Aus der Klinik für Kinderchirurgie
der Universität zu Lübeck
Direktor: Prof. Dr. med. L.M. Wessel

Mittel- und langfristige Ergebnisse der Versorgung von Übergangsfrakturen der distalen Tibia im Wachstumsalter

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Universität zu Lübeck
- Aus der medizinischen Fakultät -

Vorgelegt von
Christian Koske
aus Dortmund

Lübeck 2006

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Lucas Wessel

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Michael Wenzl

Tag der mündlichen Prüfung: 07.05.2007

zum Druck genehmigt. Lübeck, den 07.05.2007

gez. Prof. Dr. med. Werner Solbach
- Dekan der Medizinischen Fakultät -

Inhaltsverzeichnis

Seite

Abkürzungsverzeichnis		6
I.	**Einleitung**	8
I.1	Thematik	8
I.2	Stand der Literatur	8
I.3	Historischer Rückblick der Übergangsfrakturen	8
I.4	Aufbau und Gefäßversorgung der Epiphysenfuge	9
I.5	Zeitpunkt und Ablauf der Epiphysenfugenverknöcherung	11
I.6	Unfallmechanismus	12
I.7	Verletzungen der distalen Tibia	13
I.7.1	Frakturen der distalen Tibia im frühen Kindesalter	14
I.7.2	Frakturen der distalen Tibia im Jugendalter (10-16 Jahre)	16
I.7.2.1	Innenknöchelfraktur	16
I.7.2.2	Übergangsfrakturen	17
I.8	Frakturklassifikation der Übergangsfrakturen	17
I.9	Schematische und radiologische Darstellung der Übergangsfrakturen	18
I.9.1	Twoplane-Fraktur	18
I.9.2	Triplane-Fraktur	22
I.9.2.1	Triplane-I Fraktur	23
I.9.2.2	Triplane-II Fraktur	26
I.10	Ergänzende bildgebende Diagnostik	30
I.10.1	Computertomographie	30
I.10.2	Magnetresonanztomographie	38
I.11	Osteosyntheseverfahren zur Stabilisierung von Übergangsfrakturen	39
I.11.1	Osteosynthese dislozierter Twoplane-Frakturen	39
I.11.2	Osteosynthese dislozierter Triplane-Frakturen	41
I.12	Komplikationen der Frakturen des oberen Sprunggelenks	42
I.12.1	Komplikationen der „typischen“ Epiphysenfrakturen	43
I.12.2	Komplikationen der Übergangsfrakturen	44
I.13	Fragestellung	46
II.	**Patientenkollektiv, Material und Methodik**	48
II.1	Patientenkollektiv	48
II.2	Material	48
II.3	Methodik	49

II.4	Statistische Auswertung	50
III.	**Ergebnisse**	51
III.1	Altersverteilung	51
III.2	Geschlechts-/Seitenverteilung	52
III.3	Unfallursache	52
III.4	Unfallmechanismus	53
III.5	Frakturart	54
III.6	Lage des Bruchspalts in der Epiphyse	55
III.7	Zustand der Wachstumsfuge zum Zeitpunkt des Unfalls	56
III.8	Begleitfrakturen	56
III.9	Epiphysäre Frakturdehiszenz bei Unfall	57
III.10	Fragmentdehiszenz nach Reposition/Reduktion	57
III.11	Therapie	58
III.11.1	Osteosyntheseart und -verfahren	59
III.12	Zeitpunkt und Durchführung der Metallentfernung	64
III.13	Ruhigstellung und Entlastung des Beins	66
III.14	Komplikationen während konservativer und operativer Therapie	67
III.15	Nachuntersuchung	68
III.15.1	Klinische Ergebnisse	69
III.15.2	Radiologische Ergebnisse	70
IV.	**Diskussion**	75
IV.1	Deutung der Untersuchungsergebnisse	76
IV.1.1	Altersverteilung	76
IV.1.2	Seitenverteilung des betroffenen Sprunggelenks	77
IV.1.3	Geschlechtsverteilung	78
IV.1.4	Unfallursache	79
IV.1.5	Unfallmechanismus	79
IV.1.6	Frakturart und -verteilung nach Häufigkeit	82
IV.1.7	Frakturspaltlage	83
IV.1.8	Zustand der Wachstumsfuge zum Unfallzeitpunkt	85
IV.1.9	Knöcherne Begleitverletzungen	85
IV.1.10	Dislokationsausmaß nach Unfall	87
IV.1.11	Dislokationsausmaß nach Reposition/Reduktion	87
IV.1.12	Therapieverfahren	89
IV.1.12.1	Konservativ	91

IV.1.12.2 Operativ 92
IV.1.13 Osteosyntheseverfahren 94
IV.1.14 Wahl des operativen Zugangs 96
IV.1.15 Zeitpunkt und Durchführung der Metallentfernung 97
IV.1.16 Dauer der Ruhigstellung und Entlastung des Beins 98
IV.1.17 Postoperative Komplikationen 99
IV.2 Ergebnisse der Nachuntersuchung 100
IV.2.1 Patientenkollektiv und Nachuntersuchungszeitraum 100
IV.2.2 Wachstumsstörungen 101
IV.2.2.1 Beinlängendifferenz 103
IV.2.2.2 Fehlstellungen (Achsabweichungen) 104
IV.2.2.3 Beweglichkeit des oberen Sprunggelenks 107
IV.2.3 Subjektive Beschwerden 108
IV.2.4 Radiologische Zeichen der Arthrose 109
IV.2.5 Radiologische Zufallsbefunde 111

V. Zusammenfassung 113

VI. Literaturverzeichnis 115

VII. Anhänge 126
VII.1 Abbildungsverzeichnis 126
VII.2 Untersuchungsprotokoll 129

VIII. Danksagung 133

IX. Lebenslauf 134

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung(en)
a.-p.	anterior–posterior
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
d.h.	das heißt
engl.	englisch
etc.	et cetera
et al.	et altera
ggf.	gegebenenfalls
J.	Jahr(e)
ME	Metallentfernung
MHH	Medizinische Hochschule Hannover
min.	mindestens
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
n	Anzahl
o.g.	oben genannt(e)
OP	Operation
OSG	oberes Sprunggelenk
p	Signifikanzniveau
PKW	Personenkraftwagen
postop.	postoperativ
rez.	rezidivierend(e)
sog.	sogenannt(e)
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
v.	von
v.a.	vor allem
z.B.	zum Beispiel
3-D	dreidimensional
°	Grad
>	größer als

<	kleiner als
≥	größer/gleich
≤	kleiner/gleich
%	Prozent
Ø	Durchschnitt
&	und
≈	entspricht

I. Einleitung

I.1 Thematik

Knöcherne Läsionen am kindlichen Skelett und deren Behandlung erfordern die besondere Kenntnis der typischen Wachstumsphänomene. Die aus einem Unfall resultierende Verletzung und deren Therapie sind im Kindesalter weit mehr vom Alter des Patienten und dem Reifezustand des Skeletts abhängig als vom Unfallmechanismus. Insbesondere die Schädigung der Wachstumsfugen und der Gelenke der unteren Extremität sowie das Wissen um die hohe spontane Korrekturpotenz der kindlichen Knochen nach einer Fraktur erfordern eine kindgerechte Behandlung mit dem Ziel, spätere bekannte Folgen wie Fehlwachstum und degenerative Veränderungen im Gelenk zu vermeiden (3, 8, 12, 29, 43, 51, 53, 54, 59, 65). Diesbezüglich unterscheidet sich das therapeutische Vorgehen erheblich von der Therapie des Erwachsenen.

I.2 Stand der Literatur

Der Begriff „Übergangsfraktur“ wird in der Literatur als eine knöcherne Läsion vorwiegend am distalen epimetaphysären Tibiaende in einer Phase beschrieben, in der sich die Wachstumsfuge zu schließen beginnt. Im Allgemeinen betrifft dies das Jugendalter zu einem Zeitpunkt, in dem sich das knöcherne Skelett am „Übergang“ zum Erwachsenenalter befindet. Entscheidend ist hierbei, dass die Fraktur die noch nicht vollständig geschlossene Wachstumsfuge betrifft.
Außer an der distalen Tibia sind Übergangsfrakturen auch an den Epi- und Metaphysen des distalen Radius, Femur und den Basen der Grundphalangen der Finger und Zehen bekannt. An diesen Lokalisationen treten Übergangsfrakturen jedoch sehr viel seltener auf.

I.3 Historischer Rückblick der Übergangsfrakturen

Der französische Chirurg Tillaux studierte 1872 anhand postmortaler Knochenexperimente Frakturen des Sprunggelenks und beschrieb als Erster die Tillaux-Fraktur des Erwachsenen der distalen Tibiaepiphyse, welche später bei Adoleszenten modifiziert „juvenile Tillaux-Fraktur“ genannt wurde und im eigentlichen heutigen Sinne eine Twoplane-

Fraktur darstellt (47, 86, 88, 89). Kleiger, Yao und Herring sind der Ansicht, dass bereits 1822 von Sir Astley Cooper ein Bruchmuster ähnlich der „Tillaux-Fraktur“ beschrieben wurde (16, 32, 47, 98).

Im deutschsprachigen Raum wurde erstmals ein derartiges Verletzungsmuster 1957 von Bartl, vier Jahre später auch von Titze beschrieben und als „Übergangsfraktur“ mit Abgrenzung zu einer Fraktur im Erwachsenenalter bezeichnet (3, 91). Im englischen Sprachgebrauch erwähnten bereits 1957 Johnson und Fahl, 1964 Kleiger, 1970 Marmor und 1972 Lynn in ihrer Publikation den Fall einer sogenannten „Triplane-Fracture“ (37, 47, 60, 64).

I.4 Aufbau und Gefäßversorgung der Epiphysenfuge

Das Längenwachstum des Unterschenkels verteilt sich mit ca. 45 % auf die Wachstumsfuge der distalen und 55 % auf den proximalen Anteil der Tibia (6, 28, 38, 66, 70). Es werden vier Zonen im Aufbau der Fuge unterschieden (Abb. 1) (38, 71, 73, 78):

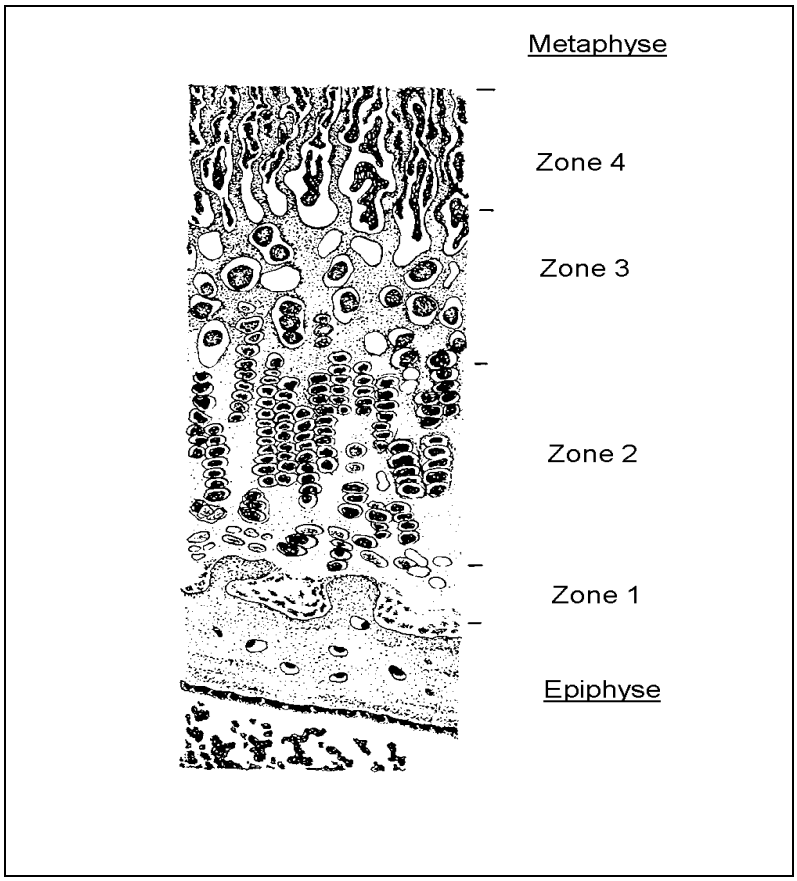


Abb. 1: Aufbau der Wachstumsfuge bestehend aus vier Zonen „umgezeichnet nach OH et al., 1974, Abb. 1“.

Zone 1 und 2 bilden das Stratum germinativum und sind für das eigentliche Längenwachstum verantwortlich. Da die Grundsubstanz dieser beiden Zonen aus Chondroitinschwefelsäure und Kollagenfasern besteht, ist er extrem widerstandsfähig und stellt eine große Festigkeit insbesondere gegen Druck-, Scher- und Zugkräfte dar. Die vakuolisierten hypertrophierten Zellen der Zone 3 sind blasig umgebaut; zwischen diesen findet sich kaum Kollagen. Der Blasenknorpel dieser Zone bietet somit wenig Schutz bei Gewalteinwirkung und stellt den „Locus minoris resistentiae“ der Epiphysenfuge dar: In dieser Zone 3 löst sich bei einem Trauma die Fuge unter Mitnahme der Zone 1 und 2 und trennt sich von der Zone 4, dem Verkalkungsbezirk der Metaphyse (38, 80). Peripher ist die Fuge von einem perichondralen gefäßreichen Ring umgeben, der aus knorpelhaltigem Bindegewebe besteht und Metaphyse mit Epiphyse verbindet.

Der Blutversorgung im Bereich der Wachstumsfuge kommt eine besondere Bedeutung zu: Anders als am proximalen Radius und proximalen Femur, an denen die versorgenden Gefäße die Epiphysenfuge kreuzen, bei Fugenlösungen leicht zerreißen und somit zu aseptischen Nekrosen führen können, ist die Blutversorgung an der distalen Tibia in kleinste Gefäße aufgeteilt, die den Epiphysenkern als auch die distalen metaphysären Anteile getrennt voneinander versorgen (Abb. 2) (38, 66, 93): Während die distale Metaphyse über Kapillaren der Arteria nutricia sowie über kleinere Äste der diaphysären Periostalgefäße ernährt wird, ist die Blutversorgung der Epiphyse über Periostalgefäße aus größeren Arterien des Gelenkbereichs sichergestellt. In der knorpeligen Zone der Fuge finden sich keine Gefäße: Hier wird der Knorpel durch Diffusion ernährt.

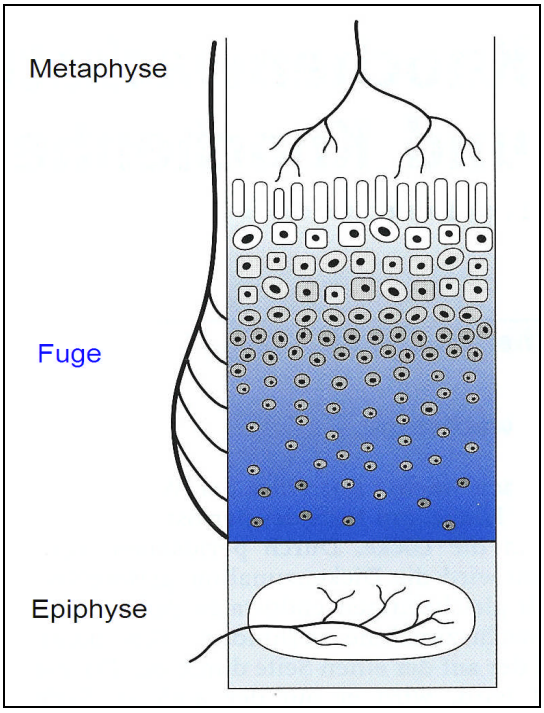


Abb. 2: Gefäßversorgung der Wachstumsfuge „umgezeichnet nach MARZI, 2006, Abb. 1.3“.

I.5 Zeitpunkt und Ablauf der Epiphysenfugenverknöcherung

Vor dem endgültigen Ende des Tibiawachstums beginnt die Verknöcherung der Wachstumsfuge: Histologisch betrachtet verschließt sich in der distalen Tibiaepiphysenfuge zunächst der anteromediale Anteil des medialen Malleolus; die Mineralisation der Fuge

schreitet dann nach posterolateral weiter (Abb. 3). Der anterolaterale Teil der Wachstumszone des Innenknöchels verknöchert somit zuletzt.

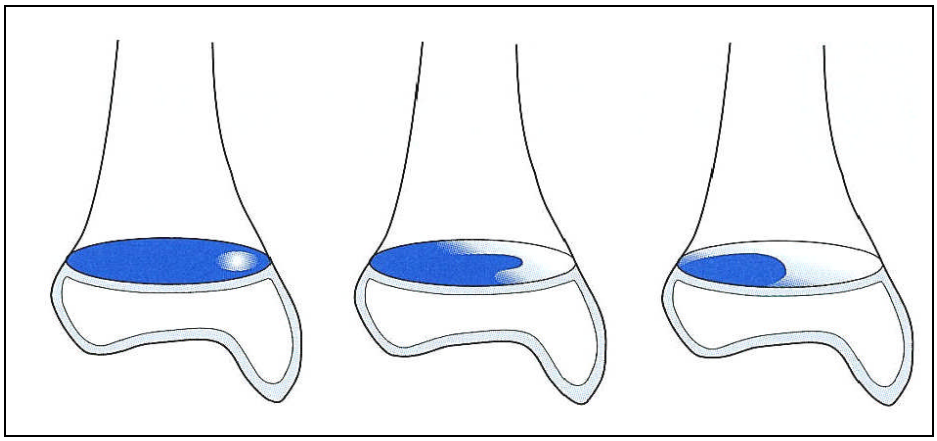


Abb. 3: Richtung des physiologischen Fugenschlusses der distalen Tibiaepiphyse von anteromedial nach lateral bei epiphysärer Aufsicht. Der noch offene Fugenbereich ist blau, die verknöcherte Fuge weiß dargestellt „aus MARZI, 2006, Abb. 22.6“.

Der zeitliche Ablauf der Verknöcherung spielt im Entstehungsmechanismus der Epiphysenfrakturen im Adoleszentenalter somit eine zentrale Rolle (56): Der Zeitpunkt der Verknöcherung liegt in der Pubertät, markiert den Schwellenpunkt zum „Erwachsenwerden“ des Knochens und tritt im Allgemeinen 18 Monate vor dem Fugenschluss in der oben beschriebenen Weise ein (23, 47, 49, 78, 81, 90, 96).

I.6 Unfallmechanismus

Typischer Unfallhergang ist nach Meinung der meisten Autoren neben der Außenrotation das Supinationstrauma des Sprunggelenks: Durch die Abscherbewegung des epiphysären gegen den metaphysären Anteil der Fuge bricht die Fugenlösung entlang dem Pfeiler ins Gelenk.

Bei den Übergangsfrakturen stellt die Abfolge der Mineralisation der Wachstumsfuge die Ursache für das charakteristische Bruchmuster bei einem Trauma im Sprunggelenksbereich dar: Scherkräfte, wie sie typischerweise bei Umknicktraumata auftreten (33), haben zur Folge, dass sich die Epiphysenfuge im *lateralen* Bereich des medialen Malleolus zuerst löst, in dem sie noch nicht verknöchert und somit am schwächsten ist.

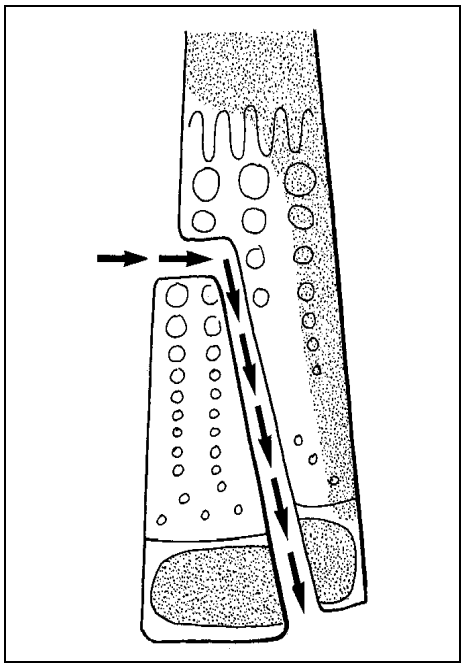


Abb. 4: Richtung der Fugenlösung entlang des knöchernen Pfeilers „aus v. LAER, 2001, Abb. 25.30“.

Diese Lösung setzt sich bis zu dem Bezirk fort, an dem die Fuge bereits geschlossen ist, und wird an diesem knöchernen Pfeiler nach kaudal in das Gelenk hinein abgelenkt (Abb. 4).

I.7 Verletzungen der distalen Tibia

Nach Cummings ist die Verletzung der Wachstumsfuge der distalen Tibia bzw. Fibula am zweithäufigsten nach der distalen Radiusfugenschädigung (19) und macht insgesamt ca. 25 % bis 38 % der Wachstumsfugenläsionen im kindlichen Skelett aus. Am häufigsten sind diese Verletzungen im Alter zwischen acht und 15 Jahren und je nach Autor öfter bei Jungen als bei Mädchen zu beobachten (85).

I.7.1 Frakturen der distalen Tibia im frühen Kindesalter

Außer den reinen Fugenlösungen (Salter/Harris Typ I) und Fugenlösungen mit metaphysärem Keil (Salter/Harris Typ II) sind die Gelenkfrakturen von großer Bedeutung. Dabei liegt der Frakturspalt bei Kindern bis zum zehnten Lebensjahr in aller Regel im *medialen* Bereich der Epiphyse, und zwar in der Verlängerung der medialen Taluskante. Der Grund hierfür liegt in der noch weit offenen und instabilen „weichen" Wachstumsfuge. Die mediale Taluskante treibt den medialen Epiphysenbereich durch die Fuge hindurch – bei Salter/Harris-Frakturen Typ IV sogar mit Herausbrechen eines metaphysären Keils. Ist ausschließlich die Tibiaepiphyse betroffen, so handelt es sich – unter Verwendung der internationalen Nomenklatur – um sogenannte Salter/Harris III bzw. Aitken II-Frakturen. Liegt eine Kombination aus epi- und metaphysärer Fraktur vor, spricht man von einer Salter/Harris IV bzw. Aitken III-Fraktur.
Derartige Wachstumsfugenverletzungen umfassen den größten Anteil der knöchernen Läsion des wachsenden Skeletts und können an allen Gelenken der Extremitäten auftreten. Die Epiphysenfuge ist dabei definitionsgemäß auf ganzer Länge noch offen. Im Gegensatz zu den „Übergangsfrakturen" liegt der epiphysäre Frakturspalt der Salter/Harris-Fraktur III und IV außerhalb der Hauptbelastungszone des oberen Sprunggelenks.

Historisch gesehen war Aitken 1936 der Erste, der drei verschiedene Formen einer Wachstumsfugenläsion beschrieb (1). Salter und Harris erweiterten knapp 30 Jahre später die Aitken-Klassifikation der Gelenkbrüche um die reine Fugenlösung und den Stauchungsbruch mit Kompression der Epiphysenfuge (80), welcher in der bildgebenden Diagnostik nicht sofort, sondern erst sekundär bei später auftretendem Fehlwachstum und/oder radiologisch gesicherter periostaler Reaktion diagnostiziert wird.

Bis heute haben beide Einteilungen ihre Gültigkeit (Tab. 1); in dieser Studie wurde der Salter/Harris-Klassifikation den Vorzug gegeben, da diese in der Literatur am häufigsten angewandt wird.

Tab. 1: Salter/Harris- bzw. Aitken-Klassifikation

► Salter/Harris Typ I:	Epiphyseolyse
► Salter/Harris Typ II (≈ Aitken I):	Epiphyseolyse mit Ausbruch eines metaphysären Fragments
► Salter/Harris Typ III (≈ Aitken II):	epiphysäre Aussprengung eines Fragments
► Salter/Harris Typ IV (≈ Aitken III):	meta- und epiphysäre Aussprengung eines Fragments
► Salter/Harris Typ V:	sog. „Crush"-Verletzung (Kompression) der Wachstumsfuge

In Abb. 5 sind die unterschiedlichen Fragmente und Frakturspaltverläufe der Salter/Harris-Frakturen der distalen Tibia beispielhaft dargestellt.

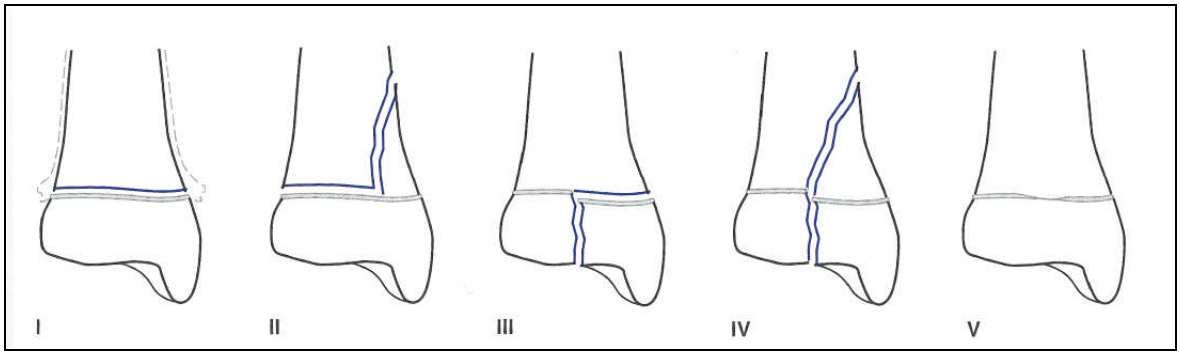
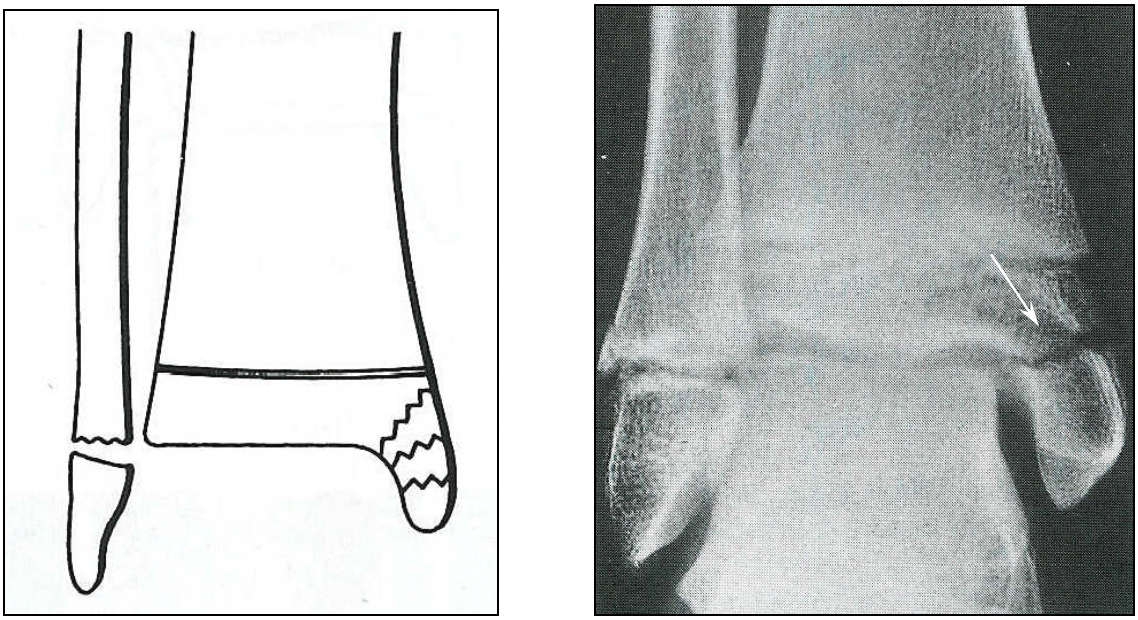


Abb. 5: Schematische Klassifikation der Epiphysenfugenverletzungen nach Salter/Harris am Beispiel der distalen Tibia „aus ROCKWOOD und WILKINS, 2001, Abb. 25.6".

I.7.2 Frakturen der distalen Tibia im Jugendalter (10–16 Jahre)

I.7.2.1 Innenknöchelfraktur

Eine weitere Form der Epiphysenfraktur im Sprunggelenk ist der isolierte Bruch des Malleolus medialis, der überwiegend im Adoleszentenalter auftritt, therapeutisch und prognostisch gesehen jedoch keine Schwierigkeiten bereitet. Es handelt sich hierbei um meist quere Malleolarfrakturen, die nach v. Laer typischerweise im jugendlichen Alter auftreten (Abb. 6 a, b) (57). Durch eine Aussprengung des gesamten oder eines Teils des Malleolus medialis kann eine Gelenkstufe und somit eine Dislokation mit oder ohne Kontakt der Frakturlinie zur Epiphysenfuge resultieren. Die Therapie besteht in Immobilisation im Gips bei nicht-dislozierten Frakturen und Kirschner-Draht-Osteosynthese bei Dislokation. Die Prognose ist bei problemloser Heilungstendenz gut.



a) *b)*

Abb. 6 a, b: *Schema (a) und a.-p. Röntgenbild (b) einer typischen Innenknöchelfraktur (weißer Pfeil) „aus v. LAER, 2001, Abb. 25.17“.*

I.7.2.2 Übergangsfrakturen

Mit zunehmendem Alter über das zehnte Lebensjahr hinaus trifft man häufiger die „Übergangsfrakturen“ der distalen Tibia an, deren typisches Merkmal im *lateralen* Fragmentausbruch der Epiphyse liegt, wie er bei Salter/Harris-Frakturen im Klein- bzw. Schulkindalter nie anzutreffen ist. Die Inzidenz dieser Frakturart wird in der Literatur sehr unterschiedlich angegeben und variiert je nach Autor und Frakturart (Twoplane- oder Triplane-Fraktur) von fünf bis sogar 50 % aller epiphysären Frakturen der distalen Tibia (17, 23, 26, 41, 52, 55, 58, 61, 63, 72, 85, 87).

I.8 Frakturklassifikation der Übergangsfrakturen

Die „Übergangsfraktur“ lässt sich bei prämaturer oder bereits annähernd geschlossener Wachstumsfuge in drei Gruppen einteilen – je nachdem, welche Bereiche der distalen Tibia von der Fraktur betroffen sind. Grundsätzlich werden Twoplane- von Triplane-Frakturen unterschieden. Alle Übergangsfrakturen haben das gemeinsame Kriterium, dass es sich um eine Epiphysenfraktur und damit meist um eine Gelenkfraktur handelt. Dabei kann der Frakturspalt im lateralen, zentralen, medialen oder intramalleolären Bereich der Epiphyse liegen (Abb. 7).

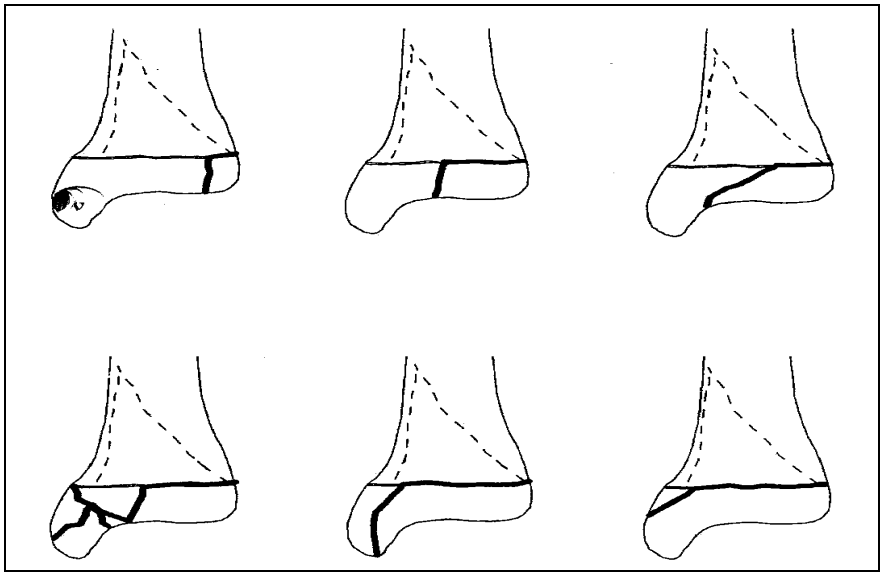


Abb. 7: Mögliche Lage des Frakturspalts der Tibiaepiphyse bei „Übergangsfrakturen“ (hier am Beispiel der Triplane-Fraktur). Der metaphysäre Bruchverlauf ist gestrichelt dargestellt „aus KÄRRHOLM, 1997, Abb. 2“.

Die Salter/Harris-Fraktur des jungen Kindes muss von der Übergangsfraktur des Adoleszenten insofern abgegrenzt werden, als dass sich der Verknöcherungszustand der Wachstumsfuge in beiden Frakturtypen erheblich unterscheidet: Die Fuge ist bei Salter/Harris-Frakturen auf ganzer Länge offen, während sie bei der Übergangsfraktur partiell verknöchert ist. Radiologisch ist diese Verknöcherung gelegentlich noch nicht sichtbar, jedoch funktionell bereits wirksam.

I.9 Schematische und radiologische Darstellung der Übergangsfrakturen

I.9.1 Twoplane-Fraktur

Dieser Bruch ist bedingt durch einen Fragmentausbruch ausschließlich der Epiphyse bei verknöcherter medialer Wachstumsfuge. Der anterolaterale, noch knorpelige Fugenanteil ist für das Schertrauma anfällig und reißt bei dieser Art der Übergangsfraktur durch die Gewalteinwirkung heraus. Je weiter lateral das epiphysäre Fragment herausbricht, desto eher handelt es sich um einen knöchernen Ausriss des Ligamentum tibiofibulare anterius als Bestandteil der Syndesmose. In diesem Fall liegt eine sog. „juvenile Tillaux-Fraktur“ vor (Abb. 8).

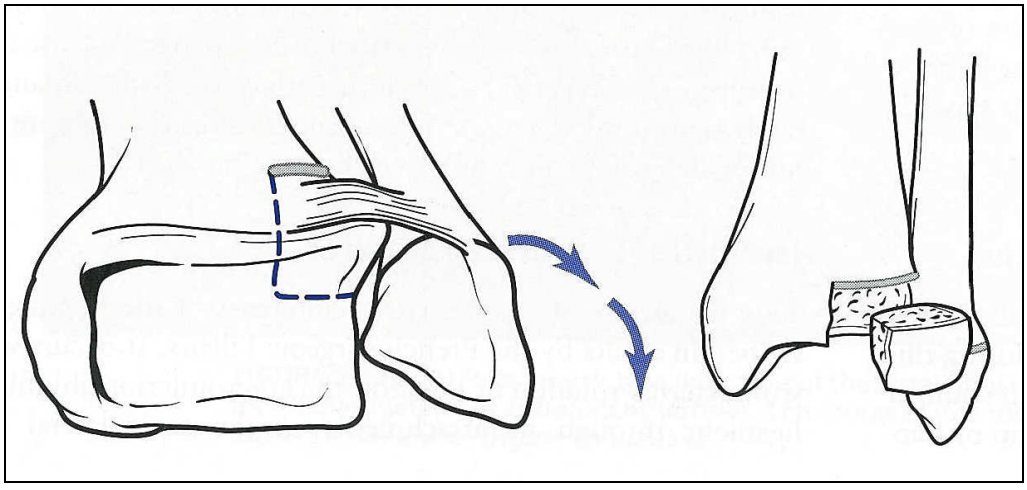


Abb. 8: Schematische Darstellung der sog. juvenilen Tillaux-Fraktur „aus ROCKWOOD und WILKINS, 2001, Abb. 25.38“.

Folgende Abb. 9-12 zeigen radiologische Befunde unterschiedlicher Twoplane-Frakturen mit verschiedener Lage epiphysärer Frakturspalten.

Abb. 9 a: A.-p. Röntgenbild einer Twoplane-Fraktur, 12,4-jähriges Mädchen, lateral liegender Bruchspalt mit dislozierten Fragment.

Abb. 9 b: Dieselbe Patientin, seitliches Röntgenbild, nach anterior dislozierte epiphysäres Fragment (Pfeil).

Abb. 10 a: Typisches a.-p. Röntgenbild einer Twoplane-Fraktur mit zentralem Frakturspalt, 15-jähriger Junge, mediale Fuge vollständig verschlossen.

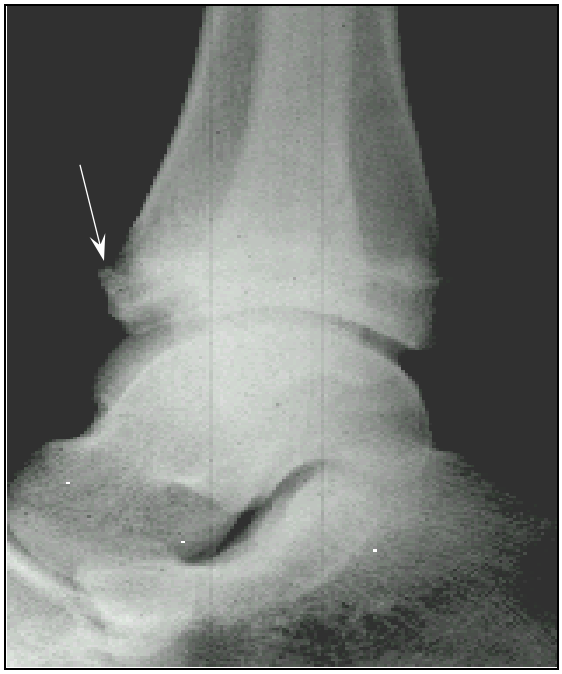


Abb. 10 b: Derselbe Patient, seitliches Röntgenbild, epiphysäres Fragment nach anterior verschoben (Pfeil).

Abb. 11 a: *A.-p. Röntgenbild einer Twoplane-Fraktur, 12,8-jähriger Junge. Hier liegt als Rarität eine Kombination aus Innenknöchelfraktur (weißer Pfeil) und Übergangsfraktur (Tillaux-Fraktur, schwarzer Pfeil) vor.*

Abb. 11 b: *Seitliches Röntgenbild desselben Patienten, Darstellung eines anterioren (linker Pfeil) und posterioren Fragments (rechter Pfeil).*

I.9.2 Triplane-Fraktur

Die Triplane-Fraktur unterscheidet sich von der Twoplane-Fraktur darin, dass außer der Epiphyse zusätzlich die fugennahe Metaphyse frakturiert ist. Bei dieser komplexen Bruchform sind grundsätzlich zwei, drei oder vier knöcherne Fragmente möglich (39, 44, 85, 96). Dabei richtet sich die Anzahl der Fragmente nach dem Verlauf des Frakturspalts, welcher von der Metaphyse ausgeht und sich durch die Fuge in die Epiphyse fortsetzt. Die Unterscheidung Triplane-I von Triplane-II Fraktur wird durch den metaphysären Frakturspalt in der seitlichen Röntgenebene oder in der Tomographie verständlich, da sich der Spalt bei der Triplane-II Fraktur geradewegs durch die Fuge in die Epiphyse fortsetzt.

- Triplane I: epiphysär mit metaphysärem Fragmentkeil
- Triplane II: epiphysär mit metaphysärem Fragmentkeil, der sich durch die Epiphyse hindurch in das Gelenk fortsetzt

Radiologisch hinweisend ist die pyramidenartige Bruchlinie des metaphysären Fragmentkeils im Sinne eines Volkmann Dreiecks im a.-p. Strahlengang der konventionellen Röntgendiagnostik. Abb. 12 gibt eine einfache schematische Ansicht der Triplane-I und -II Fraktur in beiden Ebenen wieder. Bedeutsam ist vor allem die epiphysäre Aufsicht mit Darstellung möglicher Frakturverläufe in der Fuge.

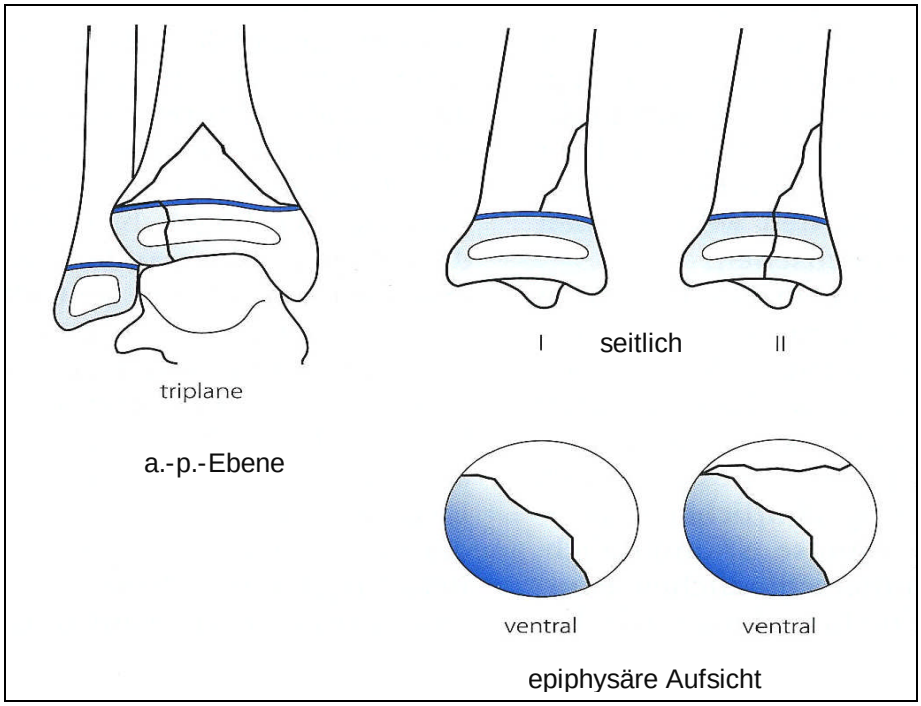


Abb. 12: Schematische Differenzierung der Triplane-I und -II Frakturen „umgezeichnet nach MARZI, 2006, Abb. 2.2“.

I.9.2.1 Triplane-I Fraktur

Um eine Triplane-Fraktur radiologisch zu erkennen, ist die Kenntnis des Bruchverlaufs erforderlich. Je nach Anzahl der Fragmente und Art der Fraktur (Typ I oder II) kann es sehr schwierig bis unmöglich sein, in Standardröntgenaufnahmen eine Triplane-Fraktur genau zu klassifizieren. Dies ist jedoch für die Wahl der Therapie entscheidend. Genaue Klärung erfolgt dann meist mit Hilfe einer Computer- oder Kernspintomographie. In der Triplane-I Fraktur endet der metaphysäre Spalt in der Wachstumsfuge, verläuft horizontal in dieser weiter und durchbricht die Epiphyse in einem anderen Bereich, um sich in das Gelenk fortzusetzen.

Anhand der Abb. 13-15 werden zunächst mögliche Bruchvarianten der Triplane-I Fraktur schematisch, in Abb. 16 eine Triplane-I Fraktur mit intramalleolären Epiphysenbruchspalt radiologisch dargestellt.

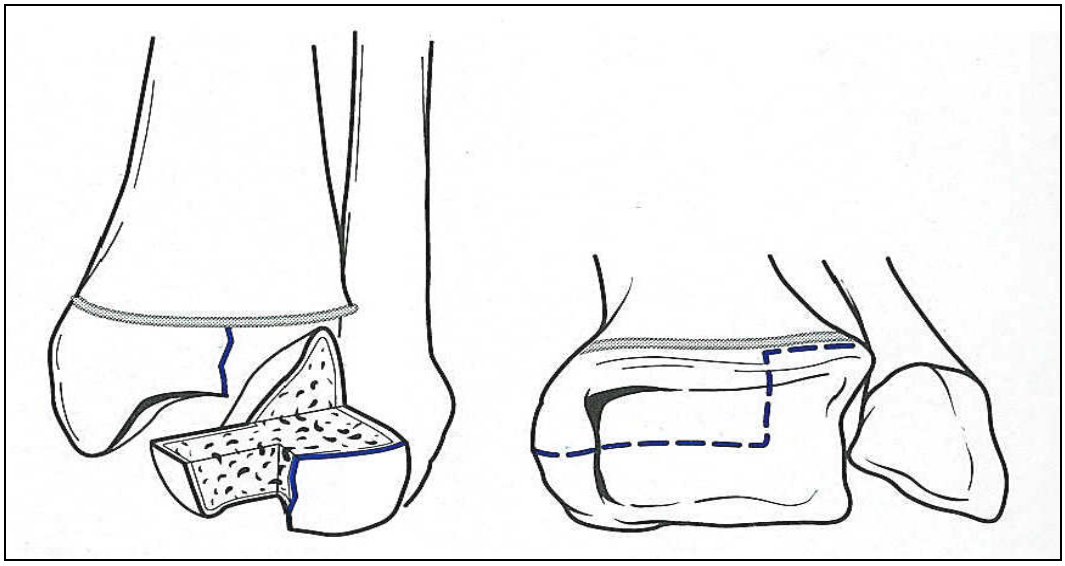


Abb. 13: Dreidimensionales Schema einer Triplane-I Fraktur bestehend aus zwei Fragmenten „aus ROCKWOOD und WILKINS, 2001, Abb. 25.47“.

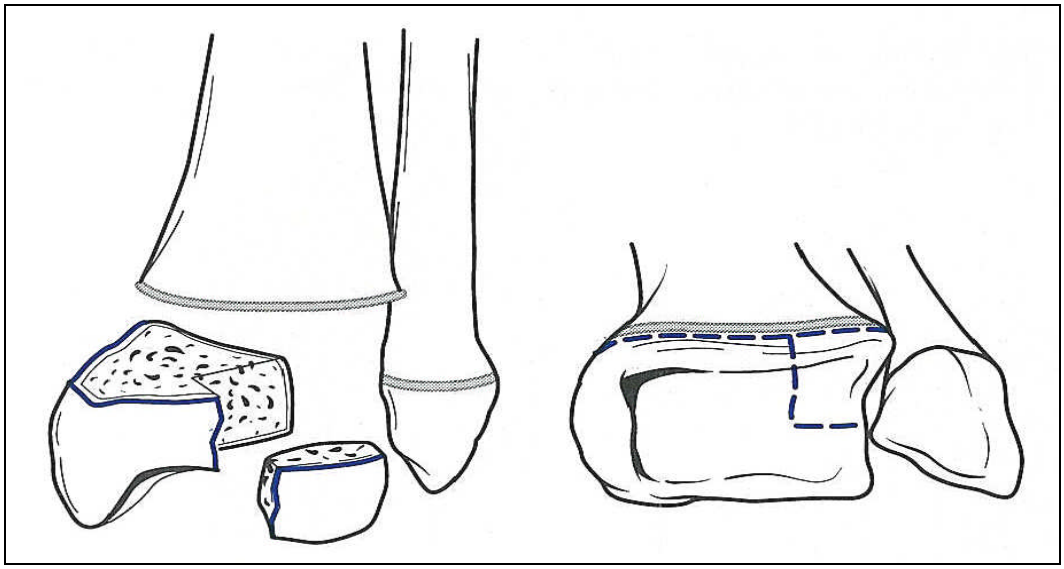


Abb. 14: Triplane-I Fraktur bestehend aus drei Fragmenten „aus ROCKWOOD und WILKINS, 2001, Abb. 25.46“.

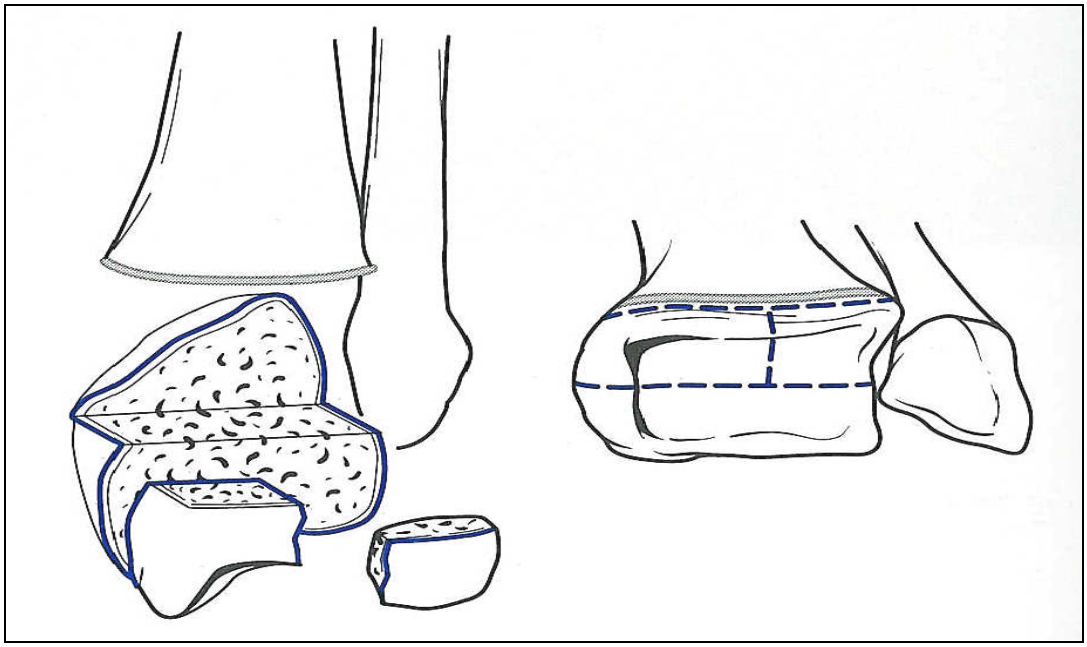


Abb. 15: Triplane-I Fraktur bestehend aus vier Fragmenten „aus ROCKWOOD und WILKINS, 2001, Abb. 25.48“.

Abb. 16 a: A.-p. Röntgenbild einer Triplane-I Fraktur, 14,3-jähriger Junge. Intramalleolär verlaufender Bruchspalt (weißer Pfeil) mit in dieser a.-p. Ebene zu vermutendem metaphysären Volkmann Dreieck (schwarzer Pfeil) und distaler Fibulaschaftfraktur.

Abb. 16 b: Seitliches Röntgenbild mit erheblicher Dislokation des distalen metaphysären Tibiaschafts nach posterior, derselbe Patient.

I.9.2.2 Triplane-II Fraktur

Diese stellt aufgrund der Vielzahl der Fragmente die komplizierteste Variante aller Übergangsfrakturen dar. Sie unterscheidet sich von der Triplane-I Fraktur in dem fortlaufenden metaepiphysären Bruchspalt.

In Abb. 17 besteht die Triplane-II Fraktur mit durchgehendem metaepiphysären Bruchspalt medial aus insgesamt drei Fragmenten:

- einem rechteckigen anterolateralen Epiphysenfragment
- einem metaphysären posteromedialen Teil mit Innenknöchel
- und dem Tibiaschaft

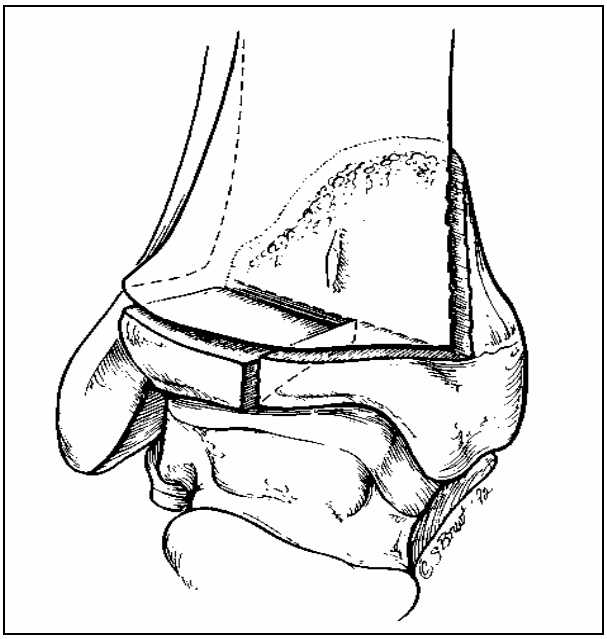


Abb. 17: Schema einer Drei-Fragment-Triplane-II Fraktur „aus WHIPPLE et al., 1993, Abb. 1“.

Auch zwei größere Fragmente sind möglich und in Abb. 18 dargestellt:

- Tibiaschaft mit Innenknöchel und anteromedialem Teil der Epiphyse
- ein anterolateraler Teil der Epiphyse mit hinterem metaphysären Tibiaanteil

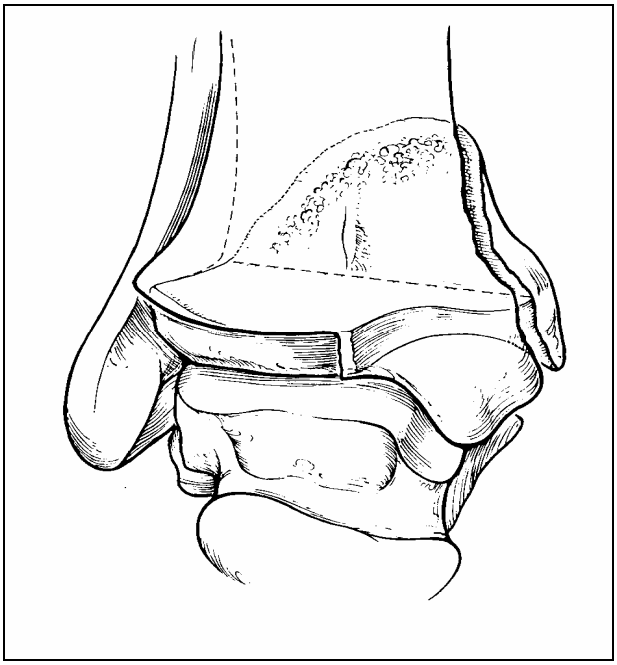


Abb. 18: Schema einer Zwei-Fragment-Triplane-II Fraktur „aus WHIPPLE et al., 1993, Abb. 2“.

Folgende radiologische Befunde aus dem Patientenkollektiv veranschaulichen exemplarisch zwei Ebenen dieser komplexen Bruchform im Bereich der distalen Tibiaepiphyse bei Adoleszenten:

Abb. 19 a: Triplane-Fraktur Typ II mit medial liegendem epiphysären Frakturspalt (weißer Pfeil) und metaphysärem Fragment (schwarzer Pfeil), a.-p. Röntgenbild, 11,2-jähriges Mädchen.

Abb. 19 b: Dieselbe Patientin, seitliches Röntgenbild, metaphysäres posteriores „Volkmann Dreieck“ mit weißem Pfeil gekennzeichnet, teils von der Fibula überlagert.

I.10 Ergänzende bildgebende Diagnostik

Die sehr komplexe Bruchkonfiguration vor allem der Triplane I und -II Frakturen macht eine genaue Einordnung und Klassifizierung der Übergangsfrakturen teilweise außerordentlich schwierig. Konventionelle Röntgendiagnostik mit Aufnahmen in zwei Ebenen kann durch zusätzliche Schrägaufnahmen ergänzt werden, um eine epiphysäre Fragmentaussprengung genauer beurteilen zu können. Es ist jedoch seit langem bekannt, dass die Computertomographie die genaue Anatomie und Morphologie gerade der Gelenkfrakturen durch die transversale Aufsicht auf die Epiphyse noch besser veranschaulicht.

I.10.1 Computertomographie

Gemäß der Literatur waren Cooperman et al. 1978 die Ersten, die zur weiteren Abklärung der Triplane-Frakturen die Durchführung einer Computertomographie (CT) empfahlen (17). Viele andere Autoren befürworten dieses zusätzliche bildgebende Verfahren (7, 15, 19, 21, 27, 39, 44, 49, 50, 55, 61, 74, 77, 90, 96, 98), wodurch später erstmals Rekonstruktionen in drei Ebenen ermöglicht wurden. Tatsächlich erleichtert die mehrdimensionale Darstellungsmöglichkeit des Bruchspalts mit Bezug auf die Hauptbelastungszone mittels Tomographie das weitere Vorgehen vor allem bei der Frage nach dem operativen Zugang und der Schraubenrichtung bei einer erforderlichen Osteosynthese (7). Insbesondere bei den Triplane-Frakturen ist der exakte Verlauf des Frakturspalts und die Kenntnis der Anzahl der Bruchfragmente von Bedeutung und mittels der konventionellen Strahlendiagnostik selbst in den Schrägaufnahmen nicht sicher beurteilbar: Der im a.-p. Strahlengang der konventionellen Röntgendiagnostik sichtbare Bruchspalt in der Epiphyse wird nach posterior in Richtung entweder medial oder öfter noch nach lateral „abgelenkt“ (57) – gemäß dem Mineralisationsverlauf der Epiphysenfugenverknöcherung, da der anterolaterale Quadrant zuletzt verknöchert. Demnach besteht mit der Computertomographie die Möglichkeit, sowohl den Zustand der Wachstumsfuge, tatsächliche Frakturspaltdehiszenz und -verlauf im Zentrum des Gelenks als auch die Größe und Anzahl der Frakturfragmente exakt zu beurteilen (7, 17) sowie in Grenzfällen zu entscheiden, ob und welche operative Therapie einer konservativen Behandlung vorgezogen werden sollte (25, 26, 34, 35, 39, 44, 77, 95). Diese Überlegungen und Ergebnisse veranschaulichen, dass Ausmaß der Dislokation und Anzahl der Fragmente bei Übergangsfrakturen leicht zu unterschätzen sind. Auch nach Meinung anderer Autoren (2, 19, 39, 44, 92) kann die exakte Einteilung und Klassifizierung bei radiologischen Unklarheiten nur mittels einer Computertomo-

graphie geschehen. In manchen Kliniken ist in der Zwischenzeit die Darstellung des Sprunggelenks mittels dreidimensionaler Rekonstruktion im Rahmen der Computertomographie möglich – eine elegante Art, diese besondere Fraktur in allen drei Ebenen räumlich verständlicher darzustellen. Beispielhaft ist der Fall einer Twoplane-Fraktur eines 14-jährigen Mädchens in den nachfolgenden Abbildungen (Abb. 20 a-c) dargestellt. Die ursprüngliche konventionelle Röntgendiagnostik kann lediglich den Bruch in der a.-p. Ebene aufzeigen. Jedoch erst in der tomographischen Darstellung wird der genaue Bruchverlauf der Epiphyse mit Größe des Spalts in der tangentialen Ebene deutlich.

a)

b)

Abb. 20 a, b Röntgendarstellung einer Twoplane-Fraktur mit zentralem Bruchspalt (weißer Pfeil), a) a.-p. Ansicht, b) seitliche Ansicht: keine Frakturdarstellung.

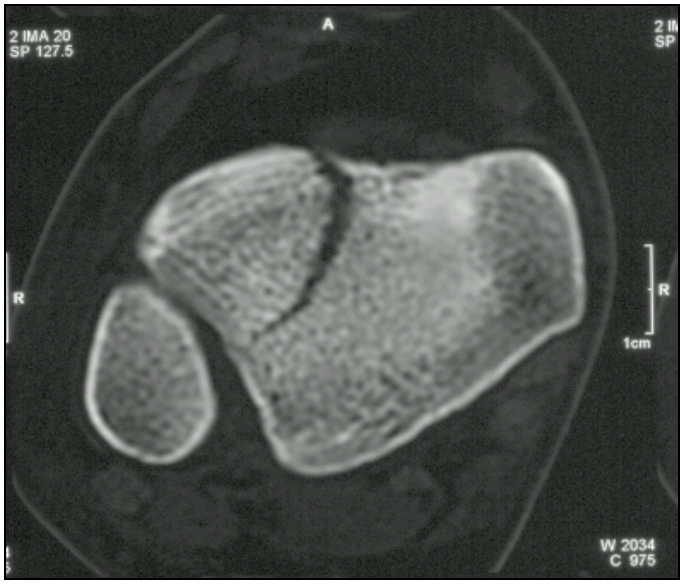


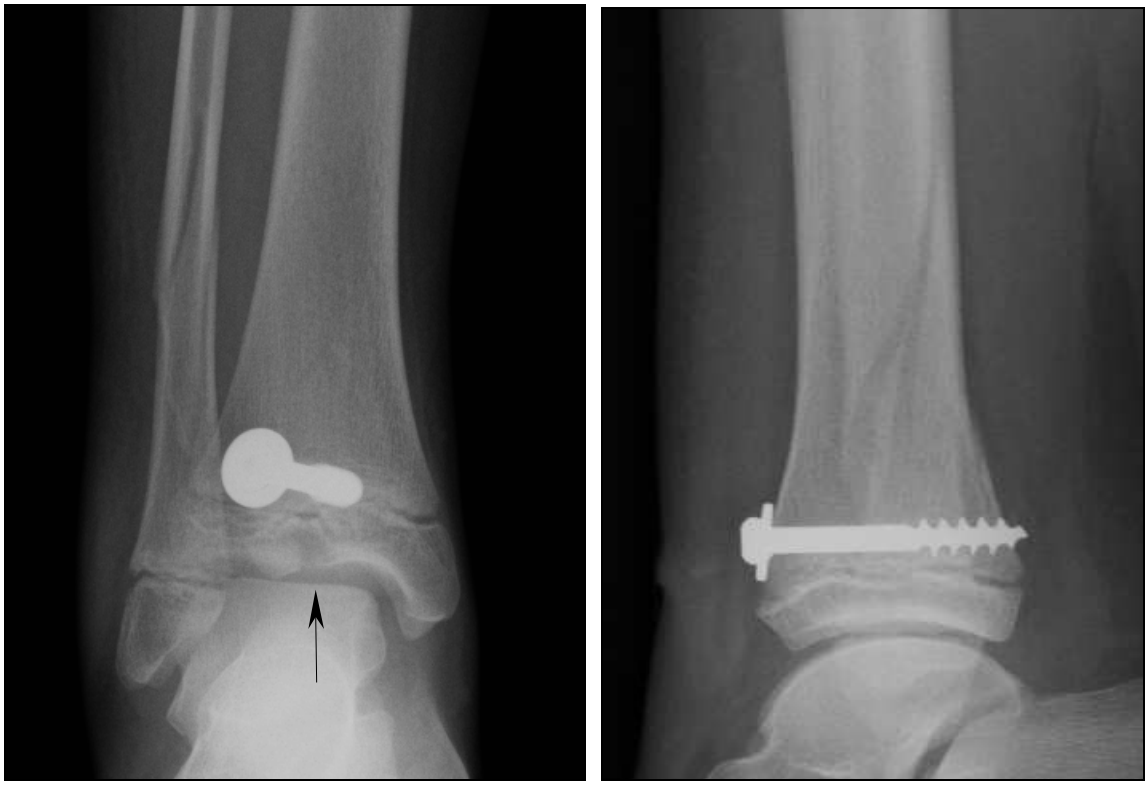
Abb. 20 c: Dieselbe Patientin, tangentiales CT des oberen Sprunggelenks (OSG) mit Darstellung des Bruchverlaufs sowie der Spaltgröße (3 mm) in der epiphysären Aufsicht. Ablenkung des Bruchspalts von zentral nach lateral.

Die nachfolgende bildgebende Diagnostik zeigt am Beispiel einer Triplane-Fraktur die Komplexität dieser Bruchform (Abb. 21 a-l): Sie veranschaulicht die irreführende Interpretation der konventionellen Röntgendiagnostik einer distalen dislozierten Unterschenkelfraktur mit entsprechend unzureichender Osteosynthese. In diesem Fall war ein 11-jähriges Mädchen zunächst mit dem Nachweis einer Fibulaschaftfraktur und der Annahme einer Salter/Harris-Fraktur Typ II der distalen Tibiametaphyse operiert und das metaphysäre Tibia-Fragment mit einer Zugschraube von anterior stabilisiert worden.

a) *b)*

Abb. 21 a, b: Röntgenbilder in zwei Ebenen, 11-jährige Patientin (nicht in der Studie).

Die konventionelle präoperative Röntgendiagnostik täuscht in der a.-p. Ebene unauffällige knöcherne Verhältnisse vor, während in der seitlichen Ebene eine spiralig verlaufende distale Fibulaschaftfraktur zur Darstellung kommt. In dieser seitlichen Ebene überlagern sich Fibulaschaftfraktur und Volkmann Dreieck der Tibiametaphyse, so dass auch hier keine zuverlässige Beurteilung und Diagnosestellung möglich ist, jedoch eine korrekturbedürftige Salter/Harris-Verletzung Typ II der Tibia im Sinne eines Volkmann Dreiecks angenommen wurde. Nach Reposition und Osteosynthese der Tibiametaphyse wurde das Ergebnis radiologisch kontrolliert:



c) *d)*

Abb. 21 c, d: Dieselbe Patientin, postoperative Röntgenbilder in beiden Ebenen.

Jetzt fällt eine erhebliche Dehiszenz der Tibia-Epiphyse in der a.-p. Ansicht auf (Abb. 21 c, Pfeil). In der daraufhin durchgeführten Computertomographie mit 3-D-Rekonstruktion bestätigt sich die Diagnose einer weiterhin dislozierten, korrekturbedürftigen Triplane-II Fraktur bestehend aus vier Fragmenten.

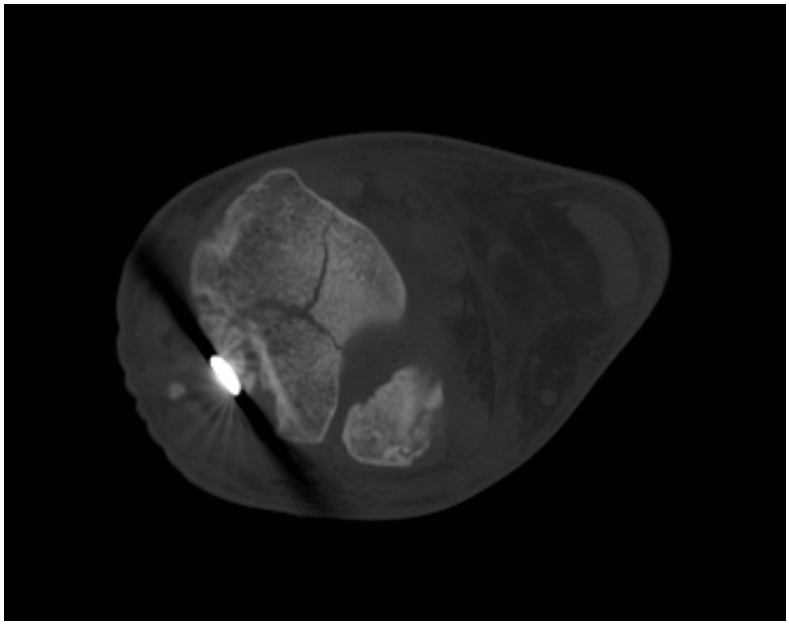


Abb. 21 e: Dieselbe Patientin, tangentiales CT mit epiphysärer Aufsicht und Darstellung des Schraubenkopfs anterior. Der Bruchverlauf zeigt eine Mehrfragmentfraktur der Epiphyse.

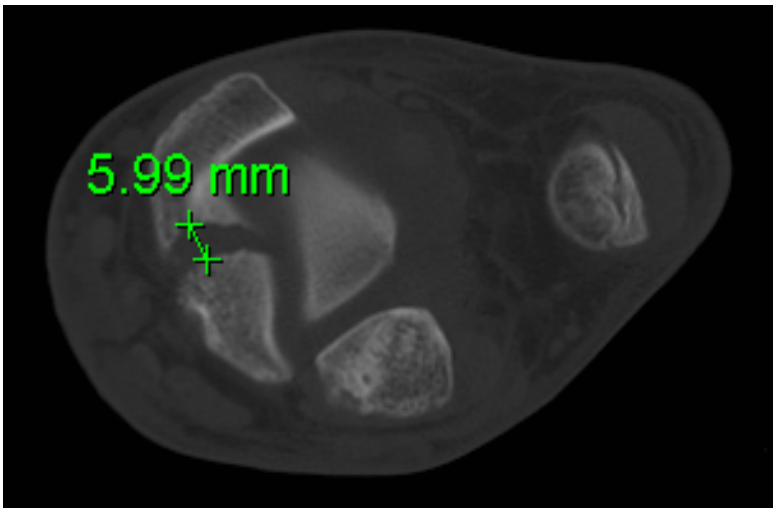
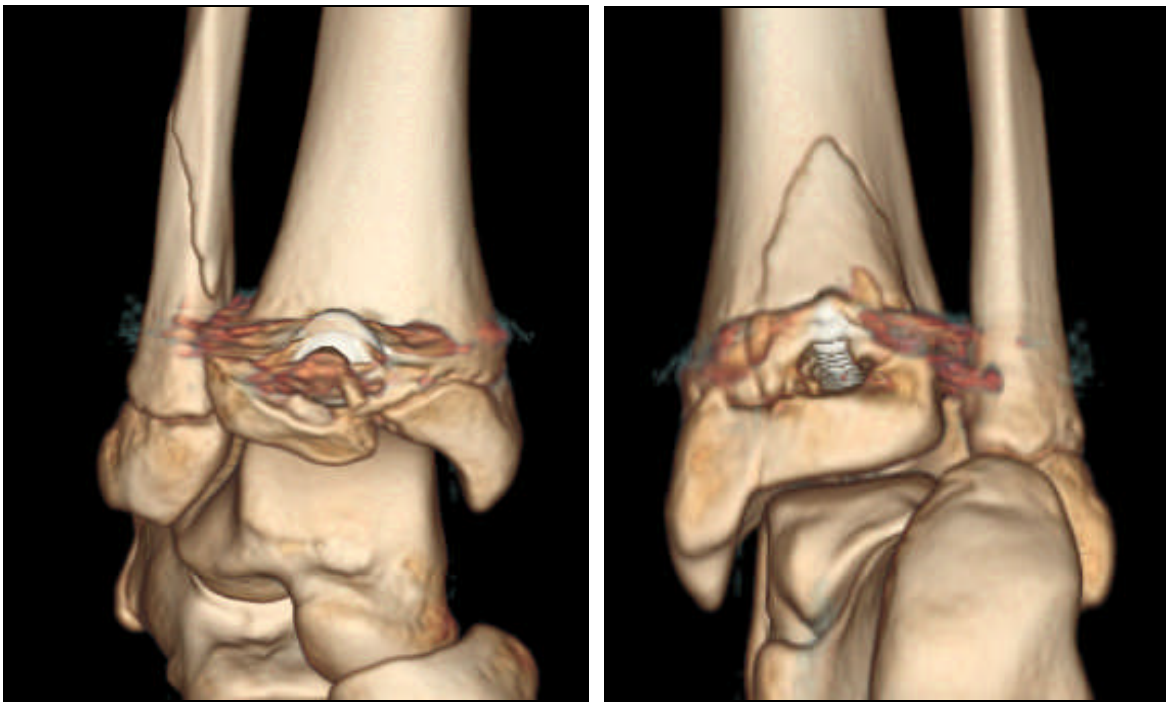


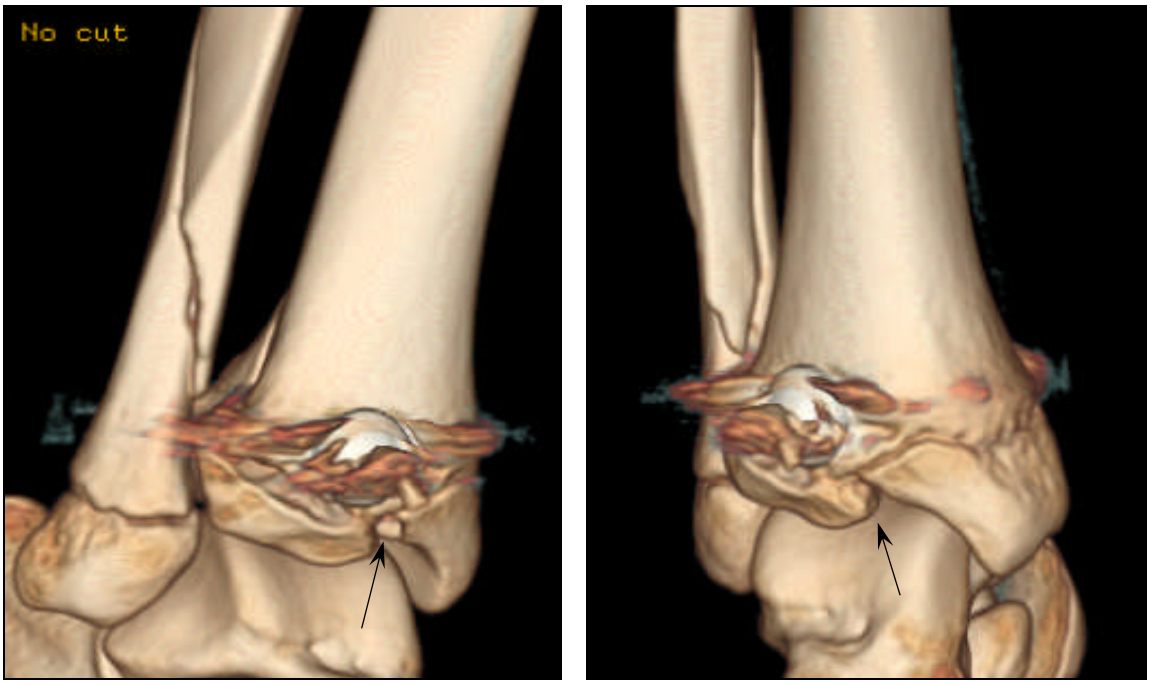
Abb. 21 f: Dieselbe Patientin bei gleicher CT-Schnittführung (Schichtdicke 0,6 mm) mit Darstellung der Epiphysendehiszenz von ca. 6 mm unterhalb der Zugschraube.

In diesem CT wird deutlich, dass die Zugschraube das primär in der konventionellen Röntgendiagnostik übersehene, epiphysäre laterale Fragment nach kaudal und weiter lateral verdrängt hat (Abb. 21 g-j).



g) *h)*

Abb. 21 g, h: Dreidimensionale CT-Rekonstruktion nach vermeintlicher Reposition und Zugschraubenosteosynthese, Ansichten von anterior (links) und posterior (rechts).



i) j)

Abb. 21 i, j: Dieselbe CT-Sequenz, Ansichten von schräg lateral (links) und medial (rechts); der Pfeil markiert die epiphysäre Gelenkstufe mit klaffendem Frakturspalt.

Der Befund der Computertomographie zwang in diesem Fall zur erneuten Revision mit Rekonstruktion der epiphysären Gelenkfläche durch eine parallel zur Fuge eingeführte Spongiosazugschraube (Abb. 21 k, l).

k) *l)*

Abb. 21 k, l: Röntgenkontrolle derselben Patientin in zwei Ebenen nach Revision und Zugschraubenosteosynthese der Epi- und Metaphyse.

I.10.2 Magnetresonanztomographie

Einige Autoren favorisieren die Magnetresonanztomographie (MRT) als zusätzliches diagnostisches Mittel, da sie neben den knöchernen Verletzungen auch die Darstellung von Bandläsionen, Knorpelschäden und anderen Weichteilverletzungen ermöglicht (34, 35, 79, 82, 95). Insbesondere Wessel konnte anhand prospektiv gewonnener Daten die Bedeutung der Kernspintomographie zur Diagnostik kindlicher Gelenkfrakturen belegen (94). Im Hinblick auf die fehlende Strahlenexposition hat die MRT zusätzlich große Vorteile gegenüber der Computertomographie und konventionellen Röntgendiagnostik (94). Ferner ist auch von Vorteil, begleitendes Markraumödem als Ausdruck von Mikrofrakturen (sog. „Bone-Bruise“) in der Spongiosa darzustellen. Ihr Nachteil liegt in der vergleichsweise langen Untersuchungszeit.

Die MRT führte bei manchen Autoren zu einer Änderung der Fraktur-Klassifikation bei bis zu 70 % der Patienten, in 40 % der Fälle sogar zum Therapiewechsel (35); andere Autoren berichten von Fehlklassifikationen und übersehenen Rotationsfehlern bei einem Vergleich der Nativröntgenaufnahmen mit Befunden aus der MRT (36, 82, 84). Zusätzlich

kann die Kernspintomographie zum Nachweis von unklaren Wachstumsstörungen und als Verlaufskontrolle derselben dienen, wenn diese Komplikationen im Röntgenbild nicht sicher zu diagnostizieren sind (79).

Wegen der kostenintensiven und aufwendigen Untersuchung sollte jedoch die Anwendung der Tomographie für Gelenkfrakturen vorbehalten bleiben, in denen entweder eine exakte Klassifizierung aufgrund unklarer Röntgenbefunde nicht möglich ist bzw. – wie im Fall einer Triplane-Fraktur – weitere bildgebende Informationen zur OP-Planung einer offenen Reposition und Osteosynthese therapeutische Relevanz haben.

I.11 Osteosyntheseverfahren zur Stabilisierung von Übergangsfrakturen

Das Ziel der Therapie dislozierter Übergangsfrakturen ist es, die betroffene Hauptbelastungszone der verletzten Epiphyse zu stabilisieren und eine Gelenkinkongruenz durch Rekonstruktion der gelenktragenden epiphysären Fläche zu vermeiden. Grundsätzlich werden Spongiosazugschrauben verwendet, deren Gewinde jenseits der Frakturlinie zum Liegen kommen soll.

I.11.1 Osteosynthese dislozierter Twoplane-Frakturen

Die Osteosynthese dislozierter Twoplane-Frakturen richtet sich nach der Größe des Fragments. Da nur die Epiphyse betroffen ist, kann eine Schraube von anterolateral oder medial parallel zur Fuge verlaufend eingebracht werden (Abb. 22 und 23 a, b). Bei sehr weit medial liegenden Frakturspalten ist ein Zugang über den Innenknöchel parallel zur Fuge vorzuziehen.

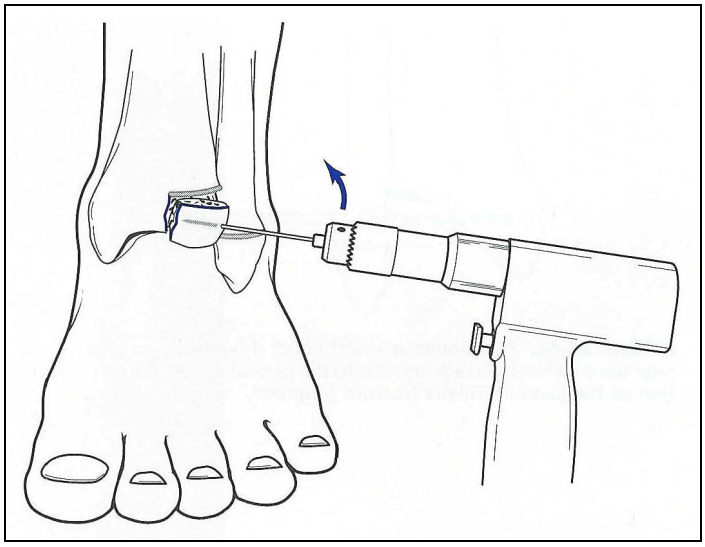
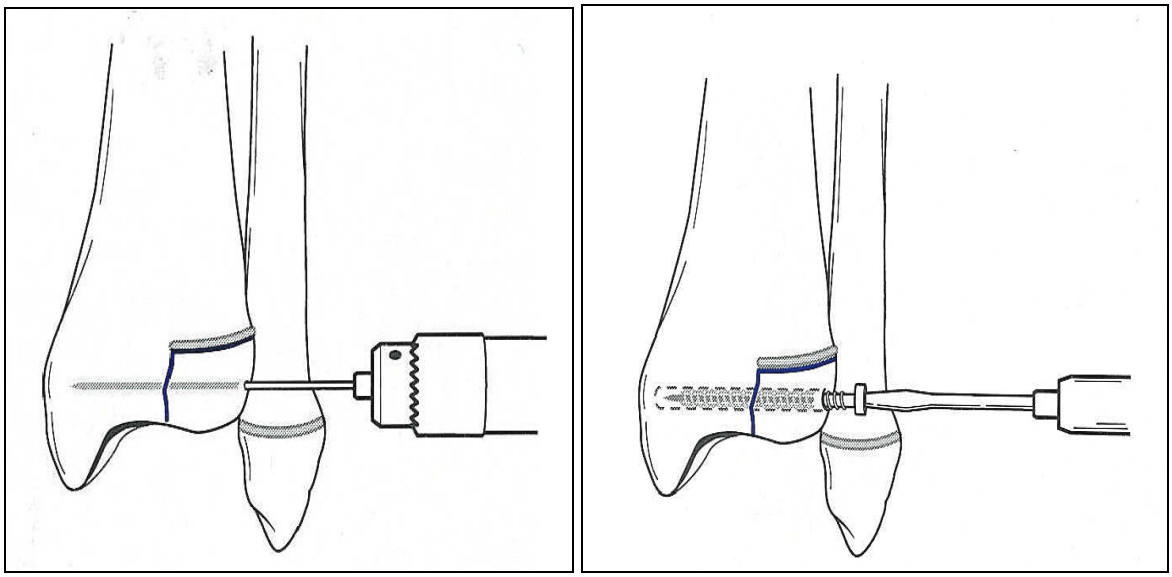


Abb. 22: Reposition des lateralen epiphysären Fragments mittels perkutan eingebrachten Kirschner-Draht „aus ROCKWOOD und WILKINS, 2001, Abb. 25.40“.



a) *b)*

Abb. 23 a, b: Beispiel einer Fixierung des Fragments parallel zur Fuge mit einer über einen Kirschner-Draht eingeführten kannülierten Schraube „aus ROCKWOOD und WILKINS, 2001, Abb. 25.42“.

Liegt der Bruchspalt wie bei einer juvenilen Tillaux-Fraktur sehr weit lateral, so ist die Schraubenführung nach posteromedial und proximal gerichtet und kreuzt im Allgemeinen die bereits verknöcherte Wachstumsfuge (Abb. 24).

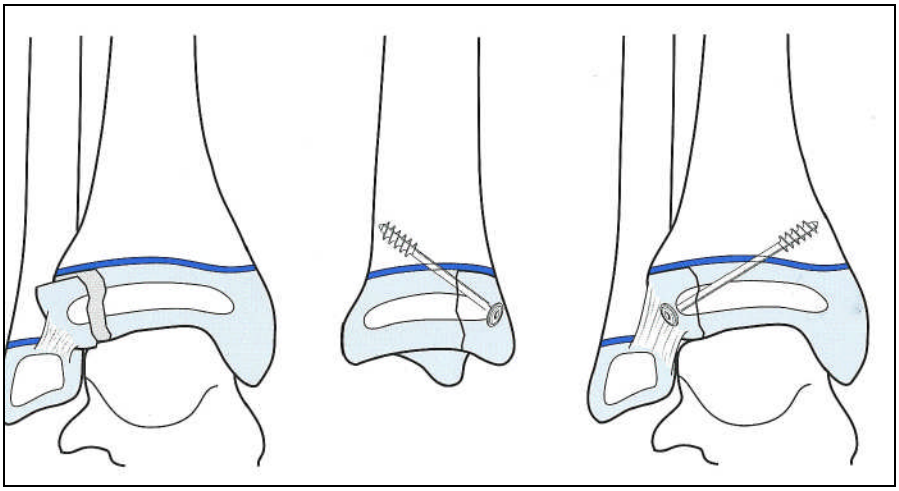


Abb. 24: Zugschraubenosteosynthese einer Twoplane- (Tillaux) Fraktur „aus MARZI, 2006, Abb. 22.14“.

I.11.2 Osteosynthese dislozierter Triplane-Frakturen

Hier wird in aller Regel zusätzlich zum epiphysären Fragment der metaphysäre Keil (Volkmann Dreieck) mit einer von anterior nach posterior eingeführten Schraube stabilisiert, während die frakturierte Epiphyse von lateral oder medial parallel zur Fuge mit einer Schraube fixiert wird (Abb. 25).

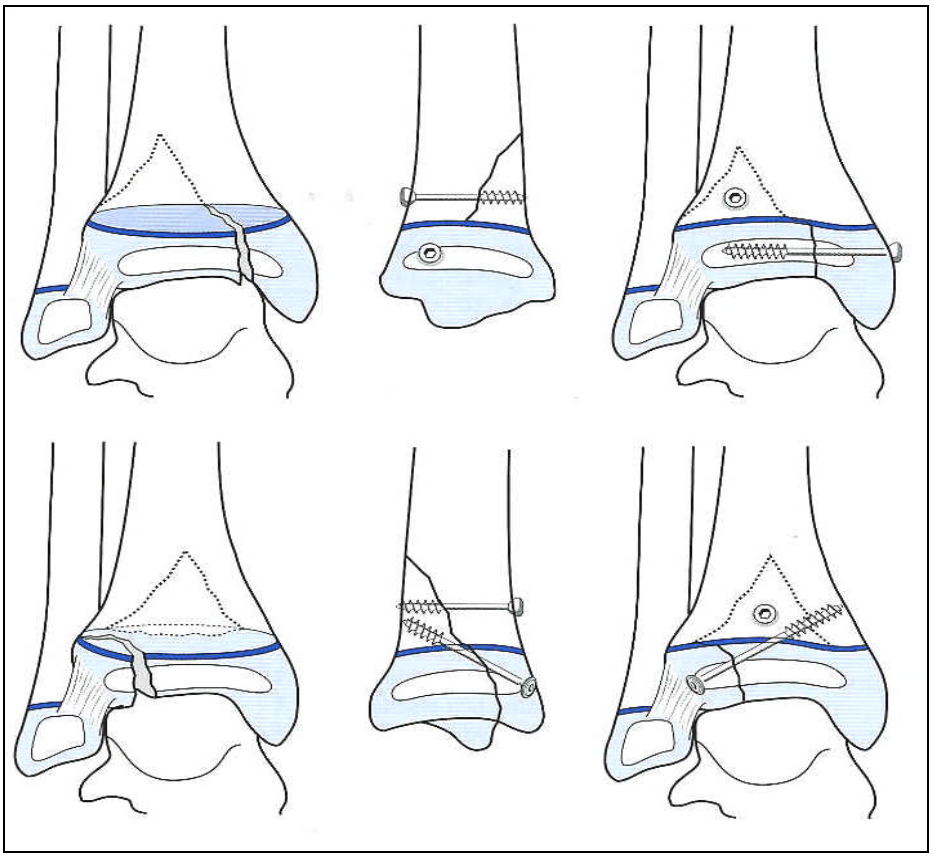


Abb. 25: Zugschraubenosteosynthese einer Triplane-I Fraktur (oben) und Triplane-II Fraktur (unten) „aus MARZI, 2006, Abb. 22.15“.

I.12 Komplikationen der Frakturen des oberen Sprunggelenks

Posttraumatische Veränderungen der Wachstumsfuge können erhebliche Komplikationen insbesondere zu einem Zeitpunkt hervorrufen, zu dem die Fuge noch weit offen ist. V. Laer hebt 1981 in seiner ersten Veröffentlichung über Übergangsfrakturen den Unterschied zwischen typischen Epiphysenfrakturen (= Salter/Harris-Frakturen) und den Übergangsfrakturen anhand vier Faktoren hervor (50):

1) Reifegrad der Wachstumsfuge
2) Richtung des einwirkenden Traumas
3) Frakturebene
4) Prognose

Je nach Parameter können sich während der Ausheilung unterschiedliche Komplikationen ergeben.

I.12.1 Komplikationen der „typischen“ Epiphysenfrakturen

Wachstumsstörungen mit Beinlängendifferenzen und/oder Fehlstellung des oberen Sprunggelenks nach Trauma sind im Kindesalter seit mehr als 70 Jahren beschriebene, nicht selten eintretende, bekannte und langfristige Komplikationen bei der Behandlung epiphysärer Frakturen der distalen Tibia (4, 6, 8, 10, 11, 12, 18, 22, 29, 42, 48, 49, 53, 54, 59, 67, 71, 76, 80, 85, 87). Sie treten am häufigsten bei Verletzungen der noch offenen Epiphysenfuge auf, wenn sich diese durch Osteosynthesematerial, nicht ausreichende Reposition oder auch idiopathisch im medialen Bereich vorzeitig verschließt (65).

Morphologische Gründe für Wachstumsstörungen können laut v. Laer, Marti und Rogers Brückenbildungen („Banding-Brücken“, engl. bone bridging) zwischen der distalen Metaphyse und der Epiphyse sein (52, 56, 65, 79), welche Ausdruck der Konsolidation sind. Hierunter versteht man die Ausheilungs- oder Nekrosebrücke (Abb. 26), wenn idiopathisch, durch wiederholte Repositionsmanöver, sekundäre Repositionen oder gelegentlich auch nach Komprimierung von Epiphysenfragmenten die Wachstumsfuge verletzt wird. Dies kann auch durch Gefäßläsionen mit nachfolgender Nekrose des Fugenanteils verursacht worden sein und wird in einem solchen Fall als „Nekrosebrücke“ bezeichnet (78).

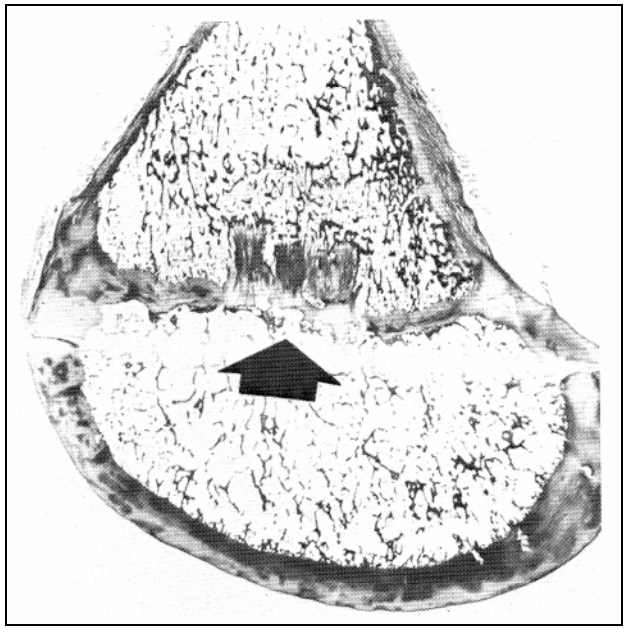


Abb. 26: Histologisches Präparat mit Darstellung einer ischämischen Nekrosezone im zentralen Bereich der Wachstumsfuge am Beispiel des distalen Femur „aus ROCKWOOD und WILKINS, 2001, Abb. 2.7“.

Verschließt sich vorzeitig die Wachstumsfuge auf voller Länge, resultiert daraus eine Verkürzung des betroffenen Beins. Diese Komplikation ist jedoch extrem selten (65). Häufiger kann ein partieller vorzeitiger Verschluss im medialen Fugenbereich beobachtet werden: Der Brückenkallus verursacht die partielle Epiphyseodese, während lateral das Wachstum der Tibiafuge und das der Fibulafuge ungestört weitergeht (Abb. 27): Eine Ausheilung des oberen Sprunggelenks in Varusfehlstellung ist die Folge (49, 65, 66).

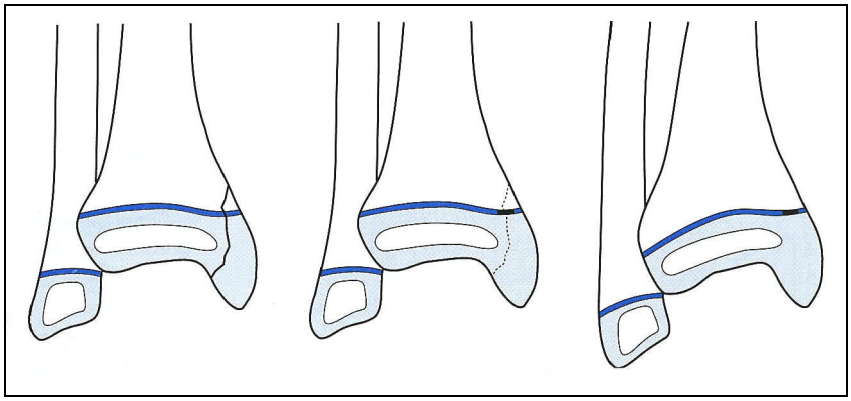


Abb. 27: Varusfehlstellung aufgrund vorzeitigem partiellen medialen Epiphysenfugenschluss nach Salter/Harris III-Fraktur des medialen Malleolus „aus MARZI, 2006, Abb. 1.11“.

Die Inzidenz für Wachstumsstörungen insgesamt liegt bei bis zu 35 % nach dislozierten und undislozierten Salter I- (Fugenlösungen), dislozierten Salter II- und dislozierten Salter III/IV- Frakturen (12, 31, 57, 79, 85). Vereinzelt wurden auch Fälle beschrieben, in denen es aufgrund nicht ausreichender Reposition zu persistierenden Gelenkstufen mit der Gefahr der Ausbildung einer Arthrose im Sprunggelenk kam (85).

I.12.2 Komplikationen der Übergangsfrakturen

Gemäß der Literatur gibt es nur wenige Daten bezüglich mittel- bis längerfristiger Ergebnisse (sog. „Longtime-outcome“) basierend auf Nachuntersuchungen ehemaliger Patienten mit Übergangsfrakturen. Cooperman et al. untersuchten 1978 in ihrer Studie Patienten mit Triplane-Frakturen und konnten als Spätfolgen Außenrotationsfehler des Sprunggelenks nachweisen. Ihre Ergebnisse und die anderer Autoren (26, 77) deuten an, dass die

Wahl und Durchführung der konservativen oder operativen Therapie prognostisch und langfristig betrachtet von entscheidender Relevanz ist.
Kurzfristig erfolgte Nachuntersuchungen in einem Zeitraum von weniger als zwei Jahren nach Unfall können nur eingeschränkt Auskünfte über Spätfolgen wie Arthrose oder Wachstumsstörungen geben. Insbesondere Ertl führte bei der Nachuntersuchung seiner Triplane-Frakturen an, dass der größte Teil der Patienten bei einer ersten Kontrolle bis zu drei Jahren nach Trauma asymptomatisch gewesen sei, dagegen blieben bis zu 13 Jahre später bei der zweiten Kontrolle nur noch acht von 15 Patienten (= 53 %) beschwerdefrei (26).

Langfristig erhobene Daten vermitteln somit einen genaueren Eindruck, ob die Therapie ausreichend und zufriedenstellend war, und geben Hilfestellung für die Kenntnis möglicher Spätfolgen einer inadäquaten Behandlung.

I.13 Fragestellung

Allgemein sind zwei verschiedene Arten der posttraumatischen Wachstumsstörungen bekannt: Es kommt entweder zu einer Hemmung der Wachstumsfunktion der Fuge oder aber zur gesteigerten Aktivität. Liegt eine Fugenhemmung vor, ist die häufigste Komplikation die Varusfehlstellung nach Verletzung des distalen Unterschenkels bei vorzeitigem Verschluss der medialen Tibiaepiphysenfuge (65). Als Konsequenz einer gesteigerten Fugenfunktion können Beinlängendifferenzen beobachtet werden. Ziel der vorliegenden Multicenter-Studie war es deshalb, anhand eines großen Patientenkollektivs objektive klinische Ergebnisse als auch mögliche radiologische Korrelate eventueller Spätfolgen derartiger Gelenkfrakturen wie zum Beispiel Arthrose und Wachstumsstörungen herauszuarbeiten und darzustellen.

Anhand der retrospektiven Aufarbeitung der Krankengeschichten sowie einer klinischen und radiologischen Nachuntersuchung von 50 Patienten mit Zustand nach Two- oder Triplane-Fraktur der distalen Tibia sollte geklärt und überprüft werden, ob

- Altersverteilung, Unfallursache, Frakturart und Therapieverfahren der Literatur entspricht,
- Komplikationen durch die Art der Behandlung auftraten,
- klinisch objektive Beschwerden wie Wachstumsstörungen im Sinne einer Fehlstellung oder Beinlängendifferenz wie auch subjektive Beschwerden und/oder
- radiologische Veränderungen im Sinne einer Gelenkspaltverschmälerung bzw. Sklerosierung als Hinweise für Arthrose nachzuweisen sind.

Diese Studie soll mittelfristige sowie langfristige Ergebnisse nach zwei bis 24 Jahren unterscheiden und kritisch mit Hinblick auf vergleichbare Ergebnisse aus der Literatur beurteilen. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass die in der Literatur erwähnten Nachuntersuchungen und Studien der letzten 25 Jahre insbesondere bezüglich der Übergangsfrakturen teilweise andere methodische Ansatzpunkte sowie Beschränkungen hinsichtlich der Patienten und Untersuchungskriterien haben: Einige Autoren untersuchten lediglich Triplane-Frakturen in ihrem Patientengut, andere wiederum unterschieden nicht nach Triplane-I oder -II Fraktur. Auch die genaue Weite der Bruchspaltdehiszenz in der Epiphyse oder Lage des Frakturspalts wurden selten detailliert beschrieben, sondern allgemein nur von dislozierten oder nicht-dislozierten Frakturen gesprochen. Weiterhin wurden in der angegebenen Literatur die Art der präoperativen Diagnostik, Therapie, Kriterien wie Begleitverletzungen der Fibula, Dauer der Ruhigstellung sowie Zeitpunkt der Metallentfer-

nung und Zeitpunkt der Nachuntersuchung nach Unfall verschiedenartig bewertet und fanden je nach Autor unterschiedliche Berücksichtigung in der Darstellung ihrer Ergebnisse.

II. Patientenkollektiv, Material und Methodik

II.1 Patientenkollektiv

Im Zeitraum 1977 bis 2000 wurden 72 Patienten mit einer Two- oder Triplane-Fraktur im Bereich der distalen Tibia in den chirurgischen Abteilungen des Kinderkrankenhauses auf der Bult, Hannover, der Medizinischen Hochschule Hannover und der Universitätsklinik Graz ambulant bzw. stationär behandelt. Dabei konnten medizinische und persönliche Daten von 45 Patienten aus den Archiven des Kinderkrankenhauses auf der Bult und der Medizinischen Hochschule Hannover sowie von 27 Patienten der Universitätsklinik Graz, Österreich, ausfindig gemacht werden. Die Nachuntersuchungen wurden in Hannover von 1999-2000 sowie in Graz von 2001-2002 durchgeführt.

II.2 Material

Anhand der Auswertung der Röntgenbilder wurden im Folgenden diejenigen Patienten ermittelt, welche zum Zeitpunkt des Unfalls eine Epiphysenfraktur im Sinne einer Übergangsfraktur mit bereits partiell geschlossener bzw. prämaturer Wachstumsfuge erlitten hatten und mindestens zehn Jahre alt waren. Patienten mit zum Zeitpunkt des Unfalls offenen Wachstumsfugen der distalen Tibiaepiphyse, jünger als zehn Jahre und Patienten, deren Epiphysenfuge bei Unfall bereits komplett verschlossen war, wurden ausgeschlossen. Ebenso blieben Patienten unberücksichtigt, deren Unfall und Behandlung kürzer als zwei Jahre zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zurücklag. Das Patientenkollektiv umfasste unter Berücksichtigung aller Ausschlusskriterien somit insgesamt 50 Patienten: 37 Patienten aus Hannover, 13 aus Graz.
Definitionsgemäß wurde anhand der Röntgenbilder zum Zeitpunkt des Unfalls eine Bruchspaltgröße von mehr als 2 mm und/oder Stufenbildung im Gelenk als dislozierd beurteilt.

II.3 Methodik

Aufgrund der festgelegten Kriterien wurden insgesamt 50 Patienten angeschrieben; diese stellten sich einer eingehenden klinischen Nachuntersuchung. Zusätzlich konnte bei 46 von diesen 50 Patienten eine radiologische Verlaufskontrolle des oberen Sprunggelenks durchgeführt werden.
In der Nachuntersuchung wurde zunächst eine ausführliche retrospektive und aktuelle Anamnese erhoben und in dieser speziell auf momentane Beschwerden und körperliche Belastbarkeit eingegangen. Bei der anschließenden klinischen Untersuchung wurden Parameter wie Gangbild und insbesondere der Bewegungsablauf in den Sprunggelenken beurteilt. Es folgte die objektive Testung der Beweglichkeit der oberen und unteren Sprunggelenke im Seitenvergleich (Pronation, Supination, Plantar-/Dorsalflexion) im Liegen, dann die funktionelle Beinlängenmessung mittels Brettchenmethode mit 5 mm Schichtdicke im Stehen sowie die Messung des Abstands zwischen der Spina iliaca anterior superior und des Malleolus lateralis als Fixpunkte mittels Maßband. Zur Prüfung der Sprunggelenkbeweglichkeit wurde die Neutral-Null-Methode angewandt; hierbei war der Seitenvergleich ausschlaggebend. Anschließend wurde eine radiologische Verlaufskontrolle des OSG ohne Seitenvergleich zur Beurteilung der knöchernen Gelenkverhältnisse durchgeführt.

Die erhobenen Daten wurden in einem Untersuchungsprotokoll (siehe Anhang) anhand folgender Kriterien dokumentiert:

- Geschlecht
- Alter bei Unfall
- Unfallursache
- Unfallmechanismus
- Frakturart
- Begleitverletzungen
- Operative/konservative Therapie
- Ruhigstellung/Entlastung
- Komplikationen
- Art der Osteosynthese
- Zeitpunkt der Metallentfernung
- Frakturspaltlokalisation
- Radiologische Verlaufskontrolle
- klinische Nachuntersuchung (Gangbild, Beinlänge, Beweglichkeit der Sprunggelenke, aktuelle Beschwerden)

II.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Excel sowie einer SPSS-Software durchgeführt und mit Mittelwert, Standardabweichung und Median überwiegend eine deskriptive Statistik angewandt.

Im Chi^2-Test nach Pearson für das Kategorialskalenniveau wurde anhand von Kreuztabellen das Signifikanzniveau bestimmt. Das Testniveau wurde bei $p = 0,05$ festgelegt. Eine Signifikanz lag dementsprechend bei $p < 0,05$ vor.

III. Ergebnisse

Nach Auswertung der Krankenakten und Anfragen bei Krankenkassen und Einwohnermeldeämtern konnten von 72 Patienten schließlich 50 Studienteilnehmer ausfindig gemacht werden; von diesen stellten sich 46 für eine klinische und radiologische Nachuntersuchung zu Verfügung; vier weitere Patienten gaben ihr Einverständnis lediglich für eine klinische Verlaufskontrolle.
In die Auswertung wurden 34 Patienten aus dem Kinderkrankenhaus auf der Bult, 13 aus der Universitätsklinik Graz und drei Patienten der Medizinischen Hochschule Hannover einbezogen. Der Nachuntersuchungszeitraum betrug 2,2 bis 24,1 Jahre (Mittel 7,4 Jahre, Standardabweichung SD 5,9 Jahre).

III.1 Altersverteilung

Von den 50 Patienten waren Mädchen und Jungen zum Unfallzeitpunkt in einem Alter von 10 bis 16,3 Jahren (Mittel 13,4 Jahre, SD 1,3 Jahre, Median 13,3 Jahre). Mädchen waren im Durchschnitt mit 12,8 Jahren (SD 1,1 Jahre, Median 12,9 Jahre) zum Zeitpunkt des Unfalls jünger als Jungen (14,4 Jahre; SD 1,0 Jahre, Median 14,3 Jahre, Abb. 28), jedoch nicht signifikant ($p > 0,05$). Die jüngste Patientin war 10 Jahre alt, die älteste 14,6 Jahre. Dagegen war der jüngste männliche Patient am Unfalltag bereits 12,5 Jahre alt, der älteste Junge 16,3 Jahre.

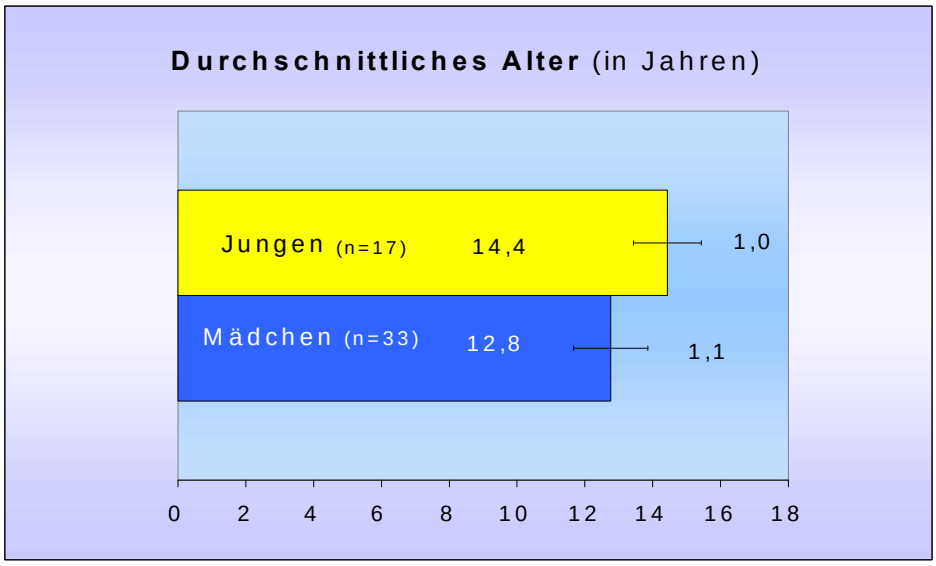


Abb. 28: Mittleres Alter und Anzahl der Patienten zum Zeitpunkt des Unfalls mit Standardabweichung und getrennt nach Geschlecht.

III.2 Geschlechts-/Seitenverteilung

Mädchen (n=33) waren in dieser Studie annähernd doppelt so häufig von Übergangsfrakturen betroffen wie Jungen (n=17).
Bezüglich der Seitenverteilung des betroffenen Sprunggelenks konnte keine Präferenz festgestellt werden: Zu je 50 % (n=25) waren bei Unfall sowohl das rechte als auch das linke OSG betroffen gewesen.

III.3 Unfallursache

Von den Patienten wurden mehr Sporttraumata (in 60 % der Fälle, n=30) als Unfälle im Alltag (40 %, n=20) angegeben (Abb. 29). Als häufigste Sportart wurden Ballsportarten angegeben, jedoch auch Inlineskating, Eishockey und Snowboarden, bei denen vergleichsweise hohes Schuhwerk zur Stabilisierung und zum Schutz des Sprunggelenks getragen wird, waren unter den genannten Sportarten.
Insgesamt ereigneten sich 43 % aller Sportunfälle (n=13) während der Schulzeit, etwas mehr (57 %, n=17) im Privatsportbereich.
Vergleicht man dagegen das Verhältnis von Verletzungen, die sich die Kinder während der Schulzeit zugezogen hatten, mit denen im Privat- bzw. Freizeitbereich, so waren außerhalb der Schulzeit fast gleich viele Sport- (34 %, n=17) wie Freizeitunfälle (32 %, n=16) vertreten, während in der Schulzeit die Sporttraumata überwogen (26 % zu 8 %, siehe Abb. 30). Bezüglich der unterschiedlichen Unfallursachen gab es keine statistische Signifikanz ($p > 0,05$).

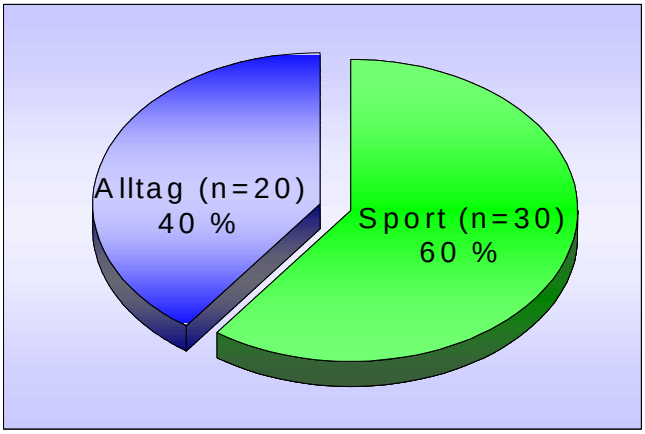


Abb. 29: Prozentuale Verteilung in Sport- und alltäglichen Unfall.

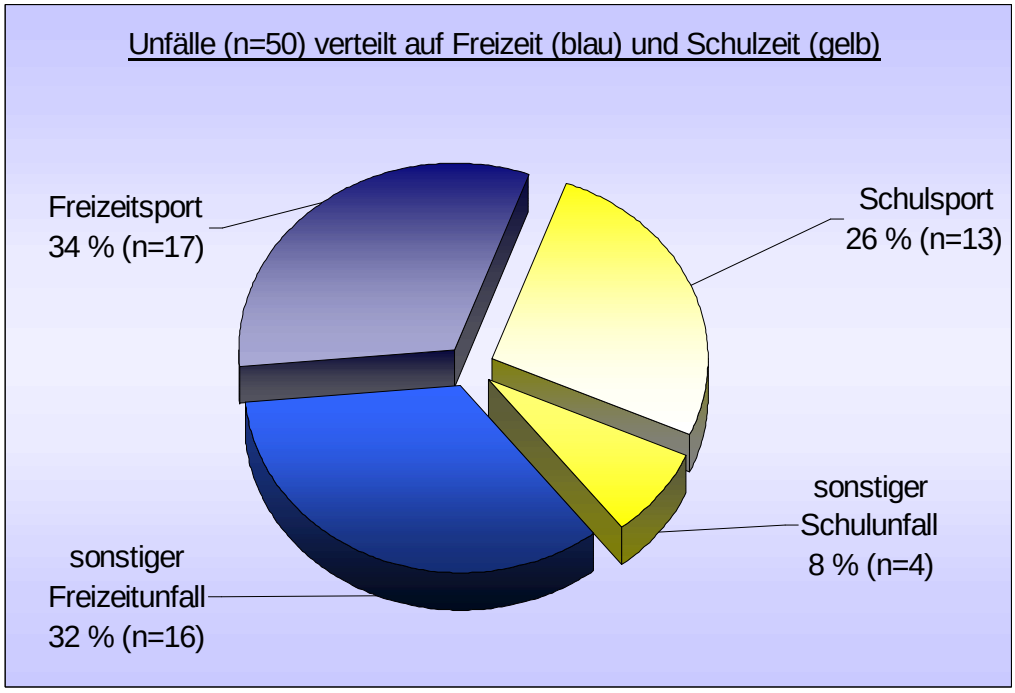


Abb. 30: Prozentuale Aufteilung der Unfallursachen in- und außerhalb der Schulzeit.

Von den Alltagsunfällen (n=20) entfielen 25 % (n=5) auf Verkehrsunfälle: Meist war ein Sturz vom Fahrrad oder Verwickelung in einen PKW-Unfall als Fußgänger bzw. Radfahrer ursächlich. Die übrigen 75 % der alltäglichen Unfälle (n=15) ereigneten sich im häuslichen bzw. privaten Umfeld ohne direkte Einwirkung durch Dritte.

III.4 Unfallmechanismus

In dieser Studie war das Supinationstrauma der überwiegende Mechanismus bei Unfall (n=33), soweit die Patienten den Unfallhergang beschreiben konnten. In den übrigen 17 Fällen war die Genese des Unfalls den Patienten nicht mehr erinnerlich und konnte auch nicht der Dokumentation in den Krankenakten entnommen werden.
Ein Pronations- oder Außenrotationstrauma wurde von keinem der Patienten als auslösendes Moment der Fraktur angegeben.

III.5 Frakturart

Die am häufigsten erlittene Verletzung bei allen Patienten war die Twoplane-Fraktur (50 %, n=25), gefolgt von Triplane-I (34 %, n=17) und -II Frakturen (16 %, n=8).

Bezogen auf das Geschlecht gab es folgende Verteilung (siehe auch Abb. 31):

		Twoplane	Triplane I	Triplane II
➢ Jungen	(n=17):	53 % (n=9)	35 % (n=6)	12 % (n=2)
➢ Mädchen	(n=33):	49 % (n=16)	33 % (n=11)	18 % (n=6)

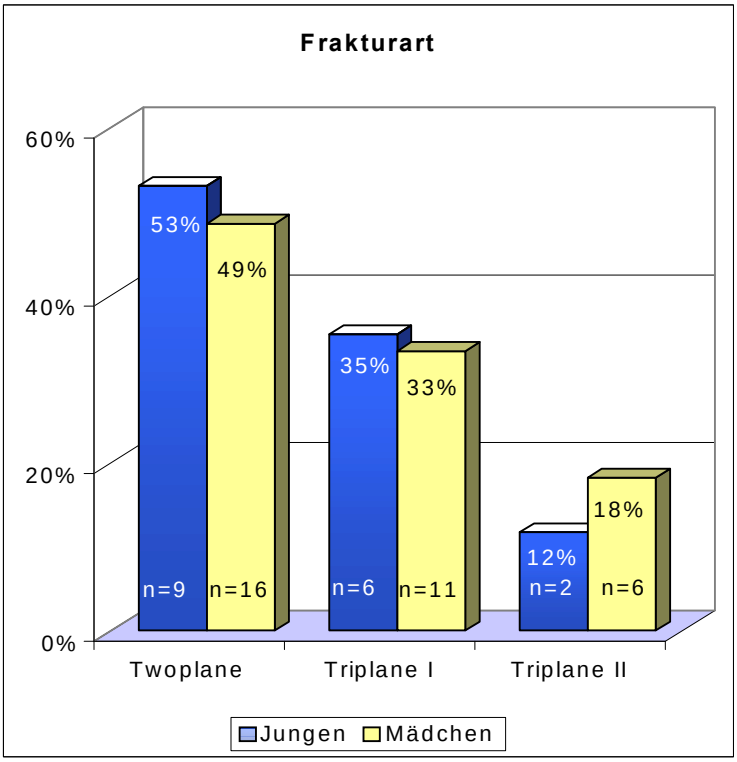


Abb. 31: Prozentuale geschlechtsspezifische Verteilung der einzelnen Frakturarten.

Es gab keinen signifikanten Unterschied, ob Jungen und Mädchen mehr Two- oder Triplane-I/-II Frakturen erlitten hatten ($p > 0,05$): Bei den Jungen wurden acht Triplane- und neun Twoplane-Frakturen nachgewiesen, bei den Mädchen verteilte sich dieses Verhältnis mit 17 Triplane- und 16 Twoplane-Frakturen ebenso annähernd gleich.

Die entsprechende Aufteilung nach Alter und Geschlecht ist beiden folgenden Tabellen zu entnehmen:

Tab. 2: *Alters- und frakturabhängige Verteilung der Übergangsfrakturen bei Mädchen (a) und Jungen (b).*

a)

Mädchen (n=33)	**10-12 J.**	**12,1-14 J.**	**14,1-16 J.**
Twoplane:	3	12	1
Triplane I:	3	6	2
Triplane II:	-	5	1

b)

Jungen (n=17)	**10-12 J.**	**12,1-14 J.**	**14,1-16,3 J.**
Twoplane:	-	3	6
Triplane I:	-	3	3
Triplane II:	-	1	1

Demnach waren 70 % der Mädchen (n=23) zum Zeitpunkt des Unfalls 12 bis 14 Jahre alt, während lediglich 12 % älter (n=4) und 18 % jünger waren (n=6).
Jungen hingegen waren mindestens 12,1 Jahre alt, erlitten zu 41 % bis zu einem Alter von 14 Jahren eine Übergangsfraktur (n=7). Die übrigen 59 % waren zwischen 14,1 und 16,3 Jahre alt (n=10).

III.6 Lage des Bruchspalts in der Epiphyse

Der Bruchspalt lag am häufigsten in der Hauptbelastungszone des Gelenks: 70 % aller Patienten (n=35) wiesen einen zentral oder medial in der Epiphyse gelegenen Bruchspalt auf (Tab. 3, blau hervorgehoben). Nur in 30 % der Fälle (n=15) war der laterale oder intramalleoläre Bereich der Epiphyse betroffen. Die Tab. 3 gibt einen Überblick über die Lage der epiphysären Frakturspalte aller Patienten der Studie.

Im Chi^2-Test nach Pearson konnte für die zentrale und mediale Lage der Frakturspalten eine Signifikanz nachgewiesen werden ($p < 0,033$).

Tab. 3: Lage der epiphysären Bruchspalte (n=50).

	lateral	***zentral***	***medial***	*intramalleolär*
Twoplane	7	11	5	2
Triplane I	-	9	3	5
Triplane II	-	5	2	1

III.7 Zustand der Wachstumsfuge zum Zeitpunkt des Unfalls

Die Epiphysenfugen von 23 Patienten (62 %) aus beiden Kliniken in Hannover (insgesamt n=37) waren bei Unfall bereits im medialen Fugenbereich geschlossen; bei den übrigen 14 Patienten (38 %) war die Fuge radiologisch im prämaturen Zustand.
Der Fugenzustand der Patienten aus Graz wurde nicht beurteilt und deshalb nicht mit in die Auswertung aufgenommen.

III.8 Begleitfrakturen

Acht von 50 Patienten (16 %) erlitten einen zusätzlichen Bruch der Fibula. Meist handelte es sich um eine distale Fibulaschaft-Fraktur (n=6), in zwei weiteren Fällen um einen Bruch mit epiphysärer Fugenbeteiligung der Fibula (= Salter/Harris Fraktur Typ II). Ein einziger Patient mit Triplane-II Fraktur wurde osteosynthetisch mit einer Platte am Wadenbein versorgt; in diesem Fall war das gesamte obere Sprunggelenk zusätzlich nach posterior luxiert gewesen.
Insgesamt verteilten sich diese Begleitfrakturen wie folgt auf Übergangsfrakturen: Dreimal war eine distale Fibula- oder Fibulaschaftfraktur assoziiert mit einer Twoplane- (Inzidenz: 12 % aller Twoplane-Frakturen), dreimal mit einer Triplane-II und zweimal mit einer Triplane-I Fraktur (Inzidenz: 20 % aller Triplane-Frakturen). Bezogen auf das gesamte Patientenkollektiv trat keine signifikante Häufung von knöchernen Begleitläsionen auf ($p > 0,05$).

III.9 Epiphysäre Frakturdehiszenz bei Unfall

Durchschnittlich lag die Dehiszenz des Epiphysenbruchspalts bei 3,7 mm (Range 1-25 mm, SD 3,4 mm). Nimmt man den Patienten mit einer Dehiszenz der Epiphysenfragmente von 25 mm aus der Berechnung heraus, da in diesem Fall neben der Triplane-II Fraktur eine Luxation des gesamten oberen Sprunggelenks vorlag, welche eine extreme Seltenheit darstellt, so reduziert sich der Durchschnittswert auf 3,1 mm (Range 1-7 mm, SD 1,4 mm).

Tab. 4: Dehiszenzwerte des Bruchspalts der Epiphyse bei Unfall (n=50).

Bruchspaltweite	***≤ 2 mm***	***3 - 4 mm***	***> 4 mm***
Twoplane	10	12	3
Triplane I	8	6	3
Triplane II	-	5	3

Aus der Tab. 4 ergibt sich anhand der blau hervorgehobenen Werte, dass mit 46 % (n=23) der Patienten der Hauptanteil der Frakturen eine Dehiszenzweite von 3-4 mm aufwies. In 36 % (n=18) der geschädigten Tibiaepiphysen lag die Dehiszenz der Fragmente bei 2 mm und weniger. Neun Patienten wiesen im Röntgenbild eine deutliche Dislokation von mehr als 4 mm auf: Sechs Patienten hatten einen Bruchspalt mit 5 mm Größe, zwei Patienten eine Frakturspaltweite von 7 mm und ein Patient 25 mm. Trotz Häufung der Werte um 3-4 mm gab es keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$).

III.10 Fragmentdehiszenz nach Reposition/Reduktion

Nach offener Reposition und Osteosynthese konnte der Frakturspalt bei 30 Patienten entweder wasserdicht oder bis ≤ 2 mm reduziert und stabilisiert werden. In keinem der operierten Fälle verblieb die Dehiszenz der Fragmente bei mehr als 2 mm.

III.11 Therapie

Während Triplane-II Frakturen immer operiert und osteosynthetisch versorgt wurden (100 %, n=8), war dies bei annähernd 53 % der Triplane-I Frakturen (n=9) der Fall (Abb. 32). Unter diesen zuletzt genannten Triplane-I Frakturen war eine Patientin, deren zentrale Epiphysenfrakturdehiszenz mit 2 mm definitionsgemäß im nicht-dislozierten Bereich lag, jedoch die erheblich dislozierte dorsale Metaphysenfraktur im Sinne eines Volkmann Dreiecks eine Stabilisierung mit einer Zugschraube von ventral erforderlich machte. Bei einer weiteren Patientin mit derselben Problematik wurde ebenfalls eine metaphysäre Osteosynthese des Volkmann Dreiecks mit einer Zugschraube durchgeführt; hier lag der epiphysäre Bruchspalt intramalleolär außerhalb der Hauptbelastungszone und hatte eine Weite von unter 2 mm.

Acht Triplane-I Frakturen wurden konservativ therapiert: Bei drei dieser Fälle lag der epiphysäre Frakturspalt intramalleolär und somit außerhalb der Hauptbelastungszone, sowie dreimal zentral innerhalb dieser Zone, jedoch definitionsgemäß mit 2 mm Weite ohne Dislokation. Zwei weitere Triplane-I Frakturen aus Graz wurden trotz Dislokation der Epiphysenbruchweite bei zentralem Bruchspalt von 3 mm konservativ behandelt.

Twoplane-Frakturen wurden in 52 % der Fälle (n=13) einer operativen Therapie mit Osteosynthese unterzogen. Hierunter fielen jedoch auch zwei Patienten, deren Epiphysenfraktur mit 2 mm Dehiszenz nicht disloziert im Sinne der vorgegebenen Definition war: Ein Patient hatte eine lateral gelegene epiphysäre Fraktur, die einer Tillaux-Konfiguration entsprach, während die andere Patientin einen am Übergang zum zentralen Epiphysendrittel gelegenen Frakturspalt hatte und mit einer epiphysären Schraube versorgt worden war.

Die übrigen 48 % dieses Verletzungsmusters (n=12) wurden konservativ mit Gips versorgt. Davon zählten drei Patienten zur Gruppe aus Graz mit jeweils 4 mm weitem Frakturspalt in der Epiphyse, der toleriert und ruhiggestellt wurde. Hier lag der Frakturspalt jeweils einmal medial, zentral und intramalleolär. Ein Patient aus Hannover hatte eine Twoplane-Fraktur mit medial liegender Epiphysendehiszenz von 4 mm.

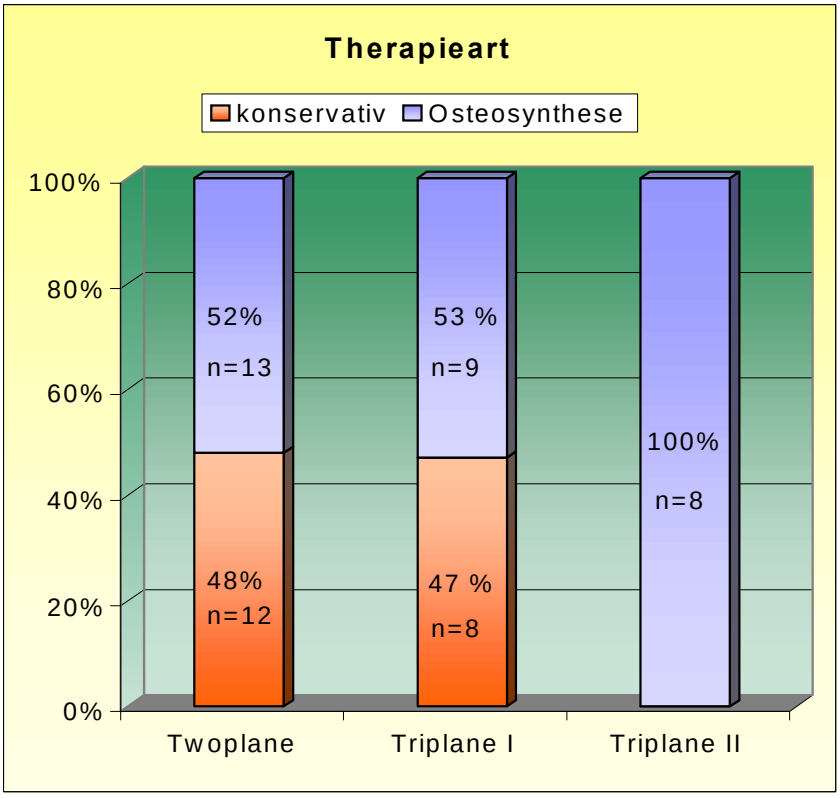


Abb. 32: Vergleich der Therapie anhand der Frakturarten.

Insgesamt ließen sich keine signifikanten Unterschiede zum Aspekt der Frakturtherapie ableiten ($p > 0,05$).

III.11.1 Osteosyntheseart und -verfahren

Als Osteosynthesematerial wurden in 26 Fällen ausschließlich Spongiosaschrauben verwendet, in einem Fall zur Stabilisierung eines Volkmann Dreiecks eine metaphysäre Kortikalisschraube. Bei weiteren drei operierten Patienten waren zusätzlich ein oder zwei Kirschner-Drähte verwendet worden. Hiervon wurde eine Patientin mit einer lateralen Twoplane-Fraktur im Jahre 1977 mit zwei Kirschner-Drähten statt einer Schraubenosteosynthese versorgt (Abb. 33 a, b).

a) *b)*

Abb. 33 a, b: *Prä- (a) und postoperatives (b) Röntgenbild, Kirschner-Draht-Osteosynthese einer Twoplane- (Tillaux) Fraktur, 12,4-jähriges Mädchen.*

Wenn Twoplane-Frakturen osteosynthetisch versorgt wurden, war die parallel zur Fuge verlaufende Schraubenosteosynthese der Epiphyse das Verfahren der Wahl (Abb. 34 a, b).

a) *b)*

Abb. 34 a, b: *Beispiel einer Schraubenosteosynthese einer dislozierten Twoplane-Fraktur von medial parallel zur Wachstumsfuge.*

In zwei Fällen wurde trotz zentral liegenden epiphysären Frakturspalts eine fugenkreuzende, epimetaphysär verlaufende Schraubenosteosynthese durchgeführt. Ein Beispiel zeigen die Abb. 35 a-d.

a) *b)*

Abb. 35 a, b : Triplane-I Fraktur der Tibia mit winzigem metaphysären Volkmann Dreieck sowie Begleitfraktur der Fibula.

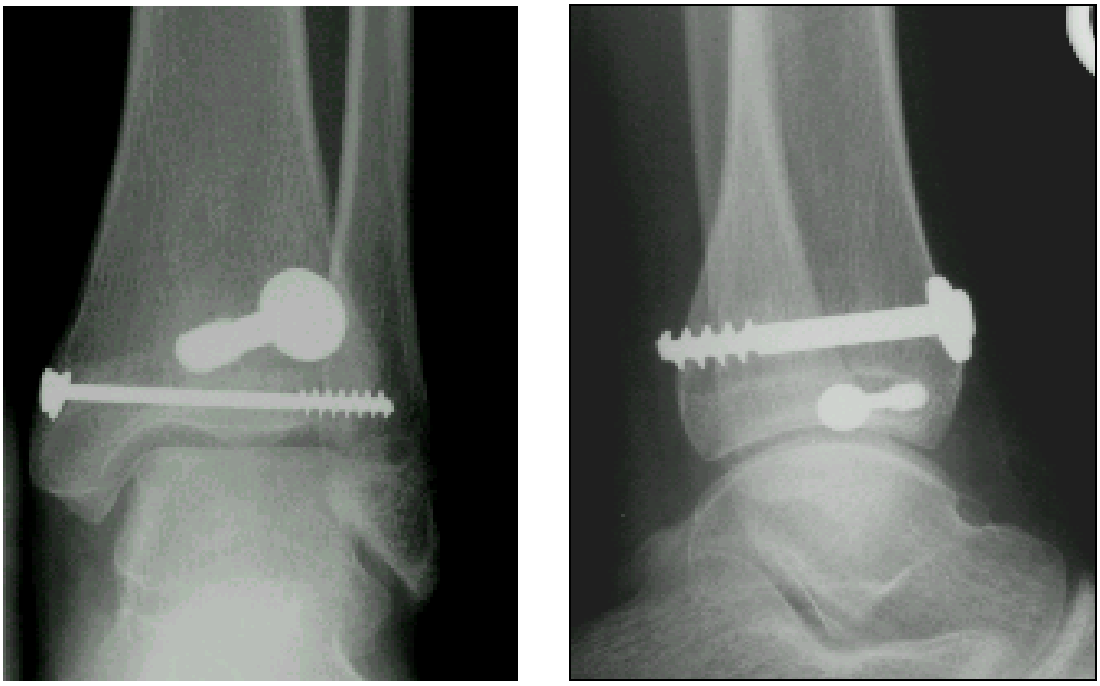
c) *d)*

Abb. 35 c, d: intraoperative Röntgenbilder in 2 Ebenen nach fugenkreuzender Schraubenosteosynthese, 11,6-jähriges Mädchen.

Dislozierte Triplane-Frakturen wurden mit einer von anterior nach posterior eingeführten metaphysären Schraube stabilisiert, wenn das Volkmann Fragment disloziert war; bei entsprechender Dislokation der Epiphyse wurde diese mit einer parallel zur Fuge eingeführten Schraube fixiert (Abb. 36 a-d).

a) *b)*

Abb. 36 a, b: Beispiel eines 12,6-jährigen Mädchen mit Triplane-II Fraktur.



c) *d)*

Abb. 36 c, d: Postoperative Röntgenkontrolle derselben Patientin.

Insgesamt wurden neun von 30 operierten Patienten (30 %) mit transphysealem, also die Wachstumsfuge kreuzenden Osteosynthesematerial versorgt: zweimal mit Kirschner-Drähten, einmal mit Kirschner-Draht sowie Zugschraube sowie sechsmal ausschließlich mit kreuzenden Zugschrauben. Es handelte sich um sechs Twoplane-, zwei Triplane-I und eine Triplane-II Fraktur, deren epiphysäre Bruchspalten fünfmal lateral, dreimal zentral und einmal medial lagen.

III.12 Zeitpunkt und Durchführung der Metallentfernung

Der Zeitraum zwischen Primärversorgung nach Unfall bis zur Entfernung des Osteosynthesematerials variierte je nach Frakturmuster: Hierbei wurden die Metallimplantate in der Gruppe der Twoplane-Frakturen nach durchschnittlich 20,7 Wochen (Range 6-83 Wochen, SD 18,7 Wochen, Median 16 Wochen) entfernt. In der Gruppe der Triplane-I Frakturen erfolgte dies im Mittel nach 17 Wochen (Range 7-24 Wochen, SD 5,2 Wochen, Median 18 Wochen) und bei Patienten mit Triplane-II Frakturen nach durchschnittlich 17,9 Wochen (Range 12-36 Wochen, SD 7,7 Wochen, Median 15 Wochen) (Abb. 37). Der Chi^2-Test zeigte bezüglich der Frakturtypen keine statistische Signifikanz.

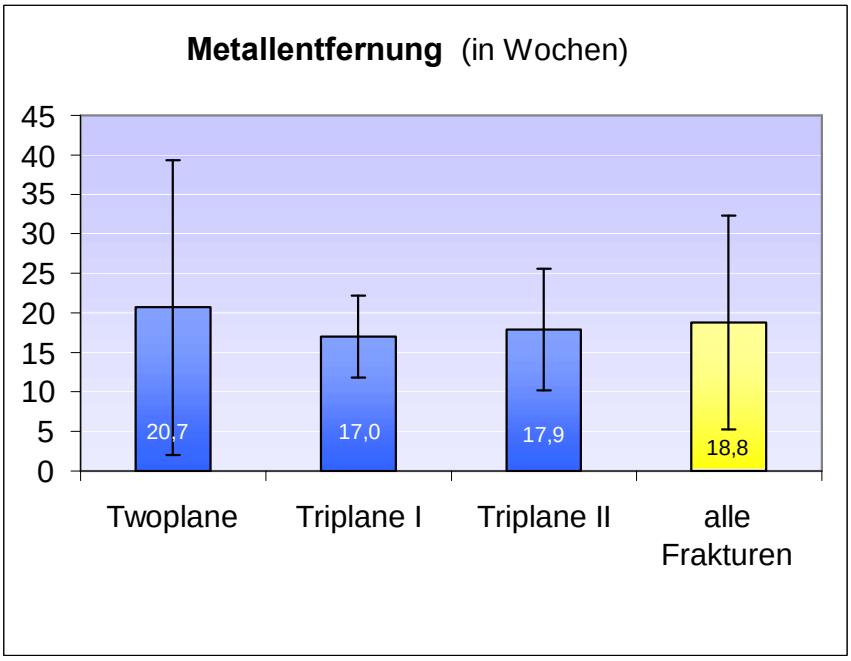


Abb. 37: Durchschnittliche Zeitdauer mit Standardabweichung bis zur Entfernung des Osteosynthesematerials in Wochen nach dem Unfall mit Vergleich der Frakturarten, n=30.

Als Mittelwert aus allen Frakturgruppen zusammen errechnen sich insgesamt 18,8 Wochen (Range 6-83 Wochen, SD 13,5 Wochen, Median 16 Wochen). Bei einem Grazer Patienten mit Twoplane-Fraktur verblieb aus beruflichen Gründen das Osteosynthesematerial 83 Wochen im Sprunggelenk. Bei dem Patienten mit Triplane-II Fraktur und Sprunggelenkluxation sowie ausgedehnter Trümmerfraktur der Fibula wurden Platte und Schrauben erst nach 36 Wochen entfernt.

Werden diese beiden ungewöhnlichen Fälle bei der Berechnung herausgenommen, so reduziert sich der durchschnittliche Wert für die Metallentfernung nach osteosynthetisierter Twoplane-Fraktur auf 15,5 Wochen (SD 5,1 Wochen) bzw. 15,3 Wochen (SD 3,8 Wochen) für die Gruppe Triplane-II Fraktur (Abb. 38). Bezogen auf alle 28 Patienten zusammen errechnet sich ein Mittel von 15,9 Wochen mit einer Standardabweichung von 5,0 Wochen (Median 16 Wochen).

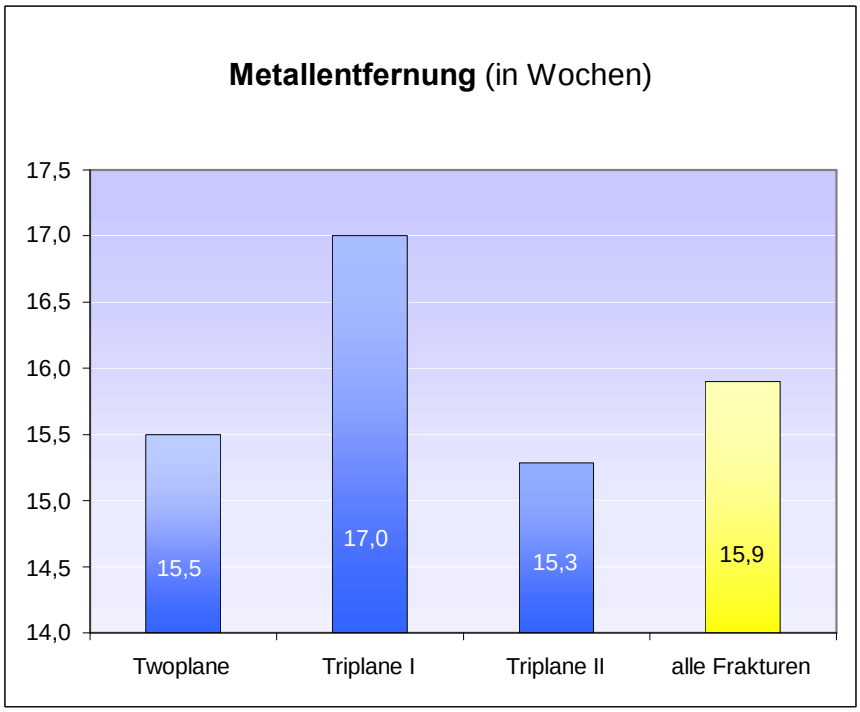


Abb. 38: Durchschnittliche Zeitdauer bis zur Entfernung des Osteosynthesematerials in Wochen korrigiert auf n=28, siehe Text.

Die Entfernung der Metallimplantate bei den Patienten wurde überwiegend unter stationären Bedingungen in Vollnarkose durchgeführt (n=23). Bei sieben Patienten erfolgte eine ambulante Entfernung der Schrauben; darunter waren vier Twoplane-Frakturen mit einer oder zwei Schrauben, zwei Triplane-I und eine Triplane-II Fraktur vertreten.

Die durchschnittliche stationäre Behandlungsdauer der Patienten zur Metallentfernung lag bei 2,6 Tagen (Range 1-12 Tage, SD 2,6 Tage). Die Gründe für die lange stationäre Liegedauer bei zwei dieser Patienten waren unterschiedlich: Bei einem Patienten mit einer Liegedauer von zwölf Tagen hatte sich elf Wochen nach Schraubenosteosynthese eine Osteomyelitis mit Weichteilabszess im Bereich des Implantats entwickelt. Dieser Patient mit Diabetes mellitus Typ I als Grunderkrankung wurde daraufhin nach vorzeitiger Metallentfernung intravenös antibiotisch über knapp zwei Wochen behandelt. Im Fall des Patienten mit Sprunggelenkluxation, Triplane-Fraktur und Trümmerfraktur der Fibula konnten den Krankenakten keine Informationen im Rahmen der Metallentfernung entnommen werden, die eine Liegedauer von elf Tagen begründet hätten.

III.13 Ruhigstellung und Entlastung des Beins

Die verletzte untere Extremität aller Patienten wurde in einem Unterschenkelgips ruhig gestellt: Vergleicht man die Dauer der Ruhigstellung des verletzten Sprunggelenks in Wochen, so wurde das Sprunggelenk der Patienten, die konservativ behandelt worden waren, im Mittel 6,4 Wochen im Gipsverband immobilisiert (SD 2,2 Wochen, Range 3-14 Wochen); demgegenüber liegt der Mittelwert der operierten Patienten bei 5,0 Wochen (SD 1,9 Wochen, Range 1-8 Wochen) (Abb. 39).

Die Voll- bzw. Teilentlastung des Sprunggelenks an Unterarmgehstützen betrug bezogen auf alle Patienten 6,1 Wochen im Mittel (Range 2-18 Wochen, SD 2,6 Wochen). Darunter war ein Patient mit konservativ behandelter Twoplane-Fraktur, dessen Sprunggelenk für 18 Wochen entlastet wurde und nach insgesamt 20 Wochen ein freies Gangbild unter Vollbelastung zeigte. Einen Grund für diese lange Phase der Entlastung konnte aufgrund fehlender Angaben nicht gefunden werden.

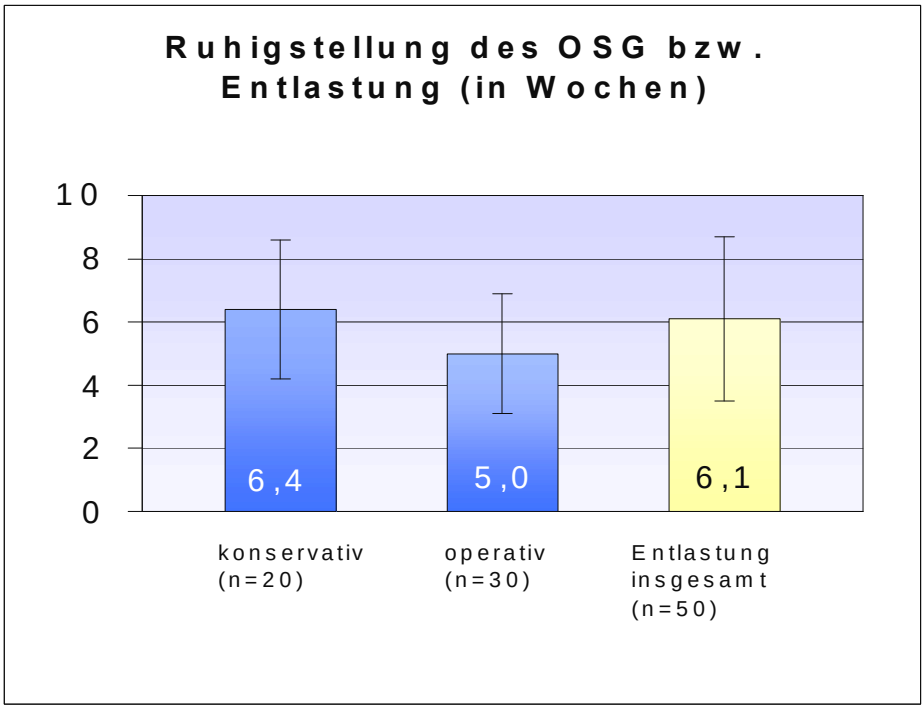


Abb. 39: *Die Grafik zeigt die Mittelwerte und Standardabweichung der Ruhigstellung (blau) im Gips in Wochen aufgeteilt nach Therapieart bzw. Entlastung an Unterarmgehstützen (gelb).*

III.14 Komplikationen während konservativer und operativer Therapie

Eine Wundinfektion konnte bei einem operierten Patienten mit Diabetes mellitus Typ I beobachtet werden (2 %): Nach Schraubenosteosynthese entwickelte sich elf Wochen später eine Osteomyelitis mit abszedierender Weichteilinfektion im Bereich des Implantats, welche zur vorzeitigen Metallentfernung führte. Bei einem weiteren Patienten (2 %) wurde fünf Tage postoperativ bei erheblicher Schwellneigung eine Wundrevision mit Hämatomausräumung durchgeführt. Zwei andere Patienten (4 %) mussten nach sekundär eingetretener Dislokation operativ versorgt werden, nachdem zunächst die Fraktur konservativ behandelt worden war.

In der Grazer Gruppe wurde bei zwei Patienten mit konservativ behandelter Triplane-I Fraktur eine diskrete sekundäre Dislokation radiologisch festgestellt, welche jedoch ohne therapeutische Konsequenz blieb. Des Weiteren kam es in einem anderen Fall zu einer Drucknekrose der Haut über der Tuberositas tibiae. Die genaue Ursache hierfür wurde nicht angegeben; möglicherweise wurde dies durch eine Druckschädigung am proximalen Gipsrand verursacht. Bei einem weiteren Patienten kam es postoperativ zu einer Wund-

dehiszenz der Naht (2 %). Eine Nekrose der Wundnaht wurde einmal beschrieben (2 %), bei einem anderen Patienten musste eine Spannungsblase im Bereich des Fußrückens lokal behandelt werden (2 %).
Insgesamt lag somit die Anzahl der Komplikationen bezogen auf alle Patienten bei 20 % (n=10); 10 % der Komplikationen waren postoperativ im Zusammenhang mit offener Reposition bzw. Osteosynthese mit anschließender Wundnaht eingetreten (n=5).

Eine Übersicht über alle Komplikationen gibt Tab. 5.

Tab. 5: Komplikationsrate bezogen auf das gesamte Patientenkollektiv (n=50).

sekundäre Dislokation	n=4	(8 %)
mit Therapiewechsel	n=2	(4 %)
ohne Therapiewechsel	n=2	(4 %)
Osteomyelitis	n=1	(2 %)
Wundrevision	n=1	(2 %)
Wunddehizenz	n=1	(2 %)
Drucknekrose (Tuberositas tibiae)	n=1	(2 %)
Wundnahtnekrose	n=1	(2 %)
Postop. Spannungsblase (Fußrücken)	n=1	(2 %)

III.15 Nachuntersuchung

Nach Anschreiben der Patienten wurden diese gebeten, sich einer klinischen und radiologischen Kontrolle in der chirurgischen Ambulanz des Kinderkrankenhauses auf der Bult zu unterziehen.
Die Nachuntersuchungszeiträume waren unterschiedlich lang: Während Patienten in Hannover (Kinderkrankenhaus auf der Bult und Medizinische Hochschule Hannover) durchschnittlich 8,9 Jahre nach dem Unfall (Range 2,2-24,1 Jahre, SD 6,1 Jahre) untersucht wurden, wurden die Patienten in Graz bereits nach 3,0 Jahren im Mittel (Range 2,3-3,9 Jahre, SD 0,6 Jahre) untersucht.
Insgesamt erfolgte die Nachuntersuchung aller 50 Patienten nach durchschnittlich 7,4 Jahren (Range 2,2-24,1 Jahre, SD 5,7 Jahre).

III.15.1 Klinische Ergebnisse

Keiner der Patienten war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung in seiner körperlichen Aktivität z.B. beim Sport oder im Alltag bzw. in seinem Allgemeinbefinden in irgendeiner Weise eingeschränkt.
Anhand der Brettchenmethode konnten bei der objektiven Nachuntersuchung bei drei Patienten (6 %, $p > 0,05$) eine Beinlängendifferenz von 1 cm zugunsten des verletzten Beins nachgewiesen werden. Eine Fehlbelastung mit entsprechenden Begleitbeschwerden in Knie- oder Hüftgelenk wurde bei diesen Patienten nicht nachgewiesen, ein Längenausgleich mit einer Schuheinlage war nicht erforderlich.
Eine Bewegungseinschränkung im Sprunggelenk konnte weder bei der passiven Untersuchung noch aktiv bei Belastung (Zehenspitzengang, Fersengang) beobachtet werden. Somit war das Gangbild aller Patienten unauffällig.

Von insgesamt 50 Patienten waren 27 zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ohne jegliche subjektive Beschwerden (54 %). Die übrigen 23 Patienten nannten folgende subjektive Beschwerden, wobei Mehrfachnennungen pro Patient möglich waren: Bezüglich aller operierten Patienten gaben ein Drittel der Jugendlichen Parästhesien und Missempfindungen im Bereich der Narbe am Sprunggelenk an (n=10; 33 %). Konkrete Narbenschmerzen in diesem OP-Gebiet wurden von zwei Patienten geäußert (7 % der operierten Patienten). Weitere subjektive Angaben von sieben Patienten (14 %) waren Wetterfühligkeit, zwei andere Patienten berichteten über gelegentliches Knacken im Gelenk (4 %). Eine Schwellung des Sprunggelenks nach sportlicher Belastung oder längerem Stehen wurde in 10 % der Fälle genannt.

Bezüglich der Stabilität des Sprunggelenks erwähnten elf Patienten (22 %) am häufigsten eine Bandinstabilität des oberen Sprunggelenks aufgrund rezidivierender Distorsionen und Supinationstraumata. Ein Patient (2 %) berichtete von einem Bänderriss des Außenknöchels, der folgenlos ausgeheilt war. Beschwerden, welche von den Patienten des Weiteren benannt wurden, waren Schmerzen unspezifischen Charakters im ipsilateralen Knie- oder Hüftgelenk. Dies trat bei 14 % der Fälle (n=7) auf. Bezogen auf alle einzelnen Beschwerdetypen ließ sich im Chi^2-Test keine Signifikanz ermitteln ($p > 0,05$).

Die bei der Nachuntersuchung festgestellten Daten sind zusammengefasst folgender tabellarischen Übersicht zu entnehmen:

Tab. 6: Objektive Daten und subjektive Beschwerden der Patienten in der Nachuntersuchung (Mehrfachnennungen der subjektiven Beschwerden möglich).

▪ Beinlängendifferenz 1cm	n=3	(6%)
▪ Bewegungseinschränkung (bis 10° Defizit bei Supination/Pronation)	n=0	
▪ auffälliges Gangbild (z.B. Hinken)	n=0	
▪ subjektive Beschwerden		
- Parästhesien (im Narbenbereich)	n=10	(33 % aller Operierten)
- Narbenschmerzen	n=2	(7 % aller Operierten)
- Knacken im Gelenk	n=2	(4 %)
- Wetterfühligkeit	n=7	(14 %)
- Gelenkschwellung (z.B. nach Sport, längerem Stehen)	n=5	(10 %)
- Bandruptur	n=1	(2 %)
- OSG-Instabilität (rez. Distorsionen)	n=11	(22 %)
- sportliche Einschränkung	n=0	
- unspezifische Schmerzen (ipsilaterale Hüfte/Knie)	n=7	(14 %)
▪ subjektiv beschwerdefrei	n=27	(54 %)

III.15.2 Radiologische Ergebnisse

Von insgesamt 50 Patienten ließen sich 46 radiologisch nachuntersuchen; Röntgenaufnahmen des Sprunggelenks wurden in zwei Ebenen angefertigt. Die Epiphysenfuge war zu diesem Zeitpunkt bei allen Patienten bereits verschlossen.

Einer der Patienten aus Graz wies in der Röntgenkontrolle Randzacken als Zeichen einer Arthrose auf. Bei einer weiteren Patientin aus Graz konnte eine Gelenkspaltverschmälerung im Sinne einer präarthrotischen Veränderung radiologisch aufgezeigt werden, welche jedoch ohne Fehlstellung des Sprunggelenks kompensatorisch ausgeheilt war; subjektive Beschwerden gaben beide Grazer Patienten nicht an. Außerdem wurden keine Gelenkstufen oder Hinweise für Sklerosierung festgestellt.

Bei einer Patientin aus Hannover konnte aufgrund eines veränderten Talus-Tibia-Winkels Fehlwachstum im Sinne einer Valgisierung der Gelenkstellung von ca. 6.5° nachgewiesen werden (Abb. 40). In der radiologischen Nachuntersuchung war eine laterale Gelenkspaltverschmälerung des OSG zu erkennen. Die Patientin hatte sich im Alter von 14,2 Jahren eine Triplane-I Fraktur des linken OSG mit intramalleolär gelegenem epiphysären Bruchspalt zugezogen, der mit 2 mm Weite definitionsgemäß nicht dislozierte war. Nach Entlastung und Ruhigstellung im Gips war das Gangbild den Unterlagen entsprechend nach acht Wochen frei. Radiologische Verlaufskontrollen waren initial nicht durchgeführt worden; bei der Nachuntersuchung 5,3 Jahre nach Unfall war diese Patientin ohne Beschwerden, klinisch imponierte links eine diskrete Knickfußstellung.

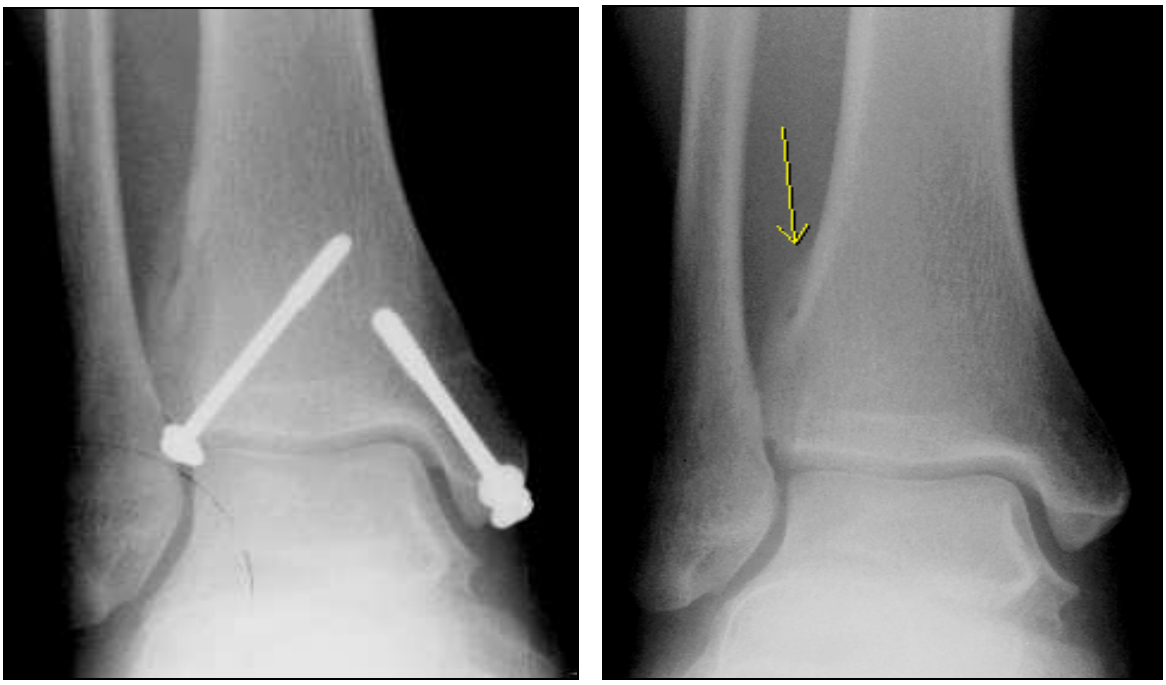
Abb. 40: Laterale Gelenkspaltverschmälerung des linken OSG zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 5,3 Jahre nach Unfall. Verheilte intramalleoläre Triplane-I Fraktur, Talus-Tibia-Winkel mit diskreter Valgusfehlstellung von ca. 6,5°.

Als Zufallsbefund konnte bei einer Patientin eine knöcherne Auftreibung an der distalen lateralen Tibiakortikalis aufgezeigt werden, die möglicherweise als eine tibio-fibulare Synostose interpretiert werden kann (n=1; 2 %) (Abb. 41 a-d). Diese Patientin erlitt im Alter von 12,8 Jahren eine Twoplane-Fraktur rechts mit lateralem Epiphysenausriss im Sinne einer dislozierten Tillauxfraktur sowie eine dislozierte Innenknöchelfraktur. Nach Schrau-

benosteosynthese und zeitgerechter Metallentfernung nach vier Monaten war die Patientin drei Jahre nach Unfall in der Nachuntersuchung im Rahmen alltäglicher Aktivitäten beschwerdefrei, gab jedoch zeitweise Schwellneigung des Sprunggelenks insbesondere nach längerem Sitzen an. Es bestand eine Beinlängendifferenz von 1 cm zugunsten des ehemals verletzten rechten Beins.

a) *b)*

Abb. 41 a, b: 12,8-jähriges Mädchen, a) zum Zeitpunkt nach Unfall April 1998 mit Darstellung einer Tillaux- und Innenknöchelfraktur, b) unmittelbar postoperativ nach Schraubenosteosynthese des Innenknöchels sowie der lateralen Tibiaepiphyse.



c) *d)*

Abb. 41 c, d: Dieselbe Patientin vor Metallentfernung c) vier Monate nach Unfall und d) bei der Nachuntersuchung 2001 drei Jahre nach Unfall mit persistierender tibialer Kortikalisauftreibung distal lateral (Pfeil).

Zeichen der Entkalkung sowie ein nicht-ossifizierendes Fibrom der distalen Tibia waren bei je einem zusätzlichen Patienten radiologisch festzustellen (je 2 %); beide gaben im Rahmen der Nachuntersuchung keine Beschwerden an.

Die nachfolgende Tab. 7 gibt eine Zusammenfassung der erhobenen radiologischen Befunde; Signifikanzen wurden nicht errechnet ($p > 0,05$).

Tab. 7: Radiologische Ergebnisse der Nachuntersuchung (Mehrfachnennung möglich).

▪ **Zeichen der Arthrose**			
	- Gelenkspaltverschmälerung	n=2	(4 %)
	- Randzacken	n=1	(2 %)
	- Sklerosierung	n=0	
▪ **Fehlwachstum**			
	- pathologischer Talus-Tibia-Winkel	n=1	(2 %)
▪ **Zufallsbefunde**			
	- Verdickte Tibiakortikalis metaphysär	n=1	(2 %)
	- Zeichen der Entkalkung	n=1	(2 %)
	- nicht-ossifizierendes Fibrom der Tibia	n=1	(2 %)

IV. Diskussion

Die Sprunggelenke des heranwachsenden Kindes sind aufgrund der Disposition gegenüber Scherkräften insbesondere im Falle von Supinationstraumata anfällig für Verletzungen und stellen somit eine spezielle Schwachstelle im kindlichen Skelett dar. Die distale Tibiaepiphysenfuge gehört dabei zu den am häufigsten gelenkbetreffenden Wachstumsfugen bei kindlichen Unfällen (8, 73). Über die Häufigkeit gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben: Die Inzidenz beträgt 11 bis 38 % von allen Wachstumsfugenverletzungen im Kindesalter, variiert teilweise erheblich je nach Publikation und Frakturart (19, 69, 71, 73, 77), und ist nach der Verletzung der distalen Radiusepiphysenfuge die zweithäufigste Fugenschädigung im Kindesalter (13, 48, 73). Jedoch betrifft die distale Radiusepiphysenfuge im Gegensatz zur distalen Tibiaepiphysenfuge selten den gelenktragenden Bereich: Es kommt praktisch nie zu gelenkverletzenden Frakturen der Radiusepiphyse.

Kärrholm et al. verglichen in ihrer Studie von 1982 die Häufigkeit von Triplane-Frakturen mit allen knöchernen Läsionen des Sprunggelenks im Kindesalter (0 bis 18 Jahre) und fanden eine geschätzte Inzidenz der Triplane-Frakturen von 7 % bei Jungen und 15 % bei Mädchen (40). Landin und Mitarbeiter gaben leicht geringere Werte für Jungen (6 %) und Mädchen (11 %) an, die ebenfalls lediglich für Triplane-Frakturen galten (58).

Andere Autoren sind wiederum der Auffassung, dass Jungen im Alter zwischen zehn und 15 Jahren häufiger als Mädchen betroffen sind, Verletzungen an der distalen Tibiaepiphyse zu erleiden (22, 49, 73, 85).
Radiologisch erscheint der distale Tibiaepiphysenkern ab etwa dem zweiten Lebensjahr und verschmilzt endgültig mit der distalen Tibiametaphyse durch Abschluss der Verknöcherung der Wachstumsfuge im Alter von ca. zwölf bis 14 Jahren bei Mädchen sowie 17 bis 19 Jahren bei Jungen. Der Altershöhepunkt zeigt somit bei den Übergangsfrakturen deutliche geschlechtsspezifische Unterschiede. Ferner belegt dieser Aspekt, dass der anatomisch-morphologische Zustand der Wachstumsfuge und somit das Alter des Patienten das Verletzungsmuster bestimmt: Je älter das Kind zum Zeitpunkt eines Traumas des OSG ist, desto eher wird es eine Übergangsfraktur aufgrund des einsetzenden Fugenschlusses erleiden.

IV.1 Deutung der Untersuchungsergebnisse

Im Einzelnen soll nun anhand der jeweiligen publizierten Studienergebnisse analysiert und mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie verglichen werden, ob Faktoren wie Alter und Geschlecht sowie Fraktur- oder Behandlungsart einen beständigen und übereinstimmenden Einfluss auf das Langzeitergebnis in der Behandlung von Übergangsfrakturen haben.

IV.1.1 Altersverteilung

Wie die in der Literatur von einigen Autoren (17, 25, 57, 77) dargestellte typische Beobachtung, dass Jungen zum Unfallzeitpunkt älter sind, da die Epiphysenfugen später verknöchern, so bestätigte sich in der vorliegenden Arbeit diese charakteristische Aufteilung der Übergangsfrakturen gemessen am Alter bzw. Geschlecht: Mit Beginn des Einsetzens einer früheren Ausreifung der Wachstumsfugen waren die weiblichen Patienten mit 12,8 Jahren durchschnittlich 1,6 Jahre jünger als die männlichen Untersuchungsteilnehmer, welche im Mittel 14,4 Jahre alt waren. Insgesamt lag das mittlere Alter aller Patienten zum Zeitpunkt des Unfalls bei 13,4 Jahren (SD 1,3 Jahre). Dabei wurde anhand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse festgestellt, dass keiner der Jungen unter zwölf Jahren eine Übergangsfraktur erlitt, während wiederum Mädchen zum Unfallzeitpunkt selten älter als 14 Jahre alt waren und sich überwiegend zwischen zwölf und 14 Jahren eine Two- oder Triplane-Fraktur zuzogen (70 %).

Ähnliche Ergebnisse mit nur diskreten Unterschieden bezüglich der Mittelwerte finden sich in den Veröffentlichungen anderer Autoren. Die Durchschnittswerte variieren nur unerheblich und sind im Wesentlichen abhängig von den Fallzahlen, Größe der Patientengruppe und Art der Studie: Ertl et al. fanden bei über 23 Triplane-Frakturen männliche Patienten mit einem Durchschnittsalter von 14,5 Jahren und weibliche Patienten mit durchschnittlich 12,5 Jahren (26). Die Forschungsgruppe um El-Karef berichtete in ihrer Publikation bei Triplane-Frakturen (n=21) über ein mittleres Alter von 13,8 Jahren für Jungen sowie von 11,6 Jahren für Mädchen (25). Rapariz et al. untersuchten in einer großen Studie 35 Triplane-Frakturen mit einem durchschnittlichen Alter von insgesamt 13 Jahren (77). Jungen waren durchschnittlich 14,5 Jahre, Mädchen 11,6 Jahre alt. Clement und Worlock konnten anhand 15 Triplane-Frakturen ein durchschnittliches Alter aller Patienten von 13,6 Jahren errechnen (14); der älteste Patient war in der vorliegenden Studie 16,3 Jahre alt. In der von Landin und Mitarbeitern vorgelegten Veröffentlichung waren die weiblichen

Patienten mit Tillaux-Fraktur mit durchschnittlich 13,6 Jahren 1,7 Jahre jünger als Jungen mit derselben Diagnose (15,3 Jahre) (58). Unter den Triplane-Frakturen fanden sie retrospektiv ein durchschnittliches Alter von 13,2 Jahren bei Mädchen im Vergleich zu 14,5 Jahren bei Jungen. Insgesamt lag das Durchschnittsalter aller ihrer Patienten bei 13,9 Jahren zum Zeitpunkt des Unfalls. Zu einem ähnlichen Ergebnis kam auch v. Laer in seiner Untersuchung von 32 Übergangsfrakturen (55): Hier waren die weiblichen Patienten mit 13,3 Jahren durchschnittlich 1,4 Jahre jünger als die männlichen Patienten (14,7 Jahre).
Kärrholm publizierte 1997 eine Zusammenfassung von zehn veröffentlichten Studien über nachuntersuchte Patienten mit Triplane-Frakturen und fand heraus, dass bei insgesamt 179 Patienten aus acht Studien das durchschnittliche Alter der Jungen bei 14,8 Jahren und das der Mädchen bei 12,8 Jahren lag (44). Dabei war kein Patient jünger als zehn bzw. älter als 16,7 Jahre.
Als Rarität schilderten Kleiger und Mankin 1964 den Fall eines Patienten mit dislozierter Twoplane-Fraktur, der zum Zeitpunkt des Unfalls bereits 18 Jahre alt war (47).

IV.1.2 Seitenverteilung des betroffenen Sprunggelenks

Betrachtet man die seltenen Angaben in der Literatur bezüglich der Seitenverteilung, so fällt zunächst auf, dass das rechte Sprunggelenk in den Studien mancher Autoren tendenziell eher als die Gegenseite betroffen ist, eine Übergangsfraktur zu erleiden. Clement und Worlock erwähnten als eine der wenigen Autoren die Seitenverteilung der Fraktur und beschrieben zehn Triplane-Frakturen des rechten, sowie fünf Triplane-Frakturen des linken OSG (14). El-Karef et al. untersuchten 21 Triplane-Frakturen nach und konnten aufzeigen, dass in neun Fällen das rechte, in den übrigen zwölf Patienten das linke OSG betroffen war (25). Rapariz et al. fanden 20 rechte und 15 linke Sprunggelenke frakturiert (77). Von v. Laer wurden 32 Patienten untersucht: 18-mal war das rechte, in 14 Fällen das linke OSG betroffen (55).

Bei der festgestellten Ausgeglichenheit in der vorliegenden Auswertung mit je 25 rechten und linken gebrochenen Sprunggelenken handelt es sich um ein von der Literatur lediglich geringfügig abweichendes Ergebnis, das zudem geringe klinische Bedeutung für den Patienten hat.

IV.1.3 Geschlechtsverteilung

Ertl und seine Mitarbeiter untersuchten 23 Triplane-Frakturen, 14 Fälle davon waren männliche Patienten, neun weibliche Patienten (26). V. Laer berichtete in einem Untersuchungszeitraum über fünf Jahre von 32 Übergangsfrakturen (14 Twoplane- und 18 Triplane-Frakturen) (55); hiervon waren 14 Knaben (fünf Twoplane, neun Triplane) und 18 Mädchen (acht Twoplane, zehn Triplane). Clement und Worlock fanden anhand Untersuchungen von 15 Triplane-Frakturen sieben Jungen und acht Mädchen (14). El-Karef et al. berichteten von 21 Triplane-Frakturen verteilt auf 14 Jungen und sieben Mädchen (25), während Rapariz et al. 23 Jungen und zwölf Mädchen bei insgesamt 35 Triplane-Frakturen in ihrer Studie untersuchten (77). Als bisher umfangreichste Nachuntersuchungsstudie von Übergangsfrakturen wurden die Ergebnisse von der Forschungsgruppe Landin et al. veröffentlicht (58). In dieser konnten die Autoren 15 Twoplane-Frakturen (zwölf Mädchen, drei Jungen) und 26 Triplane-Frakturen (14 Mädchen, zwölf Jungen) klinisch und radiologisch untersuchen.

In dieser vorgelegten Studie waren bei einer Gesamtzahl von 50 Patienten Mädchen (n=33) fast doppelt so häufig wie Jungen (n=17) betroffen, eine Übergangsfraktur zu erleiden, jedoch ohne signifikante Relevanz ($p > 0,05$). Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass annähernd 60 % der männlichen Patienten zum Zeitpunkt des Unfalls zwischen 14 und 16 Jahre alt waren, und aus diesem Grund bereits ältere männliche Jugendliche vorwiegend in unfallchirurgischen Erwachsenenabteilungen der Krankenhäuser statt in chirurgischen Abteilungen der Kinderkrankenhäuser behandelt werden.
Betrachtet man die Anzahl der erlittenen Triplane-I und -II Frakturen, so war dieses Verhältnis ähnlich (17 Mädchen zu acht Jungen). Jungen wiederum waren bei den Twoplane-Frakturen mit neun Patienten vertreten, jedoch im Vergleich zu Mädchen (n=16) immer noch deutlich seltener.

Bezüglich einzelner Publikationen sind in Studien mit großen Fallzahlen keine Regelmäßigkeiten oder definitive Geschlechtsverteilungen erkennbar. Es gibt Veröffentlichungen über Triplane-I und -II Frakturen (55), in denen männliche wie weibliche Patienten diese Art der Übergangsfraktur gleichermaßen häufig erlitten, andere stellten Ergebnisse mit doppelt so viel betroffenen Jungen wie Mädchen vor (77).

In der Zusammenfassung mehrerer Studien über Triplane-Frakturen von Kärrholm stellte der Autor ein fast ausgeglichenes Geschlechtsverhältnis in der Gruppe der Triplane-Frakturen fest (108 Jungen zu 101 Mädchen) (44).

IV.1.4 Unfallursache

Ertl und Mitarbeiter konnten in ihrer Publikation von insgesamt 23 Patienten in 65 % der Fälle Sportverletzungen als Unfall auslösende Ursache für Triplane-Frakturen nachweisen, die übrigen 35 % verteilten sich auf einen Unfall im Straßenverkehr und sieben Freizeitunfälle (26).
In der vorliegenden Studie wurde anamnestisch zwischen Alltags- und Sporttrauma unterschieden: 60 % der Unfälle (n=30) ereigneten sich während des Ausübens einer sportlichen Tätigkeit und bestätigen somit die Ergebnisse von Ertl et al., 40 % der Patienten erlitten Übergangsfrakturen im Alltag (n=20). Insgesamt war das Verhältnis zwischen Unfällen während der Schulzeit bzw. Freizeit zu Ungunsten der Freizeitunfälle verteilt: Zwei Drittel aller Patienten erlitt eine Übergangsfraktur außerhalb des Schulbereichs und von diesen die Hälfte während sportlicher Aktivitäten (17 von 33 Freizeitunfällen). In der Schule waren mit 13 Patienten dreimal so viele Unfälle während des Sportunterrichts nachzuweisen als während der übrigen Schulzeit (n=4, 8 %), in der ein Schüler überwiegend eine sitzende Tätigkeit innehat.

Rapariz et al. beschrieben retrospektiv 48 % Sportunfälle und in 52 % der Fälle Verletzungen im Alltag (77). V. Laer ermittelte 75 % Sportunfälle (55), Landin et al. gaben zwar keine prozentualen Werte in ihrer großen Langzeitstudie über 41 Übergangsfrakturen an, konnten aber wie Shin et al. 1997 auch Sportunfälle als die häufigste Unfallursache nachweisen (58, 83). Marzi 2006 bezifferte den Anteil der sprunggelenknahen Frakturen verursacht durch Traumaeinwirkung im Straßenverkehr mit 71,2 % (66).

Bei den Sportunfällen aus der vorliegenden Studie waren Ballsportarten wie Basketball und Fußball die häufigsten genannten Sportarten. Jedoch auch Unfälle während des Eishockey-Spielens, Inlineskating oder Snowboarden, bei denen über dem Knöchel hinaus abschließendes Schuhwerk getragen wird, lassen andeuten, dass dem Unfallmechanismus nicht nur ein Supinationstrauma, sondern auch die Außenrotation des OSG zugrunde liegen kann.

IV.1.5 Unfallmechanismus

Abhängig von der Frakturart sind bisher zahlreiche Publikationen erschienen, in denen die unterschiedlichsten Vorgehensweisen besonders bezüglich der geschlossenen Reposition einer dislozierten Gelenkfraktur zum Ausdruck kommen. Dabei gilt, die Reduktion der

Fraktur zu erreichen, indem bei der Reposition die Gegenrichtung der ursprünglichen Gewalteinwirkung angewendet wird.

Durch Extrembewegungen wie Torsionstraumata kommt es im Sprunggelenk zur Abscherung der Wachstumsfuge mit nachfolgender traumatischer Lösung derselben („Rotationstrauma“). Laut v. Laer, Chadwick und Bentley ist die Richtung des einwirkenden Traumas bei einer Übergangsfraktur in der Horizontalebene gelegen – ganz im Gegensatz zu den Salter/Harris-Frakturen (50, 12). Hier beschreibt v. Laer das Unfallereignis einer Salter/Harris Fraktur Typ III bzw. IV – der „typischen“ Epiphysenfraktur des Schulkindalters – als ein vertikal von oben nach unten bzw. umgekehrt wirkendes Trauma. Der Bruchspalt setzt sich nach medial in die Fuge (Salter/Harris Typ III) oder über diese hinweg in dem metaphysären Bereich der distalen Tibia fort (Salter/Harris Typ IV). Anders als viele andere Autoren ist er zusätzlich der Ansicht, dass der Unfallmechanismus dennoch im Einzelfall keinerlei Bedeutung für die Entstehung der besonderen Frakturart habe, sondern das Ausmaß einer Fraktur und der Frakturspaltverlauf ausschließlich vom Reifegrad der Wachstumsfuge abhängig sei (55). In seinen Studien geben die Patienten sowohl Supinations- als auch Pronationstraumata als Unfallursache der Übergangsfraktur an.

Dass nicht ausschließlich Supinationstraumata für die komplexe Bruchstruktur des distalen Tibiaendes ursächlich sind, versuchen andere Autoren zu belegen (12, 75): Nach Meinung dieser liegt den Twoplane-Frakturen eine Kombination aus Abduktion (= Pronation) und Außenrotation des Fußes gegen das Bein als auslösendes Bruchmoment zugrunde, während den Triplane-Frakturen ein Supinationstrauma mit gleichzeitiger Außenrotation des Fußes vorausgeht. Dias und Tachdjian, Manderson sowie Lynn sahen dagegen die Außenrotation und Plantarflexion des Fußes als Unfallmechanismus der Triplane- und Tillaux-Frakturen (22, 60, 62). Dias und Giegerich beschränkten sich fünf Jahre später wie auch andere Autoren in ihren Publikationen auf die alleinige Außenrotation des Fußes ohne Pro- oder Supinationsstellung und begründeten dies mit der radiologisch nachweisbaren Vergrößerung des Bruchspalts, wenn das verletzte Sprunggelenk während der Operation in „Außenrotationsstress“ gehalten wird (14, 17, 23, 47): Zur Reposition der Frakturfragmente müsse das OSG ausschließlich innenrotiert gehalten werden. Dieser Meinung sind neben anderen Autoren (49, 90, 96) auch Peiró et al. in ihren Untersuchungen von Triplane-Frakturen, die als Repositionsmanöver die Innenrotation und zusätzlich Dorsalflexion des Fußes empfehlen (72). Manderson und Ollivierre favorisierten die Dorsalflexion und Pronation als Repositionsmanöver bei dislozierten Tillaux-Frakturen (62).

Zahlreiche Autoren beschrieben in ihren Veröffentlichungen die Tillaux-Fraktur als knöchernen Ausriss des Ligamentum tibiofibulare anterius inferius, an dem dementsprechend das ausgerissene laterale epiphysäre Fragment hängt (19, 23, 47, 68, 75, 76). Dabei bleibt dieses tibiofibulare Band jedoch intakt. Ursächlich sei die Außenrotation und Abduktion des OSG bei Unfall. Kärrholm et al. bezeichneten die Übergangsfrakturen allgemein und insbesondere Triplane-Frakturen als mögliche Folge eines Supinationstraumas des außenrotierten Fußes (39). Beispielhaft führte Kärrholm in seiner Publikation 1997 die Ergebnisse einer experimentellen Untersuchung von Gerner-Smidt aus dem Jahre 1963 an (44), in der ein derartiges triplanares Frakturmuster erreicht wurde, indem ein supiniertes Sprunggelenk nach außen rotiert wurde.
Shin et al. fanden bei fünf retrospektiv untersuchten Patienten mit intramalleolären Triplane-Frakturen anamnestisch drei verschiedene Unfallmechanismen: einmal Supinations-, zweimal Außenrotations- und zweimal eine Kombination von Supinations- und Pronationstrauma (83).

Im Gegensatz zu den Salter/Harris-Frakturen und gemäß den Angaben einiger Studien ist die Richtung des einwirkenden Traumas bei den Übergangsfrakturen die einer horizontalen Krafteinwirkung durch eine Außenrotation im Sprunggelenk mit konsekutiver Lösung der Wachstumsfuge (14, 19, 24, 25, 49, 81). Bezüglich des tatsächlichen Unfallmechanismus ist es letztlich aufgrund der zahlreichen verschiedenen Publikationen und Falldarstellungen nicht sicher möglich, sich auf ein auslösendes Verletzungsmuster festzulegen. Zusammenfassend favorisieren die meisten Autoren jedoch die Außenrotation des Sprunggelenks; verschiedene zusätzliche Fehlstellungen oder Rotationen des Fußes zum Zeitpunkt des Unfalls mögen die unterschiedlichen Typen der Übergangsfrakturart in Abhängigkeit vom Zustand der Fuge erklären.

Anhand der Patientenunterlagen bzw. nach Befragung wurde in dieser Studie überwiegend ein typisches Supinationstrauma von den Patienten angegeben. Diese Theorie wird auch von Hintermann und Dallek et al. in ihren Publikationen unterstützt (20, 33). Allerdings müssen auch andere axiale Scherkräfte wie z.B. Außenrotation des Sprunggelenks als auslösendes Moment angenommen werden, da Unfälle während des Tragens von festem hohen Schuhwerk (Basketballschuhe, Eishockey- und Inliner-Stiefel) auftraten, bei dem ein reines Supinationstrauma nur erschwert möglich ist. Aus diesem Grund müssen die anamnestischen Angaben der Patienten kritisch gewertet werden. Abgesehen von der Tatsache, dass es bei einem frisch traumatisierten, schmerzgeplagten Patienten schwierig ist, rasch eine exakte Anamnese bezüglich der exakten Richtung der Gewalteinwirkung zu erheben, ist das Wissen des Unfallmechanismus für die weitere Therapie von

untergeordneter, akademischer Bedeutung. Entscheidend für die weitere Behandlung sind die Kenntnis der Frakturart und der einzelnen dislozierten Fragmente sowie die korrekte Deutung der bildgebenden Diagnostik.

IV.1.6 Frakturart und -verteilung nach Häufigkeit

V. Laer stellte in seiner Studie fest, dass 19 seiner Patienten eine Triplane-Fraktur erlitten, während lediglich 13 Patienten eine Twoplane-Fraktur aufwiesen (55). Eine differenzierte Unterscheidung der Triplane-Frakturen in Typ I bzw. II geht aus seiner damaligen Publikation nur eingeschränkt hervor, nämlich bei den Patienten, die sich einer CT-Diagnostik unterzogen (n=10): In sechs Fällen wurde eine Typ I und in vier Fällen eine Triplane-II Fraktur nachgewiesen. Das Ergebnis der Frakturverteilung dieser Studie ist vergleichbar mit den Beobachtungen der Studie von Spiegel et al., in der unter 237 Frakturen 6 % Triplane- und 5 % Twoplane-Frakturen nachgewiesen wurden, wenn man die Tillaux- (2,5 %) und die von Spiegel beschriebenen „Central Type III"- Frakturen (2,5 %) als gemeinsame Twoplane-Frakturen zusammenzählt (85). Allerdings ist die Anzahl dieser Fälle sehr gering, um allgemeingültige Schlußfolgerungen zu ziehen. Ertl und Mitarbeiter zählten wiederum mehr Triplane-II Frakturen (n=11) als Triplane-I Frakturen (n=4) (26). Rapariz et al. analysierten insgesamt 211 Sprunggelenkverletzungen von 1977-1991 und fanden eine Verteilung von 34 % Triplane-I Frakturen zu 66 % Triplane-II Frakturen (77). Clement und Worlock beschrieben dagegen zwölf Triplane-I und drei Triplane-II Frakturen (14). Keine Unterscheidung in Triplane-I oder -II Fraktur machten dagegen 1986 Landin et al. bei ihrer Studie (58). Die Differenzierung ist auch anhand der konventionellen Röntgendiagnostik nicht immer sicher möglich, sondern bedarf in Einzelfällen der Tomographie (CT oder MRT). Von insgesamt 373 knöchernen Sprunggelenkverletzungen bei Kindern zwischen drei und 16 Jahren fanden diese Autoren 4,6 % Twoplane- und 7,5 % Triplane-Frakturen; ihre Daten decken sich weitgehend mit den Ergebnissen von Spiegel et al. (85).

In dieser retrospektiven Untersuchung wurden mit je 25 Patienten gleich viele Twoplane- wie Triplane-Frakturen nachgewiesen. Dabei wurden doppelt so viele Triplane I- wie Triplane II-Frakturen nachgewiesen (34 % zu 16 %). Eine eindeutige Aussage bezüglich der Frakturart in Verbindung mit Alter und Geschlecht ist aufgrund der vorliegenden Daten nur begrenzt möglich: Der Altersgipfel für beide Geschlechter bezüglich aller Übergangsfrakturen liegt zwar zwischen zwölf und 14 Jahren (60 % aller Patienten), weitere 28 % sind zwischen 14 und 16 Jahre alt. Genauer betrachtet sind die Frakturarten in den ein-

zelnen Altersgruppen und nach Geschlecht differenziert jedoch ohne erkennbar gezielte Häufigkeit vertreten. Über ähnliche Ergebnisse berichtet auch v. Laer, der keinen Zusammenhang zwischen Geschlecht und Frakturart bzw. Frakturverlauf erkennt. Ferner macht er keine definitive Aussage, ob jüngere Adoleszente eher für Triplane-Frakturen und ältere eher für Twoplane-Frakturen anfällig sind: In seiner Studie sind durchschnittlich beide Frakturgruppen gleich alt (13,9 Jahre) (55).

IV.1.7 Frakturspaltlage

Der Frakturspalt kann in vier verschiedenen Bereichen der Epiphyse liegen: lateral, zentral, medial und intramalleolär. Mediale und zentrale Frakturspalten stellen die häufigsten Bruchvarianten und bedürfen der besonderen Aufmerksamkeit, da sie die Hauptbelastungszone des Gelenks betreffen (57, 66). Somit ist es von herausragender Bedeutung, dass epiphysäre Frakturdehiszenzen über 2 mm durch eine entsprechende Therapie reduziert werden, um eine Inkongruenz mit der damit verbundenen Möglichkeit einer späteren Arthrose zu vermeiden. Außerdem ist insbesondere bei medialen sowie zentralen Spalten in der Epiphyse von Bedeutung, dass diese nach dorsal hin in unterschiedliche Richtungen abgelenkt werden können und deshalb häufig zu komplexen Frakturen führen, deren gesamtes Ausmaß meist erst in der Tomographie ersichtlich wird. Lateralen epiphysären Bruchspalten, wie sie beispielweise bei juvenilen Tillaux-Frakturen nachgewiesen werden, liegt eine Wachstumsfuge zugrunde, welche kurz vor vollständigem Verschluss steht. Somit sind Wachstumsstörungen bei diesen nicht zu erwarten. Nichtsdestotrotz besteht auch bei diesem Bruchmuster die Möglichkeit einer Dislokation mit großer Frakturdehiszenz sowie Eintreten einer Gelenkstufe, so dass eine entsprechende Therapie erforderlich wird.

In 70 % aller Fälle der vorliegenden Studie (n=35) lag der Bruchspalt im Hauptbelastungsbereich des Sprunggelenks, nämlich zentral und medial; dies galt sowohl für Two- als auch Triplane-Frakturen. Statistisch war die zentrale und mediale Frakturspaltlage signifikant häufiger ($p < 0,033$) als andere Frakturspaltlagen der Epiphyse. Die übrigen 30 % der Frakturen verteilten sich zu annähernd gleichen Anteilen auf den lateralen (14 %, n=7) und intramalleolären Epiphysenbereich (16 %, n=8). Triplane-Frakturen zeigten keinen lateralen Fragmentausbruch. Ein besonderes Bruchmuster einer Übergangsfraktur wie sie in dieser Studie vorkam, wurde bisher in der Literatur noch nicht beschrieben und stellt eine absolute Rarität dar: Bei einer 12,8-jährigen Patientin mit Twoplane-Bruchmuster des rechten OSG entsprechend einer juvenilen Tillaux-Fraktur lag als Be-

sonderheit neben dem lateralen epiphysären Fragmentausbruch mit Dislokation von 5 mm eine dislozierte Fraktur des Innenknöchels vor. Zusätzlich ließ sich als Begleitverletzung eine distale nicht-dislozierte Salter/Harris-Fraktur Typ II der Fibula radiologisch nachweisen. Nach Osteosynthese des Innenknöchelbruchs mit zwei Spongiosaschrauben konnte die laterale Tillaux-Fraktur mit einer Schraube stabilisiert werden. Drei Jahre nach Abschluss der Behandlung wurde in der Nachuntersuchung eine diskrete, jedoch nicht signifikante relative Beinlängenverkürzung der Gegenseite von 1 cm festgestellt. Die Patientin gab an, nach längerem Sitzen und bei Belastung Schmerzen und zunehmende Schwellung im rechten OSG zu haben. Radiologisch wurden keine Auffälligkeiten im Sinne einer Arthrose nachgewiesen. Als Zufallsbefund konnte drei Jahre nach Behandlung eine persistierende Verdickung der distalen lateralen Tibiakortikalis dargestellt werden, welche möglicherweise als tibio-fibulare Synostose im Bereich der Membrana interossea interpretiert werden kann.

Vergleicht man die vorliegenden Ergebnisse mit den Aussagen anderer Autoren, so sind Übergangsfrakturen mit intramalleolär gelegenen Bruchspalten nicht ganz so selten wie Shin et al. darstellt (83); allerdings macht er keine Angaben zur Inzidenz dieses Frakturverlaufs. Bei diesen muss ferner zwischen intraartikulären intramalleolären Frakturen und solchen unterschieden werden, deren Frakturspalt extraartikulär verläuft.
In der Studie von v. Laer lag der Anteil der Patienten mit betroffener Hauptbelastungszone des Sprunggelenks bei 72 % (n=32) (55); somit sind seine Ergebnisse mit denen dieser Arbeit annähernd gleich. 16 % seiner Patienten hatten einen lateral liegenden Bruchspalt (ausschließlich Twoplane-Frakturen), 12 % einen intramalleolären Spalt. Dies bestätigt derselbe Autor elf Jahre später (56): Twoplane-Frakturen brechen häufiger im lateralen Epiphysenbereich, während bei Triplane-Frakturen meist der zentrale und mediale Gelenkanteil betroffen ist.

Zu anderen Ergebnissen kommen El-Karef et al. in ihrer Triplanestudie (25): Über 90 % ihrer Patienten (n=19) hatten einen Ausbruch des lateralen epiphysären Fragments, lediglich zwei Triplane-Frakturen (9,5 %) wiesen einen Bruchspalt in der Hauptbelastungszone auf.

IV.1.8 Zustand der Wachstumsfuge zum Unfallzeitpunkt

In den Studien von v. Laer (50, 55) konnte die Epiphysenfuge in 44 % der Fälle radiologisch als im medialen Bereich sicher verschlossen beurteilt werden. Es handelte sich dabei überwiegend um Twoplane-Frakturen. Andere Autoren beurteilten die Fugen der Patienten als in 86 % radiologisch partiell medial verschlossen (25). In der Studie von Rapariz und seinen Mitarbeitern waren in vier von 35 Patienten die Wachstumsfuge noch vollständig offen (77). Zumeist wird jedoch in den Veröffentlichungen nicht speziell auf den Fugenzustand eingegangen.

Nach genauem Befunden der Unfallbilder wurden in dieser Studie bei 62 % der Patienten (n=23) die Epiphysenfugen im medialen Bereich als sicher verschlossen, bei den übrigen 38 % als prämatur beurteilt (n=14). Hierbei wurden nur die Röntgenbilder aus Hannover hinsichtlich des Fugenzustands befundet (n=37). Die Ergebnisse bestätigen die Überlegung zahlreicher Autoren, dass der Fugenschluss medial beginnt und sich nach lateral fortsetzt. Dieser für das Wachstumsalter charakteristische Verknöcherungsprozess der Epiphysenfuge der distalen Tibia ist demnach ursächlich für die typischen Bruchmuster, wie sie nur bei Übergangsfrakturen anzutreffen sind. Des Weiteren ist er in Zusammenhang mit dem Unfallmechanismus und dem Alter des Patienten für die Komplexität insbesondere der Triplane-Frakturen verantwortlich.

IV.1.9 Knöcherne Begleitverletzungen

Je nach Publikation sind unterschiedlich viele zusätzliche Brüche der Fibula nachgewiesen worden; sie treten sowohl bei Triplane- als auch bei Twoplane-Frakturen auf und sind vor allem dann beim Repositionsmanöver der distalen Tibiafraktur von Bedeutung. Dias und Giegerich sahen in ihrem Patientenkollektiv Begleitfrakturen der Fibula bei den Patienten mit Triplane-Bruchmuster (38 % aller Triplane-Frakturen) (23). V. Laer diagnostizierte lediglich drei knöcherne Fibulaverletzungen in 32 Übergangsfrakturen (9 %); alle waren als Begleitläsion einer Twoplane-Fraktur aufgetreten (55). Wicky und Stauffer fanden in 44 % der Triplane-Frakturen und in 25 % der Twoplane-Frakturen Begleitbrüche des Wadenbeins (97), Ertl et al. konnten in bis zu 52 % der Fälle einer Triplane-Fraktur eine Fibulafraktur nachweisen (26). Ähnliche Ergebnisse fanden Rapariz und seine Mitarbeiter in 48 % aller seiner Triplane-Frakturen (n=23) mit zusätzlich ipsilateralen Tibiaschaftbrüchen in 9 % (n=3). El-Karef et al. untersuchten ausschließlich Triplane-Frakturen und wiesen Fibulabrüche in lediglich 24 % (n=5) der untersuchten 21 Patienten nach (25).

Dabei schilderten beide zuletzt genannten Autoren, dass es sich bei mindestens 80 % der Fibulafrakturen um distale Schrägbrüche handelte. In den Untersuchungen von Landin et al. fanden sich fibuläre Begleitbrüche ausschließlich bei den Triplane-Frakturen (36 % von insgesamt 28 Patienten, hiervon 26 nachuntersucht) (58). In der Zusammenfassung der veröffentlichten Literaturstellen über Übergangsfrakturen von Kärrholm mit insgesamt 103 Patienten wurden in 32 % der Triplane-Frakturen Begleitbrüche der Fibula nachgewiesen (44).

In der vorliegenden Studie waren Kinder mit Twoplanebrüchen seltener betroffen (12 %) als Patienten mit Triplane-Frakturen (20 % aller Triplane-Frakturen). Die Gesamtinzidenz fiel mit 16 % niedriger aus als vergleichsweise in den o.g. Arbeiten von einigen Autoren (25, 44, 58, 77). Ipsilaterale Tibiaschaftbrüche traten im vorliegenden Patientenkollektiv nicht auf.

Als Ursache für Begleitverletzungen der Fibula kommt im Wesentlichen der Unfallmechanismus in Betracht: Einige Autoren geben erhebliche Scherkräfte bei massiver Außenrotation des Sprunggelenks gegen den Unterschenkel als Ursache an (23, 25, 47). Dass jedoch die Fibula in manchen Fällen begleitend bricht, liegt an der höheren Stabilität der tibiofibularen Bandstrukturen im Vergleich zu osteochondralen Strukturen. Begleitende Fibulabrüche können bekanntermaßen eine Reposition der Übergangsfraktur erschweren, wenn es sich insbesondere um Schaftbrüche im distalen Fibuladrittel handelt (17): Erst nach Reposition des Fibulabruchs kann mitunter eine Triplane-Fraktur achsengerecht reponiert werden (49, 77). Nach Recherche der Literatur war in anderen Studien eine Osteosynthese einer begleitenden Fibulafraktur wie in einem Fall dieser Studie jedoch nie erforderlich: Bei dem einzigen Patienten dieser Nachuntersuchung mit Triplane-I Fraktur kam es durch einen Skateboardunfall zu einer Mehrfragmentfraktur des Fibulaschafts im Rahmen einer Sprunggelenkluxation. Der Fibulabruch wurde mit einer aufwendigen Plattenosteosynthese stabilisiert. V. Laer ist der Überzeugung, dass Fibulafrakturen als begleitende Verletzungen bei Übergangsfrakturen in aller Regel weder reponiert noch osteosynthetisch fixiert werden müssen, da die Sprunggelenkgabel sich bei korrektem Einrichten des Pilon tibiale aufgrund der intakten vorderen Syndesmose regelrecht einstellt (57).

IV.1.10 Dislokationsausmaß nach Unfall

Bezüglich der epiphysären Fragmentdehiszenz eines Bruchs mit entsprechender unterschiedlicher Therapiekonsequenz wurde festgelegt, dass eine zu reponierende Dislokation zweier knöcherner Fragmente vorliegt, wenn die Spaltweite mehr als 2 mm beträgt (5, 57, 78). Dislozierte Frakturen bzw. solche mit Stufenbildung im Gelenkbereich sind somit zu retinieren und gegebenenfalls mit Osteosynthesematerial zu stabilisieren.

Bei Ertl et al. waren 15 von 23 Triplane-Frakturen (65 %) 2 mm und mehr dislozierT (26). Eine genauere Aufschlüsselung nach Art und Dehiszenzweite der dislozierten Frakturen ist in ihrer Publikation jedoch nicht zu finden. Laut v. Laer sowie Dias und Giegerich sind Übergangsfrakturen selten mehr als 4 mm dislozierT (23, 57). Rapariz et al. beschrieben eine durchschnittliche epiphysäre Spaltweite ihrer Triplane-Frakturen von 3,7 mm (Range 1-7 mm). Vereinzelt werden Fälle mit größeren Dehiszenzen von 10-14 mm geschildert (58).

Anhand der vorliegenden Ergebnisse kann dies bestätigt werden: Die durchschnittliche Spaltweite lag bei 3,1 mm mit einem Range von 1-7 mm. Dabei waren etwa die Hälfte der Frakturen zwischen 3-4 mm verschoben (46 %, n=23). 18 % der Patienten hatten einen Bruchspalt (n=9), der größer als 4 mm war, während 36 % (n=18) nur eine Dehiszenz von 2 mm und weniger aufwiesen. Bemerkenswert war, dass alle Triplane-II Frakturen immer dislozierT waren, und die Dehiszenz somit mindestens 3 mm betrug. Ein Patient mit einer ungewöhnlich großen Epiphysen-Dislokation mit einer Spaltweite von 25 mm wurde in dieser Bewertung der Spaltdehiszenz nicht berücksichtigt. Bei diesem Jungen lag eine extrem seltene Kombination aus Übergangsfraktur mit Luxation des Sprunggelenks vor. Eine solche Rarität ist in der Literatur bisher nicht beschrieben worden.

IV.1.11 Dislokationsausmaß nach Reposition/Reduktion

Die Röntgenbilder der Patienten wurden hinsichtlich der Größe des epiphysären Bruchspalts nach durchgeführter Reposition beurteilt. Hierbei fanden sich unter den offen reponierten und osteosynthetisch fixierten Frakturen (n=30) kein Patient, dessen Frakturspalt nach Reduktion größer als 2 mm blieb. Der größere Anteil dieser Brüche war „wasserdicht“ oder bis auf 1 mm (n=14), der kleinere Teil (n=11) bis mindestens 2 mm reduziert worden.

Eine Patientin mit medialer Twoplane-Fraktur, welche trotz eines Frakturspalts von 4 mm bei Unfall ohne Gelenkstufe konservativ behandelt wurde, war in ihrer Untersuchung acht Jahre später klinisch beschwerdefrei, obwohl der Bruchspalt lediglich auf 3 mm reduziert worden war. Eine radiologische Verlaufskontrolle zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung konnte aufgrund des Einwands der Patientin leider nicht durchgeführt werden. Bei weiteren fünf Patienten (zwei Triplane-I Frakturen, drei Twoplane-Frakturen) aus Graz wurde trotz einer Dehiszenz von 3-4 mm initial die Behandlung konservativ fortgeführt; alle diese Patienten waren in den Nachuntersuchungen beschwerdefrei und radiologisch ohne Auffälligkeiten. Diese vorliegenden vereinzelten Fälle lassen vermuten, dass größere epiphysäre Frakturdehiszenzen von mehr als 2 mm ohne schwerwiegende Folgen ausheilen können. Dies geschieht offensichtlich ohne Rücksicht auf die Lage des Frakturspalts in der Hauptbelastungszone. Allerdings sind die Fallzahlen viel zu klein als dass grundsätzlich die Definition der Dislokation neu überdacht werden sollte. Diesbezüglich müsste in Multicenter-Studien darauf eingegangen und gezielt dislozierte, konservativ behandelte oder nicht ausreichend reponierte Übergangsfrakturen überprüft werden.

Benz et al. beschrieben in ihrer Veröffentlichung über die Behandlungsindikation bei Sprunggelenkfrakturen einen ähnlichen Fall einer Triplane-Fraktur, bei der lediglich die metaphysäre Dislokation behoben worden war (5). Eine epiphysäre Gelenkstufe, welche deutlich mehr als 2 mm betrug, verheilte ohne Reposition problemlos; der Patient blieb beschwerdefrei. Aus der Publikation geht jedoch nicht hervor, nach welchem Zeitraum der Patient nachuntersucht worden war.

Im Gegensatz zu den genannten Fällen existieren Veröffentlichungen über nicht ausreichend reponierte Frakturen von einigen Autoren, welche Beschwerdesymptome im Sprunggelenk anhand der Patienten beschreiben, bei denen der epiphysäre Spalt größer als 2 mm nach Reduktion verblieb (26, 58, 77). Kärrholm vermutete deshalb und nicht zuletzt aufgrund seiner eigenen Ergebnisse, dass das Dislokationsausmaß insbesondere nach Reposition bzw. Reduktion prognostisch ausschlaggebend ist, da er in allen Fällen, in denen die Patienten über Spätfolgen klagten, auch retrospektiv nachweisen konnte, dass die Fraktur entweder nicht ausreichend auf mindestens 2 mm reduziert oder eine intraartikuläre Beteiligung initial übersehen worden war (44).
Dass eine inadäquate Therapie der Übergangsfrakturen zu schwerwiegenden Konsequenzen führt, belegten Ertl et al. in ihrer Arbeit (26): Sie analysierten retrospektiv den Fall einer 11-jährigen Patientin, deren Triplane-II Fraktur initial geschlossen reponiert und ohne Osteosynthese versorgt worden war. Der epiphysäre Bruchspalt war auf den konventionellen Röntgenbildern deutlich kleiner (3 mm) als im postoperativ durchgeführten

CT des Sprunggelenks (7 mm). Konsekutiv war bei der Kontrolle 1,5 Jahre später ein persistierender epiphysärer Spalt im CT erkennbar, die Patientin klagte über starke Beschwerden.

IV.1.12 Therapieverfahren

Allgemein gilt, dass sich die Wahl der Therapie nach dem Dislokationsausmaß der Fragmente und der Lokalisation der Läsion richtet. Hier ist entscheidend, in welchem Bereich die Tibiaepiphyse bzw. -metaphyse von der Fraktur betroffen ist, wie groß der Bruchspalt tatsächlich ist, und ob es sich um eine Two- oder Triplane-Fraktur handelt. Außerdem ist bedeutsam, ob die Wachstumsfuge prämatur und der haupttragende Gelenkanteil der Epiphyse betroffen ist. Schließlich muss das Ziel der Therapie darin bestehen, die Gelenkkongruenz zu erhalten und durch Rekonstruktion der Gelenkfläche wiederherzustellen.

Das Therapieschema wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Entsprechend unterschiedliche Behandlungsempfehlungen werden vorgeschlagen: Je nach Autor variiert die Behandlung von der Reduktion jeder Übergangsfraktur ohne Rücksicht auf die Dehiszenzweite des Frakturspalts mit eventuell offener Reposition, falls nötig (23, 26, 77), bis hin zur überwiegend konservativen Gipsbehandlung ohne offenen Eingriff (17, 90). Einige Autoren befürworten zunächst eine Reduktion des Frakturspalts, andere entweder keine oder gleich eine offene Reposition je nach Dislokationsausmaß der Fraktur (50). In einer zusammengefassten Metaanalyse von neun in der Literatur veröffentlichten Studien (14, 17, 23, 26, 46, 55, 58, 72, 77) über insgesamt 209 Patienten, welche eine Triplane-Fraktur erlitten hatten, konnte Kärrholm folgende Therapieverteilung aufzeigen (44): 35 % der Triplane-Frakturen waren konservativ und ohne Reduktion, 30 % konservativ mit geschlossener Reposition und 35 % aller Fälle mit offener Reposition sowie Osteosynthese behandelt worden. Für acht von neun Studien traf zu, dass eine Dislokation vorlag, wenn der epiphysäre Spalt mehr als 2 mm betrug und somit eine Indikation zur Reposition gestellt wurde. Des Weiteren wurde den Ergebnissen der Metaanalyse zufolge eine offene Reposition durchgeführt, wenn nach geschlossener Reposition der Frakturspalt noch größer als 2 mm verblieb.
Eine Ausnahme innerhalb dieser Metaanalyse stellte die Studie von Landin und seiner Forschergruppe dar (58): Hier gab es zwei Triplane-Frakturen mit dislozierten Bruchspalten (4 und 7 mm), welche ohne weitere Therapie ruhiggestellt worden waren. Bei drei zusätzlichen Patienten mit Triplane-Fraktur mit Frakturdehiszenzen von 6, 9 und 10 mm

bestand die Spaltweite nach geschlossener Reposition weiterhin bei 4 mm. Eine Triplane-Fraktur mit Epiphysendehiszenz von 14 mm wurde offen reponiert und der Bruchspalt auf 3 mm reduziert. Die Dehiszenzweite eines weiteren Patienten mit 3 mm Dislokation der Epiphyse konnte trotz offener Reposition nicht reduziert werden.

Vergleicht man diese Werte mit den Ergebnissen dieser Studie, so wurden von insgesamt 25 Triplane-Frakturen 32 % (n=8) konservativ behandelt, wobei keine Differenzierung in geschlossene Reposition mit Reduktion des Frakturspalts oder lediglich Gipsanlage ohne weitere Reduktion erfolgte. Der überwiegende Anteil von 68 % (n=17) der Triplane-Frakturen mit einer Dehiszenz von mehr als 2 mm in der Epiphyse wurde osteosynthetisch behandelt. Hier wurde jedoch je nach Krankenhaus unterschieden, ob immer offen reponiert und osteosynthetisch fixiert (Kinderkrankenhaus auf der Bult und Medizinische Hochschule Hannover; n=15) oder auch überwiegend geschlossen nach Minimalinzision und Knochenfreilegung verschraubt wurde (Graz, n=2).

Kleiger und Mankin beschrieben 1964 dislozierte Two- und Triplane-Frakturen, die lediglich unter Innenrotationsstress reponiert, im Gips ruhig gestellt worden waren sowie im weiteren Verlauf der Kontrollen außer einem Fall mit narbiger Verkürzung der Extensor-hallucis-longus-Sehne als möglichen Hinweis für ein ehemaliges Kompartment-Syndrom keine signifikanten Probleme im Sinne einer Gelenkinkongruenz oder von Wachstumsstörungen verursachten (47). In einer anderen Übersicht stellten Tinnemans und Severijnen die konservative Therapie der Triplane-Frakturen anhand aller bis 1979 veröffentlichten Fälle den osteosynthetisierten Übergangsfrakturen gegenüber und zeigten auf, dass von 35 Patienten 28 Fälle konservativ im Sinne einer geschlossenen Reposition oder nur Ruhigstellung behandelt werden konnten (80 %) (90). Eine differenzierte Unterteilung in Triplane Typ I bzw. II nahmen diese Autoren jedoch nicht vor. Ihren Angaben zufolge sollte eine offene Reposition dann durchgeführt werden, wenn eine Gelenkinkongruenz bestünde. Selbst arthroskopische Repositionen und Fixationen dislozierter Triplane-Frakturen mit guten Ergebnissen wurden von Whipple et al. beschrieben, die eine derartige Vorgehensweise als besonders schonend – weil minimal-invasiv – rechtfertigten (96). Zugleich sei mit der arthroskopischen Methode die Möglichkeit gegeben, die Gelenkfläche wenig traumatisierend direkt einzusehen und eine exakte anatomische Rekonstruktion zu erzielen. Sie beschrieben dieses Vorgehen jedoch nur für zwei Fälle; zudem liegen keine ähnlichen operativen Vorgehensweisen oder Studien in der Literatur mit entsprechenden Ergebnissen vor, die ihre Behandlungsmethoden unterstützen. Wicky und Stauffer bevorzugten eine offene Reposition der meisten dislozierten Übergangsfrakturen (97). Schlesinger und Wedge veröffentlichten einen Fall einer Twoplane-Fraktur

mit geschlossener Reposition und perkutaner Kirschner-Draht-Osteosynthese (81). Auch Rapariz et al. erwähnten Fälle, in denen nach geschlossener Reposition perkutan die Fraktur fixiert wurde (77). In ihrer Publikation wurde ferner resorbierbares Bio-Osteosynthesematerial verwendet. Laut Kling können Twoplane- (Tillaux-) Frakturen in 50 % der Fälle geschlossen reponiert bzw. reduziert und konservativ weiterbehandelt werden (49). Die Reposition sollte in Allgemeinnarkose und mittels Innenrotation und Supination des Sprunggelenks durchgeführt werden – laut Autor als Gegenmechanismus zum Unfallhergang. Das Repositionsergebnis wurde im weiteren Verlauf mit einem CT oder MRT verifiziert und kontrolliert. Verbleibt eine epiphysäre Dehiszenz nach Reposition bei 2 mm, müssen gemäß Kling Twoplane-Frakturen von anterolateral her offen operiert und mit Kirschner-Draht oder Schraube osteosynthetisiert werden. Hierbei sei es unerheblich, ob das Osteosynthesematerial die Wachstumsfuge kreuze oder nicht, da eine Wachstumsstörung nicht mehr zu erwarten sei.

In dieser Studie wurde in zwei Fällen einer Twoplane-Fraktur aus Hannover bei einer epiphysären Frakturspaltdehiszenz von 2 mm eine Schraubenosteosynthese durchgeführt: bei einer Patientin von medial, bei einer anderen von lateral. Insbesondere bei der zuletzt genannten Patientin wäre retrospektiv eine konservative Behandlung ausreichend gewesen, da eine juvenile Tillaux-Fraktur vorlag und eine Wachstumsfugenproblematik bei subtotalem Fugenschluss nicht aufgetreten wäre.
In zwei weiteren Fällen wurde bei geringer Dehiszenz der Epiphyse (< 2 mm) operiert und metaphysär mit einer Zugschraube osteosynthetisiert, da eine Triplane-I Fraktur vorlag und das metaphysäre Volkmann Fragment erheblich disloziert war.

IV.1.12.1 Konservativ

Hier muss zwischen den Patienten, welche eine nicht-dislozierte Fraktur hatten (n=14), und solchen, die trotz Dislokation konservativ behandelt wurden (n=6), unterschieden werden. Bis auf die eben genannten beiden Ausnahmen wurden Patienten mit einer Bruchspaltweite von bis zu 2 mm in der Epiphyse grundsätzlich ohne operative Intervention behandelt und der Unterschenkel ruhiggestellt. Dies galt für 14 Patienten der Studie.

Für weitere sechs Patienten (19 % aller dislozierten Frakturen) mit Spaltdehiszenzen von 3-4 mm in verschiedenen Bereichen der Epiphyse wurde ebenfalls ein konservatives Vorgehen gewählt; dazu zählten fünf Patienten aus Graz und ein Patient aus Hannover. Alle Patienten dieser Gruppe waren in den Nachuntersuchungen beschwerdefrei, radiologisch

gab es in den Verlaufskontrollen keine Auffälligkeiten. Diese Ergebnisse deuten an, dass offensichtlich ein erhebliches Korrekturpotential selbst bei größeren Gelenkfrakturen besteht – vorausgesetzt, dass keine Gelenkstufe vorliegt.

IV.1.12.2 Operativ

Kling stellte folgende Indikationen für die offene operative Behandlung von Knöchelfrakturen vor (49):

- Geschlossene Reposition der dislozierten Fraktur ist nicht möglich oder die reponierten Fragmente sind instabil.
- dislozierte Gelenkfrakturen
- dislozierte Fugenfrakturen
- offene Frakturen

Grundsätzlich schlägt Kling das Vorgehen in ausreichender Analgesie und maximaler Muskelrelaxation vor wie sie nur in Allgemeinnarkose erreicht wird. So kann dann bei gutem Repositionsergebnis mit Reduktion des Frakturspalts auf 2 mm oder darunter die weitere Behandlung konservativ erfolgen, wenn die Frakturfragmente stabil bleiben. Jedoch ist er der Ansicht, dass dislozierte Übergangsfrakturen mit Bruchspaltdehiszenzen von mehr als 2 mm sich meist einer geschlossenen Reposition entziehen. Ein Grund hierfür könnte sein, dass gelegentlich Periost in den Frakturspalt eingeschlagen und die epiphysäre oder auch metaphysäre Dehiszenz nicht geschlossen manuell zu korrigieren ist. Schlesinger und Wedge beschrieben eine Tillaux-Fraktur eines 15-jährigen Jungen mit einer Dislokation des epiphysären Bruchspalts von mehr als 2 mm (81). Nach perkutaner Reposition von lateral mit einem Steinmann-Pin wurde das epiphysäre laterale Fragment mit einem die Fuge kreuzenden Kirschner-Draht fixiert und der Steinmann-Pin wieder entfernt, anschließend eine Unterschenkelgipsschiene zur Ruhigstellung angelegt. Die Metallentfernung wurde nach sechs Wochen durchgeführt. Komplikationen in diesem und fünf weiteren gleichartig behandelten Patienten waren laut Autoren bei Nachuntersuchungen nicht aufgetreten. Beide empfahlen dieses Vorgehen, wenn die geschlossene Reposition allein nicht zur stabilen Reduktion des Bruchspalts führt.

Für die offen operative Versorgung der Übergangsfrakturen gab es vor 35 Jahren noch grundlegende historische Auffassungen: 1970 schlugen Suessenbach und Weber die „wasserdichte“ Osteosynthese für alle Übergangsfrakturen vor – wie sie im deutschspra-

chigen Raum weit verbreitet war –, da bei Frakturen mit Epiphysenbeteiligung stets die Gefahr einer posttraumatischen Wachstumsstörung bestünde (87). Andere Autoren (24, 76, 91) bevorzugten ebenfalls die operative Behandlung mit Hinweis auf die Gelenkbeteiligung der Übergangsfrakturen. Marmor, Torg und Ruggiero sowie Denton und Fischer beschrieben und favorisierten ähnliche Behandlungskonzepte der offenen Osteosynthese ihrer Triplane-Frakturen ohne Hinweis auf die Frakturspaltgröße der Epiphyse (21, 64, 92). Ihre Ergebnisse beruhen jedoch auf einzelnen Fallberichten. Sie rechtfertigen ihr Vorgehen mit dem Hinweis auf mögliche Gelenkinkongruenzen und eventuell auftretende Wachstumsstörungen bedingt durch vorzeitigen Epiphysenfugenschluss. Diese veraltete Überlegung trifft jedoch inzwischen für Übergangsfrakturen nicht mehr grundsätzlich zu, da diese kurz vor vollständigem Fugenschluss stehen und somit Wachstumsstörungen nicht mehr zu erwarten sind. Folgende Autoren entschieden sich für ein überwiegend konservatives Vorgehen und erzielten zufriedenstellende Ergebnisse: Cooperman et al. versorgten 13 von 15 Patienten mit Triplane-Fraktur bei einer epiphysären Bruchspaltdehiszenz von 2 mm und weniger konservativ mit einem Gips (17); auch Clement und Worlock, El-Karef et al. mit 66 % aller nachuntersuchten Triplane-Frakturen sowie Peiró et al. behandelten nicht-dislozierte Triplane-Frakturen mit einem Unterschenkelgips für vier bis sechs Wochen; die entsprechend problemlosen Heilungsverläufe der Patienten bestätigten ihre Therapiekonzepte (14, 25, 72). Diese Autoren sind wie viele andere der Meinung, dass darüber hinaus alle Übergangsfrakturen mit einer epiphysären Spaltdehiszenz von mehr als 2 mm reponiert und ggf. offen osteosynthetisch fixiert werden müssen (57, 68, 26, 77). Die konservative Behandlung mit Ruhigstellung der Extremität im Gipsverband wird bei entsprechend geringeren Bruchspaltdehiszenzen vorgezogen. Zudem darf keine Gelenkinkongruenz im Sinne einer Stufe vorliegen. Selbst Frakturen, bei denen der Spalt in der Hauptbelastungszone liegt, werden konservativ behandelt, solange die Dehiszenz weniger als 2 mm beträgt.

Das offene operative Vorgehen bei den Patienten der vorliegenden Studie war im Allgemeinen einheitlich und entsprach dem Vorgehen wie in der Literatur von anderen Autoren beschrieben. Lediglich bei zwei Patienten war das Therapiekonzept abweichend: Es wurde die Epiphyse bei vorliegender Twoplane-Fraktur und trotz einer nicht-dislozierten Frakturspaltweite von weniger als 2 mm offen reponiert und mit einer Zugschraube fixiert. Bei einem Patienten lag der Spalt lateral, die Schraube wurde von medial eingeführt, während bei einer anderen Patientin mit ebenfalls lateral liegendem epiphysärem Spalt ein lateraler Zugang gewählt worden war. Zwei weitere Patienten mit Triplane I-Fraktur wurden operiert, jedoch nur das metaphysäre Fragment aufgrund erheblicher Dislokation mit

einer Zugschraube stabilisiert. Im Bereich der Epiphyse fand sich bei beiden Patienten nur eine geringe Bruchspaltweite von weniger als 2 mm.

Die Berichte aus vielen Studien der Literatur zeigen keine übereinstimmenden Ergebnisse in Abhängigkeit von Therapieart oder OP-Verfahren bezüglich des Auftretens oder der Vermeidung von Wachstumsstörungen, Fehlstellungen oder subjektiven Beschwerden, sofern die Behandlung den vorgegebenen Leitlinien entsprach. Primärtherapeutisch können deshalb Wachstumsstörungen nicht beeinflusst werden.

IV.1.13 Osteosyntheseverfahren

Mehrere Autoren beschreiben in ihren Studien operative Verfahren, in denen es stets vermieden wurde, die Epiphysenfuge bei Osteosynthesen mit Schrauben oder Kirschner-Drähten zu kreuzen, um sie nicht zu verletzen und somit einen iatrogen induzierten vorzeitigen Fugenschluss zu provozieren (8, 25, 49, 65). Allerdings gelten nach Aussagen der Autoren derartige invasive Verfahren überwiegend für typische kindliche Epiphysenfrakturen (Salter/Harris-Frakturen). Osteosyntheseverfahren für Übergangsfrakturen werden selten speziell erwähnt. Bei der Wahl der Therapie wird von ihnen zwischen Osteosyntheseeingriffen bei Frakturen mit medialem oder lateralem Bruchspalt nicht differenziert. Die Ansicht, auf transphyseales Osteosynthesematerial zur Therapie dislozierter Triplane-Frakturen zu verzichten, vertritt Kärrholm, obwohl der Autor sogar in seinen Ausführungen eine klinische Relevanz im Sinne eines vorzeitigen Fugenschlusses verneint (44).

Dingeman und Shaver hingegen beschrieben in ihrer Studie fünf dislozierte Twoplane-Frakturen mit lateralem Frakturspalt, welche offen reponiert und mit fugenkreuzenden Steinmann-Pins bzw. einer Schraube versorgt worden waren (24). Innerhalb eines Monats postoperativ wurde die Metallentfernung durchgeführt, der Patient durfte anschließend mit einem Gehgips fünf Wochen voll belasten. Bei einer Nachuntersuchung nach zwölf Monaten waren weder klinisch noch radiologisch Auffälligkeiten nachweisbar. Das in der Publikation von Dingeman und Shaver abgebildete Patientenbeispiel ist allerdings eine Twoplane-Fraktur mit zentralem Bruchspalt und entspricht nicht – wie von beiden Autoren beschrieben – einer lateral liegenden Dehiszenz. Trotz des kreuzenden Osteosynthesematerials kam es zu keinen Komplikationen im Sinne eines vorzeitigen Fugenschlusses. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kommt Molster, der fünf dislozierte Twoplane-Frakturen beschreibt, davon zwei mit fugenkreuzenden Kirschner-Drähten bzw. Schrauben (68). Die Metallentfernung erfolgte durchschnittlich nach vier bis sechs Wochen. Auch hier wa-

ren keine Komplikationen in den späteren Kontrollen aufgetreten. V. Laer und Whipple wiederum empfehlen ebenfalls auf kreuzendes Osteosynthesematerial zu verzichten, wenn der Frakturspalt in der Epiphyse sehr weit medial liegt (57, 96): In diesem Fall sei nämlich ein Großteil der Wachstumsfuge noch nicht verknöchert und somit – wie bei den „typischen“ Epiphysenfrakturen der Salter/Harris-Klassifikation – eher anfällig für eine induzierte Läsion mit konsekutivem vorzeitigen Verschluss. Liege aber der Bruchspalt lateral, so ist die Fuge kurz vor einem vollständigen Schluss und deshalb kaum eine Wachstumsstörung zu erwarten. Eine kreuzende Schraube bei lateralen epiphysären Frakturen gefährdet also nicht die Prognose und wird von v. Laer und Marzi als die adäquate Therapie vorgeschlagen (57, 66). Dieser Auffassung ist auch Altermatt in seiner Veröffentlichung und befürwortet kreuzendes Osteosynthesematerial zur Stabilisierung dislozierter Übergangsfrakturen entsprechend den Kraftlinien, d.h. eine Verschraubung der Epiphyse von anterolateral nach posteromedial sowie der Metaphyse von anterior nach posterior (2).

Tatsächlich konnte anhand des vorliegenden Patientenkollektivs dieser Studie bei 30 % der operierten Patienten (n=9) nachgewiesen werden, dass einige Kinder mit Twoplane- als auch Triplane-Frakturen mit fugenkreuzendem Osteosynthesematerial versorgt wurden, ohne dass es klinisch oder radiologisch zu Wachstumsstörungen oder Fugenveränderungen gekommen war, obwohl die Frakturspalten neben der lateralen Lage (immer Tillaux-Fraktur) auch zentral und medial lagen: Meist jedoch war das epiphysäre laterale Fragment im Sinne einer juvenilen Tillaux-Fraktur an der Syndesmose herausgesprengt. Bei zwei Patientinnen mit Twoplane-Fraktur lag der Bruchspalt zentral in der Hauptbelastungszone der Epiphyse. Obwohl bei beiden Mädchen eine fugenkreuzende Spongiosaschraube von lateral eingebracht worden war, kam es nicht zu einer dauerhaften Fugenläsion mit konsekutivem vorzeitigen Verschluss.

Diese Ergebnisse zusammen mit den Angaben anderer Autoren aus der Literatur lassen vermuten, dass Wachstumsstörungen im Falle dislozierter, sogenannter juveniler Tillaux-Frakturen nach Osteosynthese praktisch nie auftreten. Außerdem konnte zusätzlich im Falle medial oder zentral liegender epiphysärer Bruchspalten nachgewiesen werden, dass die bisher angenommene Vulnerabilität der Wachstumsfuge einer durch Drähte oder Schrauben iatrogen zugeführten Verletzung standhält und bleibende Schäden nicht zu erwarten sind. Das Einbringen von Kirschner-Drähten ist allerdings selten mit Komplikationen assoziiert, es sei denn, dass ein mehrfaches Anbohren die Vitalität der Fuge gefährdet.

IV.1.14 Wahl des operativen Zugangs

Der Zugang sollte sich nach der Frakturanatomie richten; dennoch unterscheiden sich die Autoren vielfach in diesem Aspekt: In den Studien von Ertl et al. und Lynn wurden zum Beispiel bei der Osteosynthese von Triplane-Frakturen für die Fixierung des metaphysären Volkmann-Fragments ein posteriorer Zugang gewählt (26, 60), in der vorliegenden Studie allerdings stets eine anteriore Schnittführung. Zahlreiche andere Autoren bevorzugen für die operative Versorgung der Übergangsfrakturen mit lateral liegendem Bruchspalt in der Epiphyse meist einen anterolateralen Zugang, über den ebenfalls eine Schraube zur Reposition des metaphysären Fragmentes positioniert werden kann (2, 23, 24, 25, 44, 48, 55, 68). Gegebenenfalls wird in Abhängigkeit des epiphysären Bruchverlaufs die von anterior eingebrachte Schraube nach posteromedial geführt. Für weiter medial gelegene Epiphysenfragmente beschrieben El-Karef et al. demzufolge den anteromedialen Zugang (25). Ferner empfahl Kärrholm einen medialen Zugang auch für Fälle, in denen die exakte Frakturanatomie nicht zu eruieren ist, und um in den Frakturspalt eingeschlagenes Periost zu entfernen (44).
Grundsätzlich werden metaphysäre Fragmente bei Triplane-Frakturen durch einen anterioren Zugang mit einer nach posterior verlaufenden Schraube fixiert und der Frakturbereich komprimiert (2, 48, 57, 66). Dies kann über eine Stichinzision erfolgen, welche erweitert werden kann, sollte ein Repositionshindernis vorliegen und eine offene Reposition erforderlich werden.

In dem operierten Kollektiv dieser Studie wurde der in der Literatur am häufigsten beschriebene übliche Zugang gewählt, um dislozierte Fragmente zu fixieren: Hierbei war die Schraubenführung entweder von medial oder lateral bei Patienten mit Twoplane-Fraktur bzw. von anterior nach posterior, um in Triplane-Frakturen das metaphysäre „hintere Volkmann“-Fragment zu fixieren. Bei einem lateralen bzw. anterioren Zugang ist im Rahmen der Schnittführung darauf zu achten, den Nervus peronaeus superficialis zu schonen. Bezüglich der Reihenfolge der Osteosynthese dislozierter Triplane-Frakturen wird empfohlen, zuerst die Fixation des metaphysären Fragments durchzuführen, um das Volkmann Fragment zu „sichern“, bevor das epiphysäre Fragment mittels Schraube stabilisiert wird (57, 66).

IV.1.15 Zeitpunkt und Durchführung der Metallentfernung

Regelmäßige Röntgenkontrollen dokumentieren im weiteren Verlauf den zunehmenden Einbau der Fragmente und somit die Konsolidierung. Der vorgeschlagene Zeitpunkt der Metallentfernung liegt nach Meinung von v. Laer bei acht Wochen postoperativ, wenn das Sprunggelenk klinisch frei beweglich, radiologisch eine kräftige Kallusbildung und Konsolidierung nachweisbar und somit das Sprunggelenk voll belastbar ist (53, 57). Cass und Peterson entfernten Osteosynthesematerial bereits nach vier Wochen unter lokaler Betäubung (8), Kling nach sechs Wochen bei Tillaux-Frakturen (49). Die Entfernung unter Lokalnarkose wird auch von v. Laer beschrieben (57), gilt allerdings nur für einzelne Schrauben, die beispielsweise am Innenknöchel oberflächlich liegen: Hier wird zumeist die ehemalige Inzisionsnarbe ausgeschnitten oder zumindest verlängert, um das Material zugänglich zu machen. Stefanich berichtete über fünf Patienten mit juveniler Tillaux-Fraktur (86); vier dieser Frakturen wurden offen reponiert und entweder mit Schrauben oder in einem Fall mit einem Kirschner-Draht osteosynthetisch versorgt. In drei dieser Fälle wurde das Osteosynthesematerial belassen, in einem Fall nach vier Monaten entfernt. Bei der Nachuntersuchung neun Jahre nach dem Unfall gab der Patient mit belassenem Kirschner-Draht Spannungsgefühl über dem Implantat ohne weitere Probleme an. Zwei andere Patienten mit belassenen Spongiosaschrauben waren durchschnittlich zwei Jahre nach Osteosynthese beschwerdefrei und das Sprunggelenk voll belastbar.

Der durchschnittliche Gesamtzeitraum der Metallentfernung lag in dieser vorliegenden Studie mit 18,5 Wochen deutlich höher als von anderen Autoren vorgeschlagen. In Anbetracht der beiden genannten Fälle zweier Patienten mit Metallentfernung nach 36 bzw. 83 Wochen – einerseits beruflich begründet, andererseits durch eine zusätzliche komplizierte Begleitfraktur bedingt – wird dieses Ergebnis verständlicher. Bleiben diese beide Patienten unberücksichtigt, so reduziert sich die Gesamtzeit der Metallentfernung nach Unfallereignis auf durchschnittlich 15,9 Wochen. Es gab jedoch keine signifikanten Unterschiede in der unterschiedlichen Länge der Zeiträume der einzelnen Frakturtypen. Ferner wurde das Osteosynthesematerial aller Patienten aus der Studie unter Allgemeinnarkose entfernt. Sieben Patienten wurden ambulant behandelt, 23 unterzogen sich der Materialentfernung unter stationären Bedingungen mit einer durchschnittlichen Verweildauer von drei Tagen.

Der operative Aufwand einer Metallentfernung und das hiermit verbundene Weichteiltrauma sind nicht zu unterschätzen. In aller Regel wird empfohlen, Osteosynthesematerial in Vollnarkose zu entfernen, da dieses in der Tiefe des Weichteilmantels liegt und entsprechende Strukturen wie Sehnen, Gefäße und Nerven dargestellt werden müssen, um

an Schraubenköpfe und Unterlegscheiben effektiv heranzukommen. Des Weiteren wird gelegentlich eine radiologische Darstellung des Osteosynthesematerials unter Bildverstärker erforderlich. Dies gilt insbesondere für metaphysäre Schrauben der Triplane-Frakturen, welche von anterior in den Knochen eingebracht worden sind. In der Literatur finden sich zum Aspekt operativer Vorgehensweisen der Metallentfernung mit unterschiedlichen Narkoseverfahren bei Übergangsfrakturen selten konkrete Hinweise oder Vorschläge.

IV.1.16 Dauer der Ruhigstellung und Entlastung des Beins

Kling schlägt bei konservativer Versorgung mit Immobilisation im Oberschenkelgips die Ruhigstellung für drei Wochen ohne Belastung vor, danach Belastung im Gehgips für weitere drei Wochen (49). Dies gilt für Epiphysenfrakturen wie Salter/Harris-Frakturen Typ II. Derselben Meinung sind Dias und Giegerich bezüglich der konservativen Therapie der nicht-dislozierten Twoplane-Frakturen (23). Offen reponierte und osteosynthetisierte Tillaux-Frakturen werden nach Empfehlung von Kling im Unterschenkelgips für insgesamt sechs Wochen immobilisiert, wobei in den letzten drei Wochen die Patienten schmerzadaptiert belasten dürfen (49). Anschließend sollte das Osteosynthesematerial entfernt werden. Operierte Triplane-Frakturen werden bei diesem Autor im Oberschenkelgips für drei Wochen unter Entlastung ruhig gestellt, danach folgt die Belastung im Unterschenkelgehgips für weitere drei Wochen sowie im Anschluss die Metallentfernung. Triplane-Frakturen ohne Osteosynthese belässt Kling im Oberschenkelgips für vier Wochen unter Entlastung, dann folgt die Anlage eines Unterschenkelgipses für zwei bis drei Wochen. Dias und Giegerich versorgten nicht-dislozierte Triplane-Frakturen mit einem Oberschenkelgips in Innenrotationsstellung für sechs Wochen, machten aber keine Empfehlung bezüglich einer Immobilisation von osteosynthetisierten Triplane-Frakturen (23). V. Laer empfiehlt generell eine Ruhigstellung bzw. Entlastung für fünf Wochen und macht das weitere Vorgehen von der radiologisch kontrollierten Konsolidation abhängig (57). Die Länge der Gipsruhigstellung mit Entlastung bei konservativer Therapie liegt nach den Erfahrungswerten verschiedener Autoren im Allgemeinen bei vier bis sechs Wochen (25, 68, 72).

Die durchschnittliche Entlastung des Sprunggelenks im Unterschenkelgips anhand der Daten aller Patienten in dieser Studie war mit insgesamt 6,1 Wochen somit nur unwesentlich länger als die Ergebnisse anderer Autoren. Bezüglich der rein konservativ behandelten Kinder war die Ruhigstellung mit 6,4 Wochen im Mittel deutlich länger als gemäß der

Angaben in der Literatur. Die Ruhigstellung im Gipsverband bei den operierten Kindern in dieser Studie lag durchschnittlich bei fünf Wochen; vereinzelt wurden dorsale Unterschenkelgipsschienen nach offener Reposition und Osteosynthese nur für die Dauer einer Woche postoperativ zum Schutz des Wundbereichs angelegt.

Grundsätzlich ist die Dauer der Immobilisation und Entlastung durch Ruhigstellung im Gips von mehreren Faktoren abhängig. Zunächst sind Frakturart mit -dehiszenz und Dislokationsgefahr Kriterien, anfangs konservativ behandelte Übergangsfrakturen engmaschig zu beobachten und gegebenenfalls kurzfristige radiologische Verlaufskontrollen durchzuführen. Dies kann für eine Therapieänderung entscheidend sein. Zunehmende schmerzadaptierte Belastung unter Zuhilfenahme von Unterarmgehstützen und spätere Vollbelastung im Unterschenkelcast sind ferner von der Konsolidierung und Kallusbildung im Röntgenbild abhängig. Schließlich stellt die Osteosynthese ebenfalls ein Aspekt in der Dauer der Ruhigstellung dar und hat Einfluss auf den Beginn der Teil- bzw. Vollbelastung einer ehemals verletzten Extremität.

IV.1.17 Postoperative Komplikationen

Berichte bezüglich postoperativer Komplikationen fanden sich nicht in der Literatur. Bei der Recherche der Unterlagen dieses Studienkollektivs gab es insgesamt zehn Fälle mit acht behandlungswürdigen Komplikationen: In einem Fall wurde eine vorzeitige Metallentfernung durchgeführt, als im Rahmen einer Diabetes-Grunderkrankung eine Osteomyelitis mit Weichteilabszess elf Wochen postoperativ als Ausdruck einer Implantatinfektion auftrat. In einem zweiten Fall kam es postoperativ zu einem ausgeprägten Hämatom im Wundbereich, welches eine Wundrevision erforderlich machte und ohne weitere klinische Folgen blieb. Komplikationen wie sekundär eingetretene Dislokation hatten bei weiteren zwei Patienten nach konservativ begonnenem Therapieschema einen operativen Eingriff und somit ein Verfahrenswechsel zur Folge. Demgegenüber standen zwei Kinder aus Graz mit derselben Problematik: Hier wurde jedoch die konservative Vorgehensweise fortgesetzt. Kurzfristige Nachuntersuchungen nach dem Unfall zeigten in keinem Fall klinische oder radiologische pathologische Besonderheiten. Bei vier weiteren Patienten wurden Wundnekrosen, Spannungsblasen bzw. eine Wundnahtdehiszenz und Drucknekrose der Haut am Oberrand des Unterschenkelgipses entsprechend lokal behandelt und heilten folgenlos ab.
Insgesamt erscheint die Komplikationsrate mit 20 % relativ hoch, blieb jedoch auf die eigentliche Konsolidierung der Frakturen und das hiermit verbundene langfristige Ergebnis

ohne jede Bedeutung; bezieht man die eingetretenen Komplikationen lediglich auf die tatsächlich operierten Kinder, so reduziert sich dieser Wert auf 10 %.

IV.2 Ergebnisse der Nachuntersuchung

IV.2.1 Patientenkollektiv und Nachuntersuchungszeitraum

Der Nachuntersuchungszeitraum der vorliegenden Arbeit war im Vergleich zu den meisten bisherigen Publikationen mit durchschnittlich 7,4 Jahren bei einem Range von 2-24 Jahren deutlich länger und umfasste mit 25 Twoplane- und 25 Triplane-Frakturen ein sehr umfangreiches Patientenkollektiv. Eine annähernd vergleichbare Kollektivgröße sowie Länge des Nachuntersuchungszeitraums nach dem Unfallereignis beschreiben nur Landin und seine Mitarbeiter in ihrer Veröffentlichung (58). Sie untersuchten insgesamt 15 Twoplane- und 26 Triplane-Frakturen klinisch und radiologisch nach durchschnittlich neun Jahren. Alle übrigen Autoren unterschieden sich bezüglich der Methodik von dieser Studie entweder in einer deutlich geringeren Patientenanzahl und/oder erheblich kürzeren Nachuntersuchungszeit. Caterini et al. beschrieben epiphysäre Frakturen und grenzten – wie viele andere Autoren auch – Salter/Harris Typ IV-Frakturen nicht von Übergangsfrakturen ab, obwohl sie in ihrer Zusammenfassung „juvenile Tillaux-Frakturen“ erwähnten (9).
Außer Beck und Engler (4) publizierten zahlreiche Autoren, die Studien über Epiphysenfrakturen vor 1978 veröffentlichten, ihre Ergebnisse ausschließlich bezüglich Salter/Harris-Frakturen ohne spezielle Hinweise auf darin enthaltende Übergangsfrakturen, so dass ein objektiver Vergleich mit dieser vorliegenden Studie erschwert ist. Dieser Aspekt erklärt sich dadurch, dass anfangs die Übergangsfrakturen zu den typischen Salter/Harris-Frakturen des heranwachsenden Kindes hinzugezählt wurden und keine eigene Entität darstellten.

Die nachfolgende Übersicht der Publikationen, welche nach abnehmender Anzahl der Patienten sortiert ist, beschreibt die tatsächlich klinisch und weitgehend radiologisch nachuntersuchten Übergangsfrakturen der einzelnen Autoren.

Autor	Erscheinungsjahr	Patientenzahl/Frakturart		Ø Nachuntersuchungszeitraum
Landin et al. (58)	1986	n=41	(15 Twoplane, 26 Triplane)	9,1 Jahre
Rapariz et al. (77)	1996	n=35	(Triplane)	5,3 Jahre
v. Laer (55)	1985	n=32	(14 Twoplane, 18 Triplane)	3,5 Jahre
Ertl et al. (26)	1988	n=23	(Triplane)	2 Jahre
			davon 15 Triplane	6,1 Jahre
El-Karef et al. (25)	2000	n=21	(Triplane)	2,3 Jahre
Kärrholm (44)	1997	n=21	(Triplane)	4,3 Jahre
Spiegel et al. (85)	1978	n=21	(6 Twoplane, 15 Triplane)	2,9 Jahre
Dias/Giegerich (23)	1983	n=17	(9 Twoplane, 8 Triplane)	2,5 Jahre
Beck/Engler (4)	1968	n=14	(2 Twoplane, 12 Triplane)	3 Jahre
Wicky/Stauffer (97)	1982	n=13	(4 Twoplane, 9 Triplane)	5,6 Jahre
Cass/Peterson (8)	1983	n=13	(Triplane)	3,3 Jahre
Clement/Worlock (14)	1987	n=13	(Triplane)	1,5 Jahre
Cooperman et al. (17)	1978	n=12	(Triplane)	2,2 Jahre
Peiró et al. (72)	1981	n=6	(Triplane)	3,1 Jahre
Stefanich/Lozman (86)	1986	n=5	(Twoplane)	5,4 Jahre

IV.2.2 Wachstumsstörungen

Bei der Recherche der Literatur fanden sich zahlreiche Publikationen, die sich mit Komplikationen bei Gelenkbrüchen insbesondere im Wachstumsalter vor allem bei Salter/Harris-Frakturen auseinandersetzen. Manche Autoren unterteilen hier sogenannte „Low- und High-Risk Groups“ (2, 85): Zu der Gruppe mit geringem Risiko gehören Salter/Harris Typ I, III und IV-Frakturen mit Bruchspaltdehiszenz bis zu 2 mm, während Übergangsfrakturen und dislozierte Salter/Harris-Frakturen vom Typ III und IV mit einem Frakturspalt über 2 mm in die Gruppe mit hohem Risiko für mögliche Wachstumsstörungen eingeordnet wurden. Als allgemein bekannte Komplikationen im Sinne von Wachstumsstörungen bei Frakturen im Gelenkbereich gelten nach wie vor folgende Kriterien (8, 30, 45, 85, 65):

1) Vorzeitiger partieller oder kompletter Wachstumsfugenschluss
2) Beinlängenverkürzung von mehr als 1 cm
3) Gelenkinkongruenz mit späterer Arthrosegefahr
4) Fehlstellung des Gelenks (Varus/Valgus, Ante-/Rekurvation)

Bereits Aitken fand 1936 anhand seiner Untersuchungen eine hohe Inzidenz für Wachstumsstörungen durch vorzeitigen Fugenschluss insbesondere bei Aitken-II und -III Fraktu-

ren (vergleichbar mit Salter/Harris -III und - IV Fraktur) (1). Ursächlich waren aus seiner Sicht die Kompression oder Gefäßverletzung der Fuge. Andere Autoren bestätigten dies (6, 19). Blount und McFarland befürworteten die konservative Behandlung und in Fällen eines vorzeitigen Fugenschlusses die Epiphyseodese und/oder Korrekturosteotomie (6, 67). Wie v. Laer formulierte, ist das Erscheinen einer Nekrosebrücke der Wachstumsfuge und somit einer zu frühen partiellen Verknöcherung nicht vorhersehbar und durch die primäre Therapie nicht zu verhindern (52). Gefäßschaden-induzierte bzw. iatrogen bedingte Fugenläsionen entziehen sich somit einer Therapie und bedürfen deshalb bis über den Abschluss des Wachstums hinaus klinischer und ggf. radiologischer Verlaufskontrollen (31, 57). Entsprechende Nekrosebrücken („Bone-Bridging“) fanden auch Salter und Harris in ihren tierexperimentellen Studien (80): Sie stellten dabei fest, dass mit zunehmender Größe des Frakturspalts auch die Knochenbrücke ausgeprägter war. Als Schlussfolgerung empfahlen sie die exakte Reposition, um diese Komplikation des vorzeitigen Fugenschlusses zu vermeiden. Cooperman et al. fanden in ihrer retrospektiven Untersuchung unter 237 Kindern mit Epiphysenfrakturen 15 Triplane-Frakturen (= 6 %) (17). 13 Patienten waren konservativ mittels geschlossener Reposition oder Anlage eines Gipses versorgt worden, zwei Frakturen wurden offen reponiert und osteosynthetisch stabilisiert. Bei drei von zwölf dieser Patienten konnte radiologisch ein vorzeitiger Wachstumsfugenschluss mit konsekutiver Beinverkürzung nachgewiesen werden, die jedoch weniger als 5 mm betrug. Ein vierter Patient hatte vier Wochen nach dem Trauma eine konventionell radiologisch bzw. computertomographisch nachgewiesene Gelenkinkongruenz sowie einen Außenrotationsfehler (10°). Die persistierende Gelenkstufe aufgrund inadäquater Reposition führte zu einer deutlichen Bewegungseinschränkung und verursachte Schmerzen. Seine Fraktur war initial fälschlicherweise als Salter/Harris-Fraktur Typ II diagnostiziert worden. Die Autoren unterschieden zum Zeitpunkt ihrer Studie noch nicht zwischen Triplane-I oder -II Frakturen. Sie bezeichneten ihren Frakturtyp als Kombination aus Salter/Harris-Fraktur Typ II und III aufgrund der Betrachtung der a.-p. Ansicht des Röntgenbilds mit Nachweis des Volkmann Dreiecks in der lateralen Ansicht. Nach heutigem Verständnis handelte es sich in ihrer Veröffentlichung somit vermutlich um Triplane-I Frakturen, da sich in der seitlichen Ansicht der metaphysäre Frakturspalt nicht in die Epiphyse fortsetzte. Weiterhin blieb auch unerwähnt, ob die beschriebenen Spätfolgen bei den konservativ oder osteosynthetisch behandelten Patienten auftraten. Zwei weitere Fälle mit diskreter, persistierender Gelenkinkongruenz von ca. 1-1,5 mm nach Reposition von insgesamt sechs Patienten wurden von Peiró et al. 1981 geschildert und in einem Fall anhand postoperativer Röntgenbilder dargestellt; diese Patienten blieben in der Nachuntersuchung sechs Jahre nach Unfall klinisch beschwerdefrei (72). Ertl et al. führten eine umfangreiche Studie mit kurzfristiger Untersuchung von 23 Triplane-Frakturen nach

durchschnittlich zwei Jahren, sowie einer Langzeitnachuntersuchung von 15 dieser 23 Triplane-Frakturen nach durchschnittlich sechs Jahren durch (26). In der Gruppe der kurzfristigen Ergebnisse waren 20 von 23 Patienten beschwerdefrei. Ein Fall aus der Gruppe der Langzeitergebnisse wurde beschrieben, der eindrücklich darstellt, dass im Rahmen einer operativen Behandlung schwerwiegende Spätkomplikationen auftreten können: Eine Triplane-II Fraktur eines 12,3 Jahre alten Mädchens war bei einem 5 mm weitem Bruchspalt in der Epiphyse offen reponiert und mit einem von epi- nach metaphysär verlaufenden Steinmann-Pin versorgt worden. Der Bruchspalt war nach diesem Eingriff auf 2 mm reduziert worden. Sechs Jahre nach dem Unfall war radiologisch mittels CT eine persistierende 2 mm große Spalte in der Epiphyse nachweisbar; die Beweglichkeit des OSG mit 15° Defizit bei Dorsalflexion des Fußes war deutlich eingeschränkt, die Patientin hatte starke Schmerzen bei Belastung und humpelte. Möglicherweise verhinderte hier eingeschlagenes Periost die vollständige Konsolidierung.

IV.2.2.1 Beinlängendifferenz

In drei Fällen konnte mittels Brettchenmethode und Ausmessen der Beinlänge ein kürzeres kontralaterales Bein im Seitenvergleich nachgewiesen werden. Es handelte sich in einem Fall um eine Patientin mit dislozierter Twoplane-Fraktur rechts mit begleitender Innenknöchelfraktur; beide Frakturbereiche waren „wasserdicht“ mit einer Schraubenosteosynthese stabilisiert worden. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung berichtete sie von gelegentlichem Anschwellen des Innen- und Außenknöchels insbesondere nach längerem Sitzen. Das OSG war in allen Ebenen frei beweglich. Eine weitere Patientin erlitt eine dislozierte Triplane-I Fraktur mit zentralem epiphysären Bruchspalt; nach Schraubenosteosynthese und zeitgerechter Metallentfernung zeigte die radiologische Kontrolle während der Nachuntersuchung einen unauffälligen Befund. Bei intensiver Belastung wurden unspezifische Schmerzen in der rechten Hüfte und im rechten Kniegelenk angegeben; ein Beckenschiefstand bestand nicht. Der dritte Patient mit Beinlängendifferenz und konservativ behandelter, nicht-dislozierter Triplane-I Fraktur bei intramalleolären Bruchspalt gab Rückenschmerzen an, welche jedoch auf eine Hyperlordose der Brust- bzw. Lendenwirbelsäule zurückzuführen waren. Auch in diesem Fall zeigte die radiologische Kontrolle unauffällige knöcherne Gelenkverhältnisse. In allen genannten Fällen war die Verkürzung eines Beins nicht behandlungsbedürftig, da sie lediglich 1 cm betrug.
Gemäß Hasler ist eine Beinlängendifferenz im Wachstumsalter von 1 cm, im Erwachsenenalter bis 2 cm tolerabel (30). Darüber hinaus gehende Abweichungen sind wegen der Auswirkungen auf die Wirbelsäulenstatik mit eventueller Konsequenz einer Skoliose mit-

tels einfacher konservativer Maßnahmen z.B. mit einem Sohlenaufbau am Konfektionsschuh auszugleichen. V. Laer konnte bei 47 % der Patienten (n=15) eine Beinlängendifferenz feststellen, jedoch ohne klinische Signifikanz, da sie jeweils unter 1 cm betrug (55). Von diesen Patienten hatten sieben eine Verkürzung des betroffenen Beins, während bei acht Patienten eine Verlängerung nachgewiesen werden konnte. El-Karef et al. beschrieben bei 21 untersuchten Patienten folgende Veränderungen nach der Behandlung von Triplane-Frakturen (25): Zwei der Studienteilnehmer (10 %) hatten eine Beinverkürzung von weniger als 10 mm, in vergleichenden Röntgenaufnahmen beider Beine vor einem Stativ konnte eine Verkürzung von weniger als 5 mm bei weiteren drei Patienten nachgewiesen werden. In keinem der Fälle bestanden Beschwerden.

IV.2.2.2 Fehlstellungen (Achsabweichungen)

In der vorliegenden Studie wurde bis auf die laterale Gelenkspaltverschmälerung mit konsekutiver pathologischer Abweichung des Tibia-Talus-Winkels einer Patientin kein weiterer Fall einer Fehlstellung des oberen Sprunggelenks nach Therapie der Übergangsfraktur bekannt.

Wie einige Autoren bestätigen konnten, wurden in den meisten Publikationen über Übergangsfrakturen keine signifikanten Wachstumsstörungen, wie sie in manchen Fällen der reinen Epiphysenfrakturen bzw. -lösungen anzutreffen sind, festgestellt (8, 12, 53). Trotzdem berichten andere Autoren über vereinzelte Fälle von Fehlstellungen des oberen Sprunggelenks nach verheilten Übergangsfrakturen; eine signifikante Korrelation mit der Frakturart wird in aller Regel von diesen Autoren verneint. Jedoch wird im Allgemeinen empfohlen, entsprechende Langzeitkontrollen durchzuführen.

Beck und Engler veröffentlichten die Ergebnisse einer Nachuntersuchung an 38 Kindern von insgesamt 60 Patienten mit Epiphysenverletzungen am distalen Tibiaende (4). Hierunter galt insbesondere den Epiphysenfrakturen mit möglichen Wachstumsstörungen das besondere Interesse, zu denen auch „Übergangsfrakturen“ hinzugezählt wurden. Das durchschnittliche Alter der Patienten mit Übergangsfraktur lag bei 16,9 Jahren. In einem Fall eines Patienten beschrieben Beck und Engler bei der Nachuntersuchung eine radiologisch nachweisbare Valgusfehlstellung von ca. 10° elf Jahre nach konservativer Behandlung einer Triplane-I Fraktur sowie arthrotische Veränderungen des OSG. Der epiphysäre Bruchspalt war bei Unfall 4 mm weit gewesen. Bei der Nachuntersuchung war der Patient subjektiv beschwerdefrei. Zwölf Patienten wurden in der Studie von Cooperman et al. klinisch nachuntersucht (17); bei drei dieser Kinder (= 25 %) fand sich eine Außenrotationsfehlstellung des ehemals verletzten Sprunggelenks von 5-10°. Die bisher

größte Veröffentlichung mit der umfangreichsten Anzahl an Patienten legten Landin et al. vor und konnten nachweisen, dass weder in konservativ behandelten Fällen noch bei osteosynthetisierten Übergangsfrakturen Spätkomplikationen signifikant gehäuft, jedoch vereinzelt beobachtet werden (58). In einem Fall eines 16-jährigen Jungen mit erheblich dislozierter Triplane-Fraktur bei einer metaphysären Frakturspaltweite von 10 mm war eine geschlossene Reposition durchgeführt und die Dehiszenz lediglich auf 4 mm reduziert worden. Bei der vier Jahre später durchgeführten Kontrolle gab der Patient Schmerzen im OSG bei Belastung an, radiologisch wurde eine leichte Varusfehlstellung von 6° nachgewiesen. Bei einem weiteren Fall eines 13-jährigen Mädchens mit nicht-dislozierter Twoplane-Fraktur war es bei der Kontrolle zwölf Jahre später interessanterweise zu einer Verkürzung der Tibia um 17 mm im Seitenvergleich gekommen, zusätzlich bestand eine Valgusfehlstellung von 5°. Dennoch war diese Patientin symptomfrei geblieben. Die radiologische Kontrolle nach Abschluss des Wachstumsalters ergab in zwei weiteren Fällen bei Landin et al. eine Antekurvations- bzw. Rekurvationsfehlstellung des OSG von bis zu 10°, jedoch ohne assoziierte klinische Beschwerden. Als abschließende Vermutung führten diese Autoren an, dass vor allem schwere Unfälle mit ausgedehnter Gewalteinwirkung auf das OSG – wie sie zum Beispiel bei Verkehrsunfällen oder Stürzen aus größerer Höhe anzutreffen sind – erhebliche Verletzungen der Fuge und insbesondere der proliferativen Zone des Stratum germinativum mit entsprechenden Spätkomplikationen zur Folge haben könnten. Ihre Ergebnisse und insbesondere die Fälle mit nachgewiesenen Fehlstellungen von 5° und mehr bezeichneten Landin et al. als nicht signifikant. Wicky und Stauffer untersuchten neben typischen Aitken-Frakturen auch 13 Übergangsfrakturen, wobei sie Triplane-Frakturen von Übergangsfrakturen abgrenzten (97). Die Autoren bezeichneten in ihrer Studie juvenile Tillaux-Frakturen als Übergangsfrakturen. Als Spätkomplikationen fanden sie durchschnittlich 5,6 Jahre nach Unfall anhand radiologischer Verlaufskontrollen in beiden Ebenen Achsfehlstellungen mit Rekurvation des OSG von 10° und 13° in zwei Fällen (= 23 %) einer osteosynthetisierten Triplane-Fraktur und gleichzeitig eine Varusfehlstellung von 11° in einer dieser Triplane-Frakturen. Klinisch gab keiner der Patienten beeinträchtigenden Symptome an. El-Karef et al. beschrieben bei 10 % der Adoleszenten in ihrer Nachuntersuchung eine Varus-Fehlstellung bis 5°, bei 14 % eine Valgus-Fehlstellung bis 7°, drei Patienten hatten eine eingeschränkte Beweglichkeit im Sprunggelenk von bis zu 15° (25). Insgesamt bezeichneten die Patienten ihre Situation als gut und waren in ihrem alltäglichen Leben unbeeinträchtigt. Die Beispiele zeigen jedoch anschaulich, dass Fehlwachstum eine Konsequenz der Fugenläsion sein kann. In dieser prospektiven Evaluation von El-Karef und seinen Mitarbeitern war kein fugenkreuzendes Osteosynthesematerial verwendet worden; somit ist in ihrer Studie die nachgewiesene Achsfehlstellung am ehesten durch das Trauma in der Epiphysenfuge mit konse-

kutivem vorzeitigem Verschluss verursacht worden. Da die Ergebnisse jedoch einem sehr kurzfristigen Nachuntersuchungszeitraum zugrunde lagen, ist eine endgültige Aussage über langfristige Ergebnisse insbesondere seiner Patienten mit Fehlstellung der Sprunggelenksachse mit Vorbehalt zu bewerten – wie auch die Autoren selbstkritisch abschließend bemerkten. Außerdem blieb in ihrer Veröffentlichung offen, ob der Valgus- bzw. Varusfehlstellung eine mediale, zentrale oder laterale Epiphysenfugenschädigung zugrunde lag. Wie Kärrholm et al. anhand radiologischer stereophotogrammatischer Analysen nachweisen konnte, besteht bei Übergangsfrakturen aufgrund der Fugenläsion die theoretische Möglichkeit eines vorzeitigen Verschlusses (40). Dabei maßen sie das longitudinale Wachstum der distalen Tibia-Wachstumsfuge bei sechs Patienten mit intraartikulärer Triplane-Fraktur. Bei allen dieser Patienten konnte sie nachweisen, dass ein vorzeitiger Verschluss oder eine Wachstumsretardierung der Fuge eintrat und eine Verkürzung der betroffenen Extremität um 2,5 mm im Vergleich zur kontralateralen Seite die Folge war. Insgesamt ist dieses Ergebnis für die betroffenen Patienten jedoch ohne klinische Relevanz.

Die beschriebenen Achsfehlstellungen der genannten Autoren blieben für die Patienten in den genannten Studien mittelfristig ohne klinisch bedeutsame Konsequenz (25, 40, 58, 97). In allen Fällen wurden Fehlstellungen von weniger als 10° beschrieben. In welchen Fällen das Sprunggelenk in Varusdeformität und in anderen in Valgusfehlstellung konsolidiert, bleibt dennoch unklar. Am häufigsten werden in Publikationen Varusachsfehlstellungen beschrieben. Diese lassen sich am ehesten anhand des natürlichen Fugenschlusses erklären, da der mediale Fugenbereich meist bereits zum Unfallzeitpunkt verknöchert ist, während der laterale Bereich der Epiphysenfuge möglicherweise noch durch das Trauma oder auch durch kreuzendes Osteosynthesematerial zum weiteren Wachstum stimuliert wird. Andererseits ist auch ein Valgusfehlstellung denkbar, falls die mediale Fuge noch prämatur ist, und von lateral eingeführte Schrauben oder Drähte zum vorzeitigen Verschluss dieser Fuge führen bzw. fugenversorgende Blutgefäße zerstören. Nach Literaturrecherche ist deshalb nicht geklärt, welche Achsfehlstellung in welchem Fall und bei welcher Frakturart bzw. Therapie resultieren könnte. Es ist lediglich bekannt, dass ein signifikant gehäuftes Auftreten unwahrscheinlich ist und iatrogene Traumata (Osteosynthesen, Metallentfernungen) sowie wiederholte bzw. späte Repositionsmanöver als Risikofaktoren für partielle Fugenverschlüsse gelten müssen (31).

IV.2.2.3 Beweglichkeit des oberen Sprunggelenks

Je nach Autor reichte das langfristige oder auch kurz- und mittelfristige Behandlungsergebnis in den Studien der Literatur von hervorragend über befriedigend bis hin zu mittelmäßig. Diese Ergebnisse beruhten auf Beeinträchtigungen der Belastbarkeit und Beweglichkeit des Sprunggelenks unterschiedlicher Ausprägung, waren dies Komplikationen idiopathischer Natur oder Folge einer inadäquaten Therapie.

Eine der zuletzt größeren Nachuntersuchungsstudien mit 21 Patienten wurde 1997 von Kärrholm vorgestellt (44). In dieser waren außer einer Zusammenfassung aller bisher in der Literatur veröffentlichten Triplane-Frakturstudien die Langzeitergebnisse von ausschließlich Triplane-Frakturen bis zu zwölf Jahren nach Unfall anhand eines eigenen Patientenkollektivs analysiert worden. Dabei wurden Patienten in drei Gruppen je nach Ergebnis und Beschwerdesymptomatik eingeteilt (hervorragend – gut – mittelmäßig). In der Gruppe mit hervorragendem Ergebnis (n=13) hatten 14 % aller Patienten entweder eine leicht reduzierte subtalare Beweglichkeit, reduzierte OSG-Beweglichkeit von 15° oder Varusdeformität von 4° mit Beinlängenverkürzung von 5 mm. Aus der zweiten Gruppe (n=6) mit gutem Ergebnis wurde in vier Fällen (= 19 %) eine verminderte Sprunggelenkbeweglichkeit von 10-15° festgestellt, in einem Fall sogar bis zu 30° (= 5 %). Alle aus dieser Gruppe gaben minimale unspezifische Schmerzen an. In der letzten Gruppe mit lediglich mittelmäßigem Ergebnis (10 %, n=2) klagte ein Patient über intermittierende Schmerzen 9,5 Jahre nach dem Unfall; klinisch war die Beweglichkeit des OSG mit 35° deutlich reduziert, das betroffene Bein mit 1 cm verkürzt und eine Außenrotationsfehlstellung von 10° sowie Varusdeformität von 5° nachweisbar. In diesem Fall war die erheblich dislozierte Fraktur initial geschlossen reponiert, der Frakturspalt jedoch auf nur 3-4 mm reduziert worden. Der andere Patient mit dislozierter Triplane-Fraktur klagte über oft auftretende Schmerzen und hatte eine reduzierte Gelenkbeweglichkeit des OSG von 25°, Außenrotationsfehlstellung von 10° und eine leichte Gelenkinkongruenz im Röntgenbild. Insgesamt gaben dennoch alle Patienten unter anderem an, dass die ehemalige Verletzung bzw. momentane Beschwerdesymptomatik die Wahl des Berufes nicht beeinträchtigt habe.

Vier Patienten in der Studie von Rapariz et al. hatten eine eingeschränkte Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk (77). Insgesamt konnte sie jedoch bei keinem der Patienten eine Wachstumsstörung oder Fehlstellung nachweisen. Bezüglich der Beweglichkeit des OSG konnten wiederum Wicky und Stauffer eine Bewegungseinschränkung in 33 % der Triplane-Frakturen feststellen, wobei zweimal eine Dorsalextensionseinschränkung von 10° und einmal eine Plantarflexion von 10° gemessen wurde (97). Die Patienten waren dennoch klinisch ohne beeinträchtigende Beschwerden, so dass Bewegungseinschränkungen

ohne therapeutische Konsequenzen blieben. Die Autoren machten keine Angaben zur möglichen Ursache dieser Spätkomplikationen. Ertl et al. berichteten von zwei Patienten, deren 3 mm weiter epiphysärer Bruchspalt geschlossen reponiert worden war (26); eine Dehiszenz verblieb jedoch bei dem Ausgangswert, die andere wurde „wasserdicht“ reponiert. Alle drei Patienten hatten erhebliche Schmerzen bei längerer Belastung. Insgesamt konnten die Autoren nachweisen, dass in sieben von 15 Patienten (46 %) die kurzfristigen sehr guten Ergebnisse bei der späteren Langzeitnachuntersuchung relativiert werden mussten, da in sechs Fällen Schmerzen bei ausgiebiger Belastung angegeben wurden, und ein Patient in seiner OSG-Beweglichkeit eingeschränkt war.

In dem vorliegendem Patientenkollektiv lagen keine objektiven klinisch-pathologischen Untersuchungsbefunde vor: Alle Patienten hatten eine seitengleiche Beweglichkeit des Sprunggelenks und somit ein unauffälliges Gangbild mit der Möglichkeit einer normalen Belastung.

IV.2.3 Subjektive Beschwerden

Ergebnisse aus Publikationen der Literatur finden sich wie folgt: In einem Fall einer 11-jährigen Patientin mit Triplane-II Fraktur aus der Studie von Ertl et al. war der epiphysäre Bruchspalt nach geschlossener Reposition 3 mm weit geblieben (26). 1,5 Jahre nach dem Trauma klagte die Patientin über schmerzhaftes Anschwellen des Sprunggelenks bei längerer Belastung. Im CT war ein vorzeitiger anteriorer Fugenschluss erkennbar. Eine weitere Patientin war offen reponiert, osteosynthetisiert worden und gab bei der kurzfristigen Nachuntersuchung gelegentliches Anschwellen und Schmerzen im OSG an. Ähnliche Beschwerden wurden von Patienten aus Untersuchungen von Rang geschildert (76): Trotz radiologisch unauffällig verheilter Twoplane-Frakturen mit weit lateralem Epiphysenbruchspalt (juvenile Tillaux-Frakturen) klagten acht von 30 Patienten über Schmerzen und Bewegungseinschränkung im Sprunggelenk zwei Jahre nach Ende der Therapie. In den Untersuchungen von Landin et al. klagten insgesamt sieben von 41 Patienten (17 %) über unspezifische Schmerzen im OSG-Bereich bei längerer Belastung, sechs dieser Patienten waren konservativ behandelt worden (58). Nach Zusammenfassung der Ergebnisse aus acht von neun Studien (n=194) gelang es Kärrholm 1997 in seiner Publikation, eine allgemeine Aufstellung der Behandlungsergebnisse darzustellen (44): Etwa 80 % aller Patienten mit behandelter Triplane-Fraktur zeigten in der Nachuntersuchung ein hervorragendes Ergebnis, 16 % hatten kleinere Beschwerden, und immerhin in 4 % der Fälle wurden subjektive erhebliche Probleme angegeben verbunden mit objektiv nachweisbaren degenera-

tiven Veränderungen oder Fehlstellungen des Gelenks. Weiterhin deutete Kärrholm an, dass es nach Analyse der Daten von 95 Patienten im Wesentlichen abhängig von der Art der Therapie war, ob die Ergebnisse hervorragend oder eben „nur“ befriedigend waren. Alle Patienten dieser Studie waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bezüglich der objektiven Untersuchung funktionell beschwerdefrei. Es konnten keine pathologischen Befunde bezüglich der Beweglichkeit des OSG bzw. des Gangbilds erhoben werden. Dennoch kommt der Autor nach Auswertung der Daten von 153 Patienten zu der Einschätzung, dass es keinen definitiven bestimmenden Faktor wie Therapieart, Alter, Geschlecht oder epiphysäre Bruchspaltlage gebe, der zur Entwicklung von Langzeit-Komplikationen führen würde.

In dieser vorliegenden Studie gaben mit 23 Patienten (46 %) bemerkenswert viele Jugendliche subjektive Beschwerden an, die unterschiedlicher Natur waren. Entsprechende radiologische Korrelate oder sonstige Auffälligkeiten wurden nicht nachgewiesen. Schwellneigung des Sprunggelenks bei längerer Belastung waren je nach Ausprägung beeinträchtigende, ernstzunehmende Beschwerden in fünf Fällen. Nicht signifikant, jedoch numerisch gehäuft war das Auftreten rezidivierender Distorsionen des Sprunggelenks (n=11, 22 %), sowie eine Außenbandruptur bei einem Patienten. Hier könnte eine vermehrte Bandinstabilität nach Abheilung der Übergangsfraktur die Ursache sein. Missempfindungen wie Hyp- bzw. Parästhesie im Narbenbereich wurde von zehn Patienten berichtet (33 % der operierten Kinder); zweimal wurden Narbenschmerzen genannt, diese waren jedoch nicht signifikant. Immerhin 14 % (sieben Patienten) gaben Wetterfühligkeit verbunden mit Schmerzen im Sprunggelenk an. Dieselbe Anzahl an Patienten schilderten vorübergehende Schmerzen in der Hüfte oder Kniegelenk derselben Seite. Selten wurden Beschwerden wie gelegentliches Knacken im Gelenk angegeben (n=2). Des Weiteren gab es keine Unterschiede im Langzeitergebnis, ob Patienten dieser Studie operativ oder konservativ behandelt wurden. Insgesamt waren 27 Patienten (54 %) subjektiv ohne Beschwerden. Sofern Patienten aktiv Sport ausübten, konnte dieser beschwerdefrei durchgeführt werden.

IV.2.4 Radiologische Zeichen der Arthrose

In zwei Fällen dieser vorliegenden Studie konnte eine laterale Gelenkspaltverschmälerung als Zeichen einer präarthrotischen Veränderung gefunden werden. Es handelte sich einerseits um eine Triplane-Fraktur, welche operativ mit zwei Schrauben versorgt worden war; bei dieser Patientin wurde der Befund knapp vier Jahre nach Unfall erhoben. Im

zweiten Fall einer konservativ behandelten nicht-dislozierten Triplane-Fraktur zeigte sich 5,3 Jahre nach Unfall eine klinisch kaum nachweisbare Knickfußstellung mit radiologisch sichtbar verändertem Talus-Tibia-Winkel von 6.5° im Sinne einer Valgusfehlstellung. Beide Frakturen heilten ohne klinische Beschwerden folgenlos aus, so dass beide Patientinnen in keiner Weise in ihrer Beweglichkeit oder Belastung des Sprunggelenks beeinträchtigt waren. In einem weiteren Fall wurde ein 15-jähriger Junge mit intramalleollärer Twoplane-Fraktur und einer Frakturdehiszenz von weniger als 2 mm konservativ behandelt. Interessanterweise wurden 2,5 Jahre nach dem Unfall in der radiologischen Nachuntersuchung bereits Osteophyten als Hinweise für arthrotische Randzacken nachgewiesen. Klinisch war auch dieser Patient beschwerdefrei. Es bleibt abzuwarten, ob dieser Patient zu einem späteren Nachuntersuchungszeitpunkt symptomfrei bleibt.

Vergleichbare radiologische Veränderungen im Sinne einer degenerativen Arthrose konnten Rapariz et al. bei zwei Patienten (5 %) mit Triplane-Fraktur aufzeigen, ohne dass die Patienten Beschwerden hatten (77). Diese Patienten hatten präoperativ einen erheblich dehiszenten Bruchspalt (7 bzw. 5 mm), der postoperativ in beiden Fällen auf 3 mm reduziert werden konnte. Die Röntgenkontrolle nach sechs und neun Jahren zeigte trotz klinischer Beschwerdefreiheit eine erhebliche Gelenkspaltverschmälerung mit subchondraler Sklerose sowie Darstellung von Osteophyten. Eine genauere Beschreibung, ob die erwähnten Komplikationen bei operierten oder konservativ behandelten Patienten auftraten, ist aus ihrer Studie allerdings nicht ersichtlich. Die Autoren gaben aufgrund der Ergebnisse die Empfehlung, Langzeitkontrollen bei derartigen Frakturen mehr als fünf Jahre nach dem Unfall durchzuführen, um derartige degenerative Gelenkveränderungen zu erkennen. Caterini et al. konnten in einer Langzeitstudie von 68 nachuntersuchten OSG-Frakturen mit einem durchschnittlichen „Follow-up“ von 27 Jahren nach Trauma bei 12 % der Patienten (n=8) eine Osteoarthritis radiologisch nachweisen (9); bei sieben dieser Patienten handelte es sich primär um eine Salter/Harris Fraktur Typ III und IV. Die Autoren erwähnten zwar, dass Patienten mit „juveniler Tillaux-Fraktur“ in ihrer Nachuntersuchung berücksichtigt wurden; dennoch blieb unklar, ob bei diesen die genannte Komplikation auftrat. V. Laer fand dagegen in seinen umfangreichen Ausführungen über die Klassifikation und Therapie der Übergangsfrakturen weder klinisch Hinweise für Beschwerden noch radiologisch degenerative arthritische Veränderungen bei Kontrollen von 32 Patienten, welche durchschnittlich 3,5 Jahre nach dem Unfall durchgeführt worden waren (55). Frühzeitige radiologische pathologische Befunde im Sinne degenerativer Veränderungen wurden bei zwei Patienten (= 13 %) aus der Studie von Ertl et al. über Triplane-Frakturen festgestellt; sie blieben zunächst ohne subjektive Beschwerden, standen jedoch zum Zeitpunkt der langfristigen Nachuntersuchung nicht mehr zur Verfügung (26).

Die Langzeitergebnisse ergaben radiologisch nachweisbare, degenerative Veränderungen bei weiteren drei der Patienten; dies betraf zwei Patienten mit offener Reposition und Fixation, deren Frakturspalte auf 2 mm reduziert werden konnten, sowie einen anderen Patienten, dessen Bruchdehiszenz im Bereich der Epiphyse nach geschlossener Reposition bei 3 mm verblieb. Alle drei Patienten gaben Schmerzen bei längerer Belastung oder Einschränkungen im Alltag an. Typische, radiologisch verifizierte Zeichen einer Arthrose wurde von Landin et al. in ihrer Studie nicht gefunden, obwohl ein umfangreiches Kollektiv nachuntersucht worden war; dies galt ebenso für die Nachuntersuchungen von El-Karef et al. (25, 58).

Diese Ergebnisse zeigen unterschiedliche Fallzahlen von Patienten mit degenerativen Veränderungen nach einer Übergangsfraktur unabhängig von Fraktur- und Therapieart. Auch waren entsprechende Arthrosezeichen aus Fällen der Literatur sowie bei einem Fall dieser Studie bereits wenige Jahre nach Unfall radiologisch nachweisbar und deshalb nicht ausschließlich eine posttraumatische, typische Spätkomplikation. Meistens konnten diese pathologischen Befunde mit oder ohne klinische Beschwerden bei Frakturen nachgewiesen werden, in denen eine Spaltdehiszenz im Sinne einer Dislokation im Bereich der Epiphyse verblieben war.
Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass entsprechende degenerative Veränderungen nicht vorhersehbar sind und deshalb eine Gesetzmäßigkeit nicht zu erkennen ist. Konsequenterweise sollten deshalb auch Patienten mit Übergangsfrakturen im Rahmen der Behandlung frühzeitig über die Möglichkeit derartiger Spätfolgen informiert und ausreichend aufgeklärt werden.

IV.2.5 Radiologische Zufallsbefunde

Bezüglich radiologischer Zufallsbefunde im Rahmen der Nachuntersuchungen von Übergangsfrakturen gibt es keine vergleichbaren Angaben in der Literatur. Bei der radiologischen Nachuntersuchung der vorliegenden Studie wurde in einem Fall anhand der röntgenologischen Verlaufskontrollen eine knöcherne Auftreibung der distalen lateralen Tibiakortikalis festgestellt. Diese lag zum Zeitpunkt des Unfalls im April 1998 sowie unmittelbar postoperativ nach Schraubenosteosynthese noch nicht vor. Eine radiologische Verlaufskontrolle vier Monate nach dem Unfall im August 1998 zeigte bereits eine röntgendichte Struktur im Bereich der fibulo-tibialen Syndesmose/Membrana interossea des sprunggelenknahen distalen Unterschenkels. Selbst drei Jahre nach Unfall kommt diese Struktur an der distalen lateralen Tibiakante in der Nachuntersuchung radiologisch zur Darstellung,

so dass von einer knöchernen Ausheilung der gerissenen fibulo-tibialen Syndesmose bzw. Membrana interossea auszugehen ist wie sie beispielsweise bei der Weber-C-Fraktur des Sprunggelenks des Erwachsenen gelegentlich zu beobachten ist. Eine klinische Relevanz im Sinne einer Bewegungseinschränkung oder sonstigen Beschwerden bestand in diesem Fall jedoch nicht. Ferner wurden in einem anderen Fall Zeichen der Entkalkung der knöchernen Strukturen nachgewiesen sowie bei einem dritten Patienten ein nicht-ossifizierendes Fibrom der distalen Tibiakortikalis. Auch diese Patienten gaben keine Beschwerden an.

V. Zusammenfassung

Gelenknahe Knochenbrüche werden im Wachstumsalter gemäß der Frakturklassifikation nach Salter/Harris oder Aitken klassifiziert und behandelt. Eine besondere Art der epiphysären Gelenkfraktur der distalen Tibia stellt die Übergangsfraktur als eigene Entität dar, die bei Adoleszenten im Alter von zehn bis 17 Jahren auftritt. Sogenannte Twoplane-Frakturen bei rein epiphysärer Beteiligung werden von Triplane-Frakturen mit zusätzlich metaphysärer Tibiaschaftbeteiligung unterschieden. Ihr komplexer Bruchverlauf beruht auf einen bereits eingesetzten Verknöcherungsprozess der Epiphysenfuge zum Zeitpunkt des Traumas und ist aus diesem Grund von den typischen Salter/Harris-Gelenkfrakturen des kindlichen Alters, deren Wachstumsfugen noch vollständig offen sind, unter Berücksichtigung der Therapie und eventueller Komplikationen abzugrenzen. Des Weiteren ist bekannt, dass epiphysäre Fugenverletzungen insbesondere im Bereich des oberen Sprunggelenks im Wachstumsalter zu posttraumatischen Wachstumsstörungen führen können.

Im Zeitraum von 1999 bis 2002 wurden 50 Patienten mit einer Übergangsfraktur klinisch und radiologisch nachuntersucht. Der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum betrug 7,4 Jahre nach Unfall. Ziel der retrospektiven Studie war es, Aspekte wie Altersverteilung, Frakturart, Therapieverfahren und Komplikationen mit den Ergebnissen entsprechender Publikationen der Literatur zu vergleichen sowie mittel- und langfristige Ergebnisse nach der Behandlung von Übergangsfrakturen im Hinblick auf eventuelle posttraumatische Spätfolgen anhand eines großen Patientenkollektivs klinisch und radiologisch zu analysieren.

Alle statistisch geprüften Parameter wie Alter, Geschlecht, Lokalisation des Bruchspalts in der Epiphyse, Frakturart, konservatives oder operatives Therapieverfahren ergaben keine signifikante Relation zur Entstehung möglicher objektiver (radiologischer) pathologischer Befunde oder subjektiver Beschwerden und waren somit primärtherapeutisch weder beeinflussbar noch vorhersehbar. 46 % der Patienten gaben diskrete, aber ernstzunehmende Beschwerden wie Schwellneigung des Gelenks nach längerer Belastung oder rezidivierende Distorsionen des Sprunggelenks an. Insgesamt waren 54 % der Patienten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung klinisch beschwerdefrei, Beweglichkeitsdefizite des oberen Sprunggelenks oder signifikante Beinlängendifferenzen wurden nicht nachgewiesen. Radiologische Kriterien der Arthrose waren Gelenkspaltverschmälerung sowie Osteophyten und konnten in insgesamt drei Fällen gefunden werden, jedoch ohne klinisch signifikantes Korrelat zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Diese Ergebnisse sind mit ähnlich großen Studien übereinstimmend. In keinem Fall war ein Patient in seiner alltäglichen und sportlichen Aktivität eingeschränkt. Die mittel- bis langfristigen klinischen Er-

gebnisse waren sowohl bei den operierten als auch den konservativ behandelten Patienten somit zufriedenstellend.

VI. Literaturverzeichnis

1. **Aitken AP:**
   The end results of the fractured distal tibial epiphysis. J Bone Joint Surg 18, 685-695 (1936)

2. **Altermatt S:**
   Sprunggelenksverletzungen bei Kindern. Swiss Surg 4, 70-74 (1998)

3. **Bartl R:**
   Die traumatische Epiphysenlösung am distalen Ende des Schienbeines und des Wadenbeines. Hefte Unfallheilkunde 54, 228-257 (1957)

4. **Beck E, Engler I:**
   Zur Prognose der Epiphysenverletzungen am distalen Schienbeinende. Arch Orthop Unfall Chir 65, 47-64 (1969)

5. **Benz G, Zachariou Z, Roth H:**
   Zur Operationsindikation bei Sprunggelenksfrakturen älterer Kinder und Heranwachsender.
   In: Hofmann-v. Kap-herr S: Operationsindikationen bei Frakturen im Kindesalter. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 264-267 (1987)

6. **Blount WP:**
   Fractures in Children. Herausgegeben von Rockwood CA, Wilkins KE, King RE. Williams & Wilkins Verlag, Baltimore. 183-194 (1955)

7. **Brown SD, Kasser JR, Zurakowski D, Jaramillo D:**
   Analysis of 51 tibial triplane fractures using CT with multiplanar reconstruction.
   AJR 183, 1489-1495 (2004)

8. **Cass JR, Peterson HA:**
   Salter-Harris Type-IV injuries of the distal tibial epiphyseal growth plate, with emphasis on those involving the medial malleolus. J Bone Joint Surg. 65A, 1059-1070 (1983)

9. **Caterini R, Farsetti P, Ippolito E:**
Long-term followup of physeal injury to the ankle. Foot & Ankle 11, 372-383 (1991)

10. **Carothers CO, Crenshaw AH:**
Clinical significane of a classification of epiphyseal injuries at the ankle. Am J Surg 89, 879 (1955)

11. **Chadwick CJ:**
Spontaneous resolution of varus deformity at the ankle following adduction injury of the distal tibial epiphysis. J Bone Joint Surg 64A, 774-776 (1982)

12. **Chadwick CJ, Bentley G:**
The classification and prognosis of epiphyseal injuries. Injury 18, 157-168 (1987)

13. **Cheng JCY, Shen WY:**
Limb fracture pattern in different pediatric age groups: a study of 3.350 children.
J Pediatr Orthop 7, 15-22 (1993)

14. **Clement DA, Worlock PH:**
Triplane fractures of the distal tibia: A variant in cases with an open growth plate.
J Bone Joint Surg 69B, 412-415 (1987)

15. **Cone RO, Nguyen V, Flournoy JG, Guerra J Jr:**
Triplane fracture of the distal tibial epiphysis: radiographic and CT studies. Radiology 153, 763-777 (1984)

16. **Cooper A:**
A treatise on dislocations and fractures of the joints. E. Cox and Sons, London. 238-240 (1822)

17. **Cooperman DR, Spiegel PG, Laros GS:**
Tibial fractures involving the ankle in children: The so-called Triplane epiphyseal fracture. J Bone Joint Surg 60A, 1040-1046 (1978)

18. **Crenshaw AH:**
Injuries to the distal epiphyses. Clin Orthop Relat Res 41, 98-107 (1965)

19. **Cummings RJ:**
Distal tibial and fibular fractures.
In: Rockwood and Wilkins´ Fractures in Children, herausgegeben von Beaty JH, Kassar JR. Lippincott Williams & Wilkins Verlag, Philadelphia. Kapitel 25, 5. Auflage (2001)

20. **Dallek M, Mommsem U, Jungbluth KH, Sauer HD:**
Kollagenfasertextur und Verletzungsmuster der Epiphysenfuge. Z Kinderchir 36, 123-124 (1982)

21. **Denton JR, Fischer SJ:**
The medial triplane fracture: report of an unusual injury. J Trauma 21, 991-995 (1981)

22. **Dias LS, Tachdjian MO:**
Physeal injuries of the ankle in children. Clin Orthop 136, 230-233 (1978)

23. **Dias LS, Giegerich CR:**
Fractures of the distal tibia epiphysis in adolescence. J Bone Joint Surg 65A, 438-443, (1983)

24. **Dingeman RD, Shaver GB:**
Operative treatment of displaced Salter-Harris III distal tibial fractures. Clin Orthop 135, 101-103 (1978)

25. **El-Karef E, Sadek HI, Nairn DS, Aldam CH, Allen PW:**
Triplane fracture of the distal tibia. Injury 31,729-736 (2000)

26. **Ertl JP, Barrack RL, Alexander AH, Van Buecken K:**
Triplane fracture of the distal tibial epiphysis: long-term followup. J Bone Joint Surg 70A, 967-976 (1988)

27. **Feldman F, Singson RD, Rosenberg ZS, Berdon WE, Amodio J, Abramson SJ:**
Distal tibial triplane fractures: diagnosis with CT. Radiology 164, 429-435 (1987)

28. **Freyschmidt J, Saure D, Suren G, Fritsch R:**
Radiologische Diagnostik von Epiphysenverletzungen im Kindesalter. Röntgenblätter 30, 309-319 (1977)

29. **Gill G, Abbott LC:**
Varus deformity of the ankle following injury to the distal epiphyseal cartilage in growing children. Surg Gynecol Obstet 72, 659 (1941)

30. **Hasler CC:**
Beinlängendifferenzen. Orthopäde 29, 766-774 (2000)

31. **Hasler CC, von Laer L:**
Pathophysiologie posttraumatischer Deformitäten der unteren Extremität im Wachstumsalter. Orthopäde 29, 757-765 (2000)

32. **Herring JA:**
Lower Extremity Injuries.
In: Tachdjian´s Pediatric Orthopaedics, W.B. Saunders Company. Band 3, 3. Auflage, Kapitel 42, 2391-2438 (2002)

33. **Hintermann B:**
Biomechanik der Sprunggelenke – Unfallmechanismen. Swiss Surg 4, 63-69 (1998)

34. **Höhne SO, Finke R, Hirsch W:**
Zum Stellenwert der MR-Tomographie in der Diagnostik gelenknaher Frakturen des Unterschenkels bei Kindern und Jugendlichen. Zentralbl Kinderchir 11, 87-95 (2002)

35. **Iwinska-Zelder J, Schmidt S, Ishaque N, Hoppe M, Schmitt J, Klose KJ, Gotzen L:**
Epiphysenfugenverletzungen der distalen Tibia: Sinnvolle Mehrinformationen durch die MRT ? Radiologe 39, 25-29 (1999)

36. **Jaramillo D, Hoffer FA, Shapiro F, Rand F:**
MR Imaging of fractures of the growth plate. Am J Roentgenol 155,1261-1265 (1990)

37. **Johnson EW Jr, Fahl JC:**
Fractures involving the distal epiphysis of the tibia and fibula in children. Am J Surg 93, 778-781 (1957)

38. **Jungbluth KH, Dallek M, Meenen NM:**
Verletzungen der Wachstumsfugen. Unfallchirurg 100, 571-586 (1997)

39. **Kärrholm J, Hansson LI, Laurin S:**
Computed tomography of intraarticular supination-eversion fractures of the ankle in adolescents. J Pediatr Orthop 1, 181-187 (1981)

40. **Kärrholm J, Hansson LI, Selvik G:**
Roentgen stereophotogrammetic analysis of growth pattern after supination-eversion ankle fractures in children. J Pediatr Orthop 2, 25-37 (1982)

41. **Kärrholm J, Hansson LI, Laurin S:**
Pronation injuries of the ankle in children. Acta Orthop Scand 54, 1-17 (1983)

42. **Kärrholm J, Hansson LI, Laurin S:**
Supination-adduction injuries of the ankle in children - Radiographical classification and treatment. Arch Orthop Trauma Surg 101, 193-200 (1983)

43. **Kärrholm J, Hansson LI, Laurin S, Selvik G:**
Post-traumatic growth disturbance of the ankle treated by the Langenskiöld procedure. Acta Orthop Scand 54, 721-729 (1983)

44. **Kärrholm J:**
The triplane fracture: four years of follow-up of 21 cases and review of the literature. J Pediatr Orthop B 6, 91-102 (1997)

45. **Kennedy JP, Weiner DS:**
Avascular necrosis complicating fracture of the distal tibial epiphysis. J Pediatr Orthop 11, 234-237 (1991)

46. **Khouri N, Ducloyer P, Carlioz H:**
Fractures triplanes de al cheville. A propos de 25 cas et revue générale. Rev Chir Orthop 75, 394-404 (1989)

47. **Kleiger B, Mankin HJ:**
Fracture of the lateral portion of the distal tibial epiphysis. J Bone Joint Surg 46A, 25-32 (1964)

48. **Kling TF, Bright RW, Hensinger RN:**
Distal tibial physeal fractures in children that may require open reduction. J Bone Joint Surg 66A, 647-657 (1984)

49. **Kling TF:**
Operative treatment of ankle fractures in children. Orthop Clin North Am 21, 381-392, (1990)

50. **von Laer L:**
Die ‘Unvollendete’ des Wachstumsalters: Die Übergangsfraktur der distalen Tibia. Unfallheilkunde 84, 373-381 (1981)

51. **von Laer L:**
Klinische Aspekte zur Einteilung kindlicher Frakturen, insbesondere zu den traumatischen Läsionen der Wachstumsfuge. Unfallheilkunde 84, 229-236 (1981)

52. **von Laer L, Gerber B, Jehle B:**
Epiphysenfrakturen und Epiphysenlösungen der distalen Tibia. Z Kinderchir 36, 125-127 (1982)

53. **von Laer L:**
Der posttraumatische partielle Verschluß der distalen Tibiaepiphysenfuge. Ursache, Prognose und Prophylaxe ? Teil I: Krankengut, Methodik und Ergebnisse. Unfallheilkunde 85, 445-452 (1982)

54. **von Laer L:**
Der posttraumatische partielle Verschluß der distalen Tibiaepiphysenfuge. Ursache, Prognose und Prophylaxe ? Teil II: Diskussion. Unfallheilkunde 85, 509-516 (1982)

55. **von Laer L:**
Classification, diagnosis and treatment of transitional fractures of the distal part of the tibia. J Bone Joint Surg 67A, 687-698 (1985)

56. **von Laer L:**
Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 3. Auflage (1996)

57. **von Laer L:**
Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 4. Auflage (2001)

58. **Landin LA, Danielsson LG, Jonsson K, Pettersson H:**
Late results in 65 ankle fractures. Acta Orthop Scand 57, 530-534 (1986)

59. **Linhart W, Höllwarth M, Schimpl G:**
Frakturen der distalen Tibiaepiphyse. Unfallheilkunde 86, 510-514 (1983)

60. **Lynn MD:**
The Triplane distal tibial epiphyseal fracture. Clin Orthop 86, 187-190 (1972)

61. **MacNealy GA, Rogers LF, Hernandez R, Poznanski AK:**
Injuries of the distal epiphysis: systematic evaluation. AJR (Am) Roentgenol 138, 683-689 (1982)

62. **Manderson EL, Ollivierre CO:**
Closed anatomic reduction of a juvenile Tilleaux fracture by dorsiflexion of the ankle. Clin Orthop 276, 262-266 (1992)

63. **Mann DC, Rajmaira S:**
Distribution of physeal and nonphyseal fractures in 2650 long-bone fractures in children aged 0-16 years. J Pediatr Orthop 10, 713-716 (1990)

64. **Marmor L:**
An unusual fracture of the tibial epiphysis. Clin Orthop 73, 132-135 (1970)

65. **Marti R, Besselaar PP, Raaymakers E:**
Fehlstellungen nach Verletzungen der distalen Tibia und Fibulaepiphysen. Orthopäde 20, 367-373 (1991)

66. **Marzi I:**
Kindertraumatologie. Steinkopff Verlag, Darmstadt. 1. Auflage (2006)

67. **McFarland B:**
Traumatic arrest of epiphyseal growth at the lower end of the tibia. Br J Surg 19, 78-82 (1931)

68. **Molster A, Soreide O, Solhaug JH, Raugstad TS:**
Fractures of the lateral part of the distal epiphysis (Tillaux or Kleiger fracture). Injury 8, 260-263 (1977)

69. **Nolan RA, Meyers MH, Patzakis MJ, Moore TM, Harvey JP:**
Tibial epiphyseal Injuries. Contemp Orthop 1, 11-23 (1978)

70. **Ogden JA:**
Skeletal injury in the child. Lea & Febiger Verlag, Philadelphia. 596-620 (1982)

71. **Oh WH, Craig C, Banks HH:**
Epiphyseal fractures. Ped Clin North Am 21, 407-422 (1974)

72. **Peiró A, Aracil J, Martos F, Mut T:**
Triplane distal tibial epiphyseal fracture. Clin Orthop 160, 196-200 (1981)

73. **Peterson CA, Peterson HA:**
Analysis of the incidence of injuries to the epiphyseal growth plate. J Trauma 12, 275-281 (1972)

74. **Peterson HA:**
Extra-articular triplane fracture of the distal tibial epiphysis. J Pediatr Orthop 16, 679 (1996)

75. **Protas JM, Kornblatt BA:**
Fractures of the lateral margin of the distal tibia. The Tillaux fracture. Radiology 138, 55-57 (1981)

76. **Rang MC:**
Children´s fractures. JB Lippincott Verlag, Philadelphia. 2. Auflage (1983)

77. **Rapariz JM, Ocete G, Gonzalez-Herranz P, Lopez-Mondejar JA, Domenech J, Burgos J, Amaya S:**
Distal tibial triplane fractures: Long-term follow-up. J Pediatr Orthop 16, 113-118 (1996)

78. **Rockwood CA, Wilkins KE:**
Fractures in Children. Herausgegeben von Beaty JH, Kassar JR. Lippincott Williams & Wilkins Verlag, Philadelphia. 5. Auflage (2001)

79. **Rogers LF, Poznanski AK:**
Imaging of epiphyseal injuries. Radiology 191, 297-308 (1994)

80. **Salter RB, Harris WR:**
Injuries involving the epiphyseal plate. J Bone Joint Surg 45A, 587-622 (1963)

81. **Schlesinger I, Wedge JH:**
Percutaneous reduction and fixation of displaced juvenile Tilleaux fractures: A new surgical technique. J Pediatr Orthop 13, 389-391 (1993)

82. **Seifert J, Laun R, Paris S, Mutze S, Ekkernkamp A, Ostermann PAW:**
Die Wertigkeit der Magnetresonanztomographie (MRT) bei der Diagnostik von Übergangsfrakturen im Bereich der distalen Tibia. Unfallchirurg 104, 524-529 (2001)

83. **Shin AY, Moran ME, Wenger DR:**
Intramalleolar Triplane Fractures of the distal tibial epiphysis. J Pediatr Orthop 17, 352-355 (1997)

84. **Smith BG, Rand F, Jaramillo D, Shapiro F:**
Early MR imaging of lower-extremity physeal fracture-separations: a preliminary report. J Pediatr Orthop 14, 526-533 (1994)

85. **Spiegel PG, Cooperman DR, Laros GS:**
Epiphyseal fractures of the distal ends of the tibia and fibula. J Bone Joint Surg 60A, 1046-1050 (1978)

86. **Stefanich RJ, Lozman J:**
The juvenile fracture of Tillaux. Clin Orthop 210, 219-227 (1986)

87. **Suessenbach F, Weber BG:**
Epiphysenfugenverletzungen am distalen Unterschenkel. Huber Verlag, Bern (1970)

88. **Tillaux PJ:**
Recherches cliniques et expérimentales sur les fractures malléolaires.
Zitiert von Gosselin. Bull Acad Med Series 2, 817-826 (1872)

89. **Tillaux PJ:**
Traité d´anatomie topographique avec applications á la chirurgie. Asselin und Houzeau, Paris. 2. Auflage (1878)

90. **Tinnemans JG, Severijnen RS:**
The triplane fracture of the distal tibial epiphysis in children. Injury 12, 393-396 (1981)

91. **Titze A:**
Untere Gliedmaßen.
In: Ehalt W: Verletzungen bei Kindern und Jugendlichen. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. 354-415 (1961)

92. **Torg JS, Ruggiero RA:**
Comminuted epiphyseal fracture of the distal tibia. A case report and review of the literature, Clin Orthop 110, 215-217 (1975)

93. **Trueta J, Amato VP:**
The vascular contribution to osteogenesis. III. Changes in the growth cartilage caused by experimentally induced ischaemia. J Bone Jt Surg 42 B, 571-587 (1960)

94. **Wessel LM, Freund MC, Holland-Cunz SG, Hosie S, Waag KL:**
Kernspintomographie bei kindlichen Frakturen – ein diagnostischer Gewinn?
Z Kinderchir 6, 49-57 (1997)

95. **Wessel LM:**
MRT zur Abklärung von sprunggelenknahen Frakturen.
In: Hofmann v. Kap-herr S, Berger S, Beck O: Verletzungen von Becken bis Fuß im Kindesalter. Shaker Verlag, Aachen. 294-299 (2001)

96. **Whipple TL, Martin DR, McIntyre LF, Meyers JF:**
Arthroscopic treatment of Triplane fractures of the ankle. Arthroscopy 9, 456-463 (1993)

97. **Wicky B, Stauffer UG:**
Epiphysenfrakturen der distalen Tibia. Chirurg 53, 697-703 (1982)

98. **Yao Y, Huurman WW:**
Tomography in a juvenile Tilleaux fracture. J Pediatr Orthop 6, 349-351 (1986)

VII. Anhänge

VII.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 **Oh WH, Craig C, Banks HH:**
Epiphyseal fractures. Ped Clin North Am 21, 407-422 (1974)

Abb. 2 **Marzi I:**
Kindertraumatologie. Steinkopff Verlag, Darmstadt. 1. Auflage (2006)

Abb. 3 **Marzi I:**
Kindertraumatologie. Steinkopff Verlag, Darmstadt. 1. Auflage (2006)

Abb. 4 **von Laer L:**
Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 4. Auflage (2001)

Abb. 5 **Rockwood CA, Wilkins KE:**
Fractures in Children. Herausgegeben von Beaty JH, Kassar JR. Lippincott Williams & Wilkins Verlag, Philadelphia. 5. Auflage (2001)

Abb. 6 **von Laer L:**
Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter. Georg Thieme Verlag, Stuttgart. 4. Auflage (2001)

Abb. 7 **Kärrholm J:**
The triplane fracture: four years of follow-up of 21 cases and review of the literature. J Pediatr Orthop B 6, 91-102 (1997)

Abb. 8 **Rockwood CA, Wilkins KE:**
Fractures in Children. Herausgegeben von Beaty JH, Kassar JR. Lippincott Williams & Wilkins Verlag, Philadelphia. 5. Auflage (2001)

Abb. 12 **Marzi I:**
Kindertraumatologie. Steinkopff Verlag, Darmstadt. 1. Auflage (2006)

Abb. 13 **Rockwood CA, Wilkins KE:**
Fractures in Children. Herausgegeben von Beaty JH, Kassar JR. Lippincott Williams & Wilkins Verlag, Philadelphia. 5. Auflage (2001)

Abb. 14 **Rockwood CA, Wilkins KE:**
Fractures in Children. Herausgegeben von Beaty JH, Kassar JR. Lippincott Williams & Wilkins Verlag, Philadelphia. 5. Auflage (2001)

Abb. 15 **Rockwood CA, Wilkins KE:**
Fractures in Children. Herausgegeben von Beaty JH, Kassar JR. Lippincott Williams & Wilkins Verlag, Philadelphia. 5. Auflage (2001)

Abb. 17 **Whipple TL, Martin DR, McIntyre LF, Meyers JF:**
Arthroscopic treatment of Triplane fractures of the ankle. Arthroscopy 9, 456-463 (1993)

Abb. 18 **Whipple TL, Martin DR, McIntyre LF, Meyers JF:**
Arthroscopic treatment of Triplane fractures of the ankle. Arthroscopy 9, 456-463 (1993)

Abb. 21 a, b Mit freundlicher Genehmigung von Herrn **Prof. Dr. med. K. Mathias**,
Direktor der radiologischen Klinik, Klinikum Dortmund gGmbH.
Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Münster
Beurhausstraße 40, 44137 Dortmund

Abb. 21 c, d Mit freundlicher Genehmigung von Herrn **Prof. Dr. med. K. Mathias**,
Direktor der radiologischen Klinik, Klinikum Dortmund gGmbH.
Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Münster
Beurhausstraße 40, 44137 Dortmund

Abb. 21 e, f Mit freundlicher Genehmigung von Herrn **Prof. Dr. med. K. Mathias**,
Direktor der radiologischen Klinik, Klinikum Dortmund gGmbH.
Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Münster
Beurhausstraße 40, 44137 Dortmund

Abb. 21 g, h Mit freundlicher Genehmigung von Herrn **Prof. Dr. med. K. Mathias**, Direktor der radiologischen Klinik, Klinikum Dortmund gGmbH. Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Münster Beurhausstraße 40, 44137 Dortmund

Abb. 21 i, j Mit freundlicher Genehmigung von Herrn **Prof. Dr. med. K. Mathias**, Direktor der radiologischen Klinik, Klinikum Dortmund gGmbH. Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Münster Beurhausstraße 40, 44137 Dortmund

Abb. 21 k, l Mit freundlicher Genehmigung von Herrn **Prof. Dr. med. K. Mathias**, Direktor der radiologischen Klinik, Klinikum Dortmund gGmbH. Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Münster Beurhausstraße 40, 44137 Dortmund

Abb. 22 **Rockwood CA, Wilkins KE:**
Fractures in Children. Herausgegeben von Beaty JH, Kassar JR. Lippincott Williams & Wilkins Verlag, Philadelphia. 5. Auflage (2001)

Abb. 23 a, b **Rockwood CA, Wilkins KE:**
Fractures in Children. Herausgegeben von Beaty JH, Kassar JR. Lippincott Williams & Wilkins Verlag, Philadelphia. 5. Auflage (2001)

Abb. 24 **Marzi I:**
Kindertraumatologie. Steinkopff Verlag, Darmstadt. 1. Auflage (2006)

Abb. 25 **Marzi I:**
Kindertraumatologie. Steinkopff Verlag, Darmstadt. 1. Auflage (2006)

Abb. 26 **Rockwood CA, Wilkins KE:**
Fractures in Children. Herausgegeben von Beaty JH, Kassar JR. Lippincott Williams & Wilkins Verlag, Philadelphia. 5. Auflage (2001)

Abb. 27 **Marzi I:**
Kindertraumatologie. Steinkopff Verlag, Darmstadt. 1. Auflage (2006)

VII.2 Untersuchungsprotokoll

Name
Vorname
Geburtsdatum
Alter bei Unfall (in Jahre, Monate)
Unfalldatum
Adresse
Geschlecht
Unfallseite
Unfallursache/-mechanismus
Primärdiagnose
Therapie (konservativ/operativ)
Therapie konservativ: Gips ja/nein/nicht bekannt
Therapie konservativ: Ruhigstellung (in Wochen)
Therapie operativ: Schraube, Kirschner-Drähte, anderes
Therapie operativ: Ruhigstellung (in Wochen)
Therapie operativ: Dauer (in Wochen)

Dauer des stationären Aufenthalts (in Tagen)
Entlastung des Beins (in Wochen)
Komplikationen (Wundinfekt, Re-OP, Nervenläsion sensibel/motorisch, andere)
Metallentfernung ("ME", in Wochen)
ME stationär/ambulant
ME Dauer stationär
ME Narkose (Lokal-/Allgemeinnarkose)
Gangbild (frei/nicht frei, in Wochen)
Röntgen-Diagnose: Twoplane, Triplane I/II, nicht beurteilbar
Frakturspalt Lokalisation Epiphyse: zentral, lateral, medial, intramalleolär, nicht beurteilbar
Fuge medial: offen, geschlossen, prämatur
Dislokation des epiphysären Frakturspalts (2-5 mm, > 5 mm)
knöcherne Begleitverletzungen
Reposition mit Osteosynthese
Reposition Epiphyse (Schraube etc., Anzahl)
Zugang Epiphyse (medial, lateral, nicht dokumentiert)
Reposition Metaphyse (Schraube etc., Anzahl)

Zugang Metaphyse (anterior, medial, lateral, nicht dokumentiert)
Reposition epi- nach metaphysär (Anzahl der Schrauben, Art)
nach Reposition: Frakturspalt a.-p.: Kompression bis 2 mm, 2-5 mm, > 5 mm
Röntgenkontrolle nach Reposition a.-p.: Frakturspalt, Stufe ja/nein
Röntgenkontrolle nach Reposition seitlich: Frakturspalt, Stufe ja/nein
Röntgenkontrolle Konsolidation a.-p.: Frakturspalt, Stufe ja/nein, sonstiges
Röntgenkontrolle Konsolidation a.-p.: Kallus lateral, medial, sonstiges
Röntgenkontrolle Konsolidation seitlich: Frakturspalt, Stufe ja/nein, sonstiges
Röntgenkontrolle Konsolidation seitlich: Kallus lateral, medial, sonstiges
Röntgenkontrolle direkt nach ME: Frakturspalt sichtbar ja/nein
Röntgenkontrolle direkt nach ME: Stufe ja/nein, sonstiges
Zeit der Nachuntersuchung nach Unfallereignis (in Monate)
Röntgenkontrolle bei Nachuntersuchung a.-p.: Gelenkspalt normal, verschmälert, Fehlstellung (Varus/Valgus)
Röntgenkontrolle bei Nachuntersuchung a.-p.: Arthrosezeichen ja/nein, Art (Sklerosierung, Randzacken etc.)
Röntgenkontrolle bei Nachuntersuchung seitlich: Gelenkspalt normal, verschmälert, Fehlstellung (Ante-/Rekurvation)
Röntgenkontrolle bei Nachuntersuchung seitlich: Arthrosezeichen ja/nein, Art (Sklerosierung, Randzacken)
Sonstige radiologische Besonderheiten bei Nachuntersuchung

Spätere Verletzungen (Distorsion, Fraktur, Bandruptur)
Aktuelle Anamnese (Schmerzen ja/nein, spezifisch, unspezifisch, Parästhesie, Gelenkschwellung, sonstige Beschwerden)
Aktuelle Anamnese (auffälliges Gangbild ja/nein)
Aktuelle Anamnese (Sport: wie vorher, schlechter, anderes)
Objektive Untersuchung: Gangbild frei/hinkend, sichtbare Fehlstellung des Fußes/Sprunggelenks
Objektive Untersuchung: Beinlängendifferenz (in cm): ja/nein
Objektive Untersuchung: Dorsalextension linkes OSG/rechtes OSG im Vergleich (seitengleich, eingeschränkt bis 10, 20, 30, > 30°)
Objektive Untersuchung: Plantarflexion linkes OSG/rechtes OSG im Vergleich (seitengleich, eingeschränkt bis 10, 20, 30, > 30°)
Objektive Untersuchung: Pronation linkes unteres Sprunggelenk/rechtes unteres Sprunggelenk im Vergleich (seitengleich, eingeschränkt bis 10, 20, 30, > 30°)
Objektive Untersuchung: Supination linkes unteres Sprunggelenk/rechtes unteres Sprunggelenk im Vergleich (seitengleich, eingeschränkt bis 10, 20, 30, > 30°)
Behandlung bei anderen Ärzten aus folgenden Gründen
Sonstige Bemerkungen

VIII. Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. L.M. Wessel, für die Überlassung des Themas und die ausgezeichnete Betreuung bei dessen Bearbeitung.

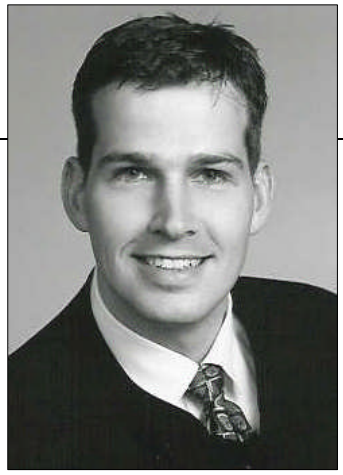
Mein besonderer Dank gilt meiner Betreuerin, Frau PD Dr. med. A.M. Weinberg, Graz, für die intensive Anleitung bei der Bearbeitung meiner Dissertation; sie war ein jederzeit erreichbarer Ansprechpartner.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Dr. med. U. Hofmann, Leiter der kinderchirurgischen Abteilung des Kinderkrankenhauses auf der Bult, Hannover, für seine Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen sehr herzlich bedanken.

Ferner gilt mein Dank Herrn Dr. med. O. Ohm, Dortmund, für die Beratung und statistische Auswertung.

Zu guter Letzt möchte ich mich besonders bei meinen Eltern bedanken, die mich in jeder Hinsicht unterstützt sowie mir mein Studium und damit die vorliegende Arbeit ermöglicht haben.

IX. Lebenslauf



Persönliche Daten

geboren am:	16.01.1968 in Dortmund
Familienstand:	verheiratet

Schulausbildung

Juni 1988	Abitur am Heinrich-Suso-Gymnasium, Konstanz

Auslandsaufenthalte

08/1985 - 08/1986	Austauschschüler White Mountains Regional High School, Whitefield, New Hampshire, USA
04/1997 - 08/1997	Praktisches Jahr, University of Louisville, Kentucky, USA

Wehrdienst	Leutnant der Reserve, Akademie des Sanitäts- und
10/1988 - 09/1990	Gesundheitswesens der Bundeswehr, München

Studium

10/1990 - 12/1997	Universität Hamburg-Eppendorf
03/1993	Physikum
08/1994	I. Staatsexamen
09/1996	II. Staatsexamen
12/1997	III. Staatsexamen

Praktisches Jahr

10/1996 - 01/1997	Pädiatrie, Universität Hamburg-Eppendorf
02/1997 - 04/1997	Innere Medizin, Universität Hamburg-Eppendorf
04/1997 - 06/1997	Innere Medizin, University of Louisville, Kentucky, USA
06/1997 - 08/1997	Chirurgie, University of Louisville, Kentucky, USA
08/1997 - 10/1997	Kinderchirurgie, Kinderkrankenhaus Altona, Hamburg

Arzt im Praktikum

01/1998 - 06/1999	Kinderkrankenhaus auf der Bult, Hannover
	Dr. U. Hofmann, Kinderchirurgie

Assistenzzeit

08/1999 - 08/2000	Kinderkrankenhaus auf der Bult, Hannover
	Prof. Dr. H.-J. Christen, Pädiatrie
09/2000 - 04/2001	Kinderkrankenhaus auf der Bult, Hannover
	PD Dr. E. Kattner, Neonatologische Intensivstation
05/2001 - 09/2002	Kathol. Kinderkrankenhaus Wilhelmstift, Hamburg
	PD Dr. H.-J. Zimmermann, Kinderchirurgie
10/2002 - 05/2004	Kathol. Kinderkrankenhaus Wilhelmstift, Hamburg
	Dr. R. Werbeck, Kinderchirurgie
Seit 06/2004	Klinikum Dortmund
	Dr. M. Albrecht, Kinderchirurgie