

## Tibiamarknagelung mit dem Expert Tibia Nagel®

Matthias Hansen<sup>1</sup>, René El Attal<sup>2</sup>, Jochen Blum<sup>1</sup>, Michael Blauth<sup>2</sup>, Pol Maria Rommens<sup>3</sup>

### Zusammenfassung

#### Operationsziel

Übungsstabile Osteosynthese von Unterschenkelfrakturen mit Wiederherstellung der Achsenverhältnisse, Länge und Rotation der Tibia. Zuverlässige Knochenbruchheilung bei offenen und geschlossenen Frakturen nach frühfunktioneller Übungsbehandlung mit Erhalt der Gelenkbeweglichkeit.

#### Indikationen

Geschlossene und offene isolierte Tibia- und Unterschenkelchaftfrakturen (AO 42).

Extraartikuläre Frakturen der proximalen oder distalen Tibia (AO 41 A2/A3; AO 43 A1/A2/A3).

Segmentfrakturen der Tibia.

Intraartikuläre Frakturen der proximalen oder distalen Tibia (AO 41 C1/C2; AO 43 C1/C2) in Verbindung mit weiteren Implantaten.

Stabilisierung bei und nach Segmenttransport/Kallusdistraction an der Tibia.

#### Kontraindikationen

Patienten in inoperablem Allgemeinzustand.

Kniebeugefähigkeit von weniger als 90°.

Weichteilinfekt im Bereich des prätibialen Nageleintritts. Markraumphlegmone der Tibia.

Komplexe Frakturen der proximalen und/oder distalen Gelenkfläche mit Impression.

#### Operationstechnik

Wenn möglich, geschlossene Reposition der Tibiafraktur, evtl. mit Einsatz von Repositionshilfen über Stichinzisionen oder in offener Technik. Lagerung auf einem röntgendurchlässigen Tisch; alternativ kann – je nach persönlicher Präferenz – auch auf dem Extensionstisch oder mit Hilfe eines Rahmens aus Carbonstangen gelagert werden. Eröffnen der proximalen Tibia in Verlängerung des Markraums. Einbringen des Expert Tibia Nagels® in kanülierter oder Freihandtechnik mit oder ohne Aufbohren des Markraums in Abhängigkeit von Fraktur und Weichteilkondition. Kontrolle der Längsachse, Länge und Rotation der Extremität. Distale Verriegelung mit dem röntgendurchlässigen Winkelgetriebe. Gegebenenfalls Beseitigung einer Frakturdiastase durch Rückschlagen des Nagels und proximale Verriegelung über den Zielbügel.

signen Winkelgetriebe. Gegebenenfalls Beseitigung einer Frakturdiastase durch Rückschlagen des Nagels und proximale Verriegelung über den Zielbügel.

#### Weiterbehandlung

Sofortige Bewegungsübungen des Knie- und oberen Sprunggelenks.

Je nach Frakturtyp Mobilisation unter Teilbelastung des Beins mit 20 kg bis zur schmerzabhängigen Vollbelastung an Unterarmgehstützen.

Nach 6 Wochen radiologische Verlaufskontrolle und schrittweise Belastungssteigerung.

#### Ergebnisse

In eine prospektive, internationale multizentrische Studie wurden zwischen Juli 2004 und Mai 2005 insgesamt 181 Patienten mit 186 Frakturen eingeschlossen. 57 dieser Frakturen (30,7%) waren offen, davon 15 Grad I, 32 Grad II und zehn Grad III. Meist handelte es sich um Tibiaschaftfrakturen (36%). Nach 1 Jahr konnten noch 146 (81%) dieser Patienten klinisch und radiologisch nachuntersucht werden. Die Rate an Pseudarthrosen für die gesamte Gruppe lag zu diesem Zeitpunkt bei 12,2% (offene Frakturen 18,2%, geschlossene Frakturen 9,7%). Revisionsoperationen einschließlich Dynamisierungen waren bei 18,8% der Patienten vorgenommen worden. Ohne Berücksichtigung der geplanten Dynamisierungen waren in nur 5,4% Reoperationen notwendig. Eine Fehlstellung in Varus-, Valgus- oder Antekurvationsrichtung von mehr als 5° in mindestens einer Ebene auf postoperativen radiologischen Langaufnahmen lag bei 4,3% der Schaftfrakturen, 1,5% der distalen Frakturen und 13,6% der proximalen Frakturen vor. Bolzenbrüche fanden sich bei 3,2% der Patienten.

#### Schlüsselwörter

Tibia · Fraktur · Intramedullärer Nagel · Expert Tibia Nagel®

Oper Orthop Traumatol 2009;21:620–35

DOI 10.1007/s00064-009-2010-2

<sup>1</sup>Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Klinikum Worms,

<sup>2</sup>Klinik für Unfallchirurgie und Sporttraumatologie, Medizinische Universität, Innsbruck, Österreich,

<sup>3</sup>Klinik für Unfallchirurgie, Johannes Gutenberg-Universität, Mainz.

## Intramedullary Nailing of the Tibia with the Expert Tibia Nail®

### Abstract

#### Objective

Restoration of axis, length, and rotation of the lower leg. Sufficient primary stability of the osteosynthesis for functional aftercare. Early functional aftercare to maintain joint mobility. Good bony healing in closed and open fractures.

#### Indications

All closed and open fractures of the tibia and complete lower leg fractures (AO 42).  
Certain extraarticular fractures of the proximal and distal tibia (AO 41 A2/A3; AO 43 A1/A2/A3).  
Segmental fractures of the tibia.  
Certain intraarticular fractures of the tibia with use of additional implants (AO 41 C1/C2; AO 43 C1/C2).  
Stabilization during and after segmental bone transport or callus distraction of the tibia.

#### Contraindications

Patients in poor general condition (e.g., bedridden).  
Flexion of the knee of less than 90°.  
Infection in the nail's insertion area.  
Infection of the tibial cavity.  
Complex articular fractures of the proximal or distal tibia with joint depression.

#### Surgical Technique

Closed reduction of the fracture. If necessary, use of reduction clamps through additional stab incisions or open surgical procedures. In some cases, additional osteosynthesis procedures are necessary (e.g., screws). Positioning of the patient may be performed on a radiolucent table or a traction table. Opening of the proximal tibia in line with the medullary canal. Cannulated or noncannulated insertion of the Expert Tibia Nail® with or without reaming of the med-

ullary canal depending on the fracture type and soft-tissue condition. Control of axis, length, and rotation. Distal interlocking with the radiolucent drill and proximal interlocking with the targeting device.

#### Postoperative Management

Immediate mobilization of ankle joint and knee joint. Depending on the type of fracture, mobilization with 20 kg partial weight bearing or pain-dependent full weight bearing with crutches.  
X-ray control 6 weeks postoperatively and increased weight bearing depending on the fracture status.

#### Results

In a prospective, international multicentric study, 181 patients with 186 fractures were included between July 2004 and May 2005. 57 of these fractures (30.7%) initially were graded open, 15 of them grade I, 32 grade II, and ten grade III. Most of the fractures (36%) were shaft fractures. After 1 year, 146 patients (81%) could be evaluated clinically and radiologically. The overall pseudarthrosis rate was 12.2% (18.2% for open and 9.7% for closed fractures). The risk for secondary operations or revisions (including dynamization of the nail) was 18.8%. Without consideration of dynamization procedures, revisions were necessary in only 5.4% of all patients. The risk for varus, valgus or antecurvation malalignment of more than 5° in any plane on radiologic long leg views was 4.3% for shaft fractures, 1.5% for distal fractures, and 13.6% for proximal fractures. The implant-specific risk for bolt breakage was 3.2%.

#### Key Words

Tibia · Fracture · Intramedullary nail · Expert Tibia Nail®

### Vorbemerkungen

Die Tibiafraktur stellt die häufigste Fraktur eines langen Röhrenknochens beim Menschen dar. Die spärliche Weichteilbedeckung der anteromedialen Kortikalis des Schafts führt zu einem sehr hohen Anteil offener Verletzungen von bis zu 23,5% der Gesamtentität [6]. Zur Behandlung geschlossener und offener Tibiaschaftfrakturen gilt die Marknagelung als bewährtes Verfahren [3, 18]. Proximale und distale Frakturen weisen bei Verwendung intramedullärer Nägel dagegen öfter primäre Achsenfehlstellungen und sekundäre Korrekturverluste auf [7, 8, 14]. Eine Verbesserung der operativen Ergebnisse hängt sowohl von instrumentellen Faktoren

wie der Nagelgeometrie oder -stabilität als auch von operationstechnischen Details bei der Repositions- und Nagelinsertionstechnik ab.

Hinsichtlich der implantatbezogenen Stabilitätsfaktoren sind vor allem die Verriegelungsgeometrie und -stabilität technisch zu lösende Aufgaben. Ziel bei der Entwicklung des Expert Tibia Nagels® (Fa. Synthes, Umkirch) war es, durch eine verbesserte Verriegelungsgeometrie des Implantats, verglichen mit bisher markteingeführten Implantaten (z.B. UTN, Fa. Synthes, Umkirch), eine deutliche Erweiterung des Indikationsspektrums der Unterschenkelmarknagelung in die meta-diaphysären Knochenabschnitte hinein zu ermög-

lichen [11]. Die mechanisch verbesserte Verriegelungsgeometrie proximal sollte hierbei die Primärstabilität des Implantats im Knochenverbund erhöhen und somit sekundäre Frakturfehlstellungen verhindern [7, 10].

Operationstechnische Details und angewandte Techniken werden allerdings nicht zuletzt von situationspezifischen Rahmenbedingungen beeinflusst. Neben additiven Osteosynthesen, wie z.B. Kleinfragmentplatten oder externen Fixateuren, werden bei der Tibiamarknagelung oft auch reponierende und nagelführende Pollerschrauben verwendet [7, 17]. Aufgrund der systemimmanenten technischen Schwierigkeiten stehen in diesem anatomischen Bereich neben dem intramedullären Nagel daher auch alternative Osteosyntheseverfahren zur Verfügung, wobei die (eingeschobenen) winkelstabilen gelenknahen Platten die größte Bedeutung haben [11]. Daher sollte zur Verbesserung der operativen Ergebnisse der Marknagelung zusätzlich zu den genannten Implantatmodifikationen eine optimierte Operationstechnik entwickelt werden, welche vor allem

dem Problem primärer implantatinduzierter Fehlstellungen bei sehr proximalen und distalen Tibiafrakturen gerecht wird.

Obwohl die unaufgebohrte Nagelung von Tibiafrakturen bereits seit vielen Jahren gute klinische Ergebnisse auch bei höhergradig weichteilgeschädigten Frakturen erbringt [18], konnte zunehmend auch in aktuellen prospektiven Studien ein leichter Vorteil der aufgebohrten gegenüber der unaufgebohrten Marknagelung bei geschlossenen Frakturen gezeigt werden [3]. Insbesondere beim Wechsel eines Marknagels zur Therapie einer verzögerten Knochenbruchheilung oder Pseudarthrosenbildung stellt die aufgebohrte Marknagelung eine unabdingbare therapeutische Option dar. Jüngere Laboruntersuchungen erbrachten allerdings Hinweise darauf, dass kanülierte Nagelsysteme, wie sie für die aufgebohrte Marknagelung erforderlich sind, möglicherweise eine dem soliden Nagel gegenüber geringere Infekteresistenz aufweisen [12]. Klinisch konnte dies bisher noch nicht nachvollzogen werden.

### Operationsprinzip und -ziel

Stabile Fixation von Tibiafrakturen bis in die meta-diaphysären Abschnitte hinein und frühzeitige funktionelle Übungsbehandlung. Geschlossene Reposition der Fraktur. Aufsuchen des exakten Nagelinsertionspunkts in Verlängerung des tibialen Markraums an der vorderen Tibiakante ventral der lateralen Eminen-

tia intercondylaris [5]. Eröffnung des Markraums und Implantation eines Expert Tibia Nagels® passender Länge und passenden Durchmessers unter Bildverstärkerkontrolle. Implantation in aufgebohrter oder unaufgebohrter Technik und bis zu fünffache proximale sowie bis zu vierfache distale Verriegelung des Nagels.

### Vorteile

#### Tibiamarknagelung im Allgemeinen

- Stabilisierung des Knochens durch ein Implantat in der Lastachse des Knochens mit hoher biomechanischer Primärstabilität.
- Schonung der frakturumgebenden Weichteile durch intramedulläre Implantatlage.
- Erhalt des Frakturhämatoms durch geschlossene Reposition und Osteosynthese.

#### Expert Tibia Nagel®

- Kanülierung und optional Insertion über einen Führungsdraht.
- Stabilisierung fast aller extraartikulären und auch einiger intraartikulärer Tibiafrakturen möglich.

- Zahlreiche geometrisch verbesserte proximale und distale Verriegelungsoptionen, verglichen mit dem UTN und Tibia-Universalnagel (Fa. Synthes, Umkirch).
- Verbessertes Design der Verriegelungsschrauben (Dual Core, Doppelgewinde), verglichen mit dem UTN und Tibia-Universalnagel (Fa. Synthes, Umkirch).
- Winkelstabilität der proximalsten Verriegelungsschraube.
- Hohe Primärstabilität mit der Möglichkeit einer frühzeitigen postoperativen Bewegungstherapie auch bei sehr proximalen und distalen Frakturen mit kurzen gelenktragenden Fragmenten.
- Aus dem gleichen Grund möglicherweise geringeres Risiko für sekundäre Fehlstellungen als mit bishe-

rigen Implantaten, wie z.B. UTN und Tibia-Universalnagel (Fa. Synthes, Umkirch).

### Nachteile

- Operationsergebnisse bei weit proximalen und distalen Frakturen weiterhin entscheidend abhängig von optimaler Operationstechnik.
- Anteriorer Knieschmerz möglich, wobei weder die Inzidenz noch die Ursache hierfür definitiv geklärt werden konnten [13].
- Höhere Durchleuchtungszeiten als bei offener Reposition und interner Fixation mit konventionellen Platten.

### Indikationen

- Alle geschlossenen und offenen isolierten Tibia- und Unterschenkelschaftfrakturen (AO 42) [9, 15, 16].
- Extraartikuläre Frakturen der proximalen oder distalen Tibia (AO 41 A2/A3; AO 43 A1/A2/A3) [9, 15, 16].
- Intraartikuläre Frakturen der proximalen oder distalen Tibia (AO 41 C1/C2; AO 43 C1/C2) [15] in Verbindung mit weiteren Implantaten.
- Stabilisierung bei und nach Segmenttransport/Kalulusdistraktion an der Tibia.

### Kontraindikationen

- Patienten in inoperablem Allgemeinzustand.
- Kniebeugefähigkeit von weniger als 90°.
- Weichteilinfekt im Bereich des prätibialen Nageleintritts.
- Markraumphlegmone der Tibia.
- Komplexe Frakturen der proximalen und/oder distalen Gelenkfläche mit Impression.
- Offene Wachstumsfugen im Kindesalter.

### Patientenaufklärung

- Allgemeine Operationsrisiken.
- Gefäß- und Nervenschäden, insbesondere der Arteria poplitea und des Nervus peroneus.
- Potentielle Entstehung einer Markraumphlegmone, vor allem bei Verwendung eines kanülierten Nagels [12].
- Krankenhausaufenthalt für ca. 1 Woche.
- Teilbelastung ca. 6 Wochen.
- Arbeitsunfähigkeit ca. 6–12 Wochen.
- Verzögerte oder ausbleibende Bruchheilung.
- Materialermüdung/Materialversagen.

### Operationsvorbereitungen

- Klinische und radiologische Diagnosesicherung mit Darstellung der angrenzenden Gelenke; bei gelenk-

beteiligender Verletzung sollte eine Computertomographie (CT) ergänzend durchgeführt werden.

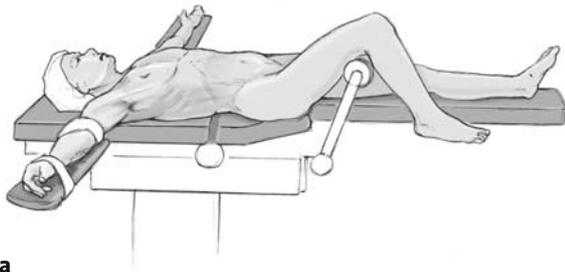
- Ein bestehendes oder drohendes Kompartmentsyndrom sollte klinisch und im Zweifelsfall apparativ ausgeschlossen werden. Bei Vorliegen eines Kompartmentsyndroms steht die unverzügliche und vollständige Faszienpaltung zeitlich im Vordergrund der Therapie.
- Präoperative einmalige Antibiotikagabe.
- Unmittelbar präoperativ Rasur präpatellar und im Bereich der Verriegelung.
- Bestimmung der wahrscheinlichen Nageldimensionen anhand der Röntgenbilder präoperativ mittels Planungsschablonen (erhältlich für konventionelles und digitales Röntgen) oder intraoperativ mittels steriler Röntgenschablonen.
- Bestimmung der Tibiamarkraumachse und Festlegung des optimalen Inzisions- und Nagelinsertionspunkts anhand der tastbaren anterioren Tibiakante und der intraoperativen Röntgenbildgebung [1].
- Bei Verwendung eines Extensionstischs Schlagen einer transkalkanearen Extension.

### Instrumentarium und Implantate

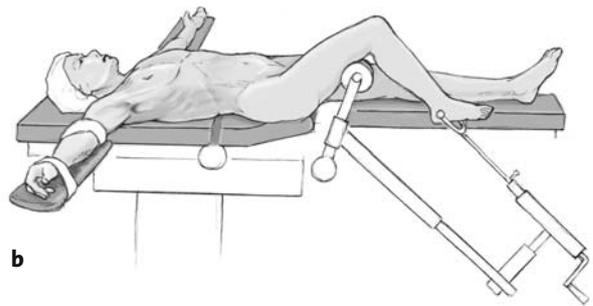
- Knochengrundinstrumentarium mit selbsthaltendem Wundspreizer, scharfe Wundhaken und Langenbeck-Haken, Raspatorium, Elevatorium, Repositionszangen.
- Gegebenenfalls großer Fixateur externe/Distraktor.
- 3,2-mm- und 4,2-mm-Bohrer des Expert Tibia Nagel®-Sets.
- Synream® (Fa. Synthes, Umkirch) und Antrieb für Synream® (nur für aufgebohrte Nagelung).
- Expert Tibia Nagel®-Set. Nageldimensionen:
  - Kanüliert: 255–465 mm Länge, 8–13 mm Durchmesser.
  - Solide: 255–465 mm Länge, 8–10 mm Durchmesser.

### Anästhesie und Lagerung

- Regional- oder Allgemeinanästhesie.
- Rückenlagerung, Bein auf Beinhalter oder Extensionstisch (Abbildungen 1a bis 1c).
- Eine Oberschenkelblutsperrung ist optional und sollte nach Möglichkeit nicht benutzt werden.
- Eine Beugung des Kniegelenks von mindestens 90° ist operationstechnisch günstig. Bei Verwendung des Extensionstischs sollte die Beugung immer so weit erfolgen wie technisch möglich.
- Abdecken des Beins bis oberhalb des Kniegelenks und unterhalb des oberen Sprunggelenks.
- Freie Bildverstärkerdurchleuchtung des gesamten Unterschenkels in beiden Ebenen sicherstellen.



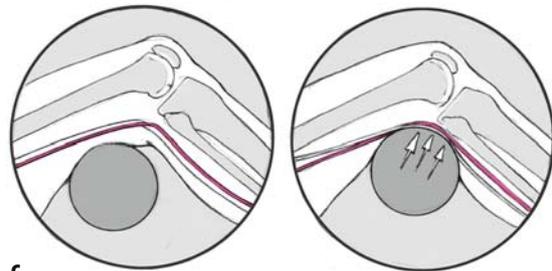
a



b

### Abbildungen 1a bis 1c

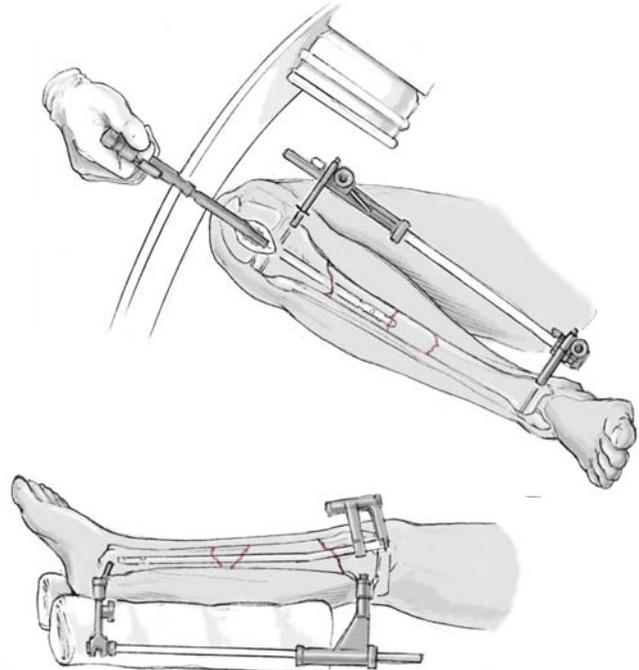
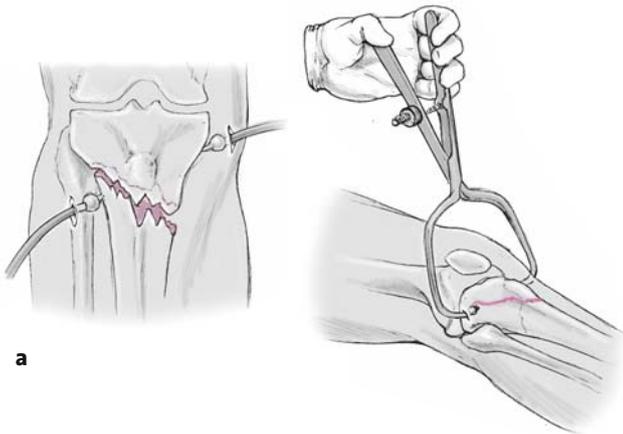
Der Patient kann in Rückenlage auf einem röntgendurchlässigen Operationstisch (a) oder auf einem Extensionstisch (b) positioniert werden. Idealerweise sollte das Kniegelenk mindestens  $90-100^\circ$  flektiert werden können, die Röntgendurchleuchtung muss vom Knie- bis zum oberen Sprunggelenk in beiden Ebenen überlagerungsfrei möglich sein. Beide Arme werden seitlich ausgelagert, und das unverletzte Bein wird ggf. leicht abduziert flach auf dem Fußteil des Operationstischs gelagert. Die Lagerungsrolle unter dem distalen Oberschenkel am verletzten Bein muss unbedingt deutlich proximal der Kniekehle zu liegen kommen, um eine Kompression des Gefäß-Nerven-Bündels zu verhindern (c).



c

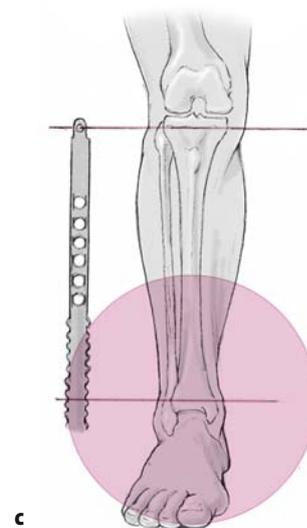
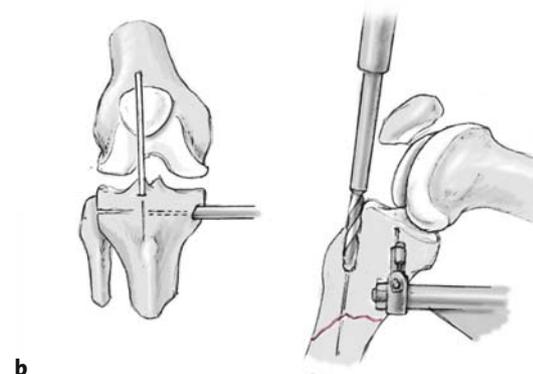
## Operationstechnik

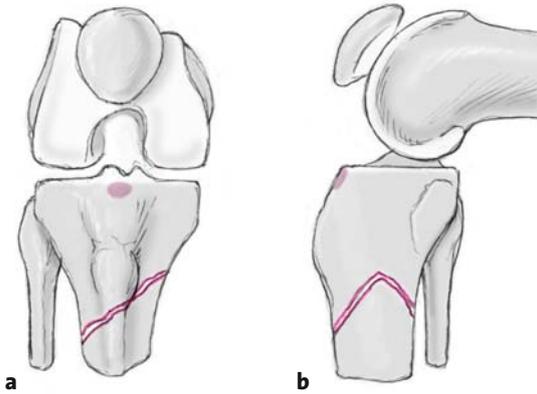
Abbildungen 2 bis 12



### Abbildungen 2a bis 2c

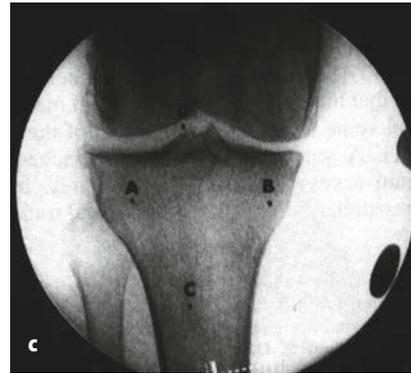
Zu Beginn des Eingriffs sollten vor allem gelenknahe Frakturen reponiert werden. Während sich Schaftfrakturen teilweise mit Hilfe des Implantats oder durch das Implantat selbst einrichten lassen, müssen gelenknahe Frakturen zu Beginn des Eingriffs reponiert und bis nach der definitiven Fixation, d.h. der vollständigen Verriegelung, in dieser reponierten Position gehalten werden. Axialer Längszug am verletzten Bein durch den Extensionstisch oder einen Operationsassistenten führt bereits zu einer ersten groben Reposition. Als statische zusätzliche Repositionshilfen können zudem bevorzugt perkutan eingebrachte Repositionszangen (a), Distraktoren (b) oder der Fixateur externe angewendet werden. Länge und Durchmesser des Expert Tibia Nagels® werden bei korrekter Reposition in konventioneller Technik mit einer Röntgenschablone bestimmt (c). Bei unklarer anatomischer Relation der Frakturfragmente zueinander, z.B. bei höhergradigen Defektfrakturen, kann die Größe mit Röntgenschablone auch an der gesunden Gegenseite bestimmt werden.



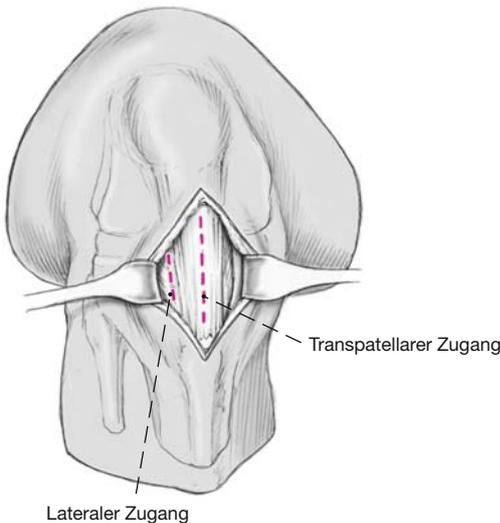


**Abbildungen 3a bis 3c**

Der korrekte Eintrittspunkt des Expert Tibia Nagels® liegt an der vorderen Tibiakante ventral der lateralen Eminentia intercondylaris (a, b) [5]. Dieser Punkt lässt sich nur in der exakten anteroposterioren Ausrichtung des Tibiakopfes mit ca. 50% Überlappung von Fibulaköpfchen und Tibia unter Bildverstärkerkontrolle finden, wobei man zur Visualisierung sehr gut einen Führungsdraht des kanülierten Öffnungsinstrumentari-

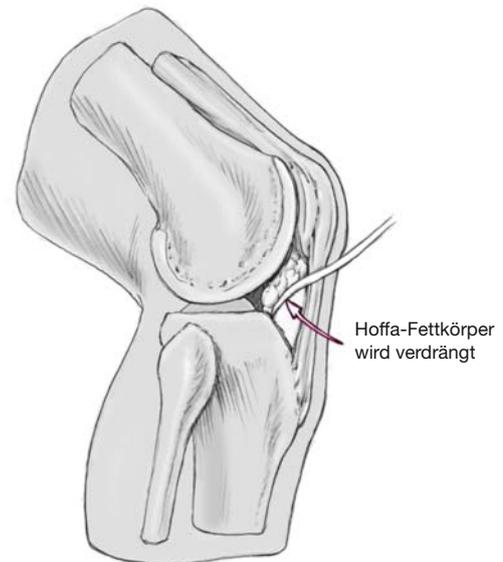


ums verwenden kann (c) [1]. Das Aufsuchen dieses Eintrittspunkts ist vor allem bei proximalen Frakturen der Tibia von herausragender Bedeutung zur Vermeidung nagelinduzierter Fehlstellungen. Wird dieser Punkt nicht exakt gefunden oder der Nagel in schräger Richtung inseriert, kann es zu erheblichen implantatinduzierten Fehlstellungen während der Osteosynthese kommen (vgl. Abbildungen 13a und 13b).



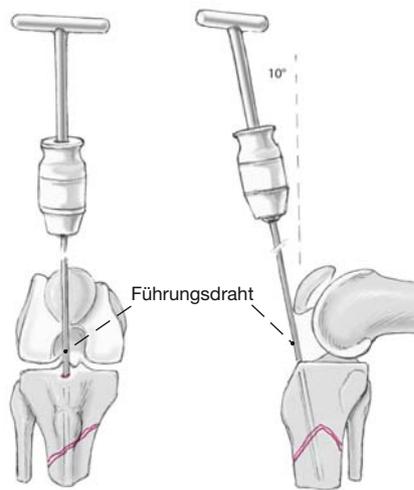
**Abbildung 4**

Längsinzision der Weichteile über dem ermittelten Eintrittspunkt. Das Ligamentum patellae kann hierbei gemäß den o.g. röntgenmorphologischen Orientierungspunkten längs gespalten werden, oder es wird ein medialer oder lateraler parapatellarer Zugang gewählt.



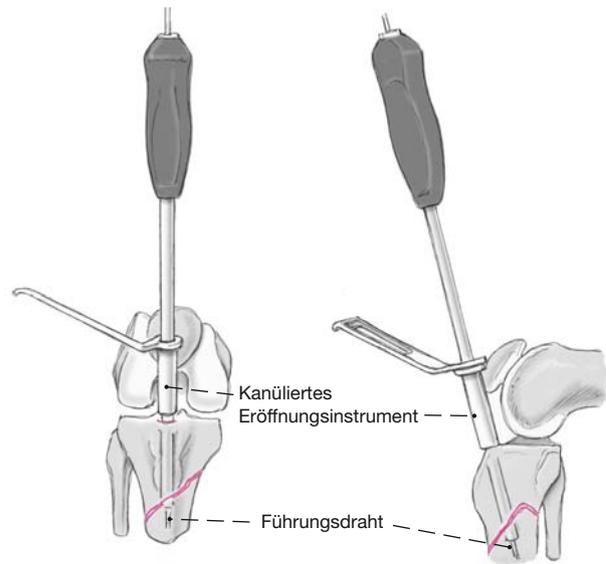
**Abbildung 5**

Nach der Hautinzision und Spaltung des Ligamentum patellae findet man den Hoffa-Fettkörper vor der anterioren kranialen Tibiakante. Er wird mit einem Raspatorium mobilisiert und stumpf nach kraniodorsal verdrängt. Dies schützt die dahinterliegende Gelenkkapsel und verhindert die ungewollte Gelenkeröffnung während der Marknagelung.



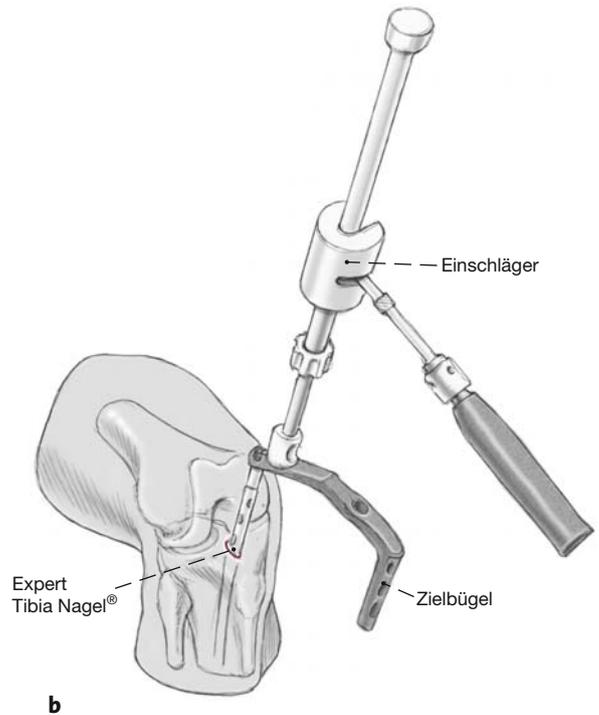
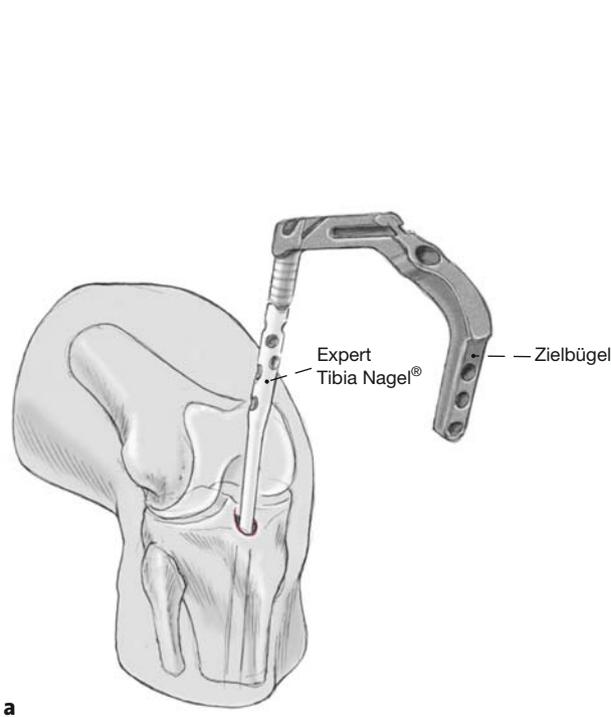
**Abbildung 6**

Der Führungsdraht für das Markraumeröffnungsinstrument wird nach Möglichkeit in einem sagittalen Winkel von 10° zur Tibialängsachse mit drehenden Bewegungen in den Markraum eingebracht. Dieser Winkel entspricht der proximalen Krümmung des Implantats. Mit einer Bildwandlerkontrolle muss eine dorsale Perforation der Tibiakortikalis im Schaftbereich ausgeschlossen werden. Der Draht sollte hierbei mindestens ca. 10 cm tief in die Tibia eingebracht werden, um eine ausreichend stabile Führung des kanülierten Eröffnungsinstrumentariums zu gewährleisten.



**Abbildung 7**

Über den Führungsdraht wird der Tibiamarkraum mit dem kanülierten Eröffnungsinstrument bis auf eine Tiefe von ca. 8–10 cm eröffnet. Anschließend kann bei eröffneter Tibia sowohl in unaufgebohrter als auch in aufgebohrter Technik weiterverfahren werden. Für die aufgebohrte Technik muss nun der Führungsdraht für die Synream®-Bohrköpfe eingebracht werden. Im Fall einer kanülierten Nagelinsertion ohne Aufbohrvorgang, z.B. bei mehrsegmentaler oder Etagenfraktur, kann der entsprechende Führungsdraht ebenfalls verwendet werden und das Auffädeln intermediärer Frakturfragmente erleichtern. Im vorliegenden Beispiel wird der Expert Tibia Nagel® unaufgebohrt und ohne kanülierte Drahtführung verwendet.



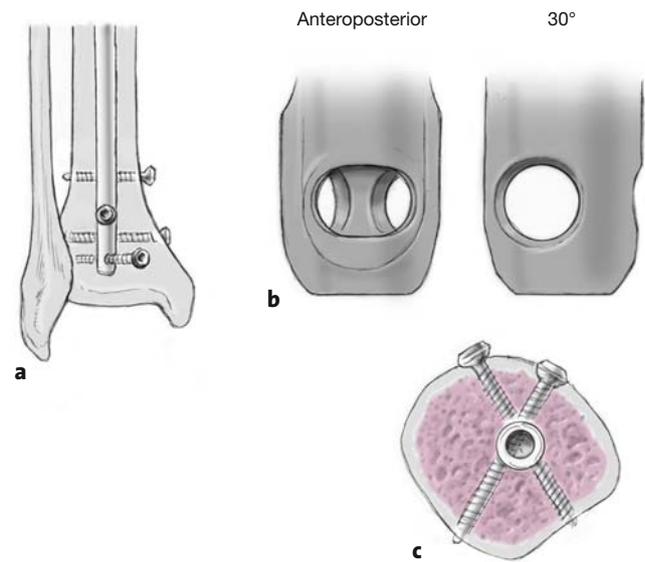
**Abbildungen 8a und 8b**

Manuelles Einbringen des Expert Tibia Nagels® in die Markhöhle unter axialem Druck und ggf. leicht rotierenden Bewegungen (a). Sollte die Nagelinsertion manuell nicht möglich sein, kann mit leichten axialen Hammerschlägen über den Führungsstab gearbeitet werden (b), wobei in jedem Fall die Frakturposition unter Bildwandlerkontrolle in beiden Ebenen fortlaufend zu überprüfen ist. Der Nagel sollte nach distal bis

unmittelbar vor die ehemalige tibiale Wachstumsfuge eingebracht werden, was unter Bildverstärkerkontrolle überprüft werden muss. Zum Verschluss einer Frakturdiastase im Schaftbereich sollte evtl. das Rückschlagen des Nagels zur Kompression der Fraktur bei Auswahl der Nagellänge und proximalen Insertionstiefe eingeplant werden. Ein zu tief eingeführter Nagel kann mit verschiedenen langen Endkappen bis zu 15 mm Länge ausgeglichen werden.

**Abbildungen 9a bis 9c**

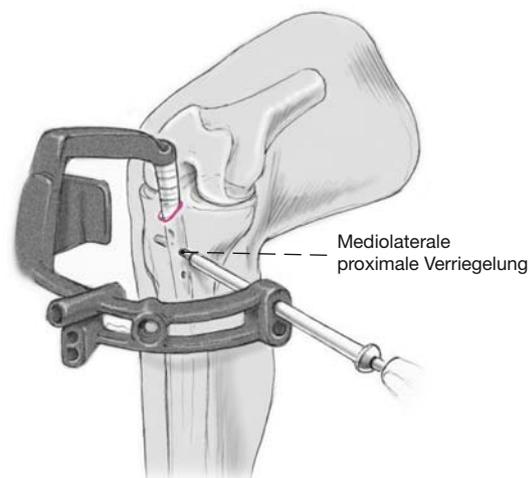
Nach Insertion des Marknagels sollte zunächst distal in Freihandtechnik mit röntgendurchlässigem Winkelgetriebe verriegelt werden. Folgende Möglichkeiten sind vorgesehen: Zweifach mediolateral, einfach anteroposterior und einfach schräg (a). Bei einfachen Schaftfrakturen reicht meist eine doppelte, distale Verriegelung. Bei instabilen oder sehr weit proximal und distal gelegenen Frakturen kann die individuell angepasste mehrfache multidirektionale Verriegelung hilfreich sein, um auch kleine Knochensegmente stabil fixieren zu können. In diesen Fällen sollten drei bis vier Schrauben proximal und distal der Fraktur verwendet werden. In der anteroposterioren Sicht stellt sich dabei das distalste Doppelverriegelungsloch unter Bildverstärkerkontrolle ungewohnt zweigeteilt dar, kann durch eine 30° schräge Bildverstärkereinstellung aber als ein einzelnes rundes Verriegelungsloch eingestellt werden (b). Durch kontrollierte Innen- oder Außenrotation des Bildverstärkers kann somit optional mediolateral oder lateromedial verriegelt werden (c). Die Wahl der individuellen Verriegelungsrichtung sollte sich immer an der vorliegenden Frakturform und der zu erwartenden knöchernen Haltekraft der Verriegelungsschraube orientieren. Bei guter knöcherner Substanz der distalen Tibia ist die von medial nach lateral weisende Verriegelung vorzuziehen, da hierdurch die ventral und lateral der Tibia verlaufenden Sehnen und neurovaskulären Strukturen geschont werden können. Bei anteroposteriorer Verriegelung wird hierbei das kumulative Risiko für eine Verletzung der Extensor-hallucis-longus-Sehne, der Tibialis-anterior-Sehne, der



Arteria tibialis anterior oder des Nervus peroneus profundus mit bis zu 63% angegeben [4]. In jedem Fall muss daher strikt auf eine ausreichend große Hautinzision geachtet werden, welche die sorgsame Präparation in die Tiefe und die Darstellung der Knochenoberfläche durch Einsatz zweier kleiner Langenbeck-Häkchen bis nach Insertion der Verriegelungsschraube ermöglicht.

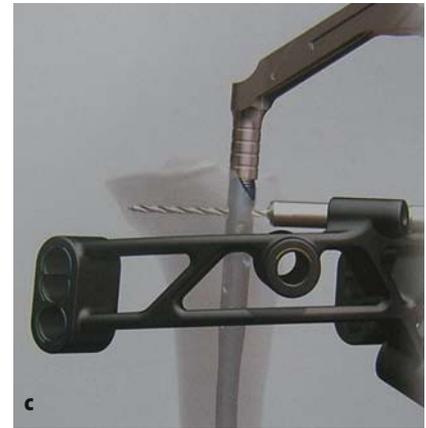
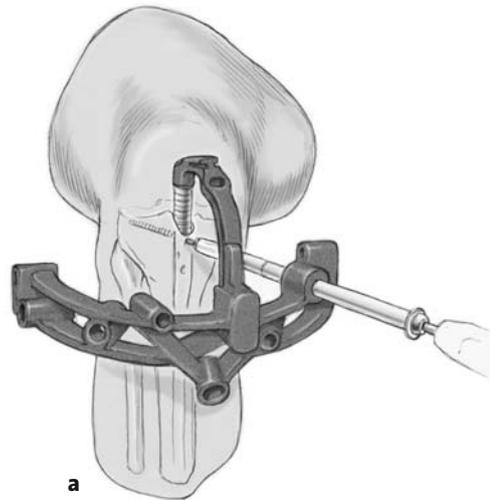
**Abbildung 10**

Nach Beendigung der distalen Verriegelung und einem eventuellen Zurückschlagen des Marknagels zur Beseitigung einer Frakturdiastase kann proximal über den noch einliegenden Zielbügel verriegelt werden. Für Schaftfrakturen reicht es aus, proximal zweifach mediolateral zu verriegeln, wobei das proximale Verriegelungsloch dynamisch oder statisch verwendet werden kann. Hierbei müssen abhängig von der Nagelfarbe farbkodiert entweder grüne (5,0 mm) oder blaue (4,0 mm) Verriegelungsschrauben verwendet werden. Die entsprechenden Öffnungen im Zielbügel weisen die korrespondierenden Farbkodierungen auf. Für die grünen 5,0-mm-Verriegelungsschrauben wird mit einem 4,2-mm-Bohrer vorgebohrt. Für die blauen 4,0-mm-Verriegelungsschrauben wird der 3,2-mm-Bohrer verwendet.



**Abbildungen 11a bis 11c**

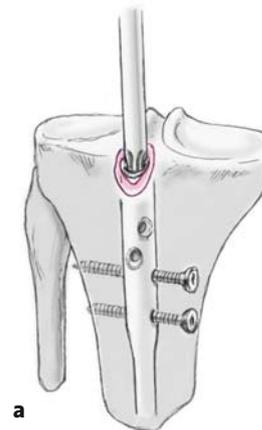
Für sehr proximal gelegene Frakturen kann die Stabilität der Konstruktion durch eine dreidimensionale Verriegelung mit golden farbkodierten 5,0-mm-Dual-Core-Verriegelungsschrauben im Vergleich zur Verwendung eines UTN (Fa. Synthes, Umkirch) deutlich erhöht werden [10] (a). Diese Schrauben verfügen über ein zweigeteiltes Außengewinde und einen zweiteiligen Kerndurchmesser. An der Schraubenspitze entsteht so eine der Spongiosaschraube ähnliche, an der Basis eine dem Verriegelungsbolzen ähnliche Geometrie (b). Vor allem bei der anteroposterioren Verriegelung ist besonders auf das in der Kniekehle befindliche Gefäß-Nerven-Bündel zu achten. Hierzu sollte im mediolateralen Strahlengang des Bildverstärkers eine Penetration des 3,2-mm-Bohrers und der Verriegelungsschraube durch die posteriore Tibiakopf-kortikalis ausgeschlossen werden. Ebenso sollte eine Perforation der posterolateralen Tibia vermieden werden, um den hier



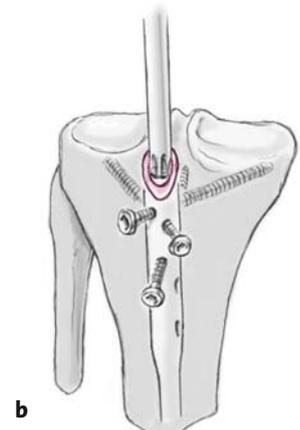
verlaufenden Nervus peroneus nicht zu gefährden. Dies geschieht am besten mit Hilfe einer Durchleuchtungskontrolle senkrecht zur eingebrachten Verriegelungsschraube, welche die Gegenkortikalis keinesfalls überschreiten darf (c).

**Abbildungen 12a und 12b**

Nach Abschluss der proximalen Verriegelung kann eine Verschlusschraube auf den Expert Tibia Nagel® gesetzt werden. Dies verhindert zum einen das Einwachsen von Gewebe in die proximale Nagelöffnung bei der mediolateralen Verriegelung (a), bewirkt zum anderen aber eine winkelstabile Verklammerung der proximalsten bzw. zweiten proximalen der drei golden farbkodierten 5,0-mm-Verriegelungsschrauben (b).



Mediolaterale Verriegelung



3 golden farbkodierte Verriegelungsschrauben

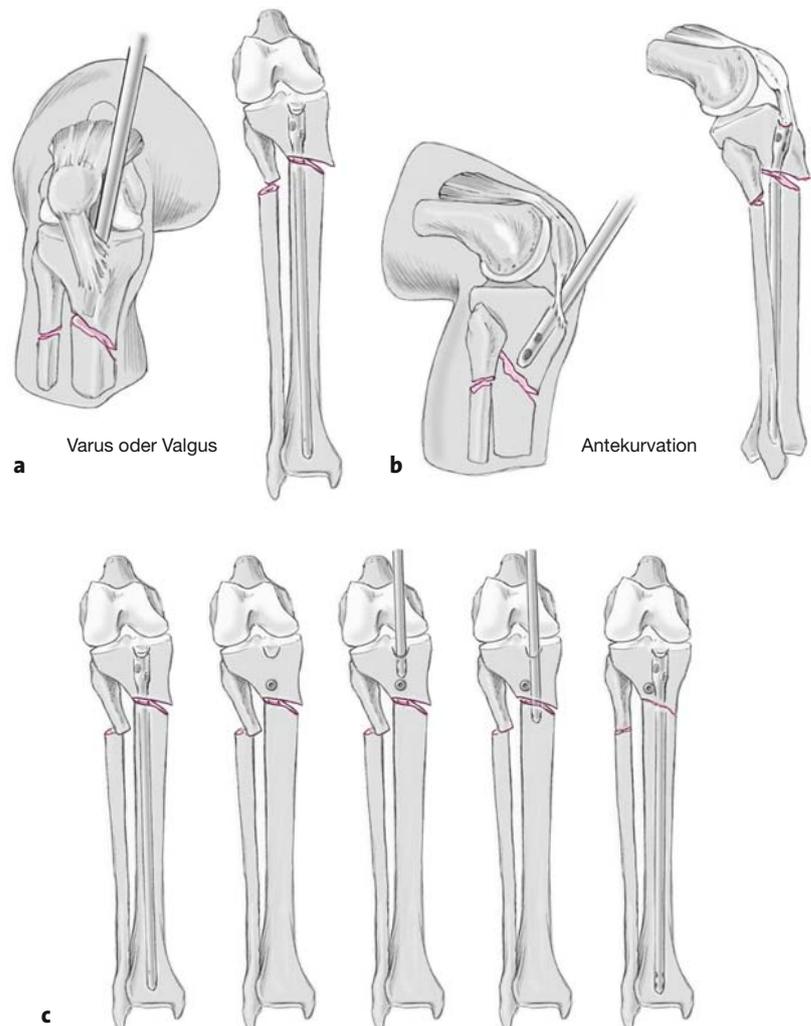
## Besonderheiten bei proximaler Tibiafraktur (Abbildung 13)

### Abbildungen 13a bis 13c

Die Reposition proximaler Tibiafrakturen vor Beginn der eigentlichen Osteosynthese sowie die Aufrechterhaltung der Reposition bis nach der vollständigen Implantatfixation sind ausgesprochen wichtig (s. Abbildungen 2a und 2b). Bei schräger Insertion des Marknagels durch einen zu weit medial oder lateral gelegenen Eintrittspunkt kommt es nach schräger Passage des proximalen Fragments zu einer nagelbedingten Varus- oder Valgusfehlstellung in der Frontalebene (a).

Bei zu distaler und flacher Insertion des Nagels resultiert auch durch die auf den Nagel drückende Patella eine nagelbedingte Fehlstellung in der Sagittalebene im Sinne der Antekurvatur (b).

Beide Formen der Fehlstellung lassen sich am sichersten vermeiden, wenn die achsengerechte Nagelinsertion über den anatomisch korrekten Eintrittspunkt gelingt. Ansonsten wird durch die erfolgte erste Nagelpassage ein falscher intramedullärer Kanal geschaffen, welcher auch beim Versuch der Korrektur einer suffizienten Reposition entgegensteht. In diesem Fall empfehlen sich die Entfernung des Implantats und die Blockierung des ehemaligen (falschen) Nagelkanals mittels Pollerschrauben. Bei erneuter Insertion kann der Nagel nun an diesen Schrauben vorbei eingeführt werden und die anatomiegerechte Fixation ermöglichen (c) [17].



### Postoperative Behandlung

- Engmaschige postoperative Kontrolle der peripheren Durchblutung, Motorik und Sensibilität zum Ausschluss eines Kompartmentsyndroms.
- Postoperative Röntgenkontrolle in zwei Ebenen.
- Sofortige Bewegungsübungen im Knie- und Sprunggelenk.
- Teilbelastung mit 20 kg Sohlenkontakt; bei stabil reponierten Querfrakturen des Schafts auch primäre Vollbelastung möglich.
- Belastungsaufbau nach 4–6 Wochen, abhängig vom radiologischen Verlauf.
- Heilungszeit ca. 12–16 Wochen mit entsprechender Arbeitsunfähigkeit.

**Abbildungen 14a und 14b**

Distale intraartikuläre Tibiafraktur mit in den distalen Schaft auslaufender Frakturlinie bei einem 51-jährigen männlichen Patienten. Die CT-Aufnahmen zeigen die Gelenkbeteiligung mit Stufenbildung und Dehiszenz der artikulären Frakturfragmente (a). Osteosynthese durch perkutane Schraubenosteosynthese der artikulären Frakturkomponente nach geschlossener Reposition und Manipulation der Fragmente mit Repositionszangen. Zusätzlich wird die Schaftfrakturkomponente durch einen Expert Tibia Nagel® in kanülierter Technik mit Aufbohren des Markraums stabilisiert. Der Nagel wird distal vierfach verriegelt, um eine größtmögliche Stabilität zu gewährleisten (b). Nach Ausheilung der Fraktur anatomiegerechte Stellungsverhältnisse.

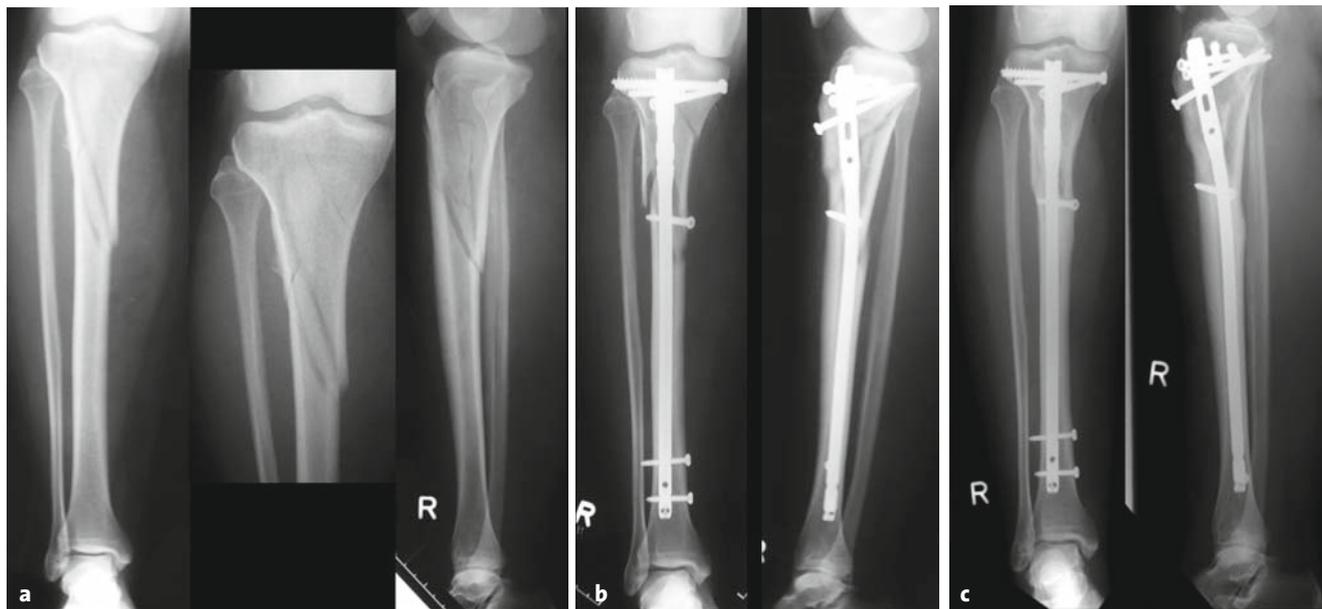


- Implantatentfernung, wenn gewünscht, nach vollständiger radiologischer und klinischer Frakturkonsolidierung, in der Regel nach ca. 1,5 Jahren.

**Fehler, Gefahren, Komplikationen**

- Dorsale Perforation der Tibiaschaftkortikalis beim Eröffnen mit dem Eröffnungsinstrument: Zurückziehen des Eröffnungsinstruments und Ersetzen durch einen Führungsdraht, der unter Bildverstärkerkontrolle über die Fraktur in das distale Fragment eingebracht wird. Über diesen kann mit dem Markraumborner weiter eröffnet und anschließend der Nagel in kanülierter Technik erneut eingebracht werden.
- Varus-, Valgus- oder Antekurvationsfehlstellung: Die optimale intraoperative Reposition muss unter Bildverstärkerkontrolle immer überprüft und ggf.

- durch ergänzende Maßnahmen gesichert werden (Insertion des Nagels über den Führungsdraht, Pollerschrauben, additiver temporärer Fixateur externe/Distraktor, perkutane Repositionszangen). Bei bereits eingetretener Fehlstellung empfehlen sich in erster Linie die vollständige Implantatentfernung und erneute Reposition der Fraktur durch indirekte Manipulation, z.B. mittels spitzer Repositionszangen. Zur Sicherung der Frakturstellung kann ein Fixateur oder Distraktor angebracht werden, dessen Schrauben parallel zur Gelenkfläche von Tibiakopf und distaler Tibia ausgerichtet sind. Anschließend wird der fehlplatzierte intramedulläre Tibiakanal mittels Pollerschrauben versperrt und der Nagel erneut – an diesen Schrauben vorbei – eingebracht.
- Erschwerte Implantatentfernung durch eingewachsenen Knochen: Nicht besetzte Verriegelungslöcher



**Abbildungen 15a bis 15c**

Proximale intra- und extraartikuläre Tibiafraktur bei einer 41-jährigen Patientin. Es bestehen eine unverschobene mediale Tibiakopffraktur und eine proximal in den Schaft reichende, distal 1° offene Spiralfaktur der Tibia mit intermediärem Knochenfragment (a). Osteosynthese durch zwei perkutane Einzel-

zugschrauben zur Stabilisierung der Tibiakopffraktur sowie Nagelung mit Expert Tibia Nagel® zur Fixation der extraartikulären Spiralfaktur. Die Reposition der Schaftkomponente wird durch eine Pollerschraube im Schaft gesichert (b). Nach Ausheilung nahezu anatomiegerechte Stellungsverhältnisse, das Osteosynthesematerial liegt komplikationslos in situ (c).

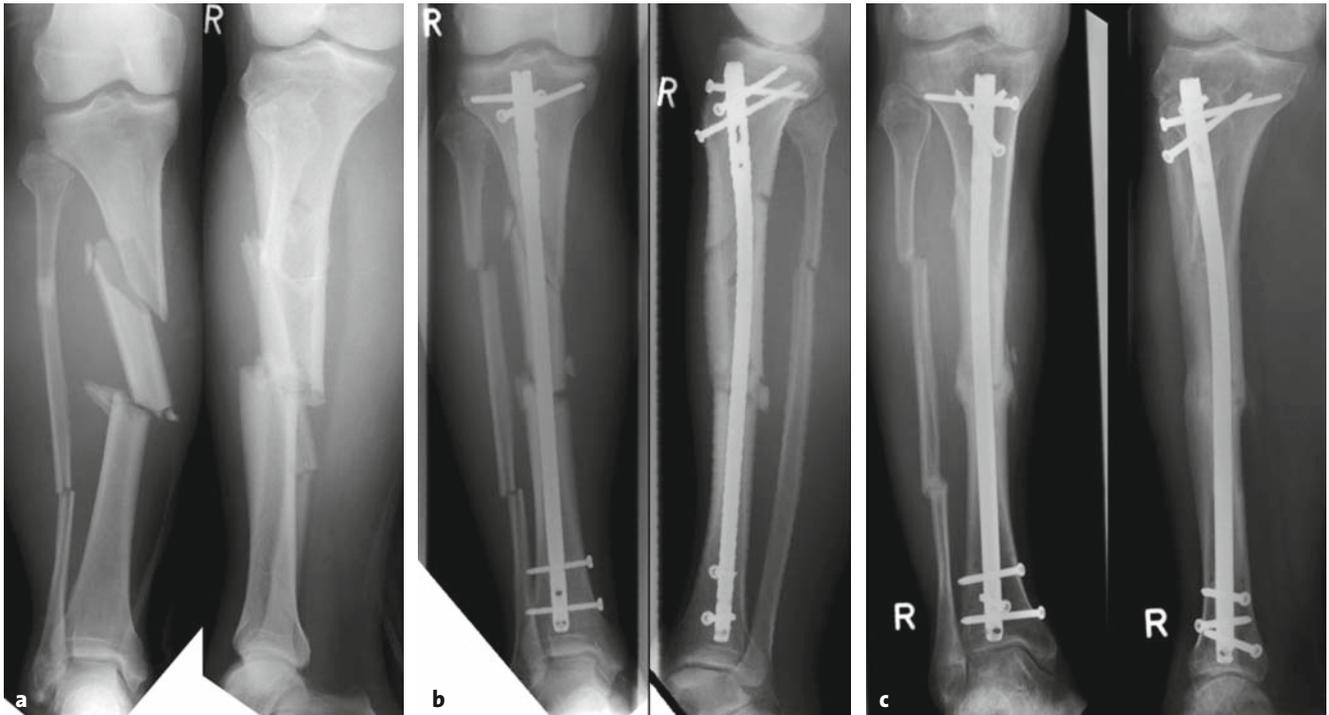
können vor der Implantatentfernung ausgebohrt werden. Der proximale Nagelanteil sollte im Tibiakopfbereich vor Extraktion auf jeden Fall ausreichend dargestellt und mobilisiert werden. Hierzu muss der Nagel zirkulär mit dem kleinen Meißel oder dem Raspatorium von anhängendem Knochen befreit werden, bevor das Extraktionsinstrumentarium aufgebracht wird.

- Pseudarthrose: Bei biologisch aktiver Pseudarthrose sollte ein Nagelwechsel zu einem dickeren Implantat nach Aufbohren des Markraums erfolgen. Bei biologisch inaktiver Pseudarthrose empfiehlt sich die Spongiosaplastik, ggf. kombiniert mit Wachstumsfaktoren.
- Anteriorer Knieschmerz: Insbesondere zu berücksichtigen bei Patienten, welche eine kniende berufliche Tätigkeit ausüben [13].

### Ergebnisse

In einer prospektiven, internationalen multizentrischen Studie [2] wurden in zehn europäischen Kliniken zwischen Juli 2004 und Mai 2005 181 Patienten mit 186 Frakturen untersucht. Alle Brüche waren mit dem Expert Tibia Nagel® stabilisiert worden (Abbildungen 14

bis 16). Es wurden alle intra- und postoperativen Komplikationen erfasst und alle Patientenverläufe bis zu 1 Jahr nach der Operation dokumentiert. 57 Frakturen (30,7%) waren offen, davon 15 Grad I, 32 Grad II und zehn Grad III [9, 16]. Die meisten Patienten hatten Tibiaschaftfrakturen erlitten (36%). Frakturen im distalen Drittel kamen in 49,6% und solche im proximalen Drittel in 11,8% der Fälle vor, in fünf Fällen lag kein aussagekräftiges Röntgenbild vor. Nach 1 Jahr konnten 146 (81%) dieser Patienten klinisch und radiologisch nachuntersucht werden. Die Rate an Pseudarthrosen lag zu diesem Zeitpunkt bei 12,2%, für offene Frakturen bei 18,2% und für geschlossene Frakturen bei 9,7%. Bezogen auf die Frakturlokalisation fanden wir das höchste Risiko für eine Pseudarthrose mit 16,7% bei den Schaftfrakturen, gefolgt von distalen (10,5%) und proximalen (5,9%) Frakturen. Revisionsoperationen einschließlich der Dynamisierungen erfolgten in 18,8% der Fälle. Ohne die geplanten Dynamisierungseingriffe lag die Rate für Revisionseingriffe bei 5,4%. Fehlstellungen in Varus-, Valgus- oder Antekurvationsrichtung von mehr als 5° in mindestens einer Ebene auf radiologischen Längsaufnahmen des Unterschenkels lagen bei 4,3% der Schaftfrakturen, 1,5% der distalen Frakturen



**Abbildungen 16a bis 16c**

Geschlossene Tibiaschaftsegmentfraktur mit kurzem intermediärem Fragment bei einem 56-jährigen männlichen Patienten (a). Osteosynthese mit Expert Tibia Nagel®, wobei im distalen Schaftbereich offen reponiert werden muss, da ein Knochenfragment den Eingang in das distale Fragment obliteriert. Postoperativ anatomiegerechte Stellungsverhältnisse (b).

Bei verzögerter Frakturheilung wird allerdings frühzeitig die Indikation zur aufgebohrten Umnagelung und offenen Spongiosatransplantation im Schaftbereich gestellt. Nach kanüliertem Aufbohren des Markraums und Reosteosynthese mit Spongiosatransplantation zeigt sich eine stabile knöcherne Konsolidierung der Frakturen (c).

**Tabelle 1**

Literaturübersicht über die Versorgung von Tibiafrakturen. In einem Fall wird eine Metaanalyse (M) zitiert, welche kumulative Daten angibt. EF: externer Fixateur; MN: Marknagel.

Autoren	Zitationsort	Patienten (n)	Operationsverfahren	Fehlstellungen > 5°/1 cm (%)	Pseudarthrosen (%)	Sekundäre Eingriffe (%)	Allgemeine Komplikationen (%)
Bolhofer et al.	Clin Orthop Relat Res 1995;315	41	Platte + EF	25	3	19	25
Buehler et al.	J Orthop Trauma 1997;11	14	MN + Distraction	> 14 (2–12°)	7	7	0
Fouque et al.	J Bone Joint Surg Br 1997;79-S	38	EF	53	5	–	26
Freedman et al.	Clin Orthop Relat Res 1995;315	12	MN	58	–	–	–
Krettek et al.	J Bone Joint Surg Br 1999;81	10	MN + Poller	–	0	–	–
Lang et al.	Clin Orthop Relat Res 1995;315	32	MN	84	13	34	3
Ricci et al.	J Orthop Trauma 2001;15	12	MN + Poller	8	16	> 1	8
Tornetta et al.	Clin Orthop Relat Res 1996;328	30	MN (+ EF)	> 10	–	3	10
Bhandari et al.	J Orthop Trauma 2002;53	M	MN + EF + Platte	2,4–20	2–8	–	2,5–14
Tielinen et al.	Injury 2007;38	19	MN + Muskellappen	47	10	47	0
Kakar et al.	J Orthop Trauma 2007;21	161	MN	3	10	16	26
Wysocki et al.	J Trauma 2009;66	27	MN	1	–	–	–
Kakar et al.	Clin Orthop Relat Res 2007;461	51	MN	0	0	10	–

und 13,6% der proximalen Frakturen vor. Nur etwa ein Viertel dieser Fehlstellungen (1,1%) trat dabei als sekundäre Achsabweichungen auf. Das Risiko für Bolzenbrüche betrug 3,2% (6/186). Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass der verwendete Expert Tibia Nagel® in einem multizentrischen Studienprojekt ausreichend sicher in der Anwendung ist und insbesondere die Rate an nagelinduzierten oder sekundären Frakturfehlstellungen sowie an Implantatbrüchen sehr gering ausfällt (vgl. Tabelle 1).

### Literatur

1. Althausen PL, Neiman R, Finkemeier CG. Incision placement for intramedullary tibial nailing: an anatomic study. *J Orthop Trauma* 2002;16:687–90.
2. Attal R. Clinical experience with the Expert Tibia Nail. *AO Dialogue* 2007;3:32–4.
3. Bhandari M, Guyatt GH, Swiontkowski MF. Surgeon's preferences for the operative treatment of fractures of the tibial shaft. An international survey. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83:1746–52.
4. Bono CM, Sirkin M, Sabatino CT. Neurovascular and tendinous damage with placement of anteroposterior distal locking bolts in the tibia. *J Orthop Trauma* 2003;17:677–82.
5. Buehler KC, Green J, Woll TS. A technique for intramedullary nailing of proximal third tibia fractures. *J Orthop Trauma* 1997;11:218–23.
6. Court-Brown CM, McBirnie J. The epidemiology of tibial fractures. *J Bone Joint Surg Br* 1995;77:417–21.
7. Egol KA, Weisz R, Hiebert R. Does fibular plating improve alignment after intramedullary nailing of distal metaphyseal tibia fractures? *J Orthop Trauma* 2006;20:94–103.
8. Freedman EL, Johnson EE. Radiographic analysis of tibia fracture malalignment following intramedullary nailing. *Clin Orthop Relat Res* 1995;315:25–33.
9. Gustilo RB, Mendoza RM, Williams DN. Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures. *J Trauma* 1984;24:742–6.
10. Hansen M, Mehler D, Hessmann MH. Intramedullary stabilization of extraarticular proximal tibial fractures: a biomechanical comparison of intramedullary and extramedullary implants including a new proximal tibial nail (PTN). *J Orthop Trauma* 2007;21:701–9.
11. Hansen M, Mehler D, Voltmer W. Die proximale extraartikuläre Tibiafraktur. *Unfallchirurg* 2002;105:858–72.
12. Horn J, Schlegel U, Krettek C, et al. Infection resistance of unreamed solid, hollow slotted and cannulated intramedullary nails: an in-vivo experimental comparison. *J Orthop Res* 2005;23:810–5.
13. Katsoulis E, Court-Brown C, Giannoudis PV. Incidence and aetiology of anterior knee pain after intramedullary nailing of the femur and tibia. *J Bone Joint Surg Br* 2006;88:576–80.
14. Lang GJ, Cohen BE, Bosse MJ. Proximal third tibial shaft fractures. Should they be nailed? *Clin Orthop Relat Res* 1995;315:64–74.
15. Müller ME, Allgöwer M, Schneider R. *AO-manual of internal fixation*. Berlin–Heidelberg–New York: Springer, 1995.
16. Oestern HJ, Tscherne H. Pathophysiology and classification of soft tissue injuries associated with fractures. In: Tscherne H, Gotzen L, eds. *Fractures with soft tissue injuries*. Berlin: Springer, 1984.
17. Ricci WH, O'Boyle M, Borrelli J. Fractures of the proximal third of the tibial shaft treated with intramedullary nails and blocking screws. *J Orthop Trauma* 2001;15:264–70.
18. Schandelmaier P, Krettek C, Rudolf J. Superior results of tibial rodding versus external fixation in grade 3B fractures. *Clin Orthop Relat Res* 1997;342:164–72.

### Korrespondenzanschrift

PD Dr. Matthias Hansen  
Leitender Oberarzt  
Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie  
Klinikum Worms  
Gabriel-von-Seidl-Straße 81  
67550 Worms  
Telefon (+49/6241) 501-3200, Fax -3299  
E-Mail: hansen-mainz@gmx.de