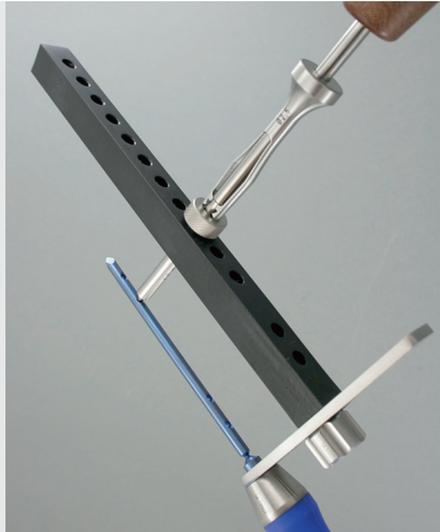


# Einsatzmöglichkeiten eines Verriegelungsnagelsystems für die Katze inklusive der Bestimmung der Durchleuchtungszeiten bei der Implantation



Mit freundlicher Erlaubnis der Firma ManMed GmbH, Cölbe, Deutschland

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur Erlangung des Grades eines  
Dr. med. vet.  
beim Fachbereich Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

**Angelika Marion Fiedler**





## **Bibliografische Informationen der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie;  
Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Auflage 2016

© 2016 by Verlag: **Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft Service GmbH**,  
Gießen  
Printed in Germany

ISBN 978-3-86345-331-2

Verlag: DVG Service GmbH  
Friedrichstraße 17  
35392 Gießen  
0641/24466  
[info@dvf.de](mailto:info@dvf.de)  
[www.dvf.de](http://www.dvf.de)

Aus dem Klinikum Veterinärmedizin  
Klinik für Kleintiere, Chirurgie,  
der Justus-Liebig-Universität Gießen  
Betreuer: PD Dr. med. vet. Martin Gerwing

# **Einsatzmöglichkeiten eines Verriegelungsnagelsystems für die Katze inklusive der Bestimmung der Durchleuchtungszeiten bei der Implantation**

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur Erlangung des Grades eines  
Dr. med. vet  
beim Fachbereich Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von  
**Angelika Marion Fiedler**  
Tierärztin aus Kassel

Gießen 2016

Mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. Martin Kramer

1. Gutachter: PD Dr. Martin Gerwing

2. Gutachter: Prof. Dr. Michael Röcken

Tag der Disputation: 02. Juni 2016

“Although it is a humbling reminder,  
we must recognize that fracture healing  
is a natural biological process  
rather than a modern miracle  
that we are able to invoke.”

(PALMER, 1999)



---

Inhaltsverzeichnis .....	I
Abkürzungsverzeichnis .....	VI
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>I</b>
<b>2 Literaturübersicht.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Anatomie .....</b>	<b>3</b>
2.1.1 <i>Humerus</i> .....	3
2.1.2 <i>Femur</i> .....	4
2.1.3 <i>Tibia</i> .....	4
<b>2.2 Frakturen von <i>Humerus, Femur und Tibia</i>.....</b>	<b>5</b>
2.2.1 <i>Ursachen und Häufigkeit</i> .....	5
2.2.2 <i>Signalement</i> .....	6
2.2.3 <i>Fraktureinteilung</i> .....	6
<b>2.3 Frakturheilung .....</b>	<b>8</b>
2.3.1 <i>Arten der Frakturheilung</i> .....	8
2.3.2 <i>Blutversorgung</i> .....	9
2.3.3 <i>Heilungsbeurteilung</i> .....	9
2.3.3.1 <i>Klinische Heilungsbeurteilung</i> .....	9
2.3.3.2 <i>Radiologische Heilungsbeurteilung</i> .....	10
<b>2.4 Osteosynthese.....</b>	<b>12</b>
2.4.1 <i>Biomechanische Osteosynthese</i> .....	12
2.4.2 <i>Biologische Osteosynthese</i> .....	13
<b>2.5 Verriegelungsnägel.....</b>	<b>14</b>
2.5.1 <i>Geschichte</i> .....	14
2.5.2 <i>Biomechanik</i> .....	15
2.5.3 <i>Indikation</i> .....	18
2.5.4 <i>Aufbohren der Markhöhle</i> .....	19
2.5.5 <i>Nagelmodelle in der Veterinärmedizin</i> .....	20
2.5.6 <i>Kombination mit anderen Osteosyntheseverfahren</i> .....	21
2.5.7 <i>Heilungsverlauf und Prognose</i> .....	22
2.5.8 <i>Komplikationen</i> .....	23
2.5.8.1 <i>Komplikationen intraoperativ</i> .....	23
2.5.8.2 <i>Komplikationen postoperativ</i> .....	26
<b>2.6 MarMed Verriegelungsnagelsystem.....</b>	<b>31</b>
<b>2.7 Strahlenbelastung des OP-Personals.....</b>	<b>33</b>
2.7.1 <i>Humanmedizin</i> .....	34
2.7.2 <i>Veterinärmedizin</i> .....	36
2.7.3 <i>Strahlenschutz</i> .....	36

<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Ziel der Untersuchung</b> .....	<b>39</b>
<b>3.2</b>	<b>Prospektive Untersuchung</b> .....	<b>39</b>
3.2.1	<i>Patientengut</i> .....	39
3.2.2	<i>Präoperativ zu erhebende Daten</i> .....	39
3.2.3	<i>Durchführung der OP und Nachsorge</i> .....	40
3.2.4	<i>Intraoperativ zu erhebende Daten</i> .....	43
3.2.5	<i>Postoperativ zu erhebende Daten</i> .....	44
3.2.6	<i>Statistische Auswertung des prospektiven Teils</i> .....	47
<b>3.3</b>	<b>Retrospektive Untersuchung</b> .....	<b>50</b>
3.3.1	<i>Patientengut</i> .....	50
3.3.2	<i>Signalement</i> .....	50
3.3.3	<i>Messungen am Röntgenbild</i> .....	51
3.3.3.1	<i>Messung der gesunden Gegenseite</i> .....	51
3.3.3.2	<i>Messung der Markhöhlendurchmesser</i> .....	51
3.3.3.3	<i>Messung der Fragmentlängen</i> .....	51
3.3.4	<i>Einsetzbarkeit des Verriegelungsnagels anhand der Fragmentlängen</i> .....	52
3.3.5	<i>Statistische Auswertung des retrospektiven Teils</i> .....	53
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>55</b>
<b>4.1</b>	<b>Ergebnisse der prospektiven Untersuchung</b> .....	<b>55</b>
4.1.1	<i>Signalement</i> .....	55
4.1.2	<i>Präoperativ erhobene Daten</i> .....	57
4.1.2.1	<i>Frakturursache und Lahmheit bei Einlieferung</i> .....	57
4.1.2.2	<i>Einfluss von Multitrauma und Grunderkrankung auf Lahmheit und Gesamtergebnis</i> .....	58
4.1.2.3	<i>Einfluss der Topographie auf Lahmheitsgrad und klinisches Gesamtergebnis</i> .....	58
4.1.2.4	<i>Einfluss des Frakturtyps auf Durchleuchtung, Röntgenbeurteilung und Gesamtergebnis</i> .....	58
4.1.2.5	<i>Einfluss einer offenen Fraktur auf Lahmheit, Röntgenbeurteilung und Gesamtergebnis</i> .....	59
4.1.2.6	<i>Einfluss der Zeit zwischen Trauma und OP auf Lahmheitsgrad und Gesamtergebnis</i> .....	60
4.1.3	<i>Intraoperativ erhobene Daten</i> .....	60
4.1.3.1	<i>Operationszeiten</i> .....	60
4.1.3.2	<i>Verwendete Nagellängen</i> .....	60
4.1.3.3	<i>Retrograd eingebrachte Nägel und Aufbohren der Markhöhle</i> .....	60
4.1.3.4	<i>Versetzte Schrauben</i> .....	61

---

4.1.3.5	Weitere Implantationsprobleme .....	63
4.1.3.6	Einfluss der Schraubenanzahl auf Röntgenbeurteilung und klinisches Gesamtergebnis .....	63
4.1.3.7	Einfluss eines zusätzlichen Fix ex auf Röntgenbeurteilung und Gesamtergebnis .....	64
4.1.3.8	Durchleuchtung .....	64
4.1.4	Postoperativ erhobene Daten .....	64
4.1.4.1	Schwellung und Exsudation der Naht .....	64
4.1.4.2	Belastung im Stand, Lahmheit und Schmerzhaftigkeit der operierten Gliedmaße .....	64
4.1.4.3	Muskelatrophie und Gelenkbeweglichkeit .....	66
4.1.4.4	Weitere Komplikationen und Todesfälle .....	67
4.1.5	Röntgenbeurteilung .....	67
4.1.5.1	Implantatverbiegungen .....	67
4.1.5.2	Einfluss des Schrauben-Fraktur-Abstands auf Röntgenscore und Gesamtergebnis .....	68
4.1.5.3	Einfluss der Markhöhlenfüllung auf Röntgenscore und Gesamtergebnis .....	68
4.1.5.4	Markhöhlennutzlängen .....	69
4.1.5.5	Verlängerung oder Verkürzung des Knochens .....	69
4.1.5.6	Einfluss der Röntgenscores auf Lahmheit und Gesamtergebnis .....	70
4.1.5.7	Frakturheilungsphasen und Heilungszeitpunkt .....	70
4.1.5.8	Interobserver- und Intraobserververgleich .....	73
4.1.6	Telefonbefragung der Besitzer .....	75
<b>4.2</b>	<b>Ergebnisse der retrospektiven Untersuchung .....</b>	<b>76</b>
4.2.1	Signalement .....	77
4.2.2	Topographie .....	78
4.2.3	Markhöhlennutzlänge der gesunden Gegenseite .....	78
4.2.4	Markhöhlendurchmesser .....	79
4.2.5	Fragmentlängen .....	80
4.2.5.1	Proximale Fragmentlänge .....	80
4.2.5.2	Distale Fragmentlänge .....	81
4.2.6	Schraubenanzahl und Schrauben-Fraktur-Abstand .....	82
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>85</b>
<b>5.1</b>	<b>Signalement .....</b>	<b>85</b>
<b>5.2</b>	<b>Frakturursache .....</b>	<b>86</b>
<b>5.3</b>	<b>Multitrauma und Grunderkrankung .....</b>	<b>87</b>
<b>5.4</b>	<b>Topographie .....</b>	<b>88</b>

---

<b>5.5</b>	<b>Frakturtyp .....</b>	<b>89</b>
5.5.1	<i>Fraktüreinteilung .....</i>	89
5.5.2	<i>Offene oder geschlossene Fraktur .....</i>	90
<b>5.6</b>	<b>Zeit vom Trauma bis zur Operation .....</b>	<b>91</b>
<b>5.7</b>	<b>Operationszeiten.....</b>	<b>91</b>
<b>5.8</b>	<b>Implantate .....</b>	<b>92</b>
5.8.1	<i>Markhöhlennutzlänge .....</i>	92
5.8.2	<i>Markhöhlendurchmesser .....</i>	94
5.8.3	<i>Fragmentlängen.....</i>	96
5.8.4	<i>Anzahl der Schrauben .....</i>	96
5.8.5	<i>Zusätzliche frakturstabilisierende Maßnahmen .....</i>	98
<b>5.9</b>	<b>Strahlenbelastung durch Einsatz der Durchleuchtung .....</b>	<b>100</b>
<b>5.10</b>	<b>Klinisches Ergebnis.....</b>	<b>102</b>
5.10.1	<i>Unmittelbar postoperativ.....</i>	102
5.10.2	<i>Kontrolluntersuchungen .....</i>	103
5.10.3	<i>Langzeitergebnis.....</i>	104
<b>5.11</b>	<b>Röntgenbeurteilung.....</b>	<b>105</b>
5.11.1	<i>Inter- und Intraobserververgleich .....</i>	105
5.11.2	<i>Abstand der Schrauben zum Frakturspalt .....</i>	106
5.11.3	<i>Röntgenscores .....</i>	108
5.11.4	<i>Heilungszeitpunkt .....</i>	109
<b>5.12</b>	<b>Komplikationen .....</b>	<b>112</b>
5.12.1	<i>Versetzte Schrauben.....</i>	112
5.12.2	<i>Andere intraoperative Komplikationen .....</i>	115
5.12.3	<i>Verlängerung/Verkürzung .....</i>	116
5.12.4	<i>Postoperative Komplikationen.....</i>	117
<b>5.13</b>	<b>Schlussfolgerung und Ausblick.....</b>	<b>119</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>121</b>
<b>7</b>	<b>Summary.....</b>	<b>124</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>127</b>
<b>9</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>159</b>
<b>9.1</b>	<b>Begriffserklärungen.....</b>	<b>159</b>
<b>9.2</b>	<b>Beurteilungs- und Fragebögen.....</b>	<b>159</b>
<b>9.3</b>	<b>Messungen am Röntgenbild .....</b>	<b>162</b>
<b>9.4</b>	<b>Ergebnistabellen und -abbildungen.....</b>	<b>164</b>
<b>9.5</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>174</b>
<b>9.6</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>178</b>



-	bis oder minus	ECVDI	European Collage of Veteri-
=	gleich		nary Diagnostic Imaging
°	Grad	EKH	Europäisch Kurzhaar
>	größer als	et al.	et alii/et alia (und
≥	größer gleich		Mitarbeiter/innen)
<	kleiner als	etc.	et cetera
≤	kleiner gleich	Fix ex	Fixateur externe
±	plus-minus	g	Gramm
%	Prozent	ggf.	gegebenenfalls
α	Alpha	h	Stunde/n
A.	Arteria	Hrsg.	Herausgeber
a	Jahr/e	ICRP	International Commission on
Abb.	Abbildung/en		Radiological Protection
ALARA	as low as reasonably	ILN	Interlocking Nail
	achievable	Inc.	incorporated
AO	Arbeitsgemeinschaft für	k. A.	keine Angaben
	Osteosynthesefragen	kg	Kilogramm
arithm.	arithmetisch/es	KM	Körpermasse
ASA	American Society of	kV	Kilovolt
	Anesthesiologists	LAN	Lokal Area Network
bzgl.	bezüglich	lg	dekadischer Logarithmus
bzw.	beziehungsweise	LISS	Less Invasive Stabilization
ca.	circa		System
CA	California	m	Meter
cm	Zentimeter	M.	Musculus
CT	Computertomograph/ie	MA	Massachusetts
d	Tag/e	mA	Milliampere
d.	der/die/das	Max.	Maximum
DCP	dynamic compression plate	μg	Mikrogramm
	(Dynamische	mg	Milligramm
	Kompressionsplatte)	mGy	Milligray
DNA	deoxyribonucleic acid	min	Minute/n
	(Desoxyribonucleinsäure)	Min.	Minimum
Dr.	Doktor	ml	Milliliter

- ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS -

---

mm	Millimeter	®	registered trade mark
Mo	Monat/e	S.	Seite/n
mSV	Millisievert	s.	siehe
n	Patientenanzahl/ Stichprobengröße	SE	standard error (Standardfehler)
N.	Nervus	sek	Sekunde/n
nr.	Nummer	SF	Streifaktor
o. ä.	oder ähnliche/s	St.	Sanct
o. J.	ohne Jahr	Sv	Sievert
OP	Operation/s	tVN2	Nagelimplantationszeit (Beginn Nagelimplantation bis Ende Durchleuchtung)
PDS	Polydioxanon		
p. op.	post operationem		
PEEK	Polyetheretherketon	u.	und
p-Wert	Überschreitungswahrscheinlichkeit	USA	United States of America
Q1	1. Quartil	VN	Verriegelungsnagel
Q3	3. Quartil	vs.	versus
r	Korrelationskoeffizient	Vers.	Version
r <sub>S</sub>	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman	Wo	Woche/n
		$\bar{x}_g$	geometrischer Mittelwert
		z. B.	zum Beispiel



## 1 Einleitung

Frakturen der langen Röhrenknochen treten bei der Katze meist aufgrund von Fensterstürzen oder Autounfällen auf (LARIN et al., 2001; BRUNNBERG u. WAIBL, 2002; BRUNNBERG et al., 2003; BEHREND, 2007; SCOTTI et al., 2007). Multiple Versorgungsmethoden wurden im Verlauf der Zeit für diese Gruppe von Verletzungen entwickelt und klinisch erprobt (KOCH, 2005; ROE, 2005; PIERMATTEI et al., 2006). Die Verriegelungsnagelung hat sich in der Humanmedizin durch eine schonende Operationstechnik, kurze Operations- und Hospitalisationszeiten sowie eine frühe Mobilität des Patienten für Frakturen der langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße bewährt (WINQUIST et al., 1984; KEMPF et al., 1985; BUHL et al., 2000; WEISE u. SCHWAB, 2001). In der Tiermedizin wird der Verriegelungsnagel (VN) seit Beginn der 90er Jahre bei Frakturen des *Femurs*, der *Tibia* und des *Humerus* bei Hund und Katze mit guten Heilungsergebnissen eingesetzt (DURALL et al., 1993; DURALL et al., 1994; DURALL u. DIAZ, 1996; ENDO et al., 1998; DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; LARIN et al., 2001; HORSTMAN u. BEALE, 2002; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003; HORSTMAN et al., 2004; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; SCOTTI et al., 2007). Die Katze ist durch die gerade Form und einheitliche Weite der Markhöhle für diese Form der Frakturversorgung besonders geeignet (LARIN et al., 2001; CHANDLER u. BEALE, 2002; HARARI, 2002; INGENDAAY, 2009). Dennoch existieren nach Wissen des Autors keine prospektiven klinischen Studien, die sich ausschließlich mit der Verriegelungsnagelung bei der Katze beschäftigen.

Voraussetzung für eine Verriegelungsnagelung ist, dass die Frakturkonfiguration ein Setzen der Schrauben in das proximale und distale Hauptfragment erlaubt, ohne den empfohlenen Mindestabstand zwischen Schraube und Fraktur zu unterschreiten (KEMPF et al., 1985; DUELAND et al., 1997; DUHAUTOIS, 2003; SCOTT, 2005). Durch Verwendung von nur 1 Schraube im Hauptfragment, im Gegensatz zu 2 Schrauben, wie es in den meisten veterinärmedizinischen VN-Systemen vorgesehen ist (DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; LARIN et al., 2001; MOSES et al., 2002; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; SCOTTI et al., 2007; BEHREND, 2007), kann eine Indikationserweiterung erreicht werden.

Den zeitaufwendigsten und schwierigsten Schritt der Operation stellt die distale Verriegelung dar (WINQUIST, 1993; ANASTOPOULOS et al., 2008). Aufgrund der Unzuverlässigkeit der Zielgeräte wird dieser Schritt in der Humanmedizin meist unter Durchleuchtungskontrolle mittels Freihandtechnik durchgeführt, was zu einer erheblichen Erhöhung der Strahlenbelastung des OP-Personals führt (LEVIN et al., 1987; SKJELDAL u. BACKE, 1987; RILEY, 1989;

HUDSON, 1989; BUCHOLZ u. JONES, 1991; HÖNTZSCH u. WELLER, 1991; COETZEE u. VAN DER MERWE, 1992; SANDERS et al., 1993; HASHEMI-NEJAD et al., 1994; BRUMBACK, 1996; KRETTEK et al., 1998a; WEISE u. SCHWAB, 2001; ANASTOPOULOS et al., 2008; MOOR et al., 2012). In der Tiermedizin existieren nach Wissen des Autors keine Daten über Durchleuchtungszeiten und Strahlenbelastung, die bei einer Verriegelungsnagelung auftreten.

Die vorliegende Arbeit teilt sich in 2 Abschnitte. Zunächst wird in einer klinisch prospektiven Studie eine Evaluation der Anwendbarkeit, der Operationszeiten, des Heilungsverlaufs und der auftretenden intraoperativen und postoperativen Komplikationen bei Verwendung des MarMed Verriegelungsnagelsystems bei der Katze vorgenommen. Ein besonderes Augenmerk liegt auf den benötigten Durchleuchtungszeiten und der Strahlenbelastung für das OP-Personal im Rahmen eines solchen Eingriffs.

In einem 2. retrospektiven Abschnitt soll erörtert werden, wie viele Frakturen der Katze mittels VN versorgt werden können und welche Implantate auf Lager gehalten werden müssen. Zudem wird die Indikationserweiterung durch einen geringeren Schrauben-Fraktur-Abstand und durch Verwendung von Verriegelungsnägeln, die proximal und/oder distal nur 1 Schraubenloch zur Verfügung stellen, untersucht.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Anatomie

Die langen Röhrenknochen der Katze eignen sich aufgrund ihrer geraden, schlanken Form sowie ihrer einheitlichen Länge und Markhöhlenbreite besonders für die intramedulläre Fixierung (CHANDLER u. BEALE, 2002; HARARI, 2002; INGENDAAY, 2009) (s. Abb. 1).



**Abb. 1:** Laterale Ansicht des *Humerus* (A), *Femur* (B) und der *Tibia* (C) der Katze. Die Knochen haben eine gerade und gleichförmige Diaphyse, die besonders gut für eine intramedulläre Fixation geeignet ist.

#### 2.1.1 *Humerus*

Der *Humerus* ist ein langer, schlanker Röhrenknochen (BRUNNBERG u. WAIBL, 2002). Proximal befindet sich neben dem *Humeruskopf*, der mit der Gelenkpfanne des Schulterblatts artikuliert, kranio-lateral das *Tuberculum majus* und kranio-medial das *Tuberculum minus* (KÖNIG u. LIEBICH, 2001; NICKEL et al., 2004). Das *Corpus humeri* ist im Gegensatz zum Hund bei der Katze gerader, schlanker und kleiner (LANGLEY-HOBBS u. STRAW, 2005; SCOTT, 2005). Die Markhöhle ist rundoval und deren engste Stelle befindet sich mit 3,9 mm Durchmesser proximal der *Fossa olecrani*. Die Länge des *Cavum medullare* beträgt bei der Katze durchschnittlich 89 mm (INGENDAAY, 2009). Distal läuft der Knochen breit und flach aus (BRUNNBERG u. WAIBL, 2002). Als Besonderheit befindet sich bei der Katze oberhalb des medialen Epikondylus das *Foramen supracondylare*, durch das der *Nervus (N.) medianus* und die *Arteria (A.) brachialis* treten (KÖNIG u. LIEBICH, 2001; NICKEL et al., 2004; LANGLEY-HOBBS u. STRAW, 2005; SCOTT, 2005). Bei der Katze ist statt des *Foramen supratrochleare* kranial die *Fossa radialis* und kaudal die *Fossa olecrani* ausgebildet (KÖNIG u. LIEBICH, 2001; NICKEL et al., 2004).

### 2.1.2 Femur

Das *Femur* bildet den größten aber nicht längsten der langen Röhrenknochen (KÖNIG u. LIEBICH, 2001; NICKEL et al., 2004). Im proximalen Abschnitt findet sich neben dem *Caput* und dem *Collum ossis femoris lateral* der *Trochanter major*, der durch die *Fossa trochanterica medial* vom Oberschenkelhals getrennt wird (KÖNIG u. LIEBICH, 2001; NICKEL et al., 2004). Das *Corpus ossis femoris* ist bei der Katze im Gegensatz zum Hund nicht nach kranial gebogen sondern schlank und sehr gerade (MCLAUGHLIN, 1999; NICKEL et al., 2004), wodurch es für intramedulläre Osteosynthesen ideal ist (LARIN et al., 2001; CHANDLER u. BEALE, 2002; SCOTT, 2005; SCOTTI et al., 2007). Das *Femur* verfügt über einen ausgeprägten Weichteilmantel und eine sehr gute periostäre Blutversorgung (HARARI, 2002; SCOTT, 2005). Die weite Markhöhle (SCOTT, 2005) ist in der Mitte rundoval bis rechteckig und durchmisst in ihrem Isthmus im distalen Schaftdrittel durchschnittlich 5,6 mm. Ihre Länge beträgt durchschnittlich 102 mm (INGENDAAY, 2009). Die *Extremitas distalis* wird durch den *Condylus lateralis* und *medialis* gebildet, die durch die *Fossa intercondylaris* getrennt werden. Kranial liegt die *Trochlea ossis femoris*, die Gelenkfläche der Kniescheibe (KÖNIG u. LIEBICH, 2001; NICKEL et al., 2004).

### 2.1.3 Tibia

Der Unterschenkel wird durch die prominente, allein gewichtstragende *Tibia* und die sehr dünne, lateral gelegene *Fibula* gebildet (KÖNIG u. LIEBICH, 2001). Die Gelenkfläche des Kniegelenks wird durch die *Eminentia intercondylaris* in einen *Condylus lateralis* und *medialis* geteilt (KÖNIG u. LIEBICH, 2001; NICKEL et al., 2004). Kranial liegt die prominente *Tuberositas tibiae* (KÖNIG u. LIEBICH, 2001). Die *Tibiadiaphyse* zeigt lateral eine muskeltragende Seite, während medial der Knochen unmittelbar unter der Haut liegt (KÖNIG u. LIEBICH, 2001; NICKEL et al., 2004). Die s-förmige Krümmung des Hundeschienbeins fehlt der lediglich nach kranial gebogenen Katzentibia (NICKEL et al., 2004; WHEELER et al., 2004a). Sie ist proximal dreieckig, distal rund und schlank (BRUNNBERG et al., 2003). Die Markhöhle ist gleichmäßig und röhrenförmig (HARARI, 2002; SCOTT, 2005). Ihr Isthmus von durchschnittlich 3,5 mm Durchmesser befindet sich in der Schaftmitte. Die Länge beträgt durchschnittlich 112 mm (INGENDAAY, 2009). Distal wird die Gelenkfläche mit den Tarsalknochen durch die *Cochlea tibiae* gebildet (KÖNIG u. LIEBICH, 2001; NICKEL et al., 2004).

## 2.2 Frakturen von *Humerus*, *Femur* und *Tibia*

Eine Fraktur ist eine vollständige oder teilweise Zerstörung der Kontinuität eines Knochens oder Knorpels und geht mit einer Schädigung des umliegenden Weichteilgewebes einher (PIERMATTEI et al., 2006).

### 2.2.1 Ursachen und Häufigkeit

Frakturen der langen Röhrenknochen bei der Katze sind meist Folge eines Sturzes aus großer Höhe (35 - 59 %) oder eines Autounfalls (6 - 33 %), seltener durch Schuss- (3 - 9 %) oder Bissverletzungen (3 %) bedingt. In 3 - 40 % der Fälle bleibt die Ursache ungeklärt (LARIN et al., 2001; BRUNNBERG u. WAIBL, 2002; BRUNNBERG et al., 2003; BEHREND, 2007; SCOTTI et al., 2007). In bis zu der Hälfte der Fälle sind zusätzlich weitere Verletzungen zu verzeichnen, die zu einem lebensbedrohlichen Zustand führen können (GRIFFON et al., 1994; BRUNNBERG u. WAIBL, 2002; MOSES et al., 2002; SCOTTI et al., 2007; JOHNSON, 2013).

50 - 85 % aller Frakturen beim Kleintier treten an den langen Röhrenknochen auf (WENKEL u. KAULFUSS, 2001; HARARI, 2002; SCOTT, 2005), wobei die Hintergliedmaße ca. doppelt so oft betroffen ist wie die Vordergliedmaße (UNGER et al., 1990; WENKEL u. KAULFUSS, 2001; HARASEN, 2003; MCCARTNEY u. MACDONALD, 2006; BEHREND, 2007). Am häufigsten finden sich Frakturen des *Femur* (21 - 47 %), darauf folgen Unterschenkelfrakturen mit 5 - 43 % beziehungsweise Unterarmfrakturen mit 2 - 29 %. Der *Humerus* ist von den langen Röhrenknochen am seltensten betroffen (4 - 13 %) (WHITNEY u. MEHLHAFF, 1987; UNGER et al., 1990; WENKEL u. KAULFUSS, 2001; HARARI, 2002; HARASEN, 2003; BEHREND, 2007). Betrachtet man die Lokalisation innerhalb des Knochens bei Hund und Katze, so sind ca. 50 % der Frakturen des *Femur* und 72 - 77 % der *Tibia* in der Diaphyse zu finden. Die *Humerus*-diaphyse ist nur in 36 - 51 % betroffen (UNGER et al., 1990; WENKEL u. KAULFUSS, 2001; BRUNNBERG u. WAIBL, 2002), da der Knochen sich distal verjüngt (UNGER et al., 1990; WENKEL u. KAULFUSS, 2001).

Es treten 26 % einfache Frakturen auf, 50 % sind gesplittert und 24 % stellen Trümmerfrakturen dar (BEHREND, 2007). Offene Frakturen sind mit 19 - 21 % am häufigsten an der *Tibia* (BRUNNBERG et al., 2003; BEHREND, 2007) zu finden aufgrund des spärlichen Weichteilmantels (BRUNNBERG et al., 2003).

### 2.2.2 *Signalement*

Die mit 90 - 97 % am häufigsten mit einer gebrochenen Gliedmaße vorgestellte Katzenrasse ist die Europäisch Kurzhaarkatze (EKH). Der Rest entfällt auf Rassekatzen und deren Mischlinge (MEYER-LINDENBERG et al., 1996; BEHREND, 2007). Das Durchschnittsalter liegt bei 2,2 - 4,3 Jahren (LANGLEY-HOBBS et al., 1996; MEYER-LINDENBERG et al., 1996; ENDO et al., 1998; LORINSON et al., 2000; DUHAUTOIS, 2003; BEHREND, 2007; SCOTTI et al., 2007), die Durchschnittskörpermasse bei 3,5 - 4,7 kg (MEYER-LINDENBERG et al., 1996; ENDO et al., 1998; LARIN et al., 2001; DUHAUTOIS, 2003; BEHREND, 2007; SCOTTI et al., 2007; KÖNNING et al., 2013). Es werden 56 - 67 % Kater vorgestellt, davon sind 50 - 74 % kastriert. Entsprechend sind 33 - 44 % der Tiere weiblich, 50 - 67 % von ihnen kastriert (LARIN et al., 2001; BEHREND, 2007; KÖNNING et al., 2013).

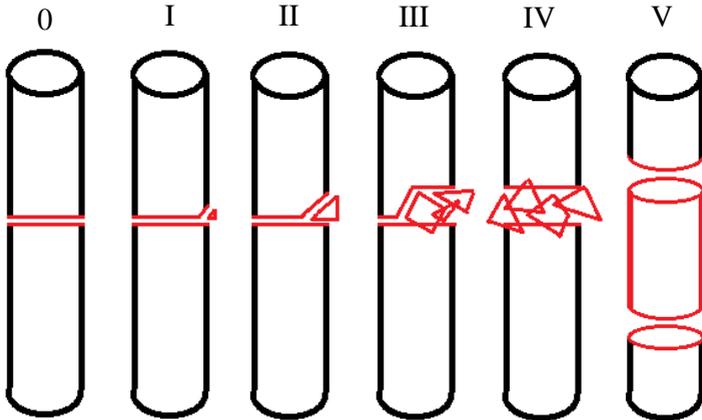
### 2.2.3 *Fraktüreinteilung*

Die Frakturform ist abhängig von der Art und Geschwindigkeit der einwirkenden Kraft, der Knochenart, -geometrie, -dichte, -porosität und -mikrostruktur (RADASCH, 1999).

Die Einteilung kann beschreibend erfolgen und sollte folgende Punkte enthalten: Ursache, offen oder geschlossen, Lokalisation, Morphologie, Schwere-/Zersplitterungsgrad und Stabilität nach Reduktion (PIERMATTEI et al., 2006; JOHNSON, 2013). Eine weitere wichtige Information ist, ob die Fraktur frisch oder alt ist und ob sie bereits erfolglos mittels einer anderen Methode versorgt wurde (DUELAND et al., 1999; DUHAUTOIS, 2003). Für die Vergleichbarkeit wissenschaftlicher Studien wurden spezielle Einteilungssysteme entwickelt. Die geläufigste Einteilung stellt das AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) -Schema dar, das 1990 von UNGER et al. für die Veterinärmedizin vorgestellt wurde. Jeder Fraktur wird ein Zahlen- und Buchstabencode zugeordnet, der die Fraktur unmissverständlich charakterisiert.

Eine andere wesentlich einfachere Einteilung stellt das Winquist-Hansen-Schema dar. Das ursprünglich für Humanchirurgen als Entscheidungshilfe für die Marknagelung entwickelte System (WINQUIST u. HANSEN, 1980) stellt die Kontaktfläche zwischen dem proximalen und distalen Hauptfragment in den Vordergrund (WINQUIST u. HANSEN, 1980; DUELAND et al., 1999). In modifizierter Form wird es routinemäßig in veterinärmedizinischen VN-Studien eingesetzt (DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; HORSTMAN u. BEALE, 2002; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003; HORSTMAN et al., 2004). Jeder Fraktur wird eine Zahl von 0 - V zugeordnet (s. Abb. 2). Frakturen, die in 0 - II eingeteilt werden, stützen sich ab und zeigen von sich aus eine gewisse Resistenz gegen Verkürzung und Rotation. Frakturen der

Gruppe III - V sind instabil und benötigen eine in sich stabile Osteosynthese in Form einer statischen Verriegelung (WINQUIST et al., 1984; BRUMBACK et al., 1988a; BUCHOLZ u. JONES, 1991; BRUMBACK, 1996).



**Abb. 2:** Schematische Darstellung des modifizierten Winquist-Hansen-Schemas: 0: Einfache Fraktur; I: Fraktur mit bedeutungslosen kleinen Splintern; II: > 50 % Kontaktfläche zwischen proximalem und distalem Fragment; III: < 50 % Kontaktfläche zwischen proximalem und distalem Fragment; IV: kein Kontakt zwischen proximalem und distalem Fragment; V: Stückfraktur (DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; HORSTMAN u. BEALE, 2002; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003; HORSTMAN et al., 2004)

Frakturen können außerdem in offene und geschlossene Frakturen eingeteilt werden (DUHAUTOIS, 2003; HOULTON u. DUNNING, 2005; PIERMATTEI et al., 2006) Offene Knochenbrüche werden je nach Schwere in der Tiermedizin wie folgt eingeteilt (SCOTT u. MCLAUGHLIN, 2007; HOULTON u. DUNNING, 2005; PIERMATTEI et al., 2006):

- Grad I: saubere Wunde < 1 cm, Penetration der Haut durch Knochenfragmente von innen nach außen
- Grad II: Wunde > 1 cm, Penetration der Haut von außen nach innen
- Grad III: exzessive Weichteilschädigung
  - III a: Trotz ausgedehnten Weichteiltraumas ist Wundverschluss noch möglich
  - III b: Primärer Wundverschluss ohne Rekonstruktionschirurgie nicht möglich
  - III c: Blutversorgung der distalen Gliedmaße ist gefährdet, ohne Intervention ist ein Verlust der Gliedmaße wahrscheinlich.

## 2.3 Frakturheilung

Die Frakturheilung wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Alter des Patienten (LANGLEY-HOBBS, 2003; GRIFFON, 2005; PIERMATTEI et al., 2006; HENRY, 2007; STRUBE et al., 2008; KÖNNING et al., 2013)
- Betroffener Knochen (LANGLEY-HOBBS, 2003; HENRY, 2007)
- Ort der Fraktur (LANGLEY-HOBBS, 2003; GRIFFON, 2005)
- Blutversorgung (RHINELANDER, 1974; GRIFFON, 2005; PIERMATTEI et al., 2006; HENRY, 2007)
- Zersplitterungsgrad (KÖNNING et al., 2013)
- Systemische Erkrankungen bzw. Infektionen (HAZEWINKEL u. WIEGAND, 2003; GRIFFON, 2005; HENRY, 2007; KAYAL et al., 2009)
- Biomechanische Gegebenheiten (CLAES et al., 1998; GRIFFON, 2005; PIERMATTEI et al., 2006; HENRY, 2007)
- Medikamentengaben (GRIFFON, 2005; HENRY, 2007)
- Körpermasse, Ernährungszustand, Vitaminimbalancen (HAZEWINKEL u. WIEGAND, 2003; HENRY, 2007; KÖNNING et al., 2013)

### 2.3.1 Arten der Frakturheilung

Stabilität im und Größe des Frakturspalts bestimmen die Art der Frakturheilung. Bei stabilen Frakturen mit einem Spalt von  $\leq 1$  mm und einer interfragmentären Dehnung von  $\leq 2$  % kann die Frakturheilung primär (direkt, endostal) als Kontakt- oder Spaltheilung erfolgen. Das Ergebnis ist die unmittelbare Bildung von Knochengewebe ohne Vorstufen (LANGLEY-HOBBS, 2003; EGOL et al., 2004; GRIFFON, 2005; WEISBRODE, 2007). Die sekundäre (spontane, enchondrale) Knochenheilung findet bei großem Frakturspalt und interfragmentärer Dehnung von 2 - 10 % statt (LANGLEY-HOBBS, 2003; EGOL et al., 2004). Es erfolgt zunächst die Bildung von Ersatzgewebe, das in folgenden Phasen in Knochen umgewandelt wird (LANGLEY-HOBBS, 2003; FEHR, 2004; GRIFFON, 2005; WEISBRODE, 2007):

- 1. Frakturhämatom:** entsteht durch Gefäßzerreißung beim initialen Trauma, enthält viele angiogenetische und osteoinduktive Wachstumsfaktoren
- 2. Entzündungsphase:** Abbau von nekrotischem Knochengewebe durch Osteoklasten, Gefäßinsprossung, Differenzierung einwandernder Mesenchymzellen zu Fibroblasten
- 3. Reparationsphase:** Bildung von Kallus (ungeordnetes Netzwerk aus Bindegewebe, das die Fraktur überbrückt und zunehmend stabilisiert)

- a) Primärer Kallus: Bindegewebe, teilweise auch Knorpel, wird umgebaut in:
- b) Sekundären Kallus: Geflechtknochen

**4. Remodellingphase:** Umbau in gerichteten Lamellenknochen, Wiederherstellung von Kortex und Markhöhle

Liegt eine interfragmentäre Dehnung von über 10 % vor, kommt es zur Zerstörung der Zellen und Ausbleiben der Frakturheilung. Um die interfragmentäre Bewegung zu verringern, kann der Frakturspalt verlängert oder der Frakturbereich stabilisiert werden (EGOL et al., 2004).

### 2.3.2 Blutversorgung

Für die Heilung des Knochens ist die Blutversorgung entscheidend. Der Kortex eines gesunden Knochens wird zum größten Teil über die Hauptarterie im Markraum versorgt (RHINELANDER, 1968). Den Rest übernehmen metaphysäre und periostale Arterien (RHINELANDER, 1974). Die periostalen Gefäße anastomosieren mit den Markraumgefäßen (RHINELANDER, 1968; RHINELANDER, 1974). Ist die Hauptarterie durch eine Fraktur zerstört, wird die Blutversorgung von peripheren Blutgefäßen aus den umliegenden Weichteilstrukturen übernommen und die zuvor zentrifugale Flussrichtung kehrt sich um bis die Gefäßstrukturen sich regenerieren konnten. Daher ist die Schonung der Weichteilstrukturen bei einer Osteosynthese Grundlage für deren Erfolg. Die Überbrückung des Frakturspalts durch Gefäße ist nur bei ausreichender Stabilität möglich (RHINELANDER, 1974). Allerdings stören die Implantate, die die Stabilität sichern sollen, auch den Blutfluss. So findet sich unter einer Platte oder an den Kontaktflächen eines intramedullären Pins mit der Kortex eine avaskuläre Zone, die bis zu 2/3 der Kortexdicke einnimmt (RHINELANDER, 1968).

### 2.3.3 Heilungsbeurteilung

#### 2.3.3.1 Klinische Heilungsbeurteilung

Die klinische Heilung gilt als abgeschlossen, wenn die Implantate entfernt werden können und der Knochen stabil ist (PIERMATTEI et al., 2006). Dieser Zeitpunkt kann vor dem Entfernen der Implantate nicht fest terminiert werden, sondern muss anhand von radiologischen und klinischen Befunden sowie Erfahrungswerten des Tierarztes geschätzt werden (WADE u. RICHARDSON, 2001; LANGLEY-HOBBS 2003; HENRY, 2007). Physikalische Messmethoden der Stabilität des heilenden Knochens (WADE u. RICHARDSON, 2001; HENRY, 2007) stehen in der Tiermedizin nach Wissen des Autors nicht für den täglichen Gebrauch zur Verfügung.

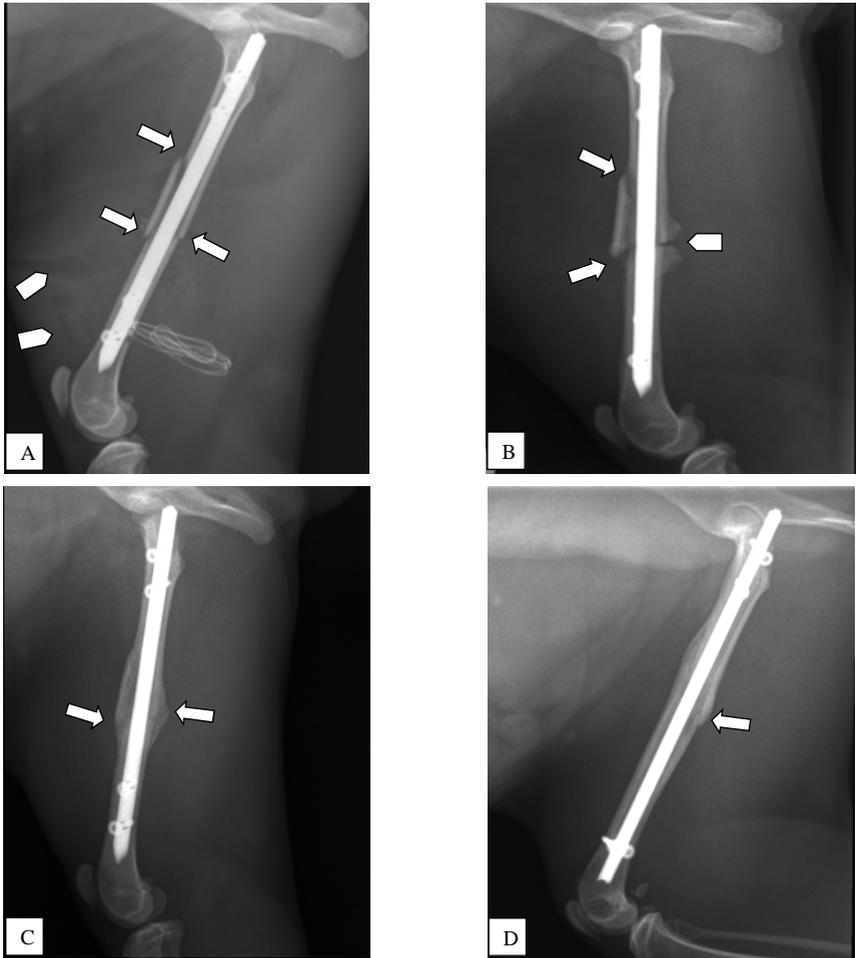
### 2.3.3.2 Radiologische Heilungsbeurteilung

Zur Beurteilung der Fraktur, der Osteosynthese und der Heilung sollten prä- und postoperativ sowie in regelmäßigen Abständen bis zur Frakturheilung angefertigte Röntgenaufnahmen in mindestens 2 orthogonalen Ebenen (kranio-kaudal und medio-lateral) herangezogen werden. Einstellungen der Röntgenanlage und Lagerung sollten bei jeder Kontrolle möglichst gleich und die angrenzenden Gelenke mit abgebildet sein (LANGLEY-HOBBS, 2003; PIERMATTEI et al., 2006; HENRY, 2007). Die Intervalle der radiologischen Kontrollen hängen vom Alter, weiteren Erkrankungen und der erwarteten Geschwindigkeit der Frakturheilung ab (LANGLEY-HOBBS, 2003). Empfohlen werden beim ausgewachsenen Tier Kontrollen alle 4 - 6 Wochen, bei Tieren unter einem Jahr alle 2 Wochen (LANGLEY-HOBBS, 2003; GRIFFON, 2005; HENRY 2007; DENNIS et al., 2010).

Bei jeder Röntgenbildbeurteilung sollten die Position der Fragmente (Länge, Achse, Rotation), der Implantatsitz, etwaige Implantatlockerungen, -verbiegungen und -brüche, das Voranschreiten der Heilung, die Knochenstruktur und -dichte und schließlich der Zustand der umgebenden Weichteile (Schwellungen, Atrophien, Emphyseme) beurteilt werden (LANGLEY-HOBBS, 2003; DENNIS et al., 2010).

Bei einer primären Knochenheilung ist röntgenologisch zunächst eine Erweiterung und anschließend ein Verschwinden des Frakturspalts zu verzeichnen. Die sekundäre Knochenheilung wird in 5 Heilungsphasen unterteilt (LANGLEY-HOBBS, 2003; GRIFFON, 2005; DENNIS et al., 2010):

- Phase 1:** Frakturenenden und Fragmente scharf begrenzt, deutliche Weichteilschwellung, bei offenen Frakturen oder nach operativer Versorgung Lufteinschlüsse im Weichteilgewebe (s. Abb. 3 A)
- Phase 2:** Frakturspalt aufgeweitet, Frakturenenden abgerundet, Fissuren deutlich sichtbar, Weichteilschwellung zurückgegangen, bei jungen Tieren unscharfe periostale Reaktionen (s. Abb. 3 B)
- Phase 3:** Unstrukturierter knöcherner sekundärer Kallus, teilweise Überbrückung des Frakturspalts (s. Abb. 3 B)
- Phase 4:** Sekundärer Kallus verdichtet, überbrückt den Frakturspalt vollständig (s. Abb. 3 C)
- Phase 5:** Kallus stark verkleinert und verdichtet, Unterscheidung in Kortikalis und Markraum möglich, Knochen nimmt ursprüngliche Form wieder an (s. Abb. 3 D)



**Abb. 3 A-D:** Darstellung der Heilungsphasen in medio-lateralen Röntgenbildern von *Femurfrakturen*, die mit VN versorgt wurden.

**A:** Postoperativ, Phase 1: Die Frakturkanten sind scharf begrenzt und die Frakturspalten eng (Pfeile). Es befinden sich Lufteinschlüsse im Weichteilgewebe (Pfeilspitzen).

**B:** 4 Wochen p. op., gleicher Patient: Kraniale Kortikalis Phase 2: Die Frakturspalten stellen sich erweitert und abgerundet dar (Pfeile).

Kaudale Kortikalis Phase 3: Der Frakturspalt zeigt bereits eine unstrukturierte Kallusbildung (Pfeilspitze).

**C:** 8 Wochen p. op., gleicher Patient, Phase 4: Der sekundäre Kallus ist dichter und das Remodelling hat begonnen (Pfeile).

**D:** 8 Wochen p. op., anderer Patient, Phase 5: Der Knochen hat wieder annähernd seine natürliche Form. Kortikalis und Markraum sind wieder abgrenzbar (Pfeil).

In den meisten Studien gilt eine Fraktur radiologisch als geheilt, wenn Brückenkallus grundsätzlich (LARIN et al., 2001; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; SCOTTI et al., 2007) oder auf mindestens 3 Seiten besteht (DUELAND et al., 1999; HORSTMAN et al., 2004; DÉJARDIN et al., 2014). Andere Studien verzichten auf eine genaue Definition des Heilungszeitpunkts (DURALL et al., 1994; DURALL u. DIAZ, 1996; ENDO et al., 1998; LORINSON et al., 2000; MOSES et al., 2002; BASINGER u. SUBER, 2004; DURALL et al., 2004).

## **2.4 Osteosynthese**

Eine operative Behandlung von Frakturen in der Kleintiermedizin ist in 82,8 % der Fälle indiziert (WENKEL u. KAULFUSS, 2001). Das Ziel stellt die frühe Mobilisierung des Patienten und eine vollständige Wiederherstellung der Gliedmaßenfunktion dar (PIERMATTEI et al., 2006). Die Reposition kann offen oder geschlossen durchgeführt werden. Interne Fixationsmöglichkeiten sind Marknägel, Pins, Draht- oder Fadencerclagen, verschiedene Platten sowie Kombinationen dieser Implantate. Die externe Fixation ist mit Fixateur externe (Fix ex) zu erreichen (GRIFFON, 2005; SCOTT, 2005; PIERMATTEI et al., 2006). Welche Methode gewählt wird, ist von den Patienteneigenschaften, der Fraktur, der Compliance von Besitzer und Patient, dem Können des Chirurgen und den zur Verfügung stehenden Implantaten sowie den Kosten abhängig (HOULTON u. DUNNING, 2005; SCOTT, 2005). Die Frakturversorgung kann biomechanisch oder biologisch erfolgen.

### *2.4.1 Biomechanische Osteosynthese*

Die biomechanische Osteosynthese basiert auf einer vollständigen anatomischen Rekonstruktion des Knochens, wobei einzelne Fragmente aus dem Frakturbett gelöst, reponiert und anschließend rigide fixiert werden (ARON et al., 1995; LANGLEY-HOBBS, 2003; GRIFFON, 2005). Diese Methode kann zu einer primären Knochenheilung führen, insbesondere bei der Verwendung von Kompressionsplatten oder Zugschrauben (LANGLEY-HOBBS, 2003; GRIFFON, 2005). Bei Splitter- und Trümmerfrakturen besteht bei der anatomischen Rekonstruktion durch die Störung der Blutversorgung und das große iatrogene Weichteiltrauma die Gefahr von Frakturheilungsstörungen, verlängerter Heilungszeit und Sequesterbildung (ARON et al., 1995; LANGLEY-HOBBS, 2003; GRIFFON, 2005). Die große Menge an Fremdmaterial, die in den Frakturbereich eingebracht werden muss (GRIFFON, 2005), und die verlängerte Operationszeit mit vermehrter Exposition gegenüber Bakterien erhöhen die Infektionsrate (VASSEUR et al., 1988; ARON et al., 1995).

Eine biomechanische Osteosynthese ist unerlässlich, wenn eine anatomische Rekonstruktion zum Erhalt der Funktion der Gliedmaße essentiell ist, z. B. bei Gelenkbeteiligung (HOULTON u. DUNNING, 2005; TOMLINSON, 2005; PIERMATTEI et al., 2006; HUDSON et al., 2009).

#### 2.4.2 *Biologische Osteosynthese*

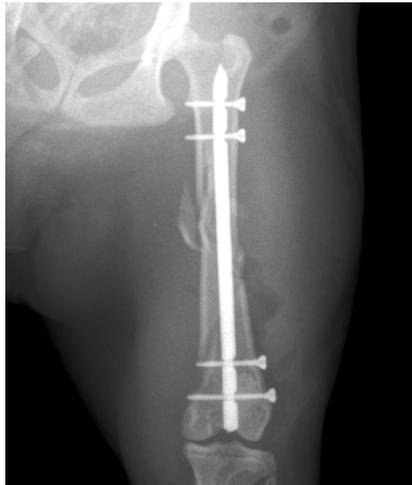
Das Ziel der biologischen Osteosynthese ist, über ein Minimum an operativen Maßnahmen die natürliche Frakturheilung maximal zu unterstützen (CLAUDI u. OEDEKOVEN, 1991). Das Weichteilgewebe und die Blutversorgung werden durch geschlossene Reposition oder durch einen minimalen Zugang („open but do not touch“ Prinzip) geschont (CLAUDI u. OEDEKOVEN, 1991; ARON et al., 1995; HAUSCHILD u. FEHR, 1999; PALMER, 1999; HARARI, 2002; HORSTMAN u. BEALE, 2002; LANGLEY-HOBBS, 2003; BEALE, 2004; HORSTMAN et al., 2004; GRIFFON, 2005). Das Frakturhämatom mit Wachstumsfaktoren, Nährstoffen und Zellen der Abwehr wird belassen, wodurch es zu einer schnelleren Kallusbildung kommt (KÜNTSCHER, 1940; JOHNSON et al., 1998; HARARI, 2002; FEHR, 2004; WEISBRODE, 2007). Die achsen-, rotations- und längenkorrekte Wiederherstellung des Knochens (ARON et al., 1995; JONSON et al., 1998; PIERMATTEI et al., 2006) wird über Implantate erreicht, die genügend Stabilität für die sekundäre Frakturheilung bieten. Hierzu eignen sich Überbrückungsplatten, intramedulläre Pins, Verriegelungsnägel und der Fix ex (CLAUDI u. OEDEKOVEN, 1991; PALMER, 1999; PIERMATTEI et al., 2006). Resorbierbare Fadencerclagen werden verwendet, um große, weit dislozierte Fragmente locker fraktur nah zu positionieren (REEMS et al., 2003; PIERMATTEI et al., 2006). Ansonsten werden Fragmente und Splitter so wenig wie möglich manipuliert (TOOMBS, 2005).

Es wird von kürzeren OP- und Heilungszeiten und damit ggf. geringeren Komplikations- und Infektionsraten bei Hund und Katze durch dieses Prinzip berichtet (ARON et al., 1995; DUDLEY et al., 1997; JONSON et al., 1998; LANGLEY-HOBBS, 2003; REEMS et al., 2003; HORSTMAN et al., 2004; GRIFFON, 2005). Indikationen für eine biologische Frakturversorgung stellen diaphysäre Splitter- und Trümmerfrakturen dar (ARON et al., 1995; HAAS u. UNGER, 2001; HARARI, 2002).

## 2.5 Verriegelungsnägel

### 2.5.1 Geschichte

Die Verriegelungsnagelung ist eine Weiterentwicklung der von Gerhardt Küntscher 1940 eingeführten Marknagelung (KÜNTSCHER, 1940; CONTZEN, 1987; LENTZ, 1990). Durch das Einbringen von Schrauben oder Bolzen durch den Knochen und im Nagel vorhandene Löcher wird eine Rotations-, Achsen- und Kompressionsstabilität der Fraktur erreicht (s. Abb. 4) (VÉCSEI u. HERTZ, 1977; DURALL et al., 1993; DUELAND et al., 1996; HAUSCHILD u.



**Abb. 4:** Röntgenbild im kranio-kaudalen Strahlengang einer mit retrograd eingebrachtem VN versorgten Femursplinterfraktur bei der Katze; die durch Knochen und Nagel eingebrachten Schrauben sorgen für Achsen-, Rotations- und Kompressionsstabilität.

FEHR, 1999; LORINSON et al., 2000; ROE, 2005) sowie eine Nagelwanderung verhindert (DURALL et al., 1993; LARIN et al., 2001). Somit stellt das Verfahren eine stabile Osteosynthesemethode für komplizierte Frakturen der Dia- und Metaphyse dar (WINQUIST et al., 1984; KEMPF et al., 1985; CONTZEN, 1987). Weitere Vorteile sind geringe Infektionsraten, wenig Weichteiltrauma und Blutverlust durch die Möglichkeit der gedeckten Frakturversorgung, selteneres Auftreten einer Non-Union, verkürzte Krankenhausaufenthalte und frühe Mobilität des Patienten (WINQUIST et al., 1984; KEMPF et al., 1985; THORESEN et al., 1985; WISS u. STETSON, 1995; BUHL et al., 2000; WEISE u. SCHWAB, 2001). Viele verschiedene Ausführungen des Verriegelungsnagels wurden für die Humanmedizin entwickelt (BUCHHOLZ u. JONES, 1991; RUSSELL et al., 1991; BRUMBACK, 1996).

Trotz des durchschlagenden humanmedizinischen Erfolgs und der Verwendung von Hunden als Versuchstiere für die Testung von Verriegelungsnägeln (KÜNTSCHER, 1940; KLEIN et al., 1990; BÖHM et al., 1995) wurden erst 1993 verschiedene veterinärmedizinische Verriegelungsnägel fast zeitgleich in verschiedenen Ländern auf den Markt gebracht (DURALL et al., 1993; MUIR et al., 1993; DUELAND et al., 1996; DUHAUTOIS, 2003). Die Anwendung des VN in der Kleintiermedizin hat sich seitdem bei Hund (DURALL et al., 1993; MUIR et al., 1993; DURALL et al., 1994; DURALL u. DÍAZ, 1996; MUIR u. JOHNSON, 1996; ENDO et al., 1998; DUELAND et al., 1999; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003) und Katze klinisch bewährt (ENDO et al., 1998; LARIN et al., 2001; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; SCOTTI et al., 2007). Der Einsatz bei Kälbern ist ebenfalls möglich (BELLON u. MULON, 2011), während das Schaf lediglich als Modelltier in humanmedizinischen Studien dient (MUIR u. JOHNSON, 1995; KLEIN et al., 2004; KASPAR et al., 2005). Berichte über den klinischen Einsatz beim Fohlen fehlen nach Wissen des Autors, obwohl Versuche an osteotomierten *Femora* erfolgreich waren (MCCLURE et al., 1998). Es existieren Fallberichte über einen erfolgreichen VN-Einsatz am *Femur* eines Alpakas (LILLICH et al., 1999) und eines Truthahns (LANGLEY-HOBBS u. FRIEND, 2002) sowie einer *Tibiotarsal*-fraktur beim Weißkopfsaadler (*Halieaetus leucocephalus*) (HOLLAMBY et al., 2004).

### 2.5.2 Biomechanik

Das biomechanische Verhalten des VN wurde für den Menschen (KYLE et al., 1991; RUSSELL et al., 1991; WU u. SHIH, 1992; EVELEIGH, 1995; KRETTEK et al., 1997; LIN et al., 2001; SCHANDELMAIER et al., 2002; BONG et al., 2007) und für den Hund eingehend getestet (BÖHM et al., 1995; DUELAND et al., 1996; DUELAND et al., 1997; BERNARDÉ et al., 2001; BERNARDÉ et al., 2002; VON PFEIL, 2004; DÉJARDIN et al., 2006; REEMS et al., 2006; GOETT et al., 2007; LANSLOWNE et al., 2007; SUBER u. BASINGER, 2008; DÉJARDIN et al., 2009). Nach Wissen des Autors ist die Biomechanik am Katzenknochen nur im Vergleich mit Form-Gedächtnis-Implantaten untersucht worden (INGENDAAY, 2009).

Der VN hat viele biomechanische Vorteile. Mit Position in der neutralen Achse des Knochens ist er im Gegensatz zu anderen Fixationsmethoden, z. B. Platten, weniger Kräften ausgesetzt (DUELAND et al., 1996; RADASCH, 1999). Der VN ist unanfällig für ein Versagen aufgrund zyklischer Belastung (MUIR et al., 1995; DUELAND et al., 1996; DUELAND et al., 1997). Das Flächenträgheitsmoment (s. Begriffserklärungen, Anhang 9.1) und die Elastizität des Materials bestimmen die Resistenz eines Implantats gegenüber Biegekräften (TARR u. WISS, 1986;

MUIR et al., 1995). Der Verriegelungsnagel hat im Vergleich zu einer entsprechenden Platte ein ca. 4mal größeres Flächenträgheitsmoment. So ergibt sich z. B. im experimentellen Vergleich an ostektomierten Hundefemora eine größere Rigidität bei Versorgung mit einem 8 mm VN als bei Versorgung mit einer 10-Loch 3,5-broad dynamischen Kompressionsplatte (DCP) (BERNARDÉ et al., 2001). Neben der sehr guten Biegesteifheit sind durch die Verriegelungsschrauben außerdem Kompressions-, Scher-, Rotations- und Zugkräfte neutralisiert (RADASCH, 1999; ROE, 2005; PIERMATTEI et al., 2006).

Die Schraubenlöcher stellen allerdings einen Schwachpunkt dar (BUCHHOLZ et al., 1987; DUELAND et al., 1997; HAUSCHILD u. FEHR, 1999; DUHAUTOIS, 2003). Im Gegensatz zur Plattenosteosynthese mit Schrauben ist es irrelevant, ob ein Schraubenloch besetzt ist oder nicht, da die Nagel-Schrauben-Verbindung nicht fest ist (DUELAND et al., 1997; MCLAUGHLIN, 1999; APER et al., 2003). Nagelbrüche treten meist im Bereich des proximalsten der distalen Schraubenlöcher auf (WISS et al., 1991; WU u. SHIH, 1992; DUELAND et al., 1997; BONG et al., 2007). Das Bruchrisiko ist abhängig vom Nagel- (BUCHHOLZ et al., 1987; BUCHHOLZ u. JONES, 1991; DUELAND et al., 1997; DUELAND et al., 1999) und Schraubendurchmesser (DUELAND et al., 1997). Wird der Schraubendurchmesser zugunsten der Nagelstabilität verringert, reduziert sich deren Resistenz gegenüber Biegekräften (kleineres Flächenträgheitsmoment), so dass vermehrt Schraubenverbiegungen und -brüche auftreten (DUELAND et al., 1997; SUBER et al., 2002). Ein weiterer Einflussfaktor ist der Abstand des Lochs vom Frakturspalt (DUELAND et al., 1997; DUELAND et al., 1999). Liegen Schraubenlöcher im Frakturspalt ist das Bruchrisiko hoch (HAUSCHILD u. FEHR, 1999). In der Humanmedizin wird daher ein Abstand von 50 mm (BUCHHOLZ et al., 1987; BUCHHOLZ u. JONES, 1991), in der Veterinärmedizin von 10 - 20 mm zwischen Schraube und Frakturspalt empfohlen (DUELAND et al., 1997; MCLAUGHLIN, 1999; DUHAUTOIS, 2003). Im Vergleich sollte bei Plattenosteosynthesen ein Schrauben-Fraktur-Abstand von mindestens 4 - 5 mm oder einem Schraubendurchmesser eingehalten werden (PIERMATTEI et al., 2006).

Die Nagellöcher sind ca. 0,1 - 0,15 mm größer als der Schraubendurchmesser (GARLOCK et al., 2012), um ein Einbringen zu ermöglichen, wodurch ein Spiel von bis zu 28° zwischen Nagel und Schraube entsteht. Dieses vergrößert sich durch Schäden an Gewinde und Schraubenloch mit der Zeit (VON PFEIL, 2004). Es wird vermutet, dass die resultierende ungerichtete interfragmentäre Scherbewegung die Frakturheilung stört und eine Delayed-Union hervorrufen könnte. Im klinischen Einsatz wird das Spiel durch zufällig nicht zentriert bzw. parallel gesetzte Schrauben vermindert (KRETTEK, 2001b; VON PFEIL, 2004; LANSLOWNE et al., 2007). Um das Spiel gezielt zu verringern, können Bolzen eingesetzt werden (WHEELER et al., 2004a; BONG et al.,

2007). Diese sind zudem im Vergleich zu Schrauben durch das größere Flächenträgheitsmoment resistenter gegenüber einem Versagen (APER et al., 2003; BASINGER u. SUBER, 2004; LANSLOWNE et al., 2007). Klinisch stellten BASINGER u. SUBER (2004) in 12 % der Fälle Instabilitäten nach VN-Einsatz fest. Sie rieten zur Ergänzung der Versorgung mit weiteren Implantaten (s. Kapitel 2.5.6). Weiterhin steht ein neues winkelstabiles Nagelsystem zur Einschränkung des Spiels zur Verfügung (KASPAR et al., 2005; DÉJARDIN et al., 2006; LANSLOWNE et al., 2007; DÉJARDIN et al., 2009).

Ein VN kann statisch verriegelt werden. Hierbei werden in das proximale und distale Fragment Schrauben eingebracht (KEMPF et al., 1985; CONTZEN, 1987; WISS u. STETSON, 1995; PIERMATTEI et al., 2006; JOHNSTON et al., 2012), so dass die Kraftübertragung ausschließlich über die Schrauben erfolgen kann (KEMPF et al., 1986; WISS et al., 1990; BONG et al., 2007). Bei der dynamischen Verriegelung befinden sich lediglich in einem der Hauptfragmente Schrauben (KEMPF et al., 1985; WISS u. STETSON, 1995; PIERMATTEI et al., 2006; JOHNSTON et al., 2012), die stabile Fraktur übernimmt einen Teil der wirkenden Kräfte (WINQUIST et al., 1984; KEMPF et al., 1986; TARR u. WISS, 1986; WISS et al., 1990; PALMER, 1999). Eine nachträgliche Dynamisierung durch Entfernen der Schrauben des größeren Hauptfragments stimuliert die Heilung (DUELAND et al., 1999; BASINGER u. SUBER, 2004; HORSTMAN et al., 2004; JOHNSTON et al., 2012). Die statische Verriegelung führt auch ohne nachträgliche Dynamisierung bei 98 % der Frakturen zu einer guten Heilung (THORESEN et al., 1985; BRUMBACK et al., 1988b; WISS et al., 1990; BUCHOLZ u. JONES, 1991; BRUMBACK, 1996; DUHAUTOIS, 2003). Daher wird diese nur noch bei Delayed-Unions empfohlen (BRUMBACK et al., 1988b; WISS et al., 1990; BUCHOLZ u. JONES, 1991; BRUMBACK, 1996; DUELAND et al., 1999; DUHAUTOIS, 2003).

Bei der Auswahl der Implantate sollte immer der größtmögliche Nageldurchmesser, gemessen an der Markhöhlenweite an der engsten Stelle, gewählt werden, da es sonst zu Nagelbrüchen kommen kann (DUELAND et al., 1999; MCLAUGHLIN, 1999; WHEELER et al., 2004b; ROE, 2005). Ziel ist eine Markhöhlenfüllung von bis zu 70 - 90 % an der engsten Stelle (PIERMATTEI et al., 2006; JOHNSTON et al., 2012). Hierdurch wird die Belastung der Nagel-Knochen-Kontaktfläche und der Schrauben-Knochen-Kontaktfläche minimiert (SUBER et al., 2002) und durch die Interaktion von Nagel und Kortikalis das Spiel zwischen Schraube und Nagel eingeschränkt (TING et al., 2009).

Die notwendige Schraubenanzahl pro Fragment ist in der Literatur nicht eindeutig beschrieben. Bei Verwendung von 2 anstatt 1 Schraube pro Fragment besteht eine signifikant höhere Torsionsstabilität (DUELAND et al., 1996) und Rotationsfehler und Mal-Union werden verhindert,

insbesondere bei metaphysären Frakturen (BRUMBACK, 1996). Daher sollten, wenn Lokalisation und Art der Fraktur es erlauben, vor allem distal 2 Schrauben gesetzt werden (MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003; WHEELER et al., 2004b; REEMS et al., 2006). Andererseits reicht laut DURALL et al. (1994) für die meisten Frakturen auch 1 Schraube aus. DUELAND et al. (1999) waren bei 39 % der versorgten Hunde hiermit erfolgreich. 53 % dieser Patienten hatten eine *Humerus*fraktur, die häufig distal auftritt. Auch bei der Katze wurden am *Femur* keine Komplikationen durch 1 Schraube festgestellt (SCOTTI et al., 2007).

### 2.5.3 Indikation

Der Einsatz von Verriegelungsnägeln ist auf die langen Röhrenknochen beschränkt, die einen entsprechenden Zugang ohne Gelenkschädigung ermöglichen. Dies sind *Femur*, *Tibia*, *Humerus* (BRUMBACK, 1996; ROE, 2005) und eingeschränkt die *Ulna* (GATINEAU u. PLANTÉ, 2010). Zudem muss proximal und distal der Fraktur genügend Platz vorhanden sein, um Schrauben einzubringen (KEMPF et al., 1985; SCOTT, 2005).

In der Humanmedizin ist der VN die Methode der Wahl für die Versorgung von *Femur*- (WINQUIST, 1993; BUHL et al., 2000; BLATTERT et al., 2004; BONG et al., 2007) und *Tibia*-schaffrakturen (GUGALA et al., 2001; BONG et al., 2007). Am *Humerus* konnte er sich nicht gegen die konservative Therapie durchsetzen (BRUMBACK, 1996). Durch Kombinationen mit anderen Implantaten, Spezialnägeln, das Abkneifen der Nagelspitze oder retrogrades Einbringen können auch per- und subtrocantäre, intra- oder suprakondyläre und *Femur*halsfrakturen versorgt werden (BUCHHOLZ u. JONES, 1991; TORNETTA III u. TIBURZI, 1994; BUHL et al., 2000; WEISE u. SCHWAB, 2001; FRIEMERT et al., 2002; NORK et al., 2005). Es existieren Berichte über den Einsatz bei Pseudarthrosen, Knochenrekonstruktionen, Prothesen der Hüfte, Arthrodesen, Korrekturosteotomien und Verlängerungsosteotomien mit Segmentverschiebung (GÖTZ et al., 1977; KEMPF et al., 1986; CLAUDI u. OEDEKOVEN, 1991). Der VN kann mit sehr niedrigen Infektionsraten bei offenen Frakturen, sogar des Typs III, eingesetzt werden (BRUMBACK et al., 1989; KALTENECKER et al., 1990; WHITTLE et al., 1992; KEATING et al., 1997; GAEBLER et al., 2001). Im Vergleich zum Fix ex zeigt er wesentlich geringere Reoperationsraten bei offenen *Tibia*frakturen (BHANDARI et al., 2000).

In der Veterinärmedizin werden hauptsächlich diaphysäre (DURALL u. DIAZ, 1996; DUELAND et al., 1999; LARIN et al., 2001; HORSTMAN u. BEALE, 2002; MOSES et al., 2002) und metaphysäre Frakturen mit VN versorgt (WHEELER et al., 2004b; SCOTTI et al., 2007). Er kann für Splitter-, Quer-, kurze Schräg- und Spiralfrakturen des 2. - 5. Sechstels von

*Humerus*, *Femur* und *Tibia* (HAUSCHILD und FEHR, 1999), Reversorgungen nach Non-Union (ENDO et al., 1998; DUELAND et al., 1999; HORSTMAN u. BEALE, 2002), Einfügen kortikaler Allografts (MUIR u. JOHNSON, 1995) und Korrekturosteotomien eingesetzt werden (HAY u. JOHNSON, 1995; WITTE u. SCOTT, 2011). Auch in der Veterinärmedizin erwies er sich bei offenen Frakturen oder Osteomyelitis als adäquate Versorgungsmethode (MUIR u. JOHNSON, 1996; HORSTMAN u. BEALE, 2002; DUHAUTOIS, 2003; SCOTTI et al., 2007; GATINEAU u. PLANTÉ, 2010). Bei Jungtieren muss darauf geachtet werden, dass die Verriegelungsschrauben nicht durch die Wachstumsfugen oder in die Epiphyse gesetzt werden, da es zu einer Kompression der Fuge und damit frühzeitigem Fugenschluss kommen kann (TOMLINSON, 2005).

#### 2.5.4 Aufbohren der Markhöhle

Zum Einbringen eines möglichst großen Marknagels mit maximalem Nagel-Kortikalis-Kontakt wird in der Humanmedizin häufig die Markhöhle durch sukzessiv größere Fräsen aufgebohrt (CONTZEN, 1987; HEIM et al., 1993). Der beim Einbringen eines Nagels auftretende Durchblutungsausfall von 30 % der Kortikalisdicke erhöht sich beim Aufbohren auf 70 % beim Hund (KLEIN et al., 1990). RHINELANDER (1974) stellte nach ausgiebigem Aufbohren Heilungsverzögerungen im Hundemodell fest. Insbesondere bei offenen *Tibia*frakturen mit starker Weichteilschädigung wird das Aufbohren als kontraindiziert angesehen, da durch zusätzliche Störung der intramedullären Blutversorgung die Non-Union-, Infektions- und Reoperationsrate steigt (WISS u. STETSON, 1995; BRUMBACK, 1996; KRETTEK, 2001a). Zudem besteht die Gefahr der Zersplitterung der Fraktur (WINQUIST et al., 1984), der Ausdünnung und Schwächung der Kortikalis (BONG et al., 2007), der starken Hitzeentwicklung in der Markhöhle (KRETTEK, 2001a) und die Gefahr von Lungenembolien durch den entstehenden Druck (WINQUIST et al., 1984; BRUMBACK, 1996; KEATING et al., 1997; HEIM et al., 1993, KRETTEK, 2001a). Andererseits kommt es bei Verriegelungsnägeln, die nach Aufbohren eingebracht werden, aufgrund des größeren Durchmessers (FINKEMEIER et al., 2000) seltener zu Implantatversagen (BHANDARI et al., 2000), Angulations- und Rotationsfehlern (FREEDMAN u. JOHNSON, 1995) sowie Nagelverbiegungen durch die Markhöhle (HÖNTZSCH u. WELLER, 1991). Einige Studien berichten in der Humanmedizin bei *Tibia*frakturen von signifikant geringeren Heilungszeiten, weniger Reoperationen (COURT-BROWN et al., 1996; FINKEMEIER et al., 2000) und signifikant weniger Schraubenbrüchen (KEATING et al., 1997).

In der Tiermedizin wird meist auf das Aufbohren verzichtet (DUELAND et al., 1999; DUHAUTOIS, 2003; DÉJARDIN et al., 2006; PIERMATTEI et al., 2006), da die Kortikalis beim Tier wesentlich dünner ist (MUIR et al., 1993; PIERMATTEI et al., 2006). Eine Ausnahme stellt ein nur geringes Aufbohren dar, um in eine enge Markhöhle einen Nagel einzubringen (DUELAND et al., 1999; DUHAUTOIS, 2003). Die *Tibia* der Katze z. B. hat in ihrem sehr engen Isthmus eine besonders dicke Kompakta, so dass hier ein Aufbohren ohne zu starke Ausdünnung möglich ist (INGENDAAY, 2009). Beim Hund ist ein Aufbohren der Markhöhle durch die S-Form des Knochens häufig nicht zu umgehen (WHEELER et al., 2004b), ist aber durch die dünne Kortikalis riskanter (MUIR et al., 1993).

### 2.5.5 Nagelmodelle in der Veterinärmedizin

Es werden in der Veterinärmedizin meist gerade, drehrunde, solide Nägel mit einer Trokarspitze verwendet (ENDO et al., 1998; DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; LARIN et al., 2001; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003; HORSTMAN et al., 2004; WHEELER et al., 2004a; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; BEHREND, 2007; SCOTTI et al., 2007). Die geschlitzten Hohnnägel der Humanmedizin haben sich aufgrund zu geringer Stabilität nicht bewährt (BÖHM et al., 1995; DUELAND et al., 1996).

Als Material für Verriegelungsnägel wird meist 136L orthopädischer Stahl oder eine andere Edelstahlsorte verwendet (MUIR et al., 1993; DURALL et al., 1994; DUELAND et al., 1996; DURALL u. DIAZ, 1996; ENDO et al., 1998; LARIN et al., 2001; DURALL et al. 2003; DURALL et al., 2004). Alternativ ist die Verwendung von Titanimplantaten möglich. Titan zeigt ein ähnliches Elastizitätsverhalten wie kortikaler Knochen (RADASCH, 1999; BONG et al., 2007; SCOTTI et al., 2007) und ist flexibler als Stahl ohne gleichzeitigen Stabilitätsverlust (BRUMBACK, 1996; PERREN et al., 2005). Es zeigt eine höhere Ermüdungsresistenz (KRETTEK 2001a; BRUNNBERG et al., 2005, PERREN et al., 2005), einen guten Korrosionswiderstand und eine sehr gute Biokompatibilität (BRUNNBERG et al., 2005; PERREN et al., 2005; PIERMATTEI et al., 2006). Durch die Resistenz gegenüber Infektionen eignet sich Titan besonders bei offenen Frakturen (KRETTEK, 2001a; PERREN et al., 2005).

Für mittelgroße bis große Hunde sind 6 und 8 mm Nageldurchmesser mit 2,7 oder 3,5 mm Schrauben oder Bolzen am geläufigsten (MCLAUGHLIN, 1999; DUHAUTOIS, 2003; WHEELER et al., 2004a; ROE, 2005; JOHNSTON et al., 2012). Für kleine Hunde und Katzen sind 4,7 mm, 4 mm und 3,5 mm Nägel und zugehörige 2,0 mm Schrauben auf dem Markt (MCLAUGHLIN, 1999; LARIN et al., 2001; CHANDLER u. BEALE, 2002; DUHAUTOIS,

2003; SCOTTI et al., 2007, JOHNSTON et al., 2012). Die meisten Modelle weisen 4 Verriegelungslöcher auf (2 proximal und 2 distal) (DUELAND et al., 1999; MCLAUGHLIN, 1999; LORINSON et al., 2000; LARIN et al., 2001; MOSES et al., 2002; DURALL et al., 2003; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; BEHREND, 2007; SCOTTI et al., 2007). Es existieren aber auch Versionen mit multiplen (DURALL et al., 1993; MUIR et al., 1993; DURALL et al., 1994; DURALL u. DIAZ, 1996; ENDO et al., 1998; DUELAND et al., 1999; DURALL et al., 2003; DURALL et al., 2004; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005) oder nur 3 Löchern (MCLAUGHLIN, 1999; LARIN et al., 2001; CHANDLER u. BEALE, 2002; DUHAUTOIS, 2003; SCOTTI et al., 2007). Beim Tier wird meist die statische Verriegelung durchgeführt (DURALL et al., 1994; DURALL u. DIAZ, 1996; LARIN et al., 2001; DUHAUTOIS, 2003; SCOTTI et al., 2007), da eine postoperative Ruhighaltung für den Besitzer häufig nicht durchführbar ist (LARIN et al., 2001; REEMS et al., 2006).

Neue winkelstabile Systeme sollen durch korrespondierend zu den Nagellöchern konisch zulaufende Bolzen die axiale Bewegung auf 0,2 - 1 mm beschränken, eine bessere Heilung erzielen und Delayed- und Non-Union verhindern (KASPAR et al., 2005; DÉJARDIN et al., 2006; LANSLOWNE et al., 2007; DÉJARDIN et al., 2009).

### *2.5.6 Kombination mit anderen Osteosyntheseverfahren*

Verschiedene Augmentationen des Verriegelungsnagels sind beschrieben. Einzelne Fragmente können mit Kirschner Bohrdrähten bzw. Drahtcerclagen (DURALL u. DIAZ, 1996; DUELAND et al., 1999; MOSES et al., 2002; SUBER et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003; HORSTMAN et al., 2004; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; SCOTTI et al., 2007) aber auch durch Schrauben fixiert werden (DURALL u. DIAZ, 1996; ENDO et al., 1998; MOSES et al., 2002; HORSTMAN et al., 2004). Bei einer unzureichenden Füllung der Markhöhle durch den Nagel kann durch weitere intramedulläre Pins (Stack Pins) (SUBER et al., 2002) oder eine doppelte Marknagelung (BASINGER u. SUBER, 2004) eine Stabilitätssteigerung erreicht werden, ebenso durch einen zusätzlichen Fix ex (MOSES et al., 2002; SUBER et al., 2002). Auch können Verriegelungsbolzen oder -schrauben durch Verlängerung als Pins für einen Fix ex Typ 1 dienen. Dadurch ist eine schrittweise Dynamisierung zur Heilungsförderung möglich (BASINGER u. SUBER, 2003; BASINGER u. SUBER, 2004; DURALL et al., 2004; NANAI u. BASINGER, 2005). Gleiches gilt, wenn der Nagel verlängert und als „Tie-in“-Konstruktion Anwendung findet (BASINGER u. SUBER, 2003; BASINGER u. SUBER, 2004). Nachteile jedes Fix ex sind die aufwendige postoperative Nachsorge, die Gefahr von Pininfektionen, Muskelschäden und Pinlockerungen

sowie weitere Narkosen zur (Teil-) Implantatentfernung (BASINGER u. SUBER, 2004; GOETT et al., 2007; KÖNNING et al., 2013).

### 2.5.7 *Heilungsverlauf und Prognose*

Die Heilung erfolgt beim VN sekundär über Kallusbildung (DURALL et al., 1993; MUIR et al., 1993; DURALL u. DIAZ, 1996; ENDO et al., 1998; PIERMATTEI et al., 2006; BONG et al., 2007). Sie wird in der Tiermedizin meist zwischen 4 und 18 Wochen angegeben (MUIR et al., 1993; DURALL et al., 1994; DURALL u. DIAZ, 1996; ENDO et al., 1998; DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003; DURALL et al., 2004; HORSTMAN et al., 2004; DÉJARDIN et al., 2014). Allerdings ist die Genauigkeit der Bestimmung stark von den Kontrollintervallen abhängig (REEMS et al., 2003; HORSTMAN et al., 2004). Im Vergleich wurde für Versorgungen beim ausgewachsenen Tier mit Fix ex eine Heilungszeit von 7 - 12 Wochen (PIERMATTEI et al., 2006; KÖNNING et al., 2013) und mit Plattenosteosynthese von ca. 7 - 17 Wochen angegeben (HUDSON et al., 2009; KÖNNING et al., 2013; POZZI et al., 2013).

Die Verriegelungsnagelung ermöglicht eine frühzeitige Belastung der operierten Gliedmaße und somit frühe Mobilität des Patienten (DURALL et al., 1993; MUIR et al., 1993; ENDO et al., 1998; HAUSCHILD u. FEHR, 1999; LARIN et al., 2001; MOSES et al., 2002; SCOTTI et al., 2007; WITTE u. SCOTT, 2011). Es wurden mit diesem Verfahren bei Hund und Katze 77 - 96 % Heilung ohne behandlungswürdige Komplikationen (DURALL et al., 1994; DURALL u. DIAZ, 1996; DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; LARIN et al., 2001; HORSTMAN u. BEALE, 2002; DUHAUTOIS, 2003; SCOTTI et al., 2007) und ein zu 80 - 97 % gutes bis sehr gutes klinisches Ergebnis nachgewiesen (DURALL u. DIAZ, 1996; DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; LARIN et al., 2001; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003; BASINGER u. SUBER, 2004; SCOTTI et al., 2007). Andere Autoren sprechen von 100 % Heilung und exzellenter Gliedmaßenfunktion (DÍAZ-BERTRANA et al., 2005). Aufgrund des hohen Anteils von schweren Splitterfrakturen in vielen Studien ist dies eine sehr gute Heilungsrate (DUELAND et al., 1999; MOSES et al., 2002; BASINGER u. SUBER, 2004; HORSTMAN et al., 2004). Beim Kleintier wird für Osteosynthesen im Allgemeinen ein gutes bis befriedigendes Ergebnis bzw. eine komplikationslose Heilung bei 76 - 90 % der Patienten erzielt (WENKEL u. KAULFUSS, 2001; BRUNNBERG u. WAIBL, 2002; BEHREND, 2007).

Beim VN ist eine Implantatentfernung nicht notwendig, es sei denn, die Implantate verursachen Probleme (MUIR et al., 1993; DURALL u. DIAZ, 1996; MCLAUGHLIN, 1999; ROE, 2005; DÉJARDIN et al., 2014). Nach einer Studie von DUELAND und Mitarbeitern (1996) zeigt ein intaktes canines *Femur* die gleiche Torsionssteifheit wie ein intaktes *Femur* mit eingebrachtem Verriegelungsnagel und 4 Schrauben. Daraus resultiert, dass bei Belassen des Implantats kein wesentlicher Knochenabbau aufgrund zu großer Stabilität des Konstrukts zu erwarten ist. Auch klinisch sind keine adversen Effekte durch Belassen dieser Implantate nachgewiesen worden (DURALL et al., 1994; ENDO et al., 1998; DUELAND et al., 1999; DUHAUTOIS, 2003).

### 2.5.8 *Komplikationen*

Bei der operativen Versorgung von Frakturen in der Kleintiermedizin kommt es bei 11,8 % der Patienten zu Komplikationen (WENKEL u. KAULFUSS, 2001). Die Komplikationsrate der Verriegelungsnagelung im Speziellen liegt zwischen 4 und 17 % (LORINSON et al., 2000; LARIN et al., 2001; BRUNNBERG et al., 2003). Die Hauptursache für Komplikationen besteht in technischen Fehlern (DUHAUTOIS, 2003; BEHREND, 2007). Daher ist eine eingehende präoperative Planung entscheidend (HAUSCHILD u. FEHR, 1999). Wie für andere orthopädische Eingriffe besteht auch beim VN eine deutliche Lernkurve (KRETTEK et al., 1998a; DUELAND et al., 1999; DUHAUTOIS, 2003). Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Komplikationen der Verriegelungsnagelung beim Kleintier.

#### 2.5.8.1 *Komplikationen intraoperativ*

##### *a) Versetzte Schrauben*

Eine häufige Komplikation während der Verriegelungsnagelung ist das Versetzen der Schrauben in dem Sinne, dass die Schraube nicht durch das im Nagel befindliche Loch, sondern daneben gesetzt wird. Beim Hund wurden versetzte Schrauben bei 0 - 36,8 % der Patienten gefunden (DURALL et al., 1994; ENDO et al., 1998; DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; BASINGER u. SUBER, 2004). Bei 0 - 37,5 % der mit VN behandelten Katzen (ENDO et al., 1998; LORINSON et al., 2000; LARIN et al., 2001; BASINGER u. SUBER, 2004) bzw. bei 0 - 5,26 % der bei Katzen eingesetzten Schrauben wird die Bohrung im Nagel verfehlt (ENDO et al., 1998; BASINGER u. SUBER, 2004; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; SCOTTI et al., 2007).

**Tabelle 1:** Übersicht über die Komplikationen beim VN-Einsatz in klinischen Studien bei Hund und Katze, Angaben in % (n Patientenzahl; k. A. keine Angaben; \* bezogen auf Patientenzahl; \*\* bezogen auf Schraubenanzahl; + gleicher Patient)

Komplikation	ENDO et al. (1998)	LORINSON et al. (2000)	LARIN et al. (2001)	HORSTMAN u. BEALE (2002)	DUHAUTOIS (2003)	DÍAZ-BERTRANA et al. (2005)	SCOTTI et al. (2007)
Patientenzahl Katze	n = 7	n = 8	n = 12 (Femur)	n = 2	n = 43	n = 33	n = 24
Patientenzahl Hund	n = 6	n = 19	n = 0	n = 63	n = 78	n = 0	n = 0
Versetzte Schraube	0	37* (Katze: 37,5*)	k. A.	7,7*	6,6* 4**	5,26**	4,17**
Nagelbruch	0	k. A.	k. A.	3,1	2,7	0	0
Nagelverbiegung	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	3,6	k. A.	k. A.
Schraubenbruch	k. A.	3,7	8,3+	1,5	2,7	k. A.	0
Schraubenverbiegung	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	1,8	k. A.	k. A.
Schraubenlockerung	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	3,03	k. A.
Fraktur distal des Nagels	k. A.	k. A.	8,3	1,5	k. A.	k. A.	k. A.
Delayed-Union	k. A.	k. A.	k. A.	3,1	5,4	k. A.	8,3
Non-Union, Pseudarthrose	0	k. A.	8,3+	1,5	1,8	k. A.	0
Ischiadikusverletzung/-reizung	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	0,9	k. A.	4,17
Weichteilinfektion, Serom etc.	0	k. A.	k. A.	7,7	0,9	k. A.	k. A.
Osteomyelitis	0	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	0
Quadrizepskontraktur	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	0,9	k. A.	k. A.
Weitere	5	7,4	8,3	3	5,4	3,03	4,17

Es sind besonders die vom Verbindungsstück der Zielschiene am weitesten entfernten Schrauben betroffen. Dies sind bei normogradem Einbringen die distalen (DURALL et al., 1994; MCLAUGHLIN, 1999; LORINSON et al., 2000; DUHAUTOIS, 2003; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005) und bei retrogradem Einbringen die proximalen Schrauben (FRIEMERT et al., 2002; SCOTTI et al., 2007). Als mögliche Ursachen kommen plastische Verformung des Nagels durch die Form der Markhöhle (DURALL et al., 1994; KRETTEK et al., 1998b), ein Herunterziehen der Zielschiene durch die Schwerkraft (WHATLING u. NOKES, 2006), das nicht feste Einspannen der Zielvorrichtung (MCLAUGHLIN, 1999; DUHAUTOIS, 2003) oder ein Abrutschen des Bohrers an der konvexen Oberfläche des Knochens in Frage (DURALL et al., 1994; MCLAUGHLIN, 1999).

Der Schraubensitz kann korrigiert (DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; DUHAUTOIS, 2003) oder der Nagel im dynamischen Modus belassen werden (DURALL et al., 1994; LORINSON et al., 2000). Die Schrauben müssen nicht zwingend entfernt werden (HÖNTZSCH u. WELLER, 1991; DURALL et al., 1994; DUELAND et al., 1999) und können sogar die Stabilität des Konstrukts durch das „Einklemmen“ des Nagels erhöhen (DURALL et al., 1994; KRETTEK et al., 1999). In der Humanmedizin wird durch das Setzen sogenannter Pollerschrauben etwas Ähnliches erreicht (KRETTEK et al., 1999; BONO et al., 2001; KRETTEK, 2001b). Findet eine Korrektur des Schraubensitzes statt, kann das Fehlbohrloch im Knochen diesen schwächen und als Sollbruchstelle fungieren (KNUDSEN et al., 1991; HAUSCHILD u. FEHR, 1999). Ist ein Nagel durch versetzte Schrauben nur dynamisch verriegelt und es handelt sich um eine instabile Fraktur, kann es zu Gliedmaßenverkürzungen kommen oder eine erneute Operation notwendig werden (DUHAUTOIS, 2003).

#### *b) Verkipfung der Hauptfragmente*

Insgesamt werden Mal-Unions bei Verriegelungsnagelungen in der Veterinärmedizin selten beobachtet (DÍAZ-BERTRANA et al., 2005). Allerdings kann es bei Frakturen im metaphysären Bereich zur Verkipfung des Fragments und Mal-Alignment kommen (FREEDMAN u. JOHNSON, 1995; BRUMBACK, 1996; BONO et al., 2001). So führt bei distalen *Femur*-frakturen die Weite der Markhöhle, der Zug des *M. gastrocnemius* und die distale Krümmung des *Femurs*, die eine Überreduktion zum Nageleinbringen notwendig macht, zu Recurvatumdeformationen (TORNETTA III u. TIBURZI, 1994; SCOTTI et al., 2007) (s. Abb. 25 A, Kapitel 5.12.2). Wird nur eine Schraube im Hauptfragment gesetzt, wirkt diese als Drehzentrum (BONO et al., 2001). Klinisch wurden beim Tier nach Wissen des Autors noch keine negativen klinischen Auswirkungen dieses Phänomens nachgewiesen. Präventiv können sogenannte

Pollerschrauben vor dem Einbringen des Nagels so gesetzt werden, dass sie den Markraum verkleinern und den Nagel in Kontakt mit der Kortikalis bringen (KRETTEK et al., 1999; BONO et al., 2001).

#### *c) Seltene intraoperative Komplikationen*

Durch Verkanten oder Ablenken des Bohrers kann dieser abbrechen (DUELAND et al., 1999; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003). Das Bruchstück kann ggf. belassen und auf das Besetzen des Schraubenlochs verzichtet werden (MOSES et al., 2002). In einem Fall entstand an dem betroffenen Knochen ein Osteosarkom (DUELAND et al., 1999).

Die Lungenembolie stellt in der Humanmedizin bei der Verriegelungsnagelung eine schwere Komplikation dar. Als Ursache gelten die hohen Drücke, die beim Aufbohren und Einschlagen des Nagels entstehen und zur Abschwemmung von Fett und Knochenpartikeln in die Blutbahn führen (BRUMBACK, 1996; KEATING et al., 1997). In der Veterinärmedizin sind nur Einzelfälle in Kombination mit Thoraxtraumata beschrieben (SCHWARZ et al., 2001).

Auch das in der Humanmedizin bei der Verriegelungsnagelung häufiger vorkommende Kompartmentsyndrom (KEATING et al., 1997; GAEBLER et al., 2001) und die bei der *Femur*-nagelung beschriebenen *Femur*halsfrakturen und *Femur*kopfnekrosen (BRUMBACK, 1996) spielen in der Kleintiermedizin nur in Einzelfällen eine Rolle (HORSTMAN et al., 2004).

Beim Herausdrehen bzw. beim Abbrechen/Abkneifen des Verbindungsstücks des Nagels (s. Abb. 7, Kapitel 2.6) kann es zum Brechen der proximalen Schraube (DÍAZ-BERTRANA et al., 2005) bzw. zum Verbiegen des Nagels im proximalen Schraubenloch kommen (DUHAUTOIS, 2003).

#### *2.5.8.2 Komplikationen postoperativ*

Postoperativ auftretende Komplikationen werden in „major“ und „minor complications“ eingeteilt. „Major complications“ kommen in ca. 9 % der Fälle vor und erfordern eine erneute operative Intervention (DUHAUTOIS, 2003). „Minor complications“ heilen ohne oder mit konservativen Therapiemaßnahmen. Sie konnten bei ca. 14 % der Patienten nachgewiesen werden (DUHAUTOIS, 2003). Bei anderen Osteosyntheseverfahren bei der Katze wird von 7 - 13 % „major“ und 13 % „minor complications“ berichtet. Bei bis zu 5 % der Patienten bestand eine dauerhaft unakzeptable Gliedmaßenfunktion nach Plattenosteosynthese, so dass eine Amputation notwendig war (KÖNNIG et al., 2013).

*a) Nagelbruch/-verbiegung*

Nagelbrüche sind beim Menschen (BUCHHOLZ et al., 1987; GAEBLER et al., 2001; BONG et al., 2007) und beim Hund (3,5 - 12,5 %) beschrieben worden (DUELAND et al., 1999; HAUSCHILD u. FEHR, 1999; HORSTMAN u. BEALE, 2002; DUHAUTOIS, 2003; HORSTMAN et al., 2004) und stellen eine schwere Komplikation dar (DUHAUTOIS, 2003). Sie treten meist im proximalen Schraubenloch des distalen Fragments auf (BUCHHOLZ et al., 1987; WISS et al., 1991; WU u. SHIH, 1992; DUELAND et al., 1997; GAEBLER et al., 2001). Häufige Ursache ist die Wahl eines zu dünnen Nagels (DUELAND et al., 1997; DUELAND et al., 1999; HAUSCHILD u. FEHR, 1999; DUHAUTOIS, 2003) oder Schraubenlöcher liegen im oder zu nahe am Frakturspalt (WISS et al., 1991; DUELAND et al., 1997; DUELAND et al., 1999; HAUSCHILD u. FEHR, 1999; DUHAUTOIS, 2003) und fungieren als Sollbruchstelle (DUELAND et al., 1997). Außerdem prädisponiert das Anbohren des Nagels durch eine ungenaue Zielvorrichtung oder beim Freihandbohren für Brüche, da es zur Schwächung des Nagels in diesem Bereich kommt (BUCHHOLZ et al., 1987; WU u. SHIH, 1992). Selten treten Nagelbrüche durch ein erneutes Trauma auf (DUHAUTOIS, 2003).

Versagt der Nagel vor Abschluss der Heilung, kommt es zum Frakturzusammenbruch oder zur Ausbildung einer Pseudarthrose (HAUSCHILD u. FEHR, 1999). Meist muss der Nagel dann entfernt und eine erneute Frakturversorgung vorgenommen werden (DUHAUTOIS, 2003). Präventiv sollte in der Tiermedizin ein Mindestabstand von 10 - 20 mm zwischen Schraube und Frakturspalt eingehalten (DUELAND et al., 1997; MCLAUGHLIN, 1999; DUHAUTOIS, 2003) und der größtmögliche Nagel gewählt werden (DUELAND et al., 1999; DUHAUTOIS, 2003; TING et al., 2009). Eine Verringerung des Schraubendurchmessers erhöht zwar die Ermüdungsresistenz des Nagels (WU u. SHIH, 1992; DUELAND et al., 1997), schwächt aber gleichzeitig die Schraube (DUELAND et al., 1997; SUBER et al., 2002).

Nagelverbiegungen treten selten auf und haben meist keine klinischen Auswirkungen (DUELAND et al., 1999; DUHAUTOIS, 2003).

*b) Schraubenbruch/-verbiegung/-lockerung:*

Schraubenbrüche sind ein weniger schwerwiegendes Problem als Nagelbrüche (DUELAND et al., 1997; KEATING et al., 1997). Sie kommen in der Tiermedizin in 1,5 - 8,3 % der Fälle vor (DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; LARIN et al., 2001; HORSTMAN u. BEALE, 2002; MOSES et al., 2002) und wurden im Zusammenhang mit Frakturzusammenbruch und Non-Union beschrieben (LORINSON et al., 2000; LARIN et al., 2001; MOSES et al., 2002; DURALL et al., 2003). Meist führen sie aber genauso wie Schraubenverbiegungen nicht zu

Heilungsproblemen (BUHL et al., 2000; GAEBLER et al., 2001; DUHAUTOIS, 2003; HORSTMAN et al., 2004), da sie als spontane Dynamisierung wirken (FINKEMEIER et al., 2000; DURALL et al., 2003). Am häufigsten ist die proximale der distalen Schrauben von Ermüdungsbrüchen betroffen (DUELAND et al., 1997; KRETTEK, 2001b; LIN et al., 2001). Allerdings stellte DUHAUTOIS (2003) bei *Femur*frakturen eine Prädisposition für ein Versagen der Schraube im proximalen Fragment durch hohe Biegebelastung fest. Um ein Implantatversagen zu verhindern, sollten spezielle Schrauben mit größerem Kerndurchmesser (SUBER et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003) oder Bolzen verwendet werden (DUHAUTOIS, 2003; BASINGER u. SUBER, 2004; ROE, 2005; TING et al., 2009). Außerdem sollten zur Lastverteilung möglichst mehrere Schrauben gesetzt werden (KRETTEK, 2001b; MOSES et al., 2002).

Schraubenverbiegungen sind selten beschrieben (SUBER et al., 2002; DURALL et al., 2003) und führen nur in Einzelfällen zu erneuten operativen Maßnahmen (SUBER et al., 2002; DURALL et al., 2003). Das gleiche gilt für Schraubenlockerungen (DURALL et al., 1994; DURALL u. DIAZ, 1996; HORSTMAN et al., 2004; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005).

#### *c) Nagel-/ Schraubenausbruch, Knochenbruch distal des Nagels*

Der Nagelbruch an der distalen, kranialen Nagel-Knochen-Kontaktfläche wurde lediglich von SUBER et al. (2002) bei nicht ausgewachsenen, großwüchsigen Hunden beschrieben. Vermutliche Ursachen waren die dünne Kortikalis, die hohe Körpermasse, der weiche metaphysäre Knochen und die nicht ausreichende Markhöhlenfüllung.

Der Ausbruch von Schrauben aus der Kortex hat einen Frakturzusammenbruch zur Folge und wurde in je 2 Fällen beim Hund beschrieben: HAUSCHILD u. FEHR (1999) gaben als Ursache nicht bemerkte Fissuren bzw. unterschätzte Osteosarkomausdehnung an. Bei MOSES et al. (2002) konnte die dünne Kortikalis des *Humerus* proximal der *Linea musculi tricipitis* der Belastung durch nur eine Schraube nicht Stand halten.

Einzelfälle von Knochenbrüchen distal des Implantats sind als Folge fehlender Ruhighaltung oder nach erneutem Trauma beschrieben (DURALL et al., 1994; LARIN et al., 2001; HORSTMAN u. BEALE, 2002).

#### *d) Non-Union/ Delayed-Union*

Unterschiedliche Definitionen, ab wann eine Frakturheilung als verzögert (Delayed-Union) und ab wann sie als nicht eingetreten (Non-Union) einzustufen ist, machen einen Vergleich der Literaturangaben schwierig. Eine Delayed-Union geht einer Non-Union stets voraus (ROVESTI,

2005a) und wird für den VN ab 3 - 6 Monaten ohne Heilung angegeben (DUELAND et al., 1999; LARIN et al., 2001; DUHAUTOIS, 2003; SCOTTI et al., 2007). Zu einer Delayed-Union führen exzessive interfragmentäre Bewegungen (GOODSHIP u. KENWRIGHT, 1985; CLAES et al., 1998; RADASCH, 1999; PIERMATTEI et al., 2006) und große Knochendefekte (CLAES et al., 1998; PIERMATTEI et al., 2006). Sie tritt beim VN in der Tiermedizin in 3 - 8,3 % der Fälle auf (DUELAND et al., 1999; HORSTMAN u. BEALE, 2002; DUHAUTOIS, 2003; HORSTMAN et al., 2004; SCOTTI et al., 2007). Über die Hälfte der Delayed-Unions heilt ohne weiteren operativen Eingriff bei zusätzlicher Ruhighaltung (DUHAUTOIS, 2003). Die andere Hälfte benötigt eine Dynamisierung (DUELAND et al., 1999; HORSTMAN et al., 2004) oder eine zusätzliche Stabilisierung (DUELAND et al., 1999).

Eine Non-Union liegt je nach Autor ab 3 - 7 Monaten ohne Heilung vor (DURALL u. DIAZ, 1996; DUELAND et al., 1999; LARIN et al., 2001; DUHAUTOIS, 2003; DURALL et al., 2003; NOLTE et al., 2005; SCOTTI et al., 2007). Prädisponierende Faktoren sind Alter, Gewicht, offene und Splitterfrakturen (großer Weichteilschaden) (NOLTE et al., 2005), übermäßige Bewegung, großer Frakturspalt, schlechte Blutversorgung (CLAES et al., 1998; RADASCH, 1999; HENRY; 2007) oder große Knochendefekte (PIERMATTEI et al., 2006). Sie treten in der Veterinärmedizin beim VN mit 0,7 - 8,3 % auf (DURALL u. DIAZ, 1996; DUELAND et al., 1999; HAUSCHILD u. FEHR, 1999; LARIN et al., 2001; HORSTMAN u. BEALE 2002; DUHAUTOIS, 2003), bei der Katze im Speziellen mit 0 - 8,3 % (LARIN et al., 2001; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; SCOTTI et al., 2007). Im Vergleich dazu liegt die Non-Union-Rate aller Frakturversorgungen bei der Katze zwischen 0,85 und 10 % (NOLTE et al., 2005; MCCARTNEY u. MACDONALD, 2006; KÖNNING et al., 2013).

Non-Unions sind assoziiert mit Verriegelungsfehlern (DUHAUTOIS, 2003), Schraubenbrüchen (LARIN et al., 2001; DURALL et al., 2003), Nagelbrüchen (HAUSCHILD u. FEHR, 1999) sowie dem Einsatz von Drahtcerclagen und Kirschner Bohrdrähten als zusätzliche Stabilisation (DURALL u. DIAZ, 1996). Bei der Reoperation erfolgt meist eine Plattenosteosynthese (DUHAUTOIS, 2003), ein Fix ex (DUELAND et al., 1999) ggf. in Kombination mit Einlegen autogener Spongiosa (DUHAUTOIS, 2003). Selten genügt die Entfernung der Drahtcerclagen (DURALL u. DIAZ, 1996).

#### *e) Infektionen, Weichteil- und Nervenirritationen*

Oberflächliche Weichteilinfektionen, Serome und Leckgranulome treten als „minor complications“ beim VN-Einsatz auf (DUELAND et al., 1999; HORSTMAN u. BEALE, 2002; HORSTMAN et al., 2004). Osteomyelitis wurde beim Hund beschrieben und stellt eine seltene

Komplikation dar (MOSES et al., 2002). In der Humanmedizin zeigt der VN im Vergleich zu anderen Versorgungsmethoden, insbesondere bezüglich schwerer offener Frakturen, eine geringe Infektionsrate (GAEBLER et al., 2001).

Lahmheiten aufgrund von Weichteilirritationen durch zu lange Schrauben kommen in der Tiermedizin selten vor. Die Therapie besteht in einer Schraubenentfernung (DURALL u. DIAZ, 1996). Bei herausstehendem Nagelende kann es zu Lahmheiten aufgrund von Granulomen (LORINSON et al., 2000), Ischiadikusreizungen (DUELAND et al., 1999; DUHAUTOIS, 2003) oder Schädigung des Kniegelenks (MUIR et al., 1993) kommen. In diesen Fällen ist die Implantatentfernung oder -kürzung Therapie der Wahl (MUIR et al., 1993; DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; DUHAUTOIS, 2003).

Eine seltene bei retrogradem Nageleinbringen beschriebene Komplikation ist die *Patella*-atrophie. Sie tritt auf, wenn die Nageleintrittsstelle zu weit kranial liegt und Schmerzen bei Bewegung des Knies verursacht (SCOTTI et al., 2007).

#### *f) Windshield-Wiper-Effekt*

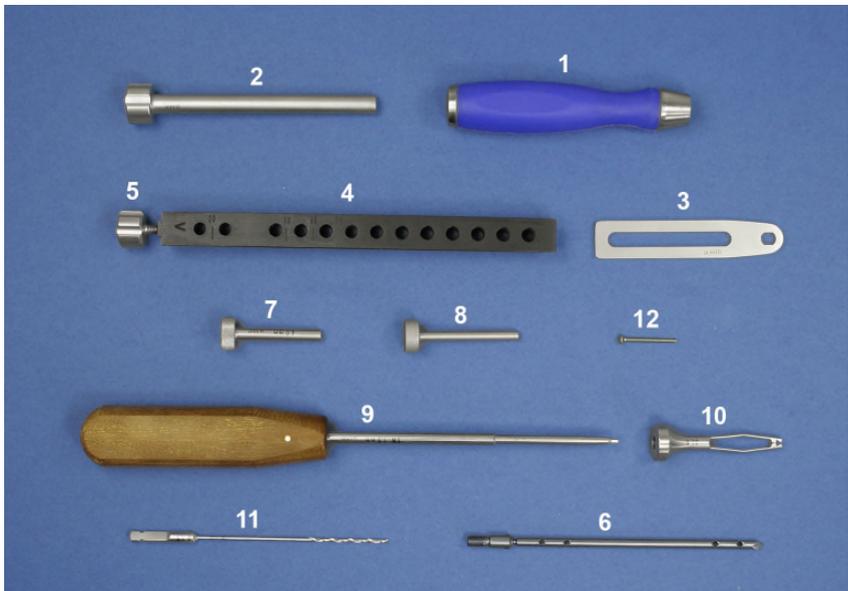
Der Windshield-Wiper-Effekt ist ein aus der Humanmedizin bekanntes Phänomen bei Schrauben, aber auch bei Verriegelungsnägeln (MALETIS u. BASSETT, 1993; EBRAHEIM et al., 2002). Es bildet sich um das distale, selten auch das proximale Ende des Implantats ein ausgehöhlter Bereich, der sich im Röntgen zunächst als über die Nagelspitze hinausragender Aufhellungsbezirk (DURALL et al., 1993; DURALL u. DIAZ, 1996; DURALL et al., 2003; DURALL et al., 2004) und nach Ausheilung als vermehrte Sklerosierung darstellt (DURALL et al., 2003; DURALL et al., 2004). Eine mögliche Ursache ist die hohe mechanische Belastung im Bereich des distalen Nagelendes. Der Effekt tritt selten bei Hund und Katze auf. Klinische Folgen wurden nicht nachgewiesen (DURALL et al., 1993; DURALL u. DIAZ, 1996).

#### *g) Weitere seltene Komplikationen*

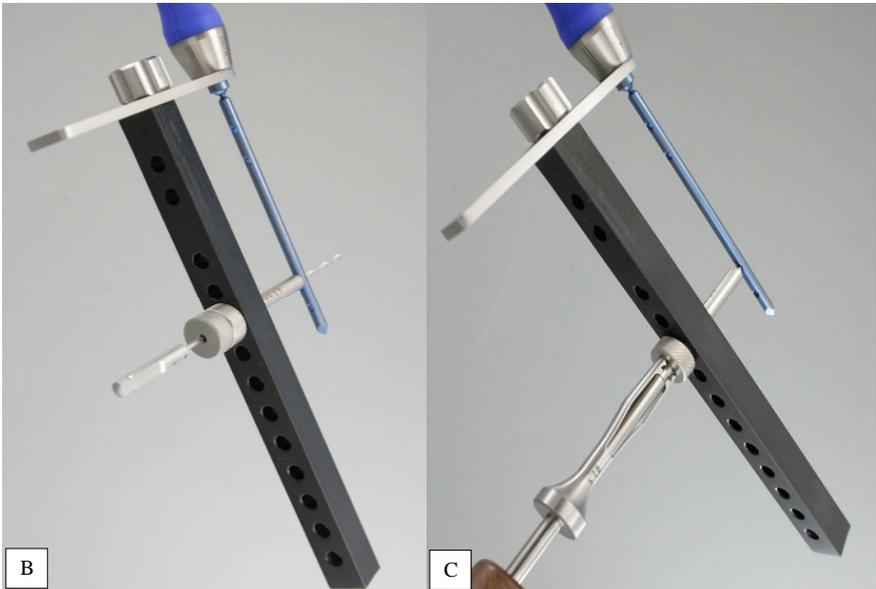
Weitere selten vorkommende Komplikationen beim VN-Einsatz stellen Sequester (DURALL u. DIAZ, 1996) und Einschränkung der Gelenkbeweglichkeit bei zusätzlichem Fix ex dar (DURALL, et al., 2004). 3 Fälle von Quadripelkontrakturen sind beschrieben worden (DUELAND et al., 1999; DUHAUTOIS, 2003). Vorbeugend sollte Physiotherapie durchgeführt werden (DUELAND et al., 1999).

## 2.6 MarMed Verriegelungsnagelsystem

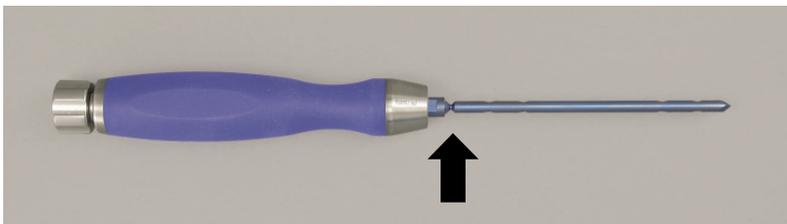
Bei dem in dieser Arbeit zu testenden Verriegelungsnagelsystem handelt es sich um ein von der Firma MarMed GmbH, Cölbe, Deutschland, entwickeltes neues System für Katzen und kleine Hunde. Die Implantate bestehen aus Titan. Die Nägel gibt es mit einem Durchmesser von 3,5 mm und in den Nutzlängen: 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130 und 140 mm, wobei durch das Verbindungsstück mit Gewinde zum Einspannen in den Handgriff weitere 20 mm zu jeder Nagellänge hinzukommen. Die Nägel sind solide und haben einen runden Querschnitt. Das distale Ende bildet eine Trokarspitze mit der Länge 4,2 mm. Die selbstschneidenden Schrauben sind ebenfalls aus Titan und 2,0 mm im Außendurchmesser, korrespondierend zu den vorgegebenen Löchern des Nagels (s. Abb. 5).



**Abb. 5:** Instrumente des Verriegelungsnagelsystems der Firma MarMed: Silikongriff zum Einspannen der Nägel (1), Arretierschraube zum Einspannen der Nägel (2), Verbindungsstück (3), Zielschiene aus PEEK (4), Arretierschraube für Zielschiene (5), Titanverriegelungsnagel 3,5 mm (6), ineinander steckbare Halte- (7) und Bohrhülse (8), Schraubendreher (9) mit Selbsthaltehülse (10), Bohrer (11), Titanschrauben 2,0 mm (12) (mit freundlicher Erlaubnis der Firma MarMed GmbH, Cölbe, Deutschland).



**Abb. 6 A-C:** A: VN der Firma MarMed eingespannt im Silikongriff mit Verbindungsstück und Zielschiene; B: Zusammengesetztes Zielgerät mit eingesetzter Halte- und Bohrhülse zum exakten Bohren der Löcher; C: Zusammengesetztes Zielgerät mit Haltehülse. Die Bohrhülse wurde entfernt und die Schraube kann nun über die Haltehülse eingeschraubt werden (mit freundlicher Erlaubnis der Firma MarMed GmbH, Cölbe, Deutschland).



**Abb. 7:** Sollbruchstelle (Pfeil) des VN. Nach vollständiger Verriegelung wird hier das Verbindungsstück durch Kippen des Handgriffs abgebrochen (mit freundlicher Erlaubnis der Firma MarMed GmbH, Cölbe, Deutschland).

Zwischen Nagel und Handgriff wird das Verbindungsstück der Zielschiene eingespannt (Abb. 6 A). Sie besteht aus strahlendurchlässigem Polyetheretherketon (PEEK), was eine Durchleuchtungskontrolle des Schraubensitzes ohne Demontierung des Zielgeräts ermöglicht. Außerdem beinhaltet das System eine Bohr- und eine Haltehülse, die ineinander gesteckt in die Löcher der Zielschiene eingebracht werden, um ein exaktes Bohren durch beide Kortikales und die im Nagel befindlichen Löcher zu ermöglichen (s. Abb. 6 B). Nach dem Bohren des Lochs wird die Bohrhülse entfernt und durch die Haltehülse eine Schraube in passender Länge eingebracht (s. Abb. 6 C). Das Verbindungsstück wird an der Sollbruchstelle nach Implantation aller Schrauben abgeborchen (s. Abb. 7).

## 2.7 Strahlenbelastung des OP-Personals

Röntgenstrahlen verursachen durch ihre ionisierende Wirkung DNA-Schäden und die Bildung von Radikalen, die zu Zelltod oder Entstehung von Krebszellen führen können (HERSCOVICI u. SANDERS, 2000; BARRETT et al., 2012). Jeder Mensch ist aufgrund der Hintergrundstrahlung durchschnittlich 2 - 3 mSV/a ausgesetzt. Durch den Einsatz von Stahlenquellen (Röntgen, Fluoroskopie, Computertomographie, Szintigraphie etc.) in der Diagnostik und Therapie von Erkrankungen wird diese Dosis für den Patienten und das behandelnde Personal erhöht (BARRETT et al., 2012). Durchschnittlich wird jeder Patient 0,6 mSV/a diagnostischer Strahlung ausgesetzt (SINGER, 2005).

Strahlenschäden können unterschieden werden in deterministische Effekte, die unter allen Umständen Krankheiten hervorrufen und ab 100 mGy einsetzen, und stochastische Effekte, die die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung von Tumoren, Missbildungen und Aborten erhöhen. Hier besteht kein Grenzwert (ICRP, 2007; WRIXON, 2008).

Die Entwicklung der Durchleuchtungstechnik und die Einführung des Bildverstärkers 1955 förderten den klinischen Einsatz des VN (CONTZEN, 1987; LENTZ, 1990). Die Generierung von Röntgenbildern in Echtzeit (PIERMATTEI et al., 2006; BUTLER u. POELSTRA, 2008) erlaubte eine visuell kontrollierte Implantation.

Die Strahlenbelastung bei der Fluoroskopie ist abhängig von der Größe des Patienten (Schichtdicke) (LEVIN et al., 1987; HERSCOVICI u. SANDERS, 2000; BAUMGARTNER et al., 2015). So ist sie bei einer *Femurnagelung* beim Menschen ca. 4fach höher als bei einer *Tibianagelung* (MADAN u. BLAKEWAY, 2002). Weitere Einflussfaktoren sind die Spannung [kV], die Stromstärke [mA] (LEVIN et al., 1987), die OP-Technik, die Erfahrung des Operateurs (MÜLLER et al., 1998; BLATTERT et al., 2004) und die Effektivität des C-Bogens

(Bildverstärker, Helligkeitskontrolle, Memory Funktion, Sensitivität des Detektors, Art der Einstellungen) (LEVIN et al., 1987; HERSCOVICI u. SANDERS, 2000).

### 2.7.1 Humanmedizin

In der Humanmedizin wird die Durchleuchtung routinemäßig bei orthopädischen Eingriffen eingesetzt (HAFEZ et al., 2005). Im Falle der Verriegelungsnagelung werden die Fraktur-reduktion, das Setzen des Nagels und der Schrauben unter Durchleuchtung vorgenommen (LEVIN et al., 1987; MÜLLER et al., 1998; GUGALA et al., 2001; WHEELER et al., 2004a). Die distale Verriegelung stellt hierbei den anspruchsvollsten (KNUDSEN et al., 1991; WINQUIST, 1993; ANASTOPOULOS et al., 2008), zeitaufwendigsten (WINQUIST, 1993; ANASTOPOULOS et al., 2008) und strahlungsintensivsten (KNUDSEN et al., 1991; BLATTERT et al., 2004) Schritt der OP dar. Die innerhalb der letzten 40 Jahre entwickelten Zielgeräte zum Setzen der distalen Schrauben ohne Durchleuchtung haben sich aufgrund ihrer Ungenauigkeit oder starker Verkomplizierung des Operationsverlaufs nicht bewährt (LEVIN et al., 1987; HUDSON, 1989; BUCHOLZ u. JONES, 1991; HASHEMI-NEJAD et al., 1994; BRUMBACK, 1996; KRETTEK et al., 1998b; ANASTOPOULOS et al., 2008; CHU et al., 2009; MOOR et al., 2012). Die Ursache hierfür liegt in einer plastischen Deformation des Nagels durch die Markhöhlenform (HÖNTZSCH u. WELLER, 1991; SCHANDELMAIER et al., 1996; KRETTEK et al., 1997; KRETTEK et al., 1998b; GUGALA et al., 2001). Außerdem kommt es zu Ablenkungen der langen Zielschienen durch die Schwerkraft (BRUMBACK, 1996; WHATLING u. NOKES, 2006) und zu Ablenkungen des Bohrers durch den Weichteilmantel (BRUMBACK, 1996). Aus diesem Grund bevorzugen viele Chirurgen nach wie vor die durchleuchtungsgestützte Freihandtechnik zur distalen Verriegelung, da sie einfach, kostengünstig und mit Übung schnell durchzuführen ist (LEVIN et al., 1987; HUDSON, 1989; BUCHOLZ u. JONES, 1991; HÖNTZSCH u. WELLER, 1991; WINQUIST, 1993; HASHEMI-NEJAD et al., 1994; BRUMBACK, 1996; WHATLING u. NOKES, 2006; ANASTOPOULOS et al., 2008; MOOR et al., 2012). Hierbei wird eine Deckungsgleichheit der Bohrhülse und des zu verriegelnden Lochs hergestellt und so ein Ankönnen, Bohren, Gewindeschneiden und Setzen der Schraube unter wiederholter Durchleuchtungskontrolle durchgeführt (HÖNTZSCH u. WELLER, 1991). Bei einer Implantation des *Femurnagels* vom Knie aus (interkondylär, retrograd) wird entsprechend die proximale Verriegelung mit Freihandtechnik vorgenommen (SCHANDELMAIER et al., 2002). Hier ist aufgrund der Objektdicke eine besonders hohe Strahlenbelastung zu erwarten (FRIEMERT et al., 2002).

Die aus der Freihandtechnik resultierenden hohen Strahlendosen für den Operateur und das gesamte OP-Personal gaben Anlass zu kontroversen Diskussionen (LEVIN et al., 1987; SKJELDAL u. BACKE, 1987; RILEY, 1989; HUDSON, 1989; COETZEE u. VAN DER MERWE, 1992; SANDERS et al., 1993; HASHEMI-NEJAD et al., 1994; KRETTEK et al., 1998a; WEISE u. SCHWAB, 2001; MADAN u. BLAKEWAY, 2002; BLATTERT et al., 2004; BUTLER u. POELSTRA, 2008). Die Hände (BLATTERT et al., 2004), insbesondere die Fingerspitzen der dominanten Hand des Operateurs sind durch die Nähe zum Zentralstrahl hohen Streustrahlenbelastungen ausgesetzt (HAFEZ et al., 2005). Diese beträgt für die Hände 0,29 mSv/min (MEHLMAN u. DIPASQUALE, 1997). Da sich diese Bereiche auch häufig im Zentralstrahl befinden (MÜLLER et al., 1998; HAFEZ et al., 2005; AGARWAL, 2011), kann hier die Belastung bis auf 40 mSv/min steigen (MEHLMAN u. DIPASQUALE, 1997).

Für das restliche OP-Personal besteht die Hauptstrahlenbelastung aus Streustrahlung (AGARWAL, 2011). Auch die Strahlendosen für den Patienten von 40 mSv/min können bei langen und schwierigen Eingriffen enorm sein (SINGER, 2005).

Es existieren viele humanmedizinische Studien über die Durchleuchtungszeit und die Gesamtstrahlenbelastung bei der VN-Operation. Ein Vergleich ist dennoch kaum möglich, da die Daten für verschiedene Knochen (*Femur* oder *Tibia*), mit oder ohne distale Verriegelung, bei Verwendung von Freihandtechnik oder verschiedensten Zielvorrichtungen, als Gesamtdurchleuchtungszeit oder nur für die distale Verriegelung und für verschiedene Körperteile des Operateurs, Assistenten oder Patienten erhoben wurden. So variiert zum Beispiel die Gesamtdurchleuchtungszeit zwischen 17,2 sek und 14,75 min (KEMPF et al., 1985; LEVIN et al., 1987; COETZEE u. VAN DER MERWE, 1992; SANDERS et al., 1993; MÜLLER et al., 1998; GUGALA et al., 2001; WEISE u. SCHWAB, 2001; BLATTERT et al., 2004; HAFEZ et al., 2005; ANASTOPOULOS et al., 2008). Besonders beim unerfahrenen Operateur liegt die Durchleuchtungszeit deutlich höher (LEVIN et al., 1987; COETZEE u. VAN DER MERWE, 1992; MADAN u. BLAKEWAY, 2002; BLATTERT et al., 2004) als bei einem erfahrenen (SANDERS et al., 1993; MADAN u. BLAKEWAY, 2002; BLATTERT et al., 2004). Bei geschlossener Reposition ist eine höhere Strahlenbelastung zu erwarten als bei offener (BLATTERT et al., 2004).

Die Verriegelungsanagelung stellt im Vergleich zu anderen orthopädischen durchleuchtungsgestützten Gliedmaßenoperationen ein höheres Risiko für das OP-Personal dar (BLATTERT et al., 2004; HAFEZ et al., 2005). Bei Plattenosteosynthesen, Versorgungen mit einem Less Invasive Stabilization System (LISS) oder einem Fix ex beträgt die Fluoroskopiezeit durchschnittlich ca. 2 min (SANDERS et al., 1993; SCHANDELMAIER et al., 2002).

### 2.7.2 Veterinärmedizin

Der Einsatz des VN in der Kleintiermedizin wurde lange Zeit durch die limitierte Verfügbarkeit von Durchleuchtungsgeräten eingeschränkt (DURALL et al., 1994; WHEELER et al., 2004a). Mit der Entwicklung besserer Zielsysteme änderte sich dies (WHEELER et al., 2004a). Aufgrund fehlender C-Bögen (BERNARDÉ et al., 2002; WHEELER et al., 2004b) wurde in der Vergangenheit die Reposition meist über einen offenen oder minimal offenen Zugang (ENDO et al., 1998; HAUSCHILD u. FEHR, 1999; PALMER, 1999; BERNARDÉ et al., 2002; HORSTMAN u. BEALE, 2002; BEALE, 2004; WHEELER et al., 2004b; PIERMATTEI et al., 2006) und nur selten geschlossen unter Durchleuchtungskontrolle durchgeführt (HAUSCHILD u. FEHR, 1999; PIERMATTEI et al., 2006). Aufgrund der zunehmenden Entwicklung minimalinvasiver Osteosyntheseverfahren und damit stärkerem Einsatz der Durchleuchtung auch in der Tiermedizin (COOK et al., 1999; LEASURE et al., 2007; HUDSON et al., 2009; BARONCELLI et al., 2012; TOMLINSON, 2012; POZZI et al., 2013) kommt dem Strahlenschutz für das OP-Personal zunehmende Bedeutung zu.

Es existieren nach Wissen des Autors keine Daten über Durchleuchtungszeiten und Strahlenbelastung, die bei einer Verriegelungsnagelung beim Kleintier auftreten. COOK et al. (1999) fanden bei durchleuchtungsgestützter geschlossener Versorgung von lateralen *Condylus humeri* Frakturen Durchleuchtungszeiten von 2 - 16 min.

### 2.7.3 Strahlenschutz

Die International Commission on Radiological Protection (ICRP) empfiehlt eine maximale effektive Dosis für beruflich exponierte Personen von durchschnittlich 20 mSV/a über einen Zeitraum von 5 Jahren mit nicht mehr als 50 mSV in 1 Jahr. Für die Hände liegt der Grenzwert der Äquivalenzdosis bei 500 mSV/a (ICRP, 2007; WRIXON, 2008).

Die Langzeiteffekte von niedrigen Strahlendosen sind weitgehend nicht bekannt (MEHLMAN u. DIPASQUALE, 1997). Die meisten Studien konnten für Personen, die aufgrund ihres Berufs über lange Zeit niedrigen Strahlendosen ausgesetzt sind, kein erhöhtes Tumorrisiko, toxische Effekte oder vermehrte kontinentale Missbildungen nachweisen (ZADEH u. BRIGGS, 1997; HERSCOVICI u. SANDERS, 2000). MASTRANGELO et al. (2005) fanden in einem Krankenhaus eine erhöhte Krebsinzidenz von 29 % für orthopädische Operateure, da Strahlenschutzmaßnahmen nicht oder nur teilweise durchgeführt wurden. CHOU et al. (2010) stellten ein deutlich erhöhtes Gesamtkrebs- und ein fast 3fach erhöhtes Brustkrebsrisiko für weibliche orthopädische Operateure, verglichen mit der US Gesamtpopulation, fest und vermuteten einen

Zusammenhang mit der chronischen Strahlenexposition dieser Berufsgruppe. Die ICRP setzt zum Zweck des Strahlenschutzes einen linearen Zusammenhang zwischen der Dosis und den Strahlenschäden in niedrigen Strahlendosenbereichen voraus und geht von einer Erhöhung des Krebsrisikos und der erblichen Effekte um 5 % pro Sievert aus (ICRP, 2007).

Daher sollte grundsätzlich nach dem sogenannten ALARA-Prinzip („as low as reasonably achievable“) gehandelt werden (MEHLMAN u. DIPASQUALE, 1997; BUSHBERG et al., 2002; SEIBERT, 2008). Zusätzliche Schutzmaßnahmen beinhalten:

- Schutzkleidungspflicht (mindestens Bleischürze und Schilddrüsenschutz) für alle im Raum befindlichen Personen (HERSCOVICI u. SANDERS, 2000; MADAN u. BLAKEWAY, 2002; BLATTERT et al., 2004), zumindest aber für jede Person, die sich in unter 70 cm Abstand zur Strahlenquelle befindet (MEHLMAN u. DIPASQUALE, 1997).
- Beachtung des Abstandsquadratgesetzes: Wenn der Abstand zur Strahlenquelle verdoppelt wird, tritt eine Reduktion der Strahlendosis um das 4fache ein (MEHLMAN u. DIPASQUALE, 1997; BUSHBERG et al., 2002; BUTLER u. POELSTRA, 2008). Bezüglich der Streustrahlung ist das bestrahlte Objekt die Strahlenquelle (BUSHBERG et al., 2002), somit ist ein maximaler Abstand zwischen Röhre und Patienten und zwischen Operateur und Patienten zum Zeitpunkt der Durchleuchtung sicherzustellen (LEVIN et al., 1987; COETZEE u. VAN DER MERWE, 1992; HERSCOVICI u. SANDERS, 2000; BLATTERT et al., 2004). MEHLMAN u. DIPASQUALE (1997) konnten ab einem Abstand von 1,5 m von der Röntgenröhre keine Strahlenbelastung mehr nachweisen.
- Gepulste statt kontinuierliche Durchleuchtung (MÜLLER et al., 1998; BLATTERT et al., 2004).
- Nutzung der Bildspeicherfunktion (KEMPF et al., 1985; LEVIN et al., 1987; COETZEE u. VAN DER MERWE, 1992; BLATTERT et al., 2004).
- Position der Röntgenröhre so, dass von unten nach oben bzw. von medial nach lateral durchleuchtet wird. Hierdurch ist ein Großteil der Streustrahlung vom Operateur weg gerichtet (HERSCOVICI u. SANDERS, 2000).
- Regelmäßige Wartung und Kalibrierung des C-Bogens (RILEY, 1989; HERSCOVICI u. SANDERS, 2000; BLATTERT et al., 2004).
- Schulung des Personals, Betreuung unerfahrener Operateure durch erfahrene für eine einwandfreie Operationstechnik (BLATTERT et al., 2004).
- Verwendung eines Mini-C-Arms (BUTLER u. POELSTRA, 2008).
- Verwendung neuer Dosimetersysteme zur Echtzeitmessung der Strahlenbelastung (BAUMGARTNER et al., 2015).



### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Ziel der Untersuchung**

Diese Studie besteht aus einem prospektiven und einem retrospektiven Teil. Das Ziel des prospektiven Teils ist die Beurteilung von Anwendbarkeit, Operationszeiten, Strahlenbelastung für das OP-Personal, Heilungsverlauf sowie intra- und postoperativen Komplikationen beim Einsatz des MarMed Verriegelungsnagelsystems bei der Katze. Im retrospektiven Teil soll anhand von Knochenmessungen analysiert werden, ob mehr Patienten mit VN versorgt werden können, die distal und/oder proximal nur mit 1 Schraube verriegelt werden, und welche Indikationserweiterung durch einen geringeren Schrauben-Fraktur-Abstand erzielt wird. Zudem werden die benötigten Nagellängen bestimmt.

#### **3.2 Prospektive Untersuchung**

##### *3.2.1 Patientengut*

In die Studie einbezogen werden 25 Katzen, die im Klinikum der Veterinärmedizin, Klinik für Kleintiere, Chirurgie, der Justus-Liebig-Universität Gießen bzw. in der Tierarztpraxis Dr. Ludger Birke und Dr. Ursula Michele in Marburg mit einer Fraktur von *Humerus*, *Femur* oder *Tibia* im Zeitraum von Januar 2011 bis Juni 2013 vorgestellt werden. Die Versorgung erfolgt mit dem Verriegelungsnagel der Firma MarMed.

##### *3.2.2 Präoperativ zu erhebende Daten*

Als patientenbezogene Daten werden Alter [Mo], Geschlecht, Körpermasse [kg] und Rasse erhoben. Bezüglich der Anamnese sind Art und Zeitpunkt des Traumas sowie ggf. vorangegangene Frakturversorgungsmethode und vorliegende Grunderkrankungen zu dokumentieren.

In der klinischen Evaluation sind das Allgemeinbefinden, der oder die gebrochene(n) Knochen und die Belastung der betroffenen Gliedmaße im Stand festzustellen. Zudem wird der Lahmheitsgrad auf einer Skala von I - IV bestimmt (Grad I: angedeutete Lahmheit; Grad II: deutliche Lahmheit; Grad III: Auftippen der Gliedmaße ohne Gewichtsübertragung; Grad IV: vollständiges Anheben der Gliedmaße) (BRUNNBERG et al., 2014). Die Schmerzhaftigkeit bei Manipulation (geringgradig: Abwehrbewegungen bei maximaler Streckung bzw. Beugung der Gelenke oder bei starkem Druck auf den Frakturbereich; mittelgradig: Abwehrbewegungen bei jeglicher Manipulation der Gliedmaße; hochgradig: Schreien, Schlagen, Beißversuche des Patienten bei

jeglicher Manipulation) und spürbare Krepitation als Hinweis auf eine knöcherne Zusammenhangstrennung werden erfasst. Die Schwellung im Frakturbereich wird subjektiv durch Vergleich mit der Gegenseite beurteilt (geringgradig: Umfang vermehrt um < 25 %; mittelgradig: Umfang vermehrt um 25 - 50 %; hochgradig: Umfang vermehrt um > 50 %). Korrespondierend erfolgt die subjektive Einteilung der Muskelatrophie (geringgradig: Volumenabnahme < 25 %; mittelgradig: Volumenabnahme 25 - 50 %; hochgradig: Volumenabnahme > 50 %). Liegt eine offene Fraktur vor, wird deren Grad (s. Kapitel 2.2.3) festgehalten. Außerdem werden Lokalisation und Art weiterer Verletzungen des Patienten dokumentiert. Zu diesem Zweck werden Thorax- und Abdomen-Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen und ggf. weitere Diagnostik vorgenommen, falls das Einverständnis der Besitzer hierzu vorliegt.

Durch Röntgenaufnahmen (Obertischröntgengerät Saphir, Firma Varian, Palo Alto, CA, USA; digitale Detektorplatten IP CASSETTE Typ C Pb bzw. CC Pb, Firma Fuji, Düsseldorf, Deutschland; Auslesegerät PCR Eleva Cosimax, Firma Philips, Hamburg, Deutschland) in 2 Ebenen in Narkose vor der OP wird der Frakturtyp anhand des modifizierten Winkvist-Hansen-Schemas bestimmt. An den Röntgenaufnahmen der korrespondierenden gesunden Gliedmaße wird nach Kalibrierung des easyIMAGE Messinstruments (VetZ GmbH, Isernhagen, Deutschland) anhand des mitabgebildeten Röntgenlineals die Nutzlänge der Markhöhle bestimmt (s. Abb. 27 B Grüne Linie, Anhang 9.3). Die Nagellänge wird so gewählt, dass der Nagel in der Metaphyse liegt, ohne die Gelenkfläche zu perforieren (LARIN et al., 2001; DUHAUTOIS, 2003; WHEELER et al., 2004b; PIERMATTEI et al., 2006). Die Markhöhlenweite wird entsprechend am schmalsten noch intakten Punkt des frakturierten Knochens gemessen (s. Abb. 8 A-C und Abb. 27 A und C Blaue Linie, Anhang 9.3). Die Bestimmung der Schraubenlänge erfolgt im kranio-kaudalen Röntgenbild.

Eine Versorgung mittels VN erfolgt nur, wenn die engste noch intakte Stelle der Markhöhle 3,5 mm oder mindestens 2,5 mm Weite im Bereich ausreichend dicker Kortikalis aufweist, so dass durch minimales Aufbohren ein Einbringen des 3,5 mm Nagels möglich ist. Ansonsten wird der Patient aus der Studie ausgeschlossen.

### 3.2.3 Durchführung der OP und Nachsorge

Die Patienten der ASA Gruppe 1 und 2 (HENKE et al., 2012) werden mit Medetomidin<sup>1</sup> (0,08 mg/kg KM) und Ketamin<sup>2</sup> (5 mg/kg KM) intramuskulär in Narkose gelegt und intubiert.

---

<sup>1</sup> Dorbene<sup>®</sup>vet 1 mg/ml Injektionslösung für Hunde und Katzen; Pfizer

<sup>2</sup> Ketamin 10 % Injektionslösung für Hunde und Katzen; medistar Arzneimittelvertrieb GmbH



**Abb. 8 A-C:** Präoperative Röntgenaufnahmen der frakturierten und der gesunden Gliedmaße im ventro-dorsalen (A) und im medio-lateralen Strahlengang (B und C) zur Bestimmung der Implantatgröße

Die Erhaltung der Narkose erfolgt bis zum Erreichen des Operationssaals über einen venösen Zugang mittels Diazepam<sup>3</sup> (0,5 mg/kg KM) oder Propofol<sup>4</sup> (2 - 4 mg/kg KM). Patienten der

<sup>3</sup> Diazepam-ratiopharm® 10mg/2ml Injektionslösung; Ratiopharm

<sup>4</sup> Vetofol 10 mg/ml Emulsion zur Injektion für Hunde und Katzen; Norbrook®

ASA Gruppe 3 (HENKE et al., 2012) werden entweder mit Alfaxalon<sup>5</sup> (2 - 3 mg/kg KM) in Narkose gelegt oder erhalten Propofol<sup>4</sup> und Fentanyl<sup>6</sup> (Bolus: 0,006 - 0,012 mg/kg KM; Perfusor: 0,02 - 0,045 mg/kg/h). Zudem erhalten Patienten mit einer Hintergliedmaßenfraktur, die über 1 Jahr alt sind, eine Epiduralanästhesie mit Morphin<sup>7</sup> (0,1 mg/kg KM) und Mepivacain<sup>8</sup> (16 mg/Tier). Zur antibiotischen Abdeckung wird perioperativ Ampicillin<sup>9</sup> (30 mg/kg KM) und Amoxicillin/Clavulansäure<sup>10</sup> (20 mg/kg KM) verabreicht.

Nach Röntgenaufnahmen der gesunden und betroffenen Gliedmaße wird letztere geschoren und routinemäßig chirurgisch vorbereitet. Im Operationsaal erfolgt die Narkoseerhaltung mittels Isofloran<sup>11</sup>. Der Patient wird für den Zugang zum *Femur* und *Humerus* in Seitenlage mit der frakturierten Gliedmaße oben gelagert, wobei die gesunde nach vorne ausgebundener wird, um ein störungsfreies Durchleuchten zu ermöglichen. Für den Zugang zur *Tibia* wird die Katze in Rückenlage verbracht und entsprechend ausgebundener. Nach Desinfektion und aseptischer Abdeckung des Operationsbereichs werden die Frakturrenden über einen möglichst kleinen Zugang freigelegt. Die Reposition erfolgt offen, aber mit der geringstmöglichen Manipulation zur Schonung des Weichteilgewebes, der Blutversorgung und des Frakturhämatoms. Außerdem erfolgt eine Stichinzision am entsprechenden Punkt zum Einbringen des Nagels in die Markhöhle. Am *Femur* ist dies die kranio-laterale *Fossa trochanterica* (PALMER et al., 1988; MCLAUGHLIN, 1999; WHEELER et al., 2004b). Alternativ kann bei distalen *Femur*frakturen das Einbringen retrograd von distal über die *Incisura intercondylaris* erfolgen, so dass die Trokarspitze des Nagels proximal liegt (SCOTTI et al., 2007). An der *Tibia* wird der Nagel von medial parapatellar eingebracht (MUIR et al., 1993; ENDO et al., 1998; DUELAND et al., 1999; HARARI, 2002; WHEELER et al., 2004b). Am *Humerus* dient der latero-kraniale Kamm des *Tuberculum majus* als Eintrittsstelle (HARARI, 2002; LANGLEY-HOBBS u. STRAW, 2005). Hier erfolgt ein Vorbohren mit einem 2,5 mm Bohrer, die Markhöhle wird nach Möglichkeit nicht aufgebohrt. Der in den Handgriff eingespannte Nagel wird unter oszillierenden Bewegungen langsam bis zum Frakturbereich und nach der Frakturreduktion in das distale Fragment vorgeschoben. Auf die korrekte Reposition und Ausrichtung der Gelenke ist zu achten. Der Nagel wird bis zur Sollbruchstelle versenkt. Anschließend wird die Zielschiene eingespannt (*Fe-*

---

<sup>5</sup> Alfaxon® 10 mg/ml Injektionslösung für Hunde und Katzen; Vêtoquinol

<sup>6</sup> Fentadon® 50 µg/ml Injektionslösung für Hunde; albrecht, Eurovet Animal Health

<sup>7</sup> MSI 10 mg Mundipharma® Injektionslösung; Mundipharma

<sup>8</sup> Scandicain 2 % Injektionslösung; Astra Zeneca

<sup>9</sup> Ampicillin-ratiopharm® 2,0 g; Ratiopharm

<sup>10</sup> Synulox® RTU 140/35 mg/ml Injektionssuspension für Rinder, Schweine (Ferkel, Mastschweine), Hunde und Katzen; Pfizer

<sup>11</sup> IsoFlo® 100 % w/w Inhalationsgas, flüssig; Albrecht

*mur* und *Humerus* lateral, *Tibia* kranio-medial des Knochens). Nach Stichinzision der Haut werden Halte- und Bohrhülse ineinandergesteckt und in das entsprechend beschriftete Loch der Zielschiene eingebracht, um anschließend mit einem 1,5 mm Bohrer beide Kortikales zu durchbohren. Die Bohrhülse wird entfernt und die entsprechende selbstschneidende 2,0 mm Schraube durch die Haltehülse eingebracht. Der Vorgang wird für alle Bohrungen wiederholt. Anschließend erfolgt eine Durchleuchtungskontrolle mit einem C-Bogen der Firma Philips (Modell: BV 300 oder BV 25 gold). Sollten Schrauben nicht durch die Löcher des Nagels gesetzt worden sein, werden diese ggf. korrigiert. Nun kann der Nagel an der Sollbruchstelle abgebrochen werden. Je nach Ermessen des Operators werden zusätzliche Implantate (z. B. Fadencerclagen, Fix ex) eingebracht. Anschließend wird der Zugang routinemäßig verschlossen und ein Schutzpflaster angelegt. Ggf. werden noch andere Verletzungen versorgt. Das abschließende Kontrollröntgen des frakturierten Knochens erfolgt in 2 Ebenen.

Während des postoperativen stationären Aufenthalts von mindestens 2 Tagen erfolgen tägliche Wundkontrollen sowie klinische Kontrollen der Lahmheit. Das Tier erhält Amoxicillin/Clavulansäure<sup>12</sup> (20 mg/kg KM) für insgesamt 5 Tage und Meloxicam<sup>13</sup> (0,05 mg/kg KM) für insgesamt 14 Tage postoperativ, ausgenommen Patienten mit Nierenwertveränderungen. Je nach begleitenden Verletzungen werden weitere Medikamente verabreicht. Die Katze wird mit der Empfehlung zur Boxenruhe für 4 Wochen, täglicher Wundkontrolle durch den Besitzer und Tragen eines Halskragens entlassen. Die Fäden sollen 10 Tage nach der OP beim Haustierarzt entfernt werden. Springen, Spielen und Toben sind verboten. Zeigt die 4-Wochen-Kontrolle eine beginnende Knochenheilung, dürfen hiernach die Tiere frei in der Wohnung laufen. Eine Vollbelastung einschließlich Freigang wird ab einer fortgeschrittenen Heilung in der 8-Wochen-Kontrolle erlaubt.

### 3.2.4 *Intraoperativ zu erhebende Daten*

Während der Operation werden die Dauer der gesamten OP (erster Hautschnitt bis zum letzten Hautheft), der Verriegelungsnageloperation, der Nagel- und Schraubenimplantation, die Methode und Dauer weiterer frakturstabilisierender Maßnahmen (Polydioxanon<sup>14</sup>(PDS)-Fadencerclagen, Fix ex) und der Versorgung weiterer Verletzungen dokumentiert. Zudem werden die Implantatlängen sowie Komplikationen beim Implantieren protokolliert. Anschließende Korrek-

---

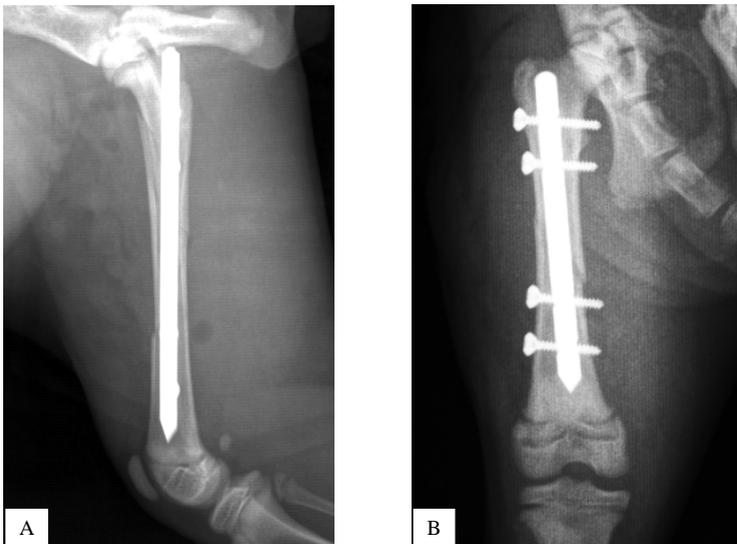
<sup>12</sup> Synulox® Tabletten für Hunde und Katzen zum Eingeben; Pfizer

<sup>13</sup> Metacam® 0,5 mg/ml Suspension zum Eingeben für Katzen; Boehringer Ingelheim

<sup>14</sup> PDS® II, Polydioxanon violett monofil, steriles synthetisches resorbierbares Nahtmaterial; Ethicon®

turmaßnahmen sowie die hierfür angewandte Technik werden detailliert erfasst. Durchleuchtungshäufigkeit und -zeit sowie verwendete Spannung [kV] und Stromstärke [mA] werden dokumentiert.

Die postoperativen Röntgenbilder werden von 2 Beurteilern, einem Resident des European College of Veterinary Diagnostic Imaging (ECVDI) und der Autorin (Doktorandin) unabhängig voneinander beurteilt. Erfasst werden postoperative Knochenlänge (gleiche Messpunkte wie präoperativ), Achse, Rotation, Implantatsitz, Implantatbrüche und -verbiegungen und die Frakturheilungsphase (s. Abb. 9 A-B und Röntgenbeurteilungsbogen, Anhang 9.2). Die Füllung der Markhöhle durch den Nagel wird errechnet, indem der Nageldurchmesser durch die durchschnittliche Weite der noch intakten Markhöhle an der engsten Stelle (je 2 Messungen im medio-lateralen und kranio-kaudalen Röntgenbild; s. Abb. 27 A und C Blaue Linie, Anhang 9.3) geteilt wird. Die Angabe erfolgt in % (SUBER et al., 2002; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005).



**Abb. 9 A-B:** Postoperative Röntgenaufnahmen zur Kontrolle der Reposition und des Implantatsitzes im medio-lateralen (A) und kranio-kaudalen (B) Strahlengang

### 3.2.5 Postoperativ zu erhebende Daten

Während des stationären Aufenthalts werden täglich klinische Kontrollen durchgeführt. Das Allgemeinbefinden wird als unauffällig, geringgradig, mittelgradig oder hochgradig gestört eingestuft. An der Naht werden Vorhandensein sowie Ausprägungsgrad von Schwellungen und

Qualität der Exsudation festgehalten. Die Belastung der operierten Gliedmaße im Stand sowie der Lahmheitsgrad auf einer Skala von I - IV werden registriert. Die Gliedmaße wird manipuliert und die Schmerzhaftigkeit nach dem bereits beschriebenen Schema beurteilt.

Die klinische Beurteilung des Patienten von der Entlassung bis zur ersten Kontrolluntersuchung nach 4 Wochen erfolgt wöchentlich anhand eines Fragebogens durch den Besitzer (s. Beurteilungsbogen für Besitzer, Anhang 9.2). Dieser wird gebeten zu beurteilen, ob seine Katze die Gliedmaße im Stand belastet, welche Art von Lahmheit sie zeigt und in welchem Grad das Bein noch schmerzt.

Bei den 4 und 8 Wochen p. op. stattfindenden Kontrollen in der Klinik werden die Zufriedenheit der Besitzer, das Allgemeinbefinden des Patienten und die aktuelle Belastung des Patienten (Boxenruhe, Freilauf in der Wohnung, Freigang etc.) erfragt. In der klinischen Kontrolle werden Allgemeinbefinden, Belastung im Stand, Lahmheitsgrad, Schmerzhaftigkeit, Muskelatrophie, Bewegungsradius der angrenzenden Gelenke sowie sonstige Auffälligkeiten beurteilt. Anschließend erfolgt eine Röntgenkontrolle der betroffenen Gliedmaße in 2 Ebenen (s. Abb. 10 A-D) und deren Auswertung durch die beiden Beurteiler nach einem vorher festgelegten Schema (s. Röntgenbeurteilungsbogen, Anhang 9.2). Erfasst werden die Länge des operierten Knochens (gleiche Messpunkte wie präoperativ), Achse, Rotation, Implantatsitz (Schraubenlänge, nicht mit dem Knochen abschließender Nagel, versetzte Schrauben etc.), Anzahl und Ausmaß von Implantatlockerungen, Implantatbrüche und -verbiegungen, Veränderung der Knochenstruktur oder -dichte im Vergleich zu den Voraufnahmen, die Frakturheilungsphase (s. Kapitel 2.3.3.2) und ob die Heilung eingetreten ist. Die Fraktur wird als geheilt eingestuft, wenn auf mindestens 3 Seiten der Fraktur Brückenkallus sichtbar ist. Komplikationen sowie therapeutische Maßnahmen zu deren Behebung werden dokumentiert.

Eine Telefonbefragung der Besitzer findet frühestens 6 Monate nach der Operation statt. Neben dem Allgemeinbefinden, Laufbild und Einschränkungen in den täglichen Aktivitäten werden weitere operative Eingriffe und Implantatentfernungen des mit VN versorgten Beines sowie Besitzerzufriedenheit und Bereitschaft, dieser Operationsmethode erneut zuzustimmen, erfragt (s. Telefonfragebogen, Anhang 9.2).

Zu den Kontrolluntersuchungen und der Telefonbefragung wird das Gesamtergebnis in Anlehnung an DUHAUTOIS (2003) als „exzellent“ bewertet, wenn keine Lahmheit oder Schmerzhaftigkeit und ein voller Bewegungsradius der angrenzenden Gelenke vorliegt, als „gut“ bei einer geringgradigen, intermittierenden Ganganomalie, als „ausreichend“ bei einer deutlichen, immer vorhandenen Lahmheit und als „schlecht“ bei einer Lahmheit Grad 4.



**Abb. 10 A-D:** Kontroll-Röntgenaufnahmen 4 Wochen (A und B) und 8 Wochen (C und D) nach der Verriegelungsnagelimplantation jeweils im medio-lateralen und ventro-dorsalen Strahlengang (Pfeile: Einschnürungen im Kallus durch Fadencerclagen)

### 3.2.6 Statistische Auswertung des prospektiven Teils

Die Datenauswertung erfolgt auf den Computern des lokalen Rechnernetzwerks (LAN) der Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen. Hierbei kommen die Statistikprogramme BMDP/Dynamic, Release 8.1 (DIXON, 1993), StatXact, Vers. 9.0.0 (CYTEL STUDIO; 2010) und BiAS, Vers. 9.08 (ACKERMANN, 2010) zum Einsatz. Die graphischen Darstellungen werden mit dem Programm Microsoft Excel des Microsoft Officepakets 2013 erstellt. Die Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Biomathematik unter Leitung von Herrn Dr. Failing bzw. die Autorin dieser Arbeit unter Anleitung der Arbeitsgruppe führen die Berechnungen bzw. Auswertungen durch. Im Einzelnen werden folgende statistische Methoden angewendet:

#### a) Datenbeschreibung

- Programm BMDP1D: Beschreibung quantitativer, annähernd normalverteilter Merkmale (z. B. Körpermasse, Operationszeiten, Durchleuchtungsanzahl und -zeit) mittels arithmetischem Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum und Stichprobenumfang. Bei nicht normalverteilten Merkmalen erfolgt die Beschreibung durch die Angabe der Quartile und des Medians.
- Beschreibung zweistufiger (z. B. Multitrauma, retrogrades Nageleinbringen, Aufbohren der Markhöhle) und ordinaler (semiquantitativer) Merkmale (z. B. Lahmheit, Schraubenanzahl) mittels absoluter und relativer Häufigkeiten (Patientenanzahl (n) und Anteil am Gesamtstichprobenumfang in %).

#### b) Einflussgrößen auf OP-Zeiten, Durchleuchtung, klinisches Ergebnis und Röntgenscores

- Zur statistischen Auswertung der Beurteilung der Röntgenbilder werden den Beurteilungskriterien Achse, Rotation, Implantatsitz, -lockerung, -brüche/-verbiegungen und Knochenstruktur/-dichte Gewichtungsfaktoren je nach Schwere der Veränderung zugeordnet (s. Tabelle 2) und diese zu Röntgenscores zusammengefasst.

**Tabelle 2:** Zuordnung der Gewichtungsfaktoren zu den Röntgenbefunden, um einen Röntgenscore für die statistische Auswertung zu erstellen

Beurteilungskriterium	Gewichtungsfaktor
Knochenstruktur/-dichte	0
Achsenabweichung, Rotation, Implantatsitz, -lockerung	1
Implantatverbiegung, Schraubenbruch	2
Nagelbruch	4

- Programm BMDP3D: Wilcoxon-Mann-Whitney-Test zur Prüfung des Einflusses zweistufiger Merkmale (versetzte Schrauben) auf metrische Messergebnisse (Operationszeit und Gesamtdurchleuchtungszeit).
- Programm StatXact: Exakter Wilcoxon-Mann-Whitney-Test zur Prüfung des Einflusses zweistufiger Merkmale (z. B. Geschlecht, Multitrauma, versetzte Schrauben) auf ordinale Messergebnisse mit hohem Anteil an Rangbindungen (z. B. Lahmheit, klinisches Gesamtergebnis, Röntgenscores).
- Programm BMDP3D: Rangkorrelation nach Spearman zur Prüfung des Zusammenhangs zwischen metrischen Merkmalen (z. B. Körpermasse, Zeit vom Trauma bis zur Operation, Markhöhlenfüllung) und ordinal-skalierten Bewertungen (z. B. Lahmheit, klinisches Gesamtergebnis, Röntgenscores).
- Programm StatXact: Exakte Rangkorrelation nach Spearman zur Beschreibung und Prüfung des Zusammenhangs zwischen ordinalen Merkmalen (z. B. Geschlecht, Frakturtyp nach Winquist-Hansen-Schema, Schraubenanzahl) und ordinal-skalierten Bewertungen (z. B. Lahmheit, klinisches Gesamtergebnis, Röntgenscores).

c) Suche nach potentiellen Einflussgrößen auf den Heilungszeitpunkt

- Zur Beurteilung des Heilungszeitpunkts unter Berücksichtigung der letzten vollständigen Kontrolluntersuchung wird eine Zensierung nach dem in Tabelle 3 dargestellten Schema für jeden Beurteiler vorgenommen. Hierfür wird der so genannte Zensierungsstatus als neue Variable definiert. Dessen Wert 1 bedeutet, dass bei der letzten Kontrolluntersuchung die Heilung festgestellt werden konnte. Der Wert 0 sagt aus, dass bei dieser Untersuchung die Heilung noch nicht eingetreten war, jedoch kein späteres Untersuchungsergebnis zur Verfügung steht. Da insofern die Information über den Zeitrahmen des Heilungserfolgs unvollständig ist, spricht man von „zensierten Daten“.

**Tabelle 3:** Zensierungsschema zur Berücksichtigung der letzten vollständigen Kontrolluntersuchung bei der Beurteilung des Heilungszeitpunkts

Beobachtungsdauer	Zensierungsstatus	Interpretation
*	*	Keine Kontrolluntersuchungen
4	1	Zur 4-Wo-Kontrolle geheilt
4	0	Zur 4-Wo-Kontrolle nicht geheilt, keine 8-Wo-Kontrolle
8	1	Zur 8-Wo-Kontrolle geheilt
8	0	Zur 8-Wo-Kontrolle nicht geheilt

- Programm BMDP2L: Cox-Regression zur Bestimmung des Einflusses metrischer Merkmale (z. B. Alter, Körpermasse, Schraubenanzahl) auf den Heilungszeitpunkt jeweils für Beurteiler 1 und 2.
- Programm StatXact: Exakter Log-Ranktest zur Bestimmung des Einflusses zweistufiger Merkmale (z. B. Geschlecht, Multitrauma, versetzte Schrauben) auf den Heilungszeitpunkt bei zensierten Daten jeweils für Beurteiler 1 und 2.
- Programme BMDP1L und BiAS: Kaplan-Meier-Schätzer zur Schätzung des Anteils der Geheilten am Gesamtstichprobenumfang unter Einbeziehung der nicht zu den Kontrollen vorgestellten Patienten (zensierte Daten).

*d) Vergleich der Beurteiler (Inter- und Intraobserververgleich)*

- Programm BMDP8V: Dreifaktorielle Varianzanalyse nach dem hierarchischen Modell mit den Einflussfaktoren: a) Beurteiler ( $n = 2$ ); b) Wiederholung ( $n = 2$ ); c) Tier ( $n = 24$ ) zur Schätzung der Streuung zwischen den Beurteilern und den Wiederholungen innerhalb des Beurteilers bei metrischen, näherungsweise normalverteilten Merkmalen.
- Programm BMDP3D: t-Test für abhängige Stichproben zum Mittelwertvergleich zwischen den Beurteilern.
- Programm BMP6D: Korrelations- bzw. Regressionsanalyse zur Gegenüberstellung der Mittelwerte der Wiederholungen zwischen Beurteiler 1 und 2 unter Angabe des Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) und der Regressionsgeraden.
- Programme BMDP4F und StatXact: Erstellung von Häufigkeitstabellen und deren Beurteilung mittels exaktem Fischer-Test sowie Berechnung des Kappa-Koeffizienten zur Bestimmung, ob und welcher Zusammenhang zwischen den Beurteilern bezüglich der zweistufigen Röntgenergebnisse (z. B. Knochenachse, -struktur, Rotation) besteht.
- Programme BMDP4F und StatXact: Bildung von Kreuztabellen mit nachfolgender Berechnung und Prüfung der exakten Rangkorrelation nach Spearman zur Bewertung des Zusammenhangs zwischen den Ergebnissen von Beurteiler 1 und 2 bezüglich ordinaler Variablen (z. B. Implantatsitz, Implantatverbiegung, Heilungsphase).

Die Beurteilung der Werte der Kappa-Koeffizienten erfolgt in Anlehnung an die Literatur wie in Tabelle 4 dargestellt (GROUVEN et al., 2007). Die Bewertung des Rangkorrelationskoeffizienten wird in gleicher Weise durchgeführt.

**Tabelle 4:** Beurteilungsschema für den Kappa-Koeffizienten (GROUVEN et al., 2007)

Kappa-Koeffizient	Stärke der Übereinstimmung
$\leq 0,20$	schwach
0,21 - 0,40	leicht
0,41 - 0,60	mittel
0,61 - 0,80	gut
0,81 - 1,00	sehr gut

Für die gesamte vorliegende Arbeit wird für jede einzelne untersuchte Fragestellung ein Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  festgelegt (vergleichsbezogenes Signifikanzniveau). Somit sind alle p-Werte  $\leq 0,05$  als statistisch auffällig zu werten.

### 3.3 Retrospektive Untersuchung

#### 3.3.1 Patientengut

Retrospektiv werden alle präoperativen Röntgenbilder von Katzen ausgewertet, die in der Zeit von Januar 2008 bis Juni 2013 im Klinikum der Veterinärmedizin, Klinik für Kleintiere, Chirurgie, der Justus-Liebig-Universität Gießen mit einer Fraktur von *Humerus*, *Femur* oder *Tibia* eingeliefert wurden. Einschlusskriterien sind:

- Präoperatives medio-laterales Röntgenbild der frakturierten Gliedmaße mit abgebildetem Röntgenlineal oder Seitenzeichen für die Kalibrierung des easyIMAGE Messinstruments.
- Patientenalter  $\geq 4$  Mo, bei fehlender Altersangabe werden die Wachstumsfugen zur Altersschätzung herangezogen.
- Eine  $\geq 2,5$  mm breite Markhöhle an der engsten Stelle, hierfür wird nach Kalibrierung des easyIMAGE Messinstruments am Röntgenlineal oder Seitenzeichen der kürzeste Abstand zwischen beiden noch vollständig erhaltenen Kortikales bestimmt.

Von der Studie ausgeschlossen sind Frakturen, bei denen ein VN-Einsatz grundsätzlich nicht möglich ist. Dies sind z. B. Epi-/Apophysiolyse, *Femurhalsfrakturen*, *Condylus humeri* Frakturen, *Malleolusfrakturen*.

#### 3.3.2 Signalement

Aus den Patientenakten werden folgende Daten entnommen: Alter, Rasse, Geschlecht und Lokalisation der Fraktur.

### 3.3.3 Messungen am Röntgenbild

Die Messungen am Röntgenbild werden ausschließlich auf der medio-lateralen präoperativen Aufnahme durchgeführt, da hier der Abstand zwischen Gliedmaße bzw. Tischoberfläche (Seitenzeichen) und Röntgenplatte annähernd der gleiche ist. Hierdurch ist die korrekte Kalibrierung des easyIMAGE Messinstruments möglich. Vor jeder Messung wird anhand der bekannten Maße des Lineals bzw. des Seitenzeichens die Kalibrierung vorgenommen. Alle Messungen werden zweimal durchgeführt und die Ergebnisse für die Auswertung gemittelt.

#### 3.3.3.1 Messung der gesunden Gegenseite

Bei allen Patienten, für die eine medio-laterale Röntgenaufnahme der gesunden Gegenseite mit Röntgenlineal/Seitenzeichen vorliegt, wird die Nutzlänge der Markhöhle für einen VN bestimmt, indem entsprechend der Referenzlinien (s. Abb. 26 A-C, Anhang 9.3) Eintrittsstelle und Endpunkt eines VN markiert werden. Die Strecke zwischen den Linien, die dem voraussichtlichen Verlauf des Nagels entspricht, wird als Nutzlänge der gesunden Gegenseite dokumentiert (s. Abb. 27 B Grüne Linie, Anhang 9.3).

#### 3.3.3.2 Messung der Markhöhlendurchmesser

Die Messung des Markhöhlendurchmessers erfolgt am medio-lateralen Röntgenbild des frakturierten Knochens. Hierbei wird die kürzeste Verbindung der beiden Kortikales, die trotz der Fraktur noch intakt ist, vermessen (s. Abb. 27 C Blaue Linie, Anhang 9.3).

#### 3.3.3.3 Messung der Fragmentlängen

Im medio-lateralen Röntgenbild wird zunächst am proximalen Hauptfragment die kürzeste Verbindungsstrecke der beiden Kortikales an der proximalsten Frakturstelle markiert (s. Abb. 27 C Schwarze Linien, Anhang 9.3). Anschließend wird der Abstand dieser Linie bis zur Eintrittsstelle eines Verriegelungsnagels (s. Abb. 26 A-C Referenzlinien, Anhang 9.3) in den Knochen gemessen (s. Abb. 27 C Gelbe Linien, Anhang 9.3). Das gleiche Verfahren wird am distalen Hauptfragment durchgeführt. Hier wird bis zum distalsten Punkt gemessen, in den der VN ohne Gefahr der Perforation des Gelenks noch eingebracht werden könnte (s. Abb. 27 C Gelbe Linien, Anhang 9.3).

### 3.3.4 Einsetzbarkeit des Verriegelungsnagels anhand der Fragmentlängen

Folgende Maße des MarMed Verriegelungsnagels sind für die Beurteilung der Einsetzbarkeit des VN bei verschiedenen Fragmentlängen wichtig (s. Abb. 11):

- Abstand der Nagelspitze zur Mitte des distalsten Schraubenlochs: 10 mm
- Abstand der Sollbruchstelle zur Mitte des proximalsten Schraubenlochs: 10 mm
- Abstand der Mitte der beiden proximalen bzw. distalen Schraubenlöcher: 10 mm



**Abb. 11:** Maße des MarMed Verriegelungsnagels (Doppelpfeil entspricht 10 mm)

Um zu beurteilen, wie viele Frakturen insgesamt bzw. wie viele *Humerus-*, *Femur-* und *Tibia-*frakturen im Einzelnen mit 1 oder 2 Schrauben je Fragment bzw. mit einem Abstand von 10 bzw. 5 mm zwischen Fraktur und nächstgelegener Schraube versorgt werden können, wurden die in Tabelle 5 aufgeführten Kategorien gebildet.

**Tabelle 5:** Übersicht über die Kategorien zur Einteilung der Frakturen. Neben dem Schrauben-Fraktur-Abstand ist die Schraubenanzahl entscheidend dafür, wie lang ein Frakturfragment [mm] sein muss, um den entsprechenden Nagel einsetzen zu können.

Kategorie	Schrauben-Fraktur-Abstand [mm]	Proximales Fragment		Distales Fragment	
		Schraubenanzahl	Mindestfragmentlänge [mm]	Schraubenanzahl	Mindestfragmentlänge [mm]
A 2-2	10	2	≥ 30	2	≥ 30
A 2-1	10	2	≥ 30	1	≥ 20
A 1-2	10	1	≥ 20	2	≥ 30
A 1-1	10	1	≥ 20	1	≥ 20
B 2-2	5	2	≥ 25	2	≥ 25
B 2-1	5	2	≥ 25	1	≥ 15
B 1-2	5	1	≥ 15	2	≥ 25
B 1-1	5	1	≥ 15	1	≥ 15

Tabelle 6 zeigt beispielhaft die Auswertung einer Fraktur mit einer proximalen Fragmentlänge von 25 mm und einer distalen Fragmentlänge von 20 mm.

**Tabelle 6:** Auswertung einer Fraktur mit einem proximalen Fragment von 25 mm und einem distalen Fragment von 20 mm

	A 2-2	A 2-1	A 1-2	A 1-1	B 2-2	B 2-1	B 1-2	B 1-1
Frakturversorgung mit VN möglich	nein	nein	nein	ja	nein	ja	nein	ja

### 3.3.5 Statistische Auswertung des retrospektiven Teils

Die Datenauswertung erfolgt auf den Computern des lokalen Rechnernetzwerks (LAN) der Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen. Hierbei kommt das Statistikprogramm BMDP/Dynamic, Release 8.1 (DIXON, 1993) zum Einsatz. Die graphischen Darstellungen werden mit dem Programm Microsoft Excel des Microsoft Officepakets 2013 erstellt. Die Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Biomathematik unter Leitung von Herrn Dr. Failing bzw. die Autorin dieser Arbeit unter Anleitung der Arbeitsgruppe führen die Berechnungen bzw. Auswertungen durch.

Im Einzelnen werden folgende Auswertungen durchgeführt:

#### a) Datenbeschreibung und Datentransformation für weitere Auswertung

- Programm BMDP2D: Beschreibung quantitativer, annähernd normalverteilter Merkmale (Markhöhlennutzlänge, Markhöhlenweite und Länge des proximalen Frakturfragments), aufgeteilt nach Knochen mittels arithmetischem Mittelwert, Standardabweichung, Median, Quartilen, Minimum, Maximum und Stichprobenumfang. Graphische Darstellung dieser Merkmale und der Länge des distalen Frakturfragments mittels Median, Quartil 1 und 3 sowie Maximum und Minimum als Box-and-Whisker-Plots (LORENZ, 1996).
- Beschreibung von Geschlecht, Rasse und frakturiertem Knochen mittels absoluter und relativer Häufigkeiten (Patientenanzahl (n) und Anteil am Gesamtstichprobenumfang [%]).
- Bei rechtsschief verteilten Daten (Länge des distalen Frakturfragments und Alter) Auswertung nach logarithmischer Transformation unter Verwendung des geometrischen Mittelwertes und des Streufaktors.

#### b) Statistische Untersuchung von potentiellen Einflussgrößen auf Nutzlänge der gesunden Gegenseite, Markhöhlendurchmesser und Fragmentlängen

- Programm BMDP7D: Einfaktorielle Varianzanalyse zur Prüfung des Einflusses der Frakturlokalisierung (*Humerus*, *Femur*, *Tibia*) auf metrisch-normalverteilte Messwerte (Nutzlänge der gesunden Gegenseite, Markhöhlendurchmesser, Fragmentlängen); Paar-

weiser Vergleich mittels Tukey-Verfahren bei signifikantem Ergebnis des globalen Vergleichs (SACHS, 2003).

- Programm BMDP7D: Zweifaktorielle Varianzanalyse zur Überprüfung des Einflusses der Frakturlokalisierung (*Humerus, Femur, Tibia*) und des Geschlechts (männlich, weiblich) auf metrisch-normalverteilte Messwerte (Nutzlänge der gesunden Gegenseite, Markhöhlendurchmesser, Fragmentlängen).
- Programm BMDP6D: Korrelations- und Regressionsanalyse zur Beschreibung und Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Alter (logarithmiert) und den Messwerten Markhöhlennutzlänge des gesunden Knochens, Markhöhlenweite und proximale sowie distale (logarithmiert) Fragmentlänge.

c) *Anwendbarkeit des VN mit 1 oder 2 Schrauben pro Fragment und einem Schrauben-Fraktur-Abstand von 5 bzw. 10 mm*

- Programm BMDP4F: Bildung von zweidimensionalen Häufigkeitstabellen zur Beschreibung und Überprüfung der Anwendbarkeit von Verriegelungsnägeln mit 1 bzw. 2 proximalen und/oder distalen Schrauben mit den Abständen 10 mm bzw. 5 mm zwischen Schraube und Frakturspalt.
- Programm BMDP4F: Chi-Quadrat-Test zur Überprüfung eines Zusammenhangs zwischen den Kategorien sowie eines Zusammenhangs zwischen dem frakturierten Knochen (*Humerus, Femur, Tibia*) und der Kategorie.

Für die gesamte vorliegende retrospektive Untersuchung wird für jeden Einzelvergleich ein Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  festgelegt. Somit sind alle p-Werte  $\leq 0,05$  als statistisch auffällig zu werten. Soweit bei der statistischen Methode möglich, wird zusätzlich der p-Wert, der sich in der Berechnung ergibt, numerisch angegeben.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ergebnisse der prospektiven Untersuchung

Im Untersuchungszeitraum (Januar 2011 bis Juni 2013) wurden in unserem Haus 675 Katzen zur stationären bzw. operativen Behandlung vorgestellt. Davon hatten 96 insgesamt 102 Frakturen von *Humerus*, *Femur* oder *Tibia*. Grundsätzlich nicht für einen VN geeignet waren 35 Frakturen (z. B. Epi-, Apophysiolysen, *Femurhals*-, *Condylus humeri*-, *Malleolus*frakturen). Von den übrigen wurden 22 im Rahmen dieser Studie mittels VN der Firma MarMed versorgt. Zusätzlich wurden 3 Tiere aus der Tierarztpraxis Dr. Birke und Dr. Michele, Marburg, in diese Arbeit aufgenommen.

#### 4.1.1 Signalement

Abb. 12 A-C zeigt die Alters-, Rasse- und Geschlechtsverteilung der Patienten.

##### a) Alter und Rasse

Von 22 Patienten war das Alter bekannt. Der Durchschnitt betrug  $55,5 \pm 59,3$  Monate (5 - 203 Monate).

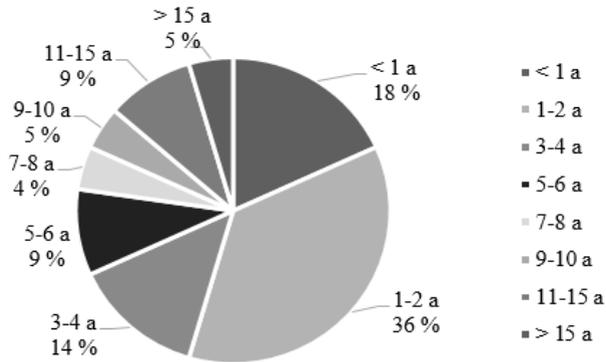
92 % (n = 23) der Patienten waren EKH, die restlichen 8 % (n = 2) Mischlinge. Andere Rassen fanden sich im Patientengut nicht, daher wurde auf eine statistische Auswertung verzichtet.

##### b) Einfluss des Geschlechts auf das klinische Ergebnis

60 % der Patienten waren Kater (n = 15), davon waren 40 % unkastriert (n = 6) und 60 % kastriert (n = 9). Von den 40 % weiblichen Katzen (n = 10) waren 30 % nicht kastriert (n = 3) und 70 % kastriert (n = 7).

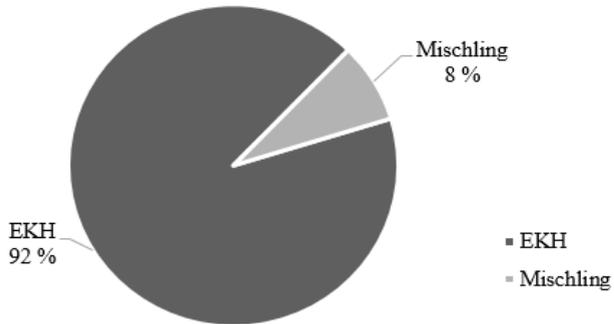
Die statistische Auswertung erfolgte mittels exaktem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test ohne Berücksichtigung des Kastrationsstatus. Untersucht wurde die Auswirkung des Geschlechts auf das klinische Gesamtergebnis 4 Wochen und 8 Wochen postoperativ sowie zur Telefonbefragung. Es konnte zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Einfluss des Geschlechts auf das klinische Ergebnis nachgewiesen werden (s. Tabelle 25, Anhang 9.4).

### Alter



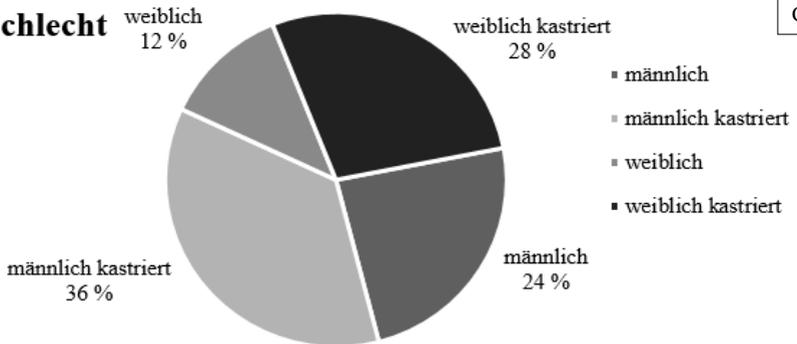
A

### Rasse



B

### Geschlecht



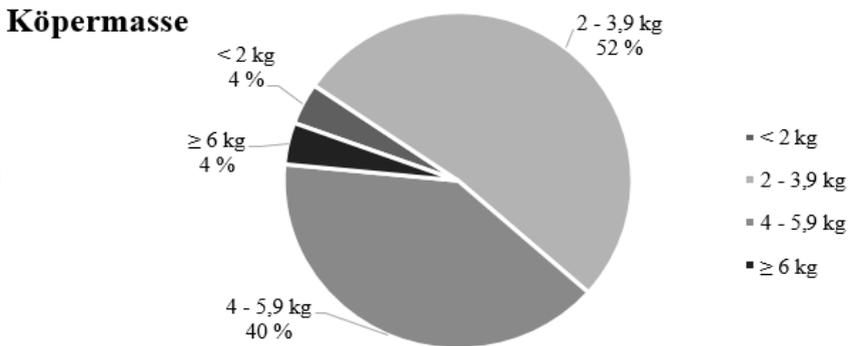
C

Abb. 12 A-C: Darstellung des Signalements der Patienten des prospektiven Studienteils als Kreisdiagramme: A: Alter; B: Rasse; C: Geschlecht

*c) Einfluss der Masse auf den Lahmheitsgrad und das klinische Gesamtergebnis*

Die durchschnittliche Körpermasse der Tiere betrug 3,97 kg (1,9 - 7 kg). Die Patientenverteilung ist in Abb. 13 dargestellt.

Die statistische Auswertung bezüglich der Lahmheit an Tag 1, Tag 2, Woche 4 (Besitzerbeurteilung und Kontrolluntersuchung) und Woche 8 postoperativ sowie des Gesamtergebnisses zur 4- und 8-Wochen-Kontrolle und zur Telefonbefragung erfolgte mittels Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman. Es lag zu keinem Zeitpunkt eine signifikante Korrelation zwischen der Körpermasse und dem Lahmheitsgrad oder dem Gesamtergebnis vor (s. Tabelle 26, Anhang 9.4).



**Abb. 13:** Darstellung der Verteilung der Körpermassen im Patientengut des prospektiven Studienteils

*4.1.2 Präoperativ erhobene Daten*

*4.1.2.1 Frakturursache und Lahmheit bei Einlieferung*

Folgende Verteilung der Verletzungsursache lag im Patientengut vor: 16 % (n = 4) Autounfall, 12 % (n = 3) Bissverletzung, 8 % (n = 2) Fenstersturz, 4 % (n = 1) Schussverletzung, 12 % (n = 3) andere Ursachen, 48 % (n = 12) Ursache unbekannt. Nur 1 Fraktur war mit einem Fix ex voroperiert worden, so dass eine statistische Auswertung diesbezüglich nicht möglich war.

Aufgrund der Fraktur zeigten 80 % der Tiere bei Einlieferung eine Lahmheit Grad 4 und 20 % eine Lahmheit Grad 3 der betroffenen Gliedmaße.

#### 4.1.2.2 Einfluss von Multitrauma und Grunderkrankung auf Lahmheit und Gesamtergebnis

52 % (n = 13) der Patienten hatten ein Multitrauma erlitten. Folgende Organsysteme waren betroffen: Haut- und Unterhaut (30,8 %, n = 4), Bewegungsapparat (23,1 %, n = 3), Atmungsapparat (15,4 %, n = 2), Kopf oder Zähne (15,4 %, n = 2), mehrere Organsysteme (Haut/ Unterhaut und Thorax bzw. Bewegungsapparat, Abdomen und Zähne) (15,4 %, n = 2).

Die Auswirkungen eines Multitraumas auf die Lahmheit an Tag 1 und 2, Woche 4 und 8 sowie auf das klinische Gesamtergebnis 4 und 8 Wochen postoperativ sowie zur Telefonbefragung wurde mittels exaktem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test untersucht.

Ein signifikantes Ergebnis konnte nur für das Gesamtergebnis nach 8 Wochen bezüglich des Multitraumas nachgewiesen werden (p-Wert = 0,038) (s. Tabelle 27, Anhang 9.4). Mit einem Mittelwert von 1,8 für das Gesamtergebnis zu diesem Zeitpunkt zeigten Multitrauma-Patienten zeigten ein schlechteres klinisches Ergebnis als Nicht-Multitrauma-Patienten (Mittelwert: 1,1).

Nur ein Patient litt an einer kardiologisch bedingten Grunderkrankung, so dass eine statistische Auswertung diesbezüglich nicht möglich war.

#### 4.1.2.3 Einfluss der Topographie auf Lahmheitsgrad und klinisches Gesamtergebnis

Insgesamt war bei 80 % (n = 20) der Patienten, die mit VN versorgt wurden, das *Femur* betroffen, 16 % (n = 4) hatten eine Fraktur der *Tibia* und nur 4 % (n = 1) eine des *Humerus*.

Es wurde ein exakter Wilcoxon-Mann-Whitney-Test bezüglich der Lahmheit an Tag 1, 2, Woche 4 (Besitzerbeurteilung und Kontrolluntersuchung) und 8 postoperativ sowie bezüglich des klinischen Gesamtergebnisses in Woche 4, 8 und zum Zeitpunkt der Telefonbefragung durchgeführt. Bei lediglich 1 *Humerus*fraktur erfolgte hier keine statistische Auswertung.

Zu keinem Zeitpunkt konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen *Femur*- und *Tibia*fraktur bezüglich der Lahmheit oder des klinischen Ergebnisses nachgewiesen werden (s. Tabelle 27, Anhang 9.4).

Mit 64 % (n = 16) war die rechte Körperseite häufiger betroffen als die linke (36 %, n = 9).

#### 4.1.2.4 Einfluss des Frakturtyps auf Durchleuchtung, Röntgenbeurteilung und Gesamtergebnis

Im untersuchten Patientengut fanden sich 4 (16 %) Winquist-Hansen Typ 0, 3 (12 %) Typ I, 4 (16 %) Typ II, 7 (28 %) Typ III, 6 (24 %) Typ IV und 1 (4 %) Typ V Fraktur. Somit sind 44 % (n = 11) der Patienten mit einer stabilen, 56 % (n = 14) mit einer instabilen Fraktur vorgestellt worden.

Der Einfluss des Frakturtyps nach Winquist-Hansen-Schema auf folgende Werte wurde mittels exakter Rangkorrelation nach Spearman untersucht: Durchleuchtungsanzahl und -gesamtzeit, Röntgenscore unmittelbar, 4 und 8 Wochen postoperativ jeweils für Beurteiler 1 und 2, klinisches Gesamtergebnis in Woche 4, 8 und nach der Telefonbefragung.

Der Frakturtyp zeigte keinen signifikanten Einfluss auf die Durchleuchtung, die Röntgenbeurteilung oder das klinische Gesamtergebnis (s. Tabelle 28, Anhang 9.4).

#### 4.1.2.5 Einfluss einer offenen Fraktur auf Lahmheit, Röntgenbeurteilung und Gesamtergebnis

84 % (n = 21) der Frakturen waren geschlossen. Es gab 12 % (n = 3) Grad I (2 *Femur*, 1 *Tibia*) und 4 % (n = 1) Grad II (*Tibia*) offene Frakturen.

Mittels exakter Rangkorrelation nach Spearman konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Art der Fraktur (geschlossen, offen Grad I, offen Grad II) und der Lahmheit an Tag 1 und 2 p. op. mit einer mittleren bzw. guten Korrelation nachgewiesen werden. Für die Lahmheit 8 Wochen p. op. und das klinische Gesamtergebnis 8 Wochen p. op. ergab sich ein knapp nicht signifikantes Ergebnis (s. Tabelle 7).

**Tabelle 7:** Ergebnisse und Interpretation der exakten Rangkorrelation nach Spearman für den Zusammenhang zwischen Art der Fraktur und Lahmheit bzw. der Gesamtergebnisse zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (**Fettdruck signifikant**; \* knapp nicht signifikant)

	Beurteiler	p-Wert	r <sub>s</sub>	Interpretation
<b>Lahmheit Tag 1 p. op.</b>		<b>0,0083</b>	<b>0,55</b>	<b>Je höher d. Grad d. offenen Fraktur, desto größer d. Lahmheit 1 d p. op.</b>
<b>Lahmheit Tag 2 p. op.</b>		<b>0,00056</b>	<b>0,68</b>	<b>Je höher d. Grad d. offenen Fraktur, desto größer d. Lahmheit 2 d p. op.</b>
Lahmheit Woche 4 p. op. (Besitzer)		0,96	-0,041	Kein Einfluss nachgewiesen
Lahmheit Woche 4 p. op.		0,46	0,21	Kein Einfluss nachgewiesen
Lahmheit Woche 8 p. op.		0,055*	0,45	Tendenz: Je höher d. Grad d. offenen Fraktur, desto größer d. Lahmheit 8 Wo p. op.
Röntgenscore p. op.	1	0,75	0,056	Kein Einfluss nachgewiesen
	2	0,15	0,27	Kein Einfluss nachgewiesen
Röntgenscore Woche 4 p. op.	1	0,82	-0,061	Kein Einfluss nachgewiesen
	2	0,47	0,26	Kein Einfluss nachgewiesen
Röntgenscore Woche 8 p. op.	1	0,62	-0,16	Kein Einfluss nachgewiesen
	2	0,72	0,14	Kein Einfluss nachgewiesen
Gesamtergebnis Woche 4 p. op.		0,55	0,24	Kein Einfluss nachgewiesen
Gesamtergebnis Woche 8 p. op.		0,074*	0,39	Tendenz: Je höher d. Grad d. offenen Fraktur, desto schlechter d. Gesamtergebnis 8 Wo p. op.
Gesamtergebnis Telefonbefragung		0,26	0,38	Kein Einfluss nachgewiesen

#### 4.1.2.6 Einfluss der Zeit zwischen Trauma und OP auf Lahmheitsgrad und Gesamtergebnis

Die Zeit vom Trauma bis zur Operation betrug durchschnittlich 102,4 Stunden (12 - 336 Stunden). Die statistische Auswertung erfolgte mittels Rangkorrelation nach Spearman. Untersucht wurden die Auswirkungen auf die Lahmheit an Tag 1, 2, Woche 4 (Besitzerbefragung und Kontrolluntersuchung) und 8 postoperativ sowie auf das Gesamtergebnis in Woche 4, 8 und zur Telefonbefragung. Es zeigte sich kein signifikanter Einfluss der Zeit bis zur Operation auf Lahmheit oder klinisches Gesamtergebnis (s. Tabelle 29, Anhang 9.4).

#### 4.1.3 Intraoperativ erhobene Daten

##### 4.1.3.1 Operationszeiten

Folgende durchschnittliche Zeiten wurden gemessen: Operationsgesamtzeit (Hautschnitt bis letztes Hautheft)  $72,7 \pm 23,1$  min (40 - 130 min); reine Frakturversorgung (Operationsgesamtzeit abzüglich der Versorgung weiterer Verletzungen)  $63,2 \pm 17,65$  min (34 - 96 min); Zeit zur Verriegelungsnagelung (reine Frakturversorgungszeit abzüglich der Zeit für weitere frakturstabilisierende Maßnahmen z. B. Fix ex oder Fadencerclagen)  $60,7 \pm 16,75$  min (34 - 93 min); Implantation des Verriegelungsnagels tVN2 (Einbringen des Nagels bis Ende der Durchleuchtungskontrolle)  $33,9 \pm 15,35$  min (17 - 75 min); Einbringen des Marknagels  $8,4 \pm 5,12$  min (1 - 19 min); Einbringen der Schrauben  $13,3 \pm 7,98$  min (3 - 40 min); weitere frakturstabilisierende Maßnahmen (n = 12, 48 %)  $2,9 \pm 3,67$  min (0 - 14 min); operative Versorgung weiterer Verletzungen (n = 6, 24 %)  $8,8 \pm 20,87$  min (0 - 90 min).

##### 4.1.3.2 Verwendete Nagellängen

In Tabelle 8 sind die verwendeten Nagelgesamtlängen, die Nutzlängen, deren Anteil am Patientengut und die Art, wie die Nägel gekürzt wurden, aufgeführt.

##### 4.1.3.3 Retrograd eingebrachte Nägel und Aufbohren der Markhöhle

Bei 2 Tieren (10 %) mit *Femur*fraktur wurde der Nagel retrograd eingebracht.

Ein Aufbohren der Markhöhle erfolgte bei 2 Tieren (8 %) mit *Tibia*fraktur. Dies entspricht 50 % aller Frakturen dieses Knochens. Eine statistische Auswertung war aufgrund der geringen Patientenzahlen nicht möglich.

**Tabelle 8** Verwendete Nagelgesamt- und -nutzlängen [mm], deren Anteil am Patientengut (Patientenzahl und Prozentanteil) und die Art, wie der Nagel gekürzt wurde (\*\* ein Schraubenloch wurde nicht besetzt; \*\*\* Sondernagel mit einem distalen Schraubenloch)

Nagelgesamt-länge [mm]	Nagelnutz-länge [mm]	n (%)	Art des Kürzens
90	70	1 (4 %)	Sollbruchstelle
110	90	2 (8 %)	Sollbruchstelle
110	80	1 (4 %)	Sollbruchstelle u. im distalen Schraubenloch
120	100	6 (24 %)	Sollbruchstelle**
120	90	2 (8 %)	Sollbruchstelle u. bei 1 Patienten im distalen, bei 1 im proximalen Schraubenloch
130	110	8 (32 %)	Sollbruchstelle ***
130	100	2 (8 %)	Sollbruchstelle u. bei 1 Patienten im distalen, bei 1 im proximalen Schraubenloch
130	90	2 (8 %)	Sollbruchstelle u. im proximalen und im distalen Schraubenloch
140	120	1 (4 %)	Sollbruchstelle

#### 4.1.3.4 Versetzte Schrauben

Bei 48 % der Operationen (n = 12) wurde keine Schraube versetzt. Bei 52 % der Patienten (n = 13) kam es zum Verfehlen mindestens eines Schraubenlochs. Bei 12 % (n = 3) war die zum Verbindungsstück nächste und bei 16 % (n = 4) die distalste bzw. vom Verbindungsstück am weitesten entfernte Schraube betroffen. 2 Schrauben gleichzeitig wurden bei 6 Tieren (24 %) versetzt, 4mal die 2 distalsten (16 %) und jeweils 1mal (4 %) die 2 mittleren bzw. die proximale und die 3. von proximal. In 84,6 % der Fälle mit Schraubenversatz (n = 11) wurde/n diese entfernt und eine/mehrere neue korrekt gesetzt. Bei 2 Patienten (15,4 %) wurde die versetzte Schraube belassen und eine zusätzliche korrekt eingebracht.

Da keine Normalverteilung vorlag (in diesem Fall linksschiefe Verteilung), erfolgte die statistische Auswertung mittels Wilcoxon-Mann-Whitney- bzw. exaktem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test.

##### a) Einfluss auf Operationszeit, Durchleuchtungsanzahl und -gesamtzeit

Bei den Patienten ohne Schraubenversatz wurden die Nägel in durchschnittlich 27,8 min (10 - 61 min) implantiert (tVN2), mit Schraubenversatz in 39,6 min (21 - 75 min). Die Gesamtdurchleuchtungszeit in der Gruppe der nicht versetzten Schrauben lag für 11 Patienten vor und betrug durchschnittlich 13,5 sek, im Gegensatz zu 28,6 sek bei Schraubenversatz (n = 10). 1,9 Durchleuchtungen waren durchschnittlich in der Gruppe der nicht versetzten Schrauben notwendig, 3,1 Durchleuchtungen bei versetzten Schrauben.

Der Versatz von Schrauben hatte eine signifikant längere Implantationszeit des VN (p-Wert = 0,024) und eine signifikant höhere Durchleuchtungsanzahl zur Folge (p-Wert = 0,018). Auf die Gesamtdurchleuchtungszeit konnte kein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden (p-Wert = 0,090) (s. Tabelle 9).

**Tabelle 9:** Nagelimplantationszeit [min], Gesamtdurchleuchtungszeit [sek] und Anzahl der Durchleuchtungen für die Gruppen „Schrauben nicht versetzt“ und „Schrauben versetzt“ sowie die p-Werte aus dem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (**Fettdruck signifikant**)

	Arithmetischer Mittelwert für		p-Wert
	Schrauben nicht versetzt	Schrauben versetzt	
<b>Nagelimplantationszeit (tVN2)</b>	<b>27,8 min</b>	<b>39,6 min</b>	<b>0,024</b>
Gesamtdurchleuchtungszeit	13,5 sek	28,6 sek	0,090
<b>Anzahl der Durchleuchtungen</b>	<b>1,9</b>	<b>3,1</b>	<b>0,018</b>

*b) Einfluss auf Röntgenbeurteilung und klinisches Gesamtergebnis*

In Tabelle 10 sind für die Gruppen „versetzte“ und „nicht versetzte“ Schrauben die durchschnittlichen Röntgenscores für Beurteiler 1 und 2 und die klinischen Gesamtergebnisse zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten aufgeführt. Es ergab sich lediglich ein signifikanter Unterschied zwischen dem Röntgen der Gruppe „nicht versetzte Schrauben“ vs. „versetzte Schrauben“ bei Beurteiler 1 zur 8-Wochen-Kontrolle (p-Wert = 0,034). Die Gruppe ohne versetzte Schrauben wies mit durchschnittlich 0,4 einen besseren Röntgenscore auf als die Gruppe mit versetzten Schrauben (1,3).

**Tabelle 10:** Durchschnittliche Röntgenscores für Beurteiler 1 und 2 und klinisches Gesamtergebnis zu den verschiedenen Kontrollzeitpunkten für die Gruppen „nicht versetzte Schrauben“ und „versetzte Schrauben“ sowie p-Werte aus dem exakten Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (\*\* arithmetische Mittelwerte bezogen auf die Anzahl der Patienten, die zur Kontrolle erschienen sind; **Fettdruck signifikant**)

	Beurteiler	Nicht versetzte Schrauben**	Versetzte Schrauben**	p-Wert
Röntgenscore p. op.	1	0,3	1,0	0,10
	2	0,3	0,9	0,12
Röntgenscore Woche 4 p. op.	1	0,5	1,1	0,21
	2	0,5	0,8	0,30
Röntgenscore Woche 8 p. op.	<b>1</b>	<b>0,4</b>	<b>1,3</b>	<b>0,034</b>
	2	0,5	0,8	0,28
Gesamtergebnis Woche 4 p. op.		1,9	2,1	0,69
Gesamtergebnis Woche 8 p. op.		1,4	1,3	1,00
Gesamtergebnis Telefonbefragung		1,1	1,1	1,00

*c) Einfluss auf Frakturheilungszeitpunkt*

Mittels exaktem Logrank Test wurde ermittelt, ob versetzte Schrauben einen Einfluss auf den Heilungszeitpunkt der Frakturen ausüben. Weder für Beurteiler 1 (p-Wert = 0,48) noch Beurteiler 2 (p-Wert = 0,89) konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Heilungszeiten der Gruppen nachgewiesen werden.

*4.1.3.5 Weitere Implantationsprobleme*

Weitere Implantationsprobleme traten bei 5 Patienten (20 %) auf. Bei 2 Katzen kam es trotz Messung am Röntgenbild zur Wahl eines zu langen Implantats, bei 1 Patienten fehlte das passende Implantat im Set. Es wurde je ein kürzerer Nagel eingesetzt. Bei 1 Patienten fand sich eine Fissurlinie im Bereich des 3. Schraubenlochs, die im Röntgen nicht sichtbar war. Das Schraubenloch wurde nicht besetzt. Der 5. Patient wies eine sehr enge *Tibia*-Markhöhle distal auf. Trotz Aufbohrens musste der Nagel gekürzt werden.

*4.1.3.6 Einfluss der Schraubenzahl auf Röntgenbeurteilung und klinisches Gesamtergebnis*

Bei 15 Tieren (60 %) wurde der Nagel mit 4 Schrauben verriegelt, bei 8 Patienten (32 %) mit 3 Schrauben. Es handelte sich um Sondernägel mit 3 Schraubenlöchern oder um Standardnägel, die gekürzt oder bei denen nicht alle Schraubenlöcher besetzt wurden. Bei 2 Tieren (8 %) wurden lediglich 2 Schrauben in einen Nagel gesetzt. Der Einfluss der Schraubenzahl auf die Röntgenscores zu den verschiedenen Zeitpunkten und auf das klinische Gesamtergebnis zur 4- und 8-Wochen-Kontrolle sowie zur Telefonbefragung wurde mittels exakter Rangkorrelation nach Spearman untersucht (s. Tabelle 11).

**Tabelle 11:** Ergebnisse der exakten Rangkorrelation nach Spearman (p-Wert und Rangkorrelationskoeffizient  $r_s$ ) und deren Interpretation bezüglich des Einflusses der Schraubenzahl auf die Röntgenscores für Beurteiler 1 und 2 und die klinischen Gesamtergebnisse zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (**Fettdruck signifikant**)

	Beurteiler	p-Wert	$r_s$	Interpretation
<b>Röntgenscore p. op.</b>	1	<b>0,027</b>	<b>-0,44</b>	<b>Je mehr Schrauben, desto weniger abnorme Röntgenbefunde</b>
	2	<b>0,028</b>	<b>-0,44</b>	
<b>Röntgenscore Woche 4 p. op.</b>	1	<b>0,010</b>	<b>-0,58</b>	<b>Je mehr Schrauben, desto weniger abnorme Röntgenbefunde</b>
	2	<b>0,012</b>	<b>-0,56</b>	
<b>Röntgenscore Woche 8 p. op.</b>	1	<b>0,017</b>	<b>-0,55</b>	<b>Je mehr Schrauben, desto weniger abnorme Röntgenbefunde</b>
	2	<b>0,011</b>	<b>-0,60</b>	
Gesamtergebnis Woche 4 p. op.		0,82	0,068	Kein Einfluss nachgewiesen
Gesamtergebnis Woche 8 p. op.		0,88	0,067	Kein Einfluss nachgewiesen
Gesamtergebnis Telefonbefragung		1,00	-0,052	Kein Einfluss nachgewiesen

Als signifikant erwiesen sich mit einer mittleren Korrelation alle Ergebnisse bezüglich der Röntgenscores. Je mehr Schrauben gesetzt wurden, desto weniger abnorme Röntgenbefunde konnten die Beurteiler detektieren.

#### *4.1.3.7 Einfluss eines zusätzlichen Fix ex auf Röntgenbeurteilung und Gesamtergebnis*

Bei 12 Tieren wurden den VN ergänzende Maßnahmen durchgeführt. 8 Patienten (32 %) erhielten Fadencerclagen, 4 Tiere (16 %) einen zusätzlichen Fix ex Typ I. Statistisch ausgewertet wurde mittels exaktem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test die Auswirkung eines zusätzlichen Fix ex auf die Röntgenscores unmittelbar, 4 und 8 Wochen postoperativ für beide Beurteiler und auf das klinische Gesamtergebnis 4 und 8 Wochen postoperativ sowie zur Telefonbefragung. Es bestand kein signifikanter Unterschied der Röntgenscores oder der klinischen Ergebnisse zwischen Patienten mit und ohne ergänzendem Fix ex (s. Tabelle 30, Anhang 9.4).

#### *4.1.3.8 Durchleuchtung*

Die Positionierung des C-Bogens und das Durchleuchten nahmen durchschnittlich  $5,7 \pm 4,79$  min (1 - 15 min) in Anspruch. Für die Kontrolle des Schraubensitzes waren durchschnittlich  $2,5 \pm 1,42$  Durchleuchtungen nötig (1 - 5 Durchleuchtungen) mit einer reinen Durchleuchtungszeit von  $20,7 \pm 19,70$  sek (2 - 77 sek). Es wurden durchschnittlich  $53,44 \pm 1,99$  kV (49 - 57,25 kV) sowie  $0,72 \pm 0,21$  mA (0,4 - 1,2 mA) benötigt.

### *4.1.4 Postoperativ erhobene Daten*

#### *4.1.4.1 Schwellung und Exsudation der Naht*

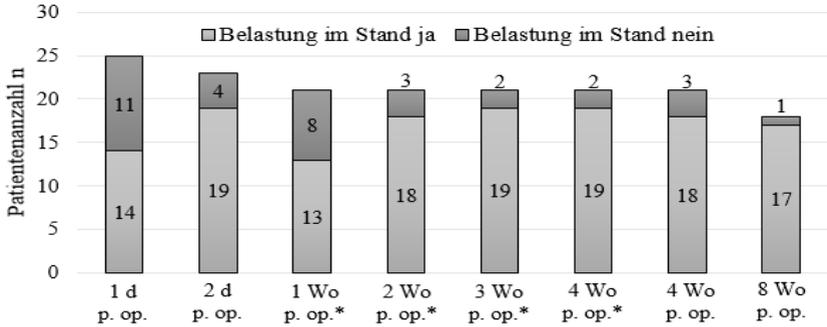
Einen Tag postoperativ zeigten 6 Patienten (24 %) keine, 13 Patienten (52 %) eine geringgradige, 4 Patienten (16 %) eine mittelgradige und 2 Patienten (8 %) eine hochgradige Schwellung der Naht. 2 Tage p. op. hatten 14 (60,9 %) keine, 8 (34,8 %) eine geringgradige, 1 (4,4 %) eine mittelgradige und kein Tier ein hochgradige Schwellung mehr.

Eine blutig-seröse Exsudation aus der Naht war einen Tag postoperativ bei 3 Patienten (12 %), 2 Tage postoperativ lediglich bei 2 Patienten (8,7 %) festzustellen.

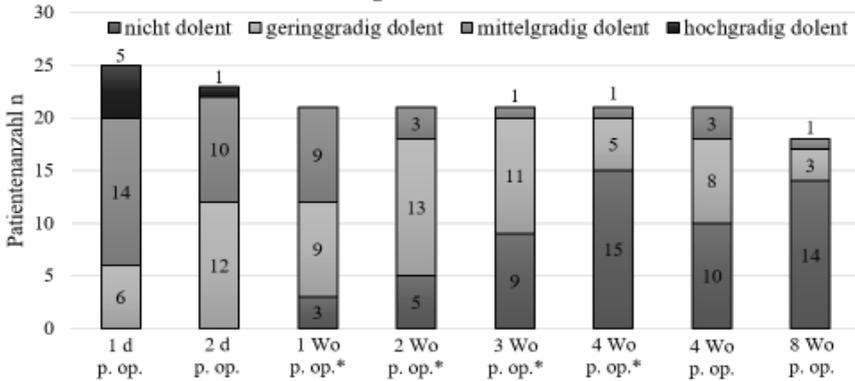
#### *4.1.4.2 Belastung im Stand, Lahmheit und Schmerzhaftigkeit der operierten Gliedmaße*

Abb. 14 A-C zeigen die Entwicklung der Belastung im Stand, der Lahmheit und der Schmerzhaftigkeit über den Untersuchungszeitraum in Balkendiagrammen.

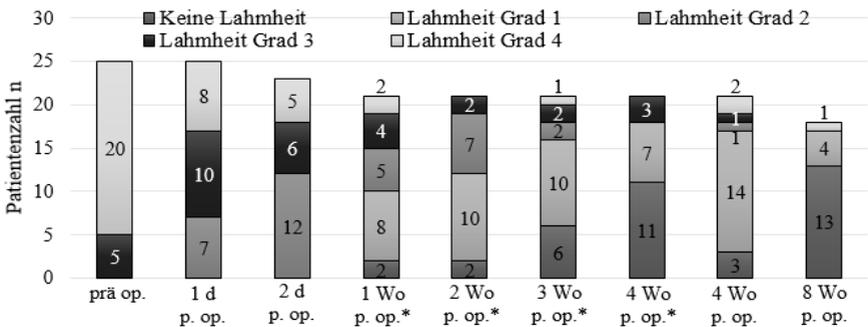
**A Belastung der operierten Gliedmaße im Stand**



**B Dolenz der operierten Gliedmaße**



**C Lahmheit der operierten Gliedmaße**



**Abb. 14 A-C:** Ergebnisse der klinischen Kontrolluntersuchungen bzgl. Belastung im Stand (A), Schmerzhaftigkeit (B) und Lahmheitsgrad (C) der operierten Gliedmaße als Balkendiagramm der Patientenzahl (\* Beurteilung durch den Besitzer)

Zur Kontrolle nach 4 Wochen zeigten lediglich 2 Patienten (11,1 %) keine Belastung der operierten Gliedmaße im Stand und eine Lahmheit Grad 2 bzw. 4. Hierbei handelte es sich zum einen um einen Patienten, der eine *Femurfraktur* und eine ipsilaterale *Luxatio capitis ossis femoris* erlitten hatte. Es kam zu einer Relaxation, die erst 1 Woche nach Auftreten zur Versorgung wieder vorgestellt wurde, und nachfolgend zu einer Kontraktur des *M. biceps femoris*. Es waren 2 weitere Operationen zur Behandlung nötig. Die Frakturheilung selbst verlief unauffällig. Diese Katze zeigte auch zur 8-Wochen-Kontrolle eine Entlastung und Lahmheit Grad 4 des Beins. Die Rehabilitation mit intensiver Physiotherapie nahm 10 Monate in Anspruch. Zum Zeitpunkt der Telefonbefragung (11 Monate p. op.) lag ein zufriedenstellendes klinisches Gesamtergebnis mit selten auftretender Lahmheit vor. Da keine Einschränkung der Aktivitäten der Katze (Springen, Klettern, Freigang) bestand, war die Besitzerin mit dem Ergebnis zufrieden. Der 2. Patient hatte unmittelbar postoperativ Anzeichen einer Ischiasreizung. Zur 4-Wochen-Kontrolle zeigte diese Katze eine aufgehobene Propriozeption und Zehens Schleifen der betroffenen Gliedmaße. Radiologisch schloss der Nagel mit der Knochenoberfläche ab, so dass keine Ursache für die Reizung festgestellt werden konnte. Die empfohlene Physiotherapie wurde nicht durchgeführt. Zur 8-Wochen-Kontrolle war lediglich noch eine Lahmheit Grad 1 nachweisbar. Die Katze zeigte beim langsamen Gehen zeitweise eine Schmerzäußerung. Zur Telefonbefragung (17 Monate p. op.) hatte der Patient keine Funktionseinschränkungen oder Schmerzen mehr. Die Besitzer waren sehr zufrieden, würden aber aus Kostengründen keine solche OP mehr durchführen lassen.

#### 4.1.4.3 Muskelatrophie und Gelenkbeweglichkeit

Tabelle 12 zeigt die Muskelatrophie der operierten Gliedmaße und Einschränkungen des Bewegungsradius der angrenzenden Gelenke zur 4- und 8-Wochen-Kontrolle.

**Tabelle 12:** Ergebnisse der klinischen Kontrollen nach 4 und 8 Wochen bzgl. Muskelatrophie und Einschränkungen der Beweglichkeit der angrenzenden Gelenke (Patientenanzahl n und Prozentanteil)

		4-Wo-Kontrolle		8-Wo-Kontrolle	
		n	%	n	%
Muskelatrophie	Keine	0	0,0	3	16,7
	Geringgradig	13	61,9	8	44,4
	Mittelgradig	4	19,0	6	33,3
	Hochgradig	4	19,0	1	5,6
Einschränkung der Range of Motion	Keine	15	71,4	15	83,3
	Beugehemmung	0	0,0	0	0,0
	Streckhemmung	5	23,8	2	11,1
	Beuge- und Streckhemmung	1	4,8	1	5,6

#### 4.1.4.4 Weitere Komplikationen und Todesfälle

Oberflächliche Weichteilinfektionen traten lediglich bei 2 Patienten mit einem zusätzlichen Fix ex und mangelnder Pinpflge auf. Postoperativ entstanden keine tiefen Weichteilinfektionen oder Osteomyelitiden. Bei einer Katze war der Fixateur hochgradig gelockert. Nach dessen Entfernung kam es zur vollständigen Heilung. Von den 4 Patienten, die mit einer offenen Fraktur vorgestellt wurden, zeigten 3 eine Ausheilung der Wunde nach adäquater Wundversorgung und antibiotischer Abdeckung. Ein Patient wurde bereits mit einer mehrere Tage alten offenen und infizierten Bissfraktur und mehreren Verletzungen von Haut und Unterhaut vorgestellt und verstarb trotz Therapie innerhalb von 2 Tagen an einer Sepsis. Ein Patient mit geschlossener Fraktur wies zudem eine perineale, von Maden befallene Wunde sowie eine Fraktur im Bereich des Rippenknorpels auf. Auch dieser Patient verstarb 2 Tage nach Einlieferung, ohne dass die Todesursache geklärt werden konnte.

Neurologische Ausfälle wurden bei 2 Patienten beobachtet. Neben der bereits beschriebenen Katze mit Reizung des *N. ischiadicus* der operierten Gliedmaße hatte ein weiterer Patient bereits bei Einlieferung eine Paraparese nach Schussfraktur. Die nicht frakturierte Gliedmaße zeigte stärkere neurologische Ausfälle. Zur 4-Wochen-Kontrolle bestand eine Monoparese der kontralateralen Gliedmaße mit Propriozeptionsdefiziten. Mit Physiotherapie war bereits zur 8-Wochen-Kontrolle eine deutliche Besserung zu verzeichnen. Für ein Langzeitergebnis konnten die Besitzer leider nicht telefonisch erreicht werden.

#### 4.1.5 Röntgenbeurteilung

Die Röntgenbeurteilung wurde von 2 verschiedenen Personen durchgeführt und die Ergebnisse sind in Tabelle 31 (Anhang 9.4) für die verschiedenen Kontrolltermine aufgeführt. Ein Implantatbruch konnte bei keinem Patienten festgestellt werden.

##### 4.1.5.1 Implantatverbiegungen

Nagelverbiegungen traten bei 3 der 25 Patienten auf. Es handelte sich ausschließlich um geringgradige Deviationen. Bei 2 Patienten entstanden sie im proximalsten Schraubenloch. Einer der beiden Patienten verstarb 2 Tage postoperativ aufgrund einer Sepsis. Der 2. Patient hatte neben der einzigen *Humerusfraktur* dieser Studie eine alte distale *Scapulafraktur* mit Mal-Union. Der Patient wurde nicht zur 8-Wochen-Kontrolle vorgestellt, zeigte aber laut Besitzer lediglich zeitweise eine Lahmheit zur Telefonbefragung. Bei einem 3. Patienten war der Nagel retrograd eingebracht worden und wies ab der 4. Woche im distalen der proximalen Schraubenlöcher im

Bereich des Kontakts mit der Kortikalis eine geringgradige Deviation auf dem Röntgenbild nach medial auf. Außerdem war die distalste Schraube ab der 8. Woche p. op. verbogen (s. Abb. 25 B, Kapitel 5.12.2). 2 weitere Patienten entwickelten Schraubenverbiegungen. Bei einer Katze war die proximalste Schraube ab der 4. Woche betroffen. Bei einem anderen Patienten die 2 distalsten ab der 8. Woche.

#### 4.1.5.2 Einfluss des Schrauben-Fraktur-Abstands auf Röntgenscore und Gesamtergebnis

Der Einfluss des Abstands der fraktur nächsten Schrauben von der Fraktur auf die Röntgenbeurteilung und das klinische Gesamtergebnis wurde mittels Rangkorrelation nach Spearman beurteilt. Keines der Ergebnisse erwies sich als signifikant, so dass kein Einfluss des Schrauben-Fraktur-Abstands auf die klinischen oder radiologischen Ergebnisse nachgewiesen werden konnte (s. Tabelle 32, Anhang 9.4).

#### 4.1.5.3 Einfluss der Markhöhlenfüllung auf Röntgenscore und Gesamtergebnis

Die durchschnittliche Füllung der Markhöhle betrug 70,1 % (51,9 - 98,7 %).

Der Einfluss der Markhöhlenfüllung auf die Röntgenscores sowie das Gesamtergebnis nach Woche 4 und 8 und zur Telefonbefragung wurde mittels Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman ermittelt (s. Tabelle 13).

Es zeigte sich lediglich eine Signifikanz bezüglich des Röntgenscores in Woche 8 von Beurteiler 1 (p-Wert = 0,049). Mit einem Rangkorrelationskoeffizienten von -0,48 bestand eine mittelstarke Korrelation. Zu diesem Zeitpunkt waren die Abweichungen der Röntgenbefunde umso kleiner, je größer der Nagel im Verhältnis zur Markhöhle war.

**Tabelle 13:** Ergebnisse (p-Wert und Rangkorrelationskoeffizient  $r_s$ ) der Rangkorrelation nach Spearman bezüglich des Einflusses der Markhöhlenfüllung auf die Röntgenscores von Beurteiler 1 und 2 und die klinischen Gesamtergebnisse zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (**Fettdruck signifikant**)

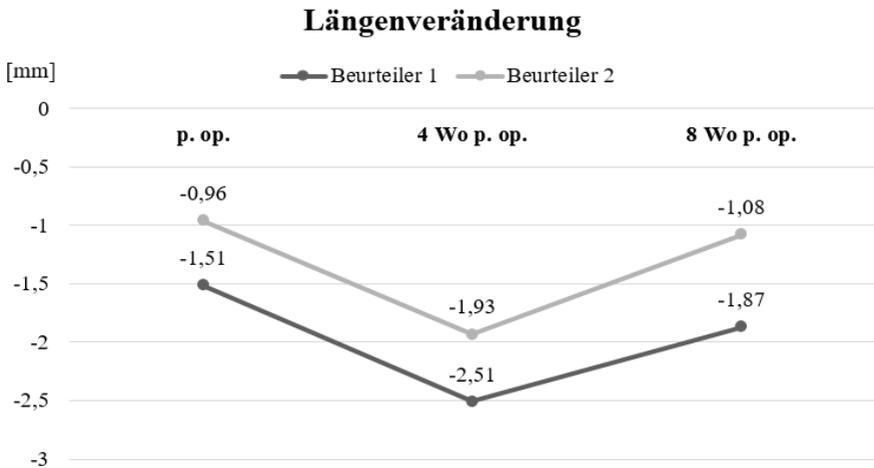
	Beurteiler	p-Wert	$r_s$
Röntgenscore p. op.	1	0,35	-0,20
	2	0,66	-0,098
Röntgenscore Woche 4 p. op.	1	0,29	-0,25
	2	0,49	-0,17
Röntgenscore Woche 8 p. op.	<b>1</b>	<b>0,049</b>	<b>-0,48</b>
	2	0,30	-0,27
Gesamtergebnis Woche 4 p. op.		0,89	-0,031
Gesamtergebnis Woche 8 p. op.		0,65	0,12
Gesamtergebnis Telefonbefragung		0,29	0,30

#### 4.1.5.4 Markhöhlelängenzängen

Die durchschnittliche Nutzlänge des *Femur* für Beurteiler 1 betrug 97,06 mm und für Beurteiler 2 96,56 mm. Ohne Berücksichtigung der 2 im Wachstum befindlichen Tiere war sie 98,92 mm bzw. 98,26 mm. Beurteiler 1 stellte für die *Tibia* eine Durchschnittsnutzlänge von 110,08 mm fest und Beurteiler 2 von 109,74 mm. Für den einzigen *Humerus* ergab sich ein Nutzlängendurchschnitt der gesunden Gegenseite von 88,43 mm bzw. 87,54 mm (Beurteiler 1 bzw. 2).

#### 4.1.5.5 Verlängerung oder Verkürzung des Knochens

In Abb. 15 ist die durchschnittliche Längenveränderung über die Zeit für die Messungen von Beurteiler 1 und 2 graphisch dargestellt. Nicht berücksichtigt wurden Daten der 4- und 8-Wochen-Kontrolle von nicht ausgewachsenen Tieren (n = 2; 5 bzw. 7 Monate alt bei Trauma). Tabelle 33 (Anhang 9.4) zeigt die durchschnittlichen Längenveränderungen für jeden Patienten im Zeitverlauf.



**Abb. 15:** Durchschnittliche Längenveränderung [mm] aller Patienten für die verschiedenen Untersuchungszeitpunkte für Beurteiler 1 und 2

#### a) Einfluss auf Lahmheit und klinisches Gesamtergebnis

In Tabelle 34 (Anhang 9.4) ist die Korrelation zwischen der postoperativen Längenveränderung und Lahmheit bzw. klinischem Gesamtergebnis zu den Kontrollterminen und der Telefonbefragung (Rangkorrelation nach Spearman) abgebildet.

Als signifikant erwies sich lediglich der Einfluss der Längenveränderung bei Beurteiler 2 4 Woche p. op. auf das klinische Gesamtergebnis in Woche 4 (p-Wert = 0,035). Bei stärkerer Verkürzung ergab sich ein schlechteres klinisches Ergebnis, die Abhängigkeit war mittelstark ( $r_s = -0,50$ ). Ein knapp nicht signifikantes Ergebnis zeigte sich für:

- Verkürzung p. op. Beurteiler 1 bzgl. Lahmheit 4 Wochen p. op. (Besitzerbeurteilung) (p-Wert = 0,053)
- Verkürzung p. op. Beurteiler 2 bzgl. Gesamtergebnis 4 Wochen p. op. (p-Wert = 0,064)
- Verkürzung p. op. Beurteiler 1 und 2 bzgl. Gesamtergebnis der Telefonbefragung (p-Wert = 0,058)

Die hieraus abzuleitende Tendenz weist auf ein schlechteres Ergebnis bzw. einen höheren Lahmheitsgrad bei stärkerer Knochenverkürzung hin.

#### 4.1.5.6 Einfluss der Röntgenscores auf Lahmheit und Gesamtergebnis

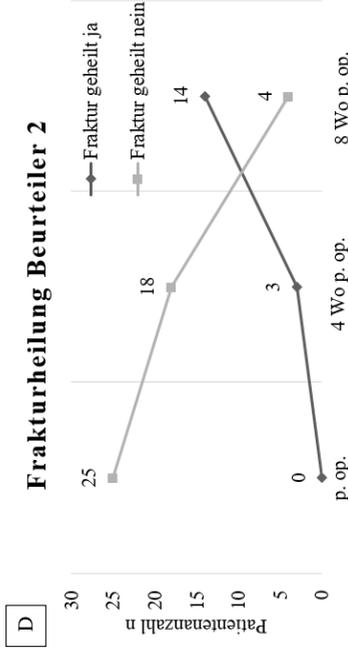
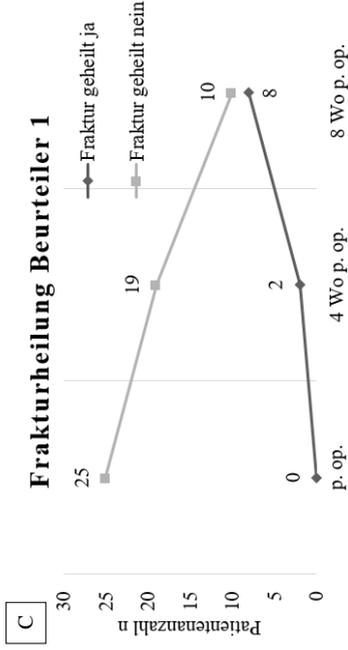
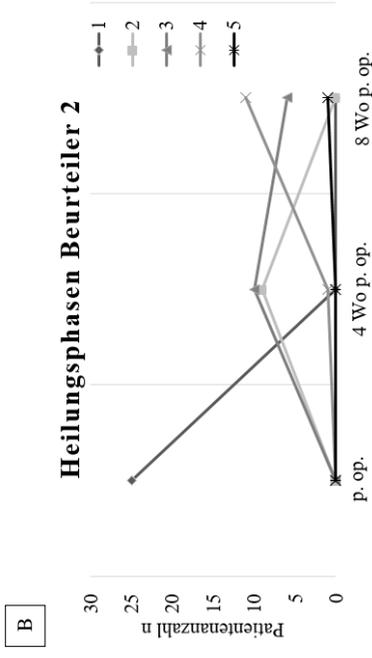
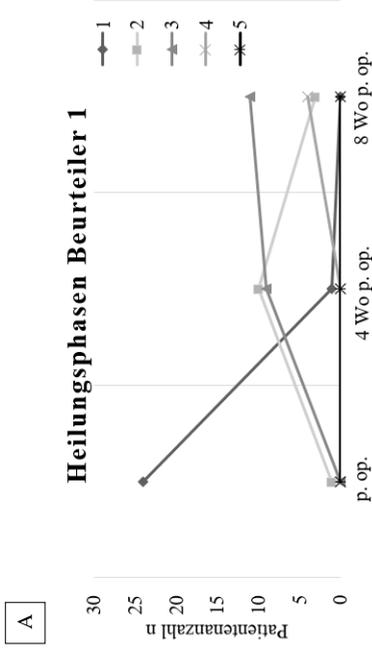
Für die Beurteilung, ob die Ergebnisse der Röntgenbeurteilung (Röntgenscores) zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten einen Einfluss auf die Lahmheit und die klinischen Gesamtergebnisse hatten, wurde eine exakte Rangkorrelation nach Spearman durchgeführt (s. Tabelle 35, Anhang 9.4). Folgende Zusammenhänge erwiesen sich als signifikant:

- Röntgenscore Beurteiler 1 p. op. bzgl. Lahmheitsgrad 1 Tag p. op. (p-Wert = 0,016;  $r_s = 0,49$ )
- Röntgenscore Beurteiler 1 p. op. und 4 Wochen p. op. bzgl. Lahmheitsgrad 4 Wochen p. op. (p-Wert = 0,043;  $r_s = 0,45$  bzw. p-Wert = 0,011;  $r_s = 0,54$ )
- Röntgenscore Beurteiler 1 4 Wochen p. op. bzgl. Gesamtergebnis 4 Wochen p. op. (p-Wert = 0,025;  $r_s = 0,52$ ).

Bei einem niedrigeren Röntgenscore zeigte sich jeweils mit mittelstarker Korrelation ein geringerer Lahmheitsgrad bzw. ein besseres klinisches Gesamtergebnis.

#### 4.1.5.7 Frakturheilungsphasen und Heilungszeitpunkt

In den Abb. 16 A-D sind die Frakturheilungsphasen bzw. der Anteil an geheilten Frakturen zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten für die beiden Beurteiler getrennt dargestellt. Bei der Einschätzung der Frakturheilung fanden sich zwischen Beurteiler 1 und 2 deutliche Unterschiede. Während Beurteiler 1 zur 8-Wochen-Kontrolle bei 44,4 % der Patienten eine geheilte Fraktur feststellte, schätzte Beurteiler 2 77,8 % der Frakturen zu diesem Zeitpunkt als geheilt ein.



**Abb. 16 A-D:** A und B: Anzahl der Patienten, die sich nach Einschätzung von Beurteiler 1 (A) bzw. 2 (B) zu den Röntgenkontrollen in den verschiedenen Heilungsphasen (1 - 5) befanden. C und D: Anzahl der Patienten, deren Fraktur nach Einschätzung von Beurteiler 1 (C) bzw. 2 (D) zu den Röntgenkontrollen als geheilt oder nicht geheilt eingestuft wurde.

*a) Einfluss metrischer Daten auf den Heilungszeitpunkt*

Mittels Cox-Regression wurde für Beurteiler 1 und 2 der Einfluss folgender metrischer Größen auf den Heilungszeitpunkt untersucht (s. Tabelle 14): Abstand der Schrauben zum Frakturspalt, Füllung der Markhöhle, Anzahl der Schrauben, Art der Fraktur (Winqvist-Hansen-Einstufung und offen/geschlossen), Alter des Patienten, Röntgenscore p. op., Woche 4 und 8 p. op., Zeit vom Trauma bis zur Operation, Körpermasse des Patienten. Eine Cox-Regression bezüglich offener oder geschlossener Fraktur war nur bei Beurteiler 2 möglich, da von Beurteiler 1 keine der offenen Frakturen als geheilt eingestuft wurde.

Es zeigte sich eine signifikant langsamere Heilung bei komplizierterer Fraktur (höhere Winqvist-Hansen-Einstufung) bei Beurteiler 1 (p-Wert = 0,015). Der Regressionskoeffizient lag hier bei -2,67 (t-Wert). Für Beurteiler 2 ergab sich für die Winqvist-Hansen-Einstufung ein p-Wert von 0,094 (nicht signifikant) und ein Regressionskoeffizient von -1,76.

**Tabelle 14:** Ergebnisse der Cox-Regression (n: Patientenzahl, t-Wert, p-Wert) bzgl. des Einflusses der metrischen Größen auf den Heilungszeitpunkt, getrennt nach Beurteiler (**Fettdruck signifikant**)

	n	Beurteiler 1		Beurteiler 2	
		t-Wert	p-Wert	t-Wert	p-Wert
Schrauben-Fraktur-Abstand	21	-0,24	0,82	-0,94	0,36
Markhöhlenfüllung	20	0,83	0,42	-0,095	0,93
Anzahl der Schrauben	21	-0,22	0,83	-0,17	0,87
<b>Winqvist-Hansen-Schema</b>	<b>21</b>	<b>-2,67</b>	<b>0,015</b>	-1,76	0,094
Fraktur offen/geschlossen	21	k. A.	k. A.	-1,11	0,28
Alter	18	-1,08	0,30	-0,74	0,46
Röntgenscore postoperativ	21	-0,88	0,39	0,13	0,90
Röntgenscore 4 Wo p. op.	20	-0,33	0,75	-0,0065	0,99
Röntgenscore 8 Wo p. op.	18	-0,32	0,75	0,17	0,86
Zeit vom Trauma bis OP	21	-1,03	0,32	0,0026	1,00
Körpermasse	21	-0,86	0,40	-0,59	0,13

*b) Kaplan-Meier-Schätzer und Einfluss zweistufiger Variablen auf den Heilungszeitpunkt*

Um den Anteil der zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten geheilten Patienten unter Berücksichtigung der nicht zu den Kontrollen erschienenen Patienten zu schätzen, wurde ein Kaplan-Meier-Schätzer erstellt.

Für die Beurteilung des Einflusses der zweistufigen Variablen (versetzte Schrauben, Multi-trauma, Knochen, Geschlecht, zusätzliche Fixation) auf die Heilung wurde ein exakter Logrank Test durchgeführt. Keine der zweistufigen Variablen zeigte signifikante Auswirkungen auf den Heilungszeitpunkt.

Die Ergebnisse des Kaplan-Meier-Schätzers und des Logrank Tests sind in Tabelle 36 (Anhang 9.4) aufgeführt. Auch hier sind die deutlichen Unterschiede der Ergebnisse zwischen Beurteiler 1 und 2 bezüglich des Anteils der Geheilten auffällig.

#### 4.1.5.8 Interobserver- und Intraobserververgleich

##### a) Einfluss von Beurteiler, Wiederholung und Patient auf die Längenmessung

Mittels dreifaktorieller Varianzanalyse nach dem hierarchischen Prinzip wurde der Einfluss folgender Faktoren auf das Ergebnis der Längenmessungen ermittelt: Beurteiler (1 und 2), Wiederholung (2 Messungen pro Beurteiler), Patient. In Tabelle 15 sind die resultierenden Standardabweichungen aufgeführt.

**Tabelle 15:** Standardabweichungen und Varianzen (Werte in Klammern) aus der dreifaktoriellen Varianzanalyse nach dem hierarchischen Prinzip zum Vergleich der Längenmessungen zwischen den Beurteilern, den Wiederholungen und den Patienten.

	n	Beurteiler	Wiederholung (2 Messungen pro Beurteiler)	Patient
Länge gesunde Seite	24	0,25 mm (0,063 mm <sup>2</sup> )	Nicht schätzbar klein (-0,0018 mm <sup>2</sup> )	8,96 mm (80,32 mm <sup>2</sup> )
Länge p. op.	25	Nicht schätzbar klein (-0,19 mm <sup>2</sup> )	0,28 mm (0,077 mm <sup>2</sup> )	10,24 mm (104,77 mm <sup>2</sup> )
Länge Woche 4 p. op.	20	Nicht schätzbar klein (-0,14 mm <sup>2</sup> )	Nicht schätzbar klein (-0,016 mm <sup>2</sup> )	9,19 mm (84,43 mm <sup>2</sup> )
Länge Woche 8 p. op.	17	Nicht schätzbar klein (-0,11 mm <sup>2</sup> )	Nicht schätzbar klein (-0,0089 mm <sup>2</sup> )	7,81 mm (60,94 mm <sup>2</sup> )

##### b) Mittelwertvergleich der Längenmessung zwischen den Beurteilern

Mittels t-Test für abhängige Stichproben konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Beurteiler 1 und 2 beim Vergleich der Mittelwerte der Längenmessergebnisse festgestellt werden (s. Tabelle 37, Anhang 9.4).

##### c) Korrelationsanalyse der Längenmessungen von Beurteiler 1 und 2

Die Längenmessungen wurden mittels Korrelationsanalyse für Beurteiler 1 und 2 ausgewertet. Hierfür wurden die Mittelwerte der Wiederholungen gebildet. In den Abb. 28 A-D (Anhang 9.4) sind die Punktwolken und Regressionsgeraden dargestellt.

*d) Interobserververgleich bzgl. Achse, Knochenstruktur, Heilungseintritt, Rotation und Implantatverbiegung*

Der Zusammenhang der Röntgenbildbefundung durch Beurteiler 1 und 2 bezüglich der zweistufigen Variablen Achse, Knochenstruktur und dem Eintritt der Heilung postoperativ und zur 4- und 8-Wochen-Kontrolle wurde mittels exaktem Test von Fischer und Kappa-Koeffizienten ausgewertet. Da unmittelbar postoperativ kein Patient eine Retroversion oder eine Schraubenveränderung aufwies, konnten auch die Rotation und Implantatverbiegung auf diese Weise behandelt werden. Da Beobachter 2 keine Veränderungen der Knochenstruktur 8 Wochen p. op. feststellte, konnte hier keine Berechnung der Werte stattfinden (s. Tabelle 16).

**Tabelle 16:** Ergebnisse des exakten Tests von Fischer und Kappa-Koeffizienten zur Bestimmung des Zusammenhangs der Röntgenbildbefundung durch Beurteiler 1 und 2 bzgl. der zweistufigen Variablen (\* knapp nicht signifikant; **Fettdruck signifikant**)

	Untersuchungszeitpunkt	n	p-Wert	Kappa-Koeffizient
Achse	<b>p. op.</b>	<b>25</b>	<b>0,012</b>	<b>0,57</b>
	<b>Woche 4 p. op.</b>	<b>20</b>	<b>0,032</b>	<b>0,57</b>
	<b>Woche 8 p. op.</b>	<b>18</b>	<b>0,0049</b>	<b>0,82</b>
Rotation	p. op.	25	0,057*	0,50
	<b>Woche 4 p. op.</b>	<b>20</b>	<b>0,046</b>	<b>0,61</b>
	Woche 8 p. op.	18	0,22	0,44
Implantatverbiegung	p. op.	25	0,080	0,65
Knochenstruktur	Woche 4 p. op.	20	1,00	-0,11
	Woche 8 p. op.	18	k. A.	k. A.
Fraktur geheilt	<b>Woche 4 p. op.</b>	<b>21</b>	<b>0,014</b>	<b>0,77</b>
	Woche 8 p. op.	18	0,092	0,37

Als signifikant erwies sich der Zusammenhang zwischen den beiden Beurteilern bezüglich der Achse zu den verschiedenen Zeitpunkten (p-Werte: 0,012; 0,032; 0,0049) sowie der Rotation (p-Wert = 0,046) und der Heilungsbeurteilung in der 4-Wochen-Kontrolle (p-Wert = 0,016). Entsprechend der ermittelten Kappa-Koeffizienten wurde eine mittlere bis sehr gute Übereinstimmung der Einschätzung von Beurteiler 1 und 2 gefunden.

*e) Interobserververgleich bzgl. Implantatsitz, Implantatverbiegung und Heilungsphase*

Für die ordinalen Variablen (Implantatsitz, Implantatverbiegung Woche 4 und 8 p. op., radiologische Heilungsphase) wurde zur Einschätzung des Zusammenhangs der Beurteilungen die Rangkorrelation nach Spearman angewendet (s. Tabelle 17).

Ein signifikanter Zusammenhang der Beurteilungen konnte für den Implantatsitz zu allen Zeitpunkten (p-Wert: 0,0022; 0,016; 0,0065) und für die Einteilung in die radiologischen

Heilungsphasen 4 und 8 Wochen postoperativ (p-Wert: 0,0065; 0,0037) nachgewiesen werden. Die Korrelation war mit Kappa zwischen 0,64 und 0,82 gut bis sehr gut.

**Tabelle 17:** Ergebnisse der Rangkorrelation nach Spearman zur Bestimmung der Übereinstimmung von Beurteiler 1 und 2 in der Einschätzung der ordinalen Variablen Implantatsitz, Implantatverbiegung und Heilungsphase (Patientenzahl n, p-Werte und Rangkorrelationskoeffizient  $r_s$ ) (**Fettdruck signifikant**; \* knapp nicht signifikant; \*\* Keine Berechnung möglich, da Beurteiler 2 alle Patienten p. op. in Heilungsphase 1 einstuft; + Keine Berechnung von  $r_s$  möglich, da nur 2 Stufen bei Beurteiler 2)

	Untersuchungszeitpunkt	n	p-Wert	$r_s$
Implantatsitz	<b>p. op.</b>	<b>25</b>	<b>0,0022</b>	<b>0,73</b>
	<b>Woche 4 p. op.</b>	<b>20</b>	<b>0,016</b>	<b>0,67</b>
	<b>Woche 8 p. op.</b>	<b>18</b>	<b>0,0065</b>	<b>0,82</b>
Implantatverbiegung	Woche 4 p. op.	20	0,15	k. A.+
	Woche 8 p. op.	18	0,056*	k. A.+
Radiologische Heilungsphase	p. op.	25	k. A.**	k. A.**
	<b>Woche 4 p. op.</b>	<b>20</b>	<b>0,0065</b>	<b>0,64</b>
	<b>Woche 8 p. op.</b>	<b>18</b>	<b>0,0037</b>	<b>0,68</b>

#### 4.1.6 Telefonbefragung der Besitzer

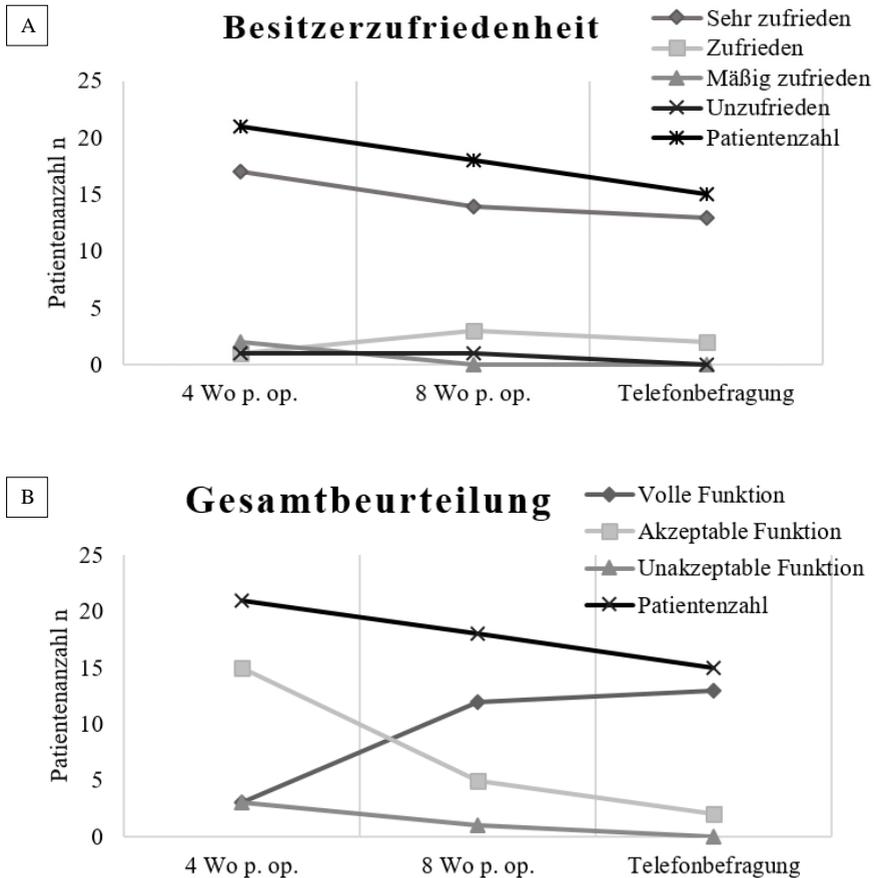
Es konnten 16 Patientenbesitzer telefonisch über die Langzeitergebnisse bei ihrem Tier befragt werden. Eines war 3 Monate nach der OP entlaufen und nicht mehr auffindbar, so dass Ergebnisse für 15 Tiere vorliegen. Die Besitzer wurden in einem Zeitraum zwischen 6 und 32 Monate p. op. kontaktiert. Die mittlere Befragungszeit war 16,6 Monate nach der Operation.

Das Allgemeinbefinden wurde von 93,3 % der Besitzer als gut bewertet, eine Katze zeigte ein mäßiges Allgemeinbefinden aufgrund einer Atemwegserkrankung. 86,7 % der Tiere zeigten keine Lahmheit. 2 Tiere (13,3 %) hatten selten eine für den Besitzer wahrnehmbare Lahmheit. Bei einem dieser Tiere handelte es sich um den bereits beschriebenen Patienten mit der ipsilateralen Femurluxation und *M. biceps femoris* Kontraktur. Bei keinem Tier bestanden Einschränkungen der normalen Verhaltensweisen (Springen, Körperpflege, Treppensteigen).

Bei 2 Patienten (13,3 %) berichteten die Besitzer von Abwehrbewegungen bei Manipulation des operierten Beins. Kein Tier hatte eine weitere Operation im Bereich der Fraktur erhalten oder den VN entfernt bekommen. Auf die Frage, ob die Besitzer die gleiche Operationsmethode bei gleichem Sachverhalt nochmals durchführen lassen würden, antworteten 14 (93,3 %) mit Ja. Für einen Besitzer kam eine erneute OP aufgrund der Kosten nicht mehr in Frage.

Die Besitzer erwiesen sich zu 86,7 % (n = 13) als sehr zufrieden, 13,3 % (n = 2) waren zufrieden.

In den Abb. 17 A und B sind der Verlauf der Besitzerzufriedenheit sowie der Verlauf der klinischen Gesamtergebnisse dargestellt.



**Abb. 17:** Verlauf der Besitzerzufriedenheit (A) und des klinischen Gesamtergebnisses (B) sowie der Anzahl der vorgestellten Patienten über den Kontrollzeitraum

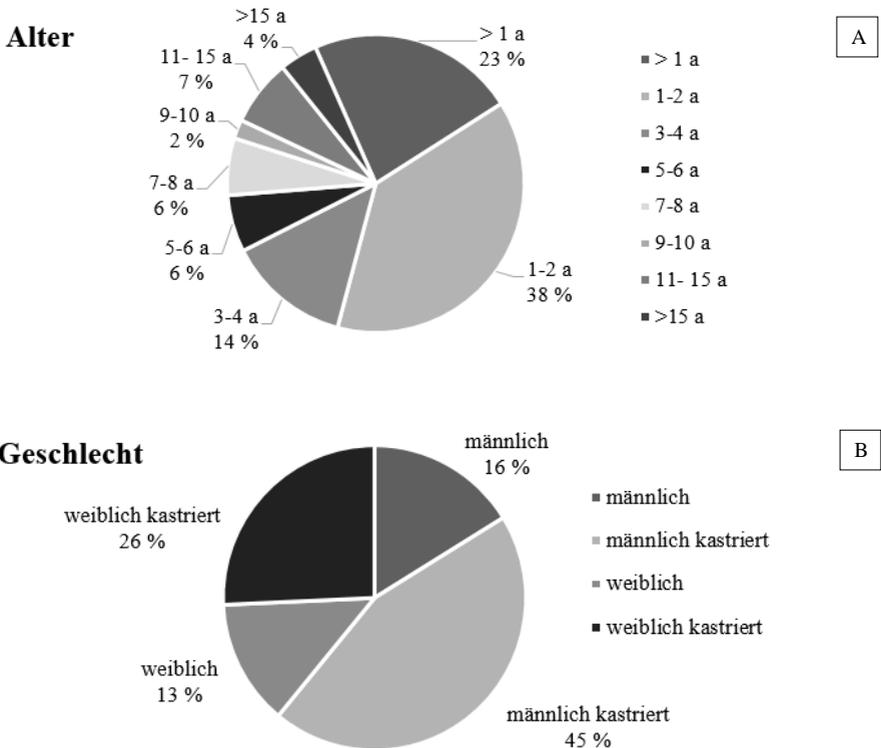
#### 4.2 Ergebnisse der retrospektiven Untersuchung

Von Januar 2008 bis Juni 2013 wurden 1520 Katzen zur stationären bzw. operativen Behandlung in unserem Haus vorgestellt. In die Auswertung des retrospektiven Anteils gingen 107 Frakturen von *Femur*, *Tibia* und *Humerus* bei 106 Tieren ein, die 4 Monate oder älter waren. Nicht berücksichtigt wurden 91 Frakturen dieser Knochen, die nicht für einen VN geeignet waren (Epi-, Apophysiolysen, *Femurhals*-, *Condylus humeri*-, *Malleolus*frakturen und ähnliche).

#### 4.2.1 Signalement

Das Alter war bei 97 der 106 Patienten bekannt. Abb. 18 A zeigt die Altersverteilung graphisch. Aufgrund der rechtsschiefen Verteilung wurde für die statistische Auswertung eine Logarithmierung der Daten vorgenommen. Der geometrische Mittelwert lag bei 28,3 Monate und der Streufaktor bei 2,83 (4 - 223 Mo). In Tabelle 38 (Anhang 9.4) sind die geometrischen Mittelwerte und die Streufaktoren des Alters, aufgeteilt nach Knochen, aufgeführt.

Bei 105 Katzen stand eine Geschlechtsangabe zur Verfügung. Es fanden sich 64 Kater (61,0 %), von denen 47 (73,4 %) kastriert waren, sowie 41 weibliche Katzen (39,1 %), von denen 27 (65,9 %) kastriert waren (s. Abb. 18 B).



**Abb. 18 A-B:** Kreisdiagramme der Alters- (A) und der Geschlechtsverteilung (B) der Patienten des retrospektiven Studienteils

Von 105 Patienten war die Rasse bekannt. Es fanden sich 91 EKH (86,7 %), 8 Mischlinge (7,6 %), 3 Maine Coon (2,9 %) und jeweils 1 Norwegische Waldkatze, Perserkatze und Türkisch Angorakatze (je 1,0 %).

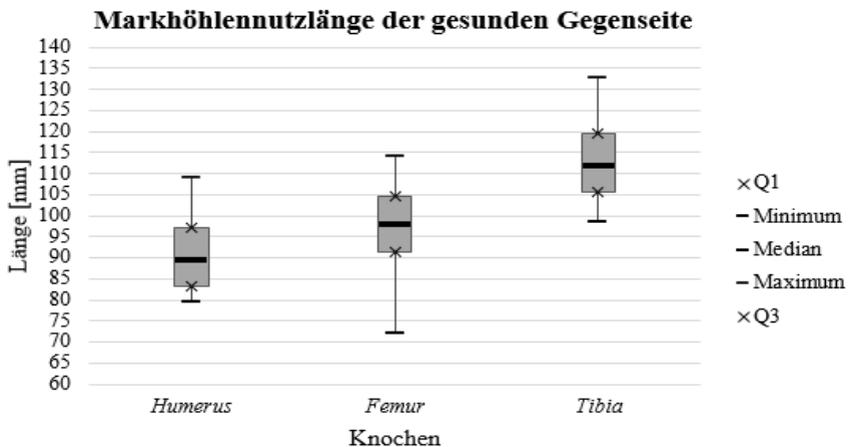
#### 4.2.2 Topographie

Von den 107 registrierten Knochenbrüchen betrafen 15 den *Humerus* (14,0 %), 52 das *Femur* (48,6 %) und 40 die *Tibia* (37,4 %).

#### 4.2.3 Markhöhlelängelänge der gesunden Gegenseite

Die gemessene Länge repräsentierte nicht die Gesamtlänge des Knochens, sondern die Nutzlänge der Markhöhle, die für die Implantation eines Marknagels zur Verfügung stand.

Eine Messung der Nutzlänge der gesunden Gegenseite war bei 70 Patienten möglich. Bei den vermessenen 8 *Humeri* betrug sie im Mittel  $91,26 \pm 9,43$  mm (79,62 - 109,08 mm). Die 41 *Femora* waren durchschnittlich  $98,18 \pm 8,46$  mm (71,96 - 114,18 mm), die gesunden 21 *Tibiae*  $112,79 \pm 9,25$  mm (98,49 - 132,90 mm) lang (s. Tabelle 39, Anhang 9.4 und Abb. 19).



**Abb. 19:** Box-and-Whisker-Plot der Markhöhlelängelängen der gesunden Gegenseite [mm], aufgeteilt nach Knochen

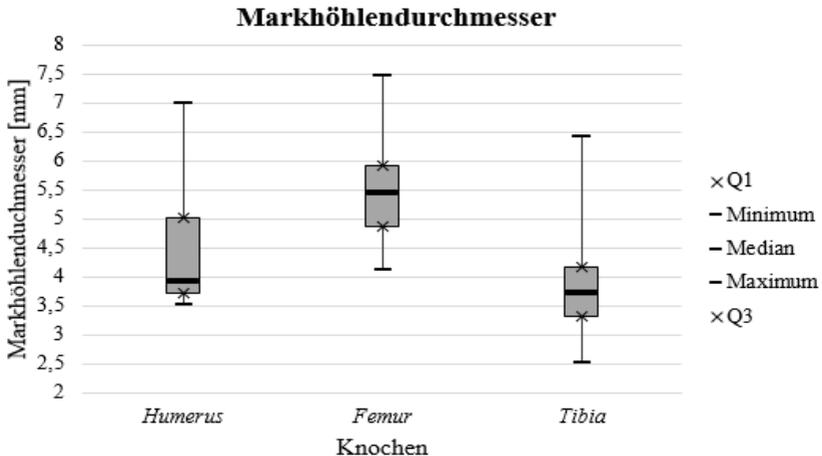
In der einfaktoriellen Varianzanalyse bezüglich der Topographie ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen mindestens 2 der Mittelwerte. Im Tukey-Test zeigten *Humerus* und *Tibia* sowie *Femur* und *Tibia* einen signifikant unterschiedlichen Mittelwert der Nutzlänge ( $p$ -Wert  $\leq 0,01$ ), *Humerus* und *Femur* hingegen nicht ( $p$ -Wert  $> 0,1$ ).

Eine zweifaktorielle Varianzanalyse bezüglich des gemessenen Knochens und des Geschlechts (Kastrationsstatus nicht berücksichtigt) ergab, dass kein Einfluss des Geschlechts auf die Markhöhlenutzlänge nachgewiesen werden konnte ( $p$ -Wert = 0,082). Auch bestand keine Interaktion zwischen den Einflussgrößen ( $p$ -Wert = 0,83). Somit erwies sich auch hier allein die Lokalisation als signifikanter Einflussfaktor auf die Länge ( $p$ -Wert < 0,0001).

Zur Beurteilung des Alters als Einflussfaktor wurde eine Korrelationsanalyse für die einzelnen Knochen durchgeführt. Die resultierenden Regressionsgeraden sind in den Abb. 29 A-C (Anhang 9.4), die Korrelationskoeffizienten und  $p$ -Werte in Tabelle 40 (Anhang 9.4) dargestellt. Keines der Ergebnisse erwies sich als signifikant. Eine differenzierte Auswertung der Knochennutzlänge im Wachstumsalter war wegen der geringen Patientenzahl dieser Altersgruppe nicht möglich.

#### 4.2.4 Markhöhledurchmesser

Die Werte der Markhöhledurchmesser im medio-lateralen Strahlengang an der engsten unbeschädigten Stelle wurden an 107 Knochen bestimmt. Die Markhöhle der 15 *Humeri* war im arithmetischen Mittel  $4,37 \pm 1,08$  mm ( $3,48 \pm 7,00$  mm), die der 52 *Femora*  $5,42 \pm 0,74$  mm (4,11 - 7,47 mm) und die der 40 *Tibiae*  $3,78 \pm 0,73$  mm (2,52 - 6,42 mm) weit (s. Tabelle 39, Anhang 9.4 und Abb. 20).



**Abb. 20:** Box-and-Whisker-Plot der Messungen des Markhöhledurchmessers an der engsten noch intakten Stelle [mm], aufgeteilt nach Knochen

Die einfaktorielle Varianzanalyse der Markhöhlendurchmesser der verschiedenen Knochen erwies sich für mindestens 2 der Knochen als signifikant unterschiedlich (p-Wert < 0,0001). Im angeschlossenen Tukey-Test zeigten *Humerus* und *Femur* (p-Wert  $\leq 0,01$ ), *Femur* und *Tibia* (p-Wert  $\leq 0,01$ ) und *Humerus* und *Tibia* (p-Wert  $\leq 0,05$ ) einen signifikanten Unterschied der Mittelwerte ihrer Markhöhlenweite.

Für die Beurteilung des gleichzeitigen Einflusses des Geschlechts (Kastrationsstatus nicht berücksichtigt) und des Knochens auf die Markhöhlenweite wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Das Geschlecht war mit p-Wert = 0,051 ein knapp nicht signifikanter Einflussfaktor und auch die Interaktion war nicht signifikant (p-Wert = 0,85). Somit hat lediglich die Lokalisation einen Einfluss auf die Weite der Markhöhle.

Zur Beurteilung des Einflusses des Alters auf die Markhöhlenweite wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt (s. Tabelle 40, Anhang 9.4). In der Abb. 29 D-F (Anhang 9.4) sind die Regressionsgeraden dargestellt. Es konnte kein signifikanter Einfluss des Alters auf die Markhöhlenweite gefunden werden.

#### 4.2.5 Fragmentlängen

Die Längen des proximalen und distalen Frakturfragments wurden bei 107 Knochen bestimmt.

##### 4.2.5.1 Proximale Fragmentlänge

Am *Humerus* war das proximale Frakturfragment durchschnittlich  $49,45 \pm 11,62$  mm (35,51 - 77,09 mm), am *Femur*  $31,51 \pm 16,75$  mm (1,46 - 80,35 mm) und an der *Tibia*  $57,08 \pm 23,79$  mm (100,39 - 3,76 mm) lang (s. Tabelle 39, Anhang 9.4 und Abb. 21).

Die einfaktorielle Varianzanalyse bezüglich des betroffenen Knochens zeigte, dass sich mindestens 2 der Mittelwerte bei verschiedenen Knochen signifikant voneinander unterschieden (p-Wert von < 0,0001). Im Tukey-Test waren die Mittelwerte von *Humerus* und *Femur* sowie von *Femur* und *Tibia* signifikant (p-Wert  $\leq 0,01$ ) voneinander unterschiedlich, *Humerus* und *Tibia* nicht (p-Wert  $\geq 0,1$ ).

Eine zweifaktorielle Varianzanalyse sollte Aufschluss geben über den Einfluss des gemessenen Knochens und des Geschlechts des Patienten (Kastrationsstatus nicht berücksichtigt) auf die Fragmentlänge. Es konnte weder ein signifikanter Einfluss des Geschlechts (p-Wert = 0,82) noch eine signifikante Interaktion der beiden Einflussgrößen (p-Wert = 0,85) nachgewiesen werden.

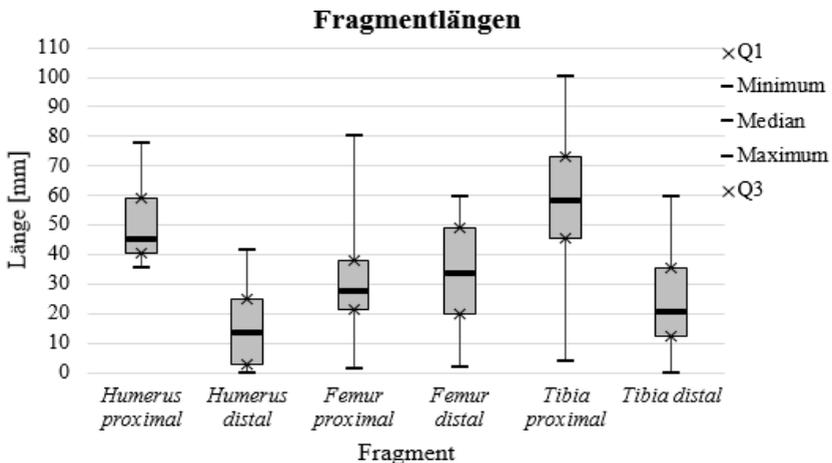
Die Korrelationsanalyse zwischen Alter und Länge des proximalen Fragments ergab keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den beiden Messwerten (s. Tabelle 40, Anhang 9.4 und Abb. 30 A-C, Anhang 9.4).

#### 4.2.5.2 Distale Fragmentlänge

Aufgrund der rechtsschiefen Verteilung wurde zur statistischen Auswertung eine Logarithmierung der distalen Fragmentlängen vorgenommen. Werte, die 0 mm betragen, wurden durch 1 ersetzt, um dies zu ermöglichen.

Die distalen Fragmente hatten folgende Mittelwerte ( $\bar{x}_g$  geometrischer Mittelwert, SF Streufaktor, Min. Minimum, Max. Maximum) (s. Tabelle 39, Anhang 9.4 und Abb. 21):

<i>Humerus:</i>	$\bar{x}_g = 9,31$ mm;	SF = 3,55;	Min. = 0 mm;	Max. = 41,53 mm;
<i>Femur:</i>	$\bar{x}_g = 27,99$ mm;	SF = 2,05;	Min. = 1,87 mm;	Max. = 59,33 mm;
<i>Tibia:</i>	$\bar{x}_g = 17,95$ mm;	SF = 2,77;	Min. = 0 mm;	Max. = 82,05 mm.



**Abb. 21:** Box-and-Whisker-Plot der Messungen der Längen des proximalen und distalen Fragments [mm], aufgeteilt nach Knochen

In der einfaktoriellen Varianzanalyse ergab sich ein signifikanter Unterschied von mindestens 2 der Mittelwerte der distalen Fragmentlängen der untersuchten Knochen ( $p$ -Wert = 0,0003). Im Tukey-Test waren dies *Humerus* und *Femur* ( $p$ -Wert  $\leq 0,01$ ). Die Mittelwerte von *Humerus* und *Tibia* sowie *Femur* und *Tibia* unterschieden sich nicht signifikant ( $0,1 \geq p$ -Wert  $> 0,05$ ).

In der zweifaktoriellen Varianzanalyse bezüglich des Geschlechts (Kastrationsstatus unberücksichtigt) und der Topographie konnte ein Einfluss des Geschlechts auf die Fragmentlänge nachgewiesen werden ( $p$ -Wert = 0,027). Männliche Patienten hatten durchschnittlich längere distale Fragmente als weibliche (s. Tabelle 18). Eine signifikante Interaktion zwischen Geschlecht und betroffenem Knochen bestand nicht ( $p$ -Wert = 0,24).

Ebenso erwies sich das Alter in der Korrelationsanalyse als nicht signifikanter Einflussfaktor auf die distale Fragmentlänge (s. Tabelle 40, Anhang 9.4, und Abb. 30 D-F, Anhang 9.4).

**Tabelle 18:** Gegenüberstellung der geometrischen Mittelwerte ( $\bar{x}_g$  [mm]) und Streufaktoren (SF) der distalen Fragmentlängen für männliche und weibliche Tiere, aufgeteilt nach Knochen

<b>Geschlecht</b>	<b>Humerus</b>	<b>Femur</b>	<b>Tibia</b>
Männlich	$\bar{x}_g = 12,39$ mm SF = 3,14	$\bar{x}_g = 30,13$ mm SF = 1,66	$\bar{x}_g = 21,88$ mm SF = 1,89
Weiblich	$\bar{x}_g = 6,07$ mm SF = 4,15	$\bar{x}_g = 28,91$ mm SF = 2,13	$\bar{x}_g = 11,91$ mm SF = 4,46

#### 4.2.6 Schraubenanzahl und Schrauben-Fraktur-Abstand

Die Einsetzbarkeit des VN bei unterschiedlichen Schraubenanzahlen und Schrauben-Fraktur-Abständen (10 oder 5 mm), bezogen auf die gemessenen Fragmentlängen, wurde mittels Kreuztabellen ausgewertet. Der Prozentsatz an Frakturen, der mit VN versorgt werden kann, steigt mit dem Abfall der Schraubenanzahl und der Verringerung des Schrauben-Fraktur-Abstands (s. Tabelle 19 und Abb. 22). Bei *Humerus* und *Tibia* können bis zu 27,5 % mehr Frakturen mit einem Nagel mit 1 distalen Schraube versorgt werden, während beim *Femur* bis zu 25 % mehr Frakturen für einen Nagel mit 1 proximalen Schraube geeignet sind. Bezogen auf alle Knochen, gibt es für einen Frakturabstand von 10 mm keinen Unterschied zwischen den 3-Loch-Nagelarten. Bei 5 mm Abstand ist der Nagel mit 2 proximalen und 1 distalen Schraube mit 53,3 % geringgradig häufiger einsetzbar.

Bezogen auf alle Knochen, ist durch eine Verringerung des Schrauben-Fraktur-Abstands von 10 mm auf 5 mm eine Erhöhung der Einsetzbarkeit von 49,5% ( $n = 53$ ) auf 67,3 % ( $n = 72$ ) zu beobachten. Dies entspricht einem Unterschied von 17,8 %.

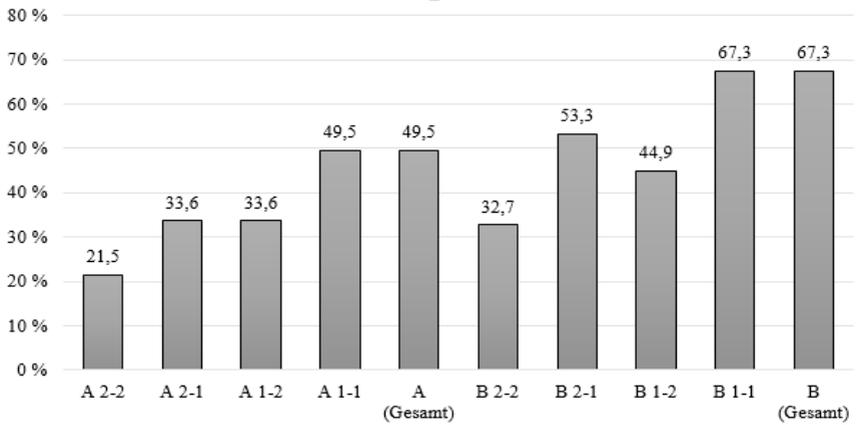
Aufgrund einer strukturellen Null in allen anderen Kreuztabellen konnte ein Chi-Quadrat-Test nur für die Kategoriekombinationen A 1-2 - A 2-1 und B 1-2 - B 2-1 durchgeführt werden. Er ergab für die Gegenüberstellung A 1-2 und A 2-1 einen signifikant positiven Zusammenhang ( $p$ -Wert < 0,0001) mit einer Übereinstimmung der Einsetzbarkeit von 75,7 %. Auch für die

Kategorie B 1-2 und B 2-1 zeigte sich ein signifikant ( $p$ -Wert = 0,0002) positiver Zusammenhang. Hier wurden 67,3 % der Patienten in B 1-2 und B 2-1 eingeteilt.

Der Chi-Quadrat-Test bezüglich der unterschiedlichen Knochen sollte zeigen, ob diese einen Einfluss auf die Einsatzfähigkeit der verschiedenen Nageldesigns mit verschiedenen Schrauben-Fraktur-Abständen haben (s. Tabelle 41, Anhang 9.4). Lediglich für die Kategorie B 1-2 und B 1-1 ergab sich ein statistisch signifikantes Ergebnis ( $p$ -Wert = 0,030 bzw. 0,013). Die Art des Knochens beeinflusst somit den Einsatz von Nägeln mit 1 proximalen und 2 distalen bzw. jeweils 1 proximalen und distalen Schraube mit einem Abstand von 5 mm zwischen Frakturspalt und frakturnaher Schraube.

**Tabelle 19:** Einsetzbarkeit (Patientenanzahl und Prozentanteil) des VN an den verschiedenen Knochen bei unterschiedlichen Schrauben-Fraktur-Abständen (A = 10 mm; B = 5 mm) und Schraubenanzahlen (1. Zahl: Schraubenanzahl proximales Fragment; 2. Zahl: Schraubenanzahl distales Fragment)

<b>Kategorie</b>	<b><i>Humerus</i> (%)</b>	<b><i>Femur</i> (%)</b>	<b><i>Tibia</i> (%)</b>	<b>Gesamt</b>
A 2-2	3 (20,0 %)	10 (19,2 %)	10 (25,0 %)	23 (21,5 %)
A 2-1	5 (33,3 %)	14 (26,9 %)	17 (42,5 %)	36 (33,6 %)
A 1-2	3 (20,0 %)	22 (42,3 %)	11 (27,5 %)	36 (33,6 %)
A 1-1	5 (33,3 %)	30 (57,7 %)	18 (45,0 %)	53 (49,5 %)
A (Gesamt)	5 (33,3 %)	30 (57,7 %)	18 (45,0 %)	53 (49,5 %)
B 2-2	4 (26,7 %)	17 (32,7 %)	14 (35,0 %)	35 (32,7 %)
B 2-1	6 (40,0 %)	26 (50,0 %)	25 (62,5 %)	57 (53,3 %)
B 1-2	4 (26,7 %)	30 (57,7 %)	14 (35,0 %)	48 (44,9 %)
B 1-1	6 (40,0 %)	41 (78,8 %)	25 (62,5 %)	72 (67,3 %)
B (Gesamt)	6 (40,0 %)	41 (78,8 %)	25 (62,5 %)	72 (67,3 %)



**Abb. 22:** Balkendiagramm mit dem Prozentanteil an Patienten der retrospektiven Untersuchung, die mit VN versorgt werden können, je nach Schrauben-Fraktur-Abstand (A = 10 mm; B = 5 mm) und Schraubenanzahl (1. Zahl: Schraubenanzahl im proximalen Fragment, 2. Zahl: Schraubenanzahl im distalen Fragment)

## 5 Diskussion

### 5.1 Signalement

Im Vergleich zu den Angaben aus der Literatur (Durchschnittsalter 2,2 - 4,1 a) für Katzen, die mit VN versorgt wurden (ENDO et al., 1998; LORINSON et al., 2000; DUHAUTOIS, 2003; SCOTTI et al., 2007), flossen mit 4,6 Jahren Daten von älteren Tieren in den prospektiven Anteil dieser Arbeit ein. Die jüngste Katze, bei der ein Verriegelungsnagel nach Wissen des Autors eingesetzt wurde, war 2 Monate alt (DÍAZ-BERTRANA et al., 2005). Die Altersgrenze wurde in Anlehnung an LARIN et al. (2001) in dieser Arbeit bei 4 Monaten gezogen. Durch die sehr weichen Knochen jüngerer Tiere besteht die Gefahr des Durchstoßens der dünnen Kortikalis durch den Nagel im Gelenkbereich (SUBER et al., 2002) und eines Nicht-Greifens der Schrauben. Zudem stehen keine kleineren Implantate zur Verfügung. Andere Osteosynthesemethoden sollten daher bei Katzenwelpen in Betracht gezogen werden.

Auch bei der retrospektiven Auswertung wurden Tiere unter 4 Monaten als ungeeignet für einen VN aus der Studie ausgeschlossen. Mit durchschnittlich 39,9 Monaten waren die Patienten mit *Tibia*frakturen die ältesten, gefolgt von den *Humerus*- (26,8 Monate) und den *Femur*frakturen (21,4 Monate). Eine Ursache für diese unterschiedlichen geometrischen Mittelwerte konnte aus dem vorliegenden Datensatz nicht gefunden werden, allerdings waren Informationen über Unfallursache und Hergang, die unter Umständen einen Aufschluss gegeben hätten, zum Teil lückenhaft. Die Überrepräsentation junger Tiere in beiden Studienteilen mit jeweils mehr als der Hälfte der Tiere  $\leq 2$  Jahren findet sich auch in früheren Studien bei Frakturen von Katze und Hund (BOONE et al., 1986; BRADEN et al., 1995; LARIN et al., 2001; KÖNNING et al., 2013). Zu vermuten ist, dass jüngere Tiere aufgrund höherer Aktivität (VNUK et al., 2004), unvorsichtigen Verhaltens und mangelnder Erfahrung im Erkennen und Vermeiden von Gefahren häufiger Frakturen erleiden (BRADEN et al., 1995; VNUK et al., 2004). Andere mögliche Ursachen könnten die geringere Knochenfestigkeit oder der höhere Anteil junger Katzen an der Gesamtpopulation sein.

Die am häufigsten mit Frakturen vorgestellte Rasse sowohl in der Literatur (MEYER-LINDENBERG et al., 1996; BEHREND, 2007) als auch in unserem Patientengut war die EKH (prospektiv: 92 %; retrospektiv: 86,7 %), gefolgt von Mischlingen (prospektiv: 8 %; retrospektiv: 7,6 %). Rassekatzen waren prospektiv nicht und retrospektiv mit verschiedenen Rassen vertreten, von denen die Maine Coon am häufigsten war. Dies spiegelt zum einen die Verteilung aller im Untersuchungszeitraum in unserem Haus vorgestellten Katzen wider. Zum

anderen ist zu vermuten, dass Katzen, die aus einer Zucht stammen, seltener als Freigänger gehalten werden und somit seltener Autounfälle, Schuss- und Bissverletzungen erleiden.

Die durchschnittliche Körpermasse von 3,97 kg lag im Rahmen der Literaturangaben (MEYER-LINDENBERG et al., 1996; ENDO et al., 1998; LARIN et al., 2001; DUHAUTOIS, 2003; BEHREND, 2007; SCOTTI et al., 2007; KÖNNING et al., 2013). Es konnte kein Einfluss auf die Lahmheit oder das Gesamtergebnis nachgewiesen werden. Aufgrund der kleinen Stichprobengröße der Studie kann aber ein Einfluss dieses Faktors nicht ausgeschlossen werden.

Das Geschlechterverhältnis von 60 % zu 40 % (männlich zu weiblich) im prospektiven bzw. 61 % zu 39 % im retrospektiven Teil dieser Arbeit bestätigte die Daten der Literatur (LARIN et al., 2001; BEHREND, 2007; KÖNNING et al., 2013). Lediglich der Anteil kastrierter Kätzinnen war prospektiv mit 70 % höher als in vergangenen Studien. Ein Grund könnte die zunehmende Nähe zum Menschen in der modernen Gesellschaft sein. Das Verhalten einer rolligen Katze wird oft als störend empfunden und Nachwuchs als zusätzliche Belastung für den Halter, wodurch der Anteil an kastrierten Kätzinnen steigen könnte. Dass häufiger Kater von Frakturen betroffen sind, ist vermutlich durch Verhaltensunterschiede bedingt. Männliche Tiere streifen in größeren Gebieten umher und sind dadurch häufiger Traumata und Kämpfen ausgesetzt (BRADEN et al., 1995). Es wurde kein Einfluss des Geschlechts auf das Gesamtergebnis zu den verschiedenen Zeitpunkten nachgewiesen, aufgrund der geringen Patientenzahl musste der Kastrationsstatus statistisch unberücksichtigt bleiben.

## **5.2 Frakturursache**

In dieser Studie traten wesentlich mehr Frakturen unbekannter Ursache auf als in der Literatur (LARIN et al., 2001; BRUNNBERG u. WAIBL, 2002; BRUNNBERG et al., 2003; BEHREND, 2007; SCOTTI et al., 2007). Auch bei Hinweisen auf einen Autounfall (z. B. aufgefaserte Krallen o. ä.), wurde von einer endgültigen Einteilung in diese Kategorie abgesehen, da es sich lediglich um eine Vermutung handelte. Wie Autoren früherer Arbeiten in einem solchen Fall vorgehen, ist nicht bekannt. Es muss aber davon ausgegangen werden, dass der Anteil an Autounfällen in unserem Patientengut wesentlich höher war. Mit 8 % lagen wesentlich weniger Frakturen aufgrund von Stürzen aus großer Höhe vor als in anderen Erhebungen dieser Art (LARIN et al., 2001; BRUNNBERG u. WAIBL, 2002; BRUNNBERG et al., 2003; BEHREND, 2007; SCOTTI et al., 2007). Das Einzugsgebiet der Universitätsklinik Gießen im ländlichen Mittelhessen lässt einen Zusammenhang mit der vorherrschenden Bauweise in dieser Gegend (wenige Hochhäuser) vermuten. Mit 12 % lag ein hoher Anteil an Bissfrakturen vor. Auch hier

ist ein Zusammenhang mit dem Einzugsgebiet der Klinik zu vermuten, da in kleinstädtischen und ländlichen Verhältnissen mehr Katzen Freigänger sind und somit häufiger in Beißereien geraten.

### 5.3 Multitrauma und Grunderkrankung

Für die Auswertung des Einflusses weiterer Verletzungen auf die Frakturheilung wurde bewusst das Augenmerk nicht auf polytraumatisierte Patienten gerichtet, weil per definitionem bei einem Polytrauma aufgrund der Verletzungen ein lebensbedrohlicher Zustand vorliegen muss (PSCHYREMBEL KLINISCHES WÖRTERBUCH, 2002). Da aber der Einfluss aller Verletzungen von Interesse war, unabhängig von der Lebensbedrohlichkeit, wurde der Begriff des Multitraumas verwendet. Infektionen und das Auftreten eines Schocks wurden nicht beim Multitrauma mitberücksichtigt, da sie als auf den Insult folgende Zustände gewertet wurden. Bei 52 % der Studienpatienten bestand ein Multitrauma. Es zeigten nur 3 Patienten eine zusätzliche Verletzung des Brustkorbs bzw. der Lunge. Im Vergleich zur Literatur ist dies eine niedrige Prävalenz (GRIFFON et al., 1994; MOSES et al., 2002; SCOTTI et al., 2007). Zusätzliche Thoraxverletzungen wurden häufig in Verbindung mit *Humerusfrakturen* gefunden (MOSES et al., 2002; TURNER, 2005). In unserem Datensatz wies nur eine Katze eine solche auf. Allerdings fanden SCOTTI et al. (2007) bei *Femurfrakturen* in 62,5 % der Fälle zudem einen Pneumothorax.

Patienten mit Multitrauma zeigten ein signifikant schlechteres Gesamtergebnis zur 8-Wochen-Kontrolle (1,8) als Patienten ohne weitere Verletzungen (1,1). Dies war zum Zeitpunkt der Telefonbefragung nicht mehr nachzuvollziehen. Allerdings muss hier berücksichtigt werden, dass ein Besitzer, der ein schwer verletztes Tier (Multitrauma) in der Klinik behandeln lässt, ggf. mit einem weniger guten Ergebnis genauso zufrieden ist wie ein Besitzer mit einem Tier, das nur eine Fraktur aufweist, der ein wesentlich besseres Ergebnis erwartet. Somit könnten beide Besitzer eine gleich gute Beurteilung trotz unterschiedlichen Erfolgs abgeben.

Auch wenn die Patientenzahlen für eine statistische Auswertung bezüglich der Todesrate der vorgestellten Patienten nicht ausreichen, ist dennoch zu bemerken, dass beide Patienten, die innerhalb ihres Klinikaufenthalts verstarben, ein Multitrauma aufwiesen und erst mit einer zeitlichen Verzögerung zur medizinischen Versorgung vorgestellt wurden.

Weiterhin auffällig ist, dass der einzige Patient mit schweren postoperativen Komplikationen und keiner Belastung der operierten Gliedmaße zur 8-Wochen-Kontrolle schwere zusätzliche Verletzungen (*Femurluxation*, *Iliosakralgelenksluxation* beidseits, Bauchwandabriss, kompli-

zierte Kronenfraktur) aufwies. Da ein Rezidiv der *Femur*luxation mit anschließender Muskelkontraktur des *M. biceps femoris* auf der frakturierten Seite auftrat, ist zu vermuten, dass die Komplikationen nicht der Fraktur und deren Versorgung, sondern den weiteren Verletzungen zuzuschreiben waren. Eine Beweisführung ist hier aber nicht möglich.

Systemische Grunderkrankungen (HAZEWINKEL u. WIEGAND, 2003; GRIFFON, 2005; HENRY, 2007; KAYAL et al., 2009) und Medikamentengaben (GRIFFON, 2005; HENRY, 2007) können, je nach Art, negative Einflüsse auf die Frakturheilung haben. In dieser Studie befand sich lediglich eine Katze mit einer Herzerkrankung, bei der eine Abklärung vom Besitzer abgelehnt wurde. Dieser Patient zeigte einen ungestörten Heilungsverlauf. Das geringe Vorkommen an Grunderkrankungen könnte in dem hohen Anteil an jungen Patienten begründet sein.

#### 5.4 Topographie

Da bei den vorliegenden Patientendaten lediglich Tiere mit einer für einen VN geeigneten Fraktur berücksichtigt wurden, ist ein Vergleich mit Studien über Frakturen bei der Katze im Allgemeinen nicht repräsentativ. Tabelle 20 zeigt die mit VN bei der Katze versorgten Frakturen einiger Veröffentlichungen im Vergleich zu dieser Studie.

**Tabelle 20:** Vergleich der Patientenzahlen, der verwendeten Nagelstärken und des Prozentanteils von *Humerus*-, *Femur*- und *Tibia*frakturen in Fremdstudien (retrospektiv) und der vorliegenden Dissertation (prospektiv und retrospektiv)

Autor (Jahr)	n	Besonderheiten	<i>Humerus</i>	<i>Femur</i>	<i>Tibia</i>
LARIN et al. (2001)	12	Nur <i>Femur</i> , 4,0 und 4,7 mm Nägel	-	100 %	-
DÍAZ-BERTRANA et al. (2005)	33	4,0 und 5,0 mm Nägel	15,2 %	84,8 %	-
SCOTTI et al. (2007)	24	Nur <i>Femur</i> retrograd, 3,5 mm Nägel	-	100 %	-
Diese Studie prospektiv	25	3,5 mm Nägel	4 %	80 %	16 %
Diese Studie retrospektiv	107	Messung am Röntgenbild für 3,5 mm Nägel	14,02 %	48,6 %	37,38 %

Da nur eine *Humerus*fraktur zur Verfügung stand, wurden nur *Femur* und *Tibia* in Bezug auf Lahmheit, Gesamtergebnis und Heilungsverlauf statistisch ausgewertet. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Knochen. Dies steht im Widerspruch zu vorherigen Ergebnissen, wonach Frakturen distaler Knochen (hier *Tibia*) aufgrund des geringeren Weichteilmantels und der fragileren Blutversorgung eine schlechtere Heilung zeigen als proximale Frakturen (*Femur*) (RHINELANDER, 1974; LANGLEY-HOBBS, 2003; HENRY, 2007). Ein Grund für die fehlenden Unterschiede könnte die besonders weichteil- und durchblutungs-

schonende Methode der Verriegelungsnagelung sein, die in der vorliegenden Arbeit mit einem minimal offenen Zugang („open but do not touch“) vorgenommen wurde. Obwohl die Hälfte der *Tibia*frakturen aufgebohrt werden musste, um einen 3,5 mm Nagel einbringen zu können, wurde dennoch kein Unterschied in der Heilung im Vergleich zum *Femur* festgestellt. Zu kritisieren ist die geringe Anzahl an *Tibia*frakturen ( $n = 4$ ) sowie die weitere Einschränkung durch den Tod eines Patienten aufgrund Sepsis und die zusätzliche Stabilisation mittels Fix ex. Hier ist eine größer angelegte Studie notwendig, um die gute Heilung von *Tibia*frakturen bei Katzen, die mit VN versorgt wurden, zu bestätigen.

Auffällig war bei unseren Patienten eine Überrepräsentation von Frakturen auf der rechten Körperseite (64 %) im Gegensatz zur linken (36 %). Denkbare Ursache hierfür ist das häufigere Abfangen eines Sturzes aus großer Höhe mit einer bestimmten Seite aufgrund der „Händigkeit“ der Katze (WELLS u. MILLSOPP, 2012). Ein anderer Grund könnte im Rechtsverkehr Zentral-europas liegen. Eine Katze, die die Straße überquert, kann ggf. Geschwindigkeit, Abstand und benötigte Zeit für die Überquerung der Straße besser abschätzen, wenn sich das Auto auf der ihr nähergelegenen Straßenseite nähert, als wenn es auf der gegenüberliegenden Seite fährt. Somit wäre die rechte Körperseite häufiger betroffen. Interessant diesbezüglich wäre eine Verteilung in einem Land mit Linksverkehr (z. B. Großbritannien).

## 5.5 Frakturtyp

### 5.5.1 Fraktуреinteilung

Zur Fraktуреinteilung wurde das modifizierte Winquist-Hansen-Schema gewählt. Eine Einteilung nach AO-Schema hätte zu einer zu starken Aufsplitterung der Patienten geführt und eine statistische Auswertung behindert. Zudem ermöglicht diese Vorgehensweise einen Vergleich mit der Literatur, da viele veterinärmedizinische Studien dieses speziell für intramedulläre Nägel entwickelte Einteilungsschema verwenden (DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; HORSTMAN u. BEALE, 2002; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003; HORSTMAN et al., 2004). Mit 56 % instabilen Frakturen lag diese Studie im Bereich der Literaturangaben (40,7 - 85,7 %) (DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; HORSTMAN u. BEALE, 2002; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003).

Es konnte kein signifikanter Einfluss des Frakturtyps auf die Durchleuchtungszeit, die Anzahl der Durchleuchtungen, die radiologischen Auswertungen oder das klinische Gesamtergebnis nachgewiesen werden. Zu erwarten gewesen wäre, dass mit einer höheren Instabilität der Fraktur ein Setzen der Schrauben komplizierter und damit mehr und längere Durchleuchtungen nötig

gewesen wären. Auch ist bei instabilen Frakturen eher mit Achsen- und Rotationsfehlern in der Frakturversorgung zu rechnen. Dies konnte mit den vorliegenden Daten nicht bewiesen werden. Der Frakturtyp hatte einen signifikanten Einfluss auf die Heilungszeit bei Beurteiler 1. Je komplizierter die Fraktur, also je höher die Winquist-Hansen-Einstufung, desto langsamer war die Heilung. Da bei komplizierten Frakturen höhere Energien zum Zeitpunkt des Traumas wirken als bei einfachen Frakturen und hier auch wesentlich höhere Weichteilschädigungen vorliegen (RADASCH, 1999), ist dies erklärbar. Auch BEHREND (2007) fand eine schlechtere Heilung bei Trümmerbrüchen. Zwar konnte für Beurteiler 2 kein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden, aber dies könnte aufgrund fehlender Erfahrungen des Doktoranden eingetreten sein (s. Kapitel 5.11.1). Die verlängerte Heilung hatte keinen signifikanten Einfluss auf das klinische Gesamtergebnis. Dies unterstützt die Erfahrung aus der Humanmedizin, dass der VN gut für die Frakturversorgung nach Hochenergie-traumata geeignet ist (THORESEN et al., 1985).

### 5.5.2 *Offene oder geschlossene Fraktur*

50 % der *Tibia*frakturen waren offen, eine davon eine Grad II offene Fraktur. Das häufige Auftreten von offenen *Tibia*frakturen ist durch den geringen Weichteilmantel um diesen Knochen zu erklären (BRUNNBERG et al., 2003). Ein signifikanter Einfluss der Art der Fraktur konnte lediglich auf den Grad der Lahmheit an Tag 1 und 2 p. op. nachgewiesen werden. Die offene Fraktur verursacht durch den größeren Weichteilschaden und entsprechendes operatives Management größeren Wundschmerz und damit ggf. auch einen höheren Lahmheitsgrad kurz nach der Operation. Im weiteren Verlauf zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

Bei keiner mit VN versorgten offenen Fraktur zeigte sich eine Osteomyelitis, Implantatlockerung oder die Notwendigkeit zur Implantatentfernung. Zudem hatten die 3 Patienten mit Follow up ein gutes bis sehr gutes klinisches Gesamtergebnis. Dies unterstützt die Aussage, dass Verriegelungsnägel auch bei offenen Frakturen mit gutem Erfolg eingesetzt werden können (MUIR u. JOHNSON, 1996; HORSTMAN u. BEALE, 2002; DUHAUTOIS, 2003; SCOTTI et al., 2007; GATINEAU u. PLANTÉ, 2010). Titannägel sind Stahlimplantaten vorzuziehen (KRETTEK, 2001a) aufgrund ihrer infektionsresistenten Eigenschaften (PERREN et al., 2005).

## 5.6 Zeit vom Trauma bis zur Operation

In der Literatur finden sich kaum Angaben über die Zeit zwischen Trauma und Frakturversorgung. Von BEHREND (2007) wird eine durchschnittliche Zeit bis zur Versorgung von 40 Stunden ohne Auswertung bezüglich der Auswirkungen auf Heilungsverlauf und -zeit angegeben. Bei SCOTTI et al. (2007) verstreichen 1 - 2 Wochen vom Trauma bis zur operativen Versorgung. Bei BRADEN et al. (1995) werden 82 % aller *Femur*frakturen bei Hund und Katze innerhalb von 5 Tage versorgt. In unserer Erhebung betrug die durchschnittliche Zeit bis zur Versorgung 4 Tage (durchschnittlich 102,4 Stunden, 12 - 336 Stunden). Hauptgründe sind vorberichtlich, dass Freigänger häufig erst Tage nach einem Unfall nach Hause kommen und die fehlende Narkosefähigkeit des traumatisierten Patienten, was eine operative Versorgung zu einem früheren Zeitpunkt verhindert. In der statistischen Auswertung konnte kein signifikanter Einfluss der Zeit zwischen Trauma und Operation auf die klinischen oder radiologischen Befunde, das Gesamtergebnis oder den Heilungszeitpunkt nachgewiesen werden. Somit führt eine längere Stabilisation des Patienten nicht zu einer schlechteren Prognose für die Frakturheilung bei Versorgung mit einem VN. Nachteilig ist allerdings die schwierigere Reposition aufgrund von Muskelkontraktur, Kallusbildung und verminderter Sicht durch stärkere Blutungsneigung des heilenden Gewebes (PIERMATTEI et al., 2006).

## 5.7 Operationszeiten

Der Vergleich der hier erhobenen Operationszeiten mit der Literatur wird durch die fehlenden Angaben zu den Messzeitpunkten anderer Studien sehr erschwert. Die durchschnittliche Zeit allein der Verriegelungsnagelung (mit Zugang und Wundverschluss) betrug 60,7 min (34 - 93 min). In anderen veterinärmedizinischen Studien finden sich für den Hund wesentlich höhere Operationszeiten mit durchschnittlich 151 min (DUELAND et al., 1999) oder 110 min für die anatomische und 95 min für die biologische Osteosynthese mittels VN (HORSTMAN et al., 2004). Bei Studien mit Hunden und Katzen konnte DUHAUTOIS (2003) eine Operationszeit von 52 min bestimmen, ENDO et al. (1998) fanden für das *Femur* eine Operationszeit von durchschnittlich 58 min und für die *Tibia* von 63 min. Vergleichsdaten nur für die Katze gibt es nach Wissen des Autors nicht. Zeitsparend wirkte sich in dieser Studie die aus PEEK gefertigte Zielschiene aus, die aufgrund ihrer Strahlendurchlässigkeit während der Durchleuchtung belassen werden kann.

Der Plattenosteosynthese (103 - 192 min) (DUDLEY et al., 1997; JOHNSON et al., 1998; POZZI et al., 2013) ist der VN bezüglich der Operationszeit überlegen. Die Ursache liegt nicht

nur in dem wesentlich kleineren Zugang, sondern auch im Wegfall des Ankonturierens der Platte (DURALL u. DIAZ, 1996; DUHAUTOIS, 2003). Eine wesentlich schnellere Methode stellt die Kombination einer gedeckten Marknagelung mit anschließendem Fix ex mit 20 - 45 min Operationszeit dar (HAAS u. UNGER, 2001). Für eine gedeckte Reposition und Versogung mit Fix ex beim Hund fanden DUDLEY et al. (1997) eine durchschnittliche OP-Zeit von 86 min.

Die Operationszeit ist ein entscheidender Faktor für die Entstehung von Wundinfektionen. EUGSTER et al. (2004) fanden eine Verdopplung der Infektionsrate mit jeden 70 Minuten, während BROWN et al. (1997) eine Verdopplung bei einer Verlängerung der Operationszeit von 60 auf 90 Minuten feststellten. Die längere Exposition gegenüber Bakterien, die zunehmende Austrocknung und Gewebeschädigung durch langanhaltendes Spreizen (VASSEUR et al., 1988; BROWN et al., 1997), Gewebemanipulation, vermehrten Einsatz von Elektrokoagulation und Einbringen von mehr Nahtmaterial reduziert die Resistenz des Gewebes gegen Infektionen (BROWN et al., 1997).

## **5.8 Implantate**

### *5.8.1 Markhöhlenutzlänge*

In der dreifaktoriellen Varianzanalyse fand sich eine Standardabweichung von lediglich 0,25 mm zwischen den Beurteilern bezüglich der Markhöhlenutzlänge. Da die Tiere der prospektiven Studie ebenfalls in die Auswertung der retrospektiven eingingen und mit der wesentlich höheren Patientenzahl ein besserer Überblick über die Markhöhlenutzlängen möglich ist, konzentriert sich die Diskussion auf die Ergebnisse der retrospektiven Auswertung.

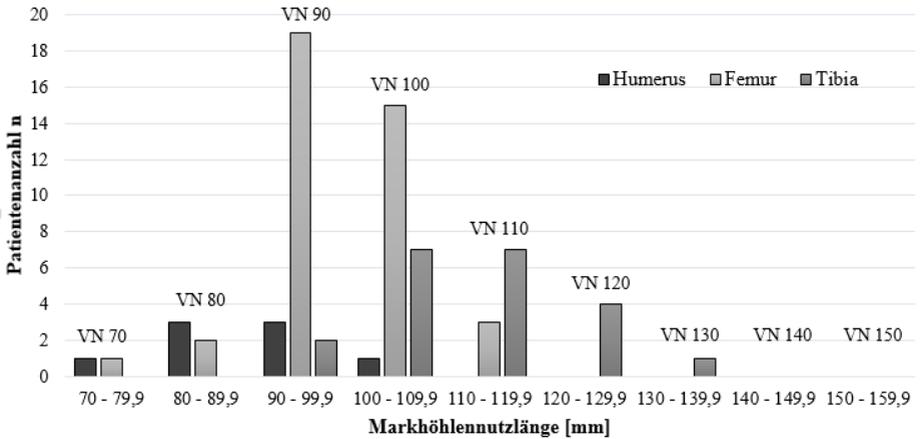
Die von INGENDAAY (2009) durch CT-Messungen ermittelten Längen der Markhöhle der verschiedenen Knochen kommen den bei uns gemessenen Daten sehr nahe (s. Tabelle 21). Die vorhandenen Abweichungen insbesondere beim *Femur* können mit der Unterschiedlichkeit der Messpunkte erklärt werden, da in dieser Studie die für einen VN zur Verfügung stehende Nutzlänge und nicht die eigentliche Markhöhlengesamtlänge bestimmt wurde. So steht für einen VN aufgrund der Krümmung des *Femurs* im distalen Bereich nicht die volle Länge zur Verfügung. Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass gut gelagerte medio-laterale und korrekt kalibrierte Röntgenbilder der gesunden Gegenseite gut mit den CT-Messergebnissen der Markhöhle übereinstimmen.

**Tabelle 21:** Vergleich der Ergebnisse der CT gestützten Längenmessungen der Markhöhle der Studie von INGENDAAY (2009) und den Messungen am Röntgenbild dieser Studie für *Humerus*, *Femur* und *Tibia*

	<i>Humerus</i>	<i>Femur</i>	<i>Tibia</i>
INGENDAAY (2009)	89 mm	102 mm	112 mm
Diese Studie retrospektiver Teil	91,26 mm	98,18 mm	112,79 mm

In dieser Studie konnte kein Einfluss des Geschlechts auf die Länge der Knochen oder eine Interaktion des Geschlechts mit der Knochenart bezüglich der Länge nachgewiesen werden. Die Berücksichtigung des Kastrationsstatus war bei der vorliegenden Patientenzahl statistisch nicht sinnvoll. Es ist aber aus früheren Studien bekannt, dass ein erhöhtes Längenwachstum und ein verspäteter Wachstumsfugenschluss des *Radius* bei prä- und postpubertal kastrierten Tieren auftritt (ROOT et al., 1997).

Das Alter der ausgewachsenen Patienten hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Nutzlänge der Markhöhle. Für Tiere über 9 Monate war dies zu erwarten, da das Hauptlängenwachstum davor stattfindet (ROOT et al., 1997). Der Anteil an Patienten unter 9 Monate war zu gering, als dass eine statistische Auswertung diesbezüglich hätte stattfinden können. Die Längenunterschiede zwischen *Tibia* und *Humerus* bzw. *Femur* waren signifikant. Die *Tibia* als längster Röhrenknochen des Körpers (INGENDAAY, 2009) erfordert längere Nägel. LARIN et al. (2001) setzten zur Versorgung von *Femur*frakturen am häufigsten 91 mm lange Nägel ein, dies deckt sich mit dieser Studie. Im Gegensatz dazu verwendeten SCOTTI et al. (2007) für das *Femur* nur Nägel über 100 mm Länge. Abb. 23 zeigt die Anzahl an gemessenen Markhöhlen-nutzlängen in Gruppen von 10 mm, aufgeteilt nach Knochen. Jeder Gruppe ist eine Nagel-nutzlänge zugeordnet. Mit einem Sortiment an Nagelnutzlängen (Gesamtlänge: Nutzlänge + 20 mm) von 80 - 120 mm können die meisten Frakturen der 3 Röhrenknochen versorgt werden. Wenn allerdings keine Nägel mit nur einem distalen und/oder proximalen Loch zur Verfügung stehen, ist eine Vorratshaltung von weiteren längeren Nägeln sinnvoll. Ein Kürzen der Nägel im Schraubenloch oder zwischen den Löchern bei zu kurzen proximalen und/oder distalen Frakturfragmenten ist dann möglich (MOSES et al., 2002; DURALL et al., 2003). In der prospektiven Erhebung konnten alle Patienten mit einem Nagel von einer Nutzlänge 120 mm oder kürzer versorgt werden, obwohl bei mehreren Patienten im Schraubenloch gekürzt wurde (s. Tabelle 8, Kapitel 4.1.3.2). Allerdings werden für *Tibia*frakturen bei außergewöhnlich großen Katzen bzw. großen Katzenrassen (z. B. Maine Coon Katzen), die in dieser Arbeit nicht repräsentiert waren, VN von mindestens 140 mm Nutzlänge benötigt.



**Abb. 23:** Balkendiagramm der Anzahl an gemessenen Markhöhlennutzlängen [mm] in Gruppen von 10 mm, aufgeteilt nach Knochen. Jeder Gruppe ist eine Nagelnutzlänge zugeordnet.

### 5.8.2 Markhöhlendurchmesser

Tabelle 22 zeigt die Markhöhlenweiten der verschiedenen Knochen dieser Studie, verglichen mit den Angaben von INGENDAAY (2009). Die Unterschiede ergeben sich durch die verschiedenen bildgebenden Verfahren (CT bzw. Röntgen) und Messpunkte. In der vorliegenden Studie war das Ziel die Einschätzung der Einsetzbarkeit eines VNs an einem gebrochenen Knochen. Daher wurde nicht der Markhöhlendurchmesser der gesunden Gegenseite, sondern der auf dem Röntgenbild noch zirkulär intakte engste Anteil der gebrochenen Seite gemessen. Durch den Bruch ist der engste Markhöhlenabschnitt ggf. beschädigt und wird hier nicht erfasst.

**Tabelle 22:** Vergleich der Ergebnisse der CT gestützten Messungen des Markhöhlendurchmessers der Studie von INGENDAAY (2009) und den Messungen am Röntgenbild dieser Studie für *Humerus*, *Femur* und *Tibia*

	<i>Humerus</i>	<i>Femur</i>	<i>Tibia</i>
INGENDAAY (2009)	3,9 mm	5,6 mm	3,5 mm
Diese Studie retrospektiver Teil	4,37 mm	5,42 mm	3,78 mm

Wie für die Nutzlänge konnte weder ein Einfluss des Geschlechts noch des Alters auf die Markhöhlenweite nachgewiesen werden, doch auch hier limitiert die Stichprobengröße (n = 107) die Aussagekraft.

Die Unterschiede bezüglich der Markhöhlenweiten der verschiedenen Knochen sind signifikant. Daraus folgt, dass der betroffene Knochen für den Operateur bei der Implantatwahl entscheidend

ist, wenn mehrere Nageldicken zur Verfügung stehen. Die *Tibia* zeigt, wie auch in früheren Messungen, den geringsten Markhöhlendurchmesser (INGENDAAY, 2009). Aus Abb. 20 (Kapitel 4.2.4) geht hervor, dass über 1/4 aller *Tibi*amarkhöhlendurchmesser unter 3,5 mm liegt. Von allen vorgestellten Patienten waren es 12 Katzen (11,2 %), bei denen eine Verriegelungsnagelung nur mit Aufbohren möglich gewesen wäre. Alle hatten eine *Tibia*fraktur. Hiervon waren 3 Katzen unter 12 Monate alt, bei 2 Patienten war das Alter unbekannt. Da im Bereich des Isthmus die Kortikalis des Knochens am dicksten ist (RADASCH, 1999; INGENDAAY, 2009), erscheint ein Aufbohren der *Tibi*amarkhöhle von insgesamt 1 mm ohne übermäßige Ausdünnung und Schwächung der Kortikalis möglich. Somit hätten alle Patienten einen 3,5 mm VN erhalten können. Im prospektiven Studienteil mussten sogar 50 % (2 von 4 Patienten) der *Tibia*frakturen aufgebohrt werden, um den 3,5 mm Nagel einzuführen. LARIN et al. (2001) bzw. LORINSON et al. (2000) fanden bei der Verwendung von 4,7 mm bzw. 4,0 mm Nägeln aufgrund der Gefahr, den Knochen beim Einbringen zu sprengen, die Einsetzbarkeit von Verriegelungsnägeln stark eingeschränkt. Bei der Verwendung von 3,5 mm Nägeln erwies sich lediglich die *Tibi*amarkhöhlenweite als kritisch. Für diesen Knochen kann eine Versorgung mit 3,0 mm Nägeln sinnvoll sein. Dies gilt besonders bei hochgradigen Weichteilschäden, die an der *Tibia* häufig vorkommen, bei denen der Operateur keine weitere Schädigung der Blutversorgung des Knochens durch das Aufbohren verursachen möchte (WISS u. STETSON, 1995; BRUMBACK, 1996; KRETTEK, 2001a). Vor dem Einsatz derartiger Nägel müssten allerdings biomechanische In-Vitro-Tests eine ausreichende Stabilität so dünner Nägel mit entsprechend kleineren Schrauben nachweisen, um eine niedrige Rate an Implantatversagen zu garantieren.

Die Markhöhlenfüllung betrug bei unseren Patienten durchschnittlich 70,1 % (51,9 - 98,7 %). Somit wurde die Literaturempfehlung von bis zu 70 - 90 % in den meisten Fällen dieser klinischen Studie eingehalten (PIERMATTEI et al., 2006; JOHNSTON et al., 2012). Sprengungen des Knochens durch über 90 % Füllung traten nicht auf. Es konnte nur für den Röntgenscore 8 Wochen postoperativ von Beurteiler 1 eine signifikante Auswirkung der Markhöhlenfüllung nachgewiesen werden. Da bei geringerer Füllung eine höhere Belastung der Nagel-Knochen- und Schrauben-Knochen-Kontaktfläche besteht, kommt es hier eher zu Schraubenverbiegungen und Achsenabweichungen. SUBER und BASINGER (2008) stellten bei unter 65 % Markhöhlenfüllung eine signifikant höhere Instabilität des mit VN versorgten Knochens fest. Auch in der vorliegenden Studie bestand eine Markhöhlenfüllung von weniger als 74 % bei allen Patienten mit einer Abweichung in der Röntgenbeurteilung zur 8-Wochen-Kontrolle außer bei einer Messung von Beurteiler 2. Auch wenn klinisch keine Auswirkung einer geringeren Markhöhlenfüllung nachgewiesen werden konnte, sind die radiologischen Abweichungen als

eine Risikoerhöhung für Komplikationen zu werten. Es sollte daher die Empfehlung von DUELAND et al. (1999), MCLAUGHLIN (1999) und WHEELER et al. (2004b) befolgt werden, durch die Verwendung des größtmöglichen Nagels die größtmögliche Markhöhlenfüllung zu erreichen.

### 5.8.3 *Fragmentlängen*

Betrachtet man die Fragmentlängen der retrospektiven Erhebungen, so zeigt sich, dass *Humerus* und *Tibia* meist im distalen Schaftdrittel brechen. Das *Femur* zeigt am häufigsten Brüche im mittleren Drittel (s. Abb. 21, Kapitel 4.2.5). Somit ist das *Femur* aufgrund seines Bruchverhaltens am besten für einen VN-Einsatz geeignet, da die Fragmente für das Setzen der Schrauben meist ausreichend Platz bieten. Bei *Tibia* und *Humerus* ist das seltener der Fall. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Studie von DUELAND et al. (1999). Auch die einfaktoriellen Varianzanalysen bestätigten, dass die Fragmentlängen vom Knochen abhängig sind. Lediglich für *Humerus* und *Tibia* konnte kein signifikanter Unterschied der proximalen Fragmentlänge nachgewiesen werden. Da beide Knochen häufiger distal brechen, war dieses Ergebnis zu erwarten. Die distalen Fragmente zeigten nur für *Humerus* und *Femur* eine signifikant unterschiedliche Länge.

Das Geschlecht hatte einen Einfluss auf die distalen Fragmentlängen, die bei männlichen Tieren länger waren als bei weiblichen. Da in dieser Arbeit keine Analyse bezüglich einer stattgefundenen Kastration erfolgen konnte, sollte das Bruchverhalten in Abhängigkeit vom Kastrationsstatus Inhalt zukünftiger Studien sein. Auch eine Bestimmung des Hormonspiegels der entsprechenden Tiere und dessen Einfluss auf das Bruchverhalten könnte in diesem Zusammenhang neue Erkenntnisse bringen. Das Alter hatte keinen Einfluss auf die Fragmentlängen. Die Analyse von Patienten im Wachstumsalter war aufgrund des geringen Anteils an der Stichprobe nicht möglich. RADASCH (1999) geht wegen der wesentlich weichereren und strukturell andersartigen Knochen bei Jungtieren von einem anderen Bruchverhalten aus.

### 5.8.4 *Anzahl der Schrauben*

Tabelle 23 zeigt die Verteilung für den Einsatz von 1 oder 2 Schrauben in den jeweiligen Fragmenten der einzelnen Knochen aus dem prospektiven Studienteil. Diese Verteilung zeigt deutliche Unterschiede zu den Ergebnissen der retrospektiven Fragmentlängenmessung. Da nur ein *Humerus* versorgt wurde, ist dies keine repräsentative Stichprobe. Das *Femur* zeigt in 35 % der Fälle distal nur 1 gesetzte Schraube, die *Tibia* in 25 %. Beim *Femur* könnte ein Grund für

den häufigen Einsatz 1 Schraube nur intraoperativ erkennbare Fissuren sein. Diese intraoperativen Befunde bleiben in den retrospektiven Messungen am Röntgenbild unberücksichtigt. Bei der *Tibia* war mit  $n = 4$  die Stichprobe sehr klein. Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass ein Teil der *Tibia*frakturen aufgrund von zu geringer Länge des distalen Fragments oder zu kleinem Markhöhledurchmesser mit einer anderen Methode versorgt wurde, so dass diese Patienten in der prospektiven Studie nicht erfasst werden.

**Tabelle 23:** Anzahl und Prozentanteil der Patienten des prospektiven Studienteils, bei denen der Einsatz von 1 bzw. 2 Schrauben in den jeweiligen Fragmenten der einzelnen Knochen möglich war.

Schraubenzahl	Proximal		Distal	
	2	1	2	1
<i>Humerus</i>	1 (100 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	1 (100 %)
<i>Femur</i>	17 (85 %)	3 (15 %)	13 (65 %)	7 (35 %)
<i>Tibia</i>	3 (75 %)	1 (25 %)	3 (75 %)	1 (25 %)

Eine geringere Schraubenzahl führte zu signifikanten Abweichungen in der Beurteilung der Röntgenergebnisse zu allen Zeitpunkten bei beiden Beurteilern. Laut Literatur sind vor allem verringerte Torsionsstabilität (DUELAND et al., 1996), Achsen- (BONO et al., 2001) und Rotationsfehler (BRUMBACK, 1996; LARIN et al., 2001) bei nur 1 Schraube in einem Fragment zu erwarten, insbesondere wenn kein Nagel-Kortikalis-Kontakt besteht (LARIN et al., 2001). Dies bestätigt sich in den hier vorliegenden Ergebnissen. So bestanden 71,4 % bzw. 40 % der Achsenfehler (Beurteiler 1 bzw. Beurteiler 2), 33,3 % bzw. 75 % der Rotationsfehler, 100 % bzw. 80 % der Implantatsitzfehler und 100 % (beide Beurteiler) der Implantatverbiegungen bei Patienten mit nur 1 Schraube in einem der Hauptfragmente. Auch wenn eine klinische Auswirkung auf das Gesamtergebnis nicht nachgewiesen werden konnte, muss bei Abweichungen in der Knochenachse, Rotationsfehlern, Implantatverbiegungen etc. mit einem erhöhten Risiko für klinische Komplikationen gerechnet werden. Das Ergebnis unterstützt die Empfehlung, wenn möglich, 2 Schrauben einzusetzen (MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003; WHEELER et al., 2004b; REEMS et al., 2006). Aufgrund der fehlenden negativen Auswirkungen auf das klinische Ergebnis und der geringen Komplikationsrate bei der Versorgung mit VN mit nur 1 Schraube in einem Fragment (s. auch Kapitel 5.12; DURALL et al., 1994; DUELAND et al., 1999) muss, wenn nur 1 Schraube proximal und/oder distal gesetzt werden kann, dennoch nicht auf ein anderes Versorgungsverfahren gewechselt werden. Unter Umständen kann durch den Einsatz eines Fix ex Typ 1a mit je 1 Pin proximal und distal für einen Zeitraum von 4 Wochen der höheren Anfangsbelastung entgegengewirkt werden.

Betrachtet man die Auswertung der retrospektiven Daten im Hinblick auf die auf Lager zu haltenden Implantate, so kann, wie bereits aus der Fragmentlängenmessung zu erwarten, der größte Anteil an Frakturen (49,5 % bzw. 67,3 %) mit einem Nagel mit nur 1 proximalen und distalen Loch versorgt werden. Da ein Kürzen sowohl proximal als auch distal in einem Schraubenloch oder sogar darüber hinaus möglich ist (MOSES et al., 2002; DURALL et al., 2003; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005), um eine Versorgung bei sehr kurzen Fragmenten zu ermöglichen, könnte argumentiert werden, dass auf diese Weise ein Sortiment an 4-Loch-Nägeln ausreichend ist. Dieses Vorgehen hat allerdings wesentliche Nachteile gegenüber der Verwendung von Sondernägeln mit nur 3 oder 2 vorgefertigten Löchern. Beim Kürzen des Nagels distal geht die vorliegende Trokarspitze verloren. Dies kann ein Einführen des Nagels, insbesondere die Verankerung im distalen metaphysären spongiösen Knochen, erschweren. Das Kürzen im proximalen Bereich stellt häufig eine große Herausforderung dar, da der Nagel möglichst nicht über die Knochenoberfläche hinausragen sollte (MUIR et al., 1993; DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; DUHAUTOIS, 2003). Wegen der im Einführungsbereich des Nagels befindlichen Weichteile ist ein Abkneifen oder Absägen des Titannagels unmittelbar am Knochen sehr schwierig und mit dem Risiko der Weichteilschädigung und Verbiegung oder Bruch des Nagels verbunden. Da das Kürzen im proximalen Schraubenloch aufgrund der Zielschienenbefestigung am Verbindungsstück erst nach dem Setzen der Schrauben erfolgen kann, ist ein Einschlagen oder weiteres Versenken des Nagels nach der proximalen Kürzung unmöglich. Aus diesen Gründen ist besonders bei Einrichtungen, die ein hohes Aufkommen an Frakturen der langen Röhrenknochen bei Katzen haben, das Bereithalten eines Sortiments an Sondernägeln sinnvoll. Ohne Kürzen und ohne Sondernägel können mit einem Mindestabstand von 5 mm vom Frakturspalt maximal 32,7 % aller Frakturen versorgt werden, so dass dies die Einsatzmöglichkeiten eines VN stark einschränkt. Auch LARIN et al. (2001) verwendeten bei 8 von 12 Patienten 3-Loch-Nägel. Besonders für das *Femur* ermöglicht der Einsatz von Sondernägeln eine Steigerung der versorgbaren Frakturen um über 45 %. Aufgrund der mechanischen Schwäche eines unbesetzten Schraubenloches (Wandstärke < 0,75 mm) sollte vermieden werden, dass ein solches im Frakturbereich liegt (BUCHOLZ et al., 1987; DUELAND et al., 1997; DUHAUTOIS, 2003).

#### 5.8.5 *Zusätzliche frakturstabilisierende Maßnahmen*

In der Literatur werden Verriegelungsnägel häufig durch zusätzliche Implantate augmentiert (DURALL u. DIAZ, 1996; DUELAND et al., 1999; LARIN et al., 2001; MOSES et al., 2002;

SUBER et al., 2002; BASINGER u. SUBER, 2003; DUHAUTOIS, 2003; BASINGER u. SUBER, 2004; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; NANAI u. BASINGER, 2005). Diese Maßnahmen werden wegen der in biomechanischen Studien festgestellten Stabilitätsdefizite (DURALL et al., 2004; SUBER u. BASINGER, 2008) oder klinischer Stabilitätsprobleme beim Hund durchgeführt (SUBER et al., 2002; NANAI u. BASINGER, 2005). Ob, in welchem Maße, bei welchem Frakturtyp, Implantatdurchmesser und welcher Schraubenanzahl eine zusätzliche Stabilisation bei der Katze unabdingbar ist, bleibt offen. In unserer Studie wurden 12 Tiere zusätzlich stabilisiert. 8 Patienten erhielten Fadencerclagen, die im Sinne der biologischen Osteosynthese große Fraktursplinter appositionell an Ort und Stelle halten sollten (REEMS et al., 2003). Hierbei kann nicht von einer mechanisch relevanten, initialen zusätzlichen Stabilisierung der Fraktur gesprochen werden. Das Vorgehen sollte lediglich einen schnelleren Einbau der Splinter in den Kallus ermöglichen. Auffällig war, dass beim Einsatz langsam resorbierbarer Fäden (Polydioxanon) im Verlauf der Heilung bei 4 der 5 zu den Kontrollen erschienenen Patienten deutliche Einschnürungen im Kallus auf den Röntgenkontrollen sichtbar waren (s. Abb. 10 A-D Pfeile, Kapitel 3.2.5). Eine Auswirkung auf die Heilung konnte mit dem vorliegenden Stichprobenumfang nicht untersucht werden.

4 Tiere erhielten aufgrund von Individualentscheidungen des Operators zusätzlich einen Fix ex Typ 1. Da diese Studie einen realitätsnahen Einblick in den klinischen Einsatz des VNs bei der Katze geben sollte, wurden keine Vorgaben über den Einsatz zusätzlicher Implantate gemacht. Auffällig ist, dass beide Katzen mit insgesamt nur 2 Verriegelungsschrauben sowie 2 weitere Tiere mit nur 3 Schrauben einen additiven Fix ex erhielten. Eine war die einzige *Humerusfraktur* des prospektiven Teils, die andere hatte ein unbesetztes Schraubenloch im Bereich der erlittenen Schussfraktur. Diese Stelle war ein Schwachpunkt (BUCHOLZ et al., 1987; DUELAND et al., 1997; HAUSCHILD u. FEHR, 1999; DUHAUTOIS, 2003), vor allem, da es sich um das proximalste der distalen Löcher handelte, bei dem das Bruchrisiko besonders hoch ist (BUCHOLZ et al., 1987; WISS et al., 1991; WU u. SHIH, 1992; DUELAND et al., 1997). Bei dem Patienten mit einem besetzten Schraubenloch im Frakturspalt (distalste Schraube der proximalen) verheilte die Fraktur ohne weiteren Fixateur komplikationslos. Auch DÍAZ-BERTRANA et al. (2005) konnten mit 4,0 bzw. 5,0 mm Nägeln kein Implantatversagen durch im oder nahe dem Frakturspalt gelegene Schraubenlöcher bei der Katze feststellen.

Durch den Einsatz eines zusätzlichen Fix ex werden viele Vorteile, die der VN an sich besitzt (geringer Pflegeaufwand, geringe Infektionsgefahr, keine Implantatentfernung) (CLAUDI u. OEDEKOVEN, 1991; MUIR et al., 1993; DURALL u. DIAZ, 1996; MCLAUGHLIN, 1999; ROE, 2005; DÉJARDIN et al., 2014), aufgehoben (BASINGER u. SUBER, 2004; BEALE,

2004; GOETT et al., 2007). Zudem ist mit 26 % Gesamtkomplikationen beim Fix ex (KÖNNING et al., 2013) die Morbidität relativ hoch.

In der statistischen Auswertung konnte kein Unterschied zwischen den Gruppen mit oder ohne Fix ex bezüglich der Röntgenbeurteilung oder des klinischen Ergebnisses nachgewiesen werden. Dies bedeutet, dass der Fix ex keine negativen Auswirkungen auf diese Parameter ausübte, lässt aber keinen Schluss darüber zu, ob die Frakturen auch ohne zusätzlichen Fixateur komplikationslos geheilt wären. Es zeigten sich keine Hinweise auf Instabilitäten in der Gruppe ohne zusätzlichen Fix ex. Eine randomisierte, verblindete Vergleichsstudie oder eine Studie ohne Fix ex unabhängig von Schraubenzahl und -sitz könnte hierüber Aufschluss geben.

### **5.9 Strahlenbelastung durch Einsatz der Durchleuchtung**

In unserem Haus wird die Durchleuchtung während der Verriegelungsnagelung lediglich als Kontrolle des Schraubensitzes und nicht, wie in der Humanmedizin, als Durchführungshilfe jedes Operationsschrittes verwendet (LEVIN et al., 1987; MÜLLER et al., 1998; GUGALA et al., 2001; WHEELER et al., 2004a). Grundsätzlich verlassen nach dem Setzen der Schrauben alle Personen bis auf den Bediener des C-Bogens den Operationsraum. Somit befindet sich lediglich eine Person im Bereich der Streustrahlung. Diese legt Schutzkleidung an und löst den C-Bogen für ein repräsentatives Standbild aus, das dann vom Operateur begutachtet wird. Befundabhängig wird weiter operiert oder eine erneute Aufnahme gemacht. So werden die Durchleuchtungszeit und die Anzahl der exponierten Personen minimiert sowie der Abstand der durchleuchtenden Person zur Streustrahlenquelle maximiert. Nachteilig ist die geringgradig verlängerte OP-Zeit. Die Hände des Operateurs, in der humanmedizinischen Verriegelungsnagelung der höchsten Strahlendosis ausgesetzt (MEHLMAN u. DIPASQUALE, 1997; MÜLLER et al., 1998; BLATTERT et al., 2004; HAFEZ et al., 2005; AGARWAL, 2011), erhalten so keine Strahlung.

Durch die das Standbild erzeugende Durchleuchtung (Impuls) ergibt sich die sehr kurze durchschnittliche Gesamtdurchleuchtungszeit von 20,7 sek. Die längste betrug 77 sek. Somit liegt dies weit unter den meisten humanmedizinischen Durchleuchtungszeiten (17,2 sek - 14,75 min) für den VN-Einsatz (KEMPF et al., 1985; LEVIN et al., 1987; COETZEE u. VAN DER MERWE, 1992; SANDERS et al., 1993; MÜLLER et al., 1998; GUGALA et al., 2001; WEISE u. SCHWAB, 2001; MADAN u. BLAKEWAY, 2002; BLATTERT et al., 2004; HAFEZ et al., 2005) und andere Frakturversorgungsmethoden unter Durchleuchtung in Human-

und Veterinärmedizin (SANDERS et al., 1993; COOK et al., 1999; SCHANDELMAIER et al., 2002).

Aufgrund der geringen Größe des Objekts (Durchschnittspatientenmasse von 3,97 kg) waren die in dieser Studie verwendeten 53,44 kV und 0,72 mA wesentlich geringer als in der Humanmedizin mit 57 - 103 kV und 1,1 - 6,3 mA (MEHLMAN u. DIPASQUALE, 1997; BLATTERT et al., 2004; HAFEZ et al., 2005). Die hieraus resultierende geringere Streustrahlung (LEVIN et al., 1987) minimiert das Risiko für das Personal weiter. Die Daten hätten noch durch Dosimetermessungen bestätigt werden können. Da allerdings bereits MEHLMAN und DIPASQUALE (1997) in 1,5 m Abstand bei der Durchleuchtung eines menschlichen Beckenmodells für 10 min keine Strahlenbelastung mehr nachweisen konnten, muss davon ausgegangen werden, dass auch bei der sehr kurzen und wenig Streustrahlen produzierenden Durchleuchtung eines Katzenbeins keine Strahlenbelastung im Positionsbereich des Durchleuchters nachzuweisen ist.

Bei Katzen, die versetzte Schrauben aufwiesen, musste länger durchleuchtet werden als bei nicht versetzten Schrauben. Dieser Unterschied war nicht signifikant. Allerdings sind beim Versetzen der Schrauben signifikant mehr Durchleuchtungen notwendig. Dies ergibt sich aus der Korrektur des Schraubensitzes und anschließender erneuter Kontrolle mittels Fluoroskopie.

Wie in der Humanmedizin (HAFEZ et al., 2005; BAUMGARTNER et al., 2015) nimmt die Durchleuchtung an Wichtigkeit in der Kleintierorthopädie stetig zu. Insbesondere die zunehmend minimalinvasiven Operationsmethoden (COOK et al., 1999; LEASURE et al., 2007; HUDSON et al., 2009; BARONCELLI et al., 2012; TOMLINSON, 2012; POZZI et al., 2013) erfordern einen Einsatz der Durchleuchtung während des Implantationsprozesses. Der Operateur wird somit wiederholt Niedrigstrahlendosen ausgesetzt, deren Langzeiteffekte noch nicht ausreichend geklärt sind (HAFEZ et al., 2005; ICRP, 2007; WRIXON, 2008). Zum Zweck des Strahlenschutzes wird von einem linearen Zusammenhang mit einer Erhöhung des Krebsrisikos um 5 % pro Sv ausgegangen (ICRP, 2007; WRIXON, 2008). Eine genaue Bestimmung der Strahlenbelastung für einzelne Eingriffe ist Voraussetzung für eine angemessene Risikobewertung. Schutzmaßnahmen (Schutzkleidung, Abstand zur Strahlenquelle, gepulste Durchleuchtung, Nutzung der Bildspeicherfunktion, regelmäßige Wartung des C-Bogens) (KEMPF et al., 1985; LEVIN et al., 1987; RILEY, 1989; COETZEE u. VAN DER MERWE, 1992; MEHLMAN u. DIPASQUALE, 1997; MÜLLER et al., 1998; HERSCOVICI u. SANDERS, 2000; BLATTERT et al., 2004) und Minimierung des Durchleuchtungseinsatzes, wann immer möglich (ALARA-Prinzip) (MEHLMAN u. DIPASQUALE, 1997; BUSHBERG et al., 2002; SEIBERT, 2008), sind unter allen Umständen anzuwenden, da jede noch so kleine Strahlendosis

ein Risiko beinhaltet (MÜLLER et al., 1998; ICRP, 2007; WRIXON, 2008). Hier bietet die Echtzeitdosimetrie in Zukunft eine Möglichkeit der unmittelbaren Kontrolle über den Erfolg von Schutzmaßnahmen (BAUMGARTNER et al., 2015).

Mit dem oben beschriebenen Vorgehen ist die Verriegelungsnagelung in der Tiermedizin mit einem Minimum an Risiko für das Personal durchführbar und kann somit empfohlen werden. Zudem ist der tiermedizinische VN-Einsatz nicht zwingend an das Vorhandensein eines C-Bogens gebunden (SCOTTI et al., 2007). Die Kontrolle des Schraubensitzes mittels klassischem Röntgen außerhalb des Operationssaals hat allerdings den Nachteil, dass bei fehlerhaftem Schraubensitz eine erneute Desinfektion und Abdeckung sowie ein erneuter Zugang erfolgen muss, bevor Korrekturen vorgenommen werden können. Dies verlängert die Narkosezeit wesentlich.

## **5.10 Klinisches Ergebnis**

### *5.10.1 Unmittelbar postoperativ*

Eine Wundschwellung und geringgradige blutig-seröse Exsudation unmittelbar postoperativ ist bei jedem Eingriff als physiologische Reaktion des Körpers zu bewerten. Keiner der Patienten zeigte Anzeichen für eine Infektion der Operationswunde oder andere Wundheilungsstörungen. Bereits 2 Tage postoperativ belasteten 82,6 % der Tiere die operierte Gliedmaße im Stand und 78,3 % verwendeten sie bei der Fortbewegung. Auch zeigte sich für die Besitzer im Verlauf der ersten 4 Wochen eine abnehmende Lahmheit und abnehmende Schmerzen der operierten Gliedmaße (s. Abb. 14 A-C, Kapitel 4.1.4.2). Teilweise deutliche Unterschiede zwischen der Beurteilung der Besitzer und der klinischen Untersuchung bei der 4-Wochen-Kontrolle können auf der einen Seite durch mangelnde Erfahrung des Besitzers, auf der anderen Seite durch das klinische Umfeld mit einer stressbedingten Veränderung der Körperhaltung (Ducken) und des Gangbildes bei der Katze begründet werden. Dennoch zeigen die Ergebnisse, wie bereits in vorangegangenen Studien, dass der VN die frühe Mobilität des Patienten ermöglicht (DURALL et al., 1993; MUIR et al., 1993; ENDO et al., 1998; HAUSCHILD u. FEHR, 1999; LARIN et al., 2001; MOSES et al., 2002; SCOTTI et al., 2007; WITTE u. SCOTT, 2011) und damit Muskelabbau und Morbidität senkt.

### 5.10.2 Kontrolluntersuchungen

In der 4-Wochen-Kontrolle zeigten lediglich 2 Patienten keine Belastung der Gliedmaße im Stand. Der Patient mit der Relaxation des ipsilateralen *Femur*kopfes und folgender Kontraktur des *M. biceps femoris* hatte zudem eine Lahmheit Grad 4 sowohl nach 4 als auch nach 8 Wochen. Die Fraktur selbst war bei Palpation nicht schmerzhaft, so dass die Ursache für das schlechte klinische Ergebnis vermutlich in dem vorhandenen Multitrauma zu suchen ist. Auch SUBER et al. (2002) konnten beim Hund bei weiteren vorhandenen Verletzungen oder orthopädischen Problemen eine Prädisposition für Komplikationen feststellen. Bei dem Patienten mit der Reizung des *N. ischiadicus* war nicht festzustellen, ob dies von dem ursprünglichen Trauma herrührte oder eine Folge der Operation war, da eine Testung der Propriozeption vor der Operation nicht repräsentativ war. Eine Verletzung des *N. ischiadicus* ist allerdings bei normogradem Einbringen des Nagels unwahrscheinlicher als bei retrogradem (PALMER et al., 1988; DIXON et al., 1994; BEALE, 2004). Da der Nagel nicht über die Knochenoberfläche hinausragte, ist von einer dauerhaften Reizung des Nervs nicht auszugehen (DUELAND et al., 1999; DUHAUTOIS, 2003). Die deutliche klinische Besserung zur 8-Wochen-Kontrolle und ein ungestörtes Laufbild zur Telefonbefragung bestätigt diese Annahme. 14,3 % der Tiere erlangten eine Lahmheitsfreiheit bis zur 4-Wochen-Kontrolle. Zur 8-Wochen-Kontrolle waren es 72,2 %. BEHREND (2007) fand für Osteosynthesen bei Katzen je nach Knochen durchschnittlich eine Lahmheitsfreiheit zwischen 5,1 und 8 Wo.

Die Gelenkbeweglichkeit war nach 8 Wochen bei 83,3 % der Patienten uneingeschränkt. Neben dem Patienten mit der *M. biceps femoris* Kontraktur zeigten 2 weitere Patienten eine Streckhemmung. Eine Muskelatrophie war bei allen Patienten zur 4-Wochen-Kontrolle zu verzeichnen, die nach 8 Wochen bei 3 Patienten bereits nicht mehr nachvollziehbar war. Vergleichszahlen existieren nach Wissen des Autors für die Katze nicht. Ein Vergleich verschiedener Frakturversorgungsmethoden, ggf. in Kombination mit Winkel- und Maßbandmessungen, wären zur Erhebung solcher Vergleichszahlen sinnvoll. Die weitere Entwicklung dieser beiden Parameter wäre interessant. Aufgrund der schlechten Compliance bezüglich des Erscheinens der Besitzer zu den Kontrolluntersuchungen konnte dies in der vorliegenden Erhebung leider nicht festgestellt werden. Von den insgesamt 23 entlassenen Patienten erschienen trotz telefonischer Erinnerung lediglich 18 zur 8-Wochen-Kontrolle (Verlust von annähernd 30 % der Patienten). Als Ursachen für dieses Problem kommen die langen Anfahrtswege zur Universitätsklinik oder die klinische Inapparenz des Patienten für den Besitzer in Frage. Ähnliche Beobachtungen wurden bereits von anderen Autoren gemacht (MOSES et al., 2002; NOLTE et al., 2005). Dies wird unterstützt

durch den Fakt, dass von den 5 nicht erschienenen Besitzern 4 über die Telefonbefragung erreicht werden konnten und 3 von einer vollen und 1 von einer akzeptablen Funktion berichteten.

Bis auf den Patienten mit der *M. biceps femoris* Kontraktur zeigten alle Tiere nach 8 Wochen eine volle oder akzeptable Gliedmaßenfunktion. Dies entspricht 94,5 % der zur Kontrolle erschienenen Patienten und ist als sehr gutes Ergebnis zu werten.

Bei 2 Patienten (10 %) wurde der VN retrograd in das *Femur* eingebracht, ohne dass hieraus im Kontrollzeitraum klinische Probleme entstanden. Auch SCOTTI et al. (2007) konnten bei ausreichender Versenkung des Nagels keine negativen Auswirkungen des retrograden Einbringens feststellen.

### 5.10.3 Langzeitergebnis

Von den telefonisch erreichten Besitzern berichteten 86,7 % von einer vollen und die restlichen 13,3 % von einer akzeptablen Funktion der operierten Gliedmaße ihrer Katze. Somit erwies sich der VN, wie bereits in anderen Erhebungen (DURALL u. DIAZ, 1996; DUELAND et al., 1999; LARIN et al., 2001; BRUNNBERG u. WAIBL, 2002; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; SCOTTI et al., 2007), als adäquate Versorgungsmethode für *Humerus*-, *Femur*- und *Tibia*frakturen. Kein Tier war für die Besitzer in den täglichen Aktivitäten (Springen, Treppensteigen, Körperpflege) eingeschränkt und wie bei LARIN et al. (2001) waren alle Besitzer mit dem Ergebnis zufrieden oder sehr zufrieden. In der Literatur wird, je nach Methode und Knochen, für Osteosynthesen bei der Katze ein gutes bis befriedigendes Ergebnis bei 75,7 - 93 % der Patienten (MEYER-LINDENBERG et al., 1996; BRUNNBERG u. WAIBL, 2002; BRUNNBERG et al., 2003; BEHREND, 2007) bzw. eine komplikationslose Heilung von 88 - 91 % (WENKEL u. KAULFUSS, 2001; LANGLEY-HOBBS et al., 1996) angegeben.

Eine Reoperation der Fraktur war in keinem Fall notwendig. Bei keinem Patienten wurde eine Implantatentfernung durchgeführt. Bis zur Telefonbefragung (6 - 32 Monate p. op.) konnten keine negativen klinischen Auswirkungen hierdurch gefunden werden. Sicherlich ist die Auswahl der richtigen Implantatlänge und der Sitz des Nagels ein entscheidender Faktor, ob die Implantate belassen werden können oder entfernt werden müssen (DURALL u. DIAZ, 1996; DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; DUHAUTOIS, 2003).

Auf die Frage, ob die Besitzer diese Art der Frakturversorgung erneut durchführen lassen würden, kam dies nur für 1 Besitzer aufgrund der Kosten nicht in Frage. Die Verriegelungs-

nagelung ist im Vergleich zur Plattenosteosynthese eine kostengünstigere Versorgungsmethode (BRUNNBERG u. WAIBL, 2002; HARARI, 2002; BRUNNBERG et al., 2003; BEALE, 2004; BRUNNBERG et al., 2005). Noch kostengünstiger können Pins und Drahtcerclagen und, je nach Ausführung, auch ein Fix ex sein (PIERMATTEI et al., 2006; MARTINEZ u. DECAMP, 2012). Beim Fix ex besteht allerdings ein erhöhter Pflegeaufwand und die Gefahr der Infektion an den Pineintrittsstellen sowie die Notwendigkeit der Implantatentfernung unter erneuter Narkose (LARIN et al., 2001; BASINGER u. SUBER, 2004; BEALE, 2004; GOETT et al., 2007, KÖNNING et al., 2013). Zudem kann der Patient mit dem Fix ex hängenbleiben und es hierdurch zur Verbiegung, Abriss oder auch Bruch des Konstrukts oder Abknicken des Knochens kommen.

## **5.11 Röntgenbeurteilung**

### *5.11.1 Inter- und Intraobserververgleich*

Für die Längenmessungen ergab sich eine sehr gute Reproduzierbarkeit zwischen den Beurteilern und für die Wiederholungen der Messungen. Die Abweichungen waren nicht signifikant, so dass bei Festlegung entsprechender Messpunkte und einer adäquaten Eichung am Röntgenlineal bzw. Seitenzeichen mit dem Programm easyIMAGE wiederholbare Längenbestimmungen vorgenommen werden können. Diese Ergebnisse ermöglichen retrospektive Messungen durch nur einen Beurteiler.

Auch die Standardabweichungen, bezogen auf die Tiere, stellten sich mit unter 10 mm als sehr homogen dar. Dies ist vermutlich auf die Überrepräsentation von EKH zurückzuführen. Bei Vorhandensein anderer Rassen (z. B. Maine Coon) hätten sich hier vermutlich wesentlich größere Standardabweichungen ergeben. EKH sind die am häufigsten in der Tierarztpraxis vorgestellten Patienten mit Frakturen (MEYER-LINDENBERG et al., 1996; BEHREND, 2007) und unsere Messung unterstützt, dass beim VN eine relativ geringe Anzahl an verschiedenen Implantaten für die Katze auf Lager gehalten werden muss. Hierdurch senken sich die Kosten für den Tierarzt (BRUNNBERG u. WAIBL, 2002; BRUNNBERG et al., 2003).

Für die Achsenabweichungen, den Implantatsitz und die Heilungsphase ergab sich zu allen Zeitpunkten eine signifikante mittlere bis deutliche Korrelation (Kappa-Koeffizient bzw.  $r_s$  0,57 - 0,82) der Befunde der Beurteiler. Es ist zu erwarten, dass schwerwiegende Veränderungen, z. B. der Achse, eine höhere Korrelation nach sich gezogen hätten. Diese Vermutung bleibt aber aufgrund des Fehlens schwerwiegender Abweichungen bei der vorliegenden Stichprobe unbewiesen. Die Rotation zeigte lediglich zur 4-Wochen-Kontrolle eine signifikante Korrelation. Implantatverbiegungen sowie die Knochenstruktur waren zu keinem Zeitpunkt

miteinander korreliert. Die Rotation ist eine nicht sehr einfach zu beurteilende Abweichung, besonders wenn es sich um Abweichungen unter 5° handelt. Spezielle Röntgen-Projektionen oder CT-Aufnahmen zur genauen Ausmessung hätten den Umfang der vorliegenden Arbeit überschritten. Die Befunde von Beurteiler 1 als erfahrener Radiologe (Resident des ECVDI im letzten Ausbildungsjahr) sind als verlässlicher einzuschätzen als die von Beurteiler 2 (Doktorand). Eine ähnliche Situation ergibt sich bei der subjektiven Einschätzung der Veränderung der Knochendichte. Insbesondere die Nachbearbeitungsmöglichkeiten des digitalen Röntgens können die Beurteilung der Knochendichte erschweren. Eine objektive nicht invasive Knochendichtemessung wäre beispielsweise die quantitative CT (GENANT et al., 1996; GRAMPP u. STEINER, 1998).

Die auffallendsten Unterschiede in der Beurteilung ergaben sich bei der Frage, ob eine Fraktur zur 8-Wochen-Kontrolle geheilt war oder nicht. Während bei der 4-Wochen-Kontrolle noch eine signifikante, deutliche Korrelation bestand (Kappa-Koeffizient 0,77), ist diese bei der 8-Wochen-Kontrolle nicht mehr signifikant. Beurteiler 1 befand 44,4 % als geheilt, Beurteiler 2 77,8 %. Wurde Brückenkallus an mindestens 3 Seiten festgestellt, galt die Fraktur als geheilt (DUELAND et al., 1999; HORSTMAN et al., 2004). Die Abweichungen der beiden Beurteiler kommen zustande, da bei einem sekundären Kallus die Überbrückung des Frakturspalts je nach dessen Größe und Dichte teilweise nicht eindeutig zu beurteilen ist. Zudem muss davon ausgegangen werden, dass der Kliniker bei der Beurteilung eines Röntgenbildes die klinische Heilung im Hinterkopf behält („Kann das Implantat ohne Stabilitätsverlust zum jetzigen Zeitpunkt entfernt werden oder nicht?“) (PIERMATTEI et al., 2006). Für den Radiologen steht hier nicht der nächste therapeutische Schritt, sondern das Bild im Vordergrund. Auch hier ist vom Resident für bildgebende Verfahren eine korrektere Einschätzung zu erwarten als vom Doktoranden. Eine fehlende Einheitlichkeit bei der Heilungsbeurteilung ist auch ein weitverbreitetes Problem in der Humanorthopädie (BHANDARI et al., 2002). Eine weitere Röntgenkontrolle nach 12 Wochen wäre wünschenswert gewesen, da zu diesem Zeitpunkt die von den Beurteilern unterschiedlich bewerteten Fälle zum Großteil geheilt oder deutliche Anzeichen für ein Sistieren der Heilung im Sinne einer Delayed-Union erkennbar gewesen wären.

#### *5.11.2 Abstand der Schrauben zum Frakturspalt*

Für die Kleintiermedizin gilt ein Mindestabstand von 10 - 20 mm der Schrauben vom Frakturspalt als ausreichend, um Nagelbrüchen und Verbiegungen vorzubeugen (DUELAND et al., 1997; MCLAUGHLIN, 1999; DUHAUTOIS, 2003). Eine Studie diesbezüglich speziell für

die Katze existiert nach Wissen des Autors nicht. Im vorliegenden Patientengut konnte kein Einfluss des Abstands zwischen Frakturspalt und benachbarter Schraube auf die Röntgenbeurteilung, das klinische Ergebnis oder den Heilungszeitpunkt nachgewiesen werden. Obwohl bei 36 % der Patienten (n = 9) 1 Schraube näher als 10 mm am Frakturspalt lag, zeigten sich keine Nagelbrüche. Der eine Patient, der eine Nagelverbiegung im fraktur nahen Schraubenloch aufwies (s. Abb. 25 B, Kapitel 5.12.2), hatte einen Schrauben-Fraktur-Abstand von über 10 mm. Bei einem Patienten mit einem Schraubenloch in der Fraktur ergaben sich keine negativen Effekte. Mehrere Gründe kommen für dieses Ergebnis in Frage. In keiner Studie, die sich nur mit der Verriegelungsnagelung bei der Katze beschäftigt, wurde ein Nagelbruch oder eine Nagelverbiegung beschrieben (LARIN et al., 2001; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; SCOTTI et al., 2007). Die Katze scheint im Gegensatz zum Hund seltener von diesen Komplikationen betroffen zu sein. Zudem wurde in der vorliegenden Arbeit eine 4-wöchige Boxenruhe p. op. verschrieben. Dies schont die Implantate vor zu starker Belastung, solange der Kallus noch schwach ist. Die hier verwendeten Implantate aus Titan zeigen außerdem im Vergleich zu Implantatstahl eine höhere Resistenz gegenüber zyklischen Belastungen (KRETTEK, 2001a; BRUNNBERG et al., 2005; PERREN et al., 2005).

In der retrospektiven Erhebung wurden die Abstände von 10 mm bzw. 5 mm bewusst abweichend von der Literaturempfehlung gewählt, da bei einem Abstand von 20 mm die Verwendung des Verriegelungsnagels in einem Großteil der Fälle nicht möglich wäre. So konnten mit einem Abstand von 10 mm vom Frakturspalt maximal 49,5 % aller Frakturen von *Humerus*, *Femur* und *Tibia* mit VN versorgt werden. Bei einem Abstand von nur 5 mm sind es 67,3 % (Indikationserweiterung um 17,8 %). Das Fehlen von Komplikationen und negativen klinischen Effekten eines kleineren Schrauben-Fraktur-Abstands im prospektiven Studienteil unterstützt diese Entscheidung. Auch für Plattenosteosynthesen wird ein Mindestabstand der Schraube von der Fraktur von 4 - 5 mm oder einem Schraubendurchmesser empfohlen (PIERMATTEI et al., 2006).

Eine fundierte Bestimmung des speziell für die Katze notwendigen Abstands von der Fraktur muss mittels biomechanischer Studien am Katzenknochen erfolgen. Da die Katzenpopulation im Hinblick auf Größe und Körpermasse phänotypisch wesentlich homogener ist als die des Hundes, ist zu erwarten, dass eine Empfehlung hier einfacher zu geben ist.

### 5.11.3 Röntgenscores

Je nach Kontrollzeitpunkt und vorgestellter Patientenzahl zeigten sich bei ca. 20 - 26 % der Patienten geringgradige Achsenabweichungen. Rotationsfehler lagen in Form einer geringgradigen Anteversion in 11 - 16 % der Fälle vor. Auf eine Quantifizierung musste aufgrund der Geringgradigkeit der Abweichungen verzichtet werden, da durch eine marginal andere Lagerung mit einer erheblichen Veränderung der Messwerte im klassischen Röntgen zu rechnen ist. Hier wäre eine CT notwendig gewesen, um repräsentative Werte zu erhalten. Die Angaben über klinische Auswirkungen solcher Veränderungen bei der Katze sind sehr vage. Laut PIERMATTEI et al. (2006) werden beim Kleintier Abweichungen in der kranio-kaudalen Ebene gut toleriert, ebenso mittelgradige Varusangulationen, wobei Valgusfehlstellungen zu großen Funktionsstörungen führen. Eine Definition, ab welchem Winkel Probleme zu erwarten sind, fehlt. Andere Autoren gehen verallgemeinernd davon aus, dass eine Angulation bzw. Torsion von bis zu 5° bzw. 10° als akzeptabel gilt (ARON et al., 1995; GAEBLER et al., 2001; BARONCELLI et al., 2012).

Eine Veränderung der Knochendichte kann durch Stoffwechselstörungen oder falsche Fütterung als generalisierte Osteopenie (Hperthyreose, Hypervitaminose A, Hypovitaminose D, alimentärer oder renaler sekundärer Hyperparathyreoidismus) (HAZEWINKEL u WIEGAND, 2003; DENNIS et al., 2010) oder durch eine Inaktivitätsatrophie eintreten (DENNIS et al., 2010). Letzteres wurde bei je 2 Patienten zur 4- und 8-Wochen-Kontrolle beobachtet. Allerdings zeigte sich hier keine Übereinstimmung zwischen den Beurteilern. Eine Veränderung der Knochendichte im Röntgen ist erst ab 30 – 60 % (DENNIS et al., 2010) bzw. 20 - 40 % für den Betrachter wahrnehmbar und ist stark vom Beurteiler abhängig (GRAMPP u. STEINER, 1998). Geringgradige Veränderungen werden durch die geringe Sensitivität (DENNIS et al., 2010) daher leicht übersehen.

Die Röntgenscores lediglich von Beurteiler 1 hatten zu bestimmten Zeitpunkten einen Einfluss auf Lahmheit und klinisches Gesamtergebnis, wobei wie erwartet ein geringerer Score zu einem besseren klinischen Ergebnis führte. Zur 8-Wochen-Kontrolle bestand kein signifikanter Zusammenhang mehr zwischen den klinischen Befunden und dem Röntgenscore in irgendeiner Kontrolle. Langfristig hatten somit geringgradige Veränderungen der Rotation, der Achsen und Implantate keinen Einfluss auf das klinische Ergebnis in dieser Erhebung. Allerdings kamen keine schwerwiegenden Veränderungen vor.

#### 5.11.4 Heilungszeitpunkt

Viele Faktoren beeinflussen die Heilung (Alter, Blutversorgung, systemische Erkrankungen etc.) (RHINELANDER, 1974; CLAES et al., 1998; HAZEWINKEL u. WIEGAND, 2003; LANGLEY-HOBBS, 2003; GRIFFON, 2005; PIERMATTEI et al., 2006; HENRY, 2007; STRUBE et al., 2008; KAYAL et al., 2009; KÖNNING et al., 2013). In der vorliegenden Arbeit konnte lediglich ein Einfluss der modifizierten Whinquist-Hansen-Einteilung auf den Heilungszeitpunkt nachgewiesen werden. Je höher der Zersplitterungsgrad, desto langsamer war die Heilung. Bei einem Hochenergietrauma sind neben einer größeren Zersplitterung des Knochens auch größere Weichteilschäden zu erwarten (HULSE et al., 2005; KÖNNING et al., 2013). Dies betrifft auch die Blutversorgung des Knochens, die für eine Heilung essentiell ist (RHINELANDER, 1974; GRIFFON, 2005; PIERMATTEI et al., 2006; HENRY, 2007). Somit entspricht das Ergebnis den Erwartungen. Abweichend hiervon konnten HORSTMAN u. BEALE (2002) keinen Einfluss des Zersplitterungsgrads auf die Komplikationsrate oder Heilung feststellen.

Für die präoperativen Parameter Körpermasse, Geschlecht, Alter, offene/geschlossene Fraktur, Multitrauma und betroffener Knochen konnte kein signifikanter Einfluss auf die Knochenheilung nachgewiesen werden. In der Literatur sind diese Parameter als Einflussfaktoren beschrieben (LANGLEY-HOBBS, 2003; PIERMATTEI et al., 2006; HENRY, 2007; STRUBE et al., 2008; KÖNNING et al., 2013). Aber auch HORSTMAN u. BEALE (2002) konnten beim VN-Einsatz bei Hund und Katze keinen Einfluss des Alters, Geschlechts, der Körpermasse, des Zersplitterungsgrads oder der Länge der OP auf die Komplikationsrate oder Heilung feststellen. Mögliche Ursache ist, dass der VN für einige Situationen, in denen mit Heilungsstörungen zu rechnen ist, besonders geeignet ist. Durch die Schonung der verbliebenen Weichteile und einen minimalen Zugang zur Fraktur ist mit einer schnelleren Heilung bei offenen Frakturen und an Knochen mit geringem Weichteilmantel (*Tibia*) zu rechnen als bei der herkömmlichen anatomischen Plattenosteosynthese (ARON et al., 1995; DUDLEY et al., 1997; JONSON et al., 1998; LANGLEY-HOBBS, 2003; REEMS et al., 2003; HORSTMAN et al., 2004; GRIFFON, 2005). Wegen der sehr kurzen OP-Zeit unter Schonung der Weichteile (HORSTMAN et al., 2004) mit Verminderung der Austrocknung und Gewebeschädigung durch langanhaltendes Spreizen (VASSEUR et al., 1988), ist der VN besonders für Multitraumapatienten geeignet. Außerdem ist er durch seine zentrale Position im Knochen weniger zyklischen Belastungen, z. B. durch Biegestress, ausgesetzt (MUIR et al., 1995; DUELAND et al., 1996; DUELAND et al., 1997; RADASCH, 1999). So ist er für Tiere mit zu erwartender langsamer Heilung geeignet.

Auch die Zeit vom Trauma bis zur Operation zeigte keinen negativen Effekt auf die Heilung. Der VN ist für die Versorgung von Non-Unions und Reoperationen nach Versagen anderer Methoden etabliert (DUELAND et al., 1999; HORSTMAN u. BEALE, 2002; DUHAUTOIS, 2003). Auch im vorliegenden Datensatz konnte 1 Refraktur nach Entfernung eines Tie-in erfolgreich behandelt werden.

HORSTMAN u. BEALE (2002) fanden keinen Einfluss der VN Größe, Schraubenanzahl oder zusätzlicher Stabilisationsmaßnahmen auf Komplikationen und Heilung bei der Verriegelungsnagelung bei Hund und Katze. Auch in der vorliegenden Studie zeigten biomechanisch wichtige Parameter für den erfolgreichen Einsatz des VN (Abstand der Schrauben zum Fraktursspalt, Markhöhlenfüllung, Anzahl der Schrauben, versetzte Schrauben und zusätzliche Fixation) (DURALL u. DIAZ, 1996; DUELAND et al., 1997; DUELAND et al., 1999; HAUSCHILD u. FEHR, 1999; MCLAUGHLIN, 1999; MOSES et al., 2002; SUBER et al., 2002; BASINGER u. SUBER, 2003; DUHAUTOIS, 2003; BASINGER u. SUBER, 2004; DURALL et al., 2004; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; NANAI u. BASINGER, 2005; SCOTTI et al., 2007; SUBER u. BASINGER, 2008; TING et al., 2009) keine Auswirkungen auf die Heilung. Zu bedenken ist, dass die meisten Studien (biomechanisch und klinisch) am Hund stattgefunden haben. Biomechanische Studien für den VN am Katzenknochen fehlen bis auf eine Vergleichsstudie mit Formgedächtnisimplantaten (INGENDAAY, 2009) nach Wissen des Autors vollständig. Einige Probleme bei der Heilung sind nur bei großwüchsigen Hunden beschrieben (SUBER et al., 2002). Die Katze hat durch ihre geringe Körpermasse und die Form ihrer Knochen bessere Grundvoraussetzungen für eine Osteosynthese mit VN. Die biomechanischen Empfehlungen für den Hund lassen sich jedenfalls nicht ohne weitere Studien auf die Katze übertragen. Dies gilt besonders für den Abstand der Schrauben zum Fraktursspalt (s. Kapitel 5.11.2). Ein weiterer positiver Punkt ist die Verwendung von Titanimplantaten mit ihrem dem Knochen ähnlicheren Elastizitätsverhalten und der höheren Resistenz gegenüber zyklischen Belastungen im Vergleich zu orthopädischem Stahl (RADASCH, 1999; KRETTEK, 2001a; BRUNNBERG et al., 2005; PERREN et al., 2005; BONG et al., 2007; SCOTTI et al., 2007). Die Möglichkeit, auch ohne eine vollständige Markhöhlenfüllung ein kleineres Implantat einzusetzen, schont die Blutversorgung (RHINELANDER, 1968; JOHNSTON et al., 2012). Außerdem wird die Vorratshaltung von Implantaten reduziert. Dies kann zwar geringgradige Achsenfehler (s. Kapitel 5.11.3) bewirken, aber auch diese blieben bei den vorliegenden Patienten ohne Folgen für die erfolgreiche Heilung. Die versetzten Schrauben zeigten keinen Einfluss auf die Heilung, da kein Nagel in dynamischem Modus belassen und der Schraubensitz korrigiert wurde. Beim Setzen nur 1 Schraube pro Hauptfragment zeigte sich, wie schon in früheren klinischen Studien (DURALL

et al., 1994; DUELAND et al., 1999; SCOTTI et al., 2007), kein adverser Effekt. Allerdings ist bei 4 der 10 Patienten mit nur 1 Schraube in mindestens 1 Hauptfragment ein zusätzlicher Fix ex eingesetzt worden. Dies schmälert die Aussagekraft. Durch den Fixateur konnte keine signifikant bessere Heilung nachgewiesen werden.

Um eine Aussage über den Anteil der Geheilten unter Einbezug der nicht zu den Kontrollen erschienenen Patienten treffen zu können, wurde ein Kaplan-Meier-Schätzer durchgeführt. Aufgrund der starken Abweichungen der Heilungsbeurteilungen zwischen Beurteiler 1 und 2 unterscheiden sich die Ergebnisse hier deutlich voneinander. Beurteiler 1 fand einen wesentlich höheren Anteil weiblicher Tiere zur 8-Wochen-Kontrolle geheilt als männliche, während bei Beurteiler 2 das Verhältnis gleich war. Ein hormoneller Einfluss auf die Heilung ist sicherlich denkbar. So ist bei spät kastrierten Kätzinnen eine Form der Osteoporose bekannt (HAZEWINKEL u. WIEGAND, 2003). Zur genaueren Untersuchung ist die Bestimmung des Hormonstatus über die Zeit der Heilung notwendig und kann Inhalt zukünftiger Studien sein. Beide Beurteiler fanden einen höheren Prozentsatz an Frakturen mit Fix ex geheilt als ohne, allerdings ist mit nur 4 Patienten mit Fix ex und einem hohen Standardfehler die Aussagekraft hier eingeschränkt. Beide Beurteiler fanden einen wesentlich höheren Anteil an geheilten Frakturen in der Gruppe der nicht multitraumatisierten Patienten. Dies ist der größte Unterschied innerhalb der erhobenen Daten und deckt sich mit den Erfahrungen anderer Autoren (SUBER et al., 2002), dass vermehrt Komplikationen bei weiteren Verletzungen oder orthopädischen Problemen auftreten. Ein Patientenbesitzer sollte bei einem Tier mit verschiedenen Verletzungen, auch wenn diese nicht lebensbedrohlich sind, auf die Möglichkeit einer langsameren Frakturheilung hingewiesen werden. In der 8-Wochen-Kontrolle fand Beurteiler 1 mehr *Tibia*-frakturen, Beurteiler 2 einen höheren Anteil an *Femur*frakturen geheilt. Wegen des größeren Weichteilmantels und der stärkeren Blutversorgung heilen proximale Frakturen besser (LANGLEY-HOBBS, 2003; HENRY, 2007). Beurteiler 1 fand mit 50 % deutlich mehr Frakturen geheilt, bei denen intraoperativ keine Schraube versetzt wurde, wohingegen Beurteiler 2 geringgradig (7,2 %) mehr Frakturen als geheilt einstufte, die eine versetzte Schraube aufwiesen. Das Ergebnis von Beurteiler 1 ist mit der signifikant erhöhten Operationszeit bei versetzten Schrauben erklärbar, die stärkere Belastung der Weichteile (z. B. durch Austrocknung) (VASSEUR et al., 1988) und damit eine langsamere Heilung nach sich zieht.

Die Heilungszeit für die langen Röhrenknochen bei der Katze wird mit 4 und 16 Wochen angegeben (ENDO et al., 1998; LORINSON et al., 2000; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003). In dieser Studie waren nach 8 Wochen 44,4 % (Beurteiler 1) bzw. 77,8 % (Beurteiler 2) der Frakturen geheilt. Es bleibt offen, ob eine Dynamisierung der Frakturen, die zur 8-Wochen-

Kontrolle noch keine vollständige Heilung zeigten, diese beschleunigt hätte. Tatsache ist, dass keine „major complications“ vorkamen und eine sehr hohe Rate guter bis sehr guter Langzeitergebnisse sowie eine 100 % gute bis sehr gute Besitzerzufriedenheit mit dem vorliegenden System erreicht werden konnten. Hiermit können die Ergebnisse vorangegangener retrospektiver Studien bei der Katze (LARIN et al., 2001; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; SCOTTI et al., 2007) auch prospektiv bestätigt werden. Da eine Bestimmung des Heilungszeitpunkts abhängig vom Kontrollintervall ist (REEMS et al., 2003; HORSTMAN et al., 2004; BARONCELLI et al., 2012; POZZI et al., 2013) und hier nicht bis zur vollständigen Heilung aller Patienten Röntgenkontrollen durchgeführt wurden, ist ein Vergleich mit der Literatur schwierig. In Tabelle 24 werden die Ergebnisse von KÖNNING et al. (2013) für verschiedene Frakturversorgungsmethoden am *Femur* der Katze mit den Ergebnissen dieser Studie verglichen.

**Tabelle 24:** Vergleich der Studie von KÖNNING et al. (2013) für Fix ex, Platte und Plate and Rod mit der vorliegenden Studie bezüglich des Anteils an geheilten Frakturen zu einem Kontrollzeitpunkt und des Anteils an schwerwiegenden Komplikationen (\* Re-Operationen wegen anderer Verletzungen nicht berücksichtigt)

Studie	Versorgungsmethode / Beurteiler	Zeitpunkt	% geheilte Frakturen	Major/catastrophic complications*
KÖNNING et al. (2013)	Fix ex	50 d p. op.	43 %	13 %
	Platte	50 d p. op.	50 %	15 %
	Plate and Rod	50 d p. op.	61 %	9 %
Diese Studie	Beurteiler 1	8 Wo (56 d)	44,4 %	0 %
	Beurteiler 2	8 Wo (56 d)	77,8 %	0 %

## 5.12 Komplikationen

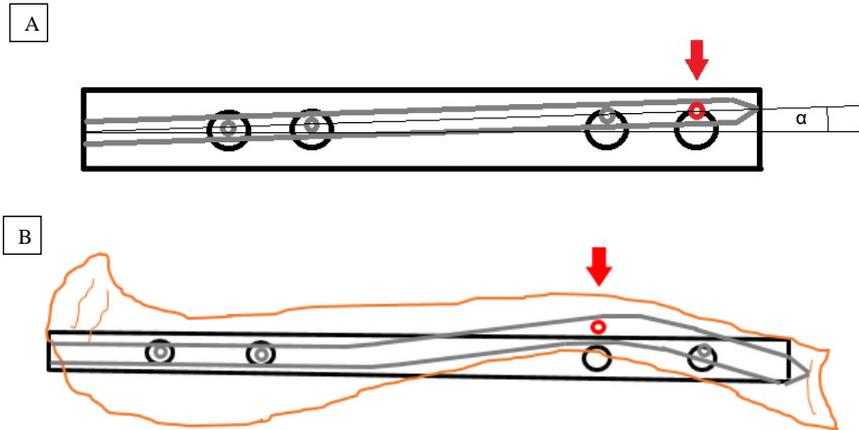
In der vorliegenden Studie bestand die häufigste intraoperative Komplikation im Versetzen von Schrauben, was aber zu keinen nachweisbaren klinischen Auswirkungen führte. Mit keinen „major complications“ bezüglich der eigentlichen Frakturversorgung erwies sich der VN als effektive Versorgungsmethode bei der Katze.

### 5.12.1 Versetzte Schrauben

Bei 52 % der Patienten wurde mindestens 1 Schraube versetzt, insgesamt waren 10,34 % der eingebrachten Schrauben betroffen. Somit ist dies die am häufigsten vorkommende Komplikation und liegt deutlich über den Angaben der Literatur für die Katze (LORINSON et al., 2000; LARIN et al., 2001; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005; SCOTTI et al., 2007). Ursache könnte

sein, dass einige Autoren bereits in der Operation korrigierte Schrauben nicht als versetzt zählen oder dass diese bei retrospektiven Studien aufgrund mangelhafter Dokumentation nicht registriert werden. Dennoch ist der Anteil der Schrauben, die initial nicht durch den Nagel gesetzt wurden, ungewöhnlich hoch. Da es sich hier um 3,5 mm Nägel handelte, ist es möglich, dass Nagelverbiegungen durch die Markhöhle eher auftreten als in anderen Studien mit größeren Nagelstärken (LARIN et al., 2001; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005). Die Verwendung des elastischeren Titans (BRUMBACK, 1996) anstatt orthopädischen Stahls könnte dies begünstigen. Auch ist bei dünneren Nägeln die präformierte Bruchstelle schmaler, somit kann es hier beim Einbringen leichter zu Verbiegungen kommen. Allerdings verwendeten SCOTTI et al. (2007) auch 3,5 mm Titannägel und fanden mit 4,17 % wesentlich weniger versetzte Schrauben. Eine weitere Ursache könnte eine nicht ausreichend feste Verbindung zwischen Zielschiene, Verbindungsstück und Nagel sein (MCLAUGHLIN, 1999; DUHAUTOIS., 2003) oder Ungenauigkeiten innerhalb des verwendeten Systems (Deviation der Zielschiene oder des Nagels aufgrund von Herstellungsfehlern). Ein Abrutschen des Bohrers an der Knochenoberfläche (DURALL et al., 1994; MCLAUGHLIN, 1999) kommt ebenfalls in Frage. Da die aus PEEK bestehende Zielschiene im Verhältnis zu Metallschienen wesentlich leichter und diese bei Katzensystemen relativ kurz ist (längster Nagel 140 mm Nutzlänge), erscheint ein schwerkraftbedingtes Herunterziehen der Schiene (WHATLING u. NOKES, 2006) eine untergeordnete Rolle zu spielen. Zu beobachten war aber ein Ablenken der Schiene aufgrund des umliegenden Gewebes, insbesondere im Bereich des Knies, da hier wenig Platz für Schiene und Verbindungsstück vorhanden ist.

Wie in der Literatur (DURALL et al., 1994; MCLAUGHLIN, 1999; LORINSON et al., 2000; DUHAUTOIS, 2003; DÍAZ-BERTRANA et al., 2005) waren auch in dieser Studie meist die von der Zielschiene am weitesten entfernten Schrauben versetzt (32 %). Ein möglicher Grund ist, dass bei einer geringen Abweichung der Achsen von Nagel und Zielschiene diese die größte Ausprägung im Bereich der Schrauben mit dem größten Abstand zum Verbindungsstück hat (s. Abb. 24 A). Allerdings waren auch bei 20 % der Patienten, die proximale/n oder mittleren Schrauben betroffen. Dies kann auf eine instabile Verbindung zwischen Nagel und Zielschiene hindeuten oder aufgrund einer Verbiegung des Nagels durch die Form der Markhöhle zustande kommen (s. Abb. 24 B).



**Abb. 24 A-B:** Schematische Darstellung der Auswirkung einer geringgradigen Deviation um den Winkel  $\alpha$  (A) bzw. einer Verbiegung des Nagels durch die Form der Markhöhle (B) auf die Treffgenauigkeit der Schrauben (Nagel grau; Zielschiene schwarz; Knochen braun; Position der versetzten Schraube rot und roter Pfeil)

Durch das Vorbohren mit einem dünnen Kirschner Bohrdrath und/oder ein zusätzliches Durchleuchten vor dem Bohren, um eine korrekte Ausrichtung der Zielschiene zu gewährleisten, könnte die Anzahl der Fehlbohrungen verringert werden (KNUDSEN et al., 1991).

In der vorliegenden Untersuchung konnte eine signifikant erhöhte Operationszeit und Anzahl der Durchleuchtungen bei versetzten Schrauben nachgewiesen werden. Auch wenn längere Gesamtdurchleuchtungszeiten für diese Gruppe nicht signifikant waren, so ist doch bei häufigerem Durchleuchten von einer insgesamt höheren Strahlenbelastung für den Bediener des C-Bogens auszugehen.

Keiner der Nägel wurde aufgrund einer versetzten Schraube im dynamischen Modus belassen. Bei 15,4 % ( $n = 2$ ) wurde die versetzte Schraube belassen und eine korrekte daneben gesetzt. Die Patientenzahl ist zu gering für eine statistische Auswertung. Es ist nicht immer möglich, die fehlerhafte Schraube zu belassen, da die Größe des Schraubenkopfes das Setzen der korrekten Schraube verhindern kann. Das Entfernen der Schraube birgt die Gefahr des Bruchs im Bereich der fehlerhaften Bohrung, da hier 3 Schwächungsfaktoren gleichzeitig wirken:

- Schwächung des Knochens durch die Bohrung (KNUDSEN et al., 1991; HAUSCHILD u. FEHR, 1999)

- Schwächung des Nagels durch das in diesem Bereich vorhandene Loch im Nagel (geringeres Flächenträgheitsmoment) (BUCHOLZ et al., 1987; DUELAND et al., 1997; DUELAND et al., 1999; HAUSCHILD u. FEHR, 1999; DUHAUTOIS, 2003)
- Schwächung des Nagels bei der Fehlbohrung durch Streifen des Nagels mit dem Bohrer (BUCHOLZ et al., 1987; WU u. SHIH, 1992)

Trotzdem kamen in unserem Patientengut keine Nagelbrüche und/oder Refrakturen vor. Allen Patienten wurde für die ersten 4 Wochen p. op. absolute Boxenruhe verschrieben, deren Einhaltung allerdings nicht überprüfbar ist. Dieses Vorgehen sollte auf jeden Fall bei Fehlbohrungen als Vorsichtsmaßnahme eingehalten werden.

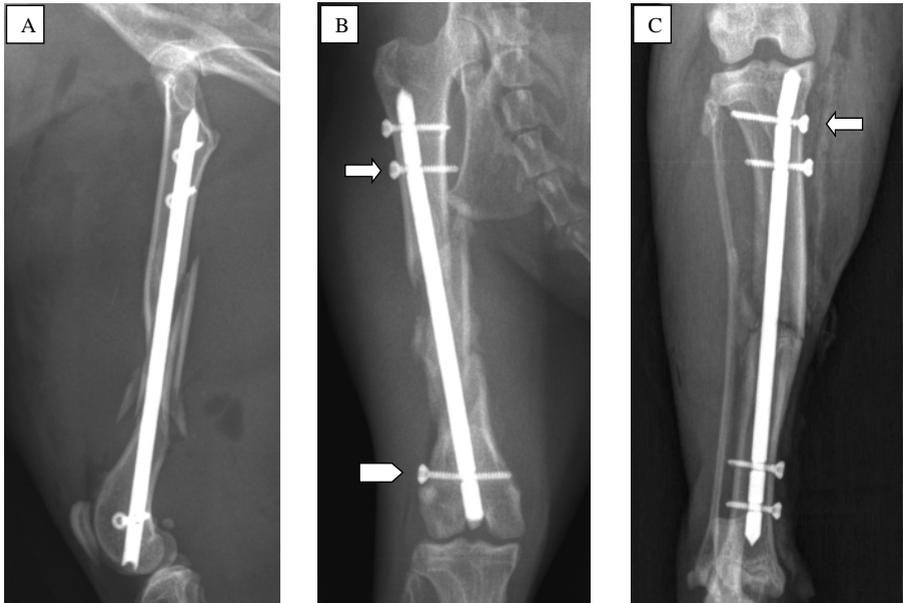
Es konnte zu keinem Zeitpunkt ein Einfluss des Schraubenversatzes auf das klinische Gesamtergebnis und lediglich zur 8-Wochen-Kontrolle bei Beurteiler 1 ein signifikanter Unterschied im Röntgenscore nachgewiesen werden. Durch die Korrektur der versetzten Schrauben waren alle Frakturversorgungen achsen-, rotations- und kompressionsstabil und zeigten keine vermehrten Komplikationen.

#### 5.12.2 Andere intraoperative Komplikationen

Weitere intraoperative Komplikationen bezogen sich auf die Länge des ausgewählten Nagels oder Verkipfung der Hauptfragmente. Trotz geeichter und genau ausgemessener Röntgenbilder der gesunden Gegenseite, kam es zur Auswahl eines falschen Implantats in 5 Fällen. Hier musste ein kürzeres Implantat verwendet werden bzw. ein Schraubenloch unbesetzt bleiben. Dies zeigt, dass neben einer exakten präoperativen Planung eine genaue Beurteilung der intraoperativen Situation und ggf. Anpassung an die vorgefundenen Gegebenheiten notwendig ist.

Eine Verkipfung der Hauptfragmente (Achsenfehler) trat in 7 (Beurteiler 1) bzw. 5 (Beurteiler 2) Fällen ein. Bezogen auf Beurteiler 1 waren 5 *Femora*, 1 *Tibia* und die *Humerus*-fraktur von geringgradigen Achsenabweichungen ( $< 5^\circ$ ) betroffen. 2 der distalen *Femur*frakturen zeigten eine Rekurvatum-Deformation. Sie kam aufgrund der weiten Markhöhle, die in diesem Bereich nicht vom Nagel ausgefüllt wurde, und dem Zug des *M. gastrocnemius* zustande (TORNETTA III u. TIBURZI, 1994; FREEDMAN u. JOHNSON, 1995; BONO et al., 2001) und hatte keine klinischen Auswirkungen. Beim Hund wird beim Einbringen von intramedullären Nägeln eine Überkorrektur in Rekurvatum-Position insbesondere bei distalen Frakturen des gebogenen *Femurs* empfohlen, da dies ein tieferes Einbringen und eine sicherere Verankerung im metaphysären Knochen ermöglicht (MCLAUGHLIN, 1999; WHEELER et al., 2004b). Beim retrograden Einbringen des Nagels ist diese Überkorrektur unumgänglich (s. Abb. 25 A), da bei

einem weiter kranial gelegenen Eintrittspunkt des Nagels die Gefahr einer Schädigung des Gelenkknorpels der *Trochlea ossis femoris* und auch der *Patella* bestünde (SCOTTI et al., 2007).



**Abb. 25 A-C:** A: Postoperatives medio-laterales Röntgenbild nach retrograder Versorgung einer distalen *Femursplitterfraktur* mit nur 1 distalen Schraube, die als Drehzentrum wirken könnte. Die Fraktur zeigt eine Rekurvatumdeformation, die durch den Kontakt des Nagels mit der kranialen Kortikalis begrenzt wird. Zudem ist der Nagel in der distalen Kortikalis verankert, so dass eine 3-Punkt-Fixierung besteht. B: Cranio-kaudales Röntgenbild 4 Wochen p. op. einer retrograd versorgten distalen *Femursplitterfraktur* mit Nagelverbiegung im 2. Schraubenloch von proximal (Pfeil) und Verbiegung der distalen Schraube (Pfeilspitze). C: Postoperatives kraino-kaudales Röntgenbild einer *Tibiadiaphysenfraktur* mit Nagelverbiegung im proximalen Schraubenloch (Pfeil) vermutlich durch das Abbrechen des Verbindungsstücks.

### 5.12.3 Verlängerung/Verkürzung

Eine Längenveränderung bei der Verriegelungsnagelung kann durch eine fehlende oder fehlerhafte Messung der gesunden Gegenseite oder durch die Wahl der falschen Nagellänge erfolgen. Auch ohne Fehlmessungen kann der Operateur gezwungen sein, z. B. durch eine zu enge Markhöhle oder wenn kein Implantat in der benötigten Länge zur Verfügung steht, eine nicht optimale Implantatlänge zu wählen. Die Gefahr der nicht längenkorrekten Reposition ist bei Trümmerbrüchen höher, da die Fragmente im Sinne der biologischen Osteosynthese nicht

aneinandergefügt werden und somit die richtige Länge intraoperativ nicht ersichtlich ist. Ähnlich verhält es sich bei verkürzten Mal- oder Non-Unions.

Die durchschnittliche Verkürzung postoperativ betrug für Beurteiler 1 1,5 mm bzw. für Beurteiler 2 1,0 mm. Diese war zur 4-Wochen-Kontrolle um ca. 1 mm größer als zum postoperativen oder 8-Wochen-Röntgen. Es handelt sich hierbei mit hoher Wahrscheinlichkeit um eine, in dieser Größenordnung nicht klinisch relevante, Auswirkung der schlechteren Röntgenlagerung am wachen, noch schmerzhaften Patienten. Keine Längenveränderung eines Einzelpatienten lag zu diesem Zeitpunkt über 1 cm (s. Tabelle 33, Anhang 9.4).

Das Längenwachstum versiegt bei der Katze mit dem ersten Östrus bzw. der ersten Spermienausschüttung in der Pubertät zwischen 8,5 und 10 Monaten (ROOT et al., 1997). Daher wurden Tiere unter 9 Monaten, um eine Verfälschung der Daten zu verhindern, nicht in die Erfassung der Längenveränderung zu den Kontrolluntersuchungen mit einbezogen. Vom VN ist keine Störung des Längenwachstums zu erwarten, solange keine blockierende Schraube in die Epiphyse gesetzt wird.

Ein signifikanter Einfluss der Knochenlänge auf das klinische Ergebnis lag lediglich für Beurteiler 2 zur 4-Wochen-Kontrolle vor. Wie zu erwarten ist das Ergebnis bei stärkerer Verkürzung schlechter. Vergleichszahlen aus der Literatur für die Katze stehen nach Wissen des Autors nicht zur Verfügung, allerdings wird davon ausgegangen, dass beim Kleintier Gliedmaßenverkürzungen von unter 10 % der ursprünglichen Gliedmaßenlänge zu keinen Funktionsstörungen führen (ROVESTI, 2005b). BASINGER u. SUBER (2004) stellten bei „deutlicher Verkürzung“ ein schlechteres klinisches Gesamtergebnis beim Hund fest.

#### 5.12.4 Postoperative Komplikationen

Es traten keine Komplikationen der Frakturheilung ein, die eine erneute Operation notwendig gemacht hätten. Der Patient mit der Relaxation des *Femur*kopfes benötigte diesbezüglich 2 Reoperationen. Ein Zusammenhang mit der Frakturheilung konnte nicht gefunden werden.

Die 2 Nagelverbiegungen im proximalsten Schraubenloch (s. Abb. 25 C, Kapitel 5.12.2) entstanden vermutlich beim Abbrechen des Verbindungsstücks (DUHAUTOIS, 2003). Um dies zu verhindern, kann die Sollbruchstelle schwächer gestaltet werden. Das birgt allerdings die Gefahr eines frühzeitigen Abbrechens während des Nageleinbringens bzw. des Schraubensetzens. Zudem kann es zur Verbiegung an der Sollbruchstelle kommen, was die Deckungsgleichheit von Zielschiene und Nagel zum Setzen der Schrauben gefährdet. Nagelverbiegungen haben meist keine klinischen Auswirkungen (DUELAND et al., 1999; DUHAUTOIS, 2003) und

werden daher als radiologischer Zufallsbefund erhoben. Auch bei der Nagelverbiegung ab der 4. Woche im distalen der proximalen Schraubenlöcher (s. Abb. 25 B, Kapitel 5.12.2) konnten keine klinischen Folgen gefunden werden. Zu bedenken ist jedoch, dass eine Schwächung des Nagels durch die Biegung vorliegt. Daher ist eine zusätzliche Ruhighaltung zu empfehlen.

In 2 Fällen von Schraubenverbiegungen befanden sich in dem betroffenen Fragment je 2 Schrauben. Auch hier gab es keine klinischen Auswirkungen. Um eine Schraubenverbiegung zu vermeiden, wäre ein größerer Durchmesser notwendig. Da es sich um einen 3,5 mm Nagel handelt, ist eine weitere Vergrößerung des Schraubenaußendurchmessers ohne empfindliche Schwächung des Nagels nicht möglich. Eine Umstellung auf Bolzen könnte Schraubenverbiegungen ggf. verhindern.

Bei 10 Patienten (Beurteiler 1) bzw. 4 Patienten (Beurteiler 2) war die Fraktur zur 8-Wochen-Kontrolle nicht vollständig geheilt. Es kann keine Aussage getroffen werden, ob bei diesen Patienten eine verzögerte Frakturheilung stattfand. Weitere radiologische Kontrolluntersuchungen wären in diesem Zusammenhang wünschenswert gewesen, konnten aber aufgrund der mangelnden Bereitschaft der Besitzer, zu Kontrolluntersuchungen zu erscheinen, nicht durchgeführt werden.

Bei 50 % der mit einem zusätzlichen Fix ex versorgten Patienten kam es zu Exsudation bzw. Infektionen im Bereich der Pineintrittsstellen aufgrund mangelnder Pinpflege. Die an sich geringe Infektionsrate des Verriegelungsnagels wird durch einen zusätzlichen Fix ex gefährdet. Mit Ausnahme des Patienten, der an einer Sepsis nach infizierter Bissfraktur verstarb, zeigten alle Tiere mit offener Fraktur eine Ausheilung der Wunden. Der VN kann aufgrund der geringen Infektionsrate (GAEBLER et al., 2001) bei offenen Frakturen Grad 1 und 2 angewendet werden (MUIR u. JOHNSON, 1996; HORSTMAN u. BEALE, 2002; DUHAUTOIS, 2003; SCOTTI et al., 2007; GATINEAU u. PLANTÉ, 2010). Da in unserem Patientengut keine Grad 3 offene Fraktur vorkam, sind Aussagen über diesen Frakturtyp von uns nicht möglich.

Neurologische Ausfälle wurden bei 2 Patienten beobachtet. Da bei dem Patienten mit der Schussfraktur bereits präoperativ eine Paraparese vorlag und die nicht frakturierte Gliedmaße stärker betroffen war, sind die neurologischen Defizite auf das ursprüngliche Trauma zurückzuführen. Auch bei dem 2. Patienten mit postoperativen Propriozeptionsstörungen ist eine Reizung des *N. ischiadicus* durch das Implantat unwahrscheinlich, da eine Heilung ohne Implantatentfernung erfolgte und der Nagel nicht über die Knochenoberfläche hinausragte. Möglicherweise trat die Irritation im Rahmen des initialen Traumas oder in der Operation auf. Das Einbringen des Nagels von der Fraktur aus prädisponiert für Ischiasverletzungen (PALMER et al., 1988; DIXON et al., 1994; BEALE, 2004), daher wurde in dieser Studie als

Vorsichtsmaßnahme ausschließlich von der latero-kranialen *Fossa trochanterica* aus implantiert. Dennoch ist eine intraoperative Verletzung nicht vollständig auszuschließen.

Eine Quadrizepskontraktur kam in dieser Stichprobe nicht vor. Die Kontraktur des *M. biceps femoris* wurde auf die Relaxation und somit fehlende physiologische Benutzung des operierten Beins zurückgeführt. Da sie bereits im Anfangsstadium erkannt, sonographisch bestätigt und mit intensiver Physiotherapie behandelt wurde, kam es langfristig zu keiner Einschränkung der Aktivitäten des Patienten. Dennoch bestand aufgrund der langen Rekonvaleszenz eine hohe Belastung des Besitzers und des Patienten. Dies hätte ggf. durch eine unmittelbare Behandlung der Relaxation verhindert werden können.

### **5.13 Schlussfolgerung und Ausblick**

Der Verriegelungsnagel bietet für die Versorgung von Frakturen der langen Röhrenknochen mit Ausnahme des *Antebrachiums* ein im Vergleich zur Plattenosteosynthese günstigeres und im Vergleich zum Fix ex wenig pflegebedürftiges Osteosynthesesystem für die Katze. Es ist somit auch bei geringer Besitzer-Compliance geeignet. Die fehlende Notwendigkeit der Implantatentfernung senkt Folge- und Gesamtkosten. Mit der Möglichkeit zur biologischen Osteosynthese und der kurzen Operationszeit eignet es sich besonders für Splitterfrakturen, ermöglicht eine frühe Mobilität und besitzt geringe Komplikationsraten. Die Eignung für Grad 1 und 2 offene Frakturen konnte bestätigt werden. Der Schwachpunkt des getesteten Systems liegt im zielgenauen Setzen der Verriegelungsschrauben. Hier ist eine genaue Ursachenforschung und Behebung des Problems anzuraten. Vor diesem Hintergrund ist ein Einsatz des vorliegenden Systems ohne C-Bogen und nur mit klassischem Röntgen unnötig aufwendig.

Die Durchleuchtung nur zur Kontrolle des Schraubensitzes bei der Katze und nicht, wie in der Humanmedizin, zur Unterstützung jedes Implantationsschritts erwies sich als sehr effektiv bei minimalen Durchleuchtungszeiten und geringer Strahlenbelastung. Insbesondere die vorgenommenen zusätzlichen Strahlenschutzmaßnahmen (Verlassen des OP-Raumes, nur eine Person mit Schutzkleidung und maximalem Abstand zur Strahlenquelle im Raum, maximale Ausnutzung des Bildspeichers, gepulste Durchleuchtung) sind zur Risikominimierung zu empfehlen. Für den zunehmenden Einsatz der Fluoroskopie in der Tiermedizin als Hilfsmittel bei minimalinvasiven orthopädischen Eingriffen ist eine genaue Bestimmung der zu erwartenden Strahlendosen insbesondere für die Hände des Operateurs wünschenswert. Diese ist Grundlage für eine Risikobewertung. Ansätze finden sich bereits in der Richtlinie „Strahlenschutz in der Tierheilkunde“ vom 1.12.2014, in der für entsprechende Fälle die zusätzliche Dosiserfassung für die Hände

gefordert wird (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT, 2014).

Die vorliegende Arbeit wird zum einen durch die niedrige Patientenzahl und zum anderen durch die geringe Motivation der Besitzer für die Kontrolluntersuchungen limitiert. Dennoch handelt es sich nach Wissen des Autors um die erste nur Katzen behandelnde klinisch-prospektive Studie bezüglich des VN. Zukünftige prospektive Studien sollten hier als größer angelegte Multicenter-Studien geplant werden, um größere Fallzahlen und damit auch direkte Vergleiche zu anderen Frakturversorgungsmethoden mit Verblindung zu ermöglichen.

Der retrospektive Anteil dieser Studie sollte die Indikation für die verschiedenen Nagelmodelle und die notwendigen auf Lager zu haltenden Größen erörtern. Er gibt dem Operateur eine Möglichkeit, den Anteil an Patienten, die mit diesem System versorgt werden können, zu schätzen und eine problemorientierte Entscheidung über die Anschaffung eines VN-Systems für die Katze zu treffen. Es zeigt sich aufgrund der radiologischen Auswertung, dass bis zu 67,3 % der vorliegenden Frakturen von *Humerus*, *Femur* und *Tibia* mit einem VN versorgt werden können.

## 6 Zusammenfassung

Das Ziel des prospektiven Teils dieser Studie war die Untersuchung der Anwendbarkeit, der Operationszeiten, des Einsatzes der Durchleuchtung, des Heilungsverlaufs und der Komplikationen bei der Versorgung von *Humerus*-, *Femur*- und *Tibia*frakturen der Katze mit dem MarMed Verriegelungsnagel (VN)-System. 25 Katzen, die im Klinikum der Veterinärmedizin, Klinik für Kleintiere, Chirurgie, der Justus-Liebig-Universität Gießen bzw. in der Tierarztpraxis Dr. Birke und Dr. Michele in Marburg von Januar 2011 bis Juni 2013 mit einem VN versorgt wurden, gingen in die Studie ein. Erhoben wurden prä- und intraoperative sowie Daten aus den klinischen und radiologischen Kontrolluntersuchungen unmittelbar, 4 und 8 Wochen post operationem (p. op.). Besitzer wurden für Kurz- und Langzeiteinschätzungen befragt. Es kamen 80 % *Femur*- und 16 % *Tibia*frakturen vor. Die einzige *Humerus*fraktur wurde statistisch nicht einbezogen. Die Röntgenbeurteilung fand durch 2 Beurteiler unabhängig voneinander statt und wurde zu Röntgenscores zusammengefasst. Zwischen den Beurteilern und den Wiederholungen der Knochenmessungen bestand eine sehr gute Übereinstimmung und die Katzenpopulation war aufgrund des hohen Anteils an Europäisch Kurzhaarkatzen diesbezüglich sehr homogen. Für Achsenabweichungen, Implantatsitz und Heilungsphase zu allen Zeitpunkten sowie für die Rotation und die Heilung 4 Wochen postoperativ konnte eine mittlere bis sehr gute Korrelation zwischen den Beurteilern festgestellt werden. Nicht signifikant korreliert waren die Knochenstruktur, Implantatverbiegungen, die Rotation (p. op. und 8 Wochen p. op.) und die Heilung (8 Wochen p. op.). Unterschiedliche Einschätzung der Frakturheilung sind auch ein weit verbreitetes Problem in der Humanorthopädie (BHANDARI et al., 2002).

Der Einfluss verschiedener Parameter auf Lahmheit, Durchleuchtung, Röntgenscores und/oder klinische Gesamtergebnisse wurde statistisch ausgewertet. Geschlecht, Körpermasse, Topographie, Fraktуреinteilung (Winkvist-Hansen-Schema), Zeit vom Trauma bis zur OP, Schrauben-Fraktur-Abstand und zusätzlicher Fixateur externe (Fix ex) hatten keinen signifikanten Einfluss. Multitraumapatienten zeigten ein signifikant schlechteres klinisches Gesamtergebnis 8 Wochen p. op. Bei versetzten Schrauben wurde festgestellt: ein schlechterer Röntgenscore 8 Wochen p. op. bei Beurteiler 2, signifikant längere Nagelimplantationszeiten und häufigere Durchleuchtungskontrollen. Dies erhöhte das Risiko von Infektionen und die Strahlenbelastung. Der Grad einer offenen Fraktur wirkte sich signifikant auf die Lahmheit 1 und 2 Tage p. op. aus, was mit größeren Weichteilschäden und vermehrtem Wundschmerz erklärbar ist. Langfristig konnten keine negativen Effekte nachgewiesen werden, so dass der VN für die Versorgung offener Frakturen geeignet ist. Die Anzahl der Schrauben beeinflusste die Röntgenscores signifikant,

aber nicht die klinischen Gesamtergebnisse. Bei nur 1 Schraube pro Fragment erhöht sich die Gefahr von Mal-Union, Implantatverbiegung und fehlerhaftem Implantatsitz. Daher sollten, wann immer möglich, 2 Schrauben gesetzt werden. Bei geringerer Markhöhlenfüllung zeigten sich signifikant höhere Röntgenscores 8 Wochen p. op. Lediglich Änderungen der Knochenlänge 4 Wochen p. op. bei Beurteiler 2 hatten ein signifikant schlechteres klinisches Gesamtergebnis zu diesem Zeitpunkt. Der Röntgenscore hatte keinen Einfluss auf die klinischen Gesamtergebnisse nach der 4-Wochen-Kontrolle, allerdings kamen auch keine schwerwiegenden Befunde vor.

In der Humanmedizin werden die Reposition und die Implantation von Nagel und Schrauben unter Durchleuchtungskontrolle durchgeführt. Die Hände des Operateurs befinden sich häufig nahe dem oder verbotenerweise sogar im Zentralstrahl. Der zunehmende Einsatz der mit hoher Strahlenbelastung einhergehenden Durchleuchtung in der Veterinärmedizin macht Untersuchungen dazu und Maßnahmen zu ihrer Reduzierung unabdingbar. Zu diesem Zweck wurde in dieser Studie erfolgreich die Durchleuchtung nur zur Kontrolle des Schraubensitzes nach der Implantation eingesetzt. Alle Personen bis auf den Bediener des C-Bogens verließen den Raum vor der Durchleuchtung. Durchschnittlich wurde 2,5 mal mit einer Gesamtzeit von lediglich 20,7 sek, mit 53,44 kV und 0,722 mA durchleuchtet. Dieses Vorgehen und die geringe Körpergröße des Patienten reduzierten die Streustrahlung, die Anzahl der exponierten Personen sowie die Durchleuchtungszeit und maximierten den Abstand zwischen Röntgenröhre und Personal.

Die Heilungseinschätzung von Beurteiler 1 wurde signifikant durch die Winquist-Hansen-Einstufung beeinflusst. Bei höherem Zersplitterungsgrad liegt auch eine größere Schädigung der Weichteilstrukturen vor und kann Heilungsverzögerungen bedingen. Andere Faktoren, die einen negativen Effekt auf die Heilung haben könnten, zeigten keine signifikante Auswirkung. Mögliche Ursachen sind Schonung der umgebenden Weichteile bei der Verriegelungsnagelung, kurze OP-Zeit (durchschnittlich 60,7 min), Knochengeometrie und geringe Körpermasse der Katze sowie der Einsatz von Titanimplantaten. Aufgrund der geringen Patientenzahl sind diesbezüglich weitere Untersuchungen notwendig. Die häufigste intraoperative Komplikation war das Versetzen von Schrauben bei 52 % der Patienten. Als Ursachen kommen Nageldeviation in der Markhöhle, fehlende Stabilität zwischen Nagel und Zielschiene oder an der Sollbruchstelle und Ablenkungen durch umliegende Weichteile in Frage. Es fanden sich in dieser Studie keine "major complications", Implantatversagen oder Knochenrefrakturen. Kein Implantat musste entfernt werden.

Besitzer zeigten nur mangelnde Bereitschaft, ihre Tiere zu den Kontrolluntersuchungen vorzustellen. Telefonbefragungen von 15 Besitzern für ein Langzeitergebnis wurden durchgeführt und ergaben bei 86,7 % der Patienten eine Lahmheitsfreiheit und bei 100 % der Besitzer eine gute Zufriedenheit mit dem Ergebnis.

Im zweiten, retrospektiven Teil dieser Studie wurden Röntgenbilder von 107 Frakturen von *Humerus* (14,0 %), *Femur* (48,6 %) und *Tibia* (37,4 %) bei Katzen, die in unserem Haus zwischen Januar 2008 und Juni 2013 vorgestellt wurden, ausgemessen. Untersucht werden sollte, wie viele Frakturen mit einem VN unter Berücksichtigung der Schraubenanzahl (1 oder 2 je Fragment) und zwei unterschiedlicher Schrauben-Fraktur-Abstände (10 mm und 5 mm) versorgt werden können und welche Nagellängen benötigt werden. Dazu wurden die Markhöhlen-nutzlänge der gesunden Gegenseite, die Markhöhlenweite an der engsten nicht frakturierten Stelle und die Länge des distalen und proximalen Fragments gemessen. Die *Tibia* war mit 112,79 mm der längste der 3 Röhrenknochen und besaß die engste Markhöhle. Ein Viertel aller *Tibiae* müsste zum Einbringen eines 3,5 mm VN aufgebohrt werden. Mit Ausnahme der distalen Fragmentlänge, die bei männlichen Tieren größer war, wurde kein Messwert durch das Geschlecht beeinflusst. Das Alter zeigte keine signifikante Korrelation mit den Längenmessungen. Tiere, die sich im Wachstum befanden, wurden von der Auswertung ausgeschlossen. *Humerus* und *Tibia* frakturierten meist im distalen, das *Femur* im mittleren Drittel. Die meisten Frakturen konnten mit einem VN zwischen 80 und 120 mm Nutzlänge versorgt werden. Je geringer die Anzahl der Schrauben und der Schrauben-Fraktur-Abstand, um so mehr Osteosynthesen sind mit VN möglich. Eine Reduktion des Schrauben-Fraktur-Abstands von 10 auf 5 mm ermöglicht eine Versorgung von 17,8 % mehr Frakturen. Im prospektiven Teil zeigte sich kein negativer Effekt auf die Heilung oder die Gesamtergebnisse durch einen Schrauben-Fraktur-Abstand von unter 10 mm.

Die Verriegelungsnagelung ist geeignet für die Frakturversorgung von *Humerus*, *Femur* und *Tibia* bei der Katze und ist mit niedriger Komplikationsrate, hoher Erfolgsrate, früher Mobilität des Patienten und hoher Besitzerzufriedenheit verbunden. Die Methode ist kostengünstiger als Plattenosteosynthesen und benötigt einen geringeren Pflegeaufwand als der Fix ex. Das korrekte Setzen der Schrauben stellt den anspruchsvollsten Schritt der VN-Implantation dar. Mit einem entsprechenden Vorgehen besteht eine sehr geringe Strahlenbelastung für das OP-Personal. Bei einem minimalen Schrauben-Fraktur-Abstand von 5 mm können mit einem VN maximal 67,3% der 3 oben genannten Knochen versorgt werden.

## 7 Summary

The purpose of the prospective part of this study was to evaluate the clinical application, durations of surgery and fluoroscopy, radiation exposure, healing, and complications associated with the application of the MarMed Interlocking Nail (ILN) System for *humeral*, *femoral*, and *tibial* fracture repair in cats. 25 cats treated with an ILN at the Department of Veterinary Clinical Sciences, Small Animal Clinic, Surgery, Justus-Liebig-University Gießen (Germany), or at the small animal practice of Dr. Birke and Dr. Michele in Marburg (Germany) between January 2011 and June 2013 were included in this study. Pre- and intra-operative data, clinical and radiological controls immediately after surgery and at 4 and 8 weeks postoperatively, as well as owner assessment of short- and long-term outcomes were analysed. Of the fractures 80 % were *femoral* and 16 % were *tibial*. The single case of *humeral* fracture was excluded from the statistical analysis. Radiological assessment was performed by two independent examiners, and results were summarized as radiological scores. The inter-examiner and intra-examiner agreement of bone measurements was high. The feline population in this study was homogenous with respect to bone size because of a high percentage of European shorthairs. A moderate to very good correlation was observed between the examiners with respect to angular deformity, implant position, and healing phase at all times, as well as to rotation and healing status 4 weeks after surgery. No significant correlation was found for bone structure, implant bending, rotation (immediately and at 8 weeks after surgery), and healing status (at 8 weeks after surgery). The problem of inconsistency between orthopaedic surgeons with respect to fracture healing is a common problem in human medicine (BHANDARI et al., 2002).

A statistical analysis was performed of the influence of different parameters on lameness, fluoroscopy, radiological score, and/or clinical result. Sex, body mass, broken bone, fracture type (Winquist-Hansen classification), time elapsed from trauma until surgery, screw-to-fracture distance, and additional external fixator had no significant effects. Multiple trauma was associated with a significantly worse clinical result 8 weeks after surgery. Misplaced screws were associated with poorer radiological scores for Examiner 2 at week 8, longer times for nail implantation, and higher numbers of fluoroscopic examinations. This increased the risk of infections and radiation exposure. Open fracture grade was significantly associated with worse lameness on days 1 and 2 after surgery, which may result from more severe soft tissue trauma and pain at the surgical site. No negative effect was observed on long-term follow-up; thus, ILN is suitable for the repair of open fractures. The number of screws significantly influenced the radiological score, but not the clinical results. As the use of 1 screw is more likely to cause mal-

union, implant bending, and implant mal-positioning, 2 screws should be used whenever possible. A lack of medullary canal filling was associated with poorer radiological scores at week 8 after surgery. Bone shortening showed a significantly worse clinical result only at week 4 for the measurements of Examiner 2. Radiological scores were not associated with changes in clinical results after the 4-week control examination, but severe radiological changes did not occur.

In human medicine, fluoroscopy is used for fracture reduction, as well as for nail and screw implantation. Surgeons often place their hands close to or, though forbidden, even within the path of the central x-ray beam. The increasing use of fluoroscopy with high radiation exposure in veterinary medicine has made it necessary to investigate radiation exposure risks and device procedures to reduce those risks. For these purposes fluoroscopy was successfully used only to check the screw position after implantation in this study. All operating room personnel, except the person controlling the C-arm, left the room prior to fluoroscopy. On average, we needed 2.5 fluoroscopic examinations for each patient, with a mean duration of only 20.7 seconds at 53.44 kV and 0.722 mA. This procedure and the small size of the object reduced scatter radiation, the number of people exposed to the radiation, and the duration of fluoroscopy and maximised the distance of the personnel from the x-ray beam.

Healing time was influenced only by the Whinquist-Hansen grade in the assessments of Examiner 1. Delayed healing of the more-comminuted fractures might have been caused by greater soft tissue trauma. The other factors described or expected to have a negative effect on healing were not significant. Reasons could be the protection of soft tissues with ILN implantation, short operative time (mean duration 60.7 min), the bone geometry and small body mass of cats, and the use of titanium implants. Owing to the low number of patients in this study, further investigations are necessary. The main intraoperative complication was misplacement of screws in 52 % of the patients. Possible reasons are nail deviations within the medullary cavity, lack of stability between the nail and targeting device, lack of stability of the predetermined breaking point, and deviation because of the surrounding soft tissue. In this study, no major complications, implant failures, or bone fractures occurred, and no implant needed to be removed. Owners showed a low compliance with respect to presenting their animals for control examinations. Long term telephonic follow-up was conducted for 15 cases, and revealed that 86.7 % of the patients had no lameness and 100 % of the owners were well satisfied with the outcomes.

In the second part of the study, which was retrospective in nature, radiographs of 107 fractures of the *humerus* (14.0 %), *femur* (48.6 %), or *tibia* (37.4 %) of cats presented at our clinic between

January 2008 and June 2013 were measured. The number of fractures that could be repaired with an ILN, considering the number of screws (1 or 2 per main fragment) and two different screw-to-fracture distances (10 mm and 5 mm), as well as the nail lengths needed, was of interest. Therefore, the effective length of the medullary cavity of the contralateral bone, medullary canal width at the narrowest unbroken location, and proximal and distal fragment lengths were measured. The *tibia*, with a mean length of 112.79 mm, was the longest of the 3 bones and had the narrowest medullary canal. A quarter of all *tibiae*-medullary canals would have to be reamed for the implantation of a 3.5-mm ILN. The distal fragment length, which was longer in male cats, was the only measurement affected by sex. No significant correlation was found between age and the other measurements. Growing animals were excluded. The *humerus* and *tibia* broke mostly at the distal third, whereas the middle third of the *femur* was the most susceptible to fracture. Most fractures could be repaired with an ILN between 80 and 120 mm long. The lower the number of screws and the shorter screw-to-fracture distance, the more osteosynthesis with ILN were possible. A reduction in screw-to-fracture distance from 10 to 5 mm increased the percentage of treatable fractures by 17.8 %. In our prospective study, screw-to-fracture distance of <10 mm had no adverse effect on outcome or healing.

Interlocking nailing is suitable for fracture repair of the *humerus*, *femur*, and *tibia* in cats. It is associated with a low complication rate, high success rate, early patient mobility, and high owner satisfaction. It is less expensive than plate osteosynthesis and easier to maintain than an external fixator. Correct screw placement has to be considered as the most challenging step of the ILN implantation. If the proper fluoroscopic procedure is executed, the radiation exposure of operating room personnel is small. With a minimum screw-to-fracture distance of 5 mm, the maximum portion of fractures of the 3 bones that can be repaired with an ILN is 67.3 %.

## **8 Literaturverzeichnis**

### **Ackermann H. (2010)**

BiAS. für Windows, Biometrische Analyse von Stichproben  
*Version 9.08., Epsilon-Verlag, Hochheim, Darmstadt*

### **Agarwal A. (2011)**

Radiation risk in orthopedic surgery: ways to protect yourself and the patient  
*Oper-Tech-Sports-Med. 2011; 19: 220-223*

### **Anastopoulos G., Ntagiopoulos P.G., Chissas D., Loupasis G., Asimakopoulos A., Athanaselis E., Megas P. (2008)**

Evaluation of the Stryker S2™ IM Nail Distal Targeting Device for reduction of radiation exposure: a case series study  
*Injury, Int-J-Care-Injured. 2008; 39: 1210-1215*

### **Aper R.L., Litsky A.S., Roe S.C., Johnson K.A. (2003)**

Effect of bone diameter and eccentric loading on fatigue life of cortical screws used with interlocking nails  
*Am-J-Vet-Res. 2003; 64 (5): 569-573*

### **Aron D.N., Johnson A.L., Palmer R.H. (1995)**

Biologic strategies and a balanced concept for repair of highly comminuted long bone fractures  
*Compend-Contin-Educ-Pract-Vet. 1995; 17 (1): 35-49*

### **Baroncelli A.B., Peirone B., Winter M.D., Reese D.J., Pozzi A. (2012)**

Retrospective comparison between minimally invasive plate osteosynthesis and open plating for tibial fractures in dogs  
*Vet-Comp-Orthop-Traumatol. 2012; 25: 410-417*

### **Barrett B., Stiles M., Patterson J. (2012)**

Radiation risks: Critical analysis and commentary  
*Preventive Medicine 2012; 54: 280-282*

**Basinger R. und Suber J. (2003)**

Interlocking nail/external fixator „tie in“: description and application technique of two investigational devices

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol. 2003 (Abstracts of the 30th annual conference Veterinary Orthopedic Society Steamboat, Colorado, USA 23.-28.02.2003): A11*

**Basinger R.R. und Suber J.T. (2004)**

Two techniques for supplementing interlocking nail repair of fractures of the humerus, femur, and tibia: results in 12 dogs and cats

*Vet-Surg. 2004; 33: 673-680*

**Baumgartner R., Libuit K., Ren D., Bakr O., Singh N., Kandemir U., Marmor M., Morshed S. (2015)**

Reduction of radiation exposure from C-arm fluoroscopy during orthopaedic trauma operations with introduction of real-time dosimetry

*J-Orthop-Trauma. 2015; 30 (2): e53-e58*

**Beale B. (2004)**

Orthopedic clinical techniques femur fracture repair

*Clin-Tech-Small-Anim-Pract. 2004; 19: 134-150*

**Behrend A. (2007)**

Biomechanische und klinische Studie zur chirurgischen Frakturversorgung langer Röhrenknochen der Katze

*Vet-Med-Diss., Freie Universität Berlin*

**Bellon J. und Mulon P.-Y. (2011)**

Use of a novel intramedullary nail for femoral fracture repair in calves: 25 cases (2008 - 2009)

*J-Am-Vet-Med-Assoc. 2011; 238: 1490-1496*

**Bernardé A., Diop A., Maurel N., Viguier E. (2001)**

An in vitro biomechanical study of bone plate and interlocking nail in a canine diaphyseal femoral fracture model

*Vet-Surg. 2001; 30: 397-408*

**Bernardé A., Diop A., Maurel N., Vignier E. (2002)**

An in vitro biomechanical comparison between bone plate and interlocking nail  
*Vet-Comp-Orthop-Traumatol.* 2002; 15: 57-66

**Bhandari M., Guyatt G.H., Swiontkowski M.F., Schemitsch E.H. (2000)**

Treatment of open fractures of the shaft of the tibia  
*J-Bone-Joint-Surg.* 2000; 82-B: 62-68

**Bhandari M., Guyatt G.H., Swiontkowski M.F., Tornetta III P., Sprague S.,  
Schemitsch E.H. (2002)**

A lack of consensus in the assessment of fracture healing among orthopaedic surgeons  
*J-Orthop-Trauma.* 2002; 16 (8): 562-566

**Blattert T.R., Fill U.A., Kunz E., Panzer W., Weckbach A., Regulla D.F. (2004)**

Skill dependence of radiation exposure for the orthopaedic surgeon during interlocking  
nailing of long-bone shaft fractures: a clinical study  
*Arch-Orthop-Trauma-Surg.* 2004; 124: 659-664

**Böhm P., Scherer M.A., Früh H.J., Ascherl R., Motzer E. (1995)**

Experimentelle Untersuchungen über die biomechanischen Eigenschaften von Hohl-  
nägeln und Vollnägeln zur verriegelbaren Marknagelung am Hund  
*Biomed-Technik.* 1995; 40 (1-2): 24-28

**Bong M.R., Kummer F.J., Koval K.J., Egol K.A. (2007)**

Intramedullary nailing of the lower extremity: biomechanics and biology  
*J-Am-Acad-Orthop-Surg.* 2007; 15 (2): 97-106

**Bono C.M., Levine R.G., Rao J.P., Behrens F.F. (2001)**

Nonarticular proximal tibia fractures: treatment options and decision making  
*J-Am-Acad-Orthop-Surg.* 2001; 9 (3): 176-186

**Boone E.G., Johnson A.L., Montavon P., Hohn R.B. (1986)**

Fractures of the tibial diaphysis in dogs and cats  
*J-Am-Vet-Med-Assoc.* 1986; 188 (1): 41-45

**Braden T. D., Eicker S.W., Abdinoor D., Prieur W.D. (1995)**

Characteristics of 1000 femur fractures in the dog and cat  
*Vet-Comp-Orthop-Traumatol.* 1995; 8: 203-209

**Brown D.C., Conzemius M.G., Shofer F., Swann H. (1997)**

Epidemiologic evaluation of postoperative wound infections in dogs and cats  
*J-Am-Vet-Med-Assoc.* 1997; 210 (9): 1302-1306

**Brumback R.J., Reilly J.P., Poka A., Lakatos R.P., Bathon G.H., Burgess A.R. (1988a)**

Intramedullary nailing of femoral shaft fractures part I: decision-making errors with interlocking fixation  
*J-Bone-Joint-Surg.* 1988; 70-A (10): 1441-1452

**Brumback R.J., Uwagie-Ero S., Lakatos R.P., Poka A., Bathon G.H., Burgess A.R. (1988b)**

Intramedullary nailing of femoral shaft fractures part II: fracture-healing with static interlocking fixation  
*J-Bone-Joint-Surg.* 1988; 70-A (10): 1453-1462

**Brumback R.J., Ellison Jr. P.S., Poka A., Lakatos R., Bathon G.H., Burgess A.R. (1989)**

Intramedullary nailing of open fractures of the femoral shaft  
*J-Bone-Joint-Surg.* 1989; 71-A (9): 1324-1331

**Brumback R.J. (1996)**

The rationales of interlocking nailing of the femur, tibia, and humerus  
*Clin-Orthop-Rel-Res.* 1996; 324: 292-320

**Brunnberg L. und Waibl H. (2002)**

Versorgung von Humerusfrakturen bei der Katze  
*Kleintierpraxis* 2002; 47 (9): 517-531

**Brunnberg L., Forterre F., Kaiser S., Burger M., Waibl H. (2003)**

Unterschenkelfrakturen bei der Katze  
*Kleintierpraxis* 2003; 48 (1): 9-24

**Brunnberg L., Kienle G., Burger M., Fritsch G., Waibl H. (2005)**

Erfahrungen mit einem universell anwendbaren Verriegelungsnagel bei Femur-,  
Humerus- und Tibiafrakturen

*Kongresspiegel 2005 (51. DGK-DVG Kongress, Berlin 17.-20.11.2005): 12*

**Brunnberg L., Waibl H., Lehmann J. (2014)**

Spezielle Lahmheitsuntersuchung

*In: BRUNNBERG L. (Hrsg.)*

*Lahmheit beim Hund*

*Procane Claudio Brunnberg, Kleinmachnow: 49-85*

**Bucholz R.W., Ross S.E., Lawrence K.L. (1987)**

Fatigue fracture of the interlocking nail in the treatment of fractures of the distal part of  
the femoral shaft

*J-Bone-Joint-Surg. 1987; 69-A (9): 1391-1399*

**Bucholz R.W. und Jones A. (1991)**

Current concepts review: fractures of the shaft of the femur

*J-Bone-Joint-Surg. 1991; 73-A (10):1561-1566*

**Buhl K., du Bois Y.D., Lamadé W., Meeder P.-J. (2000)**

Der lange Gammanagel – Indikationen, Technik und Ergebnisse

*Chirurg 2000; 71: 1107-1114*

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014)**

Strahlenschutz in der Tierheilkunde

*In: BUNDESTIERÄRZTEKAMMER E.V. (2016)*

*www.bundestieraerztekammer.de/downloads/btk/strahlenschutz/Richtlinie\_Strahlenschut  
z.pdf*

*Zuletzt geprüft am 19.02.2016*

**Bushberg J.T., Seibert J.A., Leidholdt Jr. E. M., Boone J.M. (2002)**

Radiation protection

*In: BUSHBERG J.T., SEIBERT J.A., LEIDHOLDT JR.E.M., BOONE J.M. (Hrsg.)*

*The essential physics of medical imaging; 2. Edition*

*Lippincott Williams & Wilkins; Philadelphia: 739-793*

**Butler R.B. und Poelstra K.A. (2008)**

Risks of excessive intraoperative radiation

*Semin-Spine-Surg.* 2008; 20:175-180

**Chandler J.C. und Beale B.S. (2002)**

Feline orthopedics

*Small-Anim-Pract.* 2002; 17 (4): 190-203

**Chou L.B., Cox C.A., Tung J.J., Harris A.H.S., Brooks-Terrell D., Sieh W. (2010)**

Prevalence of cancer in female orthopaedic surgeons in the United States

*J-Bone-Joint-Surg.* 2010; 92-A (1): 240-244

**Chu W., Wang J., Young S.-T., Chu W.C. (2009)**

Reducing radiation exposure in intra-medullary nailing procedures: intra-medullary endo-transilluminating (iMET)

*Injury, Int-J-Care-Injured.* 2009; 40:1084-1087

**Claes L.E., Heigele C.A., Neidlinger-Wilke C., Kaspar D., Seidl W., Margewicius K.J., Augat P. (1998)**

Effects of mechanical factors on the fracture healing process

*Clin-Orthop-Rel-Res.* 1998; 355: 132-147

**Claudi B.F. und Oedekoven G. (1991)**

“Biologische” Osteosynthesen

*Chirurg* 1991; 62 (5): 367-377

**Coetzee J.C. und van der Merwe E.J. (1992)**

Exposure of surgeons-in-training to radiation during intramedullary fixation of femoral shaft fractures

*S-Afr-Med-J.* 1992; 81: 312-314

**Contzen H. (1987)**

Die Entwicklung der Marknagelung und des Verriegelungsnagels

*Akt-Traumatol.* 1987; 17: 250-252

**Cook J.L., Tomlinson J.L., Reed A.L. (1999)**

Fluoroscopically guided closed reduction and internal fixation of fractures of the lateral portion of the humeral condyle: prospective clinical study of the technique and results in ten dogs

*Vet-Surg.* 1999; 28: 315-321

**Court-Brown C.M., Will E., Christie J., McQueen M.M. (1996)**

Reamed or unreamed nailing for closed tibial fractures

*J-Bone-Joint-Surg.* 1996; 78-B (4): 580-583

**Cytel Studio StatXact Vers. 9.0.0 (2010)**

Statistical software for exact nonparametric inference, user manual

*CYTEL Inc., Cambridge, MA 02139, USA*

**Déjardin L.M., Lansdowne J.L., Sinnott M.T., Sidebotham C.G., Haut R.C. (2006)**

In vitro mechanical evaluation of torsional loading in simulated canine tibiae for a novel hourglass-shaped interlocking nail with a self-tapping tapered locking design

*Am-J-Vet-Res.* 2006; 67 (4): 678-685

**Déjardin L.M., Guillou R.P., Ting D., Sinnott M.T., Meyer E., Haut R.C. (2009)**

Effect of bending direction on the mechanical behaviour of interlocking nail systems

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol.* 2009; 22: 264-269

**Déjardin L.M., Cabassu J.B., Guillou R.P., Villwock M., Guiot L.P. Haut R.C. (2014)**

In vivo biomechanical evaluation of a novel angle-stable interlocking nail design in a canine tibial fracture model

*Vet-Surg.* 2014; 43: 271-281

**Dennis R., Kirberger R.M., Barr F., Wrigley R.H. (2010)**

Skeletal system: general

*In: DENNIS R., KIRBERGER R.M., BARR F., WRIGLEY R.H. (Hrsg.)*

*Handbook of Small Animal Radiology and Ultrasound; 2. Edition*

*Churchill Livingstone Elsevier, Edinburgh, London, New York, Oxford, Philadelphia, St. Louis, Sydney, Toronto: 1-37*

**Díaz-Bertrana M.C., Durall I., Puchol J.L., Sánchez A., Franch J. (2005)**

Interlocking nail treatment of long-bone fractures in cats: 33 cases (1995 - 2004)

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol.* 2005; 18: 119-126

**Dixon B.C., Tomlinson J.L., Wagner-Mann C.C. (1994)**

Effects of three intramedullary pinning techniques on proximal pin location and articular damage in the canine tibia

*Vet-Surg.* 1994; 23: 448-455

**Dixon W.J. (1993)**

BMDP statistical software manual, volume 1 and 2

*University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London*

**Dudley M., Johnson A.L., Olmstead M., Smith C.W., Schaeffer D.J., Abbuehl U. (1997)**

Open reduction and bone plate stabilization, compared with closed reduction and external fixation, for treatment of comminuted tibial fractures: 47 cases (1980 - 1995) in dogs

*J-Am-Vet-Med-Assoc.* 1997; 211 (8): 1008-1012

**Dueland R.T., Berglund L., Vanderby R., Chao E.Y.S. (1996)**

Structural properties of interlocking nails, canine femora, and femur-interlocking nail constructs

*Vet-Surg.* 1996; 25 (5): 386-396

**Dueland R.T., Vanderby Jr. R., McCabe R.P. (1997)**

Fatigue study of six and eight mm diameter interlocking nails with screw holes of variable size and number

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol* 1997; 10: 194-199

**Dueland R.T., Johnson K.A., Roe S.C., Engen M.H., Lesser A.S. (1999)**

Interlocking nail treatment of diaphyseal long-bone fractures in dogs

*J-Am-Vet-Med-Assoc.* 1999; 214 (1): 59-66

**Duhautois B. (2003)**

Use of veterinary interlocking nails for diaphyseal fractures in dogs and cats: 121 cases

*Vet-Surg.* 2003; 32: 8-20

**Durall I., Diaz M.C., Morales I. (1993)**

An experimental study of compression of femoral fractures by an interlocking intra-medullary pin

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol.* 1993; 6: 93-99

**Durall I., Diaz M.C., Morales I. (1994)**

Interlocking nail stabilisation of humeral fractures. Initial experience in seven clinical cases

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol.* 1994; 7: 3-8

**Durall I. und Diaz M.C. (1996)**

Early experience with the use of an interlocking nail for the repair of canine femoral shaft fractures

*Vet-Surg.* 1996; 25: 397-406

**Durall I., Díaz-Bertrana M.C., Puchol J.L., Franch J. (2003)**

Radiographic findings related to interlocking nailing: windshield-wiper effect, and locking screw failure

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol.* 2003; 16: 217-222

**Durall I., Falcón C., Díaz-Bertrana C., Franch J. (2004)**

Effects of static fixation and dynamization after interlocking femoral nailing locked with an external fixator: an experimental study in dogs

*Vet-Surg.* 2004; 33: 323-332

**Ebraheim N.A., Sabry F.F., Elgafy H. (2002)**

Intramedullary fibular allograft and nail for treatment of femoral shaft nonunion

*Am-J-Orthop.* 2002; 31 (5): 270-272

**Egol K.A., Kubiak E.N., Fulkerson E., Kummer F.J., Koval K.J. (2004)**

Biomechanics of locked plates and screws

*J-Orthop-Trauma.* 2004; 18 (8): 488-493

**Endo K., Nakamura K., Maeda H., Matsushita T. (1998)**

Interlocking intramedullary nail method for the treatment of femoral and tibial fractures in cats and small dogs

*J-Vet-Med-Sci. 1998; 60 (1): 119-122*

**Eugster S., Schawalder P., Gaschen F., Boerlin P. (2004)**

A prospective study of postoperative surgical site infections in dogs and cats

*Vet-Surg. 2004; 33: 542-550*

**Eveleigh R.J. (1995)**

A review of biomechanical studies of intramedullary nails

*Med-Eng-Phys. 1995; 17 (5); 323-331*

**Faulstich F. (o. J.)**

Flächenträgheitsmoment

*In: FAULSTICH F. (o. J.)*

<http://vergleichsspannung.de/glossar/flaechentraegheitsmoment/>

*Zuletzt geprüft am 20.02.2016*

**Fehr M. (2004)**

Orthopädie

*In: KRAMER M. (Hrsg.)*

*Compendium der allgemeinen Veterinärchirurgie*

*Vet Schlütersche, Hannover: 278-302*

**Finkemeier C.G., Schmidt A.H., Kyle R.F., Templeman D.C., Varecka T. F. (2000)**

A prospective, randomized study of intramedullary nails inserted with and without reaming for the treatment of open and closed fractures of the tibial shaft

*J-Orthop-Trauma. 2000; 14 (3): 187-193*

**Freedman E.L. und Johnson E.E. (1995)**

Radiographic analysis of tibial fracture malalignment following intramedullary nailing

*Clin-Orthop-Rel-Res. 1995; 315: 25-33*

**Friemert B., Claes L., Gerngroß H. (2002)**

Intramedulläre Femurosteosynthese im „Rendezvous-Verfahren“  
*Chirurg* 2002; 73: 592-594

**Gaebler C., Berger U., Schandelmaier P., Greitbauer M., Schauwecker H.H., Applegate B., Zych G., Vécsei V. (2001)**

Rates and odds ratios for complications in closed and open tibial fractures treated with unreamed, small diameter tibial nails: A multicenter analysis of 467 cases  
*J-Orthop-Trauma* 2001; 15 (6): 415-423

**Garlock A.N., Donovan J., LeCronier D.J., Houghtaling J., Burton S., Atkinson P.J. (2012)**

A modified intramedullary nail interlocking design yields improved stability for fatigue cycling in a canine femur fracture model  
*J-Engineering-in-Medicine*. 2012; 226 (6): 469-476

**Gatineau M. und Planté J. (2010)**

Ulnar interlocking intramedullary nail stabilization of a proximal radio-ulnar fracture in a dog  
*Vet-Surg*. 2010; 39: 1025-1029

**Genant H.K., Engelke K., Fuerst T., Glüer C.-C., Grampp S., Harris S.T., Jergas M.,**

**Lang T., Lu Y., Majumdar S., Mathur A., Takada M. (1996)**

Review: noninvasive assessment of bone mineral and structure: state of the art  
*J-Bone-Miner-Res*. 1996; 11 (6): 707-730

**Goett S.D., Sinnott M.T., Ting D., Basinger R.R., Haut R.C., Déjardin L.M. (2007)**

Mechanical comparison of an interlocking nail locked with conventional bolts to extended bolts connected with a type-Ia external skeletal fixator in a tibial fracture model  
*Vet-Surg*. 2007; 36: 279-286

**Goodship A.E. und Kenwright J. (1985)**

The influence of induced micromovement upon the healing of experimental tibial fractures  
*J-Bone-Joint-Surg*. 1985; 67-B (4): 650-655

**Götz J., Klemm K., Schellmann W.D. (1977)**

Osteosynthese infizierter Femurpseudarthrosen mit dem Verriegelungsnagel  
*Arch-orthop-Unfall-Chir.* 1977; 90: 275-284

**Grampp S. und Steiner E. (1998)**

Osteoporose – die Sicht des Radiologen  
*J-Miner-Stoffwechs.* 1998; 5 (3): 26-31

**Griffon D.J., Walter P.A., Wallace L.J. (1994)**

Thoracic injuries in cats with traumatic fractures  
*Vet-Comp-Orthop-Traumatol.* 1994; 7 (3): 10-12

**Griffon D.J. (2005)**

Fracture healing  
*In: JOHNSON A.L., HOULTON J.E.F., VANNINI R. (Hrsg.)  
AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart: 72-97*

**Grouven U., Bender R., Ziegler A., Lange S. (2007)**

Der Kappa-Koeffizient  
*Dtsch-Med-Wochenschr.* 2007; 132: e65-e68

**Gugala Z., Nana A., Lindsey R. W. (2001)**

Tibial intramedullary nail distal interlocking screw placement: comparison of the free-hand versus distally-based targeting device techniques  
*Injury, Int-J-Care-Injured.* 2001; 32: S-D-21-S-D-25

**Haas B. und Unger M. (2001)**

Die gedeckte Marknagelung mit minimaler zusätzlicher Stabilisation zur Behandlung diaphysärer Frakturen bei Hund und Katze  
*Kleintierpraxis* 2001; 46: 561-569

**Hafez M.A., Smith R.M., Matthews S.J., Kalap G., Sherman K.P. (2005)**

Radiation exposure to the hands of orthopaedic surgeons: are we underestimating the risk?  
*Arch-Orthop-Trauma-Surg.* 2005; 125: 330-335

**Harari J. (2002)**

Treatments for feline long bone fractures

*Vet-Clin-Small-Anim. 2002; 32:927-947*

**Harasen G. (2003)**

Common long bone fractures in small animal practice – part 1

*Can-Vet-J. 2003; 44: 333-334*

**Hashemi-Nejad A., Garlick N., Goddard N.J. (1994)**

A simple jig to ease the insertion of distal screws in intramedullary locking nails

*Injury, Int-J-Care-Injured. 1994; 25: 407-408*

**Hauschild G. und Fehr M. (1999)**

Biologische Osteosynthese durch Verriegelungsnagelung beim Hund

*Tierärztl-Prax. 1999; 27 (K): 356-363*

**Hay C.W. und Johnson K.A. (1995)**

Interlocking nail fixation of an opening wedge corrective osteotomy for femoral malunion in a dog

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol. 1995; 8: 218-221*

**Hazewinkel H.A.W. und Wiegand U. (2003)**

Generalisierte Skelettveränderungen

*In: HORZINEK M.C., SCHMIDT V., LUTZ H. (Hrsg.)*

*Krankheiten der Katze; 3. Edition*

*Enke Verlag, Stuttgart: 603-613*

**Heim D., Schlegel U., Perren S.M. (1993)**

Intramedullary pressure in reamed and unreamed nailing of the femur and tibia – an in vitro study in intact, human bones

*Injury, Int-J-Care-Injured. 1993; Suppl. 3: 56-63*

**Henke J., Erhardt W., Haberstroh J. (2012)**

Präanästhetische Untersuchung, Einschätzung der Anästhesiefähigkeit und Dokumentation

*In: ERHARDT W., HENKE J., HABERSTROH J., BAUMGARTNER C., TACKE S. (Hrsg.)*

*Anästhesie und Analgesie beim Klein- und Heimtier mit Exoten, Labortieren, Vögeln, Reptilien, Amphibien und Fischen; 2. Edition*  
*Schattauer, Stuttgart: 291-316*

**Henry G.A. (2007)**

Fracture healing and complications

*In: THRALL D.E. (Hrsg.)*

*Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology; 5. Edition*  
*Saunders Elsevier, St Louis, Missouri: 284-305*

**Herscovici Jr. D. und Sanders R.W. (2000)**

The effects, risks, and guidelines for radiation use in orthopaedic surgery

*Clin-Orhop-Rel-Res. 2000; 375: 126-132*

**Hollamby S., Déjardin L.M., Sikarskie J.G., Haeger J. (2004)**

Tibiotarsal fracture repair in a bald eagle (*Haliaeetus leucocephalus*) using an interlocking nail

*J-Zoo-Wildl-Med. 2004; 35 (1): 77-81*

**Höntzsch D. und Weller S. (1991)**

Die distale Verriegelung von Marknägeln mit transversalen Schrauben oder Bolzen

*Operat-Orthop-Traumatol. 1991; 3 (1): 25-37*

**Horstman C.L. und Beale B.S. (2002)**

Long bone fracture repair using the interlocking nail in a minimally invasive surgical procedure in cats and dogs: 65 cases (1994-2001)

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol. 2002; 15: A6*

**Horstman C.L., Beale B.S., Conzemius M.G., Evans R. (2004)**

Biological osteosynthesis versus traditional anatomic reconstruction of 20 long-bone fractures using an interlocking nail: 1994 - 2001

*Vet-Surg. 2004; 33: 232-237*

**Houlton J.E.F. und Dunning D. (2005)**

Perioperative patient management

*In: JOHNSON A.L., HOULTON J.E.F., VANNINI R. (Hrsg.)*

*AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat*

*Georg Thieme Verlag, Stuttgart: 1-25*

**Hudson C.C., Pozzi A., Lewis D.D. (2009)**

Minimally invasive plate osteosynthesis: applications and techniques in dogs and cats

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol. 2009; 22: 175-182*

**Hudson I. (1989)**

Locking nailing: an aid to distal targetting

*Injury, Int-J-Care-Injured. 1989; 20: 129-130*

**Hulse D., Kerin S., Mertens D. (2005)**

Fractures of the proximal femur

*In: JOHNSON A.L., HOULTON J.E.F., VANNINI R. (Hrsg.)*

*AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat*

*Georg Thieme Verlag, Stuttgart: 272-285*

**Ingendaay C. (2009)**

Intramedulläre Frakturversorgung bei der Katze – Verriegelungsnagel und Form-Gedächtnis-Implantat im biomechanischen Vergleich

*Vet-Med-Diss., Freie Universität Berlin*

**ICRP (2007)**

The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection

*Annals of the ICRP 2007; Publication 103*

**Johnson A.L., Smith C.W., Schaeffer D.J. (1998)**

Fragment reconstruction and bone plate fixation versus bridging plate fixation for treating highly comminuted femoral fractures in dogs: 35 cases (1987 - 1997)

*J-Am-Vet-Med-Assoc.* 1998; 213 (8): 1157-1161

**Johnson A. L. (2013)**

Fundamentals of orthopedic surgery and fracture management

*In: FOSSUM T.W. (Hrsg.)*

*Small Animal Surgery; 4. Edition*

*Elsevier Mosby, St. Louis, Missouri: 1033-1105*

**Johnston S.A., von Pfeil D.J.F., Déjardin L.M., Weh M., Roe S. (2012)**

Internal fracture fixation

*In: TOBIAS K.M. und JOHNSTON S.A. (Hrsg.)*

*Veterinary Surgery Small Animal; Volume one*

*Elsevier Saunders, St. Louis, Missouri: 576-607*

**Kaltenecker G., Wruhs O., Quaicoe S. (1990)**

Lower infection rate after interlocking nailing in open fractures of femur and tibia

*J-Trauma.* 1990; 30 (4): 474-479

**Kaspar K., Schell H., Seebeck P., Thompson M.S., Schütz M., Haas N.P., Duda G.N. (2005)**

Angle stable locking reduces interfragmentary movements and promotes healing after unreamed nailing

*J-Bone-Joint-Surg.* 2005; 87-A (9): 2028-2037

**Kayal R.A., Alblowi J., McKenzie E., Krothapalli N., Silkman L., Gerstenfeld L.,**

**Einhorn T.A., Graves D.T. (2009)**

Diabetes causes the accelerated loss of cartilage during fracture repair which is reversed by insulin treatment

*Bone* 2009; 44: 357-363

**Keating J.F., O'Brien P.J., Blachut P.A., Meek R.N., Broekhuysen H.M. (1997)**

Locking intramedullary nailing with and without reaming for open fractures of the tibial shaft

*J-Bone-Joint-Surg.* 1997; 79-A (3): 334-341

**Kempf I., Grosse A., Beck G. (1985)**

Closed locked intramedullary nailing – its application to comminuted fractures of the femur

*J-Bone-Joint-Surg. 1985; 67-A (5): 709-720*

**Kempf I., Grosse A., Abalo C. (1986)**

Locked intramedullary nailing – its application to femoral and tibial axial, rotational, lengthening, and shortening osteotomies

*Clin-Orthop-Rel-Res. 1985; 212: 165-173*

**Klein M.P.M., Rahn B.A., Frigg R., Kessler S., Perren S.M. (1990)**

Reaming versus non-reaming in medullary nailing: interference with cortical circulation of the canine tibia

*Arch-Orthop-Trauma-Surg. 1990; 109: 314-316*

**Klein P., Opitz M., Schell H., Taylor W.R., Heller M.O., Kassi J.-P., Kandziora F., Duda G.N. (2004)**

Comparison of unreamed nailing and external fixation of tibial diastases – mechanical conditions during healing and biological outcome

*J-Orthop-Res. 2004; 22: 1072-1078*

**Knudsen C.J.M., Grobler G.P., Close R.E.W. (1991)**

Inserting the distal screws in a locked femoral nail

*J-Bone-Joint-Surg. 1991; 73-B: 660-661*

**Koch D. (2005)**

Screws and plates

*In: JOHNSON A.L., HOULTON J.E.F., VANNINI R. (Hrsg.)*

*AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat*

*Georg Thieme Verlag, Stuttgart: 26-51*

**König H.E. und Liebich H.-G. (2001)**

Skelett des Stammes (Skeleton axiale)

*In: KÖNIG H.E. und LIEBICH H.-G. (Hrsg.)*

*Anatomie der Haussäugetiere; 2. Edition*

*Schattauer, Stuttgart: 29-98*

**Könning T., Maarschalkerweerd R.J., Endenburg N., Theyse L.F.H. (2013)**

A comparison between fixation methods of femoral diaphyseal fractures in cats – a retrospective study

*J-Small-Anim-Pract.* 2013; 54 (5): 248-252

**Krettek C., Mannß J., Könemann B., Miclau T., Schandelmaier P., Tscherne H. (1997)**

The deformation of small diameter solid tibial nails with unreamed intramedullary insertion

*J-Biomechanics.* 1997; 30 (4): 391-394

**Krettek C., Könemann B., Farouk O., Miclau T., Kromm A., Tscherne H. (1998a)**

Experimental study of distal interlocking of a solid tibial nail: radiation-independent distal aiming device (DAD) versus freehand technique (FHT)

*J-Orthop-Trauma.* 1998; 12 (6): 373-378

**Krettek C., Mannß J., Miclau T., Schandelmaier P., Linnemann I., Tscherne H. (1998b)**

Deformation of femoral nails with intramedullary insertion

*J-Orthop-Res.* 1998; 16 (5): 572-575

**Krettek C., Stephan C., Schandelmaier P., Richter M., Pape H.C., Miclau T. (1999)**

The use of poller screws as blocking screws in stabilising tibial fractures treated with small diameter intramedullary nails

*J-Bone-Joint-Surg.* 1999; 81-B (6): 963-968

**Krettek C. (2001a)**

Prinzipien der intramedullären Knochenbruchstabilisierung – Teil 1

*Unfallchirurg* 2001; 104: 639-653

**Krettek C. (2001b)**

Prinzipien der intramedullären Knochenbruchstabilisierung – Teil 2: Operationstechnik

*Unfallchirurg* 2001; 104: 748-771

**Küntscher G. (1940)**

Die Marknagelung von Knochenbrüchen

*Klinische Wochenschrift* 1940; 19 (1): 6-10

**Kyle R.F., Schaffhausen J.M., Bechtold J.E. (1991)**

Biomechanical characteristics of interlocking femoral nails in the treatment of complex femoral fractures

*Clin-Orthop-Rel-Res.* 1991; 267: 169-173

**Langley-Hobbs S.J., Carmichael S., McCartney W. (1996)**

Use of external skeletal fixators in the repair of femoral fractures in cats

*J-Small-Anim-Pract.* 1996; 37: 95-101

**Langley-Hobbs S.J. und Friend E. (2002)**

Interlocking nail repair of a fractured femur in a turkey

*Vet-Rec.* 2002; 150: 247-248

**Langley-Hobbs S. (2003)**

Biology and radiological assessment of fracture healing

*In Practice* 2003; 25: 26-35

**Langley-Hobbs S.J. und Straw M. (2005)**

The feline humerus

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol.* 2005; 18: 1-6

**Lansdowne J.L., Sinnott M.T., Déjardin L.M., Ting D., Haut R.C. (2007)**

In vitro mechanical comparison of screwed, bolted, and novel interlocking nail systems to buttress plate fixation in torsion and mediolateral bending

*Vet-Surg.* 2007; 36: 368-377

**Larin A., Eich C.S., Parker R.B., Stubbs W.P. (2001)**

Repair of diaphyseal femoral fractures in cats using interlocking intramedullary nails: 12 cases (1996 - 2000)

*J-Am-Vet-Med-Assoc.* 2001; 219 (8): 1098-1104

**Leasure C.S., Lewis D.D., Sereda C.W., Mattern K.L., Jehn C.T., Wheeler J.L. (2007)**

Limited open reduction and stabilization of sacroiliac fracture-luxations using fluoroscopically assisted placement of a trans-iliosacral rod in five dogs

*Vet-Surg.* 2007; 36: 633-643

**Lentz W. (1990)**

Die Geschichte der Marknagelung

*Chirurg* 1990; 61: 474-480

**Levin P.E., Schoen Jr. R.W., Browner B.D. (1987)**

Radiation exposure to the surgeon during closed interlocking intramedullary nailing

*J-Bone-Joint-Surg.* 1987; 69-A (5): 761-766

**Lillich J.D., Roush J.K., DeBowes R.M., Mills M.J. (1999)**

Interlocking intramedullary nail fixation for a comminuted diaphyseal femoral fracture in an alpaca

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol.* 1999; 12 (2): 41-44

**Lin J., Lin S.-J., Chen P.-Q., Yang S.-H. (2001)**

Stress analysis of the distal locking screws for femoral interlocking nailing

*J-Orthop-Res.* 2001; 19:57-63

**Lorenz R.J. (1996)**

Grundbegriffe der Biometrie; 4. Edition

*Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York*

**Lorinson D., Grösslinger K., Vidoni B. (2000)**

Anwendung des Verriegelungsnagels bei Frakturen langer Röhrenknochen von Hund und Katze

*Wien-Tierärztl-Mschr.* 2000; 87: 278-283

**Madan S. und Blakeway C. (2002)**

Radiation exposure to surgeon and patient in intramedullary nailing of the lower limb

*Injury, Int-J-Care-Injured.* 2002; 33: 723-727

**Maletis G.B. und Bassett G.S. (1993)**

Windshield-wiper loosening: a complication of in situ screw fixation of slipped capital femoral epiphysis

*J-Pediatr-Orthop.* 1993; 13 (5): 607-609

**Martinez S.A. und DeCamp C.E. (2012)**

External skeletal Fixation

*In: TOBIAS K.M. und JOHNSTON S.A. (Hrsg.)*

*Veterinary Surgery Small Animal; Volume one*

*Elsevier Saunders, St. Louis, Missouri: 608-627*

**Mastrangelo G., Fedeli U., Fadda E., Giovanazzi A., Scoizzato L., Saia B. (2005)**

Increased cancer risk among surgeons in an orthopaedic hospital

*Occ-Med. 2005; 55:498-500*

**McCartney W.T. und MacDonald B.J. (2006)**

Incidence of non-union in long bone fractures in 233 cats

*Intern-J-Appl-Res-Vet-Med 2006; 4 (3): 209-212*

**McClure S.R., Watkins J.P., Ashman R.B. (1998)**

In vivo evaluation of intramedullary interlocking nail fixation of transverse femoral osteotomies in foals

*Vet-Surg. 1998; 27: 29-36*

**McLaughlin R. (1999)**

Internal fixation: intramedullary pins, cerclage wires, and interlocking nails

*Vet-Clin-North-Am-Small-Anim-Pract. 1999; 29: 1097-1116*

**Mehlman C. T. und DiPasquale T. G. (1997)**

Radiation exposure to the orthopaedic surgical team during fluoroscopy: „How far away is far enough?“

*J-Orthop-Trauma. 1997; 11 (6): 392-398*

**Meyer-Lindenberg A., Pruß M., Fehr M., Brunnberg L. (1996)**

Stabilisierung von Frakturen der langen Röhrenknochen bei kleinen Hunden und Katzen

*Der Praktische Tierarzt 1996; 77 (11): 987-994*

**Moor B.K., Ehlinger M., Arlettaz Y. (2012)**

Verrouillage distal des clous fémoraux: une analyse mathématique du champ de tir préférentiel

*Rev-Chir-Orthop-Traumatol. 2012; 98: 78*

**Moses P.A., Lewis D.D., Lanz O.I., Stubbs W.P., Cross A.R., Smith K.R. (2002)**

Intramedullary interlocking nail stabilisation of 21 humeral fractures in 19 dogs and one cat

*Aust-Vet-J.* 2002; 80 (6): 336-343

**Muir P., Parker R.B., Goldsmid S.E., Johnson K.A. (1993)**

Interlocking intramedullary nail stabilisation of a diaphyseal tibial fracture

*J-Small-Anim-Pract.* 1993; 34: 26-30

**Muir P. und Johnson K.A. (1995)**

Tibial intercalary allograft incorporation: comparison of fixation with locked intramedullary nail and dynamic compression plate

*J-Orthop-Res.* 1995; 13: 132-137

**Muir P., Johnson K.A., Markel M.D. (1995)**

Area moment of inertia for comparison of implant cross-sectional geometry and bending stiffness

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol.* 1995; 8: 146-152

**Muir P. und Johnson K.A. (1996)**

Interlocking intramedullary nail stabilization of a femoral fracture in a dog with osteomyelitis

*J-Am-Vet-Med-Assoc.* 1996; 209 (7): 1262-1264

**Müller L.P., Suffner J., Wenda K., Mohr W., Rommens P.M. (1998)**

Radiation exposure to the hands and the thyroid of the surgeon during intramedullary nailing

*Injury, Int-J-Care-Injured.* 1998; 29 (6): 461-468

**Nanai B. und Basinger R.R. (2005)**

Use of a new investigational interlocking nail supplement in the repair of comminuted diaphyseal tibial fractures in two dogs

*J-Am-Anim-Hosp-Assoc.* 2005; 41: 203-208

**Nickel R., Schummer A., Wille K.-H., Wilkens H. (2004)**

Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem

*In: FREWEIN J., WILLE K.-H., WILKENS H. (Hrsg.)*

*Lehrbuch der Anatomie der Haustiere; 8. Edition*

*Parey Verlag, Stuttgart: 15-214*

**Nolte D.M., Fusco J.V., Peterson M.E. (2005)**

Incidence of and predisposing factors for nonunion of fractures involving the appendicular skeleton in cats: 18 cases (1998-2002)

*J-Am-Vet-Med-Assoc. 2005; 226 (1): 77-82*

**Nork S.E., Schwartz A.K., Agel J., Holt S.K., Schrick J.L., Winquist R.A. (2005)**

Intramedullary nailing of distal metaphyseal tibial fractures

*J-Bone-Joint-Surg. 2005; 87-A (6): 1213-1221*

**Palmer R.H., Aron D.N., Purinton P.T. (1988)**

Relationship of femoral intramedullary pins to the sciatic nerve and gluteal muscles after retrograde and normograde insertion

*Vet-Surg. 1988; 17 (2): 65-70*

**Palmer R.H. (1999)**

Biological osteosynthesis

*Vet-Clin-North-Am-Small-Anim-Pract. 1999; 29 (5): 1171-1185*

**Perren S.M., Mathys R., Pohler O. (2005)**

Appendix – implants and materials in fracture fixation

*In: JOHNSON A.L., HOULTON J.E.F., VANNINI R. (Hrsg.)*

*AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat*

*Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York: 476-488*

**Piermattei D.L., Flo G.L., DeCamp C.E. (2006)**

Fractures: classification, diagnosis, and treatment

*In: PIERMATTEI D.L., FLO G.L., DECAMP C.E. (Hrsg.)*

*Brinker, Piermattei, and Flo's Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Repair; 4. Edition*

*Saunders Elsevier, St. Louis, Missouri: 25-159*

**Pozzi A., Hudson C.C., Gauthier C.M., Lewis D.D. (2013)**

Retrospective comparison of minimally invasive plate osteosynthesis and open reduction and internal fixation of radius-ulna fractures in dogs

*Vet-Surg. 2013; 42: 19-27*

**Pschyrembel Klinisches Wörterbuch (2002)**

*Walter de Gruyter GmbH&Co.KG, Berlin; 259. Edition*

**Radasch R.M. (1999)**

Biomechanics of bone and fractures

*Vet-Clin-North-Am-Small-Anim-Pract. 1999; 29 (5): 1045-1082*

**Reems M.R., Beale B.S., Hulse D.A. (2003)**

Use of a plate-rod construct and principles of biological osteosynthesis for repair of diaphyseal fractures in dogs and cats: 47 cases (1994 - 2001)

*J-Am-Vet-Med-Assoc. 2003; 223 (3): 330-335*

**Reems M.R., Pluhar G.E., Wheeler D.L. (2006)**

Ex vivo comparison of one versus two distal screws in 8 mm model 11 interlocking nails used to stabilize canine distal femoral fractures

*Vet-Surg. 2006; 35: 161-167*

**Rhineland F.W. (1968)**

The normal microcirculation of diaphyseal cortex and its response to fracture

*J-Bone-Joint-Surg. 1968; 50-A (4): 784-800*

**Rhineland F.W. (1974)**

Tibial blood supply in relation to fracture healing

*Clin-Orthop-Rel-Res. 1974; 105: 34-81*

**Riley S.A. (1989)**

Radiation exposure from fluoroscopy during orthopedic surgical procedures

*Clin-Orthop-Rel-Res. 1989; 248: 257-260*

**Roe S.C. (2005)**

External fixators, pins, nails, and wires

*In: JOHNSON A.L., HOULTON J.E.F., VANNINI R. (Hrsg.)*

*AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat*

*Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York: 52-71*

**Root M.V., Johnston S.D., Olson P.N. (1997)**

The effect of prepuberal and postpuberal gonadectomy on radial physeal closure in male and female domestic cats

*Vet-Rad-Ultrasound 1997; 38 (1): 42-47*

**Rovesti G.L. (2005a)**

Delayed unions

*In: JOHNSON A.L., HOULTON J.E.F., VANNINI R. (Hrsg.)*

*AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat*

*Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York: 394-401*

**Rovesti G.L. (2005b)**

Malunions

*In: JOHNSON A.L., HOULTON J.E.F., VANNINI R. (Hrsg.)*

*AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat*

*Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York: 410-415*

**Russell T.A., Taylor J.C., LaVelle D.G., Beals N.B., Brumfield D.L., Durham A.G. (1991)**

Mechanical characterization of femoral interlocking intramedullary nailing systems

*J-Orthop-Trauma. 1991; 5 (3): 332-340*

**Sachs L. (2003)**

Angewandte Statistik - Anwendung statistischer Methoden

*Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York; 11. Edition*

**Sanders R., Koval K.J., DiPasquale T., Schmelling G., Stenzler S., Ross E. (1993)**

Exposure of the orthopaedic surgeon to radiation

*J-Bone-Joint-Surg. 1993; 75-A (3): 326-330*

**Schandelmaier P., Krettek P., Tscherne H. (1996)**

Biomechanical study of nine different tibia locking nails

*J-Orthop-Trauma. 1996; 10 (1): 37-44*

**Schandelmaier P., Gössling T., Partenheimer A., Krettek C. (2002)**

Distale Femurfrakturen

*Chirurg 2002; 73: 1221-1234*

**Schwarz T., Crawford P.E., Owen M.R., Störk C.K., Thompson H. (2001)**

Fatal pulmonary fat embolism during humeral fracture repair in a cat

*J-Small-Anim-Pract. 2001; 42 (4): 195-198*

**Scott H. (2005)**

Repair of long bone fractures in cats

*In Practice 2005; 27: 390-397*

**Scott H.W. und McLaughlin R. (2007)**

Introduction to feline orthopedic surgery

*In: SCOTT H.W. und MCLAUGHLIN R. (Hrsg.)*

*Feline Orthopedics*

*Manson Publishing, London: 9-16*

**Scotti S., Klein A., Pink J., Hidalgo A., Moissonnier P., Fayolle P. (2007)**

Retrograde placement of a novel 3.5 mm titanium interlocking nail for supracondylar and diaphyseal femoral fractures in cats

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol. 2007; 20: 211-218*

**Seibert J.A. (2008)**

Digital radiography: image quality and radiation dose

*Health-Phys. 2008; 95 (5): 586-598*

**Singer G. (2005)**

Occupational radiation exposure to the surgeon

*J-Am-Acad-Orthop-Surg. 2005; 13: 69-76*

**Skjeldal S. und Backe S. (1987)**

Interlocking medullary nails – radiation doses in distal targeting

*Arch-Orthop-Trauma-Surg.* 1987; 106: 179-181

**Strube P., Sentuerk U., Riha T., Kaspar K., Mueller M., Kasper G., Matziolis G., Duda G.N., Perka C. (2008)**

Influence of age and mechanical stability on bone defect healing: age reverses mechanical effects

*Bone* 2008; 42: 758-764

**Suber J.T., Basinger R.R., Keller W.G. (2002)**

Two unreported modes of interlocking nail failure: breakout and screw bending

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol.* 2002; 15: 228-232

**Suber J. und Basinger R.R. (2008)**

Effect of stack pins on the stiffness of interlocking nails in an unstable osteotomy model

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol.* 2008; 21: 15-20

**Tarr R.R. und Wiss D.A. (1986)**

The mechanics and biology of intramedullary fracture fixation

*Clin-Orthop-Rel-Res.* 1986; 212: 10-17

**Thoresen B.O., Alho A., Ekeland A., Strømsøe K., Follerås G., Haukebø A. (1985)**

Interlocking intramedullary nailing in femoral shaft fractures

*J-Bone-Joint-Surg.* 1985; 67-A: 1313-1320

**Ting D., Cabassu J.B., Guillou R.P., Sinnott M.T., Meyer E.G., Haut R.C., Déjardin L.M. (2009)**

In vitro evaluation of the effect of fracture configuration on the mechanical properties of standard and novel interlocking nail systems in bending

*Vet-Surg.* 2009; 38: 881-887

**Tomlinson J. (2005)**

Fractures of the distal femur

*In: JOHNSON A.L., HOULTON J.E.F., VANNINI R. (Hrsg.)*

*AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat*

*Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York: 296-303*

**Tomlinson J. (2012)**

Minimally invasive repair of sacroiliac luxation in small animals

*Vet-Clin-North-Am-Small-Anim-Pract. 2012; 42 (5): 1069-1077*

**Toombs J.P. (2005)**

Fractures of the radius

*In: JOHNSON A.L., HOULTON J.E.F., VANNINI R. (Hrsg.)*

*AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat*

*Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York: 230-259*

**Tornetta III P. und Tiburzi D. (1994)**

Anterograde interlocked nailing of distal femoral fractures after gunshot wounds

*J-Orthop-Trauma. 1994; 8 (3): 220-227*

**Turner T.M. (2005)**

Fractures of the humerus

*In: JOHNSON A.L., HOULTON J.E.F., VANNINI R. (Hrsg.)*

*AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat*

*Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York: 201-228*

**Unger M., Montavon P.M., Heim U.F.A. (1990)**

Classification of fractures of long bones in the dog and cat: introduction and clinical application

*Vet-Comp-Orthop-Traumatol. 1990; 3: 41-50*

**Vasseur P.B., Levy J., Dowd E., Eliot J. (1988)**

Surgical wound infection rates in dogs and cats – data from a teaching hospital

*Vet-Surg. 1988; 17 (2): 60-64*

**Vécsei V. und Hertz H. (1977)**

Erfahrungen mit der Verriegelungsnagelung  
*Arch-Orthop-Unfall-Chir.* 1977; 89: 191-198

**Vnuk D., Pirkić B., Matičić D., Radišić B., Stejskal M., Babić T., Kreszinger M., Lemo N. (2004)**

Feline high-rise syndrome: 119 cases (1998 - 2001)  
*J-Fel-Med-Surg.* 2004; 6: 305-312

**von Pfeil D.J. F. (2004)**

Biomechanische Vergleichsstudie zwischen Platten-Nagel-Kombinationen und Verriegelungsnagel am Modell der Tibia des Hundes  
*Vet-Med-Diss., Freie Universität Berlin*

**Wade R. und Richardson J. (2001)**

Outcome in fracture healing: a review  
*Injury, Int-J-Care-Injured.* 2001; 32:109-114

**Weisbrode S.E. (2007)**

Bone and joints  
*In: MCGAVIN M.D. und ZACHARY J.F. (Hrsg.)  
Pathologic Basis of Veterinary Disease  
Mosby Elsevier, St Louis, Missouri: 1041-1105*

**Weise K. und Schwab E. (2001)**

Intramedulläre Kraftträger zur Versorgung der per- und subtrochanteren Femurfraktur  
*Chirurg* 2001; 72: 1277-1282

**Wells D.L. und Millsopp S. (2012)**

The ontogenesis of lateralized behavior in the domestic cat, *felis silvestris catus*  
*J-Comp-Psychol.* 2012; 126 (1): 23-30

**Wenkel R. und Kaulfuß K.-H. (2001)**

Frakturen bei Klein- und Heimtieren – Häufigkeiten, Klassifikation und Therapie  
*Kleintierpraxis* 2001; 46: 401-410

**Whatling G.M. und Nokes L.D.M. (2006)**

Literature review of current techniques for the insertion of distal screws into intramedullary locking nails

*Injury, Int-J-Care-Injured. 2006; 37: 109-119*

**Wheeler J.L., Stubbs W.P., Lewis D.D., Cross A.R., Guerin S.R. (2004a)**

Intramedullary interlocking nail fixation in dogs and cats: biomechanics and instrumentation

*Compend-Contin-Educ-Pract-Vet. 2004; 26: 519-528*

**Wheeler J.L., Lewis D.D., Cross A.R., Stubbs W.P., Parker R.B. (2004b)**

Intramedullary interlocking nail fixation in dogs and cats: clinical applications

*Compend-Contin-Educ-Pract-Vet. 2004; 26: 531-544*

**Whitney W.O. und Mehlhaff C.J. (1987)**

High-rise syndrome in cats

*J-Am-Vet-Med-Assoc. 1987; 191 (11): 1399-1403*

**Whittle A.P., Russell T.A., Taylor J.C., Lavelle D.G. (1992)**

Treatment of open fractures of the tibial shaft with the use of interlocking nailing without reaming

*J-Bone-Joint-Surg. 1992; 74-A (8): 1162-1171*

**Winqvist R.A. und Hansen Jr. S.T. (1980)**

Comminuted fractures of the femoral shaft treated by intramedullary nailing

*Orthop-Clin-North-Am. 1980; 11 (3): 633-648*

**Winqvist R.A., Hansen S.T., Clawson D.K. (1984)**

Closed intramedullary nailing of femoral fractures

*J-Bone-Joint-Surg. 1984; 66-A (4): 529-539*

**Winqvist R.A. (1993)**

Locked femoral nailing

*J-Am-Acad-Orthop-Surg. 1993; 1 (2): 95-105*

**Wiss D.A., Brien W.W., Stetson W.B. (1990)**

Interlocked nailing for treatment of segmental fractures of the femur

*J-Bone-Joint-Surg.* 1990; 72-A (5): 724-728

**Wiss D.A., Brien W.W., Becker V. (1991)**

Interlocking nailing for the treatment of femoral fractures due to gunshot wounds

*J-Bone-Joint-Surg.* 1991; 73-A (4): 598-606

**Wiss D.A. und Stetson W.B. (1995)**

Unstable fractures of the tibia treated with a reamed intramedullary interlocking nail

*Clin-Orthop-Rel-Res.* 1995; 315: 56-63

**Witte P.G. und Scott H.W. (2011)**

Treatment of lateral patellar luxation in a dog by femoral opening wedge osteotomy using an interlocking nail

*Vet-Rec.* 2011; 168: 243a

**Wrixon A.D. (2008)**

New ICRP recommendations

*J-Radiol-Prot.* 2008; 28: 161-168

**Wu C.-C. und Shih C.-H. (1992)**

Biomechanical analysis of the mechanism of interlocking nail failure

*Arch-Orthop-Trauma-Surg.* 1992; 111: 268-272

**Zadeh H.G. und Briggs T.W.R. (1997)**

Ionising radiation: are orthopaedic surgeons' offspring at risk?

*Ann-R-Coll-Surg-Engl.* 1997; 79: 214-220



## 9 Anhang

### 9.1 Begriffserklärungen

#### Flächenträgheitsmoment

Das Flächenträgheitsmoment gibt an, welchen Widerstand eine gegebene Querschnittsfläche einer Verformung entgegensetzt. Es wird in  $m^4$  angegeben (FAULSTICH, o. J.). Bei runden Implantaten sind die Biegesteifheit und damit das Flächenträgheitsmoment in der vierten Potenz vom Radius des Implantats abhängig (MUIR et al., 1995; RADASCH, 1999).

### 9.2 Beurteilungs- und Fragebögen

#### Röntgenbeurteilungsbogen:

Besitzer:	Tier:	easyvet nr.	
<b><u>Formular zur Röntgenbeurteilung</u></b>			
Beurteiler (1=Dr. Amort, 2=Fiedler): .....			
Länge der gesunden Gegenseite*: .....			
Kriterium	unmittelbar p. op.	4 Wo p. op	8 Wo p. op.
<b>Allignement/Länge [mm]</b>			
<b>Achse</b>			
<b>Rotation</b>			
<b>Implantatsitz</b>			
<b>Implantatlockerung (Anzahl)</b>			
<b>Implantatlockerung (Ausmaß)</b>			
<b>Implantatbrüche/- verbiegungen</b>			
<b>Knochenstruktur/-dichte</b>			
<b>Frakturheilungsphasen</b>			
<b>Fraktur geheilt</b>			

\* Markhöhlelennutzlänge, die für die Nagelimplantation zur Verfügung steht

Allignement/Länge: unverändert = 0, verkürzt = -x, verlängert = +x [mm]

Achsenabweichung: nein = 0, ja = 1

Rotation: keine = 0, Anteversion = 1, Retroversion = 2 (ggf. Ausmaß: geringgradig =  $<5^\circ$ , mittelgradig =  $>5^\circ$ , hochgradig =  $>10^\circ$ )

Implantatsitz: unverändert = 0, geringgradig verändert (nur Schrauben, auch versetzte) = 1; hochgradig verändert (Nagel) = 2)

Implantatlockerung: Anzahl der gelockerten Implantate

Implantatlockerung: Ausmaß [mm]

Implantatbrüche: nein = 0, Schraube = 1, Nagel = 2

Knochenstruktur/-dichte im Vergleich zur Voruntersuchung: unverändert = 0, vermindert = 1

Frakturheilungsphase (s. Kapitel 2.3.3.2)

Fraktur geheilt: an 3 Seiten der Fraktur Brückenkallus sichtbar: nein = 0, ja = 1

**Beurteilungsbogen für Besitzer**

Besitzer:

Tier:

**Beurteilungsbogen für den Patientenbesitzer**

Sehr geehrte/r Katzenbesitzer/in,  
der Knochenbruch Ihrer Katze wurde mittels Verriegelungsnagel versorgt. Um unsere OP-Methoden beurteilen und verbessern zu können, unterziehen wir sie ständig einer kritischen Prüfung. Da Sie am besten das Wohlbefinden Ihres Tieres beurteilen können, bitten wir Sie, uns hierbei zu helfen. Bitte füllen Sie den folgenden Fragebogen 1x wöchentlich, möglichst immer am selben Wochentag nach genauer Beobachtung Ihrer Katze aus und bringen ihn zur Kontrolluntersuchung 4 Wochen nach der OP wieder mit.

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

**1. Woche nach der OP**

Meine Katze belastet das verletzte Bein, wenn sie steht:  ja  nein

Wenn meine Katze läuft, wird das verletzte Bein...

- ... immer hochgehalten.
- ... aufgetippt.
- ... immer aufgesetzt, aber ein deutliches Hinken ist sichtbar.
- ... immer aufgesetzt, aber ab und zu ist ein Hinken sichtbar.
- ... vollständig belastet. Es ist kein Hinken sichtbar.

Das verletzte Bein schmerzt meine Katze noch:

- sehr  mittel  wenig  gar nicht

**2. Woche nach der OP**

Meine Katze belastet das verletzte Bein, wenn sie steht:  ja  nein

.....

**3. Woche nach der OP**

.....

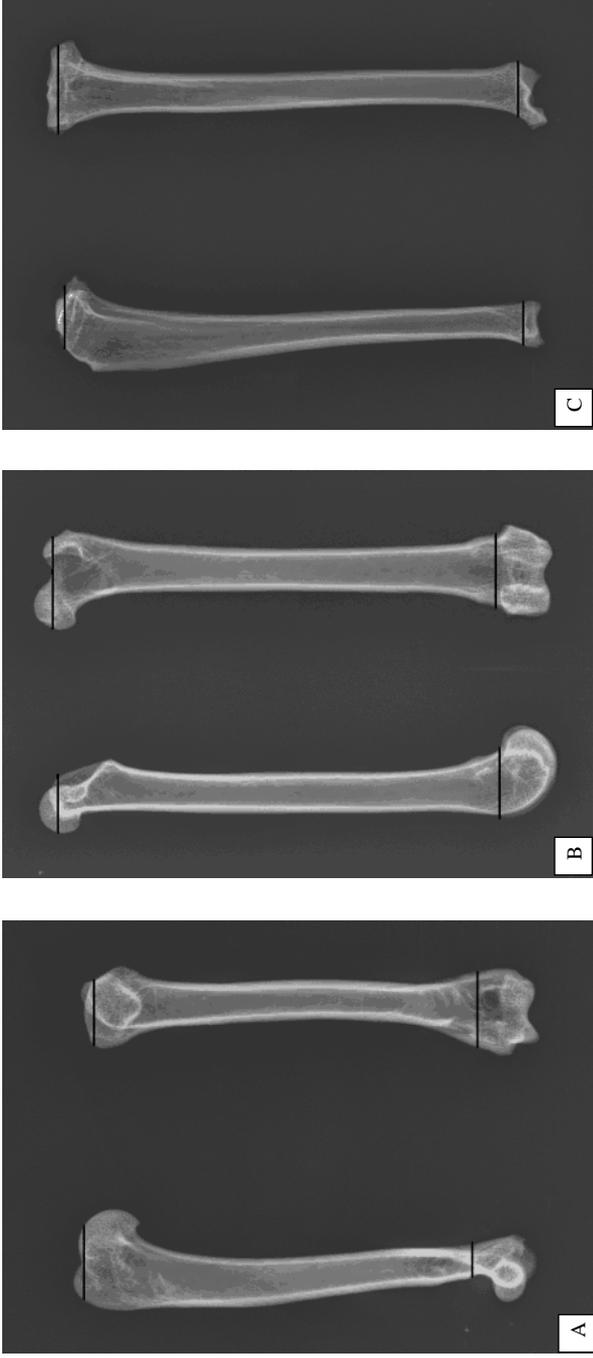
**4. Woche nach der OP**

.....

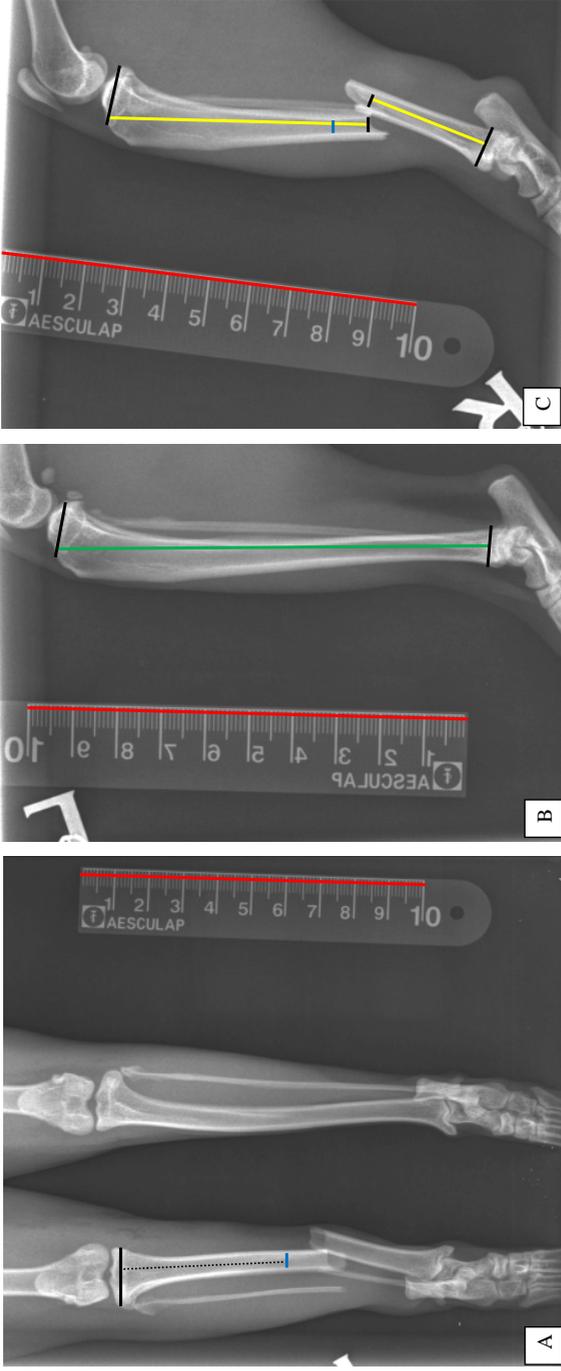
**Telefonfragebogen**

Besitzer:	Tier:	easyvet nr.		
<b><u>Telefonbefragung des Patientenbesitzers</u></b>				
Datum OP:				
Datum Telefonat:				
VN <input type="checkbox"/>	VN + Fix ex <input type="checkbox"/>			
Weitere Verletzungen: .....				
.....				
<b><u>Fragen:</u></b>				
Wie geht es Ihrer Katze?	gut <input type="checkbox"/>	mäßig <input type="checkbox"/>	schlecht <input type="checkbox"/>	
Lahmt Ihre Katze noch?	nie <input type="checkbox"/>	selten <input type="checkbox"/>	häufig <input type="checkbox"/>	immer <input type="checkbox"/>
Läuft sie nur auf drei Beinen?		ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	
Hat Ihre Katze Probleme beim:				
Springen auf Gegenstände (Sofa, Fensterbank, Kratzbaum)		ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	
Springen von Gegenständen herunter		ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	
Treppen steigen		ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	
Putzen, Fellpflege		ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	
Wehrt sich Ihre Katze, wenn Sie das operierte Bein anfassen wollen?		ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	
Bekommt Ihre Katze aktuell noch Medikamente?		ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	
Wenn ja welche (Dosierung?) .....				
Sind seit der Operation bei uns weitere Operationen an dem gebrochenen Knochen durchgeführt worden?				
	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>		
Wenn ja, welche?.....				
Wurden die Implantate entfernt?	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>		
Wenn ja, warum?.....				
Wie zufrieden sind Sie mit dem Operationsergebnis?				
sehr zufrieden <input type="checkbox"/>	zufrieden <input type="checkbox"/>	mäßig <input type="checkbox"/>	unzufrieden <input type="checkbox"/>	
Würden Sie Ihre Katze in der gleichen Situation erneut mit der durchgeführten Methode versorgen lassen?				
	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>		
Sonstiges/Kritik .....				

### 9.3 Messungen am Röntgenbild



**Abb. 26 A-C:** Jeweils medio-laterales und kranio-kaudales Röntgen von *Humerus* (A), *Femur* (B) und *Tibia* (C) mit den Referenzlinien zur Markierung der Markhöhlenutzlänge, die für einen VN zur Verfügung steht



**Abb. 27 A-C:** Präoperative Röntgenbilder einer kurzen *Tibiaschraubfraktur* mit Röntgenlineal; A: *Kranio-kaudaler Strahlengang*; B: *Gesunde Tibia im medio-lateralen Strahlengang*; C: *Frakturierte Tibia im medio-lateralen Strahlengang*. Rote Linie: *Kalibrierung am Röntgenlineal*; Schwarze Linien: *Markierung des Nagel Eintritts und -endpunkts entsprechend den Referenzlinien* (s. Abb. 26 C) bzw. in C *Markierung des Beginns des Frakturspalts*; Schwarze gepunktete Linie: *Hilfslinie*; Blaue Linie: *Messung des Markhöhlendurchmessers an der engsten noch intakten Stelle*; Grüne Linie: *Knochenutzlänge, die für einen VN zur Verfügung steht*; Gelbe Linien: *Fragmentlängen*

## 9.4 Ergebnistabellen und -abbildungen

**Tabelle 25:** Einfluss des Geschlechts auf die klinischen Gesamtergebnisse (exakter Wilcoxon-Mann-Whitney-Test)

	p-Wert
Gesamtergebnis Woche 4 p. op.	0,69
Gesamtergebnis Woche 8 p. op.	0,46
Gesamtergebnis Telefonbefragung	1,00

**Tabelle 26:** Einfluss der Körpermasse auf die Lahmheit und die klinischen Gesamtergebnisse (Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman)

	p-Wert	r <sub>s</sub>
Lahmheit Tag 1 p. op.	0,89	0,030
Lahmheit Tag 2 p. op.	0,88	0,034
Lahmheit Woche 4 p. op. (Besitzer)	0,21	0,28
Lahmheit Woche 4 p. op.	0,54	0,14
Lahmheit Woche 8 p. op.	0,57	0,14
Gesamtergebnis Woche 4 p. op.	0,63	0,11
Gesamtergebnis Woche 8 p. op.	0,95	-0,015
Gesamtergebnis Telefonbefragung	0,33	0,27

**Tabelle 27:** Einfluss eines Multitraumas bzw. der Topographie (*Femur* oder *Tibia*) auf die Lahmheit und die klinischen Gesamtergebnisse (exakter Wilcoxon-Mann-Whitney-Test) (**Fettdruck signifikant**)

	Multitrauma p-Wert	Topographie p-Wert
Lahmheit Tag 1 p. op.	0,12	0,73
Lahmheit Tag 2 p. op.	0,15	0,16
Lahmheit Woche 4 p. op. (Besitzer)	0,76	0,90
Lahmheit Woche 4 p. op.	0,83	0,49
Lahmheit Woche 8 p. op.	0,10	1,00
Gesamtergebnis Woche 4 p. op.	1,00	0,52
Gesamtergebnis Woche 8 p. op.	<b>0,038</b>	1,00
Gesamtergebnis Telefonbefragung	1,00	1,00

**Tabelle 28:** Einfluss der Winquist-Hansen-Einstufung auf die Durchleuchtung, die Röntgenbeurteilung und die klinischen Gesamtergebnisse (exakte Rangkorrelation nach Spearman)

	Beurteiler	p-Wert	rs
Durchleuchtung (Anzahl)		0,79	0,055
Durchleuchtung (Gesamtzeit)		0,91	-0,026
Röntgenscore p. op.	1	0,14	0,31
	2	0,095	0,34
Röntgenscore Woche 4 p. op.	1	0,36	0,21
	2	0,14	0,34
Röntgenscore Woche 8 p. op.	1	0,84	-0,051
	2	0,30	0,26
Gesamtergebnis Woche 4 p. op.		0,12	0,35
Gesamtergebnis Woche 8 p. op.		0,50	0,18
Gesamtergebnis Telefonbefragung		0,70	0,14

**Tabelle 29:** Einfluss der Zeit vom Trauma bis zur OP auf die Lahmheit und die klinischen Gesamtergebnisse (Rangkorrelation nach Spearman)

	p-Wert	rs
Lahmheit Tag 1 p. op.	0,13	0,31
Lahmheit Tag 2 p. op.	0,40	0,19
Lahmheit Woche 4 p. op. (Besitzer)	0,44	0,18
Lahmheit Woche 4 p. op.	0,47	0,17
Lahmheit Woche 8 p. op.	0,39	-0,22
Gesamtergebnis Woche 4 p. op.	0,61	0,12
Gesamtergebnis Woche 8 p. op.	0,89	-0,036
Gesamtergebnis Telefonbefragung	0,87	0,046

**Tabelle 30:** Einfluss eines zusätzlichen Fix ex auf die Röntgenscores und die klinischen Gesamtergebnisse (exakter Wilcoxon-Mann-Whitney-Test)

	Beurteiler	p-Wert
Röntgenscore p. op.	1	0,20
	2	0,54
Röntgenscore Woche 4 p. op.	1	0,44
	2	0,54
Röntgenscore Woche 8 p. op.	1	0,83
	2	0,89
Gesamtergebnis Woche 4 p. op.		1,00
Gesamtergebnis Woche 8 p. op.		1,00
Gesamtergebnis Telefonbefragung		0,26

**Tabelle 31:** Röntgenbeurteilung durch Beurteiler 1 und 2 zu den verschiedenen Kontrollzeitpunkten (Patientenanzahl und Prozentanteil)

Beurteiler	Postoperativ		4-Wo-Kontrolle		8-Wo-Kontrolle	
	1	2	1	2	1	2
<b>Achsenabweichung</b>	7 (28 %)	5 (20 %)	5 (25 %)	4 (20 %)	3 (16,7 %)	4 (22,2 %)
<b>Rotationsfehler</b>						
- Anteversion	3 (12 %)	4 (16 %)	3 (15 %)	3 (15 %)	2 (11,1 %)	2 (11,1 %)
- Retroversion	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
<b>Implantatsitzveränderung</b>						
- Schraubensitz	2 (8 %)	3 (12 %)	1 (5 %)	2 (10 %)	1 (5,6 %)	2 (11,1 %)
- Nagelsitz	1 (4 %)	2 (8 %)	1 (5 %)	2 (10 %)	1 (5,6 %)	1 (5,6 %)
<b>Implantatlockerung</b>	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
<b>Implantatverbiegung</b> - Schrauben	0 (0 %)	0 (0 %)	1 (5 %)	0 (0 %)	2 (11,1 %)	0 (0 %)
<b>Implantatverbiegung</b> - Nagel	2 (8 %)	1 (4 %)	2 (10 %)	1 (5 %)	1 (5,6 %)	1 (5,6 %)
<b>Verminderte Knochendichte</b>	-	-	2 (10 %)	2 (10 %)	2 (11,1 %)	0 (0 %)
<b>Röntgenscore</b>						
- 0	13 (52 %)	13 (52 %)	10 (50 %)	10 (50 %)	10 (55,6 %)	10 (55,6 %)
- 1	9 (36 %)	9 (36 %)	7 (35 %)	8 (40 %)	5 (27,8 %)	6 (33,3 %)
- 2	1 (4 %)	2 (8 %)	0 (0 %)	1 (5 %)	1 (5,6 %)	1 (5,6 %)
- 3	2 (8 %)	1 (4 %)	3 (15 %)	1 (5 %)	2 (11,1 %)	1 (5,6 %)
- 4	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)

**Tabelle 32:** Einfluss des Schrauben-Fraktur-Abstands auf die Röntgenscores und die klinischen Gesamtergebnisse (Rangkorrelation nach Spearman)

	Beurteiler	p-Wert	r <sub>s</sub>
Röntgenscore p. op.	1	0,93	-0,018
	2	0,44	-0,16
Röntgenscore Woche 4 p. op.	1	0,93	-0,021
	2	0,34	-0,23
Röntgenscore Woche 8 p. op.	1	0,56	-0,15
	2	0,39	-0,22
Gesamtergebnis Woche 4 p. op.		0,57	0,13
Gesamtergebnis Woche 8 p. op.		0,94	0,019
Gesamtergebnis Telefonbefragung		0,52	0,18

**Tabelle 33:** Längenveränderung [mm] für jeden Patienten und Zeitpunkt (\* keine Daten vorhanden; \*\* Patient unter 9 Monaten zum Zeitpunkt des Traumas, Wachstum während der Heilungsphase; + Mittelwert ohne die Patienten, die sich im Wachstum befanden)

Patientennummer	Beurteiler 1				Beurteiler 2			
	p. op.	Wo 4 p. op.	Wo 8 p. op.	Arithm. Mittel	p. op.	Wo 4 p. op.	Wo 8 p. op.	Arithm. Mittel
60184**	-2,27	(8,88)	(14,08)	<b>6,90**</b>	-2,61	(9,19)	(14,39)	<b>6,99**</b>
54128	*	*	*	*	*	*	*	*
62661	-7,40	-7,05	-6	<b>-6,81</b>	-7,31	-8,13	-3,78	<b>-6,41</b>
63039	0,3	0,22	*	<b>0,26</b>	0,01	-0,25	*	<b>-0,12</b>
65774	-7,6	-4,96	-6,05	<b>-6,20</b>	-5,17	-1,95	-3,03	<b>-3,38</b>
67188	1,45	-1,05	2,82	<b>1,07</b>	1,94	-0,86	3,65	<b>1,58</b>
68735	-4,8	-4,95	-5,45	<b>-5,07</b>	-3,54	-3,59	-6,18	<b>-4,43</b>
71230	-0,84	0,18	-0,48	<b>-0,38</b>	2,70	2,39	2,5	<b>2,53</b>
1	-0,25	-1	-3,25	<b>-1,5</b>	-0,75	-3,75	-4,75	<b>-3,08</b>
83266	0,35	-0,61	-0,82	<b>-0,36</b>	0,62	-1,20	-1,34	<b>-0,64</b>
84086	0,91	*	*	<b>0,91</b>	5	*	*	<b>5</b>
95053**	2,25	(5,35)	(2,85)	<b>3,48**</b>	1,98	(5,99)	(7,86)	<b>5,28**</b>
95961	-1,1	*	*	<b>-1,1</b>	0,03	*	*	<b>0,03</b>
96120	2,6	1,85	2,05	<b>2,17</b>	2,11	1,21	-0,03	<b>1,10</b>
2	-4	-4,5	-4,5	<b>-4,33</b>	-0,25	-4,5	-4	<b>-2,92</b>
105855	-1,23	0,28	6,38	<b>1,81</b>	-0,87	-1,30	4,4	<b>0,75</b>
3	-0,4	0,25	0	<b>-0,05</b>	0,25	0	-0,25	<b>0</b>
105614	-1,23	*	*	<b>-1,23</b>	-1,59	*	*	<b>-1,59</b>
107297	-3,74	*	-3,24	<b>-3,49</b>	-2,84	*	-0,6	<b>-1,72</b>
115926	0,53	-1,7	*	<b>-0,59</b>	0,59	1,78	*	<b>1,19</b>
121706	-3,45	-5,36	-4,37	<b>-4,39</b>	-2,87	-3,42	-3,63	<b>-3,31</b>
80297	4,14	3,16	*	<b>3,65</b>	2,82	-1,65	*	<b>0,59</b>
81017	-10,00	-12,90	*	<b>-11,45</b>	-8,67	-11,09	*	<b>-9,88</b>
83987	-2,06	0,08	0,06	<b>-0,64</b>	2,72	3,65	3,99	<b>3,45</b>
86479	1,55	-7,1	-5,2	<b>-3,58</b>	-7,35	-2,16	-3,11	<b>-4,20</b>
Arithm. Mittel	<b>-1,51</b>	<b>-2,51<sup>+</sup></b>	<b>-1,87<sup>+</sup></b>	<b>-1,88<sup>+</sup></b>	<b>-0,96</b>	<b>-1,93<sup>+</sup></b>	<b>-1,08<sup>+</sup></b>	<b>-1,16<sup>+</sup></b>

**Tabelle 34:** Einfluss der Längenveränderung des operierten Knochens auf die Lahmheit und die klinischen Gesamtergebnisse (Rangkorrelation nach Spearman) (\* Knapp nicht signifikant/Tendenz; **Fettdruck signifikant**)

Längenveränderung			p. op.		Woche 4 p. op.		Woche 8 p. op.	
Beurteiler			1	2	1	2	1	2
Lahmheit p. op	Tag 1	p	0,99	0,94				
		r <sub>s</sub>	0,0028	0,017				
	Tag 2	p	0,21	0,60				
		r <sub>s</sub>	-0,27	0,12				
	Woche 4 (Besitzer)	p	0,053*	0,100	0,13	0,17		
r <sub>s</sub>		-0,43	-0,37	-0,37	-0,34			
Woche 4	p	0,20	0,081	0,68	0,10			
	r <sub>s</sub>	-0,29	-0,39	-0,11	-0,40			
Woche 8	p	0,78	0,62	0,80	0,38	0,52	0,26	
	r <sub>s</sub>	0,071	-0,12	0,070	0,24	0,18	0,31	
Gesamt- ergebnis	Woche 4	p	0,15	0,064*	0,47	<b>0,035</b>		
		r <sub>s</sub>	-0,32	-0,41	-0,18	<b>-0,50</b>		
	Woche 8	p	0,64	0,30	0,82	0,48	0,92	0,33
r <sub>s</sub>		-0,12	-0,26	-0,066	0,20	-0,029	0,27	
Telefon- befragung	p	0,058*	0,058*	0,11	0,11	0,87	0,87	
	r <sub>s</sub>	-0,50	-0,50	-0,48	-0,48	-0,058	0,058	

**Tabelle 35:** Einfluss des Röntgenscores auf die Lahmheit und die klinischen Gesamtergebnisse (Rangkorrelation nach Spearman) (**Fettdruck signifikant**)

Röntgenscore			p. op.		Woche 4 p. op.		Woche 8 p. op.	
Beurteiler			1	2	1	2	1	2
Lahmheit p. op.	Tag 1	p	0,080	<b>0,016</b>				
		r <sub>s</sub>	0,36	<b>0,49</b>				
	Tag 2	p	0,23	0,19				
		r <sub>s</sub>	0,27	0,28				
	Woche 4 (Besitzer)	p	0,53	0,64	0,35	1,00		
r <sub>s</sub>		0,15	-0,11	0,23	0,0084			
Woche 4	p	<b>0,043</b>	0,42	<b>0,011</b>	0,21			
	r <sub>s</sub>	<b>0,45</b>	0,22	<b>0,54</b>	0,32			
Woche 8	p	0,61	0,61	0,52	0,52	0,94	0,85	
	r <sub>s</sub>	0,15	0,11	0,20	0,20	0,033	0,071	
Gesamt- ergebnis	Woche 4	p	0,084	0,65	<b>0,025</b>	0,23		
		r <sub>s</sub>	0,42	0,17	<b>0,52</b>	0,28		
	Woche 8	p	1,00	0,99	0,84	0,84	0,81	0,99
r <sub>s</sub>		0,039	0,0021	0,073	0,073	-0,069	-0,034	
Telefon- befragung	p	0,54	1,00	0,15	1,00	0,73	0,73	
	r <sub>s</sub>	0,18	0,000	0,46	0,17	-0,28	-0,28	

**Tabelle 36:** Kaplan-Meier-Schätzer und der Einfluss zweistufiger Variablen auf den Heilungszeitpunkt (exakter Log-Rank-Test; p-Werte, Prozentanteil der Patienten und SE Standardfehler)

		Beurteiler 1			Beurteiler 2		
		p-Wert	Woche 4 p. op. (%)	Woche 8 p. op. (%)	p-Wert	Woche 4 p. op. (%)	Woche 8 p. op. (%)
Geschlecht	Männlich	0,28	0,0	33,3 SE ± 15,7	0,75	8,3 SE ± 8,0	77,1 SE ± 14,2
	Weiblich		22,2 SE ± 13,9	55,6 SE ± 16,6		22,2 SE ± 13,9	77,8 SE ± 13,9
Zusätzliche Fixation	Keine/Fadencerclagen	0,71	11,8 SE ± 7,8	45,7 SE ± 12,8	0,55	17,6 SE ± 9,3	79,4 SE ± 10,6
	Fix ex		0,0	33,3 SE ± 27,2		0,0	66,7 SE ± 27,2
Multi-trauma	Nein	0,13	18,2 SE ± 11,6	59,1 SE ± 15,6	0,19	18,2 SE ± 11,6	89,8 SE ± 9,7
	Ja		0,0	25,0 SE ± 15,3		10,0 SE ± 9,5	61,4 SE ± 17,3
Knochen	<i>Femur</i>	0,54	11,8 SE ± 7,8	38,9 SE ± 12,5	0,74	17,6 SE ± 9,3	79,4 SE ± 10,6
	<i>Tibia</i>		0,0	66,7 SE ± 27,2		0,0	66,7 SE ± 27,2
Versetzte Schrauben	Nein	0,48	8,3 SE ± 8,0	50,0 SE ± 14,4	0,89	16,7 SE ± 10,8	75,0 SE ± 12,5
	Ja		11,1 SE ± 10,5	28,9 SE ± 18,0		11,1 SE ± 10,5	82,2 SE ± 16,0

**Tabelle 37:** Mittelwertvergleich der Längenmessungen von Beurteiler 1 und 2 (t-Test für abhängige Stichproben)

	n	Arithm. Mittel der Längenmessungen (Standardabweichung)		Arithm. Mittel der Differenzen (Standardabweichung)	p-Wert
		1	2		
Gesunder Knochen	24	98,87 mm (8,953 mm)	98,30 mm (9,235 mm)	0,57 mm (2,191 mm)	0,22
p. op.	25	97,67 mm (9,900 mm)	97,70 mm (10,920 mm)	- 0,036 mm (2,780 mm)	0,95
Woche 4 p. op.	20	96,29 mm (9,167 mm)	96,38 mm (9,5385 mm)	- 0,087 mm (2,480 mm)	0,88
Woche 8 p. op.	17	98,06 mm (7,490 mm)	98,54 mm (8,573 mm)	- 0,48 mm (2,781 mm)	0,48

**Tabelle 38:** Geometrische Mittelwerte ( $\bar{x}_g$  [Mo]) und Streufaktoren (SF) des Alters der Patienten der retrospektiven Datenerhebung, aufgeteilt nach Knochen

Knochen	<i>Humerus</i>	<i>Femur</i>	<i>Tibia</i>	Gesamt
$\bar{x}_g$ [Mo]	26,8	21,4	39,9	28,3
SF	2,76	2,79	2,75	2,83

**Tabelle 39:** Mittelwerte und Standardabweichungen für alle Längenmessungen [mm], aufgeteilt nach Knochen

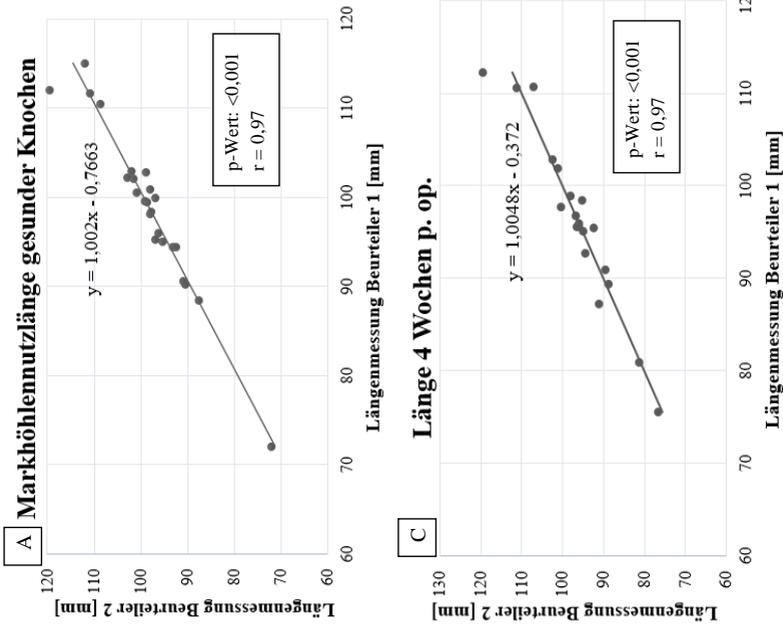
	<i>Humerus</i>	<i>Femur</i>	<i>Tibia</i>
Nutzlänge gesunde Gegenseite [mm]	91,26 ± 9,43	98,18 ± 8,46	112,79 ± 9,25
Markhöhlendurchmesser [mm]	4,37 ± 1,08	5,42 ± 0,74	3,78 ± 0,73
Länge proximales Fragment [mm]	49,45 ± 11,62	31,51 ± 16,75	57,08 ± 23,79
Länge distales Fragment [mm]	15,85 ± 13,71	33,37 ± 15,90	25,59 ± 19,04

**Tabelle 40:** Korrelationsanalyse zwischen dem Alter (logarithmiert) und der Markhöhlennutzlänge der gesunden Gegenseite, Markhöhlenweite, Fragmentlänge proximal bzw. Fragmentlänge distal (logarithmiert), aufgeteilt nach Knochen

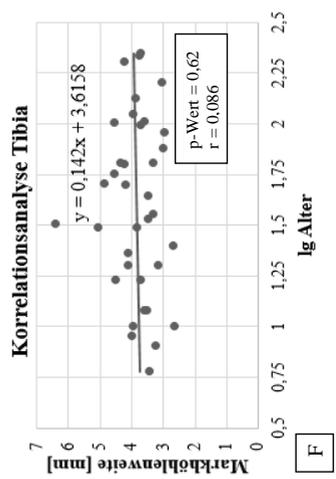
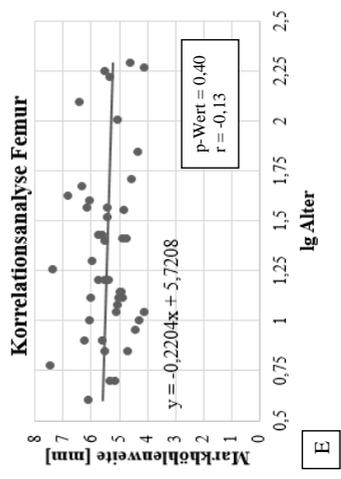
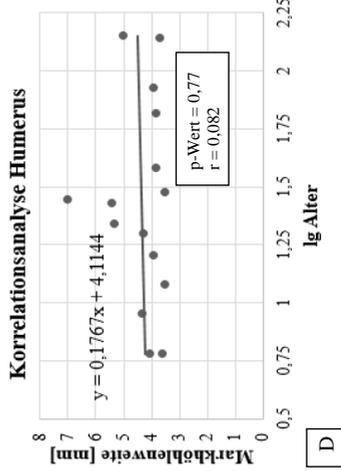
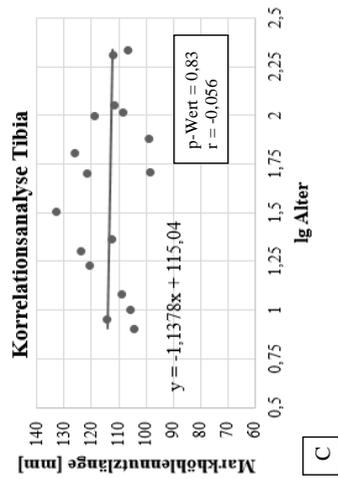
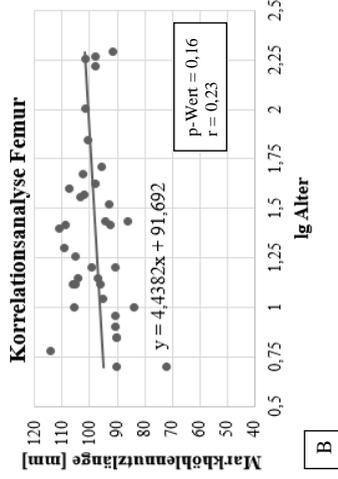
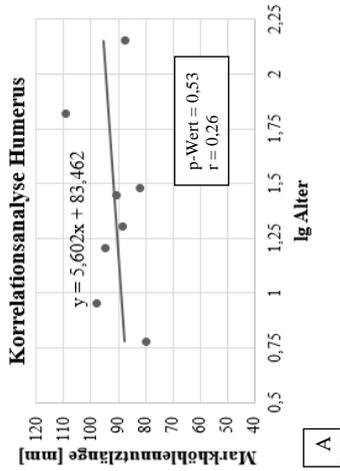
	<i>Humerus</i>		<i>Femur</i>		<i>Tibia</i>	
	p-Wert	r	p-Wert	r	p-Wert	r
Nutzlänge der gesunden Gegenseite	0,53	0,26	0,16	0,23	0,83	-0,056
Markhöhlendurchmesser	0,77	0,082	0,40	0,13	0,62	0,086
Fragmentlänge proximal	0,78	-0,078	0,47	-0,11	0,50	-0,12
Fragmentlänge distal (logarithmiert)	0,21	0,35	0,84	-0,030	0,92	0,016

**Tabelle 41:** Ergebnisse des Chi-Quadrat-Tests bzgl. des Einflusses des betroffenen Knochens auf die Einsetzbarkeit des VN mit verschiedenen Schrauben-Fraktur-Abständen (A = 10 mm; B = 5 mm) und Schraubenanzahlen (1. Zahl: Schraubenanzahl im proximalen Fragment, 2. Zahl: Schraubenanzahl im distalen Fragment) (**Fettdruck signifikant**)

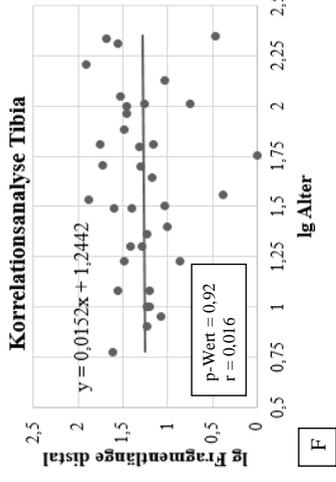
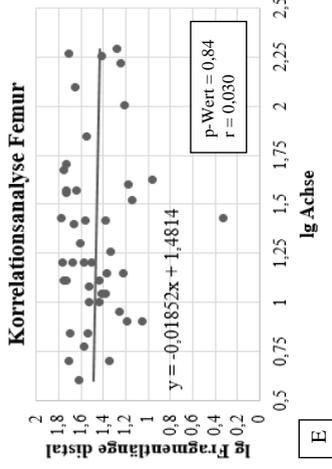
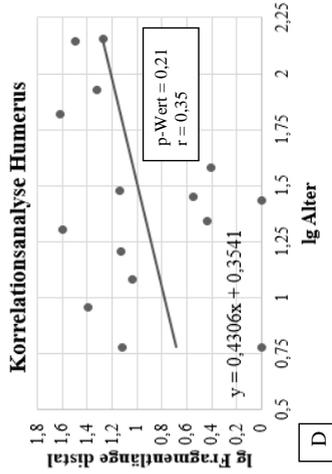
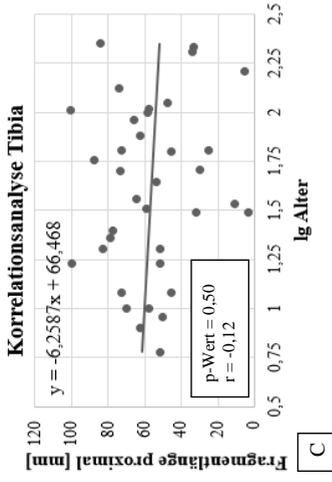
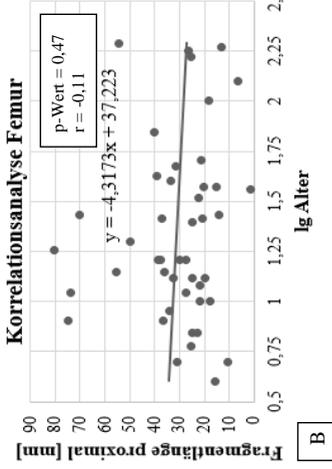
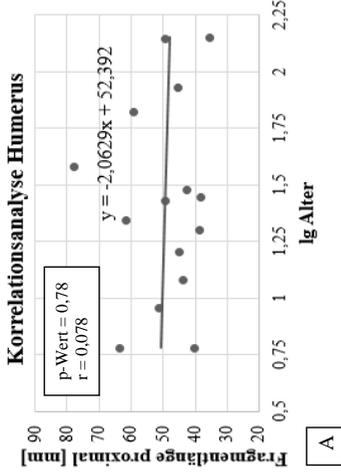
	A 2-2	A 2-1	A 1-2	A 1-1	B 2-2	B 2-1	<b>B 1-2</b>	<b>B 1-1</b>
p-Wert	0,79	0,29	0,16	0,19	0,84	0,27	<b>0,030</b>	<b>0,013</b>



**Abb. 28 A-D:** Korrelationsanalyse der Längenmessungen für Beurteiler 1 und 2 mit Regressionsgeraden (A: Markhöhlennutzlänge des gesunden Knochens; B: Länge p. op; C: Länge 4 Wochen p. op.; D: Länge 8 Wochen p. op.)



**Abb. 29 A-F:** Ergebnisse der Korrelationsanalyse bzgl. des Einflusses des Alters auf die Markhöhlennutzlänge der gesunden Gegenseite (A-C) und die Markhöhlenweite an der engsten Stelle (D-F) (Regressionsgeraden, p-Werte und Korrelationskoeffizienten r)



**Abb. 30 A-F:** Ergebnisse der Korrelationsanalyse bzgl. des Einflusses des Alters (logarithmiert) auf die Länge [mm] des proximalen (A-C) und des distalen (logarithmiert) Frakturfragments (D-F) (Regressionsgeraden, p-Werte und Korrelationskoeffizienten r)

## 9.5 Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b>	Übersicht über die Komplikationen beim VN-Einsatz in klinischen Studien bei Hund und Katze, Angaben in % (n Patientenanzahl; k. A. keine Angaben; * bezogen auf Patientenanzahl; ** bezogen auf Schraubenanzahl; + gleicher Patient)	S. 24
<b>Tabelle 2</b>	Zuordnung der Gewichtungsfaktoren zu den Röntgenbefunden, um einen Röntgenscore für die statistische Auswertung zu erstellen	S. 46
<b>Tabelle 3</b>	Zensierungsschema zur Berücksichtigung der letzten vollständigen Kontrolluntersuchung bei der Beurteilung des Heilungszeitpunkts	S. 47
<b>Tabelle 4</b>	Beurteilungsschema für den Kappa-Koeffizienten (GROUVEN et al., 2007)	S. 49
<b>Tabelle 5</b>	Übersicht über die Kategorien zur Einteilung der Frakturen. Neben dem Schrauben-Fraktur-Abstand ist die Schraubenanzahl entscheidend dafür, wie lang ein Frakturfragment [mm] sein muss, um den entsprechenden Nagel einsetzen zu können.	S. 51
<b>Tabelle 6</b>	Auswertung einer Fraktur mit einem proximalen Fragment von 25 mm und einem distalen Fragment von 20 mm	S. 52
<b>Tabelle 7</b>	Ergebnisse und Interpretation der exakten Rangkorrelation nach Spearman für den Zusammenhang zwischen Art der Fraktur und Lahmheit bzw. der Gesamtergebnisse zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten ( <b>Fettdruck signifikant</b> ; * knapp nicht signifikant)	S. 58
<b>Tabelle 8</b>	Verwendete Nagelgesamt- und -nutzlängen [mm], deren Anteil am Patientengut (Patientenanzahl und Prozentanteil) und die Art, wie der Nagel gekürzt wurde (** ein Schraubenloch wurde nicht besetzt; *** Sondernagel mit einem distalen Schraubenloch)	S. 60
<b>Tabelle 9</b>	Nagelimplantationszeit [min], Gesamtdurchleuchtungszeit [sek] und Anzahl der Durchleuchtungen für die Gruppen „Schrauben nicht versetzt“ und „Schrauben versetzt“ sowie die p-Werte aus dem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test ( <b>Fettdruck signifikant</b> )	S. 61
<b>Tabelle 10</b>	Durchschnittliche Röntgenscores für Beurteiler 1 und 2 und klinisches Gesamtergebnis zu den verschiedenen Kontrollzeitpunkten für die Gruppen „nicht versetzte Schrauben“ und „versetzte Schrauben“ sowie p-Werte aus dem exakten Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (** arithmetische Mittelwerte bezogen auf die Anzahl der Patienten, die zur Kontrolle erschienen sind; <b>Fettdruck signifikant</b> )	S. 61

<b>Tabelle 11</b>	Ergebnisse der exakten Rangkorrelation nach Spearman (p-Wert und Rangkorrelationskoeffizient $r_s$ ) und deren Interpretation bezüglich des Einflusses der Schraubenanzahl auf die Röntgenscores für Beurteiler 1 und 2 und die klinischen Gesamtergebnisse zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten ( <b>Fettdruck signifikant</b> )	S. 62
<b>Tabelle 12</b>	Ergebnisse der klinischen Kontrollen nach 4 und 8 Wochen bzgl. Muskelatrophie und Einschränkungen der Beweglichkeit der angrenzenden Gelenke (Patientenanzahl n und Prozentanteil)	S. 65
<b>Tabelle 13</b>	Ergebnisse (p-Wert und Rangkorrelationskoeffizient $r_s$ ) der Rangkorrelation nach Spearman bezüglich des Einflusses der Markhöhlenfüllung auf die Röntgenscores von Beurteiler 1 und 2 und die klinischen Gesamtergebnisse zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten ( <b>Fettdruck signifikant</b> )	S. 67
<b>Tabelle 14</b>	Ergebnisse der Cox-Regression (n: Patientenanzahl, t-Wert, p-Wert) bzgl. des Einflusses der metrischen Größen auf den Heilungszeitpunkt, getrennt nach Beurteiler ( <b>Fettdruck signifikant</b> )	S. 71
<b>Tabelle 15</b>	Standardabweichungen und Varianzen (Werte in Klammern) aus der dreifaktoriellen Varianzanalyse nach dem hierarchischen Prinzip zum Vergleich der Längenmessungen zwischen den Beurteilern, den Wiederholungen und den Patienten.	S. 72
<b>Tabelle 16</b>	Ergebnisse des exakten Tests von Fischer und Kappa-Koeffizienten zur Bestimmung des Zusammenhangs der Röntgenbildbefundung durch Beurteiler 1 und 2 bzgl. der zweistufigen Variablen (* knapp nicht signifikant; <b>Fettdruck signifikant</b> )	S. 73
<b>Tabelle 17</b>	Ergebnisse der Rangkorrelation nach Spearman zur Bestimmung der Übereinstimmung von Beurteiler 1 und 2 in der Einschätzung der ordinalen Variablen Implantatsitz, Implantatverbiegungen und Heilungsphase (Patientenanzahl n, p-Werte und Rangkorrelationskoeffizient $r_s$ ) ( <b>Fettdruck signifikant</b> ; * knapp nicht signifikant; ** Keine Berechnung möglich, da Beurteiler 2 alle Patienten p. op. in Heilungsphase 1 einstuft; + Keine Berechnung von $r_s$ möglich, da nur 2 Stufen bei Beurteiler 2)	S. 74
<b>Tabelle 18</b>	Gegenüberstellung der geometrischen Mittelwerte ( $\bar{x}_g$ [mm]) und Streufaktoren (SF) der distalen Fragmentlängen für männliche und weibliche Tiere, aufgeteilt nach Knochen	S. 81
<b>Tabelle 19</b>	Einsetzbarkeit (Patientenanzahl und Prozentanteil) des VN an den verschiedenen Knochen bei unterschiedlichen Schrauben-Fraktur-Abständen (A = 10 mm; B = 5 mm) und Schraubenanzahlen (1. Zahl: Schraubenanzahl proximales Fragment; 2. Zahl: Schraubenanzahl distales Fragment)	S. 82

<b>Tabelle 20</b>	Vergleich der Patientenzahlen, der verwendeten Nagelstärken und des Prozentanteils von <i>Humerus</i> -, <i>Femur</i> - und <i>Tibia</i> frakturen in retrospektiven Fremdstudien (retrospektiv) und der vorliegenden Dissertation (prospektiv und retrospektiv)	S. 87
<b>Tabelle 21</b>	Vergleich der Ergebnisse der CT gestützten Längenmessungen der Markhöhle der Studie von INGENDAAY (2009) und den Messungen am Röntgenbild dieser Studie für <i>Humerus</i> , <i>Femur</i> und <i>Tibia</i>	S. 92
<b>Tabelle 22</b>	Vergleich der Ergebnisse der CT gestützten Messungen des Markhöhlendurchmessers der Studie von INGENDAAY (2009) und den Messungen am Röntgenbild dieser Studie für <i>Humerus</i> , <i>Femur</i> und <i>Tibia</i>	S. 93
<b>Tabelle 23</b>	Anzahl und Prozentanteil der Patienten des prospektiven Studienteils, bei denen der Einsatz von 1 bzw. 2 Schrauben in den jeweiligen Fragmenten der einzelnen Knochen möglich war.	S. 96
<b>Tabelle 24</b>	Vergleich der Studie von KÖNNING et al. (2013) für Fix ex, Platte und Plate and Rod mit der vorliegenden Studie bezüglich des Anteils an geheilten Frakturen zu einem Kontrollzeitpunkt und des Anteils an schwerwiegenden Komplikationen (* Re-Operationen wegen anderer Verletzungen nicht berücksichtigt)	S. 111
<b>Tabelle 25</b>	Einfluss des Geschlechts auf die klinischen Gesamtergebnisse (exakter Wilcoxon-Mann-Whitney-Test)	S. 162
<b>Tabelle 26</b>	Einfluss der Körpermasse auf die Lahmheit und die klinischen Gesamtergebnisse (Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman)	S. 162
<b>Tabelle 27</b>	Einfluss eines Multitraumas bzw. der Topographie ( <i>Femur</i> oder <i>Tibia</i> ) auf die Lahmheit und die klinischen Gesamtergebnisse (exakter Wilcoxon-Mann-Whitney-Test) ( <b>Fettdruck signifikant</b> )	S. 162
<b>Tabelle 28</b>	Einfluss der Winquist-Hansen-Einstufung auf die Durchleuchtung, die Röntgenbeurteilung und die klinischen Gesamtergebnisse (exakte Rangkorrelation nach Spearman)	S. 163
<b>Tabelle 29</b>	Einfluss der Zeit vom Trauma bis zur OP auf die Lahmheit und die klinischen Gesamtergebnisse (Rangkorrelation nach Spearman)	S. 163
<b>Tabelle 30</b>	Einfluss eines zusätzlichen Fix ex auf die Röntgenscores und die klinischen Gesamtergebnisse (exakter Wilcoxon-Mann-Whitney-Test)	S. 163
<b>Tabelle 31</b>	Röntgenbeurteilung durch Beurteiler 1 und 2 zu den verschiedenen Kontrollzeitpunkten (Patientenzahl und Prozentanteil)	S. 164

<b>Tabelle 32</b>	Einfluss des Schrauben-Fraktur-Abstands auf die Röntgenscores und die klinischen Gesamtergebnisse (Rangkorrelation nach Spearman)	S. 164
<b>Tabelle 33</b>	Längenveränderung [mm] für jeden Patienten und Zeitpunkt (* keine Daten vorhanden; ** Patient unter 9 Monaten zum Zeitpunkt des Traumas, Wachstum während der Heilungsphase; + Mittelwert ohne die Patienten, die sich im Wachstum befanden)	S. 165
<b>Tabelle 34</b>	Einfluss der Längenveränderung des operierten Knochens auf die Lahmheit und die klinischen Gesamtergebnisse (Rangkorrelation nach Spearman) (* Knapp nicht signifikant/Tendenz; <b>Fettdruck signifikant</b> )	S. 166
<b>Tabelle 35</b>	Einfluss des Röntgenscores auf die Lahmheit und die klinischen Gesamtergebnisse (Rangkorrelation nach Spearman) ( <b>Fettdruck signifikant</b> )	S. 166
<b>Tabelle 36</b>	Kaplan-Meier-Schätzer und der Einfluss zweistufiger Variablen auf den Heilungszeitpunkt (exakter Log-Rank-Test; p-Werte, Prozentanteil der Patienten und SE Standardfehler)	S. 167
<b>Tabelle 37</b>	Mittelwertvergleich der Längenmessungen von Beurteiler 1 und 2 (t-Test für abhängige Stichproben)	S. 167
<b>Tabelle 38</b>	Geometrische Mittelwerte ( $\bar{x}_g$ [Mo]) und Streufaktoren (SF) des Alters der Patienten der retrospektiven Datenerhebung, aufgeteilt nach Knochen	S. 168
<b>Tabelle 39</b>	Mittelwerte und Standardabweichungen für alle Längenmessungen [mm], aufgeteilt nach Knochen	S. 168
<b>Tabelle 40</b>	Korrelationsanalyse zwischen dem Alter (logarithmiert) und der Markhöhlennutzlänge der gesunden Gegenseite, Markhöhlenweite, Fragmentlänge proximal bzw. Fragmentlänge distal (logarithmiert), aufgeteilt nach Knochen	S. 168
<b>Tabelle 41</b>	Ergebnisse des Chi-Quadrat-Tests bzgl. des Einflusses des betroffenen Knochens auf die Einsetzbarkeit des VN mit verschiedenen Schrauben-Fraktur-Abständen (A = 10 mm; B = 5 mm) und Schraubenanzahlen (1. Zahl: Schraubenanzahl im proximalen Fragment, 2. Zahl: Schraubenanzahl im distalen Fragment; <b>Fettdruck signifikant</b> )	S. 168

## 9.6 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1** Laterale Ansicht des *Humerus* (A), *Femur* (B) und der *Tibia* (C) der Katze. Die Knochen haben eine gerade und gleichförmige Diaphyse, die besonders gut für eine intramedulläre Fixation geeignet ist. S. 3
- Abb. 2** Schematische Darstellung des modifizierten Winquist-Hansen-Schemas: 0: Einfache Fraktur; I: Fraktur mit bedeutungslosen kleinen Splintern; II: > 50 % Kontaktfläche zwischen proximalem und distalem Fragment; III: < 50 % Kontaktfläche zwischen proximalem und distalem Fragment; IV: kein Kontakt zwischen proximalem und distalem Fragment; V: Stückfraktur (DUELAND et al., 1999; LORINSON et al., 2000; HORSTMAN u. BEALE, 2002; MOSES et al., 2002; DUHAUTOIS, 2003; HORSTMAN et al., 2004) S. 7
- Abb. 3 A-D** Darstellung der Heilungsphasen in medio-lateralen Röntgenbildern von *Femur*frakturen, die mit VN versorgt wurden.  
**A:** Postoperativ, Phase 1: Die Frakturkanten sind scharf begrenzt und die Frakturspalten eng (Pfeile). Es befinden sich Lufteinschlüsse im Weichteilgewebe (Pfeilspitzen).  
**B:** 4 Wochen p. op., gleicher Patient: Kraniale Kortikalis Phase 2: Die Frakturspalten stellen sich erweitert und abgerundet dar (Pfeile). Kaudale Kortikalis Phase 3: Der Frakturspalt zeigt bereits eine unstrukturierte Kallusbildung (Pfeilspitze).  
**C:** 8 Wochen p. op., gleicher Patient, Phase 4: Der sekundäre Kallus ist dichter und das Remodelling hat begonnen (Pfeile).  
**D:** 8 Wochen p. op., anderer Patient, Phase 5: Der Knochen hat wieder annähernd seine natürliche Form. Kortikalis und Markraum sind wieder abgrenzbar (Pfeil). S. 11
- Abb. 4** Röntgenbild im kranio-kaudalen Strahlengang einer mit retrograd eingebrachtem VN versorgten *Femur*splitterfraktur bei der Katze; die durch Knochen und Nagel eingebrachten Schrauben sorgen für Achsen-, Rotations- und Kompressionsstabilität. S. 14
- Abb. 5** Instrumente des Verriegelungsnagelsystems der Firma MarMed: Silikongriff zum Einspannen der Nägel (1), Arretierschraube zum Einspannen der Nägel (2), Verbindungsstück (3), Zielschiene aus PEEK (4), Arretierschraube für Zielschiene (5), Titanverriegelungsnagel 3,5 mm (6), ineinander steckbare Halte- (7) und Bohrhülse (8), Schraubendreher (9) mit Selbsthaltehülse (10), Bohrer (11) Titanschrauben 2,0 mm (12) (mit freundlicher Erlaubnis der Firma MarMed GmbH, Cölbe, Deutschland). S. 31

<b>Abb. 6 A-C</b>	A: VN der Firma MarMed eingespannt im Silikongriff mit Verbindungsstück und Zielschiene; B: Zusammengesetztes Zielgerät mit eingesetzter Halte- und Bohrhülse zum exakten Bohren der Löcher; C: Zusammengesetztes Zielgerät mit Haltehülse. Die Bohrhülse wurde entfernt und die Schraube kann nun über die Haltehülse eingeschraubt werden (mit freundlicher Erlaubnis der Firma MarMed GmbH, Cölbe, Deutschland).	S. 32
<b>Abb. 7</b>	Sollbruchstelle (Pfeil) des VN. Nach vollständiger Verriegelung wird hier das Verbindungsstück durch Kippen des Handgriffs abgebrochen (mit freundlicher Erlaubnis der Firma MarMed GmbH, Cölbe, Deutschland).	S. 32
<b>Abb. 8 A-C</b>	Präoperative Röntgenaufnahmen der frakturierten und der gesunden Gliedmaße im ventro-dorsalen (A) und im medio-lateralen Strahlengang (B und C) zur Bestimmung der Implantatgröße	S. 40
<b>Abb. 9 A-B</b>	Postoperative Röntgenaufnahmen zur Kontrolle der Reposition und des Implantatsitzes im medio-lateralen (A) und kranio-kaudalen (B) Strahlengang	S. 43
<b>Abb. 10 A-D</b>	Kontroll-Röntgenaufnahmen 4 Wochen (A und B) und 8 Wochen (C und D) nach der Verriegelungsnagelimplantation jeweils im medio-lateralen und ventro-dorsalen Strahlengang (Pfeile: Einschnürungen im Kallus durch Fadencerclagen)	S. 45
<b>Abb. 11</b>	Maße des MarMed Verriegelungsnagels (Doppelpfeil entspricht 10 mm)	S. 51
<b>Abb. 12 A-C</b>	Darstellung des Signalements der Patienten des prospektiven Studienteils als Kreisdiagramme: A: Alter; B: Rasse; C: Geschlecht	S. 55
<b>Abb. 13</b>	Darstellung der Verteilung der Körpermassen im Patientengut des prospektiven Studienteils	S. 56
<b>Abb. 14 A-C</b>	Ergebnisse der klinischen Kontrolluntersuchungen bzgl. Belastung im Stand (A), Schmerzhaftigkeit (B) und Lahmheitsgrad (C) der operierten Gliedmaße als Balkendiagramm der Patientenanzahl (* Beurteilung durch den Besitzer)	S. 64
<b>Abb. 15</b>	Durchschnittliche Längenveränderung [mm] aller Patienten für die verschiedenen Untersuchungszeitpunkte für Beurteiler 1 und 2	S. 68
<b>Abb. 16 A-D</b>	A und B: Anzahl der Patienten, die sich nach Einschätzung von Beurteiler 1 (A) bzw. 2 (B) zu den Röntgenkontrollen in den verschiedenen Heilungsphasen (1-5) befanden. C und D: Anzahl der Patienten, deren Fraktur nach Einschätzung von Beurteiler 1 (C) bzw. 2 (D) zu den Röntgenkontrollen als geheilt oder nicht geheilt eingestuft wurde.	S. 70
<b>Abb. 17 A-B</b>	Verlauf der Besitzerzufriedenheit (A) und der klinischen Gesamtergebnisse (B) sowie der Anzahl der vorgestellten Patienten über den Kontrollzeitraum	S. 75

---

<b>Abb. 18 A-B</b>	Kreisdiagramme der Alters- (A) und der Geschlechtsverteilung (B) der Patienten des retrospektiven Studienteils	S. 76
<b>Abb. 19</b>	Box-and-Whisker-Plot der Markhöhlelängenzahlen der gesunden Gegenseite [mm], aufgeteilt nach Knochen	S. 77
<b>Abb. 20</b>	Box-and-Whisker-Plot der Messungen des Markhöhledurchmessers an der engsten noch intakten Stelle [mm], aufgeteilt nach Knochen	S. 78
<b>Abb. 21</b>	Box-and-Whisker-Plot der Messungen der Längen [mm] des proximalen und distalen Fragments, aufgeteilt nach Knochen	S. 80
<b>Abb. 22</b>	Balkendiagramm mit dem Prozentanteil an Patienten der retrospektiven Untersuchung, die mit VN versorgt werden können, je nach Schrauben-Fraktur-Abstand (A = 10 mm; B = 5 mm) und Schraubenanzahl (1. Zahl: Schraubenanzahl im proximalen Fragment, 2. Zahl: Schraubenanzahl im distalen Fragment)	S. 83
<b>Abb. 23</b>	Balkendiagramm der Anzahl an gemessenen Markhöhlelängenzahlen [mm] in Gruppen von 10 mm, aufgeteilt nach Knochen. Jeder Gruppe ist eine Nagelstange zugeordnet	S. 93
<b>Abb. 24 A-B</b>	Schematische Darstellung der Auswirkung einer geringgradigen Deviation um den Winkel $\alpha$ (A) bzw. einer Verbiegung des Nagels durch die Form der Markhöhle (B) auf die Treffgenauigkeit der Schrauben (Nagel grau; Zielschiene schwarz; Knochen braun; Position der versetzten Schraube rot und roter Pfeil)	S. 113
<b>Abb. 25 A-C</b>	A: Postoperatives medio-laterales Röntgenbild nach retrograder Versorgung einer distalen <i>Femur</i> splitterfraktur mit nur 1 distalen Schraube, die als Drehzentrum wirken könnte. Die Fraktur zeigt eine Rekurvaturdeformation, die durch den Kontakt des Nagels mit der kranialen Kortikalis begrenzt wird. Zudem ist der Nagel in der distalen Kortikalis verankert, so dass eine 3-Punkt-Fixierung besteht. B: Kranio-kaudales Röntgenbild 4 Wochen p. op. einer retrograd versorgten distalen <i>Femur</i> splitterfraktur mit Nagelverbiegung im 2. Schraubenloch von proximal (Pfeil) und Verbiegung der distalen Schraube (Pfeilspitze). C: Postoperatives kranio-kaudales Röntgenbild einer <i>Tibiadiaphy</i> senfraktur mit Nagelverbiegung im proximalen Schraubenloch (Pfeil) vermutlich durch das Abbrechen des Verbindungsstücks.	S. 115
<b>Abb. 26 A-C</b>	Jeweils medio-laterales und kranio-kaudales Röntgen von <i>Humerus</i> (A), <i>Femur</i> (B) und <i>Tibia</i> (C) mit den Referenzlinien zur Markierung der Markhöhlelängenzahlen, die für einen VN zur Verfügung steht	S. 160

- Abb. 27 A-C** Präoperative Röntgenbilder einer kurzen *Tibiaschrägfraktur* mit Röntgenlineal; A: Kranio-kaudaler Strahlengang; B: Gesunde *Tibia* im medio-lateralen Strahlengang; C: Frakturierte *Tibia* im medio-lateralen Strahlengang. Rote Linie: Kalibrierung am Röntgenlineal; Schwarze Linien: Markierung des Nageleintritts und -endpunkts entsprechend den Referenzlinien (s. Abb. 26 C) bzw. in C Markierung des Beginns des Frakturspalts; Schwarze gepunktete Linie: Hilfslinie; Blaue Linie: Messung des Markhöhlendurchmessers an der engsten noch intakten Stelle; Grüne Linie: Markhöhlennutzlänge, die für einen VN zur Verfügung steht; Gelbe Linien: Fragmentlängen S. 161
- Abb. 28 A-D** Korrelationsanalyse der Längenmessungen für Beurteiler 1 und 2 mit Regressionsgeraden (A: Markhöhlennutzlänge des gesunden Knochens; B: Länge p. op.; C: Länge 4 Wochen p. op.; D: Länge 8 Wochen p. op.) S. 169
- Abb. 29 A-F** Ergebnisse der Korrelationsanalyse bzgl. des Einflusses des Alters auf die Markhöhlennutzlänge der gesunden Gegenseite (A-C) und die Markhöhlenweite an der engsten noch intakten Stelle (D-F) (Regressionsgeraden, p-Werte und Korrelationskoeffizienten r) S. 170
- Abb. 30 A-F** Ergebnisse der Korrelationsanalyse bzgl. des Einflusses des Alters (logarithmiert) auf die Länge [mm] des proximalen (A-C) und des distalen (logarithmiert) Frakturfragments (D-F) (Regressionsgeraden, p-Werte und Korrelationskoeffizienten r) S. 171



***.... und endlich ist Zeit Danke zu sagen!***

Da sind zum einen die Menschen, die im Vordergrund tätig sind: Ein herzliches Dankeschön an meinen Doktorvater PD Dr. Martin Gerwing für die Betreuung, die Operationen und das „scharfe Auge“, ebenfalls an Prof. Dr. Dr. h.c. Martin Kramer für das immer offene Ohr morgens um halb 7 und die aufmunternden E-mails. Ein ganz besonderer Dank an meinen Röntgenbeurteiler I Dr. Kerstin von Pückler (geb. Amort), die so viel mehr war und die trotz der vielen Aufgaben immer für mich da war. Außerdem vielen Dank an Dr. Ursula Michele und das gesamte Praxisteam in Marburg für die nette Aufnahme und die so wertvollen zur Verfügung gestellten Patienten. Und dann ist da noch die Firma MarMed, insbesondere Herr Äckersberg und Herr Acker, die Bilder und Informationsmaterial so schnell und unkompliziert zur Verfügung gestellt haben, auch an sie ein großes Dankeschön. Last but not least Danke an die Leitung der Tierklinik Neuwied für spontanes Überstundenfrei, wenn die Zeit zum Abgabetermin knapp wurde.

Und dann sind da die Menschen, die nie groß in Erscheinung treten, die im Verborgenen und zu jeder Tages- und Nachtzeit uneingeschränkt und mit ganzem Herzen für einen da sind. Die mit Lob, Trost und zeitweise mit dem kräftigen Tritt in den Allerwertesten die wahren Helden dieser Dissertation sind. An erster Stelle steht hier meine Familie. Vielen Dank an meine Mutter für die stundenlangen und nicht enden wollenden Rechtschreibkorrekturen, für die Freude über jeden kleinen Fortschritt und für das Rückenfreihalten. (Du hast dir jetzt wirklich den zweiten Dr. sek. verdient.) Vielen Dank an meinen Vater, dass er mein Aufbrausen jedes Mal bei der Frage „Und wie weit bist du?“ ertragen hat und mir immer die Gewissheit gegeben hat, in anderen Fachgebieten ist Doktorarbeit schreiben auch nicht besser. Und dann noch meine Schwester, die mit ungebrochenem Humor und aller schwesterlichen Verbundenheit mit mir durch dick und dünn gegangen ist. Und zweitens sind da die vielen Freunde und Leidensgenossen, mit denen man so viel erlebt, so viel geteilt und so viele Hürden genommen hat. Auch hier muss Dr. Kerstin von Pückler genannt werden, denn noch viel wertvoller als Messwerte und Fachfragen ist das aufmunternde Wort und der ungebrochene Glaube an die Leistungsfähigkeit des anderen, die einen anspornen. Vielen Dank an Dr. Britta Oltersdorf für jede Meinung, jeden kleinen Trick am Computer, jede gemeinsame Unternehmung und dafür, dass sie mich nach 4 Jahren gemeinsam in einem Büro immer noch erträgt. Auch ein herzliches Dankeschön an Dr. Melanie Klingler, Dr. Isabelle Ritz, Meike Fehrlage und Dr. Agnes Driesen für Freundschaft, Spaziergänge, das offene Ohr, die helfende Hand und dass wir nach Tagen der Arbeit gemeinsam dennoch abends eine Runde tanzen gehen konnten..... Ihr seid alle unbezahlbar und ich wünsche Euch allen die glücklichste Zukunft, die man sich vorstellen kann.

***Erklärung:***

§ 10 Abs. 6 der Promotionsordnung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität vom 6. Februar 2002

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Angelika Fiedler



**ISBN 978-3-86345-331-2**



Verlag: Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft Service GmbH  
35392 Gießen · Friedrichstraße 17 · Tel. 0641 / 24466 · Fax: 0641 / 25375  
E-Mail: [info@dvg.de](mailto:info@dvg.de) · Internet: [www.dvg.de](http://www.dvg.de)