

Matthias J. Feucht, Andreas B. Imhoff, Norbert P. Südkamp, Kaywan Izadpanah

# Kniegelenknahe Osteotomien bei Knorpeltherapie und Bandinstabilität

## Zusammenfassung:

Kniegelenknahe Osteotomien werden mittlerweile regelhaft als additive Verfahren bei knorpelregenerativen Maßnahmen sowie bei der Behandlung von Bandinstabilitäten durchgeführt. Da die Achsverhältnisse der unteren Extremität einen großen Einfluss auf die Belastung des Gelenkknorpels haben, spielen Achsfehler und deren Korrektur eine zentrale Rolle bei der Entstehung und entsprechend auch bei der Behandlung von Knorpelschäden. Aktuelle Daten zeigen, dass nicht-adressierte Achsfehler eine wichtige Ursache für das Versagen von knorpelregenerativen Maßnahmen darstellen. Das Ziel einer additiven Osteotomie im Kontext einer Knorpeltherapie ist es, optimale biomechanische Voraussetzungen für das reifende Gewebe zu schaffen. Des Weiteren beeinflusst das koronare und sagittale Alignment auch das Ausmaß der Instabilität nach Bandrupturen sowie die auf rekonstruierte Bänder einwirkenden Kräfte. Kniegelenknahe Osteotomien haben sich daher in der Behandlung von Bandinstabilitäten als kombiniertes oder auch alleiniges Therapieverfahren etabliert. Neben der Entlastung eines arthrotisch veränderten Kompartiments werden im instabilen Kniegelenk Osteotomien speziell zum Schutz einer Bandplastik und zur Stabilisierung eines Gelenks auch ohne Bandplastik eingesetzt.

## Schlüsselwörter:

Knie, Osteotomie, Knorpel, Instabilität, Rekonstruktion, Slope

## Zitierweise:

Feucht MJ, Imhoff AB, Südkamp NP, Izadpanah K: Kniegelenknahe Osteotomien bei Knorpeltherapie und Bandinstabilität. OUP 2019; 8: 476–482

DOI 10.3238/oup.2019.0476–0482

## Einleitung

Die Achsverhältnisse der unteren Extremität haben einen wesentlichen Einfluss auf die Druckbelastung des Kniegelenks. Des Weiteren beeinflusst das Koronare und sagittale Alignment das Ausmaß der Instabilität nach Bandrupturen sowie auch die auf rekonstruierte Bänder einwirkenden Kräfte. Aus diesen Gründen werden kniegelenknahe Osteotomien mittlerweile regelhaft als additive Verfahren bei knorpelregenerativen Maßnahmen und bei der Behandlung von Bandinstabilitäten eingesetzt. Im Rahmen dieses Artikels soll im Wesentlichen auf Osteotomien bei Knorpelschäden im tibiofemorale Kompartiment sowie im Kontext von Kollateral- und Kreuzbandinsuffizienzen eingegangen werden. Die dargestell-

ten Zusammenhänge und Prinzipien lassen sich jedoch auch auf die Behandlung patellofemorale Knorpelschäden oder Instabilität übertragen.

## Osteotomien bei Knorpeltherapie

### Die Rolle von Achsfehlern bei der Entstehung und Behandlung von Knorpelschäden

Ein gewisses Maß an Belastung ist zur Aufrechterhaltung der Homöostase im Gelenkknorpel essenziell. Eine Belastung über das physiologische Maß hinaus führt jedoch auf Dauer zur irreversiblen Schädigung des Knorpels [17]. Eine Varus- oder Valgusfehlstellung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Druckbelastung des Knorpels im Kniegelenk [2, 25]. Beispielsweise

muss bereits bei einer milden Varusdeformität von 3–5° ca. 80–90 % der gesamten Druckbelastung vom medialen Kompartiment getragen werden [2, 25]. Daher haben Achsfehler und deren Korrektur eine zentrale Rolle bei der Entstehung und Behandlung von Knorpelschäden [3].

Mehrere Studien konnten mittlerweile nachweisen, dass bereits eine geringe Abweichung der mechanischen Achse ein unabhängiger Risikofaktor für die Entstehung eines Knorpelschadens darstellt [11, 33, 34]. Beispielsweise konnte mittels MRT-Untersuchungen gezeigt werden, dass eine Varusfehlstellung von  $\geq 2^\circ$  ein signifikanter Risikofaktor für die Entstehung eines Knorpelschadens im medialen Kompartiment darstellt [33]. Des Weiteren konnten zahlrei-

## Osteotomies around the knee in the setting of cartilage repair and ligament insufficiency

**Summary:** Osteotomies around the knee are commonly used combined with cartilage repair and ligament reconstruction procedures. Since lower extremity alignment has a major impact on joint loading, malalignment plays an important role in cartilage repair. Current data suggests that uncorrected malalignment is an important risk factor for failure of cartilage regeneration procedures. The aim of an unloading osteotomy is to create an ideal biomechanical environment for the induced or transplanted repair tissue. Moreover, the osseous geometry of the lower limb has a significant impact on knee instability after ligament injuries and osseous malalignment has been shown to be a significant risk factor for failure of ligament reconstruction procedures. Therefore, osteotomies around the knee have gained importance as a combined or isolated treatment option in the ligament deficient and malaligned knee. Besides unloading of an arthritic knee compartment, osteotomies are specifically performed in order to protect a reconstructed ligament and to stabilize the joint even without ligament surgery.

**Keywords:** knee, osteotomy, cartilage, instability, reconstruction, slope

**Citation:** Feucht MJ, Imhoff AB, Südkamp NP, Izadpanah K: Osteotomies around the knee in the setting of cartilage repair and ligament insufficiency. OUP 2019; 8: 476–482 DOI 10.3238/oup.2019.0476–0482

che Studien nachweisen, dass sowohl die Varus- wie auch Valgusfehlstellung ein bedeutender Risikofaktor für das Voranschreiten einer medialen bzw. lateralen Arthrose darstellt [36]. Entsprechend muss davon ausgegangen werden, dass Achsfehler auch den natürlichen Verlauf eines Knorpelchadens negativ beeinflussen.

Biomechanisch kommt es bei bestehendem Knorpelschaden der medialen Femurkondyle mit steigender Varusfehlstellung zu einem zunehmenden Kontaktdruck im medialen Kompartiment, wobei sich die Druckbelastung insbesondere um die Randzone des Knorpelschadens konzentriert [25]. Somit scheint insbesondere die für eine erfolgreiche Knorpeltherapie essenzielle intakte Randzone bei Achsfehlstellungen einer hohen mechanischen Belastung zu unterliegen. Aus diesen biomechanischen Daten sowie oben erläuterten Zusammenhängen zwischen Achsfehlstellungen und dem Entstehen bzw. der Progression von Knorpelschäden muss davon ausgegangen werden, dass Achsfehler ein Risikofaktor für das Versagen knorpelregenerativer Maßnahmen darstellen. Klinische Studien konnten dies mittlerweile hinreichend belegen [4, 7, 39]. Beispielsweise konnte Krych et al. [21] im Rahmen einer Ursachenanalyse von 59 Fällen nach fehlgeschlagener Knorpeltherapie

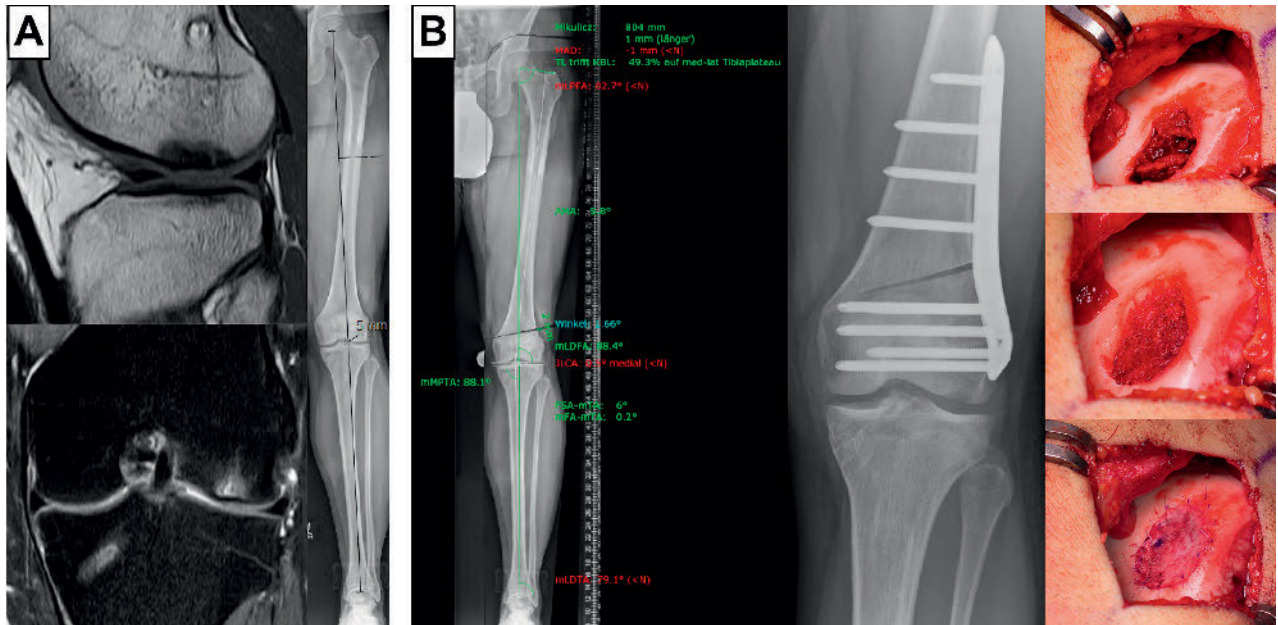
zeigen, dass bei über 50 % der Patienten eine Achsfehlstellung zumindest mit ursächlich war.

### Klinische Evidenz zur Kombination von Achskorrekturen und Knorpeltherapie

Das Ziel einer Achskorrektur im Rahmen der Knorpeltherapie ist es, optimale biomechanische Voraussetzungen für die Reifung des induzierten oder transplantierten Gewebes zu schaffen [4, 7, 13]. Durch eine hohe Tibia-Osteotomie (HTO) oder distale Femur-Osteotomie (DFO) kann die mechanische Achse aus dem geschädigten Kompartiment hinaus verlagert werden und so die Druckbelastung reduziert werden [2, 25]. Im Rahmen von Second-look-Arthroskopien nach valgusierender HTO bei Patienten mit medialer Gonarthrose zeigte sich bei den meisten Patienten auch ohne additive Knorpeltherapie eine partielle Regeneration des Knorpels [19]. Diese Studien belegen, dass Reparaturprozesse in Chondrozyten durch Aufhebung der mechanischen Überlastung induziert werden können. Somit sollte auch bei knorpelregenerativen Eingriffen eine mechanische Entlastung die biologischen Prozesse positiv beeinflussen. Eine weitere interessante Beobachtung machten Minas et al. [26] bei der Analyse von Langzeitüberlebensraten nach autologer Chondrozytentransplantation (ACT). Im Ver-

gleich zu isolierten ACTs bei Patienten ohne Malalignment zeigten Patienten mit additiver entlastender Osteotomie nach 15 Jahren eine signifikant höhere Überlebensrate. Somit scheint eine mechanische Entlastung Vorteile für das klinische Ergebnis und Langzeitüberleben einer Knorpeltherapie zu bringen.

Ab welchem Ausmaß eine Achsfehlstellung im Rahmen einer Knorpeltherapie korrigiert werden muss, ist bisher unklar. Lange Zeit galt die Expertenmeinung, dass eine frontale Achsabweichung von  $\geq 5^\circ$  korrigiert werden sollte. Bei der Varusfehlstellung ist aus Sicht der Autoren die Indikation auch bei Fehlstellungen  $< 5^\circ$  großzügig zu stellen. Bode et al. [7] untersuchten die Versagensraten bei Patienten mit Knorpelschäden der medialen Femurkondyle und einer Varusdeformität zwischen  $1-5^\circ$ . Die Behandlung erfolgte mittels isolierter ACT oder Kombination aus ACT und valgusierender HTO. Nach durchschnittlich 6 Jahren war die Überlebensrate in der Gruppe nach ACT + HTO mit 90 % signifikant höher als in der Gruppe nach isolierter ACT mit 58 %. Diese Studie erlaubt den Rückschluss, dass auch bei sehr geringer Varusdeformität ( $< 5^\circ$ ) die Indikation zur additiven HTO großzügig gestellt werden kann. Im eigenen Vorgehen wird eine additive Osteotomie dem Patienten mit Überschreiten der physiologischen



**Abbildung 1a–b** Fallbeispiel zu Osteotomie und Knorpeltherapie. **a)** Männlicher Patient, 32 Jahre alt, symptomatische osteochondrale Läsion der lateralen Femurkondyle und mechanischer Valgus von  $3^\circ$ , Z.n. Außenmeniskus-Teilresektion. **b)** Als Therapie erfolgte zunächst eine varisierende distale Femur-Osteotomie und Knorpelzellentnahme zur sekundären MACT. Nach erfolgter Kultivierung der Knorpelzellen erfolgte dann in einem zweiten Eingriff eine Rekonstruktion der osteochondralen Läsion durch Spongiosaplastik aus dem Beckenkamm und MACT.

Beinachse, also einer Varusdeformität von  $> 2^\circ$  empfohlen; ab  $5^\circ$  sollte eine isolierte Knorpeltherapie nicht durchgeführt werden. Dieselben Richtwerte verwenden die Autoren auch bei vorliegender Valgusdeformität (Abb. 1).

Auch hinsichtlich des notwendigen Korrekturausmaßes gibt es keine klare Evidenz. Im Gegensatz zu Patienten mit Gonarthrose, bei welchen in der Regel eine Überkorrektur angestrebt wird, verfolgen die meisten Autoren bei Patienten mit Knorpelschaden das Ziel einer geraden Beinachse [13]. Da es sich bei diesen Patienten meist um relativ junge Patienten handelt, ist eine Überkorrektur auf Grund des Risikos einer progredienten Knorpeldegeneration im kontralateralen Kompartiment kritisch zu sehen.

Die klinischen Ergebnisse nach Knorpeltherapie und Achskorrektur sind vielversprechend. Minzlaff et al. [27] untersuchten die Langzeitergebnisse von 74 Patienten welche bei osteochondraler Läsion der medialen Femurkondyle und Genu varum  $\geq 2^\circ$  mittels valgusierender HTO und Transplantation autologer osteochondraler Zylinder versorgt wurden. Nach durchschnittlich 7,5 Jahre zeigte sich eine Abnahme des Schmerz-VAS um 4,8 Punkte und eine Zunahme des

Lysholm-Scores um 33 Punkte. Die Überlebensrate, definiert als nicht-notwendige Konversion in eine Teil- oder Totalprothese, betrug nach 5 Jahren 95 %, nach 7 Jahren 93 % und nach 9 Jahren 90 %. Bode et al. [6] analysierten das klinische Outcome von 40 Patienten nach ACT der medialen Femurkondyle + valgusierender HTO. Nach 5 Jahren zeigte sich eine Abnahme des Schmerz-VAS von 6,7 auf 2,2 Punkte und eine Zunahme des Lysholm-Scores von 22 Punkten. Die 5-Jahres-Überlebensrate betrug 100 %.

### Zusammenfassung

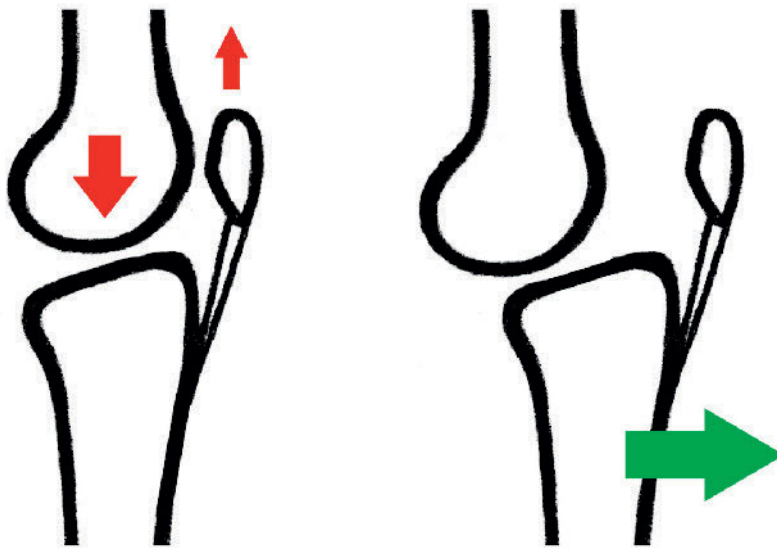
- Varus- und Valgusfehlstellung sind ein Risikofaktor für das Entstehen eines Knorpelschadens im mehrbelasteten Kompartiment.
- Varus- und Valgusfehlstellung sind ein Risikofaktor für das Versagen knorpelregenerativer Therapieverfahren.
- Eine entlastende Osteotomie hat einen nachgewiesenen positiven Einfluss auf Reparaturprozesse von Chondrozyten.
- Die klinischen Ergebnisse nach kombinierter Osteotomie und knorpelregenerativen Maßnahmen bei fokalen Knorpelschäden sind vielversprechend.

- Ab  $5^\circ$  Varus- oder Valgusfehlstellung sollte keine isolierte Knorpeltherapie erfolgen.
- Die Autoren empfehlen, auch bei Fehlstellungen von  $2\text{--}3^\circ$ , eine Korrekturosteotomie zu erwägen

### Osteotomien bei Bandinstabilität

#### Hintergrund

Die ossäre Geometrie der unteren Extremität beeinflusst das Ausmaß der Kniegelenkinstabilität nach Bandrupturen und Achsfehler stellen einen signifikanten Risikofaktor für das Versagen von Bandplastiken dar [37]. Kniegelenknahe Osteotomien haben sich daher in der Behandlung von Bandinstabilitäten als kombiniertes oder sogar isoliertes Therapieverfahren etabliert [14]. Neben der Entlastung eines arthrotisch veränderten Kompartiments werden im instabilen Kniegelenk Osteotomien auch zum Schutz einer Bandplastik und zur Stabilisierung eines Gelenks auch ohne Bandplastik eingesetzt. Bei Osteotomien zur Behandlung von Bandinstabilitäten muss neben dem Varus-/Valgusalignment auch der tibiale Slope berücksichtigt werden [12].



**Abbildung 2** Biomechanische Auswirkungen des tibialen Slope. Durch die Dorsalinclination des Tibiaplateaus kommt es unter axialer Kompression und Quadrizepszug zu einer anterioren Translation der Tibia.

### Varus-/Valgusalignment

Bereits bei neutral ausgerichteter mechanischer Beinachse kommt es während der Standphase des Gehens durch das resultierende Adduktionsmoment des Unterschenkels zu einer Spannungszunahme der lateralen und posterolateralen Bandstrukturen. Eine Varusfehlstellung führt zu einer Zunahme des Adduktionsmoments und entsprechend zu einer weiteren Spannungszunahme. Eine isolierte Rekonstruktion der lateralen/posterolateralen Strukturen bei Varusdeformität unterliegt somit einer abnorm hohen Belastung, was über kurz oder lang zu einer erneuten Insuffizienz führt [30]. Entsprechendes gilt bei Valgusfehlstellung durch das resultierende Abduktionsmoment für die medialen und posteromedialen Strukturen. Eine Varusdeformität bei Bandinstabilität kann nach Noyes et al. [31] in 3 Typen eingeteilt werden: *primary*, *double* und *triple* Varus:

- 1. Primary Varus:** Durch die ossäre Geometrie bedingt und durch Knorpel- oder Meniskusverlust akzentuiert.
- 2. Double Varus:** Zusätzliche laterale Gelenköffnung unter Belastung (sog. Varus-thrust) durch Insuffizienz der lateralen Bandstrukturen.
- 3. Triple Varus:** Zusätzlicher Hyperextensions-varus-Thrust durch Insuffizienz der lateralen und posterolateralen Bandstrukturen.

Das Erkennen eines double/triple Varus ist bei der Behandlung der VKB- und HKB-Insuffizienz von entscheidender Bedeutung, da beide Kreuzbänder sekundäre Stabilisatoren gegen Varusstress darstellen. Durch einen Varus-Thrust kam es in einer biomechanischen Arbeit zu einer Zunahme der VKB-Spannung um 218 %, was letztlich zum Versagen einer VKB-Plastik durch repetitive Überlastung führen kann [38]. Ebenso stellt eine nicht adressierte Varusfehlstellung einen signifikanten Risikofaktor für das Versagen einer HKB-Rekonstruktion dar [29].

### Tibialer Slope

Der tibiale Slope beschreibt die Dorsalinclination des Tibiaplateaus und Werte zwischen 7 und 13° gelten als physiologisch [12]. Aufgrund des nach dorsal geneigten Tibiaplateaus kommt es unter axialer Kompression und Quadrizeps-Zug zu einer anterioren Translation der Tibia (ATT) (Abb. 2). Biomechanische und klinische Arbeiten konnten eine signifikante Korrelation zwischen dem Slope und der ATT zeigen: je steiler der Slope, desto ausgeprägter war auch die ATT [1, 10]. Daher beeinflusst der tibiale Slope die antero-posteriore Stabilität des Kniegelenks und damit auch die Belastung, welche auf die Kreuzbänder und entsprechend auch

auf eine Kreuzbandplastik einwirkt. Ein flacher tibialer Slope sollte entsprechend mit einer geringeren ATT und somit biomechanischen Vorteilen bei VKB-Rekonstruktion assoziiert sein, während ein steiler tibialer Slope mit einer vermehrten ATT und somit biomechanischen Vorteilen bei HKB-Rekonstruktion assoziiert sein sollte [14, 37].

Während diese Hypothese bis vor einigen Jahren v.a. eine theoretische Überlegung war, konnten in den letzten Jahren zahlreiche Studien die Bedeutung des tibialen Slope für die Belastung einer Kreuzbandplastik und der postoperativen Stabilität belegen. In klinischen Studien war ein steiler tibialer Slope assoziiert mit einer vermehrten ATT und einer höheren Versagensrate nach VKB-Plastik [23, 32, 40], wohingegen eine Slope-Reduktion im biomechanischen Experiment zu einer Reduktion der auf das VKB-Transplantat einwirkenden Kraft führt [18].

Für die hintere Instabilität konnte entsprechend gezeigt werden, dass die Belastung einer HKB-Plastik mit zunehmender Abflachung des Slopes zunimmt [5] und dass die Reduktion der hinteren Schublade durch eine HKB-Plastik mit dem tibialen Slope korreliert: je steiler der Slope, desto erfolgreicher war die Reduktion der hinteren Schublade [16].

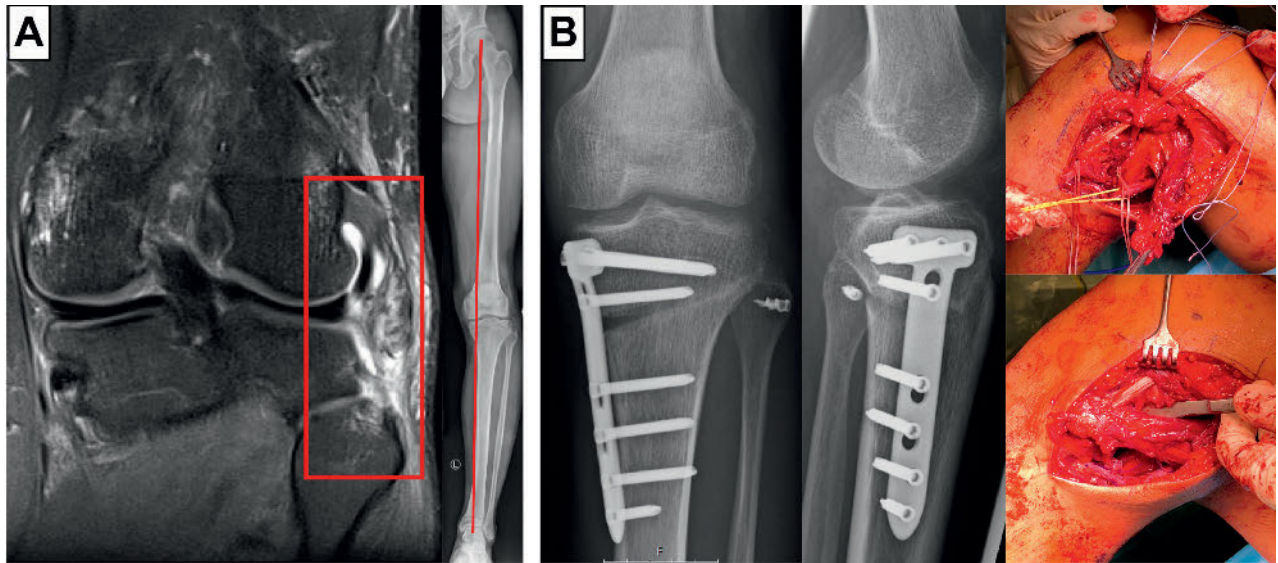
Basierend auf diesen neueren Erkenntnissen sollte der tibiale Slope zumindest im Revisionsfall in die Versagensanalyse mit einbezogen und ggf. mit adressiert werden. Ob eine Slope-Modifikation bereits bei der primären Rekonstruktion in Erwägung gezogen werden sollte, ist aktuell noch unklar und sollte Gegenstand folgender Studien sein.

### Behandlungsempfehlung der Autoren

#### Insuffizienz der Kollateralbänder

Bei Varusfehlstellung  $\geq 5^\circ$  ist aus Sicht der Autoren eine isolierte Rekonstruktion des lateralen Kollateralbands oder der posterolateralen Ecke kontraindiziert (Abb. 3) [30]. Entsprechendes gilt für die mediale/posteromediale Rekonstruktion bei Valgus  $\geq 5^\circ$ . Basierend auf der klinischen Erfahrung führen die Autoren Achskorrekturen bei peripheren Instabili-





**Abbildung 3a–b** Fallbeispiel zu Osteotomie und Bandinstabilität. **a)** Männlicher Patient, 19 Jahre alt, fibulärer Abriss des Außenbandkomplexes (laterales Kollateralband und Ligamentum popliteofibulare) sowie der Bizepssehne. Bei initial übersehener Verletzung mittlerweile chronisch (4 Monate) und resultierende Affektion des Nervus peroneus. Zudem bestehender mechanischer Varus von 5°. **b)** Als Therapie erfolgte eine valgisierende Tibiakopf-Osteotomie, langstreckige Neurolyse des Nervus peroneus, Rekonstruktion des Außenbandkomplexes in der Technik nach Arciero mit ipsilateraler Semitendinosus-Sehne und Refixation der Bizepssehne am Fibulaköpfchen mit transossär geführten Fadentapes sowie Titan-Anker.

täten durch, mittlerweile aber auch bei Fehlstellung unter 5°. Grundsätzlich kann die Osteotomie und Bandrekonstruktion als einzeitiges Verfahren durchgeführt werden. Wird ein zweizeitiges Vorgehen favorisiert, sollte in jedem Fall zunächst die Achskorrektur erfolgen [14, 37].

### Insuffizienz des vorderen Kreuzbands

Ein Behandlungsalgorithmus zur Behandlung der VKB-Insuffizienz im Varusknie ist in Abbildung 4 dargestellt. Der Einfachheit halber wird davon ausgegangen, dass die Varusfehlstellung tibial bedingt ist und HTO daher stellvertretend für Achskorrektur im Allgemeinen steht. Primär wird unterschieden, ob lediglich ein Varusmalalignment vorliegt oder bereits eine Varusgonarthrose. Bei Varusmalalignment wird weiter unterschieden, ob es sich um einen *primary* Varus handelt oder einen *double/triple* Varus. Beim *primary* Varus wird noch unterschieden, ob es sich um eine primäre VKB-Ruptur handelt oder eine Re-Ruptur. Bei Patienten mit *primary* Varus und primärer VKB-Ruptur kann eine isolierte VKB-Rekonstruktion erfolgen [20]. Bei Patienten mit *primary* Varus und Re-

Ruptur sollte besondere Beachtung auf assoziierte Verletzungen des Knorpels und der Menisken gelegt werden und ggf. neben der VKB-Rekonstruktion auch eine HTO zur Vermeidung der Arthroseentstehung bzw. -progression in Erwägung gezogen werden [8, 41]. Bei Patienten mit *double/triple* Varus sollte aus unserer Sicht eine VKB-Rekonstruktion mit einer HTO kombiniert werden, um die Plastik vor repetitiver Überlastung durch den Varus-Thrust zu schützen [31, 38]. Bei Patienten mit VKB-Insuffizienz und bereits manifester Varusgonarthrose wird in erster Linie unterschieden, ob eine subjektive Instabilität vorliegt oder nicht. Haben die Patienten lediglich Schmerzen und keine subjektive Instabilität, ist unserer Ansicht nach eine alleinige HTO die probate Therapie [24]. Besteht neben der Arthrose auch eine subjektive Instabilität, sollte die HTO mit einer VKB-Rekonstruktion kombiniert werden.

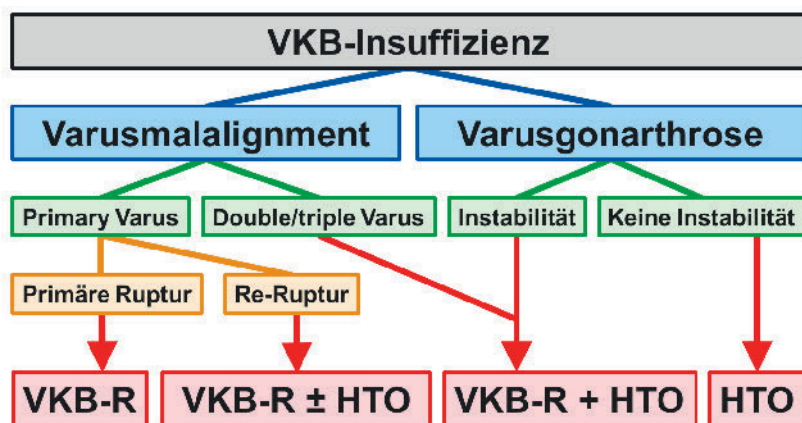
Die Indikationen zur Slope-Korrektur sind weniger eindeutig. Basierend auf den bisher verfügbaren Daten sollte jedoch im Falle einer VKB-Re-Ruptur der tibiale Slope in die Versagensanalyse mit einbezogen werden und im Rahmen der Revision

zum Schutz der Bandplastik ggf. mit adressiert werden. In der aktuellen Literatur wird bei Patienten mit VKB-Re-Ruptur eine Extensions-Osteotomie in Kombination mit einer VKB-Plastik bei einem Slope > 12° empfohlen [14]. In 2 publizierten Fallserien konnte hiermit bei Patienten mit VKB-Re-Re-Ruptur ein gutes klinisches Ergebnis ohne erneute Transplantatruptur erzielt werden [9, 35].

### Insuffizienz des hinteren Kreuzbands und der posterolateralen Ecke

Insbesondere bei chronischen Instabilitäten stellt aus Sicht der Autoren eine isolierte valgisierende und flektierende HTO häufig den ersten Therapieschritt dar [15, 22, 28]. Das Therapieschema der Autoren bei hinterer Instabilität im Varusknie sieht wie folgt aus:

- **HKB-Insuffizienz und Varusfehlstellung > 5° ohne Arthrose:** Valgisierende und flektierende HTO; HKB-Rekonstruktion einzeitig (bei jungen Patienten mit hohem Aktivitätsniveau oder ausgeprägter Instabilität) oder zweizeitig bei verbliebener subjektiver Instabilität.
- **HKB + posterolaterale Insuffizienz und Varusfehlstellung > 2° ohne Arthrose:** Valgisierende



**Abbildung 4** Behandlungsalgorithmus bei VKB-Insuffizienz und Genu varum (VKB: vorderes Kreuzband; VKB-R: VKB-Rekonstruktion; HTO: hohe Tibiakopf-Osteotomie).

und flektierende HTO mit ein- oder zweizeitiger Bandrekonstruktion.

- **HKB ± posterolaterale Insuffizienz und Varusgonarthrose:** Primär valgusierende und flektierende HTO; zweizeitige Bandrekonstruktion bei verbleibender subjektiver Instabilität.

### Zusammenfassung

- Achsfehler stellen einen signifikanten Risikofaktor für das Versagen einer Bandplastik dar.
- Osteotomien haben im instabilen Kniegelenk neben der Entlastung eines arthrotischen Kompartiments auch einen festen Stellenwert hinsichtlich Schutz einer Bandplastik und Stabilisierung des Gelenks auch ohne Bandplastik.
- Bei vorhandenem Varus- oder Valgus-Thrust sollte primär eine ossäre Korrektur durchgeführt werden und je nach Indikation mit einer Bandplastik kombiniert werden.
- Der tibiale Slope beeinflusst die a.-p.-Stabilität und bereits geringfügige Änderungen des Slope ( $\leq 5^\circ$ ) führen zu einer klinisch signifikanten Änderung der a.-p.-Translation. Slope-Korrekturen sollten insbesondere im Revisionsfall in Erwägung gezogen werden.

### Interessenkonflikte:

Keine angegeben.

### Literatur

1. Agneskirchner JD, Hurschler C, Stukenborg-Colsman C, Imhoff AB, Lobenhoffer P: Effect of high tibial flexion osteotomy on cartilage pressure and joint kinematics: a biomechanical study in human cadaveric knees. Arch Orthop Trauma Surg 2004; 124: 575–84
2. Agneskirchner JD, Hurschler C, Wrann CD, Lobenhoffer P: The effects of valgus medial opening wedge high tibial osteotomy on articular cartilage pressure of the knee: a biomechanical study. Arthroscopy 2007; 23: 852–61
3. Arnold MP, Hirschmann MT, Verdonk PC: See the whole picture: knee preserving therapy needs more than surface repair. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2012; 20: 195–6
4. Bae DK, Song SJ, Yoon KH, Heo DB, Kim TJ: Survival analysis of microfracture in the osteoarthritic knee—minimum 10-year follow-up. Arthroscopy 2013; 29: 244–50
5. Bernhardtson AS, Aman ZS, DePhillipo NN et al.: Tibial Slope and its effect on graft force in posterior cruciate ligament reconstructions. Am J Sports Med 2019; 47: 1168–74
6. Bode G, Ogon P, Pestka J et al.: Clinical outcome and return to work following single-stage combined autologous chondrocyte implantation and high tibial osteotomy. Int Orthop 2015; 39: 689–96
7. Bode G, Schmal H, Pestka JM, Ogon P, Sudkamp NP, Niemyer P: A non-randomized controlled clinical trial on autologous chondrocyte implantation (ACI) in cartilage defects of the medial femoral condyle with or without high tibial osteotomy in patients with varus deformity of less than 5 degrees. Arch Orthop Trauma Surg 2013; 133: 43–9
8. Brophy RH, Haas AK, Huston LJ, Nwosu SK, Group M, Wright RW: Association of Meniscal Status, Lower Extremity Alignment, and Body Mass Index With Chondrosis at Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Am J Sports Med 2015; 43: 1616–22
9. Dejour D, Saffarini M, Demey G, Baverel L: Tibial slope correction combined with second revision ACL produces good knee stability and prevents graft rupture. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2015; 23: 2846–52
10. Dejour H, Bonnin M: Tibial translation after anterior cruciate ligament rupture. Two radiological tests compared. J Bone Joint Surg Br 1994; 76: 745–49
11. Felson DT, Niu J, Gross KD et al.: Valgus malalignment is a risk factor for lateral knee osteoarthritis incidence and progression: findings from the Multicenter Osteoarthritis Study and the Osteoarthritis Initiative. Arthritis Rheum 2013; 65: 355–62
12. Feucht MJ, Mauro CS, Brucker PU, Imhoff AB, Hinterwimmer S: The role of the tibial slope in sustaining and treating anterior cruciate ligament injuries. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2013; 21: 134–145
13. Feucht MJ, Minzlaff P, Saier T et al.: Degree of axis correction in valgus high tibial osteotomy: proposal of an individualised approach. Int Orthop 2014; 38: 2273–80
14. Feucht MJ, Tischer T: [Osteotomies around the knee for ligament insufficiency]. Orthopade 2017; 46: 601–9
15. Giffin JR, Stabile KJ, Zantop T, Vogrin TM, Woo SL, Harner CD: Importance of tibial slope for stability of the posterior cruciate ligament deficient knee. Am J Sports Med 2007; 35: 1443–9
16. Gwinner C, Weiler A, Roeder M, Schaefer FM, Jung TM: Tibial Slope Strongly Influences Knee Stability After Posterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective 5– to 15-Year Follow-up. Am J Sports Med 2017; 45: 355–61
17. Heijink A, Gomoll AH, Madry H et al.: Biomechanical considerations in the pathogenesis of osteoarthritis of the knee. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2012; 20: 423–35
18. Imhoff FB, Mehl J, Comer BJ et al.: Slope-reducing tibial osteotomy decreases ACL-graft forces and anterior tibial translation under axial load.

- Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2019; doi: 10.1007/s00167-019-05360-2. [Epub ahead of print]
19. Jung WH, Takeuchi R, Chun CW et al.: Second-look arthroscopic assessment of cartilage regeneration after medial opening-wedge high tibial osteotomy. *Arthroscopy* 2014; 30: 72–9
  20. Kim SJ, Moon HK, Chun YM, Chang WH, Kim SG: Is correctional osteotomy crucial in primary varus knees undergoing anterior cruciate ligament reconstruction? *Clin Orthop Relat Res* 2011; 469: 1421–26
  21. Krych AJ, Hevesi M, Desai VS, Camp CL, Stuart MJ, Saris DBF: Learning From Failure in Cartilage Repair Surgery: An Analysis of the Mode of Failure of Primary Procedures in Consecutive Cases at a Tertiary Referral Center. *Orthop J Sports Med* 2018; 6: 2325967118773041
  22. Laprade RF, Engebretsen L, Johansen S, Wentorf FA, Kurtenbach C: The effect of a proximal tibial medial opening wedge osteotomy on posterolateral knee instability: a biomechanical study. *Am J Sports Med* 2008; 36: 956–60
  23. Li Y, Hong L, Feng H et al.: Posterior tibial slope influences static anterior tibial translation in anterior cruciate ligament reconstruction: a minimum 2-year follow-up study. *Am J Sports Med* 2014; 42: 927–33
  24. Mehl J, Paul J, Feucht MJ et al.: ACL deficiency and varus osteoarthritis: high tibial osteotomy alone or combined with ACL reconstruction? *Arch Orthop Trauma Surg* 2016; 137: 233–40
  25. Mina C, Garrett WE, Jr., Pietrobon R, Glisson R, Higgins L: High tibial osteotomy for unloading osteochondral defects in the medial compartment of the knee. *Am J Sports Med* 2008; 36: 949–55
  26. Minas T, Von Keudell A, Bryant T, Gommoll AH: The John Insall Award: A minimum 10-year outcome study of autologous chondrocyte implantation. *Clin Orthop Relat Res* 2014; 472: 41–51
  27. Minzlaff P, Feucht MJ, Saier T et al.: Osteochondral autologous transfer combined with valgus high tibial osteotomy: long-term results and survivorship analysis. *Am J Sports Med* 2013; 41: 2325–32
  28. Naudie DD, Amendola A, Fowler PJ: Opening wedge high tibial osteotomy for symptomatic hyperextension-varus thrust. *Am J Sports Med* 2004; 32: 60–70
  29. Noyes FR, Barber-Westin SD: Posterior cruciate ligament revision reconstruction, part 1: causes of surgical failure in 52 consecutive operations. *Am J Sports Med* 2005; 33: 646–54
  30. Noyes FR, Barber-Westin SD, Albright JC: An analysis of the causes of failure in 57 consecutive posterolateral operative procedures. *Am J Sports Med* 2006; 34: 1419–30
  31. Noyes FR, Barber-Westin SD, Hewett TE: High tibial osteotomy and ligament reconstruction for varus angulated anterior cruciate ligament-deficient knees. *Am J Sports Med* 2000; 28: 282–96
  32. Salmon LJ, Heath E, Akrawi H, Roe JP, Linklater J, Pinczewski LA: 20-Year Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Hamstring Tendon Autograft: The Catastrophic Effect of Age and Posterior Tibial Slope. *Am J Sports Med* 2018; 46: 531–43
  33. Sharma L, Chmiel JS, Almagor O et al.: The role of varus and valgus alignment in the initial development of knee cartilage damage by MRI: the MOST study. *Ann Rheum Dis* 2013; 72: 235–40
  34. Sharma L, Song J, Dunlop D et al.: Varus and valgus alignment and incident and progressive knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 2010; 69: 1940–5
  35. Sonnery-Cottet B, Mogos S, Thauinat M et al.: Proximal Tibial Anterior Closing Wedge Osteotomy in Repeat Revision of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med* 2014; 42: 1873–80
  36. Tanamas S, Hanna FS, Cicuttini FM, Wluka AE, Berry P, Urquhart DM: Does knee malalignment increase the risk of development and progression of knee osteoarthritis? A systematic review. *Arthritis Rheum* 2009; 61: 459–67
  37. Tischer T, Paul J, Pape D et al.: The Impact of Osseous Malalignment and Realignment Procedures in Knee Ligament Surgery: A Systematic Review of the Clinical Evidence. *Orthop J Sports Med* 2017; 5: 2325967117697287
  38. van de Pol GJ, Arnold MP, Verdonchot N, van Kampen A: Varus alignment leads to increased forces in the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med* 2009; 37: 481–7
  39. Von Keudell A, Atzwanger J, Forstner R, Resch H, Hoffelner T, Mayer M: Radiological evaluation of cartilage after microfracture treatment: a long-term follow-up study. *Eur J Radiol* 2012; 81: 1618–24
  40. Webb JM, Salmon LJ, Leclerc E, Pinczewski LA, Roe JP: Posterior tibial slope and further anterior cruciate ligament injuries in the anterior cruciate ligament-reconstructed patient. *Am J Sports Med* 2013; 41: 2800–4
  41. Won HH, Chang CB, Je MS, Chang MJ, Kim TK: Coronal limb alignment and indications for high tibial osteotomy in patients undergoing revision ACL reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 2013; 471: 3504–11



**Korrespondenzadresse**  
 PD Dr. med. Matthias J. Feucht  
 Abteilung für Sportorthopädie  
 Klinikum rechts der Isar  
 Ismaninger Str. 22  
 81675 München  
 matthias.feucht@gmx.net