

Orthopädie und Unfallchirurgie *up2date*

2 · 2017

Beckengürtel und untere Extremität 3

# Knorpelverletzungen am Kniegelenk

*Hagen Schmal*

VNR: 2760512017152374387

DOI: 10.1055/s-0042-116504

Orthopädie und Unfallchirurgie *up2date* 2017; 12 (02): 179–197

ISSN 1611-7859

© 2017 Georg Thieme Verlag KG

## Unter dieser Rubrik sind bereits erschienen:

**Distale Femurfrakturen** C. Bliemel, B. Bücking, S. Ruchholtz  
Heft 1/2017

**Komplexe Kniebandinstabilitäten einschließlich Luxation – Teil 2** F. Welsch, K. Köhler, J. Buckup, T. Stein Heft 6/2016

**Degenerative Erkrankungen des Vorfußes – Kleinzehenfehlstellungen** D. Arbab, B. Bouillon, C. Lüring Heft 5/2016

**Komplexe Kniebandinstabilitäten einschließlich Luxation – Teil 1** F. Welsch, K. Köhler, J. Buckup, T. Stein Heft 5/2016

**Die atraumatische Hüftkopfnekrose des Erwachsenen** A. Roth, J. Beckmann, K. Bohndorf, U. Maus Heft 3/2016

**Degenerative Kniegelenkerkrankungen – Gonarthrose** P. Orth, D. Kohn, H. Madry Heft 2/2016

**Entzündliche Kniegelenkerkrankung – Gonarthrit** P. Orth, D. Kohn, K. Anagnostakos, H. Madry Heft 2/2016

**Diagnostik und Behandlung von Abrieberkrankungen in der Hüftendoprothetik** M. Müller, G. Wassilew, C. Perka  
Heft 5/2015

**Amputationen an der unteren Extremität oberhalb des Sprunggelenks** M. Beirau, I. Matthes, A. Ekkernkamp, G. Matthes  
Heft 4/2015

**Erkrankungen des Ansatzes der Achillessehne** M. Amlang, M. Luttenberger Heft 3/2015

**Biomechanik des Meniskus** L. Dürselen, M. Freutel Heft 3/2015

**Hüftgelenk – Arthrose und Arthritis** H. Bretschneider, K.-P. Günther Heft 3/2015

**Pilon-tibiale-Frakturen – aktuelle Therapiekonzepte** S. Benner, U. Schweigkofler, R. Hoffmann Heft 2/2015

**Azetabulumchirurgie** M. Perl, C. Hierholzer, A. Woltmann, A. Thannheimer, V. Bühren Heft 1/2015

**Knieschmerzen im Kindesalter** M. Oberle, T. Boeker, W. Schlickewei Heft 5/2014

**Knieschmerzen im Kindesalter** T. Boeker, M. Oberle, W. Schlickewei Heft 3/2014

**Klinische Untersuchung des Hüftgelenks und des Becken-gürtels** A. Lugeder, J. Zeichen Heft 3/2014

**Pseudarthrosen des Femurs** C. Hierholzer, M. Perl, J. Friederichs, A. Woltmann, V. Bühren Heft 2/2014

**Diagnostik des Kniegelenks** M. Heller, P. Weisser, M. Brkic, T. Vogl, A. Meurer Heft 6/2013

**Labrumläsionen des Hüftgelenkes – Möglichkeiten der arthroskopischen Behandlung** O. Steimer, M. Kusma, M. Dienst, M. Brockmeyer Heft 6/2013

**Diagnostik des Kniegelenks** M. Brkic, P. Weisser, T. Vogl, A. Meurer Heft 5/2013

**Das vordere Knieschmerzsyndrom – Teil 2: Konservative und operative Therapie** C. Becher, P. Schöttle, S. Ostermeier  
Heft 3/2013

**Revisions- und Wechselendoprothetik – Teil 2** K.-P. Günther, S. Kirschner, M. Stiehler, J. Goronzy, F. Zobel, A. Hartmann  
Heft 1/2013

**Das vordere Knieschmerzsyndrom – Teil 1: Grundlagen, Anamnese, klinische und bildgebende Untersuchung** C. Becher, S. Ostermeier, P. Schöttle Heft 1/2013

**Die Therapie der OSG-Fraktur** S. Vetter, P. Grützner, J. Franke  
Heft 6/2012

**Revisions- und Wechselendoprothetik – Teil 1** K.-P. Günther, S. Kirschner, M. Stiehler, J. Goronzy, F. Zobel, A. Hartmann  
Heft 6/2012

**Die „Standardendoprothese“ am Hüftgelenk – Teil 1** K.-P. Günther, C. Hamann, M. Stiehler, S. Kirschner, A. Hartmann  
Heft 4/2012

**Die „Standardendoprothese“ am Hüftgelenk – Teil 2** K.-P. Günther, C. Hamann, M. Stiehler, S. Kirschner, A. Hartmann  
Heft 4/2012

### ALLES ONLINE LESEN



Mit der eRef lesen Sie Ihre Zeitschrift: online wie offline, am PC und mobil, alle bereits erschienenen Artikel. Für Abonnenten kostenlos!  
<https://eref.thieme.de/ou-u2d>

### JETZT FREISCHALTEN



Sie haben Ihre Zeitschrift noch nicht freigeschaltet? Ein Klick genügt:  
[www.thieme.de/eref-registrierung](http://www.thieme.de/eref-registrierung)

# Knorpelverletzungen am Kniegelenk

Hagen Schmal



Zu den wichtigsten Risikofaktoren einer sekundären Gonarthrose gehören Knorpelverletzungen am Kniegelenk. Knorpelverletzungen treten in der Regel nicht allein auf, sondern begleiten Bandverletzungen oder sind Teil einer intraartikulären Fraktur. Dieser Artikel beleuchtet die Ursachen, das diagnostische Vorgehen und die therapeutischen Optionen inklusive Nachbehandlung bzw. Rehabilitation bei Knorpelverletzungen des Kniegelenks.

## ABKÜRZUNGEN

ACT	autologe Chondrozytentransplantation
BMP-7	Bone morphogenetic Protein 7
dGEMRIC	Delayed Gadolinium-enhanced MRI of Cartilage
DGOÜ	Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie
DWI	Diffusion-weighted Imaging
HE-Färbung	Hämatoxylin-Eosin-Färbung
HKB	hinteres Kreuzband
ICRS	International Cartilage Repair Society
MPFL	mediopatellofemorales Ligament
OATS	Osteochondral Autograft Transfer System
TTG	Tibial Tuberosity trochlear Groove
VKB	vorderes Kreuzband

Bei dem größten bundesdeutschen Krankenversicherer wurden 2013 etwas mehr als 400 000 Patienten registriert, die wegen einer neu aufgetretenen Verletzung behandelt wurden, wobei davon etwa  $\frac{1}{4}$  auf das Kniegelenk entfielen [2]. Diese Daten unterstreichen die besondere Bedeutung der Knorpelverletzung im Bereich des Kniegelenks für die Entstehung einer Sekundärarthrose.

## Klassifikation

Eine Vielzahl von Einteilungen ist für die Beschreibung von Knorpelschäden eingeführt worden, wobei die Klassifikationen nach Outerbridge und nach der International Cartilage Repair Society (ICRS) nicht nur den höchsten Bekanntheitsgrad haben, sondern auch am praktikabelsten sind. Die Klassifikation nach ICRS ist Teil des ICRS Cartilage Injury Evaluation Package ([https://www.secot.es/uploads/descargas/formacion/escalas\\_valoracion/ICRS.\\_TRAUMA\\_CARTaILAGO.pdf](https://www.secot.es/uploads/descargas/formacion/escalas_valoracion/ICRS._TRAUMA_CARTaILAGO.pdf)):

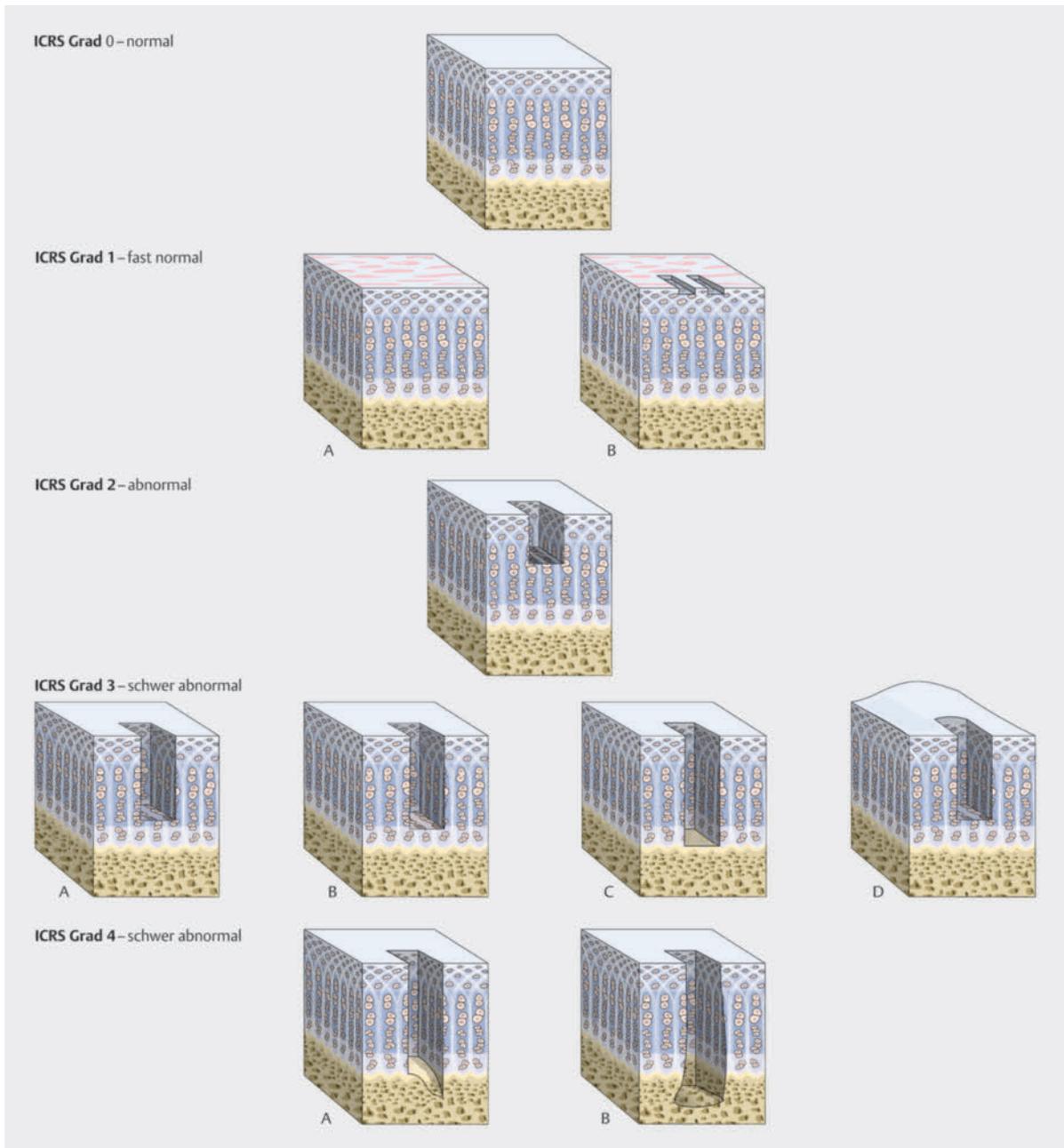
- Grad 0 steht dabei für den normalen Knorpel.
- Grad 1 bezeichnet die oberflächliche Läsion.
- Bei Grad 2 geht der Knorpelschaden nicht über 50% der Knorpeldicke hinaus.
- Grad 3 beschreibt den tieferen Knorpelschaden bis zur Vollsichtigkeit.
- Im Unterschied zu Grad 3 hat Grad 4 noch eine zusätzliche Läsion der subchondralen Knochenlamelle, was durch deren pathophysiologische Bedeutung gerechtfertigt ist und den Unterschied zur Outerbridge-Klassifikation markiert (► **Abb. 1**).

## Epidemiologie

Der häufigste Grund für funktionelle Einschränkungen und Schmerzen weltweit ist die Gelenkarthrose. Dies zieht hohe ökonomische Belastungen hinsichtlich Arbeitsausfall und Behandlungskosten nach sich, wobei in Industrieländern 1 von 8 Individuen betroffen ist [1].

### Merke

**Binnenverletzungen mit konsekutivem Knorpelschaden gehören am Kniegelenk zu den wichtigsten Risikofaktoren für die Entstehung einer sekundären Gonarthrose.**



► **Abb. 1** Klassifikation des Knorpelschadens der International Cartilage Repair Society (ICRS). Quelle: Madry H. Arthrose. Operative Therapie. In: Kohn D, Hrsg. Expertise Knie. Stuttgart: Thieme; 2015: 286–295

## Ursachen

### Cave

**Knorpelverletzungen treten in der Regel nicht alleine auf, sondern begleiten Bandverletzungen oder sind Teil einer intraartikulären Fraktur.**

### Kniedistorsion

Kniedistorsionen sind sehr häufig mit Knorpelverletzungen verbunden und treten meist bei sportlicher Aktivität auf. Hierbei ist das Risiko klar abhängig von der ausgeübten Disziplin und dem Level der Betätigung. Besonders gefährdet ist der Alpenskisport – der Anteil von Sportlern mit einer Kreuzbandverletzung in internationalen Hochleistungskadern liegt konstant über 30% [3].

### Merke

**Die bedeutendste intraartikuläre Verletzung nach Kniedistorsionen ist auch die vordere Kreuzbandruptur, die bei 50–75% aller relevanten Traumata auftritt. Traumatische Meniskusläsionen sind nahezu genauso häufig.**

Bei Verletzungen des vorderen Kreuzbands (VKB) liegt die Inzidenz von begleitenden vollschichtigen Knorpelläsionen bei 30–40%; insofern ist jede mit einem Hämarthros verbundene Kniedistorsion als relevant und abklärungsbedürftig einzuschätzen [4]. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der Zeitplanung der Versorgung bei begleitenden Meniskusverletzungen, die einer chirurgischen Naht bedürfen.

Beide Verletzungskomponenten, also Kreuzband- und Meniskussschaden, und der Zeitfaktor haben einen signifikanten Einfluss auf die Prognose des Knorpelschadens.

### Intraartikuläre Frakturen

Gelenkfrakturen sind immer mit einer Knorpelverletzung verbunden. Im Kniegelenk betrifft dies

- die Tibiaplateaufrakturen,
- die distalen Femurfrakturen und
- die Patellafrakturen.

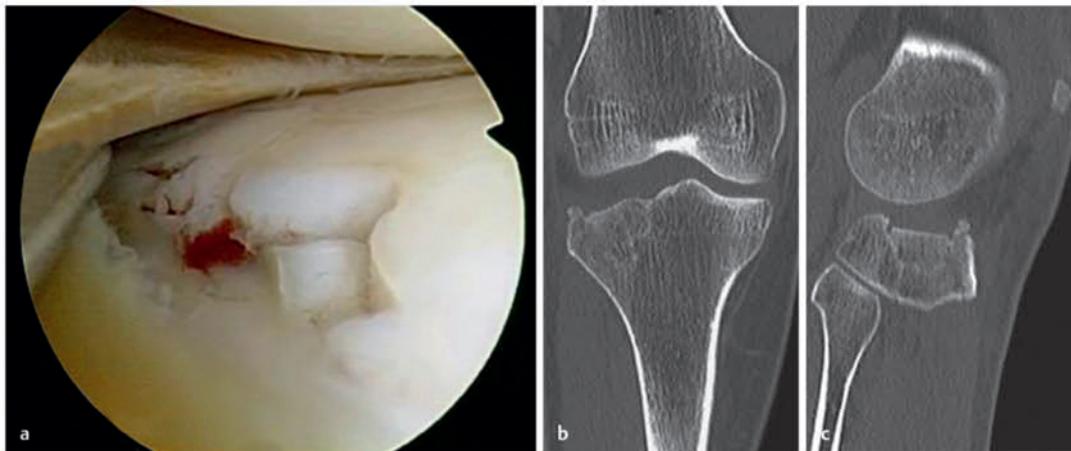
Das Ausmaß der Knorpelschädigung korreliert mit der Zerstörung des Knochens. Dementsprechend vielgestaltig ist das Bild der frakturassozierten Knorpelschäden, was von einfachen Kontusionen ohne äußerlich sichtbare

### FALLBEISPIEL

#### Laterale Impressionsfraktur des Tibiaplateaus I

Ein 35-jähriger Mann zieht sich nach einem eher unspektakulären Sprung von einer Leiter eine laterale Impressionsfraktur des Tibiaplateaus zu.

In der bildgebenden Diagnostik korreliert die arthroskopische Darstellung (► **Abb. 2 a**) mit dem CT in der koronaren (► **Abb. 2 b**) und sagittalen (► **Abb. 2 c**) Rekonstruktion. Die Stufe ist klein, aber relevant, und befindet sich in der Hauptbelastungszone.



► **Abb. 2** Fallbeispiel 1: Laterale Impressionsfraktur des Tibiaplateaus.

- a Arthroskopische Darstellung.
- b CT, koronarer Schnitt.
- c CT, sagittaler Schnitt.

Veränderungen bis zu großflächigen Abscherungen und Knorpelverlusten reichen kann.

Die Frakturheilung ist mit einer proinflammatorischen Gelenkreaktion verbunden. Diese ist primär gekennzeichnet durch den Zelltod von Chondrozyten (Apoptose), einer Zerstörung der extrazellulären Matrix und der Expression von Zytokinen, die ein entzündliches und knorpelkataboles Gelenkmilieu verursachen [5]. Im späteren Verlauf kommt es allerdings dann auch zur vermehrten Produktion von knorpelaufbauenden Proteinen wie BMP-7 (Bone morphogenetic Protein 7).

Der heutige Behandlungsstandard ist fokussiert auf die Therapie der knöchernen Verletzungskomponente. Mit der anatomischen Reposition schafft man die Voraussetzungen für eine adäquate Frakturheilung, die im Idealfall auch den Knorpelschaden optimal behandelt (s. Fallbeispiel 1 u. ► **Abb. 2**).

### Gelenkverschleiß, Sekundärarthrose

#### Cave

**Die verbliebene Gelenkstufe sollte dabei nie die natürliche lokale Dicke des Knorpels überschreiten, die im Kniegelenk mit durchschnittlich 2 mm relativ hoch ist. Gelingt dies nicht, droht ein rasch einsetzender Gelenkverschleiß.**

Mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit spielt der initiale Knorpelschaden durchaus eine bedeutende Rolle bei der Entstehung der Sekundärarthrose. Diese ist bei komplexeren intraartikulären Frakturen nach 10 Jahren bei  $\frac{2}{3}$  der Fälle zu beobachten, auch wenn initial eine gute Reposition gelungen ist.

Während der Knochen aufgrund seiner guten Durchblutung gut heilen kann, ist das Regenerationspotenzial des Knorpels eben doch sehr eingeschränkt. Unterstützende therapeutische Optionen mit einem guten Evidenzlevel stehen jedoch im Moment noch nicht zur Verfügung, wobei die Überlegungen durchaus in Richtung einer begleitenden lokalen antiinflammatorischen Behandlung gehen [6].

### Sleeve Injury

Als Sonderfall der Patellafaktur soll hier kurz auf die für das Kindesalter typische „Sleeve Injury“ hingewiesen werden, bei der eine kleine knöchernen Frakturkomponente mit einem hohen chondralen Anteil verbunden ist (► **Abb. 3**). Bei einer Sleeve Injury wird der Knorpel quasi handschuhartig mit einem an der Patellarsehne hängenden knöchernen Stück vom distalen Patellapol abgezogen. Entscheidend sind dabei die Unterbrechung des Extensormechanismus und die Knorpelverletzung.



► **Abb. 3** „Sleeve Injury“ bei einem 12-jährigen Jungen. Obwohl der knöchernen Abriss des distalen Patellapols relativ unscheinbar ist, führt diese Verletzung zu einer Aufhebung der Streckfunktion und ist mit einem großen Knorpelschaden retropatellar verbunden.

Es handelt sich weniger um eine knöchernen als vielmehr um eine Knorpelverletzung, denn der weichteilige Anteil der Verletzung unter Einschluss des Knorpels ist größer als die knöchernen Traumakomponente.

Während die Streckfähigkeit recht gut z. B. durch transossäre Nähte wiederhergestellt werden kann, ist das Risiko einer dauerhaften und symptomatischen retropatellaren Arthrose relativ hoch.

### Patellaluxation

Knorpelverletzungen nach Patellaluxationen treten als Abscherungen an der medialen Patellafacette (bis 95%) oder – jedoch deutlich seltener – an der lateralen Femurkondyle (unter 10%) auf. Verbunden ist die Patellaluxation immer mit einer vollständigen oder teilweisen Läsion des mediopatellofemorales Ligaments (MPFL).

### Behandlung

Neben der Wiedererlangung der Stabilität und der damit verbundenen Rezidivvermeidung ist die effektive Refixierung von osteochondralen Fragmenten zur Wiederherstellung einer korrekten retropatellaren Gelenkfläche wichtig. Initial sollte die Patella selbstverständlich reponiert werden, sofern dies nicht bereits spontan erfolgt ist. Hierzu ist meist neben einer effektiven Schmerzbehandlung nur eine einfache Kniestreckung erforderlich.

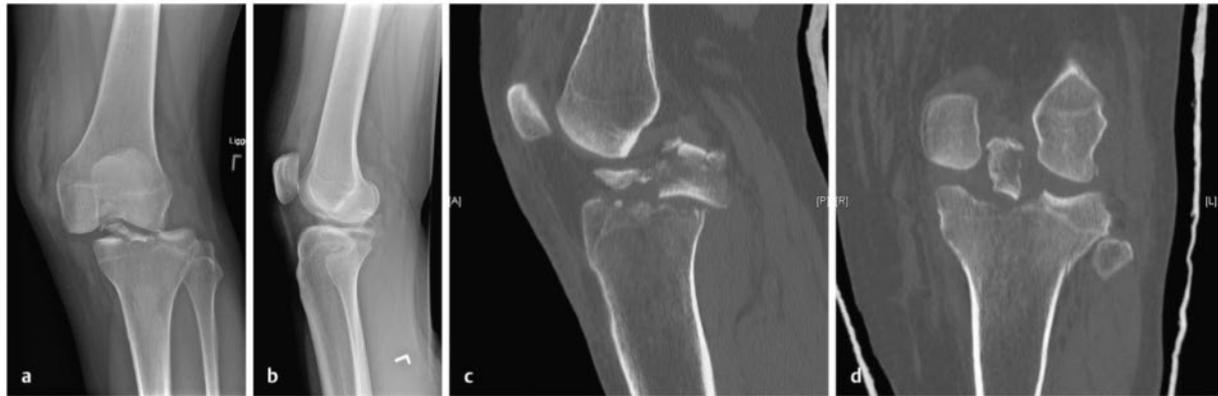
## FALLBEISPIEL

### Knieluxation I

Eine 37-jährige Frau erleidet einen Unfall beim Scooterfahren. Die Patientin ist stark übergewichtig. Die primäre Anmeldung durch den Rettungsdienst erfolgt als Patellaluxation, da diese klinisch lateralisiert imponierte.

Erst die Röntgenaufnahmen (► **Abb. 4 a**, **Abb. 4 b**) zeigen dann die eigentliche Diagnose der Knieluxation. Es erfolgt die Reposition und die Gipsruhigstellung.

Das anschließende CT mit sagittaler (► **Abb. 4 c**) und koronarer (► **Abb. 4 d**) Rekonstruktion zeigt die knöchernen Ausrisse von vorderer und hinterer Eminentia sowie des lateralen Seitenbands. In der interkondylären Notch liegt ein großes Stück abgescherter Gelenkfläche, das sich um 180° gedreht hat.



► **Abb. 4** Fallbeispiel 2: Kniegelenksluxation.

- a Röntgenaufnahme a.-p.
- b Röntgenaufnahme seitlich.
- c CT, sagittale Rekonstruktion.
- d CT, koronare Rekonstruktion.

Neben der weichteiligen Patellastabilisierung sind andere Risikofaktoren therapeutisch zu berücksichtigen:

- die Trochleadysplasie,
- eine valgische Beinachse,
- femorale Innenrotationsfehler,
- der TTTG-Abstand (TTTG: Tibial Tuberosity trochlear Groove) oder
- ein pathologischer Insall-Salvati-Index (> 1,2 oder < 0,8).

### Knieluxation

Knieluxationen sind schwere Verletzungen, die nur nach Ruptur mehrerer Bänder möglich sind. Hierbei sind die knöchernen Ausrisse von vorderem (VKB) und hinterem Kreuzband (HKB) häufig mit osteochondralen Fragmenten verbunden. Diese können begleitend auch separat auftreten (Fallbeispiel 2 u. ► **Abb. 4**).

Nach der Reposition und sicheren Fixation steht die Wiederherstellung der ligamentären Stabilität im Vordergrund, jedoch kann eine Refixierung größerer osteochondraler Fragmente für die langfristige Prognose genauso entscheidend sein.

## Symptomatik

Ein typisches klinisches Zeichen für eine Knorpelverletzung gibt es nicht, aber kennzeichnend ist der Hämarthros. Obwohl dieser zwar nicht pathognomonisch für eine traumatische Knorpelläsion ist, bleibt der blutige Kniegelenkerguss ein sehr guter Indikator für die Schwere der Knieverletzung.

### PRAXIS

#### Tipps

- Die akuten Knorpelschäden treten selten isoliert auf, weshalb eine klinische Instabilität des Knies oder der Patella oder klassische Meniskuszeichen geprüft und in Zusammenhang mit einer eventuellen Verletzung des Knorpels eingeschätzt werden sollten.
- Persistierende Beschwerden nach konservativer Therapie ohne Besserungstendenz über einen Zeitraum von 6–8 Wochen hinaus sollten ebenso an einen traumatischen Knorpelschaden denken lassen.

**Merke**

**Die Schmerzwahrnehmung ist sehr subjektiv und die Ausprägung des Knorpelschadens korreliert oft erstaunlich wenig mit der Schmerzperzeption.**

Die Ursache der Schmerzentstehung bei reinen Knorpeldefekten wird immer noch kontrovers diskutiert, da Knorpel selbst keine Schmerzrezeptoren besitzt. Insofern scheint das gestörte biomechanische Alignment eine wichtige Rolle zu spielen, was über lokale Belastungsspitzen zur Aktivierung sensorischer Neurone in der subchondralen Knochenlamelle führt, was dann wiederum als Schmerz wahrgenommen wird.

Des Weiteren sind sicherlich biochemische Faktoren beteiligt, wobei sich hier die späte Phase mit generalisierter Knorpeldegeneration von der frühen Phase des eigentlichen traumatischen Knorpelschadens sehr unterscheidet. Während initial wahrscheinlich eher Knorpelmetabolite wie der Insulin-like Growth Factor 1 mit einer Zwitterfunktion bei Knorpelregeneration und Neuronenstimulation eine Rolle spielen, ist die spätere Phase der eigentlichen Arthrose geprägt durch typische proinflammatorische Zytokine wie Interleukin-1 und Substanz P [7].

## Diagnostisches Vorgehen

### Klinische Untersuchung

**Merke**

**Wegweisend ist die klinische Untersuchung, mit der ein Gelenkerguss bzw. Hämarthros sicher diagnostiziert werden kann.**

Bei der Untersuchung sollte bei der klinischen Bewertung auch immer der Verletzungsmechanismus berücksichtigt werden. Anschließend wird das Knie hinsichtlich ligamentärer Instabilitäten und Meniskusschäden beurteilt; diese Untersuchung ist jedoch bei starker Schmerzhaftigkeit manchmal nur eingeschränkt verwertbar.

### Bildgebende Diagnostik

Eine konventionelle Röntgenuntersuchung ist für den weiteren Verlauf wichtig und wegweisend, da knöcherne Verletzungen ebenso wie Weichteilschwellungen (z. B. Hämarthros) zur Darstellung kommen. Zeigen sich intraartikuläre Frakturen oder ergibt sich ein Frakturverdacht, kann die knöcherne Verletzungskomponente am besten mit einem CT beurteilt werden. Auch wenn in den letzten Jahren das Dual-Energy-CT für die Beurteilung von Bandstrukturen in manchen Kliniken vermehrt zur Anwendung gekommen ist, bleiben reliable Untersuchungen zur klinischen Spezifität und Sensitivität noch abzuwarten [8].

Für eine suffiziente Beurteilung von Knorpelverletzungen sind häufig sowohl CT als auch MRT nötig, da die jewei-

**PRAXIS****Zielgerichtete Diagnostik**

Standarddiagnostik bei Verdacht auf eine Binnenverletzung ist deshalb immer noch die MRT-Untersuchung.

lige Größe der knöchernen und der knorpeligen Verletzungskomponente für die Therapieplanung und -entscheidung wichtig ist. Neben den herkömmlichen MRT-Sequenzen wurde versucht, durch spezielle Untersuchungsverfahren wie das T2 Mapping, das T1rho Mapping, das Delayed Gadolinium-enhanced MRI für Knorpel (dGEMRIC) und die diffusionsgewichtete Darstellung (Diffusion-weighted Imaging; DWI) eine bessere Abbildung des Knorpels zu erreichen [9]. Trotz des offensichtlichen Zuwachses an Darstellungsqualität fehlte leider oft der Zusammenhang mit den klinischen Ergebnissen im Langzeitverlauf [10].

Ohne Zweifel spielt die aktuelle Belastungssituation eine wichtige Rolle für den Zustand des Knorpels und dessen Darstellung. Bisheriger Standard ist die MRT-Untersuchung im Liegen, welche diesem Umstand nicht gerecht wird. Ein aktueller Trend ist deshalb die Bildgebung unter Berücksichtigung von Bewegungsdynamik [11] und mechanischer Belastung [12].

## Pathophysiologie und Problematik der Heilung

Knorpel ist ein hochspezialisiertes Gewebe, das hervorragend zur Neutralisierung von mechanischen Belastungen geeignet ist. Wenige Chondrozyten sind eingebettet in eine extrazelluläre Matrix und sorgen für deren Erhalt und Regeneration. Ein Verbund aus Proteoglykanen und Kollagenen sorgt für eine ladungsgetriggerte effektive Immobilisierung von Wasser, das bei Belastung freigesetzt wird, wodurch der Knorpel an Höhe verliert. Vermindert sich die Belastung, wird wieder Wasser eingelagert. Dieser Mechanismus bewirkt die biomechanische Pufferfunktion und erlaubt gleichzeitig den Austausch von Nährstoffen und Stoffwechselprodukten.

Die geringe Anzahl von Zellen und die fehlende Durchblutung tragen zur eingeschränkten Regenerationsfähigkeit des Knorpels bei. Ein gewisses Potenzial zur spontanen Heilung scheint zwar durchaus vorhanden zu sein, gerät jedoch vor allem bei vollschichtigen Defekten schnell an seine Grenzen. Die besten biomechanischen Eigenschaften hat hyaliner Knorpel mit einem hohen Anteil an Kollagen Typ II. Nach Spontanregeneration vollschichtiger Defekte entsteht jedoch meist ein fibrokartilaginärer Repa-

raturknorpel mit einem höheren Anteil an Kollagen Typ I, der Belastungen eben nicht so gut neutralisieren kann.

Die Bildung eines solchen Knorpels kann durch differenzierungsfähige Stammzellen erfolgen, die aus dem epi- und metaphysären Knochen einwandern können, sofern eine Eröffnung der subchondralen Lamelle vorhanden ist. Diese entsteht bei osteochondralen Läsionen spontan und wird bei knochenmarkstimulierenden Verfahren wie der Mikrofrakturierung chirurgisch herbeigeführt. Dieser Mechanismus erklärt auch, warum rein kartilaginäre Defekte deutlich schlechter heilen als osteochondrale Läsionen.

**Merke**  
**Letztlich ist es bisher mit keinem chirurgischen Verfahren gelungen, Knorpel mit seinen originären Eigenschaften vollständig wiederherzustellen.**

## Therapeutisches Vorgehen

Obwohl in einer Serie von über 30 000 arthroskopierten Patienten bei 63% ein relevanter Knorpelschaden nachgewiesen werden konnte, erfüllten weniger als 5% die klassischen Voraussetzungen für eine zelltherapeutische chirurgische Knorpeltherapie. Diese Voraussetzungen sind:

- ein umschriebener und isolierter Defekt
- Alter unter 40 Jahren [13]

Allerdings sollten in jede Behandlungsentscheidung nicht nur die Verletzungscharakteristika, sondern auch die Gegebenheiten seitens des Patienten einfließen. Dies schließt neben dem biologischen und kalendarischen Alter auch den funktionellen Anspruch ein. Orientierend an diesen Parametern wurde durch die AG Geweberegeneration der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU) ein Schema zur Anwendung der unterschiedlichen chirurgischen Methoden erstellt, in dem nicht nur Knorpelverletzungen im eigentlichen Sinne erfasst werden, sondern alle symptomatischen Knorpelläsionen [14]. Berücksichtigt wird dabei die aktuelle Studienlage.

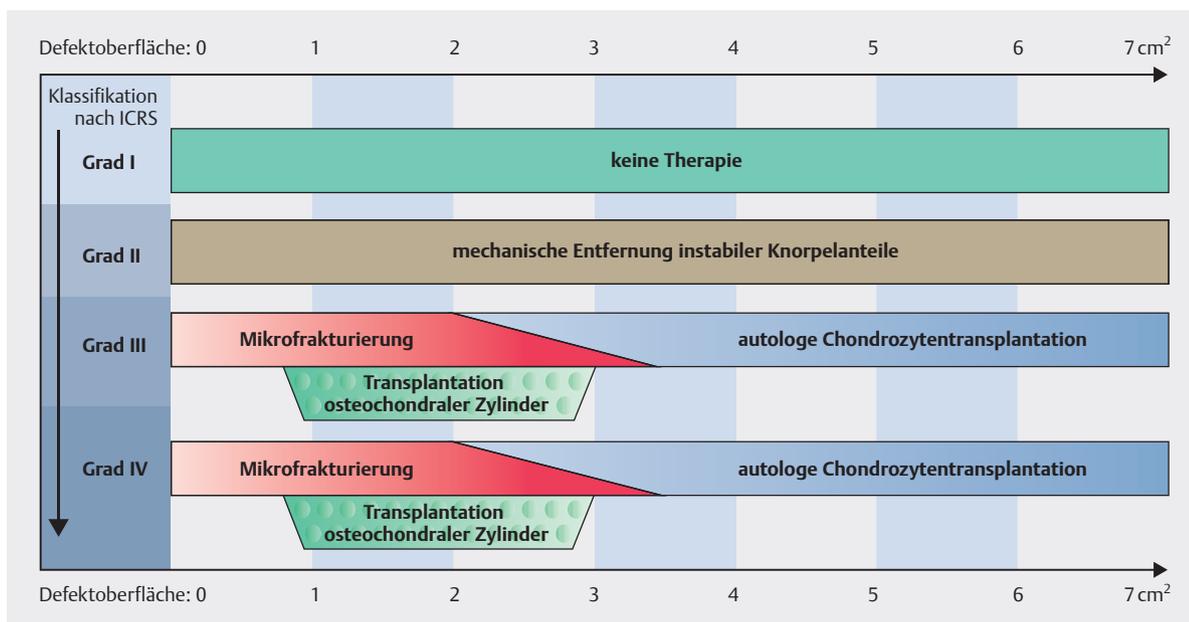
**Merke**  
**Allerdings konnten alle bisherigen systematischen Reviews keine Unterschiede im Outcome zwischen den einzelnen knorpelregenerativen Verfahren feststellen [15].**

► **Abb. 5** zeigt einleitend eine Orientierung zur Behandlungsentscheidung für die verschiedenen chirurgischen knorpelregenerativen Verfahren [16, 17].

### Konservative Therapie

Die konservative Therapie steht am Anfang der meisten Knieverletzungen. Zunächst geht es um

- eine adäquate Stabilisierung und
- die Schmerzlinderung.



► **Abb. 5** Stufenschema knorpelregenerativer chirurgischer Verfahren. Die Abbildung zeigt eine Orientierung zur Behandlungsentscheidung für die verschiedenen chirurgischen knorpelregenerativen Verfahren unter Berücksichtigung von Tiefe und Ausdehnung des Schadens. ACT = autologe Chondrozytentransplantation; ICRS = International Cartilage Repair Society; OATS = Osteochondral Autograft Transfer System.

**PRAXIS****Konservative Therapiemaßnahmen bei Knieverletzungen**

- entsprechende Orthesen
- Entlastung an Gehstützen
- Kühlung
- medikamentöse Schmerztherapie

Dies kann erreicht werden durch die in der Übersicht zusammengestellten Maßnahmen.

Wegweisend für die Auswahl der Therapie ist die Anamnese. Diese bezieht sich nicht nur auf den Unfall, sondern auch auf die vorherige Symptomatik und Krankengeschichte hinsichtlich des Kniegelenks [18]. Bei bereits bestehender Arthrose, fortgeschrittenem Alter und geringerem funktionellem Anspruch kann die konservative Behandlung einem sehr großen Spektrum an Knorpelverletzungen durchaus gerecht werden.

Nach der Akutphase erfolgt die Aufbelastung begleitet von Bewegungsübungen. Zwar kann man aufgrund der Vielgestaltigkeit der Knorpelverletzungen keine generel-

len Empfehlungen geben, jedoch hat der Vergleich unterschiedlicher Behandlungsregimes gezeigt, dass so frühfunktionell wie möglich behandelt werden sollte. Das grundsätzliche Protokoll unterscheidet sich dabei nicht von der Beschreibung im Abschnitt „Frühe Nachbehandlung und Rehabilitation“ (s. u.), muss jedoch an die Fähigkeiten des Patienten adaptiert werden.

**Intraartikuläre Frakturen**

Die primäre Behandlung des Knorpelschadens bei intraartikulären Frakturen besteht in der anatomischen Reposition der Fraktur verbunden mit einer suffizienten Fixierung. Hierbei kommen vorzugsweise Techniken zur Anwendung, die zu einer direkten Knochenheilung führen, wie die Zugschraubenosteosynthese (s. Fallbeispiel 1 u. ► **Abb. 6**).

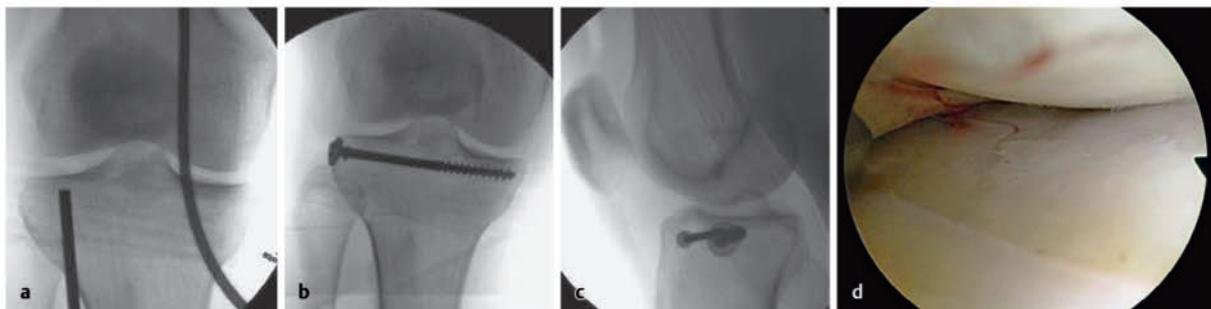
Bei Luxationsfrakturen muss nicht nur die Gelenkkongruenz wiederhergestellt werden, sondern auch die ligamentäre Stabilität.

**Merke**

Die ligamentäre Stabilität ist essenzieller Bestandteil der Knorpelprotektion und muss deshalb als Teil der Verletzung primär erkannt werden (s. Fallbeispiel 2 u. ► **Abb. 7**).

**FALLBEISPIEL****Laterale Impressionsfraktur des Tibiaplateaus II**

Der 35-jährige Patient hatte sich eine laterale Impressionsfraktur des Tibiaplateaus zugezogen (► **Abb. 2**). ► **Abb. 6** zeigt nun die operative Versorgung des Patienten. In ► **Abb. 6 a – c** ist die Technik der arthroskopisch gestützten Reposition und Fixierung dargestellt. ► **Abb. 6 d** zeigt das arthroskopische Bild nach der Schraubenosteosynthese mit einer anatomischen Reposition in der gleichen Einstellung wie ► **Abb. 2 a**.



► **Abb. 6 Fallbeispiel 1:** Versorgung der lateralen Impressionsfraktur des Tibiaplateaus.

- a Technik der arthroskopisch gestützten Reposition.
- b Arthroskopisch gestützte Fixierung mit Schraubenosteosynthese (Kontrollröntgen a.–p.).
- c Kontrollröntgen seitlich.
- d Arthroskopisches Bild nach der Schraubenosteosynthese.

## Chondrale und osteochondrale Scherverletzungen

Scherverletzungen sind typisch nach Patellaluxationen, können aber auch an anderer Stelle auftreten. Grundsätzlich können die oft kleinen Fragmente entweder entfernt oder refixiert werden. Insbesondere die rein chondralen Verletzungen haben keine gute Einheilungstendenz, weshalb hier nach der arthroskopischen Bergung in der Regel der Spontanverlauf abgewartet werden kann. Da sich häufig bereits spontan ein Fibrin-Clot gebildet hat, sind keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich.

Anderenfalls kommt eine Mikrofrakturierung infrage.

Erst wenn diese primären Interventionen fehlschlagen und sich symptomatische chronische Defekte mit mehr als 2,5–3 cm<sup>2</sup> ausbilden, kommen ggf. auch zelltherapeutische Verfahren in Betracht. Sind osteochondrale Fragmente abgeschert, haben diese im Gegensatz zu den rein chondralen Defekten eine gute Einheilungschance. Wichtig ist eine stabile Fixierung, was beispielsweise durch resorbierbare Pins in Kombination mit feinen Randnähten erfolgen kann.

► **Abb. 8** zeigt eine Patellaluxation mit osteochondralem Fragment von der medialen Patellafacette. Die MRT-Untersuchung zeigt die Lateralisation der Patella in der axialen Ebene (► **Abb. 8a**), den Gelenkerguss, das Fragment mit Ausdehnung bis zum Patellafirst sowie die Position des osteochondralen Fragments notchnah in der sagittalen Ebene (► **Abb. 8b**). ► **Abb. 8c** zeigt den Defekt in der arthroskopischen Einstellung mit dem trochlearen Gleitlager. In ► **Abb. 8d** ist die arthroskopische Bergung des Fragments gezeigt, wobei knorpeliger und knöcherner Anteil gut zu unterscheiden sind. Die Größe des Fragments beträgt etwa 1,5 × 2 cm (► **Abb. 8e**). Die Darstellung des Defekts erfolgte über eine mediale Arthrotomie (► **Abb. 8f**), die auch die Refixierung zulässt. Die Refixierung wurde präliminar mit einem 1-mm-Kirschner-Draht durchgeführt und erfolgte definitiv (► **Abb. 8g**) mit resorbierbaren Pins und einer Knorpelnaht (6.0 PDS).

Die Fragmente sind meist etwas größer als der Defekt, da der Knorpel quillt. Trotzdem ist auf eine möglichst form-schlüssige Refixierung zu achten und das Fragment ggf. zu trimmen.

### Merke

Diese Verletzungen sind durchaus ernst zu nehmen und kurzfristig mit einem deutlichen Funktionsverlust verbunden [19]. Langfristig sind zumindest fokale retropatellare Arthrosen zu beobachten, die nicht selten mit einer entsprechenden klinischen Symptomatik einhergehen (► **Abb. 9**).

## FALLBEISPIEL

### Knieluxation II

Die Bilder in ► **Abb. 7** zeigen die radiologische Verlaufskontrolle der Kniegelenksluxation der Patientin von ► **Abb. 4** nach 4 Monaten. Die multifragmentäre osteochondrale Frakturkomponente sowie das knöchern ausgerissene HKB wurden über einen dorsalen Zugang mit Schrauben und einer Miniplatte refixiert, das VKB mit einer Ausziehnah. Die äußeren Schraubenköpfe liegen außerhalb der Kapsel, die noch am Fragment angeheftet war, und fixieren diese mit. Die intraoperative Prüfung zeigte kein Impingement.

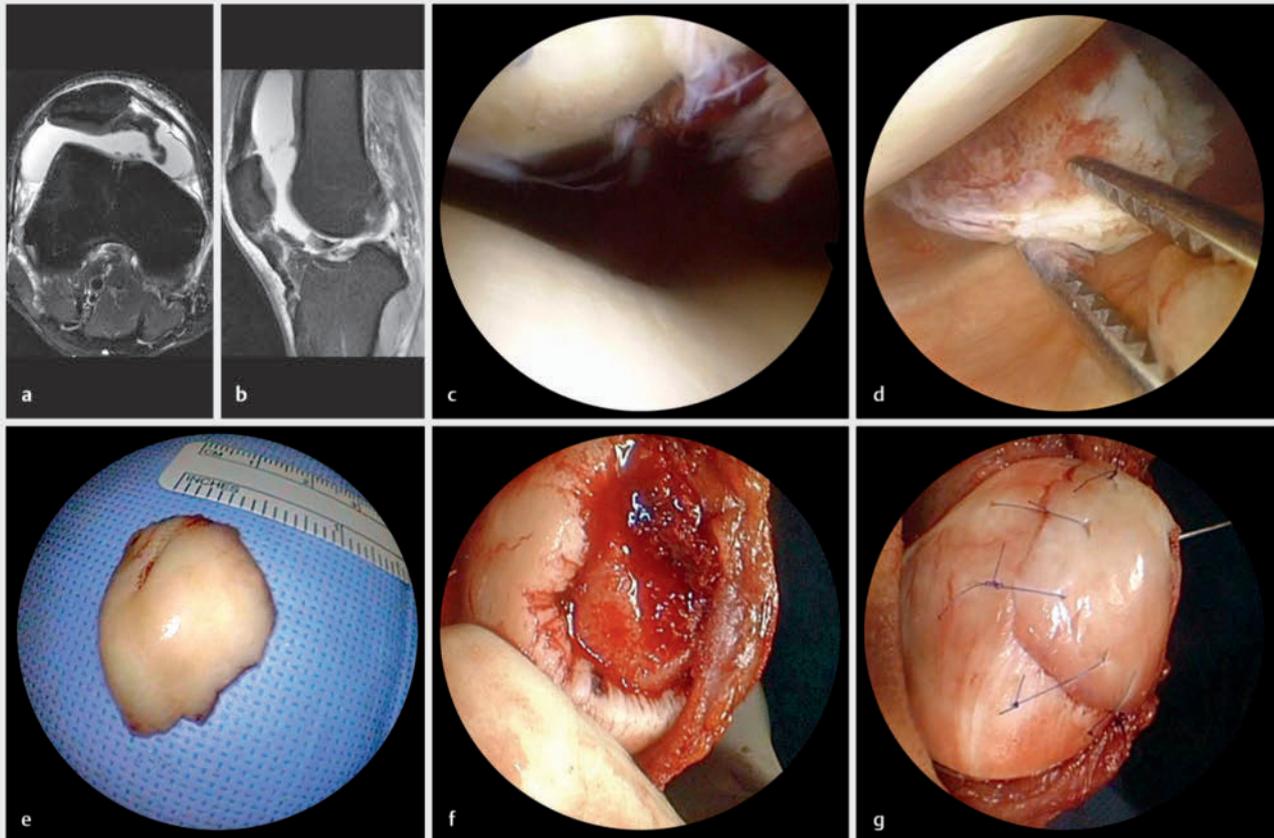
Bei der klinischen Untersuchung kann die Patientin frei strecken und bis 110° beugen. Das Knie ist stabil und schmerzfrei voll belastbar, die KT-1000-Prüfung ergibt eine Translation von 4 mm.



► **Abb. 7** Fallbeispiel 2: Kniegelenksluxation.

a Kontrollröntgenaufnahme a.–p. 4 Monate postoperativ: Die multifragmentäre osteochondrale Frakturkomponente und das knöchern ausgerissene HKB waren mit Schrauben und einer Miniplatte refixiert worden, das VKB mit einer Ausziehnah. Äußere Schraubenköpfe außerhalb der Kapsel liegend.  
b Kontrollröntgenaufnahme seitlich.

In ► **Abb. 9** ist die Patellaluxation bei einer Adoleszenten mit osteochondralem Fragment und deutlicher Lateralisation der Patella dargestellt (► **Abb. 9a**). ► **Abb. 9b** zeigt das korrelierende Bild nach der MRT-Untersuchung mit den noch offenen Wachstumsfugen. Vier Jahre später ist die Patella zwar zentriert (► **Abb. 9c**), aber es hat sich eine retropatellare Arthrose entwickelt. Zu erkennen ist dies nicht nur an den Veränderungen der medialen Patellafacette, sondern auch an den lateralen Osteophyten. Die fokalen arthrotischen Veränderungen stellen sich auch bei der MRT-Untersuchung dar (► **Abb. 9d**) und betreffen auch mehr als nur den Teil der ursprünglichen Abscherung.



► **Abb. 8** Patellaluxation mit osteochondralem Fragment von der medialen Patellafacetten.

a MRT, axiale Ebene: Lateralisation der Patella.

b MRT, sagittale Ebene: Gelenkerguss. Zu sehen ist das Fragment mit Ausdehnung bis zum Patellafirst sowie die Position des osteochondralen Fragments.

c Arthroskopische Einstellung mit trochlearem Gleitlager.

d Bergung des Fragments.

e Größe des Fragments: ca. 1,5 × 2 cm.

f Darstellung des Defekts über eine mediale Arthrotomie.

g Definitive Refixierung mit 1-mm-Kirschner-Draht mit resorbierbaren Pins und Knorpelnaht (6.0 PDS).

### Mikrofrakturierung

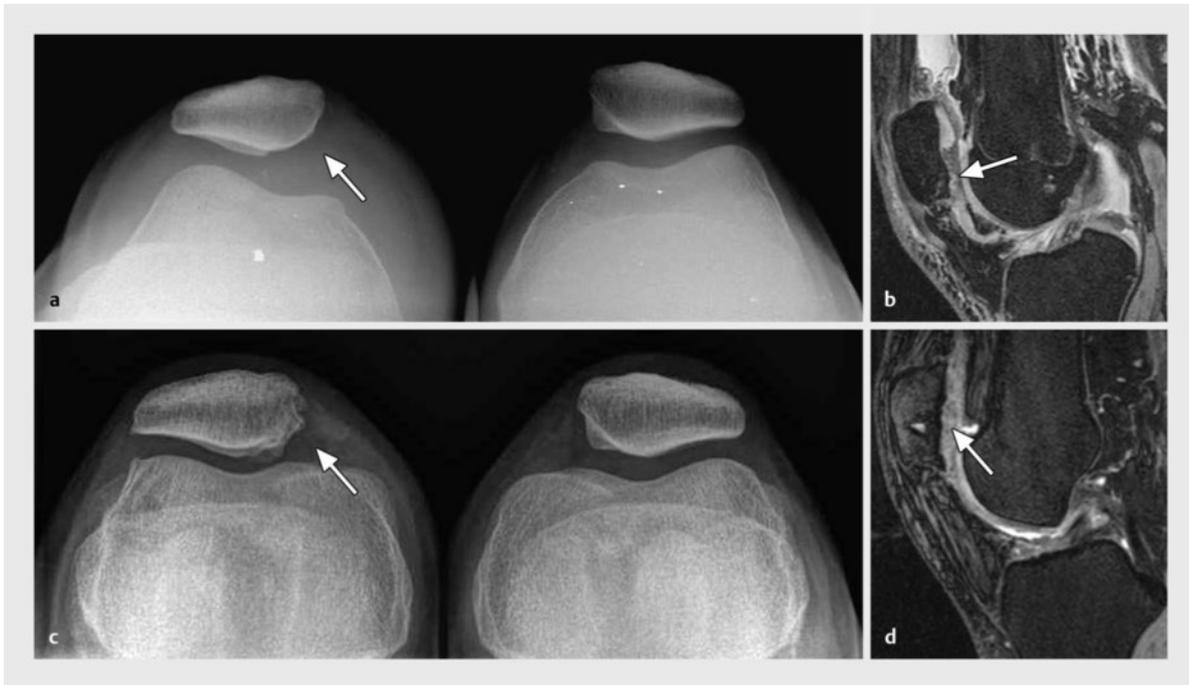
Unterstützt durch Bewegung und zunehmende Belastung entsteht im weiteren Verlauf Reparaturknorpel, der den Defekt deckt, jedoch biomechanisch weniger gute Eigenschaften hat als das Original. Follow-up-Studien haben Verbesserungen der klinischen Ergebnisse gezeigt, Langzeitstudien weisen jedoch durchaus auch auf relativ hohe Versagerraten hin [21].

### Autologe Chondrozytentransplantation

Bei der autologen Chondrozytentransplantation (ACT) handelt es sich um ein zelltherapeutisches Verfahren, dessen Anwendung bei Patienten erstmals durch M. Brittberg beschrieben wurde [22].

Bei den Verfahren der 1. Generation wurden die Zellen unter einen durch wasserdichte Nähte fixierten Periost-

lappen gespritzt und durch diesen an der Defektlokalisierung gehalten. Diese Technik wurde inzwischen weiterentwickelt, wobei verschiedene Scaffolds den Zellen von Beginn an eine dreidimensionale Umgebung bereitstellen. Dies hat besondere Bedeutung mit Blick auf die enormen Veränderungen, welche die Zellen im Rahmen dieses Verfahrens durchlaufen. Die notwendige Proliferation führt nämlich zu einer Veränderung des Phänotyps von Chondrozyten und zu mehr fibroblastären Zellen. Nach der Transplantation geht man von einer Redifferenzierung in Chondrozyten aus, was durch eine dreidimensionale Umgebung sowie Belastung begünstigt wird. Grundsätzlich scheint der Differenzierungsstatus in allen Behandlungsphasen eine Bedeutung für den Erfolg zu haben [23].



► **Abb. 9** Patellaluxation bei einer Adoleszenten (posttraumatisch und 4 Jahre im Verlauf).  
 a Défilé-Aufnahmen: osteochondrales Fragment und deutliche Lateralisation der Patella (Pfeil).  
 b MRT-Untersuchung: Die Wachstumsfugen sind noch offen.  
 c 4 Jahre später: zentrierte Patella; retropatellare Arthrose, zu erkennen an den Veränderungen der medialen Patellafacette und den lateralen Osteophyten (Pfeil).  
 d MRT-Untersuchung: arthrotische Veränderungen (Pfeil).

Auch wenn typische Komplikationen wie die Transplantathypertrophie und -delaminierung nach der klinischen Etablierung von technischen Weiterentwicklungen seltener auftreten und Follow-up-Studien mit hoher Zuverlässigkeit eine Verbesserung der klinischen Scores zeigen konnten, waren die Unterschiede zu anderen regenerativen Verfahren oft marginal. Eine Evaluierung im Vergleich zu anderen Behandlungsverfahren ist gerade unter dem Blickwinkel des hohen ökonomischen und logistischen Aufwands zelltherapeutischer Verfahren bei einem nicht unerheblichen Anteil von Langzeitversagern durchaus wünschenswert [24].

Darüber hinaus sind die administrativen Anforderungen in den letzten Jahren gewachsen, da inzwischen eine Regulierung über das Arzneimittelgesetz erfolgt. Das hatte direkte Konsequenzen für die Zulassungs- und Validierungsverfahren.

Unabhängig davon werden Verbesserungen hinsichtlich der Zellkomponente, des chirurgischen Verfahrens und des Scaffolds untersucht. Neue Entwicklungen gehen dabei in Richtung der Verwendung von adulten, mesenchymalen Stammzellen, was insofern konsequent ist, dass der bisherige Goldstandard – die amplifizierte Knorpelzellen – auch eine hohe Plastizität hat und morphologisch

den Stammzellen sehr nahekommt. Auch diese Zellen durchlaufen eine Phase der Anpassung und chondrogenen Redifferenzierung.

Die Trends bei der Verbesserung der chirurgischen Techniken zielen auf eine minimalinvasive Applikation, um die früher übliche, mehr oder weniger großzügige Arthrotomie zu umgehen. Die Optionen bei den Scaffolds sind mannigfaltig, wobei die Überlegungen von intelligenten Biomaterialien, die durch ihre Struktur selbst die Differenzierung steuern können, bis hin zu bioaktiven Matrizen reichen, die beispielsweise über die lokale parakrine Sekretion von Zytokinen wirken.

**Transplantation autologer osteochondraler Zylinder**  
 Knorpelverletzungen können durch die Implantation von autologen osteochondralen Zylindern behandelt werden. Diese Technik wird als Mosaikplastik bezeichnet.

#### Allografttransplantation

Die Behandlung vollschichtiger Knorpelläsionen und osteochondraler Defekte kann ebenso mit Allografts erfolgen, die inzwischen auch in Deutschland mehr Anwendung finden und zur Verfügung stehen. Knorpel- und Knochenkomponente können wie bei der autologen Transplantation kombiniert ersetzt werden. Der Nachteil

**PRAXIS****Mikrofrakturierung****Indikation**

Diese Methode wird bei Knorpelschäden unter 3 cm<sup>2</sup> empfohlen.

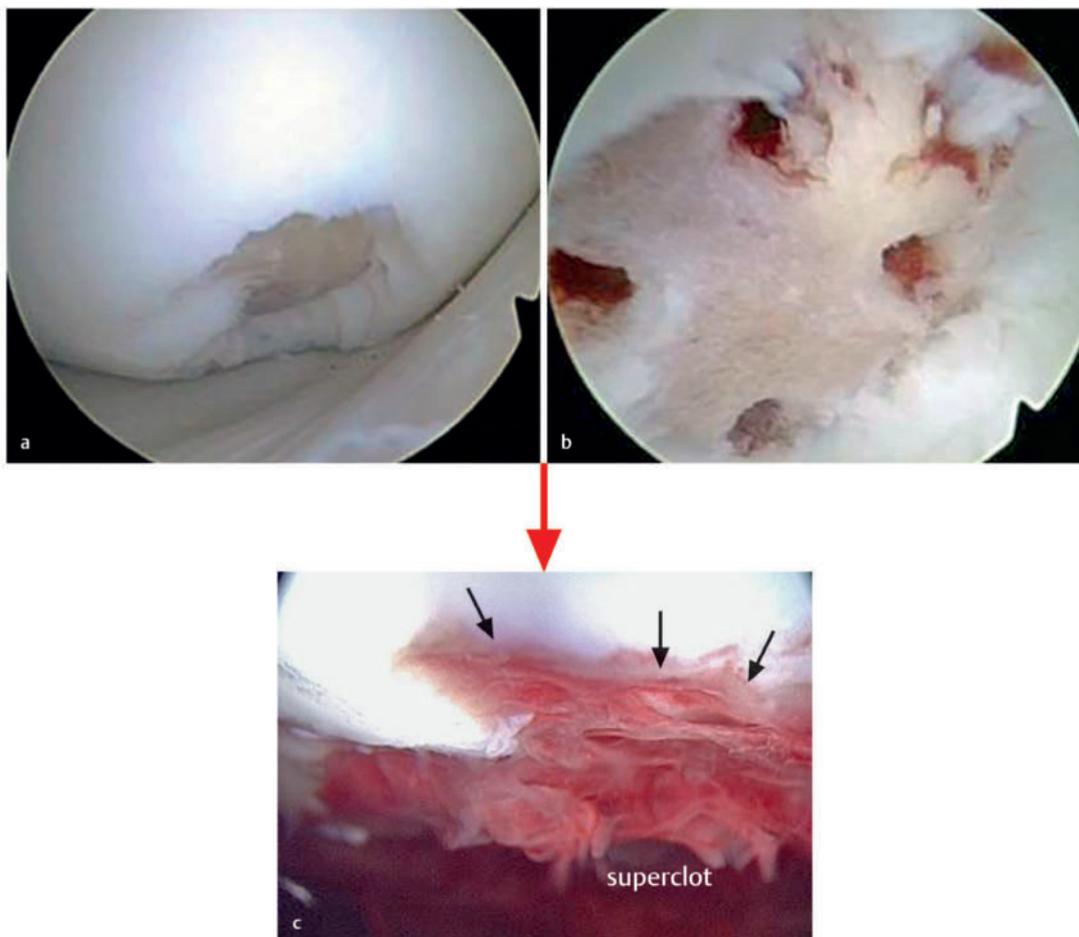
**Prinzip**

Prinzip der Mikrofrakturierung ist die V-förmige Eröffnung der subchondralen Knochenlamelle mit speziell designten Ahlen. Hierdurch wird eine Blutung induziert und aus dem Knochen freigesetzte Progenitorzellen können in dem sich bildenden Fibrin-Clot immobilisiert werden [20]. Für eine effektive Behandlung werden etwa 3–4 Perforationen pro cm<sup>2</sup> empfohlen, wobei diese Technik eine intakte subchondrale Knochenlamelle voraussetzt und damit nur zur Behandlung von reinen Knorpelverletzungen genutzt werden kann (► **Abb. 10**).

**Durchführung**

Bei der Mikrofrakturierung wird der Knorpeldefekt zunächst debridiert (► **Abb. 10 a**) und dann durch das Einbringen von Stanzlöchern mit standardisierten Ahlen behandelt (► **Abb. 10 b**). Auf diese Weise werden Blutungen aus der subchondralen Knochenlamelle induziert.

Die ausgewanderten Stammzellen können in dem Fibrin-Clot („Superclot“ nach Steadman, ► **Abb. 10 c**) in Knorpelgewebe differenzieren. ► **Abb. 10 c** zeigt den arthroskopischen Befund 14 Tage nach Mikrofrakturierung, wobei die Bilder im Rahmen einer Revision wegen des persistierenden Ergusses angefertigt wurden.



► **Abb. 10** Prinzip der Mikrofrakturierung. **a** Débridement des Knorpeldefekts. **b** Einbringen von Stanzlöchern mit standardisierter Ahle. **c** Arthroskopischer Befund 14 Tage nach Mikrofrakturierung.

## PRAXIS

### Autologe Chondrozytentransplantation

#### Indikation

Klassische Indikationen sind vollschichtige Knorpelläsionen  $> 3\text{--}4\text{ cm}^2$ , allerdings wurden auch gute Ergebnisse bei begleitenden Defekten des subchondralen Knochens bis 5 mm beschrieben.

#### Prinzip

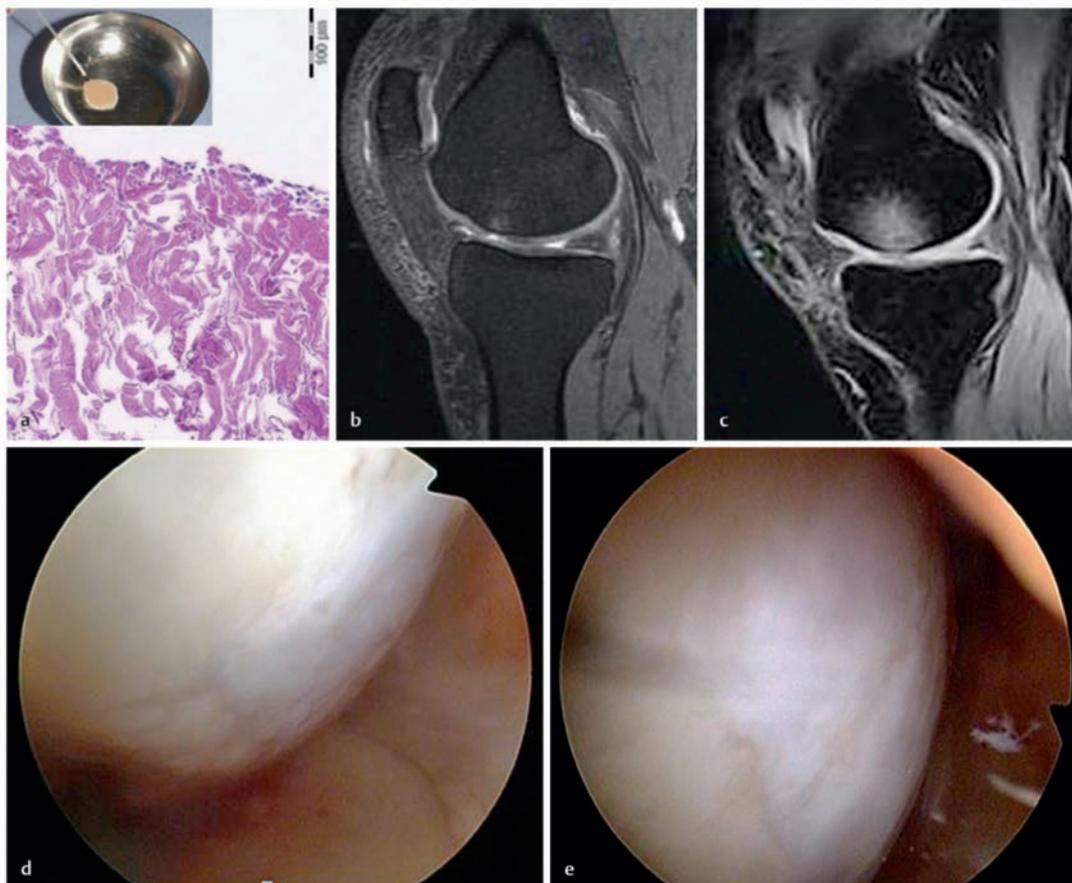
Prinzip ist die Entnahme von Knorpel aus einem unbelasteten Gelenkanteil, typischerweise die interkondyläre Notch, in Zusammenhang mit der intraartikulären Schadensevaluierung. In vitro erfolgt dann die Isolierung und Vermehrung der Chondrozyten, die in einem 2. Eingriff in den Defekt transplantiert werden.

#### Durchführung

► **Abb. 11 a** zeigt die Beimpfung eines Kollagen-Scaffolds mit der Form des zu behandelnden Defekts mit Chondrozyten für eine matrixassoziierte ACT sowie die dazugehörige Histologie. Die HE-Färbung (Hämatoxylin-Eosin-Färbung) zeigt, dass die Zellen hauptsächlich an der Oberfläche adhären.

#### Ergebnisse

► **Abb. 11 b** u. ► **Abb. 11 c** zeigen die MRT-Untersuchung 1 Jahr nach ACT mit einem subchondralen Knochenödem im Bereich des ehemaligen Defekts. Arthroskopisch findet sich korrelierend dazu ein suffizient gedecktes Läsionsareal, wobei makroskopisch die Reparaturzone gut vom Rest des Knorpels zu unterscheiden ist (► **Abb. 11 d** u. ► **Abb. 11 e**).



► **Abb. 11** Autologe Chondrozytentransplantation (ACT). **a** Beimpfung eines Kollagen-Scaffolds und dazugehörige Histologie. **b** 1 Jahr später: MRT-Untersuchung. **c** MRT-Untersuchung mit sagittaler Rekonstruktion und Darstellung eines subchondralen Knochenmarködems. **d** Korrespondierender arthroskopischer Befund zu ► **Abb. 11 b** u. ► **Abb. 11 c**. **e** Die Reparaturzone ist gut vom Rest des Knorpels zu unterscheiden.

**PRAXIS****Mosaikplastik****Indikation**

Dieses Verfahren ist bei kleineren Defekten mit signifikanter Beteiligung des subchondralen Knochens empfohlen.

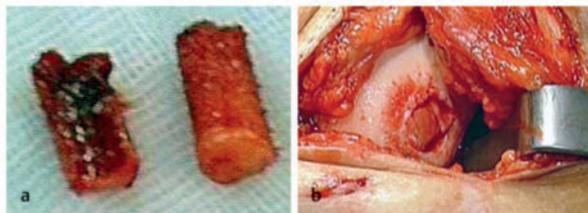
**Prinzip**

Der Defekt wird dabei zunächst mit definierter Größe unter Zuhilfenahme von speziellen Instrumentarien ausgestanzt (► **Abb. 12 a**) und dann mit gering größeren Zylindern aufgefüllt (► **Abb. 12 b**). Die Fixierung ausschließlich durch Pressfit ist ausreichend. Die osteochondralen Implantate werden aus unbelasteten Gelenkanteilen wie der lateralen Trochlea oder der posterioren Kondyle entnommen.

**Komplikationen/Probleme**

Probleme sind

- die Entnahmedefekte,
- die Schwierigkeit des planen, anatomisch korrekten Einpassens,
- die Räume zwischen den einzelnen Zylindern, die oft eine vollständige Integration verhindern.



► **Abb. 12** Mosaikplastik mit der OATS-Technik (OATS = Osteochondral Autograft Transfer System).

**a** Zylinder nach Entnahme.

**b** Behandelter Defekt der medialen Femurkondyle.

der Entnahmemorbidity entfällt jedoch. Auch können viel größere Anteile bis hin zu einem biologischen Gelenkteilersatz mit tibialer, femoraler und Meniskuskomponente angegangen werden.

Bei entsprechender Passform kann die Transplantation als Ganzes durchgeführt werden und ist nicht auf die Zylindertechnik angewiesen, bei der sich an den Grenzflächen immer fibrocartilaginärer Ersatzknorpel bildet. Biologisch scheint dabei der knöcherne Anteil durch Host-Zellen besiedelt zu werden („Creeping Substitution“), während im Knorpel die Spenderzellen so lange erhalten bleiben, wie der Knorpelverbund intakt bleibt.

Immunologische Reaktionen scheinen keine wesentliche Rolle zu spielen, wenn der knöcherne Anteil gering ist. Die Empfehlung liegt hier bei einer Schichtdicke zwischen

6 und 8 mm. Damit kann noch eine suffiziente Fixierung gewährleistet werden und die Tightmark wird sicher mit transplantiert.

Nachteile dieses Verfahrens sind die begrenzte Haltbarkeit und die begrenzte Verfügbarkeit der Transplantate. So war in einer Studie mit 75 Allograftprozeduren am Knie ein Transplantatalter von > 28 Tagen mit einer höheren Versagensquote verbunden [25].

**Merke**

**Unter Berücksichtigung der notwendigen Zeitspanne für Herstellung und Prüfung verbleiben somit eigentlich nur 1–2 Wochen für die Operation, was hohe logistische Anforderungen an dieses Verfahren stellt.**

Grund für die mit dem Alter zunehmende Versagensquote scheint die abnehmende Vitalität der Chondrozyten zu sein. Dafür sprechen beispielsweise die deutlich schlechteren Ergebnisse, die nach Implantation von dezellularisierten Allografts [26] oder biomimetischen Scaffolds [27] berichtet werden.

**Prädisposition und Begleitverletzungen****Varus-/Valgusdeformität**

Die Framingham-Studie hat gezeigt, dass die alleinige Varus- oder Valgusdeformität zwar nicht für einen Knorpelschaden prädestiniert, aber die Progression beeinflusst [28]. Eine Knorpelverletzung bei begleitender Varusachse sollte dementsprechend nicht isoliert behandelt werden, sondern zusammen mit der Achskorrektur. Dies gilt durchaus bereits für Achsabweichungen ab 2°, da hiermit die langfristige Prognose positiv beeinflusst werden kann [29, 30]. Wichtig ist dabei immer die Analyse der Achse mit einer Ganzbeinaufnahme, um sicher alle Ebenen und Lokalisationen zu erfassen.

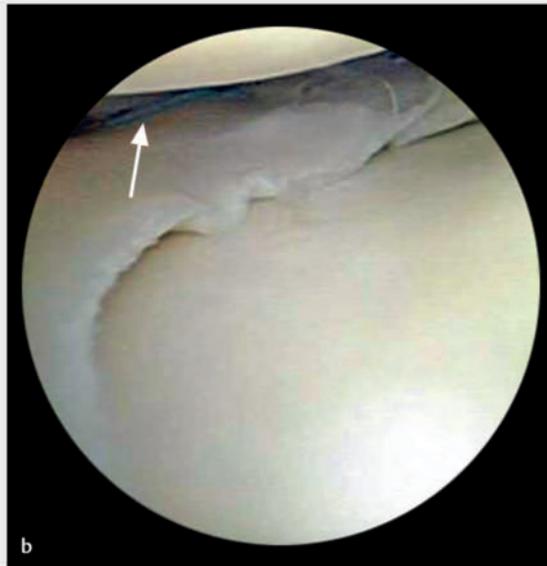
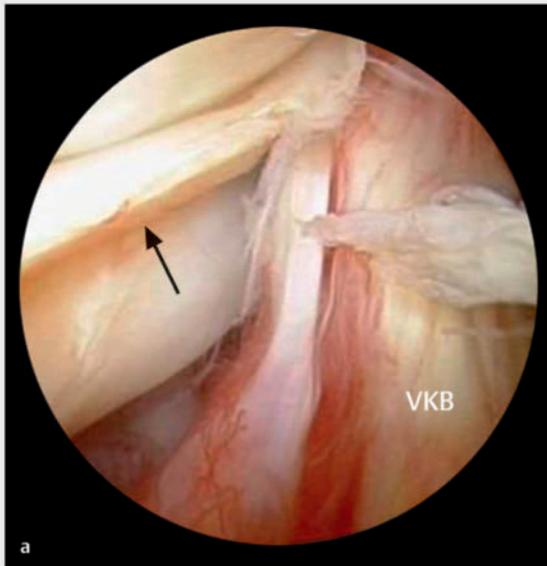
Die valgusierende proximale Tibiaosteotomie ist zwar eine standardisierte und zuverlässige Methode, aber eben nur dann erfolgreich, wenn der Hauptteil der Fehlstellung auch wirklich im Bereich der proximalen Tibia liegt.

**Bandinstabilität**

Eine akute ligamentäre Instabilität ist nicht nur häufig Ursache einer Knorpelverletzung, sondern beeinflusst ebenso die Progression. Die erfolgreiche langfristige Behandlung der Knorpelverletzung setzt also auch ein bandstabiles Knie voraus. Dies gilt für beide Kreuzbänder ebenso wie für beide Kollateralbänder.

**Meniskusverletzung**

Als weitere wichtige Struktur seien die Menisken genannt, welche die Inkongruenz der Gelenkfläche ausgleichen und damit fokale Spitzenbelastungen des Knorpels



► **Abb. 13** Eingeschlagener Korbhenkelriss des Außenmeniskus.  
 a Arthroscopische Darstellung des Korbhenkelrisses des Außenmeniskus, der sich neben dem VKB darstellt (Pfeil).  
 b Zustand nach Naht mit kombinierten All-Inside- und Inside-Outside-Nähten (Pfeil).

reduzieren. So führt der traumatische Verlust des Außenmeniskus in der Jugend regelhaft bereits im jüngeren Erwachsenenalter zu schweren lateralen Arthrosen. Der Erhalt der Menisken durch Naht (► **Abb. 13**) oder ihr Ersatz sind somit auch Teil der Behandlung der Knorpelverletzung.

## Zukünftige Konzepte

Wünschenswert wäre ein biologischer Gelenkersatz, mit welchem die Defekte im Bereich des Knochens und des Knorpels gleichzeitig ersetzt werden können (► **Abb. 14**). Dieser sollte außerdem individuell geformt sein und sich entsprechend gut integrieren. In diesem Bereich wurden in den letzten Jahren sehr große Fortschritte erzielt, welche neue Möglichkeiten der 3-D-Formgebung durch Bio-printing, des Zellmanagements durch Zytokine und durch Kombination dieser Verfahren in Composite-Konstrukten nutzen.

## Frühe Nachbehandlung und Rehabilitation

Validierte Nachbehandlungsschemata für Knorpelverletzungen, die gleichzeitig an verschiedene Verletzungstypen angepasst werden können, sind selten. Stellvertretend wird Bezug auf das Protokoll „Oslo Cartilage Active Rehabilitation and Education Study“ genommen [31].



► **Abb. 14** Durch Tissue Engineering generiertes und defektentsprechendes Knorpel-Knochen-Transplantat.

### Phase 1

Die primäre Anpassungsphase hat zum Ziel,

- Schmerz und Schwellung zu reduzieren,
- die Beweglichkeit zu normalisieren und
- Kontrolle über die Quadrizepsfunktion zu erlangen.

Dies wird erreicht über:

- Eis Anwendung
- erhöhte Lagerung
- Kompression

Empfohlen wird folgende Beübung:

- Training der Beweglichkeit
- isometrische Kraftübungen
- Gangtraining bei Teilbelastung

Diese Maßnahmen werden durch edukative und Coaching-Programme unterstützt.

## Phase 2

Zur nächsten eigentlichen Rehabilitationsphase (Phase 2) kann übergegangen werden, sobald die Flexion bis 90° gelingt, Alltagsbelastungen nahezu schmerz- und schwellungsfrei durchgeführt werden können und sich die Quadrizepsfunktion beim Laufen normalisiert hat. Ziele dieses Nachbehandlungsabschnitts sind

- die Erlangung der vollen Beweglichkeit,
- die Normalisierung der Muskelkraft,
- die dynamische Stabilisierung des Kniegelenks bei Alltagsbelastung.

Erreicht werden soll dies durch folgende Maßnahmen:

- stationäres Fahrradfahren
- neuromuskuläres Training
- Knie- und Hüftbewegungen gegen progressiven Widerstand

Hat der Patient die volle Kniebeweglichkeit erlangt und schwillt das Knie nicht mehr nach den Trainingseinheiten an, sollten die weiteren Voraussetzungen zum Übergang zur nächsten Phase geprüft werden.

## Phase 3

Für die Rückkehr zur normalen Aktivität (Phase 3) sollte der Patient beim Laufen beide Seiten gleich belasten und in der Lage sein, mindestens 10 Sekunden auf jedem Bein frei zu stehen. Ziele der Phase 3 sind die Wiedererlangung der vollen Kraft und der neuromuskulären Kontrolle sowie die Rückkehr zur normalen Aktivität mit Sport. Neben dem Krafttraining sollte auch ein entsprechendes kardiovaskuläres und neuromuskuläres Training durchgeführt werden.

## Interessenkonflikt

Der Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## KERNAUSSAGEN

- Knorpelverletzungen gehören am Kniegelenk zu den wichtigsten Risikofaktoren einer sekundären Gonarthrose.
- Ursachen sind:
  - Knie-Distorsionen
  - intraartikuläre Frakturen
  - Patellaluxationen
  - Knie-Luxationen
- Ein verletztes Knie mit Hämarthros muss klinisch und radiologisch abgeklärt werden.
- Bei intraartikulären Frakturen ist der Knorpel immer verletzt, weshalb diese anatomisch reponiert und stabil fixiert werden müssen; die Beseitigung einer begleitenden ligamentären Instabilität ist ebenso Teil der Behandlung.
- Osteochondrale Abscherungen, deren Größe eine Fixierung erlauben, sollen ebenso reponiert und stabilisiert werden.
- Bei der Therapie von Knorpelläsionen außerhalb der akuten Phase kommen in Abhängigkeit von Tiefe und Ausdehnung chirurgische Techniken zur Anwendung wie
  - die Mikrofrakturierung,
  - die ACT und
  - die Mosaikplastik.
- Die Nachbehandlung sollte phasenadaptiert verlaufen:
  - Anpassungsphase (Phase 1)
  - Rehabilitationsphase (Phase 2)
  - Rückkehr zur normalen Aktivität (Phase 3)

## Über die Autoren



### Hagen Schmal

Prof. Dr. med., Jahrgang 1969. 1990–1997 Studium der Humanmedizin an der Humboldt-Universität Berlin. 2004 Facharzt für Chirurgie, 2006 Anerkennung Schwerpunkt Unfallchirurgie, 2012 Zusatzbezeichnung Spezielle Orthopädische Chirurgie. Seit 10/2015 Klinische Professur für Traumatologie an der Universität Süddänemark in Odense. Schwerpunkte: Beckenfrakturen, arthroskopische Frakturbehandlung, Gewebeersatzforschung.

## Korrespondenzadresse

### Professor, overlæge, Dr. med. Hagen Schmal

Den Ortopædkirurgiske Forskningsenhed  
Ortopædkirurgisk afd. O, Odense Universitetshospital  
Klinisk Institut, Syddansk Universitet  
Sdr. Boulevard 29  
DK-5000 Odense C  
Dänemark  
hagen.schmal@rsyd.dk

## Literatur

---

- [1] Emery CA, Roos EM, Verhagen E et al. OARSI Clinical Trials Recommendations: Design and conduct of clinical trials for primary prevention of osteoarthritis by joint injury prevention in sport and recreation. *Osteoarthritis Cartilage* 2015; 23: 815–825
- [2] Schneider O, Scharf H-P, Stein T et al. Inzidenz von Kniegelenkverletzungen. Zahlen für die ambulante und stationäre Versorgung in Deutschland. *Orthopäde* 2016; 12: 1015–1026
- [3] Schmitt K-U, Hörterer N, Vogt M et al. Investigating physical fitness and race performance as determinants for the ACL injury risk in Alpine ski racing. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 2016; 8: 23
- [4] Krutsch W, Zellner J, Baumann F et al. Timing of anterior cruciate ligament reconstruction within the first year after trauma and its influence on treatment of cartilage and meniscus pathology. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015; DOI: 10.1007/s00167-015-3830-2
- [5] Schmal H, Salzmänn GM, Niemeyer P et al. Early intra-articular complement activation in ankle fractures. *Biomed Res Int* 2014; 2014: 426893
- [6] Kraus VB, Birmingham J, Stabler TV et al. Effects of intraarticular IL1-Ra for acute anterior cruciate ligament knee injury: a randomized controlled pilot trial (NCT00332254). *Osteoarthritis Cartilage* 2012; 20: 271–278
- [7] Schmal H, Niemeyer P, Südkamp NP et al. Pain perception in knees with circumscribed cartilage lesions is associated with intra-articular IGF-1 expression. *Am J Sports Med* 2011; 39: 1989–1996
- [8] Fickert S, Niks M, Dinter DJ et al. Assessment of the diagnostic value of dual-energy CT and MRI in the detection of iatrogenically induced injuries of anterior cruciate ligament in a porcine model. *Skeletal Radiol* 2013; 42: 411–417
- [9] Jungmann PM, Baum T, Bauer JS et al. Cartilage repair surgery: outcome evaluation by using noninvasive cartilage biomarkers based on quantitative MRI techniques? *Biomed Res Int* 2014; 2014: 840170
- [10] Salzmänn GM, Erdle B, Porichis S et al. Long-term T2 and qualitative MRI morphology after first-generation knee autologous chondrocyte implantation: Cartilage ultrastructure is not correlated to clinical or qualitative MRI outcome. *Am J Sports Med* 2014; 42: 1832–1840
- [11] Izadpanah K, Weitzel E, Vicari M et al. Influence of knee flexion angle and weight bearing on the Tibial Tuberosity-Trochlear Groove (TTTG) distance for evaluation of patellofemoral alignment. *Knee Surg Sports Traumatol* 2014; 22: 2655–2661
- [12] Lange T, Maclaren J, Herbst M et al. Knee cartilage MRI with in situ mechanical loading using prospective motion correction. *Magn Reson Med* 2014; 71: 516–523
- [13] Minas T. A primer in cartilage repair. *J Bone Joint Surg Br* 2012; 94: 141–146
- [14] Niemeyer P, Albrecht D, Andereya S et al. Autologous chondrocyte implantation (ACI) for cartilage defects of the knee: A guideline by the working group “Clinical Tissue Regeneration” of the German Society of Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Knee* 2016; 23: 426–435
- [15] Mundi R, Bedi A, Chow L et al. Cartilage restoration of the knee: a systematic review and meta-analysis of level 1 studies. *Am J Sports Med* 2016; 44: 1888–1895
- [16] Bekkers JE, Inklaar M, Saris DB. Treatment selection in articular cartilage lesions of the knee: a systematic review. *Am J Sports Med* 2009; 37 (Suppl. 1): 148S–155
- [17] Schmal H, Mehlhorn A, Stoffel F et al. In vivo quantification of intraarticular cytokines in knees during natural and surgically induced cartilage repair. *Cytotherapy* 2009; 11: 1065–1075
- [18] Mall NA, Harris JD, Cole BJ. Clinical evaluation and preoperative planning of articular cartilage lesions of the knee. *J Am Acad Orthop Surg* 2015; 23: 633–640
- [19] Lee BJ, Christino MA, Daniels AH et al. Adolescent patellar osteochondral fracture following patellar dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013; 21: 1856–1861
- [20] Steadman JR, Briggs KK, Rodrigo JJ et al. Outcomes of microfracture for traumatic chondral defects of the knee: average 11-year follow-up. *Arthroscopy* 2003; 19: 477–484
- [21] Knutsen G, Drogset JO, Engebretsen L et al. A randomized multicenter trial comparing autologous chondrocyte implantation with microfracture: long-term follow-up at 14 to 15 years. *J Bone Joint Surg Am* 2016; 98: 1332–1339
- [22] Brittberg M, Lindahl A, Nilsson A et al. Treatment of deep cartilage defects in the knee with autologous chondrocyte transplantation. *N Engl J Med* 1994; 331: 889–895
- [23] Niemeyer P, Pestka JM, Salzmänn GM et al. Influence of cell quality on clinical outcome after autologous chondrocyte implantation. *Am J Sports Med* 2012; 40: 556–561
- [24] Randsborg PH, Brinchmann J, Løken S et al. Focal cartilage defects in the knee – a randomized controlled trial comparing autologous chondrocyte implantation with arthroscopic debridement. *BMC Musculoskelet Disord* 2016; 17: 117
- [25] Nuelle CW, Nuelle JA, Cook JL et al. Patient factors, donor age, and graft storage duration affect osteochondral allograft outcomes in knees with or without comorbidities. *J Knee Surg* 2016; DOI: 10.1055/s-0036-1584183
- [26] Farr J, Gracitelli GC, Shah N et al. High failure rate of a decellularized osteochondral allograft for the treatment of cartilage lesions. *Am J Sports Med* 2016; 44: 2015–2022
- [27] Christensen BB, Foldager CB, Jensen J et al. Poor osteochondral repair by a biomimetic collagen scaffold: 1- to 3-year clinical and radiological follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016; 24: 2380–2387
- [28] Hunter DJ, Niu J, Felson DT et al. Knee alignment does not predict incident osteoarthritis: the Framingham osteoarthritis study. *Arthritis Rheum* 2007; 56: 1212–1218
- [29] Bode G, Schmal H, Pestka JM et al. 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°. *Arch Orthop Trauma Surg* 2013; 133: 43–49
- [30] Niemeyer P, Schmal H, Hauschild O et al. Open-wedge osteotomy using an internal plate fixator in patients with medial-compartment gonarthrosis and varus malalignment: 3-year results with regard to preoperative arthroscopic and radiographic findings. *Arthroscopy* 2010; 26: 1607–1616
- [31] Wondrasch B, Røen A, Røtterud JH et al. The feasibility of a 3-month active rehabilitation program for patients with knee full-thickness articular cartilage lesions: the Oslo Cartilage Active Rehabilitation and Education Study. *J Orthop Sports Phys Ther* 2013; 43: 310–324

## Bibliografie

---

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-116504>  
Orthopädie und Unfallchirurgie 2017; 12: 179–197  
© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York  
ISSN 1611-7859

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de



Diese Fortbildungseinheit ist 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar. Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, finden Sie unter [cme.thieme.de/hilfe](https://cme.thieme.de/hilfe) eine ausführliche Anleitung. Wir wünschen viel Erfolg beim Beantworten der Fragen!

Unter [eref.thieme.de/ZZWHIXP](https://eref.thieme.de/ZZWHIXP) oder über den QR-Code kommen Sie direkt zum Artikel zur Eingabe der Antworten.

VNR 2760512017152374387



### Frage 1

Was unterscheidet den dritt- vom viertgradigen Knorpelschaden in der Klassifikation der International Cartilage Repair Society (ICRS)?

- A Nur Schäden 3. Grades lassen sich im MRT sicher nachweisen.
- B Grad 3 ist im Unterschied zu Grad 4 scharf begrenzt.
- C Die Größe drittgradiger Schäden ist kleiner als 3 cm<sup>2</sup>.
- D Im Unterschied zu Grad 3 ist bei viertgradigen Schäden auch der unter dem Knorpel liegende Knochen angegriffen.
- E Bei Grad 4 können im Unterschied zum Grad 3 mehrere Stellen im Kniegelenk betroffen sein.

### Frage 2

Welches ist die häufigste intraartikuläre Verletzung nach Knie-distorsionen?

- A die Ruptur des vorderen Kreuzbands
- B eine Knorpelverletzung
- C die Ruptur des hinteren Kreuzbands
- D eingeklemmte Meniskus-Korbhakenrisse
- E Patellaluxationen

### Frage 3

Welche Stufe bzw. Inkongruenz kann nach intraartikulären Frakturen kompensiert werden?

- A Eine Inkongruenz von 2 mm kann nach intraartikulären Frakturen immer kompensiert werden.
- B Stufen im Gelenk sind unerheblich.
- C Stufen bis zu 5 mm können kompensiert werden.
- D Männer 1 mm, Frauen 2 mm.
- E Gelenkstufen sollten die natürliche lokale Dicke des Knorpels nicht überschreiten.

### Frage 4

Warum ist die „Sleeve Injury“ der Patella mehr eine Knorpelverletzung als eine Fraktur?

- A Weil nicht nur der retropatellare Knorpel, sondern auch andere Stellen geschädigt werden.
- B Weil der weichteilige Anteil der Verletzung unter Einschluss des Knorpels größer ist als die knöcherne Verletzungskomponente.
- C Weil sie nur im Kindesalter auftritt.

- D Weil die Streckfunktion des Knies gestört ist.
- E Weil Kinder dickeren Knorpel haben als Erwachsene.

### Frage 5

An welcher anatomischen Lokalisation treten osteochondrale Flake-Frakturen nach Patellaluxationen am häufigsten auf?

- A an der medialen Femurkondyle
- B an der lateralen Femurkondyle
- C an der medialen Patellafacette
- D an der Trochlea
- E an der Tibia

### Frage 6

Mit welchem Untersuchungsverfahren kann man Knorpelverletzungen am besten beurteilen?

- A Ultraschall
- B Knorpelverletzungen lassen sich generell bildgebend nicht beurteilen.
- C MRT
- D Dual-Energy-CT
- E CT mit Kontrastmittel

### Frage 7

Wie gelingt es dem Knorpel, effektiv mechanische Belastungen zu neutralisieren?

- A Knorpel hat eine weiche, schwammartige Struktur, die einfach nachgibt.
- B Elastinfasern geben dem Druck nach und federn wieder zurück.
- C Elastomere Proteine ähnlich dem in Pflanzen vorkommenden Kautschuk sind in der Knorpelstruktur eingelagert.
- D Die Knorpelsubstanz ist sehr fest und verändert sich nicht durch Druck oder Scherkräfte.
- E Wasser wird elektrostatisch in der extrazellulären Matrix immobilisiert und bei Belastung freigesetzt.

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite ...

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de

Fortsetzung...

### Frage 8

Eine der im Folgenden genannten Prädispositionen bzw. Begleitverletzungen muss bei der Therapie von Knorpelverletzungen nicht mitbehandelt werden. Welche?

- A ein Insall-Salvati-Index zwischen 0,8 und 1,2
- B eine varische Beinachse
- C eine translatorische Instabilität
- D ein eingeklemmter Meniskusriß
- E eine Patellainstabilität

### Frage 9

Welches Verfahren zur Behandlung von Knorpelläsionen wird standardmäßig immer noch zweizeitig durchgeführt?

- A Die Mikrofrakturierung wird zweizeitig durchgeführt.
- B Eine autologe Chondrozytentransplantation wird zweizeitig durchgeführt.
- C Die Refixation osteochondraler Flake-Frakturen erfolgt zweizeitig.
- D Die Transplantation osteochondraler Zylinder wird zweizeitig durchgeführt.
- E Es gibt kein zweizeitiges Verfahren der Knorpelregeneration mehr.

### Frage 10

Im Rahmen der Nachbehandlung nach chirurgischer Therapie von Knorpelläsionen am Knie sollte(n) in der Rehabilitationsphase (Phase 2) ...

- A stationäres Fahrradfahren nicht durchgeführt werden.
- B auf ein neuromuskuläres Training verzichtet werden.
- C Knie- und Hüftbewegungen gegen progressiven Widerstand keinesfalls ausgeführt werden.
- D isometrische Kraftübungen unterbleiben.
- E kein Lauftraining im bergigen Außengelände durchgeführt werden.