



# Fehlverheilte Frakturen am Unterschenkel und Sprunggelenk

## Epidemiologie und Diagnostik

Unterschenkelfrakturen sind die dritthäufigsten pädiatrischen Knochenverletzungen (10,8%), wobei sich Häufigkeit des Auftretens sich nicht signifikant mit dem Alter ändert. Dabei betrifft nur ein geringer Anteil den distalen Unterschenkel einschließlich der Sprunggelenkfrakturen. Knapp 12% der distalen Unterschenkelfrakturen waren Übergangsfrakturen und zeigten einen Altersgipfel nach dem 12. Lebensjahr [12].

## Radiologische Diagnostik

Anteroposteriore und laterale Röntgenaufnahmen müssen immer die Knie- und Knöchelgelenke abbilden und sollten immer dann gemacht werden, wenn eine Tibia- und/oder Fibulafraktur vermutet werden. Eine Schnittbildgebung mit Computertomographie (CT) ist nur in seltenen Fällen notwendig. Meist wird sie bei unklaren Situationen im Sprunggelenkbereich und hier v. a. zur Beurteilung der Übergangsfrakturen eingesetzt.

## Klassifikationen

Ein optimales Klassifizierungssystem sollte leicht angewendet werden können. Es sollte eine geringe Variabilität zwischen den Beobachtern zeigen, Hinweise über den Mechanismus der Verletzung und der Pathomorphologie liefern, die Erforschung von Faktoren, die das Ergebnis beeinflussen, und Gruppenansammlungen ähnlicher Läsionen mit einzelnen Behandlungsoptionen erleichtern. Es ist allerdings unmöglich, alle diese Anforderungen in einem einzigen System zu erfüllen. Eine Doppelklassifizierung könnte schon eher die meisten dieser Anforderungen erfüllen. Der Nutzen einer „umständlichen“ Forschungsklassifikation ist die evtl. Schaffung einer eher

mächtigen und relevanten klinischen Klassifikation. Eine optimale Frakturklassifikation müsste daher dynamisch und an Fortschritten in der Entwicklung durch vermehrtes Wissen orientiert sein, was kaum umsetzbar wäre [2].

Nah an das Ziel einer idealen Klassifikation kommt heute die Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese – PCCF („pediatric comprehensive classification of long bone fractures“) [20].

## Wachstumsverhalten und Korrekturgrenzen

Das Längenwachstum der Tibia generiert sich etwa zu 60% aus der proximalen und zu 40% aus der distalen Wachstumsfuge. Das Sistieren des Längenwachstums er-

Tab. 1 Korrekturgrenzen der Achsenabweichung am Unterschenkelschaft [10]		
	<8 Jahre	>8 Jahre
Valgus	5°	5°
Varus	10°	5°
Antekurvatur	10°	5°
Rekurvatur	5°	0°
Verkürzung	10 mm	5 mm
Rotation	5°	5°

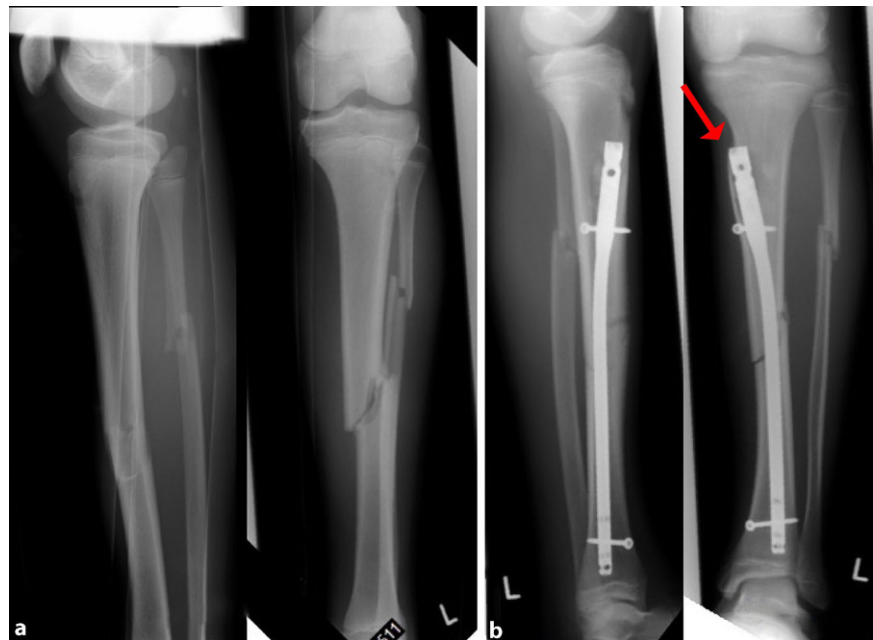
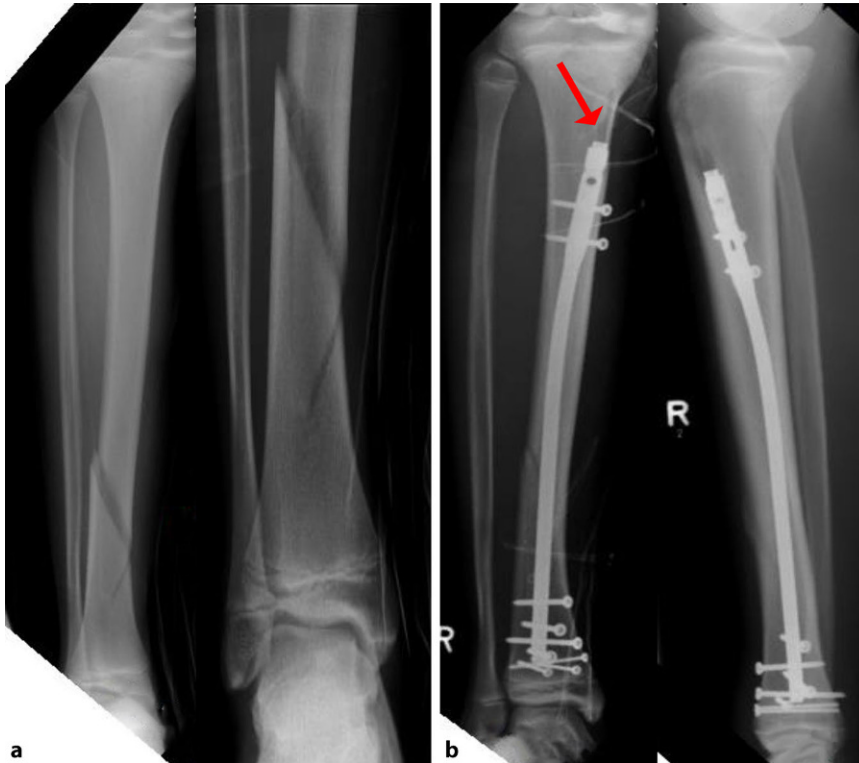
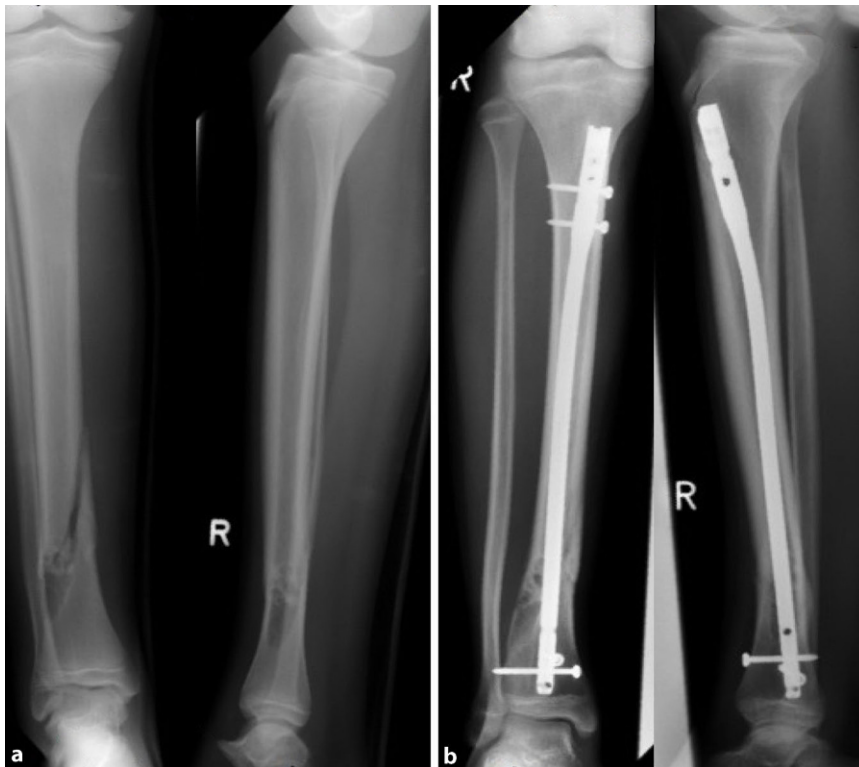


Abb. 1 ▲ a 15-jähriger Junge, 65 kg/167 cm, mit geschlossener Unterschenkelfraktur. b Operative Stabilisierung mit Verriegelungsmarknagel über atypischen Zugang vor dem Pes anserinus (roter Pfeil)



**Abb. 2** ▲ a 14-jähriger Junge, 63 kg, 178 cm, mit geschlossener distaler Unterschenkelspiralfraktur, einstrahlend bis in die Metaphyse. b Operative Stabilisierung mit distaler Schraubenosteosynthese und Verriegelungsmarknagelung über atypischen Zugang vor dem Pes anserinus (roter Pfeil)



**Abb. 3** ▲ a 14-jähriger Junge mit pathologisch instabiler distaler Tibiaschaftfraktur. b Operative Stabilisierung mit Verriegelungsmarknagel über atypischen Zugang vor dem Pes anserinus, 3 Monate postoperativ

folgt distal deutlich früher als proximal, was bei etwaigen Wachstumsstörungen berücksichtigt werden muss. Torsionswinkelveränderungen am Unterschenkel sind im Alter von bereits 10 bis 14 Jahren geschlechtsabhängig nicht mehr zu erwarten, somit finden sich danach keine weiteren physiologischen Außenrotationsveränderungen. Für etwaige Therapieentscheidungen sollten die Korrekturgrenzen am Unterschenkel beachtet werden. Die Korrekturgrenzen werden in der Literatur sehr inhomogen spezifischen Altersklassen zugeordnet, gemeinsam ist all den Angaben der enge Korridor der Grenzen (■ Tab. 1). Auffallend dabei ist, dass insgesamt in allen Ebenen eine geringe spontane Korrekturfähigkeit auszumachen ist [6, 22].

### Therapieziel

Das Therapieziel muss eine achsengerechte Ausheilung mit voller Beweglichkeit im Knie und im Sprunggelenk sein. Dabei sollten möglichst folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- eine primäre definitive Versorgung,
- möglichst keine Verfahrenswechsel,
- keine mehrfachen Repositionsmanöver,
- keine Übertherapie/Untertherapie,
- keine unnötigen röntgenologischen Mehrbelastungen,
- keine posttraumatischen Fehlstellungen.

### Problem der Stabilisierung im Adoleszentenalter

Im Adoleszentenalter stehen wir häufig vor der Frage, wie Frakturen außerhalb der engen Toleranzgrenzen stabilisiert werden. Bei der operativen Stabilisierung von Unterschenkel- und Tibiafrakturen haben wir die elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN), Fixateur externe und Plattenosteosynthesen zur Verfügung. Verriegelungsnägel haben bisher keinen Stellenwert.

Die bei Kindern am häufigsten verwendete Osteosynthese ist die ESIN und wird v. a. aufgrund des minimalinvasiven Zugangs bevorzugt. Bei Adoleszenten ist die Technik aber aufgrund des oft hohen Körpergewichtes und der Größe

der Jugendlichen nicht mehr anwendbar. Hier haben sich in den letzten Jahren die eingeschobenen winkelstabilen Plattenosteosynthesen und der Fixateur externe durchgesetzt. Bisher nicht erwähnt wurde die Möglichkeit von Verriegelungsnägeln. Um einen Zugang und eine Verletzung der proximalen Tibiapophyse zu vermeiden, haben wir bei 10 jugendlichen Patienten im Alter zwischen 13 und 16 Jahren bei offenen Apophysen und offenen/partiell offenen Fugen Verriegelungsnägel medial oberhalb des Pes anserinus eingebracht (▣ **Abb. 1, 2 und 3**). Bedingung waren eine Körpergröße >155 cm, ein Körpergewicht oberhalb von 50 kg und ein Markraumdurchmesser von mindestens 8 mm. In keinem Fall erfolgte eine Aufbohrung. Alle Nägel konnten problemlos implantiert werden. Bei einer Fraktur, die weit in die distale Metaphyse reichte, wurde additiv eine Schraubenosteosynthese vorgenommen (▣ **Abb. 2**). Letztlich konnten alle Frakturen achsgerecht zur Ausheilung gebracht werden. Somit haben wir nun eine weitere Alternative in der operativen Behandlung von groß gewachsenen und/oder übergewichtigen Adoleszenten, sofern der Markraumdurchmesser mindestens 8 mm beträgt.

### Fehlheilungen und Fehlstellungen

Die Therapie von Fehlheilungen und Fehlstellungen im Bereich des Unterschenkels/Sprunggelenks erfordert sehr viel Erfahrung und fachliche Voraussetzungen, um die Behandlung konsequent umsetzen zu können. Bei der Knochenfehlheilung im Kindes- und Jugendalter unterscheiden wir äquivalent zu Erwachsenen folgende Arten:

- ▀ verzögerte Frakturheilung – Knochenheilung innerhalb von 6 Monaten nicht erfolgt,
- ▀ Pseudoarthrose – Knochenheilung länger als 6 Monate nicht erfolgt,
- ▀ Infektpseudoarthrose – ausbleibende Knochenheilung, bedingt durch Infektion im Bruchbereich (▣ **Abb. 4a–e**).

In der Literatur wird die Rate der verzögerten Frakturheilung mit 16 %, der

Trauma Berufskrankh 2017 · 19 (Suppl 2):S119–S125 DOI 10.1007/s10039-017-0275-5  
© Springer Medizin Verlag GmbH 2017

E. Gercek · T. Nusselt · M. Nienhaus · E. Rothenbach · A. Bernhardt · F. Hartmann

### Fehlverheilte Frakturen am Unterschenkel und Sprunggelenk

#### Zusammenfassung

Fehlverheilte Frakturen oder Heilungsstörungen an Unterschenkel und Sprunggelenk bei Kindern sind eine seltene Entität, die einer stringenten Behandlung in der Hand von Spezialisten bedarf. Sowohl bei konservativer als auch bei operativer Therapie können Heilungsstörungen auftreten. Insofern ist es notwendig, bei einer Fehlstellung die engen altersbezogenen Toleranzgrenzen zu beachten, um funktionshemmende Deformitäten als Komplikation zu vermeiden. Der begleitende Weichteilschaden kann einen

konservativen Therapieansatz limitieren, v. a. wenn offene Weichteilschäden vorgefunden werden. Die Therapie der Fehlheilungen ist individuell. Daneben gilt es auch, drohende Fehlheilungen zu verhindern, die v. a. im Adoleszentenalter bei groß gewachsenen und übergewichtigen Jugendlichen auftreten können.

#### Schlüsselwörter

Tibia · Heilungsstörung · Deformität · Therapie · Weichteilschaden

### Malunion of fractures of the lower leg and ankle

#### Abstract

Malunion or healing disorders of fractures of the lower leg and ankle in children are a rare entity, which need stringent treatment in the hand of specialists. Healing disorders can occur by conservative and also by surgical treatment; therefore, in cases of malunion it is necessary to pay attention to the narrow age-related tolerance limits, in order to avoid the complication of functional impairment due to deformities. The accompanying soft tissue damage can be limited by conservative

treatment approaches, especially when open soft tissue injuries are involved. The treatment of malunion is individual-specific. Impending malunions must also be avoided, which can particularly occur in adolescence in rapidly growing and overweight adolescents.

#### Keywords

Tibia · Nonunion · Deformity · Therapy · Soft tissue damage

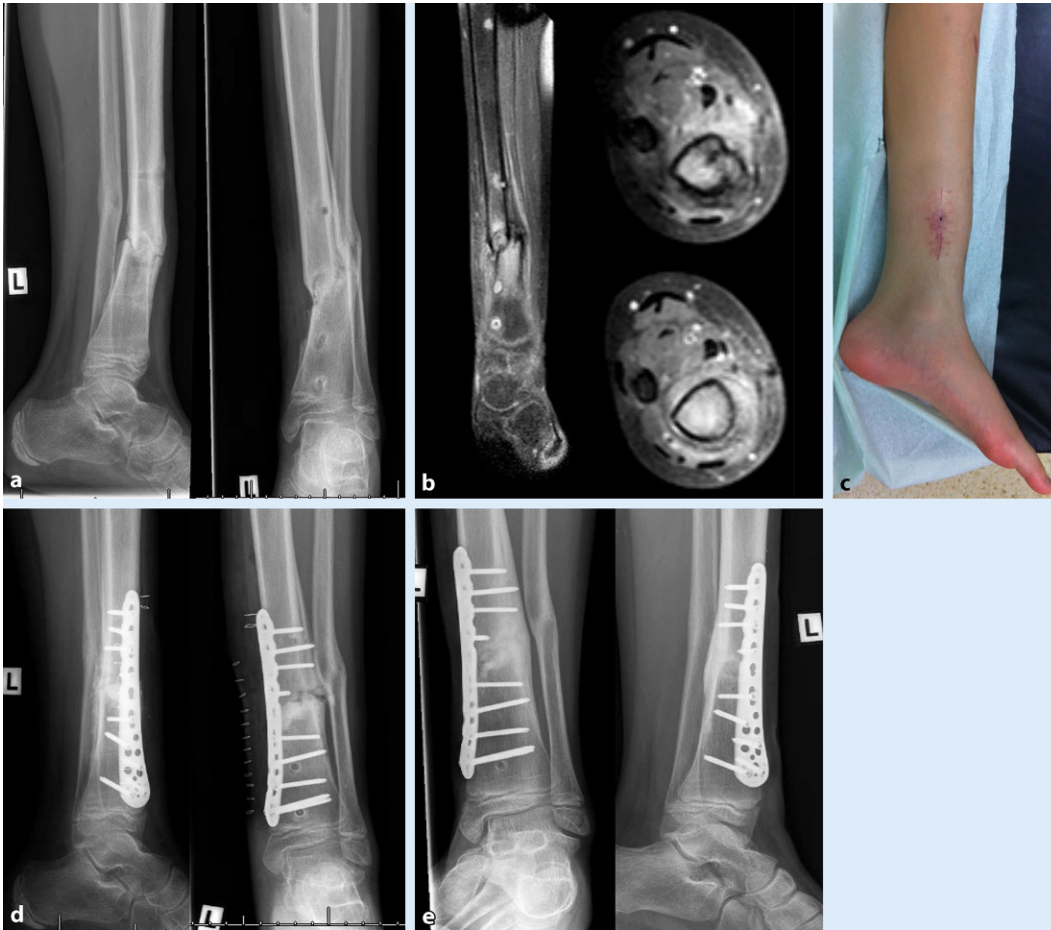
Pseudoarthrose mit 7,5 % sowie der Infektion oberflächlich mit 8 % und tief mit 3 % angegeben [1, 23]. Ursachen sind mangelhafte Ruhigstellung im Gipsverband bei instabilen Bruchsituationen, unzureichende oder fehlende osteosynthetische Versorgung mit Bewegungen und/oder Defektsituationen im Bruchbereich, Störung der Durchblutung oder Infektion von Knochen und/oder Weichteilen. Unerlässlich für die Knochenbruchheilung sind neben einer Infektfreiheit, die ungestörte Blutversorgung aus dem Knocheninneren, über die Knochenhaut (Periost) sowie die umgebenden Weichteile.

Relevante Achsabweichungen und Beinlängendifferenzen sind bei korrekt durchgeführter und kontrollierter konservativer Therapie nicht zu erwarten. Die spontane Korrektur einer signifikanten axialen Fehlstellung nach einer diaphysären Fraktur des Unterarms oder eines Oberschenkels eines Kindes ist

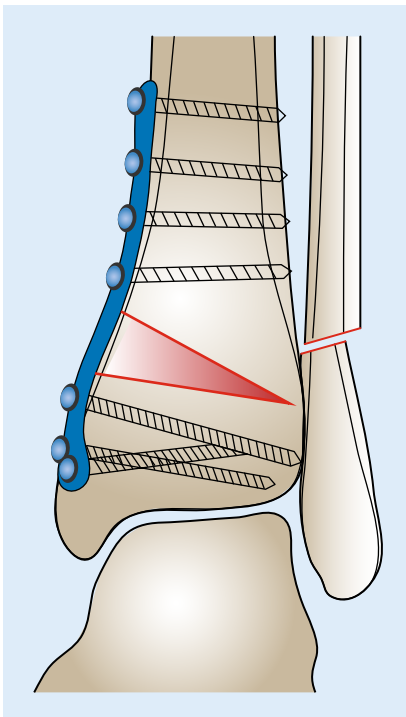
üblich. Die Korrektur einer Angulationsfehlstellung des Tibiaschaftes ist jedoch oft unvollständig, sodass im Verlauf von Behandlungen auch über eine Gipskeilung nachgedacht werden sollte [4].

Fehlstellungen nach Frakturen am Unterschenkel und Sprunggelenk können je nach Ausprägung erheblich beeinträchtigen und sind bei Kindern auf die Knochenheilung zurückzuführen. Dabei unterscheiden wir Achs- und Drehfehlstellungen, Verkürzungen und Verlängerungen sowie Wachstumsstörungen im Fugenbereich. Generell akzeptierte Parameter für die Heilung am Unterschenkel sind:

- ▀ <10° Angulation,
- ▀ <2 cm Verkürzung,
- ▀ <50 % Translation, in Abhängigkeit vom Alter,
- ▀ Rotation entsprechend der Gegenseite.



**Abb. 4** ◀ a 13-jähriger Junge mit Infektpseudarthrose nach I° offener Fraktur und Fixateur-externe-Therapie. b Nachweis der entzündlichen Reaktion in der Magnetresonanztomographie. c Klinisches Bild bei Erstvorstellung, diskrete Überwärmung. d Operative Revision mit Pseudarthroseausräumung, Korrekturosteosynthese mit winkelstabiler Platte und Defektfüllung mit absorbierbarem Gentamicin-Calciumsulphate-Hydroxylapatit-Biocomposite. e Ausheilungsbild vor Metallentfernung



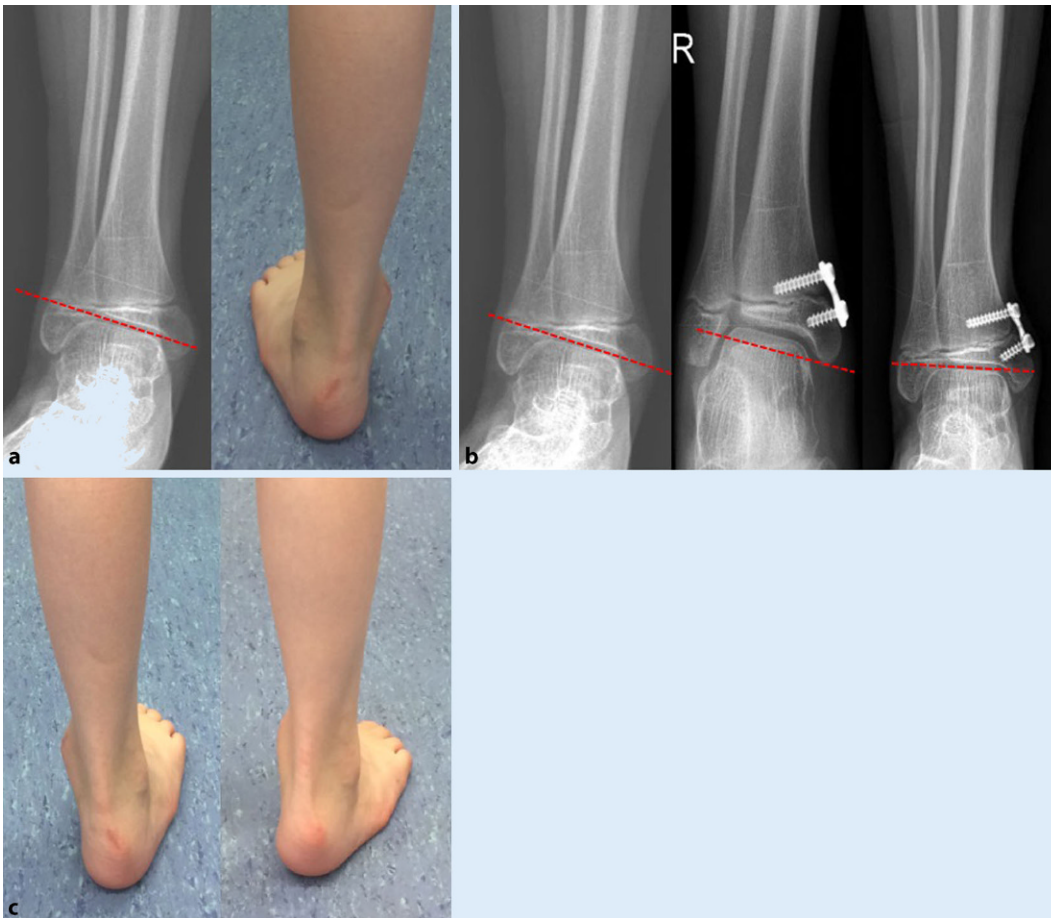
**Abb. 5** ▲ Open-wedge-Osteotomie für die Korrektur der Varusdeformität

Sekundäre Valgusfehlstellungen sind die häufigsten sekundären Fehlstellungen. Verzögerte Heilung und Fehlheilung sind ungewöhnlich nach Niedrigenergie-tibiafrakturen bei Kindern. Fehlheilungen treten bei Kindern häufiger nach offenen Frakturen auf. Hope und Cole berichteten über die Ergebnisse von offenen Tibiafrakturen bei 92 Kindern (22 Grad I, 51 Grad II und 19 Grad III nach Gustilo und Anderson [9]). Spülung und Débridement wurden bei der Aufnahme durchgeführt, Antibiotika wurden für 48 h gegeben; 65 (71 %) der 92 Frakturen wurden reponiert und in einem Oberschenkel-Gips immobilisiert. Eine externe Fixierung wurde für instabile Frakturen, Verletzungen mit signifikantem Weichgewebeerlust und Frakturen bei Patienten mit Mehrfachverletzungen verwendet [11]. Außer Frage steht heute, dass bei offenen Frakturen eine Ruhigstellung mit Fixateur externe als Goldstandard zu betrachten ist. Bisher gibt es keine veröffentlichten

Studien, die direkt und prospektiv die Verwendung von flexiblen intramedullären Nägeln mit externer Fixierung für offene Tibiaschaftfrakturen vergleichen. Eine Ausbehandlung im Fixateur externe kann die Zeit bis zur Heilung bei einigen Patienten verlängern, insbesondere bei offenen Frakturen, die sich oft aus hochenergetischen Verletzungen ergeben [7, 13, 15].

### Deformität durch Achsabweichungen und Fehlrotation

Eine spontane Korrektur einer signifikanten axialen Fehlstellung nach einer diaphysären Fraktur des Unterarms oder des Oberschenkelknochens eines Kindes ist in Abhängigkeit des Alters oft möglich [4]. Das Remodeling einer Tibiaschaftfraktur hingegen ist oft unkomplett. Insofern sollte, so weit wie möglich eine anatomische Reposition und Retention vorgenommen werden. Swaan und Opers [24] zeigten an Tibiaschaftfrakturen



**Abb. 6** ◀ **a** Angulations-  
fehlstellung mit ausge-  
prägtem Rückfußvalgus bei  
einem 11-jährigen Jungen.  
**b** Temporäre partielle Epi-  
physiodese zur Korrektur.  
Radiologischer Verlauf über  
18 Monate. **c** Klinisches Bild  
vor und nach temporärer  
Epiphysiodese

von 86 Kindern bei Mädchen zwischen 9 und 12 Jahren und Jungen zwischen 1 und 8 Jahren und Jungen von 11 bis 12 Jahren nur etwa 50 % Spontankorrektur der Angulation. Nicht mehr als 25 % der Deformität wurden bei Kindern über 13 Jahren korrigiert. Weber et al. [25] zeigten, dass ein Bruch mit Varusfehlstellung von 5 bis 13 Grad vollständig auf der Ebene der Epiphysenfuge korrigiert wurde. Die meisten Kinder mit Valgusdeformitäten von 5 bis 7 Grad hatten hingegen keine adäquate Korrektur. Shannak [19] überprüfte die spontane Korrektur bei der Behandlung von 117 Kindern mit Tibiaschaftfraktur, die in Oberschenkelgipsen behandelt wurden. Deformitäten in 2 Ebenen korrigierten nicht so vollständig wie die in einer einzigen Ebene. Die kleinste Korrektur trat bei retrokurvatur angulierten Frakturen auf, gefolgt von Frakturen mit Valgusfehlstellung.

Behandlungsbedürftige Achsfehlstellungen werden, wenn möglich, durch Osteotomien im metaphysären Bereich vorgenommen (▣ Abb. 5). Dabei sind

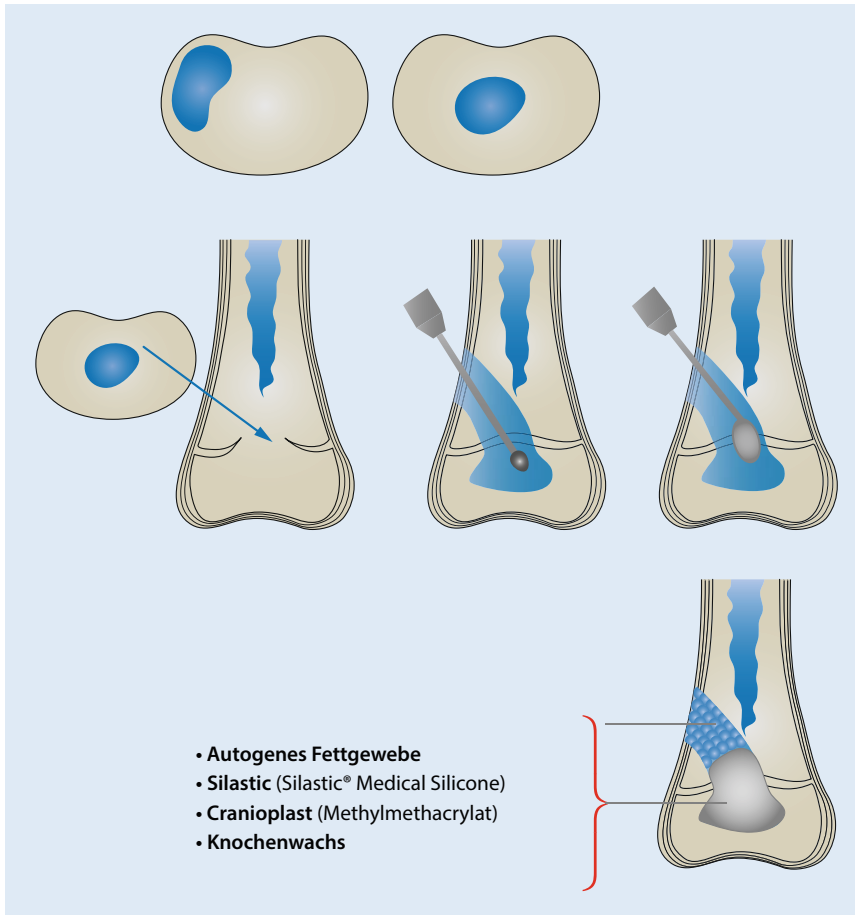
die Grenzen einer Osteotomie, z. B. der Open-wedge-Osteotomie bei Varusdeformität zu berücksichtigen. In der Regel werden erst Achsfehler über 10° durch Osteotomien korrigiert. Die Öffnungs-Keil-Osteotomie ist für eine Korrektur anwendbar, wenn die Winkelverformung 25 Grad oder weniger und die Beinlängendiskrepanz 25 mm oder weniger beträgt [18]. Eine weitere Möglichkeit, Achsfehler auszugleichen, ist eine temporäre oder definitive partielle Epiphysiodese (▣ Abb. 6).

Rotatorische Fehlstellungen von mehr als 10 Grad können eine signifikante Funktionsstörung hervorrufen und eine spätere derotierende Osteotomie der Tibia erfordern. Am häufigsten wird die derotierende Osteotomie der Tibia im supramalleolaren Bereich der distalen Tibia durchgeführt. Die Tibia wird osteotomiert, gedreht und intern fixiert. Die Fibula kann intakt bleiben, besonders für eine geplante Derotation von weniger als 20 Grad. Die Aufrechterhaltung der Kontinuität der Fibula erhöht die Stabi-

lität und begrenzt die Möglichkeit, eine iatrogene Winkeldeformität der Tibia herbeizuführen.

### Beinlängendiskrepanz

Eine Hyperämie, die mit der Fraktur-reparatur assoziiert ist, kann die Wachstumsfugen im betroffenen Bein anregen und eine Wachstumsbeschleunigung erzeugen. Eine Wachstumsbeschleunigung nach Tibiafraktur wird seltener als nach Femurfrakturen bei Kindern vergleichbaren Alters gesehen. Shannak et al. [19] zeigten, dass die durchschnittliche Wachstumsbeschleunigung der Tibia eines Kindes nach einem Bruch etwa 4,5 mm beträgt. Mehrfragmentäre Frakturen haben das größte Risiko für ein stimulatives Wachstum mit Verlängerung. Swaan und Oppers [24] berichteten, dass kleinere Kinder eine höhere Chance für eine Wachstumsbeschleunigung mit Verlängerung haben als ältere Kinder. Ein stimulatives Wachstum nach Tibiafraktur tritt bei Kindern



**Abb. 7** ▲ Technik der Resektion von Knochenbrücken im Bereich der Wachstumsfuge lageabhängig. In die Resektionshöhle wird zur Verhinderung einer neuen Knochenbrücke ein Interponat eingebracht. Ohne Interponat kommt es sehr häufig zum Rezidiv

unter 10 Jahren auf, während ältere Kinder eine leichte Wachstumshemmung durch die Fraktur haben können. Das Ausmaß einer Frakturverkürzung wirkt sich auch auf die Wachstumsstimulation aus. Frakturen mit signifikanter Verkürzung haben mehr Fugenwachstum nach Frakturheilung als Verletzungen ohne Verkürzung [14]. Eine Angulation im Bereich der Frakturzone scheint hingegen das Ausmaß eines stimulativen Wachstums nicht zu beeinflussen [8]. Sollte eine Beinlängendifferenz von mehr als 2 cm erwartet werden, kann eine Wachstumshemmung der Gegenseite über eine temporäre oder definitive Epiphyseodese vorgenommen werden [3]. Dabei ist es notwendig, möglichst exakt die zu erwartende Beinlängendifferenz und die voraussichtliche Körpergröße des Patienten zu bestimmen. Andere Möglichkeiten, Unterschiede auszugleichen, sind die Verkürzungsosteotomie der

Gegenseite oder eine Verlängerung der betroffenen Seite (ab 2 cm Beinlängendifferenz) über eine Kallusdistraction mit einem Ringfixateur. Vorteil hierbei ist, dass Achsfehler gleichzeitig korrigiert werden können. Ein geringer Beinlängendifferenz hingegen, sollte am/im Schuh ausgeglichen werden.

### Vorzeitiger Fugenschluss oder Wachstumsstörungen bei distalen Frakturen

Posttraumatische Deformitäten werden oft durch einen Wachstumsstillstand verursacht. Diese treten eher nach Salter-Harris-Typ-III- und -IV-Frakturen auf, bei denen sich eine Fugenbrücke an der Bruchstelle entwickelt, was zu einer Varusdeformität führt, die mit fortgesetztem Wachstum fortschreitet. Spiegel et al. [21] berichteten über Wachstumsprobleme bei 9 von 66 Patienten mit Salter-Har-

ris-Typ-II-Frakturen. Eine aktuelle Studie von Rohmiller et al. [17] analysierte das Ergebnis von 91 Salter-Harris-Typ-I- und -II-Frakturen der distalen Tibia. Sie identifizierten einen vorzeitigen Fugenschluss in 40 %, und fanden eine höhere Tendenz zum vorzeitigen Fugenschluss bei verbliebener stärkerer Dislokation im Frakturbereich. Deshalb wird eine operative Reposition zur Wiederherstellung der korrekten anatomischen Ausrichtung empfohlen, um das Risiko eines vorzeitigen Fugenschlusses zu reduzieren. Spontane Lösungen von Wachstumsfugenbrücken wurden in der Literatur [5] berichtet, sind aber selten. In Abhängigkeit von der Größe der Fugenbrücke (-verknöcherung), der Achsabweichung oder Verkürzung und dem vermutlichen Restwachstum ist über verschiedene Operationsverfahren nachzudenken. Als Verfahren stehen zur Verfügung: Resektion der Knochenbrücke mit Interposition, Epiphyseodese der betroffenen Fuge oder der Fuge der gesunden Gegenseite bei Beinlängendifferenz, Korrekturosteotomie oder Verlängerung und Achskorrektur. Beträgt das Restwachstum der Fuge mehr als 2 Jahre, wird die Resektion der Knochenbrücke empfohlen mit Interposition von Fett, Silastic, Cranioplast oder Knochenwachs in die Resektionshöhle zur Vermeidung der Bildung einer neuen Knochenbrücke (Abb. 7). Dabei sollte diese nicht mehr als 50 % der Wachstumsfugen umfassen [16, 26]. Letztlich bleibt aber aufgrund fehlender Datenlage unklar, wie viel Restwachstum notwendig ist und welche Größe einer Knochenbrücke maximal für eine Resektion sinnvoll ist.

### Fazit für die Praxis

- Die Behandlung fehlerheilender Frakturen mit funktionshemmenden Deformitäten oder Heilungsstörungen an Unterschenkel und Sprunggelenk bei Kindern sind schon seit Jahrzehnten ein weites Feld von Diskussionen, Irrtümern und unterschiedlichen Ansichten.
- Die engen Korrekturgrenzen am Unterschenkel sollten bekannt sein.
- Die Therapie ist abhängig vom Alter des Patienten, der Größe sowie der

vorhandenen und zu erwartenden Fehlstellung und der funktionellen Einschränkung.

- Techniken wie Verlängerung oder Verkürzung, Achs-/Rotationskorrektur durch Osteotomien, Wachstumslenkung mit partieller oder vollständiger Epiphysiodese sollten bekannt sein.
- Drohende Fehlheilungen gilt es zu verhindern, die v. a. im Adoleszentenalter bei groß gewachsenen und übergewichtigen Jugendlichen auftreten können, wo die spezifischen Techniken der Kindertraumatologie an ihre Grenzen stoßen.

## Korrespondenzadresse



**Prof. Dr. habil. E. Gercek**  
Zentrum für Unfallchirurgie  
und Orthopädie,  
Gemeinschaftsklinikum  
Mittelrhein gGmbH – Ev. Stift  
St. Martin  
Johannes-Müller-Str. 7,  
56068 Koblenz, Deutschland  
erol.gercek@gk.de

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** E. Gercek, T. Nusselt, M. Nienhaus, E. Rothenbach, A. Bernhardt und F. Hartmann geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren. Alle Patienten, die über Bildmaterial oder anderweitige Angaben innerhalb des Manuskripts zu identifizieren sind, haben hierzu ihre schriftliche Einwilligung gegeben. Im Falle von nicht mündigen Patienten liegt die Einwilligung eines Erziehungsberechtigten oder des gesetzlich bestellten Betreuers vor.

The supplement containing this article is not sponsored by industry.

## Literatur

1. Baldwin KD, Babatunde OM, Russell Huffman G et al (2009) Open fractures of the tibia in the pediatric population: a systematic review. *J Child Orthop* 3:199–208
2. Bernstein J, Monaghan BA, Silber JS et al (1997) Taxonomy and treatment – a classification of fracture classifications. *J Bone Joint Surg Br* 79:706–707 (discussion 708–709)
3. Berson L, Davidson RS, Dormans JP et al (2000) Growth disturbances after distal tibial physeal fractures. *Foot Ankle Int* 21:54–58
4. Bohn WW, Durbin RA (1991) Ipsilateral fractures of the femur and tibia in children and adolescents. *J Bone Joint Surg Am* 73:429–439
5. Bostock SH, Peach BG (1996) Spontaneous resolution of an osseous bridge affecting the distal tibial epiphysis. *J Bone Joint Surg Br* 78:662–663
6. Dwyer AJ, John B, Krishen M et al (2007) Remodeling of tibial fractures in children younger than 12 years. *Orthopedics* 30:393–396
7. Gordon JE, Schoenecker PL, Oda JE et al (2003) A comparison of monolateral and circular external fixation of unstable diaphyseal tibial fractures in children. *J Pediatr Orthop B* 12:338–345
8. Greiff J, Bergmann F (1980) Growth disturbance following fracture of the tibia in children. *Acta Orthop Scand* 51:315–320
9. Gustilo RB, Anderson JT (1976) Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J Bone Joint Surg Am* 58:453–458
10. Heinrich SD, Mooney JF (2006) Fractures of the Tibia and Fibula. In: Beaty JH, Kasser JR (Hrsg) Rockwood and Wilkin's. Fractures in children. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia PA, S 1033–1067
11. Hope PG, Cole WG (1992) Open fractures of the tibia in children. *J Bone Joint Surg Br* 74:546–553
12. Kraus R, Schneidmueller D, Roeder C (2005) Häufigkeit von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter. *Dtsch Arztebl Int* 102:838
13. Liow RY, Montgomery RJ (2002) Treatment of established and anticipated nonunion of the tibia in childhood. *J Pediatr Orthop* 22:754–760
14. Mellick LB, Reesor K, Demers D et al (1988) Tibial fractures of young children. *Pediatr Emerg Care* 4:97–101
15. Myers SH, Spiegel D, Flynn JM (2007) External fixation of high-energy tibia fractures. *J Pediatr Orthop* 27:537–539
16. Peterson HA (1984) Partial growth plate arrest and its treatment. *J Pediatr Orthop* 4:246–258
17. Rohmiller MT, Gaynor TP, Pawelek J et al (2006) Salter-Harris I and II fractures of the distal tibia: does mechanism of injury relate to premature physeal closure? *J Pediatr Orthop* 26:322–328
18. Scheffer MM, Peterson HA (1994) Opening-wedge osteotomy for angular deformities of long bones in children. *J Bone Joint Surg Am* 76:325–334
19. Shannak AO (1988) Tibial fractures in children: follow-up study. *J Pediatr Orthop* 8:306–310
20. Slongo TF, Audige L, Group AOPC (2007) Fracture and dislocation classification compendium for children: the AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures (PCCF). *J Orthop Trauma* 21:S135–160
21. Spiegel PG, Cooperman DR, Laros GS (1978) Epiphyseal fractures of the distal ends of the tibia and fibula. A retrospective study of two hundred and thirty-seven cases in children. *J Bone Joint Surg Am* 60:1046–1050
22. Strack A, Rapp M, Illing P (2015) AWMF-Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie. Tibia- und Unterschenkelfraktur im Kindesalter AWMF-Register Nr. 0006/131.
23. Strohm PC, Schmittenebecher PP (2011) Fracture stabilization in polytraumatized children. *Unfallchirurg* 114:323–332
24. Swaan JW, Oppers VM (1971) Crural fractures in children. A study of the incidence of changes of the axial position and of enhanced longitudinal growth of the tibia after the healing of crural fractures. *Arch Chir Neerl* 23:259–272
25. Weber BG, Brunner C, Freuler FE (1980) Treatment of Fractures in Children and Adolescents. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
26. Williamson RV, Staheli LT (1990) Partial physeal growth arrest: treatment by bridge resection and fat interposition. *J Pediatr Orthop* 10:769–776