

Leitlinie zu Tibia- und Unterschenkelchaftfrakturen im Kindesalter

Philipp Schwerk, Jurek Schultz, Guido Fitze, Christoph von Schrottenberg

Definition und Basisinformationen

Definition

Die Unterschenkelchaftfraktur ist definiert als Fraktur von sowohl Tibia als auch Fibula im Bereich der Diaphyse. Abzugrenzen ist sie von der Tibiaschaftfraktur, bei welcher die Fibula keine Fraktur aufweist. Eine Sonderform der Tibiaschaftfraktur ist die sogenannte Toddler-Fraktur (siehe S. 4, Besonderheiten), welche nur im Kleinkindesalter auftritt.

Inzidenz

- Die Inzidenz der Schaftfrakturen im Bereich des Unterschenkels liegt bei ca. 71/100.000 Kindern und Jugendlichen/Jahr (Gonser et al., 2020; Hedström et al., 2010; Kraus et al., 2005; Mäyränpää et al., 2010; Stenroos et al., 2018).
- Tibia- und Unterschenkelchaftfrakturen machen ca. 6% aller Frakturen im Kindesalter aus (Naranje et al., 2016).
- Sie machen ca. 5 – 10 % aller Frakturen der langen Röhrenknochen und ca. 1/3 aller Frakturen am Unterschenkel aus (Kamphaus et al., 2014; Kraus et al., 2005).
- In ca. 80 – 90 % der Fälle liegen die Frakturen im mittleren oder distalen Drittel (Choi et al., 2021; Fernandez, 2016).

Frakturtypen (Kraus et al., 2005; Murphy et al., 2021; Schalamon et al., 2011)

- **Unterschenkelchaftfraktur** – ca. 10 – 30% der Frakturen im Bereich des Unterschenkelschafts; sie ist definiert als die kombinierte Fraktur von Tibia und Fibula und kann unterschieden werden in:
 - **Komplette Unterschenkelchaftfraktur** – hierbei sind sowohl Tibia als auch Fibula komplett durchgebrochen; dieser Frakturtyp ist unter Umständen (Schrägfraktur, Fraktur beider Knochen auf gleicher Höhe) als sehr instabil anzusehen.
 - **Inkomplette Unterschenkelchaftfraktur** – hierbei ist bei Tibia und/oder Fibula noch mindestens eine Kortikalis intakt.
- **Isolierte Tibiaschaftfraktur** – ca. 70 – 90% der Frakturen im Bereich des Unterschenkelschafts.
- **Isolierte Fibulaschaftfraktur** – dieser Frakturtyp ist sehr selten.

Die Unterscheidung zwischen isolierten Tibiaschaftfrakturen und Unterschenkelchaftfrakturen (Fraktur von Tibia und Fibula) ist wichtig, da hierdurch maßgeblich die Stabilität der Fraktur bestimmt wird und dies im Weiteren die Therapie beeinflusst. Aus dem gleichen Grund sind die sorgfältige Bestimmung des Frakturtyps (Querfraktur, Schrägfraktur, Spiralfraktur, etc.) sowie die Unterscheidung zwischen kompletter und inkompletter Tibia- oder Unterschenkelchaftfraktur wichtig.

Die Frakturen können auftreten als:

- Querfrakturen
- Schrägfrakturen
- Spiralfrakturen
- Mehrfragmentfrakturen

Zudem muss unterschieden werden zwischen:

- Geschlossenen Frakturen
- Offenen Frakturen – diese können nach Gustilo und Anderson gegliedert werden in (Gustilo et al., 1984; Gustilo & Anderson, 1976):
 - Grad I – Wunde < 1cm, wenig Verschmutzung/sehr kleiner Weichteilschaden; Durchspießung von innen nach außen
 - Grad II – Wunde 1 – 10cm, moderater Weichteilschaden; Durchspießung von außen nach innen
 - Grad III – wird unterteilt in:
 - IIIA – Wunde > 10cm, ausgeprägter Weichteilschaden, welcher sich jedoch decken lässt
 - IIIB – ausgedehnte Deperiostierung, Weichteildeckung nur mittels rekonstruktiver Maßnahmen möglich
 - IIIC – rekonstruktionspflichtige Gefäßverletzung, unabhängig vom Ausmaß des Weichteilschadens

Alters- und Geschlechtsverteilung

- Der Altersgipfel liegt zwischen dem 8. und 14. Lebensjahr, wobei differenziert werden kann – für isolierte Tibiafrakturen liegt er zwischen 8 – 10 Jahren, für Unterschenkelchaftfrakturen zwischen 12 – 13 Jahren (Stenroos et al., 2018; von Laer, 2011).
- Im Kleinkindesalter zeigt sich insgesamt kaum ein Unterschied bei der Frakturhäufigkeit bezogen auf das Geschlecht. Ab ca. dem 9. Lebensjahr treten die Frakturen deutlich häufiger bei Jungen auf (Murphy et al., 2021; Naranje et al., 2016).

Ätiologie und Pathogenese

- Die Unfallursache ist bei Kleinkindern häufig nicht bekannt (Mäyränpää et al., 2010).
- Auch banale Stürze mit Torsionskomponente können bei Kleinkindern eine Tibiaschaftfraktur (siehe Toddler-Fraktur) verursachen (Wijtes et al., 2021).

- Im Kleinkindesalter besteht eine geringere Widerstandsfähigkeit des Knochens gegenüber Rotationskräften. Körperdrehungen bei fixiertem Fuß können ausgedehnte Spiral- oder Schrägfrakturen im Bereich des Tibiaschafts verursachen (Fernandez, 2016).
- Bei älteren Kindergartenkindern und Schulkindern nehmen Sport- und Freizeitaktivitäten als Ursache für Verletzungen zu. Hierbei überwiegen dann eher Querfrakturen der Tibia durch eine direkte Gewalteinwirkung auf das Schienbein (Hedström et al., 2010; Mäyränpää et al., 2010).
- Mit zunehmendem Alter nimmt die Teilnahme am Straßenverkehr mit Verkehrsunfällen als Verletzungsursache stetig zu. Eine direkte Gewalteinwirkung von lateral führt häufig zu einer Unterschenkelschaftfraktur, kann aber auch zu der sehr seltenen, isolierten Fibulafraktur führen (Hedström et al., 2010).

Leitsymptome

Schwellung, Hämatom, Deformierung, schmerzbedingte Schonhaltung des betroffenen Unterschenkels und Unfähigkeit der Belastung. Im Kleinkindesalter zeigt sich mitunter nur ein Schonhinken.

Beachte: Eine Unterschenkelschaftfraktur kann nur durch ein entsprechend schweres, hochenergetisches Trauma verursacht werden. Bei Vorliegen einer solchen Verletzung ist eine gründliche Untersuchung des Patienten zwingend erforderlich, um weitere Begleitverletzungen (Abdominal-, Thorax-, Wirbelsäulen- oder Schädel-Hirn-Trauma) nicht zu übersehen (Stewart et al., 2013).

Besonderheiten

Wachstum und Anatomie am Unterschenkel

- Das Längenwachstum der Tibia erfolgt unter nahezu paritätischer Beteiligung beider Epiphysenfugen mit einem leichten Überwiegen der proximalen Epiphysenfuge (55 vs. 45%) (Murphy et al., 2021).
- Am proximalen Unterschenkel sind Tibia und Fibula über das nahezu unbewegliche Tibiofibulargelenk (Amphiarthrose) miteinander verbunden, welches durch die *Ligg. capitis fibulae anterius et posterius* verstärkt wird. Im Weiteren sind beide Unterschenkelknochen über fast ihre gesamte Länge durch die Membrana interossea cruris und oberhalb des Sprunggelenks durch die vordere und die hintere Syndesmose verbunden (Canares & Lockhart, 2013).

Die Toddler-Fraktur

- Tritt im Alter von 1 – 3 Jahren auf und beschreibt eine nicht-dislozierte Spiralfaktur des Tibiaschafts, häufig im distalen Drittel. Die Frakturlinie ist hierbei so dezent, dass

diese durchaus auch nur als Fissur bezeichnet werden kann. Die Fibula ist hierbei intakt (Tenenbein et al., 1990).

- In der Regel durch banale Stürze mit Torsionskomponente verursacht (Wijtzes et al., 2021).
- Die Sonographie kann bei V.a. eine Toddler-Fraktur das Röntgen am Unterschenkel ersetzen. Sie kann in geübter Hand eine Toddler-Fraktur klar identifizieren und andere relevante knöcherne Verletzungen am Tibiaschaft ausschließen. Bei unklarem Sonographiebefund und Beschwerdepersistenz sollte im Verlauf ein Röntgenbild angefertigt werden. Die Diagnosestellung kann dennoch erschwert sein, da auf den initialen Röntgenbildern häufig kein eindeutiger Frakturspalt zu erkennen ist. Wurde der Unfall nicht beobachtet und besteht lediglich eine Laufverweigerung, so muss eine Vielzahl an Differentialdiagnosen (Fraktur an anderer Stelle (bspw. Fraktur eines Mittelfußknochens oder eine okkulte Fersenbeinfraktur, eitrige Coxitis, Coxitis fugax, Osteomyelitis, maligne Erkrankungen, u.a.) in Betracht gezogen werden (Sawyer & Kapoor, 2009), wobei die Sonographie in der Diagnosefindung ebenfalls einen wichtigen Stellenwert hat.

Pathologische Fraktur

- In jedem Alter kann eine Unterschenkelschaftfraktur auch als pathologische Fraktur auftreten, z.B. bei Osteogenesis imperfecta, neuromuskulären Erkrankungen, Knochenzysten, benignen oder malignen Tumoren und Stoffwechselerkrankungen (Canavese et al., 2016). Für die Behandlung von Knochenzysten wird an dieser Stelle auf die *S1 Leitlinie Knochenzysten* verwiesen (Canavese et al., 2016; Kaiser, 2019).
- Insbesondere beim Krankheitsbild der Osteogenesis imperfecta bestehen besondere Anforderungen an das langfristige Therapiekonzept und eine etwaige Osteosynthese. Ein entsprechendes Konsensuspapier gibt hierzu einen Überblick (Hoyer-Kuhn et al., 2017).

Nicht akzidentelle Verletzung

- An das Vorliegen einer nicht akzidentellen Fraktur muss im Kindesalter grundsätzlich gedacht werden.
- Bei Kindern unter einem Jahr liegt bei einer Tibia- oder Unterschenkelschaftfraktur (insbesondere bei Tibiakantenabrissen oder Spiralfrakturen) in bis zur Hälfte aller Fälle eine nicht akzidentelle Ursache der Fraktur vor (Leventhal et al., 2008; Maguire et al., 2013).
- Für das Vorgehen bei dem Verdacht auf eine nicht-akzidentelle Verletzung im Kindesalter wird an dieser Stelle auf die *S3+ Kinderschutzleitlinie* verwiesen (Kinderschutzleitlinienbüro, 2019)

Stressfrakturen der Tibia

Stressfrakturen (Ermüdungsbrüche) treten durch repetitive (z.B. sportliche) Belastungen eines Knochens (meist der unteren Extremität) auf und sind durch eine diskrete Infraktion

gekennzeichnet, die im initialen Röntgen meist nicht sichtbar ist (Malcuk et al., 2016). Im Kindesalter sind Stressfrakturen zwar ungewöhnlich, können jedoch insbesondere bei Jugendlichen vorkommen und betreffen in knapp einem Drittel der Fälle die Tibia. Eine Stressfraktur kann eine Insertionstendinopathie vorausgehen. Die Dauer vom Beginn der Beschwerden bis zur Diagnose beträgt durchschnittlich 5 Wochen.

Diagnostik

Anamnese des Unfallhergangs und klinische Untersuchung von Durchblutung, Motorik und Sensibilität. Bezüglich der Sensibilität ist insbesondere das sensible Innervationsgebiet des N. peroneus, welcher sich in einen oberflächlichen (N. peroneus superficialis) und einen tiefen Ast (N. peroneus profundus) aufteilt, zu prüfen. Der N. peroneus superficialis innerviert den anterolateralen Unterschenkel sensibel, wohingegen sich das sensible Innervationsgebiet des N. peroneus profundus auf den ersten Zwischenzehenraum beschränkt. Zudem ist die Beurteilung etwaiger Weichteilverletzungen wichtig. Zur sicheren Diagnosestellung ist eine Bildgebung erforderlich.

○ **Röntgen in 2 Ebenen**

Stets mit angrenzenden Gelenken (Knie und Sprunggelenk) nach zuvor individuell angepasster Analgesie (bei eindeutigem Befund mit sicherer OP-Indikation sollte die 2. Ebene intraoperativ in Narkose nachgeholt werden).

○ **Sonographie**

Bei unklarer Laufverweigerung im Kleinkindalter kann mittels Sonographie entlang der Tibiavorderkante eine operationspflichtige Fraktur des Unterschenkels ausgeschlossen werden. Nach Rückgang der akuten Schmerzen und erneuter klinischer Untersuchung kann ggf. eine gezielte Röntgendiagnostik durchgeführt werden (Ackermann, 2022). Bei Verdacht auf eine (Stress-)Fraktur der Tibia kann versucht werden, mittels Ultraschall ein subperiostales Hämatom als Hinweis für eine Fraktur darzustellen. An dieser Stelle wird zudem auf die S2e-Leitlinie Fraktursonographie verwiesen (Ackermann, 2023).

Kontrastmittelverstärkter Ultraschall (CEUS) ist eine geeignete Methode zur Beurteilung der ossären Perfusion im Rahmen des Heilungsprozesses. Im CEUS zeigen sich Perfusionsunterschiede im Bereich des Frakturspaltes von Tibiafrakturen mit regulärem Heilungsverlauf und solchen, die eine aseptische oder Infekt-bedingte Pseudarthrose ausgebildet haben (Fischer et al., 2020).

○ **MRT**

Geeignet zum Nachweis von:

- Stressfrakturen (Gremillion et al., 2023)

- pathologischen Frakturen

Beachte: Das MRT dient hierbei der Identifizierung der zugrundeliegenden Pathologie und kann dadurch wichtige Hinweise für die Planung einer operativen Therapie liefern.

Klassifikation

- **Klassifikation nach AO-PCCF (Pediatric comprehensive classification of long bone fractures)** (T. F. Slongo et al., 2007)
 - 42-D = Fraktur der Unterschenkeldiaphyse
 - 42-D/2 Grünholzfraktur der Unterschenkeldiaphyse
 - 42-D/4.1 Querfraktur ($<30^\circ$), einfach
 - 42-D/4.2 Querfraktur ($<30^\circ$), komplex (Mehrfragmentfraktur)
 - 42-D/5.1 Schräg-/Spiralfraktur ($>30^\circ$), einfach
 - 42-D/5.2 Schräg-/Spiralmehrfragmentfraktur ($>30^\circ$), komplex (mit Biegungskeil)

Hinweis zur AO-PCCT: Bei einer Unterschenkelschaftfraktur bezieht sich die Kodierung des kinderspezifischen Codes und des Schweregrades (2 oder 4.1;4.2;5.1;5.2) auf den schwerer verletzten Schaft von Tibia oder Fibula (i.d.R. auf die Tibia). Liegt eine isolierte Tibia- oder Fibulaschaftfraktur vor, wird nach der 2. Stelle ein „t“ (Tibia oder „f“ (Fibula) eingefügt (42t-D oder 42f-D).



Abb. 1. Anterior-posteriores und laterales Röntgenbild des Unterschenkels eines 11-jährigen, männlichen Patienten mit Tibiaschaftfraktur; Entsprechend der AO-PCCF-Klassifikation handelt es sich um 42-D/5.2.

Therapie und Verlauf

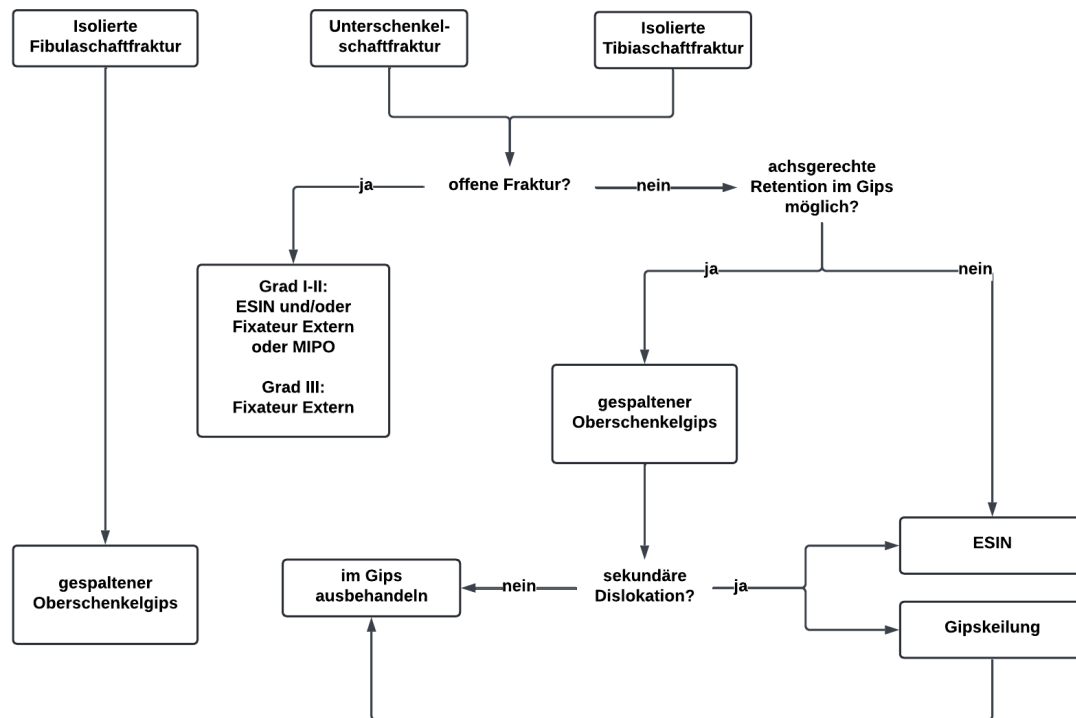


Abb. 2. Flowchart zur Therapie der Tibia-, Fibula- und Unterschenkelchaftfrakturen im Kindesalter; MIPO, minimally invasive plate osteosynthesis;

Behandlungsziel

Ziel ist die achsgerechte und vollständige Ausheilung der Fraktur mit Erreichen der vollen Beweglichkeit in den angrenzenden Gelenken ohne Beinlängendifferenz. Folgende Kriterien sollten bei der Therapiewahl berücksichtigt werden:

- primär definitive Versorgung
- Patientenkomfort
- Schnelle Mobilisierung des Patienten
- möglichst keine Verfahrenswechsel
- keine mehrfachen Repositionsmanöver
- keine Übertherapie/Untertherapie
- keine unnötigen röntgenologischen Mehrbelastungen gemäß dem ALARA-Prinzip (as low as reasonably achievable)
- keine posttraumatischen Fehlstellungen

Gefahr der sekundären Dislokation (Fernandez, 2016):

- Isolierte Tibiaschaftfrakturen neigen in bis zu 40 % der Fälle aufgrund der muskulären Zugrichtung und der intakten Fibula zu einer sekundären Varusfehlstellung. Rotations- und Rekurvationsfehlstellungen können sich zusätzlich sekundär entwickeln.
- Bei der Unterschenkelschaftfraktur kommt es aufgrund der fehlenden Fibulastabilität durch den anterolateralen Muskelzug zu einer Valgusfehlstellung, jedoch können sich auch andere Fehlstellungen entwickeln.

Korrekturgrenzen

Das spontane Korrekturpotential für in Fehlstellung verheilte Tibia- und Unterschenkelschaftfrakturen ist sehr begrenzt. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Korrekturgrenzen in Abhängigkeit vom Alter der Patienten (Dwyer et al., 2007; Murphy et al., 2021; Shannak, 1988; von Laer, 2011).

Korrekturgrenzen (Remodellierung) am Unterschenkelschaft		
	< 5 Jahre	> 5 Jahre
Valgus	10°	5°
Varus	10°	5°
Antekurvatur	10°	5°
Rekurvatur	5°	0°
Verkürzung	10mm	5mm
Rotation	0°	0°

Abb. 3. Korrekturgrenzen am Unterschenkelschaft im Kindesalter

Konservative Therapie

Grundsätzlich ist die konservative Therapie mittels Ruhigstellung bei einer Tibia- bzw. Unterschenkelschaftfraktur in vielen Fällen möglich. Nimmt man die Patientenzufriedenheit bzgl. der wahrgenommenen Schmerzen und der wahrgenommenen eigenen Mobilität über die Dauer der Behandlung als Maß, so ergab sich in einer retrospektiven Analyse von 141 Patienten kein signifikanter Unterschied zwischen der Behandlung im Gips und der operativen Versorgung mittels ESIN-Osteosynthese (Torres-Izquierdo et al., 2023).

Indikation

- Prinzipiell ist eine konservative Therapie mit oder ohne Reposition (in Analgosedierung oder Narkose) im primär gespaltenen Oberschenkelgips anzustreben. Nicht-tolerabel dislozierte Frakturen sind durch die Reposition in eine tolerable Stellung zu überführen. Für den Fall, dass das Repositionsergebnis im Gips nicht stabil gehalten werden kann, soll dann eine Osteosynthese durchgeführt werden.

Der Gips (Weißgips oder Hardcast)

- Zur Retention einer Tibia- bzw. Unterschenkelchaftfraktur sollte in der Regel ein gespalteener Oberschenkelgips angelegt werden. Das Sprunggelenk und der Fuß sind in den Gips miteinzuschließen, wobei die Zehen frei bleiben müssen, um periphere Durchblutung, Sensibilität und Motorik prüfen zu können. Nach Anlage des Oberschenkelgipses ist die achsgerechte Frakturstellung radiologisch zu dokumentieren. In der Literatur ist auch eine Valgisierung des Oberschenkelgipses bei der Primäranlage beschrieben, um einer sekundären Varusfehlstellung bei isolierten Tibiaschaftfrakturen vorzubeugen (Fernandez, 2016).
- Der gespalte Gips kann dann im Rahmen der routinemäßigen radiologischen Stellungskontrolle nach ca. 7 Tagen zirkuliert oder mit einer straffen Binde umwickelt werden und die Fraktur kann bei achsgerechter Frakturstellung so ausbehandelt werden. Bei Auftreten einer sekundären Dislokation soll eine Gipskeilung oder der Wechsel auf ein operatives Verfahren erwogen werden.

Nachsorge/Mobilisation

- Mobilisation je nach Alter und Compliance des Patienten an Unterarmgehstützen unter Entlastung des betroffenen Beines (i.d.R. ab Grundschulalter möglich) oder im Rollstuhl (vorzugsweise mit Beinauflage für das betroffene Bein)
- Aufgrund der Immobilisierung muss ab Pubertätsbeginn für den Zeitraum der Entlastung des Beines eine Thromboembolieprophylaxe gemäß der *S3-Leitlinie Prophylaxe der venösen Thromboembolie* erfolgen (Encke et al., 2015).
- Ärztliche Gipskontrolle inkl. Kontrolle von peripherer Durchblutung, Motorik und Sensibilität am Folgetag.
- Ggf. Zirkulieren des Gipses (v.a. bei dislokationsgefährdeten Frakturen) oder „Nachwickeln“ (s.o.) nach ca. 5 – 7 Tagen
- Radiologische Stellungskontrolle nach 7 – 10 Tagen bei dislokationsgefährdeten Frakturen (die radiologische Stellungskontrolle ist bei Toddler-Frakturen nicht erforderlich).
- Bei weiterhin achsgerechter bzw. tolerabler Stellung der Fraktur kann diese konservativ im Gips ausbehandelt werden, die Ruhigstellungsdauer beträgt i.d.R. 4 Wochen.
- Bei Gipsabnahme sollte eine radiologische Konsolidierungskontrolle erfolgen (nicht bei Toddler-Frakturen). In geübter Hand kann dies auch sonographisch erfolgen. Bei ausreichender Kallusbildung kann schmerzadaptiert mit dem Belastungsaufbau an Unterarmgehstützen begonnen werden. Ggf. kann bei noch bestehenden Schmerzen ein Unterschenkel-Sarmiento-Brace oder eine Laufschuh-Orthese angelegt werden. Nach Gipsabnahme besteht oft ein vorübergehendes Humpeln in Außenrotation des Oberschenkels, worauf im Vorfeld hingewiesen werden sollte und welches sich im Verlauf spontan zurückbildet.
- Schmerzadaptierte Vollbelastung des Beines im Verlauf. Ca. 6 – 8 Wochen nach Unfall kann von einer vollständigen Konsolidierung ausgegangen und die Sportfreigabe erteilt werden. Bei Jugendlichen kann ggf. zum rascheren Erreichen eines normalen Gangbildes eine physiotherapeutische Mobilisation sinnvoll sein.

Beachte: Zeigt sich in der radiologischen Konsolidierungskontrolle eine gute Kallusbildung, kann schmerzadaptiert mit der Belastung begonnen werden. Barnett et al. konnten für einen frühzeitigen Belastungsaufbau nach durchschnittlich 3,3 Wochen eine kürzere Zeit bis zur radiologisch vollständigen Konsolidierung (7,4 Wochen) nachweisen, ohne dass hierdurch die Rate an sekundären Dislokationen zugenommen hatte (Barnett et al., 2021). Jenkins et al. kamen zu ähnlichen Ergebnissen (Jenkins et al., 2009).

Gipskeilung

Diese kann in bis zu 20% der Fälle notwendig werden (Gregson & Thomas, 1994; Ho et al., 2015).

- Eine korrekt durchgeführte Gipskeilung kann Varus- und Valgus- sowie Antekurvations- und Rekurvations-Fehlstellungen ausgleichen.
- Zwischen Zirkulieren eines Weißgipses und Gipskeilung müssen mindestens 24 Stunden liegen, damit der Weißgips sicher ausgehärtet ist. Bei einer Ruhigstellung im Kunststoff-Gips (Hardcast) muss nach dem Zirkulieren nicht bis zum Folgetag gewartet werden um die Keilung durchzuführen, da der Hardcast schneller aushärtet.
- Das Redressionsergebnis der Gipskeilung muss während der Durchführung mittels Bildwandler kontrolliert werden.
- Ca. 5 – 7 Tage nach Gipskeilung soll eine weitere radiologische Stellungskontrolle zum Ausschluss einer erneuten Dislokation durchgeführt werden.



Abb. 4, A – C. A. Anterior-posteriore Röntgenbild des Unterschenkels eines 11-jährigen, männlichen Patienten mit isolierter Tibiaschaftfraktur an Tag 0; B. Anterior-posteriore Röntgenbild desselben Unterschenkels nach 7 Tagen. Es zeigt sich die für die isolierte Tibiaschaftfraktur typische zunehmende Varusfehlstellung der Tibia; C. Anterior-posteriore Röntgenbild desselben Unterschenkels während der Gipskeilung an Tag 8. Der ca. auf Frakturhöhe eingebrachte, semizirkuläre Spalt im Gips ist deutlich zu erkennen. Durch Valgisierung des Gipses kann der Varusfehlstellung der Tibia entgegengewirkt werden. Der Spalt kann bspw. mit einem Stück Holz/Kork stabilisiert werden und wird dann mit zusätzlichen Gipsbinden verschlossen.

Operative Therapie

Instabile Frakturen, welche im Gips nicht ausreichend retiniert werden können (siehe konservative Therapie), sollen osteosynthetisch versorgt werden (Fernandez, 2016; Kinney et al., 2016; Rapp et al., 2014). Weitere Indikationen sind offene Frakturen, ein (drohendes) Kompartmentsyndrom (Osteosynthese in Kombination mit Kompartmentspaltung), Polytrauma, ein sog. „floating knee“ (kombinierte ipsilaterale Femur- und Tibiafraktur) sowie bei begleitenden neurovaskulären Verletzungen (Cruz et al., 2019; Flynn et al., 2011; Pandya, 2016; Vallamshetla et al., 2006; Yue et al., 2000). Kleiner et al. konnten zeigen, dass die Rate an osteosynthetischen Versorgungen von Frakturen am Unterschenkel von 57% im Jahre 2000 auf 74% im Jahr 2012 angestiegen ist (Kleiner et al., 2019). Für die definitive operative Versorgung der Tibia- und Unterschenkelschaftfrakturen stehen verschiedene Osteosyntheseverfahren zur Verfügung, welche im Folgenden vorgestellt werden.

Die elastisch-stabile intramedulläre Nagelung (ESIN-Osteosynthese)

Dieses Verfahren kann bei fast allen der oben genannten Indikationen angewandt werden. Auch bei offenen Frakturen (Gustilo 1 und 2) ist die ESIN-Osteosynthese eine sichere Methode mit vergleichbaren Infektions- und Komplikationsraten (Pandya & Edmonds, 2012). Bei drittgradig-offenen Frakturen, Trümmer-Frakturen und dem „floating knee“ sollte dem Fixateur externe der Vorzug gegeben werden. Zudem ist die ESIN-Osteosynthese das Verfahren der Wahl bei sekundär dislozierten Frakturen als Alternative zur Gipskeilung. Bei der Versorgung einer offenen Fraktur mit einem Fixateur externe kann diese ggf. in Kombination mit einer ESIN-Osteosynthese erfolgen. In einer prospektiven Studie von Ertürk et al. konnte für diese kombinierte Osteosynthese eine kürzere Anwendungsdauer des Fixateur externe sowie eine schnellere Konsolidierung der Fraktur bei geringerer Rate an Pin-Infektionen nachgewiesen werden. Der Grund für die höhere Belastbarkeit der ESIN-Osteosynthese am Unterschenkel liegt in der rein axialen Belastung der Tibia begründet, wohingegen am Femur sowohl axiale als auch tangentielle Kräfte auf den Knochen wirken und so bei ungenügender Stabilität der Osteosynthese zu einer Achsabweichung führen können (Marengo et al., 2016). Bei Spiralfrakturen und insbesondere bei Patienten mit einem großen Körpergewicht (>50kg) können Verriegelungsschraubkappen (sog. „end caps“) zum Einsatz kommen. Diese können der ESIN-Osteosynthese eine deutlich erhöhte zusätzliche axiale Stabilität verleihen (Chen et al., 2016; Nectoux et al., 2008; T. Slongo et al., 2011).

Operatives Vorgehen unter Bildwandler-Kontrolle (Egger et al., 2020; Ertürk et al., 2013; Hunter, 2005; Lascombes et al., 2006; Nectoux et al., 2008; T. Slongo et al., 2011; T. F. Slongo, 2005; Vasilescu & Cosma, 2014):

- Eintrittspunkte der zwei ESIN an der proximalen Tibiametaphyse symmetrisch anteromedial und anterolateral
- Auf ausreichende Stärke des Osteosynthesematerials achten. Bei Verwendung von zwei Nägeln sollte die Nagelstärke ca. 33 – 40% der Breite des Markraums an der schmalsten Stelle entsprechen;
- Der Frakturlokalisierung angepasstes Vorbiegen der ESIN zum Erreichen einer optimalen Aufspannung auf Frakturhöhe

- Paralleles Vortreiben der beiden ESIN zum Vermeiden des Korkenzieher-Phänomens (hierbei windet sich einer der beiden ESIN um den anderen, wodurch der Effekt der Aufspannung verloren geht).
- Die ESIN-Enden sollten knapp vor der distalen Wachstumsfuge zu liegen kommen und dabei mit den Enden leicht divergierend nach dorsal ausgerichtet sein, sodass die Tibia in ihrer physiologischen leichten Antekurvatur retiniert wird.
- Auch der Einsatz eines additiv angebrachten Fixateur externe kann in Ausnahmefällen in der Initialphase zusätzliche Stabilität verleihen.

Intraoperative Fehlerquellen, welche zu einem Therapieversagen (sekundäre Achsabweichung trotz ESIN-Osteosynthese) führen können (Lascombes et al., 2006; Vasilescu & Cosma, 2014):

- Fehlende 3-Punkt-Aufspannung der Nägel
- Asymmetrische Aufspannung der Nägel
- Unterschiedliche Nagelstärken
- Unterschiedliche Höhe der Eintrittsstellen der Nägel

Postoperativer Verlauf nach ESIN-Osteosynthese

Die ESIN-Osteosynthese ist übungs- und bewegungsstabil und erfordert keine zusätzliche Ruhigstellung. Bei Querfrakturen ist eine sofortige schmerzadaptierte Belastung an Unterarmgehstützen möglich, in der Praxis jedoch häufig verzögert realisierbar. Bei Schrägfrakturen empfiehlt sich zunächst ein Sohlenkontakt mit Belastungsbeginn und –aufbau ca. 3 – 4 Wochen nach der Operation. Ca. 4 Wochen nach der Operation soll eine radiologische Konsolidierungskontrolle erfolgen. Von einer guten Konsolidierung kann ausgegangen werden, wenn 3 der 4 Kortikales sicher durchbaut sind. Der bildmorphologische Grad der Konsolidierung kann mit dem RUST-Score objektiviert werden (Leow et al., 2020; Whelan et al., 2010). Die Belastungsfreigabe richtet sich jedoch klinisch nach der Schmerzfreiheit des Kindes und nicht nur nach der Konsolidierung im Röntgenbild. Sie sollte ca. 7 – 8 Woche nach der Operation möglich sein. Die Metallentfernung ist ca. 6 Monate nach der Operation anzustreben und ihr sollte eine präoperative radiologische Durchbauungs- und Lagekontrolle des Osteosynthesematerials vorausgehen. Nach offenen Frakturen sollte die Metallentfernung etwas später durchgeführt werden, da hier mit einer verlängerten Konsolidierung gerechnet werden muss (Leow et al., 2020; Pandya & Edmonds, 2012; Thabet et al., 2022).

Vorteile der ESIN-Osteosynthese sind das kosmetisch ansprechende Ergebnis, der Wegfall einer Ruhigstellung im Gips sowie die Ermöglichung von Mikrobewegungen im Frakturspalt, welche zu einer rascheren Kallusbildung und somit Konsolidierung führen. Somit wird die Therapie-Akzeptanz seitens der Patienten und Familien verbessert.

Der Fixateur externe

Die Anwendung dieses Osteosyntheseverfahrens ist prinzipiell immer möglich, sollte jedoch vorrangig bei schweren Mehrfragmentfrakturen, drittgradig offenen Frakturen oder drohendem oder bestehendem Kompartmentsyndrom zur Anwendung kommen (Hong et al., 2021; Murphy et al., 2021).

Plattenosteosynthese

Die Plattenosteosynthese ist ebenfalls den komplexen, meist mehrteiligen oder offenen (Grad I – II) Tibia- und Unterschenkelchaftfrakturen vorbehalten. Hierbei kann die Technik der minimal-invasiven Plattenosteosynthese (MIPO, minimally invasive plate osteosynthesis) zur Anwendung kommen. In einer retrospektiven Untersuchung von 14 Patienten mit offenen Tibiaschaftfrakturen, welche mittels MIPO versorgt wurden, konnten Özkul et al. sehr gute Ergebnisse bei geringer Komplikationsrate nachweisen (Murphy et al., 2021; Özkul et al., 2016).

Therapie der Toddler-Fraktur

Die Ruhigstellung als Therapie der Toddler-Fraktur hat v.a. die Schmerzlinderung zum Ziel – eine Instabilität und ein damit verbundenes Risiko der Dislokation bestehen nicht (Murphy et al., 2021; Sapru & Cooper, 2014). Vor diesem Hintergrund kann bei nur mildem Beschwerdebild auch erwogen werden, auf eine Ruhigstellung zu verzichten. Das Kind wird das Bein ohnehin erst dann wieder belasten, wenn es schmerzfrei (und die Fraktur somit konsolidiert) ist. Eine ausführliche Aufklärung der Eltern ist in diesem Fall jedoch besonders wichtig, um diese für die bestehende Verletzung zu sensibilisieren.

Wird sich für eine Ruhigstellung entschieden, ist eine dorsale Oberschenkelgipslonguette ausreichend. Die Ruhigstellungsdauer richtet sich nach der Beschwerdedauer und sollte 2-3 Wochen nicht überschreiten. Bei früherer Beschwerdefreiheit und freiwilliger Belastung des Beines kann die Ruhigstellung auch vorzeitig beendet werden.

Beachte: Die Anlage einer dorsalen, ausreichend breiten Oberschenkelgipslonguette kann hierbei sinnvoller sein als das Anlegen eines zirkulären (gespaltenen) Oberschenkelweißgipses, da im Kleinkindesalter aufgrund der Proportionen des in der Regel kurzen und sich nach distal konisch verjüngenden Oberschenkels ein zirkulärer Gips häufiger verrutscht.

Therapie der Stressfraktur der Tibia

Die Therapie dieser vorrangig bei sportlich sehr aktiven Jugendlichen auftretenden Fraktur besteht in einer Pausierung der physischen Überbeanspruchung und einer Entlastung des betroffenen Beines ggf. in Kombination mit einer Ruhigstellung (Orthese). Physiotherapie kann in Erwägung gezogen werden, dient jedoch v.a. dem Muskelaufbau nach langer Inaktivität und nicht der Frakturheilung selbst. Die Dauer bis zur Wiederaufnahme der vollen sportlichen Belastung beträgt durchschnittlich 16 Wochen. Eine Osteosynthese ist in der Literatur nur in Ausnahmefällen bei Versagen der konservativen Therapie beschrieben (Changstrom et al., 2015; Gremillion et al., 2023).

Komplikationen

Komplikationen der konservativen Therapie

Bei der konservativen Therapie im Gips kann es zu einem Kompartment-Syndrom kommen (s.u.). Eine Gipskontrolle ist daher v.a. bei höhergradigen Frakturen mit zu erwartender Weichteilschwellung am Folgetag nach Anlage eines gespaltenen Oberschenkelgipses obligat, zudem ist eine sorgfältige Aufklärung der Patienten bzw. der Sorgeberechtigten über mögliche Symptome durchzuführen. Unter einem Gips können sich an der Haut zudem Druckstellen bilden, diese treten v.a. an den Akren auf und können durch eine adäquate Polsterung und sorgfältige, faltenfreie Gipsanlage vermieden werden. Die sekundäre Dislokation ist ebenfalls eine mögliche Komplikation, welcher durch die korrekte Anlage des Gipses (nicht zu locker, Cast-Index beachten) entgegengewirkt werden kann – dennoch ist eine sekundäre Dislokation gemäß den stereotypen Dislokationsrichtungen (isolierte Tibiaschaftfraktur – Varusfehlstellung; Unterschenkelschaftfraktur – Valgusfehlstellung) nicht immer vermeidbar. Der Patient sowie die Eltern sollten daher bereits am Unfalltag über diese Möglichkeit aufgeklärt werden. Eine weitere, sehr seltene Komplikation im Kindesalter stellt die Thrombose bei langer Immobilisierung dar. Um diese zu vermeiden, sollte bei gegebener Indikation eine Thrombose-Prophylaxe (siehe entsprechende Leitlinie) durchgeführt werden.

Komplikationen nach (ESIN-)Osteosynthese (Furlan et al., 2011; Gordon et al., 2007; Pogorelić et al., 2022; Rapp et al., 2014; Sankar et al., 2007):

Die ESIN-Osteosynthese ist insgesamt mit einer geringeren Komplikationsrate als die Osteosynthese mittels Fixateur externe behaftet (Hong et al., 2021; Kubiak et al., 2005; Pandya, 2016). Die Studienlage diesbezüglich ist jedoch heterogen und ein Vergleich der Therapiemodalitäten häufig nur retrospektiv erfolgt, sodass ein Bias bezüglich der Auswahl der verwendeten Osteosynthese wahrscheinlich erscheint (Alsharif et al., 2023; Blondel et al., 2010; Jeremić et al., 2023; Myers et al., 2007). Mögliche Komplikationen sind Wundinfektionen, das Auftreten eines Kompartmentsyndroms, Refrakturen, Pseudarthrosen sowie sekundäre oder durch die Osteosynthese fixierte Dislokationen (Deakin et al., 2010; Gordon et al., 2007; Landau et al., 2023). Letztere treten vor allem bei technisch mangelhafter Durchführung der ESIN-Osteosynthese auf. Hierdurch kann es zu postoperativen Achsabweichungen des Unterschenkels kommen (Lascombes et al., 2006). Außerdem kann es insbesondere bei Schräg-, Spiral- oder Mehrfragmentfrakturen durch fehlende Stabilität und Fraktursinterung zu einem Herausrutschen der Nägel kommen, was zu Hautirritationen bis hin zur Perforation führen kann (Rapp et al., 2014). Die Rate an behandlungsbedürftigen Beinlängendifferenzen (>1cm) ist sehr gering (Griffet et al., 2011; Rapp et al., 2014; Swindells & Rajan, 2010).

○ **Das Kompartment-Syndrom**

Die Inzidenz für das Kompartmentsyndrom bei Kindern mit einer Tibia- oder Unterschenkelschaftfraktur schwankt in der Literatur zwischen 1 – 12%, bei Jugendlichen zwischen 12 – 19 Jahren wird sie mit bis zu 20% angegeben (McQueen et

al., 2015; Obey et al., 2023; Shore et al., 2013; Villarreal et al., 2020). Besonders gefährdet für die Entwicklung eines Kompartmentsyndroms sind Jugendliche über 14 Jahren, Patienten mit offenen Unterschenkelfrakturen sowie Patienten, welche eine Unterschenkelfraktur im Rahmen eines Verkehrsunfalls (im Sinne eines Hochrasanztraumas) erlitten haben (McQueen et al., 2015; Shore et al., 2013; Villarreal et al., 2020). Neben Sensibilitätsstörungen sowie Zeichen der Minderperfusion (Kühle, Blässe, verlängerte Rekapillarierungszeit) ist das erste und wichtigste klinische Warnzeichen eines Kompartmentsyndroms der ungewöhnlich starke Schmerz, welcher sich auch durch eine optimierte Analgesie kaum lindern lässt. Insofern ist eine regelmäßige Erfassung der numerischen Rating-Skala für Schmerzen sinnvoll (Mauser et al., 2013). Engmaschige Kontrollen sowie die Dokumentation von peripherer Durchblutung, Motorik und Sensibilität sind Pflicht, um ein Kompartmentsyndrom rechtzeitig zu erkennen.

Abschwellende Maßnahmen (lokale Kühlung, Hochlagern der betroffenen Extremität) sollten als begleitende Maßnahmen standardmäßig und konsequent bei allen Frakturen durchgeführt werden. Bei Auftreten eines Kompartmentsyndroms ist jedoch sofortiges Handeln erforderlich und eine operative Kompartmentspaltung indiziert.

- **Pseudarthrose**

Diese Komplikation ist bei Kleinkindern nicht beschrieben. Bei Jugendlichen tritt sie nur sehr selten auf. Offene (Mehrfragment-)Frakturen sind häufiger betroffen. Die Indikation zur Revisionsoperation sollte individuell gestellt und das passende Osteosyntheseverfahren (ESIN, Plattenosteosynthese, Tibiainagel oder Fixateur externe) gewählt werden (Ebraheim et al., 2017; Shah et al., 2014; Von Rüden et al., 2021).

Prognose

Tibiaschaft- und Unterschenkelschaftfrakturen haben regelhaft eine sehr gute Prognose. In der Regel ist eine Vollbelastung nach ca. 6 Wochen möglich. Transiente Gangbildveränderungen bilden sich in den meisten Fällen spontan zurück und bedürfen nur selten physiotherapeutischer Unterstützung. Klinische Nachuntersuchungen zum Ausschluss einer Beinlängendifferenz sollten 6, 12 und 24 Monate nach Unfall erfolgen und bei Besonderheiten bis zum Abschluss des Wachstums fortgesetzt werden. Relevante Achsabweichungen und Beinlängendifferenzen sind bei korrekt durchgeführter und kontrollierter konservativer Therapie unwahrscheinlich. Knapp die Hälfte der konservativ behandelten Patienten entwickeln keine Beinlängendifferenz, bei ca. 40% tritt im Verlauf eine Verlängerung bis ca. 1,5 cm auf (häufiger bei Kindern unter 10 Jahren) und bei einem kleinen Anteil kommt es zu einer Verkürzung des betroffenen Beines um ca. 1,5 cm (häufiger Kinder älter als 10 Jahre) (De Palma & Schiavone Panni, 1984; Scharf et al., 1983; Wessel et al., 1997).

Literaturverzeichnis

- Ackermann, O. (2022). Fraktursonographie der Extremitäten. *Der Unfallchirurg*, 125(2), 97–106. <https://doi.org/10.1007/s00113-021-01118-z>
- Ackermann, O. (2023, Februar 1). AWMF 085-003 S2e Leitlinie, Fraktursonografie, Ackermann O, Fischer C, Grosser K, Hauenstein C, Kluge S, Moritz JD, Berthold D, Tesch C, von Kaisenberg C. <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/085-003>.
https://register.awmf.org/assets/guidelines/085-003l_S2e_Fraktursonographie_2023-02_1.pdf
- Alsharef, J. F., Ghaddaf, A. A., AlQuhaibi, M. S., Shaheen, E. A., AboAljadel, L. H., Alharbi, A. S., AlHidri, B. Y., Alamri, M. K., & Makhdom, A. M. (2023). External fixation versus intramedullary nailing for the management of open tibial fracture: Meta-analysis of randomized controlled trials. *International Orthopaedics*, 47(12), 3077–3097. <https://doi.org/10.1007/s00264-023-05879-7>
- Barnett, S. A., Fontenot, B., Leonardi, C., Gonzales, J. A., Gargiulo, D., & Heffernan, M. J. (2021). Comparison of Short-leg and Long-leg Casts for the Treatment of Distal Third Tibial Shaft Fractures in Children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 41(3), e259–e265. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000001741>
- Blondel, B., Launay, F., Glard, Y., Jacopin, S., Jouve, J.-L., & Bollini, G. (2010). Hexapodal external fixation in the management of children tibial fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics. Part B*, 19(6), 487–491. <https://doi.org/10.1097/BPB.0b013e32833dec5d>
- Canares, T. L., & Lockhart, G. (2013). Sprains. *Pediatrics in Review*, 34(1), 47–49. <https://doi.org/10.1542/pir.34-1-47>
- Canavese, F., Samba, A., & Rousset, M. (2016). Pathological fractures in children: Diagnosis and treatment options. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 102(1, Supplement), S149–S159. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2015.05.010>
- Changstrom, B. G., Brou, L., Khodae, M., Braund, C., & Comstock, R. D. (2015). Epidemiology of stress fracture injuries among US high school athletes, 2005-2006 through 2012-2013. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(1), 26–33. <https://doi.org/10.1177/0363546514562739>
- Chen, Y.-N., Lee, P.-Y., Chang, C.-H., Chang, C.-W., Ho, Y.-H., Li, C.-T., & Peng, Y.-T. (2016). Computational comparison of tibial diaphyseal fractures fixed with various degrees of prebending of titanium elastic nails and with and without end caps. *Injury*, 47(10), 2339–2346. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.07.001>
- Choi, W. Y., Park, M. S., Lee, K. M., Choi, K. J., Jung, H. S., & Sung, K. H. (2021). Leg length discrepancy, overgrowth, and associated risk factors after a pediatric tibial shaft fracture. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, 22(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s10195-021-00575-x>
- Cruz, A. I., Raducha, J. E., Swarup, I., Schachne, J. M., & Fabricant, P. D. (2019). Evidence-based update on the surgical treatment of pediatric tibial shaft fractures. *Current Opinion in Pediatrics*, 31(1), 92–102. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000704>
- De Palma, L., & Schiavone Panni, A. (1984). [Growth disorders of the legs in the outcome of diaphyseal fractures of the tibia in children]. *Archivio „Putti“ Di Chirurgia Degli Organi Di Movimento*, 34, 315–319.
- Deakin, D. E., Winter, H., Jain, P., & Bache, C. E. (2010). Malunion following flexible intramedullary nails for tibial and femoral fractures in adolescents. *Journal of Children's Orthopaedics*, 4(6), 571–577. <https://doi.org/10.1007/s11832-010-0300-8>

Dwyer, A. J., John, B., Krishen, M., & Hora, R. (2007). Remodeling of tibial fractures in children younger than 12 years. *Orthopedics*, 30(5), 393–396. <https://doi.org/10.3928/01477447-20070501-13>

Ebraheim, N. A., Evans, B., Liu, X., Tanios, M., Gillette, M., & Liu, J. (2017). Comparison of intramedullary nail, plate, and external fixation in the treatment of distal tibia nonunions. *International Orthopaedics*, 41(9), 1925–1934. <https://doi.org/10.1007/s00264-017-3432-3>

Egger, A., Murphy, J., Johnson, M., Hosseinzadeh, P., & Louer, C. (2020). Elastic Stable Intramedullary Nailing of Pediatric Tibial Fractures. *JBJS Essential Surgical Techniques*, 10(4), e19.00063–e19.00063. <https://doi.org/10.2106/JBJS.ST.19.00063>

Encke et al. (2015). *S3-Leitlinie Prophylaxe der venösen Thromboembolie (VTE), 2. Komplett überarbeitete Auflage*.

Ertürk, C., Altay, M. A., Bilge, A., Altay, N., & İşikan, U. E. (2013). Do additional intramedullary elastic nails improve the results of definitive treatment with external fixation of open tibia fractures? A prospective comparative study. *Orthopaedics & Traumatology, Surgery & Research: OTSR*, 99(2), 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2012.12.008>

Fernandez, F. F. (2016). Unterschenkelchaftfrakturen: Operativ versus konservativ. *Trauma und Berufskrankheit*, 18(S4), 398–403. <https://doi.org/10.1007/s10039-016-0152-7>

Fischer, C., Haug, T., Weber, M.-A., Kauczor, H.-U., Bruckner, T., & Schmidmaier, G. (2020). Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS) Identifies Perfusion Differences Between Tibial Fracture Unions and Non-Unions. *Ultraschall in Der Medizin - European Journal of Ultrasound*, 41(01), 44–51. <https://doi.org/10.1055/a-0637-1679>

Flynn, J. M., Bashyal, R. K., Yeger-McKeever, M., Garner, M. R., Launay, F., & Sponseller, P. D. (2011). Acute traumatic compartment syndrome of the leg in children: Diagnosis and outcome. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 93(10), 937–941. <https://doi.org/10.2106/JBJS.J.00285>

Furlan, D., Pogorelić, Z., Biočić, M., Jurić, I., Budimir, D., Todorić, J., Šušnjar, T., Todorić, D., Meštrović, J., & Milunović, K. P. (2011). Elastic stable intramedullary nailing for pediatric long bone fractures: Experience with 175 fractures. *Scandinavian Journal of Surgery: SJS: Official Organ for the Finnish Surgical Society and the Scandinavian Surgical Society*, 100(3), 208–215. <https://doi.org/10.1177/145749691110000313>

Gonser, C. E., Bahrs, C., Hemmann, P., & Körner, D. (2020). Substantial decrease in paediatric lower extremity fracture rates in German hospitals in 2017 compared with 2002: An epidemiological study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21(1), 357. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03393-0>

Gordon, J. E., Gregush, R. V., Schoenecker, P. L., Dobbs, M. B., & Luhmann, S. J. (2007). Complications after titanium elastic nailing of pediatric tibial fractures. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 27(4), 442–446. <https://doi.org/10.1097/01.bpb.0000271333.66019.5c>

Gregson, P. A., & Thomas, P. B. (1994). Tibial cast wedging: A simple and effective technique. *The Journal of Bone & Joint Surgery British Volume*, 76-B(3), 496–497. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.76B3.8175865>

Gremillion, M. J., Martinez, A., Ghanta, R. B., Borici, N., & Kushare, I. (2023). An assessment of the diagnosis, treatment, and outcomes of lower extremity stress fractures in pediatric and adolescent populations. *The Physician and Sportsmedicine*, 51(6), 572–581. <https://doi.org/10.1080/00913847.2022.2143247>

- Griffet, J., Leroux, J., Boudjouraf, N., Abou-Daher, A., & El Hayek, T. (2011). Elastic stable intramedullary nailing of tibial shaft fractures in children. *Journal of Children's Orthopaedics*, 5(4), 297–304. <https://doi.org/10.1007/s11832-011-0343-5>
- Gustilo, R. B., & Anderson, J. T. (1976). Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: Retrospective and prospective analyses. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 58(4), 453–458.
- Gustilo, R. B., Mendoza, R. M., & Williams, D. N. (1984). Problems in the management of type III (severe) open fractures: A new classification of type III open fractures. *The Journal of Trauma*, 24(8), 742–746. <https://doi.org/10.1097/00005373-198408000-00009>
- Hedström, E. M., Svensson, O., Bergström, U., & Michno, P. (2010). Epidemiology of fractures in children and adolescents: Increased incidence over the past decade: a population-based study from northern Sweden. *Acta Orthopaedica*, 81(1), 148–153. <https://doi.org/10.3109/17453671003628780>
- Ho, C. A., Dammann, G., Podeszwa, D. A., & Levy, J. (2015). Tibial shaft fractures in adolescents: Analysis of cast treatment successes and failures. *Journal of Pediatric Orthopedics. Part B*, 24(2), 114–117. <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000144>
- Hong, P., Rai, S., Tang, X., Liu, R., & Li, J. (2021). External fixation versus elastic stable intramedullary nailing in the treatment of open tibial shaft fractures in children. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 16(1), 528. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02679-w>
- Hoyer-Kuhn, H., Bartz-Seel, J., Blickheuser, R., v. Deimling, U., Stücker, R., Wirth, T., Wolf, J., Wollinsky, K. H., & Semler, O. (2017). Diagnostik und Therapie der Osteogenesis imperfecta. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 165(4), 333–346. <https://doi.org/10.1007/s00112-016-0189-5>
- Hunter, J. B. (2005). The principles of elastic stable intramedullary nailing in children. *Injury*, 36(1), S20–S24. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2004.12.009>
- Jenkins, M. D., Jones, D. L., Billings, A. A., Ackerman, E. S., France, J. C., & Jones, E. T. (2009). Early weight bearing after complete tibial shaft fractures in children. *Journal of Pediatric Orthopedics. Part B*, 18(6), 341–346. <https://doi.org/10.1097/BPB.0b013e32832f5aa6>
- Jeremić, D., Rajovic, N., Gluscevic, B., Krivokapic, B., Rajkovic, S., Bogosavljevic, N., Davidovic, K., & Tomic, S. (2023). Updated Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials Comparing External Fixation to Intramedullary Nailing in the Treatment of Open Tibial Fractures. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, 59(7), 1301. <https://doi.org/10.3390/medicina59071301>
- Kaiser. (2019). *S1 Leitlinie—Knochenzysten, 2019, AWMF-Registernummer: 006-029*. https://register.awmf.org/assets/guidelines/006-029l_S1_Knochenzysten_2019-09.pdf
- Kamphaus, A., Rapp, M., Wessel, L., Massalme, E., & Kaiser, M. (2014). Epidemiologie von Frakturen der langen Röhrenknochen im Kindesalter—Prospektive Erfassung unter Berücksichtigung der LiLa-Klassifikation. *päd*, 20, 17–27.
- Kinderschutzleitlinienbüro. (2019, Februar 5). *AWMF S3+ Leitlinie Kindesmisshandlung, -missbrauch, -vernachlässigung unter Einbindung der Jugendhilfe und Pädagogik (Kinderschutzleitlinie), Kurzfassung 1.0, 2019, AWMF-Registernummer: 027 – 069*. https://register.awmf.org/assets/guidelines/027-069k_S3_Kindesmisshandlung-Missbrauch-Vernachlaessigung-Kinderschutzleitlinie_2022-01-abgelaufen.pdf

- Kinney, M. C., Nagle, D., Bastrom, T., Linn, M. S., Schwartz, A. K., & Pennock, A. T. (2016). Operative Versus Conservative Management of Displaced Tibial Shaft Fracture in Adolescents. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 36(7), 661–666. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000532>
- Kleiner, J. E., Raducha, J. E., & Cruz, A. I. (2019). Increasing rates of surgical treatment for paediatric tibial shaft fractures: A national database study from between 2000 and 2012. *Journal of Children's Orthopaedics*, 13(2), 213–219. <https://doi.org/10.1302/1863-2548.13.180163>
- Kraus, R., Schneidmueller, D., & Röder, C. (2005, März 25). *Häufigkeit von Frakturen der langen Röhrenknochen im Wachstumsalter*. Deutsches Ärzteblatt.
<https://www.aerzteblatt.de/archiv/46051/Haeufigkeit-von-Frakturen-der-langen-Roehrenknochen-im-Wachstumsalter>
- Kubiak, E. N., Egol, K. A., Scher, D., Wasserman, B., Feldman, D., & Koval, K. J. (2005). Operative treatment of tibial fractures in children: Are elastic stable intramedullary nails an improvement over external fixation? *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 87(8), 1761–1768. <https://doi.org/10.2106/JBJS.C.01616>
- Landau, A. J., Oladeji, A. K., Cummings, J. L., Goldstein, R., Lin, A., & Hosseinzadeh, P. (2023). Outcomes of Elastic Stable Intramedullary Nailing for Surgical Treatment of Pediatric Tibial Shaft Fractures. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. Global Research & Reviews*, 7(12), e23.00031. <https://doi.org/10.5435/JAAOSGlobal-D-23-00031>
- Lascombes, P., Haumont, T., & Journeau, P. (2006). Use and abuse of flexible intramedullary nailing in children and adolescents. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 26(6), 827–834. <https://doi.org/10.1097/01.bpo.0000235397.64783.d6>
- Leow, J. M., Clement, N. D., & Simpson, A. H. W. R. (2020). Application of the Radiographic Union Scale for Tibial fractures (RUST): Assessment of healing rate and time of tibial fractures managed with intramedullary nailing. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 106(1), 89–93. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2019.10.010>
- Leventhal, J. M., Martin, K. D., & Asnes, A. G. (2008). Incidence of fractures attributable to abuse in young hospitalized children: Results from analysis of a United States database. *Pediatrics*, 122(3), 599–604. <https://doi.org/10.1542/peds.2007-1959>
- Maguire, S., Cowley, L., Mann, M., & Kemp, A. (2013). What does the recent literature add to the identification and investigation of fractures in child abuse: An overview of review updates 2005–2013. *Evidence-Based Child Health: A Cochrane Review Journal*, 8(5), 2044–2057. <https://doi.org/10.1002/ebch.1941>
- Marengo, L., Paonessa, M., Andreacchio, A., Dimeglio, A., Potenza, A., & Canavese, F. (2016). Displaced tibia shaft fractures in children treated by elastic stable intramedullary nailing: Results and complications in children weighing 50 kg (110 lb) or more. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, 26(3), 311–317. <https://doi.org/10.1007/s00590-015-1729-8>
- Matcuk, G. R., Mahanty, S. R., Skalski, M. R., Patel, D. B., White, E. A., & Gottsegen, C. J. (2016). Stress fractures: Pathophysiology, clinical presentation, imaging features, and treatment options. *Emergency Radiology*, 23(4), 365–375. <https://doi.org/10.1007/s10140-016-1390-5>
- Mausser, N. S., Gissel, H., Henderson, C., Hao, J., Hak, D. J., & Mauffrey, C. (2013). Acute Lower-leg Compartment Syndrome. *Orthopedics*, 36(8). <https://doi.org/10.3928/01477447-20130724-07>

Mäyränpää, M. K., Mäkitie, O., & Kallio, P. E. (2010). Decreasing incidence and changing pattern of childhood fractures: A population-based study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 25(12), 2752–2759. <https://doi.org/10.1002/jbmr.155>

McQueen, M. M., Duckworth, A. D., Aitken, S. A., Sharma, R. A., & Court-Brown, C. M. (2015). Predictors of Compartment Syndrome After Tibial Fracture. *Journal of Orthopaedic Trauma*, 29(10), 451–455. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000347>

Murphy, D., Raza, M., Monsell, F., & Gelfer, Y. (2021). Modern management of paediatric tibial shaft fractures: An evidence-based update. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, 31(5), 901–909. <https://doi.org/10.1007/s00590-021-02988-0>

Myers, S. H., Spiegel, D., & Flynn, J. M. (2007). External fixation of high-energy tibia fractures. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 27(5), 537–539. <https://doi.org/10.1097/01.bpb.0000279033.04892.25>

Naranje, S. M., Erali, R. A., Warner, W. C., Sawyer, J. R., & Kelly, D. M. (2016). Epidemiology of Pediatric Fractures Presenting to Emergency Departments in the United States. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 36(4), e45–e48. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000595>

Nectoux, E., Giacomelli, M. C., Karger, C., Gicquel, P., & Clavert, J. M. (2008). Use of end caps in elastic stable intramedullary nailing of femoral and tibial unstable fractures in children: Preliminary results in 11 fractures. *Journal of Children's Orthopaedics*, 2(4), 309–314. <https://doi.org/10.1007/s11832-008-0112-2>

Obey, M. R., Shlykov, M. A., Nickel, K. B., Keller, M., & Hosseinzadeh, P. (2023). Incidence and risk factors for acute compartment syndrome in pediatric tibia fractures. *Journal of Pediatric Orthopedics. Part B*, 32(4), 401–404. <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000985>

Özkul, E., Gem, M., Arslan, H., Alemdar, C., Azboy, İ., & Arslan, S. G. (2016). Minimally Invasive Plate Osteosynthesis in Open Pediatric Tibial Fractures. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 36(4), 416–422. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000451>

Pandya, N. K. (2016). Flexible Intramedullary Nailing of Unstable and/or Open Tibia Shaft Fractures in the Pediatric Population. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 36(Supplement 1), S19–S23. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000754>

Pandya, N. K., & Edmonds, E. W. (2012). Immediate Intramedullary Flexible Nailing of Open Pediatric Tibial Shaft Fractures. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 32(8), 770–776. <https://doi.org/10.1097/BPO.0b013e318270468b>

Pogorelić, Z., Vegan, V., Jukić, M., Llorente Muñoz, C. M., & Furlan, D. (2022). Elastic Stable Intramedullary Nailing for Treatment of Pediatric Tibial Fractures: A 20-Year Single Center Experience of 132 Cases. *Children*, 9(6), 845. <https://doi.org/10.3390/children9060845>

Rapp, M., Albers, K., & Kaiser, M. M. (2014). ESIN-Osteosynthese bei dislozierten Unterschenkelschaftfrakturen: Fehler- und Komplikationsanalyse. *Chirurgische Praxis*, 77(3), 421–432.

Sankar, W. N., Jones, K. J., David Horn, B., & Wells, L. (2007). Titanium elastic nails for pediatric tibial shaft fractures. *Journal of Children's Orthopaedics*, 1(5), 281–286. <https://doi.org/10.1007/s11832-007-0056-y>

Sapru, K., & Cooper, J. G. (2014). Management of the Toddler's fracture with and without initial radiological evidence. *European Journal of Emergency Medicine: Official Journal of the European Society for Emergency Medicine*, 21(6), 451–454. <https://doi.org/10.1097/MEJ.0000000000000144>

- Sawyer, J. R., & Kapoor, M. (2009). The limping child: A systematic approach to diagnosis. *American Family Physician*, 79(3), 215–224.
- Schalamon, J., Dampf, S., Singer, G., Ainoedhofer, H., Petnehazy, T., Hoellwarth, M. E., & Saxena, A. K. (2011). Evaluation of fractures in children and adolescents in a Level I Trauma Center in Austria. *The Journal of Trauma*, 71(2), E19-25. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181f8a903>
- Scharf, W., Hertz, H., & Feil, W. (1983). [Late results after conservative treatment of juvenile leg fractures]. *Unfallchirurgie*, 9(6), 329–333.
- Shah, S. B., Mishra, A. K., Chalise, P., Shah, R. K., Singh, R. P., & Shrivatava, M. P. (2014). Outcome of treatment of nonunion tibial shaft fracture by intramedullary interlocking nail augmented with autogenous cancellous bone graft. *Nepal Medical College Journal: NMCJ*, 16(1), 58–62.
- Shannak, A. O. (1988). Tibial fractures in children: Follow-up study. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 8(3), 306–310. <https://doi.org/10.1097/01241398-198805000-00010>
- Shore, B. J., Glotzbecker, M. P., Zurakowski, D., Gelbard, E., Hedequist, D. J., & Matheney, T. H. (2013). Acute Compartment Syndrome in Children and Teenagers With Tibial Shaft Fractures: Incidence and Multivariable Risk Factors. *J Orthop Trauma*, 27(11).
- Slongo, T., Audigé, L., Hunter, J. B., & Berger, S. M. (2011). Clinical evaluation of end caps in elastic stable intramedullary nailing of femoral and tibial shaft fractures in children. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery: Official Publication of the European Trauma Society*, 37(3), 305. <https://doi.org/10.1007/s00068-011-0091-8>
- Slongo, T. F. (2005). The choice of treatment according to the type and location of the fracture and the age of the child. *Injury*, 36 Suppl 1, A12-19. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2004.12.008>
- Slongo, T. F., Audigé, L., & AO Pediatric Classification Group. (2007). Fracture and dislocation classification compendium for children: The AO pediatric comprehensive classification of long bone fractures (PCCF). *Journal of Orthopaedic Trauma*, 21(10 Suppl), S135-160. <https://doi.org/10.1097/00005131-200711101-00020>
- Stenroos, A., Laaksonen, T., Nietosvaara, N., Jalkanen, J., & Nietosvaara, Y. (2018). One in Three of Pediatric Tibia Shaft Fractures is Currently Treated Operatively: A 6-Year Epidemiological Study in two University Hospitals in Finland Treatment of Pediatric Tibia Shaft Fractures. *Scandinavian Journal of Surgery*, 107(3), 269–274. <https://doi.org/10.1177/1457496917748227>
- Stewart, T. C., Alharfi, I. M., & Fraser, D. D. (2013). The role of serious concomitant injuries in the treatment and outcome of pediatric severe traumatic brain injury. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 75(5), 836. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3182a685b0>
- Swindells, M. G., & Rajan, R. A. (2010). Elastic intramedullary nailing in unstable fractures of the paediatric tibial diaphysis: A systematic review. *Journal of Children's Orthopaedics*, 4(1), 45–51. <https://doi.org/10.1007/s11832-009-0223-4>
- Tenenbein, M., Reed, M. H., & Black, G. B. (1990). The toddler's fracture revisited. *The American Journal of Emergency Medicine*, 8(3), 208–211. [https://doi.org/10.1016/0735-6757\(90\)90324-s](https://doi.org/10.1016/0735-6757(90)90324-s)
- Thabet, A. M., Craft, M., Pisquiy, J., Jeon, S., Abdelgawad, A., & Azzam, W. (2022). Tibial shaft fractures in the adolescents: Treatment outcomes and the risk factors for complications. *Injury*, 53(2), 706–712. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2021.11.041>

- Torres-Izquierdo, B., Tippabhatla, A., Pereira, D. E., Cummings, J. L., Rivera, A. E., Meyer, Z. I., & Hosseinzadeh, P. (2023). Patient-reported outcomes of adolescents with tibia shaft fractures: Comparison of closed reduction and casting vs. elastic stable intramedullary nailing. *Journal of Pediatric Orthopedics. Part B*. <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000001138>
- Vallamshetla, V. R. P., De Silva, U., Bache, C. E., & Gibbons, P. J. (2006). Flexible intramedullary nails for unstable fractures of the tibia in children. An eight-year experience. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 88(4), 536–540. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.88B4.17363>
- Vasilescu, D. E., & Cosma, D. (2014). Elastic Stable Intramedullary Nailing for Fractures in Children—Principles, Indications, Surgical Technique. *Clujul Medical*, 87(2), 91–94. <https://doi.org/10.15386/cjmed-274>
- Villarreal, E. D., Wrenn, J. O., Sheffer, B. W., Sawyer, J. R., Spence, D. D., & Kelly, D. M. (2020). Do Patient-specific or Fracture-specific Factors Predict the Development of Acute Compartment Syndrome After Pediatric Tibial Shaft Fractures? *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 40(3), e193–e197. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000001410>
- von Laer, L. (2011). *Pediatric Fractures and Dislocations*. Thieme. <https://books.google.de/books?id=bAyfVze6srIC>
- Von Rüden, C., Dietz, S.-O., Schmittenebecher, P., Fernandez, F. F., Lieber, J., Wilkens, B., Rüger, M., & Schneidmueller, D. (2021). Pediatric aseptic lower leg fracture nonunion. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 47(2), 303–311. <https://doi.org/10.1007/s00068-020-01556-1>
- Wessel, L., Seyfriedt, C. S., Hock, S., & Waag, K. L. (1997). [Pediatric tibial fractures: Is conservative therapy still currently appropriate?]. *Der Unfallchirurg*, 100(1), 8–12. <https://doi.org/10.1007/s001130050088>
- Whelan, D. B., Bhandari, M., Stephen, D., Kreder, H., McKee, M. D., Zdero, R., & Schemitsch, E. H. (2010). Development of the radiographic union score for tibial fractures for the assessment of tibial fracture healing after intramedullary fixation. *The Journal of Trauma*, 68(3), 629–632. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181a7c16d>
- Wijtzes, N., Jacob, H., Knight, K., Thust, S., & Hann, G. (2021). Fifteen-minute consultation: The toddler's fracture. *Archives of Disease in Childhood - Education & Practice Edition*, 106(2), 94–99. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2020-319758>
- Yue, J. J., Churchill, R. S., Cooperman, D. R., Yasko, A. W., Wilber, J. H., & Thompson, G. H. (2000). The floating knee in the pediatric patient. Nonoperative versus operative stabilization. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 376, 124–136. <https://doi.org/10.1097/00003086-200007000-00018>

Verfahren zur Konsensfindung

Erstellung im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie. Ziel war die Abstimmung und Aktualisierung der Leitlinie zum Management der Unterschenkelschaftfrakturen im Kindesalter mittels Delphi-Konferenzen. Die namentlich aufgeführten Mitglieder der Lenkungsgruppe Leitlinien

der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie, Dr. Göbel, Prof. Wessel, PD Dr. Lieber, Prof. Schmittenebecher, Dr. Leutner und Dr. Krickeberg fungierten als Expertengruppe.

Die Konsentierung hat im Delphi-Verfahren schriftlich per mail stattgefunden. Es wurden insgesamt 3 Delphi-Runden benötigt. Die Rückmeldung erfolgten per mail. Entweder wurde dem Inhalt zugestimmt oder es konnten Änderungsvorschläge eingebracht werden.

Da es sich um eine S1 Leitlinie handelt und nur begrenzte Ressourcen vorliegen, wurden nicht alle mit der Erkrankung beteiligten Fachgesellschaften involviert.

Interessen und Umgang mit Interessenkonflikten: Die Interessenerklärungen wurden mit dem AWMF Formblatt erhoben und auf thematische Relevanz und auf geringe, moderate und hohe Interessenkonflikte von Herrn Leutner bewertet. Die Erklärung von Herrn Dr. Leutner wurde von Herrn Prof. Schmittenebecher bewertet. Es gab keine Interessenkonflikte, die eine Konsequenz erforderlich gemacht hätte. Gemäß der AWMF-Regel haben wir die Interessenkonflikte wie folgt kategorisiert:

- Vorträge für die Industrie als gering (Management: Limitierung von Leitungsfunktionen)
- Berater- und Gutachtertätigkeit/Drittmittelforschung als moderat (Management: führt zur Stimmenthaltung)
- Eigentümerinteressen wie Patente sowie eine überwiegende Tätigkeit für die Industrie als hoch (Ausschluss von Beratungen)

Die am Leitlinienprojekt beteiligten Fachgesellschaften/Organisationen haben eine schriftliche Vereinbarung zu den Verwertungsrechten der Leitlinieninhalte getroffen, die besagt, dass die Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendchirurgie e.V. (DGKJCH) die Autor*innen (Leitliniengruppe) in Hinsicht auf die weitere Verwertung vertritt. Die Autor*innen, vertreten durch die federführenden Fachgesellschaften, räumen der AWMF das Nutzungsrecht für die elektronische Publikation im Informationssystem „AWMF online“ im World Wide Web (WWW) des Internet ein.

Erstellungsdatum: 21.01.2025 durch Beschlussfassung des Vorstandes der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie

Nächste Überprüfung geplant: Dezember 2029

Versionsnummer: 3.0

Erstveröffentlichung: 03-1999

Überarbeitung von: 01/2025

Nächste Überprüfung geplant: 12/2029

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit des Inhalts keine Verantwortung übernehmen. **Insbesondere bei Dosierungsangaben sind stets die Angaben der Hersteller zu beachten!**

Autorisiert für elektronische Publikation: AWMF online