

Christian Eberle

# Verwendung von allogenem Knochen in der vorderen Kreuzbandchirurgie

## Zusammenfassung:

Allogener Knochen wird in der Kreuzbandchirurgie überwiegend im Revisionsfall zur Auffüllung erweiterter Bohrkanäle eingesetzt, um eine stabile Verankerung des Sehnentransplantates im Rahmen der erneuten ligamentären Stabilisierung zu gewährleisten. Es stehen derzeit unterschiedliche Applikationsformen von allogenem Knochen mit unterschiedlichen Applikationstechniken zur Verfügung. Im klinischen Alltag hat sich die Verwendung von allogenen Knochenzylindern und allogener Spongiosachips- oder allogenem Spongiosagranulat etabliert. Die präoperative Diagnostik vor Bohrkanalauffüllung beinhaltet – neben der umfassenden Versagensanalyse der vorangegangenen VKB-Rekonstruktion – eine standardisierte Bohrkanalanalyse hinsichtlich Lage, Weite und Integrität, um so das am besten geeignete Auffüllungsverfahren wählen zu können.

## Schlüsselwörter:

Allograftknochen, Revision vorderes Kreuzband, Bohrkanalauffüllung, Allograftzylinder, OP-Technik

## Zitierweise:

Eberle C. Verwendung von allogenem Knochen in der Kreuzbandchirurgie  
OUP 2024; 13: 62–66  
DOI 10.53180/oup.2024.0062-0066

## Einleitung

Die Re-Rupturrate nach VKB-Rekonstruktion liegt zwischen 3–4 % nach 2 Jahren und 6–10 % nach 10 Jahren [1–3, 6]. Das junge Patientenalter und der hohe Aktivitätsgrad sind als größte Risikofaktoren zu nennen. Die Versagensrate nach erfolgter VKB-Revision wird in den ersten 2 Jahren mit 15 % angegeben [4]. Lediglich 43 % der Betroffenen erreichen wieder ihr sportliches Aktivitätsniveau [5, 32]. Das therapeutische Vorgehen bei VKB-Revision bedarf daher einer genauen Analyse von möglichen Versagensursachen, einer ausführlichen Diagnostik und einer strukturierten, individuellen Therapieplanung. Häufig ist ein-, zwei- oder mehrzeitiges Vorgehen notwendig.

Der häufigste Grund für ein zwei-zeitiges Vorgehen, neben der Korrek-

tur des knöchernen Malalignements, ist die Notwendigkeit der Auffüllung vorhandener Bohrkanäle mit autogenem, allogenem Knochen oder Knochenersatzsubstanzen, um so in der Folgeoperation eine stabile Transplantatfixation gewährleisten zu können.

Dieser Artikel beschreibt die Indikation, die operativen Techniken und die eigenen Erfahrungen in der Verwendung von allogenem Knochenmaterial in der VKB-Revisionschirurgie.

## Bohrkanalmanagement

In Fällen einer VKB-Reruptur oder eines Transplantatversagens mit symptomatischer Instabilität, ist häufig ein zwei- oder mehrzeitiges operatives Vorgehen notwendig, um das betroffene Gelenk ausreichend zu stabilisieren. Das Bohrkanalmanagement

nimmt in der Versagensanalyse nach VKB-Re-Ruptur oder Transplantatversagen und ebenfalls im Therapieplan, einen hohen Stellenwert ein [9], da die Fehlpositionierung der Bohrkanäle als einer der Hauptgründe für das Transplantatversagen zu sehen ist. Insbesondere ist eine anteriore Fehlposition des femoralen Tunnels mit einer hohen Versagensrate assoziiert [8]. Dementsprechend müssen die vorhandenen Bohrkanäle femoral und tibial immer hinsichtlich folgender Punkte analysiert werden:

- Lage
- Weite
- Integrität
- Interferenz

Zur exakten Analyse dieser Parameter hat sich eine Computertomografie mit 3D-Rekonstruktion gegenüber den anderen bildgebenden Ver-

## The use of allograft bone in ACL revision surgery

**Summary:** In ACL Surgery, allograft bone is mainly used for tunnel filling procedures in revision cases, to guarantee a stable fixation of tendon graft, in forthcoming ACL reconstruction. A variety of allograft options with different application techniques are available. The use of cortico cancellous bone chips and cylindric shaped bone dowels is established in clinical routines. Intense pre-operative diagnostic procedures should include exact analysis of tunnel position, -widening and integration for choosing the best technique for sufficient tunnel filling.

**Keywords:** Allograft bone, ACL-revision, tunnel filling

**Citation:** Eberle C: Allograft bone in ACL-Revision  
OUP 2024; 13: 62–66. DOI 10.53180/oup.2024.0062-0066

fahren (MRT, Röntgen) als überlegen erwiesen [6].

### Bohrkanallage

Im klinischen Alltag hat es sich bewährt, die Bohrkanallage anhand der CT-Bilder femoral und tibial wie folgt einzuteilen [7, 8]:

- Anatomisch
- Partiiell anatomisch
- Extraanatomisch

Extraanatomisch angelegte Bohrkanäle bedürfen i.d.R. keiner Adressierung, da die Anlage eines neuen Bohrkanals in anatomischer Position problemlos möglich ist. Problematisch sind partiell anatomisch angelegte Bohrkanäle, da diese im Revisionsfall mit den neuen anatomisch platzierten Kanälen konfluieren und somit eine stabile „pressfit“-Fixation des Transplantates nicht möglich ist (Abb. 1).

### Bohrkanalweite

Bei gesicherter anatomischer Bohrkanallage ist die Weite der Kanäle ausschlaggebend, um zu prüfen, ob ein einzeitiges Vorgehen möglich ist.

Die Bohrkanalweite und -form wird in allen 3 Schnittebenen des CTs femoral und tibial gemessen. Die Messung sollte in unterschiedlichen Schnitthöhen erfolgen, da sich häufig große Differenzen in den unterschiedlichen Ebenen zeigen. So können zystische- (spindelförmige) von zylindrischen Erweiterungen unterschieden werden.

Therapieentscheidend ist der größtmessene Durchmesser (Abb. 2).

Evidenz basierte Grenzwerte, ab denen eine Bohrkanalauffüllung durchgeführt werden sollte, existieren nicht. Beschrieben sind Cut-off-Werte von 12–15 mm bzw. Erweiterungen ab 150 % des Ausgangswertes (Bohrkanalweite bei Primärimplantation) [10–15]. Eine Evidenz für diese Werte existiert allerdings nicht [16].

Auch aus Sicht des Autors ist die klinische Umsetzbarkeit dieser empfohlenen Werte problematisch. Die gemessenen Werte sollten immer in Relation zur Kniegelenkgröße der betroffenen Patientin/des betroffenen Patienten interpretiert werden. Weitere Einflussfaktoren sind Transplantatwahl und Fixationstechniken. Aus eigener Erfahrung sollte ab einem Durchmesser von 10 mm eine Bohrkanalauffüllung in Betracht gezogen werden.

### Bohrkanalintegrität und Interferenz

Ist die Integrität der Bohrkanalwände bspw. durch ein femorales, dorsales „blow-out“ oder einen deutlich zu weit anterioren-tibialen Bohrkanal geschädigt, ist ebenfalls eine Bohrkanalauffüllung zu empfehlen.

Einliegendes, insbesondere metallisches Fixationsmaterial, welches mit einer anatomischen Bohrkanalanlage interferiert, muss entfernt werden. Der verbleibende knöcherne Defekt bedarf häufig einer Auffüllung, um eine stabile Transplantatverankerung zu gewährleisten.

Da die exakte anatomische Bohrkanalposition mit einer stabilen Pressfit-Fixation des Transplantats immer die Grundvoraussetzungen für eine erfolgreiche VKB-Revision ist, sollten



**Abbildung 1** Partiiell anatomische femorale Bohrkanallage



**Abbildung 2** Zystisch erweiterter tibialer Bohrkanal

Abb. 1–2: ARCUS Kliniken Pforzheim



**Abbildung 3** Beispiel Allograftknochen, maxgraft® ortho, Fa. Telos, Marburg



**Abbildung 4** Applizierhilfe für Allograftzylinder®, Fa. Telos, Marburg

Kompromisse im Bohrkanalmanagement – welche ein einzeitiges Vorgehen ermöglichen könnten – immer vermieden werden. Im Zweifelsfall ist das zweizeitige Vorgehen mit Bohrkanalauffüllung zu bevorzugen.

### Auffüllungsmaterialien

Die Auffüllung der Bohrkanäle kann mit folgenden Materialien erfolgen:

- Autogener Knochen
- Allogener Knochen
- Knochenersatzmaterial (bspw. Silicate-substituted Calciumphosphat)

Jedes Verfahren hat unterschiedliche Vor- und Nachteile hinsichtlich der Parameter Verfügbarkeit, Osteoinduktivität, Osteokonduktivität, Einheilungszeit, Komplikationsrate, Komorbidität, OP-Zeit und -Kosten [17–21, 34, 35].

Es besteht derzeit keine Evidenz für eine Überlegenheit eines Füllungs-materials gegenüber den anderen [22].

Prall et al. konnten in einer retrospektiven vergleichbaren Studie zwischen spongiösem Allograftknochen und kortikospongiösen Beckenkammknochen keinen Unterschied in den Füllungs-raten finden [23].

Der ESSKA-Konsensus aus dem Jahre 2022 empfiehlt die Anwendung von allogenen- oder autogenem Knochen. Die Verwendung von synthetischen Knochenmaterialien wird auf Grund der limitierten Datenlage und den ungünstigen Ergebnissen nach Umstellungsosteotomien als kritisch angesehen [24].

Nachdem jahrelang die Verwendung von autogenem Knochen aus dem Beckenkamm der Goldstandard

zur Bohrkanalauffüllung war, hat sich in den letzten Jahren die Verwendung von allogenen Knochen zunehmend etabliert [22, 33].

Die Gründe hierfür liegen hauptsächlich in der nahezu freien, unlimitierten Verfügbarkeit von allogenen Knochen gegenüber autogenem Knochen. Durch den Verzicht auf die aufwendige Beckenkamm-spongiosaentnahme verkürzt sich die OP-Zeit signifikant [23, 28].

Die Komplikationsrate nach Beckenkamm-spongiosaentnahme wird in der Literatur mit 6–10 % angegeben [25–27]. Beckenkammfraktur, Nerven-schäden, Hämatom und persistierende Schmerzen sind die häufigsten Komplikationen. Diese Komplikationsrisiken entfallen bei der Verwendung von allogenen Knochen.

Als Nachteil sind höhere Materialkosten zu nennen, welche sich allerdings aufgrund der signifikant kürzeren OP-Zeit im Vergleich zu einer Entnahme von Beckenkammknochen relativieren können. Vergleichende Studien hinsichtlich der Kosteneffektivität liegen derzeit nicht vor. Das Risiko für eine immunologisch assoziierte Abstoßungsreaktion auf den eingebrachten Allograftknochen ist aufgrund der aufwendigen Aufarbeitung des Materials nicht vorhanden [29].

### Allogener Knochen

Das derzeit zur Verfügung stehende allogene Knochenmaterial wird i.d.R. durch das Hüftkopfspendeverfahren gewonnen. Das Knochengewebe wird in einem mehrstufigen Reinigungs-verfahren derart aufgearbeitet, dass die natürlichen Strukturen für die Revas-

kularisierung und Migration von Osteoblasten erhalten bleiben. Dadurch soll die physiologische Knochenbildung und der Knochenumbau (Osteokonduktion) unterstützt werden.

Im Gegensatz zu der international verbreiteten Aufarbeitungsmethode der Kryokonservierung (fresh frozen bone), durchlaufen alle in Deutschland zugelassenen Allograftknochen eine chemische Dezellularisierung, wobei je nach Anbieter verschiedene Prozesse bzw. Chemikalien (Wasserstoffperoxid, Ethanol, Aceton, Diethylether, Peressigsäure) eingesetzt werden. Zusätzlich finden Thermodesinfektion und Sterilisation durch Bestrahlungsprozesse Anwendung. Gefriertrocknungsprozesse (Lyophilisation) ermöglichen die Lagerung bei Raumtemperatur. Schlussendlich ist es das Ziel aller Aufreinigungsprozesse, ein sicheres Knochenersatzmaterial zu generieren, welches vor allem als osteokonduktiv wirkende Gerüststruktur eine optimale Knochengewebeheilung ermöglicht, ohne immunogene wirksame Bestandteile zu enthalten [29–31].

Für eine Bohrkanalauffüllung steht derzeit Allograftknochen in unterschiedlichen Formen zur Verfügung (Abb. 3, 4):

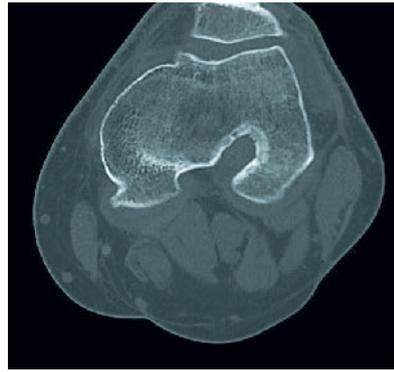
- Spongiosagranulat/-chips unterschiedlicher Größen
- Spongiosazylinder
- Halbierete Hüftköpfe oder Knochenblöcke

Die einzelnen Anwendungsindikationen richten sich nach dem Volumen und nach der Form der aufzufüllenden Bohrkanäle. Rein zylindrische Bohrkanäle lassen sich sehr gut mit

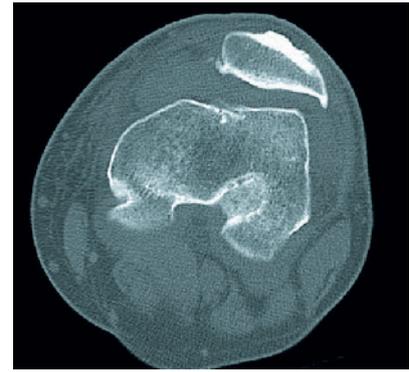
dem Durchmesser entsprechend Allograftzylindern auffüllen, wohingegen sehr stark zystisch erweiterte Bohrkanaäle besser mit Spongiosagranulat/-Chips und/oder Knochenblöcken aufgefüllt werden können (Abb. 9). Bohrkanaäle mit geringer zystischer Erweiterung können durch Überbohren in eine zylindrische Form umgewandelt und somit ebenfalls problemlos mit Allograftzylindern aufgefüllt werden. In der aktuellen Literatur existieren keine vergleichenden Studien, welche die unterschiedlichen Anwendungsformen aufarbeiten. Dementsprechend kann derzeit eine wissenschaftlich basierte Aussage, welches Auffüllungsverfahren den anderen Verfahren hinsichtlich Füllungsrate, Einheilung und klinischen Ergebnissen überlegen ist, nicht getätigt werden.

### OP-Technik

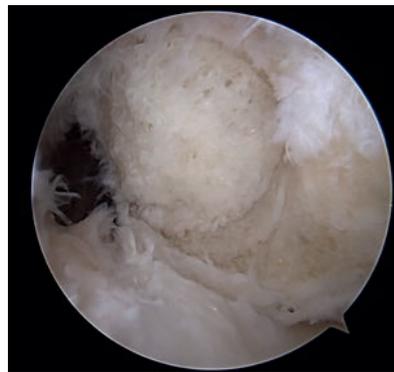
Die Bohrkanaalauffüllung kann femoral in nahezu allen Fällen in rein arthroskopischer Technik erfolgen. Tibial ist ein offenes Vorgehen mit arthroskopischer Kontrolle notwendig. Grundvoraussetzung für ein korrektes Einheilen des eingebrachten Allograftknochenmaterials ist eine sorgfältige Präparation der aufzufüllenden Bohrkanaäle. Sehnenreste sowie Faden- und Fixationsmaterial (bspw. Schraubenreste) müssen zwingend komplett entfernt werden. Die vorhandene Sklerosezone muss überbohrt oder aufgebrochen werden, um somit eine ausreichende Durchblutung des eingebrachten Allograftknochens zu gewährleisten. Das Einbringen des Materials kann manuell oder mit Hilfe von Applizierhilfen erfolgen (Abb. 4). Bei der Verwendung von Granulat oder Chips muss eine Verdichtung des Materials in den Tunneln erfolgen, um so eine möglichst hohe Füllungsrate zu erzielen. Dies ist femoral in der Regel problemlos mit entsprechenden Stößeln möglich. Tibial muss zunächst ein gelenknaher „Verschluss“ mit einem Knochenblock oder -zylinder erfolgen. So kann verhindert werden, dass Allograftmaterial unkontrolliert in das Gelenk gelangt. Durch die Verwendung solider Allograftzylinder, welche „pressfit“ in die Bohrkanaäle eingebracht werden, kann das Risiko von freien Allograftanteilen im Gelenk sowohl bei femoraler, als auch bei



**Abbildung 5** Erweiterter femoraler Bohrkanaal präoperativ



**Abbildung 6** Postoperativ nach Bohrkanaalauffüllung mit Allograftzylinder



**Abbildung 7** Mit Allograftzylinder aufgefüllter femoraler Bohrkanaal



**Abbildung 8** Arthroskopische Applikation eines Allograftzylinders

tibialer Applikation minimiert werden (Abb. 5–7).

### OP-Technik der Bohrkanaalauffüllung mit Allograftzylindern

Im Folgenden wird die vom Autor präferierte und seit Jahren angewendete Operationstechnik der Bohrkanaalauffüllung mit Allograftzylindern vorgestellt.

Zur Verfügung stehen derzeit maximal 30 mm lange Spongiosazylinder mit Durchmesser 10, 12 und 14 mm. Der Vorteil von Allograftzylindern gegenüber Spongiosachips liegt in der einfachen Handhabung im Sinne einer einfacheren, sichereren und schnelleren Applizierbarkeit. Vor allem die arthroskopische Auffüllung eines femoralen Bohrkanaals, ist durch die Verwendung eines soliden Allograftzylinders wesentlich einfacher. Bohrkanaäle mit geringer zystischer Erweiterung können durch Überbohren in eine zylindrische Form umgewandelt und somit ebenfalls problemlos mit Allograftzylindern aufgefüllt werden. Bei Verdacht auf Infektgeschehen

kann ein Allograftzylinder auch als Antibiotikaträger verwendet werden.

1. Klinische Untersuchung des Kniegelenkes in Narkose zum Ausschluss einer peripheren Instabilität
2. Diagnostische Arthroskopie zur Evaluation von Knorpel, Menisken, Instabilität, Bohrkanaallage
3. Freipräparieren des femoralen Bohrkanaals
4. Ggf. Entfernen von Fixationsmaterial
5. Sondierung des femoralen Bohrkanaals mit einem K-Draht im passenden Winkel
6. Schrittweises Aufbohren entsprechend der präoperativen Planung
7. Bei Infektverdacht Probeentnahme des Debris
8. Portalwechsel und Überprüfen auf Transplantatreste, Fadenreste und Skleroseherde
9. Ggf. Aufbrechen von einzelnen Skleroseanteilen mit z.B. Chondropick o.ä.
10. Einschlagen eines Allograftzylinders mit dem Bohrer entsprechen-



**Abbildung 9** Auffüllung mit allogenen Spongiosachips; 4 Monate postoperativ

- der Dicke (zur Pressfitimplantation 1 mm < des Bohrerdurchmessers) mit Applizierhilfe (Abb. 8)
11. Portalwechsel und Überprüfen der Zylinderlage
  12. Offenes Darstellen des tibialen Bohrkanals
  13. Ggf. Entfernung von Fixationsmaterial
  14. Sondieren des Kanals mit einem K-Draht unter arthroskopischer Kontrolle
  15. Schrittweises Überbohren bis zum präoperativ gemessenen Durchmesser
  16. Tunneloskopie und Überprüfen auf Transplantatreste, Fadenreste und Skleroseherde
  17. Ggf. Aufbrechen von Skleroseanteilen mit z.B. Chondropick o.ä.
  18. Aufstoßeln eines Allograftzylinders (Durchmesser entspricht dem des zuletzt verwendeten Bohrers) bis zur Gelenkfläche unter arthroskopischer Kontrolle
  19. Postoperatives Röntgenbild in 2 Ebenen

### Nachbehandlung

Die postoperative Nachbehandlung richtet sich auch nach den zusätzlich erfolgten operativen Maßnahmen (Meniskusnaht, Knorpelregeneration, Osteotomie). Eine isolierte Bohrkanalauffüllung, egal ob femoral und tibial oder nur tibial, ermöglicht eine zügige, schmerzadaptierte Vollbelastung des operierten Beines und kann ohne Bewegungseinschränkung erfolgen.

Im eigenen Patientengut erfolgt die ligamentäre VKB-Rekonstruktion frühestens 4 Monate nach Bohrkanalauffüllung mit Allograftknochen.

### Eigene Erfahrungen

Nach Bohrkanalauffüllung mit Allograftknochen kann im Verlauf eine CT-Kontrolle zur Beurteilung der Transplantatlage, Füllungsrate, Allograftintegration etc. durchgeführt werden. Nach Auswertung der postoperativen radiologischen Ergebnisse im eigenen Studienkollektiv von 46 Patienten, wird auf eine regelhafte CT-Kontrolle im postoperativen Verlauf verzichtet [28]. Voraussetzung hierfür ist eine sorgfältige intraoperative arthroskopische Kontrolle der Tunnelpräparation und der applizierten Allograftzylinder.

In den ARCUS Kliniken Pforzheim wurden von Januar 2016 bis Januar 2024 insgesamt 1010 Allograftzylinder im Rahmen von mehrzeitigen VKB-Revisionen implantiert. Immunologisch assoziierte Abstoßungsreaktionen oder Resorptionen konnten nicht beobachtet werden. Aufgrund der sehr guten eigenen Erfahrungen mit dieser Technik, wird hier eine Bohrkanalauffüllung mit autogenem Knochen nur noch auf Wunsch der Patientinnen oder Patienten durchgeführt.

### Fazit

Allogener Knochen wird in der Kreuzbandchirurgie überwiegend im Revisi-

onsfall zur Auffüllung erweiterter Bohrkanäle eingesetzt. Das Ziel ist es, eine stabile Verankerung des Sehnen- transplantates im Rahmen der erneuten ligamentären Stabilisierung zu gewährleisten. Für dieses Prozedere stehen derzeit unterschiedliche Applikationsformen von allogenem Knochen und unterschiedliche Applikationstechniken zur Verfügung. Gegenüber der Verwendung von autogenem Knochen verkürzt der Einsatz von allogem Knochenmaterial die OP-Zeit signifikant und eine Entnahmemorbidity entfällt. Diese sind als Hauptgründe für den in den letzten Jahren zunehmenden Einsatz von Allograftknochen zur Bohrkanalauffüllungen anzusehen. Weiter vergleichende klinische Studien sind notwendig, um die Datenlage zu diesem Thema zu verbessern.

### Interessenkonflikte:

Keine angegeben.

**Das Literaturverzeichnis zu diesem Beitrag finden Sie auf:**  
[www.online-oup.de](http://www.online-oup.de).



Foto: ARCUS Kliniken Pforzheim

### Korrespondenzadresse

Dr. med Christian Eberle  
ARCUS Kliniken Pforzheim  
Rastatter Str. 17–19  
75179 Pforzheim  
[eberle@sportklinik.de](mailto:eberle@sportklinik.de)