

# **Analyse der anatomischen Voraussetzungen für intraossäre Zugänge beim Kind im Vergleich mit den Herstellerinformationen**

**Laura Katharina Trefzer**



München 2018

Aus der  
Klinik für Allgemeine, Unfall-, Wiederherstellungs chirurgie  
Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker

Analyse der anatomischen Voraussetzungen für intraossäre Zugänge  
beim Kind im Vergleich mit den Herstellerinformationen

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Laura Katharina Trefzer  
aus  
Freiburg im Breisgau  
2018

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Karl-Georg Kanz

Mitberichterstatter:  
Prof. Dr. Thomas Nicolai  
Prof. Dr. Jens Waschke

Mitbetreuung durch die  
promovierten Mitarbeiter:  
Priv.-Doz. Dr. med. Viktoria Bogner  
Priv.-Doz. Dr. Peter Paal MBA EDAIC EDIC

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 18.10.2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>7</b>
1.1. Bedeutung des intraossären Zugangs .....	7
1.2. Funktionsweise des intraossären Zugangs .....	7
1.3. Anatomische Voraussetzungen .....	8
1.4. Die Empfehlung der 2015 European Resuscitation Council (ERC)- Leitlinien .....	9
1.5. Besonderheiten bei Anlage eines intraossären Zugangs .....	9
1.6. Hypothese der Studie .....	10
<b>2. Material und Methoden.....</b>	<b>11</b>
2.1. Studiendesign .....	11
2.1.1. Ein- und Ausschlusskriterien .....	11
2.1.2. Altersgruppen.....	12
2.2. Studienparameter.....	12
2.2.1. Primärparameter .....	12
2.2.2. Sekundärparameter.....	13
2.2.3. Punktionssorte .....	13
2.3. Messgrößen .....	18
2.3.1. Messungen an proximaler Tibia .....	19
2.3.2. Messungen an distaler Tibia.....	21
2.3.3. Messungen am distalen Femur .....	22
2.3.4. Messungen an proximalem Humerus .....	24
2.3.5. Volumenmessungen .....	26
2.4. Vergleich der Herstellerinformationen drei gängiger IO-Systeme .....	27
2.5. Überblick über die verwendeten Computertomografie (CT) sowie Magnetresonanztomografie (MRT) Geräte und die verwendete Software .....	29
2.6. Statistische Auswertung .....	30
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>32</b>
3.1. Auswahl der Patienten.....	32
3.2. Demographie .....	34

3.3. Häufigkeiten der Diagnosen.....	34
3.4. Häufigkeiten von CT- und MRT- Untersuchungen .....	34
3.5. Besonderheiten der einzelnen Altersgruppen.....	34
3.5.1. 0.-30. Lebenstag .....	35
3.5.2. 31. Lebenstag- 12. Lebensmonat .....	35
3.5.3. 13. Lebensmonat- 18. Lebensjahr .....	35
3.6. Körpergewicht und Körpergröße der ausgewerteten Patienten.....	35
3.7. Messwerte an den Punktionsorten.....	45
3.7.1. Tibia proximal .....	45
3.7.2. Tibia distal.....	45
3.7.3. Tibia Volumen .....	46
3.7.4. Femur distal.....	51
3.7.5. Femur Volumen .....	51
3.7.6. Humerus proximal.....	51
3.7.7. Humerus Volumen .....	51
3.8. Korrelation nach Spearman- Rho.....	52
3.9. Vergleich der Herstellerinformationen mit den Messungen dieser Studie .....	53
3.9.1. Besonderheiten der einzelnen Systeme .....	53
3.9.2. Vergleich der erhobenen Knochendurchmesser mit drei gängigen IO- Systemen und den Herstellerempfehlungen .....	55
<b>4. Diskussion .....</b>	<b>73</b>
4. 1. Grundlage des intraossären- Zugangs .....	73
4.2. Anatomie der intraossären- Punktionsorte .....	73
4.3. Erklärungsansätze für fehlerhafte Lage von IO- Zugängen - Daten dieser Untersuchung im Vergleich mit Erkenntnissen in der Literatur .....	74
4.4. Welches System ist nun zu empfehlen.....	75
4.5. Limitationen .....	76
4.6. Zusammenfassung.....	78
4.7. Fazit.....	79
4.8. Abstract .....	81

5.	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>83</b>
6.	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>84</b>
7.	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>87</b>
8.	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>89</b>
9.	<b>Danksagung .....</b>	<b>94</b>
10.	<b>Eidesstattliche Versicherung.....</b>	<b>95</b>

## **1. Einleitung**

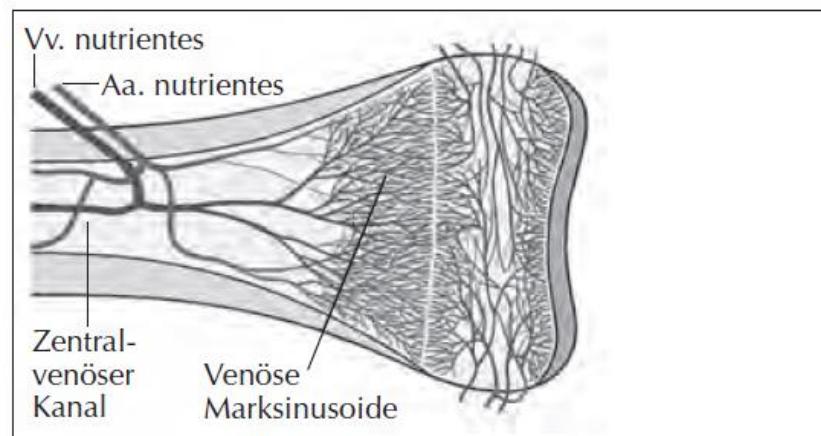
### **1.1. Bedeutung des intraossären Zugangs**

Bei einem lebensbedrohlichen Notfall oder im Herzstillstand kann bei Kindern die Anlage eines peripher intravenösen (IV) Zugangs zeitaufwändig oder sogar unmöglich sein. Aus diesem Grund empfehlen bei einem lebensbedrohlichen Notfall oder im Herzstillstand die Reanimations- Leitlinien der American Heart Association (AHA) bereits seit 1986 und die Leitlinien des European Resuscitation Council (ERC) seit 1992 die Anlage eines intraossären (IO) Zugangs (1-3). Die Anlage eines IO- Zugangs kann bei einer lebensbedrohlichen Situation schnell und einfach durchgeführt werden (4-7). Die Punktions einer peripheren Vene kann bei ausgeprägtem Volumenmangel (z.B. bei Diarrhoe, hämorrhagischen Schock), schwerer Hypoxie oder im Herzstillstand erschwert sein. Im Gegensatz dazu verändert sich die Knochenmarkshöhle, welcher von Spongiosa offengehalten wird, nicht durch den intravaskulären Volumenstatus und ist mittels intraossärer Punktions gut zugänglich (8, 9).

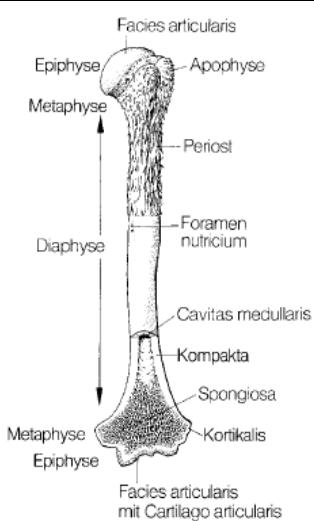
### **1.2. Funktionsweise des intraossären Zugangs**

Mit einer starren Kanüle und eingeführtem Trokar wird zunächst das den Knochen umgebende Gewebe, der Weichteilmantel bestehend aus Haut, subkutanem Fettgewebe und zusätzlich, je nach Lokalisation, Muskulatur, Faszie, und Sehne durchbohrt. Darauf folgt die Penetration der Kortikalis, sodass die Kanülen spitze in der Knochenmarkshöhle zu liegen kommt (Abbildung 3). Die Nutzung des IO- Zugangs zur Medikamenten- und Volumenapplikation sowie zur Blutabnahme, ist sofort möglich (10). Im Knochen fließt Blut dem physiologischen arteriovenösen Druckgradienten folgend von peripher nach kardial gerichtet von der Knochenmarkshöhle über die medullären Sinusoide in den zentral venösen Kanal und über Venae nutritiae von periostalen Venen in den systemischen Kreislauf (Abbildung 1) (11). Medikamente und Blutprodukte folgen dieser Flussrichtung und gelangen innerhalb von Sekunden nach Applikation in den systemischen Kreislauf. Die Plasmakonzentration, das Anfluten des Medikaments und die klinische Wirkung sind bei peripher und zentral, IV und IO applizierten Medikamenten vergleichbar (12-14). Die Infusionsgeschwindigkeit ist bei peripher venösen, im Vergleich zu IO applizierten Flüssigkeiten, meist höher (15). Notfallmedikamente können ohne Ausnahme IO appliziert werden (12, 13, 16).

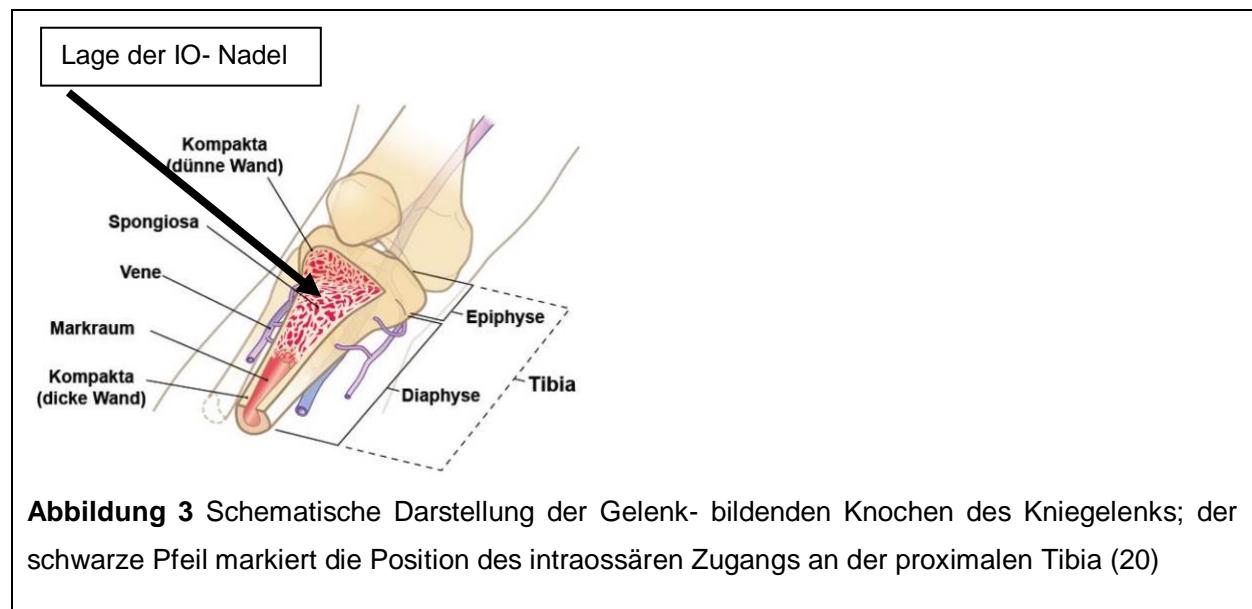
### 1.3. Anatomische Voraussetzungen



**Abbildung 1** Schema der Zirkulationsverhältnisse an der Epi- und Metaphyse eines langen Röhrenknochens (17)



**Abbildung 2** Schematische Darstellung eines Röhrenknochens (18): Epi- und Metaphyse weisen eine dünne Kortikalis und meist eine ausgeprägte Knochenmarkshöhle auf. Zwischen den Spongiosa-Lamellen befindet sich das rote, blutbildende Knochenmark (19).



Zur intraossären Infusion stehen verschiedene Punktionsorte zur Verfügung. Diese Untersuchung umfasst ausschließlich die etablierten Punktionsorte bei Kindern. Die etablierten Punktionsorte befinden sich an den Röhrenknochen der unteren und oberen Extremität, d.h. distale und proximale Tibia, proximaler Humerus und distales Femur.

Ein weiterer in anderen Arbeiten untersuchter Infusionsort ist das Sternum, jedoch wird dieser Punktionsort meist im militärischen Kontext verwendet, ist erst ab dem 12. Lebensjahr zugelassen und wird daher in dieser Arbeit nicht weiter behandelt (16).

#### 1.4. Die Empfehlung der 2015 European Resuscitation Council (ERC)- Leitlinien

In der 2015 European Resuscitation Council (ERC)- Leitlinie zur Notfallversorgung von Kindern (Kapitel: Pediatric Life Support) wird empfohlen, bei drohendem und bestehendem Herzstillstand frühzeitig einen IO- Zugang zu legen. Spätestens nach einer Minute erfolgloser IV- Katheter Anlage sollte man einen IO- Zugang etablieren (12). Der IO- Zugang sollte beibehalten werden, bis ein sichere peripherer IV- Zugang gelegt wurde (12). Eine Empfehlung bezüglich eines bestimmten Punktionsortes wird in der Leitlinie nicht gegeben.

#### 1.5. Besonderheiten bei Anlage eines intraossären Zugangs

Der IO- Zugang sollte möglichst nicht länger als 24 Stunden, aufgrund des Osteomyelitis- Risikos, am selben Punktionsort bestehen. Schwerwiegende Komplikationen, wie z.B. Osteomyelitis, Kompartiment- Syndrom und Hautinfektionen, sind jedoch Raritäten (21, 22). Die häufigsten Komplikationen sind technische Probleme des IO- Systems, Schmerzen bei Anlage bei Patienten mit Bewusstsein, sowie Dislokation und Bildung eines Paravasats (11, 21, 23-25). Den Schmerzen können durch eine Infusion von Lidocain Abhilfe geschafft werden

(26). Paravasat und Dislokation können durch Kontrollieren des Zuganges sowie durch ordnungsgemäße Fixierung vermieden oder zumindest früh entdeckt werden, um Folgekomplikationen, wie beispielsweise das Kompartment- Syndrom durch ein Paravasat, zu verhindern. Zudem ist steriles Arbeiten bei Anlage eines IO- Zugangs essentiell um die Infektionswahrscheinlichkeit zu verringern (8).

Eine korrekte IO- Punktion wird durch die erfolgreiche Verabreichung von Volumen und Medikamenten ohne Paravasat und den sichtbaren Effekt des applizierten Medikaments bestätigt. Ebenso kann ein fester Sitz der Nadel in der Kortikalis ein Hinweis für die korrekte Lage der Nadel sein (26, 27). Der spürbare Widerstandsverlust bei Perforation der Kortikalis kann hauptsächlich bei manuellen und halbautomatischen Bohrer Systemen beobachtet werden (16). Bei Feder getriebene IO- Systeme lässt sich der Widerstandsverlust häufig nicht feststellen. Eine genaue Angabe welche Nadel beziehungsweise Nadellänge für die jeweiligen Punktionsorte und Patientenkollektive genutzt werden soll, wird weder von Seiten der Hersteller noch in den Leitlinien dargestellt.

### 1.6. Hypothese der Studie

Der Weichteil-, Kortikalis- und Knochenmarkhöhlen- Durchmesser variiert je nach Altersgruppen (d.h. Neugeborenes, Säugling, Kleinkind, Schulkind, Jugendlicher und Erwachsener) und Punktionsort (d.h. distale und proximale Tibia, distaler Femur, Tuberculum majus des Humerus). Durch genaue Kenntnis der Durchmesser kann für die verschiedenen Altersgruppen eine passende IO- Kanülen Länge angegeben und damit die Sicherheit der IO- Punktion erhöht und gleichzeitig die Komplikationsrate gesenkt werden.

## **2. Material und Methoden**

Diese retrospektive Studie wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Innsbruck am 26.06.2015 genehmigt (AN2015-0093 348/4.17). Zudem wurde die Studie im internationalen Studienregister clinicaltrials.gov (NCT03082066) gemeldet und am 11. März 2017 angenommen.

### **2.1. Studiendesign**

Bei dieser retrospektiven Studie wurden elektronische Krankenakten und Befunde sowie die zugehörigen Schnittbilder von Patienten<sup>1</sup> verwendet, welche an der Universitätsklinik für Radiologie Innsbruck untersucht wurden.

#### **2.1.1. Ein- und Ausschlusskriterien**

Als **Einschlusskriterien** für Patienten galten

- ein Alter <18 Jahre (d.h. von Geburt bis einen Tag vor den 18. Geburtstag), sowie
- elektive und notfallmäßige CT- und MRT- Untersuchungen im Zeitraum von 22.08.2005- 02.09.2015 an der Abteilung für Radiologie der Universitätsklinik Innsbruck. Die Untersuchung konnte bei Wachen sowie Patienten in Analgosedierung, in anästhesiologischem Stand-by und in Allgemeinanästhesie durchgeführt worden sein.

**Ausschlusskriterien** für diese Studie waren

- ein Alter  $\geq 18$  und
- jedwede Pathologie an den für diese Studie relevanten Messpunkten (das heißt an distaler und proximaler Tibia, distales Femur, Tuberculum majus des Humerus). Diese Pathologien sind für die intraossäre Punktions als Kontraindikation des IO- Zugangs angesehen. Zu diesen Pathologien zählten beispielsweise Tumore, Frakturen, Prothesen, sowie Osteogenesis imperfecta und andere Erkrankungen die den natürlichen Knochenstoffwechsel oder auch das Wachstum (z.B. Prader-Willi- Syndrom) beeinflussen.

---

<sup>1</sup> Da das ausdrückliche Formulieren beider Geschlechter (etwa: der Arzt oder die Ärztin) in der deutschen Sprache umständlich und in anderen Sprachen unüblich ist, wird in diesen Texten der besseren Lesbarkeit wegen nur die männliche Form verwendet. Selbstverständlich beziehen sich alle Aussagen in gleicher Weise auch auf weibliche Personen

Bei der Suche nach geeigneten Patienten in den Altersgruppen 0.- 30. Lebenstag sowie 31. Lebenstag- 12. Lebensmonat wurde die Patientenpopulation im ursprünglich geplanten Studienzeitraum 01.01.2010- 02.09.2015 nicht erreicht, da eine zu geringe Zahl an Untersuchungen in diesen Altersklassen durchgeführt worden waren. Aus diesem Grund wurde das Studienprotokoll erweitert auf den definitiven Studienzeitraum 22.08.2005- 02.09.2015. Zudem stellte sich während der Studie heraus, dass die benötigten Daten, zum Beispiel die Biometrik und Bilder der benötigten Knochen, nur sehr lückenhaft vorhanden waren. Daher wurde die Patientenzahl von ursprünglich 200 auf 400 erweitert. Diese Änderungen wurden in der Folge von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Innsbruck genehmigt (AN2015-0093 348/4.17).

### 2.1.2. Altersgruppen

Um die Hauptzielgröße entsprechend den diversen Altersgruppen bei Kindern zu erfassen wurden folgende **Altersgruppen** festgelegt:

- Neugeborenes (0.– 30. Lebenstag)
- Säugling (31. Lebenstag- 12. Lebensmonat)
- Kleinkind (13. Lebensmonat– 5. Lebensjahr)
- Schulkind (6.– 16. Lebensjahr)
- Jugendlicher (17.– 18. Lebensjahr)
- Erwachsener (>18. Lebensjahr), in dieser Arbeit nicht weiter behandelt

## 2.2. Studienparameter

### 2.2.1. Primärparameter

Die **Primärparameter** der Studie waren der Durchmesser von Weichteilmantel [mm], der Kortikalis [mm] sowie der Knochenmarkhöhle [mm] an den empfohlenen IO- Punktionsorten. Außerdem wurde an allen zur Punktionsstelle zur Verfügung stehenden Knochen, das Volumen der Knochenmarkshöhle berechnet [ $\text{mm}^3$ ]. Die Messpunkte wurden in Anlehnung an die von den Herstellern der IO- Nadel vorgesehenen Punktionsorte festgelegt (Tabelle 1).

## 2.2.2. Sekundärparameter

Die **Sekundärparameter** der Studie waren die folgenden demographischen Parameter des Kollektivs:

- Alter
- Geschlecht: männlich/ weiblich
- Art der Untersuchung: Computertomographie (CT)/ Magnetresonanztomographie (MRT)
- Körpergröße in Zentimeter [cm]
- Körpergewicht in Kilogramm [kg]

Darüber hinaus wurden **weitere Parameter** erhoben, um eine möglichst standardisierte Messung zu erzielen. Zu diesen Parametern zählen:

- Abstand Gelenkspalt bis Prominenz der Tuberossitas tibiae
- Abstand Gelenkspalt bis Punktionsort Femur
- Abstand Akromion bis Punktionsort Humerus

## 2.2.3. Punktionsorte

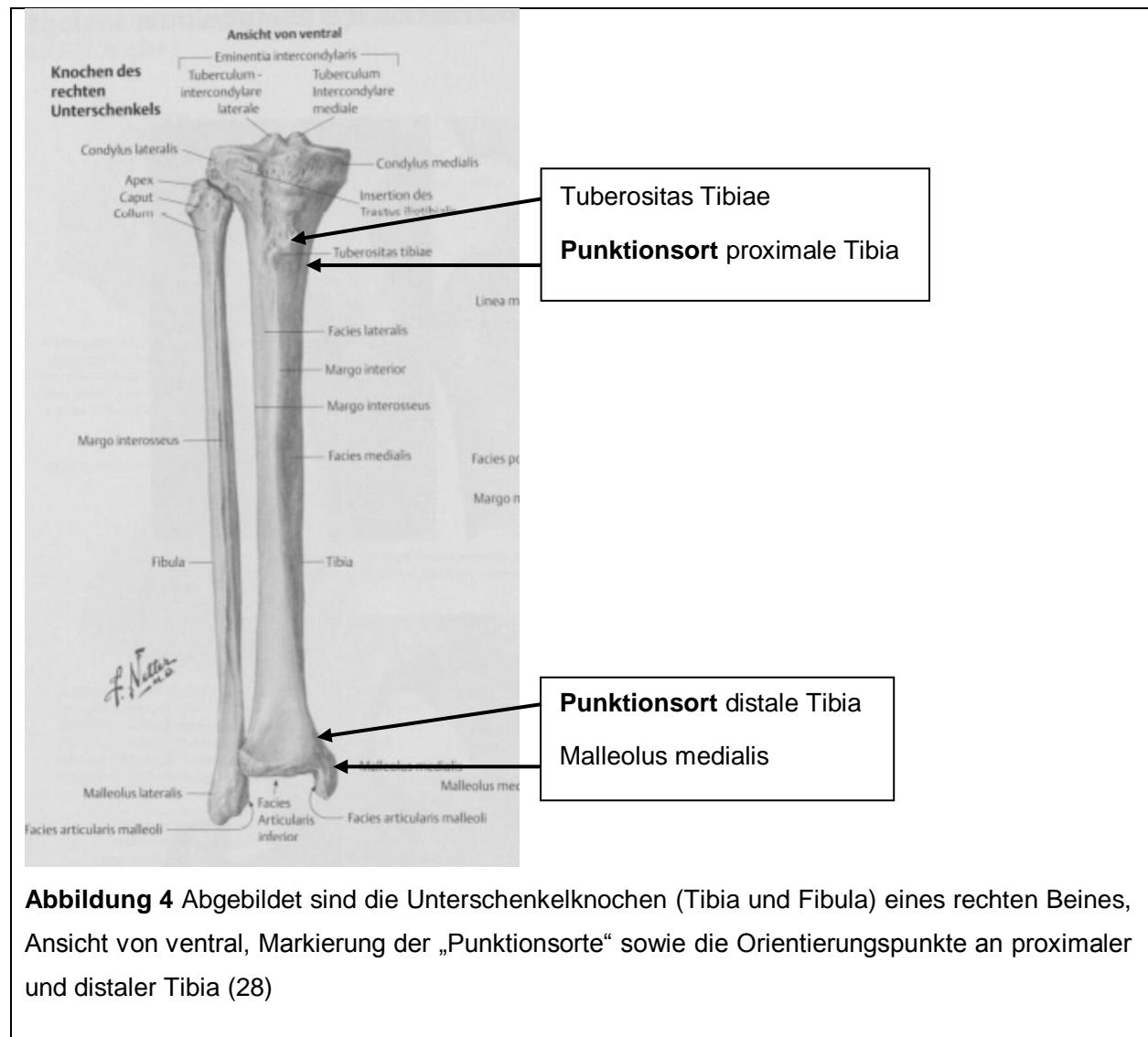
In der Folge werden die Punktionsorte, die Technik der Messung und die Studienparameter eingehend erklärt.

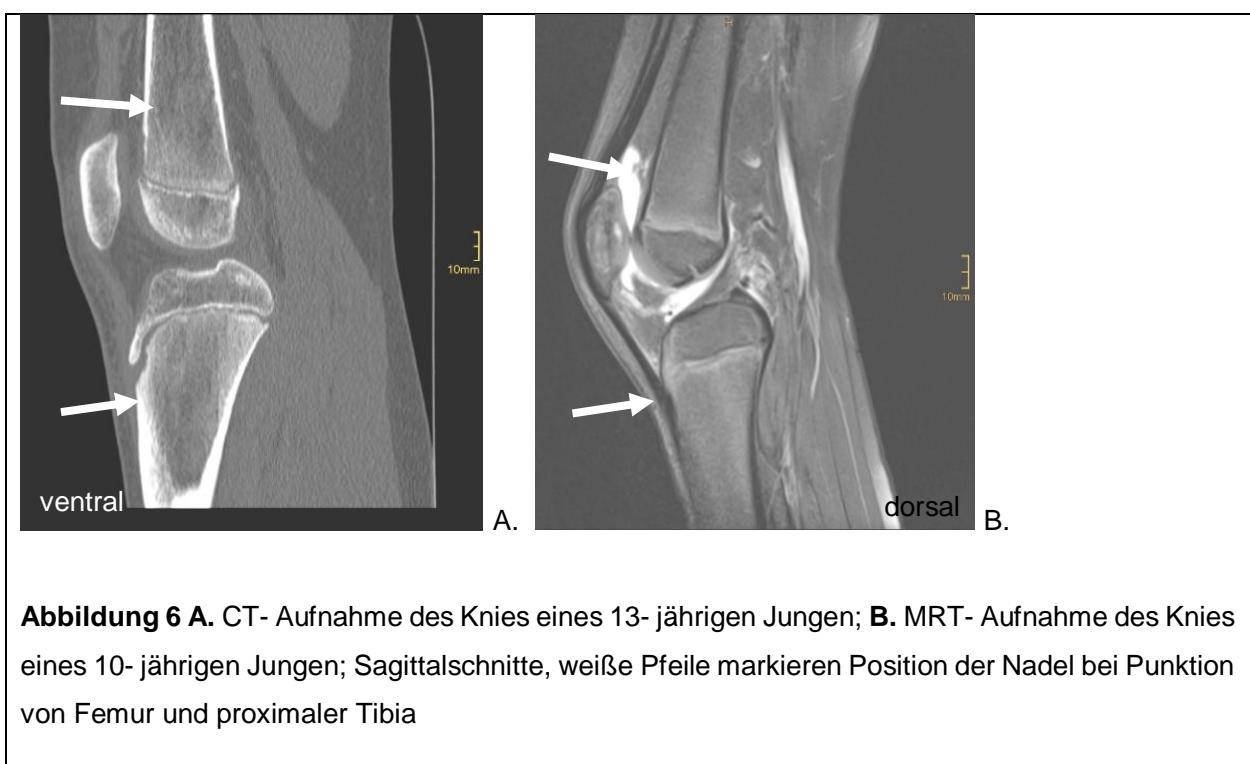
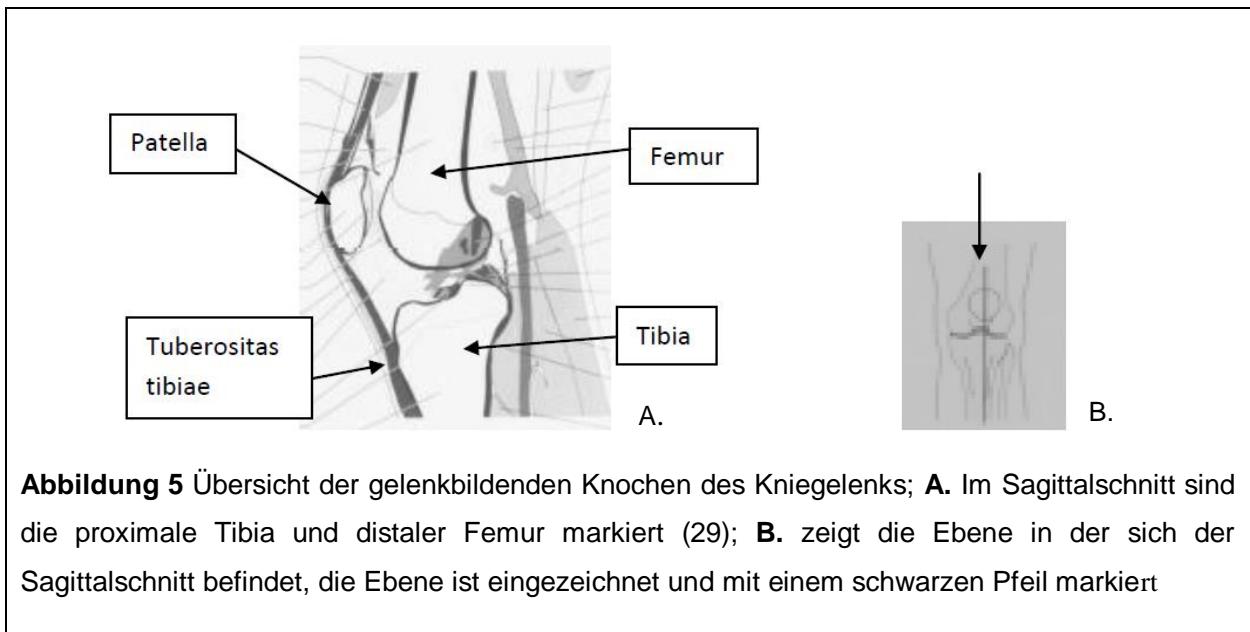
Im Rahmen dieser Studie wurden die Messungen an proximaler und distaler Tibia, distalem Femur und proximalem Humerus durchgeführt. Näher definiert wurden die **Messpunkte=Punktionsorte** folgendermaßen:

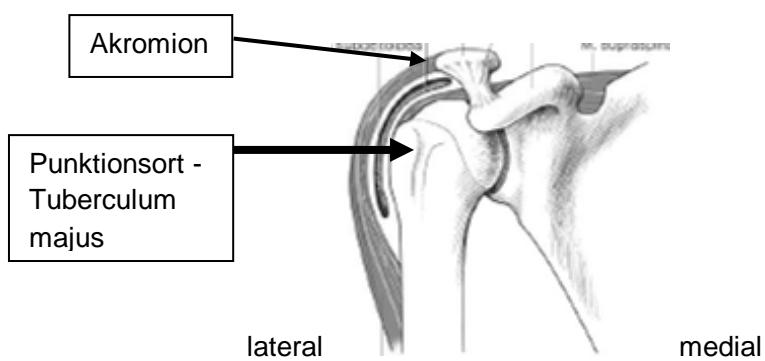
- **Proximale Tibia:** 2 cm unterhalb der Tuberossitas tibiae und bis zu 1 cm medial, auf dem Tibiaplateau, IO- Punktion senkrecht ( $90^\circ$ ) zum Hautniveau (bei allen Altersgruppen einheitlich) (Abbildung 4, 7, 12 und 13)
- **Distale Tibia:** 1– 2 cm proximal der größten Prominenz des Malleolus medialis in der Mittellinie zwischen dem anterioren und posterioren Ende des Malleolus, IO- Punktion senkrecht zum Hautniveau (bei Neugeborenen 1,5 cm, bei den übrigen Altersgruppen 2 cm proximal); (siehe auch Abbildung 4 und 14)
- **Distales Femur:** in der Mittellinie des Knochens senkrecht durch die Quadriceps- Sehnen 1- 2 cm proximal des oberen Patellarrandes bei nicht vollständig gestrecktem Bein, IO- Punktion

senkrecht zu Hautniveau (bei Neugeborenen 1 cm, bei den übrigen Altersgruppen 2 cm proximal) (Abbildung 5, 6, 16 und 17)

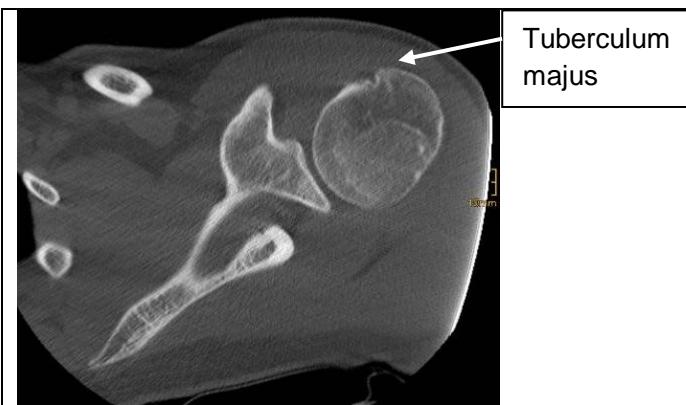
- **Proximaler Humerus:** am Tuberculum majus (ca. 2 cm unterhalb des Akromions) von ventro- latero- cranial, 45° in Sagittalebene nach kranial gekippt, 45° in der Koronarebene nach frontal gekippt, IO- Punktionsort senkrecht zum Hautniveau (Abbildung 7-10 und 18-20)



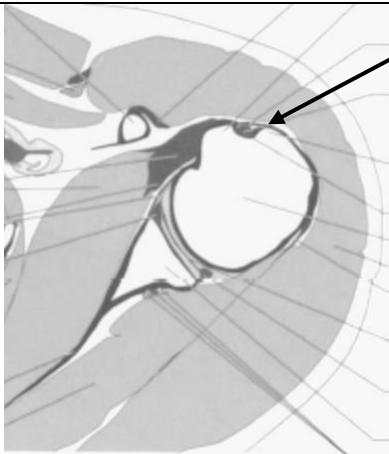




**Abbildung 7** Schematische Darstellung der Knochen des Schultergelenks, der schwarze Pfeil markiert die Lokalisation des Punktsortes am Tuberculum majus, außerdem gekennzeichnet ist das Akromion, das als anatomische Leitstruktur dient (30)



**Abbildung 8** Axialschnitt, CT- Aufnahme des Schultergelenks



Tuberculum  
majus

**Abbildung 9** Schematische Darstellung eines Axialschnitts der Schulter auf Höhe des Tuberculum majus (29)

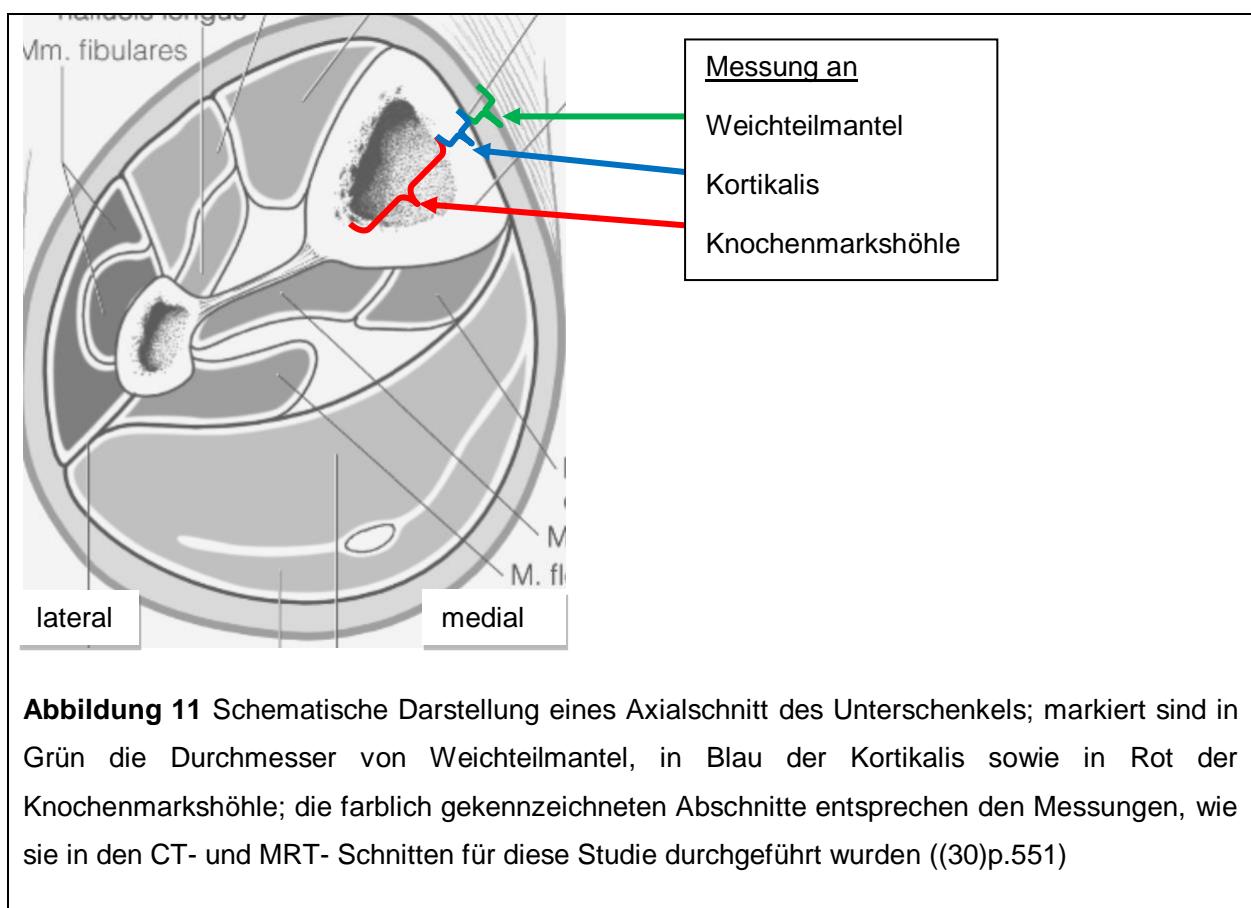


**Abbildung 10** Abbildung des Punktionsortes am Tuberculum majus des Humerus (31)

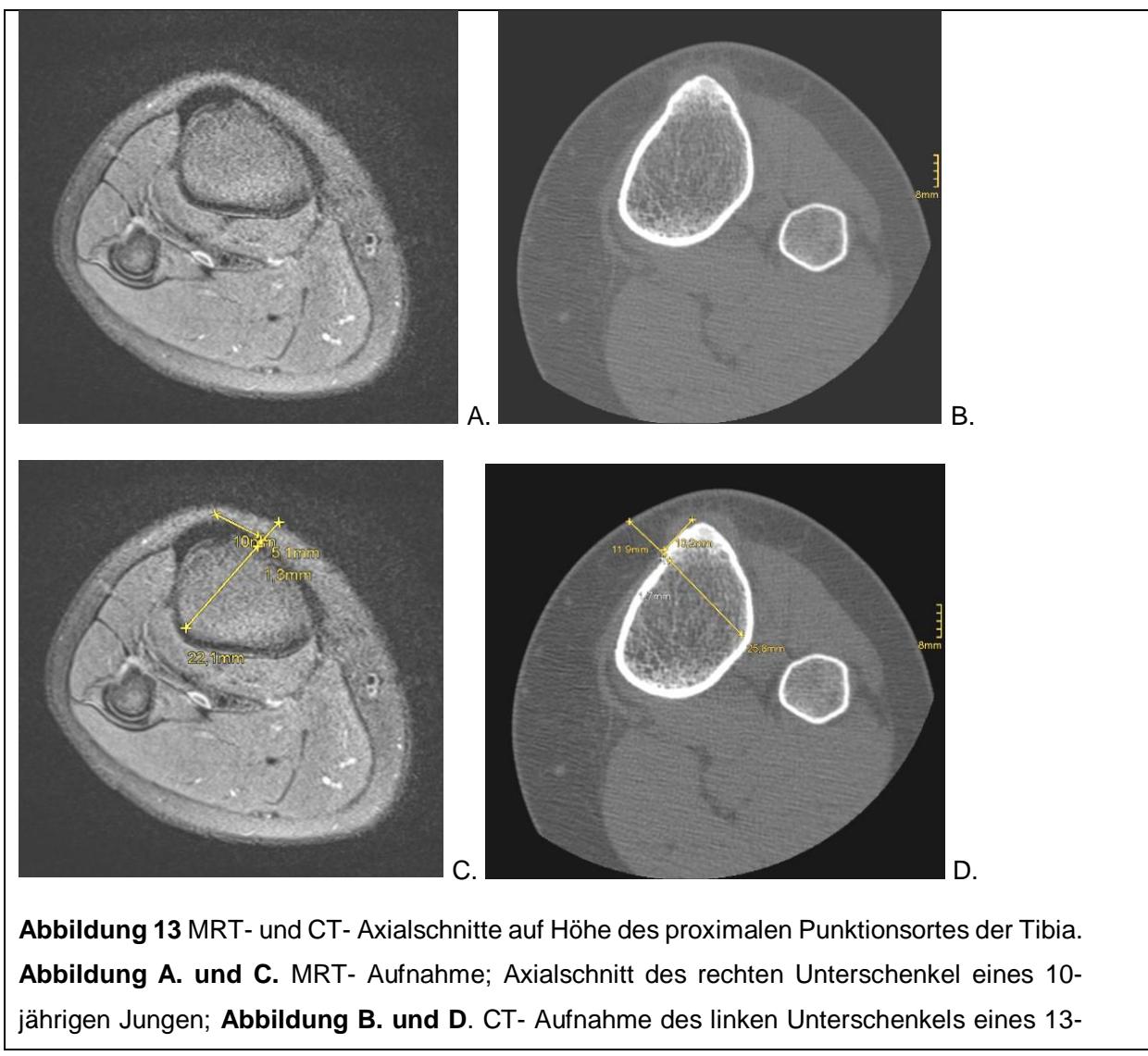
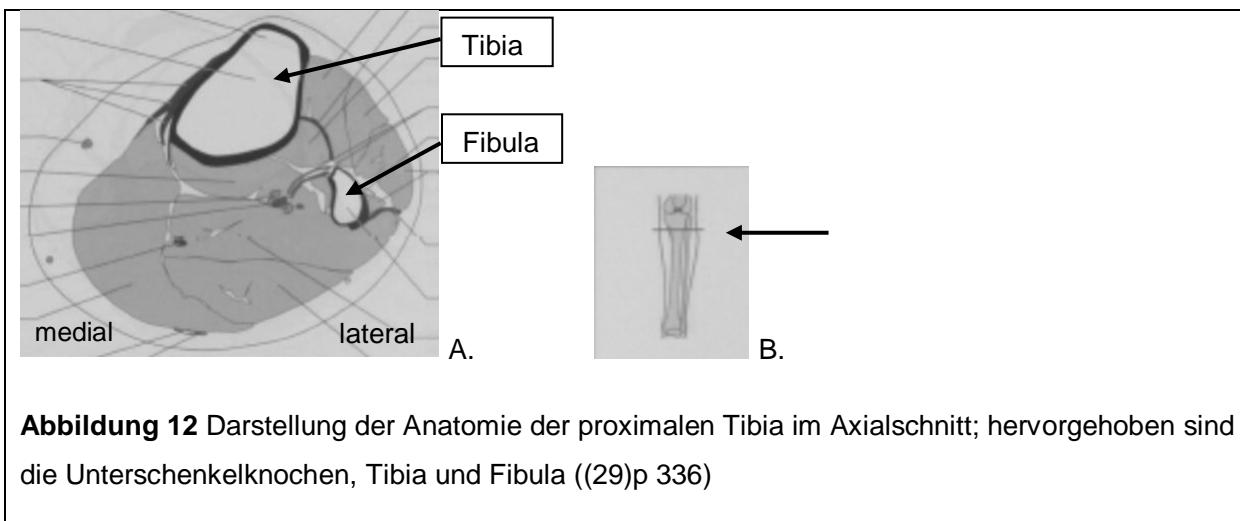
## 2.3. Messgrößen

Folgende **Parameter** wurden an jedem Punktionsort in der „Punktionsebene“ erhoben (Abbildung 12):

- Durchmesser Weichteilmantel [mm], d.h. Durchmesser des Weichteils von Hautniveau bis Kortikalis (insbesondere Haut, subkutanes Fellgewebe, Muskulatur)
- Durchmesser Kortikalis [mm]
- Durchmesser Knochenmarkshöhle [mm]



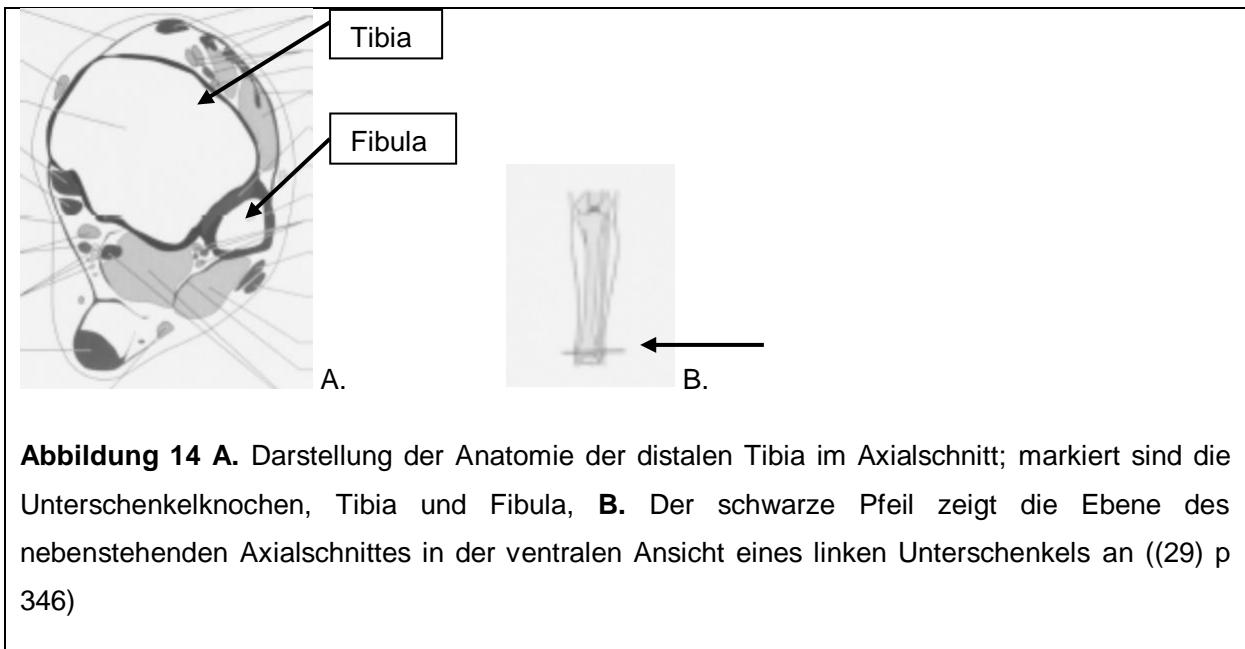
### 2.3.1. Messungen an proximaler Tibia



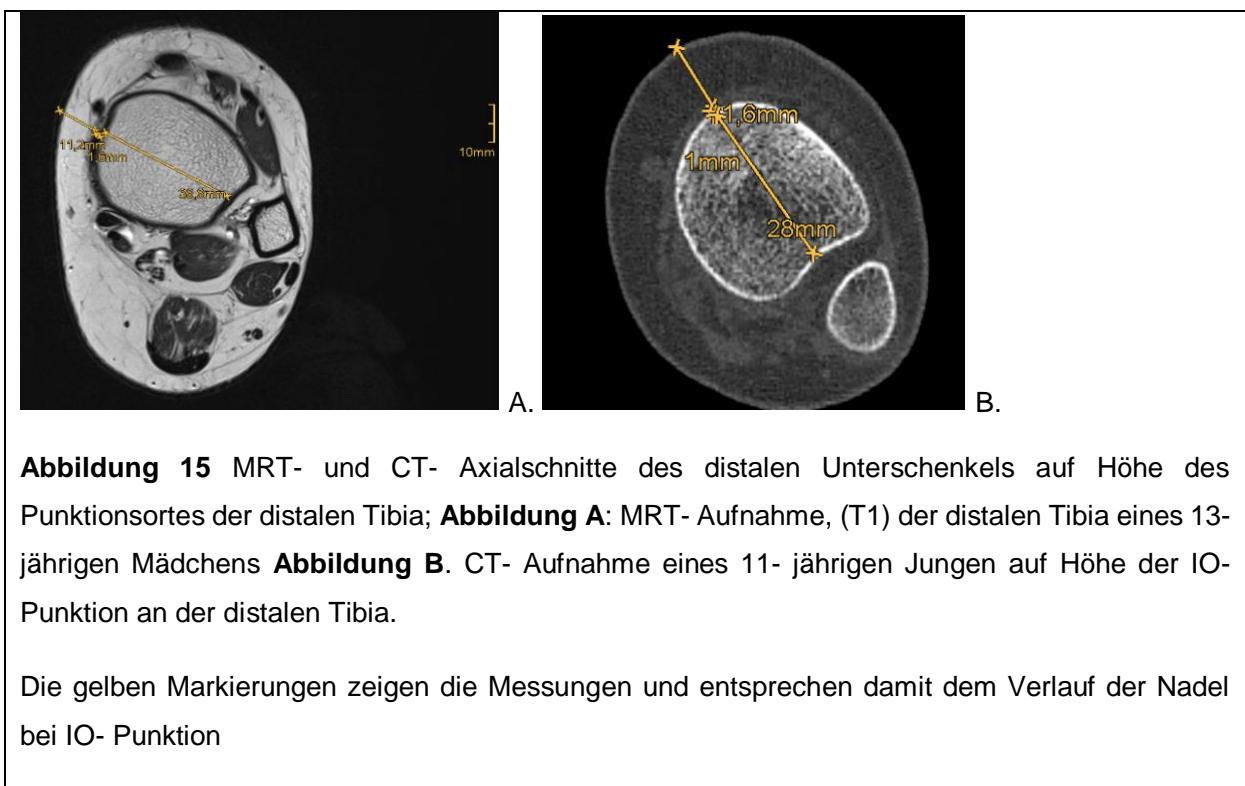
jährigen Jungen auf der Höhe des proximalen Punktionsortes der Tibia; Nota bene: Der dorsale Teil des Unterschenkels ist in dieser Aufnahme abgeschnitten.

Mit den gelben Markierungen in Abbildung **C.** und **D.** sind die Messungen eingezeichnet

### 2.3.2. Messungen an distaler Tibia



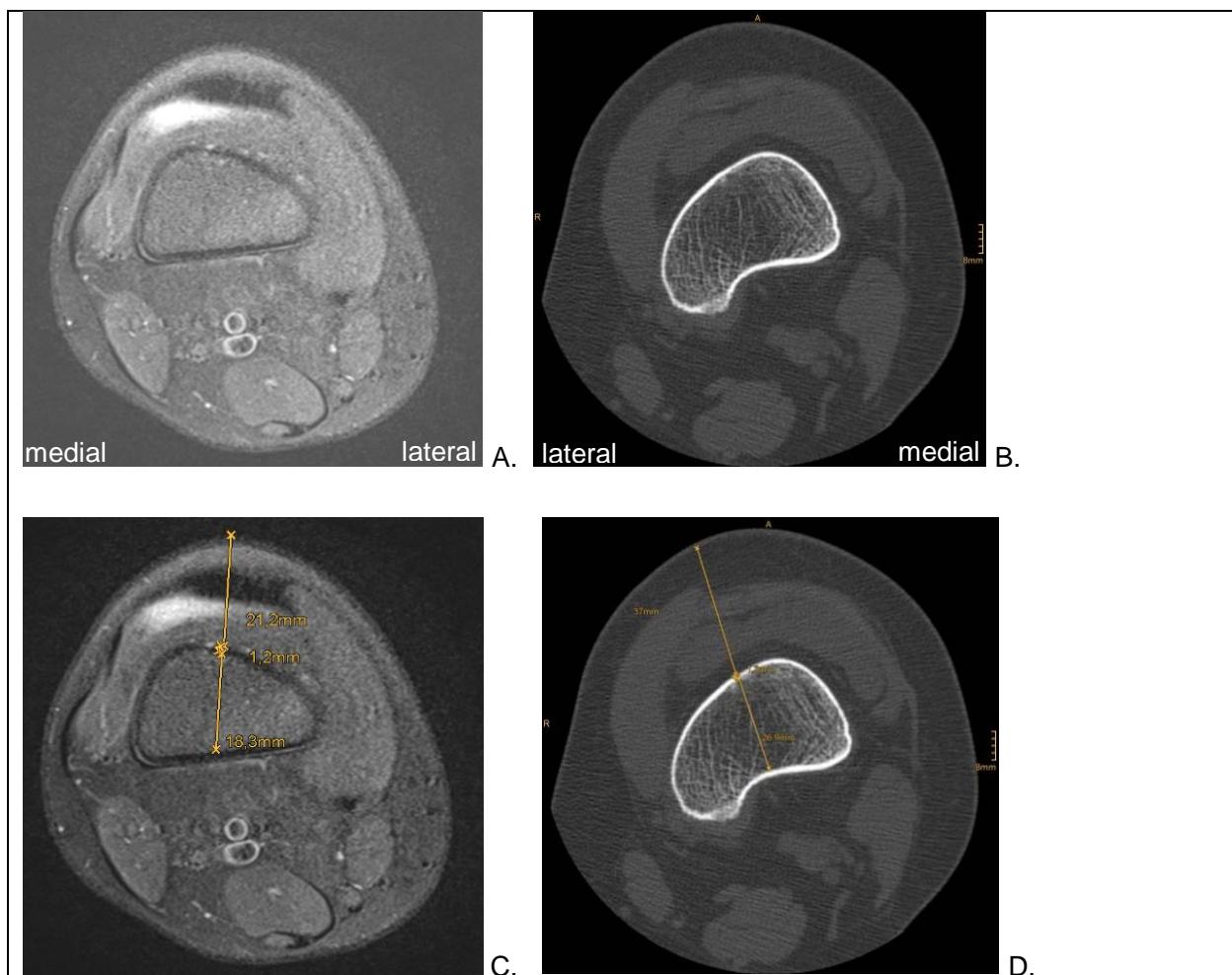
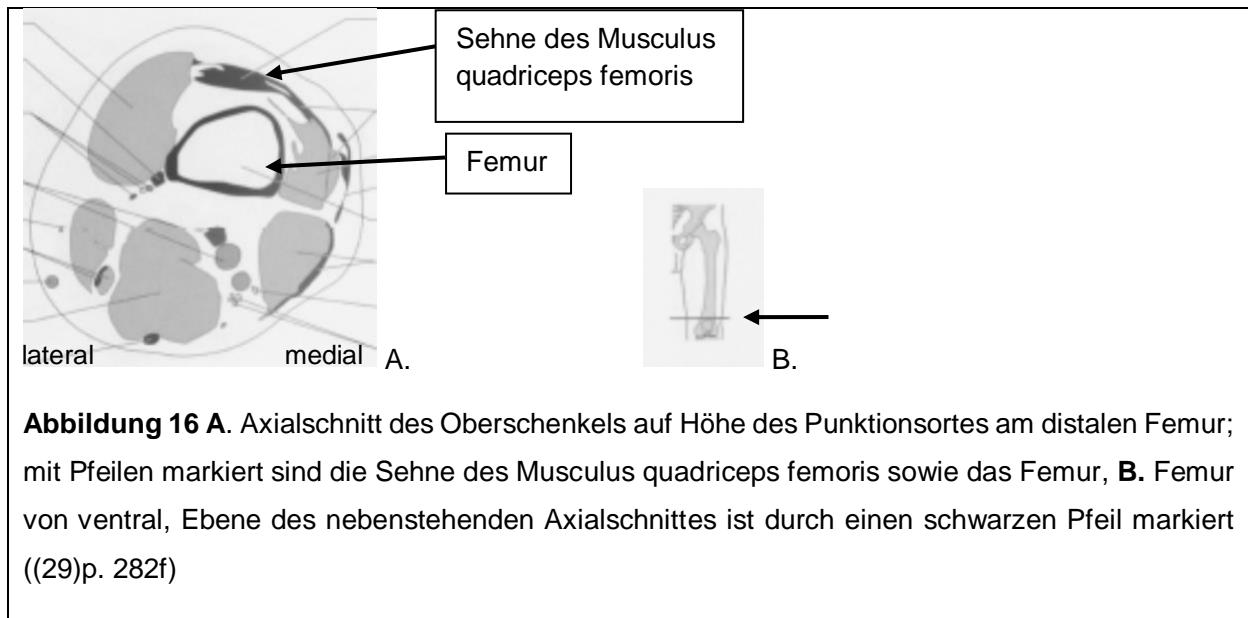
**Abbildung 14 A.** Darstellung der Anatomie der distalen Tibia im Axialschnitt; markiert sind die Unterschenkelknochen, Tibia und Fibula, **B.** Der schwarze Pfeil zeigt die Ebene des nebenstehenden Axialschnittes in der ventralen Ansicht eines linken Unterschenkels an ((29) p 346)



**Abbildung 15** MRT- und CT- Axialschnitte des distalen Unterschenkels auf Höhe des Punktionsortes der distalen Tibia; **Abbildung A:** MRT- Aufnahme, (T1) der distalen Tibia eines 13-jährigen Mädchens **Abbildung B.** CT- Aufnahme eines 11- jährigen Jungen auf Höhe der IO-Punktion an der distalen Tibia.

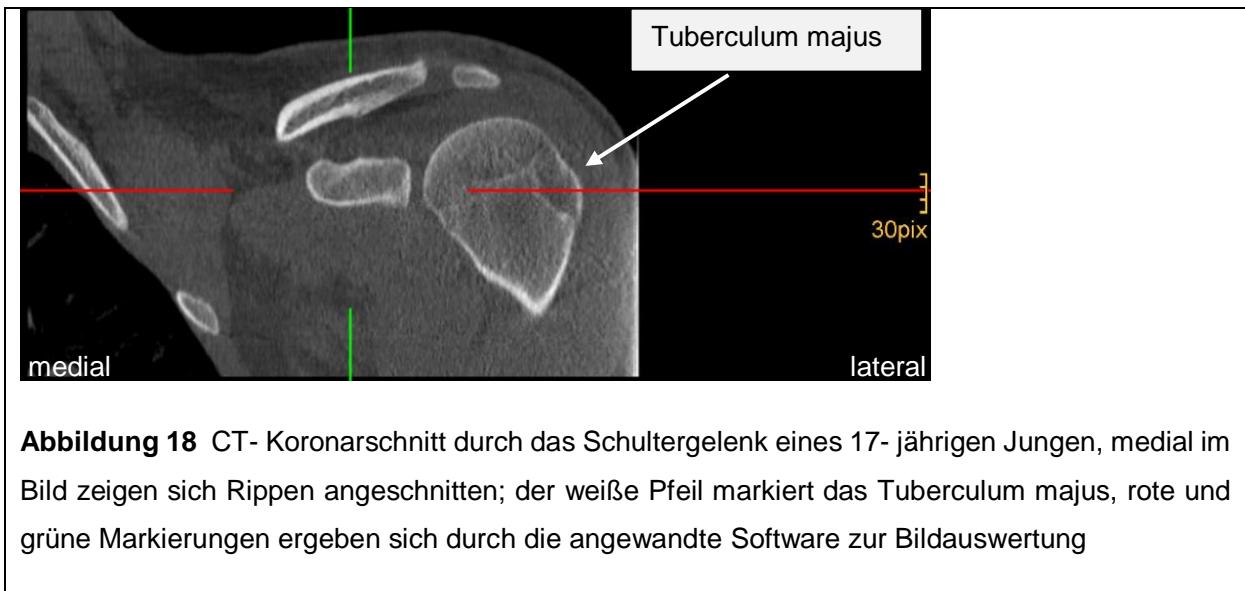
Die gelben Markierungen zeigen die Messungen und entsprechen damit dem Verlauf der Nadel bei IO- Punktion

### 2.3.3. Messungen am distalen Femur

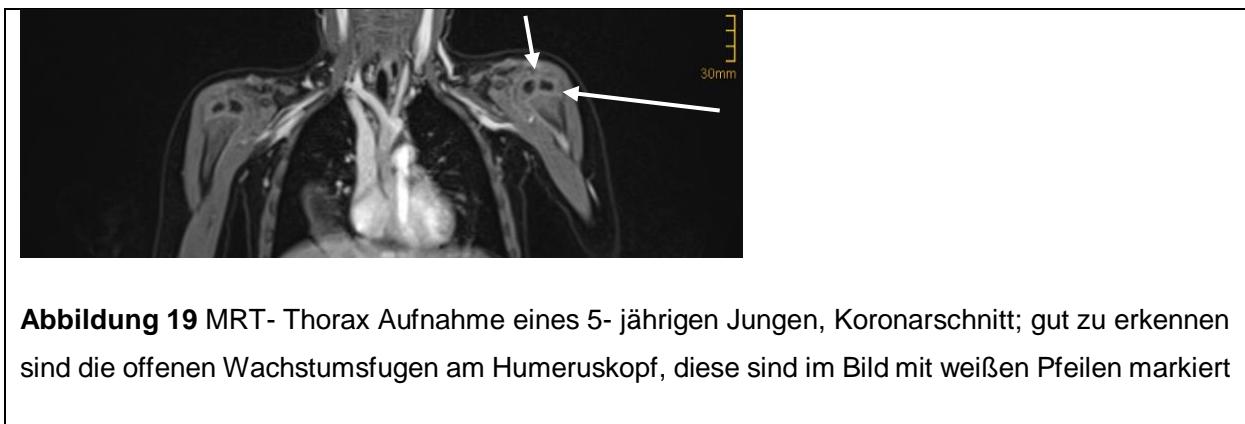


Computertomographische Aufnahme des Femur eines 13-jährigen Jungen auf Höhe der Punktionsstelle; die gelben Markierungen in den Abbildungen C. und D. zeigen die Messungen und entsprechen damit dem Verlauf der Nadel bei IO- Punktion

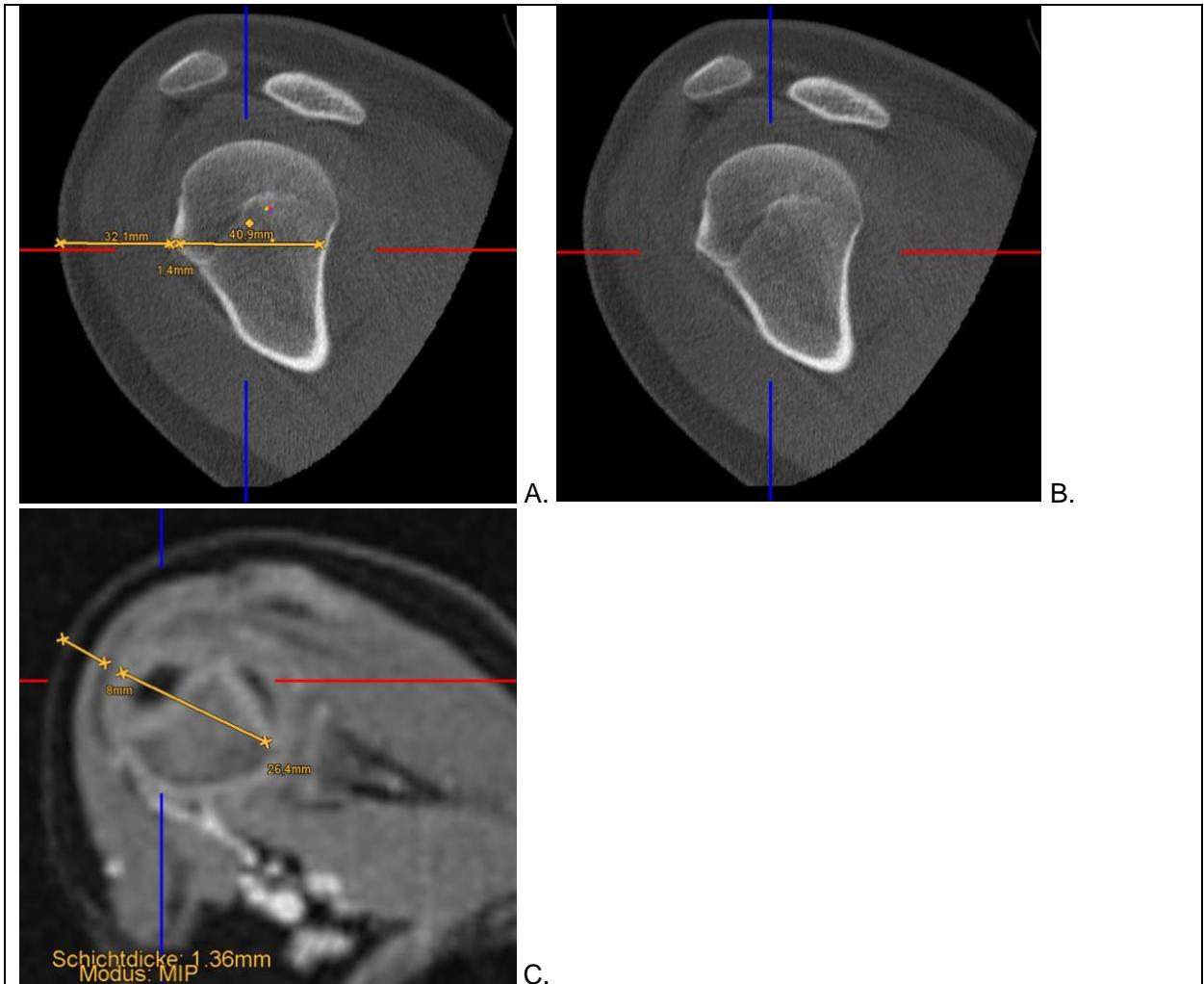
#### 2.3.4. Messungen an proximalem Humerus



**Abbildung 18** CT- Koronarschnitt durch das Schultergelenk eines 17- jährigen Jungen, medial im Bild zeigen sich Rippen angeschnitten; der weiße Pfeil markiert das Tuberculum majus, rote und grüne Markierungen ergeben sich durch die angewandte Software zur Bildauswertung



**Abbildung 19** MRT- Thorax Aufnahme eines 5- jährigen Jungen, Koronarschnitt; gut zu erkennen sind die offenen Wachstumsfugen am Humeruskopf, diese sind im Bild mit weißen Pfeilen markiert



**Abbildung 20** MRT- und CT- Rekonstruktionen aus Koronar- und Sagittalschnitten des Humeruskopf, zur Darstellung der von Herstellern vorgegebenen Punktionsebene am Humeruskopf; **A. und B.** CT- Aufnahmen; **C.** MRT- Aufnahme; die gelben Markierungen zeigen die Messungen und entsprechen damit dem Verlauf der Nadel bei IO- Punktion

### 2.3.5. Volumenmessungen

Darüber hinaus wurden an den zugehörigen Knochen folgende **Parameter** erhoben:

Das **Volumen** der **Spongiosa** [mm<sup>3</sup>] wurde sowohl durch ein geeignetes Programm (Advantage Workstation 4.6, Volume Share 5, General Electric Healthcare Fairfield (GE), CT) volumetriert, als auch näherungsweise mit der Formel für einen Zylinder ( $r^2 * \pi * l$ ), berechnet aus dem Quadrat des Radius (r), der Diaphyse des jeweiligen Knochens, der Kreiskonstante  $\pi$  sowie der Länge (l) desselben.

Das Volumen der Knochen ist abhängig vom Alter und der Körpergröße des Patienten. Zu beachten ist darüber hinaus der Verschluss der Epiphysenfugen. Individuell sind starke Unterschiede im Zeitpunkt des Verschlusses der Epiphysenfugen zu verzeichnen. Da die Epiphysenfuge eine räumliche Abtrennung zwischen Diaphyse und Epiphyse darstellt, ist sie für die Volumenabmessung von entscheidender Bedeutung.

Um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Volumina her zu stellen, wurden bei den weiblichen Patienten in der Gruppe der 17- Jährigen ein Verschluss der Epiphysenfugen angenommen, bei der gesamten Kohorte der männlichen Patienten wurde unter Annahme einer unverschlossenen Epiphysen Fuge gerechnet. Als Grundlage des Verschlusses der Epiphysenfugen dienten die Angaben zwei verschiedener Lehrbücher ((30)p 451) (32).

#### 2.4. Vergleich der Herstellerinformationen drei gängiger IO-Systeme

**Tabelle 1** Übersicht über verschiedene intraossäre Nadelsysteme, Herstellerangaben zur Nutzung sowie die exakte Lokalisation der aktuellen Messungen, Cook (Cook Group, Bloomington, Indiana, Vereinigte Staaten), EZ-IO (Tele Flex Inc.; Wayne, Pennsylvania, Vereinigte Staaten), BIG (WaisMed Ltd. A PerSys Medical Company, Elm St, Houston, Texas, Vereinigte Staaten)

Aktuelle Untersuchung	Cook	EZ-IO	BIG
<b>Proximale Tibia</b> <b>2 cm</b> distal der Tuberostas Tibiae u. bis zu 1 cm medial <b>Ziel:</b> Punktion senkrecht (90°) zum Tibiaplateau	<24 Lebensmonat und >24 Monate: <b>1-2 cm</b> distal der Tuberostas Tibiae und etwas medial, senkrecht zum Tibiaplateau, Nadel sollte bei Punktion nach distal gerichtet werden	<b>1 cm</b> medial der Tuberostas Tibiae, oder direkt unterhalb der Patella und ca. 1 cm medial, auf dem Tibia Plateau	0-6J.: <b>1 cm</b> medial, sowie 1 cm distal der Tuberostas Tibiae; 6-12 J.: <b>1-2 cm</b> medial und 1-2 cm distal der Tuberostas Tibiae
<b>Distale Tibia</b> <b>1-2 cm</b> proximal des Malleolus medialis an der größten Prominenz (Neugeborene: 1,5 cm bei den anderen Gruppen 2 cm)	„An der breiten, flachen Verbindungsstelle zwischen Tibiaschaft und Malleolus medialis auf der medialen Oberfläche der distalen Tibia“; die Nadel sollte in einer Linie mit der Längssachse des Knochens und nach proximal gerichtet werden	<b>1-2 cm</b> proximal von der Prominenz des Malleolus medialis	
<b>Femur</b> Senkrecht durch die Quadricepssehne <b>1-2 cm</b> proximal des proximalen Patella Randes bei gestrecktem Bein; (Neugeborenen 1 cm bei den übrigen Altersgruppen 2 cm proximal der Patella)		Maximal <b>1 cm</b> proximal der Patella und 1-2 cm medial von der Mittellinie	
<b>Humerus</b> Etwa <b>2 cm</b> distal des Akromions, Punktion des Tuberculum majus – 45° in Sagittalebene nach kranial gekippt, 45° in Koronarebene nach frontal gekippt		<b>1-2 cm</b> proximal des chirurgischen Halses, auf Höhe der größten Prominenz des Tuberculum majus, 45° aus der Frontalebene sowie 45° aus der Transversal- Ebene nach posteromedial	ja

**Tabelle 2** Vergleich von drei gängigen IO-Systemen sowie Hersteller Empfehlungen zur Auswahl der passenden Nadel Länge; cm steht für Zentimeter, G Gauge, kg Kilogramm, mm Millimeter

System	Cook			EZ-IO		BIG	
Einteilung nach	Alter	Nadelänge; Gauge (G)	Gewicht	Nadelänge	Alter und Punktionsort		Nadelänge
<24 Monate	3 cm 2,5 cm 3 cm 4 cm 3 cm 4 cm	14G 16G 16G 18G 18G	3-39 kg	1,5 cm	0-3 Jahre Proximale Tibia Distale Tibia	0,5-0,7 cm 0,75-1 cm	
>24 Monate	3 cm	15,5G	≥3 kg	2,5 cm	3-6 Jahre Proximale Tibia Distale Tibia	1,0-1,5 cm 0,75-1 cm	
			ab 40 kg	4,5 cm	6-12 Jahre Proximale Tibia Distale Tibia	1,5 cm 1,0 cm	
					Ab >12 Jahre Proximale Tibia Distale Tibia Humerus	2,5 cm 2 cm 2,5 cm	
Gauge		14G; 16G; 18G; 15,5G		15G	Kinder bis 12 Jahre Ab (≥)12 Jahren	18G 15G	
Funktionsweise	Manuell			Halbautomatisch		Vollautomatisch	
Hinweis	Es zahlreiche Nadeln mit verschiedenen Gauge sowie Nadelängen angeboten, sowohl für Kinder als auch für Erwachsene, die Nadel wird nach Alter des Patienten ausgewählt. Bei Patienten >24 Monate sollte die spezielle „high density“ eine besonders stabile Nadel verwendet werden			Es sind schwarze Markierungen an den Nadeln angebracht, eine 0,5 mm Markierung muss immer über Hautniveau sichtbar bleiben. Die jeweils geeignete Nadel soll Abhängig von anatomischen Verhältnissen und dem Punktionsort ausgewählt werden			

## 2.5. Überblick über die verwendeten Computertomografie (CT) sowie Magnetresonanztomografie (MRT) Geräte und die verwendete Software

Die magnetresonanztomographischen Aufnahmen erfolgten meist an einem Siemens Avanto Gerät (Siemens, München, Deutschland) (s. Abb. 21). Der Großteil der computertomographischen Untersuchungen erfolgten an einem Discovery CT750 HD Computertomographie- Gerät, oder einem Light-Speed VCT der Firma General Electric (GE Medical Systems Buckinghamshire, Großbritannien) (s. Abb. 22). Einzelne Untersuchungen, die in die Auswertung aufgenommen wurden, waren auch auf anderen Geräten der Firmen Siemens und General Electric durchgeführt worden.

Die Auswertung, ausgenommen der Volumetrie, erfolgte an der Picture Aquisition und Communication Software der Medizinischen Universität Innsbruck. Dabei handelte es sich um das Programm Impax EE der Firma Agfa (Version EER20XIVSU2, Agfa Health Care, Mortsel, Belgien). Wenn es notwendig war, wurden individuelle koronare, sagittale, und streng axiale Reformatierungen angefertigt, an denen dann in hoher Vergrößerung die Längenmessungen vorgenommen wurden.

Zur Volumetrie wurde die dafür vorgesehene Advantage Windows Workstation der Firma General Electric verwendet (AW 4.6, Volume Share 5, General Electric Healthcare, Fairfield, CT, USA). Sie erfolgt semiautomatisch durch manuelle Umrandung der gewünschten Struktur im jeweiligen Schnittbild sowie in den darüber und darunter gelegenen Schnittbildern unter Anwendung einer elektronischen Interpolation. Schließlich wird die so ausgewählte Struktur freigestellt und mit einem automatischen Tool volumetriert. In einem zweiten Ansatz erfolgte eine Schätzung des Volumens, unter der Annahme der zylindrischen Form eines Röhrenknochens. Somit konnte die Formel für einen Zylinder ( $r^2 * \pi * l$ ), berechnet aus dem Quadrat des Radius (r) der Diaphyse des jeweiligen Knochens, der Kreiskonstante  $\pi$  sowie der Länge (l) desselben, angewendet werden.



**Abbildung 21** MRT- Gerät; Siemens Avanto (Siemens, München, Deutschland) (36)



**Abbildung 22** CT- Gerät, Discovery CT750 HD Computertomographie-Gerät, General Electric (GE Medical Systems Buckinghamshire, Großbritannien) (37)

## 2.6. Statistische Auswertung

Zunächst wurde eine anonymisierte Datenbank mithilfe von Excel (Version 12.0, Microsoft Corporation, Redmond, Washington) angelegt. Nach Fertigstellung wurde diese in das Statistikprogramm SPSS (Version 23, International Business Machines Corporation (IBM) Armonk, New York) für die Auswertung überführt. Es erfolgte eine deskriptive Statistik entsprechend der Einschlusskriterien. Die deskriptive Statistik erfolgt für kategoriale Variablen mittels Häufigkeitstabellen, für kontinuierliche Variablen mittels statistischer Maßzahlen wie Mittelwert und Standardabweichung.

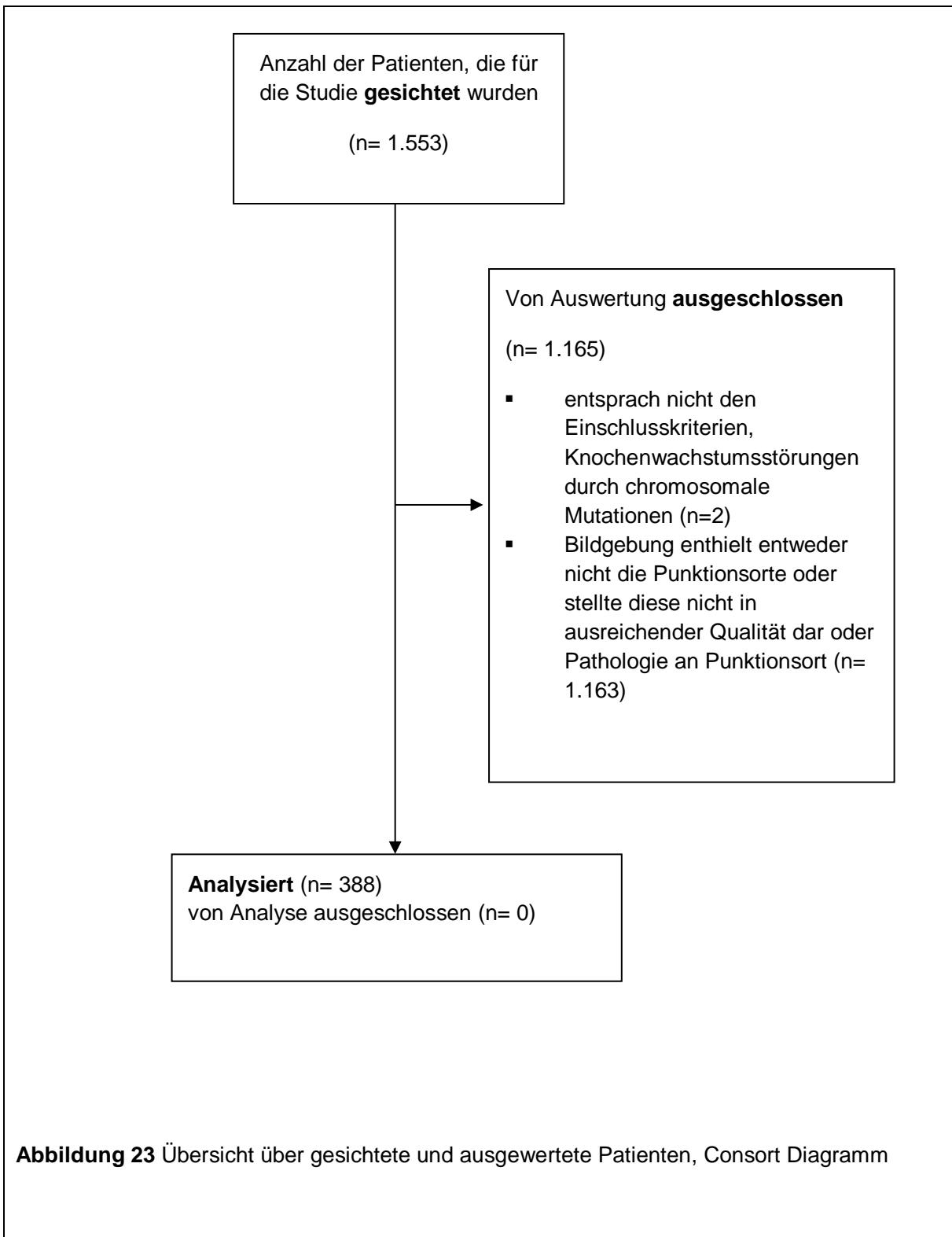
Die Häufigkeiten der gemessenen Durchmesser wurden zur Veranschaulichung in Box-Whisker Plots (s. Abb. 25- 28) dargestellt. Die gemessenen Durchmesser wurden in Tabelle 24-27 in Vergleich zu 6 verschiedenen Nadellängen gesetzt, um die Fehlerquote der einzelnen Nadellängen herauszuarbeiten und damit die optimale Nadellänge zu bestimmen.

Die Festlegung des Signifikanzniveaus (d.h. Irrtumswahrscheinlichkeit) erfolgte mit  $P<0.05$ .

### **3. Ergebnisse**

#### 3.1. Auswahl der Patienten

Es wurden die Bilder von 1.553 Patienten gesichtet. 1.165 Patienten wurden nicht in die statistische Auswertung einbezogen, da sie die Ausschlusskriterien der Studie erfüllten. Darunter waren zum Beispiel Kinder, die unter einer Krankheit litten, welche zu einer Abweichung von der normalen Knochenentwicklung führte, Knochenbrüche an den für eine IO- Punktation in Frage kommenden Gliedmaßen oder eine qualitativ nicht ausreichende Abbildung der Knochen und des ihn umgebenden Weichteils. Deshalb wurden schlussendlich 388 Patienten ausgewertet (s. Abbildung 24).



**Abbildung 23** Übersicht über gesichtete und ausgewertete Patienten, Consort Diagramm

### 3.2. Demographie

Die Altersverteilung und Aufteilung nach Geschlecht ist in Tabelle 3 dargestellt. Die Verteilung, der ausgewerteten Patienten in den verschiedenen Altersgruppen war heterogen. Die größte Gruppe stellte die Gruppe der 6- 16 Jährigen dar (n=231; 59,5 %), gefolgt von den 17- 18 Jährigen (n=86; 22,2 %).

### 3.3. Häufigkeiten der Diagnosen

Tabelle 3 stellt den Diagnosegrund für die CT- und MRT- Untersuchungen dar. Unabhängig vom Geschlecht war der Diagnosegrund zur Anfertigung der Schnittbilddiagnostik in den meisten Fällen nach der festgelegten Kodierung unter „Sonstiges“ (53,4 %) einzuordnen. Zu den häufigsten Ursachen für eine CT- und MRT- Untersuchung zählten Tumoren oder Frakturen (23,7 und 13,1 %). Deutlich seltener waren die übrigen Diagnosen, wie Skelettfehlstellungen (5,2 %), Sepsis (1,8 %), Polytrauma mit Schockraum- CT (1,0 %) und Fieber unklarer Ursache ((fever of unknown origin, FUO) 0,5 %).

### 3.4. Häufigkeiten von CT- und MRT- Untersuchungen

Es wurden im Untersuchungszeitraum deutlich mehr MRT- als CT- Aufnahmen angefertigt, demzufolge konnten auch deutlich mehr MRT- (78,9 %) als CT- (20,9 %) Aufnahmen ausgewertet werden. Von den MRT- Aufnahmen waren 47,5 % T1 gewichtet, 36 % T2 gewichtet und 16,5 Protonen (PD) gewichtet (Tabelle 5).

### 3.5. Besonderheiten der einzelnen Altersgruppen

Detaillierte Informationen zu den Besonderheiten der einzelnen Altersgruppen sind in Tabelle 5 dargestellt.

Bei der Gesamtheit der Patienten aller Altersgruppen und beider Geschlechter war der häufigste Diagnosegrund bei „Sonstiges“ einzuordnen (weiblich 109 von 186 (59 %); männlich 98 von 202 (49 %)), gefolgt von „Tumoren“ (weiblich 42 von 186 (23 %); männlich 50 von 202 (25 %)). An dritter Stelle standen bei den weiblichen Patienten die Skelettfehlstellungen (17 von 186 (9 %)), wobei diese bei männlichen Patienten seltener (3 von 202 (1 %)) waren. Bei männlichen Patienten waren Frakturen die dritthäufigste Ursache für eine Bildgebung (38 von 202 (19 %)) wohingegen diese bei weiblichen Patienten selten ursächlich für die Bildgebung war ((13 von 186 (7 %))).

### 3.5.1. 0.-30. Lebenstag

Insgesamt wurden in dieser Gruppe der 0-30 Tage alten Patienten neun weibliche und drei männliche Neugeborene ausgewertet. Der Grund für die Erstellung einer Schnittbildaufnahme unterschied sich von den anderen Altersgruppen. Skelettfehlstellungen waren in dieser Altersgruppe mit fünf von 11 (45,4 %) der Untersuchungen, gefolgt von Tumoren sowie „Sonstiges“ mit jeweils drei von 11 (27,3 %) die häufigsten Untersuchungsursachen.

### 3.5.2. 31. Lebenstag- 12. Lebensmonat

In der Altersgruppe von 31. Lebenstag- 12. Lebensmonat wurden wiederum mehr Daten von weiblichen Patienten (57 %) ausgewertet als in den übrigen Altersgruppen. Auch in dieser Altersgruppe war in 95,2 % der Fälle das MRT die Untersuchungsmethode. Die häufigsten Diagnosen für eine Untersuchung waren Tumoren (47,4 %).

### 3.5.3. 13. Lebensmonat- 18. Lebensjahr

Bei Patienten im 13. Lebensmonat- 5. Lebensjahr lag als häufigster Diagnosegrund ein Tumorverdacht (52,6 %) vor, gefolgt von sonstiges (15,8 %) und Skelettfehlstellung (10,5 %), in den Gruppen der 6- 16-Jährigen sowie der Jugendlichen im 17.– 18. Lebensjahr unter „Sonstiges“ einzuordnen. In den drei Altersgruppen ab dem 13. Lebensmonat- 18. Lebensjahr war die Anzahl der männlichen Patienten höher als die der Patientinnen (Anteil der männlichen Patienten: 53 %, 50 %, 59 %).

## 3.6. Körpergewicht und Körpergröße der ausgewerteten Patienten

Bei 262 Patienten wurde das Körpergewicht zum Untersuchungszeitpunkt dokumentiert. Es variierte zwischen 2,4 und 105,5 kg ( $MW \pm SA$  40,6 $\pm$ 23,1 kg). Die Körpergröße von den 248 ausgewerteten Patienten lag zwischen 47 und 195 cm ( $MW \pm SA$  139,9 $\pm$ 35,9 cm). Waren sowohl Körpergröße als auch Körpergewicht zum Untersuchungszeitpunkt bekannt, wurde der Body-Mass-Index (BMI) mit  $kg \cdot m^{-2}$  berechnet, wobei kg dem Körpergewicht in Kilogramm entspricht und  $m^2$  die Körpergröße in Metern zum Quadrat ist. Insgesamt wurde der BMI bei 177 Patienten ermittelt und variierte zwischen 12 und 34,4  $kg/m^2$  ( $MW \pm SA$  19,4 $\pm$ 4,3  $kg/m^2$ ).

**Tabelle 3** Grund für CT- und MRT- Untersuchung aufgeteilt nach Altersgruppen, FUO steht für Fever of unknown origin, LJ Lebensjahr, LM Lebensmonat, LT Lebenstag, n Anzahl, % Prozentualer Anteil des Untersuchungsgrundes in der jeweiligen Altersgruppe

Grund für CT- oder MRT- Untersuchung	0.- 30. LT n [%]	31. LT- 12. LM n [%]	13. LM- 5. LJ n [%]	6.- 16. LJ n [%]	17.-18. LJ n [%]	Gesamt n [%]
<b>Sonstiges</b>	3 (27,3 %)	6 (31,6 %)	6 (15,8 %)	139 (60,4 %)	53 (62,4 %)	207 (53 %)
<b>Tumor</b>	3 (27,3 %)	9 (47,4 %)	20 (52,6 %)	52 (22,6 %)	8 (9,4 %)	92 (24 %)
<b>Fraktur</b>			3 (7,9 %)	28 (12,2 %)	20 (23,5 %)	51 (13,1 %)
<b>Skelettausfälle/fehlstellungen</b>	5 (45,5 %)	3 (15,8 %)	4 (10,5 %)	5 (2,2 %)	3 (3,5 %)	20 (5,2 %)
<b>Sepsis/Abszess</b>		1 (5,3 %)	3 (7,9 %)	3 (1,3 %)		7 (1,8 %)
<b>Schockraum</b>			1 (2,6 %)	3 (1,3 %)	1 (1,2 %)	4 (1 %)
<b>FUO</b>			1 (2,6 %)			2 (0,5 %)

**Tabelle 4** Grund für CT- und MRT- Untersuchung aufgeteilt nach Geschlecht. FUO steht für Fever of unknown origin, n Anzahl; % prozentualer Anteil des Untersuchungsgrundes in der jeweiligen Gruppe (weiblich/männlich)

Untersuchungsgrund	Weiblich n [%]	Männlich n [%]
<b>Sonstiges</b>	109 (58,6 %)	98 (48,5 %)
<b>Tumor</b>	42 (22,6 %)	50 (24,8 %)
<b>Fraktur</b>	13 (7 %)	38 (18,8 %)
<b>Skelettfeststellungen</b>	17 (9,1 %)	3 (1,5 %)
<b>Sepsis/Abszess</b>	1 (0,5 %)	6 (3 %)
<b>Schockraum</b>	0 (0 %)	4 (2 %)
<b>FUO</b>	1 (0,5 %)	1 (0,5 %)
<b>Gesamt</b>	186 (100 %)	202 (100 %)

**Tabelle 5** Übersicht der Altersverteilung der ausgewerteten Patienten, Geschlechterverteilung, Untersuchungsmethode und Grund für die Diagnostik, Aufgeteilt nach Altersgruppe; LJ steht für Lebensjahr, LM Lebensmonat, LT Lebenstag, MRT Magnet-Resonanz-Tomographie, n Anzahl

	Anzahl n [%]	Weiblich/Männlich n [%]	MRT [%]	Diagnostik Grund [%]
<b>0.- 30. LT</b>	12 (3,1 %)	9/3 (75 %/ 25 %)	(100 %)	Skelettfehlstellung (45,5 %), Tumor (27,3 %), Sonstiges (27,3 %)
<b>31. LT- 12. LM</b>	21 (5,4 %)	16/5 (76,1 %/ 23,8 %)	(95,2 %)	Tumor (47,4 %), Sonstiges (31,6 %), Skelettfehlstellung (15,8 %)
<b>13. LM- 5. LJ</b>	38 (9,8 %)	18/20 (47,4 %/ 52,6 %)	(76,3 %)	Tumor (52,6 %), Sonstiges, (15,8 %), Skelettfehlstellung (10,5 %)
<b>6. - 16. LJ</b>	231 (59,5 %)	112/119 (48,5 %/ 51,5 %)	(83,1 %)	Sonstiges (60,4 %), Tumor (22,6 %), Fraktur (12,2 %)
<b>17.-18. LJ</b>	86 (22,2 %)	35/51 (40,7 %/ 59,3 %)	(62,8 %)	Sonstiges (62,4 %), Fraktur (23,5 %), Tumor (9,4 %)
<b>Gesamt</b>	388 (100 %)	186/202 (47,9 %/ 52,1 %)	(79,1 %)	Sonstiges (54,0 %), Tumor (24,0 %), Fraktur (13,3 %), Skelettfehlstellungen (5,2 %)

**Tabelle 6** Biometrische Daten der Patienten nach Altersgruppe, cm steht für Zentimeter, kg Kilogramm, LM Lebensmonat, LJ Lebensjahr, LT Lebenstag, min.-max. Minimum-Maximum, m<sup>2</sup> Quadratmeter, n Anzahl

	Gewicht [kg] min.-max. (n)	Körpergröße [cm] min.-max. (n)	BMI [kg/m <sup>2</sup> ] min.-max. (n)
<b>0.- 30. LT</b>	2,4-8,8 (8)	47,0-76,5 (7)	12,6-15,0 (3)
<b>31. LT- 12. LM</b>	3,3-9,4 (15)	50,0-74,0 (13)	14,4-17,5 (7)
<b>13. LM- 5. LJ</b>	8,3-34,0 (35)	73,0-118,9 (30)	13,6-19,9 (16)
<b>6. - 16. LJ</b>	15,0-97,1 (155)	107,5-189,0 (151)	12,0-34,4 (115)
<b>17.-18. LJ</b>	49,0-105,5 (49)	157,2-195,0 (47)	17,0-33,4 (36)
<b>Gesamt</b>	2,4-105,5 (262)	47,0-195,0 (248)	12,0-34,4 (177)
<b>Weiblich</b>	2,4-87,0 (134)	47,0-180,0 (126)	12,0-34,4 (89)
<b>Männlich</b>	3,3-105,0 (128)	50,0-195,0 (122)	13,0-33,4 (88)

**Tabelle 7** Biometrische Daten der Patienten nach Altersgruppe; cm steht für Zentimeter, kg Kilogramm, LM Lebensmonat, LJ Lebensjahr, LT Lebenstag, MW Mittelwert, m<sup>2</sup> Quadratmeter, n Anzahl, SA Standardabweichung.

	Gewicht [kg] MW±SA	Körpergröße [cm] MW±SA	BMI [kg/m <sup>2</sup> ] MW±SA
<b>0.-30. LT</b>	4,0±2,2	54,4±10,7	13,9±1,2
<b>31. LT- 12. LM</b>	6,6±1,6	64,1±7,9	16,1±1,2
<b>13. LM- 5. LJ</b>	13,9±5,2	92,8±13,9	15,8±1,6
<b>6. - 16. LJ</b>	43,4±16,7	149,8±18,6	19,2±4,1
<b>17.-18. LJ</b>	66,9±12,2	171,9±8,9	22,6±3,5
<b>Gesamt</b>	40,6±23,1	139,9±35,9	19,4±4,3
<b>Weiblich</b>	38,0±21,4	136,0±35,7	19,3±4,1
<b>Männlich</b>	43,3±24,6	143,9±35,7	19,4±4,5

**Tabelle 8** Übersicht der Messwerte an den Punktionsorten nach Altersgruppe und Geschlecht; LM steht für Lebensmonat, LJ Lebensjahr, LT Lebenstag, n Anzahl

		Tibia proximal			Tibia distal			Femur			Humerus		
	Weichteil (n)	Kortikalis (n)	Knochenmarkshöhle (n)	Weichteil (n)	Kortikalis (n)	Knochenmarkshöhle (n)	Weichteil (n)	Kortikalis (n)	Knochenmarkshöhle (n)	Weichteil (n)	Kortikalis (n)	Knochenmarkshöhle (n)	
<b>0.- 30. LT</b>	1	1	1				1			1	4		
<b>31. LT- 12. LM</b>	4	3	4	6	5	6	6	6	6	6	2	6	
<b>13. LM- 5. LJ</b>	16	12	16	13	10	13	15	11	15	13	2	13	
<b>6.-16. LJ</b>	118	98	118	70	60	70	132	104	132	31	12	31	
<b>17.-18. LJ</b>	33	30	33	33	33	34	46	39	46	14	9	14	
<b>Gesamt</b>	172	144	172	122	108	123	200	160	200	68	25	68	
<b>Weiblich</b>	85	71	85	50	45	50	104	83	104	26	7	26	
<b>Männlich</b>	87	73	87	72	63	73	96	77	96	42	18	42	

**Tabelle 9** Übersicht der Messwerte an den Punktionsorten nach Altersgruppe und Geschlecht; Angaben in mm [Millimeter]; LM steht für Lebensmonat, LJ Lebensjahr, LT Lebenstag, MW Mittelwert, SA Standardabweichung.

	Tibia proximal [mm]			Tibia distal [mm]			Femur [mm]			Humerus [mm]		
	Weichteil (MW±SA)	Kortikalis (MW±SA)	Knochenmarkshöhle (MW±SA)	Weichteil (MW±SA)	Kortikalis (MW±SA)	Knochenmarkshöhle (MW±SA)	Weichteil (MW±SA)	Kortikalis (MW±SA)	Knochenmarkshöhle (MW±SA)	Weichteil (MW±SA)	Kortikalis (MW±SA)	Knochenmarkshöhle (MW±SA)
0.- 30. LT	5,1	0,9	6,5				15,8		7,7	8,5±1,8		14,9±1,1
31. LT- 12. LM	15,5±2,3	0,9±0,6	9±2,4	7,6±3,9	1,2±0,4	11,3±3,4	19,8±4,4	0,9±0,4	9,3±1,6	9,2±2,5	1,3±0,6	17±3,1
13. LM- 5. LJ	11,4±2,2	1,2±0,3	13,4±3,8	9,2± 1,7	1,3± 0,6	14,7±4,7	21,9±2,4	1,3± 0,4	12,7±2,8	9,9± 2,9	1,1 ±0,3	24,7±2,9
6.- 16. LJ	11,0± 2,9	1,3±0,4	25,8±5,1	7,3±2,2	1,4±0,5	27,8±5,4	33±7,3	1,4± 0,5	22,9±3,9	12,2±6,19	1,3±0,4	35,4±5,8
17.-18. LJ	11,2±3,7	1,3±0,3	31,2±3,1	6,9±1,6	1,4±0,4	32,6±3,9	37,2±4,3	1,5±0,5	26,6±3,8	16,9±9,8	1,6±0,3	43,7±5,2
Gesamt	11,2±3,1	1,3±0,4	25,2±7,0	7,4±2,2	1,4±0,5	27,0±7,8	32,7±7,8	1,4±0,5	22,5±5,7	32,7±6,8	1,4±0,4	32,2±10,2
Weiblich	11,8±2,9	1,3±0,4	24,7±6,8	7,4±2,3	1,3±0,5	25,4±7,2	32,7±7,5	1,4±0,5	22,1±4,9	10,0 ±4,3	1,4±0,4	30,6±10,0
Männlich	10,5±3,2	1,3±0,4	25,7±7,3	7,4±2,0	1,4±0,4	28,1±8,1	32,7±8,2	1,5±0,5	22,9±6,3	13,7±7,7	1,4±0,4	33,3±10,3

**Tabelle 10** Volumina nach Altersgruppen sortiert, volumetrierte und berechnete Werte, LM steht für Lebensmonat, LJ Lebensjahr, LT Lebenstag, mm<sup>3</sup> Kubikmillimeter, n Anzahl

	Tibia			Femur			Humerus		
	Volumetriert [mm <sup>3</sup> ] (n)	Berechnet [mm <sup>3</sup> ] (n)	Volumetriert [mm <sup>3</sup> ] (n)	Berechnet [mm <sup>3</sup> ] (n)	Volumetriert [mm <sup>3</sup> ] (n)	Berechnet [mm <sup>3</sup> ] (n)	Volumetriert [mm <sup>3</sup> ] (n)	Berechnet [mm <sup>3</sup> ] (n)	
<b>0- 30. LT</b>			2	5				1	
<b>31. LT- 12. LM</b>	3	4	3	6	6	3	3	4	
<b>13. LM- 5. LJ</b>	9	12	6	14	14	7	7	11	
<b>6.- 16. LJ</b>	11	24	10	21	21	4	4	8	
<b>17.-18. LJ</b>		3		3	3			1	
<b>Gesamt</b>	23	43	21	49	49	14	14	25	
<b>Weiblich</b>	11	22	11	26	26	7	7	13	
<b>Männlich</b>	12	21	10	23	23	7	7	12	

**Tabelle 11** Volumina nach Altersgruppen sortiert; volumetrierte und berechnete Werte, LM steht für Lebensmonat, LJ Lebensjahr, LT Lebenstag, MW Mittelwert, mm<sup>3</sup> Kubikmillimeter, SA Standardabweichung.

	Tibia		Femur		Humerus	
	Volumetriert [mm <sup>3</sup> ] (MW±SA)	Berechnet [mm <sup>3</sup> ] (MW±SA)	Volumetriert [mm <sup>3</sup> ] (MW±SA)	Berechnet [mm <sup>3</sup> ] (MW±SA)	Volumetriert [mm <sup>3</sup> ] (MW±SA)	Berechnet [mm <sup>3</sup> ] (MW±SA)
<b>0- 30. LT</b>			1,2±0,3	4,1±2,2		4,79
<b>31. LT- 12. LM</b>	3,6±2,1	9,7±5,9	8,3±3,1	17,6±16,3	2,4±1,0	6,2±4,3
<b>13. LM- 5. LJ</b>	12,4±6,2	32,6±21,8	23,7±12,7	57,6±37,7	6,8±3,5	26,4±18,1
<b>6- 16. LJ</b>	41,8±25,2	163,7±103,8	78,2±31,4	253,4±99,2	14,8±8,2	158,3±147,5
<b>17-18. LJ</b>		348±148,7		492,9±78,7		84,6
<b>Gesamt</b>	25,3±23,9	125,7±123,4	45,3±39,6	157,8±153,7	8,1±6,6	66,8±104,0
<b>Weiblich</b>	20,9±16,1	124,1±105,5	45,1±40,0	126,2±129,2	8,9±9	48,0±45,1
<b>Männlich</b>	29,3±29,5	127,4±142,6	45,5±41,2	193,6±173,4	7,4±3,6	87,2±143,2

### 3.7. Messwerte an den Punktionsorten

#### 3.7.1. Tibia proximal

Bei 172 Patienten wurde der Weichteilmantel und der Knochenmarkshöhlendurchmesser, bei 144 die Kortikalis ausgemessen. Die Messwerte der Durchmesser lagen für das Weichteil zwischen 4,6 und 21,4 mm (n=172; MW±SA 11,2±3,1 mm), für die Kortikalis zwischen 0,4 und 2,4 mm. (n=144; MW±SA 1,3±0,4 mm) sowie die Knochenmarkshöhle zwischen 6,5 und 37,9 mm (n= 172; MW±SA 25,2±7,0 mm). Der Durchmesser des Weichteils war in der jüngsten Patientengruppe am größten, in den übrigen Altersgruppen (1. Lebensmonat- 18. Lebensjahr) wurden geringere Messwerte des Weichteils gemessen.

Die Messwerte für Weichteilmantel und Kortikalis wurden summiert und lagen zwischen 5,9-22,0 mm (n=140; MW±SA 12,5±3,1 mm) (Tabellen 12, 13). Der Gesamtdurchmesser an proximaler Tibia von Weichteilmantel, Kortikalis<sup>2</sup> und Knochenmarkshöhle variierte zwischen 13,4-56,3 mm (n=140; MW±SA 38,6±7,7 mm) (Tabelle 14, 15). An allen Punktionsorten zeigte sich eine Zunahme der Durchmesser dieses kumulativen Wertes mit steigender Altersgruppe und war somit in der Altersgruppe vom 17. Lebensjahr-18. Lebensjahr am größten.

#### 3.7.2. Tibia distal

Die Durchmesser am Punktionsort der distalen Tibia wurden bei 122 Patienten der Weichteilmantel, bei 123 die Spongiosa und in 108 die Kortikalis gemessen. Der Durchmesser des Weichteilmantels lag zwischen 2,9 und 14,5 mm (n=122), die Werte variierten zwischen den Altersgruppen nur gering (MW±SA 7,4±2,2 mm). In der Altersgruppe von 13. Lebensmonat- 5. Lebensjahr war der Weichteilmantel im Mittel am größten (MW±SA 9,2±1,7 mm). Der Durchmesser der Kortikalis nahm minimal 0,6 und maximal 2,8 mm ein (n= 108; MW±SA 1,4±0,5 mm), es zeigten sich Messwerte des am Knochenmarkshöhle von 7,8- 45,2 mm (n= 123, MW±SA 27±7,8 mm). Die Messwerte der Knochenmarkshöhlendurchmesser waren mit aufsteigender Altersgruppe zunehmend, dementsprechend maß die Altersgruppe zwischen 17.- 18. Lebensjahr die größten Werte.

Die Summe aus Weichteilmantel- und Kortikalis-Durchmesser lagen zwischen 4,7-15,6 mm (n=; 107; MW±SA 8,8±2,3 mm), Weichteilmantel, Kortikalis<sup>2</sup> mit hinzugerechneter Knachenmarkshöhlendurchmesser zwischen 14,8 und maximal 53,6 mm (n=107; MW±SA 37,9±7,5 mm).

### 3.7.3. Tibia Volumen

Das Volumen der Tibia, welches aus der Länge der Tibia sowie dem Radius mithilfe der Formel für einen Zylinder ( $r^2 \cdot \pi \cdot l$ ) berechnet wurde, wobei  $r$  für Radius des Grundkreises,  $\pi$  für die mathematische Konstante der Kreiszahl ( $\approx 3,14$ ) und  $l$ , das für die Höhe des Zylinders steht, ergab Werte zwischen 2,4 und 520 mm<sup>3</sup> (n=43; MW±SA 125,7±123,4 mm<sup>3</sup>). Die volumetrierten Volumina lagen bei Werten zwischen 2,3 und 94,8 mm<sup>3</sup> (n=23, MW±SA 25,3±23,9 mm<sup>3</sup>). Es wurden mehr Volumina berechnet (n=43) als volumetriert (n=23).

**Tabelle 12** Gesamtwert aus Weichteil und Kortikalis in Millimeter [mm], LM steht für Lebensmonat, LJ Lebensjahr, LT Lebenstag, min.-max. Minimum-Maximum, mm Millimeter, n Anzahl

	<b>Proximale Tibia</b> min.-max. (n)	<b>distale Tibia</b> min.-max. (n)	<b>Femur</b> min.-max. (n)	<b>Humerus</b> min.-max. (n)
<b>0.- 30. LT</b>	6 (1)			
<b>31. LT- 12. LM</b>	13,4-18,8 (3)	4,7-15,6 (5)	12,7-24,5 (6)	10,7-13,1 (2)
<b>13. LM 5. LJ</b>	9,1-16,7 (12)	8,7-13,7 (10)	21,6-29,4 (11)	17,3 (1)
<b>6. - 16. LJ</b>	5,9-20,8 (95)	5,4-15,5 (60)	17,2-74,7 (103)	7,5-38,2 (12)
<b>17-18. LJ</b>	6,6-22 (29)	5,2-12 (32)	30,4-54,8 (39)	10-47,9 (9)
<b>Gesamt</b>	5,9-22 (140)	4,7-15,6 (107)	12,7-74,7 (159)	7,5-47,9 (24)
<b>Weiblich</b>	7-22 (68)	5,4-15,5 (45)	12,7-54,8 (82)	8,4-18,1 (7)
<b>Männlich</b>	5,9-19,5 (72)	4,7-15,6 (62)	17,2-74,7 (77)	7,5-47,9 (17)

**Tabelle 13** Gesamtauswertung aus Weichteil- und Kortikalsdurchmessern in Millimeter [mm]; LJ steht für Lebensjahr, LM Lebensmonat, LT Lebenstag, mm Millimeter; MW Mittelwert, SA Standardabweichung

	<b>Proximale Tibia</b> MW±SA	<b>Distale Tibia</b> MW±SA	<b>Femur</b> MW±SA	<b>Humerus</b> MW±SA
<b>0.- 30. LT</b>	-	keine Daten	keine Daten	keine Daten
<b>31. LT- 12. LM</b>	16,4±2,7	8,1±4,3	20,7±4,4	12±1,8
<b>13. LM 5. LJ</b>	12,2±2,1	10,6±1,5	23,5±2,3	keine Daten
<b>6.- 16. LJ</b>	12,4±2,9	8,7±2,3	34,5±8,0	15,1±8,5
<b>17.-18. LJ</b>	12,7±3,8	8,3±1,6	38,7±4,5	21±11,1
<b>Gesamt</b>	12,5±3,1	8,8±2,3	34,3±8,2	17,1±9,4
<b>Weiblich</b>	13,4±2,9	8,7±2,4	34,4±7,8	11,2±3,3
<b>Männlich</b>	11,6±3,1	8,8±2,2	34,1±8,7	19,6±10,0

**Tabelle 14** Gesamtwert aus Weichteil, Kortikalis<sup>2</sup> und Markraumdurchmesser, Werte in Millimeter [mm] LM Lebensmonat, LJ Lebensjahr,  
 LT Lebenstag min.-max. Minimum-Maximum, mm Millimeter, n Anzahl

	<b>Proximale Tibia</b> min.-max. (n)	<b>distale Tibia</b> min.-max. (n)	<b>Femur</b> min.-max. (n)	<b>Humerus</b> min.-max. (n)
<b>0.- 30. LT</b>	13,4 (1)	0	0	0
<b>31. LT- 12. LM</b>	26,0-28,0 (3)	14,8-26,6 (5)	22,4-36,5 (6)	29,1-35,6 (2)
<b>13. LM- 5. LJ</b>	21,3-31,5 (12)	21,2-37,8 (10)	31,7-47,3 (11)	46,4 (1)
<b>6.- 16. LJ</b>	24,3-52,5 (95)	27,5-52,3 (60)	33,4-101,9 (103)	34,7-81,7 (12)
<b>17.-18. LJ</b>	39,8-56,3 (29)	36,4-53,6 (32)	53,5-87,5 (39)	53,5-89,9 (9)
<b>Gesamt</b>	13,4-56,3 (140)	14,8-53,6 (107)	22,4- 101,9 (159)	29,1- 89,9 (24)
<b>Weiblich</b>	21,3-56,3 (68)	18,7-52,3 (45)	22,4-87,5 (82)	34,7-55,9 (7)
<b>Männlich</b>	13,4-49,9 (72)	14,8-53,6 (62)	31,7-101,9 (77)	29,1-89,9 (17)

**Tabelle 15** Gesamtwert aus Weichteil, Kortikalis<sup>2</sup> und Markraumdurchmesser, in Millimeter [mm], LM Lebensmonat, LJ Lebensjahr,  
 LT Lebenstag, mm Millimeter, MW Mittelwert, SA Standardabweichung

	Proximale Tibia MW±SA	Distale Tibia MW±SA	Femur MW±SA	Humerus MW±SA
0.- 30. LT	-	0	0	0
31. LT- 12. LM	26,8±1,0	19,9± 4,3	30,9±5,0	32,4±4,6
13. LM- 5. LJ	26,1±3,9	26,2±5,4	37,1±7,6	
6.- 16. LJ	39,1±6,3	38,7±5,4	58,8±11,1	51,8±11,8
17.-18. LJ	44,8±3,6	42,5±3,8	66,6±6,0	65,2±11,6
Gesamt	38,6±7,7	37,9±7,5	58,1±12,9	54,9±14,4
Weiblich	39,5±7,7	36,0±6,7	58,1±12,1	48,7±7,2
Männlich	38,1 ±7,7	39,2±7,9	58,2±13,9	57,5±16,0

#### 3.7.4. Femur distal

Der Durchmesser des Weichteilmantels von der Haut bis zur Kortikaloberfläche wurde am Femur bei 200 Patienten bestimmt. Das Minimum lag bei 11,8 und Maximum bei 73,7 mm ( $MW \pm SA 32,7 \pm 7,8$  mm). Der Weichteilmanteldurchmesser nahm zwischen den Altersgruppen 1. Lebensmonat- 12. Lebensmonat und 17.- 18. Lebensjahr von 20,0 auf 33,0 mm, um mehr als 50% zu. Der Kortikalsdurchmesser ( $n=160$ ) lag zwischen 0,5 und 2,6 mm ( $MW \pm SA 1,4 \pm 0,5$  mm) sowie der Durchmesser der Knochenmarkshöhle ( $n=200$ ) bei minimal 7,4- 35,6 mm maximal ( $MW \pm SA 22,5 \pm 5,7$  mm). Weichteilmantel- und Knochenmarkshöhlen Durchmesser zeigten mit steigendem Alter ansteigende Messwerte. Die Altersgruppe 1.- 30. Lebenstag zeigte den geringsten, wohingegen die Gruppe von 17. Lebensjahr- 18. Lebensjahr den ausgeprägtesten Weichteilmanteldurchmesser zeigte.

Der Durchmesser von Weichteilmantel und Kortikalis zusammen lag zwischen 12,7 und maximal 74,7 mm ( $n=159$ ;  $MW \pm SA 34,3 \pm 8,2$  mm). Der Gesamtdurchmesser von Weichteil, Kortikalis<sup>2</sup> und Knochenmarkshöhle insgesamt betrug maximal 159 und minimal 22,4- 101,9 mm ( $n= 58$ ;  $MW \pm SA 1,0 \pm 12,9$  mm).

#### 3.7.5. Femur Volumen

Das mittels Volumetrie bestimmte Volumen ( $n=21$ ) ergab Messwerte zwischen 1,0-137,6 mm<sup>3</sup> ( $MW \pm SA 45,3 \pm 39,6$  mm<sup>3</sup>), das berechnete Volumen variierte von 2,3-539,5 mm<sup>3</sup> ( $n=49$ ;  $MW \pm SA 157,8 \pm 153,7$  mm<sup>3</sup>).

#### 3.7.6. Humerus proximal

Der Durchmesser des Weichteilmantels lag zwischen 1,5 und 46,5 mm ( $n=68$ ,  $MW \pm SA 32,7 \pm 6,8$  mm), der Kortikalis zwischen 0,8-2,0 mm ( $n=25$ ,  $MW \pm SA 1,4 \pm 0,4$  mm) sowie der Knochenmarkshöhle zwischen 11,8- 52,9 mm ( $n=68$ ,  $MW \pm SA 32,2 \pm 10,2$  mm). Weichteilmantel- und Spongiosa Durchmesser zeigten mit zunehmendem Alter größere Werte und wiesen somit die größten Werte in der Altersgruppe von 17.- 18. Lebensjahr auf. Die Summe der Durchmesser von Weichteilmantel und Kortikalis lag zwischen 7,5- 47,9 mm ( $n=24$ ;  $MW \pm SA 17,1 \pm 9,4$  mm).

#### 3.7.7. Humerus Volumen

Das volumetrierte Volumen des Humerus lag zwischen 1,6 und 26,2 mm<sup>3</sup> ( $n=14$ ,  $MW \pm SA 8,1 \pm 6,6$  mm<sup>3</sup>). Die berechneten Volumina lagen zwischen 3,2 und 512,7 mm<sup>3</sup> ( $n=25$ ,  $MW \pm SA 66,8 \pm 104,0$  mm<sup>3</sup>).

### 3.8. Korrelation nach Spearman- Rho

Die Daten waren nicht linear verteilt, deshalb wurde eine Korrelation nach Spearman-Rho (zweiseitig, nichtparametrische Korrelation) durchgeführt. Es wurden die gemessenen Werte aller Punktionsorte sowie die Summen von Weichteilmantel- und Kortikalis-, als auch der Gesamtdurchmesser von Weichteilmantel, Kortikalis und Knochenmarkshöhle, mit den Patientendaten Körpergewicht, Körpergröße, errechnetem BMI sowie dem Patientenalter korreliert.

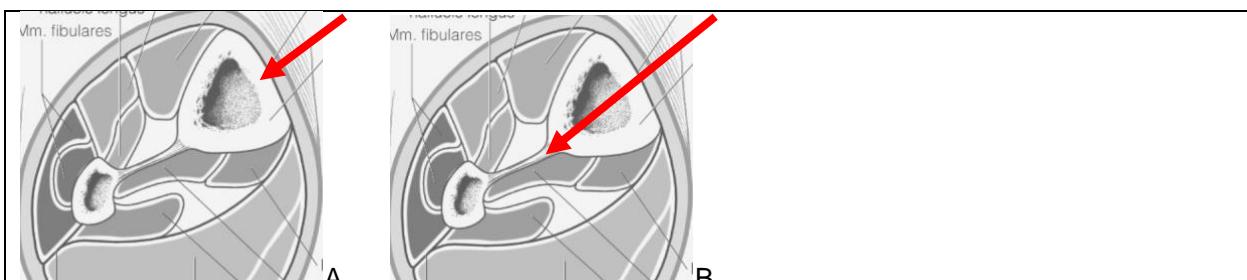
Es zeigte sich bei der Korrelation von Körpergewicht, Körpergröße, BMI und Alter mit den Messwerten an den Punktionsorten, dass eine signifikante Korrelation von Länge des Knochens zu Körpergröße und Alter an allen vier Punktionsorten besteht. Des Weiteren korrelieren die Knochenmarkshöhlen- sowie der Gesamtdurchmesser von Weichteilmantel, Kortikalis und Knochenmarkshöhle an allen vier Punktionsorten mit Körpergröße, Körpergewicht und Alter mit beinahe identischen Korrelationskoeffizienten. Davon lässt sich ableiten, dass die Körpergröße eine geeignete Alternative darstellt, falls das Alter nicht zur Verfügung steht um die korrekte Nadellänge für den Patienten zu bestimmen. Dazu könnte die Verwendung eines medizinischen Lineals geeignet sein, ähnlich der Lineale wie sie für die korrekte Medikamentendosierung im Kindesalter in der Notfallversorgung angewendet werden.

Die Korrelation von gemessenen und berechneten Volumina miteinander, zeigt unabhängig vom Geschlecht Korrelationskoeffizienten von 1,0- 0,7. Keine Korrelation zeigt sich jedoch am Femur in den Altersgruppen vom 13. Lebensmonat bis zum 16. Lebensjahr sowie am Humerus vom 6.- 16. Lebensjahr. An der proximalen Tibia reichten die erhobenen Daten in der Gruppe 0.- 30. Lebenstag sowie in der ältesten Altersgruppe vom 17.- 18. Lebensjahr nicht aus, um eine Korrelation durchzuführen. Ebenso ungenügend Daten zeigten sich am Femur in der Altersgruppe vom 17.-18. Lebensjahr und am Humerus vom 0.- 30. Lebenstag und 17.- 18. Lebensjahr. Insgesamt zeigt sich die Methode das Volumen zu berechnen um das tatsächlichen Volumens abzuschätzen Möglichkeit.

### 3.9. Vergleich der Herstellerinformationen mit den Messungen dieser Studie

Jeder Hersteller gibt unabhängige Kriterien an, die bei der Auswahl der Nadellänge zu beachten sind. Aus den Herstellerinformationen war nicht zu entnehmen wie diese Nadellängen ermittelt wurden. In Tabelle 1 und 2 sind die Punktionsorte und Nadellängen der Herstellerinformationen dargestellt. Der folgende Vergleich der Nadellängen mit den Messungen dieser Studie beruht auf zwei Annahmen:

1. Ist die Nadel zu kurz um den Weichteilmantel sowie die Kortikalis zu durchbohren, so ist eine Infusion in die Knochenmarkshöhle nicht möglich.
2. Ist jedoch die Nadel länger als die Summe der Durchmesser von Weichteilmantel, Kortikalis und Knochenmarksraum sowie der Gegenkortikalis (Weichteilmantel+ Kortikalis<sup>2</sup>+ Knochenmarkshöhlendurchmesser), so ist eine Extravasation durch Penetration der Gegenkortikalis möglich. Die Komprimierung des Weichteilmantels durch den aufgewendeten Druck bei IO- Punktionsort wurde im Rahmen dieser Messungen nicht weiter beachtet, da anzunehmen ist, dass spätestens bei erfolgter Fixierung der Infusion kein weiterer Druck auf den IO- Zugang ausgeübt wird und damit das Weichteil seine ursprüngliche Ausdehnung wieder annimmt.



**Abbildung 24** Mögliche Fehllagen der IO- Nadel bei der Wahl einer zu kurzen oder zu langen Nadel. **A.** Nadel zu kurz, erreicht Knochenmarkraum nicht; **B.** Nadel zu lang, penetriert die Kortikalis der Gegenseite

#### 3.9.1. Besonderheiten der einzelnen Systeme

Mit einem **Cook System** ist die Verletzung der Kortikalis der Gegenseite eher unwahrscheinlich, da die Nadel mit manueller Kraft in den Knochen eingebracht wird und daher normalerweise ein deutlicher Widerstandsverlust bei Durchbohren der Kortikalis zu spüren ist. Auch das halbautomatische **EZ-IO System** ist auf die Erfahrung des Anwenders angewiesen

und lässt in den meisten Fällen einen spürbaren Widerstandsverlust zu. Aufgrund des vollautomatischen Mechanismus der IO- Punktions ist das **BIG System** am anfälligsten für eine Fehlanlage, da durch Auslösen des Triggers die Nadel in der voreingestellten Länge in den Knochen hineingeschossen wird und damit weder ein Widerstandsverlust durch den Anwender wahrgenommen wird, noch eine Adjustierung erfolgen kann.

Tabelle 20 und 21 zeigen die Nadellängen von Cook und EZ-IO, Tabelle 22 und 23 die Nadellängen des BIG Systems im Vergleich mit der gemessenen Summe aus Weichteilmantel- und Kortikalsdurchmesser. Die minimal benötigte Nadellänge um erfolgreich in die Spongiosa vorzudringen, kann somit abgelesen werden. Die Abbildungen 25-28 stellen dieses Ergebnis in Box Plots dar. Den Vergleich von gängigen Nadellängen, unabhängig von Herstellerempfehlungen, mit den Messwerten dieser Studie zeigen Tabelle 25-27.

### 3.9.2. Vergleich der erhobenen Knochendurchmesser mit drei gängigen IO- Systemen und den Herstellerempfehlungen

Die Messwerte dieser Untersuchung sind in den Tabellen 20-23 in Vergleich zu den gängigen Nadellängen und Herstellerempfehlungen gesetzt. Ziel der intraossären Punktion ist es, in die Knochenmarkshöhle zu infundieren. Dazu muss die Nadelspitze einige Millimeter in die Knochenmarkshöhle vordringen ohne wieder auf der Gegenseite die Kortikalis zu durchbohren, sodass die Öffnung der Kanüle frei zwischen der Spongiosa liegt um die Infusion zu ermöglicht. Dieser Faktor wurde in dieser Arbeit jedoch nicht mit eingerechnet, da nicht bekannt ist wie viel Millimeter die Kanüle in die Spongiosa vordringen muss, damit die Infusion möglich ist. Es wird davon ausgegangen, dass das Vordringen der Nadelspitze um einige Millimetern in die Knochenmarkshöhle ausreichen sollte.

#### Vergleich der gemessenen Werte mit den Nadellängen von Cook:

Bei der manuell zu platzierenden IO- Nadel von Cook werden Patienten in Gruppen **jünger und älter 24 Monate** eingeteilt, sie kann an der proximalen und distalen Tibia angewendet werden. An Femur und Humerus ist dieses System nicht vom Hersteller empfohlen. Die empfohlene Nadellänge bei Patienten **jünger 24 Lebensmonate ist 30 mm** und ist in den Altersgruppen vom 0.- 30. Lebenstag und 31. Lebenstag- 12. Lebensmonat dieser Untersuchung lang genug um in die Knochenmarkshöhle vorzudringen. Jedoch in >50% der Fälle zu lang, sodass eine Penetration der Kortikalis der Gegenseite wahrscheinlich ist. Für Patienten **>24 Lebensmonat** stehen 2 unterschiedliche Nadellängen mit den Längen **25 mm und 40 mm** zur Verfügung. Abgesehen vom Femur ist die 40 mm Nadel bei allen Patienten der Altersgruppen 13. Lebensmonat- 5. Lebensjahr sowie 6. Lebensjahr- 16. Lebensjahr von ausreichender Länge.

An der proximalen Tibia zeigte sich von 13. Lebensmonat- 5. Lebensjahr die 25 mm Nadel in 50 % der Messungen zu lang. Die 40 mm Nadel zeigte sich von 13. Lebensmonat- 16. Lebensjahr in >50 % der Fälle an der proximalen Tibia zu lang. An der distalen Tibia vom 13. Lebensmonat- 5. Lebensjahr war die 25 mm Nadel in 40 % der Fälle zu lang. Die 40 mm Nadel vom 13. Lebensmonat bis zum 16. Lebensjahr in >50 % der Fälle zu lang, vom 17.- 18. Lebensjahr in 25 % der Fälle.

Insgesamt ist die, von Herstellerseite empfohlene Nadellänge von 30 mm im Alter <24 Monate an proximaler und distaler Tibia in 0 % zu kurz und 100 % (9/9) der Fälle potentiell zu lang.

Die empfohlenen 25 mm Nadellänge im Alter >24 Monate in 0 % zu kurz, jedoch in 5 % der Fälle zu lang (12/238).

### Vergleich der gemessenen Werte mit den empfohlenen Nadellängen von EZ-IO

Die Auswahl der korrekten Nadellänge des EZ-IO erfolgt nach Herstellerinformationen nach Gewicht des Patienten. Eine **15 mm Nadellänge** soll von **3-39 kg** genutzt werden. An der proximalen Tibia war, in der jüngsten Altersgruppe vom 0- 30. Lebenstag die 15 mm lang genug, jedoch auch so lang, um die Kortikalis der Gegenseite zu penetrieren. In den übrigen Altersgruppen, bis auf 13. Lebensmonat- 5. Lebensjahr zeigte sich die 15 mm Nadel an der proximalen Tibia nicht geeignet. An der distalen Tibia zeigte sich die 15 mm Nadellänge in allen Altersgruppen bis auf die Altersgruppe vom 31. Lebenstag- 12. Lebensmonat als geeignet (Fehlerquote <10 %). Vom 31. Lebenstag- 12. Lebensmonat war die Variabilität der Durchmesser so groß, dass keine eindeutige Aussage getroffen werden konnte, ob 10 mm oder 15 mm Nadellänge in diesem Fall die bessere Erfolgschance bieten würde.

**Die 25 mm Nadellänge** wird bei >3 kg empfohlen und zeigte sich an allen vier gemessenen Punktionsorten, in den Altersklassen vom 0. Lebenstag- 5. Lebensjahr, ausreichend lang.

An der proximalen Tibia zeigte sich die 25 mm Nadellänge in allen Altersgruppen ausreichend lang, jedoch vom 0.-30. Lebenstag in 100 % der Fälle zu lang und 13. Lebensmonat- 5. Lebensjahr in >50 % der Fälle zu lang.

An der distalen Tibia zeigte sich die 25 mm Nadellänge ebenso in allen Altersgruppen ausreichend lang, in der Altersgruppe vom 31. Lebenstag- 12. Lebensmonat jedoch in 80 % zu lang und in der Altersgruppe vom 13. Lebensmonat- 5. Lebenstag in 40% zu lang. Im Alter vom 0.- 30. Lebenstag liegen keine Daten vor.

Am Femur zeigte sich die 25 mm Nadellänge in >50 % der Fälle zu kurz, ausgenommen die Altersgruppe vom 31. Lebenstag- 12. Lebensmonat. In der Altersgruppe 0.- 30. Lebenstag wurden keine Daten erhoben.

Am Humerus wäre eine 25 mm Nadellänge in allen Altersgruppen geeignet, in der Altersgruppe der 17.- 18. Lebensjahr wäre die Nadellänge in 11 % der Fälle zu kurz. In der Altersgruppe 0.- 30. Lebenstag wurden keine Daten erhoben.

**Die 45mm Nadellänge** des EZ-IO Systems wird bei einem Körpergewicht >40 kg empfohlen.

An der proximalen Tibia zeigte sich die 45mm Nadellänge in >50 % zu lang in allen Altersgruppen bis zum 16. Lebensjahr und in 41 % zu lang vom 17.- 18. Lebensjahr.

An der distalen Tibia zeigte sich die 45 mm Nadellänge in allen Altersgruppen in >50 % zu lang. In der Altersgruppe 0.-30. Lebenstag wurden keine Daten erhoben.

Die 45mm Nadellänge zeigte sich am Femur in allen Altersgruppen ausreichend lang. Vom 31. Lebenstag bis zum 5. Lebensjahr ist die 45 mm Nadellänge jedoch in >50 % zu lang. In diesen Altersgruppen wäre eine 30 mm Nadellänge am besten geeignet. In der Altersgruppe der 6.- 16. Lebensjahr zeigt die 45 mm Nadellänge sich in 0 % zu kurz jedoch in 12,6 % zu lang. In der Altersgruppe von 17.- 18. Lebensjahr zeigt sich die 45 mm Nadel mit einer Fehlerquote von <10 % geeignet. In der Altersgruppe 0.- 30. Lebenstag wurden keine Daten erhoben.

Am Humerus zeigte sich die 45 mm Nadellänge in allen Altersgruppen ausreichend lang. Nur in der Altersgruppe vom 17.- 18. Lebensjahr war die Nadellänge in 11 % zu kurz. Zu lang zeigte sich die Nadellänge in 100 % in der Altersgruppe vom 31. Lebenstag bis zum 12. Lebensmonat und in 16,6 % in der Altersgruppe vom 6.- 16. Lebensjahr. In der Altersgruppe 0.-30. Lebenstag wurden keine Daten erhoben.

Die 15 mm Nadel war an der proximalen Tibia bis zum 5. Lebensjahr in 18,8 % (3/16) der Fälle zu kurz und in 6,2 % (1/16) zu lang, insgesamt entsprach das einem Fehler von 25 % (4/16). Die 25 mm Nadel war in 0 % zu kurz jedoch in 6,4 % (9/140) zu lang.

An der distalen Tibia war die 15 mm Nadel bis zum 5.LJ in 6,6 % (1/15) zu lang sowie in 6,6 % (1/15) zu kurz. Die 25 mm war insgesamt in 0 % zu kurz jedoch in 7,5 % (8/107) zu lang.

Am Femur war die 25 mm Nadel bis zum 5. LJ in 5,9 % (1/17) zu kurz und in 11,8 % (2/17) zu lang. Ab dem 6. Lebensjahr war die 45 mm Nadel in 4,9 % (7/142) zu kurz und in 9,1 % (13/142) zu lang. Am Humerus war in 8,3 % (2/24) der Fälle die empfohlene 25 mm Nadel zu kurz.

#### Vergleich der gemessenen Werte mit der Nadellänge von BIG:

Das vollautomatische System der „Bone Injection Gun“ (BIG) bietet verschiedene Systeme sowie verstellbare Nadellängen abhängig von Alter und Punktionsort an. Für die Punktion der proximalen Tibia empfiehlt der Hersteller **abhängig vom Alter vier verschiedene Nadellängen** (Tabelle 2). Das Femur ist für das BIG System nicht empfohlen.

Proximale Tibia: Für die Altersklasse von **0-3 Jahren** empfiehlt der Hersteller die **5-7 mm** lange Nadel an der proximalen Tibia. Vergleicht man die empfohlene Länge mit den in dieser Studie gemessenen Werten zeigte sich keine Übereinstimmungen, da der Weichteilmantel-Kortikalis Durchmesser in 100 % größer als die empfohlene Nadellänge war.

In der Altersgruppe von **3-6 Jahren** ist eine Nadellänge von **10-15 mm** empfohlen. Entsprechend des Vergleichs mit den Nadellängen des EZ-IO zeigte sich in der jüngsten Altersgruppe vom 0.- 30. Lebenstag die 15 mm als lang genug, jedoch auch so lang, um die Kortikalis der Gegenseite zu penetrieren. Die 10 mm Nadellänge zeigte eine Fehlerquote von 0 % in dieser Altersgruppe. In allen Altersgruppen ab dem 31. Lebenstag war die 10 mm Nadellänge hingegen in >50 % zu kurz. Die 15 mm Nadellänge war in der Altersgruppe vom 31. Lebenstag bis zum 12. Lebensmonat in >50 % zu kurz, in der Altersgruppe vom 13. Lebensmonat- 5. Lebensjahr jedoch geeignet (Fehlerquote zu kurze Nadel: 8 %).

Im Alter von **6-12 Jahren** wird eine Nadellänge von **15 mm** empfohlen. Die Messungen in der Altersklasse 6.-16. Lebensjahr variieren von 5,9-20,8 mm, wobei bei 14 der 95 Patienten mit einem Weichteil-Kortikalis Durchmesser von >15 mm (14,7 %; MW±SA 15,2-20,8 mm), die Nadel zu kurz wäre.

Eine zusätzliche Einstellung von **25 mm** gibt es für die Altersklasse ab dem 12. Lebensjahr. Wie schon bei den übrigen Herstellern besprochen, ist eine 25 mm Nadellänge im Vergleich zu den gemessenen Werten an der proximalen Tibia stets ausreichend lang um in die Knochenmarkshöhle zu gelangen.

Distale Tibia: Für die Punktions der distalen Tibia gibt es wiederum abhängig von der Altersklasse empfohlene Nadellängen. Bei **0- 6 Jährigen** ist eine Nadel mit **7,5-10 mm** Nadellänge für die Punktions empfohlen.

Die Nadellänge von 10 mm zeigte sich im Vergleich mit den Messungen dieser Untersuchung in 20 % zu kurz in der Altersgruppe vom 31. Lebenstag- 12. Lebensmonat, sowie in 60 % zu kurz in der Altersgruppe vom 13. Lebensmonat bis zum 5. Lebensjahr. In der Altersgruppe 0.- 30. Lebenstag wurden keine Daten erhoben.

Im Alter von 6-12 Jahren wird eine Nadellänge von 10 mm an der distalen Tibia empfohlen, diese zeigte sich im Vergleich mit den Messwerten dieser Untersuchung in 25 % zu kurz. Ab 12 Jahren wird eine Nadellänge von 20 mm empfohlen. Die gemessenen Werte zwischen 6.

und 18. Lebensjahr variieren zwischen 5,2 und 15,5 mm und damit ist die Nadel lang genug für eine Infusion in die Knochenmarkshöhle.

Humerus: Die **25 mm** Nadellänge des BIG- Systems kann **≥12 Jahre** angewendet werden. Die gemessenen Werte am Humerus in der Altersgruppe im 6.-16. Lebensjahr sowie im 17.-18.-Lebensjahr variieren von 7,5-38,2 mm und 10,0-47,9 mm. Dabei zeigt sich bei der Altersgruppe vom 6.-16. Lebensjahr einer der gemessenen 12 Werte unterhalb der 25 mm Grenze (7,5-23,2 mm) und war damit geeignet für eine 25 mm Nadel. In der Altersgruppe zwischen 17.-18. Lebensjahr lagen 8 der 9 gemessenen Werte zwischen 10,0 und 23,1 mm und ein Wert bei 47,9 mm, damit wären 8 geeignet für eine 25 mm Nadel, um 47,9 mm zu Durchbohren gibt es aktuell noch keine geeignete Nadel.

Insgesamt ist das BIG- System an proximaler und distaler Tibia selten zu lang und in einigen Fällen zu kurz. An der proximalen Tibia sind die verschiedenen vom Hersteller empfohlenen Nadellängen in 20 % (28/140) zu kurz und 1,4 % (2/140) zu lang. Wählt man in der Altersgruppe vom 13 Lebensmonat- 5- Lebensjahr bereits die 15 mm Nadellänge und in der Altersgruppe vom 6.-16. Lebensjahr die 25 mm Nadel, dann sind insgesamt über alle Altersgruppen nur 2,1 % (3/140) zu kurz sowie in 2,1 % (3/140) zu lang. An der distalen Tibia sind insgesamt 20,6 % (22/107) Nadeln zu kurz, am Humerus in 9,5 % (2/21) der Fälle.

#### Fakts: Herstellerinformationen im Vergleich mit den Messwerten dieser Untersuchung

1. **Cook** sehr lange Nadeln, verwirrend für Anwender da viele verschiedene Nadeln verfügbar, unterschiedliche Gauge und wenig Info für Anwender, mehr Kraftaufwand, daher weniger Feinadjustierung möglich.
2. **EZ-IO** nur 3 Nadellängen, keine kürzere Nadel als 15 mm, aber manuelle Adjustierung möglich, zeigte die detaillierteste Herstellerinformation, explizite Infos für Neugeborene fehlen auch hier
3. **BIG** System, kurze Nadeln, teilweise zu kurze und keine Adjustierung der Nadel nach Auslösen des Triggers möglich. Komplizierte Handhabung da vor Auslösen des Triggers die Nadellänge noch verstellt werden kann/muss.

**Tabelle 16** Vergleich von Herstellerinformationen mit Auswahl der optimalen Nadel von EZ-IO und Cook mit den im Rahmen dieser Untersuchung gemessenen Werten. Die Auswahlkriterien für die jeweils korrekte Nadelänge überlappen sich teilweise untereinander sowie mit der gewählten Alterseinteilung dieser Untersuchung. Daher sind die zur Verfügung stehenden Nadelängen in grauen (kürzere Nadeln für kleinere bzw. leichtere Kinder) sowie hellblaue (längere Nadeln für größere bzw. schwerere Kinder) Kästen zusammengefasst. k.D. steht für keine Daten vorhanden, kg Kilogramm, mm Millimeter, MW Mittelwert, SD Standardabweichung, LJ Lebensjahr, LM Lebensmonat, LT Lebensmonat, CAVE: Cook Nadel kann weder an Femur noch Humerus genutzt werden

Lokalisation	Gruppe	Durchmesser, Weichteil plus Kortikalis MW±SA [mm]				EZ-IO		Cook	
		Tibia proximal	Tibia distal	Femur (nur EZIO!)	Humerus	Gewicht [kg]	Nadelänge [mm]	Alter	Nadelänge [mm]
Einteilung des Herstellers									
Cave: Cook nur für proximale und distale Tibia	0.– 30. LT	6	keine Daten	keine Daten	keine Daten	3-39kg ≥3kg	15 25	<24 Monate	30
31. LT-12. LM	16,4±2,7	8,1±4,3	20,7±4,4	12±1,8					
13. LM–5. LJ	12,2±2,1	10,6±1,5	23,5±2,3	keine Daten				>24 Monate	25 40
6.– 16. LJ	12,4±2,9	8,7±2,3	34,5±8,0	15,1±8,5	≥3kg ≥40kg	25 45			
17.– 18. LJ	12,7±3,8	8,3±1,6	38,7±4,5	21±11,1					

**Tabelle 17** Vergleich von Herstellerinformationen mit Auswahl der optimalen Nadel von EZ-IO und Cook mit den im Rahmen dieser Untersuchung gemessenen Werten. Die Auswahlkriterien für die jeweils korrekte Nadellänge überlappen sich teilweise untereinander sowie mit der gewählten Alterseinteilung dieser Untersuchung. Daher sind die zur Verfügung stehenden Nadellängen in grauen (kürzere Nadeln für kleinere bzw. leichtere Kinder) sowie hellblaue (längere Nadeln für größere bzw. schwere Kinder) Kästen zusammengefasst. K.D. steht für keine Daten vorhanden, kg Kilogramm, mm Millimeter, MW Mittelwert, SD Standardabweichung, LJ Lebensjahr, LM Lebensmonat, LT Lebensstag; CAVE: Cook Nadel kann weder an Femur noch Humerus genutzt werden

Lokalisation	Gruppe	Durchmesser, Weichteil plus Kortikalis min.-max. [mm] (n)			EZ-IO		Cook		
Einteilung des Herstellers		Tibia proximal	Tibia distal	Femur (nur EZIO)	Humerus	Gewicht [kg]	Nadellänge [mm]	Alter	Nadellänge [mm]
Cave: Cook nur für proximale und distale Tibia	0.– 30. LT	6 (1)	keine Daten	4,7-15,6 (5)	12,7-24,5 (6)	keine Daten	3-39kg ≥3kg	<24 25 Monate	30
	31. LT- 12. LM	13,4-18,8 (3)		8,7-13,7 (10)	21,6- 29,4 (11)	10,7-13,1 (2) 17,3 (1)			
	13. LM – 5. LJ	9,1-16,7 (12)						>24 Monate	25
	6.– 16. LJ	5,9-20,8 (95)	5,4-15,5 (60)	17,2-74,7 (103)	7,5-38,2 (12)	≥3kg ≥40kg	25 45		40
	17. – 18. LJ	6,6-22 (29)	5,2-12 (32)	30,4-54,8 (39)	10-47,9 (9)				

**Tabelle 18** Vergleich von Herstellerinformationen von BiG mit im Rahmen dieser Untersuchung gemessenen Werten. Die Auswahlkriterien für die jeweils korrekte Nadellänge überlappen sich teilweise untereinander sowie mit der gewählten Alterseinteilung dieser Untersuchung. Daher sind die zur Verfügung stehenden Nadellängen in grauen (kurze Nadeln für jüngere Kinder), grün (mittleres Alter, kurze und mittlere Nadellänge) sowie hellblaue (längere Nadeln für ältere Kinder) Kästen zusammengefasst. k.D. steht für keine Daten vorhanden, kg Kilogramm, mm Millimeter, MW Mittelwert, SD Standardabweichung, LJ Lebensjahr, LM Lebensmonat, LT Lebenstag; CAVE: Cook Nadel kann weder an Femur noch Humerus genutzt werden

Lokalisation	Gruppe	Durchmesser Weichteil plus Kortikalis MW±SA [mm]	BiG			BiG		
			Einteilung des Herstellers	Tibia proximal Humerus	Alter und Punktionsort	Nadellänge [mm]	Tibia distal	Alter
proximale und distale Tibia	<b>0 – 30 LT</b>	6	keine Daten	0-3 Jahre	<b>5-7</b>	keine Daten	0-3 Jahre	7,5-10
<b>31 LT- 12 LM</b>	<b>16,4± 2,7</b>	<b>12±1,8</b>				<b>8,1±4,3</b>		
<b>13. LM – 5. LJ</b>	<b>12,2± 2,1</b>	<b>17,3</b>	0-3 Jahre	<b>5-7</b>	10,6± 1,5	0-3 Jahre	<b>7,5-10</b>	
			3-6 Jahre	<b>10-15</b>	3-6 Jahre	3-6 Jahre	<b>7,5-10</b>	
<b>6 – 16. LJ</b>	<b>12,4± 2,9</b>	<b>15,1±8,5</b>	6-12 Jahre	<b>15</b>	<b>8,7±2,3</b>	6-12 Jahre	<b>10</b>	
			≥12 Jahre	<b>25</b>		≥12 Jahre	<b>20</b>	
<b>17. – 18. LJ</b>	<b>12,7± 3,8</b>	<b>21±11,1</b>			<b>8,3± 1,6</b>			

+Humerus  
nur ≥12 LJ  
dann 25mm

**Tabelle 19** Vergleich von Herstellerinformationen von BIG mit den im Rahmen dieser Untersuchung gemessenen Werten. Die Auswahlkriterien für die jeweils korrekte Nadellänge überlappen sich teilweise untereinander, sowie mit der gewählten Alterseinteilung dieser Untersuchung. Daher sind die zur Verfügung stehenden Nadellängen in grauen (kurze Nadeln für jüngere Kinder), grün (mittleres Alter, kurze und mittlere Nadellänge) sowie hellblaue (längere Nadeln für ältere Kinder) Kästen zusammengefasst. k.D. steht für keine Daten vorhanden, kg Kilogramm, mm Millimeter, MW Mittelwert, SD Standardabweichung, LJ Lebensjahr, LM Lebensmonat, LT Lebenstag; CAVE: Cook Nadel kann weder an Femur noch Humerus genutzt werden

Lokalisation	Gruppe	Durchmesser Weichteil plus Kortikalis min.-max. [mm] (n)	BIG		BIG		
Einteilung des Herstellers	Tibia proximal	Humerus	Alter und Punktionsort	Nadellänge [mm]	Tibia distal	Alter	Nadellänge [mm]
proximale und distale Tibia	<b>0 - 30. LT</b>	6 (1)	keine Daten	0-3 Jahre	5-7	keine Daten	0-3 Jahre
<b>31. LT- 12. LM</b>	13,4-18,8 (3)	10,7-13,1 (2)			4,7-15,6 (5)		7,5-10
<b>13. LM - 5. LJ</b>	9,1-16,7 (12)	17,3 (1)	0-3 Jahre	5-7	8,7-13,7 (10)	0-3 Jahre	7,5-10
<b>6.- 16. LJ</b>	5,9-20,8 (95)	7,5-38,2 (12)	3-6 Jahre	10-15	5,4-15,5 (60)	3-6 Jahre	7,5-10
+Humerus nur ≥12 LJ dann 25mm			6-12 Jahre	15	6-12 Jahre	6-12 Jahre	10
			≥12 Jahre	25		≥12 Jahre	20
<b>17. - 18. LJ</b>	6,6-22 (29)	10-47,9 (9)			5,2-12 (32)		

### 3.9.3. Fehlerquoten der Nadellängen unabhängig von Herstellerempfehlungen

Im Folgenden (s. Abb. 25-28) werden die gängigen Nadellängen von drei Herstellern mit den gemessenen Werten verglichen ohne dass die Herstellerangaben berücksichtigt werden. Rot hinterlegte Felder geben eine Fehlerrate von  $\geq 50\%$  an, sowohl bei zu kurzer als auch zu langer Nadellänge. Eine Fehlerquote von  $\geq 10\%$  wurde gelb hinterlegt. Die nicht angefärbten Felder stellen die Nadellängen dar die eine Fehlerquote von  $< 10\%$  aufweisen.

Die „Fehlerquoten“ durch zu kurze Nadellängen (d.h. die Nadel ist kürzer als der Gesamtdurchmesser von Weichteilmantel und Kortikalis zusammengenommen) bzw. zu lange Nadellängen (d.h. die Nadel ist Länger als die Summe aus Weichteilmantel, Kortikalis<sup>2</sup>- und Spongiosa Durchmesser) sind tabellarisch (Tabelle 20-24) dargestellt.

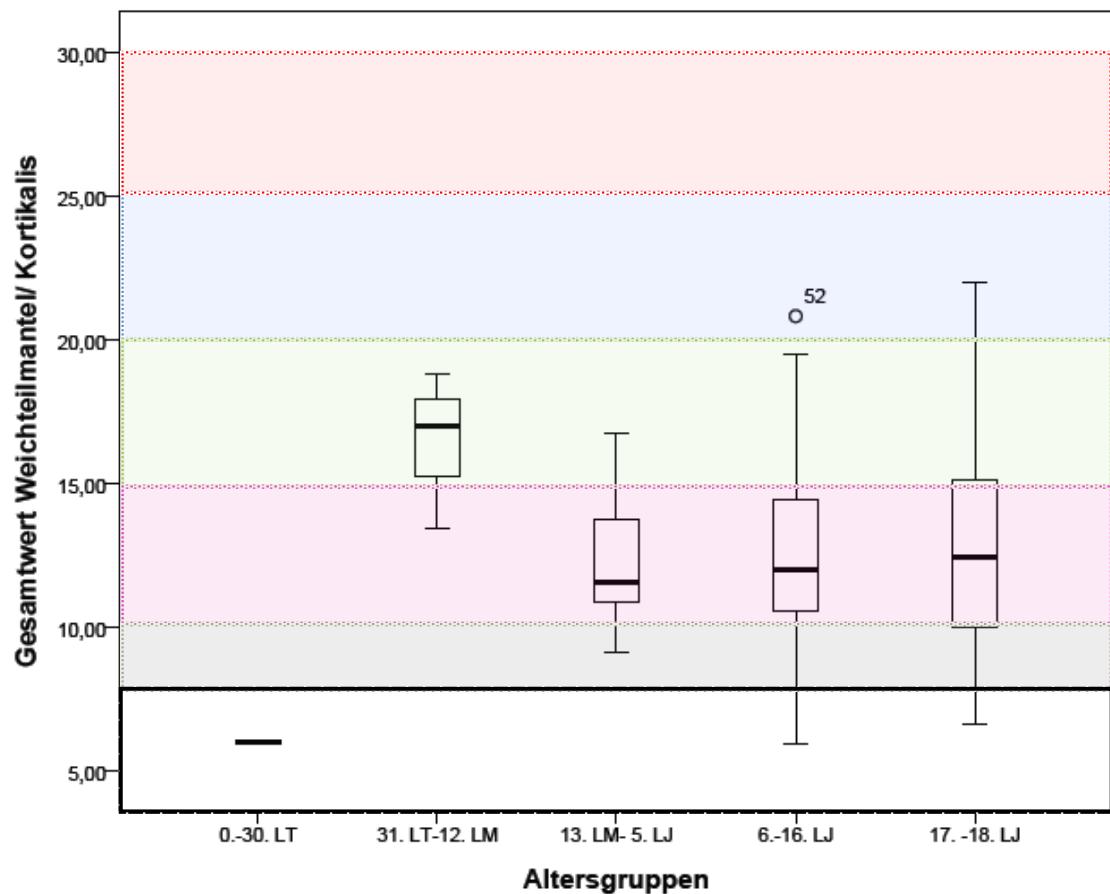
An der **proximalen Tibia** wurde in der Altersgruppe von Neugeborenen (0- 30. Lebenstag) nur ein Messwert erhoben. Es zeigte sich ein Durchmesser von Weichteilmantel und Kortikalis von 6 mm, sowie die Summe aus Weichteilmantel, Kortikalis<sup>2</sup> und Spongiosa von 13,4 mm. Eine 10 mm Nadel reichte folglich in die Knochenmarkshöhle hinein, bereits die nächst größere Nadel von 15 mm penetrierte jedoch die Kortikalis der Gegenseite. Die geringste Fehlerquote an der proximalen Tibia in allen Altersgruppen vom 31. Lebenstag bis zum 18. Lebensjahr wies die 20 mm Nadel auf. Die 40 mm und 45 mm Nadel war außer bei der Gruppe vom 17.-18. Lebensjahr in  $>50\%$  zu lang, zeigte also eine Komplikationsrate durch Penetration der Kortikalis der Gegenseite von  $>50\%$ .

Auch an der **distalen Tibia** zeigte die 20 mm Nadel die größte Übereinstimmung mit den gemessenen Durchmessern. Bei allen gemessenen Altersgruppen erreichte die 20 mm Nadel die Spongiosa und zeigte nur in 2 Fällen in der Altersgruppe vom 31. Lebenstag- 12. Lebensmonat die Gefahr, die Kortikalis der Gegenseite zu verletzen. In dieser Altersgruppe wäre die 10 mm Nadel besser geeignet.

Am distalen Femur zeigten sich altersgruppenabhängig mehrere optimale Nadellängen. Vom 31. Lebenstag- 5. Lebensjahr zeigt die 30 mm Nadel vorrausichtlich die geringste Komplikationsrate. Vom 6. Lebensjahr- 18. Lebensjahr zeigte sich jedoch die 45 mm Nadel als geeignet. Am **Humerus** wurde in der Gruppe der Neugeborenen (0.-30. Lebenstag) kein, in der Gruppe der Säuglinge (31. Lebenstag- 12. Lebensmonat) zwei und in der Gruppe der Kleinkinder (13. Lebensmonat bis 5. Lebensjahr) ein Wert gemessen und sind somit nicht repräsentativ. Ab dem 6. Lebensjahr war am Humerus die 25 mm Nadel vergleichbar mit den drei längeren Nadeln (30 mm, 40 mm, 45 mm).

**Tabelle 20** Die gemessenen Durchmesser von proximaler Tibia mit den zur Verfügung stehenden Nadellängen in Vergleich gesetzt. Angabe der Anzahl der zu kurzer und zu langen Nadeln. Eine Fehlerquote von  $\geq 50\%$  in Rot,  $\geq 10\%$  Gelb markiert. LM steht für Lebensmonat, LJ Lebensjahr, LT Lebenstag, min.-max. Minimum-Maximum, mm Millimeter, n Anzahl

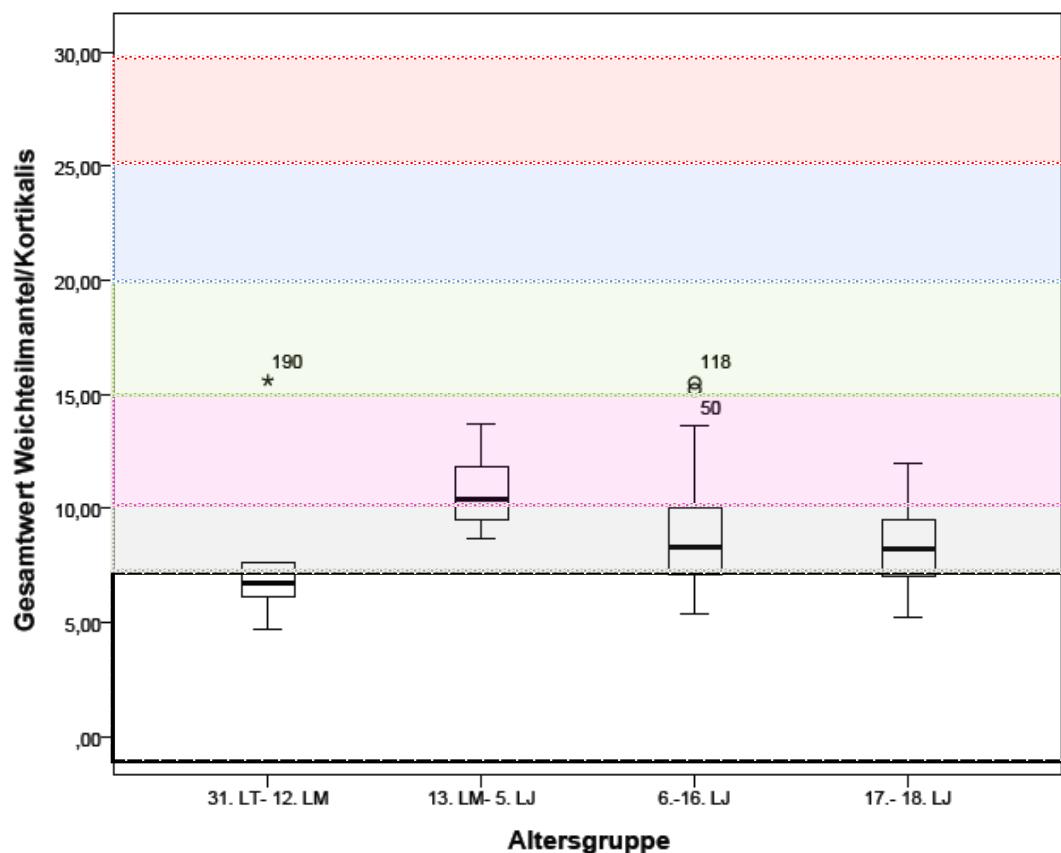
Altersgruppe	Messwerte	Nadellängen im Vergleich mit den Messwerten an der proximalen Tibia									
		Weichteil+Kortikalis Durchmesser min.-max. (n)	Weichteil+Kortikalis+ Spongiosa Durchmesser min.-max. (n)	10mm zu kurz zu lang	15mm zu kurz zu lang	20mm zu kurz zu lang	25mm zu kurz zu lang	30mm zu kurz zu lang	40mm zu kurz zu lang	45mm zu kurz zu lang	zu lang
0.LT-30.LT.	6 (1)	13,4 (1)	0	0	0	1	0	1	0	1	0
31.LT-12.LM	13,4-18,8 (3)	26,0-28,0 (3)	3	0	2	0	0	0	0	3	0
13.LM-5.LJ	9,1-16,7 (12)	21,3-31,5 (12)	11	0	1	0	0	0	6	0	9
6.LJ-16.LJ	5,9-20,8 (95)	24,3-52,5 (95)	73	0	14	0	1	0	2	0	5
17-18.LJ	6,6-22 (29)	39,8-56,3 (29)	22	0	8	0	2	0	0	0	1
											12



**Abbildung 25** Boxplot mit Mittelwerten und Standardabweichung der *proximalen Tibia*. Die Ordinate zeigt die Gesamtdurchmesser von Weichteilmantel und Kortikalis in Millimeter. Auf der Abszisse sind die verschiedenen Altersgruppen aufgetragen. Die farbigen Kästen stellen die zur Verfügung stehenden Nadellängen dar. Von der kürzesten bis zur längsten Nadel, weiß: 7 mm; grau: 10 mm; pink: 15 mm; grün: 20 mm; blau: 25 mm; rot: 30 mm

**Tabelle 21** Die gemessenen Durchmesser von distale Tibia mit den zur Verfügung stehenden Nadellängen in Vergleich gesetzt. Angabe der Anzahl der zu kurzer und zu langen Nadeln. Eine Fehlerquote von  $\geq 50\%$  in Rot,  $\geq 10\%$  Gelb markiert. LM steht für Lebensmonat, LJ Lebensjahr, LT Lebensjahr, min.-max. Minimum-Maximum, mm Millimeter, n Anzahl

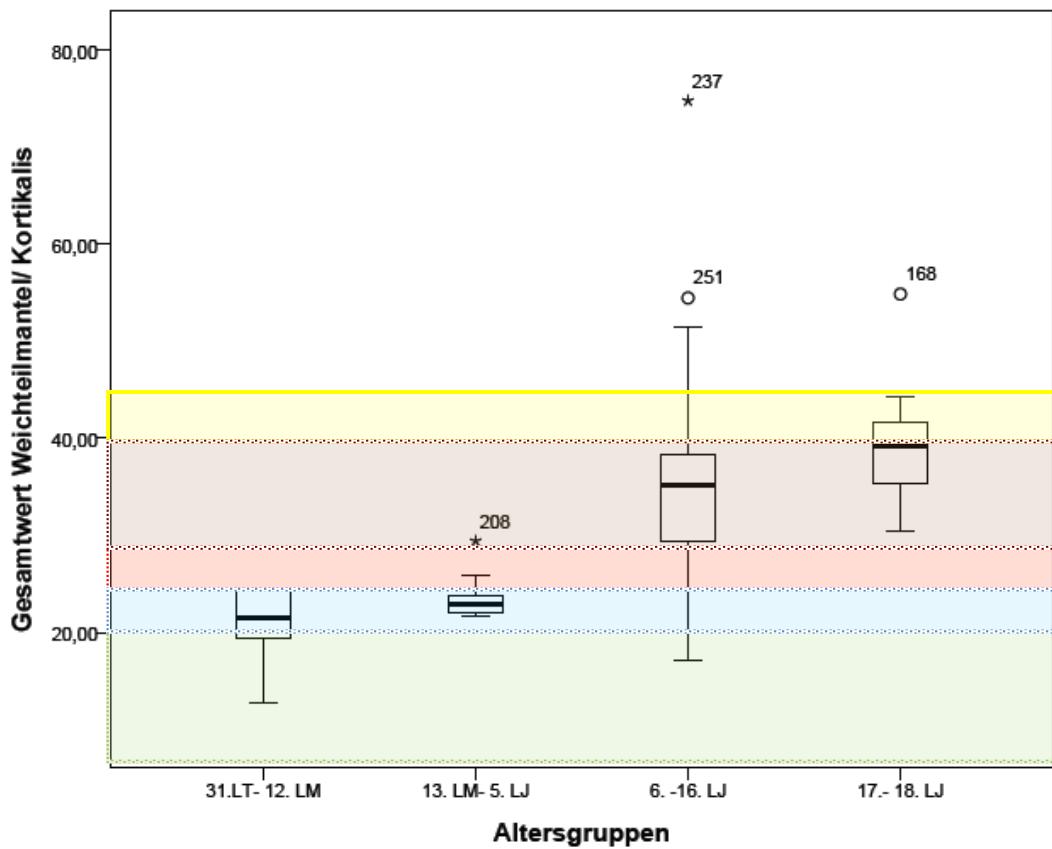
Altersgruppe	Messwerte	Nadellängen im Vergleich mit den Messwerten der distalen Tibia									
		Durchmesser Weichteil+ Kortikalis+ min.-max. (n)	Durchmesser Weichteil+ Kortikalis+ Spongiosa min.-max. (n)	10mm zu kurz zu lang	15mm zu kurz zu lang	20mm zu kurz zu lang	25mm zu kurz zu lang	30mm zu kurz zu lang	40mm zu kurz zu lang	45mm zu kurz zu lang	zu lang
0.LT-30.LT.											
31.LT-12.LM	4,7-15,6 (5)	14,8-26,6 (5)	1 0	1 1	0 2	0 0	4 0	0 5	0 0	5 0	5
13.LM-5.LJ	8,7-13,7 (10)	21,2-37,8 (10)	6 0	0 0	0 0	0 0	4 0	0 8	0 0	10 0	10
6.LJ-16.-LJ	5,4-15,5 (60)	27,5-52,3 (60)	15 0	2 0	0 0	0 0	0 0	2 0	0 0	35 0	52
17.-18.LJ	5,2-12 (32)	36,4-53,6 (32)	4 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	8 0	0 27	



**Abbildung 26** Boxplot mit Mittelwerten und Standardabweichung der *distalen Tibia*. Die Ordinate zeigt die Gesamtdurchmesser von Weichteilmantel und Kortikalis in Millimeter. Auf der Abszisse sind die verschiedenen Altersgruppen aufgetragen. Die farbigen Kästen stellen die zur Verfügung stehenden Nadellängen dar. Von der kürzesten bis zur längsten Nadel, weiß: 7mm; grau: 10mm; pink: 15mm; grün: 20mm; blau: 25mm; rot: 30mm

**Tabelle 22** Die gemessenen Durchmesser von Femur mit den zur Verfügung stehenden Nadellängen in Vergleich gesetzt. Angabe der Anzahl der zu kurzer und zu langen Nadeln. Eine Fehlerquote von  $\geq 50\%$  in Rot,  $\geq 10\%$  Gelb markiert. LM steht für Lebensmonat, LJ Lebensjahr, LT Lebenstag, min.-max. Minimum-Maximum, mm Millimeter, n Anzahl

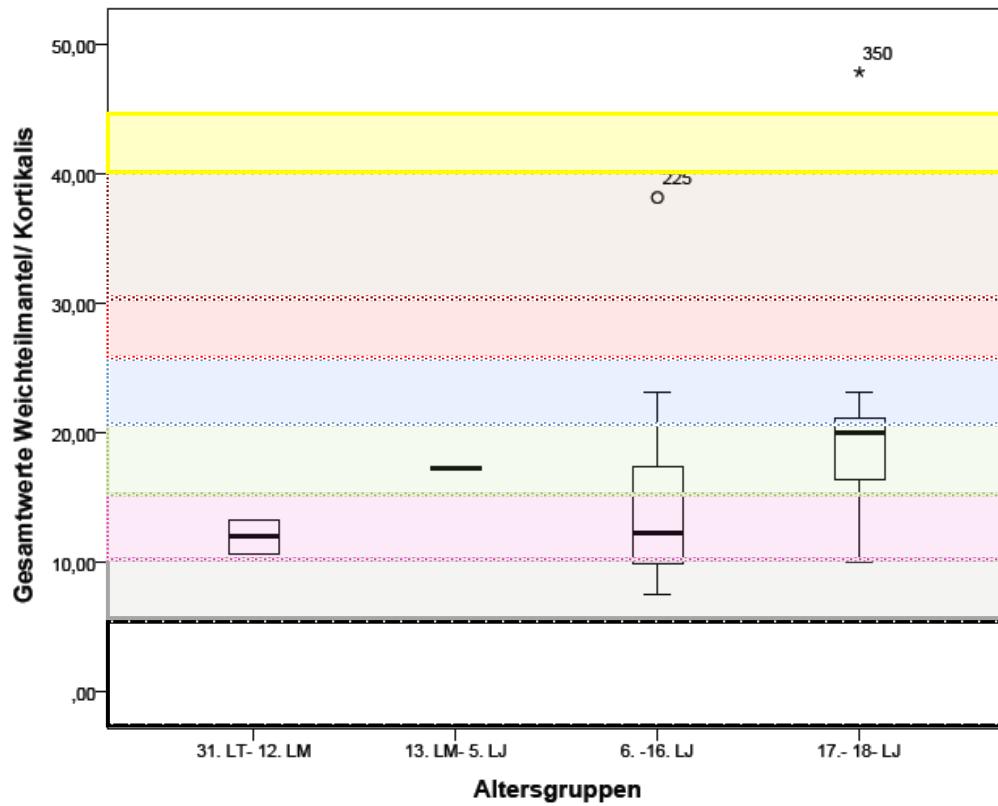
Altersgruppe	Messwerte	Nadellängen im Vergleich mit den Messwerten am Femur									
		Durchmesser Weichteil+ Kortikalis min.-max. (n)	10mm zu kurz zu lang	15mm zu kurz zu lang	20mm zu kurz zu lang	25mm zu kurz zu lang	30mm zu kurz zu lang	40mm zu kurz zu lang	45mm zu kurz zu lang		
0.LT-30.LT	keine Daten	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - -
31.LT-12.LM	12,7-24,5 (6)	22,4-36,5 (6)	6 0 4 0 4 0 0 1 0 2 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
13.LM-5.LJ	21,6-29,4 (11)	31,7-47,3 (11)	11 0 11 0 11 0 2 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
6.LJ-16.-LJ	17,2-74,7 (103)	33,4-101,9 (103)	103 0 103 0 92 0 76 0 19 3 6	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
17.-18.LJ	30,4-54,8 (39)	53,5-87,5 (39)	39 0 39 0 39 0 39 0 15 0 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0



**Abbildung 27** Boxplot mit Mittelwerten und Standardabweichung des Femurs. Die Ordinate zeigt die Gesamtdurchmesser von Weichtilmantel und Kortikalis in Millimeter. Auf Abszisse sind die verschiedenen Altersgruppen aufgetragen. Die farbigen Kästen stellen die zur Verfügung stehenden Nadelängen dar. Von der kürzesten bis zur längsten Nadel, grün: 20mm; blau: 25mm; rot: 30mm; braun: 40mm; gelb: 45mm

**Tabelle 23** Die gemessenen Durchmesser von Humerus mit den zur Verfügung stehenden Nadellängen in Vergleich gesetzt. Angabe der Anzahl der zu kurzen und zu langen Nadeln. Eine Fehlerquote von  $\geq 50\%$  in Rot,  $\geq 10\%$  Gelb markiert. LM steht für Lebensmonat, LJ Lebensjahr, LT Lebenstag, min.-max. Minimum-Maximum, mm Millimeter, n Anzahl

Altersgruppe	Messwerte	Nadellängen im Vergleich mit den Messwerten an Humerus									
		Durchmesser Weichteil+ Kortikalis min.-max.: (n)	Durchmesser Weichteil+ Kortikalis+ Spongiosa min.-max. (n)	10mm zu kurz zu lang	15mm zu kurz zu lang	20mm zu kurz zu lang	25mm zu kurz zu lang	30mm zu kurz zu lang	40mm zu kurz zu lang	45mm zu kurz zu lang	
0.LT-30.LT.	Keine Daten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31.LT-12.LM	10,7-13,1 (2)	29,1-35,6 (2)	2	0	0	0	0	0	1	0	2
13.LM-5.LJ	17,3 (1)	46,4 (1)	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6.LJ-16.-LJ	7,5-38,2 (12)	34,7-81,7 (12)	9	0	4	0	2	0	1	0	0
17.-18.LJ	10-47,9 (9)	53,5-89,9 (9)	9	0	7	0	5	0	1	0	1



**Abbildung 28** Boxplot mit Mittelwerten und Standardabweichung des *Humerus*. Die Ordinate zeigt die Gesamtdurchmesser von Weichteilmantel und Kortikalis in Millimeter. Auf Abszisse sind die verschiedenen Altersgruppen aufgetragen. Die farbigen Kästen stellen die zur Verfügung stehenden Nadellängen dar. Von der kürzesten bis zur längsten Nadel, weiß: 7mm; grau: 10mm; pink: 15mm; grün: 20mm; blau: 25mm; rot: 30mm braun: 40mm; gelb: 45mm

## **4. Diskussion**

### 4.1. Grundlage des intraossären- Zugangs

Die intraossäre Infusion hat insbesondere im Kindesalter eine große Bedeutung in lebensbedrohlichen Situationen und ist in den Leitlinien explizit empfohlen (12, 38). Ist ein peripher venöser Zugang nicht rechtzeitig etablierbar, so stellt der IO- Zugang die Alternative dar. Der IO- Zugang ist ein einfaches und schnelles Verfahren um einen venösen Zugang zu stabilisieren (4-7). Zudem scheint die Anlage des IO- Zugangs schnell erlernbar zu sein (4, 39-41).

Die Erfahrung der Anwendung von IO- Systemen, insbesondere bei Kindern, geht bis an den Anfang des letzten Jahrhunderts zurück (42). Eine systematische Darstellung der anatomischen Verhältnisse an IO- Infusionsorten, insbesondere beim Kind, ist nach unserem Kenntnisstand jedoch neu in der Literatur. Die Grundlage der Empfehlungen der Hersteller, sowie die Voraussetzungen für die Anwendung verschiedenen Nadellängen ist nicht bekannt. Aus den aktuellen Reanimations- Leitlinien (ERC, AHA) gehen keine Empfehlungen für IO- Systeme oder Nadellängen hervor. Darüber hinaus wird der IO- Zugang in den Reanimations- Leitlinien für Neugeborene nicht erwähnt (43, 44). Unter Studienbedingungen liegt die Erfolgsrate von IO- Anlage bei Kindern zwischen 80- 100 %, möglicherweise ist diese unter realen Notfallbedingungen geringer (6, 24, 45-48).

### 4.2. Anatomie der intraossären- Punktionsorte

Die IO- Punktionsorte sind teilweise historisch entstanden, teilweise durch klinische Studien überprüft. Die vier in diese Untersuchung behandelten Punktionsorte sind an den Extremitäten lokalisiert. Die Punktionsorte an Tibia und am Femur haben den Vorteil, dass die Knochen eine ebene Fläche aufweisen, die das Punktieren im 90°- Winkel erleichtert und damit ein Abrutschen an der Knochenoberfläche unwahrscheinlicher macht. Zudem konnten wir im Rahmen dieser Studie zeigen, dass an diesen drei Punktionsorten (proximale, distale Tibia und Femur) bei korrekter Durchführung der IO- Punktionsorte liegen an der proximalen Tibia distal, an der distalen Tibia proximal und am Femur proximal der Epiphysenfuge. Darüber hinaus lässt sich als Vorteil der anatomischen Voraussetzungen an diesen Punktionsorten nennen, dass an den Metaphysen des Knochens die Kortikalis am dünnsten und der Knochenmarkshöhlendurchmesser am größten ist ((19); p 23).

Am Humerus stellt sich die Anatomie im Vergleich zur Tibia komplexer dar. Zum einen ist das Auffinden des Tuberculum majus am Patienten anspruchsvoller, zum anderen weist es keine ebene Fläche auf. Der Humeruskopf entsteht aus drei Knochenkerne und hat damit drei Epiphysen Fugen, die sich physiologischer Weise bei Frauen etwa im Alter von 18 bis 22 Jahren und bei Männern von 20-25 Jahren schließen ((19); p 23). In der Konsequenz bedeutet das, dass bei Punktions des Humeruskopf, sowohl bei Kindern als auch bei jungen Erwachsenen immer die Epiphysen Fugen verletzt wird. Es existieren nur vereinzelte Fallberichte zur IO- Anlage am Humerus im Kindesalter (49). Spätfolgen durch eine Epiphysen Verletzung im Sinne beispielsweise eines pathologischen Längenwachstums ist demzufolge am Humerus bisher nicht beschrieben. Diese verschiedenen Faktoren summiert, erscheinen zumindest im Kindes- und jungen Erwachsenenalter am Humeruskopf die Nachteile der anatomischen Voraussetzungen für IO- Punktions zu überwiegen und damit nur als Alternative sinnvoll im Fall, dass die unteren Extremitäten nicht zur Verfügung stehen.

#### 4.3. Erklärungsansätze für fehlerhafte Lage von IO- Zugängen - Daten dieser Untersuchung im Vergleich mit Erkenntnissen in der Literatur

Für die Ursachen der inkorrektens Lage von IO- Zugängen findet sich in der Literatur bisher kein Erklärungsansatz. Die tatsächliche Verifizierung der Lage der Nadel an vorgesehenen Punktionsorten (beispielsweise mit CT) ist bisher nur in Einzelfällen beschrieben (50).

Im Rahmen dieser Untersuchung zeigte sich, dass der Großteil der von Herstellerseite empfohlenen Nadellängen für den IO- Zugang an proximaler und distaler Tibia ausreichend lang ist, um in die Markhöhle vorzudringen. Jedoch unabhängig vom Alter, fast alle Nadellängen das Potential bergen, die Kortikalis der Gegenseite zu penetrieren und somit ein Paravasat zu verursachen. An Humerus und insbesondere beim Femur zeigte sich eine starke Zunahme der Durchmesser und damit der benötigten Nadellängen abhängig vom Alter.

Um den IO- Zugang korrekt durchzuführen ist die Identifizierung des Punktionsortes essentiell. Allgemein ist davon auszugehen, dass ein ausgeprägter Weichteilmantel, sei es durch Adipositas oder durch physiologische Proportionen die Orientierung erschweren kann (51). So ist für das Auffinden des Tuberculum majus mehr Erfahrung notwendig als zur Identifizierung der Tibia Vorderkante. Auch am Femur ist durch den über dem Knochen liegenden M. quadriceps femoris das Auffinden des Punktionsortes erschwert. Zu beachten ist diesbezüglich, dass bei Säuglingen und Kleinkindern im Rahmen dieser Untersuchung an der Tibia ein größerer Weichteildurchmesser gemessen wurde als bei den anderen Altersgruppen.

In der Notfallsituation ist entscheidend, dass das Verfahren intuitiv funktioniert insbesondere da der IO- Zugang nur selten Anwendung findet und damit keine Routine geschaffen werden kann (40, 41). Möglicherweise könnte ein Algorithmus, die Anwendung des IO- Systems auch bei kleinen Kinder für den Anwender erleichtern und die Sicherheit im Umgang mit dem System stärken (22, 52).

#### 4.4. Welches System ist nun zu empfehlen

Die im Rahmen dieser Untersuchung erhobenen Daten und der Vergleich mit den Herstellerangaben lassen nicht auf eine ideale Nadellänge schließen. Außerdem gibt es Vor- und Nachteile bei jedem der beschriebenen Systeme. Betrachtet man alle, in dieser Untersuchung beschriebenen Faktoren, die zu einer erfolgreichen IO- Punktionsnotwendig sind, so erscheint das EZ-IO dem BIG und Cook System überlegen zu sein. Die Herstellerinformation ist ausführlich, verständlich jedoch ebenso eindeutig und der EZ-IO Bohrer selbsterklärend. Darüber hinaus ist seine Funktionsweise durch inzwischen weite Verbreitung insbesondere im europäischen Raum bekannt. Es gibt nur 3 Nadellängen zur Auswahl und damit weniger Verwirrung durch zu viele Möglichkeiten. Das Vorgehen erst das Weichteilgewebe mit der Nadel zu Durchstechen und dann bei Knochenkontakt das Bohren zu beginnen, erscheint sinnvoll. Die elektrisch getriebene Bohrmaschine des EZ-IO hat den Vorteil, dass weniger Druck aufgewendet werden muss als bei BIG oder Cook und damit möglicherweise weniger Trauma am Knochen verursacht wird. Die Möglichkeit an der oberen Extremität einen Zugang einzubringen erscheint zwar im Kindesalter schwierig und wenig sinnvoll, ist jedoch im Falle, dass die unteren Extremitäten verletzt sind eine Möglichkeit mit dem EZ-IO System. Mit dem BIG System ist der Zugangsort am proximalen Humerus erst ab einem Alter von >12 Jahren, mit dem Cook System nicht empfohlen. Das EZ-IO ist sowohl für Erwachsenen und Kinder geeignet und hat in jedem Alter dieselbe Funktionsweise.

Möglicherweise sind diese hier vorgestellten Vorteile des EZ-IO der Grund weshalb es im europäischen sowie teilweise im außereuropäischen Rettungsdienst am weitesten verbreitet ist (40, 53).

Jedoch bietet auch das EZ-IO noch Verbesserungsmöglichkeiten. So könnte die Angabe, dass mindestens eine 5 mm Markierung der Nadel nach durchstechen des Weichteilmantels noch sichtbar sein muss ergänzt werden, dass es auch nicht mehr als 5-6 mm sein sollte. Damit wäre es unwahrscheinlicher die Kortikalis der Gegenseite zu verletzen. Ebenso erscheinen die Nadellängen für die Anwendung im Kindesalter je nach Altersgruppe und Punktionsort noch optimierbar.

#### 4.5. Limitationen

Auch nach Verlängerung des Studienzeitraumes von 5 Jahren auf 10 konnten in der Gruppe der 0-30 Tage alten Patienten lediglich 12 Patienten, sowie in der Gruppe vom 31. Lebenstag bis 12. Lebensmonat 21 Patienten ausgewertet werden, anstatt der geplanten Fallzahl von 30 Patienten pro Gruppe. Dies ist zum einen durch die ohnehin geringere Anzahl an Extremitäten Aufnahmen mit CT- oder MRT- im ersten Lebensjahr zu erklären, zum anderen waren die Übersichtsaufnahmen oft nicht von ausreichender Qualität um die einzelnen anatomischen Durchmesser zu bestimmen. Zur Messung der für diese Studie relevanten Werte war eine gute Auflösung der Schnittbilder sowie meist auch deren Rekonstruktionen insbesondere in den axialen Aufnahmen der Extremitäten notwendig.

Insgesamt wurden mehr MRT- (79,1 %) als CT- (20,9 %) Aufnahmen ausgewertet. MRT-führen im Unterschied zu CT- Untersuchungen zu keiner Strahlenbelastung und sind deshalb bei Kindern bevorzugt. Zudem ist die Sensitivität und Spezifität von MRT- Untersuchungen bei Weichteilpathologien höher, viele Fragestellungen in dieser Kohorte bezogen sich auf das Weichteil. Bei Verdacht auf eine knöcherne Verletzung stellt das CT das Verfahren der Wahl dar.

Eine weitere Schwierigkeit stellt die Terminologie dar. Im Rahmen dieser Untersuchung, wurde gemäß der in der Pädiatrie gängigen Einteilung die gesamte Kohorte von Neugeborenen bis zum Alter von 18 Jahren als Kinder ausgewertet. In den Herstellerhinweisen der jeweiligen Systeme zur intraossären Punktion werden nur teilweise konkrete Angaben zur Anwendung entsprechend dem Alter gemacht. Das EZ-IO richtet sich nicht nach dem Alter, sondern nach dem Körperton wie dem Punktionsort.

Problematisch ist dabei zum einen die uneinheitliche Terminologie die leicht zur Verwirrung führt, zum anderen die Ungenauigkeit der Definition. Alter bei Eintritt in die Pubertät sowie Größe der Kinder ist sowohl stark von Geschlecht, Ethnie als auch von anderen Faktoren wie Ernährungs- und Gesundheitszustand abhängig. Der Vergleich von Herstellerangaben mit Messungen dieser Untersuchung ist daher deutlich erschwert, darüber hinaus auch die Vergleichbarkeit verschiedener IO- Systeme untereinander. So werden beispielsweise die Patienten bei der manuell zu platzierenden IO- Nadel von Cook, in Gruppen **jünger und älter 24 Monate** eingeteilt. In dieser Untersuchung wurde jedoch eine andere Alterseinteilung gewählt. Die Gruppe der Kinder vom 31. Lebenstag- 12. Lebensmonat und die Gruppe vom 13. Lebensmonat- 5. Lebensjahr teilen sich daher den Übergang von <24 bis >24 Lebensmonat. Die Messungen bis zum 12. Lebensmonat wurden mit den empfohlenen Nadellängen für <24

Lebensmonate verglichen, die Messungen ab dem 13. Lebensmonat mit den Nadellängen für  
>24 Lebensmonat.

#### 4.6. Zusammenfassung

Die Anlage eines IO- Zuganges kann in einer lebensbedrohlichen Situation schnell und einfach durchgeführt werden (4-6). Ist beim Kind kein peripher venöser Zugang binnen einer Minute möglich so ist der intraossäre Zugang das Mittel der Wahl. Weder in den aktuellen Leitlinien von ERC (European Resuscitation Council) und AHA (American Heart Association), noch durch die Hersteller wird jedoch eine exakte Hilfestellung zur Auswahl der korrekten Nadellänge gegeben (12, 38). Unter Studienbedingungen liegt die Erfolgsrate von IO- Anlage bei Kindern zwischen 80- 100 %, möglicherweise ist diese unter realen Notfallbedingungen jedoch geringer (6, 24, 45-47).

Anhand der Schnittbildaufnahmen (CT oder MRT) von 388 Patienten die im Zeitraum von 22.08.2005- 02.09.2015 angefertigt wurden, konnten die Knochen- und Weichteildurchmesser an gängigen Punktionsorte (proximale Tibia, distale Tibia, distales Femur, proximaler Humerus) im Kindesalter (Neugeborenes (0.- 30. Lebenstag), Säugling (31. Lebenstag- 12. Lebensmonat), Kleinkind (13. Lebensmonat-5. Lebensjahr), Schulkind (6.- 16. Lebensjahr), Jugendlicher (17.-18. Lebensjahr)) vermessen und anschließend mit den gängigen Nadellängen von drei unterschiedlichen Herstellern (Cook, EZ-IO, BIG) verglichen werden.

Wir möchten durch genaue Kenntnis der Durchmesser (Weichtilmantel, Kortikalis, Knochenmarkshöhle) für die verschiedenen Altersgruppen passende IO- Kanülenlängen angeben um damit die Sicherheit der IO- Anlage zu erhöhen und gleichzeitig die Komplikationsrate senken zu können.

Diese Untersuchung konnte zeigen, dass, im Großteil der Fälle die IO- Infusion nach Angaben der Hersteller erfolgreich wäre. Dennoch bleibt Optimierungsbedarf, sowohl an den zur Verfügung stehenden Nadellängen, als auch den Anwendungsempfehlungen sowohl von Seiten der Hersteller als auch der Leitlinien. In der Gruppe der Neugeborenen wäre an der **proximalen Tibia** eine 10 mm Nadel geeignet, sowie vom 31. Lebenstag- 18. Lebensjahr eine 20 mm Nadel besser geeignet als die vom Hersteller empfohlenen 25 mm Nadel. Auch an der **distalen Tibia** weist die 20 mm Nadel die geringste Fehlerquote auf, diese Länge wird jedoch nur vom BIG- System empfohlen. Am **Femur** gibt es abhängig von den Altersgruppen mehrere optimale Nadellängen. Vom 31. Lebenstag- 5. Lebensjahr zeigt die 30 mm Nadel die geringste Abweichung. Vom 6. Lebensjahr- 18. Lebensjahr ist jedoch die 45 mm Nadel erfolgsversprechender. Am **Humerus** wurden in der Gruppe der Neugeborenen (0.-30. Lebenstag) keine, in der Gruppe der Säuglinge (31. Lebenstag- 12. Lebensmonat) zwei und in der Gruppe der Kleinkinder (13. Lebensmonat- 5. Lebensjahr) ein Wert gemessen und sind

somit nicht repräsentativ. Ab dem 6. Lebensjahr ist die 25 mm Nadel am Humerus vergleichbar mit den 3 längeren Nadeln (30 mm, 40 mm, 45 mm).

Es zeigt sich, dass es nicht eine optimale Nadellänge gibt, sondern je nach Alter und Konstitution der Patienten und Punktionsort unterschiedliche Nadellängen geeignet sind. Die Funktionsweise des EZ-IO erscheint einfacher und präziser durchführbar als das BIG oder Cook System. Sowohl die Herstellerinformationen als auch die Leitlinien geben jedoch keine suffizienten Angaben zur Durchführung eines erfolgreichen IO- Zuganges. Möglicherweise ließe sich das EZ-IO durch das Angebot von z. B. 5 mm Spacern sowie die Präzisierung der Anwendungshinweise noch vereinfachen. Die Empfehlung, dass nach manueller Penetration des Weichteils, bei Kontakt der Nadelspitze mit der Knochenoberfläche noch eine 5 mm Markierung an der Nadel sichtbar sein sollte, damit die Nadel lang genug ist, um in die Knochenmarkshöhle vorzudringen erschein in Anbetracht der Daten dieser Untersuchung sinnvoll zu sein.

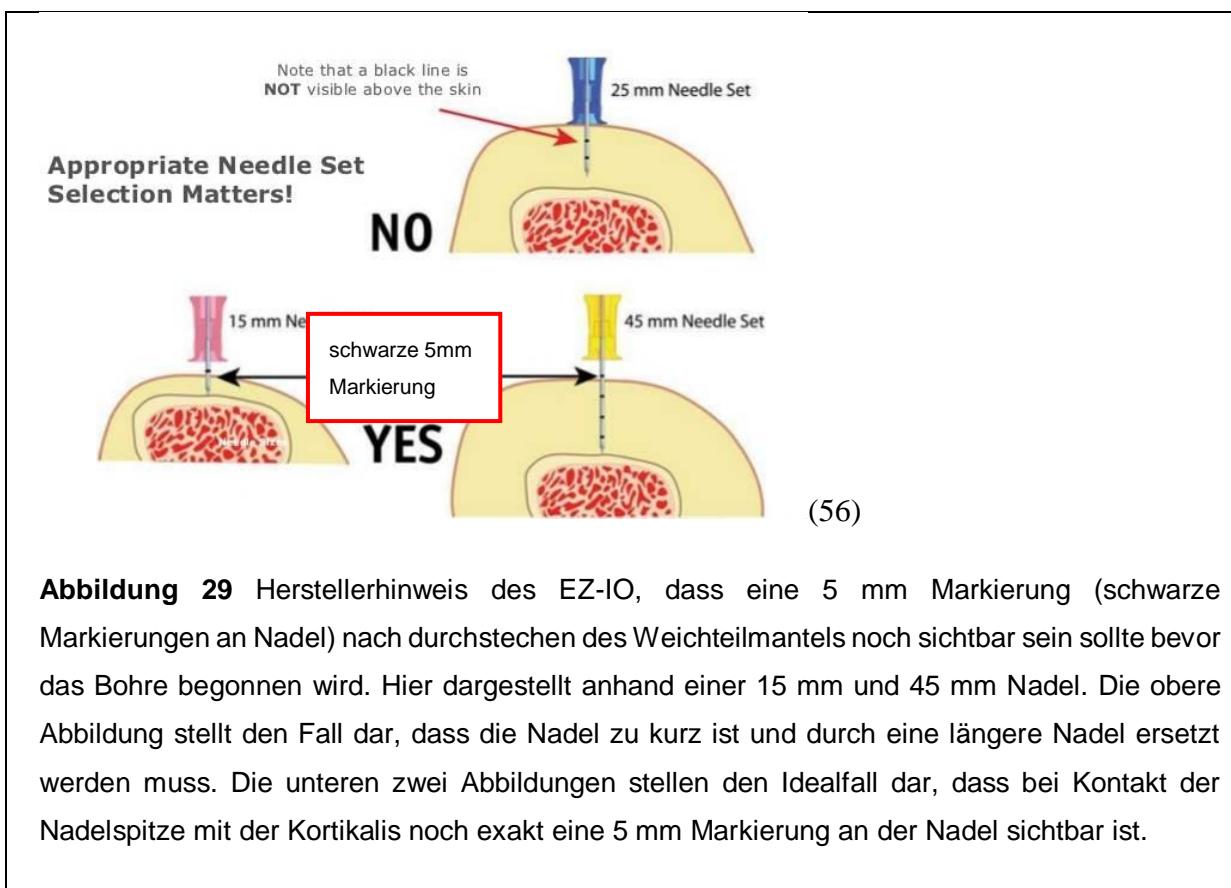
#### 4.7. Fazit

Ziel der IO- Bohrung ist es die Nadelspitze in den Knochenmarksraum vorzubohren um eine Infusion oder gegebenenfalls Blutabnahme zu ermöglichen. Theoretisch bleiben zwei Möglichkeiten, dass die IO- Anlage trotz korrekter Durchführung nicht erfolgreich ist. Entweder ist die Nadel zu kurz, sodass die Knochenmarkshöhle mit der Nadelspitze nicht erreicht wird, oder die Nadel ist zu lang, sodass die Kortikalis auf der Gegenseite penetriert wird. Wir konnten mithilfe von MRT- und CT- Aufnahmen die Durchmesser von Weichteilmantel, Kortikalis und Knochenmarkshöhle messen und sie mit den gängigen IO- Nadellängen vergleichen. Der durchgeführte Vergleich von Knochendurchmessern sowie IO- Systemen ergab:

Wird unter Berücksichtigung der Herstellerempfehlung die Nadel komplett in den Knochen eingebbracht, so ist in einem Großteil der Fälle die empfohlene Nadellänge geeignet (in manchen Fällen zu kurz, in manchen zu lang, jeweils abhängig von Altersgruppe, Punktionsort und Nadellänge s. S. 55-59). In einigen Altersgruppen schien es jedoch geeigneter Alternativen zu geben (s. Tabelle 20-24).

Der Weichteilmantel bei Humerus und Femur weisen die größten Durchmesser- Variabilität beziehungsweise die größten Weichteildurchmesser auf. Die Orientierung an den anatomischen Landmarken ist damit deutlich schwieriger als an der Tibia (54, 55). Daher sollten diese Zugangsorte nur geübten Nutzer beziehungsweise, wenn andere Zugangswege nicht möglich sind angewendet werden. Die Empfehlung von EZ-IO, zunächst stumpf den Weichteilmantel

zu durchstechen und dann (vorausgesetzt es ist noch die 5 mm Markierung an Nadel sichtbar) zu bohren scheint auch unter anatomischen Gesichtspunkten sinnvoll zu sein. Bei weniger als 5 mm Überstand sollte auf eine längere Nadel ausgewichen werden. Da die Kortikalis in den unterschiedlichen Altersgruppen und Knochen etwa einen Durchmesser von 0,4- 2,8 mm aufweist sollte somit die Nadel (bei ansonsten korrekter Anwendung) in der Knochenmarkshöhle liegen. Darüber hinaus sollte der Überstand nicht wesentlich mehr als 5 mm betragen da die Knochenmarkshöhlen Durchmessern von minimal 2,9 mm bis maximal 52,9 mm einnehmen und so auch eine Verletzung der Kortikalis der Gegenseite vermieden werden kann.



**Abbildung 29** Herstellerhinweis des EZ-IO, dass eine 5 mm Markierung (schwarze Markierungen an Nadel) nach durchstechen des Weichteilmantels noch sichtbar sein sollte bevor das Bohren begonnen wird. Hier dargestellt anhand einer 15 mm und 45 mm Nadel. Die obere Abbildung stellt den Fall dar, dass die Nadel zu kurz ist und durch eine längere Nadel ersetzt werden muss. Die unteren zwei Abbildungen stellen den Idealfall dar, dass bei Kontakt der Nadelspitze mit der Kortikalis noch exakt eine 5 mm Markierung an der Nadel sichtbar ist.

Möglicherweise stellt ein Abstandshalter von z.B. 5 mm eine Option dar, stets eine geeignete Nadellänge verfügbar zu haben. Darüber hinaus möchten wir die Anwender darauf sensibilisieren, dass bereits die kleinste existierende Nadel im EZ-IO bei sehr kleinen Kindern bereits deutlich zu lang sein kann.

#### 4.8. Abstract

**Einleitung:** Der IO- Zugang hat insbesondere im Kindesalter eine große Bedeutung und wird in den Leitlinien zur Notfallversorgung von Kindern empfohlen. Welche Nadel wann und wo angewendet werden soll variiert je nach Hersteller. Zusätzlich findet nur in Ausnahmen eine Verifizierung (z.B. mit CT) der korrekten Lage der Nadel statt.

**Ziel:** Indem wir die Anatomie, als Grundlage der korrekten IO- Nadelanlage mithilfe von MRT- und CT- Scans genauer betrachten, wollen wir die Komplikationsraten durch Fehlanlage von IO- Zugängen weiter senken und die Nadeln sowie Anwendungsempfehlungen optimieren.

**Methoden:** Retrospektive Analyse von Patientendaten (Altersspanne: Tag der Geburt- ein Tag vor dem 18. Geburtstag) und zugehöriger CT- und MRT- Aufnahmen eines 10- Jahres Zeitraums (22.08.2005- 02.09.2015). Einteilung der Patienten in 5 Altersgruppen (Neugeborene, Säuglinge, Kleinkinder, Schulkinder, Heranwachsende), alle Gruppen wurden äquivalent ausgewertet. Der Durchmesser von Weichteil-, Kortikalis- und Spongiosa Durchmesser wurde an den gängigen IO- Punktionsorten (proximale Tibia, distale Tibia, distaler Femur, proximaler Humerus) gemessen und mit den Nadellängen von 3 unterschiedlichen Herstellern verglichen. Sofern aufgrund der Datenqualität möglich, wurde zusätzlich das Volumen des Knochens bestimmt. Die Festlegung des Signifikanzniveaus (d.h. Irrtumswahrscheinlichkeit) erfolgte mit  $p < 0.05$ .

**Ergebnisse:** Im Großteil der Fälle wäre eine IO- Infusion bei Durchführung und Auswahl der Nadel gemäß der Herstellerangaben erfolgreich. Dennoch zeigte sich in einigen Fällen ein erhebliches Fehlerpotential. Insbesondere die kürzesten Nadeln des BIG Systems (5-7 mm) wären für beinahe alle Punktionsorte und Altersgruppen zu kurz. An proximaler und distaler Tibia wäre in allen Altersgruppen mit einer 20 mm Nadel die Komplikationsrate am geringsten, die im deutschen Rettungsdienst eingesetzte EZ-IO bietet allerdings nur eine 25 mm lange Nadel.

Im Vergleich der anatomischen Durchmesser mit den Nadellängen zeigte sich, dass der Hinweis zunächst stumpf den Weichteilmantel zu durchstechen und erst bei Kontakt der Nadelspitze mit der Knochenoberfläche das Bohren zu beginnen, hilfreich sein könnte. Ein 5 mm Nadelüberstand (Abstand Hautniveau zu Nadelgriff) sollte bei, im Rahmen dieser Untersuchung gemessenen Kortikalsdurchmessern von 0,4- 2,8 mm, ausreichend sein um die Nadelspitze in die Knochenmarkshöhle zu platzieren. Der Überstand sollte 5 mm jedoch nicht

wesentlich überschreiten da ansonsten bei Durchmessern der Knochenmarkshöhle zwischen 2,9 mm-52,9 mm die Gefahr der Verletzung der Kortikalis der Gegenseite besteht.

**Zusammenfassung:** Für verschiedene Punktionsorte und Altersgruppen scheint es unterschiedlich optimale Nadellängen zu geben. Die Herstellerempfehlungen zur Auswahl der korrekten Nadellänge sind zu einem Großteil geeignet, jedoch sind sie in einigen Altersgruppen optimierbar. Die konsequente Einhaltung der 5 mm Überstands- Regel, sowie der Zusatz die 5 mm auch nicht wesentlich zu Überschreiten könnte die Fehlerquote der IO- Anlage weiter senken. In jedem Fall erscheint es sinnvoll, nach IO-Anlage mit bildgebenden Verfahren die genaue Lage der IO- Nadel zu bestimmen um die Ursache der nicht erfolgreichen IO- Anlage beziehungswiese Infusion besser verstehen zu können.

## **5. Abkürzungsverzeichnis**

**Axialschnitt**= Querschnitt; Axial- Synonym für quer,

**BIG:** Bone Injection Gun, automatisches, d.h. federgetriebenes intraossäres System

**BMI:** Body- Mass- Index, Körpergewicht in kg/ Körpergröße in m<sup>2</sup>

**CT:** Computertomographie

**Cook:** manuell einzubringendes intraossäres System

**EZ-IO:** halbautomatisches intraossäres System, die Funktionsweise entspricht in etwa einer handelsüblichen Bohrmaschine

**G:** Gauge Einheit für den Nadelaußendurchmesser, je größer G, umso kleiner ist der Durchmesser.

**IO:** intraossär

**IV:** intravenös

**MRT:** Magnetresonanztomographie

**MW:** Mittelwert

**n:** Anzahl

**PD:** Bezeichnet eine Kontrastdarstellung im MRT, bei der protonenreiches Gewebe im Vergleich zum umliegenden Gewebe hell erscheint

**SA:** Standardabweichung

**T1:** Bezeichnet eine Kontrastdarstellung im MRT bei der ein flüssigkeitsreiches Gewebe im Vergleich zum umliegenden Gewebe hell erscheint im

**T2:** Bezeichnet eine Kontrastdarstellung im MRT bei der fettreiches Gewebe im Vergleich zum umliegenden Gewebe hell erscheint

## **6. Abbildungsverzeichnis**

**Abbildung 1:** Schematische Darstellung der Zirkulationsverhältnisse an der Epi- und Metaphyse eines langen Röhrenknochens

**Abbildung 2:** Schematische Darstellung eines Röhrenknochens

**Abbildung 3:** Schematische Darstellung der gelenkbildenden Knochen des Kniegelenks

**Abbildung 4:** Abgebildet sind die Unterschenkelknochen (Tibia und Fibula) eines rechten Beines

**Abbildung 5:** Übersicht der gelenkbildenden Knochen des Kniegelenks

**Abbildung 6: A.** CT- Aufnahme des Knies eines 13- jährigen Jungen; **B.** MRT- Aufnahme des Knies eines 10- jährigen Jungen

**Abbildung 7:** Schematische Darstellung der Knochen des Schultergelenks

**Abbildung 8:** CT- Aufnahme des Schultergelenks, axial

**Abbildung 9:** Schematische Darstellung eines Axialschnitts der Schulter auf Höhe des Tuberculum majus

**Abbildung 10:** Abbildung des Punktionsortes am Tuberculum majus des Humerus

**Abbildung 11:** Schemazeichnung des Unterschenkels, Axialschnitt; markiert sind in Grün die Durchmesser von Weichteilmantel, in Blau der Kortikalis sowie in Rot der Knochenmarkshöhle so, wie sie in den CT- und MRT- Schnitten für diese Studie gemessen wurden

**Abbildung 12:** Darstellung der Anatomie der proximalen Tibia im Axialschnitt; hervorgehoben sind die Unterschenkelknochen, Tibia und Fibula

**Abbildung 13:** MRT- und CT- Axialschnitte auf Höhe des proximalen Punktionsortes der Tibia.

**Abbildung 14:** Darstellung der Anatomie der distalen Tibia im Axialschnitt; markiert sind die Unterschenkelknochen, Tibia und Fibula

**Abbildung 15:** MRT- und CT- Axialschnitte des distalen Unterschenkels auf Höhe des Punktionsortes der distalen Tibia

**Abbildung 16:** Oberschenkel auf Höhe des Punktionsortes am distalen Femur

**Abbildung 17:** Axiale MRT- und CT- Aufnahmen des distalen Oberschenkels auf Höhe der Funktionsebene

**Abbildung 18:** CT- Koronarschnitt durch das Schultergelenk eines 17-jährigen Jungen

**Abbildung 19:** MRT- Thorax Aufnahme eines 5- jährigen Jungen, Koronarschnitt; gut zu erkennen sind die offenen Wachstumsfugen am Humeruskopf, diese sind im Bild mit weißen Pfeilen markiert

**Abbildung 20:** MRT- und CT- Rekonstruktionen aus Koronar- und Sagittalschnitten des Humeruskopf zur Darstellung der von Herstellern vorgegebenen Funktionsebene am Humeruskopf

**Abbildung 21:** MRT- Gerät; Siemens Avanto (Siemens, München, Deutschland)

**Abbildung 22:** CT- Gerät, Discovery CT750 HD Computertomographie-Gerät, General Electric (GE Medical Systems Buckinghamshire, Großbritannien)

**Abbildung 23:** Übersicht über gesichtete und ausgewertete Patienten, Consort Diagramm

**Abbildung 24:** Mögliche Fehllagen der IO- Nadel bei der Wahl einer zu kurzen oder zu langen Nadel

**Abbildung 25:** Box Plot mit Mittelwerten und Standardabweichung der gemessenen Werte an der proximalen Tibia; mit den gängigen Nadellängen in vergleich gesetzt

**Abbildung 26:** Box Plot mit Mittelwerten und Standardabweichung der gemessenen Werte an der distalen Tibia; mit den gängigen Nadellängen in vergleich gesetzt

**Abbildung 27:** Box Plot mit Mittelwerten und Standardabweichung der gemessenen Werte an der distales Femur; mit den gängigen Nadellängen in vergleich gesetzt

**Abbildung 28:** Box Plot mit Mittelwerten und Standardabweichung der gemessenen Werte an der proximaler Humerus; mit den gängigen Nadellängen in vergleich gesetzt

**Abbildung 29:** Herstellerhinweis des EZ-IO, dass eine 5 mm Markierung (schwarze Markierungen an Nadel) nach durchstechen des Weichteilmantels noch sichtbar sein sollte

bevor das Bohren begonnen wird. Hier dargestellt anhand einer 15 mm und 45 mm Nadel. Die obere Abbildung stellt den Fall dar, dass die Nadel zu kurz ist und durch eine längere Nadel ersetzt werden muss. Die unteren zwei Abbildungen stellen den Idealfall dar, dass bei Kontakt der Nadelspitze mit der Kortikalis noch exakt eine 5 mm Markierung an der Nadel sichtbar ist.

## **7. Tabellenverzeichnis**

**Tabelle 1:** Übersicht verschiedener intraossärer Nadelsysteme, Herstellerangaben zur Nutzung sowie die exakte Lokalisation der aktuellen Messungen

**Tabelle 2:** Vergleich von drei gängigen IO- Systemen sowie Hersteller Empfehlungen zur Auswahl der passenden Nadel- Länge

**Tabelle 3:** Grund für CT- und MRT- Untersuchung aufgeteilt nach Altersgruppen

**Tabelle 4:** Grund für CT- und MRT- Untersuchung aufgeteilt nach Geschlecht

**Tabelle 5:** Übersicht der Altersverteilung der ausgewerteten Patienten, Geschlechterverteilung, Untersuchungsmethode und Grund für die Diagnostik, Aufgeteilt nach Altersgruppe

**Tabelle 6:** Biometrische Daten der Patienten nach Altersgruppe, minimale sowie maximale Messwerte, sowie Anzahl der Messungen

**Tabelle 7:** Biometrische Daten der Patienten nach Altersgruppe, Mittelwert und Standardabweichung

**Tabelle 8:** Übersicht der Messwerte an den Punktionsorten nach Altersgruppe und Geschlecht; Anzahl der Messungen

**Tabelle 9:** Übersicht der Messwerte an den Punktionsorten nach Altersgruppe und Geschlecht; Mittelwert und Standardabweichung

**Tabelle 10:** Volumina nach Altersgruppen sortiert, Anzahl der Messungen

**Tabelle 11:** Volumina nach Altersgruppen sortiert, Mittelwert und Standardabweichung

**Tabelle 12** Gesamtwert aus Weichteil und Kortikalisch in Millimeter [mm]; Aufgeteilt nach Altersgruppe und Lokalisation der Messung; Anzahl der Messungen

**Tabelle 13:** Gesamtauswertung aus Weichteil- und Kortikalisdurchmessern in Millimeter [mm]; Aufgeteilt nach Altersgruppe und Lokalisation der Messung; Mittelwert und Standardabweichung

**Tabelle 14:** Gesamtwert aus Weichteil, Kortikalis<sup>2</sup> und Markraumdurchmesser; Aufgeteilt nach Altersgruppe und Lokalisation der Messung; minimale sowie maximale Messwert, sowie Anzahl der Messungen

**Tabelle 15:** Gesamtwert aus Weichteil, Kortikalis<sup>2</sup> und Markraumdurchmesser; Aufgeteilt nach Altersgruppe und Lokalisation der Messung; Mittelwert und Standardabweichung

**Tabelle 16:** Vergleich von Herstellerinformationen mit Auswahl der optimalen Nadel von EZ-IO und Cook mit den im Rahmen dieser Untersuchung gemessenen Werten; Mittelwert und Standardabweichung minimale du maximale Messwerte sowie, Anzahl der durchgeföhrten Messungen

**Tabelle 17:** Vergleich von Herstellerinformationen mit Auswahl der optimalen Nadel von EZ-IO und Cook mit den im Rahmen dieser Untersuchung gemessenen Werten; minimale du maximale Messwerte sowie, Anzahl der durchgeföhrten Messungen

**Tabelle 18:** Vergleich von Herstellerinformationen von BIG mit im Rahmen dieser Untersuchung gemessenen Werten, Mittelwert und Standardabweichung

**Tabelle 19:** Vergleich von Herstellerinformationen von BIG mit im Rahmen dieser Untersuchung gemessenen Werten, minimale du maximale Messwerte sowie, Anzahl der durchgeföhrten Messungen

**Tabelle 20:** Die gemessenen Durchmesser von proximaler Tibia mit den zur Verfügung stehenden Nadellängen in Vergleich gesetzt. Angabe der Anzahl der zu kurzer und zu langen Nadeln. Eine Fehlerquote von  $\geq 50\%$  in Rot,  $\geq 10\%$  Gelb markiert.

**Tabelle 21:** Die gemessenen Durchmesser von distale Tibia mit den zur Verfügung stehenden Nadellängen in Vergleich gesetzt. Angabe der Anzahl der zu kurzer und zu langen Nadeln. Eine Fehlerquote von  $\geq 50\%$  in Rot,  $\geq 10\%$  Gelb markiert.

**Tabelle 22:** Die gemessenen Durchmesser von distaler Femur mit den zur Verfügung stehenden Nadellängen in Vergleich gesetzt. Angabe der Anzahl der zu kurzer und zu langen Nadeln. Eine Fehlerquote von  $\geq 50\%$  in Rot,  $\geq 10\%$  Gelb markiert.

**Tabelle 23:** Die gemessenen Durchmesser von proximalem Humerus mit den zur Verfügung stehenden Nadellängen in Vergleich gesetzt. Angabe der Anzahl der zu kurzer und zu langen Nadeln. Eine Fehlerquote von  $\geq 50\%$  in Rot,  $\geq 10\%$  Gelb markiert.

## **8. Literaturverzeichnis**

1. Zaritsky A. Advanced pediatric life support: state of the art. *Circulation.* 1986;74(6 Pt 2):IV124-8.
2. Hapnes SA, Robertson C. CPR--drug delivery routes and systems. A statement for the Advanced Life Support Working Party of the European Resuscitation Council. *Resuscitation.* 1992;24(2):137-42.
3. Nadkarni V, Hazinski MF, Zideman D, Kattwinkel J, Quan L, Bingham R, et al. Paediatric life support. An advisory statement by the Paediatric Life Support Working Group of the International Liaison Committee on Resuscitation. *Resuscitation.* 1997;34(2):115-27.
4. Leidel BA, Kirchhoff C, Bogner V, Stegmaier J, Mutschler W, Kanz KG, et al. Is the intraosseous access route fast and efficacious compared to conventional central venous catheterization in adult patients under resuscitation in the emergency department? A prospective observational pilot study. *Patient Saf Surg.* 2009;3(1):24.
5. Lamhaut L, Dagron C, Apriotesei R, Gouvernaire J, Elie C, Marx JS, et al. Comparison of intravenous and intraosseous access by pre-hospital medical emergency personnel with and without CBRN protective equipment. *Resuscitation.* 2010;81(1):65-8.
6. Horton MA, Beamer C. Powered intraosseous insertion provides safe and effective vascular access for pediatric emergency patients. *Pediatr Emerg Care.* 2008;24(6):347-50.
7. Ross EM, Mapp J, Kharod C, Wampler DA, Velasquez C, Miramontes DA. Time to epinephrine in out-of-hospital cardiac arrest: A retrospective analysis of intraosseous versus intravenous access. *Am J Disaster Med.* 2016;11(2):119-23.
8. Helm M, Hauke J, Bippus N, Lampl L. [Intraosseous puncture in preclinical emergency medicine. Ten years experience in air rescue service]. *Anaesthetist.* 2007;56(1):18-24.
9. Tobias JD, Ross AK. Intraosseous infusions: a review for the anesthesiologist with a focus on pediatric use. *Anesth Analg.* 2010;110(2):391-401.
10. Voelckel WG, Lindner KH, Wenzel V, Krismer AC, Hund W, Muller G, et al. Intraosseous blood gases during hypothermia: correlation with arterial, mixed venous, and sagittal sinus blood. *Crit Care Med.* 2000;28(8):2915-20.
11. Fiser DH. Intraosseous infusion. *N Engl J Med.* 1990;322(22):1579-81.
12. Maconochie IK, Bingham R, Eich C, Lopez-Herce J, Rodriguez-Nunez A, Rajka T, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 6. Paediatric life support. *Resuscitation.* 2015;95:223-48.

13. Buck ML, Wiggins BS, Sesler JM. Intraosseous drug administration in children and adults during cardiopulmonary resuscitation. *Ann Pharmacother*. 2007;41(10):1679-86.
14. Von Hoff DD, Kuhn JG, Burris HA, 3rd, Miller LJ. Does intraosseous equal intravenous? A pharmacokinetic study. *Am J Emerg Med*. 2008;26(1):31-8.
15. Paxton JH, Knuth TE, Klausner HA. Proximal humerus intraosseous infusion: a preferred emergency venous access. *J Trauma*. 2009;67(3):606-11.
16. Hess T, Bohmer R, Stuhr M, Kerner T. [Invasive emergency techniques - intraosseous devices]. *Anasthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 2014;49(10):576-85; quiz 86.
17. Bernhard M, Gräsner J, Gries A, Fischer M, Böttiger B, Helm M, et al. DGAInfo-Die intraossäre Infusion in der Notfallmedizin-Empfehlungen des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Notfallmedizin und des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kinderanästhesie der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin. *Anästhesiologie und Intensivmedizin*. 2010;51(6):S615.
18. Schiebler TH, Korf H-W. Allgemeine Anatomie des Bewegungsapparats. *Anatomie: Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie (E-Book)*. 10th ed. Heidelberg: Springer; 2007. p. 156.
19. Benninghoff, Drenckhahn D. Allgemeine Gelenk- und Knochenlehre. In: Drenckhahn D, Waschke J, editors. *Taschenbuch Anatomie*. 1. München: Urban & Fischer in Elsevier; 2008. p. 23.
20. GmbH T. Wie funktioniert der intraossäre (IO) Gefäßzugang? : Tinovamed; 2016 [Available from: <http://www.tinovamed.ch/index.php/de/faq/28-ezio/568-gefaesszugang-ezio>. (31.01.2018; 10:03)]
21. Lewis P, Wright C. Saving the critically injured trauma patient: a retrospective analysis of 1000 uses of intraosseous access. *Emerg Med J*. 2015;32(6):463-7.
22. Hallas P, Brabrand M, Folkestad L. Complication with intraosseous access: scandinavian users' experience. *West J Emerg Med*. 2013;14(5):440-3.
23. Ngo AS, Oh JJ, Chen Y, Yong D, Ong ME. Intraosseous vascular access in adults using the EZ-IO in an emergency department. *Int J Emerg Med*. 2009;2(3):155-60.
24. Hamed RK, Hartmans S, Gausche-Hill M. Anesthesia through an intraosseous line using an 18-gauge intravenous needle for emergency pediatric surgery. *J Clin Anesth*. 2013;25(6):447-51.
25. Krishnan M, Lester K, Johnson A, Bardeloza K, Edemekong P, Berim I. Bent Metal in a Bone: A Rare Complication of an Emergent Procedure or a Deficiency in Skill Set? *Case Rep Crit Care*. 2016;2016:4382481.

26. GmbH T. Arrow EZ-IO, Der intraossäre Gefäßzugang , Kurzanleitung Teleflex Medical Europe; 2016 [Available from:  
[http://www.teleflex.com/emea/documentLibrary/documents/940774-000000\\_VA\\_EZ-IO\\_Pocket\\_Guide\\_BR\\_1611.pdf](http://www.teleflex.com/emea/documentLibrary/documents/940774-000000_VA_EZ-IO_Pocket_Guide_BR_1611.pdf). (31.01.2018; 10:04)]
27. Corporation V. Science and Fundamentals of Intraosseous Vascular Access Texas: Teleflex GmbH; 2013 [2nd:[Available from:  
<http://www.teleflex.com/en/usa/ezioeducation/index.html>. (31.01.2018; 10:05)]
28. Netter FH. Netter Atlas Anatomie. 3 ed Stuttgart: Thieme Verlag 2006. p 232
29. Heuck A, Steinborn M, Rohen J, Lütjen-Drecoll E. MRT Atlas, des Muskuloskeletalen Systems. 2nd ed. Stuttgart: Schattauer Verlag; 2009. p. 300.
30. Schiebler TH, Korf HW. Anatomie: Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie. 10th ed. Heidelberg, 2007. p. 468.
31. GmbH T. Proximal Humerus Site Identification (Adult) step-by-step instructions with illustrations 2014 [Available from: <http://www.teleflex.com/en/usa/ezioeducation/index.html>. (31.01.2018; 10:07)]
32. Dettmeyer RB, Schütz HF, Verhoff MA. Rechtsmedizin. 2nd ed. Heidelberg: Springer; 2014. p. 245.
33. Medical C. Dieckmann Intraosseous Infusion Needle (Standard Hub Design) Products2017 [Available from: [https://www.cookmedical.com/products/cc\\_din\\_webds/](https://www.cookmedical.com/products/cc_din_webds/). (31.01.2018; 10:08)]
34. Arrowezio. EZ-IO 2017 [Available from: <http://www.arrowezio.com/Images/ezio-product-suite.png>. (31.01.2018; 10:09)]
35. GmbH M-KMT. BIG Intraossärer Zugang2017 [Available from: <http://www.medi-king.de/big-bone-injection-gun-intraossaere-zugang>. (31.01.2018, 10:10)]
36. Siemens. [Available from: [https://static.healthcare.siemens.com/siemens\\_hwem-hwem\\_ssxa\\_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@mri/documents/image/mdaw/mtmw/~edisp/mri-magnetom-avanto-15t-mediaviewer\\_03-00096077~8.jpg](https://static.healthcare.siemens.com/siemens_hwem-hwem_ssxa_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@mri/documents/image/mdaw/mtmw/~edisp/mri-magnetom-avanto-15t-mediaviewer_03-00096077/~renditions/mri-magnetom-avanto-15t-mediaviewer_03-00096077~8.jpg). (31.01.2018; 10:11)]
37. healthcare G. [Available from:  
[http://www3.gehealthcare.com/~media/images/education/general/gehc\\_education\\_discovery\\_ct\\_750\\_front\\_view.jpg?h=260&la=en&mw=462&w=462](http://www3.gehealthcare.com/~media/images/education/general/gehc_education_discovery_ct_750_front_view.jpg?h=260&la=en&mw=462&w=462), (23.09.2017; 19:12)]

38. de Caen AR, Berg MD, Chameides L, Gooden CK, Hickey RW, Scott HF, et al. Part 12: Pediatric Advanced Life Support: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2015;132(18 Suppl 2):S526-42.
39. Afzali M, Kvisselgaard AD, Lyngeraa TS, Viggers S. Intraosseous access can be taught to medical students using the four-step approach. *BMC Med Educ*. 2017;17(1):50.
40. Helm M, Haunstein B, Schlechtriemen T, Ruppert M, Lampl L, Gassler M. EZ-IO((R)) intraosseous device implementation in German Helicopter Emergency Medical Service. *Resuscitation*. 2015;88:43-7.
41. Santos D, Carron PN, Yersin B, Pasquier M. EZ-IO((R)) intraosseous device implementation in a pre-hospital emergency service: A prospective study and review of the literature. *Resuscitation*. 2013;84(4):440-5.
42. Heinild S, Sondergaard T, Tudvad F. Bone marrow infusion in childhood; experiences from a thousand infusions. *J Pediatr*. 1947;30(4):400-12.
43. Wyckoff MH, Aziz K, Escobedo MB, Kapadia VS, Kattwinkel J, Perlman JM, et al. Part 13: Neonatal Resuscitation: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*. 2015;132(18 Suppl 2):S543-60.
44. Wyllie J, Bruinenberg J, Roehr CC, Rudiger M, Trevisanuto D, Urlesberger B. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 7. Resuscitation and support of transition of babies at birth. *Resuscitation*. 2015;95:249-63.
45. Myers LA, Russi CS, Arteaga GM. Semiautomatic intraosseous devices in pediatric prehospital care. *Prehosp Emerg Care*. 2011;15(4):473-6.
46. Oksan D, Ayfer K. Powered intraosseous device (EZ-IO) for critically ill patients. *Indian Pediatr*. 2013;50(7):689-91.
47. Frascone RJ, Jensen J, Wewerka SS, Salzman JG. Use of the pediatric EZ-IO needle by emergency medical services providers. *Pediatr Emerg Care*. 2009;25(5):329-32.
48. Glaeser PW, Hellmich TR, Szewczuga D, Losek JD, Smith DS. Five-year experience in prehospital intraosseous infusions in children and adults. *Ann Emerg Med*. 1993;22(7):1119-24.
49. Hess T, Bohmer R, Arndt F, Lorber G, Herrmann J, Puschel K, et al. [Case Report - Bilateral humeral intraosseous access for CPR in a 3-years-old child]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 2016;51(7-08):468-74.

50. Jansen G, Leimkuhler K, Mertzlufft F. [Intramedullary placement of intraosseous cannulas inserted in the preclinical treatment of polytrauma patients : A retrospective, computed tomography-assisted evaluation]. *Anaesthesist*. 2017;66(3):168-76.
51. Kehrl T, Becker BA, Simmons DE, Broderick EK, Jones RA. Intraosseous access in the obese patient: assessing the need for extended needle length. *Am J Emerg Med*. 2016;34(9):1831-4.
52. Lo TY, Reynolds F. To use intraosseous access or not to use intraosseous access: determinants of trainees' decision in paediatric emergencies. *Eur J Emerg Med*. 2009;16(6):301-4.
53. Engels PT, Erdogan M, Widder SL, Butler MB, Kureshi N, Martin K, et al. Use of intraosseous devices in trauma: a survey of trauma practitioners in Canada, Australia and New Zealand. *Can J Surg*. 2016;59(6):374-82.
54. Szarpak L, Truszewski Z, Smereka J, Krajewski P, Fudalej M, Adamczyk P, et al. A Randomized Cadaver Study Comparing First-Attempt Success Between Tibial and Humeral Intraosseous Insertions Using NIO Device by Paramedics: A Preliminary Investigation. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(20):e3724.
55. Hammer N, Mobius R, Gries A, Hossfeld B, Bechmann I, Bernhard M. Comparison of the Fluid Resuscitation Rate with and without External Pressure Using Two Intraosseous Infusion Systems for Adult Emergencies, the CITRIN (Comparison of InTRaosseous infusion systems in emergency medicINe)-Study. *PLoS One*. 2015;10(12):e0143726.
56. Slideshare.net [Available from: <https://www.slideshare.net/DocMontey/ez-io-presentation-at-fca> (23.09.2017; 19:20)]

## **9. Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt Herrn Privat- Dozent Peter Paal und seinem Team am Universitätsklinikum Innsbruck, sowie Herrn Professor Dr. med. Karl- Georg Kanz am Klinikum Rechts- der- Isar, für die Überlassung des Themas der Doktorarbeit sowie die Unterstützung bei der Erstellung der Doktorarbeit. Bedanken möchte ich mich insbesondere für die geduldige und äußerst motivierende Gespräche sowie Diskussionen während des gesamten Prozesses, von der Planung der Dissertation, der Auswertung der Daten bis schließlich zum Schreiben der Dissertation. Diese außergewöhnliche Unterstützung hat meine Dissertation ermöglicht.

Mein Dank gilt ebenso Frau Pivat- Dozentin Bogner- Flatz für die Mitbetreuung der Arbeit.

Außerdem gilt mein Dank Herrn Assoz.-Professor Priv.-Doz. Dr. med. Bernhard Glodny der Abteilung für Radiologie in Innsbruck für die Weitergabe seiner sehr hilfreichen Kenntnisse zur Vermessung der Daten.

Bedanken möchte ich mich außerdem bei Frau DI BSc. Sabrina Neururer, der Abteilung für medizinische Statistik des Universitätsklinikums Innsbruck für ihre Hilfestellungen beim Erlernen der Auswertung mit SPSS.

Außerdem möchte ich dem Universitätsklinikum Innsbruck für die Bereitstellung der Daten Danken.

Von ganzem Herzen danke ich meinem Freund Benedikt, der mir jederzeit zur fachlichen Diskussion der Thematik der Dissertation zur Seite gestanden hat. Darüber hinaus hat seine liebevolle verständnisvolle mentale Unterstützung und seine Geduld maßgeblich das Gelingen dieser Arbeit ermöglicht.

Von ganzem Herzen danke ich meiner Familie, insbesondere meiner Mutter, für Ihre liebevolle und bedingungslose Unterstützung während meines Medizinstudiums.

## **10. Eidesstattliche Versicherung**

**Trefzer, Laura Katharina**

---

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema „**Analyse der anatomischen Voraussetzungen für intraossäre Zugänge beim Kind im Vergleich mit den Herstellerinformationen**“, selbstständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 31.01.2018

Laura Trefzer

---

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin