

Neue Implantate, die bildbasiert individuell hergestellt werden

Knieprothetik nach Mass aus dem 3D-Drucker

Prof. Dr. med. Markus P. Arnold, Dr. med. Thomas Rychen

LEONARDO – Ärzte für Orthopädie und Traumatologie, Kniezentrum
Hirslanden Klinik Birshof, Münchenstein

Bei fortgeschrittener Osteoarthritis ist die Prothetik ein bewährtes Konzept. Sie birgt jedoch einige Probleme. Um diese Probleme anzugehen, hat sich in der Kniechirurgie ein Prinzip sehr gut bewährt: Rekonstruiere die Anatomie so genau wie möglich.

Orthopädische Chirurgen versuchen, die Lebensqualität ihrer Patienten zu verbessern – zunächst im Rahmen der gelenkerhaltenden Chirurgie, die sich immer weiter entwickelt [1]. Bei zu weit fortgeschrittener Osteoarthritis bleibt aber dennoch die Prothetik ein bewährtes Konzept. Die Kniechirurgie hat zum Ziel, dem Patienten zu einem schmerzfreien, stabilen, frei beweglichen Kniegelenk zu verhelfen, dessen er sich im Idealfall nicht einmal bewusst ist. Das künstliche Gelenk wird dann nicht mehr als Fremdkörper wahrgenommen, wenn es unmerklich genauso funktioniert, wie es soll.

Restprobleme der klassischen Knieprothetik

Die Knieprothetik will durch den Ersatz von arthrotisch veränderten Gelenkoberflächen mit Metall- und Polyethylen-Implantaten erreichen, dass ein zuvor jahrelang schmerzhaftes Gelenk wieder tadellos funktioniert. Der Patient soll seinen Alltag beschwerdefrei bestreiten können. Damit haben wir uns ein hohes Ziel gesteckt, das wir trotz differenzierter Möglichkeiten [2] längst nicht immer erreichen [3–5]. Obschon sich die Knieprothetik als eine erfolgreiche Routineoperation etabliert hat, die wissenschaftlich gut untermauert ist, müssen wir zur Kenntnis nehmen, dass etwa 20% der Patienten nach einer Knie-Totalprothese (Knie-TP) mit dem Ergebnis unzufrieden sind [6–8]. Bei jüngeren Patienten ist dies sogar bei jedem Dritten der Fall [9]. Junge Patienten und solche mit posttraumatischen Gonarthrosen sind bezüglich der Zufriedenheit nach Knie-TP unsere anspruchsvollsten Patienten. Offenbar gelingt es uns zu oft nicht, deren Erwartungen zu erfüllen.

Woran liegt es, dass so viele Knie-TP-Patienten nach ihrer Operation unzufrieden sind? Hierzu können

mehrere Denkansätze verfolgt werden: Normalerweise arbeiten wir mit einem bewährten Prothesensystem, das es in der tibialen Komponente in 10 und in der femoralen in 16 verschiedenen Grössen gibt. Das passende Polyethylen ist in Millimeterschritten in den notwendigen Dicken und Grössen erhältlich. Dennoch müssen wir bei jeder Konfektions-Prothese grössere oder kleinere Kompromisse eingehen, sodass letztendlich das Knie an die Prothese angepasst wird – und nicht umgekehrt. Dieser Umstand kann zu den in der Folge besprochenen Restproblemen führen.

Restproblem 1

Beim Einbau einer klassischen Prothese bewegen wir uns auf dem schmalen Grat zwischen idealer Beweglichkeit und guter Stabilität des Kniegelenkes [2]. Wenn der Operateur während der Operation maximale Gelenkstabilität mit etwas erhöhter Bandspannung anstrebt, ist es möglich, dass der Patient es in der frühen postoperativen Phase nicht schafft, die kritische Grenze von etwa 100° Flexion zu übertreffen, eine persistierende Flexionseinschränkung wäre die Folge. Wird maximale Beweglichkeit angestrebt, könnte sich das Knie nach dem Abklingen der arthrofibrotischen Phase, also nach etwa einem Jahr, für den Patienten instabil anfühlen. Dieser Umstand, der durch das unangenehme Phänomen der zusätzlichen Instabilität in mittleren Flexionsgraden, also zwischen etwa 50 und 80° noch verschärft werden kann [10, 11], wird bereits durch die neuesten Konfektionsprothesen verbessert.

Restproblem 2

Um eine möglichst stabile, kortikale Abstützung der Implantate zu erreichen, die besonders in osteoporotischen Knochen wichtig ist, muss eine komplette Abdeckung der Sägefläche an Femur und Tibia erreicht



Markus P. Arnold



Abbildung 1 A–C: Drei anatomische Präparate rechter distaler Femora. Man beachte die individuell sehr unterschiedliche Morphologie. Quelle: Prof. em. Werner Müller, Anatomisches Institut der Universität Basel.

werden. Gleichzeitig sollte die Prothese nirgendwo störend überhängen, da sonst klinisch relevante, schmerzhaft Weichteilirritationen resultieren können [12, 13].

Restproblem 3

Jedes Kniegelenk hat seine Gelenklinie, sein individuelles Niveau, seine Ebene, auf der sich Flexions-, Extensions- und Rotationsbewegungen zwischen Femur und Tibia abspielen. Nur wenn die Gelenklinie genau rekonstruiert wird, ist es möglich, die normale Kinematik wiederherzustellen. Besonders unangenehm für die Patienten sind asymmetrische Verschiebungen der Gelenklinie. Beispielsweise kommt es bei Valgus-Gonarthrosen immer wieder dazu, dass nach Prothese im lateralen Kompartiment die originale Gelenklinie rekonstruiert wird, aber medial eine deutliche Senkung der Gelenklinie in Kauf genommen werden muss.

Alle drei genannten Restprobleme erzwingen regelmässig Kompromisslösungen beim Einbau von Konfektionsprothesen, seien es Total- oder Teilprothesen.

Individuelle Anatomie

Um diese genannten Probleme anzugehen, hat sich in der Kniechirurgie ein klassisches Prinzip sehr gut bewährt, das von unseren grossen Lehrmeistern in den 1980er Jahren stammt [14]: Rekonstruiere die Anatomie so genau wie möglich. Dieses Prinzip funktioniert bei ligamentären Rekonstruktionen, aber auch in der Prothetik.

Dabei muss beachtet werden, dass vor allem die ossäre Anatomie des distalen Femurs, aber auch jene der proximalen Tibia individuell sehr verschieden sind. Am eindrücklichsten zeigt sich dies am patellofemorale Kompartiment (Abb. 1). Die ossäre Anatomie und die ligamentären Insertionspunkte bedingen sich gegenseitig. Jedes Knie hat seine individuellen anatomischen Eigenheiten, Proportionen und damit seine persönliche Kinematik. Wenn wir die Kondylenform verändern,

passt die ligamentäre Anatomie nicht mehr perfekt, die Kinematik wird verändert [15–17]. Das Kniegelenk mit seinen sechs Freiheitsgraden der Beweglichkeit ist aber stark abhängig von seiner aktiven und passiven Stabilisierung, der sogenannten sensomotorischen Kontrolle. Bänder und Sehnen sind keine reinen Kabel. Sie sind mit Sensoren gespickte, aktive und passive Stabilisatoren der Kniebewegung [18, 19].

Individueller Oberflächen-Ersatz – Nur ersetzen, was tatsächlich arthrotisch verändert ist

Neue Techniken wie das 3D-Druckverfahren eröffnen neue Möglichkeiten und verändern dadurch die Behandlung unserer Prothesenpatienten: Erstmals ist es jetzt möglich, die Prothese der Anatomie anzupassen. Die ConforMIS-Prothesen werden basierend auf CT-Daten über eine virtuelle 3D-Rekonstruktion und dann im 3D-Druckverfahren mit Hilfe der CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)-Technologie hergestellt. Gleichzeitig mit dem Implantat werden die individuellen, zur Ausrichtung und Implantation notwendigen Sägeblöcke hergestellt. Das Portfolio umfasst mediale und laterale unikondyläre Teilprothesen, mediale sowie laterale bikompartimentelle Teilprothesen, bei denen sowohl ein femorotibiales als auch das femoropatellare Kompartiment kombiniert beschichtet wird, und die klassischere kreuzbanderhaltende und kreuzbands substituierende Totalprothese. Teilprothesen haben den Vorteil, dass damit die Kreuzbänder erhalten werden können. Lediglich das arthrotisch veränderte Kompartiment wird mit Metall neu beschichtet, sodass die gewohnte Kniekinematik erhalten bleibt. Nur in etwa 30% der Arthrosen sind alle drei Kompartimente (medial, lateral und patellofemorale) betroffen. Häufiger sind nur zwei Kompartimente relevant erkrankt. Klassisch ist die Kombination medial und patellofemorale, oder lateral und



Abb. 2: Gonarthrose im medialen und patellofemoralem Kompartiment. Das laterale Kompartiment ist makroskopisch intakt.
Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von ConforMIS.

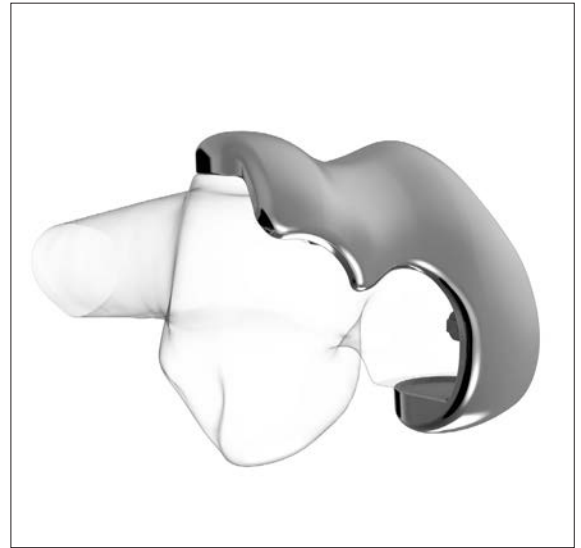


Abb. 3: Bikompartimentelle individuelle Prothesenversorgung. Die Herstellung eines derartigen Implantates ist zuverlässig nur bildbasiert und individuell angepasst möglich.
Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von ConforMIS.

patellofemoral (Abb. 2). Bisher waren wir gezwungen, mit einer TP ein nicht erkranktes Kompartiment trotzdem zu «opfern». Eine revolutionäre, neue Methode, die durch die individuelle, anatomisch geformte Prothesenherstellung aus dem 3-D-Drucker möglich ist, kann hier Abhilfe schaffen. Beispielsweise kann eine Oberflächenbeschichtung des medialen Kompartiments, verbunden mit dem patellofemoralem Kompartiment, in einem Stück passgenau hergestellt werden (Abb. 3). Da zwei Kompartimente anatomisch neu beschichtet werden, das dritte Kompartiment jedoch unberührt gelassen wird, findet keine oder nur eine minimale Veränderung der gewohnten Kniekinematik statt. Daher kann erwartet werden, dass sich ein derart prothetisch versorgtes Kniegelenk normaler bewegt und anfühlt.

Es gibt erste Hinweise darauf, dass die theoretisch erwarteten Verbesserungen auch tatsächlich eintreffen. Patienten, die mit der bikompartimentalen Prothese auf Mass versorgt wurden, zeigten postoperativ praktisch normale Bewegungsabläufe – anders, als wir dies bisher von den klassisch mit einer Konfektionsprothese versorgten Patienten gewohnt waren [20].

Spezieller Fall: auf MRI-Daten basierendes Kleinimplantat für den lokalisierten osteochondralen Defekt

Ein spezieller Fall besteht, wenn ein lokalisierter osteochondraler Defekt vorliegt, der sich beispielsweise wegen des Alters des Patienten biologisch nicht reparieren lässt. Hier bieten sich individuelle, auf MRI-

Daten basierende, metallene Kleinimplantate an, die einen lokalen Defekt präzise anatomisch neu beschichten können. Derartige, relativ kleine Metallknöpfe existierten schon länger, erreichten bisher aber nur zum Teil gute Resultate, da sie sich nicht zuverlässig der individuellen femoralen Anatomie des Patienten anpassen liessen. Zum Problem wurde daher häufig ein relativ schnell auftretender Schaden auf der tibialen Gegenseite [21]. Mit einem neuartig hergestellten, auf MRI-Daten basierenden Kleinimplantat lassen sich streng lokalisierte osteochondrale Schäden neuerdings zuverlässig mit einem maximal 4–5 cm² grossen Implantat neu beschichten (Abb. 4 und 5). Das Implantat wird ebenfalls der individuellen Anatomie, der Krümmung von Femurcondylus oder Trochlea, angepasst hergestellt und mit einem individuell angefertigten Instrumentarium anatomisch einsetzbar geliefert.

Die CAD/CAM-Technologie hält also Einzug in den orthopädischen Alltag. Die Technologie wird seit 2004 zur Prothesenherstellung verwendet [22]. Klinische Erfahrungen mit solchen Implantaten werden seit 2008 in den USA gesammelt. Seit 2013 ist dies auch in Europa der Fall. Vor allem in Deutschland liessen sich einige Kollegen von dieser Technologie überzeugen, die unserer Ansicht nach zukunftsweisend ist. Seit 2015 verwenden wir sie selbst.

Erfahrungen in der Praxis

Die aufgeführten neuen Optionen sind eine ideale Ergänzung zu den bisherigen Implantaten. In unserer Praxis spielt sich in etwa eine 1:4-Verteilung zwischen

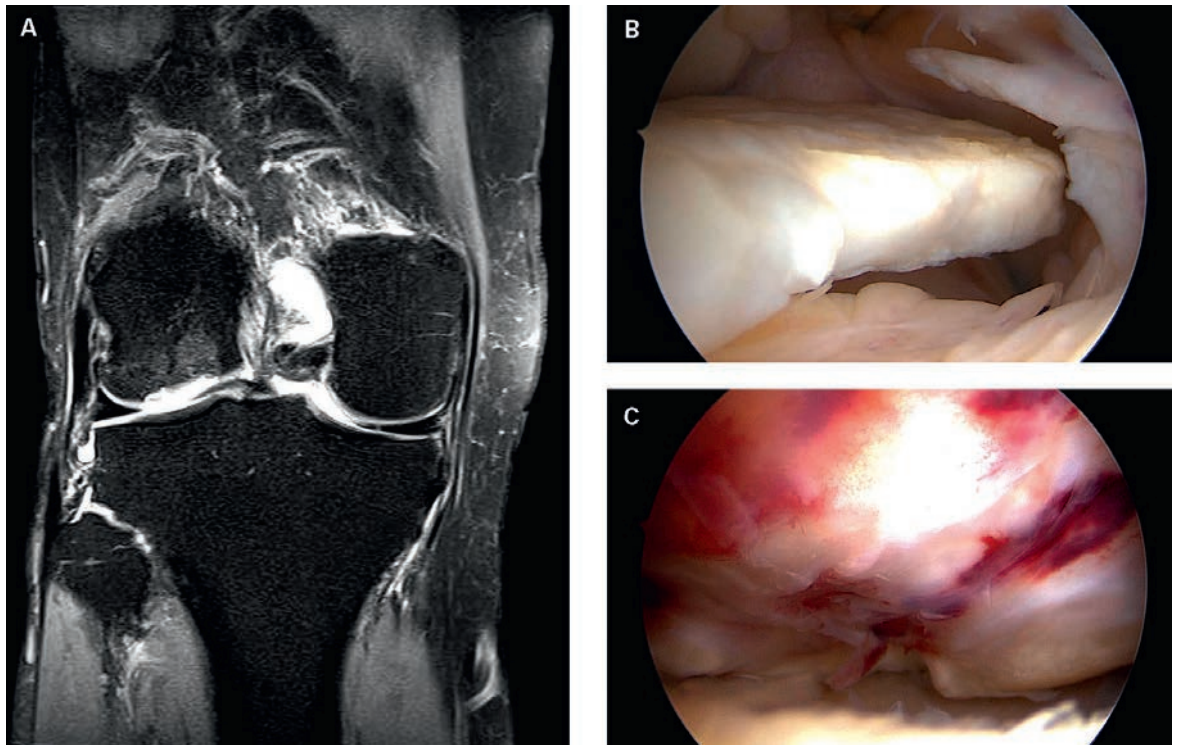


Abb. 4 A–C: Lokalisierter osteochondraler Schaden, ohne relevante Arthrose im Restgelenk.

A: MRI-Bild, coronal, T2, Defekt auf dem lateralen Femurcondylus

B: Arthroscopisches Bild des ausgebrochenen Stücks im ventralen Kniekompartiment

C: Arthroscopisches Bild der Defektzone auf dem lateralen Femurcondylus



Abb. 5: Massgefertigtes Metallimplantat zur individuellen Beschichtung des lokalisierten osteochondralen Schadens (Episealer®).

CAD/CAM-Prothetik und klassischer Konfektionsprothetik ein, wodurch wir vergleichbare Erfahrungen machen wie ähnlich strukturierte Gruppen in Deutschland [23]. Bei der Aufklärung und Vorbereitung der Patienten weisen wir sehr bewusst darauf hin, dass, unabhängig vom Implantat, der Einbau einer Knieprothese ein relativ grosser Eingriff ist und dass sich der frühe postoperative Verlauf nach klassischer TP und Massprothese kaum unterscheidet. Erst nach etwa vier bis sechs Monaten entwickeln sich erfahrungsgemäss diskrete, aber spürbare Unterschiede. Individuell versorgte Patienten berichten nach unserer, bisher natürlich noch limitierten, Erfahrung früher und zu einem höheren Prozentsatz von einem natürlichen Kniegelenkgefühl.

Weshalb die 1:4-Verteilung? Dafür gibt es mehrere Gründe:

- Zwischen Bildgebung und garantierter Lieferung der ConforMIS-Prothese vergehen zwei Monate.
- Der Algorithmus der Prothesen- und Sägebloch-Herstellung garantiert eine korrekte Beinachsierung nur innerhalb eines gewissen Fensters, mehr als 15° Fehlstellung ist deshalb eine Kontraindikation.
- Der Operateur muss sich planungstechnisch auf die Vorgaben eines Ingenieurs verlassen und hat intraoperativ nur limitierten Spielraum.

Korrespondenz:

Prof. Dr. med.

Markus P. Arnold, PhD
LEONARDO – Ärzte für
Orthopädie und Trauma-
tologie
Kniezentrum
Hirslanden Klinik Birshof
CH-4142 Münchenstein
Mparnold[at]leonardo-
ortho.ch

- Zählt man den Preis für die Bildgebung und den etwas höheren Preis für das massgefertigte Implantat zusammen, dann sind die Kosten für das Gesamtpaket höher als bei einer Konfektionsknieprothese.
 - Es fehlen naturgemäss die Langzeiterfahrungen.
- Neuerdings haben wir also unabhängig von der Grösse einer osteochondralen Läsion – von der streng lokalisierten, orthobiologisch nicht mehr reparierbaren Läsion, über die uni- und bikompartimentelle Arthrose bis hin zur Pangonarthrose – ein massgefertigtes prothetisches Implantat zur Verfügung. Die frühen klinischen Resultate sind vielversprechend. Allerdings werden erst die Langzeitresultate zeigen, ob wir mithilfe dieser Implantate aus dem 3D-Drucker tatsächlich den Prozentsatz der zufriedenen Prothesenträger erhöhen können.

Disclosure statement

Die Autoren haben keine finanziellen oder persönlichen Verbindungen im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

Literatur

- 1 Arnold MP. Differenzierte Möglichkeiten in der Kniechirurgie, Teil 1: Gelenkerhaltende Konzepte. *Schweiz Med Forum*. 2014;33:594–8.
- 2 Arnold MP. Differenzierte Möglichkeiten in der Kniechirurgie, Teil 2: Gelenkersetzende Konzepte. *Schweiz Med Forum*. 2014; 34:608–12.
- 3 Hopper GP, Leach WJ. Participation in sporting activities following knee replacement: total versus unicompartmental. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2008;10:973–9.

- 4 Laurencin CT, Zelicof SB, Scott RD, Ewald FC. Unicompartmental versus total knee arthroplasty in the same patient. A comparative study. *Clin Orthop Relat Res*. 1991;151–6.
- 5 Robertsson O, Lidgren L. The short-term results of 3 common UKA implants during different periods in Sweden. *J Arthroplasty*. 2008;6:801–7.
- 6 Bourne RB, Chesworth BM, Davis AM, Mahomed NN, Charron KD. Patient satisfaction after total knee arthroplasty: who is satisfied and who is not? *Clin Orthop Relat Res*. 2010;1:57–63.
- 7 Noble PC, Conditt MA, Cook KF, Mathis KB. The John Insall Award: Patient expectations affect satisfaction with total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2006;35–43.
- 8 Noble PC, Gordon MJ, Weiss JM, Reddix RN, Conditt MA, Mathis KB. Does total knee replacement restore normal knee function? *Clin Orthop Relat Res*. 2005;(431):157–65.
- 9 Parvizi J, Nunley RM, Berend KR, Lombardi AV, Jr., Ruh EL, Clohisy JC, et al. (2014) High level of residual symptoms in young patients after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 472(1):133–7.
- 10 Romero J, Duronio JF, Sohrabi A, Alexander N, MacWilliams BA, Jones LC, et al. Hungerford DS. Varus and valgus flexion laxity of total knee alignment methods in loaded cadaveric knees. *Clin Orthop Relat Res*. 2006;394:243–53.
- 11 Romero J, Stahelin T, Binkert C, Pfirrmann C, Hodler J, Kessler O. The clinical consequences of flexion gap asymmetry in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2007;2:235–40.
- 12 Lemaire P, Pioletti DP, Meyer FM, Meuli R, Dorfl J, Leyvraz PF. Tibial component positioning in total knee arthroplasty: bone coverage and extensor apparatus alignment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 1997;4:251–7.
- 13 Mahoney OM, Kinsey T. Overhang of the femoral component in total knee arthroplasty: risk factors and clinical consequences. *J Bone Joint Surg Am*. 2010;5:1115–21.
- 14 Müller W. The knee. Form, Function and Ligament Reconstruction. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York;1982.
- 15 Fuss FK. Biometrics of the four-bar link of the cruciate ligaments in projection on the flexion-extension plane of the human knee joint. *Anat Anz*. 1991;1:51–9.
- 16 Menschik A. Mechanik des Kniegelenkes, Teil 1. *Z Orthop*. 1974;112:481–95.
- 17 Müller M. The relationship between the rotation possibilities between femur and tibia and the lengths of the cruciate ligaments. *J-Theor-Biol*. 1993;2:199–220.
- 18 Gokeler A, Benjaminse A, Hewett TE, Lephart SM, Engebretsen L, Ageberg E, et al. Proprioceptive deficits after ACL injury: are they clinically relevant? *Br J Sports Med*. 2012;3:180–92.
- 19 Gokeler A, Benjaminse A, Hewett TE, Paterno MV, Ford KR, Otten E, et al. Feedback techniques to target functional deficits following anterior cruciate ligament reconstruction: implications for motor control and reduction of secondinjury risk. *Sports Med*. 2013;11:1065–74.
- 20 Wang H, Franckensen N, Estes J, Rolston L. Differences in knee mechanics between customized, individually made BKR and off-the-shelf TKR patients. Paper presented at the British Association for Surgery of the Knee (BASK), 2015 Telford – UK.
- 21 Custers RJ, Dhert WJ, Saris DB, Verbout AJ, van Rijen MH, Mastbergen SC, et al. Cartilage degeneration in the goat knee caused by treating localized cartilage defects with metal implants. *Osteoarthritis Cartilage*. 2010;3:377–88.
- 22 Fitz W, Sodha S, Reichmann W, Minas. Does a modified gap-balancing technique result in medial-pivot knee kinematics in cruciate-retaining total knee arthroplasty? A pilot study. *Clin Orthop Relat Res*. 2012;1:91–8.
- 23 Beckmann J, Steinert A, Zilkens C, Zeh A, Schnurr C, Schmitt-Sody M et al. Patientenspezifische Instrumente und Implantate beim Teilgelenkersatz des Kniegelenkes (ConforMIS iUni, iDuo). *Orthopäde*. 2016;4:322–30.

Das Wichtigste für die Praxis

- Knieprothetik kann sehr differenziert angewandt werden.
- Bei etwa 70% der Patienten sind nicht alle drei Kompartimente gleichermaßen arthrotisch verändert. In solchen Fällen bietet sich eine Teilprothese an. Neue Implantate, die individuell der persönlichen Anatomie des Patienten angepasst im 3D-Druckverfahren hergestellt werden, ermöglichen die jeweils anatomisch genaue Beschichtung der arthrotisch veränderten Kompartimente.
- Band- und Kondylenanatomie bedingen einander wechselseitig und definieren die Kniekinematik. Da die osteochondrale Anatomie durch das individuell hergestellte Knieimplantat kopiert wird, verändert sich die dem Patienten gewohnte Kinematik seines Kniegelenkes kaum.
- Biomechanische und frühe klinische Resultate bestätigen die Richtigkeit des Konzepts. Nachteil des neuen Verfahrens ist einerseits, dass naturgemäss Langzeitresultate fehlen, andererseits sind die unmittelbaren Kosten höher, verursacht durch das etwas teurere Implantat sowie die notwendige zusätzliche Bildgebung als Basis zur Implantatherstellung.