; 175, S.112], kann allerdings lediglich als semianatomisch angesehen werden, da die Fixation nicht direkt auf Gelenkspaltniveau erfolgt [212, S.33]. Durch das im Vergleich zu gelenkfernen und indirekten Fixationsmethoden aber deutlich weiter in Richtung Gelenkspalt verlagerte Fixationsniveau kann der „bungee effect“ sowie der „windshield-whiper effect“ weitestgehend ausgeschlossen werden [10, S.856; 11, S.49]. Trotz der lediglich semianatomischen Fixation können mit dieser Methode sehr gute Ergebnisse erzielt werden: In zwei Untersuchungen [73; 166], in welchen prospektiv das klinische Ergebnis nach Rekonstruktion des VKB mit Interferenz- und Transfixationsverankerung von Hamstring-Transplantaten verglichen wurde, konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden [73, S.32; 166, S.734]. Da diese Technik allerdings nicht dem Konzept einer direkten und anatomischen Fixation mit den oben dargestellten Vorteilen entspricht, haben wir dieses Fixationssystem weitestgehend verlassen und benutzen heute Interferenzschrauben auch für die femorale Fixation.

Die STG,db-Gruppe stellt die einzige Gruppe unserer Studie dar, in welcher die Transplantate sowohl tibial als auch femoral mit Interferenzschrauben anatomisch fixiert wurden. Dieser Unterschied kann Angesichts der dargestellten Vorteile einer anatomischen Verankerungstechnik ebenfalls an den besseren Ergebnissen dieser Gruppe mitgewirkt haben. Wir sind der Meinung, dass mit unserem Konzept einer anatomischen Doppelbündelrekonstruktion, welche die Vorteile einer direkten anatomischen Fixation mit den Vorteilen der Rekonstruktion beider funktionellen Bündel verbindet, in Zukunft weitere Fortschritte in der VKB-Rekonstruktion sowie der VKB-Revisionsrekonstruktion möglich sind [21, S.1250e5].

Neben der Möglichkeit einer anatomischen Fixation an beiden Transplantatenden bietet ein Hamstring-Transplantat einen weiteren Vorteil, welcher auch in der STG-Gruppe, trotz der femoralen semianatomischen Fixation, zu den besseren Ergebnissen gegenüber der BPTB-Gruppe geführt haben kann: Da das native VKB kein uniformes Spannungsverhalten aufweist, sondern verschiedene Faserregionen in unterschiedlichen Stellungen des Kniegelenks gespannt werden, erscheint es plausibel, dass ein BPTB-Transplantat mit seiner parallelen Faseranordnung nur ein unzureichender Ersatz darstellt [86, S.1049; 213, S.539]. Dagegen kann mit Hamstring-Sehnen, welche als Mehrfachtransplantate verwendet werden, eher die komplexe Bündelstruktur und das reziproke Spannungsverhalten des nativen VKB reproduziert werden [196, S.1025; 213, S.543; 214, S.732]. Daneben entspricht der Querschnitt eines Hamstring-Transplantats im Vergleich zu einem BPTB-Transplantat eher dem des nativen VKB [219, S.1190].

Bei der Betrachtung der Ergebnisse sollte aber auch beachtet werden, dass in der BPTB-Gruppe eventuell schlechtere Ausgangsbedingungen für die Revisionsrekonstruktion vorlagen als in der STG,db- und STG-Gruppe. Bei Revisionsrekonstruktionen nach vorheriger VKB-Rekonstruktion mit einem BPTB-Transplantat, wie dies in unserer STG,db- und STG-Gruppe erfolgte, liegen bei vollständig eingehheilten Knochenblöcken oft bessere Knochenverhältnisse und somit günstigere Ausgangsbedingungen sowohl für die Anlage der Bohrkanäle als auch für die Verankerung der Transplantate vor als nach primärer VKB-Rekonstruktion mit reinen Weichteiltransplantaten [13, S.16; 211, S.145; 216, S.1646]. In unserer BPTB-Gruppe erfolgte der primäre VKB-Ersatz bei allen

Patienten mit Hamstring-Sehnen, sodass das operative Vorgehen in dieser Gruppe als insgesamt anspruchsvoller angesehen werden kann [211, S.145].

Neben den dargestellten operationstechnischen Erklärungen können auch patientenspezifische Unterschiede für die schlechteren Ergebnisse der BPTB-Gruppe mitverantwortlich gewesen sein. Bei genauer Betrachtung der Patientengruppen fällt auf, dass in der BPTB-Gruppe der durchschnittlich höchste BMI gemessen wurde, der höchste Anteil an Patienten mit einer stattgehabten Meniskus-Teilresektion vorlag und dass bei 33% der Patienten dieser Gruppe jeweils sechs Operationen am untersuchten Kniegelenk durchgeführt wurden. In der STG,db- und STG-Gruppe lag das Maximum bei fünf Operationen und diese Anzahl wurde nur bei jeweils einem Patient pro Gruppe erreicht. Zudem bestand in der BPTB-Gruppe der durchschnittlich längste Zeitraum ohne ein intaktes VKB. Zwar waren diese Unterschiede zu den beiden anderen Gruppen statistisch nicht signifikant, könnten aber dennoch das Gesamtergebnis der BPTB-Gruppe, wie unter 5.1 dargestellt, zusätzlich negativ beeinflusst haben.

Da die beiden Kategorien Instabilität und Schmerz des Lysholm-Scores mit jeweils 30 erreichbaren Punkten den größten Anteil dieses Scores ausmachen, wurden diese von uns noch einzeln betrachtet. Hierbei ergab sich insgesamt ein besseres Ergebnis für den Subscore Instabilität als für den Subscore Schmerz (23,4 vs. 20,9). Dass Schmerzen in unserem Patientenkollektiv gegenüber Instabilität im Vordergrund stehen, zeigte auch die Erfragung der derzeitigen Hauptbeschwerde: Bei 52% aller Patienten stellten Schmerzen die derzeitige Hauptbeschwerde dar, wohingegen die subjektive Instabilität lediglich bei 28% die Hauptbeschwerde war. Diese Beobachtungen erlauben den Rückschluss, dass ein stabiles Kniegelenk nicht immer auch ein schmerzfreies Kniegelenk bedeutet, und dass das Gesamtergebnis einer VKB-Revisionsplastik nicht ausschließlich von der postoperativ erlangten Stabilität bestimmt wird. Diese These wird dadurch verdeutlicht, dass trotz einer guten postoperativen Stabilität bei der großen Mehrheit der Patienten die Ergebnisse der subjektiven Scores diese positiven Ergebnisse nicht in allen Fällen bestätigen konnten. Für die Diskrepanz zwischen objektiven und subjektiven Ergebnissen gibt es unserer Meinung nach mehrere Erklärungen:

Da sich die meisten unserer Patienten bei einem erneuten Trauma eine Ruptur des VKB zugezogen haben, kann auch der Gelenkknorpel einen Schaden durch den Verletzungsmechanismus erlitten haben. Auch die in unserem Patientenkollektiv relativ langen Zeitperioden ohne intaktes VKB und die zahlreich durchgeführten Meniskus-Teilresektionen können Knorpelschäden oder degenerative Gelenkveränderungen provoziert haben. Mit einer Revisionsrekonstruktion des VKB kann in solchen Fällen zwar die Stabilität des Kniegelenks wieder hergestellt werden, Schmerzen durch Knorpelläsionen bleiben allerdings in der Regel bestehen und können das Gesamtergebnis negativ beeinflussen [45, S.290; 200, S.1707]. Obwohl für unser Patientenkollektiv kein signifikanter Einfluss der Zeitspanne zwischen erneuter Instabilität und Revisionsrekonstruktion, der gesamten Zeit ohne suffizientes VKB sowie einer stattgehabten Meniskus-Teilresektion auf die subjektiven Scores festgestellt werden konnte, zeigten sich doch einige Auffälligkeiten: Patienten welche sich innerhalb von zwölf Monaten nach erneuter Instabilität der Revisionsrekonstruktion unterzogen haben, zeigten im Vergleich zu Patienten bei welchen die Operation erst nach frühestens zwölf Monaten durchgeführt wurde einen höheren Lysholm-Score (77,3 vs. 71,6 Punkte), einen höheren Tegner-Aktivitäts-Score (5,4 vs. 4,4 Punkte) und einen höheren subjektiven IKDC-Score (78,9 vs. 71,0 Punkte). Weiterhin

ergab sich für Patienten mit einem „guten“ oder „sehr guten“ Ergebnis im Lysholm-Score eine mit 11 Monaten deutlich kürzere durchschnittliche Zeitspanne ohne intaktes VKB, verglichen mit 20 Monaten bei Patienten mit einem „mäßigen“ oder „schlechten“ Ergebnis. Patienten ohne stattgehabte Meniskus-Teilresektion schnitten im Lysholm-Subscore Schmerz besser ab als Patienten bei welchen eine Teilresektion des Meniskus durchgeführt wurde (22 vs. 20 Punkte).

Ein weiterer Aspekt welcher das Resultat der Scores mit beeinflusst haben könnte ist der Umstand, dass bei allen unserer Patienten sowohl die Patellarsehne als auch die Hamstring-Sehnen am ipsilateralen Kniegelenk entnommen worden sind und unser Patientenkollektiv somit einem hohen Risiko für eine Entnahmemorbidität ausgesetzt war. Vor allem nach Entnahme der Patellarsehne wurden Probleme beschrieben wie beispielsweise eine Schwächung der Quadrizepsmuskulatur mit Reduktion der Streckkraft, eine Verkürzung der Patellarsehne mit resultierenden patellofemorale Schmerzen und frühzeitiger Entwicklung einer patellofemorale Arthrose sowie der Formenkreis des vorderen Knieschmerzes [192, S.249; 214, S.733]. Bestehen solche Probleme im Vorfeld der Revisionsrekonstruktion durch vorangegangene Entnahme der Patellarsehne, lassen sich diese auch durch die Verwendung von Hamstring-Sehnen gewöhnlich nicht beheben [216, S.1650].

Für die Funktion des Kniegelenks sind neben der Integrität der Bänder weitere Faktoren wie die Menisken, die Oberflächenkongruenz von Femur und Tibia sowie die Oberschenkelmuskulatur mitverantwortlich [136, S.235; 180, S.176; 202, S.109]. Die Muskulatur des Oberschenkels, insbesondere der Musculus quadriceps femoris und die Hamstring-Muskulatur, sind wichtige dynamische Stabilisatoren des Kniegelenks [108, S.231; 136, S.236; 180, S.176; 202, S.109]. Ohne Wiedererlangen deren vollständiger Funktion und Kraft kann auch nach erfolgreicher VKB-Rekonstruktion eine normale Funktion des Kniegelenks nicht wiederhergestellt werden [109, S.48]. Als weitere Ursache für das schlechtere subjektive Ergebnis kann daher die bei den meisten unserer Patienten noch bestehende Atrophie der Oberschenkelmuskulatur mitverantwortlich gemacht werden. Insgesamt zeigten 72% der Patienten im Seitenvergleich eine Muskelatrophie von mindestens einem Zentimeter. In der Korrelationsanalyse ergab sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Oberschenkelatrophie und dem Lysholm-Score ( $p = 0,002$ ,  $r = -0,557$ ), dem subjektiven IKDC-Score ( $p = 0,012$ ,  $r = -0,462$ ) sowie der IKDC-Abschlussbeurteilung ( $p = 0,013$ ). Das Problem eines auch noch nach Jahren persistierenden Defizits der ipsilateralen Oberschenkelmuskulatur sowie deren negativer Einfluss auf das postoperative Ergebnis nach VKB-Ersatz wurde auch von anderen Autoren beschrieben [95; 108; 135; 180; 220]. Vor allem die Entnahme des BPTB-Transplantats wird für eine langfristige Schwächung der Quadrizepsmuskulatur verantwortlich gemacht [108, S.231; 109, S.50; 167, S.524]. Obwohl die Entnahme der Hamstring-Sehnen zu einem deutlich weniger ausgeprägten muskulären Defizit führt [117, S.1013; 120, S.341; 144, S.176; 234, S.712] und man von einer nahezu kompletten Regeneration der Sehnen ausgeht [214, S.734], wurde in verschiedenen Studien eine persistierende reduzierte Knieflexion und Innenrotation des Unterschenkels beschrieben [12, S.725; 130, S.389; 208, S.554]. Da bei allen Patienten dieser Untersuchung beide Transplantate entnommen wurden, unterlagen diese einem hohen Risiko für persistierende muskuläre Defizite sowie einer dadurch bedingten unvollständigen Wiederherstellung der Funktion des Kniegelenks trotz erfolgreicher Rekonstruktion des VKB.

Auch die Erwartungshaltung des Patienten an die Operation spielt eine entscheidende Rolle für eine erfolgreiche Revision. Insbesondere Patienten mit fortgeschrittenen Veränderungen des

Gelenkknorpels müssen sich darüber bewusst sein, dass die Wiederaufnahme von sportlichen Aktivitäten oft nur eingeschränkt möglich ist [65, S.194; 147, S.1028-1029; 200, S.1707]. Besonders bei Revisionsrekonstruktionen, bei welchen die Ergebnisse oft nicht denen nach primären VKB-Rekonstruktionen entsprechen, können unrealistische Erwartungen des Patienten zu einem subjektiven Misserfolg führen, auch wenn die Operation aus Sicht des Operateurs erfolgreich war [43, S.859; 65, S.194; 66, S.188].

Durch unsere Ergebnisse wird aber dennoch deutlich, dass auch die Stabilität ein entscheidender Faktor für ein gutes Gesamtergebnis bei Revisionseingriffen darstellt. Die STG,db-Gruppe erreichte mit ausschließlich negativen oder einfach positiven Ergebnissen im Lachman- und Pivot-Shift-Test sowie einer KT1000™-Seitendifferenz unter 5 mm bei allen Patienten die besten Ergebnisse bezüglich der postoperativen Stabilität. Gleichzeitig erreichte diese Gruppe auch in allen subjektiven Scores sowie im Einbeinsprungtest die höchsten Durchschnittswerte. Die Vorteile einer Doppelbündelrekonstruktion hinsichtlich der postoperativen Stabilität scheinen daher auch bei komplexen Eingriffen positive Auswirkungen auf das subjektive Ergebnis sowie auf die Funktion des Kniegelenks zu haben.

Das Ziel eines jeden operativen Eingriffs sollte eine Verbesserung des präoperativen Zustands sein. Grundlegend hierfür scheint bei Revisionsrekonstruktionen des VKB vor allem die Selektion des Patientenguts zu sein. Geeignet sind in erster Linie Patienten, bei welchen lediglich eine Instabilität des Kniegelenks besteht, welche wie gezeigt auch bei Revisionseingriffen in den meisten Fällen wieder sehr gut hergestellt werden kann [26, S.321; 206, S.96]. Aus unserem Gesamtkollektiv waren lediglich 17% der Patienten unzufrieden mit dem Ergebnis der Revisionsrekonstruktion, sodass insgesamt die große Mehrheit der Patienten, trotz der eher mäßigen Ergebnisse in den subjektiven Scores, von der Operation profitiert hat. In der Patientengruppe, welche mit dem Ergebnis unzufrieden war, wurde bei 60% eine Meniskusteilresektion durchgeführt, 60% hatten mindestens eine weitere Operation am ipsilateralen Kniegelenk und bei 50% wurde die Revisionsrekonstruktion erst nach mehr als zwölf Monaten nach der erneuten Instabilität durchgeführt, was nochmals die Bedeutung dieser Einflussfaktoren unterstreicht.

Aus unserer Sicht sollte das primäre Ziel beim VKB-Ersatz die Wiederherstellung seiner physiologischen Funktion durch eine möglichst genaue Reproduktion der Anatomie sein. Durch die Überlegenheit der STG,db-Gruppe sehen wir uns in unserer Annahme bestätigt, dass mit unserer anatomischen Doppelbündelrekonstruktion dieses Ziel eher erreicht werden kann als mit einer Einzelbündelrekonstruktion und bevorzugen diese Technik daher auch beim Revisionsersatz des VKB.

### **5.3.2 Vergleich der eigenen Ergebnisse mit anderen Studien**

Wie bereits erläutert, ist es aufgrund erheblicher Unterschiede zwischen den einzelnen Studien schwierig, die Ergebnisse nach VKB-Revisionsrekonstruktionen untereinander zu vergleichen. Im

Folgenden werden daher nur solche Studien diskutiert, in welchen ähnliche Operationstechniken und Transplantate wie in unserer Untersuchung verwendet wurden.

Eine Untersuchung mit einem unserer Studie sehr ähnlichem Studiendesign wurde von O`Neill [148] durchgeführt. Auch hier wurde zur Revisionsrekonstruktion ein bei der primären Rekonstruktion nicht verwendetes ipsilaterales Sehnentransplantat verwendet und alle Operationen einzeitig durchgeführt. Insgesamt wurde 48 Patienten, von welchen 48% mit ipsilateralen Hamstring-Transplantaten und 52% mit ipsilateralen BPTB-Transplantaten versorgt wurden, prospektiv nach einem follow-up von durchschnittlich 90 Monaten untersucht.

Die instrumentelle Messung der anterioren tibialen Translation ergab bei 67% der Patienten einen Seitenunterschied von weniger als 3 mm und bei weiteren 21% einen Seitenunterschied von 3-5 mm, was mit den Messergebnissen unserer Studie vergleichbar ist (56% 0-2 mm; 32% 3-5 mm). Der Autor verwendete in dieser Studie eine ältere Version des IKDC Scores [79], in welchem subjektive und objektive Kriterien noch gemeinsam den Gesamtscore bilden, so dass hier ein Vergleich mit unseren Ergebnissen nur eingeschränkt möglich ist. Mit Grad A oder B wurden 84% der Kniegelenke bewertet. Dieser Wert liegt etwas über den Ergebnissen unserer Abschlussbeurteilung des IKDC Formblatt zur Untersuchung des Knies (74% Grad A oder B). Die Versagensquote war mit 6% (3 Patienten) in dieser Untersuchung sehr niedrig. Hierbei ist interessant, dass alle in dieser Studie als fehlgeschlagen klassifizierte Revisionen mit BPTB-Transplantaten durchgeführt wurden. Die statistische Auswertung ergab signifikant schlechtere funktionelle Ergebnisse und signifikant mehr fehlgeschlagene Revisionen mit BPTB-Transplantaten. Da allerdings die drei Patienten mit fehlgeschlagener Revisionsrekonstruktion während den ersten vier Operationen dieser Untersuchung auftraten, führten die Autoren den Unterschiede eher auf die steile Lernkurve als auf die Transplantatwahl zurück.

In einer retrospektiven Studie untersuchten Denti et al. [42] die Ergebnisse von 60 Revisionsrekonstruktionen nach einem follow-up von durchschnittlich 42 Monaten. Mit autologen Hamstring-Transplantaten wurden 56% der Revisionen durchgeführt, mit BPTB-Transplantaten 41% und mit allogenen Achillessehnen-Transplantaten 3%. Lediglich bei einem Patient wurde vor der Revisionsrekonstruktion der tibiale und femorale Bohrkannal mit Knochenmaterial aufgefüllt.

Die Ergebnisse der klinischen Untersuchung waren mit 88% negativer oder einfach positiver Ergebnisse im Lachman-Test und einer KT1000™-Seitendifferenz von unter 5 mm bei 90% aller Patienten vergleichbar mit unseren Ergebnissen (93% Lachman-Test negativ oder 1+; 92% < 5 mm). Es ergab sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Transplantatwahl und der Kniestabilität. Die subjektiven Scores erreichten in dieser Studie mit durchschnittlich 90,5 Punkten im Lysholm-Score und 6,7 Punkten im Tegner-Aktivitäts-Score deutlich bessere Werte als in unserer Untersuchung (Lysholm-Score: 77,5; Tegner-Aktivitäts-Score: 5,2). Die Autoren führten die guten Ergebnisse vor allem darauf zurück, dass ausschließlich motivierte Patienten operiert wurden. Angesichts der Tatsache, dass der postoperative Tegner-Aktivitäts-Score bei der Hälfte aller Patienten zwischen 8 und 10 Punkten lag, was einer semiprofessionellen oder professionellen Partizipation an Kontaktsportarten entspricht, sollte allerdings beachtet werden, dass es sich hier um ein spezielles Patientenkollektiv handelt, dessen Ergebnisse denen der Allgemeinbevölkerung nicht unbedingt entsprechen.

Battaglia et al. [15] berichteten in einer retrospektiven Studie über die Ergebnisse von 63 Patienten nach einem durchschnittlichen follow-up von 72,7 Monaten. Bei 48% der Patienten erfolgte die VKB-Revision mit autologen BPTB-Transplantaten, bei 16% mit autologen Hamstring-Transplantaten, bei 32% mit allogenen Transplantaten und bei 5% mit der Quadrizepssehne. Bei keinem der Patienten erfolgte eine Auffüllung der bestehenden Bohrkanäle mit Knochenmaterialien.

Die Autoren teilten die Patienten anhand des subjektiven IKDC-Scores und der Rückkehr zu sportlichen Aktivitäten in drei Gruppen ein: 71% wurden als „gut / sehr gut“ bewertet, 10% als „mäßig“ und 19% als „schlecht“. Der subjektive IKDC-Score erreichte in der Gruppe mit guten oder sehr guten Ergebnissen durchschnittlich 79,7 Punkte und ist somit vergleichbar mit dem Gesamtdurchschnitt unseres Patientenkollektivs (77,5 Punkte). In den als „mäßig“ und „schlecht“ bewerteten Gruppen lagen die durchschnittlichen Werte mit 63,1 bzw. 56,2 Punkten jeweils unter dem Durchschnitt unseres Patientenkollektivs. Der KT1000™-Seitenunterschied betrug bei 134 N durchschnittlich  $3,9 \pm 2,4$  mm und lag damit über dem Durchschnitt unserer Untersuchung ( $2,38 \pm 2,14$  mm). Die Versagensquote war mit 33% ebenfalls deutlich höher als in unserem Patientengut (19%). Die Autoren fanden keine statistische Korrelation zwischen der Transplantatwahl und dem Ergebnis nach VKB-Revision. Im Gegensatz zu unserer Studie wurden in dieser Untersuchung auch Patienten aufgenommen, welche sich einer zweiten oder dritten Revision unterzogen. Die Autoren betonten dass in der als „schlecht“ bewerteten Gruppe der Anteil dieser Patienten mit 63% hoch war und dass die Versagensquote bei Patienten mit mehrmaligen Revisionen zunahm. Den erhöhten KT1000™-Seitenunterschied führten die Autoren auf die Chronizität der Instabilität und einer dadurch bedingten Auslockerung stabilisierender Strukturen zurück.

Noyes und Barber-Westin [146] untersuchten die Ergebnisse von VKB-Revisionsrekonstruktionen unter alleiniger Verwendung von autologen BPTB-Transplantaten in 54 Patienten nach einem durchschnittlichen follow-up von 33 Monaten. Bei keinem der Patienten erfolgte eine Auffüllung der Bohrkanäle mit Knochenmaterialien.

Das Ergebnis des Pivot-Shift-Tests war bei 78% der Patienten negativ oder einfach positiv und somit nahezu identisch mit den Ergebnissen der BPTB-Gruppe unserer Untersuchung (75% Pivot-Shift-Test negativ oder 1+). Auch der KT2000™-Seitenunterschied bei 134 N war mit durchschnittlich  $2,2 \pm 4,9$  mm vergleichbar mit unserer BPTB-Gruppe ( $2,33 \pm 1,21$  mm). Die Versagensquote lag mit 24% etwas unter der von uns in dieser Subgruppe beobachteten Quote (38%). Da das durchschnittliche follow-up der BPTB-Gruppe unserer Studie allerdings fast doppelt so lang war wie in dieser Untersuchung besteht durchaus die Möglichkeit, dass sich die Versagensquoten bei einem ähnlich langen follow-up angleichen würden. Im Gegensatz zu unserer Studie wurden in dieser Untersuchung auch kontralaterale BPTB-Transplantate und erneut entnommene ipsilaterale BPTB-Transplantate verwendet. Zudem befanden sich im Studienkollektiv Patienten, welche im Rahmen der Revision auch Eingriffe am posterolateralen oder medialen Bandkomplex benötigten. Die Autoren betonten, dass bei Patienten mit zusätzlichen Bänderingriffen das Gesamtergebnis insgesamt schlechter ausfiel und die Versagensquote signifikant höher war. Auch bei den Patienten mit einer erneut entnommenen ipsilateralen Patellarsehne war die Versagensquote mit 55% besonders hoch. Von der Verwendung dieses Transplantats raten die Autoren daher ab.

Eine weitere Studie über die Ergebnisse nach VKB-Revisionsplastiken mit autologen BPTB-Transplantaten wurde von Eberhardt et al. [45] veröffentlicht. Die Autoren untersuchten retrospektiv 44 Patienten nach einem durchschnittlichen follow-up von 41,2 Monaten. Eine Auffüllung der Bohrkanäle mit Knochenmaterialien vor der Revisionsrekonstruktion wurde nicht durchgeführt.

Die klinische Untersuchung fiel mit 95% negativer oder einfach positiver Ergebnis im Pivot-Shift-Test und 80% negativer oder einfach positiver Ergebnis im Lachman-Test besser aus als in der BPTB-Gruppe unseres Patientenkollektivs (75% Pivot-Shift-Test und Lachman-Test negativ oder 1+). Die objektive Stabilitätsprüfung mit dem KT1000™ bei maximaler Zugkraft war allerdings mit einem durchschnittlichen Seitenunterschied von  $3,5 \pm 1,0$  mm höher als in unserer BPTB-Gruppe ( $2,58 \pm 1,21$  mm). Sowohl der Lysholm-Score mit einem Median von 85 Punkten als auch der Tegner-Aktivitäts-Score mit einem Median von 5 Punkten waren den Ergebnissen unserer BPTB-Gruppe überlegen (Median Lysholm-Score: 67 Punkte; Median Tegner-Aktivitäts-Score: 4 Punkte). Ein entscheidender Unterschied zu unserem Patientenkollektiv ist allerdings, dass in dieser Studie bei 63% der Patienten im Rahmen der ersten Kreuzbandoperation lediglich eine Naht des VKB durchgeführt wurde, sodass bei der Revisionsoperation wesentlich bessere knöcherne Strukturen vorlagen. Wie Johnson et al. [99, S.108] sind auch wir der Meinung, dass diese Patienten nicht im selben Licht gesehen werden können wie Patienten, bei welchen im Vorfeld bereits eine intraartikuläre VKB-Plastik durchgeführt wurde. Dieser Umstand relativiert die teilweise besseren Ergebnisse im Vergleich zu unserer Studie.

Salmon et al. [173] untersuchten die Ergebnisse von einzeitigen VKB-Revisionsrekonstruktionen mit Hamstring-Transplantaten bei 50 Patienten nach einem durchschnittlichen follow-up von 89 Monaten. Bei 53% der Operationen wurde ein ipsilaterales, bei 46% ein kontralaterales und bei 2% ein allogenes Hamstring-Transplantat verwendet. Alle Transplantate wurden mit Interferenzschrauben befestigt.

Das Ergebnis des Pivot-Shift-Tests war bei 69% der Patienten dieser Studie negativ und bei weiteren 31% einfach positiv und damit etwas besser als das Ergebnis in der STG-Gruppe unseres Patientenkollektivs (33% Pivot-Shift-Test negativ, 58% 1+). Der Lachman-Test fiel dagegen mit 53% negativer und 45% einfach positiver Ergebnisse fast identisch mit dem Ergebnis unserer STG-Gruppe aus (58% Lachman-Test negativ, 42% 1+). Auch der durchschnittliche KT1000™-Seitenunterschied bei maximaler Zugkraft entsprach mit 2,5 mm dem Durchschnittswert der STG-Gruppe unserer Studie. Die Ligamentuntersuchung des auch in dieser Studie verwendeten älteren Version des IKDC-Scores [79] ergab bei allen Patienten ein Grad A oder B Knie. Dennoch konnten in der Gesamtbeurteilung dieses Scores nur 56% der Kniegelenke mit Grad A oder B beurteilt werden. Wie auch in unserer Untersuchung war somit die Revisionsrekonstruktion zwar erfolgreich hinsichtlich der Wiederherstellung der Kniestabilität, subjektive Kriterien konnten diesen Erfolg allerdings nur bedingt bestätigen. In dieser Studie war der Zustand des Gelenkknorpels zum Zeitpunkt der Revisionsoperation der wichtigste Faktor für ein erfolgreiches Gesamtergebnis. Da der Zustand des Gelenkknorpels zudem signifikant mit der Zeitspanne zwischen erneuter Instabilität und Revisionsoperation korrelierte, empfehlen die Autoren die Revisionsrekonstruktion möglichst frühzeitig durchzuführen. Die im Vergleich zur STG-Gruppe unseres Patientenkollektivs teilweise etwas besseren Ergebnisse sind u.a. darauf zurückzuführen, dass in dieser Untersuchung alle Patienten,

welche als klinisch fehlgeschlagen klassifiziert wurden (10% des Patientenkollektivs), von den weiteren Untersuchungen ausgeschlossen wurden, wohingegen die Ergebnisse dieser Patienten in unserer Studie mit einbezogen wurden.

Eine weitere Untersuchung über einzeitige Revisionsplastiken mit Hamstring-Transplantaten wurde von Weiler et al. [216] durchgeführt. Prospektiv wurden 50 Patienten nach einem durchschnittlichen follow-up von 2,5 Jahren untersucht und zusätzlich mit einer nach Alter, Geschlecht, Operationstechnik und Komorbidität gematchten Patientengruppe nach primärer VKB-Rekonstruktion verglichen. Bei allen Patienten wurde zur Revisionsrekonstruktion ein autologes Hamstring-Transplantat verwendet, wobei dieses bei 38% auf der kontralateralen Seite entnommen wurde.

Die Ergebnisse der klinischen Untersuchung waren mit 96% negativer oder einfach positiver Ergebnisse im Pivot-Shift-Test und 98% negativer oder einfach positiver Ergebnisse im Lachman-Test vergleichbar mit den Ergebnissen der STG-Gruppe unseres Patientenkollektivs. Auch der durchschnittliche KT1000™-Seitenunterschied war bei maximaler Zugkraft mit  $2,1 \pm 1,6$  mm vergleichbar mit dem Ergebnis unserer Untersuchung ( $2,52 \pm 2,74$  mm). Der Anteil an Patienten mit einem Grad A oder B Knie in der Abschlussbeurteilung des IKDC Formblatt zur Untersuchung des Knies war mit 88% etwas höher als in der STG-Gruppe unserer Studie (75%). Auch das Ergebnis des Lysholm-Scores fiel in dieser Studie mit Durchschnittlich 90 Punkten besser aus als in unserem entsprechenden Patientenkollektiv (79,9 Punkte). Da allerdings die STG-Gruppe unserer Untersuchung ein um durchschnittlich 3,5 Jahre längeres postoperatives follow-up aufweist sind die Ergebnisse nur eingeschränkt vergleichbar. Zwischen primären Rekonstruktionen und Revisionsrekonstruktionen fanden Weiler et al. keine signifikanten Unterschiede bezüglich der postoperativen Kniestabilität, der Versagensquote und der Abschlussbeurteilung des IKDC Formblatt zur Untersuchung des Knies. Die subjektive Kniefunktion und die Ergebnisse des Lysholm-Scores waren allerdings in der Patientengruppe nach primären Rekonstruktionen signifikant besser. Die Autoren folgerten aus dieser Beobachtung, dass andere Faktoren als die Kniestabilität für die schlechteren Ergebnisse von Revisionsrekonstruktionen verantwortlich sein müssen, welche Faktoren dies sind wurde allerdings von den Autoren nicht berichtet. Auch in unserer Untersuchung waren trotz einer guten postoperativen Stabilität des Kniegelenks bei den meisten Patienten die klinischen Scores eher mäßig ausgefallen, sodass auch in unserem Patientenkollektiv andere Faktoren als die Stabilität das Gesamtergebnis beeinflusst haben müssen. In der Korrelationsanalyse zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang der Oberschenkelatrophie mit dem Lysholm-Score ( $p = 0,002$ ,  $r = -0,557$ ), dem subjektiven IKDC-Score ( $p = 0,012$ ,  $r = -0,462$ ) und der IKDC-Abschlussbeurteilung ( $p = 0,013$ ). Auch für die Gesamtzahl an Operationen am ipsilateralen Kniegelenk sowie die Anzahl an Operationen nach der Revisionsrekonstruktion konnte eine signifikante Korrelation mit der IKDC-Abschlussbeurteilung gezeigt werden ( $p = 0,031$  bzw.  $p = 0,001$ ). Des weiteren scheinen auch eine stattgehabte Meniskus-Teilresektion, die Zeitspanne zwischen erneuter Instabilität und Revisionsrekonstruktion sowie die gesamte Zeit ohne intaktes VKB einen gewissen Einfluss auf das Gesamtergebnis zu nehmen, wenngleich wir für diese Faktoren keine Signifikanz aufzeigen konnten.

Muneta et al. [139] untersuchten retrospektiv die Ergebnisse von 21 Patienten nach einzeitiger VKB-Revisionsrekonstruktion unter Verwendung einer Doppelbündeltechnik nach einem durchschnittlichen follow-up von 40 Monaten. Die Autoren verwendeten eine Technik mit zwei femoralen und zwei tibialen Bohrkanälen sowie autologen Semitendinosus-Transplantaten. Die Fixation der Transplantate erfolgte femoral mit Fixations-Buttons und tibial mit Krampfen. Die Ergebnisse dieser Patienten wurden zudem mit den Ergebnissen von 86 Patienten nach primärer VKB-Rekonstruktion (postoperatives follow-up 33 Monate) unter Verwendung derselben Technik verglichen.

Bezüglich der anterioren Stabilität erzielten die Autoren mit jeweils 83% negativer Ergebnisse im Vorderen-Schubladen-Test und Lachman-Test ein sehr gutes Ergebnis, welches im Vergleich zu unseren Doppelbündel-Revisionen überlegen erscheint (57% Vorderer-Schubladen-Test negativ, 43% Lachman-Test negativ). Allerdings erzielten alle Patienten unserer STG,db-Gruppe in beiden Tests ein negatives oder einfach positives Ergebnis, wohingegen in dieser Untersuchung 11% der Patienten in der Revisionsgruppe ein zweifach positives Ergebnis erzielten. Das Ergebnis der anterioren tibialen Translation gemessen mit dem KT1000™ entsprach mit durchschnittlich 1,7 mm weitgehend dem Ergebnis unserer STG,db-Gruppe mit durchschnittlich 2,5 mm, zudem erreichten in beiden Untersuchungen alle Patienten eine Seitendifferenz < 5 mm. Der Anteil an negativen Ergebnissen im Pivot-Shift-Test war mit 86% in unserer Doppelbündel-Gruppe etwas höher als im entsprechenden Patientenkollektiv dieser Studie mit 78%. Die subjektiven Ergebnisse nach Doppelbündel-Revisionsrekonstruktion, ermittelt mit dem Lysholm-Score, waren in beiden Untersuchungen nahezu identisch und erreichten mit 87,8 Punkten (Muneta et al.) bzw. 84,1 Punkten (eigene Untersuchung) den Bewertungsrichtlinien entsprechend ein „gutes“ Ergebnis. Zusammenfassend lässt sich aus beiden Untersuchungen folgern, dass nach VKB-Revisionsrekonstruktionen in Doppelbündeltechnik mit zwei femoralen und zwei tibialen Bohrkanälen sowie autologen Hamstring-Transplantaten im Allgemeinen mit insgesamt guten bis sehr guten Ergebnissen in der Stabilitätstestung und mit guten Ergebnissen in der subjektiven Beurteilung gerechnet werden darf.

Der Vergleich zwischen Revisionsoperationen und primären Rekonstruktionen zeigte keinen signifikanten Unterschied in der postoperativ erlangten Beweglichkeit, im Lachman-Test, im Vorderen-Schubladen-Test, in der anterioren tibialen Translation gemessen mit dem KT1000™ sowie im Tegner-Aktivitäts-Score. Die Revisionsoperationen zeigten allerdings im Lysholm-Score sowie im Pivot-Shift-Test ein signifikant schlechteres Ergebnis als die primären Rekonstruktionen. Zusätzlich wurde in dieser Untersuchung auch die maximal aufgebrachte Extensionskraft instrumentell gemessen. Interessanterweise schnitten auch hier Patienten nach Revisionsrekonstruktion signifikanter schlechter ab, was unsere Beobachtung bestärkt, dass ein persistierendes Defizit der Oberschenkelmuskulatur ein wichtiger Faktor bei Revisionseingriffen zu sein scheint.

Auch Zantop und Petersen [238] publizierten Ergebnisse nach Revisionsrekonstruktionen mit einer Doppelbündeltechnik. Die Autoren verwendeten eine Operationstechnik mit zwei femoralen und einem tibialen Bohrkanal. Als Transplantat wurden autologe Semitendinosus-Sehnen verwendet, welche femoral mit Fixations-Buttons und tibial mit einer Hybridfixation befestigt wurden. Fünf Patienten wurden 24 Monate nach der Operation untersucht.

Bei allen Patienten ergab sich ein negativer Pivot-Shift-Test und ein KT1000™-Seitenunterschied von weniger als 2 mm. Der Lachman-Test war bei zwei Patienten negativ und bei den verbleibenden drei

Patienten einfach positiv. Keiner der Patienten klagte über eine subjektive Instabilität des Kniegelenks. Auch wenn die in dieser Studie verwendete Operationstechnik von der in unserer Studie verwendeten Doppelbündeltechnik abweicht, wurden doch in beiden Studien überzeugende Ergebnisse bezüglich der Stabilität und insbesondere der Rotationsstabilität erzielt. Subjektive Scores wurden in dieser Studie nicht verwendet.

## 5.4 Schlussfolgerung

In Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen zeigte sich auch in dieser Studie, dass eine gute Stabilität des Kniegelenks nach einer VKB-Revisionsrekonstruktion nicht immer auch ein gutes Gesamtergebnis bedeutet. Zahlreiche Faktoren können das Ergebnis einer solchen Operation beeinflussen, sodass das Gesamtergebnis als multifaktoriell zu betrachten ist. In unserem Patientenkollektiv zeigte sich eine bestehende Atrophie der Oberschenkelmuskulatur, die Gesamtzahl an Operationen am betroffenen Kniegelenk sowie die Anzahl an Operationen nach der Revisionsrekonstruktion einen signifikanten Einfluss auf das Gesamtergebnis. Einen gewissen Einfluss zeigten weiterhin die Zeitspanne zwischen erneuter Instabilität und Revisionsrekonstruktion, die Zeit ohne intaktes VKB sowie eine stattgehabte Meniskusteilresektion.

Um möglichst wenige Einflussfaktoren auf das Ergebnis zu haben, muss im Vorfeld der Revisionsoperation eine dezidierte Diagnostik durchgeführt werden. Die Indikation zur alleinigen VKB-Revisionsrekonstruktion sollte nach strengen Gesichtspunkten gestellt werden und stellt in erster Linie die durch ein insuffizientes VKB bedingte symptomatische Instabilität ohne Begleitpathologien dar. Der Patient muss sich im Vorfeld der Operation darüber im Klaren sein, dass das Ergebnis eines VKB-Revisionsersatzes oftmals nicht dem eines primären VKB-Ersatzes entspricht, und dass mit der erneuten Rekonstruktion des VKB zwar die Stabilität des Kniegelenks wieder hergestellt werden kann, andere Beschwerden, wie beispielsweise Schmerzen, aber oftmals weiterhin bestehen bleiben und meist eine andere Therapie benötigen. Die besten Chancen auf ein gutes Gesamtergebnis haben Patienten, bei welchen neben der VKB-Rekonstruktion und –Revision keine weiteren Operationen am betroffenen Kniegelenk durchgeführt wurden, die Menisken intakt sind und die Revisionsrekonstruktion möglichst frühzeitig nach der erneuten Instabilität durchgeführt wird. Entscheidend scheint auch eine hohe Motivation des Patienten zu sein, um eine intensive Nachbehandlung und damit die bestmögliche Wiederherstellung der Oberschenkelmuskulatur zu gewährleisten. Auf Grund der Komplexität sowohl des chirurgischen Eingriffs als auch der präoperativen Diagnostik sollten VKB-Revisionsrekonstruktionen erfahrenen Kniechirurgen vorbehalten bleiben.

Auch wenn für die meisten unserer Ergebnisse auf Grund der geringen Patientenzahl keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gezeigt werden konnten, erreichte die STG,db-Gruppe dennoch die tendenziell besten objektiven und subjektiven Ergebnisse. Da mit einer anatomischen Doppelbündelrekonstruktion der funktionellen Anatomie des nativen VKB am ehesten

Rechnung getragen wird, sind wir der Meinung, dass auch bei Revisionsoperationen die geeigneten Patienten von dieser Operationstechnik am meisten profitieren.

Für die Zukunft wären weitere Studien, welche die Ergebnisse nach VKB-Revisionsrekonstruktionen unter der Verwendung unterschiedlicher Techniken und Transplantate in größeren Patientenkollektiven vergleichen, wünschenswert. Auch die Vorteile der Doppelbündelrekonstruktion müssen insbesondere in Langzeitstudien weiter bestätigt werden.

## **5.5 Ausblick**

Die Entwicklung und Evaluation der Doppelbündelrekonstruktion hat zu einem verbesserten Verständnis der Anatomie und Biomechanik des VKB geführt. Neu gewonnene Erkenntnisse waren ein wichtiger Impuls um neue Operationstechniken zu entwickeln und konventionelle Operationstechniken zu verfeinern. Durch die Diskussion über den Sinn und Unsinn einer anatomischen Doppelbündelrekonstruktion haben auch viele Anhänger der Einzelbündelrekonstruktion ihre Technik verändert, damit sie trotz der Verwendung nur eines Bündels „anatomischer“ operieren können (sog. „anatomische Einzelbündelrekonstruktion“ [16; 193]). Insbesondere durch die Verwendung des anteromedialen Arbeitsportals zur Anlage des femoralen Bohrkanals ist es heute möglich, das Transplantat im Zentrum der ursprünglichen Insertion zu platzieren und somit die Stabilität und Kinematik einer VKB-Rekonstruktion zu verbessern [76, S.113; 124, S.211; 187, S.158]. Ob dadurch in Zukunft die Anzahl revisionsbedürftiger Fehlplatzierungen der Bohrkanäle abnehmen wird bleibt abzuwarten.

Auch in unserer Abteilung haben wir die in dieser Studie vorgestellten OP-Techniken entsprechend neuesten Erkenntnissen angepasst: Sowohl bei Einzel- wie auch Doppelbündelrekonstruktionen erfolgt in unserer Abteilung mittlerweile die Anlage des femoralen Bohrkanals (bzw. beider femoralen Bohrkanäle) ausschließlich über das anteromediale Arbeitsportal. Wir erhoffen uns dadurch in Zukunft noch bessere Ergebnisse unserer VKB-Revisionsrekonstruktionen. Trotz der ermutigenden Ergebnisse neuerer Techniken zur Einzelbündelrekonstruktion [82; 104; 204] ist es weiterhin unsere Überzeugung, dass wir mit unserer anatomischen Doppelbündelrekonstruktion die besten Ergebnisse erzielen können. Daher bleibt diese Technik in unserer Abteilung auch bei Revisionsrekonstruktionen der „Goldstandard“.

Es liegt in der Verantwortung des behandelten Arztes, neue wissenschaftliche Erkenntnisse in der Praxis umzusetzen, um seine Ergebnisse im Interesse seiner Patienten ständig zu verbessern.

## 6 Zusammenfassung

In dieser Studie wurden retrospektiv die Ergebnisse nach einzeitigen VKB-Revisionsplastiken unter Verwendung von drei unterschiedlichen Operationstechniken bzw. Transplantaten verglichen. Insgesamt wurden 29 Patienten nach einem durchschnittlichen follow-up von 60 Monaten nachuntersucht. Bei 7 Patienten (24%) erfolgte die Revisionsoperation mit ipsilateralen Hamstring-Transplantaten in anatomischer Doppelbündeltechnik mit femoraler und tibialer Interferenzschrauben-Fixation (STG,db-Gruppe), bei 13 Patienten (45%) mit ipsilateralen Hamstring-Transplantaten in Einzelbündeltechnik mit femoraler TransFix®-Fixation und tibialer Interferenzschrauben-Fixation (STG-Gruppe) und bei 9 Patienten (31%) mit ipsilateralen Patellarsehnen-Transplantaten in Einzelbündeltechnik mit femoraler und tibialer Interferenzschrauben-Fixation (BPTB-Gruppe). In der STG,db-Gruppe war das durchschnittliche follow-up signifikant kürzer als in der STG- und BPTB-Gruppe (39 Monate vs. 71 bzw. 62 Monate;  $p = 0,002$ ), alle anderen untersuchten patientenspezifischen Daten zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen.

Zur Beurteilung der Stabilität des Kniegelenks wurden der Lachman-Test, der Pivot-Shift-Test und die instrumentelle Messung der anterioren tibialen Translation mit dem KT1000™ Knee Ligament Arthrometer® bei 134 N als Hauptzielkriterien verwendet. Um das Gesamtergebnis zu beschreiben wurden weiterhin die Formblätter des IKDC, der Lysholm-Score und der Tegner-Aktivitäts-Score als Hauptzielkriterien hinzugezogen.

Die klinische Untersuchung zeigte bei 93% der Patienten einen negativen oder einfach positiven Lachman-Test (37% negativ, 56% 1+, 7% 2+) und bei 89% einen negativen oder einfach positiven Pivot-Shift-Test (41% negativ, 48% 1+, 11% 2+). Der durchschnittliche KT1000™-Seitenunterschied bei 134 N ergab  $2,38 \pm 2,14$  mm; bei 88% war der Seitenunterschied kleiner 5 mm. Die IKDC Abschlussbeurteilung ergab bei 74% der Patienten ein Grad A oder Grad B Knie (15% A, 59% B, 26% C). Der Tegner-Aktivitäts-Score erreichte durchschnittlich 5,2 Punkte, der subjektive IKDC-Score 78,5 Punkte und der Lysholm-Score 77,5 Punkte. Der Lysholm-Subscore Instabilität fiel mit durchschnittlich 23,4 Punkten besser aus als der Subscore Schmerz mit 20,9 Punkten. Bei 52% der Patienten stellten Schmerzen die derzeitige Hauptbeschwerde dar, wohingegen Instabilität lediglich bei 28% die Hauptbeschwerde war.

Der Lachman-Test fiel in der STG-Gruppe signifikant besser aus als in der BPTB-Gruppe (STG: 58% negativ, 42% 1+; BPTB: 75% 1+, 25% 2+;  $p = 0,011$ ). Auch die STG,db-Gruppe war mit 43% negativen und 57% einfach positiven Testergebnissen der BPTB-Gruppe überlegen ( $p = 0,058$ ). Der Pivot-Shift-Test fiel in der STG,db-Gruppe mit 86% negativer und 14% einfach positiver Testergebnisse signifikant besser aus als in der BPTB-Gruppe (13% negativ, 58% 1+, 25% 2+;  $p = 0,014$ ) und auch deutlich besser als in der STG-Gruppe (33% negativ, 58% 1+, 8% 2+;  $p = 0,057$ ). Der durchschnittliche KT1000™-Seitenunterschied bei 134 N ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen (STG,db:  $2,52 \pm 2,45$  mm, STG:  $2,32 \pm 2,35$  mm, BPTB:  $2,33 \pm 1,85$  mm;  $p = 0,733$ ). Ein Seitenunterschied unter 5 mm wurde bei allen Patienten der STG,db-Gruppe, bei 80% der STG-Gruppe und bei 88% der BPTB-Gruppe gemessen ( $p = 0,287$ ). In der IKDC Abschlussbeurteilung konnten mit Grad A oder B alle Kniegelenke der STG,db-Gruppe, 75% der STG-

Gruppe und 50% der BPTB-Gruppe beurteilt werden ( $p = 0,077$ ) (STG,db: 29% A, 71% B; STG: 17% A, 58% B, 25% C; BPTB: 50% B, 50% C;  $p = 0,215$ ).

In den klinischen Scores ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen. Die STG,db-Gruppe erreichte in allen drei Scores jeweils den höchsten, die BPTB-Gruppe jeweils den niedrigsten Durchschnittswert (Lysholm-Score: STG,db: 84,1, STG: 79,9, BPTB: 68,8,  $p = 0,116$ ; subjektiver IKDC-Score: STG,db: 81,6, STG: 80,8, BPTB: 72,8,  $p = 0,331$ ; Tegner-Aktivitäts-Score: STG,db: 5,9, STG: 5,0, BPTB: 5,0,  $p = 0,247$ ).

Ein längeres postoperatives follow-up sowie ein höheres Alter zeigten einen signifikanten Zusammenhang mit einem schlechteren Tegner-Aktivitäts-Score ( $p = 0,014$ ,  $r = -0,450$  bzw.  $p = 0,050$ ,  $r = -0,368$ ). Eine stärker ausgeprägte Oberschenkelatrophie zeigte eine signifikante Korrelation mit einem niedrigeren Lysholm-Score ( $p = 0,002$ ,  $r = -0,557$ ), einem niedrigeren subjektiven IKDC-Score ( $p = 0,012$ ,  $r = -0,462$ ) sowie einem schlechteren Ergebnis der IKDC-Abschlussbeurteilung ( $p = 0,013$ ). Die IKDC-Abschlussbeurteilung verschlechterte sich zudem signifikant mit einer höheren Gesamtzahl an Operationen am ipsilateralen Kniegelenk ( $p = 0,031$ ) sowie einer höheren Anzahl an Operationen nach der Revisionsrekonstruktion ( $p = 0,001$ ).

Die Diskrepanz zwischen der guten postoperativen Stabilität in der großen Mehrzahl der Patienten und den eher mäßig ausgefallenen subjektiven Scores zeigt, dass das Ergebnis einer VKB-Revisionsrekonstruktion nicht nur von der postoperativen Stabilität abhängig ist, sondern als multifaktoriell anzusehen ist. Ein entscheidender Faktor für eine erfolgreiche Revisionsoperation ist unserer Meinung nach die richtige Indikationsstellung, welche vor allem eine erneute symptomatische Instabilität des Kniegelenks ohne weitere Pathologien darstellt. Um aus Sicht des Patienten einen subjektiven Misserfolg zu vermeiden, muss dieser seine Erwartungshaltung anpassen und sich darüber im klaren sein, dass das Ergebnis eines VKB-Revisionsersatzes oftmals nicht dem einer primären VKB-Rekonstruktion entspricht. Zwar kann mit einer erneuten VKB-Plastik, insbesondere mit der Doppelbündeltechnik die Stabilität des Kniegelenks wieder hergestellt werden, andere Beschwerden, wie beispielsweise Schmerzen durch eine vorangegangene Entnahme des BPTB-Transplantates, aber oftmals weiterhin bestehen bleiben.

Auch wenn für die meisten unserer Ergebnisse auf Grund der geringen Patientenzahl keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gezeigt werden konnte, erreichte die STG,db-Gruppe dennoch die tendenziell besten objektiven und subjektiven Ergebnisse. Da mit einer anatomischen Doppelbündelrekonstruktion der funktionellen Anatomie des nativen VKB am ehesten Rechnung getragen wird, sind wir der Meinung, dass auch bei Revisionsoperationen die geeigneten Patienten von dieser Operationstechnik am meisten profitieren.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] Aglietti, P., Giron, F., Buzzi, R., Biddau, F., Sasso, F.  
Anterior cruciate ligament reconstruction: bone-patellar tendon-bone compared with double semitendinosus and gracilis tendon grafts. A prospective, randomized clinical trial.  
J Bone Joint Surg Am 86-A (2004) 2143-2155
- [2] Aglietti, P., Giron, F., Losco, M., Cuomo, P., Ciardullo, A., Mondanelli, N.  
Comparison Between Single- and Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective, Randomized, Single-Blinded Clinical Trial.  
Am J Sports Med 38 (2010) 25-34
- [3] Ahn, J.H., Lee, Y.S., Ha, H.C.  
Comparison of revision surgery with primary anterior cruciate ligament reconstruction and outcome of revision surgery between different graft materials.  
Am J Sports Med 36 (2008) 1889-1895
- [4] Allen, C.R., Giffin, J.R., Harner, C.D.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction.  
Orthop Clin North Am 34 (2003) 79-98
- [5] Allum, R.L.  
BASK Instructional Lecture 1: graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction.  
Knee 8 (2001) 69-72
- [6] Amis, A.A., Dawkins, G.P.  
Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. Fibre bundle actions related to ligament replacements and injuries.  
J Bone Joint Surg Br 73 (1991) 260-267
- [7] Anderson, A.F., Snyder, R.B., Federspiel, C.F., Lipscomb, A.B.  
Instrumented evaluation of knee laxity: a comparison of five arthrometers.  
Am J Sports Med 20 (1992) 135-140
- [8] Arnoczky, S.P.  
Anatomy of the anterior cruciate ligament.  
Clin Orthop Relat Res (1983) 19-25
- [9] Arnold, M.P., Kooloos, J., van Kampen, A.  
Single-incision technique misses the anatomical femoral anterior cruciate ligament insertion: a cadaver study.  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 9 (2001) 194-199
- [10] Attmanspacher, W., Dittrich, V., Stedtfeld, H.W.  
Revision of the anterior cruciate ligament in TransFix(R)- and OATS(R)-technique.  
Zentralbl Chir 127 (2002) 855-860
- [11] Attmanspacher, W., Dittrich, V., Stedtfeld, H.-W.  
Revision of the anterior cruciate ligament by TransFix technique.  
Arthroskopie 13 (2000) 47-53
- [12] Aune, A.K., Holm, I., Risberg, M.A., Jensen, H.K., Steen, H.  
Four-strand hamstring tendon autograft compared with patellar tendon-bone autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. A randomized study with two-year follow-up.  
Am J Sports Med 29 (2001) 722-728
- [13] Bach, B.R., Jr.  
Revision anterior cruciate ligament surgery.  
Arthroscopy 19 Suppl 1 (2003) 14-29
- [14] Bartlett, R.J., Clatworthy, M.G., Nguyen, T.N.  
Graft selection in reconstruction of the anterior cruciate ligament.  
J Bone Joint Surg Br 83 (2001) 625-634
- [15] Battaglia, M.J., 2nd, Cordasco, F.A., Hannafin, J.A., Rodeo, S.A., O'Brien, S.J., Altchek, D.W., Cavanaugh, J., Wickiewicz, T.L., Warren, R.F.  
Results of revision anterior cruciate ligament surgery.  
Am J Sports Med 35 (2007) 2057-2066
- [16] Bedi, A., Altchek, D.W.  
The "footprint" anterior cruciate ligament technique: an anatomic approach to anterior cruciate ligament reconstruction.  
Arthroscopy 25 (2009) 1128-1138

- [17] Beynnon, B.D., Johnson, R.J., Abate, J.A., Fleming, B.C., Nichols, C.E.  
Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part I.  
Am J Sports Med 33 (2005) 1579-1602
- [18] Brand, J., Jr., Weiler, A., Caborn, D.N., Brown, C.H., Jr., Johnson, D.L.  
Graft fixation in cruciate ligament reconstruction.  
Am J Sports Med 28 (2000) 761-774
- [19] Brand, J.C., Jr., Nyland, J., Caborn, D.N., Johnson, D.L.  
Soft-tissue interference fixation: bioabsorbable screw versus metal screw.  
Arthroscopy 21 (2005) 911-916
- [20] Brophy, R.H., Selby, R.M., Altchek, D.W.  
Anterior cruciate ligament revision: double-bundle augmentation of primary vertical graft.  
Arthroscopy 22 (2006) 683 e681-685
- [21] Brucker, P.U., Lorenz, S., Imhoff, A.B.  
Aperture fixation in arthroscopic anterior cruciate ligament double-bundle reconstruction.  
Arthroscopy 22 (2006) 1250 e1251-1256
- [22] Brucker, P.U., Zelle, B.A., Fu, F.H.  
Revision after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction by Restoration of the Posterolateral Bundle.  
Oper Tech Orthop 15 (2005) 146-150
- [23] Buelow, J.U., Siebold, R., Ellermann, A.  
A prospective evaluation of tunnel enlargement in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings: extracortical versus anatomical fixation.  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 10 (2002) 80-85
- [24] Buoncristiani, A.M., Tjoumakaris, F.P., Starman, J.S., Ferretti, M., Fu, F.H.  
Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction.  
Arthroscopy 22 (2006) 1000-1006
- [25] Caborn, D.N., Coen, M., Neef, R., Hamilton, D., Nyland, J., Johnson, D.L.  
Quadrupled semitendinosus-gracilis autograft fixation in the femoral tunnel: a comparison between a metal and a bioabsorbable interference screw.  
Arthroscopy 14 (1998) 241-245
- [26] Carlisle, J.C., Parker, R.D., Matava, M.J.  
Technical considerations in revision anterior cruciate ligament surgery.  
J Knee Surg 20 (2007) 312-322
- [27] Carson, E.W., Anisko, E.M., Restrepo, C., Panariello, R.A., O'Brien, S.J., Warren, R.F.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction: etiology of failures and clinical results.  
J Knee Surg 17 (2004) 127-132
- [28] Cha, P.S., Brucker, P.U., West, R.V., Zelle, B.A., Yagi, M., Kurosaka, M., Fu, F.H.  
Arthroscopic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: an anatomic approach.  
Arthroscopy 21 (2005) 1275
- [29] Chen, L., Cooley, V., Rosenberg, T.  
ACL reconstruction with hamstring tendon.  
Orthop Clin North Am 34 (2003) 9-18
- [30] Chhabra, A., Starman, J.S., Ferretti, M., Vidal, A.F., Zantop, T., Fu, F.H.  
Anatomic, radiographic, biomechanical, and kinematic evaluation of the anterior cruciate ligament and its two functional bundles.  
J Bone Joint Surg Am 88 Suppl 4 (2006) 2-10
- [31] Colosimo, A.J., Heidt, R.S., Jr., Traub, J.A., Carlonas, R.L.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction with a reharvested ipsilateral patellar tendon.  
Am J Sports Med 29 (2001) 746-750
- [32] Corry, I.S., Webb, J.M., Clingeleffer, A.J., Pinczewski, L.A.  
Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament. A comparison of patellar tendon autograft and four-strand hamstring tendon autograft.  
Am J Sports Med 27 (1999) 444-454
- [33] Corsetti, J.R., Jackson, D.W.  
Failure of anterior cruciate ligament reconstruction: the biologic basis.  
Clin Orthop Relat Res (1996) 42-49

- [34] Crawford, C., Nyland, J., Landes, S., Jackson, R., Chang, H.C., Nawab, A., Caborn, D.N.  
Anatomic double bundle ACL reconstruction: a literature review.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 15 (2007) 946-964
- [35] Daniel, D.M.  
Reference, Maintenance & Users's guide for the Knee Ligament Arthrometer®. First Edition, May 1993. © 1993 by  
MEDmetric Corporation, 7542 Trade Street, San Diego, California 93131-2412.
- [36] Daniel, D.M., Malcom, L.L., Losse, G., Stone, M.L., Sachs, R., Burks, R.  
Instrumented measurement of anterior laxity of the knee.  
*J Bone Joint Surg Am* 67 (1985) 720-726
- [37] Daniel, D.M., Malcom, L., Stone, M.L., Perth, H., Morgan, J., Riehl, B.  
Quantification of knee stability and function.  
*Contemp Orthop* 5 (1982) 83-91
- [38] Daniel, D.M., Stone, M.L., Riehl, B., Moore, M.R.  
A measurement of lower limb function: The one-leg hop for distance.  
*Am J Knee Surg* 1 (1988) 212-214
- [39] Dargel, J., Gotter, M., Mader, K., Pennig, D., Koebke, J., Schmidt-Wiethoff, R.  
Biomechanics of the anterior cruciate ligament and implications for surgical reconstruction.  
*Strat Traum Limb Recon* 2 (2007) 1-12
- [40] Davis, E.  
Clinical examination of the knee following trauma: an evidence-based perspective.  
*Trauma* 4 (2002) 135-145
- [41] Defrate, L.E., Papannagari, R., Gill, T.J., Moses, J.M., Pathare, N.P., Li, G.  
The 6 degrees of freedom kinematics of the knee after anterior cruciate ligament deficiency: an in vivo imaging analysis.  
*Am J Sports Med* 34 (2006) 1240-1246
- [42] Denti, M., Lo Vetere, D., Bait, C., Schonhuber, H., Melegati, G., Volpi, P.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction: causes of failure, surgical technique, and clinical results.  
*Am J Sports Med* 36 (2008) 1896-1902
- [43] Diamantopoulos, A.P., Lorbach, O., Paessler, H.H.  
Anterior Cruciate Ligament Revision Reconstruction: Results in 107 Patients.  
*Am J Sports Med* (2008)
- [44] Duthon, V.B., Barea, C., Abrassart, S., Fasel, J.H., Fritschy, D., Menetrey, J.  
Anatomy of the anterior cruciate ligament.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14 (2006) 204-213
- [45] Eberhardt, C., Kurth, A.H., Hailer, N., Jager, A.  
Revision ACL reconstruction using autogenous patellar tendon graft.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 8 (2000) 290-295
- [46] Eberhardt, C., Wentz, S., Leonhard, T., Zichner, L.  
Effects of revisional ACL surgery in semi-professional athletes in "high-risk pivoting sports" with chronic anterior instability  
of the knee.  
*J Orthop Sci* 5 (2000) 205-209
- [47] Ejerhed, L., Kartus, J., Sernert, N., Kohler, K., Karlsson, J.  
Patellar tendon or semitendinosus tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction? A prospective  
randomized study with a two-year follow-up.  
*Am J Sports Med* 31 (2003) 19-25
- [48] Fagelman, M., Freedman, K.B.  
Revision reconstruction of the anterior cruciate ligament: evaluation and management.  
*Am J Orthop* 34 (2005) 319-328
- [49] Fairbank, T.J.  
Knee joint changes after meniscectomy.  
*J Bone Joint Surg Am* 30B (1948) 664-670
- [50] Fanelli, G.C., Edson, C.J., Maish, D.R.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction: associated patholaxity, tibiofemoral malalignment, rehabilitation, and  
results.  
*Am J Knee Surg* 14 (2001) 201-204

- [51] Fauno, P., Kaalund, S.  
Tunnel widening after hamstring anterior cruciate ligament reconstruction is influenced by the type of graft fixation used: a prospective randomized study.  
*Arthroscopy* 21 (2005) 1337-1341
- [52] Ferretti, M., Conteduca, F., Monaco, E., De Carli, A., D'Arrigo, C.  
Revision ACL reconstruction using doubled semitendinosus and gracilis tendons: a follow-up study.  
*J Orthopaed Traumatol* 5 (2004) 142-146
- [53] Forster, I.W., Warren-Smith, C.D., Tew, M.  
Is the KT1000 knee ligament arthrometer reliable?  
*J Bone Joint Surg Br* 71 (1989) 843-847
- [54] Fox, J.A., Pierce, M., Bojchuk, J., Hayden, J., Bush-Joseph, C.A., Bach, B.R., Jr.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction with nonirradiated fresh-frozen patellar tendon allograft.  
*Arthroscopy* 20 (2004) 787-794
- [55] Freedman, K.B., D'Amato, M.J., Nedeff, D.D., Kaz, A., Bach, B.R., Jr.  
Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts.  
*Am J Sports Med* 31 (2003) 2-11
- [56] Fu, F.H., Bennett, C.H., Lattermann, C., Ma, C.B.  
Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part 1: Biology and biomechanics of reconstruction.  
*Am J Sports Med* 27 (1999) 821-830
- [57] Fu, F.H., Bennett, C.H., Ma, C.B., Menetrey, J., Lattermann, C.  
Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part II. Operative procedures and clinical correlations.  
*Am J Sports Med* 28 (2000) 124-130
- [58] Fules, P.J., Madhav, R.T., Goddard, R.K., Mowbray, M.A.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction using autografts with a polyester fixation device.  
*Knee* 10 (2003) 335-340
- [59] Gabriel, M.T., Wong, E.K., Woo, S.L., Yagi, M., Debski, R.E.  
Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads.  
*J Orthop Res* 22 (2004) 85-89
- [60] Galway, H.R., MacIntosh, D.L.  
The lateral pivot shift: a symptom and sign of anterior cruciate ligament insufficiency.  
*Clin Orthop Relat Res* (1980) 45-50
- [61] Galway, R.D., Beaupré, A., MacIntosh, D.L.  
Pivot shift: a clinical sign of symptomatic anterior cruciate ligament insufficiency.  
*J Bone Joint Surg Br* 54 (1972) 763-764
- [62] Gavriilidis, I., Mosis, E.K., Pakos, E.E., Georgoulis, A.D., Mitsionis, G., Xenakis, T.A.  
Transibial versus anteromedial portal of the femoral tunnel in ACL reconstruction: a cadaveric study.  
*Knee* 15 (2008) 364-367
- [63] George, M.S., Dunn, W.R., Spindler, K.P.  
Current concepts review: revision anterior cruciate ligament reconstruction.  
*Am J Sports Med* 34 (2006) 2026-2037
- [64] Georgoulis, A.D., Papadonikolakis, A., Papageorgiou, C.D., Mitsou, A., Stergiou, N.  
Three-dimensional tibiofemoral kinematics of the anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knee during walking.  
*Am J Sports Med* 31 (2003) 75-79
- [65] Getelman, M.H., Friedman, M.J.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction surgery.  
*J Am Acad Orthop Surg* 7 (1999) 189-198
- [66] Giffin, J.R., Harner, C.D.  
Failed anterior cruciate ligament surgery: overview of the problem.  
*Am J Knee Surg* 14 (2001) 185-192
- [67] Girgis, F.G., Marshall, J.L., Monajem, A.  
The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis.  
*Clin Orthop Relat Res* (1975) 216-231

- [68] Giron, F., Cuomo, P., Edwards, A., Bull, A.M., Amis, A.A., Aglietti, P.  
Double-bundle "anatomic" anterior cruciate ligament reconstruction: a cadaveric study of tunnel positioning with a transtibial technique.  
*Arthroscopy* 23 (2007) 7-13
- [69] Goldblatt, J.P., Fitzsimmons, S.E., Balk, E., Richmond, J.C.  
Reconstruction of the anterior cruciate ligament: Meta-analysis of patellar tendon versus hamstring tendon autograft.  
*Arthroscopy* 21 (2005) 791-803
- [70] Graham, G.P., Johnson, S., Dent, C.M., Fairclough, J.A.  
Comparison of clinical tests and the KT1000 in the diagnosis of anterior cruciate ligament rupture.  
*Br J Sports Med* 25 (1991) 96-97
- [71] Grossman, M.G., ElAttrache, N.S., Shields, C.L., Glousman, R.E.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction: three- to nine-year follow-up.  
*Arthroscopy* 21 (2005) 418-423
- [72] Harilainen, A., Sandelin, J.  
Revision anterior cruciate ligament surgery. A review of the literature and results of our own revisions.  
*Scand J Med Sci Sports* 11 (2001) 163-169
- [73] Harilainen, A., Sandelin, J., Jansson, K.A.  
Cross-pin femoral fixation versus metal interference screw fixation in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendons: results of a controlled prospective randomized study with 2-year follow-up.  
*Arthroscopy* 21 (2005) 25-33
- [74] Harner, C.D., Baek, G.H., Vogrin, T.M., Carlin, G.J., Kashiwaguchi, S., Woo, S.L.  
Quantitative analysis of human cruciate ligament insertions.  
*Arthroscopy* 15 (1999) 741-749
- [75] Harner, C.D., Giffin, J.R., Duntzman, R.C., Annunziata, C.C., Friedman, M.J.  
Evaluation and Treatment of Recurrent Instability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction.  
*J Bone Joint Surg Am* 82 (2000) 1652-1664
- [76] Harner, C.D., Honkamp, N.J., Ranawat, A.S.  
Anteromedial portal technique for creating the anterior cruciate ligament femoral tunnel.  
*Arthroscopy* 24 (2008) 113-115
- [77] Hart, A.J., Buscombe, J., Malone, A., Dowd, G.S.  
Assessment of osteoarthritis after reconstruction of the anterior cruciate ligament: a study using single-photon emission computed tomography at ten years.  
*J Bone Joint Surg Br* 87 (2005) 1483-1487
- [78] Harvey, A., Thomas, N.P., Amis, A.A.  
Fixation of the graft in reconstruction of the anterior cruciate ligament.  
*J Bone Joint Surg Br* 87 (2005) 593-603
- [79] Hefti, F., Muller, W., Jakob, R.P., Staubli, H.U.  
Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1 (1993) 226-234
- [80] Heming, J.F., Rand, J., Steiner, M.E.  
Anatomical limitations of transtibial drilling in anterior cruciate ligament reconstruction.  
*Am J Sports Med* 35 (2007) 1708-1715
- [81] Hepp, W.R., Debrunner, H.U.  
*Orthopädisches Diagnostikum*  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2004, 7. Auflage
- [82] Ho, J.Y., Gardiner, A., Shah, V., Steiner, M.E.  
Equal kinematics between central anatomic single-bundle and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions.  
*Arthroscopy* 25 (2009) 464-472
- [83] Hoffmann, R.F., Peine, R., Bail, H.J., Sudkamp, N.P., Weiler, A.  
Initial fixation strength of modified patellar tendon grafts for anatomic fixation in anterior cruciate ligament reconstruction.  
*Arthroscopy* 15 (1999) 392-399
- [84] Hoher, J., Livesay, G.A., Ma, C.B., Withrow, J.D., Fu, F.H., Woo, S.L.  
Hamstring graft motion in the femoral bone tunnel when using titanium button/polyester tape fixation.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 7 (1999) 215-219

- [85] Hoher, J., Moller, H.D., Fu, F.H.  
Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction: fact or fiction?  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 6 (1998) 231-240
- [86] Hoher, J., Tiling, T.  
Differential transplant selection in cruciate ligament surgery.  
*Chirurg* 71 (2000) 1045-1054
- [87] Howell, S.M.  
Principles for placing the tibial tunnel and avoiding roof impingement during reconstruction of a torn anterior cruciate ligament.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 6 Suppl 1 (1998) S49-55
- [88] Irrgang, J.J., Anderson, A.F., Boland, A.L., Harner, C.D., Kurosaka, M., Neyret, P., Richmond, J.C., Shelborne, K.D.  
Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form.  
*Am J Sports Med* 29 (2001) 600-613
- [89] Irrgang, J.J., Anderson, A.F., Boland, A.L., Harner, C.D., Neyret, P., Richmond, J.C., Shelborne, K.D.  
Responsiveness of the International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form.  
*Am J Sports Med* 34 (2006) 1567-1573
- [90] Irrgang, J.J., Ho, H., Harner, C.D., Fu, F.H.  
Use of the International Knee Documentation Committee guidelines to assess outcome following anterior cruciate ligament reconstruction.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 6 (1998) 107-114
- [91] Ishibashi, Y., Rudy, T.W., Livesay, G.A., Stone, J.D., Fu, F.H., Woo, S.L.  
The effect of anterior cruciate ligament graft fixation site at the tibia on knee stability: evaluation using a robotic testing system.  
*Arthroscopy* 13 (1997) 177-182
- [92] Jackson, D.W., Gasser, S.I.  
Tibial tunnel placement in ACL reconstruction.  
*Arthroscopy* 10 (1994) 124-131
- [93] Jakob, R.P., Hassler, H., Staebli, H.U.  
Observations on rotatory instability of the lateral compartment of the knee. Experimental studies on the functional anatomy and the pathomechanism of the true and the reversed pivot shift sign.  
*Acta Orthop Scand Suppl* 191 (1981) 1-32
- [94] Jakob, R.P., Staebli, H.U., Deland, J.T.  
Grading the pivot shift. Objective tests with implications for treatment.  
*J Bone Joint Surg Br* 69 (1987) 294-299
- [95] Jarvela, T., Kannus, P., Latvala, K., Jarvinen, M.  
Simple measurements in assessing muscle performance after an ACL reconstruction.  
*Int J Sports Med* 23 (2002) 196-201
- [96] Jarvela, T., Moisala, A.S., Sihvonen, R., Jarvela, S., Kannus, P., Jarvinen, M.  
Double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring autografts and bioabsorbable interference screw fixation: prospective, randomized, clinical study with 2-year results.  
*Am J Sports Med* 36 (2008) 290-297
- [97] Jaureguito, J.W., Paulos, L.E.  
Why grafts fail.  
*Clin Orthop Relat Res* (1996) 25-41
- [98] Johnson, D.H., Houle, J.B., Almazan, A.  
Comparison of Intraoperative AP Translation of Two Different Modes of Fixation of the Grafts Used in ACL Reconstruction.  
*Arthroscopy* 14 (1998) 424
- [99] Johnson, D.L., Swenson, T.M., Irrgang, J.J., Fu, F.H., Harner, C.D.  
Revision anterior cruciate ligament surgery: experience from Pittsburgh.  
*Clin Orthop Relat Res* (1996) 100-109
- [100] Johnson, D.S., Smith, R.B.  
Outcome measurement in the ACL deficient knee--what's the score?  
*Knee* 8 (2001) 51-57
- [101] Johnson, L.L., vanDyk, G.E.  
Metal and biodegradable interference screws: comparison of failure strength.  
*Arthroscopy* 12 (1996) 452-456

- [102] Jonsson, T., Althoff, B., Peterson, L., Renstrom, P.  
Clinical diagnosis of ruptures of the anterior cruciate ligament: a comparative study of the Lachman test and the anterior drawer sign.  
*Am J Sports Med* 10 (1982) 100-102
- [103] Jorgensen, U., Thomsen, H.S.  
Behavior of the graft within the bone tunnels following anterior cruciate ligament reconstruction, studied by cinematic magnetic resonance imaging.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 8 (2000) 32-35
- [104] Kanaya, A., Ochi, M., Deie, M., Adachi, N., Nishimori, M., Nakamae, A.  
Intraoperative evaluation of anteroposterior and rotational stabilities in anterior cruciate ligament reconstruction: lower femoral tunnel placed single-bundle versus double-bundle reconstruction.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17 (2009) 907-913
- [105] Kartus, J., Stener, S., Lindahl, S., Eriksson, B.I., Karlsson, J.  
Ipsi- or contralateral patellar tendon graft in anterior cruciate ligament revision surgery. A comparison of two methods.  
*Am J Sports Med* 26 (1998) 499-504
- [106] Katz, J.W., Fingerhuth, R.J.  
The diagnostic accuracy of ruptures of the anterior cruciate ligament comparing the Lachman test, the anterior drawer sign, and the pivot shift test in acute and chronic knee injuries.  
*Am J Sports Med* 14 (1986) 88-91
- [107] Kaz, R., Starman, J.S., Fu, F.H.  
Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction revision surgery.  
*Arthroscopy* 23 (2007) 1250 e1251-1253
- [108] Keays, S.L., Bullock-Saxton, J.E., Newcombe, P., Keays, A.C.  
The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction.  
*J Orthop Res* 21 (2003) 231-237
- [109] Kobayashi, A., Higuchi, H., Terauchi, M., Kobayashi, F., Kimura, M., Takagishi, K.  
Muscle performance after anterior cruciate ligament reconstruction.  
*Int Orthop* 28 (2004) 48-51
- [110] Kocher, M.S., Steadman, J.R., Briggs, K., Zurakowski, D., Sterett, W.I., Hawkins, R.J.  
Determinants of patient satisfaction with outcome after anterior cruciate ligament reconstruction.  
*J Bone Joint Surg Am* 84-A (2002) 1560-1572
- [111] Kocher, M.S., Steadman, J.R., Briggs, K.K., Sterett, W.I., Hawkins, R.J.  
Relationships between objective assessment of ligament stability and subjective assessment of symptoms and function after anterior cruciate ligament reconstruction.  
*Am J Sports Med* 32 (2004) 629-634
- [112] Kohn, D., Rupp, S.  
Strategies for interventional revisions in failed anterior cruciate ligament reconstruction.  
*Chirurg* 71 (2000) 1055-1065
- [113] Kondo, E., Yasuda, K., Azuma, H., Tanabe, Y., Yagi, T.  
Prospective clinical comparisons of anatomic double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedures in 328 consecutive patients.  
*Am J Sports Med* 36 (2008) 1675-1687
- [114] Kruger-Franke, M., Buchner, M., Rosemeyer, B.  
Mid-term outcome after surgically managed re-rupture of the anterior cruciate ligament.  
*Unfallchirurg* 100 (1997) 274-279
- [115] Labs, K., Hasart, O., Perka, C.  
Results after anterior cruciate ligament revision surgery.  
*Zentralbl Chir* 127 (2002) 861-867
- [116] LaPrade, R.F., Hamilton, C.D., Montgomery, R.D., Wentorf, F., Hawkins, H.D.  
The reharvested central third of the patellar tendon. A histologic and biomechanical analysis.  
*Am J Sports Med* 25 (1997) 779-785
- [117] Lautamies, R., Harilainen, A., Kettunen, J., Sandelin, J., Kujala, U.M.  
Isokinetic quadriceps and hamstring muscle strength and knee function 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon autografts.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 16 (2008) 1009-1016

- [118] Li, G., Moses, J.M., Papannagari, R., Pathare, N.P., DeFrate, L.E., Gill, T.J.  
Anterior cruciate ligament deficiency alters the in vivo motion of the tibiofemoral cartilage contact points in both the anteroposterior and mediolateral directions.  
J Bone Joint Surg Am 88 (2006) 1826-1834
- [119] Liden, M., Ejerhed, L., Sernert, N., Laxdal, G., Kartus, J.  
Patellar tendon or semitendinosus tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized study with a 7-Year follow-up.  
Am J Sports Med 35 (2007) 740-748
- [120] Lipscomb, A.B., Johnston, R.K., Snyder, R.B., Warburton, M.J., Gilbert, P.P.  
Evaluation of hamstring strength following use of semitendinosus and gracilis tendons to reconstruct the anterior cruciate ligament.  
Am J Sports Med 10 (1982) 340-342
- [121] Lobenhoffer, P., Agneskirchner, J.D.  
Anterior cruciate ligament rupture - state of the art.  
Arthroscopie 18 (2005) 11-14
- [122] Loh, J.C., Fukuda, Y., Tsuda, E., Steadman, R.J., Fu, F.H., Woo, S.L.  
Knee stability and graft function following anterior cruciate ligament reconstruction: Comparison between 11 o'clock and 10 o'clock femoral tunnel placement. 2002 Richard O'Connor Award paper.  
Arthroscopy 19 (2003) 297-304
- [123] Lohmander, L.S., Englund, P.M., Dahl, L.L., Roos, E.M.  
The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: osteoarthritis.  
Am J Sports Med 35 (2007) 1756-1769
- [124] Lopez-Vidriero, E., Hugh Johnson, D.  
Evolving concepts in tunnel placement.  
Sports Med Arthrosc 17 (2009) 210-216
- [125] Lorenz, S., Anetzberger, H., Spang, J.T., Imhoff, A.B.  
Double-bundle technique - anatomic reconstruction of the anterior cruciate ligament.  
Oper Orthop Traumatol 19 (2007) 473-488
- [126] Losee, R.E., Johnson, T.R., Southwick, W.O.  
Anterior subluxation of the lateral tibial plateau. A diagnostic test and operative repair.  
J Bone Joint Surg Am 60 (1978) 1015-1030
- [127] Lynch, M.A., Henning, C.E., Glick, K.R., Jr.  
Knee joint surface changes. Long-term follow-up meniscus tear treatment in stable anterior cruciate ligament reconstructions.  
Clin Orthop Relat Res (1983) 148-153
- [128] Lysholm, J., Gillquist, J.  
Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale.  
Am J Sports Med 10 (1982) 150-154
- [129] Mae, T., Shino, K., Miyama, T., Shinjo, H., Ochi, T., Yoshikawa, H., Fujie, H.  
Single- versus two-femoral socket anterior cruciate ligament reconstruction technique: Biomechanical analysis using a robotic simulator.  
Arthroscopy 17 (2001) 708-716
- [130] Maletis, G.B., Cameron, S.L., Tengan, J.J., Burchette, R.J.  
A prospective randomized study of anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of patellar tendon and quadruple-strand semitendinosus/gracilis tendons fixed with bioabsorbable interference screws.  
Am J Sports Med 35 (2007) 384-394
- [131] Marquass, B., Engel, T., Hepp, P., Theopold, J.D., Josten, C.  
One- and two-stage procedure for revision after failure of anterior cruciate ligament reconstruction.  
Z Orthop Unfall 145 (2007) 712-718
- [132] Martin, S.D., Martin, T.L., Brown, C.H.  
Anterior cruciate ligament graft fixation.  
Orthop Clin North Am 33 (2002) 685-696
- [133] Martinek, V., Imhoff, A.B.  
Revision of failed anterior cruciate ligament reconstruction.  
Orthopade 31 (2002) 778-784

- [134] Menetrey, J., Duthon, V.B., Laumonier, T., Fritschy, D.  
"Biological failure" of the anterior cruciate ligament graft.  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 16 (2008) 224-231
- [135] Moisala, A.S., Jarvela, T., Kannus, P., Jarvinen, M.  
Muscle strength evaluations after ACL reconstruction.  
Int J Sports Med 28 (2007) 868-872
- [136] More, R.C., Karras, B.T., Neiman, R., Fritschy, D., Woo, S.L., Daniel, D.M.  
Hamstrings--an anterior cruciate ligament protagonist. An in vitro study.  
Am J Sports Med 21 (1993) 231-237
- [137] Morimoto, Y., Ferretti, M., Ekdahl, M., Smolinski, P., Fu, F.H.  
Tibiofemoral joint contact area and pressure after single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction.  
Arthroscopy 25 (2009) 62-69
- [138] Müller, A., Seide, K., Fuchs, S., Wurm, M., Jürgens, C.  
Anterior cruciate ligament reconstruction.  
Trauma Berufskrankh 9 (2007) 122-127
- [139] Muneta, T., Hara, K., Ju, Y.J., Mochizuki, T., Morito, T., Yagishita, K., Sekiya, I.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction by double-bundle technique using multi-strand semitendinosus tendon.  
Arthroscopy 26 (2010) 769-781
- [140] Muneta, T., Koga, H., Mochizuki, T., Ju, Y.J., Hara, K., Nimura, A., Yagishita, K., Sekiya, I.  
A prospective randomized study of 4-strand semitendinosus tendon anterior cruciate ligament reconstruction comparing single-bundle and double-bundle techniques.  
Arthroscopy 23 (2007) 618-628
- [141] Muneta, T., Koga, H., Morito, T., Yagishita, K., Sekiya, I.  
A retrospective study of the midterm outcome of two-bundle anterior cruciate ligament reconstruction using quadrupled semitendinosus tendon in comparison with one-bundle reconstruction.  
Arthroscopy 22 (2006) 252-258
- [142] Musahl, V., Plakseychuk, A., VanScyoc, A., Sasaki, T., Debski, R.E., McMahon, P.J., Fu, F.H.  
Varying femoral tunnels between the anatomical footprint and isometric positions: effect on kinematics of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee.  
Am J Sports Med 33 (2005) 712-718
- [143] Nebelung, W., Becker, R., Merkel, M., Ropke, M.  
Bone tunnel enlargement after anterior cruciate ligament reconstruction with semitendinosus tendon using Endobutton fixation on the femoral side.  
Arthroscopy 14 (1998) 810-815
- [144] Niga, S., Yamamoto, H., Furuya, K.  
Recovery of extensor muscle strength in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction.  
J Orthop Sci 1 (1996) 171-177
- [145] Noyes, F.R., Barber-Westin, S.D.  
Revision anterior cruciate ligament surgery: experience from Cincinnati.  
Clin Orthop Relat Res (1996) 116-129
- [146] Noyes, F.R., Barber-Westin, S.D.  
Revision anterior cruciate surgery with use of bone-patellar tendon-bone autogenous grafts.  
J Bone Joint Surg Am 83-A (2001) 1131-1143
- [147] Noyes, F.R., Barber-Westin, S.D., Roberts, C.S.  
Use of allografts after failed treatment of rupture of the anterior cruciate ligament.  
J Bone Joint Surg Am 76 (1994) 1019-1031
- [148] O'Neill, D.B.  
Revision arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction with previously unharvested ipsilateral autografts.  
Am J Sports Med 32 (2004) 1833-1841
- [149] Odensten, M., Gillquist, J.  
Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction.  
J Bone Joint Surg Am 67 (1985) 257-262
- [150] Oetli, G.M., Imhoff, A.B.  
Revision surgery in failed anterior cruciate ligament-plasty.  
Zentralbl Chir 123 (1998) 1033-1039

- [151] Ohly, N.E., Murray, I.R., Keating, J.F.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction: timing of surgery and the incidence of meniscal tears and degenerative change.  
J Bone Joint Surg Br 89 (2007) 1051-1054
- [152] Okazaki, K., Miura, H., Matsuda, S., Yasunaga, T., Nakashima, H., Konishi, K., Iwamoto, Y., Hashizume, M.  
Assessment of anterolateral rotatory instability in the anterior cruciate ligament-deficient knee using an open magnetic resonance imaging system.  
Am J Sports Med 35 (2007) 1091-1097
- [153] Papastergiou, S.G., Koukoulis, N.E., Mikalef, P., Ziogas, E., Voulgaropoulos, H.  
Meniscal tears in the ACL-deficient knee: correlation between meniscal tears and the timing of ACL reconstruction.  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15 (2007) 1438-1444
- [154] Petersen, W., Tillmann, B.  
Anatomy and function of the anterior cruciate ligament.  
Orthopade 31 (2002) 710-718
- [155] Petersen, W., Tretow, H., Weimann, A., Herbolt, M., Fu, F.H., Raschke, M., Zantop, T.  
Biomechanical evaluation of two techniques for double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: one tibial tunnel versus two tibial tunnels.  
Am J Sports Med 35 (2007) 228-234
- [156] Petersen, W., Zantop, T.  
Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles.  
Clin Orthop Relat Res 454 (2007) 35-47
- [157] Petersen, W., Zantop, T.  
The double bundle reconstruction technique.  
Arthroscopie 20 (2007) 132-138
- [158] Pinczewski, L.A., Deehan, D.J., Salmon, L.J., Russell, V.J., Clingeleffer, A.  
A five-year comparison of patellar tendon versus four-strand hamstring tendon autograft for arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament.  
Am J Sports Med 30 (2002) 523-536
- [159] Pinczewski, L.A., Lyman, J., Salmon, L.J., Russell, V.J., Roe, J., Linklater, J.  
A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon and patellar tendon autograft: a controlled, prospective trial.  
Am J Sports Med 35 (2007) 564-574
- [160] Pombo, M.W., Shen, W., Fu, F.H.  
Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: where are we today?  
Arthroscopy 24 (2008) 1168-1177
- [161] Prodromos, C.C., Joyce, B.T., Shi, K., Keller, B.L.  
A meta-analysis of stability after anterior cruciate ligament reconstruction as a function of hamstring versus patellar tendon graft and fixation type.  
Arthroscopy 21 (2005) 1202
- [162] Rangger, C., Daniel, D.M., Stone, M.L., Kaufman, K.  
Diagnosis of an ACL disruption with KT-1000 arthrometer measurements.  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 1 (1993) 60-66
- [163] Ristanis, S., Giakas, G., Papageorgiou, C.D., Moraiti, T., Stergiou, N., Georgoulis, A.D.  
The effects of anterior cruciate ligament reconstruction on tibial rotation during pivoting after descending stairs.  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 11 (2003) 360-365
- [164] Ristanis, S., Stergiou, N., Patras, K., Vasiliadis, H.S., Giakas, G., Georgoulis, A.D.  
Excessive tibial rotation during high-demand activities is not restored by anterior cruciate ligament reconstruction.  
Arthroscopy 21 (2005) 1323-1329
- [165] Roe, J., Pinczewski, L.A., Russell, V.J., Salmon, L.J., Kawamata, T., Chew, M.  
A 7-year follow-up of patellar tendon and hamstring tendon grafts for arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: differences and similarities.  
Am J Sports Med 33 (2005) 1337-1345
- [166] Rose, T., Hepp, P., Venus, J., Stockmar, C., Josten, C., Lill, H.  
Prospective randomized clinical comparison of femoral transfixation versus bioscrew fixation in hamstring tendon ACL reconstruction--a preliminary report.  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 14 (2006) 730-738

- [167] Rosenberg, T.D., Franklin, J.L., Baldwin, G.N., Nelson, K.A.  
Extensor mechanism function after patellar tendon graft harvest for anterior cruciate ligament reconstruction.  
*Am J Sports Med* 20 (1992) 519-525; discussion 525-516
- [168] Rubinstein, R.A., Jr., Shelbourne, K.D., McCarroll, J.R., VanMeter, C.D., Rettig, A.C.  
The accuracy of the clinical examination in the setting of posterior cruciate ligament injuries.  
*Am J Sports Med* 22 (1994) 550-557
- [169] Safran, M.R., Harner, C.D.  
Technical considerations of revision anterior cruciate ligament surgery.  
*Clin Orthop Relat Res* (1996) 50-64
- [170] Sajovic, M., Vengust, V., Komadina, R., Tavcar, R., Skaza, K.  
A prospective, randomized comparison of semitendinosus and gracilis tendon versus patellar tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction: five-year follow-up.  
*Am J Sports Med* 34 (2006) 1933-1940
- [171] Sakane, M., Fox, R.J., Woo, S.L., Livesay, G.A., Li, G., Fu, F.H.  
In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads.  
*J Orthop Res* 15 (1997) 285-293
- [172] Sakane, M., Woo, S.L.Y., Hildebrand, K.A., Fox, R.J.  
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.  
*J Orthop Sci* 1 (1996) 335-347
- [173] Salmon, L.J., Pinczewski, L.A., Russell, V.J., Refshauge, K.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon autograft: 5- to 9-year follow-up.  
*Am J Sports Med* 34 (2006) 1604-1614
- [174] Scarvell, J.M., Smith, P.N., Refshauge, K.M., Galloway, H.R., Woods, K.R.  
Association between abnormal kinematics and degenerative change in knees of people with chronic anterior cruciate ligament deficiency: a magnetic resonance imaging study.  
*Aust J Physiother* 51 (2005) 233-240
- [175] Scheffler, S.U., Petersen, W., Weiler, A.  
Fixation of ACL grafts.  
*Arthroscopie* 20 (2007) 105-114
- [176] Scheffler, S.U., Sudkamp, N.P., Gockenjan, A., Hoffmann, R.F., Weiler, A.  
Biomechanical comparison of hamstring and patellar tendon graft anterior cruciate ligament reconstruction techniques: The impact of fixation level and fixation method under cyclic loading.  
*Arthroscopy* 18 (2002) 304-315
- [177] Scopp, J.M., Jasper, L.E., Belkoff, S.M., Moorman, C.T., 3rd  
The effect of oblique femoral tunnel placement on rotational constraint of the knee reconstructed using patellar tendon autografts.  
*Arthroscopy* 20 (2004) 294-299
- [178] Sekiya, I., Muneta, T., Ogiuchi, T., Yagishita, K., Yamamoto, H.  
Significance of the single-legged hop test to the anterior cruciate ligament-reconstructed knee in relation to muscle strength and anterior laxity.  
*Am J Sports Med* 26 (1998) 384-388
- [179] Seon, J.K., Song, E.K., Bae, B.H., Park, S.J., Yoon, T.R., Cho, S.G., Lee, J.J., Kim, M.S.  
Kinematic study following double-bundle, anterior cruciate ligament reconstruction.  
*Int Orthop* 31 (2007) 623-628
- [180] Seto, J.L., Orofino, A.S., Morrissey, M.C., Medeiros, J.M., Mason, W.J.  
Assessment of quadriceps/hamstring strength, knee ligament stability, functional and sports activity levels five years after anterior cruciate ligament reconstruction.  
*Am J Sports Med* 16 (1988) 170-180
- [181] Shaver, J.C., Johnson, D.L.  
Revision anatomic double-bundle anterior cruciate ligament surgery.  
*Oper Tech Sports Med* 16 (2008) 157-164
- [182] Shefelbine, S.J., Ma, C.B., Lee, K.Y., Schrupf, M.A., Patel, P., Safran, M.R., Slavinsky, J.P., Majumdar, S.  
MRI analysis of in vivo meniscal and tibiofemoral kinematics in ACL-deficient and normal knees.  
*J Orthop Res* 24 (2006) 1208-1217

- [183] Shen, W., Forsythe, B., Ingham, S.M., Honkamp, N.J., Fu, F.H.  
Application of the anatomic double-bundle reconstruction concept to revision and augmentation anterior cruciate ligament surgeries.  
J Bone Joint Surg Am 90 Suppl 4 (2008) 20-34
- [184] Shino, K., Inoue, M., Horibe, S., Nakamura, H., Ono, K.  
Measurement of anterior instability of the knee. A new apparatus for clinical testing.  
J Bone Joint Surg Br 69 (1987) 608-613
- [185] Siebold, R., Dehler, C., Ellert, T.  
Prospective randomized comparison of double-bundle versus single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction.  
Arthroscopy 24 (2008) 137-145
- [186] Slocum, D.B., James, S.L., Larson, R.L., Singer, K.M.  
Clinical test for anterolateral rotary instability of the knee.  
Clin Orthop Relat Res (1976) 63-69
- [187] Sohn, D.H., Garrett, W.E., Jr.  
Transitioning to anatomic anterior cruciate ligament graft placement.  
J Knee Surg 22 (2009) 155-160
- [188] Sommer, C., Friederich, N.F., Muller, W.  
Improperly placed anterior cruciate ligament grafts: correlation between radiological parameters and clinical results.  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 8 (2000) 207-213
- [189] Spindler, K.P., Kuhn, J.E., Freedman, K.B., Matthews, C.E., Dittus, R.S., Harrell, F.E., Jr.  
Anterior cruciate ligament reconstruction autograft choice: bone-tendon-bone versus hamstring: does it really matter? A systematic review.  
Am J Sports Med 32 (2004) 1986-1995
- [190] Steadman, J.R., Saterbak, A.M.  
Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Techniques and Tips - The Vail Experience.  
Techniques in Orthopaedics 13 (1998) 384-390
- [191] Steckel, H., Starman, J.S., Baums, M.H., Klinger, H.M., Schultz, W., Fu, F.H.  
Anatomy of the anterior cruciate ligament double bundle structure: a macroscopic evaluation.  
Scand J Med Sci Sports 17 (2007) 387-392
- [192] Stecker, S., Parker, R.D.  
Graft selection in knee cruciate ligament surgery: Autograft, Allograft, and Synthetic.  
Operat Tech Orthop 9 (1999) 248-255
- [193] Steiner, M.  
Anatomic single-bundle ACL reconstruction.  
Sports Med Arthrosc 17 (2009) 247-251
- [194] Steiner, T.M., Matava, M.J., Parker, R.D.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction with combined medial or lateral instability.  
J Knee Surg 20 (2007) 323-329
- [195] Stevens, K.J., Dragoo, J.L.  
Anterior cruciate ligament tears and associated injuries.  
Top Magn Reson Imaging 17 (2006) 347-362
- [196] Sudkamp, N.P., Haas, N.P.  
New methods of cruciate ligament surgery.  
Chirurg 71 (2000) 1024-1033
- [197] Taggart, T.F., Kumar, A., Bickerstaff, D.R.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction: a midterm patient assessment.  
Knee 11 (2004) 29-36
- [198] Tashman, S., Collon, D., Anderson, K., Kolowich, P., Anderst, W.  
Abnormal rotational knee motion during running after anterior cruciate ligament reconstruction.  
Am J Sports Med 32 (2004) 975-983
- [199] Tegner, Y., Lysholm, J.  
Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries.  
Clin Orthop Relat Res (1985) 43-49
- [200] Thomas, N.P., Kankate, R., Wandless, F., Pandit, H.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction using a 2-stage technique with bone grafting of the tibial tunnel.  
Am J Sports Med 33 (2005) 1701-1709

- [201] Torg, J.S., Conrad, W., Kalen, V.  
Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete.  
Am J Sports Med 4 (1976) 84-93
- [202] Torzilli, P.A., Deng, X., Warren, R.F.  
The effect of joint-compressive load and quadriceps muscle force on knee motion in the intact and anterior cruciate ligament-sectioned knee.  
Am J Sports Med 22 (1994) 105-112
- [203] Tredinnick, T.J., Friedman, M.J.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction: technical considerations.  
Am J Knee Surg 14 (2001) 193-200
- [204] Tsuda, E., Ishibashi, Y., Fukuda, A., Tsukada, H., Toh, S.  
Comparable results between lateralized single- and double-bundle ACL reconstructions.  
Clin Orthop Relat Res 467 (2009) 1042-1055
- [205] Tyler, T.F., McHugh, M.P., Gleim, G.W., Nicholas, S.J.  
Association of KT-1000 measurements with clinical tests of knee stability 1 year following anterior cruciate ligament reconstruction.  
J Orthop Sports Phys Ther 29 (1999) 540-545
- [206] Uribe, J.W., Hechtman, K.S., Zvijac, J.E., Tjin, A.T.E.W.  
Revision anterior cruciate ligament surgery: experience from Miami.  
Clin Orthop Relat Res (1996) 91-99
- [207] Vergis, A., Gillquist, J.  
Graft failure in intra-articular anterior cruciate ligament reconstructions: a review of the literature.  
Arthroscopy 11 (1995) 312-321
- [208] Viola, R.W., Sterett, W.I., Newfield, D., Steadman, J.R., Torry, M.R.  
Internal and external tibial rotation strength after anterior cruciate ligament reconstruction using ipsilateral semitendinosus and gracilis tendon autografts.  
Am J Sports Med 28 (2000) 552-555
- [209] Vorlat, P., Verdonk, R., Arnauw, G.  
Long-term results of tendon allografts for anterior cruciate ligament replacement in revision surgery and in cases of combined complex injuries.  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 7 (1999) 318-322
- [210] Wagner, M., Kaab, M.J., Schallock, J., Haas, N.P., Weiler, A.  
Hamstring tendon versus patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction using biodegradable interference fit fixation: a prospective matched-group analysis.  
Am J Sports Med 33 (2005) 1327-1336
- [211] Wagner, M., Scheffler, S.U., Weiler A.  
Revision reconstruction of the anterior cruciate ligament.  
Arthroscopie 20 (2007) 139-149
- [212] Wagner, M., Scheffler, S.U., Weiler A.  
Anterior cruciate ligament reconstruction: graft fixation.  
Arthroscopie 18 (2005) 27-35
- [213] Wallace, M.P., Howell, S.M., Hull, M.L.  
In vivo tensile behavior of a four-bundle hamstring graft as a replacement for the anterior cruciate ligament.  
J Orthop Res 15 (1997) 539-545
- [214] Weiler, A., Scheffler, S., Hoher, J.  
Transplant selection for primary replacement of the anterior cruciate ligament.  
Orthopade 31 (2002) 731-740
- [215] Weiler, A., Scheffler, S.U., Sudkamp, N.P.  
Current aspects of anchoring hamstring tendon transplants in cruciate ligament surgery.  
Chirurg 71 (2000) 1034-1044
- [216] Weiler, A., Schmeling, A., Stohr, I., Kaab, M.J., Wagner, M.  
Primary versus single-stage revision anterior cruciate ligament reconstruction using autologous hamstring tendon grafts: a prospective matched-group analysis.  
Am J Sports Med 35 (2007) 1643-1652
- [217] Weiler, A., Windhagen, H.J., Raschke, M.J., Laumeier, A., Hoffmann, R.F.  
Biodegradable interference screw fixation exhibits pull-out force and stiffness similar to titanium screws.  
Am J Sports Med 26 (1998) 119-126

- [218] Wetzler, M.J., Bartolozzi, A.R., Gillespie, M.J., Rubenstein, D.L., Ciccotti, M.G., Miller, L.S.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction.  
*Operat Tech Orthop* 6 (1996) 181-189
- [219] Wilcox, J.F., Gross, J.A., Sibel, R., Backs, R.A., Kaeding, C.C.  
Anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendons and cross-pin femoral fixation compared with patellar tendon autografts.  
*Arthroscopy* 21 (2005) 1186-1192
- [220] Wilk, K.E., Romaniello, W.T., Soscia, S.M., Arrigo, C.A., Andrews, J.R.  
The relationship between subjective knee scores, isokinetic testing, and functional testing in the ACL-reconstructed knee.  
*J Orthop Sports Phys Ther* 20 (1994) 60-73
- [221] Wilson, T.W., Zafuta, M.P., Zobitz, M.  
A biomechanical analysis of matched bone-patellar tendon-bone and double-looped semitendinosus and gracilis tendon grafts.  
*Am J Sports Med* 27 (1999) 202-207
- [222] Wirth, C.J., Kohn, D.  
Revision anterior cruciate ligament surgery: experience from Germany.  
*Clin Orthop Relat Res* (1996) 110-115
- [223] Wirth, C.J., Peters, G.  
The dilemma with multiply reoperated knee instabilities.  
*Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 6 (1998) 148-159
- [224] Woo, S.L., Kanamori, A., Zeminski, J., Yagi, M., Papageorgiou, C., Fu, F.H.  
The effectiveness of reconstruction of the anterior cruciate ligament with hamstrings and patellar tendon . A cadaveric study comparing anterior tibial and rotational loads.  
*J Bone Joint Surg Am* 84-A (2002) 907-914
- [225] Woods, G.W., Fincher, A.L., O'Connor, D.P., Bacon, S.A.  
Revision anterior cruciate ligament reconstruction using the lateral third of the ipsilateral patellar tendon after failure of a central-third graft: a preliminary report on 10 patients.  
*Am J Knee Surg* 14 (2001) 23-31
- [226] Wright, J.G., Swionkowski, M.F., Heckman, J.D.  
Introducing levels of evidence to the journal.  
*J Bone Joint Surg Am* 85-A (2003) 1-3
- [227] Wright, R.W., Dunn, W.R., Amendola, A., Andrish, J.T., Flanigan, D.C., Jones, M., Kaeding, C.C., Marx, R.G., Matava, M.J., McCarty, E.C., Parker, R.D., Vidal, A., Wolcott, M., Wolf, B.R., Spindler, K.P.  
Anterior cruciate ligament revision reconstruction: two-year results from the MOON cohort.  
*J Knee Surg* 20 (2007) 308-311
- [228] Wright, R.W., Huston, L.J., Spindler, K.P., Dunn, W.R., Haas, A.K., Allen, C.R., Cooper, D.E., DeBerardino, T.M., Lantz, B.B., Mann, B.J., Stuart, M.J.  
Descriptive epidemiology of the Multicenter ACL Revision Study (MARS) cohort.  
*Am J Sports Med* 38 (2010) 1979-1986
- [229] Wroble, R.R., Van Ginkel, L.A., Grood, E.S., Noyes, F.R., Shaffer, B.L.  
Repeatability of the KT-1000 arthrometer in a normal population.  
*Am J Sports Med* 18 (1990) 396-399
- [230] Yagi, M., Kuroda, R., Nagamune, K., Yoshiya, S., Kurosaka, M.  
Double-bundle ACL reconstruction can improve rotational stability.  
*Clin Orthop Relat Res* 454 (2007) 100-107
- [231] Yagi, M., Wong, E.K., Kanamori, A., Debski, R.E., Fu, F.H., Woo, S.L.  
Biomechanical analysis of an anatomic anterior cruciate ligament reconstruction.  
*Am J Sports Med* 30 (2002) 660-666
- [232] Yamamoto, Y., Hsu, W.H., Woo, S.L., Van Scyoc, A.H., Takakura, Y., Debski, R.E.  
Knee stability and graft function after anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of a lateral and an anatomical femoral tunnel placement.  
*Am J Sports Med* 32 (2004) 1825-1832
- [233] Yasuda, K., Kondo, E., Ichiyama, H., Tanabe, Y., Tohyama, H.  
Clinical evaluation of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction procedure using hamstring tendon grafts: comparisons among 3 different procedures.  
*Arthroscopy* 22 (2006) 240-251

- [234] Yasuda, K., Tsujino, J., Ohkoshi, Y., Tanabe, Y., Kaneda, K.  
Graft site morbidity with autogenous semitendinosus and gracilis tendons.  
Am J Sports Med 23 (1995) 706-714
- [235] Yunes, M., Richmond, J.C., Engels, E.A., Pinczewski, L.A.  
Patellar versus hamstring tendons in anterior cruciate ligament reconstruction: A meta-analysis.  
Arthroscopy 17 (2001) 248-257
- [236] Zantop, T., Diermann, N., Schumacher, T., Schanz, S., Fu, F.H., Petersen, W.  
Anatomical and nonanatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: importance of femoral tunnel location on knee kinematics.  
Am J Sports Med 36 (2008) 678-685
- [237] Zantop, T., Herbolt, M., Raschke, M.J., Fu, F.H., Petersen, W.  
The role of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament in anterior tibial translation and internal rotation.  
Am J Sports Med 35 (2007) 223-227
- [238] Zantop, T., Petersen, W.  
Double bundle revision of a malplaced single bundle vertical ACL reconstruction: ACL revision surgery using a two femoral tunnel technique.  
Arch Orthop Trauma Surg 128 (2008) 1287-1294
- [239] Zantop, T., Petersen, W., Sekiya, J.K., Musahl, V., Fu, F.H.  
Anterior cruciate ligament anatomy and function relating to anatomical reconstruction.  
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 14 (2006) 982-992
- [240] Zantop, T., Petersen, W.  
Anatomical reconstruction of the anterior cruciate ligament.  
Arthroscopie 20 (2007) 94-104
- [241] Zantop, T., Weimann, A., Schmidtko, R., Herbolt, M., Raschke, M.J., Petersen, W.  
Graft laceration and pullout strength of soft-tissue anterior cruciate ligament reconstruction: in vitro study comparing titanium, poly-d,l-lactide, and poly-d,l-lactide-tricalcium phosphate screws.  
Arthroscopy 22 (2006) 1204-1210
- [242] Zelle, B.A., Brucker, P.U., Feng, M.T., Fu, F.H.  
Anatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction.  
Sports Med 36 (2006) 99-108

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Relative Position der beiden funktionellen Bündel des VKB (modifiziert nach [30, S.3]).	10
Abb. 2: Femorale Fixationsmethoden (modifiziert nach [174, S.106]).	15
Abb. 3: Tibiale Fixationsmethoden (modifiziert nach [174, S.106]).	15
Abb. 4: VKB-Insuffizienz durch nichtanatomische Bohrkanallokalisierung.	20
Abb. 5: Radiologische Diagnostik ossärer Defekte im Bereich der Bohrkanäle.	24
Abb. 6: Einteilung vorhandener Bohrkanäle anhand konventioneller Röntgenaufnahmen (modifiziert nach [215, S.1646]).	26
Abb. 7: Zusammensetzung der Patientengruppen.	29
Abb. 8: Durchschnittsalter mit Standardabweichung der einzelnen Patientengruppen.	30
Abb. 9: Durchschnittlicher BMI mit Standardabweichung der einzelnen Patientengruppen.	30
Abb. 10: Prüfung der Stabilität des VKB mit dem Lachman-Test (modifiziert nach [194, S.349]).	43
Abb. 11: Überprüfung einer Rotationsinstabilität mit dem Pivot-Shift-Test (modifiziert nach [194, S.349]).	43
Abb. 12: Messung der anterior-posterioren Translation mit dem KT1000™ (modifiziert nach [36, S.721]).	45
Abb. 13: Derzeitige subjektive Funktionalität des Kniegelenks.	49
Abb. 14: Derzeitige Hauptbeschwerde des Kniegelenks.	50
Abb. 15: Oberschenkelatrophie des betroffenen Beins im Vergleich zur Gegenseite.	52
Abb. 16: Ergebnis des Lachman-Tests.	56
Abb. 17: Ergebnis des Pivot-Shift-Tests.	56
Abb. 18: KT-1000™-Seitendifferenz bei 134 N.	57
Abb. 19: KT-1000™ Seitendifferenz bei maximaler Zugkraft.	58
Abb. 20: Verteilung von klinisch fehlgeschlagenen und klinisch erfolgreichen VKB-Revisionsplastiken in den einzelnen Patientengruppen.	58
Abb. 21: Ergebnis des Tegner-Aktivitäts-Scores.	60
Abb. 22: Ergebnisse des Lysholm-Scores.	60
Abb. 23: Ergebnisse der Lysholm-Subscores Instabilität und Schmerz.	61
Abb. 24: Ergebnis des subjektiven IKDC-Scores.	62
Abb. 25: IKDC Abschlussbeurteilung.	63

## 9 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vor- und Nachteile der beiden meistverwendeten Transplantate zur VKB-Ersatzplastik (nach [56; 57; 86; 213]).	14
Tab. 2: Durchschnittliche Operations- und Nachuntersuchungszeiträume der einzelnen Gruppen (in Monaten).	31
Tab. 3: Zeitspanne zwischen erneuter Instabilität und Revisionsoperation (in Monaten).	32
Tab. 4: Indikationen zur Revisionsrekonstruktion.	32
Tab. 5: Art und Anzahl zusätzlicher Eingriffe im Rahmen der Revisionsoperation.	35
Tab. 6: Anzahl an Operationen am betroffenen Kniegelenk.	36
Tab. 7: Art und Anzahl der am ipsilateralen Kniegelenk durchgeführten Eingriffe.	37
Tab. 8: Art und Anzahl der Operationen nach der VKB-Revision.	37
Tab. 9: Prozentuale Gewichtung und Anzahl der Patienten ohne M-TR des ipsilateralen Kniegelenks und Patienten mit mindestens einer M-TR in den einzelnen Patientengruppen.	38
Tab. 10: Zufriedenheit der Patienten mit der Operation.	50
Tab. 11: Frage nach nochmaliger OP.	50
Tab. 12: Beurteilung der Beinachse.	51
Tab. 13: Oberschenkelatrophie des betroffenen Beins im Vergleich zur Gegenseite.	53
Tab. 14: Passives Beugedefizit nach den Kriterien des IKDC.	53
Tab. 15: Passives Streckdefizit nach den Kriterien des IKDC.	54
Tab. 16: Aufklappbarkeit des Gelenks unter Varus- und Valgusstress.	54
Tab. 17: Ergebnis des vorderen Schublagentests.	55
Tab. 18: KT1000™-Seitendifferenz bei 134 N Zugkraft nach den Kriterien des IKDC.	57
Tab. 19: Ergebnis des Einbeinsprungtests nach den Kriterien des IKDC.	59
Tab. 20: Ergebnis des Lysholm-Scores.	60
Tab. 21: IKDC Gruppengrad Erguss.	62
Tab. 22: IKDC Gruppengrad passives Bewegungsdefizit.	63
Tab. 23: IKDC Gruppengrad Ligamentuntersuchung.	63
Tab. 24: IKDC Abschlussbeurteilung.	63
Tab. 25: Einfluss unterschiedlicher Parameter auf das Ergebnis der klinischen Scores.	64

# 10 Lebenslauf

## Persönliche Daten

---

Name: Matthias Jens Feucht  
Geburtsdatum / -ort: 18.07.1983, Münsingen

## Schulbildung

---

09/1990 – 07/1994 Grundschule, St. Johann  
09/1994 – 07/2003 Graf-Eberhard-Gymnasium, Bad Urach  
07/2003 Abitur

## Zivildienst

---

09/2003 – 06/2004 Ermstaklinik Bad Urach

## Hochschulstudium

---

10/2004 – 08/2006 Studium der Humanmedizin, Vorklinischer Abschnitt  
Ludwig-Maximilians-Universität München  
08/2006 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung  
10/2006 – 11/2010 Studium der Humanmedizin, Klinischer Abschnitt  
Technische Universität München  
11/2010 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

## Praktisches Jahr:

08/2009 – 12/2009 Chirurgische Klinik und Poliklinik,  
Kantonsspital Winterthur, CH  
12/2009 – 02/2010 1. Medizinische Klinik und Poliklinik  
Klinikum rechts der Isar, München  
02/2010 – 03/2010 Department of Gastroenterology  
Royal North Shore Hospital, Sydney, AUS  
03/2010 – 04/2010 Department of Cardiology  
Royal North Shore Hospital, Sydney, AUS  
04/2010 – 06/2010 Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie,  
Klinikum rechts der Isar, München  
06/2010 – 07/2010 Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie  
Klinikum rechts der Isar, München

Famulaturen:

03/2007 – 04/2007	Klinik für Kardiologie, Pneumologie und Intensivmedizin Klinikum Schwabing, München
09/2007 – 10/2007	Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie Klinikum rechts der Isar, München
02/2008 – 03/2008	Orthopädische Praxis am Isartor, München
02/2009 – 03/2009	Zentrum für Orthopädie, Unfallchirurgie und Sportmedizin Klinikum Bogenhausen, München

**Beruflicher Werdegang**

---

11/2010	Erteilung der Approbation als Arzt durch die Regierung von Oberbayern
seit 01.01.2011	wissenschaftlicher Mitarbeiter Abteilung für Sportorthopädie Klinikum rechts der Isar Technische Universität München

## 11 Danksagung

Zunächst gilt mein Dank **Herrn Prof. Dr. med. A.B. Imhoff** für die Überlassung des Themas, für die Möglichkeit der Durchführung dieser Untersuchung in seiner Klinik sowie für die freundliche Unterstützung.

Ganz besonderen Dank gilt meinen wissenschaftlichen Betreuern **Herrn PD Dr. med P.B. Schöttle** und **Herrn Dr. med. D. Hensler** für ihre unermüdliche Unterstützung während dem gesamten Entstehungsprozess dieser Arbeit, welche auch nach ihrem Weggang vorbildlich fortgeführt wurde.

Für die Organisation und Durchführung des Doktorandenkolloquiums möchte ich **Herrn PD. Dr. med. P.B. Schöttle** und **Herrn PD Dr. med. S. Vogt** danken. Die Treffen waren stets ein positiver Impuls im Entstehungsprozess dieser Arbeit.

Ein herzliches Dankeschön gebührt auch **allen Patienten** für ihre Teilnahme an den Nachuntersuchungen sowie **dem Team der Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie der TU München** für Ihre Hilfe bei der Organisation der Termine sowie der Suche nach Patientenakten im Archiv.

Bedanken möchte ich mich auch bei **den Mitarbeitern des Institutes für medizinische Statistik am Klinikum rechts der Isar** für die freundliche Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

An dieser Stelle möchte ich mich vor allem auch herzlich bei **meinen Eltern** und **meiner Schwester** für ihre ständige Unterstützung bedanken, welche mir das Studium und die Promotion erst ermöglicht hat.

# 12 Anhang

## 12.1 Nachbehandlungsschema

### ***Postoperativ:***

Kühlung und Hochlagerung der betroffenen Extremität

MEDIÒ M4 Schiene (4 Punkt Hartrahmenorthese) für 6 Monate (ohne Bewegungseinschränkung)

Postoperative Röntgenkontrolle

### ***Bewegungsausmaß und erlaubte Belastung:***

Ab 1. postoperativen Tag: Freie Beweglichkeit im Kniegelenk

Für ca. 2 Wochen postoperativ: Schmerzadaptierte Teilbelastung mit 20 kg (schmerz- und ergussabhängig)

Ca. 7 Wochen postoperativ: Sensomotorisches Training

Ca. 8 Wochen postoperativ: Laufband und Fahrrad, Kraulschwimmen (nach Rücksprache mit Arzt)

Ca. 3 Monate postoperativ: Joggen

Ca. 6 Monate postoperativ: Sportbeginn und sportartspezifisches Training (nach Rücksprache mit Arzt)

Ca. 9-12 Monate postoperativ: Kontakt- und Risikosportarten (nach Rücksprache mit Arzt)

Thromboseprophylaxe durch niedermolekulares Heparin bis zur Vollbelastung, regelmäßige Blutbildkontrollen.

Regelmäßige Wundkontrollen und Entfernung des Hautnahtmaterials am 14. postoperativen Tag durch Hausarzt / niedergelassenen Kollegen.

Weitere Kontrollen nach 3, 6 und 12 Monaten.

## 12.2 Problemspezifischer Fragebogen

---

### Fragen zur Person

Name: \_\_\_\_\_ Geburtsdatum: \_\_\_\_\_ Alter: \_\_\_\_\_

Geschlecht:  W  M

Betroffene Seite:  rechts  links

Größe: \_\_\_\_\_ cm Gewicht: \_\_\_\_\_ kg

### Wie intensiv ist Ihre sportliche Betätigung?

- ich bin ambitionierte/r Sportler/in
- ich bin gut durchtrainiert und treibe häufig Sport
- ich treibe ab und zu Sport
- ich treibe nie Sport

### Rauchen Sie Zigaretten?

- ja
- nein, ich habe das Rauchen in den letzten sechs Monaten aufgegeben
- nein, ich habe das Rauchen vor mehr als sechs Monaten aufgegeben
- nein, ich habe nie geraucht

---

### Fragen zu Ihrer 1. Kreuzbandrekonstruktion:

#### Verletzung / Instabilität zugezogen bei:

- Sport; Sportart: \_\_\_\_\_
- Aktivität des täglichen Lebens: \_\_\_\_\_
- sonstiges: \_\_\_\_\_

Datum der Operation (1. Kreuzbandrekonstruktion): \_\_\_\_\_

Krankenhaus / Praxis: \_\_\_\_\_

Zeitlicher Abstand zwischen Verletzung / Instabilität und der 1. Kreuzbandrekonstruktion:

\_\_\_\_\_

**Welches Sehnentransplantat wurde verwendet:**

- Patellarsehne (Kniescheibenband)
- Semitendinosus / Gracilis (Kniebeugesehnen), Einzelbündel
- Semitendinosus / Gracilis (Kniebeugesehnen), Doppelbündel

**Zusätzliche Eingriffe am betroffenen Knie im Rahmen der Operation:**

---

---

---

**Gab es Komplikationen nach der OP oder während der Reha/Krankengymnastik**

- nein
- ja: \_\_\_\_\_

**Wie würden Sie die Funktionalität des betroffenen Kniegelenks nach der**

**1. Kreuzbandrekonstruktion in Prozent beurteilen (100 % entspräche gleicher Funktionalität):**

\_\_\_\_\_ %

---

**Fragen zu Ihrer 2. Kreuzbandrekonstruktion (Revisionsoperation)**

**Erneute Verletzung/Instabilität zugezogen bei:**

- Sport; Sportart: \_\_\_\_\_
- Aktivität des täglichen Lebens: \_\_\_\_\_
- Sonstiges: \_\_\_\_\_

**Zeitlicher Abstand zwischen erneuter Kreuzbandinstabilität und Revisionsoperation**

**(2. Kreuzbandrekonstruktion):**

- innerhalb von 3 Monaten
- innerhalb von 3-6 Monaten
- innerhalb von 6-12 Monaten
- innerhalb von 12 Monaten

**Datum der Operation (2. Kreuzbandrekonstruktion):** \_\_\_\_\_

**Gab es Komplikationen nach der OP oder während der Reha/Krankengymnastik**

- nein
- ja: \_\_\_\_\_

**Wie zufrieden sind Sie mit dem Ergebnis der Revisionsoperation (2. Kreuzbandersatz):**

- sehr zufrieden
- zufrieden
- bedingt zufrieden
- unzufrieden

**Würden Sie diese Operation rückblickend noch einmal durchführen lassen?**

- ja
- nein

---

**Fragen zu sonstigen bisherigen Verletzungen/Operationen  
am betroffenen Kniegelenk**

**Verletzungen/Operationen am betroffenen Kniegelenk vor der 1. Kreuzbandrekonstruktion:**

---

---

---

**Verletzungen/Operationen am betroffenen Kniegelenk zwischen der  
1. Kreuzbandrekonstruktion und der Revisionsoperation (2. Kreuzbandrekonstruktion):**

---

---

---

**Verletzungen/Operationen am betroffenen Kniegelenk nach der Revisionsoperation  
(2. Kreuzbandrekonstruktion):**

---

---

---

---

**Fragen zu Verletzungen/Operationen des  
Kniegelenkes der anderen Seite**

**Verletzungen/Operationen am Kniegelenk der anderen Seite:**

---

---

---

---

**Fragen zur derzeitigen Kniefunktion**

**Derzeitige Funktionalität des betroffenen Kniegelenks in Prozent (100 % entspräche normaler Funktionalität): \_\_\_\_\_%**

**Derzeitige Hauptbeschwerde: \_\_\_\_\_**

---

## 12.3 Untersuchungsprotokoll

Untersucher: \_\_\_\_\_ Untersuchungsdatum: \_\_\_\_\_ No.: \_\_\_\_\_

---

### Patientendaten

Name: \_\_\_\_\_ Geburtsdatum: \_\_\_\_\_ Alter: \_\_\_\_\_

Geschlecht:  W  M

Betroffene Seite:  rechts  links

---

### Allgemeine Knieuntersuchung

#### Allgemeine Laxizität:

normal  vermindert  erhöht

#### Beinachse:

normal  Varus  Valgus

#### Subluxation/Dislokation der Patella:

zentriert  subluxierbar  subluxiert  disloziert

#### Erguss:

kein  leicht  mäßig  deutlich

#### Transplantatentnahmemorbidity (Empfindlichkeit, Reizung, Gefühllosigkeit...)

keine  leicht  mäßig  deutlich

#### Krepitationen:

Anterior:  keine  mäßig  mit leichtem Schmerz  mit > leichtem Schmerz

Medial:  keine  mäßig  mit leichtem Schmerz  mit > leichtem Schmerz

Lateral:  keine  mäßig  mit leichtem Schmerz  mit > leichtem Schmerz

#### Bewegungsumfang (Streckung/Beugung)

rechts: aktiv: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_ passiv: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

links: aktiv: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_ passiv: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

#### Oberschenkelumfang:

rechte Seite: \_\_\_\_\_cm linke Seite: \_\_\_\_\_cm

---

### Ligamentuntersuchung

- Varusstress:**             0-2 mm         3-5 mm         6-10 mm         > 10 mm
- Valgusstress:**             0-2 mm         3-5 mm         6-10 mm         > 10 mm
- Lachman Test:**             0-2 mm         3-5 mm         6-10 mm         > 10 mm
- Anschlag:**                 fest             unsicher
- Vordere Schublade:**         0-2 mm         3-5 mm         6-10 mm         > 10 mm
- Hintere Schublade:**         0-2 mm         3-5 mm         6-10 mm         > 10 mm
- Pivot shift:**               negativ         1+             2+             3+
- Reverse pivot shift:**         negativ         1+             2+             3+
- Außenrotationstest (30°):**     < 5°             6-10°         11-19°         > 20°
- Außenrotationstest (90°):**     < 5°             6-10°         11-19°         > 20°

### KT-1000-Messung:

**Rechts:**

<b>67 N</b>			
<b>89 N</b>			
<b>134 N</b>			
<b>Max.</b>			

**Links:**

<b>67 N</b>			
<b>89 N</b>			
<b>134 N</b>			
<b>Max.</b>			

---

### Funktionstest

**Einbeinsprungtest:**

**rechts:** 1. Sprung: \_\_\_\_\_ cm

2. Sprung: \_\_\_\_\_ cm

3. Sprung: \_\_\_\_\_ cm

**links:** 1. Sprung: \_\_\_\_\_ cm

2. Sprung: \_\_\_\_\_ cm

3. Sprung: \_\_\_\_\_ cm

## 12.4 Tegner-Aktivitäts-Score

Kreuzen Sie bitte an, welches die anspruchsvollste Tätigkeit ist, die Sie ohne Schmerzen ausführen können:

10	Nationale oder internationale Turniere	Fußball, Hallen- Ballsport mit Gegnerkontakt (z.B. Handball, Basketball)
9	Nationale oder internationale Turniere Regionale Turniere	Abfahrtslauf, Hallen- Ballsport ohne Gegnerkontakt (z.B. Squash, Badminton) Fußball, Hallen- Ballsport mit Gegnerkontakt
8	Turniersport	Hallen- Ballsport ohne Gegnerkontakt, Eishockey, Abfahrtslauf
7	Turniersport Freizeitsport	Tennis, Turnen, Ringen, Leichtathletik Fußball, Hallen- Ballsport, Querfeldeinlauf, Abfahrtslauf
6	Freizeitsport	Tennis, Leichtathletik, Turnen, Joggen mindestens fünf Mal pro Woche
5	Arbeit Turniersport Freizeitsport	schwere körperliche Arbeit (z.B. Bauarbeit, Waldarbeit) Radfahren, Langlauf, Rudern Jogging auf unebenem Boden mind. 2x/Woche
4	Arbeit Freizeitsport	mittelschwere körperliche Arbeit (z.B. Lastwagenfahrer, Bodenreinigung) Radfahren, Langlauf, Jogging auf ebenem Boden zweimal wöchentlich
3	Arbeit Turnier- und Freizeitsport	leichte körperliche Arbeit (z.B. Krankenschwester) Schwimmen, Waldspaziergänge
2	Arbeit	leichte körperliche Arbeit Gehen auf unebenem Boden
1	Arbeit	sitzende Tätigkeit Gehen auf ebenem Boden
0	wegen Kniebeschwerden arbeitsunfähig oder berentet	

## 12.5 Lysholm-Score

Bitte kreuzen Sie zu folgenden Oberbegriffen die zutreffende Auswahlmöglichkeit an:

---

### Hinken

- niemals (5)
- leicht oder periodisch (3)
- stark und permanent (0)

---

### Belastung

- ohne Unterstützung möglich (5)
- ist nur mit Stock oder Gehhilfe möglich (3)
- ist überhaupt nicht möglich (0)

---

### Treppen steigen

- ohne Probleme (10)
- mit leichter Beeinträchtigung (6)
- nur Schritt für Schritt (2)
- überhaupt nicht, ist unmöglich (0)

---

### In die Hocke gehen

- ohne Probleme (5)
- mit leichter Beeinträchtigung (4)
- nicht über 90° im Kniegelenk (2)
- überhaupt nicht, ist unmöglich (0)

---

### Gefühl der Instabilität

- nie (30)
  - selten beim Sport oder anderer starker Belastung (25)
  - häufig beim Sport oder anderer starker Belastung (20)  
(ist daher nicht möglich)
  - gelegentlich bei täglichen Aktivitäten (10)
  - häufig bei täglichen Aktivitäten (5)
  - bei jedem Schritt (0)
-

---

**Schmerzen**

- |  |      |
|--|------|
| <input type="checkbox"/> nie   | (30) |
| <input type="checkbox"/> unkonstant und leicht bei starker Belastung   | (25) |
| <input type="checkbox"/> beim Wegschnappen („giving way“) des Knies    | (20) |
| <input type="checkbox"/> bei starker Beanspruchung                     | (15) |
| <input type="checkbox"/> bei Spaziergängen von 2km und mehr            | (10) |
| <input type="checkbox"/> bereits bei Spaziergängen von weniger als 2km | (5)  |
| <input type="checkbox"/> immer und stark                               | (0)  |
- 

**Schwellung**

- |  |      |
|--|------|
| <input type="checkbox"/> nie                               | (10) |
| <input type="checkbox"/> beim Wegschnappen des Kniegelenks | (7)  |
| <input type="checkbox"/> bei starker Beanspruchung         | (5)  |
| <input type="checkbox"/> bei gewöhnlicher Beanspruchung    | (2)  |
| <input type="checkbox"/> immer                             | (0)  |
- 

**Oberschenkelatrophie (vom Arzt auszufüllen)**

- |  |     |
|--|-----|
| <input type="checkbox"/> keine         | (5) |
| <input type="checkbox"/> 1-2 cm        | (3) |
| <input type="checkbox"/> mehr als 2 cm | (0) |
-



6. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung 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 Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- ? Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- ? Ich kann aufgrund der Knieschwäche keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.

(page 8)

**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 Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- ? Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- ? Ich kann aufgrund meines Knies keine der oben genannten Aktivitäten ausführen.

9. Wie schwierig sind aufgrund Ihres Knies die folgenden Aktivitäten für Sie?

	überhaupt nicht schwierig	minimal schwierig	ziemlich schwierig	extrem schwierig	unmöglich
a. Treppensteigen	?	?	?	?	?
b. Treppe hinuntergehen	?	?	?	?	?
c. Auf dem vorderen Knie knien	?	?	?	?	?
d. Hockstellung	?	?	?	?	?
e. Normal sitzen	?	?	?	?	?
f. Vom Stuhl aufstehen	?	?	?	?	?
g. Geradeaus laufen	?	?	?	?	?
h. Hochspringen und auf dem betroffenen Bein landen	?	?	?	?	?
i. Beim Gehen (bzw. Laufen, wenn Sie Sportler/in sind) schnell anhalten und starten	?	?	?	?	?

**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 Einschränkung der täglichen Aktivitäten
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
? ? ? ? ? ? ? ? ? ? ?	

**DERZEITIGE FUNKTIONSFÄHIGKEIT IHRES KNIES:**

Kann keine täglichen Aktivitäten ausführen	Keine Einschränkung der täglichen Aktivitäten
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
? ? ? ? ? ? ? ? ? ? ?	

### Anleitungen zur Berechnung des Ergebnisses für das 2000 Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies

Eine Reihe von Methoden zur Auswertung des Formblatts zur subjektiven Beurteilung des Knies wurden untersucht. Die Untersuchungen ergaben, daß eine Summierung der Einzelergebnisse ebenso gute Resultate liefert wie kompliziertere Auswertungsmethoden.

Die Antworten auf die einzelnen Fragen erhalten einen Zahlenwert, wobei 1 die niedrigste Funktionsstufe oder höchste Symptomstufe darstellt. Unter Frage 1 (höchste Aktivitätsstufe ohne erhebliche Schmerzen) erhält beispielsweise die Antwort „Ich kann aufgrund meiner Schmerzen im Knie keine der oben genannten Aktivitäten ausführen“ einen Punkt und die Antwort „Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)“ 5 Punkte. Unter Frage 2 (Häufigkeit der Schmerzen in den vergangenen 4 Wochen) erhält die Antwort „ständig Schmerzen“ einen Punkt und „Nie“ 11 Punkte.

Zur Ermittlung des Gesamtergebnisses für das Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies werden die Ergebnisse für die Einzelpunkte addiert und dann zu einer Skala mit dem Bereich 0 bis 100 transformiert. **Hinweis:** Die Antwort auf Punkt 10 „Funktionsfähigkeit vor der Knieverletzung“ wird nicht in die Gesamtpunktzahl einbezogen. Zur Berechnung des Gesamtergebnisses für das Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies gehen Sie wie folgt vor:

1. Ordnen Sie der Antwort des Patienten auf jede Frage eine Punktzahl zu, wobei die niedrigste Punktzahl die niedrigste Funktionsstufe bzw. höchste Symptomstufe darstellt.
2. Berechnen Sie das Rohergebnis, indem Sie die Punkte für alle Fragen addieren (mit Ausnahme der Antwort auf Punkt 10 „Funktionsfähigkeit vor der Knieverletzung“)
3. Wandeln Sie das Rohergebnis wie folgt in eine Skala von 0 bis 100 um:

$$\text{IKDC-Ergebnis} = \frac{\text{Rohergebnis} - \text{Niedrigstmögliche Punktzahl}}{\text{Punktzahlbereich}} \times 100$$

wobei die niedrigstmögliche Punktzahl 18 und der Bereich möglicher Punktzahlen 87 ist. Wenn beispielsweise die für die 18 Fragen berechnete Punktzahl 60 beträgt, wird das IKDC-Ergebnis wie folgt berechnet:

$$\text{IKDC-Ergebnis} = \frac{60 - 18}{87} \times 100$$

$$\text{IKDC-Ergebnis} = 48,3$$

Dieses umgewandelte Ergebnis wird als Maßstab für die Funktionsfähigkeit verwendet, wobei höhere Punktzahlen eine höhere Funktionsfähigkeit und geringere Symptome repräsentieren. Ein Ergebnis von 100 bedeutet, daß die täglichen oder sportlichen Aktivitäten keinen Beschränkungen unterliegen und daß keine Symptome vorliegen.

Das IKDC-Ergebnis kann auch berechnet werden, wenn Daten fehlen, solange mindestens Antworten zu 90 % der Fragen vorliegen (d.h. es wurden mindestens 16 Fragen beantwortet). Zur Berechnung des Ergebnisses bei fehlenden Daten verwenden Sie anstelle des fehlenden Einzelergebnisses (bzw. der fehlenden Einzelergebnisse) das Durchschnittsergebnis für die beantworteten Fragen. Nach Berechnung des Rohergebnisses wird es wie oben beschrieben zu dem IKDC-Ergebnis transformiert.

## 12.7 IKDC Formblatt zur Untersuchung des Knies

(page 16)

### 2000 FORMBLATT ZUR UNTERSUCHUNG DES KNIES

Name des Patienten \_\_\_\_\_ Geburtsdatum: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Tag Monat Jahr  
Geschlecht: ? W ? M Alter: \_\_\_\_\_ Untersuchungsdatum: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Tag Monat Jahr

Allgemeine Laxizität: ? verminderte Laxizität ? normal ? erhöhte Laxizität  
Beinachse: ? eindeutig Varus ? normal ? eindeutig Valgus  
Patellastellung: ? baja ? normal ? alta  
Subluxation/Dislokation  
der Patella: ? zentriert ? sublaxierbar ? sublaxiert ? disloziert  
Bewegungsausmaß (Streckung/Beugung): Betroffene Seite: passiv \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ aktiv \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Normale Seite: passiv \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ aktiv \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

#### SIEBEN GRUPPEN

#### VIER GRADE

#### \*GRUPPENGRADE

	Normal	Fast normal	Abnormal	Deutlich abnormal	A	B	C	D
<b>1. Erguß</b>	? kein	? leicht	? mäßig	? deutlich	? ?	? ?	? ?	? ?
<b>2. Passives Bewegungsdefizit</b>								
? Streckdefizit	? < 3°	? 3-5°	? 6-10°	? > 10°	? ?	? ?	? ?	? ?
? Beugedefizit	? 0-5°	? 6-15°	? 16-25°	? > 25°	? ?	? ?	? ?	? ?
<b>3. Ligamentuntersuchung</b> (manuell, instrumentell, Röntgen)								
? Lachman Test (25° Beugung (134 N))	? -1-2mm	? 3-5mm (1+)	? 6-10mm (2+)	? >10mm (3+)				
		? <-1- -3	? < -3 steif					
? Lachman Test (25° Beugung) manuell, max.	? -1-2mm	? 3-5mm	? 6-10mm	? >10mm				
Vorderer Endpunkt:	? fest		? unsicher					
? Gesamt AP-Translation (25°)	? 0-2mm	? 3-5mm	? 6-10mm	? >10mm				
? Gesamt AP-Translation (70°)	? 0-2mm	? 3-5mm	? 6-10mm	? >10mm				
? Hintere Schublade (70°)	? 0-2mm	? 3-5mm	? 6-10mm	? >10mm				
? Valgusstress	? 0-2mm	? 3-5mm	? 6-10mm	? >10mm				
? Varusstress	? 0-2mm	? 3-5mm	? 6-10mm	? >10mm				
? Außenrotationstest (30°)	? < 5°	? 6-10°	? 11-19°	? >20°				
? Außenrotationstest (90°)	? < 5°	? 6-10°	? 11-19°	? >20°				
? Pivot shift	? gleich	? +Gleiten	? ++(dumpf)	? +++(laut)				
? Reverse pivot shift	? gleich	? Gleiten	? stark	? ausgeprägt	? ?	? ?	? ?	? ?
<b>4. Kompartimentbefunde</b>		<b>Krepitation</b>	<b>Krepitation mit</b>					
? Krepitation anterior (PF)	? kein	? mäßig	? leichtem Schmerz	? > leichtem Schmerz				
? Krepitation mediales Komp.	? kein	? mäßig	? leichtem Schmerz	? > leichtem Schmerz				
? Krepitation laterales Komp.	? kein	? mäßig	? leichtem Schmerz	? > leichtem Schmerz				
<b>4. Transplantatentnahme-morbidität</b>	? kein	? gering	? mäßig	? deutlich				
<b>6. Röntgenbefund:</b>								
Medialer Gelenkspalt	? kein	? gering	? mäßig	? deutlich				
Lateraler Gelenkspalt	? kein	? gering	? mäßig	? deutlich				
Femoropatellar-Gelenk	? kein	? gering	? mäßig	? deutlich				

Vorderer Gelenkspalt (sagittal)	? kein	? gering	? mäßig	? deutlich
Hinterer Gelenkspalt (sagittal)	? kein	? gering	? mäßig	? deutlich

### 7. Funktionstest

Hüpfen auf einem Bein                   ?  $\geq 90\%$    ? 89-76%    ? 75-50%   ?  $< 50\%$   
(in % der gegenüberliegenden Seite)

### \*\* Abschlußbeurteilung

?    ?    ? ?

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

\*\* Abschlußbeurteilung: Bei akuten und subakuten Patienten richtet sich die Abschlußbeurteilung nach dem schlechte Gruppengrad. Bei chronischen Patienten wird die prä- und postoperative Beurteilung verglichen. Bei einer Abschlußbeurteilung werden nur die ersten drei Gruppen beurteilt, jedoch werden alle Gruppen dokumentiert. Der Unterschied zwischen dem betroffenen Knie und dem normalen Knie, bzw. dem, was als normal angesehen wird.

#### **IKDC-AUSSCHUSS:**

**AOSSM** Anderson, A., Bergfeld, J., Boland, A., Dye, S., Feagin, J., Hamer, C., Mohtadi, N., Richmond, J., Shelbourne, D., Teny, G.

**ESSKA:** Staubli, H., Hefti, F., Höher, J., Jacob, R., Müller, W., Neyret, P.

**APOSSM** Chan, K., Kurosaka, M.

## ANLEITUNGEN FÜR DAS FORMBLATT ZUR UNTERSUCHUNG DES KNIES

Das Formblatt zur Untersuchung des Knies enthält Punkte, die in eine von sieben Meßdomänen fallen. Dabei werden jedoch nur die ersten drei Domänen bewertet. Die sieben Domänen werden mit Hilfe des Formblattes zur Untersuchung des Knies beurteilt.

### 1. Erguß

Ein Erguß wird durch vorsichtige Palpation des Knies beurteilt. Eine Flüssigkeitswelle (weniger als 25 cc) gilt als gering, leicht palpierbare Flüssigkeit als mäßig (25 bis 60 cc) und ein angespanntes Knie zusätzlich zum Erguß (mehr als 60 cc) gilt als ausgeprägt.

### 2. Passives Bewegungsdefizit

Der passive Bewegungsspielraum wird mit einem Winkelmesser gemessen und auf dem Formblatt für die betroffene Seite und die gegenüberliegende oder normale Seite festgehalten. Die Werte für Nullpunkt/Überstreckung/Beugung sind aufzuzeichnen (z.B. 10 Grad Überstreckung, 150 Grad Beugung = 10/0/150; 10 Grad Beugung zu 150 Grad Beugung = 0/10/150). Die Streckung wird mit der des normalen Knies verglichen.

### 3. Ligamentuntersuchung

Der Lachman-Test, die gesamte anteroposteriore Translation bei 70 Grad und der mediale und laterale Gelenkspalt können manuell, instrumentell oder mittels Röntgenaufnahme unter Belastung beurteilt werden. Dabei sollte nur ein Test beurteilt werden, vorzugsweise eine „gemessene Verschiebung“. Bei der instrumentellen Untersuchung beider Knie wird eine Standardkraft von 134 N (30 lb-force) angelegt. Die Zahlenwerte für die Seitenunterschiede werden abgerundet und das entsprechende Kästchen wird angekreuzt.

Der Endpunkt wird mit dem Lachman-Test beurteilt. Der Endpunkt beeinflusst die Einstufung, wenn die Laxizität des betroffenen Knies vorne 3 bis 5 mm größer ist als die des normalen Knies. In diesem Fall führt ein weicher Endpunkt zu einem abnormen Grad anstelle eines nahezu normalen Grads.

Der hintere Durchhang bei 70 Grad wird durch einen Vergleich des Profils des betroffenen Knies mit dem des normalen Knie und durch Palpieren der medialen femorotibialen Kante geschätzt. Dieser Befund kann durch die Beobachtung bestätigt werden, daß die Kontraktion des Quadrizeps die Tibia nach vorne zieht.

Für die Außenrotationstests liegt der Patient mit auf 30 und 70 Grad gebeugten Knien auf dem Bauch. An beide Füße wird eine einheitliche äußere Drehkraft angelegt, und das Ausmaß der Außenrotation wird aufgezeichnet.

Pivot-Shift and Reverse Pivot-Shift werden mit dem Patienten in Rückenlage, einer Hüftabduktion von 10 bis 20 Grad und mit Tibia in Neutralrotation unter Verwendung der Technik nach Losee, Noyes oder Jakob durchgeführt. Die im Vergleich zum normalen Knie größte Subluxation wird festgehalten.

### 4. Kompartimentbefund

Patellofemorale Krepitation wird durch Streckung gegen geringen Widerstand hervorgerufen. Die mediale und laterale Kompartimentkrepitation wird durch Strecken des Knies aus einer gebeugten Stellung mit Belastung in Varusrichtung und folgender Belastung in Valgusrichtung (d.h. McMurray-Test) hervorgerufen. Die Einstufung erfolgt nach Intensität und Schmerz.

### 5. Transplantatentnahmemorbidität:

Auf Empfindlichkeit, Reizung oder Gefühllosigkeit an der Entnahmestelle des autologen Transplantats achten.

### 6. Röntgenbefund

Die Verschmälerung des medialen und lateralen Gelenkspalts wird durch ein bilaterales PA-Röntgenbild mit Gewichtsbelastung auf beiden Beinen und einem Beugungswinkel von 35 bis 45 Grad (Tunnelaufnahme) beurteilt. Die patellofemorale Verschmälerung wird durch eine Merchant-Aufnahme bei 45 Grad dokumentiert. Ein geringer Grad bezeichnet minimale Veränderungen (d.h. kleine Osteophyten, leichte Sklerose oder Abflachung der Femurkondyle) und nur schwach erkennbare Verschmälerung des Gelenkspalts. Bei einem mittleren Grad liegen diese Veränderungen möglicherweise vor sowie eine Verschmälerung des Gelenkspalts (z.B. ein Gelenkspalt von 2-4 mm oder eine Verschmälerung des Gelenkspalts von bis zu 50 %). Zu den ausgeprägten Veränderungen zählen ein Gelenkspalt von weniger als 2 mm oder eine Verschmälerung des Gelenkspalts von mehr als 50 %.

### 7. Funktionstest

Der Patient wird aufgefordert, auf der betroffenen und auf der normalen Seite jeweils einmal auf einem Bein so weit wie möglich zu springen. Für jedes Bein werden drei Versuche festgehalten und die Ergebnisse werden gemittelt. Dann wird das Verhältnis von betroffenem zu normalem Knie berechnet.