

Michael Jagodzinski
Niklaus Friederich · Werner Müller

Das Knie

Form, Funktion und
ligamentäre Wiederherstellungschirurgie

2. Auflage

EXTRAS ONLINE

 Springer

Das Knie

Michael Jagodzinski
Niklaus Friederich
Werner Müller

Das Knie

Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie

2. Auflage

Mit 595 Abbildungen

Michael Jagodzinski

Agaplesion Ev. Krankenhaus Bethel Bückeberg
Bückeberg

Niklaus F. Friederich

Universitätsspital Basel,
Basel, Schweiz

Werner Müller

Kantonsspital Baselland,
Bruderholz, Schweiz

OP-Videos zum Buch finden Sie unter <http://www.springermedizin.de/vzb-knie>

ISBN 978-3-642-45000-6 978-3-642-45001-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-45001-3

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1982, 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Grafiken: Birgit und Dietmar Brühmüller, Waghäusel

Umschlaggestaltung: deblik Berlin

Grafik Umschlag: © Birgit Brühmüller, Waghäusel

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer.com

Vorwort zur 2. Auflage

»Das Knie« setzte in den 1980er und 1990er Jahren Standards im Verständnis von Biomechanik und ligamentären Rekonstruktionstechniken des wohl kompliziertesten Gelenks des menschlichen Körpers. Hilfreich zum Verständnis des Zusammenspiels der Ligamente war vor allem die Darstellung der von Menschik entwickelten Prinzipien der Biomechanik humaner Gelenke. Die Erklärung des Funktionsprinzips der Kreuzbänder mithilfe der überschaubaren Viergelenkkette wurde sofort bereitwillig aufgenommen und in zahlreichen Büchern und Veröffentlichungen zitiert.

Als 2013 der Kontakt zu Werner Müller zustande kam und zusammen mit Niklaus Friederich die Idee entstand, aufbauend auf dem »Altwerk« eine 2. Auflage zu schaffen, war klar, dass dies eine zeitintensive Aufgabe darstellen würde:

Für den Seniorautor, da er zahlreiche Originalabbildungen und Diapositive aus verschiedenen »Schatzkammern« herausuchen musste und für die »Juniorautoren«, da neben der Instandsetzung der alten Abbildungen auch die Literatur und die Darstellung der OP-Techniken auf den neuesten Stand gebracht werden mussten. Es kamen zahlreiche Begegnungen der Autoren mit den Graphikern (Birgit Brühmüller und ihr Mann Dietmar Brühmüller) zustande (auf dem Bild: Frau Brühmüller und Professor Müller), bei denen viele der Originalabbildungen des verstorbenen R. Muespach (an dieser Stelle sei seiner Tochter für die Übertragung der Bildrechte an den Springer Verlag herzlich gedankt) in ein neues Design übertragen und an neue Erkenntnisse angepasst wurden. Ziel war es immer, die Systematik des Originals beizubehalten und alte Erkenntnisse, die auch in der heutigen Kniechirurgie Geltung besitzen oder Beachtung verdienen würden, zu belassen. Ziel war es auch,

das Buch einem breiten Publikum zu erhalten, sodass nicht nur sportorthopädisch versierte Chirurgen, sondern auch Sportwissenschaftler und Physiotherapeuten von den Inhalten profitieren können.

Während die Inhalte der Erstauflage vor allem durch Autoren wie Kapandij, Menschik, Hughston, Nietert und Goodfellow geprägt waren, sind in die 2. Auflage vor allem wichtige Publikationen von Amis, Déjour, Frosch, Lobenhoffer, Pinskerova, Siebold, Smigielski und vielen weiteren namhaften Kniechirurgen und Experten eingeflossen.

Dank sei an dieser Stelle allen, die aktiv oder passiv zu der Neuauflage beigetragen haben, genannt, allen voran den Mitarbeitern des Springer Verlages (Frau Lenzen, aber auch der Lektorin Frau Kahl-Scholz und Frau Knüchel). Ein besonderer Dank gilt der Unterstützung durch unsere Frauen Ursula, Beatrice und Zusanne, ohne die dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre. Wir danken auch Herrn Oscar Baldomero, der in Räumen der Firma Roche den großen Nachlass von Prof. Arthur von Hochstetter verwaltet, für die Möglichkeit wichtige Abbildungen in farbig guter Qualität für die Neuauflage zu verwenden.

Wir hoffen, dass sowohl diejenigen, die nach 20 und mehr Jahren »Das Knie« wieder in die Hand nehmen, als auch diejenigen, die sich zum ersten Mal mit dem Gedankengut des Buches befassen, die Illustrationen und Inhalte mit großem Interesse aufnehmen und damit ein Erkenntnisgewinn und eine Horizonterweiterung für den Alltag entsteht.

Michael Jagodzinski

Niklaus Friederich

Werner Müller

Basel und Bückeberg, im Juli 2015



Frau Brühmüller und Professor Müller bei der graphischen Arbeit

Über die Autoren



Prof. Dr. med. Michael Jagodzinski

Herr Prof. Dr. Michael Jagodzinski ist seit 2014 Chefarzt für Orthopädie und Unfallchirurgie des Klinikums Schaumburg. Sein Interesse am Knie reicht bis auf seine Promotion im Jahr 1998 über die Kinematik des Kniegelenks in Heidelberg zurück. Es folgte eine Assistenzarztzeit bei Prof. Dr. Michael Nerlich am Klinikum der Universität Regensburg sowie Hospitationen in Australien bei L. Pinczewski und in Vail bei R. Steadman. Mit zahlreichen biomechanischen und biologischen Arbeiten über das Kniegelenk war er in einem Zeitraum von 14 Jahren an der Medizinischen Hochschule Hannover bei Prof. Dr. Christian Krettek beschäftigt. Sein Interesse galt seit dem Studium dem besseren Verständnis von Knieverletzungen, insbesondere bei Sportlern und Hochleistungssportlern. Von 2010 bis 2014 hielt er eine Professur für Regenerative Gelenkchirurgie an der MHH inne. Im Rahmen dieser Professur ist es sein Verdienst, dass ein biologisches Verfahren zur regenerativen Therapie von Gelenkflächendefekten entwickelt wurde. Seine wissenschaftlichen Aktivitäten umfassen unter anderem die AG Arthroskopie der DGU, die AG Geweberegeneration der DGU sowie die Leitung der AG implantatfreie Kreuzbandrekonstruktion und biologische Optimierung. Er hat mehrere Auszeichnungen erhalten, u.a. war er 2012 NIRA Finalist der ORS, 2012 den 2. Wissenschaftspreis der AGA, 2013 den 3. Wissenschaftspreis der AGA und den 2. Wissenschaftspreis der AGA (Koautor).



Prof. Dr. med. Niklaus Felix Friederich

Prof. Friederich ist seit 07/2015 leitender Arzt der Universitäts-Klinik für Orthopädie & Traumatologie, Universitätsspital Basel und seit 2013 wissenschaftlicher Leiter des Center of Biomechanics, Universität Basel.

Vorher war er Chefarzt der Klinik für Orthopädische Chirurgie und Traumatologie des Bewegungsapparates, Kantonsspital Bruderholz, Baselland. In seiner Laufbahn hat er schon mehrere leitende Tätigkeiten, u. a. im Kantonsspital Bruderholz (turnusgemäß), ausgefüllt.

1985 unternahm er Forschungsarbeiten in der University of Texas HSC San Antonio und VAMC und UCSD Medical Center San Diego, USA, Forschung und Weiterbildung in Knochenradiologie (Stipendium Schweizerische Gesellschaft für Unfallchirurgie und Versicherungsmedizin) und von 11/1987 bis 02/1988: The Orthopaedic & Arthritic Hospital, Toronto, Canada. Forschung »Funktionelle Anatomie der Kreuzbänder« (Grundlagen für spätere Habilitation).



Prof. Dr. med. Werner Müller

Prof. Müllers Vorliebe galt schon während seiner Tätigkeit als Assistenzarzt der rekonstruktiven Chirurgie der Gelenke. Während dieser Zeit konnte er von großen Lehrern wie den Proff. Robert Nicole, Willy Taillard, Rudolf Nissen, George Chapchal, Erwin Morscher und Martin Allgöwer reichlich wertvolles Wissen akquirieren.

Wesentliche Wissenserweiterungen konnte er sich in den 70er Jahren in Lyon in der Schule von Albert Trillat zulegen.

In diese Zeit bis 1978 fiel die Erschaffung des Standardwerkes DAS KNIE, Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie. Es folgte 1982 die Habilitation und 1990 die Ernennung zum außerordentlichen Professor der Medizinischen Fakultät der Universität Basel. Ab 1978 kam nach der Wahl ins Kantonsspital Bruderholz der Aufbau einer neuen orthopädischen Abteilung und daraus der Orthopädischen Klinik Kantonsspital Bruderholz, die einen weltweiten Ruf als Ausbildungsstätte für Kniechirurgie und rekonstruktive Orthopädie -Traumatologie genoss. Seine Frau Ursula hat ihn in all diesen Jahren bis heute unermüdlich unterstützt.

Nach der Emeritierung 1998 war Werner Müller als Dozent mit Vorträgen an Kongressen und in Instruktionkursen ein nach wie vor gefragter Referent.

Inhaltsverzeichnis

1	Anatomie	1
	<i>M. Jagodzinski, W. Müller, N. Friederich</i>	
1.1	Form, Funktion und Synergismen	2
1.2	Kinematik	7
1.2.1	Kinematik des Roll-Gleit-Prinzips	7
1.2.2	Modell der überschlagenen Viergelenkkette	8
1.2.3	Ungleiche Vermischung des Rollgleitens	10
1.2.4	Kinematik und anatomische Form der Kondylenrolle	11
1.2.5	Überlagerung des Patellagleitlagers an der Kondylenrolle	12
1.2.6	Die Kreuzbänder als kinematisches Grundbauprinzip	13
	Literatur	14
2	Kinematik und angewandte Physiologie und Pathophysiologie der Ligamente	15
	<i>M. Jagodzinski, W. Müller, N. Friederich</i>	
2.1	Kreuzbänder	17
2.1.1	Kreuzbänder und Bewegungsumfang des Kniegelenks	17
2.1.2	Die Folgen falscher Reinsertion abgerissener vorderer Kreuzbänder	18
2.1.3	Hyperextension und vorderes Kreuzband	20
2.1.4	Vorderes Kreuzband und Menisken	20
2.1.5	Kreuzbandinsuffizienz und Meniskusläsion	20
2.1.6	Die vordere Kreuzbandinsuffizienz und das Lateral-Pivot-shift-Phänomen	22
2.2	Kollateralbänder	25
2.2.1	Mediales Kollateralband	25
2.3	Die Ideallinien der Bandinsertionen und das Prinzip der Dynamisierung von Gelenkbändern	27
2.4	Retinaculum und Pes anserinus als »dynamisierte Ligamente«	27
2.4.1	Das Retinaculum longitudinale mediale patellae als dynamischer, anteromedialer Längsstabilisator	27
2.4.2	Der Pes anserinus als aktiver Hilfsstabilisator der medialen Seite	27
2.5	Das mediale Bandsystem während der Bewegung	28
2.5.1	Spezialbedingungen für die vordersten Faserzüge des medialen Kollateralbandes	28
2.5.2	Verschieblichkeit des medialen Kollateralbandes gegenüber dem Tibiakopf	29
2.6	Das laterale Kollateralband	30
2.6.1	Die tiefen ligamentären Strukturen der Außenseite	30
2.7	Das laterale Bandsystem während der Bewegung	31
2.8	Der Tractus iliotibialis als direktes femorotibiales laterales Seitenband	33
2.9	Das theoretische Zusammenspiel der Kreuz- und Seitenbänder	34
2.9.1	Verlust der Isometriebedingungen bei falschen Bandansatzpunkten	35
2.9.2	Gang- und Rastpolkurve	37
2.10	Automatische Rotation – Schlussrotation – Initialrotation	38
2.10.1	Die ungleiche Länge der Kondylenrollen und die automatische Rotation	39
2.10.2	Automatische Schluss- und Initialrotation beim schnellen Bewegungsablauf und beim Gehen auf unebenem Gelände	43
2.11	Die Kreuzbänder und die Bewegung des Kniegelenks in mehr als einer Ebene	43
2.12	Die räumliche Viergelenkkette und der Zentralpfeiler	43
2.12.1	Der zentrale Drehpfeiler »pivot central«	43
2.12.2	Insuffizienz des Zentralpfeilers und arthrotische Entwicklung	44
2.12.3	Der zentrale Drehpfeiler bei zunehmender Flexion	44
2.12.4	Weitere Funktionsmöglichkeiten der Elemente des Zentralpfeilers	46
2.13	Das posteromediale Gelenck (Semimembranosuseck)	47
2.13.1	Die einzelnen Funktionselemente des Semimembranosusecks	48
2.14	Das Zusammenspiel der Ligamente bei der Rotation	49
2.14.1	Innenrotation, Wringmechanismus der Kreuzbänder und Form des lateralen Tibiplateaus	49
2.14.2	Die willkürliche Rotation, ihr Ausmaß und ihre Drehachse	50
2.14.3	Die passive und aktive Stabilisierung durch das Semimembranosuseck bei der Rotation und beim Schub in anteroposteriorer Richtung	50

2.14.4	Der funktionsmäßige Synergismus des Semimembranosusecks mit dem hinteren Kreuzband	52
2.14.5	Der funktionsmäßige Synergismus des Semimembranosusecks mit dem vorderen Kreuzband und die Funktion des medialen Meniskus	52
2.15	Das posterolaterale Gelenck (Popliteuseck)	53
2.15.1	Die einzelnen Funktionselemente des Popliteusecks	53
2.16	Die propriozeptiv gesteuerte, aktive Stabilisierung	54
	Literatur	55
3	Rotation	59
	<i>M. Jagodzinski, W. Müller, N. Friederich</i>	
3.1	Physiologie und Pathophysiologie der freien und aktiven Rotation	60
3.1.1	Die aktive Rotation durch die Extensoren	60
3.1.2	Besonderheiten der patello-femorale Anatomie	65
3.1.3	Die aktive Rotation durch die Flexoren	66
3.1.4	Varus-Flexion-IR und Valgus-Flexion-AR	68
3.1.5	Verletzungen des aktiven Rotationssystems	71
3.1.6	Agonismus und Antagonismus zwischen Extensoren/Flexoren und Rotatoren	73
3.2	Die passive Rotationsstabilisierung	73
3.2.1	Das Prinzip der triangulären Struktur als Mittel passiver Rotationsstabilisierung	73
3.2.2	Die Rolle der Fabella	74
3.2.3	Die trianguläre Struktur der Ligg. collaterale mediale und collaterale mediale posterius als Element der passiven Rotationsstabilisierung	75
3.2.4	Physiologie und Pathophysiologie der Menisken bei der Rotation	75
	Literatur	88
4	Untersuchung des verletzten Kniegelenks	91
	<i>M. Jagodzinski, W. Müller</i>	
4.1	Allgemeine Symptome	92
4.2	Die Prüfung der Stabilität	92
4.2.1	Allgemeine Überlegungen und Methoden	92
4.2.2	Klassifikation der Instabilitäten	105
4.2.3	Bandverletzungen und Instabilitäten	107
	Literatur	112
5	Verletzungen der Bänder und der Kapsel	115
	<i>M. Jagodzinski, W. Müller</i>	
5.1	Allgemein	116
5.2	Die Schichten des medialen Kapsel- und Bändersystems	116
5.3	Verletzungsmöglichkeiten des medialen Bandsystems mit ossären und ligamentären	118
5.3.1	Kontinuitätsunterbrüchen	118
5.3.2	Die große mediale Valgusinstabilität	119
5.3.3	Die Bandverletzung in Abhängigkeit von der Deformierungskraft und -geschwindigkeit	119
5.4	Allgemeine Operationstechnik	121
5.4.1	Nahttechnik bei den verschiedenen Graden von Bandverletzung	121
5.4.2	Die Fixation von abgerissenen Ligamenten mittels Schraube und gezackter Unterlagsscheibe	122
5.4.3	Zugänge	123
5.5	Die primäre Rekonstruktion der speziellen Verletzungen	129
5.5.1	Die Verletzungen der medialen Seite und ihre rekonstruktive Versorgung	129
5.5.2	Die Verletzungen der lateralen Seite und ihre rekonstruktive Versorgung	143
5.5.3	Die Verletzungen der Kreuzbänder und ihre rekonstruktive Versorgung	152
5.5.4	Kompensationsgrenze und Dekompensationsschwelle	158
	Literatur	163

6	Die sekundäre Rekonstruktion und der plastische Ersatz der Bänder bei der frischen oder veralteten Verletzung	167
	<i>M. Jagodzinski, W. Müller</i>	
6.1	Allgemein	169
6.1.1	Konservative Therapie	169
6.1.2	Primär operative Therapie	169
6.1.3	Sekundär operative Therapie	169
6.2	Der Kreuzbandersatz und die Rekonstruktion des Zentralpfelers	169
6.2.1	Transplantatfixierung	170
6.2.2	Semitendinosussehne	170
6.2.3	Patellarsehne	171
6.2.4	Verwendung der Quadrizepssehne	171
6.2.5	Gedanken zur Heilung in den postoperativen Wochen	171
6.2.6	Mögliche Spätfolgen im Quadrizepsstreckapparat	172
6.2.7	Der hintere Kreuzbandersatz	172
6.2.8	Zusatztrick für einen Zugang zum hinteren Tibiakopf	173
6.2.9	Die sekundäre Wiederherstellung der Peripherie und Ersatzplastik der fünf Hauptbänder und der Kapsel	175
6.2.10	Das mediale Seitenband und seine sekundäre Wiederherstellung	177
6.2.11	Rekonstruktion des Popliteusecks	179
6.2.12	Rekonstruktion des Lig. collaterale laterale	182
6.2.13	Rekonstruktion der femorotibialen Außenbandverbindung	183
6.3	Der begleitende traumatische Knorpelschaden und seine Behandlung	183
6.3.1	Der frische begleitende Knorpelschaden	183
6.3.2	Der begleitende Knorpelschaden bei der chronischen Instabilität	184
6.3.3	Die Behandlung von begleitenden Knorpelschäden	184
6.3.4	Der Einfluss des Knorpelschadens auf die postoperative Therapie	184
6.4	Komplikationen	184
6.5	Allgemeine operationstechnische Hinweise	185
6.5.1	Operationsvorbereitung	185
6.5.2	Instrumente	186
6.5.3	Nahtmaterial	187
6.5.4	Antibiotikaprophylaxe	188
	Literatur	188
7	Die postoperative Rehabilitation	191
	<i>M. Jagodzinski, W. Müller</i>	
7.1	Allgemein	192
7.2	Ziel der Rehabilitation	192
7.3	Physiologische und pathophysiologische Grundlagen der postoperativen Rehabilitation	192
7.3.1	Der vordere Knieschmerz	192
7.3.2	Muskelatrophie	193
7.3.3	Die Probleme des Recessus suprapatellaris	194
7.3.4	Allgemeine pathophysiologische Betrachtungen	197
7.4	Mittel der Rehabilitation	197
7.4.1	Postoperative Lagerung	197
7.4.2	Postoperative Immobilisierung	198
7.4.3	Aktive Bewegungstherapie	201
7.4.4	Belastbarkeit im Verlauf der Rehabilitation	201
7.4.5	Physikalische Therapie	202
7.4.6	Pharmakotherapie	203
7.4.7	Lokalanästhesie	204
7.4.8	Untersuchung und Mobilisation in Narkose	204
7.4.9	Psychologische Führung	205
	Literatur	205
	Serviceteil	207
	Stichwortverzeichnis	208

Abkürzungsverzeichnis

A	Arteria	Q-Winkel	Quadrizepswinkel
AR	Außenrotation	Rcfv	Rami cutanei femoris ventrales
AT-Winkel	Antetorsionswinkel	Rec	Recessus
bFGF	Basic fibroblastic growth factor	Rins	Rami infrapatellares nervi sapheni
CDS	Continuous dynamic stretching	Rncsl	Rami nervi cutanei surae lateralis
cm	Zentimeter	Sm	Semimebranosussehne
CRPS	Complex regional pain syndrome	T	Tractus
CT	Computertomographie	TENS	Transkutane elektrische Nervenstimulation
COX	Cyclooxygenase	TGF-beta	Transforming growth factor-beta
DMSO	Dimethylsulfoxid	VKB	Vorderes Kreuzband
GM-CFS	Granulocyte/macrophage-colony stimulating factor		
HKB	Hinteres Kreuzband		
IKDC	International Knee Documentation Committee		
IL-1	Interleukin-1		
IR	Innenrotation		
It	Impressio terminalis		
K	Kraft		
KOOS	Knee Osteoarthritis Outcome Score		
LCA, Lca	Lig. cruciatum anterius		
Lcl	Lig. collaterale laterale		
Lcm	Lig. collaterale mediale		
Lcmp	Lig. collaterale mediale posterius		
LCP, Lcp	Lig. cruciatum posterius		
Lftla	Lig. femorotibiale laterale anterius		
Lig	Ligamentum		
Lmfp	Lig. meniscofemorale posterius		
LR	Lig. Roberti		
M	Musculus		
mg	Milligramm		
mm	Millimeter		
mmHg	Millimeter Quecksilber		
MRT	Magnetresonanztomographie		
N	Nervus		
NR	Neutralrotation		
PAPI	Point d'angle postero-inteme		
PNF	Proprioceptive neuromusculäre Facilitation		

Anatomie

M. Jagodzinski, W. Müller, N. Friederich

1.1 Form, Funktion und Synergismen – 2

1.2 Kinematik – 7

1.2.1 Kinematik des Roll-Gleit-Prinzips – 7

1.2.2 Modell der überschlagenen Viergelenkkette – 8

1.2.3 Ungleiche Vermischung des Rollgleitens – 10

1.2.4 Kinematik und anatomische Form der Kondylenrolle – 11

1.2.5 Überlagerung des Patellagleitlagers an der Kondylenrolle – 12

1.2.6 Die Kreuzbänder als kinematisches Grundbauprinzip – 13

Literatur – 14

Die Basis für Werner Müllers' Buch »Das Knie« von 1982 war die exakte Kenntnis der anatomischen Strukturen und der Gesetzmäßigkeiten für die Formgebung. Gleichzeitig erkannte er aber die Individualität an, indem er schrieb:

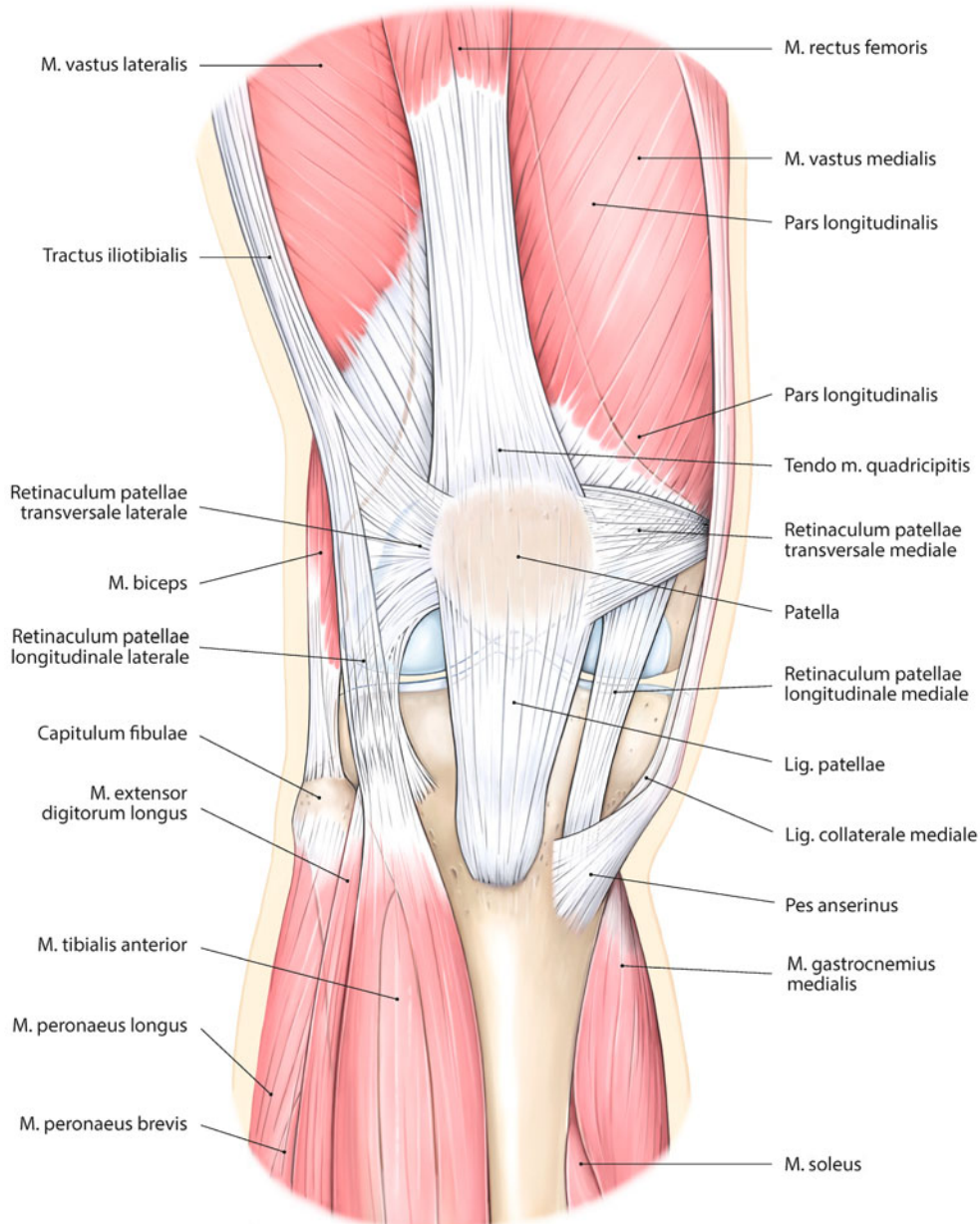
- » Die Anatomie ist immer eine individuelle Angelegenheit. Die Streubreiten sind groß und die Varianten zahlreich. Das funktionelle System aber bleibt gewahrt.

Angesichts der in den letzten Jahren wieder aufgeflamten Diskussion um die Einzel- oder Doppelbündelrekonstruktion des vorderen Kreuzbands sollte dieser Satz stimulieren, stets die bestmögliche Rekonstruktion einer Knieinnenstruktur für das Individuum anzustreben, was sich von Fall zu Fall in seiner Ausführung deutlich unterscheiden kann, aber bestimmten Gesetzmäßigkeiten folgen muss.

1.1 Form, Funktion und Synergismen

Fälle einer kongenitalen Kreuzbandaplasie sind beschrieben (Manner et al. 2006 und Silva et al. 2011) – Noble schildert z. B. die kongenitale Aplasie des vorderen Kreuzbandes in einem Knie mit medialem Ringmeniskus – und können den Chirurgen vor eine Herausforderung stellen, da die interkondyläre Notch in diesen Fällen dysplastisch angelegt ist und vor einer Kreuzbandrekonstruktion erweitert werden muss.

Es gibt nur wenige anatomische Strukturen, die für eine Funktion ganz allein verantwortlich sind. Fast immer spielen Zweit- und Drittstrukturen die Rolle von Synergisten. So kann ein Ringmeniskus oder ein Meniskus mit voluminösem Hinterhorn und fester meniskotibialer Verbindung auch eine Stabilisierung gegen den Vorschub der Tibia nach vorne bewirken,



■ Abb. 1.1 Das Kniegelenk und seine wichtigsten anatomischen Strukturen in der Ansicht von ventral

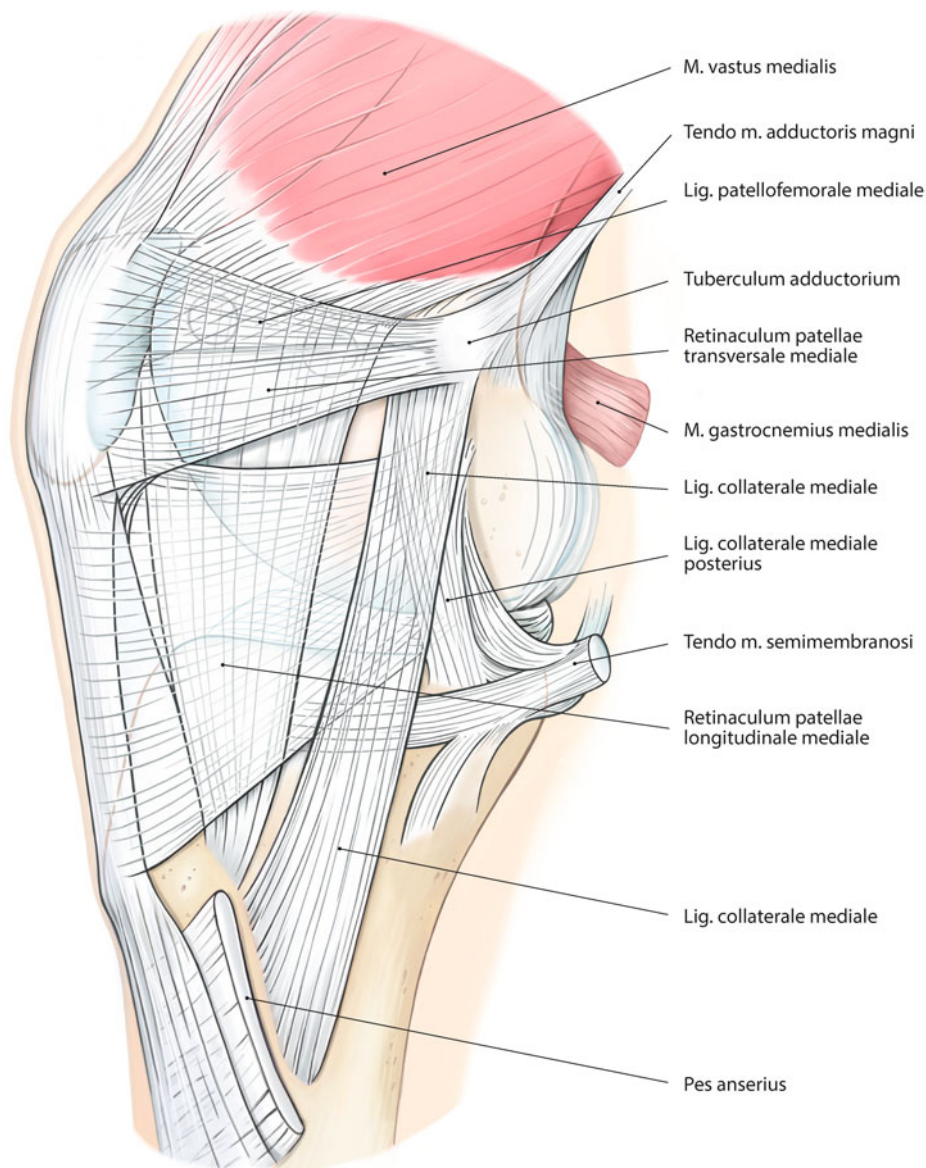
also teilweise die Funktion eines vorderen Kreuzbandes übernehmen.

Damit ist schon ein Hinweis auf die bekannte Problematik gegeben, warum es nach Menishektomie zu einer progredienten Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes kommen kann. Über die normalen Synergisten des vorderen Kreuzbandes wird im entsprechenden Zusammenhang an anderer Stelle (► Abschn. 3.2.4) berichtet.

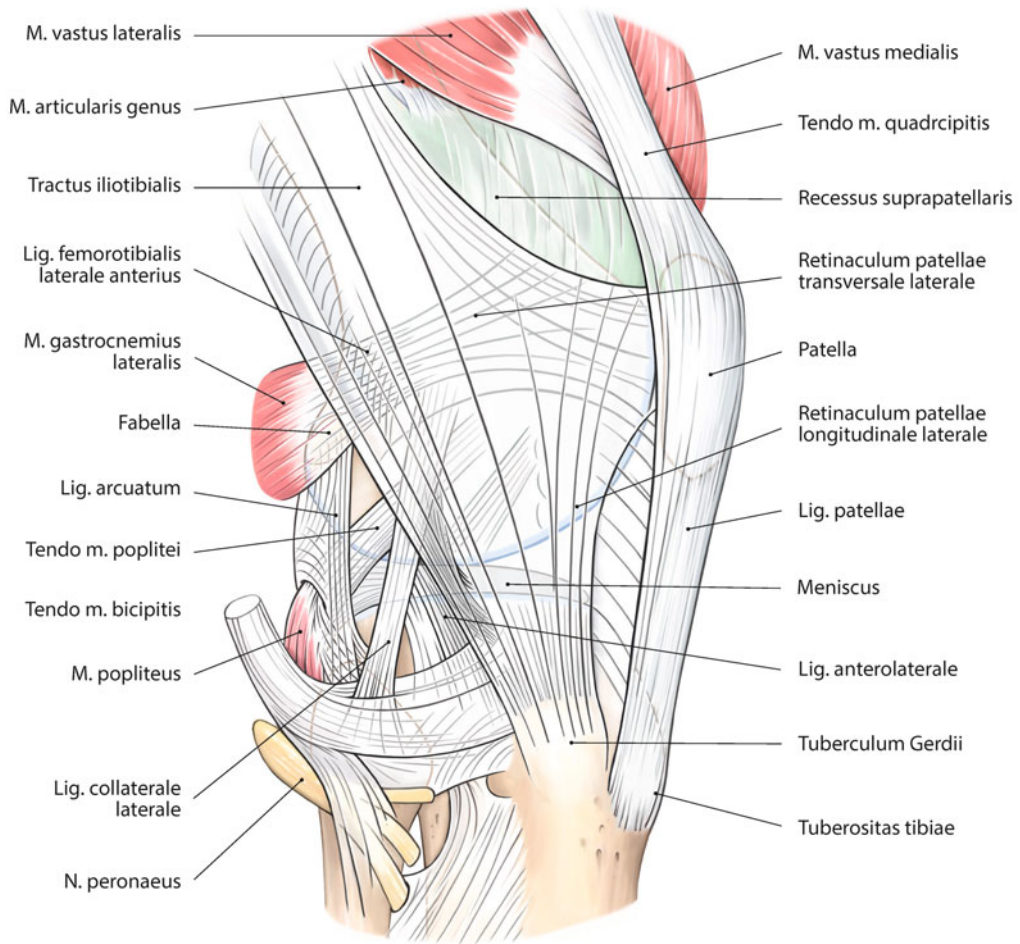
Aber auch auf der lateralen Seite sind individuelle Varianten zahlreich (Tauber et al. 1979), ja beinahe die Regel. Sehr unterschiedlich ausgebildet in Bezug auf ihre Stärke sind die Sehne des M. popliteus, das laterale femorofibulare Seitenband und der Komplex des Lig. arcuatum (Lig. popliteum arcuatum). Es gibt Fälle, bei denen die Popliteusehne übermächtig dick ist, während gleichzeitig das femorofibulare Seitenband und die Strukturen des Lig. popliteum arcuatum nur wenig aus-

geprägt vorhanden sind. Umgekehrt können gerade diese letztgenannten Strukturen imponierend kräftig sein, während die Popliteusehne mit dem Seitenband daneben schwach erscheint.

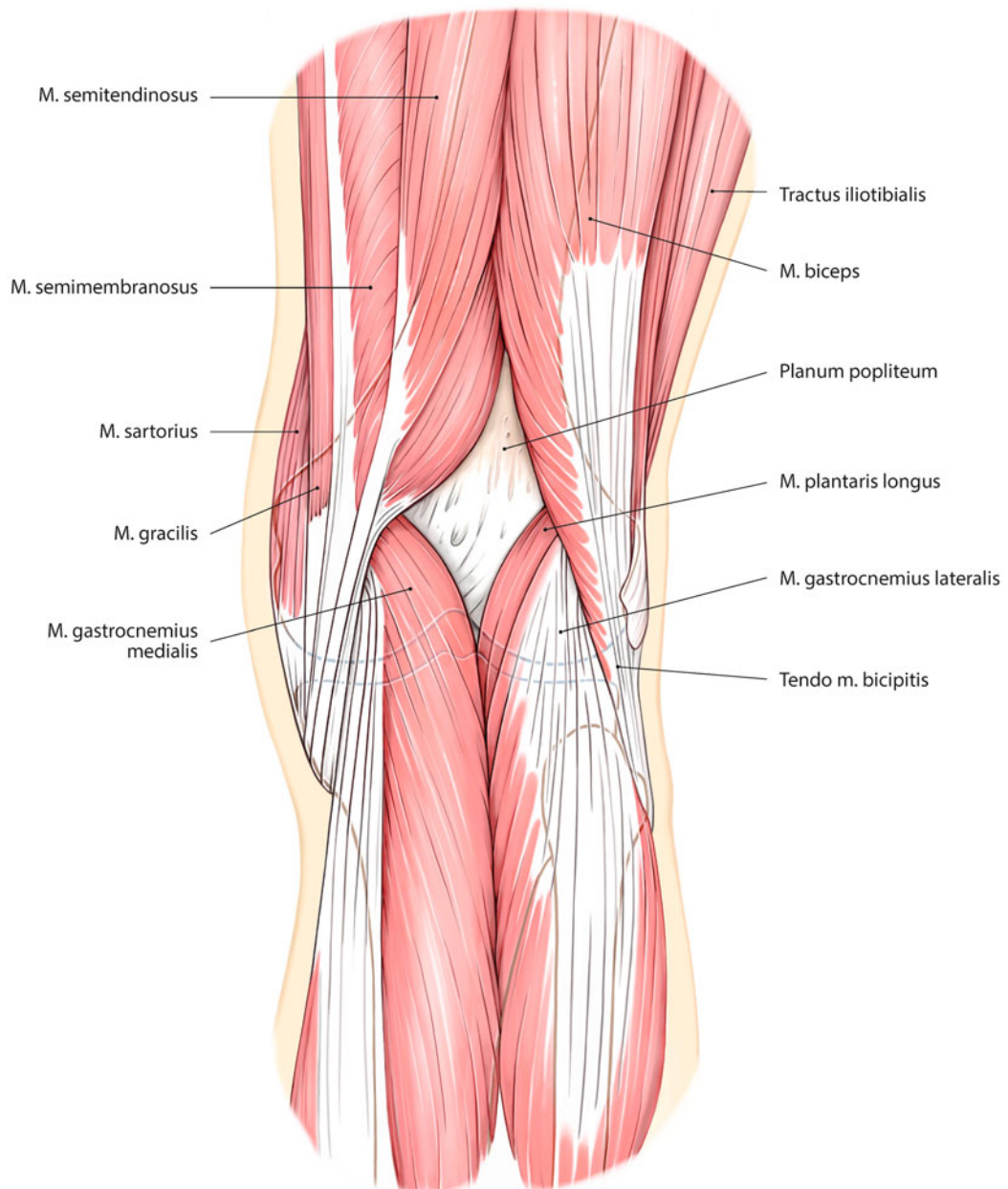
Etwas verwirrend mag es sein, dass die anatomischen Begriffe Lig. popliteum obliquum und Lig. popliteum arcuatum erscheinen. Beide Strukturen liegen in der hinteren Gelenkkapsel, welche der Fossa poplitea zugewendet ist, und daher kommt die gemeinsame Bezeichnung »popliteum« für beide Ligamente. Das Lig. popliteum obliquum ist aber in Wirklichkeit einer der fünf Sehnenzüge des M. semimembranosus und gehört funktionell zum sog. »Semimembranosuseck«, während das Lig. popliteum arcuatum zum Sehnenkomplex des M. popliteus und damit in den capsuloligamentären Komplex des Funktionssystem des sog. »Popliteusecks« gehört (■ Abb. 1.1, ■ Abb. 1.2, ■ Abb. 1.3, ■ Abb. 1.4, ■ Abb. 1.5).



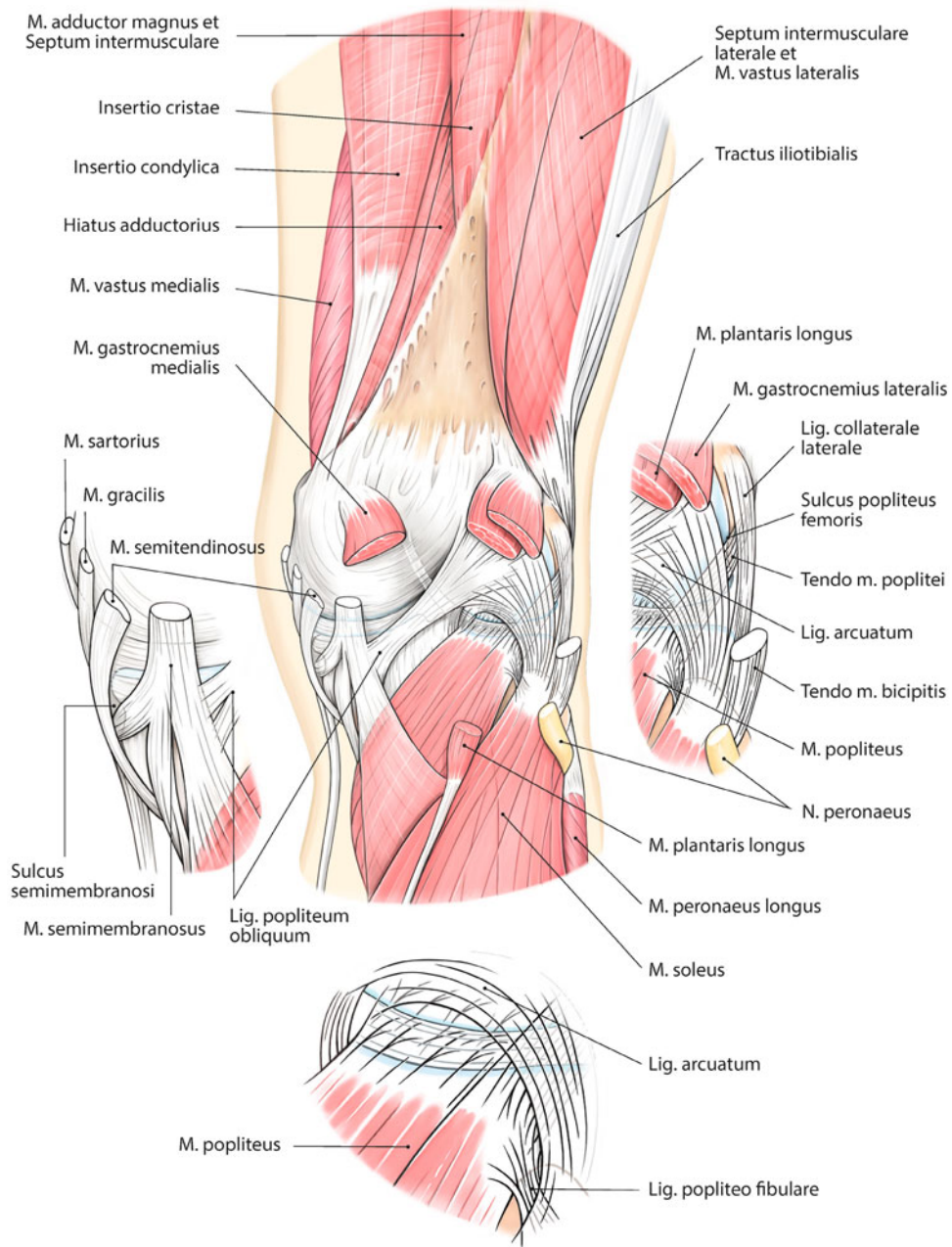
■ Abb. 1.2 Das Kniegelenk und seine wichtigsten anatomischen Strukturen in der Ansicht von medial



■ Abb. 1.3 Das Kniegelenk und seine wichtigsten anatomischen Strukturen in der Ansicht von lateral



▣ **Abb. 1.4** Das Kniegelenk und seine wichtigsten anatomischen Strukturen in der Ansicht von dorsal



▣ Abb. 1.5 Das Kniegelenk und seine wichtigsten anatomischen Strukturen der Tiefenschicht in der Ansicht von dorsal

1.2 Kinematik

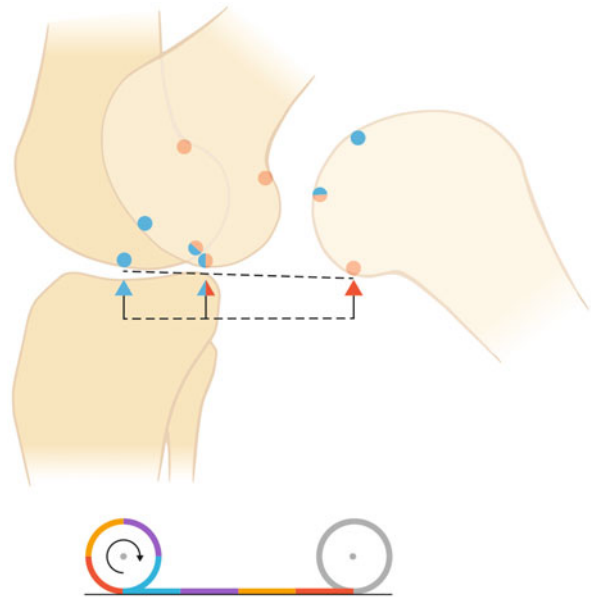
1.2.1 Kinematik des Roll-Gleit-Prinzips

Nach der allgemeinen Überlieferung sind es die Gebrüder Weber (Menschik 1974, 1975, Strasser 1917) gewesen, welche 1836 erstmals die Kombination von Drehgleiten und Rollbewegung beschrieben haben. Strasser (Strasser 1917) befasste sich 1917 eingehend mit dieser Problematik und später haben Groh (1955), Kapandji (1970), Frankel (1971), Menschik (1974, 1975), Huson (1970), Nietert (1975) sowie Goodfellow und O'Connor zur Verfeinerung der Kenntnisse gegeben.

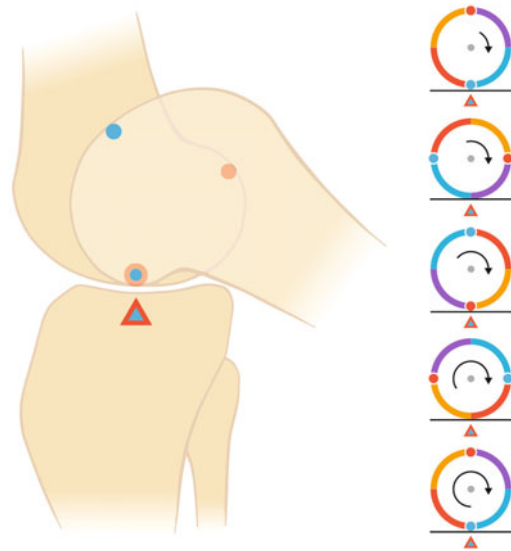
Interessanterweise klafft eine große zeitliche Lücke zwischen den präzisen Erkenntnissen der Anatomen des 19. Jahrhunderts und den Forschern der Gegenwart. Die auf die Makroform und Funktion konzentrierte Darstellung der Anatomen fand vermutlich zunächst weder eine Anwendungsmöglichkeit in der praktischen Medizin, noch in der Chirurgie und Orthopädie, sodass dieses Wissen während der folgenden Phase der anatomischen Mikroerforschung aller Strukturen weitgehend in Vergessenheit geraten ist. Erst der jetzige Bedarf für praktische Anwendungsmöglichkeiten verwies die Forschung wieder auf diese alten Erkenntnisse. So waren es die Probleme der Exoprothesen bei Groh (1955), der Endoprothesen bei Nietert (1955), allgemeine Grundsatzüberlegungen bei Kapandji und Huson (1970) und schließlich Grundsatzfragen und spezielle Endoprothetikprobleme bei Menschik (1974, 1975) sowie Goodfellow und O'Connor (1978), die den Anlass für weitere Forschung bildeten. Erst jüngste MRT-Messungen (Pinskerova et al. 2004) und in-vivo-Kinematik durch Fluoroskopie (Freeman und Pinskerova 2005) haben die Kinematik des Kniegelenks aus den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts bestätigt. Allerdings wurden auch hier interindividuelle Schwankungen sowie Unterschiede zwischen Messungen an Kadavern und an Probanden evident. Die aktuelle Sportmedizin und die allgemeine Traumatologie können von diesen Beobachtungen für die Beurteilung und Behandlung des verletzten Kniegelenks nur profitieren.

Man ist sich darüber einig, dass das Hauptprinzip der Bewegung zwischen Femur und Tibia eine Roll-Gleit-Bewegung ist. Im Detail wird es aber schon schwieriger, das Ausmaß der Vermischung von Rollen und Gleiten in den einzelnen Bewegungsphasen genau zu erkennen, weil die Bewegungen der Flexion/Extension in der sagittalen Hauptebene durch die automatische Initial- und Schlussrotation und die willkürliche Rotation überlagert werden.

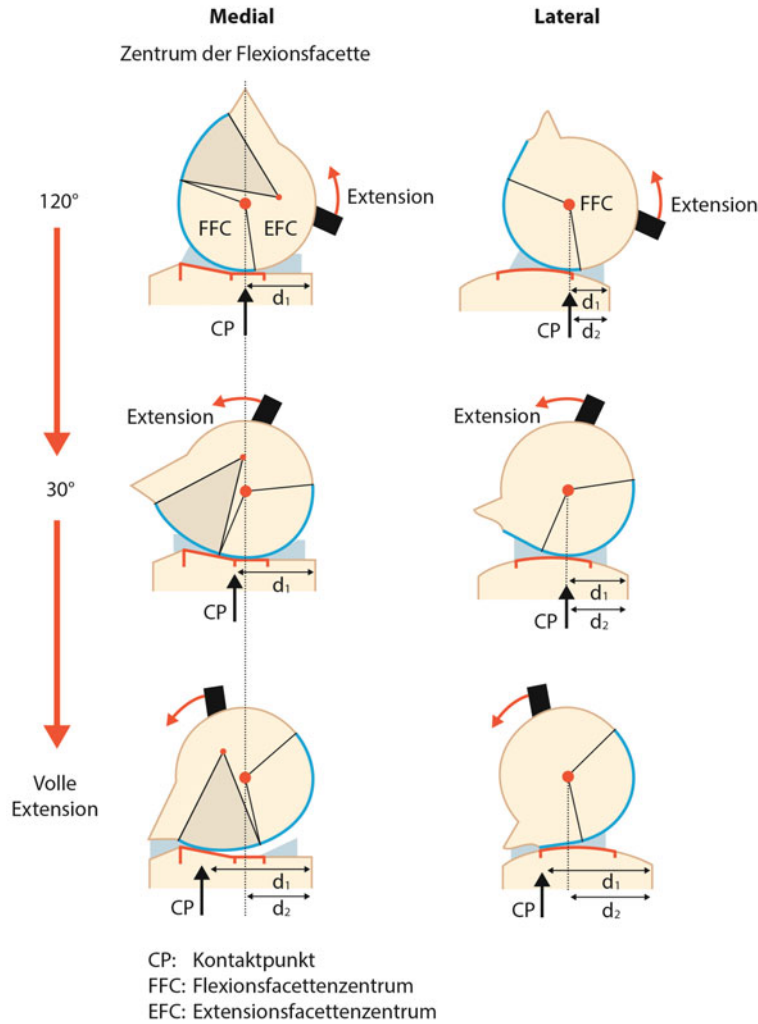
Reduziert man das Problem vorerst auf das einer einzigen Ebene, der Sagittalebene, dann kann man das Rollen (Abb. 1.6), das Gleiten (Abb. 1.7) und die Vermischung zum Rollgleiten (Abb. 1.8) leicht demonstrieren und verständlich machen.



■ **Abb. 1.6** Bewegung des Femurs gegenüber der Tibia während des Flexionsablaufs mit den theoretischen Auflagepunkten, wenn es sich um eine **reine Abrollung** handeln würde. Das Femur würde über das Tibiaplateau hinausrollen. Tibialer und femoraler Kontaktpunkt bei Extension; bei ca. 45° Flexion, bei 135° Flexion



■ **Abb. 1.7** Bewegung des Femurs gegenüber der Tibia während des Flexionsablaufs mit theoretisch einzigem Auflagepunkt, wenn es sich um ein **reines Gleiten** handeln würde, wie bei dem sich über einem einzigen Auflagepunkt drehenden Rad (rechts). Dabei würde die Femurmetaphyse bei 130 Flexion auf der hinteren Tibiakopfante aufschlagen



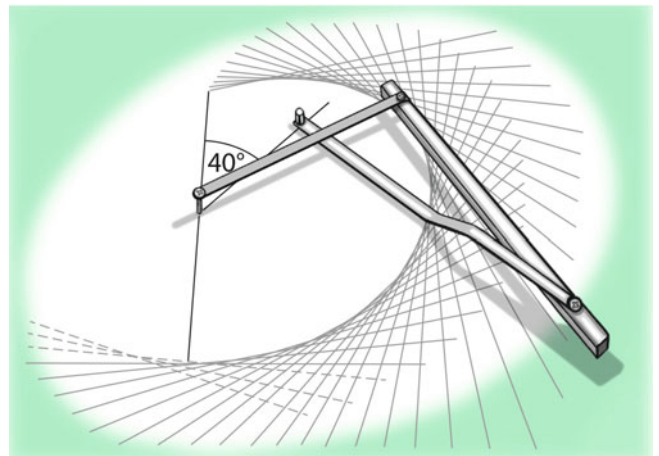
■ **Abb. 1.8** Bewegung des Femurs gegenüber der Tibia im Verlauf der vollen Flexion in die Extension mit den entsprechenden Auflagepunkten (CP: Kontaktpunkt), getrennt für das mediale und laterale Kompartiment. Da es sich um die **Kombination aus Rollen und Gleiten** handelt, ändern sich die Drehzentren während der Bewegung. (Nach Pinskerowa et al. 2004)

1.2.2 Modell der überschlagenen Viergelenkkette

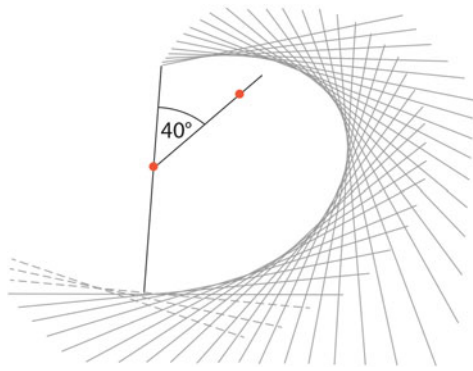
Wie Kapandji (1970), Huson (1970) und Menschik (1974, 1975) die früheren Erkenntnisse mit Figuren eindrücklich darstellten, ist das System der überschlagenen Viergelenkkette das elementare Bauprinzip der Kinematik des Kniegelenks.

Das ursprüngliche, 2-dimensionale Modell der Viergelenkkette ist in ■ Abb. 1.9 dargestellt:

Es besteht aus zwei Stangen, die wie Uhrzeiger drehbar sind und auf einer Unterlage fixiert werden. Die beiden Fixationspunkte müssen auf einer Geraden liegen, welche die Längsachse in einem der Fixationspunkte in einem Winkel von 40° schneidet. Die eine der sich überkreuzenden Stangen ist in dem Verhältnis länger als die andere, wie das vordere Kreuzband i. d. R. länger ist als das hintere. Am anderen Ende der Stangen wird zwischen diesen ein bewegliches Vierkantplexiglas befestigt. Das Plexiglasstück entspricht der sog. Koppel. In jeder beliebigen Position kann man entlang der Koppel eine Gerade ziehen und erhält schließlich eine Kurve, die aus diesen Tangenten resultiert.



■ **Abb. 1.9** Modell einer überschlagenen Viergelenkkette. Vereinfachung der Kreuzbänder als starre Stangen, welche zu einer Senkrechten in einem Winkel von 40° versetzt gelenkig befestigt sind. Das Tibiaplateau wird hier als Verbindungsstück der beiden Stangen dargestellt. Durch Konstruktion einer Geraden bei den jeweiligen Winkelstellungen entsteht eine Kurve, welche der Krümmung des dorsalen Abschnitts einer Femurkondylenrolle entspricht

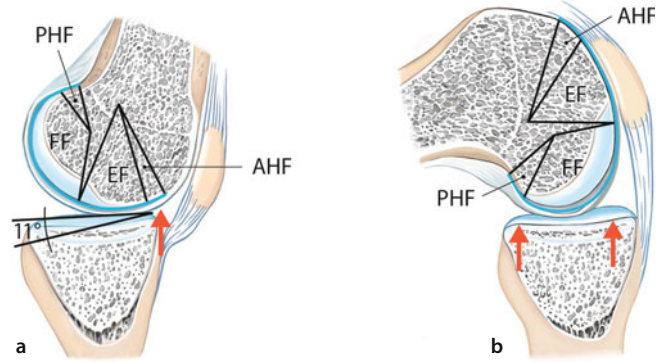


■ **Abb. 1.10** Kurve, wie sie durch die Summation der einzelnen Geraden (■ Abb. 1.9) durch Festlegung der beiden Aufhängungspunkte in einem definierten Winkel entsteht

Diese sog. Koppelhüllkurve (■ Abb. 1.9) entspricht weitgehend der Form eines Sagittalschnittes durch die dorsale Hälfte einer Femurkondylenrolle (■ Abb. 1.10).

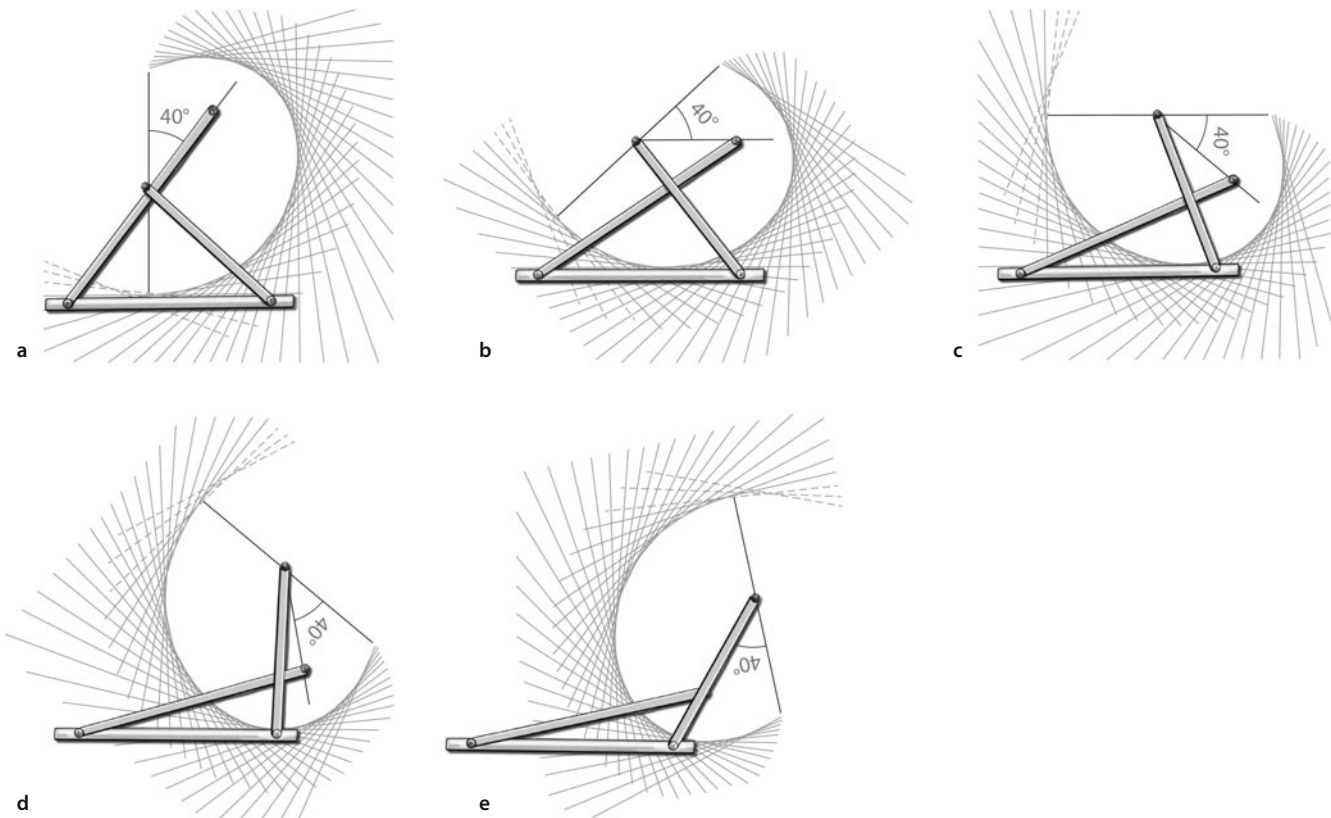
Wenn man als Koppel nicht eine gerade, sondern eine konkave oder konvexe Verbindung, wie sie den beiden Tibiaplateauhälften entspricht, einsetzen würde, dann wäre die Annäherung der Form dieser neuen Koppelhüllkurve an jene Form der natürlichen Femurrollen optimal. Dies gilt, wie bereits beschrieben, nur für die Theorie in einer einzigen Bewegungsebene ohne Berücksichtigung der Rotationsfreiheit.

An diesem Modell lässt sich auch die zwangsläufige Verschiebung der Auflagepunkte demonstrieren. Ob man nun die Koppel

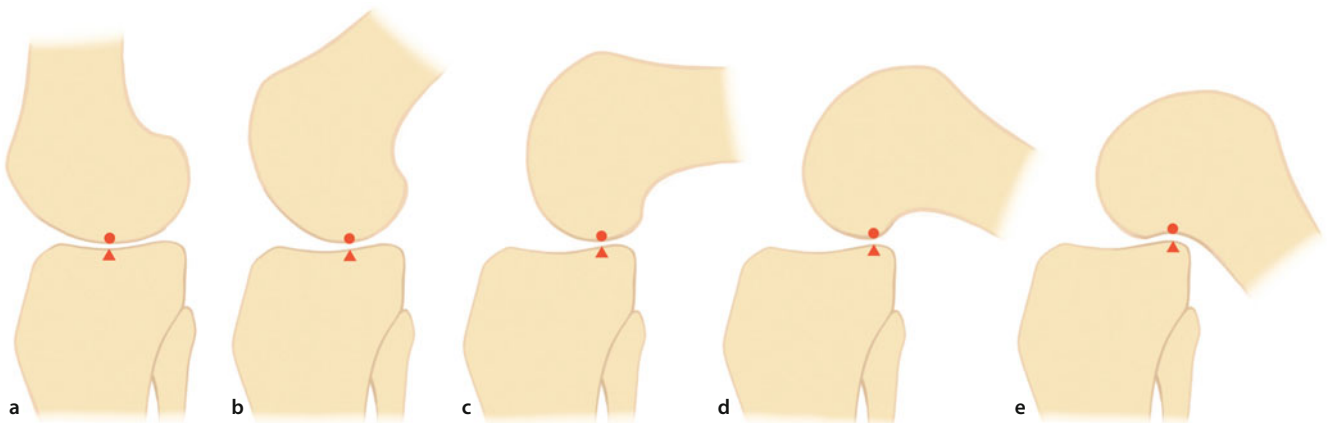


■ **Abb. 1.12a,b** Darstellung der Kontaktpunkte und Rotationszentren mit den zugehörigen Facetten (AHF: Anterior Horn Facette; EF: Extension Facette; FF: Flexion Facette; PHF: Posterior Horn Facette) während der Aktivbewegung für das mediale Kompartiment (nach Pinskerova et al. 2004). Es ergeben sich lateral gegenüber medial für die meisten Kniegelenke deutlich stärkere Verschiebungen sowohl der Kontaktpunkte, als auch der Rotationszentren. Die Pfeile deuten auf die Kontaktübertragungspunkte durch die Menisken

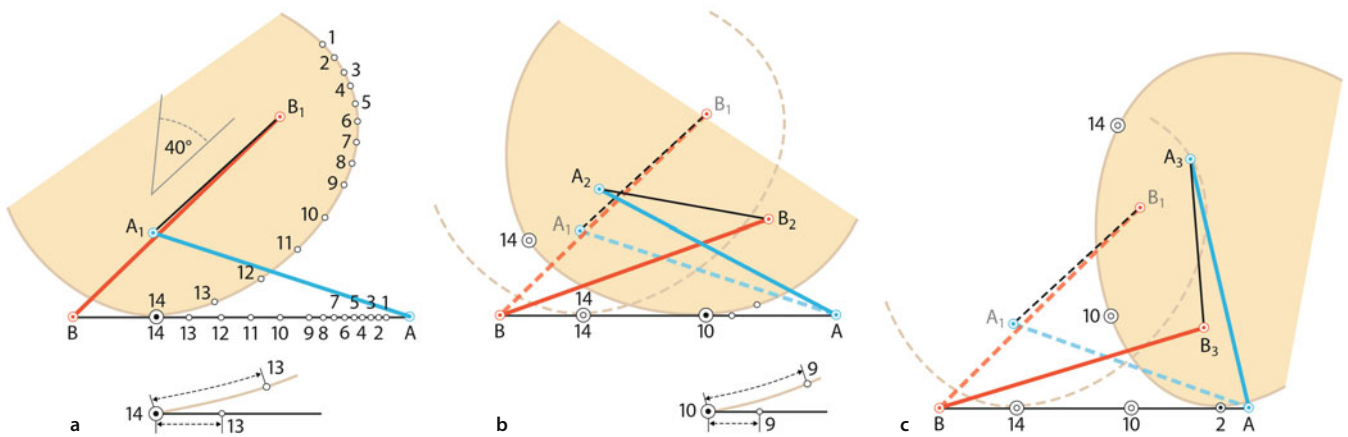
selber (■ Abb. 1.11) bewegt oder die als Resultat erhaltene Hüllkurve bei horizontal festgestellter Koppel, bleibt für die Bewegungsanalyse genau gleich. Bei horizontal festgehaltener Koppel (■ Abb. 1.11) wird die systemimmanente Rückverlagerung des Kontaktpunktes auf der Koppel viel augenfälliger. Als weiterer Vergleich dazu sind es (■ Abb. 1.12) jetzt die eingesetzten Silhouetten von Tibia und Femur, die zur Darstellung der natürlichen



■ **Abb. 1.11a-e** Phasen des Bewegungsablaufs mit der überschlagenen Viergelenkkette bei feststehender senkrechter Längsachse



■ **Abb. 1.13** Im Vergleich zum konstruierten Ablauf in ■ Abb. 1.11 ist hier der natürliche Bewegungsablauf mit gegenseitiger Auflagenposition von Femur und Tibia dargestellt



■ **Abb. 1.14a–c** Drei Phasen aus dem Roll-Gleit-Bewegungsablauf am überschlagenen Viergelenkmodell, wobei die jeweils darunterliegenden Teilzeichnungen das Ausmaß der Roll-Gleit-Distanz vom Femur zur Tibia darstellen (a). Zu Beginn der Flexion ist der Weg am Femur nahezu doppelt so groß wie an der Tibia und am Ende der Flexion etwa 4mal größer als derjenige an der Tibia. A₁, A₂, A₃ Ansatzpunkt Lcp am Femur, A Ansatzpunkt Lcp an der Tibia, B₁, B₂, B₃ Ansatzpunkt Lca am Femur, B Ansatzpunkt Lca an der Tibia

Rückverlagerung des Auflagepunktes der Gelenkflächen während der Flexion dienen. Unter diesen Bedingungen ist eine Flexion auch möglich, ohne dass dorsal am Tibiaplateau der Femurschaft am Ende der Flexion aufschlägt (■ Abb. 1.7). Schon Meyer war 1853 der eigenartige Dorsalüberhang des Tibiaplateaus aufgefallen: Hiermit ist eine zwingende Erklärung für diese Formphänomene gefunden.

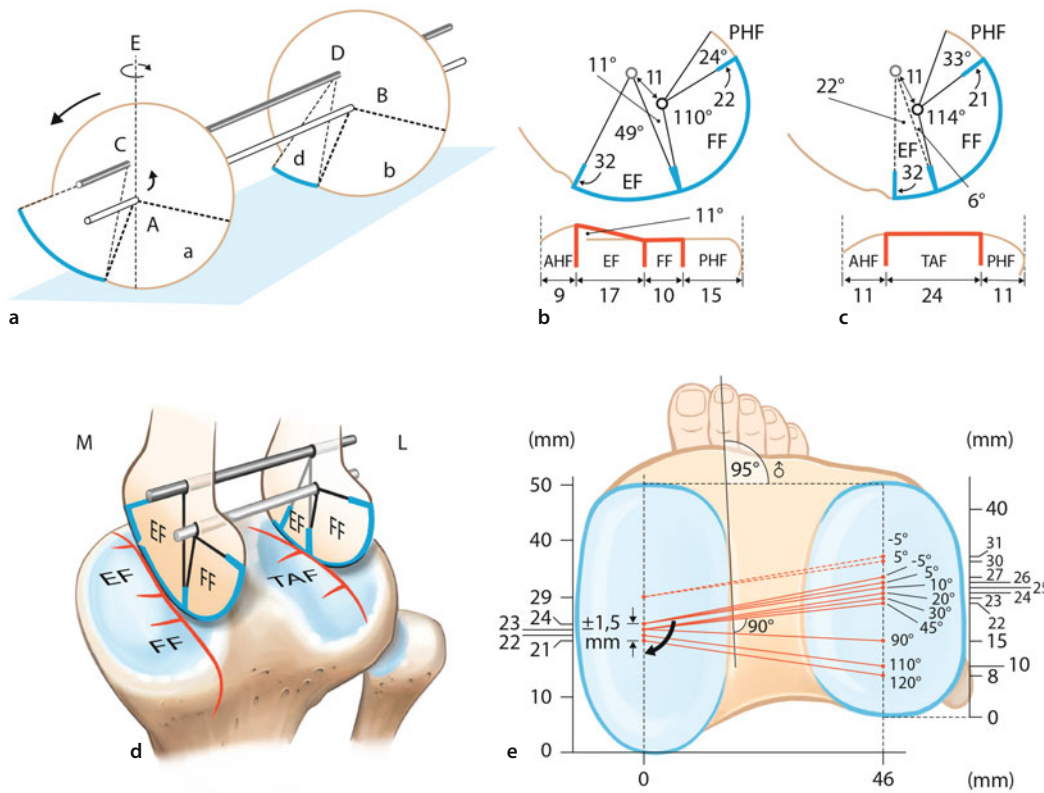
1.2.3 Ungleiche Vermischung des Rollgleitens

Die genaue Aufzeichnung der Kontaktpunkte ergibt, dass nicht in jeder Phase der Flexion das Verhältnis des Rollgleitens gleich bleibt. Auf das röntgenologisch seitlich erfasste Kniegelenk projiziert entspricht dieses einem Verhältnis von ungefähr 1:2, um gegen das Ende der Flexionsbewegung bei etwa 1:4 zu liegen (■ Abb. 1.13).

Neuere, MRT-basierte Untersuchungen konnten die Formvariabilität der medialen und lateralen Kondyle weiter spezifizie-

ren (Freeman et al. 2005, Iwak et al. 2000, Pinskerova et al. 2003, ■ Abb. 1.15): Demnach kann man die mediale Femurkondyle in zwei Kreisbögen und das mediale Tibiaplateau in zwei korrespondierende Kontaktstrecken aufteilen. Die ventralen Anteile artikulieren dabei in Extension, die dorsalen in der Flexion. Bei ca. 20 Grad Beugung, nach der automatischen Rotation, kommt es zum sprunghaften Wechsel der beiden Bewegungssegmente. Die mediale Femurkondyle bewegt sich bis 110 Grad Beugung nur wenig in antero-posteriorer Richtung.

Demgegenüber kommt es lateral zu einer Roll-/Gleitbewegung der Femurkondylen mit dorsal Verschiebung des lateralen Femur. Die laterale Femurkondyle lässt sich nahezu vollständig mit einem Kreis umfahren, der dem dorsalen Kreisbogen der medialen Femurkondyle entspricht. Die artikulierende Tibiagelenkfläche ist demgegenüber flach (■ Abb. 1.14a). Verschiedene der Untersuchungen zur Klärung von Form und Bewegungsablauf wurden in Hinblick auf die Schaffung von Gelenkprothesen gemacht. Die automatische Initialrotation bzw. Schlussrotation wurde oft nicht mit einbezogen.



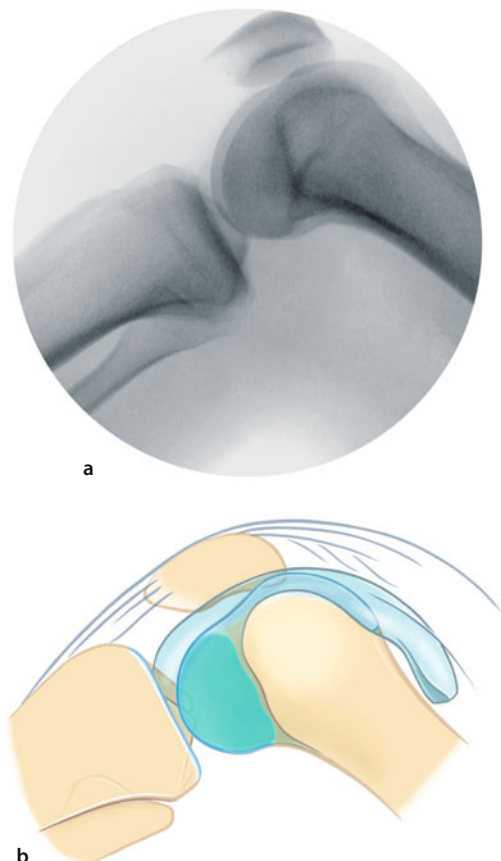
■ **Abb. 1.15a–e** Darstellung der Kontaktpunkte und Rotationszentren während der Aktivbewegung (nach Pinskerowa et al. 2003). Es ergeben sich lateral für die meisten Kniegelenke deutlich stärkere Verschiebungen, sowohl der Kontaktpunkte als auch der Rotationszentren

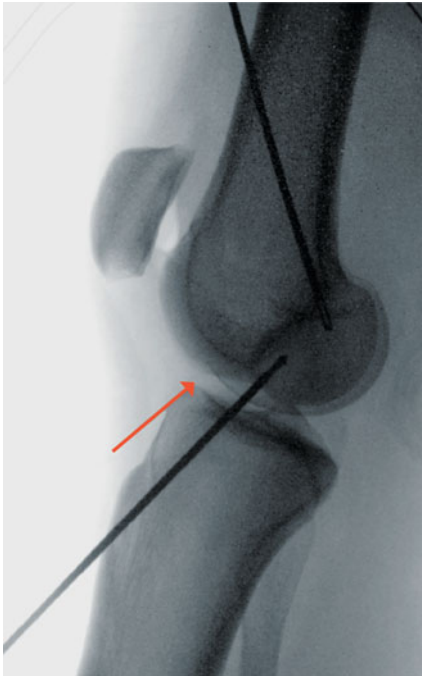
1.2.4 Kinematik und anatomische Form der Kondylenrolle

Insbesondere hinsichtlich der Formgebung der lateralen Kondyle bestehen Schwankungen, die sich auf die Kinematik des individuellen Kniegelenks niederschlagen (Iwaki 2000): So fehlte bei einer MRT-Analyse an der lateralen Kondyle bei 2 von 6 untersuchten Kniegelenken ein zusätzlicher ventraler Kreisbogen, sodass die sprunghafte Verlagerung der Rotationsachse hier nicht festgestellt werden konnte. Man muss dabei bedenken, dass die individuell unterschiedlichen Längenrelationen vom vorderen zum hinteren Kreuzband mit einer jeweils anderen Koppelhüllkurve andere Kondylenformen bedingen.

Beim Vergleich von Röntgenbildern kann man feststellen, dass tatsächlich nur der dorsale Anteil der Femurkondylenrolle dieser Gesetzmäßigkeit unterliegt und dass deren Einfluss dort aufhört, wo die femoropatellare Gelenkfläche beginnt (■ **Abb. 1.16**).

■ **Abb. 1.16** Röntgenbild (a) und dazugehörige Skizze (b), welche veranschaulichen, welcher Teil der Femurkondylenrolle seiner Form nach dem Gesetz der überschlagenen Viergelenkkette unterworfen ist. Dieser Teil entspricht genau dem mit der Tibia artikulierenden Teil des Femurs, während der proximal davon gelegene Teil, welcher mit der Patella artikuliert, anderen Gesetzmäßigkeiten für die Formgebung folgt. Man sieht hier nebenbei sehr klar, wie der Apex patellae ganz extraartikulär liegt und als Zapfen ins Lig. patellae hineinragt





■ **Abb. 1.17** Röntgenbilder eines Genu recurvatum während der Kreuzbandrekonstruktion mit einliegenden Zieldrähten zur Prüfung eines pathologischen Impingements des Transplantats. Die Überstreckung findet nicht als »Hineingleiten« der femoropatellaren Gelenkfläche statt, sondern durch ein Abknicken im Sulcus terminalis (Pfeil)

Kommt es zu einer Überstreckung, dann erfolgt eine solche als Abknickung im Grenzsulcus der Kondylenrolle des Femurs zwischen femorotibialer und femoropatellarer Gelenkfläche (Sulcus terminalis) und nicht als eine Fortführung des Drehgleitens (■ Abb. 1.17).

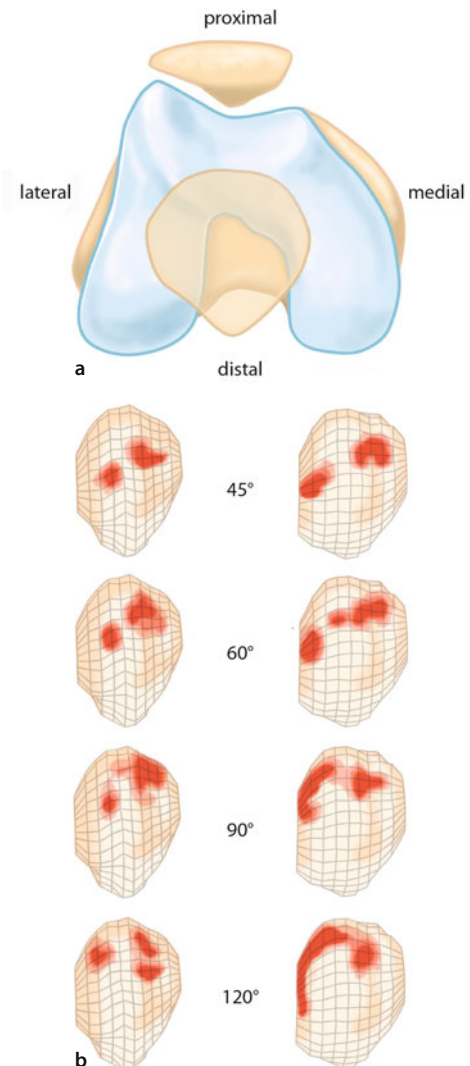
Bei instabilen Kniegelenken mit vorderer Kreuzbandinsuffizienz und entsprechender Überstreckbarkeit findet sich – entweder als frische Läsion oder als chronische Druckfolge – eine Impression, welche schon von Strasser (1917) als Impressio terminalis bezeichnet worden ist. Dieses Phänomen kann auch beim genuin schlaffen und hypermobilen Kniegelenk oftmals mit einem sehr ausgeprägten Sulcus terminalis in analoger Weise gefunden werden.

1.2.5 Überlagerung des Patellagleitlagers an der Kondylenrolle

Ventral von diesem Sulcus oder dieser Impressio terminalis befindet sich dann eine nur mit der Patella artikulierende Knorpel­fläche am Femur, die wie eine Trochlea gestaltet ist. Am Knie des Menschen artikuliert die Patella nicht nur mit der rein patel-



■ **Abb. 1.18** Transversalschnitt durch das Kniegelenk auf der Höhe der Kondylenrolle mit dem femoropatellaren Gleitlager. Die Patella liegt auf diesem Präparat nicht zentriert in der Trochlea des Femurs, sondern ist lateralisiert, wie dies auch physiologisch unter Normalrotation auftritt. (Ficat beschrieb dies als »malposition externe de la rotule, MER«, Ficat 1962). Der laterale Teil steht regelmäßig unter größerem Auflagedruck als die mediale Facette. Medial kann gelegentlich sogar ein freier Raum zwischen Patella und Femur bestehen, in welchem eine spezielle Plica synovialis, die Plica alaris medialis (Pfeil), Platz findet (Präparat: v. Hochstetter)



■ **Abb. 1.19a,b** Position der Patella in Relation zur Femurgelenkfläche. A Bei Extension artikuliert die Patella in einem rein femoropatellaren Bereich; B bei voller Flexion artikuliert sie hingegen auch mit den Kondylenrollen des eigentlichen femorotibialen Bereichs (a). Die Kontaktfläche retro­patellar wandert während der Passivbewegung zwischen 45 und 120 Grad geringfügig nach kranial (b). (Nach Heegaard et al. 1995)