

# Tibiaschaftfrakturen

## Fractures of the Tibial Shaft

S. Märdian, P. Schwabe, K.-D. Schaser

Rubrikherausgeber:  
R. Hoffmann, Frankfurt  
R. Windhager, Wien



### Zusammenfassung

Tibiaschaftfrakturen sind die am häufigsten auftretenden diaphysären Frakturen langer Röhrenknochen des Menschen. Die häufigsten Unfallmechanismen sind Verkehrsunfälle (37,5%), Stürze (17,8%), Sportunfälle (30,9%) gefolgt von Gewalttaten (4,5%).

Die klinische Untersuchung mit korrekter Klassifikation des Frakturmusters und insbesondere des Grades des Weichteilschadens ist von immenser Bedeutung für die therapeutische Kaskade. Diese folgt vor allem – bedingt durch den vorliegenden Weichteilschaden – einem festgelegten Algorithmus. An bildgebender Diagnostik ist die konventionelle Radiografie obligat, Schnittbild-diagnostik ist komplexen Frakturmustern und zusätzlichen intraartikulären Pathologien vorbehalten.

Die Therapie der Tibiaschaftfraktur ist eine Domäne der operativen Stabilisierung, welche – in Abhängigkeit vom Weichteilschaden – primär erfolgen sollte. Hierbei sind intramedulläre Verfahren (allen voran die intramedulläre Marknagelosteosynthese) die Verfahren der Wahl.

Die schwerwiegendste Frühkomplikation dieser Verletzung ist das Kompartmentsyndrom. Dies bedarf der schnellen Diagnosestellung und eines adäquaten chirurgischen Managements, um ausgedehnte Myonekrosen mit ischämischen Kontrakturen und irreversiblen neurovaskulären Defiziten zu vermeiden. Abgesehen von postoperativen Infektionen, die vor allem bei offenen Verletzungen die vorherrschende Komplikation darstellen, treten Pseudarthrosen als typische und teilweise schwer behandelbare Spätkomplikationen auf, die je nach Typ einem dezidierten Therapiealgorithmus folgen.

### Abstract

The tibia shaft is the most often fractured long bone of human beings. Among others traffic accidents (37.5%), falls (17.8%), sport accidents (30.9%) and assaults (4.5%) are typical mechanisms. A brief clinical examination including the correct classification of the fracture pattern and even more important the degree of the soft tissue damage are the most crucial factors for the following therapeutic cascade. This follows a defined algorithm based on the degree of soft tissue damage. As biplanar X-ray diagnostics are obligatory, CT scans are subject to complex fracture patterns and accompanying intraarticular pathologies.

The treatment of tibial shaft fractures is the preserve of operative stabilization, which should be done primarily depending on the degree of the soft tissue injury. Here intramedullary methods – especially intramedullary nailing – are the golden standard.

The most serious complication of these fractures is the development of a compartment syndrome. This requires rapid diagnosis and an adequate surgical management in order to avoid extensive muscle necrosis with ischaemic contractures and irreversible neurovascular deficits. Apart from postoperative infections, which are the predominant complication especially in open injuries, non union provide typical and late complications which are partly difficult to treat. These should, depending on their type, follow a dedicated treatment algorithm.

### Schlüsselwörter

- Tibiaschaftfraktur
- Marknagel
- intramedulläre Stabilisierung
- Weichteilschaden

### Keywords

- tibial fracture
- intramedullary nailing
- intramedullary stabilization
- soft tissue damage

### VNR

2760512015147123778

### Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0033-1358089>  
Z Orthop Unfall 2015; 153:  
99–119 © Georg Thieme Verlag KG  
Stuttgart · New York ·  
ISSN 1864-6697

### Korrespondenzanschrift

**Dr. med. Sven Märdian**  
Charité – Universitätsmedizin Berlin  
Centrum für muskuloskeletale  
Chirurgie  
Augustenburger Platz 1  
13353 Berlin  
Tel.: 030/450-615174  
Fax: 030/450-552958  
E-Mail: [sven.maerdian@charite.de](mailto:sven.maerdian@charite.de)

## Abkürzungen

AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
ATLS	Advanced Trauma Life Support
BMP	Bone morphogenetic Proteine (knochenmorphogenetisches Protein)
CRIF	Closed Reduction + internal Fixation (geschlossene Reposition und interne Fixation)
DCS	Damage Control Surgery
DSA	digitale Subtraktionsangiografie
ESIN	elastisch stabile intramedulläre Nagelung
OSG	oberes Sprunggelenk
pDMS	periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität
STIKO	Ständige Impfkommision des Robert Koch-Instituts
TEN	titanelastische Nagelung
VAC	Vacuum Assisted Closure

## Epidemiologie und Ätiologie

Der Tibiaschaft ist der am häufigsten von Frakturen betroffene lange Röhrenknochen des Menschen [1]. In einer großen epidemiologischen Studie von Court-Brown et al. aus dem Jahr 1995 wird die Inzidenz dieser Verletzung mit 1–2 pro 100 000 Einwohnern und Jahr angegeben [2]. Andere Arbeiten zeigen eine jährliche Inzidenz von 492 000 Tibia-, Fibula- und Sprunggelenkfrakturen in den USA, welche zu 77 000 stationären Aufnahmen und geschätzten 569 000 Krankenhausentlassungen führen. Zudem führen sie zu 825 000 ambulanten Arztbesuchen pro Jahr [3,4]. Dabei handelt es sich meist um junge, aktive Patienten, die sich die Verletzung oftmals im Rahmen von Hochrasanztraumata zuziehen.

In einer retrospektiven Auswertung von 523 Frakturen [2] waren die häufigsten Unfallmechanismen:

- ▶ Verkehrsunfälle (37,5%),
- ▶ Sportunfälle (30,9%),
- ▶ einfache Stolperstürze (17,8%),
- ▶ Gewalttaten (4,5%),
- ▶ Treppenstürze (2,5%) und
- ▶ Stürze aus großer Höhe (6,2%).

Gerade bei polytraumatisierten oder mehrfachverletzten Patienten ist mit einer hohen Inzidenz an Tibiaschaftfrakturen zu rechnen.

Bei Kindern und Jugendlichen ist die Tibiaschaftfraktur ebenfalls eine der häufigsten knöchernen Verletzungen, die mehr als 10% der operativen Interventionen am Skelettsystem des Kindes ausmacht [5]. In jeder Altersgruppe finden sich dabei typische Verletzungsmechanismen von der einfachen „Toddler's Fracture“ im Krabbelalter bis hin zu Komplexverletzungen im Rahmen von Hochrasanztraumata ab dem Schulalter [6].

Aufgrund des zum Teil marginalen Weichteilmantels, vor allem im Bereich der ventromedialen Tibiakante in Kombination mit direkten Traumata, wie sie oft bei Verkehrsunfällen auftreten, finden sich bei bis zu 24% der Tibiafrakturen offene Weichteilschäden [2,7]. Weiterführende Auswertungen von epidemiologischen Daten zeigen, dass offene Unterschenkelfrakturen mit einem Anteil von 63% aller offenen Frakturen die häufigste Entität darstellen [8,9]. Die häufigsten Unfallmechanismen [2] für offene Frakturen stellen dar:

- ▶ Stürze aus großer Höhe (53,1%),
- ▶ Verkehrsunfälle (40,7%) sowie
- ▶ Gewalttaten (30,4%).

Die besondere Anatomie des Unterschenkels mit anteromedialen, langstreckigen, nur von Haut überdeckten Anteilen und der nur von einem geringen Weichteilmantel umgebenden distalen Region führt dabei zu einer kritischen Minderperfusion des frakturierten Knochens und prädisponiert daher für posttraumatische Knochen-/Weichteilinfektionen und die Entwicklung von Pseudarthrosen [10].

Nicht minder schwerwiegend und in der initialen Diagnostik ungleich schwerer einschätzbar ist der geschlossene Weichteilschaden des Unterschenkels, da sich unter zwar kontusionierter – aber in der Kontinuität erhaltener – Haut ausgedehnte Hämatome, Gewebekontusionen, Gefäß-/Nervenschäden befinden können. Diese werden häufig unterschätzt und führen im Zusammenhang mit den zumeist noch geschlossenen Fasziennetzen zu schnellen intramuskulären Druckanstiegen und Kompartmentsyndromen, die ihrerseits wiederum die Ischämie, neurovaskuläre Schäden und die Rate funktioneller Defizite akzentuieren [11].

- Häufigste Ursache für Tibiaschaftfrakturen sind Verkehrsunfälle; danach folgen Sportunfälle, Stürze und Gewalttaten.

- Bis zu ¼ der Tibiaschaftfrakturen sind mit einem offenen Weichteilschaden vergesellschaftet.

- Geschlossene Tibiaschaftfrakturen sind durch ein hohes Risiko für die Entwicklung eines Kompartmentsyndroms gekennzeichnet.

McQueen et al. zeigten in einer epidemiologischen Studie, dass das akute Kompartmentsyndrom (alle Entitäten eingeschlossen) etwa bei 7,3/100.000 bei Männern und 0,7/100.000 bei Frauen liegt. Ihren Daten zufolge war in 69% der Fälle eine Fraktur der maßgebliche Grund, wobei hier in 36% eine Unterschenkelfraktur vorlag [12].

## Diagnostisches Vorgehen

### Anamnese und Untersuchung

Die Anamnese steht zu Beginn jedweder Diagnostik bei jedem Patienten mit einer Tibiaschaftfraktur. Die Erfassung der Gesamtsituation des Patienten (Mono- vs. Polytrauma) mit Evaluation des Aktivitätsniveaus und aller Nebenerkrankungen ist für die Therapieplanung ebenso von essenzieller Bedeutung wie die richtige Klassifikation des Frakturmusters und des vorliegenden Weichteilschadens. Bei sedierten oder bewusstlosen Patienten ist genau auf die Fremdanamnese zu achten.

Die Kenntnis des Unfallmechanismus (Niedrigenergie- vs. Hochrasanztrauma, spitze vs. stumpfe Gewalteinwirkung) gibt in der Regel gute Hinweise für das zu erwartende Frakturmuster, den assoziierten Weichteilschaden und zusätzliche Begleitverletzungen.

Im Fall von Hochrasanztraumata ist grundsätzlich mit zusätzlichen Verletzungen nicht nur anderer Organsysteme und Körperregionen, sondern auch direkt angrenzender Gelenke (Luxationsfrakturen, Bandrupturen des Knie- und/oder Sprunggelenks) zu rechnen. Daher sollte das Management eines solchen Patienten in einem standardisierten, prioritätenorientierten Algorithmus erfolgen, wie ihn z. B. das weitverbreitete **ATLS-Konzept** (Advanced Trauma Life Support) bietet. Ferner ist nach zusätzlichen Verletzungen der ipsilateralen Extremität wie okkulten Schenkelhalsfrakturen oder zusätzlichen Fußtraumata etc. zu fahnden.

Neben der genauen Dokumentation der äußeren Verletzungszeichen ist der Befund für die periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität (pDMS) zwingend zu überprüfen. Dies gilt vor allem in Situationen, in denen ein Repositionsmanöver angezeigt ist. Hier ist die Überprüfung der pDMS unmittelbar vor und nach einem Repositionsversuch obligat.

Normalerweise präsentieren sich die Patienten mit heftigen Schmerzen im Bereich der verletzten Extremität und können meist den Unfallhergang detailliert beschreiben. In der klinischen Untersuchung zeigt sich bei Dislokation neben der Fehlstellung oft eine deutliche Instabilität mit äußerst schmerzhafter Crepitatio in Kombination mit geschwollenen Weichteilen und lokalem Hämatom.

**Zu beachten!** Die richtige Einschätzung des vorliegenden Weichteilschadens sowie die Bestätigung oder der Ausschluss eines Kompartmentsyndroms sind dabei essenzielle Bestandteile der primären Untersuchung.

Nach Abschluss der klinischen Untersuchung ist eine adäquate Ruhigstellung erforderlich, welche die angrenzenden Gelenke mit einschließt. In der Praxis haben sich Luftkammer- oder modellierbare Oberschenkelvakuumschienen bewährt. Im seltenen Fall einer konservativen Therapie kommen Oberschenkelgipse zur Anwendung.

**Zu beachten!** Jede dieser Formen der Ruhigstellung ist für den Patienten unkomfortabel und birgt zusätzlich ein höheres Risiko für ein Kompartmentsyndrom.

### Kompartmentsyndrom

Das Kompartmentsyndrom ist eine der schwerwiegendsten Komplikationen einer Tibiaschaftfraktur. Pathophysiologisch liegt dieser Entität ein Anstieg des interstitiellen Gewebedrucks in einem abgeschlossenen osteofaszialen Raum (Loge) auf ein Niveau oberhalb des kapillären Perfusionsdrucks im Skelettmuskel zugrunde.

### Diagnostisches Vorgehen bei v. a. Kompartmentsyndrom

Bereits 1948 beschrieb Griffiths die 4 Kardinalsymptome des Kompartmentsyndroms [13]. Seine Inzidenz am Unterschenkel variiert und wird in der Literatur mit 1–10% angegeben [11, 12, 14, 15]. Bis heute basiert die Diagnose des Kompartmentsyndroms im Wesentlichen rein auf der klinischen Untersuchung und den Symptomen des Patienten (s. Übersicht), was die Diagnose beim polytraumatisierten, bewusstlosen Patienten einmal mehr erschwert. Wegweisend sind die in der Übersicht genannten Symptome und Befunde [16].

- Unfallmechanismus präzise eruiieren: Er kann wertvolle Hinweise bezüglich des zu erwartenden Frakturmusters, des assoziierten Weichteilschadens und zusätzlicher Begleitverletzungen liefern.

- Das Kompartmentsyndrom ist eine der schwerwiegendsten Komplikationen einer Tibiaschaftfraktur.



### Übersicht

#### Klinische Untersuchung und Symptomatik als Diagnostikum des Kompartmentsyndroms

- ▶ medikamentös nicht beherrschbarer Schmerz
- ▶ passiver Dehnungsschmerz der Wade
- ▶ Druckschmerzhaftigkeit der Kompartimente
- ▶ prall geschwollene Kompartimente

Das Vollbild des manifesten Kompartmentsyndroms – zu diesem Zeitpunkt ist es zumeist schon abgelaufen – bereitet weniger diagnostische Schwierigkeiten, da der Verlust der Sensibilität zwischen der 1. und 2. Zehe, die brettharte Füllung des Unterschenkels, der sogar zu einer lividen Verfärbung der Haut sowie zur Ausbildung von Spannungsblasen führen kann, leichter erkennbar ist als die Symptome des drohenden Kompartmentsyndroms („Präkompartmentsyndrom“, **Abb. 1**).

Beim Präkompartmentsyndrom sind eher die in der Übersicht genannten Befunde alarmierende Zeichen.

### Übersicht

#### Zeichen eines drohenden Kompartmentsyndrom/Präkompartmentsyndrom

- ▶ progredienter analgetikaresistenter Schmerz
- ▶ Dynamik der Schmerzzunahme
- ▶ Dynamik der Zunahme der Schwellung bei noch erhaltener Sensomotorik
- ▶ an der Haut erkennbare Veränderung mit zunehmendem Glanz der Oberfläche



**Abb. 1** Klinisches Bild eines Präkompartmentsyndroms (a), das sich eindrücklich vom klinischen Bild des akuten Kompartmentsyndroms (b) unterscheidet. Nach Dermatofasziotomie eines verzögert diagnostizierten Kompartmentsyndroms zeigen sich intraoperativ die ausgedehnten Myonekrosen (c), die zum Teil zu erheblichen funktionellen Einbußen führen können.

Da es sich bei posttraumatischen Weichteilschaden, insbesondere beim geschlossenen Weichteilschaden, um ein dynamisches Geschehen handelt mit Ausbildung maximaler Gewebedruckanstiege/Spitzenwerte nicht vor 24 Stunden nach Verletzung, sollte, auch bei initialem Ausschluss eines akuten Kompartmentsyndroms, der Patient regelmäßig erneut untersucht werden, um ein sich im Verlauf entwickelndes Kompartmentsyndrom nicht zu übersehen [17]. Diese sogenannte „postprimäre Evaluation“ des Weichteilschadens ist essenziell, da der Übergang vom drohenden in ein manifestes Kompartmentsyndrom damit erkannt und entsprechende operative Maßnahmen zeitgerecht eingeleitet werden können.

### Dokumentation

Ebenso wichtig wie die Untersuchung selbst ist die ausführliche schriftliche Dokumentation der erhobenen Befunde.

Apparativ wurden verschiedene Kompartimentdruckmesssysteme in den letzten Jahren vorgestellt, die den Chirurgen in der Diagnose und somit der Entscheidungsfindung unterstützen sollen. Jedoch werden bis heute immer noch die Cut-off-Werte der intrakompartimentellen Druckwerte kontrovers diskutiert [18].

Prinzipiell ist die Differenz des mittleren arteriellen Blutdrucks zum Gewebedruck, nämlich der muskuläre Perfusionsdruck, die entscheidende Determinante, welche die kapilläre und damit nutritive Perfusion sicherstellt. Diese sollte einen Schwellenwert von 30–40 mmHg nicht unterschreiten. Daher ist die Ausbildung eines Kompartmentsyndroms bei polytraumatisierten Patienten mit hämorrhagischem Schock oder anderweitig kompromittierter makrohämodynamischer Situation eher begünstigt; dies muss bedacht werden.

Auf der anderen Seite kann man durch gewissenhaftes Management des Blut- und damit auch des Perfusionsdrucks auch im Zustand des Präkompartmentsyndroms dazu beitragen, den Übergang in ein manifestes Kompartmentsyndrom zu verhindern, indem die Perfusion und die venöse Drainage verbessert werden.

In einer Arbeit an Patienten mit Unterschenkelfrakturen, bei denen für 24 Stunden nach Trauma eine Druckmessung über einen intramuskulären Druckmessverweilkatheter erfolgte, konnten derartige Grenzfälle ohne Fasziotomie durch Ausgleich des Perfusionsdrucks erfolgreich und ohne funktionelle Defizite behandelt werden. Der muskuläre Perfusionsdruck konnte hier als die entscheidende Größe, die auch die Muskelkontraktilität in der frühen Phase der Rehabilitation beeinflusst, herausgearbeitet werden [19].

### Therapeutisches Vorgehen beim Kompartmentsyndrom

Einigkeit besteht in der Therapie:

**Dermatofasziotomie:** Die Dermatofasziotomie aller Kompartimente muss sofort nach Diagnosestellung erfolgen und stellt einen chirurgischen Notfall dar [16].

Auch bei offenen Frakturen ist ein Kompartmentsyndrom nicht ausgeschlossen, da ja zu keinem Zeitpunkt eine komplette und v. a. suffiziente Eröffnung aller Kompartimente stattfindet. Daher sollte man gerade in derartig vermeintlich sicheren Situationen nicht von einer kompletten Fasziotomie – in der Annahme, der Druck „entleert“ sich über die offene Fraktur – absehen [11].

**Antibiotikatherapie:** Vor allem bei offenen Weichteilschäden ist zusätzlich die Einleitung einer suffizienten und auf den Unfallmechanismus (landwirtschaftlicher Unfall? Schussbruch? etc.) und das jeweilige krankenhausspezifische Keimspektrum angepassten Antibiotikatherapie zu erwägen, da alle höhergradig offenen Frakturen als kontaminiert und potenziell infiziert gelten. Die Sicherung einer sterilen Probe aus der Komplikationswunde zur mikrobiologischen Diagnostik sollte dabei vor der Einleitung der kalkulierten Therapie erfolgen, um diese im Verlauf gezielt anpassen zu können.

Die Wahl des Antibiotikums sollte dabei den grampositiven wie auch gramnegativen Bereich abdecken und so früh wie möglich appliziert werden, da bereits eine Verzögerung der Therapie von mehr als 3 Stunden nach Trauma zu einer deutlichen Zunahme des Infektionsrisikos führt [20].

**Impfung:** Zusätzlich darf der Impfstatus des Patienten nicht ungeprüft bleiben. Dies sollte nach den Richtlinien der ständigen Impfkommission des Robert Koch-Instituts (STIKO) durchgeführt und ggf. vervollständigt werden ([http://www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/STIKO/Empfehlungen/Impfempfehlungen\\_node.html](http://www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/STIKO/Empfehlungen/Impfempfehlungen_node.html)).

- Der muskuläre Perfusionsdruck (Differenz des mittleren arteriellen Blutdrucks zum Gewebedruck; nicht zu unterschreitender Schwellenwert: 30–40 mmHg) ist die entscheidende Determinante, welche die kapilläre und damit nutritive Perfusion sicherstellt.

- Dermatofasziotomie aller Kompartimente sofort nach Diagnosestellung.

- Vor Einleitung der kalkulierten Antibiotikatherapie Sicherung einer sterilen Probe aus der Komplikationswunde zur mikrobiologischen Diagnostik, um die Therapie im Verlauf gezielt anpassen zu können.



- Basisuntersuchung: Röntgen des gesamten knöchernen Unterschenkels mit den angrenzenden Gelenken.
- Bei komplexeren Frakturmustern und/oder neurovaskulären Begleitverletzungen: Dünnschicht-CT-Bildgebung mit der Möglichkeit von CT-Angiografie und multiplanaren 2-D- und 3-D-Rekonstruktionen.

### Labordiagnostik

Eine präoperative Laboruntersuchung, welche die Hämatologie, klinische Chemie, Gerinnungsparameter sowie die Blutgruppe und, in Abhängigkeit des Gesamtverletzungsmusters, Kreuzproben enthält, sollte standardisiert bei jedem Patienten mit einer solchen Verletzung erfolgen. Die Erfassung der skelettmuskelspezifischen Kreatinkinase kann im Verbund mit dem Myoglobin nur einen indirekten und keinen genauen Hinweis auf das zugrunde liegende Skelettmuskeltrauma geben und wird nur zur Prophylaxe einer Crush-Niere mit erfasst.

### Bildgebende Diagnostik

**Röntgen:** Als Basisdiagnostik ist die konventionell radiologische Abbildung des gesamten knöchernen Unterschenkels mit dem angrenzenden oberen Sprunggelenk (OSG) distal sowie dem Kniegelenk proximal in 2 standardisierten orthogonal zueinander stehenden Ebenen zu fordern. Röntgenlangaufnahmen, welche die angrenzenden Gelenke nicht vollständig abbilden können, sollten isolierte Aufnahmen des Knie- und/oder Sprunggelenks nach sich ziehen. Lange Aufnahmen des Unterschenkels sind dabei nicht nur zum Erkennen der gesamten Frakturausdehnung wichtig, sondern auch für die präoperative Planung der osteosynthetischen Stabilisierung (Messen von Länge/Stärke des Marknagels, des Plattenfixateursystems etc.) essenziell.

**Computertomografie:** Bei komplexeren Frakturmustern und/oder neurovaskulären Begleitverletzungen ist die Dünnschicht-CT-Bildgebung mit der Möglichkeit der CT-Angiografie sowie multiplanaren 2-D- und 3-D-Rekonstruktionen verfügbar (s. Übersicht). Diese Technik hat den Stellenwert der konventionellen Angiografie deutlich reduziert [21, 22].

#### Übersicht

##### Indikationen für die CT-Angiografie

- ▶ geschlossene Verletzungen, bei denen die Höhe der Gefäßläsion nicht bestimmt werden kann
- ▶ im Fall von Intimaverletzungen, um zu determinieren, ob eine endovaskuläre Therapie möglich ist
- ▶ Pulslosigkeit proximal der offenen Verletzung
- ▶ segmentale knöcherne Verletzung, bei der die Gefäßläsion auf verschiedenen Levels lokalisiert sein kann

**Magnetresonanztomografie:** Die MRT hat in der akuten Situation kaum einen Stellenwert und ist besonderen Fragestellungen (z. B. ligamentäre Begleitverletzungen) vorbehalten.

### Sonstige Diagnostik

**Duplexsonografie:** Im Fall von fehlenden Fußpulsen kann die Duplexsonografie, auch als portables Handmessgerät, ein initial nützliches Verfahren sein, um die Durchblutungssituation distal der Verletzung auch am hypotonen Patienten schnell einschätzen zu können. Obwohl die Validität wie auch die Sensibilität dieser Untersuchungstechnik derjenigen der konventionellen Angiografie sehr nahe kommen, besteht doch eine deutliche Abhängigkeit von der Erfahrung des Untersuchers [23, 24].

**Digitale Subtraktionsangiografie (DSA):** Bei einer im Angio-CT nicht klar einschätzbaren Perfusionssituation aufgrund von Artefakten bei einliegenden Implantaten, nicht möglicher Kontrastmittelanwendung, fehlender Infrastruktur etc. kann die DSA ausnahmsweise zur Anwendung kommen. Auch wenn im Fall einer Unterschenkelfraktur kaum angewendet und nicht etabliert, bietet sie die Möglichkeit der endovaskulären Intervention (Angioplastie, Stent etc.).

### Klassifikation

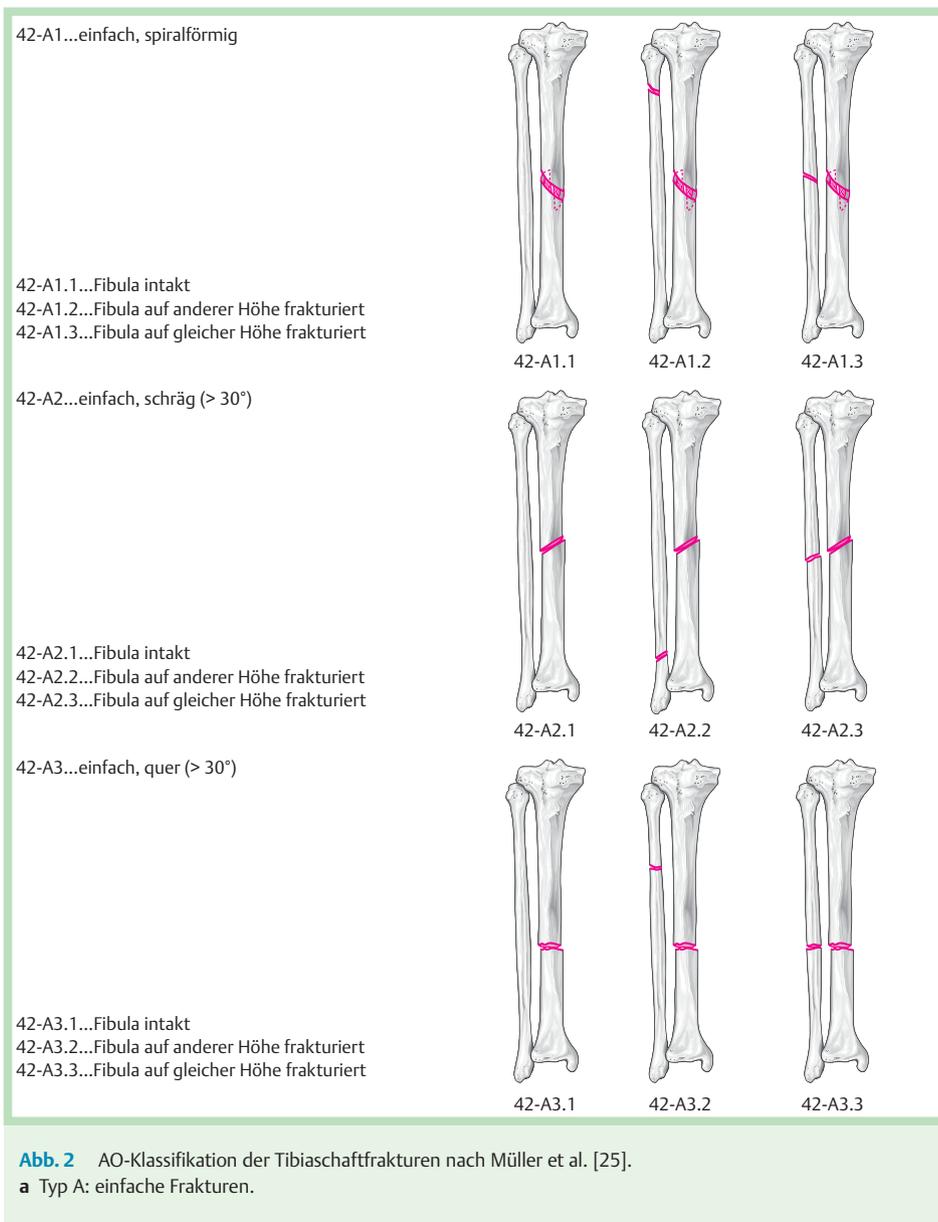


#### Frakturklassifikation

Tibiaschaftfrakturen werden nach der von Müller et al. eingeführten AO-Klassifikation eingeteilt [25] (• Abb. 2). In diesem System werden die Frakturen mit dem Zahlencode 42 unterteilt in einfache, Keil- und komplexe Frakturen:

**Typ A: einfache Frakturen:** Die einfachen Frakturen (Typ A) werden weiter in die spiralförmigen, die schräg- und die querverlaufenden Brüche untergliedert.

- Die Einteilung der Tibiaschaftfrakturen erfolgt nach der AO-Klassifikation (Ziffer 42).



**Typ B: Keilfrakturen:** Bei den Typ-B-Verletzungen unterscheidet man

- ▶ Torsionskeile,
- ▶ Biegungskeile sowie
- ▶ fragmentierte Biegungskeile.

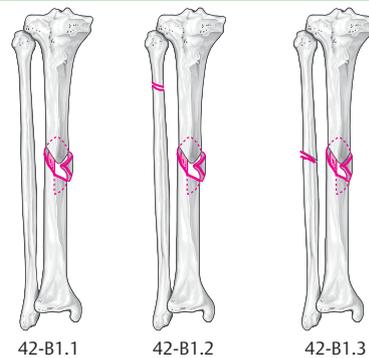
**Typ C: komplexe Frakturen:** Schlussendlich untergliedert man die Typ-C-Frakturen in

- ▶ komplexe spiralförmige Frakturformen,
- ▶ Segmentfrakturen und
- ▶ Trümmerfrakturen.

Dieses Klassifikationssystem umfasst insgesamt 27 verschiedene Frakturformen der Tibiaschaftfraktur und wurde bereits auf seine Zuverlässigkeit hin validiert [26].

## 42-B1...Drehkeil

- 42-B1.1...Fibula intakt
- 42-B1.2...Fibula auf anderer Höhe frakturiert
- 42-B1.3...Fibula auf gleicher Höhe frakturiert



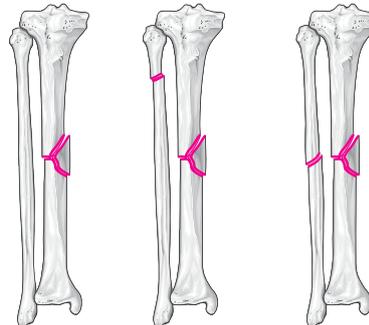
42-B1.1

42-B1.2

42-B1.3

## 42-B2...Biegungskeil

- 42-B2.1...Fibula intakt
- 42-B2.2...Fibula auf anderer Höhe frakturiert
- 42-B2.3...Fibula auf gleicher Höhe frakturiert



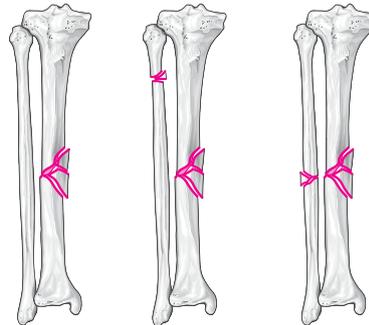
42-B2.1

42-B2.2

42-B2.3

## 42-B3...fragmentierter Keil

- 42-B3.1...Fibula intakt
- 42-B3.2...Fibula auf anderer Höhe frakturiert
- 42-B3.3...Fibula auf gleicher Höhe frakturiert



42-B3.1

42-B3.2

42-B3.3

## b Typ B: Keilfrakturen.

## Klassifikation des Weichteilschadens

**Zu beachten!** Es ist wichtig, bei einer Unterschenkelfraktur mögliche Begleitverletzungen zu eruieren; insbesondere Weichteilschäden sind hier hervorzuheben.

- Wichtig: Bei einer Unterschenkel-fraktur mögliche Begleitverletzungen eruieren.

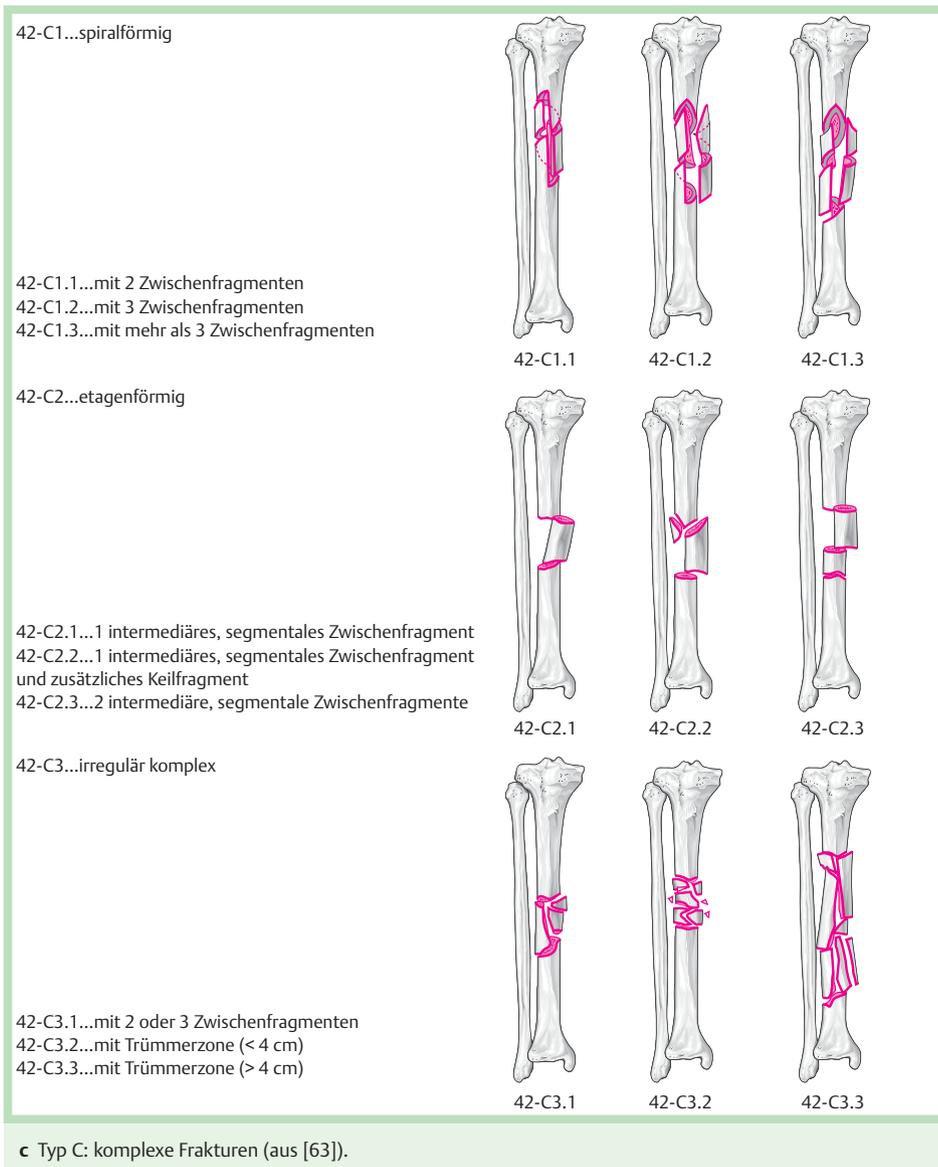
Die sichere Einschätzung des primären Weichteilschadens ist für den Chirurgen unerlässlich und von dessen Erfahrung abhängig.

Bis heute wurden viele Klassifikationssysteme für Weichteilschäden publiziert. Unter all diesen haben sich 2 Systeme für die Einteilung der geschlossenen und offenen Weichteilschäden international durchgesetzt.

Um den offenen Weichteilschaden einzuteilen, kommt die Klassifikation von Gustilo u. Anderson aus dem Jahr 1976 (modifiziert 1987) [27, 28] zur Anwendung, obwohl manche Autoren sie für ihre hohe interindividuelle Variabilität kritisieren [29, 30] (• Tab. 1).

Obwohl die Klassifikation von Tscherne et al. sowohl den geschlossenen als auch den offenen Weichteilschaden behandelt, wird sie hauptsächlich für die Einschätzung des geschlossenen Weichteilschadens herangezogen [31] (• Tab. 1). Schwierigkeiten bereitet hierbei insbesondere der geschlossene Weichteilschaden, der sehr viel weniger offensichtlich ist als der offene Weichteilschaden. Hier ist die Einschätzung maßgeblich von der Erfahrung des Chirurgen abhängig.





**Zu beachten!** Wesentlich ist vor allem bei geschlossenen Weichteilschäden die repetitive Verlaufsbeurteilung, um auch den fortschreitenden postprimären Weichteilschaden korrekt zu erfassen.

Trotz aller Kritik konnte eine klare Korrelation zwischen dem vorliegenden Weichteilschaden und dem Infektionsrisiko des Patienten gezeigt werden [20], was die Notwendigkeit der korrekten Klassifikation unterstreicht.

### Therapeutisches Vorgehen

Die Wahl der therapeutischen Optionen hängt von der Lokalisation der Fraktur, dem vorliegenden Weichteilschaden sowie den zusätzlichen Verletzungen und Nebenerkrankungen ab. Die Ziele der Therapie von Tibiaschaftfrakturen sind in der Übersicht aufgelistet.



**Tab. 1** Klassifikation des geschlossenen und offenen Weichteilschadens nach Tscherne u. Oestern [31] sowie Gustilo u. Anderson [27,28].

Tscherne u. Oestern	Gustilo u. Anderson	Kennzeichen
G0		keine oder unbedeutende Weichteilverletzung indirekte Gewalteinwirkung einfache Frakturform pathologische Fraktur
G1		oberflächliche Schürfung oder Kontusion durch Fragmentdruck von innen einfache bis mittelschwere Frakturformen
GII		tiefe kontaminierte Schürfung oder Kontusion durch direkte Gewalteinwirkung drohendes Kompartmentsyndrom mittelschwere bis schwere Frakturform
GIII		ausgedehnte Hautkontusion, -quetschung oder Zerstörung der Muskulatur subkutanes Décollement manifestes Kompartmentsyndrom Verletzung eines Hauptgefäßes schwere Frakturform
O1	I	oberflächliche, saubere Wunde weniger als 1 cm Durchmesser einfache Schräg- bzw. Querfraktur keine Trümmerfraktur
O2	II, IIIA	tiefe kontaminierte Wunde (> 1 cm) Weichteilquetschung, aber adäquate Weichteildeckung des Knochens drohendes Kompartment Mehrfragmentfraktur
O3	IIIB	ausgedehntes Weichteiltrauma (Kontusion, Décollement) Periostverlust (Deperiostierung) manifestes Kompartment Trümmerfraktur
O4	IIIC	ausgedehntes Weichteiltrauma (Kontusion, Décollement) Periostverlust (Deperiostierung) manifestes Kompartment Trümmerfraktur zusätzlich rekonstruktionspflichtige arterielle Gefäßverletzung

G = geschlossener Weichteilschaden, O = offener Weichteilschaden

## Übersicht

### Ziele der Therapie von Tibiaschaftfrakturen

- ▶ schnelles Erreichen der Vollbelastung
- ▶ knöcherner Heilung in achsen-, längen- und rotationsgerechter Stellung
- ▶ Wiederherstellung des kompletten Bewegungsumfanges des Knie- und oberen Sprunggelenks
- ▶ Vermeidung von Pseudarthrosen
- ▶ Vermeidung von Infektionen und fortschreitendem Weichteilschaden im Rahmen von offenen Frakturen



Gerade die offenen Frakturen stellen aufgrund der schlechten Weichteildeckung der Tibia bis heute eine chirurgische Herausforderung dar. Essenziell für ein gutes Outcome des Patienten ist neben der korrekten Wiederherstellung der Länge, Rotation und Achse des Knochens ein intakter Weichteilmantel frei von Infektionen. Insbesondere sind varisch/valgische Achsabweichungen zu vermeiden, da diese sekundär schnell zu arthrotischen Veränderungen im Bereich des Kniegelenks und des oberen Sprunggelenks führen können.

### Konservative Therapie

**Indikationen:** Die konservative Therapie einer Tibiaschaftfraktur im Erwachsenenalter stellt die absolute Ausnahme dar und sollte nur bei nicht dislozierten, stabilen Frakturen bei gleichzeitigem Vorliegen von Kontraindikationen zur operativen Versorgung erwogen werden [32, 33].

**Durchführung:** Die Ruhigstellung erfolgt hierbei zunächst für 4 Wochen im Oberschenkelgips. Nach diesem Zeitraum kann auf einen funktionellen Unterschenkel-Brace gewechselt werden, der noch für 8–12 Wochen getragen werden muss [33]. Konventionell radiologische Kontrollen sollten alle 2 Wochen erfolgen. Die Therapiedauer ist abhängig von der Frakturform und beträgt in der Regel 8–10 Wochen für Frakturen mit Rotationskomponente und mindestens 12 Wochen bei transversen Frakturen [34].

**Noch nicht abgeschlossenes Knochenwachstum:** Die konservative Therapie wurde bei Kindern und Jugendlichen im Wachstumsalter wegen der Gefahr der Verletzung der Epiphysenfugen durch einen operativen Eingriff lange bevorzugt [35]. Nicht zuletzt den Daten von Sarmiento et al. ist es zu verdanken, dass ein erfolgreicher konservativer Therapiealgorithmus etabliert werden konnte [33]. Durch Verbesserungen in den osteosynthetischen Techniken und speziellen Implantaten für Kinder und Jugendliche im Wachstumsalter ist in den letzten Jahren eine Tendenz weg von der rein konservativen Therapie hin zur operativen Stabilisierung zu verzeichnen [36].

**Komplikationen:** Die Gefahren der konservativen Therapie beinhalten vor allem ein hohes Thromboserisiko. Außerdem erhöht die Ruhigstellung in zirkulären Verbänden die Gefahr eines Kompartmentsyndroms gerade in der ersten Periode nach dem Trauma. Des Weiteren gehören iatrogene Weichteilschäden sowie das Auftreten eines Morbus Sudeck zu den möglichen Risiken [32]. In einer Metaanalyse von prospektiven Studien konnte gezeigt werden, dass die konservative Therapie verglichen mit den operativen Verfahren die höchste Pseudarthroserate aufwies [37].

### Operative Therapie

Die operative Versorgung von Unterschenkelfrakturen folgt einem standardisierten Algorithmus (● **Abb. 3**). Prinzipiell ist am Unterschenkel eine primäre Versorgung anzustreben. Dieses Vorgehen stößt jedoch mancherorts auf organisatorische/infrastrukturelle Schwierigkeiten.

**Indikationen:** Zu den absoluten Indikationen der chirurgischen Intervention gehören

- ▶ alle offenen Verletzungen,
- ▶ Begleitverletzungen von Nerven und/oder Gefäßen,
- ▶ das Kompartmentsyndrom sowie
- ▶ der polytraumatisierte Patient.

**Implantatwahl:** Zahlreiche verschiedene Implantate stehen dem Operateur zur Verfügung. Wegen seiner nachgewiesenen biomechanischen Überlegenheit wird dem intramedullären Kraftträger heute auf breiter Basis der Vorzug gegeben.

### Fixateur externe

**Indikationen:** Vor der Ära der Marknagelung war die operative Stabilisierung der Tibiaschaftfraktur mit einem Fixateur externe weit verbreitet [38]. Dieses Verfahren ist universell einsetzbar, schnell zu applizieren und einfach in der technischen Durchführung. Es gibt keine dokumentierten Kontraindikationen für den Fixateur externe zur Stabilisierung der Tibia. Zudem handelt es sich um ein winkelstabiles Verfahren, das zusätzlich die Prinzipien der biologischen Osteosynthese respektiert. Außerdem kommt dieses Verfahren oft bei Kindern und Jugendlichen im Wachstum zur Anwendung, ggf. in Kombination mit intramedullären extrafugal applizierten Drähten (ESIN oder Prévot-Nägel).

Durch die Weiterentwicklung nicht nur der osteosynthetischen Verfahren, aber auch der Techniken zur Weichteilrekonstruktion und temporären Weichteildeckung (z. B. Epigard, **Vacuum Assisted Closure; VAC**) rückte die Indikation für den Fixateur externe als primäres Verfahren zur Stabilisierung immer weiter in den Hintergrund. Tatsächlich werden heute sogar Frakturen mit einem IIIB offenen Weichteilschaden primär intramedullär stabilisiert [34].

- Bei Frakturen am Unterschenkel ist die primäre Versorgung anzustreben.

- Vorteile des Fixateur externe: universell einsetzbar; schnell und einfach in der technischen Durchführung; winkelstabiles Verfahren; den Prinzipien der biologischen Osteosynthese gehorchend; keine Kontraindikationen



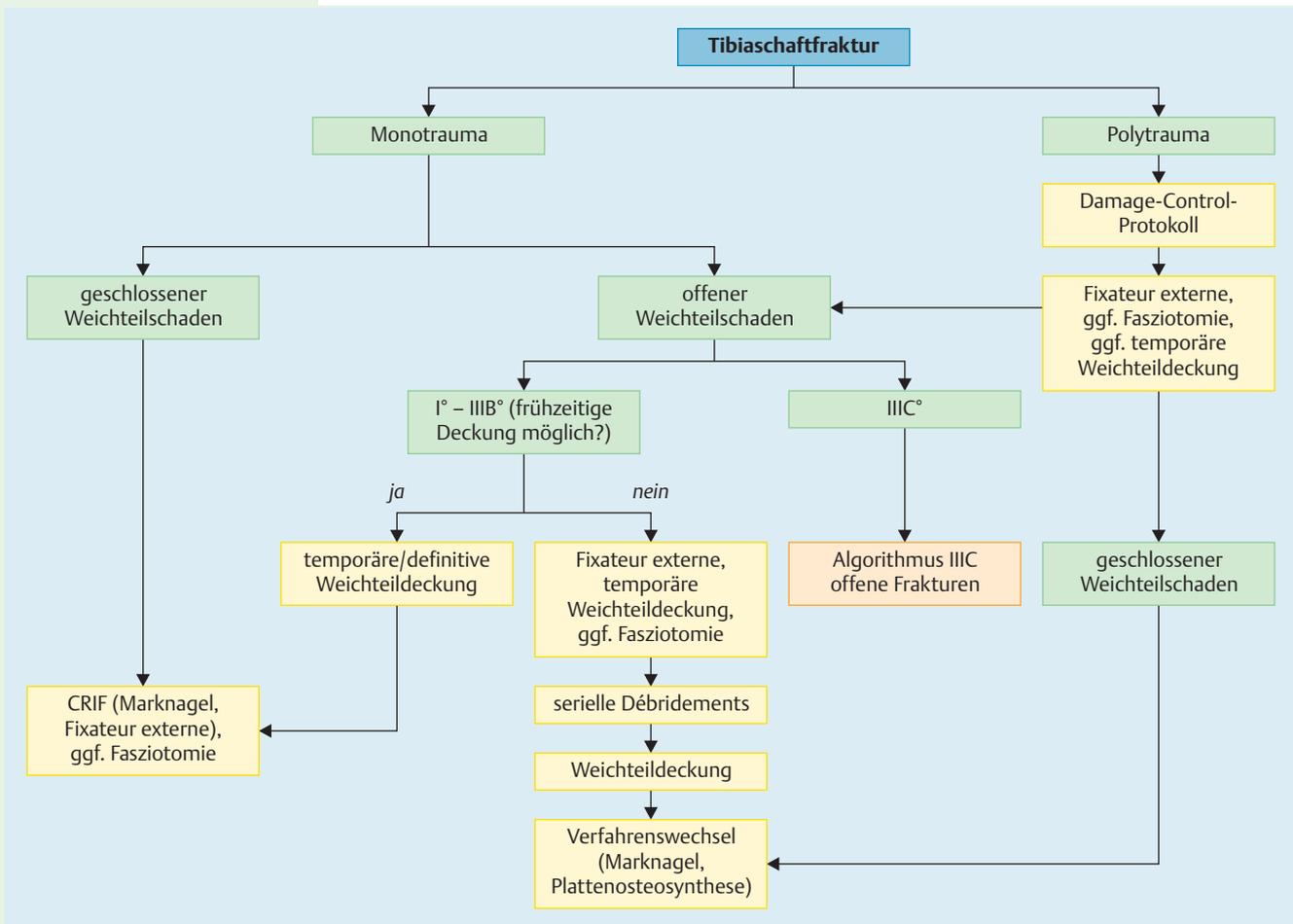


Abb. 3 Algorithmus der operativen Versorgung von Tibiaschaftfrakturen (CRIF = geschlossene Reposition und interne Fixation).

Bei polytraumatisierten Patienten ist der Fixateur externe im Rahmen der **Damage Control Surgery (DCS)** bis heute allerdings das Verfahren der Wahl. Hinzu kommen Situationen, in denen sich eine intramedulläre Stabilisierung verbietet (z. B. bei schweren Thoraxtraumata, Hypothermie oder Koagulopathien). Zudem kann es in Fällen eines Präkompartments notwendig werden, die Fraktur mit einem Fixateur externe zunächst zu stabilisieren, um den durch die intramedulläre Nagelung auftretenden höheren Markraumdruck und dadurch resultierend den höheren Kompartimentdruck zu vermeiden.

**Komplikationen:** Eines der Hauptprobleme des Fixateur externe ist der **Pin-Infekt** [39]. Daher müssen die Patienten die korrekte Pin-Pflege erlernen und selbstständig und zuverlässig durchführen. Dabei hat sich die tägliche Reinigung der Pin-Eintrittsstellen mit desinfektionsmittelhaltigen Kompressen bewährt [34].

### Intramedulläre Kraftträger

In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass die intramedulläre Stabilisierung von Tibiaschaftfrakturen die Methode der Wahl ist.

**Indikationen:** Auch höhergradig offene Frakturen können primär mit diesem Verfahren stabilisiert werden, wenn eine definitive Weichteildeckung zügig erreicht werden kann [40]. Im eigenen Vorgehen werden bei gegebener Indikation zur Marknagelosteosynthese Frakturen mit einem bis zu IIIIB offenen Weichteilschaden primär versorgt.

Einzig in folgenden Situationen ist eine Deckung innerhalb von 48 Stunden nach operativer Stabilisierung nicht indiziert:

- ▶ bei polytraumatisierten Patienten,
- ▶ bei begleitenden höhergradigen Thoraxtraumata,
- ▶ bei präexistenten Infektionen,
- ▶ bei schwersten Weichteilschäden (offen, aber auch geschlossen).

- Die intramedulläre Stabilisierung von Tibiaschaftfrakturen ist die Methode der Wahl und wird selbst bei höhergradig offenen Frakturen angewendet.

Bei Pseudarthrosen und Kindern/Jugendlichen mit offenen Wachstumsfugen ist eine Marknagelosteosynthese nicht angezeigt [38].

Durch die minimalinvasive und frakturferne Insertion des Kraftträgers sowie die perkutane Verriegelung erfüllt diese Methode die modernen Kriterien der biologischen Osteosynthese, wobei die Frakturzone unangetastet bleibt.

Durch Verbesserungen der Nageldesigns ist in den letzten Jahren eine Ausweitung der Indikation zu verzeichnen. Wurden früher nur die diaphysären Frakturen mittels Marknägeln stabilisiert, bieten moderne Implantate durch multidirektionale proximale und distale Verriegelungsoptionen die Möglichkeit, auch weit distal oder proximal metaphysäre Frakturformen mit einem Marknagel zu stabilisieren [41].

Eine weitere Ausdehnung der Indikation zur Marknagelosteosynthese wurde durch die Entwicklung von winkelstabilen Verriegelungsbolzen geschaffen, die zumindest in biomechanischen Studien eine deutliche Überlegenheit gegenüber konventionellen Verriegelungsbolzen zeigten [42–44].

**Technik/Durchführung:** Obwohl die Marknagelosteosynthese ein weit verbreitetes Operationsprinzip bei der Therapie von Frakturen der langen Röhrenknochen ist, gibt es Kontroversen bezüglich der Operationstechnik (aufgebohrt vs. unaufgebohrt) sowie der Art der verwendeten Verriegelungsbolzen (winkelstabil vs. konventionell).

Das biomechanische Prinzip unterscheidet sich dabei grundlegend bei der unaufgebohrten und der aufgebohrten Technik (s. Infobox „Prinzip“)

## Prinzip

### Biomechanisches Prinzip der aufgebohrten versus unaufgebohrten

#### Marknagelungstechnik

▶ Bei der **aufgebohrten Technik** wird durch den Aufbohrvorgang die Kontaktfläche zwischen Knochen und Implantat erhöht. Diese erhöhte Kontaktfläche soll zu einer Verklebung des Nagels im Markraum führen, was die Stabilität des Konstruktes deutlich erhöht [34]. Des Weiteren postulieren manche Autoren, dass das entstehende Bohrmehl wie eine autologe Spongiosaplastik im Bereich der Fraktur wirkt und dadurch die Heilungszeit verkürzt wird [37, 45].

Nichtsdestotrotz birgt diese Technik auch weitreichende Komplikationsmöglichkeiten, wie die erhöhte Rate an Fettembolien sowie die Störung der enostalen Durchblutung, was wiederum einen negativen Einfluss auf die Frakturheilung hat [46, 47]. Ferner geht diese Operationstechnik mit einem erhöhten zeitlichen und materiellen Aufwand sowie einem höheren Blutverlust einher [46].

▶ Bei der **unaufgebohrten Technik** kommen dünnere Implantate zur Anwendung. Diese wirken wie eine Art Splint, der die Fraktur schient.

Bei dieser Technik wird mehr Wert auf den Erhalt der lokalen Biologie als auf absolute Stabilität gelegt. Die unaufgebohrte Technik erhält die enostale Durchblutung. Es wird postuliert, dass dies zu einer schnelleren Heilung und niedrigeren Infektionsrate führt. Daher hat sich die unaufgebohrte Technik für die Versorgung von offenen und geschlossenen Tibiafrakturen weit verbreitet [48].

Für keines der beiden Verfahren konnte bisher eine sichere Überlegenheit gezeigt werden. Coles et al. präsentierten eine Analyse von prospektiven Studien und konnten zeigen, dass die aufgebohrte Technik in Bezug auf die Heilungsraten von Vorteil war [37]. Bhandari et al. publizierten 2008 Daten einer prospektiven Studie an mehr als 1200 Frakturen. Sie konnten keinen Unterschied zwischen den Verfahren bei offenen und geschlossenen Frakturen nachweisen und nur einen möglichen Benefit der aufgebohrten Technik bei geschlossenen Frakturen [49]. Eine aktuelle Cochrane-Analyse ergab keinen klaren Unterschied der beiden Techniken [50].

An dieser Stelle sollte angemerkt werden, dass sich die Operationstechnik der unaufgebohrten Marknagelung seit Publikation dieser Untersuchungen geändert hat: Im heutigen Vorgehen kommt die sogenannte „Rückschlagtechnik“ zur Anwendung (s. Infobox „Prinzip“).

- Heutzutage kommt bei der unaufgebohrten Marknagelung die sogenannte „Rückschlagtechnik“ zur Anwendung mit deutlichen Vorteilen hinsichtlich der Pseudarthroserate.



## Prinzip

**Rückschlagtechnik bei unaufgebohrter Marknagelung**

Der intramedulläre Kraftträger wird zunächst distal verriegelt. Dann wird die Fraktur durch retrogrades Zurückschlagen des Nagels unter Kompression gesetzt.

- Die intraoperative Verwendung von zusätzlichen temporären Repositionsplattenosteosynthesen kann helfen, resultierende Achsfehler zu vermeiden.
- Pollerschrauben geben dem Nagel im Markraum eine Führung, reponieren das proximale oder distale Fragment und verhindern so eine resultierende Achsfehlstellung.
- Die operative Stabilisierung der Fibula bei Frakturen des distalen Drittels führt zur Erhöhung von Gesamt- und Torsionsstabilität.

Gerade bei isolierten Tibiaschaftfrakturen mit intakter Fibula ist die Kompression der Fraktur unbedingt anzustreben, da in dieser Situation eine erhöhte Rate an Pseudarthrosen beobachtet wurde [51]. Bezüglich der Verwendung winkelstabiler Verriegelungsbolzen konnten diese bisher nur in biomechanischen Testszenarien ihre mechanischen Vorteile unter Beweis stellen. Klinische Studien, die diesen Effekt bestätigen, fehlen bislang.

Gerade bei metaphysären Frakturen und Grenzindikationen der Marknagelosteosynthese können die geschlossene Reposition und die sichere Retention der Fraktur schwierig sein. Abgesehen von der notwendigen Verwendung eines Nagelsystems, das die entsprechenden Verriegelungsoptionen für diese Art von Frakturen vorhalten muss, kann in solchen Fällen die intraoperative Verwendung von zusätzlichen temporären Repositionsplattenosteosynthesen (Abb. 4) hilfreich sein, um resultierende Achsfehler zu vermeiden.

Ein weiteres hilfreiches Tool zur indirekten Reposition und Führung des Nagels ist der Einsatz von sogenannten Pollerschrauben (Abb. 5) [52]. Diese von Krettek et al. 1999 publizierte Technik gibt dem Nagel im Markraum eine Führung, reponiert das proximale oder distale Fragment und verhindert so eine resultierende Achsfehlstellung [53, 54]. Bei der Anwendung dieser Technik ist eine exakte Planung und Platzierung der Schrauben notwendig, um das gewünschte Resultat zu erzielen.

**Begleitende Fibulafraktur:** Die Versorgungsstrategie bei begleitenden Fibulafrakturen wird bis heute kontrovers diskutiert. Bei Mitttschaftfrakturen der Tibia und Fibula ist eine konservative Therapie der begleitenden Fibulafraktur weit verbreitet und anerkannt [55]. Jedoch gibt es keine eindeutigen Daten bei Frakturen des distalen Drittels. Whorton u. Henley konnten in ihrer klinischen Studie Ergebnisse präsentieren, die keinen Unterschied zwischen der konservativen und operativen Therapie zeigten [56]. Andere Arbeitsgruppen postulierten, dass Frakturen des distalen Drittels bei nicht stabilisierter Fibula zu einer vermehrten Achsabweichung tendieren [57, 58]. Biomechanische Arbeiten zu diesem Thema zeigten eindeutig, dass eine operative Stabilisierung der Fibula bei Frakturen des distalen Drittels zu einer Erhöhung der Gesamtstabilität und vor allem zu einer Erhöhung der Torsionsstabilität führt [59].

Im eigenen Vorgehen wird die Fibula in allen Fällen einer evidenten oder vermuteten Sprunggelenkpathologie sowie bei Frakturen, die im distalen Drittel der Fibula lokalisiert sind, operativ mittels Plattenosteosynthese mitversorgt.



**Abb. 4** 27-jähriger Patient mit proximaler Unterschenkelfraktur (Typ 42-A3.3 nach AO) nach Verkehrsunfall (a, b). c–e Intraoperativ Nutzung einer winkelstabilen Drittelrohrplatte als temporäre Repositionsplatte. f, g Postoperativ achsgerechte Stellung, die durch die multidirektionalen proximalen Verriegelungsoptionen des implantierten Marknagels suffizient retiniert wird (Expert Tibia Nail, Firma Synthes, Umkirch, Deutschland).



**Abb. 5** 50-jähriger Patient mit geschlossener 2-Etagen-Unterschenkelfraktur (Typ 42-C2.1 nach AO) nach Verkehrsunfall (a, b). c, d Reposition und Sicherung des Segments mit Pollerschrauben im diaphysären Fragment (postoperative Stellungskontrolle). e, f Ausheilungsbild 12 Monate postoperativ.

**Noch nicht abgeschlossenes Knochenwachstum:** Kinder und Jugendliche mit offenen Wachstumsfugen stellen eine Sondersituation dar. Wegen der Gefahr des vorzeitigen Fugenverschlusses und der daraus resultierenden Wachstumsstörung müssen in solchen Fällen Verfahren zur Anwendung kommen, die die Wachstumsfugen nicht tangieren. In den letzten Jahren hat sich die titanelastische Nagelung (Abb. 6) als Verfahren der Wahl in diesem Patientengut etabliert [35]. Diese Therapieform kann, gerade im Adoleszentenalter, gegebenenfalls zusätzlich mit externen Verfahren kombiniert werden, um einem Korrekturverlust oder Achsfehler vorzubeugen (Abb. 7).

**Dynamisierung des intramedullären Kraftträgers:** Nahezu alle Tibiaschaftfrakturen (abgesehen von ausgedehnten Trümmer- oder Defektfrakturen), die mit einem intramedullären Kraftträger versorgt wurden, sollen im klinischen Verlauf je nach Frakturtyp und verwendetem System „dynamisiert“ werden, indem im Bereich der proximalen Verriegelung der Bolzen im statischen Loch entfernt wird. Dadurch ist die Möglichkeit der Kompression der Fraktur bei erhaltener Rotationsstabilität durch die vom Patienten aufgebraachte Belastung der Extremität gegeben, was die knöcherne Heilung beschleunigt. Diese Dynamisierung des intramedullären Kraftträgers sollte je nach Lokalisation und Implantat frakturfern (proximale Frakturen distal, distale Frakturen proximal) in der Regel ca. 3–6 Wochen nach der Marknagelosteosynthese erfolgen.

### Extramedulläre Kraftträger

Vor der Ära der Marknagelosteosynthese war die konventionelle Plattenosteosynthese das Mittel der Wahl zur operativen Stabilisierung von Tibiaschaftfrakturen. Mit dieser Technik wurde jedes Fragment anatomisch reponiert und retiniert. Jedoch nahm man damit einen immensen Weichteilschaden und alle damit verbundenen Nachteile in Kauf (große operative Zugänge, Störung der lokalen Durchblutung, hohe Infektions- und Pseudarthrosenraten etc.) [34]. Die Entwicklung moderner Implantate, welche die Grundsätze einer biologischen Osteosynthese in sich vereinen, führte zu einer Renaissance der Plattenosteosynthese in Fällen, in denen die Frakturzonen zu weit distal oder proximal gelegen sind, um sie sinnvoll mit einem intramedul-

- Nahezu alle Tibiaschaftfrakturen, die mit einem intramedullären Kraftträger versorgt wurden, sollten im klinischen Verlauf „dynamisiert“ werden.





**Abb. 6** 14-jähriger Junge nach Fahrradsturz (a, b). Primärversorgung mit TEN (titanelastische Nagelung) nach geschlossener Reposition. c, d Verlaufskontrolle nach 3 Monaten. e, f Ausheilungsbild 12 Monate postoperativ.

- Die Plattenosteosynthese ist besonderen Indikationen vorbehalten.

lären Kraftträger zu stabilisieren. Diese neuen, meist anatomisch vorgeformten Implantate erlauben eine minimalinvasive weichteilschonende Insertion fern der Frakturzone, erhalten somit sowohl die Fragmentdurchblutung als auch das Frakturhämatom und halten sich dank winkeltstabiler Verankerung der Schrauben an die Konzepte der relativen Stabilität.

**Indikationen:** Nichtsdestotrotz ist die Indikation zur Plattenosteosynthese bei diesen Frakturen speziellen Fällen vorbehalten. Hierzu gehören:

- ▶ weit proximal oder distale metaphysäre Frakturen, die eine sinnvolle intramedulläre Stabilisierung nicht erlauben,
- ▶ Vorhandensein eines Gelenkersatzes (z. B. Knieprothese),
- ▶ Frakturen mit begleitender intraartikulärer Pathologie.

Dabei belegen Studien, dass die Plattenosteosynthese dem Fixateur externe überlegen ist, sofern eine Nagelosteosynthese nicht infrage kommt [60].

### Offene Frakturen

Offene Tibiaschaftfrakturen haben ein hohes Risiko an postoperativen Infektionen, das zwischen 3 und 40% liegt und positiv mit dem Grad des Weichteilschadens korreliert ist [20, 38]. Um die Komplikationsrate so gering wie möglich zu halten, muss die Versorgung von hochgradig offenen Verletzungen einem klaren Algorithmus folgen (Abb. 8), der jedoch aufgrund der Individualität der jeweiligen Verletzung und unter Berücksichtigung des Gesamtverletzungsmusters den vorliegenden Gegebenheiten angepasst werden muss [61].

**Technik/Durchführung:** Die Technik der knöchernen Stabilisierung bleibt eine Kontroverse. Hier kommen zusätzliche Verfahren wie die primäre Verkürzung mit sekundärer Distraktionsosteogenese (Kallusdistraktion) in Betracht. Diese komplexen rekonstruktiven Verfahren, die allein durch moderne intramedulläre Kraftträger (verlängerbarer Marknagel) oder aber in Kombination verschiedener Techniken (Kallusdistraktion mit intramedullärem Kraftträger in Kombi-





**Abb. 7** 15-jähriger Junge mit geschlossener Unterschenkelfraktur nach Verkehrsunfall (a, b). Bei noch offenen Wachstumsfugen Versorgung mit TEN (titanelastische Nagelung). Zur zusätzlichen Retention Montage eines unilateralen Fixateur externe, der für 4 Wochen postoperativ belassen wurde. c, d Postoperative Stellungskontrolle. e, f Ausheilungsbild 12 Monate postoperativ.

nation mit Segmenttransport via Ilizarov-Fixateur) durchgeführt werden können, setzen eine entsprechende Infrastruktur in der Klinik sowie eine spezielle klinische Expertise voraus.

### Stellenwert der Verfahren

Wie dargestellt konnte für die verschiedenen Techniken der intramedullären Stabilisierung kein eindeutiger Vorteil gezeigt werden. Einzig die Überlegenheit der intramedullären Stabilisierung gegenüber der extramedullären (Fixateur externe, Plattenosteosynthese) gilt als gesichert [39].

Dennoch ist der Fixateur externe als primäres Verfahren der Stabilisierung gerade in solchen Fällen, die mit einer hohen Inzidenz an begleitenden Verletzungen einhergehen, im Rahmen des DCS-Konzepts angezeigt. Polytraumatisierte Patienten profitieren daher hier von einem zweizeitigen Konzept mit initial externer Stabilisierung und sekundärer interner Stabilisierung.

### Komplikationen

Die häufigsten Komplikationen geschlossener Frakturen sind

- ▶ **Serome,**
- ▶ **Nekrosen** und
- ▶ **Infektionen** mit dem Risiko einer nachfolgenden Osteomyelitis.

Diese können in seltenen Fällen gar eine chirurgische Revision nach sich ziehen.

**Zu beachten!** Generell ist die Komplikationsrate bei offenen Frakturen höher als bei geschlossenen [10].

Das **Kompartmentsyndrom** ist die schwerwiegendste Frühkomplikation der Tibiaschaftfraktur und bedarf der notfallmäßigen chirurgischen Therapie (s.o.) [16].

- Die Komplikationen nach Tibiaschaftfrakturen umfassen: Serome, Nekrosen, Infektionen, Kompartmentsyndrome, Pseudarthrosen.

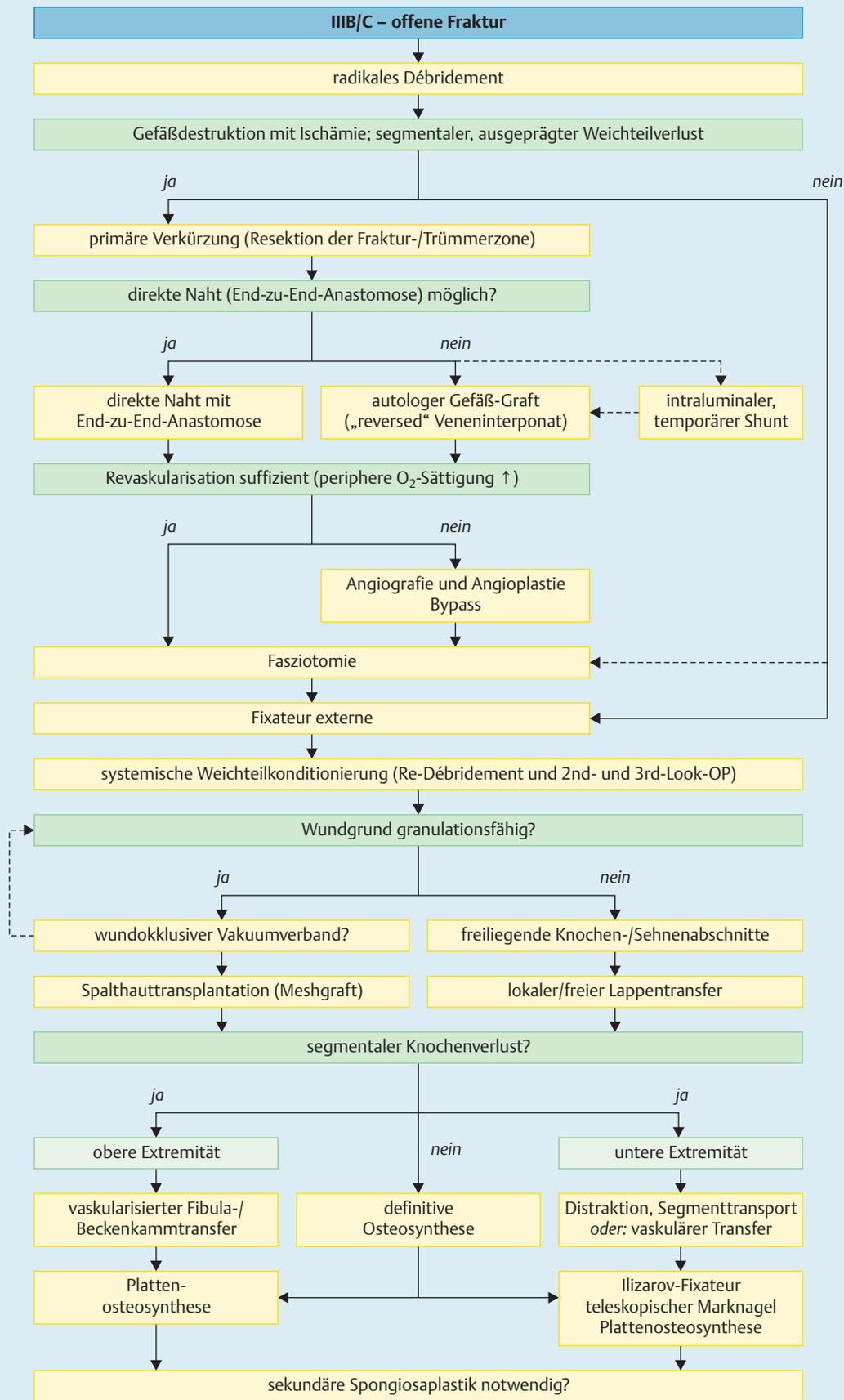


Abb. 8 Algorithmus der operativen Versorgung von offenen Verletzungen Grad IIIIB/C (modifiziert nach [53]).

**Pseudarthrosen** sind weiterhin eine häufige Komplikation nach Tibiaschaftfrakturen. Fong et al. konnten 3 wesentliche Risikofaktoren für Pseudarthrosen und Revisionsoperationen aus ihren Daten schlussfolgern [62]:

- ▶ offene Frakturen,
- ▶ transverse Frakturen sowie
- ▶ ein postoperativ verbliebener Frakturspalt.

Sie bedürfen je nach Typ der Pseudarthrose eines differenzierten Therapiekonzepts.

- ▶ Bei **hypertrophen Pseudarthrosen** wird eine erhöhte mechanische Stabilität benötigt, die in der Regel durch einen Verfahrenswechsel erreicht werden kann. Hier bietet sich im Fall einer Marknagelosteosynthese ein Wechsel auf ein dickeres Implantat an, das die intramedulläre Verklemmung und damit die Gesamtstabilität erhöht [34], oder aber der Wechsel auf eine extramedulläre Stabilisierung (winkelstabile Plattenosteosynthese).
- ▶ Im Fall von **atropen Pseudarthrosen** muss die lokale Biologie und Vitalität unterstützt bzw. wiederhergestellt werden. Hier konnten verschiedene Arbeiten den Nutzen von Wachstumsfaktoren (BMP-7) in Kombination mit einer autologen Spongiosaplastik zeigen [3, 38].
- ▶ Bei den **Infektpseudarthrosen** ist die suffiziente Eradikation der Infektion der Schlüssel zur erfolgreichen Therapie.

## Fazit für die Praxis



Die Tibiaschaftfraktur ist die am häufigsten vorkommende Fraktur eines langen Röhrenknochens und wird in der Regel operativ stabilisiert [1, 34, 38, 61]. Dabei kann die operative Versorgung je nach vorliegendem Frakturtyp und Weichteilschaden ein- bzw. zweizeitig erfolgen [61]. Die intramedulläre Marknagelosteosynthese ist dabei das am häufigsten angewendete Verfahren [38], wobei die technische Durchführung (unaufgebohrt/aufgebohrt) für geschlossene/offene Frakturen weiter Gegenstand der aktuellen Diskussion ist [37, 49, 50].

Bei Kindern und Jugendlichen mit offenen Wachstumsfugen ist bei gegebener Operationsindikation ein die Wachstumsfugen schonendes Verfahren (z. B. ESIN [elastisch stabile intramedulläre Nagelung], TEN [titanelastische Nagelung]) zu bevorzugen.

Pseudarthrosen sind eine häufige postoperative Komplikation mit bekannten Risikofaktoren [62], die je nach Typ ein dezidiertes Revisionskonzept zur Folge haben [3, 34, 38].

**Interessenkonflikt:** Die Autoren bestätigen, dass kein Interessenkonflikt vorliegt.

## Literatur



Die Literatur ist in der Online-Version unter [www.thieme-connect.de/ejournals](http://www.thieme-connect.de/ejournals) einsehbar.

## Impressum



Refresher Orthopädie und Unfallchirurgie  
*Tibiaschaftfrakturen*

Autoren:

S. Märdian, P. Schwabe, K.-D. Schaser

Charité – Universitätsmedizin Berlin, Centrum für muskuloskeletale Chirurgie, Augustenburger Platz 1, Berlin

Konzeption und Umsetzung:  
Joachim Ortleb  
Georg Thieme Verlag KG  
Klinik und Praxis  
Zertifizierte Fortbildung

Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. **Jeder Benutzer ist angehalten**, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und ggf. nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in dieser Broschüre abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf dem Markt gebracht worden sind. **Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers.**

© 2015 Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart

Unsere Homepage: <http://www.thieme.de>

Printed in Belgium

Satz: Ziegler + Müller, text form files, Kirchentellinsfurt

## CME-Fragen Tibiaschaftfrakturen

### 1 Welche der folgenden Aussagen über die Ursache von Tibiaschaftfrakturen trifft zu?

- A Die häufigste Ursache von Tibiaschaftfrakturen sind Verkehrsunfälle.
- B Gewalttaten führen nicht zu Tibiaschaftfrakturen.
- C In der überwiegenden Anzahl der Fälle sind Stolperstürze für Tibiaschaftfrakturen verantwortlich.
- D Sportunfälle spielen keine Rolle als Ursache von Tibiaschaftfrakturen.
- E Um die Tibia zu frakturieren, bedarf es immer eines Hochrasanztraumas.

### 2 Eine der folgenden Aussagen trifft nicht zu. Welche?

- A Aufgrund der/des anteromedialen geringen Weichteildeckung/-mantels kommt es bei ca. 24% aller Tibiaschaftfrakturen zu offenen Weichteilschäden.
- B An der Tibia kommt es nur selten und unabhängig vom Weichteilschaden zu Knochenheilungsstörungen („delayed union“, „non union“).
- C Tibiaschaftfrakturen stellen mit ca. 63% den größten Anteil aller offenen Frakturen des humanen Skelettsystems dar.
- D Geschlossene Tibiaschaftfrakturen gehen mit einem hohen Risiko für die Entwicklung eines Kompartmentsyndroms einher.
- E Die Inzidenz von Tibiaschaftfrakturen wird derzeit mit ca. 1–2/100 000 angegeben.

### 3 Welche der folgenden Aussagen ist richtig?

- A Die Therapie eines akuten Kompartmentsyndroms ist zumeist konservativ.
- B Ein manifestes Kompartmentsyndrom kann mit voll erhaltener peripherer makrohämodynamischer Perfusion (erhaltene Fußpulse) assoziiert sein.
- C Ein Präkompartmentsyndrom ist leicht an den ausgeprägten Spannungsblasen der Haut des Unterschenkels sowie einem Ausfall der Sensibilität zwischen der 1. und 2. Zehe zu erkennen.
- D Es wurden fixe, vom Blutdruck unabhängige und messbare Schwellenwerte der Kompartmentsdruckmessung definiert, an denen sich der behandelnde Chirurg orientieren kann.
- E Bei offenen Frakturen ist eine Kompartmentspaltung nie notwendig.

### 4 Eine der folgenden Aussagen ist falsch. Welche?

- A Das Ausmaß des offenen/geschlossenen Weichteilschadens ist unmittelbar nach Trauma am stärksten. Mit einem nennenswerten Sekundärschaden ist nicht zu rechnen.
- B Die konventionell radiologische Diagnostik muss immer die benachbarten Gelenke (Knie, OSG) mit abbilden.
- C Bei offenen Frakturen ist eine auf das krankenhausspezifische Keimpektrum angepasste Antibiotikatherapie einzuleiten.
- D Eine Verzögerung der Antibiotikatherapie führt zu einem erhöhten Infektionsrisiko.
- E Auch bei ausgedehnten Spiralbrüchen des Tibiaschafts ist eine CT-Bildgebung in der Regel verzichtbar.

### 5 Welche der folgenden Aussagen ist richtig?

- A Bei Vorliegen einer Gefäßläsion ist immer eine konventionelle Angiografie angezeigt.
- B Die Diagnostik der Tibiaschaftfraktur umfasst neben der konventionell radiologischen Diagnostik die MR-Tomografie als Standard.
- C Die Duplexsonografie hat die Angiografie als Diagnostikum abgelöst, da sie vollständig valide Ergebnisse unabhängig vom Untersucher liefert.
- D Die CT-Angiografie mit der Möglichkeit von multiplanaren Rekonstruktionen hat die Notwendigkeit der invasiven konventionellen Angiografie deutlich reduziert.
- E Lange Aufnahmen des Unterschenkels sind nicht sinnvoll und sollten im Sinne der Strahlenbelastung unterlassen werden.

### 6 Welche der folgenden Aussagen ist unzutreffend?

- A Geschlossene Weichteilschäden II. Grades sind immer mit einem manifesten Kompartmentsyndrom assoziiert.
- B Geschlossene Weichteilschäden sind schwieriger zu klassifizieren als offene.
- C Die geschlossenen Weichteilschäden werden vorzugsweise nach Tscherne und Oestern eingeteilt.
- D Eine Durchspießung der Haut durch die Fragmente von innen (< 1 cm) wird als erstgradig offener Weichteilschaden bezeichnet.
- E Die Einschätzung der Schwere vor allem des geschlossenen Weichteilschadens ist maßgeblich von der Erfahrung des Chirurgen abhängig.

**7** Nur eine der folgenden Aussagen ist zutreffend. Welche?

- A Die Wiederherstellung des vollen Bewegungsumfangs von Knie- und Sprunggelenk sind in der Therapie von Tibiaschaftfrakturen nachrangig.
- B Pseudarthrosen lassen sich bei korrekter operativer Versorgung der Tibiaschaftfrakturen nahezu vollständig vermeiden.
- C Varus-/Valgusfehler beeinflussen das klinische Ergebnis kaum.
- D Die Wahl der therapeutischen Optionen ist unabhängig von der Frakturform, weshalb jede Fraktur mit einem intramedullären Verfahren stabilisiert werden kann.
- E Zu den Zielen der Therapie von Tibiaschaftfrakturen gehört das schnelle Erreichen der Vollbelastung mit korrekter Wiederherstellung der Achse, Länge und Rotation.

**8** Wodurch ist die Therapie der Tibiaschaftfraktur gekennzeichnet?

- A Die konservative Therapie von Tibiaschaftfrakturen ist in den Industrieländern heute eine weit verbreitete, komplikationsarme und erfolgreiche Methode.
- B Der Grad des Weichteilschadens beeinflusst den Zeitpunkt der operativen Therapie nicht.
- C Der Fixateur externe ist ein Verfahren, das nur in Ausnahmesituationen zur Anwendung kommt.
- D Der intramedulläre Kraftträger (Marknagel) ist die Methode der Wahl zur Stabilisierung von Tibiaschaftfrakturen.
- E Die Marknagelosteosynthese kann unabhängig von Begleitverletzungen immer primär erfolgen.

**9** Eine der folgenden Aussagen trifft *nicht* zu. Welche?

- A Die Marknagelosteosynthese erfüllt die Kriterien der modernen „biologischen Osteosynthese“.
- B Mit modernen Marknagelsystemen können auch weit proximal sowie distal gelegene metaphysäre Frakturen suffizient stabilisiert werden.
- C Die aufgebohrte und unaufgebohrte Technik basieren auf den gleichen biomechanischen Prinzipien.
- D Bei intakter Fibula ist eine Kompression der Tibiaschaftfraktur immer anzustreben, um die Ausbildung einer Pseudarthrose zu vermeiden.
- E Pollerschrauben sind eine Möglichkeit der Repositions- und Retentionshilfe.

**10** Nur eine der folgenden Aussagen ist richtig. Welche?

- A Die Dynamisierung des Marknagels ist eine kaum genutzte Option.
- B Die operative Versorgung von höhergradig offenen Frakturen folgt einem klar definierten weichteiladaptierten Algorithmus, bei dem das knöcherne Verletzungsmuster im Primärmanagement in den Hintergrund tritt.
- C Bezüglich der Stabilität konnte bisher kein Vorteil der intramedullären gegenüber der extramedullären Osteosynthese gezeigt werden.
- D Alle Formen von Pseudarthrosen können immer leicht durch einen einfachen Verfahrenswechsel therapiert werden.
- E Aufgrund der guten Durchblutung der unteren Extremität sind Infektionen eine seltene Komplikation bei Tibiaschaftfrakturen.