

**Aus der Klinik für kleine Haustiere
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin**

**Retrospektive Analyse diaphysärer und distal
metaphysärer Radius/Ulna-Frakturen beim Hund
nach Plattenosteosynthese und Osteosynthese
mit Fixateur externe**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin**

**vorgelegt von
Kerstin Rösch
Tierärztin aus Bietigheim-Bissingen**

**Berlin 2021
Journal-Nr.: 4226**

Aus der Klinik für kleine Haustiere
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

**Retrospektive Analyse diaphysärer und distal metaphysärer Radius/Ulna-Frakturen
beim Hund nach Plattenosteosynthese und Osteosynthese mit Fixateur externe**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Kerstin Rösch
Tierärztin aus Bietigheim-Bissingen

Berlin 2021

Journal Nr.: 4226

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek
Erster Gutachter: Prof. Dr. Leo Brunnberg
Zweiter Gutachter: PD Dr. Sabine Käßmeyer
Dritter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Johannes Handler

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):

dogs; veterinary practice; surgical operations; bone fractures; radius; ulna;
racture fixation; therapy; bone plates

Tag der Promotion: 10.03.2021

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<https://dnb.de>> abrufbar.

ISBN: 978-3-96729-101-8

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2021

Dissertation, Freie Universität Berlin

D188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

This document is protected by copyright law.

No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written authorization of the publisher.

alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2021

Choriner Str. 85 - 10119 Berlin

verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 EINLEITUNG	1
2 LITERATURÜBERSICHT	3
2.1 Fraktur	3
2.1.1 Definition.....	3
2.1.2 Frakturklassifikation	3
2.2 Frakturheilung.....	4
2.2.1 Frakturheilung und Stabilität	4
2.2.2 Direkte Knochenheilung	6
2.2.3 Indirekte Knochenheilung	7
2.2.4 Frakturheilungszeiten	9
2.3 Osteosynthese.....	11
2.3.1 Plattenosteosynthese	11
2.3.1.1 Nicht-winkelstabile Plattenosteosynthesen.....	12
2.3.1.2 Winkelstabile Plattenosteosynthesen	13
2.3.2 Fixateur externe.....	15
2.3.3 Implantatentfernung	17
2.4 Radius/Ulna-Frakturen	18
2.4.1 Inzidenz, Lokalisation	18
2.4.2 Therapie diaphysärer und distal metaphysärer Radius/Ulna-Frakturen	19
2.4.2.1 Konservative Frakturbehandlung	19
2.4.2.2 Intramedulläre Schienung	19
2.4.2.3 Paraossäre Klammer-Cerclage-Stabilisierung	20
2.4.2.4 Fixateur externe	20
2.4.2.5 Plattenosteosynthese	21
2.5 Komplikationen.....	23
2.5.1 Osteomyelitis	27
2.5.2 Delayed Union, Nonunion.....	29
2.5.2.1 Delayed Union	30
2.5.2.2 Nonunion	30

2.5.3 Malunion	32
2.5.4 Implantatversagen	34
2.5.5 Knochenresorption	35
2.5.6 Posttraumatische Synostose	37
2.5.7 Refraktur	38
3 MATERIAL UND METHODEN	40
3.1 Patientengut, Einschlusskriterien	40
3.2 Operation, Kontrolluntersuchungen.....	40
3.3 Datenerhebung.....	42
3.3.1 Patientendaten, Fraktureigenschaften.....	42
3.3.2 Osteosynthese.....	43
3.3.3 Beurteilung Knochenheilung, Komplikationen, Behandlungsergebnis	43
3.4 Statistische Auswertung	44
4 ERGEBNISSE	45
4.1 Patienten	45
4.1.1 Rasse.....	45
4.1.2 Alter	46
4.1.3 Geschlecht	46
4.1.4 Körpergewicht.....	46
4.2 Frakturen	47
4.2.1 Frakturursache	47
4.2.2 Frakturlokalisation	47
4.2.3 Frakturmorphologie, zusätzliche Frakturen	48
4.3 Frakturbehandlung	48
4.3.1 Zeitraum bis zur chirurgischen Versorgung.....	48
4.3.2 Chirurg, Dauer der Operation	48
4.3.3 Osteosyntheseverfahren	49
4.4 Frakturheilung.....	51
4.4.1 Frakturheilung: Patienten- und frakturabhängige Faktoren	51
4.4.2 Frakturheilung: Behandlungsabhängige Faktoren.....	51
4.4.2.1 Frakturheilung: Plattenosteosynthese vs. Fixateur externe.....	52
4.4.2.2 Frakturheilung: <i>NCP</i> vs. <i>DCP</i>	53
4.4.2.3 Frakturheilung: Winkelstabile vs. nicht-winkelstabile Osteosynthese.....	53
4.5 Implantatliegezeiten.....	54
4.5.1 Implantatliegezeiten: Plattenosteosynthese vs. Fixateur externe	55

4.5.2 Implantatliegezeiten: <i>NCP</i> vs. <i>DCP</i>	55
4.5.3 Implantatliegezeiten: Winkelstabile vs. nicht-winkelstabile Osteosynthese.....	56
4.6 Komplikationen	57
4.6.1 Komplikationen: Patientenabhängige Faktoren	58
4.6.2 Komplikationen: Frakturabhängige Faktoren.....	59
4.6.3 Komplikationen: Behandlungsabhängige Faktoren	60
4.6.3.1 Komplikationen: Zeitraum bis zur chirurgischen Versorgung, Chirurg.....	60
4.6.3.2 Komplikationen: Osteosyntheseverfahren	61
4.6.3.2.1 Komplikationen: Plattenosteosynthese vs. Fixateur externe	61
4.6.3.2.2 Komplikationen: <i>NCP</i> vs. <i>DCP</i>	62
4.6.3.2.3 Komplikationen: Winkelstabile vs. nicht-winkelstabile Osteosynthese.....	63
4.6.3.2.4 Komplikationen: Distal metaphysäre Frakturen bei Hunden < 5 kg	63
4.6.4 Komplikationen: Therapie der Komplikationen	64
4.7 Funktionelles Behandlungsergebnis.....	67
5 DISKUSSION	69
5.1 Patienten	69
5.2 Frakturen	71
5.3 Frakturbehandlung	73
5.4 Frakturheilung.....	74
5.4.1 Frakturheilung: Patienten- und frakturabhängige Faktoren	74
5.4.2 Osteosyntheseverfahren und Frakturheilung	75
5.5 Implantatentfernung.....	78
5.6 Komplikationen	81
5.6.1 Komplikationen: Patientenabhängige Faktoren	86
5.6.2 Komplikationen: Frakturabhängige Faktoren.....	86
5.6.3 Komplikationen: Behandlungsabhängige Faktoren	87
5.6.4 Komplikationen: Distal metaphysäre Frakturen bei Hunden < 5 kg.....	88
5.7 Funktionelles Behandlungsergebnis.....	88
5.8 Schlussbetrachtung	89
6 ZUSAMMENFASSUNG	90
7 SUMMARY	93
8 LITERATURVERZEICHNIS	96

9 ANHANG	121
9.1 Tabellen.....	121
9.2 Bewertungsschema funktionelles Behandlungsergebnis	132
DANKSAGUNG	133
SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	134

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	L / Δ L < 2 %: absolute Stabilität (modifiziert nach EGOL et al. 2004)	5
Abb. 2:	L / Δ L > 2 %, < 10 %: relative Stabilität (modifiziert nach EGOL et al. 2004)	5
Abb. 3:	L / Δ L > 10 %: keine Knochenheilung, Frakturheilungsstörungen (modifiziert nach EGOL et al. 2004)	5
Abb. 4:	Dynamische Kompressionsplatte (DCP) 2,0 mm mit Steg	12
Abb. 5:	Non Contact Plate (NCP) 2,0 mm	12
Abb. 6:	Radius-/Ulnasegmente in Anlehnung an UNGER et al. (1990) um Frakturen im proximalen, diaphysären und distalen Bereich zu charakterisieren.....	41
Abb. 7:	Häufigkeit der Osteosyntheseverfahren	48
Abb. 8:	Frakturlokalisierung und Osteosyntheseverfahren	49
Abb. 9:	57 Komplikationen bei 33 der 84 kontrollierten Radius/Ulna-Frakturen bei 84 Patienten.....	56
Abb. 10:	Komplikationsinzidenz bei Hunden der verschiedenen Gewichtsklassen	57
Abb. 11:	Komplikationsinzidenz und Frakturlokalisierung (diaphysär, distal metaphysär).....	58
Abb. 12:	Komplikationsinzidenz und Chirurgenerfahrung (erfahren, weniger erfahren)	59
Abb. 13:	Komplikationsraten: Plattenosteosynthese und Fixateur externe	60
Abb. 14:	Komplikationsraten: NCP und DCP	61
Abb. 15:	Komplikationsraten: winkelstabile Osteosynthese, nicht-winkelstabile Osteosynthese	62

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Knochenheilungszeiten beim Kleintier nach PIERMATTEI et al. (2006)	9
Tab. 2:	Postoperativer Zeitraum bis zur Entfernung von Dynamic Compression Plates nach BRINKER et al. (1975).....	17
Tab. 3:	Postoperativer Zeitraum bis zur Entfernung von Non Contact Plates nach BRUNNBERG et al. (1998).....	17
Tab. 4:	Chronologie der Literaturangaben zu Osteosynthesen bei Hunden: Frakturlokalisation und Osteosyntheseverfahren, Komplikationsrate und -art	23
Tab. 5:	Osteomyelitis bei Hunden mit Radius/Ulna-Fraktur: Inzidenz	28
Tab. 6:	Delayed, Non- und Malunions nach Osteosynthese von Radius/Ulna-Frakturen beim Hund: Inzidenz.....	32
Tab. 7:	Implantatversagen nach Osteosynthese von Radius/Ulna-Frakturen beim Hund: Inzidenz	34
Tab. 8:	Knochenresorption nach Osteosynthese von Radius/Ulna-Frakturen beim Hund: Inzidenz	35
Tab. 9:	Synostose nach Osteosynthese von Radius/Ulna-Frakturen beim Hund: Inzidenz	37
Tab. 10:	Refrakturinzidenz nach Implantatentfernung.....	38
Tab. 11:	Rasse und Gewicht der Hunde (n= 88) mit Unterarmfraktur (n= 91).....	45
Tab. 12:	Anteil diaphysärer und distal metaphysärer Frakturen in Korrelation zum Körpergewicht.....	46
Tab. 13:	Röntgen: Frakturheilungszeiten unter Platte und Fixateur externe bei juvenilen (≤ 1 Jahr) und adulten (> 1 Jahr) Patienten.....	51
Tab. 14:	Röntgen: Frakturheilungszeiten nach winkelstabiler (NCP) und nicht-winkelstabiler (DCP) Plattenosteosynthese.....	52
Tab. 15:	Röntgen: Frakturheilungszeiten nach winkelstabiler und nicht-winkelstabiler Osteosynthese.....	52
Tab. 16:	Implantatliegezeiten: Plattenosteosynthese, Fixateur externe und Patientenalter (juvenil ≤ 1 Jahr; adult > 1 Jahr).....	54
Tab. 17:	Implantatliegezeiten NCP und DCP.....	55
Tab. 18:	Implantatliegezeiten winkelstabiler und nicht-winkelstabiler Osteosynthesen.....	55
Tab. 19a:	Frakturheilungszeiten nach Fixateur externe-Osteosynthese bei Hunden mit Fraktur eines der langen Röhrenknochen: Literaturangaben	75
Tab. 19b:	Frakturheilungszeiten nach Plattenosteosynthese bei Hunden mit Fraktur eines der langen Röhrenknochen: Literaturangaben	76

Tab. 20a:	Implantatliegezeiten nach Fixateur externe -Osteosynthese bei Hunden mit Fraktur eines der langen Röhrenknochen: Literaturangaben	79
Tab. 20b:	Implantatliegezeiten nach Plattenosteosynthese bei Hunden mit Fraktur eines der langen Röhrenknochen: Literaturangaben	79
Tab. I:	Radius/Ulna-Frakturen (n= 91) bei den Hunden (n= 88) der Studie: Signalement, Frakturursache, -lokalisierung, -morphologie und zusätzliche Verletzungen.....	121
Tab. II:	Zeitintervall in Tagen zwischen Trauma - Osteosynthese (n= 91); Osteosynthese-Technik	123
Tab. III:	Osteosynthese-Technik, postoperative Röntgenkontrollen, röntgenologisch bestätigte Frakturheilungszeit, Implantatliegezeit/ -entfernung bei 71 Frakturen	125
Tab. IVa:	Komplikation, Therapie, Zeit bis zur röntgenologisch nachgewiesenen Heilung bei 84 Radius/Ulna-Frakturen.....	126
Tab. IVb:	Schweregrad der Komplikationen und deren Therapie	128
Tab. IV:	Osteosynthese-Technik, Implantatentfernung, funktionelle Kurz-/ Langzeitergebnisse bei 84 Frakturen	129

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ABCG	Antebrachiocarpalgelenk
ALPS	Advanced Locking Plate System
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
ASIF	Association for the Study of Internal Fixation
BE	Belgien
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CT	Computertomographie
DCP	Dynamic Compression Plate
DE	Deutschland
d.h.	das heißt
ECVS	European College of Veterinary Surgeons
et al.	<i>et alii</i>
FU Berlin	Freie Universität Berlin
ggr.	geringgradig
GM	Gliedmaße
h	Stunde
hgr.	hochgradig
insg.	insgesamt
IM-Pin	intramedullärer Pin
Impl.	Implantat
J.	Jahr

K-Draht	Kirschner-Bohrdraht
kg	Kilogramm Körpergewicht
LC-DCP	Low Contact-Dynamic Compression Plate
LCP	Locking Compression Plate
m	männlich
mg	Milligramm
mgr.	mittelgradig
MIPO	minimalinvasive Plattenosteosynthese
mk	männlich kastriert
ml	Milliliter
mm	Millimeter
Mo.	Monate
NCP	Non Contact Plate
o. A.	ohne Angabe
ORIF	offene Reposition interne Fixation
PC-Fix	Point Contact Fixateur
PKCS	Paraossäre Klammer-Cerclage-Stabilisierung
p.o.	<i>post operationem</i>
R	Radius
Quadricepsk.	Quadricepskontraktur
S.	Seite
s.	siehe
SD	Standardabweichung
SOP	String Of Pearls

Abkürzungsverzeichnis

Tab.	Tabelle
techn.	technisch
Tg.	Tage
TS	Tiefensensibilität
U	Ulna
UK	United Kingdom
US	United States (of America)
VCP	Veterinary Cuttable Plate
Vol.-%	Volumenprozent
vs.	versus
w	weiblich
wk	weiblich kastriert
Wo.	Wochen
z. B.	zum Beispiel
%	Prozent
°	Grad

1 EINLEITUNG

Radius/Ulna-Frakturen machen 8,5-18 % aller Frakturen beim Hund aus (SUMNER-SMITH und CAWLEY 1970; PHILLIPS 1979; RUDD und WHITEHAIR 1992) und sind die dritthäufigsten Gliedmaßenfrakturen bei dieser Spezies (SUMNER-SMITH und CAWLEY 1970; MEYER 1977; DIEHM 2016). Dabei können beide oder nur ein Knochen des Unterarms in einer Vielzahl von Kombinationen und Lokalisationen brechen. Am häufigsten betroffen sind der diaphysäre und der distale Knochenabschnitt (MEYER 1977; LAPPIN et al. 1983; RUDD und WHITEHAIR 1992). Die Heilung von Unterarmfrakturen kann problematisch sein. Häufig beobachtete Komplikationen sind Delayed Union, Nonunion, Malunion, Osteomyelitis, Knochenresorption, Synostose und Ankylose (RUDD und WHITEHAIR 1992; AKATVIPAT 2013). Dabei sind distale Unterarmfrakturen bei Hunden der Toyrassen besonders komplikationsgefährdet. Am häufigsten kommt es bei kleinen und leichtgewichtigen Rassen zu einer Nonunion (SUMNER-SMITH und CAWLEY 1970; WATERS et al. 1993; LAPPIN et al. 1983; LARSEN et al. 1999). Als Ursachen werden eine im Vergleich zu größeren Hunden geringere Blutgefäßdichte der distalen Radiusmetaphyse, eine geringere Weichteilabdeckung des Unterarms und eine größere biomechanische Instabilität des Frakturbereichs beschrieben (SUMNER-SMITH und CAWLEY 1970; LAPPIN et al. 1983; WELCH et al. 1997; HAAS et al. 2003; JOHNSON et al. 2005). Der Erhalt der Blutgefäßversorgung und das Ermöglichen der Revaskularisation im Frakturbereich ist daher von besonderer Wichtigkeit in der Frakturbehandlung von Radius und Ulna (WELCH et al. 1997).

Der Zielsetzung einer stabilen Fixation und der maximalen Schonung der Vaskularisation des frakturierten Knochens trägt die Entwicklung winkelstabiler Plattensysteme Rechnung. Das Prinzip der Winkelstabilität ist die Verbindung der im Knochen befestigten Implantate mit dem frakturüberbrückenden Implantat als Kraftträger in solcher Art und Weise, dass sie sich gegenüber dem Kraftträger nicht in ihrem Winkel verschieben können. Ein klassisches winkelstabiles System ist der Fixateur externe (CLAES 2004). Bei der winkelstabilen Plattenosteosynthese ist ein Anpressen der Platte an den Knochen, wie bei konventionellen Osteosyntheseplatten, nicht mehr nötig. Dadurch kann eine Beeinträchtigung der Blutversorgung des Knochens vermieden werden. (CLAES 2004; WAGNER 2010).

Für die operative Therapie von Radius/Ulna-Frakturen ist eine Vielzahl von Osteosynthesemethoden beschrieben. Im Bereich der diaphysären und distal metaphysären Frakturen haben sich insbesondere die Osteosynthese mit Platte oder Fixateur externe bewährt (DE ANGELIS et al. 1973; LAPPIN et al. 1983; RUDD und WHITEHAIR 1992; LARSEN et al. 1999; PIRAS et al. 2011; RAMIREZ und MACIAS 2016).

In der vorliegenden Arbeit werden diaphysäre und distal metaphysäre Radius/Ulna-Frakturen bei Hunden, die mit Platte oder Fixateur externe stabilisiert wurden, retrospektiv ausgewertet. Anliegen der Studie ist, patientenabhängige (z. B. Gewicht, Alter, Rasse), frakturabhängige (z. B. Frakturlokalisierung, Frakturmorphologie) und behandlungsabhängige (z. B. Zeit bis zur chirurgischen Versorgung, Osteosyntheseverfahren) Größen zu ermitteln und mögliche Zusammenhänge mit der Dauer der Frakturheilung und dem Auftreten von Komplikationen aufzudecken.

Im Fokus steht dabei die Analyse der Osteosynthesen. Dies soll insbesondere im Hinblick darauf geschehen ob es sich um eine winkelstabile oder nicht-winkelstabile Osteosynthesetechnik handelt und ob sich daraus Therapieempfehlungen für die Versorgung diaphysärer und distal metaphysärer Radius/Ulnafrakturen ableiten lassen.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 Fraktur

2.1.1 Definition

Eine Fraktur ist eine vollständige oder unvollständige Kontinuitätsunterbrechung von Knochen oder Knorpel (PIERMATTEI et al. 2006).

2.1.2 Frakturklassifikation

Die Klassifikation von Frakturen kann nach verschiedenen Aspekten erfolgen. Bei der Einteilung nach der Frakturursache wird zwischen direkter und indirekter Gewalteinwirkung auf den Knochen, Erkrankungen des Knochens und Ermüdungsbrüchen durch wiederholten Stress auf den Knochen unterschieden (PIERMATTEI et al. 2006). Abhängig davon, ob die Fraktur mit einer äußeren Wunde verbunden ist, liegt eine offene oder geschlossene Fraktur vor. Geschlossene Frakturen haben einen intakten Weichteilmantel (PIERMATTEI et al. 2006; JOHNSON 2009). Je nach Schweregrad des Weichteilschadens sind drei Grade möglich. Bei Grad 1 offenen Frakturen ist die Haut durch den Knochen von innen nach außen perforiert (< 1 cm) und nicht kontaminiert. Grad 2 offene Frakturen sind von außen entstandene Hautläsionen von über einem Zentimeter Größe. Als Grad 3 offene Frakturen werden Splitter- oder Trümmerfrakturen mit ausgedehntem Schaden des Weichteilmantels (häufig unter Einbeziehung von Gefäßen, Nerven, Muskeln und Sehnen) bezeichnet (GUSTILO und ANDERSON 1976). Die Klassifizierung anhand der Lokalisation bezeichnet bei Frakturen der langen Röhrenknochen zum einen den Knochen (Humerus, Radius/Ulna, Femur, Tibia/Fibula) und zum anderen den Ort der Frakturlinie am Knochen. UNGER et al. (1990) passten das Klassifikationssystem der humanmedizinischen *Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO)* für die Tiermedizin an. Es ermöglicht eine Einteilung der Frakturen von langen Röhrenknochen mittels eines alphanumerischen Codes. Der Code gibt Aufschluss über die Frakturlokalisierung und -morphologie, sowie über den Schweregrad der Fraktur. Der Verlauf der Frakturlinie in Relation zur Längsachse macht eine Einteilung in Querfrakturen (< 30°), Schrägfrakturen (> 30°) und Spiralfrakturen (eine Schrägfraktur, die um den Knochenschaft herum verläuft) möglich. Sind mehrere Frakturlinien vorhanden und mindestens ein isoliertes, mittelgroßes Fragment, handelt es sich um eine Splitterfraktur. Bei

proximalen und distalen Frakturen langer Röhrenknochen kann eine Einteilung anhand eines möglichen Verlaufs der Frakturlinie durch die Gelenkfläche vorgenommen werden. Unterschieden werden extraartikuläre Frakturen, bei denen die Frakturlinie durch die Metaphyse verläuft und partielle oder vollständige Gelenkfrakturen. Bei partiellen oder vollständigen Gelenkfrakturen verläuft die Frakturlinie im Bereich der epiphysären Gelenkfläche (UNGER 1990; PIERMATTEI et al. 2006). Eine Einteilung nach dem Schweregrad der Knochenverletzung unterscheidet vollständige Frakturen von Grünholzfrakturen und Fissuren (PIERMATTEI et al. 2006). Verletzungen der Epiphysenfugen bei wachsenden Hunden werden in vier Formen eingeteilt. Bei Typ I verläuft die Frakturlinie durch die Epiphysenfuge, bei Typ II besteht ein zusätzliches Ausbruchfragment der Metaphyse. Sowohl bei Typ III als auch bei Typ IV ist neben der epiphysären Frakturlinie eine intraartikuläre Frakturlinie vorhanden. Typ IV ist dabei durch ein zusätzliches metaphysäres Fragment gekennzeichnet. Eine Stauchung der Epiphysenfuge wird als Typ V, ein partieller Epiphysenfugenschluss als Typ VI bezeichnet (SALTER und HARRIS 1963; JOHNSON 2009).

2.2 Frakturheilung

Die Frakturheilung kann als narbenfreie Regeneration und Reparatur verlaufen (MCKIBBIN 1978; GIANNOUDIS et al. 2007; MARSELL und EINHORN 2011). Verschiedene Zelltypen aus Kortex, Periost, Knochenmark und umliegendem Weichteilgewebe ermöglichen das, so dass die Knochenbildung analog der embryonalen Knochenentwicklung abläuft (CALORI und GIANNOUDIS 2011). Nach GIANNOUDIS et al. (2007) sind Wachstumsfaktoren, mesenchymale Stammzellen und eine Matrix für die neugebildete Knochensubstanz besonders wichtig (*diamond concept*). Um das neugebildete Gewebe zu erhalten, müssen mechanische Stabilität und gute Vaskularisation des Frakturbereichs gewährleistet sein (CALORI und GIANNOUDIS 2011). Frakturen heilen beim wachsenden Patienten schneller als beim adulten (BUCKWALTER et al. 1996).

2.2.1 Frakturheilung und Stabilität

Das Konzept der Stabilität hat entscheidende Bedeutung in der chirurgischen Frakturbehandlung. Stabilität bestimmt das Maß an Belastung (*strain*) im Frakturbereich. Die Höhe des *strains* bestimmt wiederum den Typ der Knochenheilung an der Frakturstelle. Definiert wird der *strain* als der Quotient der relativen Veränderung des Frakturspalts unter

Belastung und seiner ursprünglichen Länge (EGOL et al. 2004). Gewebe kann nicht gebildet werden, wenn der *strain* höher ist als die maximale Dehnungsfähigkeit eines Gewebes, bevor es zerreißt. Für lamellären Knochen liegt die maximale Dehnungsfähigkeit bei 2 % (PERREN 1979). Direkte bzw. primäre (endostale) Knochenheilung ohne Kallusbildung entsteht nur unter absoluter Stabilität. Die ist bei einem *strain* unter 2 % gegeben (Abb. 1). Zur indirekten bzw. sekundären (enchondralen) Knochenheilung mit Kallusbildung kommt es bei relativer Stabilität und einem *strain* zwischen 2-10 % (Abb. 2). Bei einem *strain* über 10 % ist keine Knochenbildung möglich (EGOL et al. 2004) (Abb. 3).

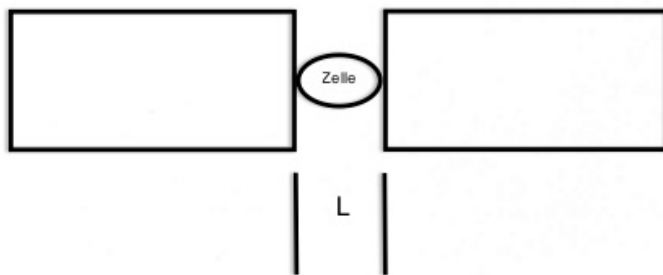


Abb. 1: $L / \Delta L < 2 \%$: absolute Stabilität (modifiziert nach EGOL et al. 2004)

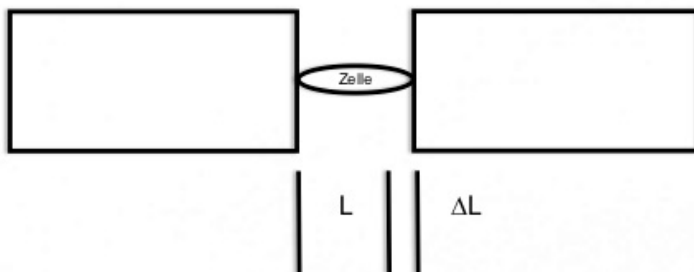


Abb. 2: $L / \Delta L > 2\%, < 10 \%$: relative Stabilität (modifiziert nach EGOL et al. 2004)

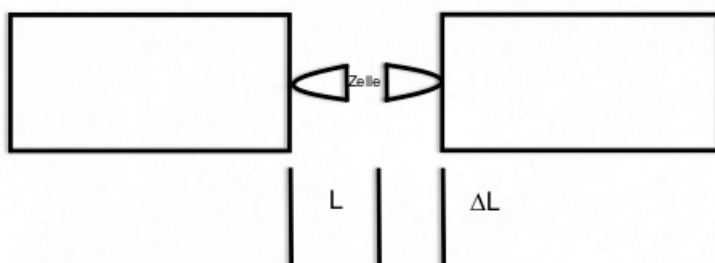


Abb. 3: $L / \Delta L > 10 \%$: keine Knochenheilung, Frakturheilungsstörungen (modifiziert nach EGOL et al. 2004)

2.2.2 Direkte Knochenheilung

Unter rigider Fixation und Kontakt der Fragmentenden unter Kompression kommt es zur direkten Knochenheilung (HULSE und HYMAN 2003; TROSTLE und MARKEL 1996), die als Kontakt- oder Spaltheilung abläuft, da selbst bei interfragmentärer Kompression unterschiedliche Kontaktbereiche zwischen den Fragmentenden entstehen. So wirken auf die plattennahe Kortex einer Querfraktur ausgeprägter Kompressionskräfte ein, als auf die plattenferne. Trotz stabiler Fixation laufen deshalb synchron Kontakt- (cis-Kortex) und Spaltheilung (trans-Kortex) ab (SCHENK 1975). Zur Knochenresorption kommt es im Gegensatz zur indirekten Heilung nicht (GRIFFON 2005). Es entsteht kein Kallus (RAHN 1982). Die knöcherne Fusion und das Haver'sche Remodelling laufen bei der Kontaktheilung simultan ab. Im Gegensatz dazu erfolgen diese Schritte bei der Spaltheilung nacheinander (GRIFFON 2005; MARSELL und EINHORN 2011).

Kontaktheilung ist bei einem Frakturspalt $< 0,01$ mm und einem *strain* < 2 % möglich (MANN und PAYNE 1989; MARSELL und EINHORN 2011). Dann können sich kegelförmige formierte Strukturen (*cutting cones*) formieren, an deren Spitze Osteoklasten die Frakturlinie überqueren und Kanäle für einwachsende vaskuläre Strukturen bilden (MARSELL und EINHORN 2011). Über die Gefäße gelangen multipotente mesenchymale Stammzellen in den Bereich. Diese Zellen differenzieren sich nach Stimulation durch knochenmorphogenetische Proteine (BMPs) über eine Zwischenstufe (Osteoprogenitorzellen) zu Osteoblasten und füllen die Hohlräume mit lamellären Knochen. Der Lamellenknochen ist longitudinal entlang der Knochenachse ausgerichtet (WILLENEGGER et al. 1971; RAHN 1981; MANN und PAYNE 1989; BRAUN und RUTER 1996; HUGHES et al. 2019). Dabei bildet sich kein periostaler Kallus und der neugebildete lamelläre Knochen ist während der ersten Monate weniger dicht als die intakte Kortex, so dass die Frakturstelle auf Röntgenaufnahmen bis zum endgültigen Umbau sichtbar bleibt (GRIFFON 2005). Osteosynthetisch ist es jedoch nicht möglich, einen vollständigen Kontakt der Fragmentenden herzustellen, der sich auch histologisch beweisen ließe, selbst wenn die Fraktur makroskopisch einwandfrei reponiert wurde. Nach einer Kompressionsosteosynthese sind dadurch Mikrobewegungen möglich, die durchaus die Frakturheilung verzögern oder gar zum Erliegen kommen lassen können (SCHENK und WILLENEGGER 1977).

Spalthheilung entsteht bei einer Frakturspaltgröße von 0,2-1,0 mm und einem *strain* von weniger als 2 %. Dann können end- und periostale Gefäße direkt einsprossen und Osteoblasten bilden zunächst senkrecht zur Knochenachse ausgerichteten Faserknochen. Der aufgrund seiner perpendikulären Ausrichtung mechanisch schwache Geflechtknochen wird in einem weiteren Schritt allmählich in lamellären Knochen umgebaut. Dieses Remodeling des Haver'schen Systems verläuft analog zur Kontaktheilung durch longitudinal ausgerichtete Resorptionskanäle (WILLENEGGER et al. 1971; HULSE und HYMAN 2003; MARSELL und EINHORN 2011).

2.2.3 Indirekte Knochenheilung

Bei instabilen Frakturen wird zunächst ein temporärer Fixationskallus zur Stabilisation gebildet. Erst sekundär entsteht Knochengewebe. Die Menge des gebildeten Kallusgewebes nimmt mit zunehmender Instabilität zu (FROST 1989; GRIFFON 2005). Die indirekte Knochenheilung besteht aus mehreren, mindestens drei einander überlappenden Phasen: Entzündungs-, Reparatur- und Remodelingphase (CRUESS und DUMONT 1975; REMEDIOS 1999). Es werden fünf Heilungsphasen – Phase der Fraktur, Entzündungsphase, Phase des weichen Kallus, Phase des harten Kallus und Remodelingphase – unterschieden (KLAUSHOFER und PETERLIK 1994; BRAUN und RUTER 1996). Dabei gehen unterschiedliche Gewebe mit steigender Stabilität ineinander über. Das initiale Frakturhämatom wird durch Granulationsgewebe ersetzt. Aus dem Granulationsgewebe geht erst bindegewebiger und anschließend mineralisierter Kallus hervor. Erst dann erfolgt der Umbau in Geflecht- und anschließend in Lamellenknochen.

Die *Phase der Fraktur* beginnt unmittelbar mit dem Trauma und dauert meist nur Sekundenbruchteile, bis die einwirkende Energie auf den Knochen und das umliegende Gewebe übertragen ist. Ausmaß und Form der Fraktur werden dadurch bestimmt (BRAUN und RUTER 1996).

Die *Entzündungsphase* startet mit der Fraktur (REMEDIOS 1999) und dauert 1-7 Tage (BRIGHTON 1984; KLAUSHOFER und PETERLIK 1994; BRAUN und RUTER 1996). Infolge der Ruptur intramedullärer, periostaler und peripherer Gefäße entsteht ein Frakturhämatom und es kommt zur ischämischen Knochennekrose (RHINELANDER 1974; MCKIBBIN 1978; JOHNSON et al. 2005). Aus zerstörten Osteozyten werden lysosomale Enzyme freigesetzt, die den Knochen abbauen und eine Entzündungsreaktion hervorrufen (REMEDIOS 1999; MARSELL und EINHORN 2011). Granulozyten, Lymphozyten,

Fibroblasten und multipotente Stammzellen wandern in den Frakturbereich ein und stimulieren die Angiogenese (BRAUN und RUTER 1996; TROSTLE und MARKEL 1996; PROBST et al. 1997; REMEDIOS 1999). Das sichert vorübergehend die Blutzufuhr aus dem Weichteilmantel in den hypoxischen Frakturbereich. Blutgefäßversorgung und die begleitenden Stoffwechselaktivitäten sind wichtige Faktoren für die Frakturheilung (RHINELANDER 1974; CRUESS und DUMONT 1975; WILSON 2002). Klinisch ist die Entzündungsphase lokal von Schwellung und Schmerzen gekennzeichnet. Lassen diese Anzeichen nach, beginnt die nächste Heilungsphase (BRIGHTON 1984; BRAUN und RUTER 1996).

Die *Phase des weichen Kallus* ($\hat{=}$ Granulationsphase) dauert 2-3 Wochen (BRIGHTON 1984; KLAUSHOFER und PETERLIK 1994; BRAUN und RUTER 1996). Das Frakturhämatom wird sukzessive durch Granulationsgewebe aus Entzündungszellen, Kollagen und neu eingewanderten Blutgefäßen ersetzt (KLAUSHOFER und PETERLIK 1994). Über die Blutgefäße gelangen mesenchymale Stammzellen die sich zu Chondroblasten, Fibroblasten und Osteoblasten differenzieren, in den Frakturbereich. Fibroblasten produzieren eine extrazelluläre Matrix, die den Frakturspalt auffüllt (BRAUN und RUTER 1996). Osteoklasten bauen zugleich nekrotische Knochenmatrix ab (BRIGHTON 1984; KLAUSHOFER und PETERLIK 1994). Die neugebildeten Kollagenfibrillen sind Leitgerüst für Chondroblasten und Osteoblasten (BRAUN und RUTER 1996). Interfragmentärer weicher Kallus entsteht, der vor allem vom Periost ausgeht und den Frakturbereich zunächst manschettenartig umgibt (BRIGHTON 1984). Die Kallusmenge ist direkt von der Bewegung im Frakturspalt abhängig. Vermehrte Instabilität führt zu vermehrter Kallusproduktion (PALMER et al. 1992).

Die *Phase des harten Kallus* beginnt mit Mineralisation des weichen Kallus (PALMER et al. 1992). Schrittweise härtet der weiche Kallus durch Mineralisierung der bestehenden Grundsubstanz und des Knorpelgewebes aus (KLAUSHOFER und PETERLIK 1994; RADASCH 1999). Chondroblasten bilden eine Knorpelmatrix um sich herum und differenzieren sich anschließend zu Chondrozyten. Die hypoxische Situation in der Matrix führt zur Degeneration der Chondrozyten, bei der Proteasen und Phosphatasen freigesetzt werden. Durch enzymatische Spaltung entstehen Phosphat- und Kalziumionen die zu mineralischen Ablagerungen präzipitieren. Entstandenes Kalziumphosphat bildet Hydroxylapatitkristalle die sich entlang der Kollagenfasern anordnen (MARSELL und EINHORN 2011). Der interfragmentäre Bereich wird zunehmend stabiler. Blutgefäße aus dem Periost, Endost und dem Markraum sprossen in die mineralisierte Grundsubstanz ein und damit gelangen auch mesenchymale Stammzellen, die sich zu Osteoprogenitorzellen

entwickeln in diesen Bereich. Die Vorläuferzellen differenzieren sich weiter zu Osteoblasten und wandeln das mineralisierte Gewebe durch enchondrale Ossifikation in Geflechtknochen um (BRIGHTON 1984; MARK et al. 2004). Der dreidimensional angelegte Geflechtknochen richtet sich nicht entlang der Richtung der mechanischen Belastung, sondern entlang seiner neu eingesprossenen, nutritiven Gefäße aus (KLAUSHOFER und PETERLIK 1994; BRAUN und RUTER 1996). Mit der klinischen und radiologischen Ausheilung der Fraktur endet die Phase des harten Kallus. Sie kann 3-4 Monate dauern (BRIGHTON 1984).

Die *Remodelingphase* kann sich über Monate und Jahre erstrecken (BRIGHTON 1984; FROST 1989; BRAUN und RUTER 1996; KALFAS 2001). Der ungerichtet angeordnete Geflechtknochen wird dabei in regelmäßig gerichteten Lamellenknochen umgebaut (BRIGHTON 1984; KLAUSHOFER und PETERLIK 1994; BRAUN und RUTER 1996). Um die ursprüngliche Knochenstruktur mit Kortikalis, Endost und Periost wiederherzustellen, übernehmen Osteoklasten den Abbau des Geflechtknochens und Osteoblasten den Aufbau des Lamellenknochens (CRUESS und DUMONT 1975). An konvexen Oberflächen wird eher resorbiert und an konkaven Oberflächen eher Knochensubstanz aufgebaut (CRUESS und DUMONT 1975; TROSTLE und MARKEL 1996). Der Knochen wird somit der mechanischen Beanspruchung angepasst und erhält nicht unbedingt seine ursprüngliche anatomische Form zurück (CRUESS und DUMONT 1975; PROBST et al. 1997).

2.2.4 Frakturheilungszeiten

Die Dauer der Knochenheilung wird von zahlreichen patienten- (Alter, Gewicht, Rasse, begleitende Erkrankungen), fraktur- (Art und Lokalisation der Fraktur, Verletzung des umgebenden Weichteilgewebes), therapieabhängigen (Zeitpunkt, Auswahl der Behandlungsmethode, Asepsis) und auch postoperativen Faktoren (Patienten- und Besitzer-Compliance, Grad der Ruhighaltung, Verabreichung von Medikamenten) mit beeinflusst (CLAES et al. 2012; GARCIA et al. 2015a; GARCIA et al. 2015b).

Nach BOONE et al. (1989) sind unter optimalen Voraussetzungen (unkomplizierte Fraktur mit minimalem Weichteiltrauma, keine systemischen Erkrankungen, keine Infektion, angemessene postoperative Behandlung) das Patientenalter und die Osteosynthesemethode entscheidend für die Heilungszeit. PIERMATTEI et al. (2006) geben für Kleintiere je nach Alter ungefähre Richtwerte unter bestmöglichen Bedingungen an (Tab. 1).

Tab. 1: Knochenheilungszeiten beim Kleintier nach PIERMATTEI et al. (2006)

Alter des Patienten	Plattenosteosynthese	Fixateur externe oder Markraumfixation
< 3 Monate	4 Wochen	2-3 Wochen
3-6 Monate	8-12 Wochen	4-6 Wochen
6-12 Monate	12-20 Wochen	5-8 Wochen
> 1 Jahr	20-52 Wochen	7-12 Wochen

Nach Plattenosteosynthese heilt der Knochen meist primär und nach Fixateur externe oder Marknagelung sekundär. Auch die Vaskularisation des Knochens wird je nach Osteosyntheseart unterschiedlich beeinflusst (GUNST et al. 1979; BRUNNBERG et al. 1998; PIERMATTEI et al. 2006; CHAO et al. 2012). Ist die Heilung gestört, kann eine Malunion, Delayed Union oder Nonunion entstehen (PERREN 2002; CHILDS 2003; GIANNOUDIS et al. 2007).

2.3 Osteosynthese

Die Prinzipien der heutigen Frakturbehandlung wurden von der 1958 in der Schweiz gegründeten und später auch als *Association for the Study of Internal Fixation (ASIF)* bekannten *Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO)* erarbeitet. Diese als *AO/ASIF-Richtlinien* bekannten Grundsätze sind (PRIEUR und SUMNER-SMITH 1984; SCHATZKER 2005):

- anatomische Reposition und Fixation der Frakturfragmente, insbesondere bei Gelenkfrakturen
- Stabilisierung der Fraktur durch Fixation oder Schienung, entsprechend dem Charakter der Fraktur und der Verletzung
- Erhaltung der Blutversorgung zum Knochen und zum Weichteilgewebe durch atraumatische Operationstechnik
- frühe, schmerzfreie und sichere Mobilisierung der Gliedmaße und des Patienten

Die *AO/ASIF-Richtlinien* haben nach wie vor grundlegende Bedeutung, wurden aber den wissenschaftlichen Erkenntnissen und klinischen Beobachtungen entsprechend immer wieder angepasst (SCHATZKER 2005). Sieht man einmal von Gelenkfrakturen ab, wird heute durch minimalinvasive Verfahren bei Schaftfrakturen auf exakte Reposition und absolute Stabilität verzichtet (SCHATZKER 2005) und es werden eher biologische Kriterien beachtet (PERREN 2002). Im Rahmen der biologischen Osteosynthese wird die Kallusbildung durch eine flexiblere Fixation unterstützt und das operative Trauma durch geschlossene Reposition minimiert (PERREN 2002; GAUTIER und SOMMER 2003). Falls eine offene Reposition erforderlich ist, gilt das Prinzip „open but do not touch“. Zielsetzung dieses Prinzips ist der chirurgische Zugang zum Frakturbereich mit minimaler Weichteiltraumatisierung. So werden das Frakturhämatom mit seinen wichtigen osteogenetischen Komponenten sowie frakturnahe vaskuläre Strukturen erhalten (ARON et al. 1995; JOHNSON 2003), die Operationsdauer reduziert und damit das Infektionsrisiko verringert (EUGSTER et al. 2004).

2.3.1 Plattenosteosynthese

Es ist eine Fülle verschiedener Plattensysteme erhältlich, die sich in Formgebung und Schrauben unterscheiden. Heutiges Kriterium bei Plattenosteosynthesen ist die Winkel- bzw. Nichtwinkelstabilität.

2.3.1.1 Nicht-winkelstabile Plattenosteosynthesen

Die AO-Rundlochplatte wurde 1969 zur *DCP* (Dynamische Kompressionsplatte, Dynamic Compression Plate) weiterentwickelt (PERREN et al. 1969). Bei der *DCP* (Abb. 4) sind die ovalen Plattenlöcher als Spann-Gleitlöcher konzipiert. Sie bestehen aus einem abgesenkten und einem horizontalen Zylinder. Eine exzentrische Anbringung der Schraube im Plattenloch bewirkt ein horizontales Gleiten des Knochens unter der Platte. Werden die bikortikal angebrachten Schrauben auf beiden Seiten der Frakturlinie angezogen, wird die Stabilität durch axiale, interfragmentäre Kompression und Reibung erreicht (PERREN et al. 1969; JOHNSON 2009; HAALAND et al. 2009). Verschiedene Merkmale der *DCP* können nachteilig sein. Die breite Auflagefläche und der Anpressdruck der Platte beeinträchtigen die kortikale Blutversorgung. Drucknekrosen unterhalb der Platte sind die Folge (RHINELANDER 1968; GAUTIER et al. 1983; PERREN et al. 1988). Die verminderte Knochenqualität im Plattenlager kann zu Frakturheilungsstörungen und einer Schwächung des Knochens nach Implantatentfernung führen (MÜLLER et al. 1992). Aufgrund der Konfiguration der Plattenlöcher können die Schrauben nur in einer maximalen Neigung von 25° in der Längsachse angebracht werden. Dies kann das Einsetzen einer Zugschraube bei kurzen Schrägfrakturen erschweren. Zudem weist die *DCP* ein mittleres lochfreies Segment auf. Ein nachträgliches Verschieben der Platte entlang der Knochenlängsachse nach Bohrung der ersten Löcher ist nicht möglich (MÜLLER et al. 1992).

Die *LC-DCP* (*Low Contact-Dynamic Compression Plate*) wird analog zur *DCP* verwendet. Ihre Konstruktion weist jedoch zusätzliche Merkmale auf, die ihre Anwendung und Funktion verbessern (PIERMATTEI et al. 2006). Durch die Aussparungen an der Unterseite der Platte ist die Plattenauflagefläche im Vergleich zur *DCP* um die Hälfte reduziert. Dadurch wird die Durchblutung unterhalb der Platte deutlich weniger beeinträchtigt als bei der *DCP* (MÜLLER et al. 1992; SCHÜTZ und SÜDKAMP 2003). Das sphärische Gleitprinzip der *DCP* kommt auf beiden Seiten des symmetrischen Plattenloches der *LC-DCP* zum Einsatz (PERREN 1991; JOHNSON 2009). Zudem ist das Plattenloch auf der Unterseite unterschritten, wodurch eine Winkelung der Schrauben bis zu 40° in der Knochenlängsachse ermöglicht wird. Die regelmäßigen Abstände der Plattenlöcher über die gesamte Plattenlänge erlauben ein Verschieben der Platte bei komplexen Frakturen (PERREN 1991; MÜLLER et al. 1992).



Abb. 4: *Dynamische Kompressionsplatte (DCP) 2,0 mm mit Steg*

2.3.1.2 Winkelstabile Plattenosteosynthesen

Die von BRUNNBERG et al. (1998) entwickelte *Non Contact Plate (NCP)* ist das erste winkelstabile, monokortikal verschraubte Plattensystem. Es zeichnet sich durch ein negativ konisches Gewinde im Plattenloch, ein hohes, positiv konisches Gewinde im Halsbereich der Schraube und ein niedriges Gewinde im Schraubenschaft aus (Abb. 5). Beim Anziehen der Schrauben wird die Platte vom Knochen distanziert und hat keinen Kontakt mit der Knochenoberfläche (BRUNNBERG et al. 1998).

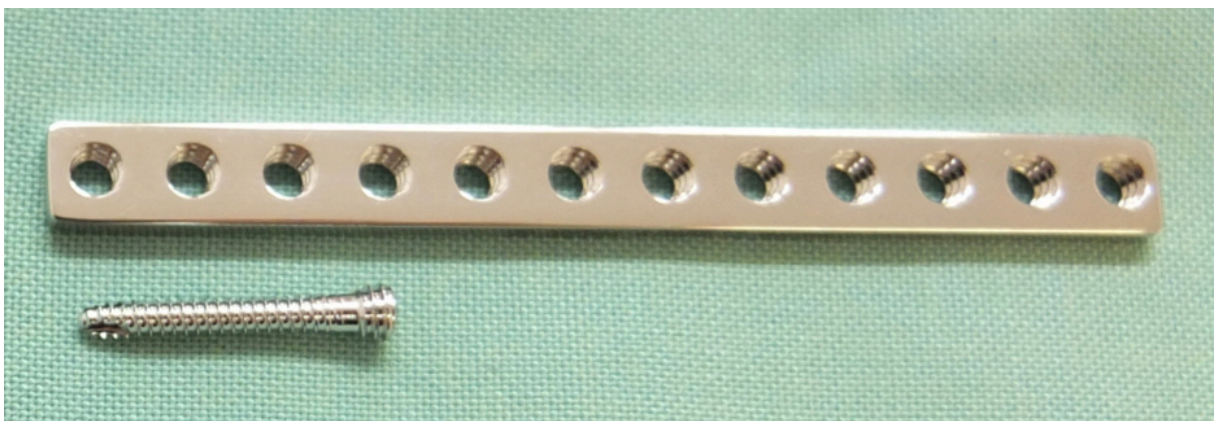


Abb. 5: *Non Contact Plate (NCP) 2,0 mm*

Bei Kompressionsplatten ist eine stabile Verbindung zwischen Knochen und Platte unbedingt erforderlich. Nur so kann den bei Belastung auftretenden Kräften an der Verbindungsfläche zwischen Knochen und Platte durch Reibungskräfte entgegengewirkt werden (EGOL et al. 2004). Trotz der geringeren Auflagefläche der *LC-DCP* gegenüber der *DCP* kommt es auch bei der *LC-DCP* zu einer Beeinträchtigung der kortikalen

Blutversorgung. Um diesen Nachteil zu umgehen, wurden winkelstabile Plattensysteme entwickelt (SCHÜTZ und SÜDKAMP 2003).

Bei winkelstabilen Platten müssen auf der Knochenoberfläche keine Kompressionskräfte erzeugt werden, um eine stabile Verbindung von Knochen und Platte zu erzeugen. Die Stabilität wird durch Verriegelung der Schrauben in der Platte erreicht. Die Schrauben haben damit eine Winkel- und axiale Stabilität. Winkelstabile Plattensysteme werden daher auch als *Fixateur interne* bezeichnet (SCHÜTZ und SÜDKAMP 2003; WAGNER 2010). Der limitierte Knochenkontakt verbessert die kortikale Durchblutung und die Frakturheilung (PERREN und BUCHANAN 1995; FAROUK et al. 1997; BRUNNBERG et al. 1998). Pro Hauptfragment sind nur zwei Schrauben durch vier Kortizes nötig. Möglich ist dies, weil durch die Verriegelung der Schrauben in der Platte eine im Gegensatz zu konventionellen Plattensystemen größere Stabilität erreicht wird (KELLER et al. 2005; KOCH 2005). Durch monokortikale Verschraubung werden die endostale Vaskularisation und der kortikale Knochen geschont (BRUNNBERG et al. 1998; PERREN 2002). In sehr weichem Knochen, wie bei Jungtieren oder im metaphysären Knochenabschnitt, ist eine monokortikale Verschraubung allerdings nicht stabil genug. In diesen Fällen ist eine bikortikale Verschraubung vorzuziehen (WAGNER 2003). Eine Modellage der Platte analog der Knochenoberfläche zur Erhaltung der Fragmentreposition ist im Gegensatz zu konventionellen Platten nicht erforderlich (BRUNNBERG et al. 1998; PERREN 2002; GAUTIER und SOMMER 2003; WAGNER 2003; KELLER et al. 2005). Da lediglich das proximale und distale Fragment fixiert werden, ist die Operation meist minimal invasiv. Durch die Winkelstabilität wird eine flexible, elastische Fixierung erreicht. Sie führt zu einer indirekten Frakturheilung einschließlich Kallusbildung und einer frühen Stabilisierung der Fraktur (BRUNNBERG et al. 1998; PERREN 2002; GAUTIER und SOMMER 2003; WAGNER 2010). Aufgrund der im Vergleich geringeren interfragmentären Bewegung haben interne Plattenfixateure gegenüber dem Fixateur externe einen biomechanischen Vorteil (CLAES 2004).

Es existieren zahlreiche unterschiedliche winkelstabile Plattensysteme. Der *Point Contact Fixateur (PC-Fix)* besitzt nur eine punktuelle Auflagefläche der Platte am Knochen. Die Schraubenköpfe werden jedoch nicht durch ein Gewinde, sondern durch ihre konische Form und das kalte Verschweißen beim Festziehen winkelstabil eingebracht (KÄÄB et al. 1999). Das als *String Of Pearls (SOP)* bezeichnete System besteht aus sphärischen und zylindrischen Abschnitten. Die sphärischen Einheiten (*pearls*) bestehen an ihrer Basis aus einem Gewindeteil und in ihrem oberen Bereich aus einem Teil der den Kopf einer Kortikalisschraube aufnehmen kann (SADAN et al. 2015). Das *Advanced Locking Plate System (ALPS)* ist ein speziell veterinärmedizinisches System mit einem Gewinde im Plattenloch und einem Gewinde im Schraubenkopf. Sowohl Plattenloch als auch

Schraubenkopf sind konisch geformt. Damit stellt das *ALPS* eine Hybridform des *PC-Fix* und der *SOP* dar (INAUEN et al. 2009; GUERRERO et al. 2014). Die *Locking Compression Plate (LCP)* kann aufgrund ihrer Plattenlochkonfiguration sowohl als Kompressionsplatte als auch als winkelstabile Platte verwendet werden. Zusätzlich können beide Techniken als Hybridform kombiniert werden. Bei einer *LCP*-Schraube befindet sich das Gewinde für eine winkelstabile Fixation im Schraubenkopf (WAGNER und FRIGG 2000; GAUTIER und SOMMER 2003).

Ein Nachteil der winkelstabilen Plattensysteme sind die gegenüber konventionellen Plattensystemen höheren Materialkosten (VOSS et al. 2009). Die geschlossene Reposition ist zwar schonender für die Gewebsstrukturen, aber auch herausfordernder als eine offene Reposition (WAGNER 2010). Fehler in der Reposition können aufgrund der vorgegebenen Lage der winkelstabilen Schrauben nicht korrigiert werden. Oftmals resultieren daraus größere Frakturspalten. Dadurch können Verzögerungen der Frakturheilung entstehen (CLAES 2004). Weil keine exakte Reposition des Knochens erfolgt, trägt dieser zu Beginn der Knochenheilung nicht zur Stabilität bei und das Implantat ist einer größeren Belastung ausgesetzt (WAGNER 2010). DUDA et al. (2002) wiesen eine starke mechanische Belastung von winkelstabilen Platten bei Frakturen im diaphysären Bereich nach. Im metaphysären Bereich war die Belastung unkritisch. Interne Plattenfixateure scheinen daher besonders für metaphysäre Frakturen geeignet zu sein (CLAES 2004).

2.3.2 Fixateur externe

Der Fixateur externe ist wohl das älteste winkelstabile Osteosynthesesystem (CLAES 2004). Es wird als lineare oder zirkuläre Rahmenkonfiguration eingesetzt. Der Grundaufbau besteht aus Fixationspins, Verbindungsstangen oder -ringen und Verbindungsstücken. Sie verbinden Fixationspins und Verbindungstangen miteinander. Die Verbindungstangen bestehen aus den verschiedensten Materialien wie z. B. Polymethylmethacrylat. Polymethylmethacrylat kann sich als vorteilhaft erweisen, falls die Fixationspins nicht in einer Ebene liegen (WATERS et al. 1993; PIERMATTEI et al. 2006). Je nach Konfiguration der Pins werden lineare Fixateure *Typ Ia* (unilateral-uniplanar), *Typ Ib* (unilateral-biplanar), *Typ II* (bilateral-uniplanar) und *Typ III* (bilateral-biplanar) unterschieden (CARMICHAEL 1991). Sind die Fixationspins unilateral angebracht, werden sie als *half pins* und bei bilateraler Anbringung als *full pins* bezeichnet (PIERMATTEI et al. 2006). Sie können ein end- oder mittelständiges und positives oder negatives Gewinde oder als glatte Pins kein Gewinde aufweisen. Bei Pins mit positivem Gewinde ist das Gewinde aufgesetzt. Ein negatives Gewinde ist eingeschnitten. Pins ohne Gewinde bieten einer Extraktion in

Achsenrichtung signifikant weniger Widerstand als Pins mit Gewindeteil (EGGER et al. 1986; BENNETT et al. 1987). Sie lockern sich leichter und begünstigen Pin-track-Infektionen (ARON et al. 1986; ARON 1989). Pins mit Gewindeteil erhöhen die Stabilität der Fixation. Damit verringert sich das Risiko von Komplikationen, die mit einer vorzeitigen Lockerung der Montage einhergehen (ARON et al. 1986). Bei Pins mit Gewindeteil kommt es im Übergang vom Gewinde zum glatten Schaftbereich zur Kräftekonzentration und damit zur Bruch- und Biegegefährdung der Pins (BENNETT et al. 1987). Pins mit positivem Gewinde widerstehen Biegekräften besser als die mit negativem, da die Pinsteifigkeit proportional zur vierten Potenz des Pinradius ist (BENNETT et al. 1987).

Ist der Durchmesser des Pins zu klein, ist der Pin zu flexibel und die daraus resultierende interfragmentäre Bewegung kann die Frakturheilung beeinträchtigen. Ein Verlust der Frakturposition kann durch Biegung oder Bruch eines Pins mit zu kleinem Durchmesser verursacht werden. Ein zu großer Durchmesser des Pins schwächt die Knochenstruktur und kann zu Frakturen im Bohrloch führen. Es sollten Pins mit einem Durchmesser von 20 % des Knochendurchmessers verwendet werden (EGGER 1991).

Die Anzahl der Pins beeinflusst die Stabilität der Montage. Ab vier Pins pro Fragment erhöht jeder weitere Pin in einem Fragment die axiale Steifigkeit des Fixateurs (BRIGGS und CHAO 1982). EGGER (1991) empfiehlt mindestens drei, vorzugsweise vier Pins pro Fragment einzusetzen. Als Vorteile des Fixateur externe gelten die vielseitigen Einsatz- und Konfigurationsmöglichkeiten und die niedrigen Materialkosten. Er kann nach geschlossener oder offener Reposition und in Kombination mit anderen Osteosynthesemethoden genutzt werden. Bei geschlossener Reposition ist die rigide Fixation möglich, ohne das Gewebe weiter traumatisieren zu müssen. Während der Frakturheilung kann die Montage einfach schrittweise dynamisiert werden, indem Fixationspins entfernt werden. Das kann der Frakturheilung förderlich sein. In den meisten Fällen ist dazu keine Allgemeinanästhesie notwendig (RUDD und WHITEHAIR 1992; WATERS et al 1993; PIERMATTEI et al. 2006). Der Fixateur externe eignet sich bestens zur Osteosynthese offener und/oder infizierter sowie Frakturen mit ausgedehntem Weichteilschaden und bei Splitterfrakturen (PASSAVANT 2003). Pins können entfernt von verletztem und infiziertem Gewebe eingesetzt und dadurch eine weitere Kontamination und Traumatisierung verhindert werden. Eine offene Wundbehandlung ist leicht umzusetzen (CARMICHAEL 1991) und autogene Spongiosa kann transplantiert werden, ohne die Stabilität der Fraktur zu beeinträchtigen (PASSAVANT 2003). Die postoperative Nachsorge ist beim Fixateur externe im Vergleich zur internen Fixation aufwändiger. Abhängig von der Wundsekretion und dem Zustand des Weichteilmantels, erfolgt der Wechsel des Verbandes um den äußeren Rahmen und das Reinigen der Austrittsstellen zwei- bis dreimal in den ersten fünf bis zehn Tagen (PALMER 2012).

2.3.3 Implantatentfernung

Als Indikationen für die Entfernung eines Implantates gelten (BRINKER et al. 1975; BRINKER 1984; MATIS 2015):

- Funktionsverlust: das Implantat erfüllt seinen ursprünglichen Zweck nicht mehr (z. B. Implantatlockerung, -bruch, -biegung), verursacht Schmerzen oder beeinträchtigt die Heilung,
- Thermische Leitung: das Implantat fungiert als thermischer Leiter und verursacht Lahmheit bei kalten Umgebungstemperaturen,
- Irritation des Weichteilgewebes: das Implantat verursacht Leckgranulome,
- Infektion: bei Infektion kann ein nicht gelockertes Implantat bis zur Frakturkonsolidierung *in situ* bleiben. Kommt es infolge einer Infektion zu einer Implantatlockerung, ist das Implantat zu entfernen,
- Stressprotektion: das Implantat verursacht eine Resorption des Knochens infolge von Stressprotektion oder beeinträchtigt die Vaskularisation. Bei zu rigider Fixation werden die physiologischen Stimuli auf den Knochen reduziert und die periostale Durchblutung beeinträchtigt. Dies führt zur Demineralisation des Knochens und einer Ausdünnung der Kortizes. Um eine Refraktur zu vermeiden, sollten zu rigide Implantate durch flexiblere ersetzt werden, die bei einer Platte mit endständigen Schrauben gesichert werden. Dabei kann auch eine Spongiosatransplantation angezeigt sein,
- Verlust der Zweckmäßigkeit: das Implantat erfüllt nach klinischer Heilung keine weitere Aufgabe und kann die Leistungsfähigkeit bei Arbeits- und Rennhunden beeinträchtigen.

Als Richtlinie empfehlen PIERMATTEI et al. (2006) idealerweise alle Platten an langen Röhrenknochen zu entfernen. Platten bei ausgewachsenen Tieren mit unkomplizierter Heilung können aber belassen werden. Kommt es beim ausgewachsenen Tier zu einem kompliziertem Heilungsverlauf (z. B. Infektion, Delayed Union, Nonunion), sollte das Implantat entfernt werden. Beim wachsenden Tier sollten Implantate an langen Röhrenknochen nach klinischer Frakturkonsolidierung entfernt werden. Der Zeitpunkt der Implantatentfernung ist abhängig vom Alter des Patienten, von der Lokalisation und Form der Fraktur und von der Art der Osteosynthese. Aufgrund der besseren Blutversorgung des spongiösen Knochens heilen epiphysäre und metaphysäre Frakturen meist früher (sechs bis neun Wochen *post operationem*) als kortikale Schaftfrakturen. Diaphysäre Frakturen bei Welpen sind meist nach einem Monat verheilt. Bei adulten Tieren mit diaphysärer Fraktur

sollten Platten nicht innerhalb der ersten sechs Monate entfernt werden, insbesondere wenn die Knochenheilung primär erfolgt ist (HOHN und ROSEN 1984; MATIS 2015). BRINKER et al. (1975) geben Richtwerte für den ungefähren Zeitpunkt der Plattenentfernung an (Tab. 2).

Tab. 2: Postoperativer Zeitraum bis zur Entfernung von *Dynamic Compression Plates* nach BRINKER et al. (1975)

Alter des Tieres	postoperativer Zeitraum bis zur Plattenentfernung
< 3 Monate	1 Monat
3-6 Monate	2-3 Monate
6-12 Monate	3-5 Monate
> 12 Monate	5-14 Monate

In der Studie von BRUNNBERG et al. (1998) war die Heilungszeit nach *NCP*-Osteosynthese mit durchschnittlich 2,5 Monaten (1- 4 Monate) um etwa die Hälfte kürzer (Tab. 3), als die von BRINKER et al. (1975) ermittelten Werte nach *DCP*-Osteosynthese.

Tab. 3: Postoperativer Zeitraum bis zur Entfernung von *Non Contact Plates* nach BRUNNBERG et al. (1998)

Alter des Tieres	postoperativer Zeitraum bis zur Plattenentfernung
4-6 Monate	1-2 Monate
6-12 Monate	1,5-3 Monate
> 12 Monate	2-4 Monate

2.4 Radius/Ulna- Frakturen

2.4.1 Inzidenz, Lokalisation

Die Inzidenz von Unterarmfrakturen bei Hunden liegt bei 8,5-18 % (SUMNER-SMITH und CAWLEY 1970; PHILLIPS 1979; RUDD und WHITEHAIR 1992). Unter den Gliedmaßenfrakturen ist die Radius/Ulna-Fraktur dritthäufigste Fraktur beim Hund (SUMNER-SMITH und CAWLEY 1970). Am häufigsten frakturiert der diaphysäre Knochenabschnitt (MEYER 1977; LAPPIN et al. 1983; EBEL 1990; UNGER et al. 1990; BAHN 1995). Distale Radius/Ulna-Frakturen sind bei kleinen Hunden und Toyrassen häufig und haben ein hohes Komplikationsrisiko für Delayed Union oder Nonunion (SUMNER-SMITH und CAWLEY 1970; DE ANGELIS et al. 1973; DENNY 1985; WATERS et al. 1993). Die Fraktur kann beide oder auch nur einen Unterarmknochen betreffen. Isolierte distale

Radiusfrakturen ohne Beteiligung der Ulna sind jedoch selten (SUMNER-SMITH und CAWLEY 1970; LAPPIN et al. 1983; WATERS et al. 1993).

2.4.2 Therapie diaphysärer und distal metaphysärer Radius/Ulna-Frakturen

Die Auswahl der Versorgungsmethode für Radius/Ulna-Frakturen erfolgt abhängig von Frakturlokalisation, Frakturtyp, Größe und Alter des Patienten (LAPPIN et al. 1983; MILOVANCEV und RALPHS 2004).

2.4.2.1 Konservative Frakturbehandlung

Die konservative Therapie mit Castverband ist bei mittelgroßen, jungen Tieren mit geschlossener Fraktur und einem zumindest 25-prozentigen Kontakt der Fragmentenden möglich (LAPPIN 1983). In den Untersuchungen von MEYER (1977) heilten 80 % der Frakturen ohne Gelenkbeteiligung nach konservativer Therapie. Bei Toyrassen erschweren der geringe Knochendurchmesser sowie der Zug der Karpalgelenks- und Zehenbeuger das Aufrechterhalten der Reposition (LAPPIN et al. 1983; JOHNSON et al. 2005). Daraus resultierende Instabilität kann bei distalen Frakturen eine Heilungsstörung wie z. B. Nonunion begünstigen (SUMNER-SMITH und CAWLEY 1970; JOHNSON et al. 2005). LAPPIN et al. (1983) und LARSEN et al. (1999) nennen Komplikationsraten von bis zu 83 % nach Cast- oder Schienenverbandtherapie bei Toyrassen.

2.4.2.2 Intramedulläre Schienung

Die intramedulläre Schienung einer Radiusfraktur mit einem Nagel ist kontraindiziert (TOOMBS 2005), da der Radius im Querschnitt oval geformt ist, der Nagel deswegen nicht markraumfüllend platziert werden kann und zur korrekten Positionierung transartikulär eingebracht werden müsste (DE ANGELIS et al. 1973; LAPPIN et al. 1983; HARASEN 2003). Das Implantat beeinträchtigt außerdem die medulläre Blutversorgung stark (DE ANGELIS et al. 1973). In der Folge kann es zu Frakturheilungsstörungen kommen (LAPPIN et al. 1983; WATERS et al. 1993). Auch metaphysär über Kreuz eingebrachte, z. B. Kirschner-Bohrdrähte, die in der Markhöhle vorgetrieben werden, erfüllen die Anforderungen an Rotationsstabilität nicht (WATERS et al. 1993). LAPPIN et al. (1983) geben eine Komplikationsrate von 80 % und bei Toyrassen von 100 % an. Den Radius zu verplatten und die Ulna zu schienen ist dagegen effektiv (TOOMBS 2005).

2.4.2.3 Paraossäre Klammer-Cerclage-Stabilisierung

Bei der Paraossären Klammer-Cerclage-Stabilisierung erfolgt die Stabilisation durch Klammern aus Bohrdraht und Cerclagen (WANIVENHAUS 2001; MANCHI et al. 2017). Die Fixation ist im Vergleich mit einer *DCP* weniger rigide (BARTHOLOMAEUS et al. 2007) und wird als schonende und kostengünstige Alternative zu anderen Osteosynthesemethoden beschrieben (GRAF 2003; BEHREND 2007; MANCHI 2017). In der Arbeit von GRAF (2003) wurde das Operationsverfahren bei 50 von 51 Diaphysenfrakturen (Hunde und Katzen) erfolgreich angewendet. In der Studie von MANCHI et al. (2017) zur Anwendung bei Unterarmfrakturen bei Toyrassen heilten 76,5 % (13/17). Es wurde ein überwiegend (11/17) exzellentes funktionelles Ergebnis erzielt. Als Komplikationen sind Implantatlockerung, -biegung, -bruch und Frakturheilungsstörungen durch zu nah am Frakturspalt angebrachte Cerclagen beschrieben (WANIVENHAUS 2001; GRAF 2003; MANCHI 2017).

2.4.2.4 Fixateur externe

Der Fixateur externe ist eine gute und vielseitig einsetzbare Methode zur Versorgung von einfachen und komplizierten Radius/Ulna-Frakturen (RUDD und WHITEHAIR 1992; PASSAVANT 2003). Er ist eine kostengünstige Alternative zur internen Fixation (PASSAVANT 2003). PASSAVANT (2003) beschreibt die vollständige Wiederherstellung der Funktion bei 8 von 9 Patienten (Hunde und Katzen) mit Unterarmfraktur. Auch LAPPIN et al. (1983) erzielten mit 92,8 % in nahezu allen Fällen (13/14) gute bis befriedigende funktionelle Ergebnisse und nur in einem Fall (1/14) blieb die Funktion schlecht. 78,6 % (11/14) der Frakturen dieser Studie waren nach vier Monaten röntgenologisch verheilt. Die Komplikationsrate in den Untersuchungen von PASSAVANT (2003) betrug 40 % (Nageltraktinfektion, Montagelockerung, Delayed Union, Hyperextension des Karpalgelenks, Lyse der Ulna), in denen von LAPPIN et al. (1983) 71,4 % (10/14; Montagelockerung, Nageltraktinfektion, Osteomyelitis, Delayed Union, Nonunion, Sequesterbildung, Achsenfehler).

Bei Toyrassen mit distaler Fraktur sind nur kleine Pins für eine ausreichende Stabilität notwendig. Die kleineren Bohrlöcher der Pins haben ein geringeres Risiko für eine Refraktur als die größeren Schraubenlöcher einer Plattenosteosynthese (WATERS et al. 1993). EGER (1990) und MCCARTNEY et al. (2010) beschreiben die perkutane Transfixation in Kombination mit einer Polymethylmethacrylatbrücke als geeignete Osteosynthese für distale Radius/Ulna-Frakturen bei Toyrassen. Die Montage ist leicht, kostengünstig und belastbar und wird von den Patienten gut toleriert (EGER 1990). In der Studie von MCCARTNEY et al.

(2010) heilten 100 % der Frakturen und die Funktion war bei 12 der 17 Hunde exzellent, bei 4 gut und bei einem schlecht (nach Zweiteingriff: gut). Nach Angabe der Autoren beeinträchtigten die häufig vorgekommenen Bohrdrahtlockerungen die Frakturheilung nicht. Die erfolgreiche Anwendung des Ringfixateurs bei distalen Radius/Ulna-Frakturen wird in den Untersuchungen von PIRAS et al. (2011) und BIERENS et al. (2017) beschrieben. 100 % (20/20; PIRAS et al. 2011) bzw. 97,6 % (40/41; BIERENS et al. 2017) der Frakturen heilten. In der Studie von PIRAS et al. (2011) trat in einem Fall (1/20) eine Komplikation (Fraktur durch transossäres Bohrdrahtloch) auf. BIERENS et al. (2017) nennt eine (1/41) *major* (aus einer Pinlockerung resultierende Refraktur) und 23 (23/41) *minor* Komplikationen (Nageltrakt-, Wundinfektion, eingeschränkte Karpalbeugung, Ulnaresorption, Synostose). In dieser Studie wurden 60 % exzellente, 30 % gute und 5 % befriedigende funktionelle Ergebnisse erzielt. Einschränkend sehen PIRAS et al. (2011) den höheren Nachsorgeaufwand, da der zirkuläre Fixateur externe regelmäßig auf Stabilität untersucht werden muss und der Fortschritt der Frakturheilung nur in Schrägaufnahmen beurteilt werden kann.

Bei der Anwendung des Fixateur externe am Unterarm muss beachtet werden, dass Radius und Ulna nicht durch gemeinsame Bohrdrähte fixiert werden dürfen, da dadurch Pronation und Supination beeinträchtigt würden. Eine Einschränkung der Umwendbewegungen kann Heilungsstörungen oder neue Frakturen begünstigen (PASSAVANT 2003).

2.4.2.5 Plattenosteosynthese

Die Plattenosteosynthese ist als geeignete Fixationsmethode für diaphysäre und distal metaphysäre Radius/Ulnafrakturen bei Hunden aller Größen und Rassen beschrieben (DE ANGELIS et al. 1973; LAPPIN et al. 1983; LARSEN et al. 1999; SARDINAS und MONTAVON 1997; HAMILTON und LANGLEY HOBBS 2005; VOSS et al. 2009).

Die Platte kann dorsal oder medial am Radius angebracht werden. Die am Unterarm dorso-lateral ziehenden Karpalgelenks- und Zehenstrecker können durch eine mediale Verplattung geschont werden. Ein Übergleiten der Sehnen über Platte und Plattenschrauben wird vermieden. Zudem wird das Risiko einer Platzierung der Plattenschrauben in die Ulna und eine daraus resultierende Beeinflussung der Supination und Pronation reduziert. Die geringere Kontaktfläche der Platte mit dem Knochen kann zu einer verbesserten Blutgefäßversorgung während der Heilung führen (SARDINAS und MONTAVON 1997). In der Studie von SARDINAS und MONTAVON (1997) heilten die 22 so versorgten Frakturen ohne Komplikation aus.

In der Arbeit von MEYER (1977) heilten 89 % der operativ versorgten Radius/Ulna-Frakturen ohne Gelenkbeteiligung. Im diaphysären und metaphysären Bereich wurden insgesamt 76 Plattenosteosynthesen (Kompressions-, Fixations-, Neutralisations-, Zuggurtungsplatten) durchgeführt, die in 51 Fällen ein gutes, in 6 Fällen ein unbefriedigendes Ergebnis (19 Frakturen mit unbekanntem Ergebnis) erzielten.

84 der von EBEL (1990) untersuchten 123 Plattenosteosynthesen (*DCP*, *L-Platte*, *T-Platte*, *Mini-DCP*, *Wagner-Platte*) diaphysärer Unterarmfrakturen ergaben ein gutes, 4 ein befriedigendes und 13 ein unbefriedigendes funktionelles Ergebnis, bei 22 Frakturen war das Ergebnis nicht bekannt.

Zur Osteosynthese distaler Frakturen bei Toyrassen wurde die *AO mini T-plate* erfolgreich eingesetzt. Sie eignet sich insbesondere für sehr kleine distale Fragmente (HAMILTON und LANGLEY HOBBS 2005; LAKSHIMI et al. 2007). In der Studie von HAMILTON und LANGLEY HOBBS (2005) heilten 100 % (14/14) der Frakturen und bei 50 % (6/12) der Patienten wurde die Gliedmaßenfunktion vollständig wiederhergestellt. Bei 33,3 % (4/12) der Hunde war die Funktion gut und bei 16,7 % (2/12) befriedigend. Bei dorsaler Plattenlage kann es zu Knochenresorption, Nonunion, Hautirritationen und eingeschränkter Beugung im Karpalgelenk kommen (HAMILTON und LANGLEY HOBBS 2005).

LARSEN et al. (1999) beschreiben die Osteosynthese mit T-Platte, *DCP*, *mini plate* und Zuschneideplatten (*cuttable plate*) bei kleinen Hunden und Toyrassen mit distalen Radius/Ulna-Frakturen als erfolgreich in 89 % der Fälle. Die Gesamtkomplikationsrate betrug 54 % (12/22). 18 % (4/22) hatten katastrophale („*catastrophic*“) Komplikationen (davon war bei 75 % (3/4) eine erneuten Osteosynthese notwendig) und 36 % (8/22) geringfügige („*minor*“). In der Arbeit von BAHN (1995) war die *DCP* das komplikationsärmste Osteosyntheseverfahren.

Werden Zuschneideplatten (*cuttable plates*) bei Toyrassen verwendet, kann die Gesamtkomplikationsrate 68 % betragen (WATROUS und MOENS 2017). Bei 92 % (23/25) der Hunde wurde die volle Funktionsfähigkeit der Gliedmaße wieder erreicht.

RAMIREZ und MACIAS (2016) geben nach konventioneller Plattenosteosynthese bei Toyrassen mit *DCP* und *VCP* (*veterinary cuttable plate*) für 86,7 % (13/15) exzellente funktionelle Heilungsergebnisse und eine Komplikationsrate von 26,7 % (4/15) an. Knochenresorption infolge von *stress protection* wurde bei 3 der 4 Hunde mit Komplikation festgestellt. Bei 100 % (10/10) der röntgenologisch kontrollierten Frakturen war der Radius verheilt. Die Ulna konsolidierte bei 20 % (2/10), bei 80 % (8/10) bestand eine atrophische Nonunion der Ulna.

In der Studie von DE ANGELIS et al. (1973) heilten 100 % (26/26) der Radius/Ulna-Frakturen bei Toyrassen. Eine vollständige Funktionswiederherstellung wurde bei 78,3 %

(18/23) erreicht, bei 21,7 % (5/23) war die Gliedmaßenfunktion mit geringgradiger Beeinträchtigung des Bewegungsradius oder geringgradiger Lahmheit gut.

LAPPIN et al. (1983) erreichten bei 90 % der verplatteten Frakturen gute bis befriedigende funktionelle Ergebnisse. In der Gruppe der Toyrassen betrug dieser Anteil 87,5 %. Bei zwei sehr großen Hunden führten Plattenbrüche zu einem schlechten Ergebnis. Weitere Komplikationen im gesamten Patientengut waren Komplikationen wie Rotations-/Achsenfehler, Nonunion und *stress protection*.

Bestens zur Osteosynthese langer Röhrenknochen sind die winkelstabilen Plattensysteme geeignet (BRUNNBERG et al. 1998; HAALAND et al. 2009; VOSS et al. 2009). In der Studie von BRUNNBERG et al. 1998 heilten 100 % der NCP-Osteosynthesen komplikationslos.

VOSS et al. (2009) geben 68,2 % (45/66) verheilte Frakturen und eine Komplikationsrate von 19,7 % nach Osteosynthese mit dem *Unilock System* an.

Nach LCP-Osteosynthese heilten ca. 89 % der von HAALAND et al. (2009) untersuchten Frakturen ohne Komplikation.

Auch bei der hybriden Verwendung einer T-LCP in Form einer Kombination von verriegelten und nicht verriegelten Schrauben beschreiben GIBERT et al. (2015) die winkelstabile Fixation des kleinen distalen Fragments als Hauptvorteil bei der Behandlung distaler Radius/Ulna-Frakturen kleiner Hunde. 90 % (18/20) der so versorgten Frakturen heilten und nur in einem Fall (5 %) kam es zu einer Komplikation.

DIEHM (2016) beschreibt eine Komplikationsrate nach nicht-winkelstabiler Plattenosteosynthese (*DCP, T-DCP, Wagner-, Titanplatten*) bei Unterarmfrakturen von 8,5 %, während es nach winkelstabiler (*LCP, T-LCP, SOP*) zu keinen Komplikationen kam. Die röntgenologisch kontrollierten Frakturen waren verheilt.

2.5 Komplikationen

Das Ergebnis einer Frakturbehandlung wird von der Fraktur an sich, dem Patienten, der Wahl der Behandlungsmethode und ihrer technischen Durchführung beeinflusst (OLMSTEAD 1991; JACKSON und PACCHIANA 2004). Daher ist es für den Kliniker äußerst wichtig, sich potentieller Komplikationen der Frakturbehandlung bewusst zu sein (JACKSON und PACCHIANA 2004). Bedeutende Komplikationen die im Rahmen von Osteosynthesen auftreten können sind Osteomyelitis, Delayed Union, Nonunion, Malunion, Implantatversagen, Refraktur, Knochenresorption und Synostose (HUNT et al. 1980; HAAS et al. 2003; JACKSON und PACCHIANA 2004; JOHNSON et al. 2005; GRIFFON und HAMAIDE 2016). Ein Überblick über die in der Literatur beschriebenen Komplikationsraten nach Osteosynthesen bei Hunden und Katzen ist in Tabelle 4 gegeben.

Tab. 4: Chronologie der Literaturangaben zu Osteosynthesen bei Hunden: Frakturlokalisierung und Osteosyntheseverfahren, Komplikationsrate und -art

Studie	Tierart	Frakturlokalisierung	Osteosyntheseverfahren	Komplikationsrate	
				insgesamt	Komplikationen
JOHNSON et al. (1996)	Hund	Radius/Ulna, Tibia/Fibula (nur Splitterfrakturen)	Fixateur externe	8,7 % (2/23)	4,3 % Delayed Union (1/23) 4,3 % andere (1/23)
EBEL (1990)	Hund	Radius/Ulna	diverse	42,3 % (50/118)	11,9 % Infektion (14/118) 10,2 % Impl.lockerung (12/118) 7,6 % Pseudarthrose (9/118) 5,2 % Stress protection (6/118) 4,2 % Achsenfehler (5/118) 2,5 % Refraktur (3/118) 0,8 % Distractio cubiti (1/118)
KNOBLOCH (1990)	Hund	Radius/Ulna	diverse	11,6 % (22/189)	5,8 % Osteomyelitis (11/189) 2,6 % Pseudarthrose (5/189) 2,6 % Refraktur (5/189) 2,1 % Impl.biegung/- bruch (4/189) 1,6 % Impl.lockerung (3/189)

Literaturübersicht

BAHN (1995)	Hund	Radius/Ulna	diverse	<p><i>operativ:</i> 11,4 % (17/149)</p> <p><i>konservativ:</i> 36,4 % (16/44)</p> <p><i>insgesamt:</i> 193 versorgte Radius/Ulna- Frakturen</p>	<p>9,8 % Achsenfehler (19/193)</p> <p>5,4 % Impl.lockerung (8/149)</p> <p>0,7 % Impl.bruch (1/149)</p> <p>4,7 % Osteomyelitis (9/193)</p> <p>4,7 % Pseudarthrose (9/193)</p> <p>1 % Refraktur (2/149)</p> <p>0,5 % eingeschränkte Gelenkfunktion (1/193)</p>
LARSEN et al. (1999)	Hund (Toy)	Radius/Ulna	Platte	54 % (12/22)	<p>22,7 % Achsenfehler (5/22)</p> <p>18,2 % Impl.versagen (4/22)</p> <p>13,6 % Osteopenie (3/22)</p> <p>9,1 % Hauterosion (2/22)</p> <p>4,5 % Kältesensibilität (1/22)</p> <p>Synostose (o.A.)</p>
HAAS et al. (2003)	Hund	Radius/Ulna	Fixateur externe	53,3 % (8/15)	<p>33,3 % Knochenresorption (5/15)</p> <p>13,3 % Synostose (2/15)</p> <p>6,7 % Achsenfehler (1/15)</p> <p>6,7 % Refraktur (1/15)</p> <p>6,7 % Delayed Union (1/15)</p>
PASSAVANT (2003)	Hund, Katze	Radius/Ulna	Fixateur externe	40 % (4/10)	<p>20 % Montagelockerung (2/10)</p> <p>10 % Ulnaosteolyse (1/10)</p> <p>10 % Delayed Union (1/10)</p>

Literaturübersicht

HAALAND et al. (2009)	Hund	Radius/Ulna, Humerus, Femur, Tibia/Fibula	<i>LCP</i>	11 % (5/47)	2,1 % Osteomyelitis (1/47) 10,6 % technische Fehler (5/47)
AKATVIPAT (2013)	Hund	Radius/Ulna	diverse	31,38 % (59/188)	10,6 % Osteomyelitis (20/188) 9,6 % Synostose (18/188) 4,8 % Impl.versagen (9/188) 1,6 % GM-Verkürzung (3/188) 1,6 % Nonunion (3/188) 1,1 % ABCG- Instabilität (2/188) 0,5 % Knochentumor (1/188)
BARNHART et al. (2013)	Hund, Katze	Radius/Ulna, Humerus, Femur, Tibia/Fibula, Becken	<i>LCP</i>	19,4 % (12/62)	1,6 % Wundinfektion (1/62) 1,6 % Nonunion (1/62) 4,8 % Delayed Union (3/62) 17,4 % technische Fehler (11/62)
POZZI et al. (2013)	Hund	Radius/Ulna	Platte	6,7 % (2/30)	6,7 % Wundinfektion (2/30)
GIBERT et al. (2015)	Hund (Toy)	Radius/Ulna (distal)	<i>LCP</i>	5 % (1/20)	5 % Osteomyelitis (1/20)
VALLEFUOCO et al. (2015)	Hund	Radius/Ulna, Humerus, Femur, Tibia/Fibula	<i>LCP</i>	17 % (13/75)	2,7 % Osteomyelitis (2/75) 1,3 % Delayed Union (1/75) 7 % technische Fehler (5/75)

Literaturübersicht

PAGEL (2015)	Hund, Katze	Radius/Ulna, Humerus, Femur, Tibia/Fibula, Becken, Karpus, Tarsus, Schulter-, Ellbogen-, Kniegelenk	NCP, DCP, T-Platte	61,8 % (42/68)	7,4 % Osteomyelitis (5/68) 27,9 % Osteolyse (19/68) 10,3 % Impl.bruch (7/68) 8,8 % Impl.lockerung (6/68) 2,9 % Impl.biegung (2/68) 2,9 % Sequester (2/68) 1,5 % Pseudarthrose (1/68) 1,5 % Refraktur (1/68)
DIEHM (2016)	Hund	Radius/Ulna	diverse	<i>diaphysär</i> : 7,4 % <i>distal</i> : 10,7 %	<i>diaphysär</i> : 14,3 % Implantatbruch 14,3 % Refraktur 28,6 % Pseudarthrose 42,8 % Impl.lockerung und Refraktur
PETEREIT (2016)	Hund	Radius/Ulna, (nur Splitterfrakturen)	Platte (NCP, DCP), Fixateur externe, IM- Pin (Ulna), Drahtzuggurtung	30,4 % (7/23)	13 % Osteomyelitis (3/23) 8,7 % Wundinfektion (2/23) 4,3 % Radialislähmung (1/23) 4,3 % Verlust der TS (1/23)
RAMIREZ und MACIAS (2016)	Hund (Toy)	Radius/Ulna	Platte (DCP, VCP)	26,7 % (4/15)	6,7 % Druckstelle Verband (1/15) 20 % Knochenresorption (3/15)
MANCHI et al. (2017)	Hund (Toy)	Radius/Ulna	paraossäre Klammer-Cerclage- Stabilisierung	24 % (4/17)	24 % Impl.versagen (4/17)
WATROUS und MOENS (2017)	Hund (Toy)	Radius/Ulna	VCP	68,0 % (17/25)	16 % Impl.versagen (4/25) 12 % Osteopenie (3/25) 4 % Kältesensibilität (1/25) 4 % Delayed Union (1/25)

ABCG: Antebrachiocarpalgelenk, GM: Gliedmaße, Impl.: Implantat, LCP: Locking Compression Plate, NCP: Non Contact Plate; o.A.: ohne Angabe, TS: Tiefensensibilität, VCP: Veterinary Cuttable Plate

2.5.1 Osteomyelitis

Mit Osteomyelitis wird eine lokale oder generalisierte Entzündung des Knochens infolge einer hämatogenen oder exogen eingebrachten Infektion bezeichnet. Die hämatogene Ausbreitung ist nicht trauma- oder frakturassoziiert. Beim Tier sind hämatogene

Knocheninfektionen seltener als exogene. Exogene Infektionen entstehen durch offene Frakturen oder während des chirurgischen Eingriffs (BOONE et al. 1986; KNOBLOCH 1990; BRADEN 1991; JACKSON und PACCHIANA 2004). Meist handelt es sich um bakterielle Infektionen, aber auch Pilze, Protozoen oder Parasiten können eine Osteomyelitis verursachen. Unter den aeroben bakteriellen Erregern sind grampositive Staphylokokken, wie *Staphylococcus intermedius* und *Staphylococcus aureus*, am häufigsten. Nachgewiesen wurden aber auch gramnegative Erreger wie *Escherichia coli*, *Pseudomonas*, *Proteus*, *Pasteurella multocida*, *Klebsiella* und anaerobe Organismen (BRADEN 1991; JOHNSON 1994; DARLEY und MACGOWAN 2004; JACKSON und PACCHIANA 2004). Bakterien allein reichen nicht aus, einen gesunden Knochen zu infizieren. Zusätzlich muss die Blutversorgung beeinträchtigt sein. Besonders avaskulärer und nekrotischer Knochen bietet ein optimales Milieu für Bakterienwachstum (CAYWOOD et al. 1978; JACKSON und PACCHIANA 2004). Das kann durch eine mangelhafte chirurgische Technik und instabile Fixation begünstigt werden. Häufigste Ursachen einer Osteomyelitis sind offene Frakturen mit Weichteilschaden und offene Reposition geschlossener Frakturen bei unsachgemäßer Fixation oder zusätzlicher Traumatisierung des Weichteilgewebes (BRADEN 1991; JOHNSON 1994; JACKSON und PACCHIANA 2004). Weitere Risiken für eine Osteomyelitis sind: Begleiterkrankungen, Immunsuppression, bereits florierende Infektionen, Weichteiltrauma, nekrotisches Gewebe und Instabilität im Frakturbereich. Die Operationsdauer, das Ausmaß des Zugangs, notwendige Revisionsoperationen, Implantate, Knochenzement und mangelhafte Asepsis sind weitere Einflussgrößen für eine Osteomyelitis (GRIFFON 2016a). Abhängig davon, ob es sich um eine akute oder chronische Osteomyelitis handelt, können die Symptome einer Osteomyelitis variieren. Anzeichen einer akuten Osteomyelitis sind für gewöhnlich ein oder mehrere Tage *post operationem* nachweisbar. Wie bei einer Wundinfektion können lokal Schwellung, Schmerz, Lahmheit und Fieber vorliegen (JACKSON und PACCHIANA 2004; GRIFFON 2016a). Radiologische Veränderungen sind noch nicht sichtbar (PIERMATTEI et al. 2006). Eine chronische Osteomyelitis kann mehrere Monate nach dem ursprünglichen Trauma bestehen. Symptome sind Lahmheit, Muskelatrophie, Sequester- oder Abszessbildung und röntgenologische Veränderungen (JACKSON und PACCHIANA 2004; GRIFFON 2016a). Röntgenologisch zeichnet sich die chronische Osteomyelitis durch ungerichtete periostale Kallusproliferation, Sequesterbildung und insbesondere an den Fragmentenden durch Resorption und Ausdünnung der Kortex aus. Die Resorption der Kortex resultiert häufig in einer Erweiterung des Frakturspalts und Implantatlockerung. Einige dieser Symptome können, jedoch weniger stark ausgeprägt, auch im Rahmen der physiologischen Frakturheilung auftreten (EGGER 1991; JACKSON und PACCHIANA 2004). Eine Probe für eine bakteriologische anaerobe und aerobe Kultivierung kann durch Feinnadelaspiration,

Knochenbiopsie oder Tupferprobenentnahme aus einem Drainagetrakt gewonnen werden (JACKSON und PACCHIANA 2004; GRIFFON 2016a). Zur Behandlung einer Osteomyelitis sollte eine, auf den mikrobiologischen Untersuchungsergebnissen basierende, systemische Antibiotikatherapie über mindestens vier bis sechs Wochen durchgeführt werden. Eine stabile Frakturfixation muss gewährleistet sein. Eine Fraktur kann, obgleich langsamer, auch bei bestehender Infektion heilen. Allerdings müssen alle Implantate nach der Heilung entfernt werden, um die Infektion vollständig zu beseitigen. Instabile Implantate müssen entfernt und durch eine stabilere Fixation ersetzt werden. Bei chronischer Osteomyelitis kann ein chirurgisches Debridement notwendig sein (JACKSON und PACCHIANA 2004; PIERMATTEI et al. 2006; GRIFFON 2016a).

Die in der Literatur genannten Osteomyelitisraten sind in Tabelle 5 gelistet.

Tab. 5: Osteomyelitis bei Hunden mit Radius/Ulna-Fraktur: Inzidenz

Studie	Tierart	Osteosynthese	Frakturanzahl (Radius/Ulna)	Osteomyelitisinzidenz
MEYER (1977)	Hund	diverse	159	3,4 % (14/159)
LAPPIN et al. (1983)	Hund	Platte, IM Fixation, Fixateur externe	58	8,6 % (5/58)
KNOBLOCH (1990)	Hund	Platte, IM Fixation	189	5,8 % (11/189)
BAHN (1995)	Hund	diverse	193	4,7 % (9/193)
AKATVIPAT (2013)	Hund	diverse	188	10,6 % (20)
PETEREIT (2016)	Hund	Platte (NCP)	23	13 % (3/23)

IM Fixation: intramedulläre Fixation, NCP: Non Contact Plate

2.5.2 Delayed Union, Nonunion

Bei einer Delayed Union verläuft die Frakturheilung langsamer als für die Frakturart und Fixationsmethode zu erwarten ist (HAYDA et al. 1998; JOHNSON 2016a). Zwar ist die Vereinigung der Frakturrenden bei einer Delayed Union verzögert, erfolgt aber. Hingegen bleibt die Knochenfusion bei einer Nonunion aus. Der Heilungsprozess steht still und muss durch einen chirurgischen Eingriff angeregt und gefördert werden (JACKSON und PACCHIANA 2004; JOHNSON 2016b). Bislang existieren keine einheitliche Definitionen der Begriffe Delayed Union und Nonunion (MARSH 1998; BHANDARI et al. 2002). Eine allgemeingültige Festlegung wird unter anderem dadurch erschwert, dass die physiologischen Heilungszeiten einer Fraktur von Frakturtyp und Versorgungsmethode

abhängen (ROBELLO und ARON 1992; HAYDA et al. 1998; JACKSON und PACCHIANA 2004).

2.5.2.1 Delayed Union

Häufige Ursachen einer Delayed Union sind Instabilität, unzureichende Blutversorgung und Osteomyelitis. Mangelnde Stabilität kann durch eine unzureichende Fixation verursacht sein. Am häufigsten sind dabei Rotations- und Biegekräfte Ursache für Instabilität (ROBELLO und ARON 1992; JACKSON und PACCHIANA 2004). Eine schlechte Blutversorgung der Fraktur kann Folge des initialen Traumas oder des chirurgischen Eingriffs sein. Bereiche mit wenig Weichteilabdeckung können ebenfalls eine geringere Blutversorgung aufweisen (JACKSON und PACCHIANA 2004). Symptome einer Delayed Union können Schmerz und Instabilität im Frakturbereich sowie daraus resultierende Lahmheit und Muskelatrophie sein. Auf Röntgenaufnahmen sind häufig ein persistierender oder erweiterter Frakturspalt, eine Sklerose der Fragmentenden und eine unzureichende Kallusüberbrückung erkennbar (ROBELLO und ARON 1992; JACKSON und PACCHIANA 2004; JOHNSON 2016a). Die Diagnose erfolgt über mehrere, aufeinanderfolgende klinische und röntgenologische Untersuchungen (JOHNSON 2016a). Eine konservative Behandlung mit Ruhighaltung und Physiotherapie kann bei stabilen Frakturen versucht werden. Bei instabilen Frakturen muss eine chirurgische Stabilisierung erfolgen. Dabei sollten die Knochenenden aufgefrischt, die Markhöhle geöffnet und eine Kompression der Fragmente erreicht werden. Durch die Transplantation autogener Spongiosa in den Frakturbereich oder den Einsatz von Wachstumsfaktoren kann die Knochenfusion zusätzlich gefördert werden (ROBELLO und ARON 1992; JACKSON und PACCHIANA 2004; JOHNSON 2016a). Ist eine Infektion vorhanden, muss diese entsprechend der mikrobiologischen Untersuchungsergebnisse antibiotisch behandelt werden (JACKSON und PACCHIANA 2004). Angaben in Studien zur Inzidenz der verzögerten Frakturheilung sind in Tabelle 6 dargestellt.

2.5.2.2 Nonunion

Entsprechend ihrer biologischen Merkmale kann eine Unterteilung in vitale (vaskuläre) und avitale (avaskuläre) Nonunions vorgenommen werden. *Vitale Nonunions* können hypertroph, moderat hypertroph und oligotroph sein (PIERMATTEI et al. 2006; JACKSON und PACCHIANA 2004). Hypertrophe Nonunions („Elefantenfuß“) entstehen durch Instabilität und vorzeitige Belastung. Es wird reichlich Kallus gebildet, allerdings werden die Kortizes

der Frakturrenden nicht knöchern überbrückt. (ROBELLO und ARON 1992; JACKSON und PACCHIANA 2004; JOHNSON 2016b). Kennzeichen moderat hypertropher Nonunions („Pferdehuf“) sind schwache Kallusbildung und leichte Instabilität. Oligotrophe Nonunions bilden kaum oder gar keinen Kallus. Die Frakturrenden sind entweder stark distrahiert oder unzureichend reponiert. Eine Unterscheidung zu avitalen Nonunions ist bei dieser Form häufig schwer (ROBELLO und ARON 1992; PIERMATTEI et al. 2006; JACKSON und PACCHIANA 2004). *Avitale Nonunions* können in dystrophische, atrophische, nekrotische oder Defekt-Nonunions unterteilt werden. Die dystrophische Nonunion wird durch schlechte Vaskularisation eines oder beider Frakturrenden hervorgerufen. Dies kann Folge eines nur einseitig angeheilten isolierten Frakturfragments sein. Bei einer nekrotischen Nonunion wird ein isoliertes Knochenstück nicht ausreichend mit Blutgefäßen versorgt, es entsteht ein Sequester. Verursacht der Verlust von Knochensubstanz einen zu großen Abstand der Fragmentenden und bleibt die Knochenheilung dadurch aus, liegt eine Defekt-Nonunion vor. Folge dieser avitalen Formen der Nonunion kann eine atrophische Nonunion sein. Die osteogenetische Aktivität ist vollständig zum Stillstand gekommen und die Knochenenden zeigen resorptive und osteoporotische Veränderungen (PIERMATTEI et al. 2006; JACKSON und PACCHIANA 2004). Die Ursachen und Symptome einer Nonunion sind vergleichbar mit denen einer Delayed Union. Aufgrund der Chronizität kann sie von Muskelatrophie und Gelenkversteifung begleitet sein. Seltener sind Schmerzhaftigkeit und Lahmheit. Röntgenologisch sind ein erweiterter und persistierender Frakturspalt, ungenügende Kallusüberbrückung, Knochenresorption und Sklerosierung der Fragmentenden sichtbar. Ebenso wie bei der Delayed Union sind meist mehrere Folgeaufnahmen nötig, um den Stillstand der Frakturheilung festzustellen (JACKSON und PACCHIANA 2004; JOHNSON 2016b). Zur Therapie hypertropher und moderat hypertropher vitaler Nonunions ist eine rigide Fixation möglichst unter Kompression vorzunehmen. Bindegewebe im Frakturspalt muss entfernt werden, um einen direkten Knochenkontakt zu ermöglichen (JACKSON und PACCHIANA 2004; PIERMATTEI et al. 2006). Oligotrophe und avitale Nonunions sind ebenfalls stabil zu fixieren. Avaskuläres Gewebe und Bindegewebe im Frakturspalt ist zu entfernen. Die Knochenheilung sollte durch Transplantate oder Auffrischung sklerotischer Fragmentenden angeregt werden (ROBELLO und ARON 1992; JACKSON und PACCHIANA 2004). Da eine Nonunion häufig mit einer Osteomyelitis vergesellschaftet ist, sollte die Infektion mitbehandelt werden (JACKSON und PACCHIANA 2004; JOHNSON 2016b).

Nonunionraten nach Osteosynthesen bei Hunden und Katzen sind in Tabelle 6 angegeben.

2.5.3 Malunion

Bei einer Malunion („falsche Vereinigung“) ist der Knochen nicht in korrekt anatomischer Position verheilt (JACKSON und PACCHIANA 2004), so dass dem eine Gliedmaßendeformation, -verkürzung, Gangbildveränderungen und degenerative Gelenkerkrankungen folgen können. Häufig ist die Malunion Ergebnis einer unbehandelten Fraktur. Eine verfrühte Belastung nach Frakturbehandlung, eine unzureichende oder unsachgemäße Fixation und Implantatversagen können ebenfalls zur Malunion führen (JACKSON und PACCHIANA 2004; KRAUS und BAYER 2012; WORTH 2017). Die anatomischen Abweichungen einer Malunion können in Form von Rotations-, Achsenfehlstellungen oder in Form einer Kombination beider vorkommen (WORTH 2017). ROVESTI (2005) charakterisiert Malunions mit geringfügiger ($< 10^\circ$) oder wesentlicher Abweichung ($> 10^\circ$). Hinsichtlich der Gliedmaßenfunktion können funktionelle und nicht funktionelle Malunions unterschieden werden. Die Symptomatik ist abhängig von der spezifischen Fehlstellung und der resultierenden Gliedmaßenfunktion (JACKSON und PACCHIANA 2004). Achsenabweichungen der Gliedmaßen in kranio-kaudaler Richtung werden eher toleriert als medio-laterale Deformationen oder Rotationsfehler (PIERMATTEI et al. 2006; KRAUS und BAYER 2012; WORTH 2017). Jedoch können extreme kranio-kaudale Malunions eine Gliedmaßenverkürzung und damit Funktionsbeeinträchtigung hervorrufen (WORTH 2017). Neben der klinischen Untersuchung können Röntgenbilder und Computertomographie zur Diagnose von Gliedmaßenfehlstellungen eingesetzt werden. Röntgenaufnahmen sollten den Knochen in zwei orthogonalen Ebenen, inklusive des proximalen und distalen Gelenks darstellen. Als Vergleichsbasis dienen Aufnahmen der kontralateralen Gliedmaße (WORTH 2017). Geringe Fehlstellungen werden meist gut toleriert (PIERMATTEI et al. 2006). KRAUS und BAYER (2012) empfehlen die Korrekturoperation, wenn die Gliedmaßenfunktion nicht tolerabel beeinträchtigt ist. Ziel einer chirurgischen Korrektur des Knochens ist seine anatomische Ausrichtung und damit die Wiederherstellung seiner Funktion.

Zur Korrekturosteotomie sind zahlreiche Methoden wie Quer-, Keil-, Schräg-, Bogen- und Segmentresektionsosteotomie beschrieben (DECAMP et al. 1986; MACDONALD und MATTHIESEN 1991; PIERMATTEI et al. 2006). Bei der Osteotomie mit Kallusdistraction ist eine simultane Achsen- und Längenkorrektur möglich. Durch die sukzessive Distraction der Segmente und die resultierende Spannung im Gewebe wird die Osteogenese angeregt und der Knochen verlängert (ILIZAROV 1989). Gliedmaßen in Varus-/Valgus- und/oder Pro-/Supinationsfehlstellung können mit dem von BRUNNBERG et al. (1993) für die Tiermedizin entwickelten Fixateur korrigiert und verlängert werden. Die präoperative Planung basiert auf Röntgenbildern oder dreidimensionalen Rekonstruktionen von Computertomographien

(JACKSON und PACCHIANA 2004; KRAUS und BAYER 2012; WORTH 2017). Tabelle 6 gibt die in der Literatur beschriebenen Malunionraten wieder.

Tab. 6: Delayed, Non- und Malunions nach Osteosynthese von Radius/Ulna-Frakturen beim Hund: Inzidenz

Studie	Tierart	Osteosynthese	Frakturanzahl (Radius/Ulna)	Delayed Union: Inzidenz	Nonunion: Inzidenz	Malunion: Inzidenz	Σ Delayed/Non-/Malunion
MEYER (1977)	Hund	Platte	83	-	2,4 % (2/83)	3,6 % (3/83)	6 % (5/83)
LAPPIN et al. (1983)	Hund	Platte, IM Fixation, Fixateur externe	58	6,9 % (4/58)	6,9 % (4/58)	8,6 % (5/58)	22,4 % (13/58)
EBEL (1990)	Hund	diverse	118	-	7,6 % (9/118)	4,2 % (5/118)	11,8 % (14/118)
KNOBLOCH (1990)	Hund	Platte, IM Fixation	189	-	2,6 % (5/189)	-	2,6 % (5/189)
BAHN (1995)	Hund	diverse	193	-	4,7 % (9/193)	9,8 % (19/193)	14,5 % (28/193)
AKATVIPAT (2013)	Hund	diverse	188	-	1,6 % (3/188)	-	1,6 % (3/188)
HAAS et al. (2003)	Hund	Fixateur externe	15	6,7 % (1/15)	-	-	6,7 % (1/15)
WATROUS und MOENS (2017)	Hund	VCP	25	4 % (1/25)	-	-	4 % (1/25)
HAAS et al. (2003)	Hund	Fixateur externe	15	6,7 % (1/15)	-	-	6,7 % (1/15)

IM Fixation: intramedulläre Fixation, VCP: Veterinary Cuttable Plate

2.5.4 Implantatversagen

Implantatversagen wird als Implantatlockerung mit Verlust der Frakturstabilität oder als mechanisches Versagen des Implantates mit Biegung oder Bruch definiert (JOHNSON 2016c). Implantatbrüche entstehen meist an den schwächsten Stellen, bei Pins mit Gewinde am Übergang vom glatten Schaft zum Gewinde und bei Plattenschrauben am Übergang vom Kopf zum Gewinde (JOHNSON 2016c). Eine dauerhafte, zyklische Belastung kann zum Ermüdungsbruch einer Platte führen (HULSE und HYMAN 1991; JOHNSON 2016c). Häufigste Ursache für Implantatversagen sind technische Fehler wie falsche Positionierung des Implantates oder Auswahl eines in Größe oder Art unzureichenden Implantates (BUDSBERG 2005a). Auch mechanische Ursachen wie eine zu frühe oder zu starke Belastung und Infektionen können zu Knochenresorption und damit zu einer Instabilität des Implantates führen (PALMER et al. 1992; JOHNSON 2016c). Weitere Ursachen für Knochenresorption und Implantatlockerung sind Knochenschäden durch Hitzeentwicklung oder Mikrofrakturen beim Bohren und Mikrobewegungen an den Kontaktstellen von Knochen und Implantat. Wird der *strain* an der Kontaktstelle zu groß, wird dort die osteoklastische Resorption angeregt. HULSE und HYMAN (1991) geben einen *strain* von > 2 % oder dauerhafte moderate *strain*-Level als stimulierend für resorptive Vorgänge an. Symptome eines Implantatversagens können plötzliche Lahmheit kurz nach Frakturversorgung, Gliedmaßenfehlstellung und palpierbare Frakturinstabilität sein. Neben der klinischen Untersuchung stützt sich die Diagnose auf das Röntgengrundbildpaar (JOHNSON 2016c). Ist die Fraktur ausgeheilt und besteht keine Weichteilirritation oder Funktionsbeeinträchtigung durch das Implantat, ist eine Behandlung nicht zwingend indiziert. Eine Instabilität durch Implantatversagen, erfordert den Implantattausch und die stabile Refixation meist mit Methodikwechsel. Im Knochen liegende Schraubenanteile, die nur durch unverhältnismäßig schädigenden Aufwand entfernt werden könnten, sollten belassen bleiben. Infektbehaftete Schrauben müssen entfernt werden (JOHNSON 2016c). Die Knochenheilung kann durch spongiöse Knochentransplantate oder Wachstumsfaktoren angeregt werden (BUDSBERG 2005a).

Literaturangaben zur Häufigkeit von Implantatversagen sind in Tabelle 7 gelistet.

Tab. 7: Implantatversagen nach Osteosynthese von Radius/Ulna-Frakturen beim Hund: Inzidenz

Studie	Tierart	Osteosynthese	Frakturanzahl (Radius/Ulna)	Implantatversagen: Inzidenz
MEYER (1977)	Hund	Platte	83	3,6 % (3/83)
LAPPIN et al. (1983)	Hund	Platte, IM Fixation, Fixateur externe	58	6,9 % (4/58)
EBEL (1990)	Hund	diverse	118	10,2 % (12/118) Implantatlockerung
KNOBLOCH (1990)	Hund	Platte, IM Fixation	189	1,6 % (3/189) Implantatlockerung 2,1 % (4/189) Implantatbiegung- /bruch
BAHN (1995)	Hund	diverse	149	5,4 % (8/149) Implantatlockerung 0,7 % (1/149) Implantatbruch
AKATVIPAT (2013)	Hund	diverse	188	4,8 % (9/188)
WATROUS und MOENS (2017)	Hund	VCP	25	16 % (4)

IM Fixation: intramedulläre Fixation, VCP: Veterinary Cuttable Plate

2.5.5 Knochenresorption

Die Resorption von Knochen resultiert aus einem Ungleichgewicht der Knochenhomöostase, bei der die osteoklastische Aktivität überwiegt. Eine zu rigide Frakturfixation kann die biomechanische Belastung des Knochens beeinträchtigen (*stress shielding*, *stress protection*) und Knochenabbau begünstigen (AKESON et al. 1976; TONINO et al. 1976). Auch bei Nichtgebrauch der Gliedmaße durch Verbandsbehandlung, Ruhigstellung oder Funktionsverlust wird die Frakturheilung nicht ausreichend biomechanisch stimuliert. Knochenresorption ist auch infolge gelockerter Implantate, übermäßiger interfragmentärer Bewegung (*strain*), Neoplasie und Infektion (EGGER 1991; KANEPS et al. 1997; GRIFFON 2016b) möglich. Eine reduzierte kortikale Durchblutung bei Plattenosteosynthesen stimuliert ebenfalls die Resorption von Knochen (PERREN et al. 1988; KLAUSE et al. 2000; UHTHOFF et al. 2006, s. Abschnitt 2.5.7).

Klinische Symptome der Resorption sind vor allem in der frühen postoperativen Phase meist nicht ersichtlich. Durch ein Fortschreiten des Knochenabbaus kann die Gliedmaßenfunktion zunehmend beeinträchtigt sein, insbesondere wenn sekundäre Komplikationen wie Frakturen oder Implantatversagen entstehen. Die Diagnose einer Knochenresorption basiert auf dem röntgenologischen Nachweis von Radioluzenz im Frakturbereich. Auf Röntgenbildserien lässt sich eine verzögerte Knochenheilung nachweisen. Die Kallusbildung schreitet nicht wie erwartet voran, der Frakturspalt weitet sich und/ oder angrenzende Kortizes werden dünner (GRIFFON 2016b). Die Behandlung variiert je nach zugrundeliegender Ursache. Bei Implantatversagen und/oder übermäßigem interfragmentären Frakturstress sollte eine Korrektur der Fixation in Kombination mit einer autogenen Spongiosatransplantation vorgenommen werden (GRIFFON 2016b). Bei Osteomyelitis und verzögerter Frakturheilung sind die in den Abschnitten 2.5.1 und 2.5.2.1 beschriebenen Maßnahmen zu ergreifen. Ist die Knochenresorption durch Stressprotektion entstanden, sollte die biomechanische Belastung des Knochens graduell erhöht werden. Bei Osteosynthese mit Fixateur externe kann das mit einer schrittweisen Destabilisierung erreicht werden (EGGER 1991; GRIFFON 2016b). Zu rigide Platten sind zu entfernen und der geschwächte Knochen ist danach z. B. mit einem Verband zu schützen (GRIFFON 2016b). In der Literatur beschriebene Häufigkeiten von Knochenresorption sind in Tabelle 8 angegeben.

Tab. 8: Knochenresorption nach Osteosynthese von Radius/Ulna-Frakturen beim Hund: Inzidenz

Studie	Tierart	Osteosynthese	Frakturanzahl (Radius/Ulna)	Knochenresorption: Inzidenz
LAPPIN et al. (1983)	Hund	Platte, IM Fixation, Fixateur externe	58	5,2 % (3/58)
EBEL (1990)	Hund	diverse	118	5,1 % (6/118)
BAHN (1995)	Hund	Platte	149	0,7 % (1/149)
HAAS et al. (2003)	Hund	Fixateur externe	15	33,3 % (5/15)
HAMILTON und LANGLEY HOBBS (2005)	Hund	Mini T -Platte	15	66,7 % (10/15)
PIRAS et al. (2011)	Hund	Fixateur externe	26	26,9 % (7/26)
WATROUS und MOENS (2017)	Hund	VCP	25	12 % (3/25)

IM Fixation: intramedulläre Fixation, VCP: Veterinary Cuttable Plate

2.5.6 Posttraumatische Synostose

Eine Synostose ist die abnormale Vereinigung zweier Knochen (CARRIG und WORTMAN 1981). Bei einer radio-ulnaren Synostose sind die Unterarmknochen knöchern oder fibrös fusioniert und die Pronation und Supination dadurch blockiert (DOHN et al. 2012). In der Literatur sind posttraumatische Synostosen der Unterarmknochen bei Hunden beschrieben (ALEXANDER et al. 1978; LANGLEY-HOBBS et al. 1996; AKATVIPAT 2013). Sie gehen meist mit einem Überbrückungskallus nach unzureichender Reposition einer Radius/Ulna-Fraktur einher. Auch die Transfixation beider Knochen mit Pins oder Schrauben kann eine Synostose verursachen (EGGER 1993). Durch die im Vergleich zu kleinen Hunderassen höhere Gefäßdichte der Knochen können bei großen Hunderassen starke Blutungen in die interossäre Membran entstehen (WELCH et al. 1997; AKATVIPAT 2013). Daraus resultierende Hämatome sind ebenso wie bakterielle Infektionen Risikofaktoren für die Entstehung von Synostosen (AKATVIPAT 2013).

Infolge einer Unterarmsynostose können Achsenabweichungen im Bereich des Ellbogen- und/oder Karpalgelenks entstehen. Folgen können auch eine Gliedmaßenverkürzung oder humero-ulnare Subluxation (LANGLEY-HOBBS et al. 1996; TOOMBS 2005; AKATVIPAT 2013) sein. Nach TOOMBS (2005) verursachen Synostosen von Radius und Ulna bei ausgewachsenen Hunden selten ein funktionelles Problem. AKATVIPAT (2013) dagegen beschreibt Achsenabweichungen wie eine Varus-Stellung des Karpus als eine Lahmheits- und/oder Osteoarthritisursache.

Zur Diagnose werden Röntgenaufnahmen im Grundbildpaar angefertigt. Die Entscheidung über eine chirurgische Therapie ist abhängig von den klinischen Symptomen und vom Alter des Patienten. Bei ausgewachsenen Hunden ist eine operative Therapie nur indiziert, wenn sich die klinischen Symptome durch konservative Behandlungsmaßnahmen nicht verbessern (AKATVIPAT 2013). Als chirurgische Maßnahmen werden bewegungseinschränkende Gewebeanteile und Implantate entfernt und das Ellbogengelenk achsengerecht ausgerichtet (TOOMBS 2005). Der Überbrückungskallus kann in Verbindung mit einer Ulnaosteotomie reseziert werden (TOOMBS 2005; AKATVIPAT 2013). Eine erneuten Synostostisierung sollte durch interponiertes autogenes Fett verhindert werden (TOOMBS 2005; DURMUS und ÜNSALDI 2008).

Literaturangaben zur Synostoseinzidenz nach Osteosynthesen von Unterarmfrakturen beim Hund gibt Tabelle 9 wieder.

Tab. 9: Synostose nach Osteosynthese von Radius/Ulna-Frakturen beim Hund: Inzidenz

Studie	Tierart	Osteosynthese	Frakturanzahl (Radius/Ulna)	Synostoseinzidenz
EBEL (1990)	Hund	Platte, Fixateur externe	67 (Platte) 11 (Fixateur externe)	74,6 % (50/67) 100 % (11/11)
HAAS et al. (2003)	Hund	Fixateur externe	15	13,3 % (2/15)
PIRAS et al. (2011)	Hund	Fixateur externe	26	38,5 % (10/26)
AKATVIPAT (2013)	Hund	diverse	188	9,6 % (18/188)

2.5.7 Refraktur

Eine Refraktur ist ein Bruch im Bereich einer vorherigen Fraktur, die sowohl klinisch als auch radiologisch ausgeheilt zu sein erschien (BRINKER 1984; PIERMATTEI et al. 2006). Refrakturen sind nach Plattenosteosynthesen am häufigsten (KNOBLOCH 1990). Besonders gefährdet sind Splitterfrakturen, die einen großen Bereich der Diaphyse betreffen (BRINKER et al. 1975). Ursachen sind vorzeitige Implantatentfernung (NOSER et al. 1977; BRINKER 1984; KNOBLOCH 1990; PIERMATTEI et al. 2006), ursprünglich mangelhafte anatomische Reposition (BRINKER 1984; PIERMATTEI et al. 2006), osteoporotischer Knochen (BRINKER 1984) und ein Missverhältnis zwischen Belastung nach Implantatentfernung und röntgenologisch einschätzbarer Belastungsfähigkeit des Knochens (EGGER 1991; TOMLINSON 1991). Nach PIERMATTEI et al. (2006) spielen bei kleinen Hunden und Toyrassen auch deren filigrane Knochenstruktur und ihre Neigung über Einrichtungsgegenstände zu springen eine Rolle. ROSSON et al. (1991) berichten von einer Abnahme der Knochenfestigkeit durch Schraubenlöcher nach Implantatentfernung. Nach KETTUNEN et al. (2003) nimmt die Knochendichte nach Plattenosteosynthese ab, so dass das Risiko zur Refraktur unmittelbar nach Implantatentfernung erhöht ist. Sechs Monate nach Implantatentfernung beeinträchtigt der Verlust an Knochendichte die Festigkeit des Knochens allerdings kaum noch (KETTUNEN et al. 2003).

Die Ursachen osteoporotischer Knochenveränderungen und die Abnahme der Knochendichte nach Plattenosteosynthese sind Gegenstand vieler Untersuchungen. Lange Zeit wurde allein eine ungenügende Belastung des Knochens durch zu rigide Fixation als Ursache angenommen. Diese Abschirmung des Knochens vor mechanischer Belastung wird als Stressprotektion bezeichnet (AKESON et al. 1976; TONINO et al. 1976). Neuere

Untersuchungen führen osteoporotische Veränderungen der Kortex auf eine Beeinträchtigung der periostalen Blutversorgung unterhalb der Platte zurück (PERREN et al. 1988; KLAUSE et al. 2000). FIELD und SUMNER-SMITH (2002) beschreiben eine akute vaskuläre Insuffizienz des kortikalen Knochens durch seine Traumatisierung beim Bohren von Schraubenlöchern. Die Untersuchungen von KLAUSE et al. (2000) ergaben keinen signifikanten Einfluss von Stressprotektion durch eine Platte auf das Ausmaß der Kortikalisporose. Auch nach CORDEY et al. (2000) ist die Stressprotektion als strukturelle Anpassung des Knochens infolge reduzierter Spannung durch zu rigide Plattenfixation ein Mythos. Hingegen sehen UHTHOFF et al. (2006) den Verlust von Knochensubstanz durch Stressprotektion verursacht. Ihrer Ansicht nach lässt sich die These von PERREN et al. (1998), wonach die Beeinträchtigung der kortikalen Durchblutung infolge des Kontakts von Knochen und Platte entsteht, nicht bestätigen.

Symptome einer Refraktur sind plötzliche Schmerzhaftigkeit, Funktionsverlust und/oder offenkundige Instabilität des Frakturbereichs. Röntgenaufnahmen sind zur Diagnosesicherung anzufertigen (BUDSBERG 2005b). Zur Vermeidung einer Refraktur sollte möglichst, falls machbar, ein Verband angelegt oder zumindest die Bewegungsfreudigkeit des Patienten eingeschränkt werden (ROSSON et al. 1991; KETTUNEN et al. 2003; BUDSBERG 2005b).

Literaturangaben zur Häufigkeit von Refrakturen nach Osteosynthesen bei Hunden und Katzen sind in Tabelle 10 gelistet.

Tab. 10: Refrakturinzidenz nach Implantatentfernung

Studie	Tierart	Osteosynthese	Frakturanzahl (Radius/Ulna)	Refrakturinzidenz
MEYER (1977)	Hund	Platte	83	1,2 % (1/83)
EBEL (1990)	Hund	diverse	118	2,5 % (3/118)
KNOBLOCH (1990)	Hund	Platte, Fixateur externe	189	2,6 % (5/189)
BAHN (1995)	Hund	diverse	149	1 % (2/149)
HAAS (2003)	Hund	Fixateur externe	15	6,7 % (1/15)
AKATVIPAT (2013)	Hund	diverse	188	1,6 % (3/188)

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Patientengut, Einschlusskriterien

In die Studie eingeschlossen wurden Hunde, die in den Jahren 2009-2015 mit Radius/Ulna-Frakturen in der Klinik für kleine Haustiere der Freien Universität Berlin vorgestellt wurden und folgende Kriterien erfüllten:

- diaphysäre oder distal metaphysäre Radius- oder Radius/Ulna-Fraktur
- Osteosynthese mittels *NCP (Non Contact Plate)*, *DCP (Dynamic Compression Plate)* oder Fixateur externe
- keine Gelenkbeteiligung, keine Epiphysenfugenfraktur
- keine systemischen Grunderkrankungen
- keine Neoplasie

Isolierte Ulnafrakturen wurden nicht miteinbezogen, da sie nur bei bestimmten Frakturformen (Splitterfrakturen des Olekranons, Olekranonfrakturen mit Gelenkbeteiligung oder diaphysäre Ulnafrakturen mit Luxation des Radiuskopfes (Monteggia-Fraktur) mit Plattenosteosynthese versorgt werden.

3.2 Operation, Kontrolluntersuchungen

Die Patienten wurden dem klinischen Untersuchungsgang folgend - Signalement, Anamnese, allgemein klinisch, speziell (Traumapatient), Narkosefähigkeit - untersucht.

Es wurden Blutbild und blutchemische Parameter bestimmt, sowie Thorax und Abdomen im latero-lateralen Strahlengang abgebildet. Bei etwaigen Auffälligkeiten wurden weitere Untersuchungen, wie Sonographie, Röntgenkontrastdarstellungen und CT zur Klärung genutzt. Etwaige lebensbedrohliche Verletzungen wurden noch vor der Osteosynthese versorgt. Der gebrochene Unterarm und die benachbarten Gelenke wurden im Röntgengrundbildpaar abgebildet und bei jungen im Wachstum befindlichen Hunden wurden in gleicher Weise kontralateral Radius und Ulna geröntgt, um etwaige Epiphysenfugenbeteiligungen besser ausschließen zu können.

Zur Narkose wurde den Patienten intravenös 0,5 mg/kg Midazolam (B.Braun, Melsungen, DE), 0,5 mg/kg Levomethadonhydrochlorid/ Fenipramidhydrochlorid (L-Polamivet[®], Intervet, Unterschleißheim, DE) und nach Wirkung (ca. 2 mg/kg) Propofol (Narcofol[®], cp-pharma,

Burgdorf, DE) injiziert. Das Tier wurde intubiert und die Narkose für die Dauer der Operation durch Inhalation von 2,0 Vol.-% Isofluran (IsoFlo[®], Abbott, Berkshire, UK) / 75 Vol.-% Sauerstoff / 23 Vol.-% Luft aufrechterhalten. Anhand des respiratorischen CO₂-Wertes wurden Beatmungsfrequenz, -druck und Atemminutenvolumen überwacht und angepasst.

Zur perioperativen Antibiose wurden 12,5 mg/kg Amoxicillin/ Clavulansäure (AmoxClav[®], Hexal, Holzkirchen, DE) appliziert und 10 ml/kg/h Ringer-Lactat-Lösung (Sterofundin[®], B.Braun, Melsungen, DE) infundiert.

Die zu operierende Gliedmaße wurde in üblicher Weise geschoren, mit Jod (Braunoderm[®], B.Braun, Melsungen, DE) desinfiziert und mit steriler Abdeckfolie (SteriDrape[™], 3M[™], St. Paul, MN, US; Abdeckfolie, Eickemeyer, Tuttlingen, DE) umhüllt.

Die Osteosynthese wurde von Chirurgen verschiedenen Erfahrungsniveaus vorgenommen:

- sehr erfahren (Fachtierarzt für Chirurgie oder Diplomate ECVS) und
- weniger erfahren (Resident ECVS oder osteosynthetisch geschulte Chirurgen).

Zur Reposition und Fixation der Fragmente wurde der Unterarm nach SCHEBITZ und BRASS (2007) unter Schonung des Frakturhämatoms dargestellt. Zur Fixation der Hauptfragmente wurden die

- *Non Contact Plate (NCP)*,
- dynamische Kompressionsplatte (*DCP*) oder
- der Fixateur externe eingebracht.

Größere Splitter wurden mit Zugschraub(en) fixiert. Die Wunde wurde schichtgerecht mit Einzelheften (Monocryl[®], Ethilon[®], Johnson & Johnson, Diegem, BE) verschlossen.

Das Operationsergebnis wurde im Röntgengrundbildpaar dokumentiert und archiviert. Zur Analgesie wurden 20 mg/kg Metamizol (Novaminsulfon ratiopharm[®], Ratiopharm Ulm, DE) und bei stationärem Aufenthalt zusätzlich 0,03 mg/kg Buprenorphin (Buprenovet[®], Bayer Health Care, Leverkusen, DE) appliziert. Bei offener Fraktur und/oder Infektionsverdacht wurde die Antibiose mit 12,5 mg/kg Amoxicillin/ Clavulansäure (AmoxClav[®], Hexal, Holzkirchen, DE) beibehalten.

Der Unterarm mit Pfote wurde nach Plattenosteosynthese mit einem wattegepolsterten Verband vor Belegen geschützt. Nach Fixateur externe wurde die Pfote wie zuvor verbunden, Ein- und Austrittswunden der Fixationsstangen steril mit in Polihexanid-Lösung (ProntoVet[®] Wundspüllösung, B.Braun, Melsungen, DE) getränkter Gaze abgedeckt und die Verbindungsstangen mit dem Unterarm mit einer Fixierbinde (Peha-haft[®], Hartmann, Heidenheim, DE) umwickelt.

Anderntags wurden die Verbände gewechselt und die Tiere zur Weiterbehandlung dem Haustierarzt rücküberwiesen. Empfohlen wurde, den Verband bei Plattenosteosynthese nach drei Tagen zu entfernen, die Fäden der Hautnaht nach neun Tagen zu ziehen, den

Hund über sechs Wochen zu schonen (Bewegungsrestriktion, Leinenzwang) und je nach Alter (< 6 Monate nach ca. 4 Wochen; > 6 Monate nach ca. 6 Wochen) zur Röntgenkontrolle wieder vorzustellen. Je nach Heilungsverlauf und Tierhaltercompliance wurden weitere Röntgenkontrollen getaktet.

3.3 Datenerhebung

Die Daten zu den Patienten wurden aus der klinikinternen Verwaltungssoftware Vetera® (GP-Software, Eltville am Rhein, DE) entnommen.

3.3.1 Patientendaten, Fraktureigenschaften

Entnommen wurden das Signalement, die Anamnese, die Untersuchungsbefunde, etwaige Begleitverletzungen, Erstmaßnahmen und deren Ergebnis.

Im Hinblick auf die vorliegende Schrift galt das Hauptinteresse den Röntgenaufnahmen des gebrochenen Unterarms vor und nach der Osteosynthese und denen der späteren Verlaufskontrollen. Die Frakturen wurden in Anlehnung an UNGER et al. (1990) klassifiziert (Abb. 6). Für die Studie wurden nur Radius/Ulna-Frakturen im diaphysären und distalen metaphysären Abschnitt analysiert.



Abb. 6: Radius-/Ulnasegmente in Anlehnung an UNGER et al. (1990) um Frakturen im proximalen, diaphysären und distalen Bereich zu charakterisieren

Der Ungerschen Systematik (UNGER et al. 1990) nach bestimmen Frakturlinie und Weichteilschaden den Frakturtyp:

- Querfraktur: Winkel der Frakturlinie $< 30^\circ$ zur Längsachse des Knochens
- Schrägfraktur: Winkel der Frakturlinie $> 30^\circ$ zur Längsachse des Knochens
- Splitterfraktur: mehrere Frakturlinien, ein oder mehrere isolierte Knochenfragmente

Offene Frakturen wurden in Anlehnung an GUSTILO und ANDERSON (1976) klassifiziert. Etwaige weitere Frakturen in anderen Lokalisationen wurden unter „zusätzliche Frakturen“ erfasst. Bilaterale Radius/Ulna-Frakturen wurden jeweils einzeln (= zweifach) gelistet. War nur der Radius oder die Ulna gebrochen ist das notiert.

3.3.2 Osteosynthese

Der Zeitraum zwischen Frakturstehung und Osteosynthese, die Operationsdauer und die Osteosyntheseart wurden der Krankenakte entnommen.

3.3.3 Beurteilung Knochenheilung, Komplikationen, Behandlungsergebnis

Zur Beurteilung der Knochenheilung wurden die Röntgenbilder von der Verfasserin der Studie, einem Fachtierarzt für Chirurgie und Radiologie und einem Diplomate of the European College of Veterinary Surgeons analysiert. Als röntgenologisch geheilt galt:

- der Frakturspalt ist nicht mehr sichtbar

Weitere zu beachtende Kriterien für das Urteil „Fraktur verheilt“ waren die Implantatliegezeit unter Beachtung des Osteosyntheseverfahrens – *NCP* = winkelstabil, *DCP* = nicht-winkelstabil, Fixateur externe = winkelstabil – in Korrelation zum Alter der Hunde.

Es wurde die Gliedmaßenfunktion entsprechend der vier Lahmheitsgrade im Seitenvergleich beurteilt:

- lahmheitsfrei
- ggr. lahm
- mgr. lahm
- hgr. lahm

Etwaige Komplikationen und deren Therapie wurden gesondert unter Beachtung des funktionellen Endergebnisses dokumentiert. Von Hunden, die nicht wieder in der Klinik vorgestellt wurden, wurden die obigen Daten telefonisch erfragt (Anhang, S. 131).

3.4 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurde das Programm IBM® SPSS® Statistics Version 24 (IBM, Armonk, NY, US) genutzt. Die Daten wurden zum besseren Verständnis in Grafiken dargestellt.

Für die Auswertung der Frakturheilungszeit und des Zeitraums bis zur Implantatentfernung wurden die Hunde nach Alter gruppiert (Tiere ≤ 1 Jahr und Tiere > 1 Jahr) und je nach genutztem Osteosyntheseverfahren nochmals für die Vergleiche Plattenosteosynthese (*NCP* und *DCP*) versus Fixateur externe, winkelstabile Plattenosteosynthese (*NCP*) versus nicht-winkelstabile Plattenosteosynthese (*DCP*) und winkelstabile Osteosynthese (*NCP* und Fixateur externe) versus nicht-winkelstabile Osteosynthese (*DCP*) unterteilt.

In einigen Fällen wurden die Implantate partiell zu verschiedenen Zeiten entfernt. Dies ist dokumentiert, wobei die Zeit als Zeitpunkt der Implantatentfernung benannt wurde, nach der die osteosynthetische Hauptfixation vollständig explantiert wurde. Wurde die Hauptfixation aufgrund einer Komplikation und nicht aufgrund der angenommen Knochenheilung ausgewechselt, war der Zeitpunkt der Entfernung des ausgewechselten Implantates Grundlage zur Berechnung des Zeitraums bis zur Implantatentfernung.

Aufgrund der geringen Fallzahlen und des Skaleniveaus (Nominal-, Ordinalskala) der Zielgrößen wurden nicht-parametrische Testverfahren, d.h. Testverfahren, die nicht auf der Normalverteilungsannahme basieren, eingesetzt. Für die Tests wurde die Signifikanz nicht asymptotisch, sondern unter Verwendung von exakten Tests bestimmt.

Für die Zielgröße Komplikation (ja/nein) wurde der Chi-Quadrat-Test zur Prüfung des Zusammenhangs verwendet. Für die Zielgrößen Zeit bis zur Implantatentfernung und Frakturheilungszeit wurde der Kruskal-Wallis-Test zur Prüfung der Signifikanz des Zusammenhangs verwendet. Im Fall der ordinalen 4-stufigen Einflussgrößen Altersklassen und Gewichtsklassen wurde nicht der Kruskal-Wallis-Test, der nur Gruppenunterschiede prüft eingesetzt, sondern der Jonckheere Terpstra Test. Dieser Test prüft, ob eine Trendentwicklung über die Altersklassen, bzw. Gewichtsklassen statistisch signifikant nachweisbar ist.

Für alle Tests wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit (α) von 0,05 vorgegeben, d. h. ein statistisch signifikanter Zusammenhang ist dann nachweisbar, wenn die berechnete Irrtumswahrscheinlichkeit (p -Wert) $\leq 0,05$ ist. Ein p -Wert von $> 0,05$ bedeutet, dass mit der Stichprobe kein statistisch signifikanter Zusammenhang nachweisbar ist.

4 ERGEBNISSE

4.1 Patienten

Zwischen Januar 2009 und Dezember 2015 wurden in der Klinik für kleine Haustiere der Freien Universität Berlin 88 Hunde mit 91 diaphysären oder distal metaphysären Radius/Ulna-Frakturen (drei Hunde mit bilateralen Frakturen) mit Plattenosteosynthese oder Fixateur externe stabilisiert (Tab. I, Anhang S. 121).

71 Tiere mit 71 Frakturen wurden in der Klinik für kleine Haustiere der Freien Universität Berlin postoperativ betreut und zu mindestens einer postoperativen Röntgenkontrolle vorgestellt (Tab. III, Anhang S. 125). Von den verbleibenden 17 Hunden mit 20 Frakturen lagen keine Kontrollröntgenbilder vor. Von 13 dieser Hunde (13 Frakturen) konnten die Besitzer nur telefonisch befragt werden. Vier Hunde (drei mit bilateralen Frakturen) gingen der Studie verloren, weil die Hundehalter nicht mehr erreichbar waren.

4.1.1 Rasse (Tab. 11)

Wie der Tabelle 11 zu entnehmen ist, hatten Mischlinge (n= 24) am häufigsten eine Radius/Ulna-Fraktur, vor Chihuahua (n= 6), Rehpinscher und Golden Retriever (je n= 5), Pudel, Italienisches Windspiel, Yorkshire Terrier, Zwergpinscher und Deutsch Drahthaar (je n= 3), Deutscher Schäferhund, Border Terrier, Jack Russell Terrier, Papillons, Tibet Terrier, Zwergspitz, Prager Rattler und Boxer (je n= 2), Cairn Terrier, Chinesischer Schopfhund, Dobermann, Flat Coated Retriever, Galgo Espagnol, Husky, Sheltie, Staffordshire Terrier, Whippet, Dackel, Toy Terrier, Rhodesian Ridgeback, Malinois, PON, Deutsche Dogge, Shar Pei, Labrador Retriever (je n= 1).

Hunde der Toyrassen (Chihuahua, Chinesischer Schopfhund, Italienisches Windspiel, Papillon, Prager Rattler, Rehpinscher, Toy Terrier, Yorkshire Terrier, Zwergpinscher, Zwergspitz) machten in der Summe mit 31,8 % (n= 28) etwa ein Drittel aus.

Tab. 11: Rasse und Gewicht der Hunde (n= 88) mit Unterarmfraktur (n= 91)

< 5 kg		5-15 kg		> 15-30 kg		> 30 kg	
Rasse	n=	Rasse	n=	Rasse	n=	Rasse	n=
Chihuahua	6	Mischling	8	Mischling	11	Mischling	4
Rehpinscher	5	Border Terrier	2	Deutsch Drahthaar	3	Golden Retriever	3
Yorkshire Terrier	3	Jack Russell Terrier	2	Golden Retriever	2	Deutscher Schäferhund	2
Zwergpinscher	3	Tibet Terrier	2	Galgo Espagnol	1	Dobermann	1
Italienisches Windspiel	2	Italienisches Windspiel	1	Husky	1	Rhodesian Ridgeback	1
Papillon	2	Cairn Terrier	1	Pudel	1	Malinois	1
Prager Rattler	2	Pudel	1	Staffordshire Terrier	1	Deutsche Dogge	1
Chinesischer Schopfhund	1	Sheltie	1	PON	1	Boxer	1
Pudel	1	Whippet	1	Shar Pei	1	Labrador Retriever	1
Zwergspitz	1	Zwergspitz	1	Boxer	1	Flat Coated Retriever	1
Toy Terrier	1	Dackel	1				
Mischling	1						
Gesamt	28 (31,8 %)	Gesamt	21 (23,9 %)	Gesamt	23 (26,1 %)	Gesamt	16 (18,2 %)

4.1.2 Alter

Die Tiere waren bei Vorstellung in der Klinik im Durchschnitt 3,17 Jahre (2-186 Monate, Median: 24,5 Monate) alt. 26 Patienten waren 12 Monate oder jünger (29,5 %), 44 ein bis fünf Jahre (50 %), 14 fünf bis zehn Jahre (15,9 %) und vier über 10 Jahre (4,5 %) alt.

4.1.3 Geschlecht

42 Hunde waren männlich (47,7 %), 46 Hunde weiblich (52,3 %). Zwölf der männlichen (28,6 %; 12/42) und elf der weiblichen Patienten (23,9 %; 11/46) waren kastriert.

4.1.4 Körpergewicht (Tab. 11)

Die Tiere wogen zwischen 1-56 kg (durchschnittlich 16,22 kg, Median: 12,45 kg). In der Gewichtsklasse < 5 kg waren 28, in der 5-15 kg 21, in der 15-30 kg 23 und in der > 30 kg 16 Hunde (Tab. 11).

4.2 Frakturen

4.2.1 Frakturursache

Bei den insgesamt 91 Frakturen waren Verkehrsunfälle (von Auto, Fahrrad oder S-Bahn erfasst) häufigste Ursache (n= 39; 42,9 %) vor Stürzen aus der Höhe (n= 22; 24,2 %), Einklemmen, Hängenbleiben oder Spielen, Tritt (je n= 9; 9,9 %), Hundebissverletzungen (n= 5; 5,5 %) oder Wildschweinverletzungen (n= 2; 2,2 %). Bei 5 Patienten (5,5 %) mit 5 Frakturen blieb die Ursache unbekannt.

4.2.2 Frakturlokalisation (Tab. 12)

Bei 68 Frakturen (74,7 %; 68/91) verlief die Bruchlinie im diaphysären und bei 23 (25,3 %; 23/91) im distal metaphysären Knochenabschnitt. Zu 96,7 % (88/91) waren Radius und Ulna und nur bei dreien (3,3 %; 3/91) der Radius isoliert gebrochen.

Der diaphysäre Bereich war in Korrelation zum Körpergewicht (Tab. 12) zwar auch bei den leichtgewichtigen Hunden (< 5 kg) mit 53,3 % (16/30) häufiger gebrochen als der metaphysäre Abschnitt mit 46,7 % (14/30), allerdings stieg der prozentuale Anteil der diaphysären Frakturen mit dem Körpergewicht (5-15 kg) auf 81,8 % (18/22), (15-30 kg) auf 82,6 % (19/23) und (> 30 kg) auf 93,3 % (15/16) an.

Diese Korrelation war bei den distal metaphysären Frakturen bei Hunden bis 5 kg mit 46,7 % (14/30), vor denen zwischen 5-15 kg mit 18,2 % (4/22), vor denen > 15-30 kg mit 17,4 % (4/23) und vor denen schwerer als 30 kg mit 6,3 % (1/16).

Tab. 12: Anteil diaphysärer und distal metaphysärer Frakturen in Korrelation zum Körpergewicht

	< 5 kg		5-15 kg		> 15-30 kg		> 30 kg		Σ n
	%	n	%	n	%	n	%	n	
diaphysär	53,3	16	81,8	18	82,6	19	93,3	15	68
distal metaphysär	46,7	14	18,2	4	17,4	4	6,3	1	23
Gesamt		30		22		23		16	91

4.2.3 Frakturmorphologie, zusätzliche Frakturen

Querfrakturen (72/91) machten mit 79,1 % vor Splitter- mit 12,1 % (11/91) und Schrägfrakturen mit 8,8 % (8/91) den größten Anteil aus.

53 der 68 diaphysären Frakturen (77,9 %) waren Querfrakturen, 9 (13,2 %) waren gesplittert und 6 (8,8 %) schräg gebrochen. Von den 23 distal metaphysären Frakturen waren 19 (82,6 %) quer, je 2 gesplittert bzw. schräg (je 8,7 %) frakturiert.

13 mal (14,29 %) war die Fraktur offen, davon 6 mal Grad I und 7 mal Grad II. 11 der offenen Frakturen (11/13; 84,6 %) betrafen die Diaphyse und 2 (2/13; 15,4 %) die distale Metaphyse.

Bei drei Hunden waren Radius/Ulna beiderseits frakturiert, bei einem Patient bestand ipsilateral eine Metacarpalia-Serienfraktur und bei einem weiteren eine ipsilaterale Femurfraktur.

4.3 Frakturbehandlung

4.3.1 Zeitraum bis zur chirurgischen Versorgung

Noch am Unfalltag wurden 24 Frakturen (26,4 %), 48 (52,7 %) am Folgetag, 19 (20,9 %) 2 Tage oder später (2-7 Tage) und im Durchschnitt nach 1,07 Tagen (0-7 Tage) versorgt. Die zeitlichen Intervalle waren mit mangelnder Narkosefähigkeit und/oder weiteren schwerwiegenden bis lebensbedrohlichen Verletzungen (Lungenkontusion, Pneumothorax, Hämoperitoneum) begründet.

4.3.2 Chirurg, Dauer der Operation

Operiert haben sieben Chirurgen mit verschiedenen Kompetenzniveaus: 2 hochqualifiziert (Professor, Diplomate) und erfahren. Sie versorgten 42 (46,2 %) der Frakturen, während 49 Frakturen (53,8 %) von weniger erfahrenen, aber osteosynthetisch geschulten Chirurgen operiert wurden.

Von 43 Operationen (47,3 %) war die Operationsdauer dokumentiert. Sie betrug im Durchschnitt 67,7 Minuten (35-150 Minuten). Im Hinblick auf den Erfahrungsgrad des

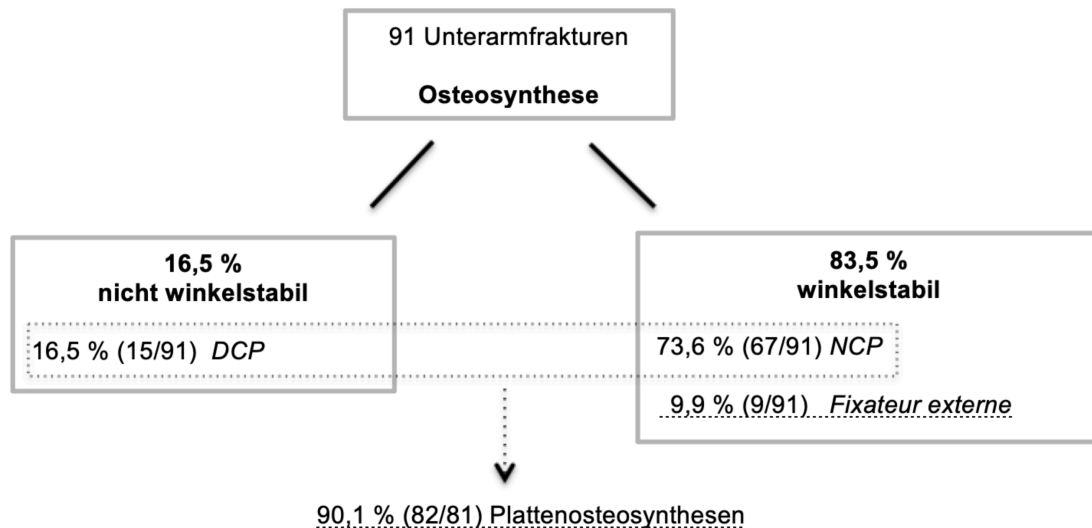
Chirurgen dauerten Operationen beim erfahrenen Chirurgen im Durchschnitt 72 Minuten (35-150 Minuten) und beim weniger erfahrenen durchschnittlich 65,36 Minuten (35-120 Minuten).

4.3.3 Osteosyntheseverfahren (Abb. 7, Abb. 8)

82 der Frakturen (90,1 %) wurden mit einer Platte mit Schrauben und 9 (9,9 %) mit einem Fixateur externe osteosynthetisiert. Die Fixateur externe-Montagen wurden in modifizierter Form mit Polymethylmethacrylatbrücken in Typ II-Konfiguration angebracht.

Bei der Osteosynthese mit einer Platte und Schrauben wurde die Platte 75-mal nur auf den Radius montiert und 7-mal auch auf die Ulna. Bei einer Fraktur wurde die Ulna zusätzlich zur Plattenosteosynthese des Radius mit einem intramedullären Kirschnerbohrdraht stabilisiert. Abgesehen von den Plattenschrauben wurden bei 6 Radiusfrakturen 1 (2-mal) oder 2 (4-mal) Schrauben außerhalb der Platte zur interfragmentären Kompression einer Schrägfraktur oder zur Sicherung einer Fissur (n= 4) als Zugschraube(n) platziert.

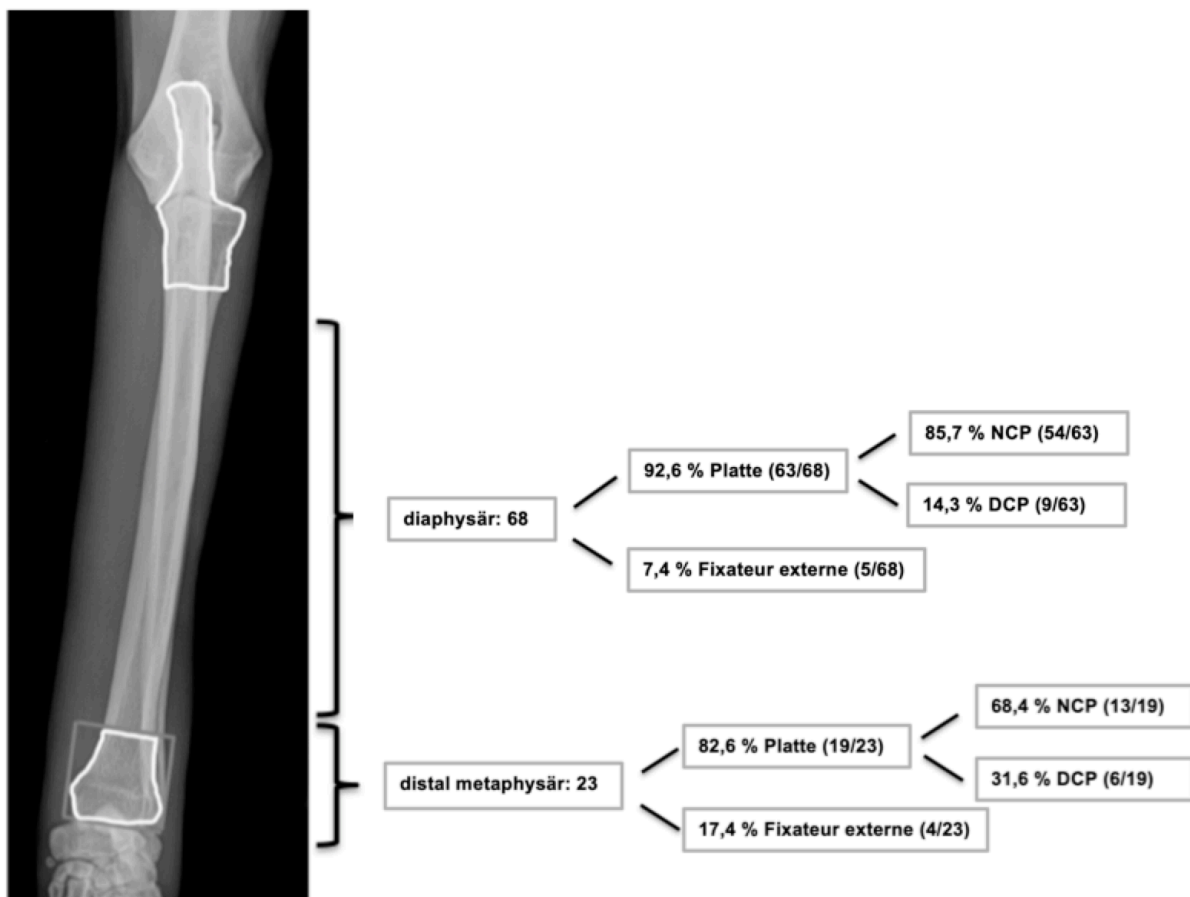
Im Hinblick auf Winkelstabilität wurden 16,5 % (15/91) der Osteosynthesen nicht-winkelstabil mit einer *DCP* und 83,5 % (76/91) winkelstabil mit entweder einer *NCP* (73,6%, 67/91) oder einem Fixateur externe (9,9 %, 9/91) vorgenommen (Abb. 7).



NCP = Non Contact Plate; *DCP* = Dynamic Compression Plate

Abb. 7: Häufigkeit der Osteosyntheseverfahren

In Abbildung 8 sind Frakturlokalisation und Osteosyntheseverfahren korreliert: Der Fixateur externe wurde bei distal metaphysären Frakturen in 17,4 % (4/23) und bei denen der Diaphyse in 7,4 % (5/68) eingesetzt. Häufigstes genutztes Osteosynthesematerial war in beiden Lokalisationen die Platte mit Schrauben in der distalen Metaphyse in 82,6 % (19/23) und in der Diaphyse in 92,6 % (63/68) der Fälle. Als Osteosyntheseprinzip wurde in beiden Lokalisationen das winkelstabile Verfahren mit einer *NCP* sowohl distal in 68,4 % (13/19) vor der *DCP* in 31,6 % (6/19) als auch diaphysär *NCP* in 85,7 % (54/63) vor der *DCP* in 14,3 % (9/63) genutzt.



NCP = Non Contact Plate; *DCP* = Dynamic Compression Plate

Abb. 8: Frakturlokalisation und Osteosyntheseverfahren

4.4 Frakturheilung

Von 71 (78,0 %) Frakturen (71/91) von 71 (80,7 %) Hunden (71/88) konnte der Heilungsverlauf nach der Osteosynthese später röntgenologisch mindestens einmal in der Klinik begleitet werden. 17 Hunde (19,3 %; 17/88) mit 20 Frakturen (22,0 %, 20/91) wurden postoperativ nicht mehr in der Klinik vorgestellt. Das postoperative Zeitintervall der Röntgenkontrollen betrug bei 53 (74,6 %; 53/71) der Hunde 76 Wochen. Bei diesen Tieren war röntgenologisch die Frakturkonsolidierung nachzuweisen.

Bei 18 Patienten war dies noch nicht feststellbar, weil das Zeitintervall nach Osteosynthese bei 72,2 % (13/18) 6 Wochen, bei 22,2 % (4/18) 12 Wochen und bei 6,6 % (1/18) 20 Wochen betrug. Bei diesen 18 Patienten haben die Hundehalter weitere Kontrollen aus verschiedenen Gründen (Kosten, Wartezeiten, Anfahrtszeiten) verweigert. Diese Patienten wurden wie auch Patient 60 von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Von Patient 60 konnten nur Kontrollen nach 4 und 76 Wochen analysiert werden. Die Fraktur war fusioniert.

Die nachgewiesene röntgenologische Frakturheilungszeit von 52 Frakturen (52 Patienten) betrug durchschnittlich 15,58 Wochen (4-42 Wochen).

4.4.1 Frakturheilung: Patienten- und frakturabhängige Faktoren

Es konnten zwischen patienten- (Alter, Gewicht) und frakturabhängigen (Lokalisation, Typ, offen/geschlossen) Einflussgrößen und der Zeit bis zur röntgenologischen Fusion keine signifikanten Korrelationen aufgedeckt werden.

Die Heilungszeiten jüngerer (≤ 1 Jahr) und die älterer (> 1 Jahr) Tiere differierten nicht signifikant ($p= 0,688$). Zur Frakturheilungszeit unterschiedlich gewichtiger Patienten ($p= 0,263$), bei den verschiedenen Frakturlokalisationen ($p= 0,715$), bei den verschiedenen Frakturtypen ($p= 0,043$) und ob die Fraktur geschlossen oder offen war ($p= 0,762$) war keine Signifikanz nachweisbar.

4.4.2 Frakturheilung: Behandlungsabhängige Faktoren

Untersucht wurde, ob sich die Osteosyntheseverfahren vergleichend, eines im Hinblick auf die Frakturheilungsdauer und das Alter der Patienten (≤ 1 J.; > 1 J.) als signifikant besser erwiesen hatte.

Dabei wurden zunächst die Patienten mit Plattenosteosynthese mit denen mit Fixateur externe vergleichend analysiert und danach die *NCP* mit den *DCP* Tieren und letztendlich winkelstabil (*NCP*, Fixateur externe) mit nicht-winkelstabil (*DCP*).

4.4.2.1 Frakturheilung: Plattenosteosynthese vs. Fixateur externe (Tab. 13)

Die Frakturen heilten mit dem Fixateur externe im Durchschnitt mit 11,33 Wochen (4-26 Wochen) und damit tendenziell aber nicht signifikant ($p= 0,079$) schneller als die mit einer Platte, die im Durchschnitt dazu 16,13 Wochen (4-42 Wochen) benötigten. Bei einem Hund (jünger als 1 Jahr) war die Fraktur unter Fixateur externe röntgenologisch bereits nach 4 Wochen und bei den 5 Patienten älter als 1 Jahr nach durchschnittlich 12,8 Wochen (6-26 Wochen) verheilt.

War die Fraktur mit einer Platte osteosynthetisiert, betrug die Heilungszeit bei Patienten im ersten Lebensjahr im Durchschnitt 16,4 (4-42 Wochen) und bei den älteren 16 Wochen (7-36 Wochen). Im Hinblick auf das Alter der Tiere (≤ 1 J.; > 1 J.) war weder in der Gruppe der mit Platte ($p= 0,756$) noch in der mit Fixateur externe versorgten ($p= 0,333$) Patienten ein signifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen aufzudecken.

Tab. 13: Röntgen: Frakturheilungszeiten unter *Platte* und *Fixateur externe* bei juvenilen (≤ 1 Jahr) und adulten (> 1 Jahr) Patienten

Alter des Tieres	Plattenosteosynthese (<i>NCP</i> und <i>DCP</i>)				Fixateur externe			
	n=	Mittelwert	SD	Median	n=	Mittelwert	SD	Median
beide Altersklassen	46	16,13	7,87	13,5	6	11,33	7,89	9,5
≤ 1 Jahr	15	16,40	9,49	12	1	4,00	-	4,00
> 1 Jahr	31	16,00	7,13	14	5	12,80	7,85	11,00

NCP = Non Contact Plate; *DCP* = Dynamic Compression Plate; SD = Standardabweichung
Mittelwert, Standardabweichung und Median in Wochen *post operationem*.

4.4.2.2 Frakturheilung: NCP vs. DCP (Tab. 14)

Winkelstabil mit *NCP* versorgt heilten die Frakturen im Durchschnitt nach 16,11 Wochen (4-42 Wochen) und nicht-winkelstabil mit *DCP* nach 16,22 Wochen (10-30 Wochen) nicht signifikant ($p= 0,951$) schneller.

Tab. 14: Röntgen: Frakturheilungszeiten nach winkelstabiler (*NCP*) und nicht-winkelstabiler (*DCP*) Plattenosteosynthese

<i>NCP</i>				<i>DCP</i>			
n=	Mittelwert	SD	Median	n=	Mittelwert	SD	Median
37	16,11	8,19	14,00	9	16,22	6,82	12,00

NCP = Non Contact Plate; *DCP* = Dynamic Compression Plate; SD = Standardabweichung

Mittelwert, Standardabweichung und Median in Wochen *post operationem*.

4.4.2.3 Frakturheilung: winkelstabile vs. nicht-winkelstabile Osteosynthese (Tab. 15)

Nach winkelstabiler Osteosynthese (*NCP* und Fixateur externe) waren die Frakturen durchschnittlich nach 15,44 Wochen (4-42 Wochen) und nach nicht-winkelstabiler (*DCP*) nach 16,22 Wochen (10-30 Wochen) nicht signifikant eher verheilt ($p= 0,733$).

Tab. 15: Röntgen: Frakturheilungszeiten nach winkelstabiler und nicht-winkelstabiler Osteosynthese

winkelstabile Osteosynthese (<i>NCP</i> oder Fixateur externe)				nicht-winkelstabile Osteosynthese (<i>DCP</i>)			
n=	Mittelwert	SD	Median	n=	Mittelwert	SD	Median
43	15,44	8,23	13,00	9	16,22	6,82	12,00

Mittelwert, Standardabweichung und Median in Wochen *post operationem*.

NCP = Non Contact Plate; *DCP* = Dynamic Compression Plate; SD = Standardabweichung

4.5 Implantatliegezeiten

Von 54 Patienten wurden die Implantate durchschnittlich nach 16,06 wöchiger (5-50 Wochen) Liegezeit auch wieder in der Klinik entfernt. 52 Hunden (96,3 %) wurden die Implantate vollständig entfernt, während bei 2 Patienten (3,7 %) Zugschrauben bzw. abgebrochene Schraubenspitzen belassen wurden.

Bei Implantatentfernung war die knöcherne Fusion bei 51 Frakturen (94,4 %) röntgenologisch nachgewiesen (Tab. III, Anhang S. 125).

Die Implantate wurden bei 39 Hunden (72,2 %) entfernt, da die Fraktur verheilt war. Bei 12 Patienten (22,2 %) wurden die Implantate durchschnittlich 3,5 Wochen (1-9 Wochen) nach röntgenologisch belegter Frakturheilung entfernt.

Die Frakturlinie war bei 3 Hunden (5,6 %; 3/54) nach Implantatentfernung noch partiell erkennbar, ohne dass eine Funktionsstörung bestand, obwohl bei einem (Patient 54) bereits eine Synostose zwischen Radius und Ulna im Frakturbereich entstanden war (6 Wochen *post operationem*). Nach einer späteren telefonischen Befragung war der Hund nach wie vor lahmheitsfrei.

Bei Patient 58 war die Frakturheilung infolge eines Bruchs eines Fixateur externe Fixationspins verzögert. Deswegen wurden die Implantate ausgewechselt (erneute Fixation mit Fixateur externe). 15 Wochen danach waren die Frakturlinien von Radius und Ulna noch abschnittsweise dezent sichtbar, die Implantate wurden aber entfernt. Obwohl der Hund gut belastete, wurde nach Implantatentfernung für 6 Wochen ein Lightcast- und danach für 4 Wochen ein wattegepolsterter Krepppapierverband mit den Empfehlungen des üblichen Verbandsmanagements angelegt.

Bei Patient 59 war die Heilung durch einen zu nah am Frakturspalt angebrachten Fixateur-Pin verzögert. Er wurde erst 8 Wochen später entfernt und autogene Spongiosa in den Defekt eingelagert. 20 Wochen später war röntgenologisch manschettenartiger Kallus sichtbar, der Frakturspalt erschien aber nicht ausreichend stabil, so dass ein Castverband angelegt und das weitere Management vom Haustierarzt übernommen wurde. Nach telefonischer Auskunft 69 Wochen später, war die Fraktur röntgenologisch verheilt und der Patient lahmheitsfrei.

4.5.1 Implantatliegezeiten: Plattenosteosynthese vs. Fixateur externe (Tab. 16)

Der Fixateur externe hatte mit 10,88 Wochen (6-20 Wochen) vor den Plattenosteosynthesen (Durchschnitt: 16,96 Wochen; 5-50 Wochen) die signifikant kürzesten Liegezeiten ($p=0,036$).

Sieht man von einem juvenilen Hund ab, bei dem der Fixateur externe schon nach 6 Wochen wieder entfernt werden konnte, wurde diese Technik noch bei 7 adulten genutzt und nach durchschnittlich 11,57 Wochen (6-20 Wochen) wieder entnommen.

Die Platten wurden bei juvenilen Tieren im Durchschnitt nach 17,87 Wochen (5-50 Wochen) und bei adulten durchschnittlich nach 16,52 Wochen (7-36 Wochen) entfernt.

Die Liegezeiten der jeweiligen Implantate (Plattenosteosynthese und Fixateur externe) bei Hunden jünger als 1 Jahr und älter als 1 Jahr konnten bei 54 Hunden vergleichend analysiert werden (Tab. 16).

Weder für die Platten- ($p=0,251$) noch für die Fixateur externe-Osteosynthesen ($p=0,110$) war eine signifikant verschiedene Implantatliegezeit zwischen jung und alt feststellbar.

Tab. 16: Implantatliegezeiten: Plattenosteosynthese, Fixateur externe und Patientenalter (juvenil \leq 1 Jahr; adult $>$ 1 Jahr)

Alter des Tieres	Plattenosteosynthese (NCP und DCP)				Fixateur externe			
	n=	Mittelwert	SD	Median	n=	Mittelwert	SD	Median
beide Altersklassen	46	16,96	8,58	14,50	8	10,88	5,08	10,50
\leq 1 Jahr	15	17,87	10,80	15,00	1	6,00	-	6,00
$>$ 1 Jahr	31	16,52	7,44	14,00	7	11,57	5,06	12,00

NCP = Non Contact Plate; DCP = Dynamic Compression Plate; SD = Standardabweichung

Mittelwert, Standardabweichung und Median in Wochen *post operationem*.

4.5.2 Implantatliegezeiten: NCP vs. DCP (Tab. 17)

Non Contact Plates wurden durchschnittlich nach 16,49 (5-50 Wochen) und *Dynamic Compression Plates* nach 18,89 (10-30 Wochen) explantiert, ohne dass dieser Unterschied signifikant ($p=0,285$) war.

Tab. 17: Implantatliegezeiten *NCP* und *DCP*

<i>NCP</i>				<i>DCP</i>			
n=	Mittelwert	SD	Median	n=	Mittelwert	SD	Median
37	16,49	8,92	14,00	9	18,89	7,13	20,00

NCP = Non Contact Plate; *DCP* = Dynamic Compression Plate; SD = Standardabweichung
Mittelwert, Standardabweichung und Median in Wochen *post operationem*.

4.5.3 Implantatliegezeiten: winkelstabile vs. nicht-winkelstabile Osteosynthese

(Tab. 18)

Die winkelstabilen Systeme (*NCP* und Fixateur externe) wurden im Durchschnitt nach 15,84 Wochen (5-50 Wochen) entfernt. Eine signifikant differierende Zeit zur nicht-winkelstabilen *DCP* war nicht nachweisbar ($p= 0,155$).

Tab. 18: Implantatliegezeiten *winkelstabiler* und *nicht-winkelstabiler* Osteosynthesen

winkelstabile Osteosynthese (<i>NCP</i> oder Fixateur externe)				nicht-winkelstabile Osteosynthese (<i>DCP</i>)			
n=	Mittelwert	SD	Median	n=	Mittelwert	SD	Median
45	15,49	8,60	13,00	9	18,89	7,13	20,00

NCP = Non Contact Plate; *DCP* = Dynamic Compression Plate; SD = Standardabweichung
Mittelwert, Standardabweichung und Median in Wochen *post operationem*.

4.6 Komplikationen (Abb. 9)

Von 84 Patienten mit 84 Frakturen lagen Informationen zum Heilungsverlauf vor. Davon kam es bei 33 (39,3 %) zu Komplikationen. Häufigste Komplikation waren Osteomyelitis und Knochenresorption (je n= 11; 13,1 %), vor Frakturheilungsstörungen (n= 9; 10,7 %; Malunion: n= 4, Nonunion: n= 3; Delayed Union: n= 2), Implantatversagen (n= 7; 8,3 %), Synostose und Refraktur nach Implantatentfernung (je n= 6; 7,1 %), Wundinfektion (n= 4; 4,8 %), Ankylose des Karpalgelenks (n= 2; 2,4 %), sowie einer transienten Radialislähmung (1,2 %).

Obwohl die Heilung bei komplikationslosem Verlauf mit durchschnittlich 14,08 Wochen (4-30 Wochen) schneller als die mit Komplikation behafteten mit 16,96 Wochen (4-42 Wochen) verlief, war dies nicht signifikant ($p= 0,328$).

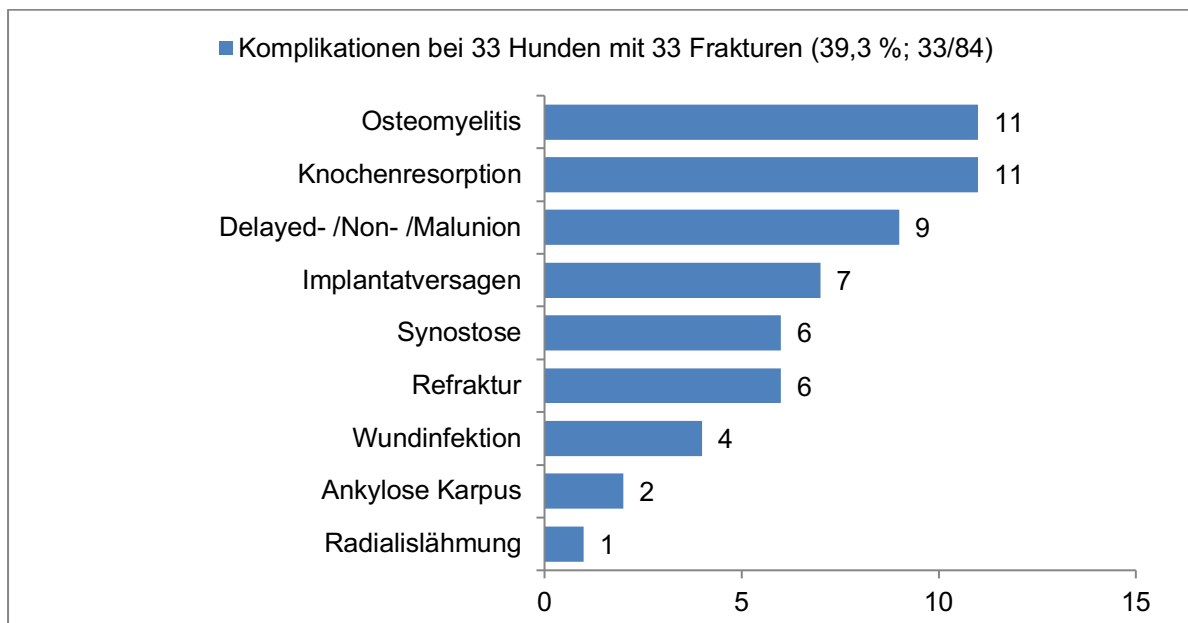


Abb. 9: 57 Komplikationen bei 33 der 84 kontrollierten Radius/Ulna-Frakturen bei 84 Patienten

4.6.1 Komplikationen: Patientenabhängige Faktoren (Abb. 10)

Im Hinblick auf Rasse ($p= 0,856$), Alter ($p= 1,000$), Geschlecht ($p= 0,506$) und Gewicht ($p= 0,053$) waren keine signifikanten Korrelationen aufzudecken. Das Risiko eine Komplikation zu erleiden, war tendenziell aber für sehr leichte (< 5 kg) und schwere Hunde (Gewichtsklassen > 15 kg) höher als bei denen der mittleren Gewichtsklasse (5-15 kg) (Abb. 10). Die Osteomyelitis (13,1 %; 11/84) betraf nur Hunde, die schwerer als 15 Kilogramm waren. Ihr durchschnittliches Gewicht betrug 29,9 kg. Dieser Zusammenhang ist hoch signifikant ($p= < 0,001$).

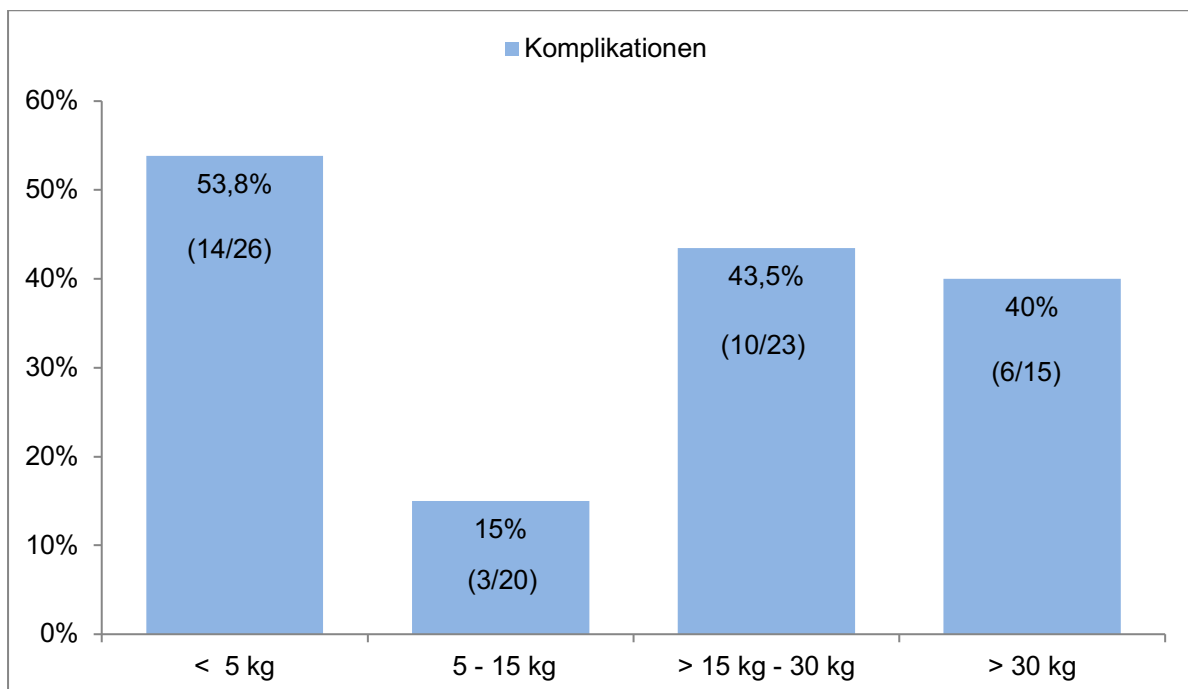


Abb. 10: Komplikationsinzidenz bei Hunden der verschiedenen Gewichtsklassen

4.6.2 Komplikationen: Frakturabhängige Faktoren (Abb. 11)

Frakturabhängige Faktoren wie Frakturtyp ($p= 0,856$) und ob geschlossene oder offene Fraktur ($p= 0,759$) beeinflussten die Komplikationsrate nicht.

Allerdings war die Komplikationsrate bei distal metaphysären Frakturen tendenziell, aber nicht signifikant ($p= 0,301$) höher als in den anderen Unterarmabschnitten.

Vier der Patienten mit Osteomyelitis (4/11; 36,4 %) hatten eine offene Fraktur. Dies ist im Vergleich zur geschlossenen Fraktur keine signifikante Häufung ($p= 0,062$).

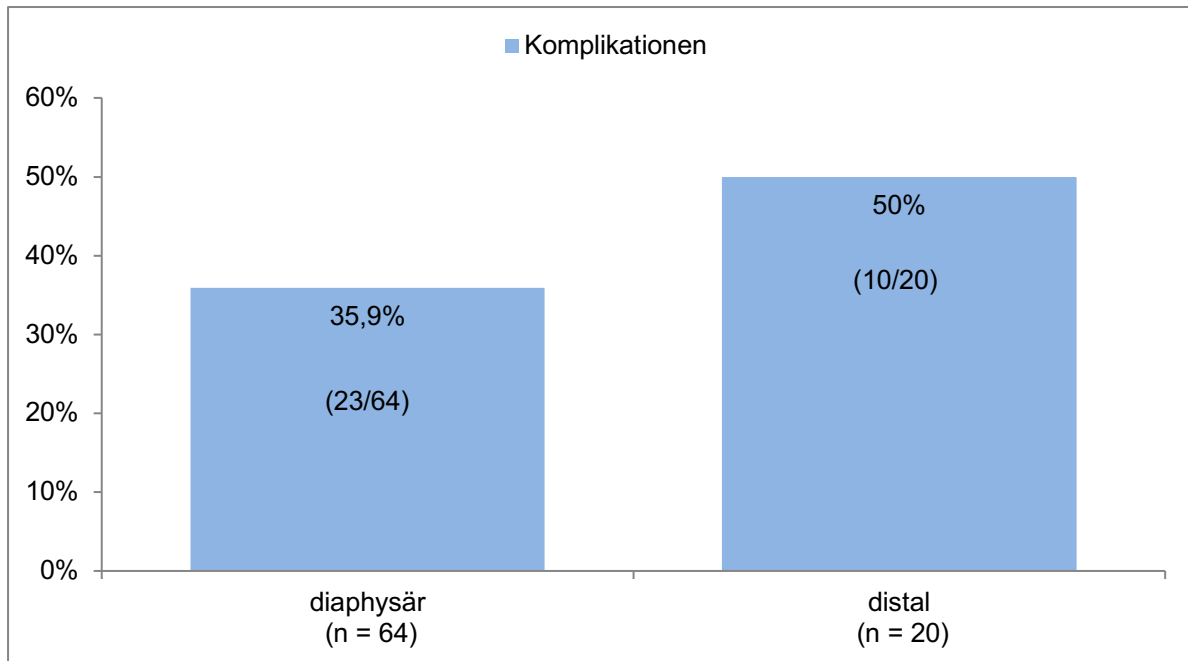


Abb. 11: Komplikationsinzidenz und Frakturlokalisation (diaphysär, distal metaphysär)

4.6.3 Komplikationen: Behandlungsabhängige Faktoren

4.6.3.1 Komplikationen: Zeitraum bis zur chirurgischen Versorgung, Chirurg (Abb. 12)

Das Komplikationsrisiko wurde im Hinblick auf die Frakturversorgung weder vom Zeitintervall Unfall - Osteosynthese ($p= 0,583$) noch von der Operationsdauer ($p= 0,073$) signifikant beeinflusst.

Tendenziell aber nicht signifikant waren die Osteosynthesen von weniger erfahrenen Chirurgen komplikationsgefährdeter als die von erfahrenen Chirurgen ($p= 0,267$).

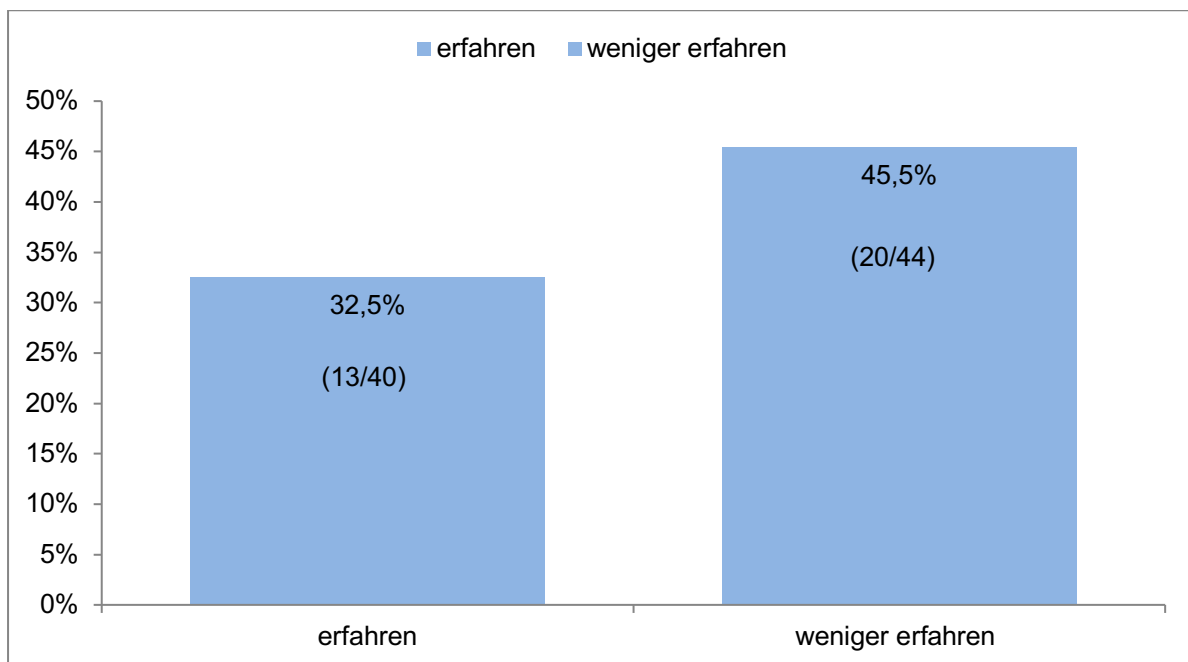


Abb. 12: Komplikationsinzidenz und Chirurgenerfahrung (erfahren, weniger erfahren)

4.6.3.2 Komplikationen: Osteosyntheseverfahren

Wie die Aufarbeitung zur Frakturheilungszeit und der Implantatliegezeiten wurden die Osteosyntheseverfahren im Hinblick auf komplikationsbehaftete Frakturheilung gruppenvergleichend und unter besonderer Berücksichtigung der Hunde leichter als 5 kg mit distal metaphysären Frakturen analysiert.

4.6.3.2.1 Komplikationen: Plattenosteosynthese vs. Fixateur externe (Abb. 13)

36,0 % (27/75) der Plattenosteosynthesen und 66,7 % (6/9) der Fixateur externe waren ohne statistische Signifikanz ($p=0,145$) komplikationsbehaftet.

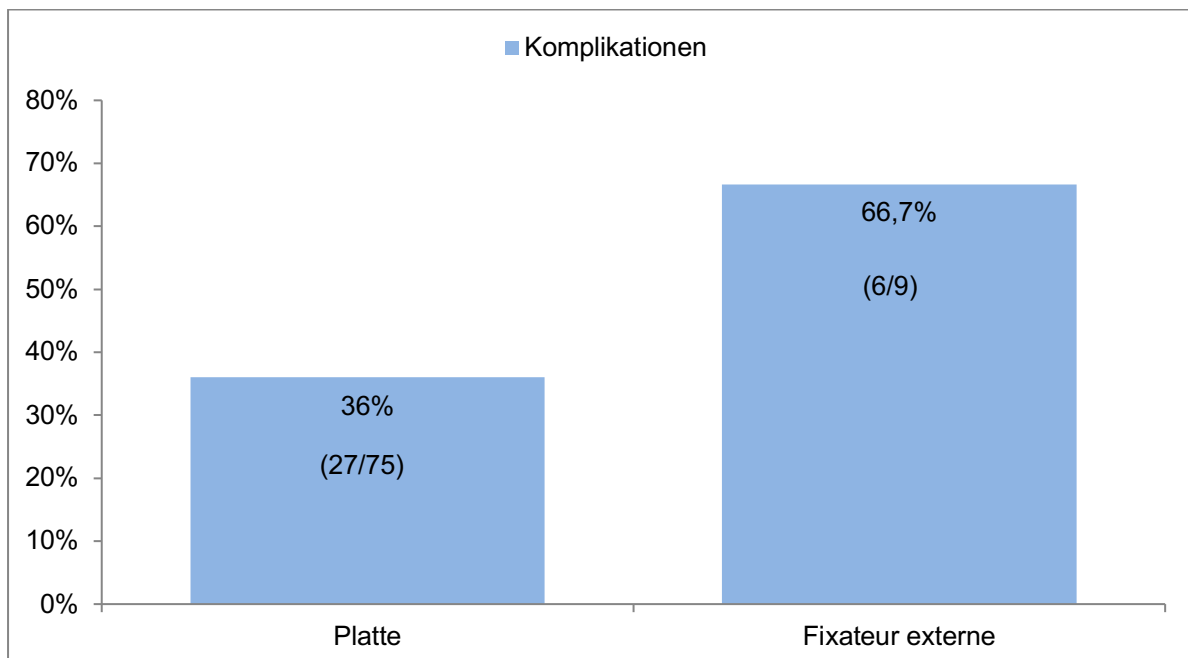


Abb. 13: Komplikationsraten: *Plattenosteosynthese* und *Fixateur externe*

4.6.3.2.2 Komplikationen: *NCP* vs. *DCP* (Abb. 14)

37,7 % (23/61) der mit *NCP* und 28,6 % (4/14) der mit *DCP* fixierten Frakturen waren komplikationsbehaftet, ohne dass dies statistisch signifikant ($p=0,759$) war.

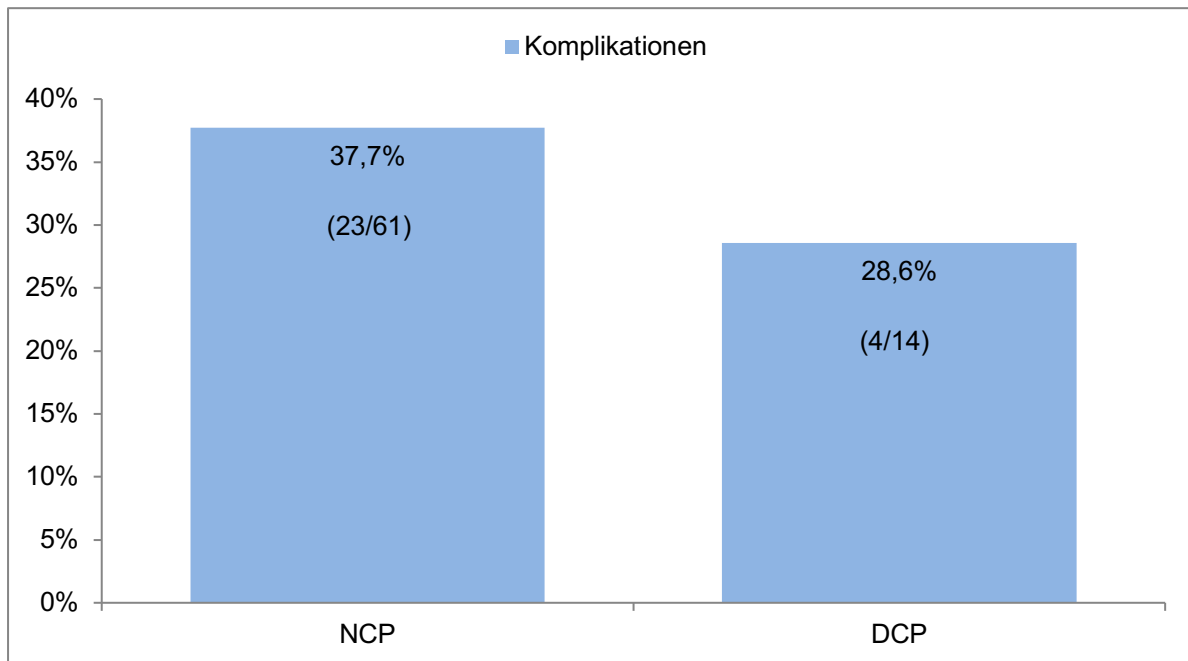


Abb. 14: Komplikationsraten: *NCP* und *DCP*

4.6.3.2.3 Komplikationen: winkelstabile vs. nicht-winkelstabile Osteosynthese

(Abb. 15)

41,4 % (29/70) der winkelstabilen Osteosynthesen mit *Non Contact Plate* oder Fixateur externe waren von Komplikationen betroffen (Abb. 15), ohne dass dies statistisch signifikant im Vergleich zur nicht-winkelstabilen Osteosynthese mit *DCP* war ($p=0,550$).

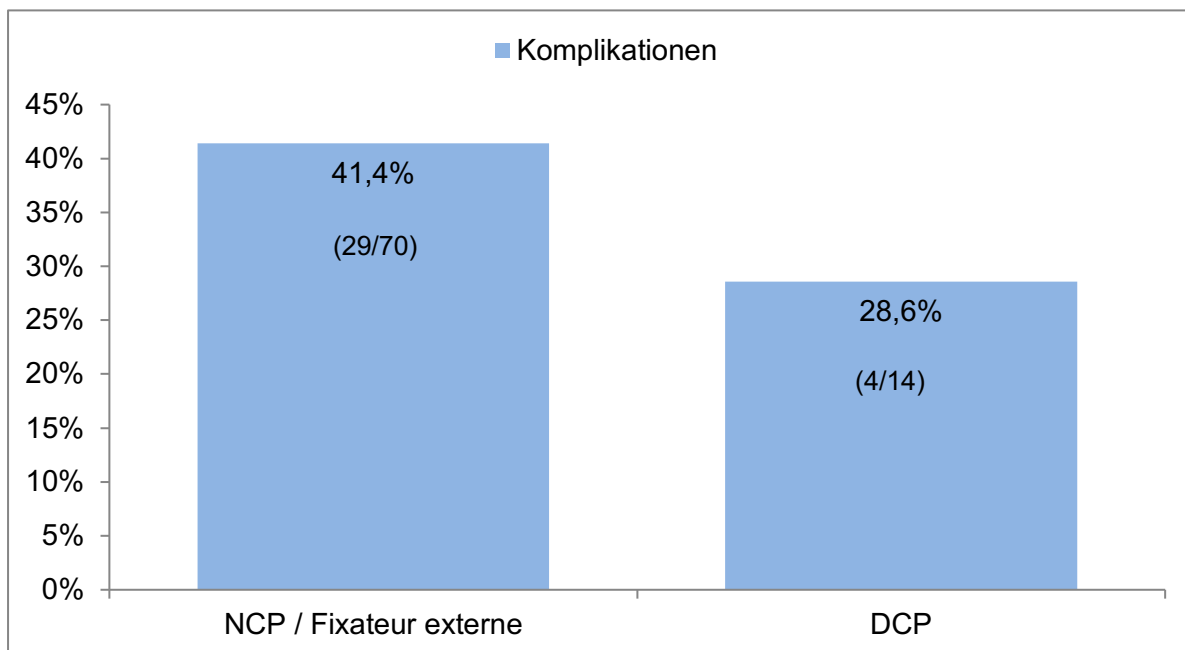


Abb. 15: Komplikationsraten: *winkelstabile Osteosynthese, nicht-winkelstabile Osteosynthese*

4.6.3.2.4 Komplikationen: Distal metaphysäre Frakturen bei Hunden < 5 kg

83,3 % (10/12) der Hunde leichter als 5 Kilogramm mit distal metaphysären Unterarmfrakturen wurden mit Platte und 16,7 % (2/12) mit Fixateur externe versorgt. 58,3 % (7/12) dieser Hunde erlitten im Heilungsverlauf eine Komplikation.

Die Komplikationsrate nach Plattenosteosynthese war mit 50 % (5/10) geringer als nach Fixateur externe mit 100 % (2/2), ohne dass dies statistisch signifikant war ($p=0,470$).

Signifikanzen konnten auch nicht bei Verwendung von *NCP* oder *DCP* im Hinblick auf die Komplikationshäufigkeit festgestellt werden ($p=1,000$). Von den zehn Hunden mit Plattenosteosynthesen wurden 8 (80 %) mit einer *NCP* und 2 (20 %) mit einer *DCP* versorgt. Bei beiden Plattentypen kam es jeweils bei der Hälfte der Fälle (*NCP*: 4/8; *DCP*: 1/2) zu Komplikationen.

Insgesamt kam es bei 6 Hunden (60 %; 6/10) mit einer winkelstabilen Osteosynthese und bei einem Hund (50 %; 1/2) mit nicht-winkelstabiler Osteosynthese (*DCP*) zur Komplikation. Es war kein statistisch signifikanter Zusammenhang zur Komplikationshäufigkeit errechenbar ($p= 1,000$).

4.6.4 Komplikationen: Therapie der Komplikationen

Beschrieben wird die Behandlung der einzelnen Patienten gruppiert nach Art der Komplikation. Die Zeit der Komplikation und des Therapieeingriffs sind dem Anhang zu entnehmen (Tab. IVa; Anhang S. 126-127; Tab. IVb; Anhang S. 128). Patienten, deren Heilungsverlauf besonders komplikationsreich verlief werden im Abschnitt *komplikationsreicher Heilungsverlauf* beschrieben.

Patienten mit einer *Osteomyelitis* (Nr. 20, 23, 24, 36, 44, 45, 46, 49, 72, 75, 79) wurden nach Antibiotogramm gezielt systemisch antibiotisch behandelt. Die bestehenden *Wundinfektionen* bei den Patienten 23, 45 und 46 wurden zudem lokal mit Polihexanid-Lösung (ProntoVet® Wundspüllösung, B.Braun, Melsungen, DE) und Schutzverbänden mit Polihexanid-Gel (ProntoVet® Gel, B.Braun, Melsungen, DE) behandelt, bei phlegmonöser Gliedmaßenschwellung (Nr. 23) wurde ein Rivanolverband (Rivanol®, Dermapharm, Grünwald, DE) angelegt oder nach Plattenosteosynthese durch einen Fixateur externe ausgewechselt (Nr. 79). Je eine gelockerte Schraube wurde bei den Patienten 36 und 44 entfernt.

Bei *Implantatversagen* (Lockerung: $n= 4$, Nr. 6, 36, 44, 78; Biegung: $n= 1$, Nr. 1; Bruch: $n= 2$; Nr. 58, 74) wurden die Implantate ausgewechselt oder entfernt und bei Patient 44 zusätzlich autogene Spongiosa in den Frakturbereich eingelagert. Bei Patient 78 wurde die gelockerte Schraube festgezogen und bei 74 wurden 2 im Knochen abgebrochene Schraubengewinde bei Implantatentfernung belassen.

Die *Ankylose des Karpalgelenks* (Nr. 6, 24) und die *Radialislähmung* (77) wurden physiotherapeutisch behandelt und die Gliedmaßenfunktion konnte bei den Hunden 6 und 77 vollständig wiederhergestellt werden, während die eingeschränkte Gelenkbeweglichkeit bei Patient 24 nicht rückgängig war.

Durch technisch fehlerhafte Osteosynthese entstanden bei 4 Patienten (Nr. 6, 24, 27, 33) Achsenfehler. Nach Achsenkorrektur bei einem Zweiteingriff aufgrund von

Implantatlockerung blieb bei einem Patienten (Nr. 6), wie bei den anderen 3 Patienten die nicht reoperiert wurden, eine geringfügige Abweichung ($< 10^\circ$) von der Längsachse des Knochens als *Malunion* bestehen.

Bei verzögerter Frakturheilung (*Delayed Union*) (Nr. 58, 59) wurden störende oder versagende Implantate entfernt und bei Patient 59 wurde der Defekt mit autogener Spongiosa zur Stimulierung der Heilung gefüllt. Nach Implantatentfernung wurden die Frakturen beider Patienten über mehrere Wochen mit einem Castverband stabilisiert.

Ulna-*Nonunions* der Patienten 16, 50, 58 wurden nach Entfernung der Radiusimplantate vorübergehend mit einem Stützverband behandelt. Röntgenologisch war bei Nr. 16 und Nr. 50 eine atrophische Form der Nonunion mit Knochenresorption (Kaliberreduktion, erhöhte Radioluzenz) im Frakturbereich festzustellen, ohne dass sich diese Komplikation negativ auf die Funktion auswirkte.

Der *Knochenresorption* bei den Patienten 4 (Radius und Ulna), 6, 11, 64 und 65 (Ulna) wurde zunächst durch Dynamisierung der Fraktur, d.h. die frakturspaltnahen Schrauben wurden entfernt, entgegengewirkt. Sieht man einmal von Hund 11 ab, der danach nicht mehr wiedervorgelegt wurde, bei dem aber telefonisch ein befriedigendes funktionelles Endergebnis (gelegentlich mittelgradig lahm) erfragt wurde, heilte der Radius bei Nr. 17, 64 und 65 aus, die Ulna aber nicht, ohne dass dies das gute Funktionsergebnis reduzierte.

Zur *Refraktur* kam es bei 6 Patienten (Nr. 2, 4, 12, 32, 57, 67): 6 Tage nach Implantatentfernung bei Hund 2, 8 Tage danach bei 4 und 12, 14 Tage danach bei 32, 21 Tage danach bei 57 und bei 67 nach 28 Tagen. Bei 4 Hunden (Nr. 2, 4, 12, 32) waren Radius und Ulna im Frakturbereich zwar verheilt, aber verschmächtigt. Der Knochen refrakturierte bei den Patienten 2, 57 und 67 im Bereich des ehemaligen Frakturspalts, bei 4 proximal des ehemaligen Frakturspalts und bei 12 und 32 in einem Schraubenloch.

Bei Hund 12 wurde die Erstosteosynthese von Platte (*NCP*) auf Fixateur externe beim Zweiteingriff umgestellt. 6 Wochen danach wurde die Montage nach guter Frakturheilung und Lahmheitsfreiheit entfernt. Bei Hund 32 wurde die Erstosteosynthese mit Platte (*NCP*) technisch fehlerhaft auf paraossäre Klammer-Cerclage-Fixation umgestellt. Es kam zur Knochenresorption im Frakturbereich des Radius, so dass nach weiteren 4 Wochen ein Implantatwechsel zur Plattenosteosynthese (*DCP*) mit Spongiosatransplantation vorgenommen wurde. Die Fraktur heilte ab. Die Funktion war gut.

Bei den Hunden 57 (Ersteingriff: Fixateur externe) und 67 (Ersteingriff: *DCP*) wurde im Zweiteingriff die paraossäre Klammer-Cerclage-Stabilisierung genutzt. Danach heilten die

Frakturen gut bei klinisch guter Funktion. Die Implantate wurden belassen.

Die 6 *Synostosen* bei den Patienten 4, 6, 12, 24, 27 und 54 wurden nicht chirurgisch reseziert.

Komplikationsreicher Heilungsverlauf

Patient 2 wurde 6 Monate nach der Erstoperation zur Röntgenkontrolle und Implantatentfernung wiedervorgelegt. Beide Unterarmknochen waren verheilt, der Radius jedoch im Frakturbereich verschmächtigt. Radius und Ulna brachen 6 Tage nach Implantatentfernung wieder. Zur Zweitosteosynthese wurde ein Fixateur externe eingesetzt. Ein Fixationspin war dabei sehr frakturspaltnah platziert worden und Ursache einer Frakturheilungsstörung. Dieser Pin wurde vier Wochen später entfernt und nun frakturspaltnah platziert. Weitere 4 Monate später war die Fraktur vollständig verheilt und die Montage wurde entfernt. Dabei brach der Unterarm in einem Fixateur-Pin-Bohrloch proximal des Frakturbereichs erneut. Zur weiteren Behandlung wurde autogene Spongiosa eingebracht und über 8 Wochen ein Verband (4 Wochen Cast-, danach 4 Wochen Kreppverband) angelegt. Letztendlich heilte die Fraktur mit gutem funktionellem Ergebnis (telefonische Besitzerbefragung ein Jahr später).

Bei Hund 4 war 8 Wochen nach Plattenosteosynthese (*NCP*) der Knochen im Bereich der Fraktur im Kaliber reduziert. Deswegen wurden die beiden frakturnahen Plattenschrauben entfernt (Dynamisierung), ohne dass damit der weitere Knochenabbau von Radius und Ulna gestoppt werden konnte. Deswegen wurde 5 Monate später im Dritteingriff eine Rippe transplantiert und das Implantat einen Monat später in einem vierten Eingriff durch eine längere Platte (*NCP*) ersetzt. Diese Platte wurde nach weiteren 5 Monaten entfernt. Nach Entfernung der Implantate der Viertoperation brach der Unterarm 8 Tage später erneut und wurde in der fünften Osteosynthese auf Fixateur externe umgestellt. 3 Monate danach wurde die Fixateur externe Montage wieder entfernt und dem massiv verschmächtigten Radius eine weitere Rippe, mit resorbierbarem Nahtmaterial fixiert, angelagert. Die Unterarmknochen waren zu diesem Zeitpunkt im proximalen Drittel der Diaphyse synostosiert. Im Endergebnis nach weiteren 2 Monaten war die Fraktur verheilt und der Hund lahmheitsfrei.

Bei Patient 6 hatten sich die Implantate 2 Wochen nach der Plattenosteosynthese wohl auch aufgrund eines operationsverursachten Achsenfehlers ($< 10^\circ$) gelockert. Die Plattenmontage wurde ausgewechselt und dabei der Achsenfehler korrigiert. Unter der neuerlichen Montage kam es innerhalb von 6 Wochen zur Radius/Ulna-Verschmächtigung. Die Osteosynthese

wurde dynamisiert und 4 Monate nach der Zweitosteosynthese war die Fraktur verheilt aber eine radio-ulnare Synostose entstanden und das Karpalgelenk beugegehemmt. Das Karpalgelenk konnte physiotherapeutisch vollständig wieder remobilisiert werden.

Bei Hund 58 war die Radius/Ulna-Fraktur durch einen Biss entstanden. Sie wurde deswegen mit einem Fixateur externe (Typ II) stabilisiert und der Infekt nach Antibiogramm gezielt antibiotisch behandelt. Der Fixateur externe kollabierte 5 Wochen nach der Montage und wurde durch eine weitere Typ II Montage ersetzt und 15 Wochen später entfernt, obwohl die Fraktur noch nicht sicher durchgebaut war. Deswegen wurde der Unterarm für weitere 6 Wochen mit einem Castverband und anschließend für 4 Wochen mit einem wattegepolsterten Kreppverband ruhiggestellt. Nach 11 Wochen war der Radius knöchern gut konsolidiert und die Ulna als Nonunion verblieben. Die Funktion war gut.

4.7 Funktionelles Behandlungsergebnis

Das funktionelle Heilungsergebnis wurde entsprechend der Lahmheitsgrade: lahmheitsfrei, gering-, mittel-, hochgradig analysiert. Nicht involviert wurden die 6 Patienten mit Refraktur, da deren funktionelles Endergebnis bereits zuvor bekannt war. So verblieben 85,7 % Frakturen (78/91) von 88,6 % Hunden (78/88) von denen Kurz- und/oder Langzeitergebnisse zur Funktion gewertet werden konnten.

Als Kurzeitergebnis galt die Gliedmaßenfunktion vor Implantatentfernung bzw. bis 2 Wochen danach. Als Langzeitergebnis galt die Kontrolle 8 Wochen nach Implantatentfernung oder später.

Von 24,3 % der Hunde (19/78) mit 24,3 % der Frakturen (19/78) lag lediglich ein Kurzeitergebnis vor und von 74,4 % der Hunde (58/78) mit 74,4 % der Frakturen (58/78) lagen funktionelle Langzeitergebnisse vor. Die Langzeitinformationen konnten durchschnittlich 111,8 Wochen (8-220 Wochen) nach Implantatentfernung eingeholt werden. Zusätzlich konnten in diesem Zusammenhang nach im Durchschnitt 101,1 Wochen (13-229 Wochen) bei 5,1 % (4/78) der Patienten, deren Implantate beim Haustierarzt entfernt und bei 33,3 % (26/78) deren Implantate nicht entfernt worden waren auch telefonisch funktionelle Endergebnisse abgefragt werden. Lagen Kurz- und Langzeitergebnis vor, wurde nur das Langzeitergebnis analysiert.

Bei den Hunden 6, 10 und 59 wurde das schlechte Kurzeitergebnis bei Implantatentfernung infolge von Ankylose des Karpus (Nr. 6) durch Physiotherapie zum guten Langzeitergebnis.

Bei Patient 10 mit einer intermittierenden (befriedigendes Kurzzeitergebnis) und bei Patient 59 mit einer hochgradigen Lahmheit (schlechtes Kurzzeitergebnis) entwickelte sich *eo ipso* ein gutes Langzeitergebnis.

Insgesamt wurde bei 93,6 % (73/78) ein gutes, bei 5,1 % (4/78) ein befriedigendes und bei 1,3 % (1/78) ein unbefriedigendes funktionelles Behandlungsergebnis erzielt.

Bei 4 Patienten (Nr. 11, 43, 86, 90) mit befriedigendem Ergebnis waren die Implantate verblieben, sie lahnten belastungsabhängig noch nach durchschnittlich 97,3 Wochen. Das unbefriedigende Ergebnis bei Patient 24 mit Ankylose des Karpus blieb permanent (197 Wochen nach Implantatentfernung) bestehen.

Von den 9 Hunden mit Frakturheilungsstörungen in Form von Delayed-, Non- oder Malunion (Delayed Union: 58, 59; Nonunion: 16, 36, 50; Malunion: 6, 24, 27, 33) war das funktionelle Behandlungsergebnis bei 8 (88,9 %; 8/9) gut und nur bei einem (11,1 %; 1/9), Patient 24 mit Ankylose des Karpus, unbefriedigend.

Letztlich wurde zu 92,8 % mit Plattenosteosynthese (64/69) und zu 100 % mit Fixateur externe (9/9) ein funktionell gutes Ergebnis erzielt.

5 DISKUSSION

Unterarmfrakturen im diaphysären und distal metaphysären Bereich sind nicht selten (LAPPIN et al. 1983; RUDD und WHITEHAIR 1992). Bekannt ist, dass die Heilung dieser Frakturen unabhängig vom Therapieverfahren häufig komplikationsträchtig ist (WATERS et al. 1993; LAPPIN et al. 1983; LARSEN et al. 1999; HAMILTON und LANGLEY HOBBS 2005; GIBERT et al. 2015; RAMIREZ und MACIAS 2016; WATROUS und MOENS 2017).

Ziel der vorliegenden retrospektiven Studie war, die Versorgung diaphysärer und distal metaphysärer Radius/Ulna-Frakturen mit winkelstabilen und nicht-winkelstabilen Osteosyntheseverfahren, deren Heilung und etwaige Komplikationen zu analysieren. Dazu wurden patienten-, fraktur- und behandlungsabhängige Faktoren ermittelt, um etwaige Zusammenhänge dieser Faktoren mit der Frakturheilung aufzudecken.

5.1 Patienten

In der vorliegenden Arbeit wurden 88 Hunde mit 91 diaphysären oder distal metaphysären Unterarmfrakturen untersucht, die in den Jahren 2009-2015 in der Klinik für kleine Haustiere der Freien Universität Berlin mit Plattenosteosynthese oder Fixateur externe stabilisiert wurden. Davon hatten drei Hunde bilateral eine Radius/Ulna-Fraktur, so dass insgesamt 91 Osteosynthesen analysiert wurden.

Rassen:

Die Hunde der vorliegenden Studie gehörten insgesamt 40 verschiedenen Rassen (Tab. 11; S. 45) bzw. Mischlingen dieser Rassen an. Unter den Hunden der Toy-/Zwergrassen waren 11 verschiedene leichtgewichtige (< 5 kg), unter denen der niedriggewichtigen 10 (5-15 kg), unter denen der mittelgewichtigen (> 15-30 kg) und der schwergewichtigen (> 30 kg) je 9 verschiedene Rassen betroffen. Die Rasseninzidenz deckt sich allgemein mit den klinischen Studien von EBEL (1990), AKATVIPAT (2013) und DIEHM (2016). Auch wenn darin weitere Rassen gelistet sind, ist dies wohl nicht als eine besondere Gefährdung der genannten Rassen anzusehen, sondern vielmehr Ausdruck der Hundehaltung. Offensichtlich erfreuen sich zahlreiche Rassen zu bestimmten Zeiten und in bestimmten Regionen einer besonderen Beliebtheit. Um diese Hypothesen zu untermauern, könnte zumindest in Deutschland eine Abgleichung mit den Daten der lokalen Steuerbehörden oder mit denen der im Verband für Deutsches Hundewesen (VDH Dortmund) organisierten Rassenverbände mehr Transparenz schaffen.

Alter:

Die eigenen Studientiere (88 Hunde mit 91 Frakturen) waren 2-186 Monate (durchschnittlich 3,17 Jahre; Median 2,04 Jahre) alt. Fast ein Drittel (29,5 %; 26/88) war nur bis zu einem Jahr alt. Die Hälfte der Patienten (50 %; 44/88) war ein bis fünf Jahre alt. Weniger häufig waren Hunde im Alter von fünf bis zehn Jahren (15,9 %; 14/88) und im Alter von über zehn Jahren (4,5 %; 4/88) im Patientengut vertreten. Dies ist in etwa vergleichbar mit den Ergebnissen von EBEL (1990) die einen Anteil von 36 % (94/261) der Hunde im ersten Lebensjahr nennt. SCHEBITZ et al. (1981) und MEYER (1977) geben mit 50,6 % (221/437) und 49,6 % (116/234) einen höheren Anteil an. Auch nach Angaben anderer Autoren erleiden meist junge Tiere Frakturen (MEYER 1977; PHILLIPS 1979; EBEL 1990; AKATVIPAT 2013; DIEHM 2016). Als Ursache wird eine höhere Aktivität und Unerfahrenheit von Jungtieren und damit ein höheres Risiko einer traumatischen Verletzung angenommen (BRUNNBERG et al. 1981).

Interessant ist der hohe Anteil der leichtgewichtigen Jungtiere im Alter von bis zu einem Jahr in der eigenen Studie. Unter den 26 Hunden (mit 27 Frakturen) im Alter von bis zu 12 Monaten waren 61,5 % (16/26) mit 63 % (17/27) der Frakturen leichtgewichtig (< 5 kg), 30,8 % (8/26) mit 29,6 % (8/27) der Frakturen niedriggewichtig (5-15 kg) und 7,7 % (2/26) mit 7,4 % (2/27) der Frakturen hochgewichtig (> 30 kg). Unter den mittelgewichtigen Hunden (> 15-30 kg) waren keine juvenilen.

In Zusammenhang mit der frakturanfälligeren Knochenstruktur (BRIANZA et al. 2006) und der Neigung von bzw. über Einrichtungsgegenstände zu springen (PIERMATTEI et al. 2006), scheint das Risiko eine Fraktur zu erleiden für Jungtiere der Toyrassen (< 5 kg) besonders hoch zu sein.

Geschlecht:

Hündinnen waren mit 52,3 % (46/88) häufiger als Rüden mit 47,7 % (42/88) betroffen. Von den Rüden waren 28,6 % (12/42) und von den Hündinnen 23,9 % (11/46) kastriert. Das deckt sich nur teilweise mit Literaturangaben (MEYER 1977; EBEL 1990; AKATVIPAT 2013) lässt aber keine belastbaren Interpretationen oder gar Aussagen zu.

Körpergewicht:

In der eigenen Studie trafen die Frakturen in der Reihenfolge der Häufigkeit sehr leichtgewichtige Hunde (Tab. 11, S. 45; < 5 kg) mit 31,8 % (28/88) vor den mittelgewichtigen (> 15-30 kg) mit 26,1 % (23/88), niedriggewichtigen (5-15 kg) mit 23,9 % (21/88) und den hochgewichtigen (> 30 kg) mit 18,2 % (16/88) am häufigsten. Das deckt sich in etwa für die Leichtgewichtigen mit den Angaben von DIEHM (2016) mit 34,1 %. Im Hinblick auf die Rasse werden die Leichtgewichtigen ohne Gewichtsangabe in der Literatur als Hunde der

Toy- bzw. Zwergrassen benannt für die vergleichbar hohe Unterarmfraktur-Inzidenzraten im distalen meta-/epiphysären Bereich gezählt sind (LARSEN et al. 1999; BRIANZA et al. 2006). BRIANZA et al. (2006) begründen dies mit signifikanten Unterschieden im Querschnitt von Radius und Ulna bei Knochen verschiedener Länge. Die Unterarmknochen von Toyrassen sind bei verhältnismäßiger Belastung anfälliger für Frakturen als die großer Rassen.

5.2 Frakturen

Ursache:

Häufigste Ursache der 91 Frakturen war mit 42,9 % (39/91) ein heftiges Trauma im Verkehr (Auto, Fahrrad, S-Bahn), vor mit 24,2 % (22/91) dem Sturz aus eher niedriger Höhe und anderen Bagatellen (Spiel, Hängenbleiben, Einklemmen, Tritt) mit 9,9 % (9/91), sowie eher selten mit 5,5 % (5/91) Biss und mit 2,2 % (2/91) eine Wildschweinattacke. In 5,5 % (5/91) blieb die Ursache okkult.

Beim ersten Hinsehen bestätigt die eigene Studie zumindest für Hunde mit Extremitätenfrakturen die Literaturangaben ganz allgemein: Rasantraumen im Stadtverkehr machen je nach frakturiertem Knochen – Femur, Tibia, Radius/Ulna, Humerus – bis zu 75 % der Ursachen gefolgt von Bagatellen und Anderem aus, wie aus den zahlreichen klinischen Dokumentationsanalysen zu entnehmen ist (KOLATA et al. 1974; PHILLIPS 1979; EBEL 1990; BAHN 1995; MUIR 1997; AKATVIPAT 2013; DIEHM 2016; PETEREIT 2016).

Beim zweiten Hinsehen bemerkenswert ist, dass kein Hund der Toy-/Zwergrassen (< 5 kg; Tab. I, Anhang S. 121) durch ein Rasantrauma eine Radius/Ulna-Fraktur erlitt. Der Unterarm brach ausnahmslos beim Spiel, Sprung/Sturz von Couch, Stuhl, Bett, Arm, Fahrradkorb, Ausrutschen, Hängenbleiben, während nur in einem Fall das Tier getreten wurde bzw. in drei Fällen keine Ursache erfragt werden konnte. Vergleichbar dazu sind die Angaben von MUIR (1997) und DIEHM (2016).

Eine Begründung für den mit 61,5 % (16/26) hohen Anteil an juvenilen (≤ 1 Jahr) Patienten in der Gewichtsklasse (< 5 kg) scheint durch die Neigung vieler Besitzer, Toy-/Zwergrassen auf dem Arm zu tragen sowie die Unerfahrenheit und den Ungehorsam von Jungtieren (BRUNNBERG et al. 1981) gegeben zu sein.

Interessant ist, dass das Rasantrauma „Unfall im Stadtverkehr“ (Auto, S-Bahn, Fahrrad) mit zunehmendem Körpergewicht (5-15 kg) von knapp 38,1 % (8/21) über 68,6 % (16/23) (> 15-30 kg) auf 75 % (12/16) bei den > 30 kg schweren Hunden steigt. Dies deckt sich mit den Angaben von MEYER (1977).

Frakturlokalisation:

Auch wenn das eigene Studienanliegen nur 91 diaphysären und distal metaphysären Radius/Ulna-Frakturen beim Hund gewidmet war, erscheint es synoptisch wertvoll, zum einen sich des Ranges von Unterarmfrakturen unter den Extremitätenfrakturen und zum anderen sich ihrer Häufigkeit in den verschiedenen Unterarmabschnitten zu erinnern. Nach SCHEBITZ et al. (1981) frakturiert der Unterarm nach Femur (37,7 %), Tibia (23,6 %) und vor dem Humerus (18,1 %) am dritthäufigsten (20,6 %) beim Hund. Basierend auf einer Fallzahl von 416 Hunden mit Radius/Ulna-Frakturen gibt MEYER (1977) an, dass das proximale Viertel der Ossa antebrachii mit 10,9 % (46/416; Olekranon: 6,4 %, 27/416; proximale Epi-/Metaphyse: 4,5 %, 19/416) wie der Bereich der distalen Epiphyse mit 7,2 % (30/416) eher selten frakturiert, während bei 46 % (192/416) die Diaphyse und bei 35,9 % (148/416) die distale Metaphyse involviert war. Die Ulna frakturiert häufiger isoliert (14 %; 59/416), insbesondere im Bereich des Olekranons (27/59). Isolierte Radiusfrakturen sind selten (15/416; 3,6 %).

49,6 % der Klientel dieser Studie hatten die Fraktur im ersten Lebensjahr und davon 24,3 % im Alter jünger als 6 Monate erlitten. Die vorliegende Arbeit bestätigt diese Daten nicht. Nicht einmal ein Drittel der Patienten (29,5 %, 26/88) war jünger als 12 Monate. Selbst wenn man einmal die nicht mitgezählten Hunde mit einer Fraktur im proximalen epi-/metaphysären sowie distalen epiphysären Bereich der eigenen Untersuchungen mit hochrechnen würde, blieben diese Abweichungen wohl bestehen.

Sieht man einmal vom Alter der Patienten mit einer Unterarmfraktur ab, decken sich die Angaben zur Lokalisation am Unterarm mit denen der Literatur (MEYER 1977; LAPPIN 1983; EBEL 1990; UNGER et al. 1990; BAHN 1995; MILLER et al. 1998; DIEHM 2016). Zu gut drei Vierteln (74,7 %) brachen die Ossa antebrachii in der Diaphyse und zu 25,3 % in der distalen Metaphyse. Eine isolierte Radiusfraktur wurde nur 3-mal (3,3 %) gefunden. Vergleichbare Angaben machen PHILLIPS (1979), AKATVIPAT (2013) und DIEHM (2016).

Distal metaphysäre Frakturen wurden bei Hunden < 5 kg im eigenen Patientengut mit 46,7 % wesentlich häufiger als bei schwereren (6,3-18,2 %) diagnostiziert. Dies deckt sich mit den Literaturangaben (SUMNER-SMITH und CAWLEY 1970; DENNY 1985; WATERS et al. 1993).

Frakturtyp:

Häufigste Frakturtypen waren mit 79,1 % (72/91) Quer-, vor Splitter- mit 12,1 % (11/91) und Schrägfrakturen mit 8,8 % (8/91), ohne dass eine Lokalisationsabhängigkeit festzustellen war. MEYER (1977) und AKATVIPAT (2013) nennen jeweils Quer-, vor Schräg- vor Splitterfrakturen und EBEL (1990) Quer- vor Trümmer/Splitterfrakturen als häufigste Frakturtypen.

BOUDRIEAU (2003) begründet die Inzidenz offener Frakturen mit dem relativ dünnen Weichteilschutz der Ossa antebrachii. Die offenen Frakturen entstehen wie in der eigenen Klientel im Straßenverkehr (84,6 %) oder durch Biss (15,4 %) wie auch PETEREIT (2016) angibt.

14,3 % (13/91) der Frakturen der eigenen Studie waren offen. Mit 15,4 % gibt AKATVIPAT (2013) einen vergleichbar hohen, DVORAK et al. (2000) mit 8,9 % sowie HAAS (2003) mit 9,1 % einen fast halb so hohen und BAHN (1995) mit 22,8 % sowie DIEHM (2016) mit 20,8 % einen höheren Prozentsatz dafür an.

5.3 Frakturbehandlung

Zeit:

Die Frakturen der eigenen Studie wurden wie die von DVORAK et al. (2000), AKATVIPAT (2013), PAGEL (2015), DIEHM (2016), PETEREIT (2016) und WATROUS und MOENS (2017) im Durchschnitt 1,07 Tage (Median: 1,00 Tage) *post traumam* versorgt.

Etwaige spätere Osteosynthesen waren lebensbedrohlichen Verletzungen oder der zeitverzögerten Vorstellung *post traumam* geschuldet.

Die Dauer des Eingriffs betrug durchschnittlich 67,7 Minuten. PAGEL (2015) gibt dafür 87 Minuten an.

Operateure:

Die Osteosynthesen haben 7 Chirurgen – 2 hochqualifiziert und erfahren, 5 weniger erfahren, aber in Ausbildung – ausgeführt. Die erfahrenen Operateure haben 46,2 % (42/91) der Osteosynthesen und die weniger erfahrenen 53,8 % (49/91) vorgenommen.

Osteosynthesetechnik und Frakturlokalisierung:

90,1 % (82/91) der Unterarmfrakturen wurden mit einer Platte (NCP: 73,6 % (67/91); DCP: 16,5 % (15/91) und 9,9 % (9/91) mit einem Fixateur externe stabilisiert. Darunter wurden

92,6 % (63/68) der diaphysären Frakturen geplattet. DIEHM (2016) gibt diesen Prozentsatz mit 98,9 % in dieser Lokalisation an.

Distal metaphysäre Frakturen der vorliegenden Studie wurden zu 82,6 % (19/23) mit einer Platte und 17,4 % (4/23) mit einem Fixateur externe fixiert. Ganz allgemein haben sich beide Verfahren als bestens geeignet erwiesen, Frakturen des distalen Extremitätenabschnitts beim Hund zu versorgen wie mit zahlreichen klinisch retrospektiven Dokumentationsanalysen belegt ist (MEYER 1977; EBEL 1990; LARSEN et al. 1999; PASSAVANT 2003). Die Plattenosteosynthese wie auch der Fixateur externe können bei exakter Indikationsstellung heute als Goldstandard (MÜLLER et al. 1992; TOOMBS 2005; PIERMATTEI et al. 2006; SCHEBITZ und BRASS 2007; FOX 2012; Tab. 19a; S. 75) angesehen werden.

5.4 Frakturheilung

Sieht man einmal von den Röntgenaufnahmen im Grundbildpaar unmittelbar *post operationem* ab, wurden 78 % (71/91) der Patienten im weiteren Verlauf mindestens noch einmal deswegen in gleicher Weise geröntgt. Bei einem Patienten (Nr. 60; Tab. I; Anhang S. 121) betrug diese Zeitspanne 1,5 Jahre. Die Fraktur war röntgenologisch konsolidiert. Bei 76,9 % (70/91) war dieses postoperative Zeitintervall für die Röntgenkontrollen häufiger und kürzer, so dass sich daraus für 74,3 % (52/70) der Frakturen unabhängig vom Osteosyntheseverfahren eine durchschnittliche röntgenologisch belegbare Konsolidierungsphase von 15,58 Wochen ($\pm 7,9$; 4-42 Wochen) errechnen ließ. Dies deckt sich mit den Angaben von AKATVIPAT (2013).

5.4.1 Frakturheilung: Patienten- und frakturabhängige Faktoren

Einflussfaktoren Alter, Gewicht, Frakturlokalisierung, -typ, offen vs. geschlossen

Den eigenen Studien nach war die röntgenologisch belegte Heilungszeit der Frakturen weder vom Alter (≤ 1 Jahr / > 1 Jahr; $p= 0,688$) noch vom Körpergewicht der Tiere ($p= 0,263$), der Frakturlokalisierung ($p= 0,715$), dem Typ ($p= 0,043$) und ob offen oder geschlossen ($p= 0,762$) signifikant beeinflusst wie auch schon PETEREIT (2016) nur für diaphysäre Splitterfrakturen beim Hund feststellt.

Zumindest im Hinblick auf das Alter ist von SCHEBITZ et al. (1981), BOONE et al. (1986), HAALAND et al. (2009) sowie BARNHART et al. (2013) belegt, dass beim jungen, noch

wachsenden Hund mit noch nicht ausgereiftem Skelett, die noch große osteogenetische Potenz Frakturen schneller heilen lässt als bei ausgewachsenen Patienten.

Die eigenen Feststellungen zur Heilungszeit sind nicht nur deswegen gut begründet, vorsichtig zu interpretieren. Die Frakturheilungszeit röntgenologisch retrospektiv an einer Klinikpopulation zu bestimmen, ist von zahlreichen Imponderabilitäten limitiert. So ist es nahezu unmöglich, den Tierhalter verpflichtend ins postoperative Nachsorgeprogramm mit z. B. Wundpflege, Ruhighaltung, engmaschig getakteten klinischen und röntgenologischen Kontrolluntersuchungen einzubinden. Ebenso fehlt es nicht selten an standardisierten Röntgenprotokollen, die bei Kontrolluntersuchungen unter den stetig selben Kautelen das Röntgengrundbildpaar fordern.

5.4.2 Osteosyntheseverfahren und Frakturheilung

Von den 91 Unterarmfrakturen der vorliegenden Studie wurden 90,1 % (82/91) geplattet – davon nicht-winkelstabil mit einer *DCP* 16,5 % (15/91) und winkelstabil mit einer *NCP* 73,6 % (67/91) – sowie weitere 9,9 % (9/91) wurden mit einem Fixateur externe ebenfalls winkelstabil fixiert (Abb. 7; S. 48).

Platten vs. Fixateur externe:

Im Hinblick auf die Zeitdauer der Frakturheilung konnten keine relevanten Signifikanzen zwischen Platte (*DCP* bzw. *NCP*) und Fixateur externe, $p= 0,079$) festgestellt werden. Allerdings war die Heilungszeit beim Fixateur externe mit $11,33 \pm 7,89$ Wochen tendenziell kürzer als nach Plattung mit $16,13 \pm 7,87$ Wochen. Vergleichbar sind diese Beobachtungen mit den Studienergebnissen von RUDD und WHITEHAIR (1992), BOONE et al. (1986), DUDLEY et al. (1997), PASSAVANT (2003), HAALAND et al. (2009) und PETEREIT (2016) und bestätigt zahlreiche klinische (Tab. 19a, 19b; S. 75-76) und tierexperimentelle (CLAES et al. 1995) Berichte: Die Kallusformation kann unter Fixateur externe-Stabilisation so stimuliert sein, dass die Frakturheilung enorm zu beschleunigen ist. Von dieser Osteosynthesetechnik werden weder die periostäre, ossäre noch intramedulläre Vaskularisation verglichen zur Plattenosteosynthese (RUDD und WHITEHAIR 1992) nachhaltig traumatisiert. Allerdings könnte beim Fixateur externe das engmaschige, äußerst aufwändige postoperative Management mit täglichem Verbandswechsel, Pin-Säuberung und Desinfektion der Fixationsstangen und steriler Wundabdeckung der Pin-Penetrationswunden in der Haut auch dazu beitragen, die Montage so früh wie möglich zu entfernen. Abgesehen davon zeigt der klinische Alltag, dass sich die Fixationspins

unabhängig von der Konfiguration nach ca. 6 Wochen Liegezeit lockern (EGGER et al. 1986; PALMER 1992; PASSAVANT 2003) und auch deswegen zu entfernen sind.

Tab. 19a: Frakturheilungszeiten nach Fixateur externe-Osteosynthese bei Hunden mit Fraktur eines der langen Röhrenknochen: Literaturangaben

Studie	Tierart	Knochen	Osteosynthese	Frakturen (n=)	Frakturheilungszeit im Mittelwert (Spanne)
JOHNSON et al. (1996)	Hund	Radius/Ulna, Tibia (nur Splitter)	Fixateur externe	23	11,4 Wo. (4-22 Wo.)
MCCARTNEY et al. (2010)	Hund (Toy)	Radius/Ulna (distale Metaphyse)	Fixateur externe	17	11 Wo. (8-16 Wo.)
PIRAS et al. (2011)	Hund (Toy)	Radius/Ulna (distale Metaphyse)	Fixateur externe (zirkulär)	20	71 Tg. (30-120 Tg.)
BIERENS et al. (2017)	Hund (Toy)	Radius/Ulna	Fixateur externe (zirkulär)	37	offene Reposition: 42,5 Tg. (36-64 Tg.) geschlossene Reposition: 61 Tg. (33-84 Tg.)
PIERMATTEI et al. (2006)	Hund, Katze	Radius/Ulna, Humerus, Femur, Tibia	Fixateur externe, intramedullärer Pin	-	≤ 1 Jahr: 2-8 Wo. > 1 Jahr: 7-12 Wo.
BOONE et al. (1986)	Hund, Katze	Tibia	Fixateur externe, intramedullärer Pin	195	≤ 1 Jahr: 7,1 Wo. > 1 Jahr: 13,3 Wo.
AKATVIPAT (2013)	Hund	Radius/Ulna	Fixateur externe	16	141,44 Tg. (± 38,87 Tg.)
PETEREIT (2016)	Hund	Radius/Ulna, Humerus, Femur, Tibia (nur Splitter)	Fixateur externe, intramedullärer Pin	55	insg.: 10,3 Wo. (6-16 Wo.) ≤ 1 Jahr: 9,0 Wo. (6-16 Wo.) > 1 Jahr: 12,0 Wo. (8-16 Wo.)

IM- Pin: intramedullärer Pin; insg.: insgesamt; Tg.: Tage; Wo.: Wochen

Tab. 19b: Frakturheilungszeiten nach Plattenosteosynthese bei Hunden mit Fraktur eines der langen Röhrenknochen: Literaturangaben

Studie	Tierart	Knochen	Osteosynthese	Frakturen (n=)	Frakturheilungszeit im Mittelwert (Spanne)
POZZI et al. (2013)	Hund	Radius/Ulna	Platte	30	MIPO: 49,5 Tg. ORIF: 51,9 Wo.
PIERMATTEI et al. (2006)	Hund, Katze	Radius/Ulna, Humerus, Femur, Tibia	Platte	-	≤ 1 Jahr: 4-20 Wo. > 1 Jahr: 20-52 Wo.
HAALAND et al. (2009)	Hund	Radius/Ulna, Humerus, Femur, Tibia	LCP	47	insg.: 7 Wo (2-20 Wo.) ≤ 1 Jahr: 4,7 Wo. > 1 Jahr: 7,4 Wo.
AKATVIPAT (2013)	Hund	Radius/Ulna	Platte	79	115,15 Tg. (± 66,89 Tg.)
BARNHART et al. (2013)	Hund, Katze	Radius/Ulna, Humerus, Femur, Tibia, Becken	LCP	62	insg.: 7,1 Wo.(2-30 Wo.) ≤ 1 Jahr: 5,6 Wo. > 1 Jahr: 8,1 Wo.
GIBERT et al. (2015)	Hund (Toy)	Radius/Ulna (distale Metaphyse)	LCP	20	6,9 Wo. (4-12 Wo.)
PETEREIT (2016)	Hund	Radius/Ulna, Humerus, Femur, Tibia (nur Splitter)	Platte (NCP, DCP)	55	insg.: 17,6 Wo.(5-52 Wo.) ≤ 1 Jahr: 15,6 Wo. (5-32 Wo.) > 1 Jahr: 18,2 Wo. (5-52 Wo.)

DCP: Dynamic Compression Plate; insg.: insgesamt; LCP: Locking Compression Plate; MIPO: minimalinvasive Plattenosteosynthese; NCP: Non Contact Plate; ORIF: offene Reposition interne Fixation; Tg.: Tage; Wo.: Wochen

Nicht-winkelstabil vs. winkelstabil (DCP vs. NPC; DCP vs. NCP / Fixateur externe):

Auch in den Detailanalysen konnten weder für „*nicht-winkelstabile (DCP) vs. winkelstabile Platte (NCP)*“ ($p= 0,733$) und „*nicht-winkelstabile (DCP) vs. winkelstabile Osteosynthese (NCP / Fixateur externe)*“ ($p= 0,951$) signifikant differierende Heilungszeiten im eigenen Klientel ausgemacht werden. Das deckt sich nicht mit den Studien von BRUNNBERG et al. (1998) und HAALAND et al. (2009). Sie stellten nach winkelstabiler Osteosynthese von diaphysären Frakturen der langen Extremitätenknochen wesentlich kürzere Heilungszeiten fest, da insbesondere bei Nutzung des *NCP*-Konzepts (BRUNNBERG et al. 1998) die periostale Vaskularisation und bei zusätzlicher monokortikaler Plattenmontage sowohl das intramedulläre als auch das transkortikale Gefäßgeflecht weitestgehend unberührt bleibt (PERREN und BUCHANAN 1995; FAROUK et al. 1997).

DOORNINK et al. (2010) stimmen zu, sehen in der winkelstabilen Plattenosteosynthese ohne Knochenkontakt (*NCP*) aber keinen entscheidenden Frakturheilungsbeschleuniger und/oder Hemmer einer Knochenresorption. Der fehlende Knochenkontakt wirkt klinisch nicht entscheidend oder wird überbewertet (UHTHOFF et al. 2006; GIBERT et al. 2015), da auch mit konventionellen Platten (*DCP*) die Platte nie den Knochen im Plattenlager allumfassend kontaktiert (STALLER et al. 1995).

5.5 Implantatentfernung

Die Implantate, die in der Kleintierklinik zur Osteosynthese eingesetzt wurden, wurden bei 54 Hunden auch dort wieder entnommen.

Platten vs. Fixateur externe:

Die Liegezeit beim Fixateur externe ($10,88 \pm 5,08$ Wochen) war signifikant ($p= 0,036$) weniger lang als bei Plattenosteosynthesen ($16,69 \pm 8,58$ Wochen). Vergleichbare Angaben machen BONATH und PRIEUR (1998), MCCARTNEY et al. (2010), PIRAS et al. (2011) und PETEREIT (2016) (Tab. 20a, 20b; S. 79). BONATH und PRIEUR (1998) und PETEREIT (2016) geben für Plattenosteosynthesen allerdings wesentlich längere und BRUNNBERG et al. (1998) nach *NCP*-Osteosynthese wesentlich kürzere Liegezeiten an (Tab. 20b; S. 79).

Die relativ kurzen Liegezeiten des Fixateur externe sind vor allem der kurzen Frakturheilungszeit (MCCARTNEY et al. 2010; PIRAS et al. 2011), dem klinisch bekannten Phänomen der Lockerung der Fixationsstangen nach ca. 6 Wochen (EGGER et al. 1986; PASSAVANT 2003; MCCARTNEY et al. 2010), der engmaschig aufwändigen täglichen Pflege der Montage (DUDLEY et al. 1997; PIRAS et al. 2011; PALMER 2012), der

Selbstverletzungsgefährdung und Beeinträchtigung des Patienten durch die Montage (ROVESTI et al. 2007; PIERMATTEI et al. 2006; MCCARTNEY et al. 2010) sowie auch dem medizinisch sehr geringen und kostenarmen Eingriff, die Implantate zu entfernen (LAPPIN et al. 1983; PIERMATTEI et al. 2006) geschuldet.

So werden die Implantate in Kurznarkose und/oder Lokalanästhesie schon anlässlich der letzten Kontrolluntersuchung wieder entnommen, ohne dafür einen neuerlichen Termin zu vereinbaren zu müssen (PIERMATTEI et al. 2006; MCCARTNEY et al. 2010). Es ist meist einfach, den Eingriff noch ins chirurgische Tagesprogramm „zwischenzuschieben“.

Dies begründet aber auch zum Teil die längeren Liegezeiten von Platten (Tab. 20b; S. 79), wie PETEREIT (2016) angibt. So ist schon das chirurgische Management, eine Plattenosteosynthese nach Heilung der Fraktur wieder zu demontieren, wesentlich aufwändiger. Der Eingriff erfolgt in Vollnarkose, der Patient muss standardisiert für die Operation vorbereitet und gelagert werden. Es bedarf neben des Standardinstrumentariums auch eines Implantatentfernungssets. Es müssen neue und verglichen zur Fixateur externe-Demontage auch größere Wunden gesetzt werden, die Platte mit Schrauben wieder zu entfernen. Der Eingriff muss geplant sein. All das ist anspruchsvoller und damit auch kostenträchtiger und zeitaufwändiger. Bei Plattenfixation kann auch bei orthogonal angefertigten Röntgenaufnahmen die Beurteilung der Kortizes erschwert sein (PATEK et al. 2014). Die Implantate nach Plattenosteosynthesen werden deswegen länger als erforderlich belassen, um eine vorzeitige Implantatentfernung und damit etwaige Refrakturen zu vermeiden. Denkbar ist, dass Platten deswegen auch am Unterarm längere Liegezeiten aufweisen als der Fixateur externe (HAALAND et al. 2009; MCCARTNEY et al. 2010; PIRAS et al. 2011; BARNHART et al. 2013; GIBERT et al. 2015; PETEREIT 2016).

Nicht-winkelstabil vs. winkelstabil (DCP vs. NPC; DCP vs. NCP / Fixateur externe):

Weder in der Detailanalyse „*nicht-winkelstabile (DCP) vs. winkelstabile Platte (NCP)*“ ($p=0,285$) noch in der „*nicht-winkelstabile (DCP) vs. winkelstabile Osteosynthese (NCP / Fixateur externe)*“ ($p=0,155$) ließen sich signifikant differierende Implantatliegezeiten nachweisen.

Tab. 20a: Implantatliegezeiten nach Fixateur externe-Osteosynthese bei Hunden mit Fraktur eines der langen Röhrenknochen: Literaturangaben

Studie	Tierart	Knochen	Osteosynthese	Frakturen (n=)	Zeitraum bis zur Implantatentfernung im Mittelwert (Spanne)
BONATH und PRIEUR (1998)	Hund	-	Platte	-	≤ 10 Mo.: 2-8 Wo. > 10 Mo.: 6-8 Wo.
PETEREIT (2016)	Hund	Radius/Ulna, Humerus, Femur, Tibia (nur Splitter)	Fixateur externe, intramedullärer Pin	43	insg.: 11,7 Wo.(7-16 Wo.) ≤ 1 Jahr: 11,5 Wo. > 1 Jahr: 12,0 Wo.
MCCARTNEY et al. (2010)	Hund (Toy)	Radius/Ulna (distale Metaphyse)	Fixateur externe	17	13 Wo. (10-16 Wo.)
PIRAS et al. (2011)	Hund (Toy)	Radius/Ulna (distale Metaphyse)	Fixateur externe (zirkulär)	20	71 Tg. (30-120 Tg.)

insg.: insgesamt; Tg.: Tage; Mo.: Monate; Wo.: Wochen

Tab. 20b: Implantatliegezeiten nach Plattenosteosynthese bei Hunden mit Fraktur eines der langen Röhrenknochen: Literaturangaben

Studie	Tierart	Knochen	Osteosynthese	Frakturen (n=)	Zeitraum bis zur Implantatentfernung im Mittelwert (Spanne)
BONATH und PRIEUR (1998)	Hund	-	Platte	-	≤ 10 Mo.: 4-20 Wo. > 10 Mo.: 20-60 Wo.
BRUNNBERG et al. (1998)	Hund	Radius/Ulna, Femur, Tibia	Platte (NCP)	11	insg.: 2,5 Mo. ≤ 1 Jahr: 2,1 Mo. > 1 Jahr: 3,3 Mo.
PETEREIT (2016)	Hund	Radius/Ulna, Humerus, Femur, Tibia (nur Splitter)	Platte (NCP, DCP)	43	insg.: 21,7 Wo.(10-76 Wo.) ≤ 1 Jahr: 21,5 Wo. > 1 Jahr: 21,8 Wo.

DCP: Dynamic Compression Plate; insg.: insgesamt; NCP: Non Contact Plate; Wo.: Wochen; Mo.: Monate

5.6 Komplikationen

Die Komplikationsrate (Abb. 9, S. 56) – in der Reihenfolge der Häufigkeit Osteomyelitis und Knochenresorption je 13,1 % (je 11/84), Frakturheilungsstörungen 10,7 % (9/84; Malunion: n= 4, Nonunion: n= 3; Delayed Union: n= 2), Implantatversagen 8,3 % (7/84), Synostose und Refraktur nach Implantatentfernung je 7,1 % (je 6/84), Wundinfektion 4,8 % (4/84), Ankylose des Karpus 2,4 % (2/84), transiente Radialislähmung 1,2 % (1/84) – der eigenen Studie betrug 39,3 % (33/84).

Sie beinhaltet nur die dia- und distal metaphysären Radius/Ulna-Frakturen beim Hund und ist mit 39,3 % um bis zu 28 % höher als die, die sich auf der Basis großer Patientenkohorten (Tab. 4; S. 23) von KNOBLOCH (1990; 11,6 %), BAHN (1995; 11,4 %), AKATVIPAT (2013; 31,4 %) und MEYER (1977; 36,2 %) für Ossa antebrachii Frakturen nur für den Hund eruieren ließen. Sie ist aber auch um bis zu 28 % niedriger als die, die auf wesentlich kleineren Populationen (Tab. 4; S. 23) und auch auf Frakturen der Hinter-/Vordergliedmaßen, des Beckens und des Kiefers, sowohl von Hunden als auch Katzen basierten (WATROUS und MOENS 2017; 68 %; PAGEL 2015; 61,8 %; PASSAVANT 2003; 40 %; HAAS et al 2003; 53,3 %; LARSEN et al. 1999; 54 %).

Schon diese Diversität der jeweiligen Studienanliegen lässt einen Vergleich mit den eigenen Ergebnissen nur unter großem Vorbehalt zu. Einziges Anliegen der eigenen Studie war, von 88 Hunden mit 91 diaphysären oder distal metaphysären Unterarmfrakturen, die Effektivität winkelstabiler Osteosynthesetechniken (Fixateur externe, *NCP*) und nicht-winkelstabiler Plattenosteosynthese (*DCP*) zu analysieren. Die eigenen Studien (Tab. 11; S. 45) umfassen 88 Hunde 40 verschiedener Rassen (oder deren Mischlinge), 4 verschiedener Gewichtsklassen (< 5 kg; 5-15 kg; > 15-30 kg; > 30 kg), deren 91 diaphysäre und distal metaphysäre Frakturen (Abb. 7; S. 48) winkelstabil mit einer *NCP* (73,6 %; 67/91), einem Fixateur externe (9,9 %; 9/91) und nicht-winkelstabil mit einer *DCP* (16,5 %; 15/91) osteosynthetisiert wurden.

Die *Osteomyelitisrate* (Abb. 9; S. 56) im eigenen Patientengut betrug 13,1 % (11/84), 19,3 % (11/57) der Komplikationen sowie 33,3 % (11/33) der mit Komplikation behafteten Frakturen (= Patienten). Die Osteomyelitis entstand zu 30,8 % (4/13) nach Osteosynthese offener und zu 9,9 % (7/71) nach der geschlossener Frakturen. Die Frakturen wurden 10-mal mit Platte (nur *NCP*) und 1-mal mit Fixateur externe osteosynthetisiert.

Im Schrifttum (Tab. 4; S. 23; Tab. 5; S. 28) sind die Osteomyelitisraten für Frakturen beim Hund von HAALAND et al. (2009; 2,1 %), BAHN (1995; 4,7 %), VALLEFUOCO et al. (2015;

2,7 %), GIBERT et al. (2015; 5 %), KNOBLOCH (1990; 5,8 %), PETEREIT (2016; 7,6 %), PAGEL (2015; 9,8 %) und AKATVIPAT (2013; 10,6 %) wesentlich niedriger angegeben.

Die Diskrepanz mag auch damit zu begründen sein, dass sich manche der klinisch retrospektiven Analysen auf die Gesamtheit der Frakturen bei Hund und Katze (PAGEL 2015) auf Frakturen nur beim Hund (HAALAND et al. 2009; AKATVIPAT 2013; VALLEFUOCO 2015; GIBERT et al. 2015), nur auf Radius/Ulna-Frakturen des Hundes, die mit Platte (GIBERT et al. 2015; VALLEFUOCO et al. 2015; WATROUS und MOENS 2017) versorgt wurden oder sich nur auf diaphysäre Splitterfrakturen (PETEREIT 2016) bezogen oder sich unter etwaigen Komplikationen nur auf die Synostose (AKATVIPAT 2013) bzw. den Biofilm (PAGEL 2015) fokussierten. In der wohl umfangreichsten Fallanalyse zu Frakturkomplikationen an 1265 Hunden macht die Osteomyelitisrate bei geschlossenen Frakturen 3,7 % und bei offenen 8 % aus (BAHN 1990). Zudem konnte in der Studie eine signifikante ($p= 0,007$) Korrelation zum Körpergewicht der Hunde mit Osteomyelitis aufgedeckt werden. Besonders osteomyelitisgefährdet sind Hund > 20 kg Körpergewicht. HUNT et al. (1980), BOONE et al. (1986), AKATVIPAT (2013), PETEREIT (2016) und die eigenen Ergebnisse ($p= < 0,001$) bestätigen das signifikant.

Osteomyelitisgefährdet sind in besonderem Maße nach SCHEBITZ und BRASS (1975), BRADEN (1991) sowie BAHN (1995) offene Frakturen und zwar gefährdeter als durch hämatogen metastatische Keimverschleppung (BOONE et al. 1986; KNOBLOCH 1990; BRADEN 1991). Die eigenen Untersuchungen belegen das nicht signifikant ($p= 0,062$).

Wie in Lehrbüchern (SCHEBITZ und BRASS 1975; PIERMATTEI et al. 2006; TOBIAS und JOHNSTON 2012) und all den zuvor genannten Studien wurde auch bei den eigenen Fällen den Therapieempfehlungen - Wunddebridement, gezielte Antibiose, Entfernung / Wechsel gelockerter Implantate, ggf. Wechsel der Osteosynthese-Montage (Platte \leftrightarrow Fixateur externe), offene antiseptische Wundbehandlung, Spongiosatransplantation - erfolgreich gefolgt, so dass es letztlich zur Ausheilung kam. Da eine Osteomyelitis ihre Ursache in einer infizierten Wunde haben kann, erscheint es sinnvoll schon früh darauf einzugehen.

Eine *Wundinfektion* bestand bei 4,8 % (4/84) der Unterarmfrakturen und machte 7 % (4/57) der Komplikationen sowie 12 % (4/33) der komplikationsbehafteten Frakturen (= Patienten) aus. Die Plattenosteosynthese war davon 3-mal (*NCP*) und der Fixateur externe 1-mal betroffen. Im Schrifttum ist die Infektionsrate mit 1,6 % (BARNHART et al. 2013) wesentlich niedriger und mit 6,7 % (POZZI et al. 2013) und 8,7 % (PETEREIT 2016) höher angegeben. Auch wenn die 4 eigenen Fälle keine repräsentative Wertung zulassen, begründen sie nachhaltig, die Forderungen der aseptischen und atraumatischen Chirurgie einzuhalten.

Zur *Resorption von Knochen* noch unter der Montage kam es bei der eigenen Klientel in 13,1 % (11/84) der Radius/Ulna-Frakturen sowie zu 19,3 % (11/57) der Komplikationen und zu 33,3 % (11/33) der komplikationsbehafteten Frakturen (= Patienten). An den Ossa antebrachii war zu 12,5 % (8/64) der diaphysäre und zu 15 % (3/20) der distal metaphysäre Bereich involviert. Die Angaben weichen zu denen des Schrifttums erheblich ab. Die Resorptionsrate (Tab. 8, S. 35) ist bei BAHN (1995; 0,7 %), EBEL (1990; 5,1 %), LAPPIN et al. (1983; 3,4 %) sowie bei WATROUS und MOENS (2017; 12 %) bis um ein vielfaches niedriger aber auch höher (HAAS et al. 2003; 33,3 %; PIRAS et al. 2011, 26,9 %; HAMILTON und LANGLEY HOBBS 2005, 66,7 %) angegeben, ohne den von der Resorption betroffenen Abschnitt genauer zu benennen.

Alle 11 der eigenen Fälle waren mit einer Platte (9-mal *NCP*, 2-mal *DCP*) osteosynthetisiert worden. Dabei betraf die Resorption 4-mal Radius und Ulna, 1-mal nur den Radius und 6-mal nur die Ulna. Dem Befund lag das Röntgengrundbildpaar zugrunde. Bewertet wurde die Radioluzenz.

Das stimmt etwa mit den Angaben von LAPPIN et al. (1983; Platte; Radius und Ulna: 1/2, Ulna: 1/2) unter Berücksichtigung des Osteosyntheseverfahrens überein, während HAMILTON und LANGLEY HOBBS (2005; Platte; Ulna: 10/10) in diesem Zusammenhang davon abweichende Raten nennen.

Sieht man einmal vom röntgenologisch offensichtlichen Knochenverlust in Form von reduziertem Knochenkaliber, Verschmächigung oder sanduhrförmiger Reduktion im Frakturbereich ab, ist der Wert der Radioluzenz allenfalls als ein wenig aussagekräftiges Kriterium anzusehen, die Qualität eines Knochens zu werten. Radiologisch wesentlich geeigneter wäre eine quantitative Computertomographie zur Knochendensitometrie einzusetzen, um den Kalksalzgehalt in Korrelation zu Absorptionswerten mit einem Phantom mit bekanntem Gehalt vergleichend und im Seitenvergleich zu bestimmen (KRESTAN und GRUBER 2013).

Da therapeutische Maßnahmen, die Knochenresorption zu stoppen und/oder rückgängig zu machen, vergleichbar dem der Delayed und Nonunions ähneln oder gar identisch sind, erscheint es zweckmäßig, sie in diesem Kontext zu diskutieren.

Zu Frakturheilungsstörungen *Delayed Union* (n= 2), *Nonunion* (n= 3) sowie *Malunion* (n= 4) kam es in der Summe bei 10,7 % (9/84) der Unterarmfrakturen sowie zu 15,8 % (9/57) der Komplikationen und zu 27,3 % (9/33) der Frakturen (= Patienten) mit Komplikation. Diese jeweils geringen Fallzahlen machen es nicht sinnvoll, prozentual weiter aufgeschlüsselt zu werden. An den Ossa antebrachii war zu 7,8 % (5/64) der diaphysäre und zu 20 % (4/20) der distal metaphysäre Bereich betroffen.

Die eigene Komplikationsrate (Abb.9; S. 56) ist in der Summe (Delayed Unions, Nonunions, Malunions) in etwa vergleichbar mit den von EBEL (1990; insgesamt: 11,8 %) und BAHN (1995; 14,5 %) angegebenen Raten, während LAPPIN et al. (1983; 22,4 %) eine wesentlich höhere und MEYER (1977; 6 %) eine deutlich geringere Rate nennen (Tab 6; S. 31).

Bei den eigenen Fällen konnten zumindest für die 4 Malunions technisch fehlerhafte Osteosynthesen als Ursache ausgemacht werden, so dass im Seitenvergleich geringgradige Achsenfehler entstanden, die nicht korrigiert wurden. Die Frakturen heilten in Fehlstellung - Pfotenabduktion, dorsale Fehlanguktion - aus, ohne dass die Funktion der Gliedmaße beeinträchtigt war. Eine Korrekturosteotomie wurde nicht vorgenommen.

Bei Hunden mit einer Delayed Union wurden den Empfehlungen des Schrifttums (ROBELLO und ARON 1992; JACKSON und PACCHIANA 2004; PIERMATTEI et al. 2006; GRIFFON 2016b; JOHNSON 2016a) folgend, die Fraktur durch partielle Implantatentfernung dynamisiert, um den mechanischen Stress auf das Frakturgebiet zu reduzieren, so dass die Osteoneogenese unter Belastung angeregt wird. Dieses Management erfolgte auch bei Patienten mit Knochenresorption. Kam es auch dann nicht zur Konsolidierung, wurde autologe Spongiosa angelagert.

Bei Nonunions des Radius wurden die Fragmentenden dekortiziert, die Markhöhle mit einem Bohrer proximal und distal geöffnet, sowie autologe Spongiosa an- bzw. im Defekt eingelagert.

Das *Implantatversagen* in Form von Lockerung, Biegung oder Bruch machte an der Gesamtzahl der eigenen kontrollierten Osteosynthesen 8,3 % (7/84) und unter den 57 Komplikationen bei 33 Frakturen 12,3 % (7/57) sowie bei 33 Patienten mit Komplikation 21,2 % (7/33) aus (Abb.9, S. 56). So lockerten sich in 2 Fällen Schrauben infolge einer Infektion, bei je 2 weiteren Frakturen waren die Fixationspins technisch fehlerhaft positioniert oder unangemessen kleinkalibrige Pins gesetzt worden. Der Bruch einer Plattenschraube konnte nicht erklärt werden zumal die anderen Schrauben der Platte nicht gelockert waren. Die niedrige Quote an Implantatversagen deckt sich mit den Angaben von EBEL (1990), BAHN (1995) und LAPPIN et al. (1983) (Tab. 7; S. 34) und fordert im Konsens mit der Literatur die Implantatentfernung und/oder den Implantatwechsel.

Synostosen entstanden bei 7,1 % (6/84) der eigenen Frakturen, machten 10,5 % (6/57) der komplikationsbehafteten 33 Frakturen sowie 18,2 % (6/33) der 33 Patienten aus.

Die Synostosierung der Ossa antebrachii war 2-mal von einer Infektion begleitet. Versorgt waren die eigenen Synostosefälle 5-mal mit einer Platte und 1-mal mit einem Fixateur externe. Funktionelle Störungen waren in der eigenen Klientel von der Synostose nicht entstanden. Insgesamt bestätigen die eigenen Ergebnisse die Angaben zur Inzidenz der

Synostose von HAAS et al. (2003) und AKATVIPAT (2013), dass sie gelegentlich auch von einem Infekt begleitet sein kann (AKATVIPAT 2013), meist einer Plattenosteosynthese folgt (EBEL 1990, 74,6 %, 50/67) und eher selten oder nur gelegentlich (EBEL 1990, 16 %, 8/50) Funktionsstörungen induziert (TOOMBS 2005). Da die Synostose tendenziell eher mit der Plattenosteosynthese in Zusammenhang zu stehen scheint, könnte vermutet werden, dass die wesentlich höhere Invasivität der Plattenmontage verglichen mit z. B. dem Fixateur externe trotz aller Sorgfalt ein wesentlich höheres operatives Trauma hinterlässt und der Synostose förderlich ist. Die Osteosynthesen wurden 4-mal von weniger erfahrenen und 2-mal von erfahrenen Operateuren vorgenommen. Technische Fehler begünstigen die Synostose (EGGER 1993).

Die *Refrakturinzidenz* nach Implantatentfernung betrug bei der eigenen Klientel 7,1 % (6/84) und unter den 57 Komplikationen 10,5 % (6/57) sowie 18,2 % (6/33) der komplikationsbehafteten Frakturen der 33 Patienten. Die Ossa antebrachii refrakturierten durchschnittlich 13,7 Tage nach Implantatentfernung ausnahmslos bei leichtgewichtigen (< 5 kg, Toys) Hunden und 5-mal nach Platten- sowie 1-mal nach Fixateur externe-Osteosynthese. Die Rate 7,1 % übertrifft die Angaben in der Literatur (Tab. 10; S. 38) um bis das 7-fache (BAHN 1995; 1 %; PAGEL 2015, 1,5 %; KNOBLOCH 1990, 2,6 %), ist aber nur halb so hoch wie die von DIEHM (2016) mit 14,3 %. Eine vergleichbare Refrakturinzidenz nennen HAAS et al. (2003, 6,7 %) nach Fixateur externe-Osteosynthese.

Refrakturbegünstigend werden zahlreiche Faktoren diskutiert, wie die vorzeitige Implantatentfernung noch vor abgeschlossener Frakturheilung. Dies traf in der eigenen Studie für 2 Hunde zu, wenn man sich an den Heilungszeiten von PIERMATTEI et al. (2006) orientiert und deckt sich mit den Daten von TONINO et al. (1976), NOSER et al. (1977), BRINKER (1984), KNOBLOCH (1990), BAHN (1995) sowie KETTUNEN et al. (2003).

Die Plattenosteosynthese scheint am Unterarm per se insbesondere bei leichtgewichtigen Hunden (< 5 kg) im Konsens mit KNOBLOCH (1990), BAHN (1995) und DIEHM (2016) der Refraktur förderlich zu sein, selbst wenn die von PIERMATTEI et al. (2006) empfohlenen Mindestliegezeiten (= Heilungszeit) beachtet wurden. So sind sehr klein dimensionierte Platten mit dafür geeignet kalibrigen Schrauben nicht selten zumindest in der Dimension *Breite* größer als der Radius. Wird die Platte dorsal montiert und bikortikal fixiert, schwächen die Schraubenlöcher den Radius zusätzlich.

Die biomechanische Schwächung (Platte, Schraubenlöcher und *stress protection*; AKESON et al. 1976; TONINO et al. 1976; UHTHOFF et al. 2006) mindert das schon physiologisch geringe Perfusionsaufkommen der Blutgefäße im diaphysären und distal metaphysären Radius/Ulnabereich (LAPPIN et al. 1983; WELCH et al. 1997; HAAS et al. 2003), so dass

der geheilte Knochen durch Resorption und Dichteeinbuße geschwächt hinterbleibt und schon bei Bagatellbelastung refrakturieren kann. Dies in der klinischen Routine röntgenologisch zu erkennen ist sehr schwer, da allein die Implantatdimensionen dahingehend, auch nicht im Röntgengrundbildpaar, eine holistische Ansicht zum Frakturheilungszustand der Ossa antebrachii erlauben.

Unbestritten ist, dass der refrakturierte Unterarm einer Reosteosynthese ggf. mit einem Systemwechsel (z. B. Platte \leftrightarrow Fixateur externe) bedarf. Bei den eigenen 6 Fällen wurde 3-mal von Platte auf Fixateur externe, 2-mal von Platte auf Paraossäre Klammer-Cerclage-Stabilisierung und 1-mal von Fixateur externe auf Paraossäre Klammer-Cerclage-Stabilisierung umgestellt. Bei einem Patienten wurde die Refraktur nach Plattenosteosynthese erneut mit Platte osteosynthetisiert. Drei der so versorgten Patienten erlitten weitere Frakturheilungsstörungen die wie beschrieben gemanagt wurden und ausheilten.

Bei einem Hund (1,2 %) kam es zu einer Nervenläsion in Form einer *transienten Radialislähmung*. Da andere Studien mit großen Patientenkohorten (KNOBLOCH 1990; EBEL 1990; BAHN 1995) keine vergleichbaren Angaben machen, scheint der vorliegende Fall eher durch das frakturverursachende Rasanztrauma oder einen technischen Fehler verursacht worden zu sein. Die Gliedmaßenfunktion war nach Ausheilung der Fraktur und unter physiotherapeutischen Begleitmaßnahmen unbeeinträchtigt.

5.6.1 Komplikationen: Patientenabhängige Faktoren

Rasse, Alter, Geschlecht, Gewicht:

In Einklang mit den Ergebnissen von BAHN 1995 (Alter) und PETEREIT (2016; Rasse, Alter, Geschlecht, Gewicht) konnte zwischen Rasse ($p= 0,856$), Alter ($p= 1,000$), Geschlecht ($p= 0,506$), sowie dem Körpergewicht ($p= 0,053$) und dem Komplikationsrisiko kein signifikanter Zusammenhang aufgedeckt werden

5.6.2 Komplikationen: Frakturabhängige Faktoren

Frakturlokalisation

Tendenziell, aber nicht signifikant komplikationsgefährdeter als die diaphysären Frakturen waren die distal metaphysären ($p= 0,301$). Das Komplikationsrisiko von Hunden mit einem Körpergewicht < 5 kg und distalen Radius/Ulna-Frakturen wird unter 5.6.4. diskutiert.

Frakturtyp:

Der Frakturtyp ($p= 0,856$) beeinflusste das Komplikationsrisiko nicht signifikant. Dies stimmt mit den Ergebnissen von PETEREIT (2016) überein.

offen vs. geschlossen:

Während andere Studien (GUSTILO und ANDERSON 1976; BAHN 1995; PETEREIT 2016) eine höhere Komplikationsgefährdung offener Frakturen angeben, konnte dies im eigenen Patientengut nicht nachgewiesen werden ($p= 0,759$).

5.6.3 Komplikationen: Behandlungsabhängige Faktoren

Zeit:

Für den Zeitpunkt der Frakturversorgung bestand kein signifikanter Zusammenhang mit der Komplikationsrate ($p= 0,583$). Dies unterstützt die Ergebnisse von BAHN (1995) und PETEREIT (2016).

Auch zwischen Operationsdauer und Komplikationsrate bestand keine signifikante Korrelation ($p= 0,073$). Das stimmt mit den Angaben von PAGEL (2015) überein. Dagegen sehen BROWN et al. (1997) und EUGSTER et al. (2004) eine längere Operationsdauer als begünstigend für eine Infektion.

Operateure:

Im Einklang mit den Angaben im Schrifttum (HORNYAK 1996; BAHN 1995; AKATVIPAT 2013; PAGEL 2015) waren zwischen erfahrenen und weniger erfahrenen Chirurgen keine signifikant unterschiedlichen Komplikationsraten aufzudecken ($p= 0,267$). Es kann wie bereits von BAHN (1995) und PAGEL (2015) vermutet, davon ausgegangen werden, dass komplizierte, technisch anspruchsvollere und damit potentiell komplikationsträchtigere Eingriffe eher von den erfahrenen Chirurgen durchgeführt wurden.

Platten vs. Fixateur externe:

Das Risiko einer Komplikation war nach Plattenosteosynthese in der Tendenz, aber nicht signifikant niedriger als nach Fixateur externe-Osteosynthese ($p= 0,145$). Dies deckt sich mit den Angaben von BAHN (1995) und PETEREIT (2016).

Bei Betrachtung der hohen Komplikationsrate (66,7 %; 6/9) der mit Fixateur externe versorgten Frakturen fällt auf, dass allein 2 Komplikationen durch technische Fehler verursacht wurden. Das unterstützt die Aussagen von MATIS et al. (1985), wonach die häufigsten Behandlungsfehler technisch bedingt sind.

Nicht-winkelstabil vs. winkelstabil (DCP vs. NPC; DCP vs. NCP / Fixateur externe):

Ein signifikanter Unterschied im Komplikationsrisiko war im Hinblick auf Winkelstabilität weder in der Detailanalyse „*nicht-winkelstabile (DCP) vs. winkelstabile Platte (NCP)*“ ($p=0,759$) noch in der „*nicht-winkelstabile (DCP) vs. winkelstabile Osteosynthese (NCP / Fixateur externe)*“ ($p=0,550$) nachzuweisen.

5.6.4 Komplikationen: Distal metaphysäre Frakturen bei Hunden < 5 kg

Hunde mit geringem Körpergewicht (< 5 kg) und distal metaphysären Frakturen hatten eine Komplikationsrate von 58,3 %. Dies deckt sich mit Ergebnissen zahlreicher Untersuchungen, in denen hohe Komplikationsraten bei Toyrassen genannt (LARSEN et al. 1999: 54%; DIEHM 2016: 42,9%; WATROUS und MOENS 2017: 68 %) und in denen die biomechanischen und vaskulären Eigenschaften der distalen Radiusmetaphyse bei Toyrassen als begünstigend für Frakturheilungsstörungen beschrieben werden (SUMNER-SMITH und CAWLEY 1970; LAPPIN et al. 1983; WELCH et al. 1997; HAAS et al. 2003; JOHNSON et al. 2005).

Weder das Osteosyntheseverfahren (Platte vs. Fixateur externe; $p=0,470$) oder ob nicht-winkelstabile oder winkelstabile Osteosynthese (DCP vs. NCP; $p=1,000$ und DCP vs. NCP/ Fixateur externe; $p=1,000$) wirkten sich signifikant auf die Komplikationshäufigkeit dieser Patientengruppe aus.

Hierbei muss allerdings kritisch bedacht werden, dass jeweils nur 2 der 12 leichtgewichtigen Hunde mit distal metaphysären Frakturen mit Fixateur externe oder DCP versorgt wurden.

5.7 Funktionelles Behandlungsergebnis

Ein gutes funktionelles Behandlungsergebnis wurde bei 93,6 % (73/78) der klinisch und/oder telefonisch kontrollierten Patienten erreicht. Befriedigend war das Ergebnis bei 5,1 % (4/78) und unbefriedigend bei 1,3 % (1/78) der Patienten.

Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit den Ergebnissen der Besitzerbefragung nach Therapie von Radius/Ulna-Frakturen durch DIEHM (2016) (87 % sehr zufrieden: keine Lahmheit, keine Bewegungseinschränkung; 6 % gutes Behandlungsergebnis: zeitweilige, leichte Lahmheit; 6 % unbefriedigendes Ergebnis: dauerhafte Lahmheit, Ankylose Karpus).

In der eigenen Studie wurde zu 92,8 % (64/69) mit Plattenosteosynthese und zu 100 % (9/9) mit Fixateur externe ein gutes funktionelles Ergebnis erreicht. LARSEN et al. (1999) beschreiben die erfolgreiche funktionelle Heilung für 89 % der Plattenosteosynthesen und

93 % der mit Fixateur externe versorgten Frakturen. Weitere Studien geben ebenfalls überwiegend gute bis exzellente Ergebnisse nach Plattenosteosynthese (BRUNNBERG et al. 1998; HAMILTON und LANGLEY HOBBS 2005; GIBERT et al. 2015; RAMIREZ und MACIAS 2016) und nach Osteosynthese mit Fixateur externe (PIRAS et al. 2011; BIERENS et al. 2017) an.

Die eigenen Ergebnisse unterstreichen somit die Angaben in der Literatur, wonach sowohl die Plattenosteosynthese als auch die Osteosynthese mit Fixateur externe erfolgreich zur Behandlung von Radius/Ulna-Frakturen bei Hunden eingesetzt werden.

5.8 Schlussbetrachtung

Im Hinblick auf die Ergebnisse der vorliegenden Studie bleibt festzustellen, dass für jeden Patienten mit diaphysärer oder distal metaphysärer Unterarmfraktur eine individuelle Auswahl des Osteosyntheseverfahrens erfolgen muss.

Weder nicht-winkelstabile noch winkelstabile Verfahren sind den eigenen Ergebnissen nach im Hinblick auf Frakturheilungszeit, Komplikationsrisiko und funktionellem Therapieergebnis dem jeweils anderen überlegen. Zwar war die Komplikationsrate unabhängig vom Osteosyntheseverfahren hoch (39,3 %), aber sowohl mit Plattenosteosynthese (92,8 %) als auch mit Fixateur externe (100 %) wurden gute Behandlungsergebnisse erzielt.

Dass bei fast allen der patienten- und frakturabhängigen Einflussgrößen keine signifikanten Zusammenhänge nachgewiesen werden konnten, darf jedoch nicht implizieren, dass sie keiner Beachtung bei der Auswahl der Osteosynthesetechnik bedürfen. Die Entscheidung muss vielmehr unter Einbeziehung vieler Faktoren, wie z. B. auch die des Temperamentes des Hundes, der Kosten und der Besitzercompliance getroffen werden.

Das signifikant erhöhte Osteomyelitisrisiko schwererer Hunde sollte insbesondere im postoperativen Management bedacht werden.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Retrospektive Analyse diaphysärer und distal metaphysärer Radius/Ulna-Frakturen beim Hund nach Plattenosteosynthese und Osteosynthese mit Fixateur externe

Ziel der retrospektiven Studie war, die Versorgung diaphysärer und distal metaphysärer Unterarmfrakturen mit winkelstabilen und nicht-winkelstabilen Osteosyntheseverfahren, deren Heilung und etwaige Komplikationen unter Berücksichtigung von patienten- und frakturabhängigen Einflussfaktoren zu analysieren.

Insgesamt wurden 88 Hunde mit 91 diaphysären oder distal metaphysären Radius/Ulnafrakturen (3 Hunde mit bilateraler Fraktur) ausgewertet. Die Frakturen wurden in den Jahren 2009-2015 in der Klinik für kleine Haustiere der Freien Universität Berlin mit Plattenosteosynthese oder Fixateur externe stabilisiert.

Die 88 Hunde gehörten 39 verschiedenen Rassen bzw. Mischlingen dieser Rassen an. Das Alter der Hunde variierte zwischen 2 und 186 Monaten und entsprach einem Durchschnittsalter von 3,17 Jahren. 52,3 % der Hunde waren weiblich und 47,7 % männlich. Leichtgewichtige Rassen (< 5 kg; Toyrassen) waren mit 31,8 %, niedrig- (5-15 kg) mit 23,9 %, mittel- (>15-30 kg) mit 26,1 % und schwergewichtige (> 30 kg) mit 18,2 % vertreten. Frakturursachen waren Verkehrsunfälle (42,9 %), Sturz aus niedriger Höhe (24,2 %), Bagateltraumen (Hängenbleiben, Einklemmen oder Spiel, Tritt; je 9,9 %), Hundebiss- (5,5 %) oder Wildschweinverletzung (2,2 %). Bei 5,5 % der Hunde war die Ursache unbekannt.

Bei 96,7 % waren sowohl Radius als auch Ulna, bei 3,3 % nur der Radius frakturiert. 74,7 % der Frakturen betrafen die Diaphyse und 25,3 % die distale Metaphyse. Die distale Metaphyse war bei den leichtgewichtigen Hunden (< 5 kg) häufiger (46,7 %) als bei den schwereren (6,3-18,2 %) gebrochen.

Insgesamt war die Quer- (79,1 %), vor Splitter- (12,1 %) und Schrägfraktur (8,8 %) häufigster Frakturtyp. Auch bei getrennter Betrachtung der Lokalisation machten Querfrakturen den jeweils größten Anteil (Diaphyse: 77,9%; distale Metaphyse: 82,6 %) aus. 14,3 % der Frakturen waren offen.

Die Frakturen wurden nach durchschnittlich 1,07 Tagen versorgt. Die Operationsdauer betrug durchschnittlich 67,7 Minuten. 46,2 % der Operationen wurden durch sehr erfahrene und 53,8 % durch weniger erfahrene Chirurgen vorgenommen.

83,5 % der Frakturen wurden winkelstabil (73,6 % NCP; 9,9 % Fixateur externe) und 16,5 % nicht-winkelstabil (DCP) stabilisiert. Platten- (90,1 %) waren insgesamt häufiger als Fixateur

externe-Osteosynthesen (9,9 %). Im distal metaphysären Bereich wurde der Fixateur externe häufiger (17,4 %) als im diaphysären (7,4 %) eingesetzt.

78 % der Frakturen wurden nach dem Operationstag noch mindestens einmal in der Klinik geröntgt. Die röntgenologisch belegte Heilung von 52 Frakturen betrug durchschnittlich $15,58 \pm 7,9$ Wochen. Patienten- (Alter, Geschlecht, Körpergewicht) und frakturabhängige (Frakturlokalisierung, -typ, offen vs. geschlossen) Faktoren beeinflussten die Heilungszeit nicht signifikant. Mit Fixateur externe versorgte Frakturen heilten tendenziell schneller ($11,33 \pm 7,89$ Wochen) als nach Plattenosteosynthese ($16,13 \pm 7,87$ Wochen), dieser Unterschied war nicht signifikant. Zwischen den mit nicht-winkelstabiler (DCP) und winkelstabiler Plattenosteosynthese (NCP) versorgten Frakturen waren keine signifikant unterschiedlichen Heilungszeiten festzustellen. Das traf im Vergleich nicht-winkelstabile Osteosynthesen (DCP) mit den winkelstabilen (NCP und Fixateur externe) auch zu.

Die Implantate wurden bei 54 Frakturen auch wieder in der Klinik entnommen. Die daraus errechneten Implantatliegezeiten waren für Fixateur externe-Osteosynthesen signifikant kürzer ($10,88 \pm 5,08$ Wochen; $p = 0,036$) als für Plattenosteosynthesen ($16,69 \pm 8,58$ Wochen). Keine signifikanten Unterschiede der Implantatliegezeiten ergaben die Detailanalysen *nicht-winkelstabile vs. winkelstabile Plattenosteosynthesen* und *nicht-winkelstabile vs. winkelstabile Osteosynthese*.

Der Heilungsverlauf wurde bei 84 Hunden (95,5 %) mit 84 Frakturen (92,3 %) in der Klinik kontrolliert. Bei 33 (39,3 %) Frakturen (= Patienten) war die Heilung (bei einigen mehrfach) komplikationsbehaftet (57 Komplikationen). Häufigste Komplikationen waren Osteomyelitis und Knochenresorption (je 13,1 %; $n = 11$), gefolgt von Frakturheilungsstörungen (Malunion, Nonunion, Delayed Union; 10,7 %; $n = 9$), Implantatversagen (8,3 %; $n = 7$), Ankylose des Karpalgelenks (2,4 %; $n = 2$) und transients Radialislähmung (1,2 %; $n = 1$).

Patienten mit Osteomyelitis wurden antibiotisch behandelt ($n = 11$), gelockerte Implantate wurden entfernt ($n = 2$), autologe Spongiosa angelagert und/ oder die Montage gewechselt ($n = 1$). Zur Therapie von Knochenresorption und Non- oder Delayed Union wurden die Frakturen dynamisiert ($n = 6$) die Montage gewechselt ($n = 1$) und/ oder ein Castverband nach Implantatentfernung angelegt ($n = 2$). Wundinfektionen wurden antibiotisch therapiert. Bei Implantatversagen wurde die Montage gewechselt ($n = 3$), gelockerte Implantate entfernt ($n = 2$) oder erneut fixiert ($n = 1$). Bei Refrakturen wurde eine Reosteosynthese mit Wechsel des Osteosyntheseverfahrens ($n = 6$) vorgenommen. Die Ankylose im Karpalgelenk und die Radialislähmung wurden physiotherapeutisch behandelt. Malunions (allesamt geringgradige Achsenfehler) wurden nicht korrekturosteotomiert und Synostosen nicht reseziert, da sie keine Funktionsbeeinträchtigung verursachten.

Zwischen patientenabhängigen Einflussgrößen (Rasse, Alter, Geschlecht, Körpergewicht) und dem allgemeinen Komplikationsrisiko waren keine signifikanten Zusammenhänge

aufzudecken. Das Gewicht der Patienten wirkte sich allerdings signifikant auf das Risiko eine Osteomyelitis zu entwickeln aus ($p = < 0,001$).

Frakturabhängige (Frakturlokalisierung, -typ, offen vs. geschlossen) waren wie behandlungsabhängige Faktoren (Zeitintervall Unfall-Osteosynthese, Operationsdauer, Erfahrungsgrad des Operateurs) nicht signifikant mit der Komplikationsrate korreliert.

In der Analyse der Osteosyntheseverfahren (Platte vs. Fixateur externe; DCP vs. NCP; DCP vs. NCP / Fixateur externe) waren ebenfalls keine signifikanten Unterschiede im Komplikationsrisiko aufzudecken. Das war auch für die in der Literatur als besonders komplikationsgefährdet beschriebenen Hunde < 5 kg mit distal metaphysären Frakturen der Fall.

Das funktionelle Behandlungsergebnis konnte für 88,6 % der Hunde mit 85,7 % der Frakturen ausgewertet werden. Die Entsprechend der Lahmheitsgrade (lahmheitsfrei, gering-, mittel-, hochgradig lahm) wurde die Gliedmaßenfunktion als gut (93,6 %), befriedigend (5,1 %) oder unbefriedigend (1,3 %) bewertet.

Ein gutes funktionelles Therapieergebnis wurde bei 92,8 % der Plattenosteosynthesen und bei 100 % der Fixateur externe-Osteosynthesen erzielt.

In der Schlussfolgerung sind winkelstabile (NCP / Fixateur externe) und nicht-winkelstabile (DCP) Osteosynthesen zur Therapie diaphysärer und distal metaphysärer Radius/Ulnafrakturen bestens geeignet. Die Auswahl des am besten geeigneten Verfahrens muss anhand der bereits vorliegenden Empfehlungen im Schrifttum und den Ergebnissen der vorliegenden Studie individuell unter Einbeziehung möglichst vieler Einflussgrößen (Patient, Fraktur, Chirurg, Besitzercompliance, Kosten) getroffen und etwaige Komplikationen nach Möglichkeit früh erkannt und therapiert werden.

7 SUMMARY

Retrospective analysis of diaphyseal and distal metaphyseal radius/ulna fractures in dogs after plate osteosynthesis and osteosynthesis with external fixator

The aim of the retrospective study was to analyse the treatment of diaphyseal and distal metaphyseal antebrachial fractures with angle-stable and non-angle-stable methods of osteosynthesis, their healing and possible complications, taking into account patient- and fracture-dependent influencing factors.

A total of 91 diaphyseal or distal metaphyseal radius/ulna fractures (88 dogs, 3 of them with bilateral fractures) were evaluated. The fractures were stabilized with plate osteosynthesis or external fixator in the Small Animal Clinic of the Free University of Berlin in the years 2009-2015.

The 88 dogs belonged to 39 different breeds or hybrids of these breeds. The age of the dogs varied between 2 and 186 months and corresponded to an average age of 3.17 years. 52.3% of the dogs were female and 47.7% male. Light-weight breeds (< 5 kg; toy breeds) were represented with 31.8%, low- (5-15 kg) with 23.9%, medium- (>15-30 kg) with 26.1% and heavy-weight (> 30 kg) with 18.2%.

Fractures were caused by road traffic accidents (42.9%), falls from low heights (24.2%), minor trauma (getting stuck, trapped or playing, kicking; 9.9% each), dog bite (5.5%) or wild boar injuries (2.2%). In 5.5% of the dogs the cause was unknown.

In 96.7% of cases both radius and ulna were fractured, in 3.3% only the radius was fractured. A total of 74.7% of the fractures affected the diaphysis and 25.3% affected the distal metaphysis. The distal metaphysis was fractured more frequently (46.7%) in the light-weight dogs (< 5kg) than in the heavier dogs (6.3-18.2%).

Overall, transverse fractures (79.1%) were the most common fracture type, followed by comminuted (12.1%) and oblique fractures (8.8%). Even when considering the localization separately, transverse fractures accounted for the largest share in each case (diaphysis: 77.9%; distal metaphysis: 82.6%). 14.3% of fractures were open.

The fractures were treated after an average of 1.07 days. The average duration of surgery was 67.7 minutes. 46.2% of the operations were performed by highly experienced surgeons and 53.8% by less experienced surgeons.

83.5% of the fractures were stabilized angle-stable (73.6% NCP; 9.9% external fixator) and 16.5% non-angle-stable (DCP). Plate osteosynthesis (90.1%) was overall more common than external skeletal fixation (9.9%). The external fixator (17.4%) was used more frequently in the distal metaphyseal region than in the diaphyseal region (7.4%).

78% of the fractures were radiographed at least once at the clinic after the day of surgery. Fracture healing was confirmed radiographically for 52 fractures, at an average time of 15.58 ± 7.9 weeks post-operatively. Patient- (age, gender, body weight) and fracture-dependent (fracture localization, type, open vs. closed) factors did not significantly influence healing time. Fractures treated with external fixator tended to heal faster (11.33 ± 7.89 weeks) than after plate osteosynthesis (16.13 ± 7.87 weeks), but this difference was not significant.

No significant differences in healing time were observed between fractures treated with non-angle-stable (DCP) and angle-stable plate osteosynthesis (NCP). This also applied to the comparison of non-angle-stable osteosynthesis (DCP) with angle-stable osteosynthesis (NCP and external fixator).

The implants were removed from 54 fractures at the clinic. The calculated times until implant removal were significantly shorter for the external fixator cases (10.88 ± 5.08 weeks; $p=0.036$) than for plate osteosynthesis cases (16.69 ± 8.58 weeks). The detailed analyses did not reveal any significant differences in time until implant removal for *non-angle-stable vs. angle-stable plate osteosynthesis* and *non-angle-stable vs. angle-stable osteosynthesis*.

The healing process was checked in 84 dogs (95.5%) with 84 fractures (92.3%) in the clinic. In 33 (39.3 %) fractures (= patients), healing was accompanied by complications (some of them with multiple complications; 57 complications). The most common complications were osteomyelitis and bone resorption (13.1 % each; $n=11$), followed by fracture healing disorders (malunion, nonunion, delayed union; 10.7 %; $n=9$), implant failure (8.3 %; $n=7$), ankylosis of the carpal joint (2.4 %; $n=2$) and transient radial paralysis (1.2 %; $n=1$).

In cases with osteomyelitis, antibiotic treatment was administered ($n=11$), loose implants were removed ($n=2$), autologous cancellous bone graft was packed into the fracture site and/or the construct was modified ($n=1$). To treat bone resorption and non- or delayed union, the fractures were dynamized ($n=6$), the construct was modified ($n=1$) and/or a cast bandage was applied after implant removal ($n=2$). Wound infections were treated with antibiotics. In cases with implant failure, the construct was modified ($n=3$), loose implants were removed ($n=2$) or refixed ($n=1$). For refractures after implant removal a new osteosynthesis procedure ($n=6$) was performed. Ankylosis of the carpal joint and radial nerve paralysis were treated with physiotherapy. Malunions (all minor axial deviations) were not treated with corrective osteotomy and synostoses were not resected, as they did not cause any functional impairment.

No significant correlations were found between patient-dependent factors (breed, age, gender, body weight) and the general risk of complications. However, the weight of the patients had a significant effect on the risk of developing osteomyelitis ($p < 0.001$).

Fracture-dependent (fracture localization, fracture type, open vs. closed) and treatment-dependent factors (time interval between trauma and osteosynthesis, duration of surgery,

level of experience of the surgeon) were not significantly correlated with the complication rate.

Likewise no significant differences in the risk of complication could be found in the analysis of the osteosynthesis procedures (plate vs. external fixator; DCP vs. NCP; DCP vs. NCP / external fixator) This also applied to dogs < 5 kg with distal metaphyseal fractures, which have previously been described in the literature as being particularly prone to complications. The functional outcome was evaluated for 88.6% of the dogs with 85.7% of the fractures. Limb function was evaluated as good (93.6%), satisfactory (5.1%) or unsatisfactory (1.3%) based on the degree of lameness (no lameness, low-, medium-, high-grade lameness).

A good functional result was achieved in 92.8% of the plate osteosyntheses and in 100% of the external fixator osteosyntheses.

In conclusion, angle-stable (NCP / fixator external) and non-angle-stable (DCP) osteosyntheses are ideally suited for the treatment of diaphyseal and distal metaphyseal radius/ulna fractures. However, decision making with regards to the most appropriate repair must be made individually on the basis of already available recommendations in the literature and the results of the present study, taking into account as many influencing factors as possible (patient, fracture, surgeon, owner compliance, costs), and any complications must be detected and treated early on if possible.

8 LITERATURVERZEICHNIS

AKATVIPAT, A. (2013):

Radius-ulna fracture and post-traumatic radius-ulna synostosis in dogs.

Berlin, Freie Univ., Vet. Med. Diss.

URL: https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/3222/Akatvipat_online.pdf

AKESON, W.H.; WOO, S. LY.; RUTHERFORD, L., COUTTS, R. D., GONSALVES, M.;

AMIEL, D. (1976):

The effects of rigidity of internal fixation plates on long bone remodeling.

Acta Orthop Scand. **47**, 241- 249.

ALEXANDER, J.W.; WALKER, T.L.; ROBERTS, R.E.; DUELAND, R. (1978):

Malformation of canine forelimb due to synostosis between the radius and ulna.

J Am Vet Med Assoc. **173** (10), 1328-1330.

ARON, D.N.; TOOMBS, J.P., HOLLINGSWORTH, S.C. (1986):

Primary treatment of severe fractures by external skeletal fixation: threaded pins compared with smooth pins.

J Am Vet Med Assoc **22**, 659-670.

ARON, D.N. (1989):

External Skeletal Fixation.

Vet Med Rep. **1**, 181-201.

ARON, D. N.; PALMER, R. H.; JOHNSON, A. L. (1995):

Biologic strategies and a balanced concept for repair of highly comminuted long bone fractures.

Comp Cont Edu Small Anim. **17**, 35-47.

BAHN, U. (1995):

Komplikationen nach Osteosynthesen: Eine retrospektive und klinische Studie bei Hund und Katze in den Jahren 1989-1992 unter besonderer Berücksichtigung pathogenetisch bedeutsamer Faktoren.

Hannover, Tierärztliche Hochschule, Vet. Med. Diss.,

BARNHART, M. D.; RIDES, C. F.; KENNEDY, S. C.; AIKEN, S. W.; WALLS, C. M.; HORSTMAN, C. L.; MASON, D.; CHANDLER, J. C.; BROURMAN, J. D.; MURPHY, S. M.; PIKE, F.; NABER, S. J. (2013):

Fracture repair using a polyaxial locking plate system (PAX).

Vet Surg. **42**, 60-66.

BARTHOLOMAEUS, E. ; NIEBAUER, G.W.; SCHMIEDMAYER, H.B.; WINDISCHBAUER, G. (2007):

Untersuchungen zum Biegeverhalten einer Parakortikalen-Klammer-Cerclage-Konfiguration im Vergleich zu einer 3,5 mm Dynamischen Kompressionsplatte.

Wiener Tierärztliche Monatsschrift **94**, 184-191.

BEHREND, A. (2007):

Biomechanische und klinische Studie zur chirurgischen Frakturversorgung langer Röhrenknochen der Katze.

Berlin, Freie Univ., Vet. Med. Diss.

BENNETT, R.A.; EGGER, E.L.; HISTAND, M.; ELLIS, A.B. (1987):

Comparison of the strength and holding power of 4 pin designs for use in half-pin (type 1) external skeletal fixation.

Vet Surg. **16**, 207-211.

BHANDARI, M.; GUYATT, G. H.; SWIONTKOWSKI, M.F.; TORNETTA, P.; SPRAGUE, S.; SCHEMTISCH, E. H. (2002):

A lack of consensus in the assessment of fracture healing among orthopaedic surgeons.

J Orthop Trauma. **16**(8), 562-566.

BIERENS, D.; UNIS, M.D.; CABRERA, S.Y.; KASS, P.H.; OWEN, T.J.; MUELLER, M.G. (2017):

Radius and ulna fracture repair with the IMEX miniature circular external skeletal fixation system in 37 small and toy breed dogs: A retrospective study.

Vet Surg. **46**, 587- 595.

BONATH, K.; PRIEUR, W. (1998):

Kleintierkrankheiten Band 3: Orthopädische Chirurgie und Traumatologie. 1. Auflage

Stuttgart, Ulmer - ISBN 978-3825281571

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. **188**(1), 41-45.

BOUDRIEAU, R. J. (2003):

Fractures of the Radius and Ulna.

In: Textbook of small animal surgery. 3rd ed.; Slatter, D.H. (Hrsg.)

Philadelphia, WB Saunders, 1953-1973 - ISBN 978-0721686073

BRADEN, T. D. (1991):

Posttraumatic osteomyelitis.

Vet Clin North Am Small Anim Pract. **21**(4), 781-811.

BRAUN, W.; RUTER, A. (1996):

Fracture healing. Morphologic and physiologic aspects.

Unfallchirurg. **99**, 59-67.

BRIANZA, S.Z.M.; DELISE, M.; MADDALENA FERRARIS, M.; D'AMELIO, P.; BOTTI, P.

(2006):

Cross-sectional geometrical properties of distal radius and ulna in large, medium and toy breed dogs.

J Biomech. **39**(2), 302-311.

BRIGGS, B.T.; CHAO, E.Y.S. (1982):

The mechanical performance of the standard Hoffman-Vidal external fixation apparatus.

J Bone Joint Surg. **64A**: 566.

BRIGHTON, C. T. (1984):

The biology of fracture repair.

Instr Course Lect. **33**, 60-82.

BRINKER, W. O. (1984):

Removal of implants.

In: Manual of Internal Fixation in Small Animals. Brinker, W.O.; Hohn, R.B.; Prieur, W.D.

(Hrsg.)

Berlin Heidelberg, Springer, 104-107 - ISBN 0-387-10629-4

BRINKER, W. O.; FLO, G. L.; BRADEN, T.; NOSER, G.; MERKLEY, D. (1975):

Removal of bone plates in small animals.

J Am Anim Hosp Assoc. **11**(5), 577-586.

BROWN, D.C.; CONZEMIUS, G.; SHOFER, F.; SWANN, H. (1997):

Epidemiologic evaluation of postoperative wound infection in dogs and cats.

J Am Anim Hosp Assoc. **210**, 1302-1306.

BRUNNBERG, L.; SCHEBITZ, H.; VOLLMERHAUS, B.; MATIS, U.; KÖSTLIN, R.G.;

WAIBL, H.; ROOS, H. (1981):

Zur Humerusfraktur im mittleren und distalen Schaftdrittel beim Hund.

Kleintierpraxis. **26**, 163-172.

BRUNNBERG, L.; TIMMERMANN, C.; WAIBL, H.; KASSIANOFF, I. (1993):

Zur Behandlung fehlgewachsener Gliedmaßenabschnitte beim Hund.

Kleintierpraxis. **38**(4), 229-234.

BRUNNBERG, L.; HORST, C.; GAGEL, A.; WEILER, A.; RASCHKE, M. (1998):

Die No Contact Plate (NCP) Osteosyntheseplatte - Ein neues biologisches Implantatsystem.

Kleintierpraxis. **43**(8), 579-591.

BRUNNBERG, L.; WAIBL, H.; LEHMANN, J. (2014):

Spezielle Lahmheitsuntersuchung.

In: Lahmheit beim Hund.

Kleinmachnow, Procane Claudio, 49-86. - 9738-3-00-048088-1

BUCKWALTER, J.A.; EINHORN, T.A. BOLANDER, M.E.; CRUESS, R.L. (1996):

Healing of the musculoskeletal tissues.

In: Rockwood and Green's fractures in adults. 4th ed.; Rockwood, C.A. (Hrsg.)

Philadelphia: Lippincott-Raven, 261–304 - ISBN 978-0397516025

BUDSBERG, S.C. (2005a):

Implant failure.

In: AO principles of fracture management in the dog and cat.

New York, Thieme, 425-429. - ISBN 3-13-141571-1

BUDSBERG, S.C. (2005b):

Refracture after implant removal.

In: AO principles of fracture management in the dog and cat.

New York, Thieme, 430-433. - ISBN 3-13-141571-1

CALORI, G. M.; GIANNOUDIS, P. V. (2011):

Enhancement of fracture healing with the diamond concept: the role of the biological chamber.

Injury. **42**(11), 1191-1193.

CARMICHAEL, S. (1991):

The external fixator in small animal orthopaedics.

J Small Anim Pract. **32**(10), 486-493.

CARRIG, C.B.; WORTMAN, J.A. (1981):

Acquired dysplasias of the canine radius and ulna.

Compend Contin Educ Pract Vet. **13**, 557-564.

CAYWOOD, D. D.; WALLACE, L. J.; BRADEN, T. D. (1978):

Osteomyelitis in the dog: a review of 67 cases.

J Am Vet Med Assoc. **172**(8), 943-946.

CHAO, P.; LEWIS, D.D.; KOWALESKI, M.P.; POZZI, A. (2012):

Biomechanical concepts applicable to minimally invasive fracture repair in small animals.

Vet Clin North Am Small Anim Pract. **42**(5), 853- 872.

CHILDS, S. G. (2003):

Stimulators of bone healing. Biologic and biomechanical.

Orthop Nurs. **22**(6), 421-428.

CLAES, L. (2004):

Das Prinzip der Winkelstabilität in der Osteosynthese.

OP-Journal. **20**(1), 4-7.

CLAES, L.E.; WILKE, H.-P.; AUGAT, P.; RÜBENACKER, S.; MARGEVICIUS, K.J. (1995):
Effect of dynamization on gap healing of diaphyseal fractures under external fixation.
Clin biomech. **10**(5), 227-234.

CLAES, L.; RECKNAGEL, S.; IGNATIUS, A. (2012):
Fracture healing under healthy and inflammatory conditions.
Nat Rev Rheumatol. **8** (3), 133-43.

CORDEY, J. PERREN, S.M.; STEINEMANN, S.G. (2000):
Stress protection due to plates: Myth or reality? A parametric analysis made using the
composite beam theory.
Injury. **31 Suppl**(3), S-C1–C13.

CRUESS, R. L.; DUMONT, J. (1975):
Fracture healing.
Can J Surg. **18**(5), 403-13.

DARLEY, E.S.R.; MACGOWAN, A.P. (2004):
Antibiotic treatment of Gram-positive bone and joint infections.
J Antimicrob Chemother. **53**, 928-935.

DE ANGELIS, M. P.; OLDS, R. B.; STOLL, S. G.; PRATA, R. G.; SINIBALDI, K. R. (1973):
Repair of fractures of the radius and ulna in small dogs.
J Am Anim Hosp Assoc. **9**(5), 436-441.

DECAMP, C.E.; HAUPTMANN, J.; KNOWLEN, G.; REINDEL, J.F. (1986):
Periosteum and the healing of partial ulnar osteotomy in radius curvus of dogs.
Vet Surg. **15**(2), 185-190.

DENNY, H.R. (1985):
Fracture of the radius and ulna.
In: A Guide to Canine Orthopaedic Surgery. 2nd ed.; Denny H.R. (Hrsg.)
Boston, Blackwell Scientific, 179-196 - ISBN 9780632012725

DIEHM, M. B. (2016):

Frakturen der Extremitäten bei Hunden und Katzen- eine retrospektive Studie in den Jahren 2010-2013.

Hannover, Tierärztliche Hochschule, Vet. Med. Diss.

URL: <https://d-nb.info/1104290677/34>

DOHN, P.; KHIAMI, F.; ROLLAND, E.; GOUBIER, J.-N. (2012):

Adult post-traumatic radioulnar synostosis.

Orthop Traumatol Surg Res. **98**(6), 709-714.

DOORNINK, J.; FITZPATRICK, D.C.; BOLDHAUS, S.; MADEY, S.M.; BOTTLANG, M. (2010):

Effects of hybrid plating with locked and nonlocked screws on the strength of locked plating constructs in the osteoporotic diaphysis.

J Trauma **69**, 411-417.

DUDA, G.N.; MANDRUZZATO, F.; HELLER, M. et al. (2002):

Mechanical conditions in the internal stabilization of proximal tibial defects.

Clin Biomech. 64-72.

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. **211**(8), 1008-1012.

DURMUS, A. S.; ÜNSALDI, E. (2008):

Treatment of distal radioulnar synostosis and growth deformity in a dog.

http://veteriner.fusabil.org/pdf/pdf_FUSABIL_606.pdf.

DVORAK, M.; NECAS, A.; ZATLOUKAL, J. (2000):

Complications of long bone fracture healing in dogs: functional and radiological criteria for their assessment.

Acta Vet Brno. **69**(2), 107-114.

EBEL, H. (1990):

Dokumentationsanalyse von Ober- und Unterarmfrakturen bei Hund und Katze in den Jahren von 1985-1989.

Hannover, Tierärztliche Hochschule, Vet. Med. Diss.

EGGER, C. E. (1990):

A technique for the management of radial and ulnar fractures in miniature dogs using transfixation pins.

J Small Anim Pract. **31**(8), 377-381.

EGGER, E.L., HISTAND, M., BLASS, C.E., POWERS, B.E. (1986):

Effect of fixation pin insertion on the bone-pin intersurface.

Vet Surg. **15**, 246-252.

EGGER, E. L. (1991):

Complications of external fixation. A problem-oriented approach.

Vet Clin North Am Small Anim Pract. **21**(4), 705-733.

EGGER, E.L. (1993):

Fractures of the radius and ulna.

In: Textbook of small animal surgery. 2nd ed. Slatter, D.H. (Hrsg.)

Philadelphia, WB Saunders, 1736-1757 - ISBN 978-0721683300

EGOL, K. A., KUBIAK, E. N., FULKERSON, E., KUMMER, F. J., KOVAL, K. J., (2004):

Biomechanics of locked plates and screws.

J Orthop Trauma. **18**, 488– 493.

EUGSTER, S.; SCHAWALDER, P.; GASCHEN, F.; BOERLIN, P. (2004):

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

Vet Surg. **33**(5), 542-50.

FAROUK, O.; KRETTEK, C.; MICLAU, T.; SCHANDELMAIER, P.; GUY, P.; TSCHERNE, H. (1997):

Minimally invasive plate osteosynthesis and vascularity: preliminary results of a cadaver injection study.

Injury. **28 Suppl** (1), A7-12.

FIELD, J.R.; SUMNER-SMITH, G. (2002):

Bone blood flow response to surgical trauma.

Injury. **33**(5), 447-451.

FOX, D.B. (2012):

Radius and Ulna.

In: Veterinary Surgery: Small Animal. Tobias, K.M., Johnston, S.A. (Hrsg.)

St. Louis, MO, Elsevier Saunders. 760 - 784. - ISBN: 978-1-4377-0746-5.

FROST, H.M. (1989):

The Biology of Fracture Healing, Part I.

Clin Orth Relat Res **248**, 283- 293.

GARCIA, P.; LANGER, M.; RASCHKE, M. (2015a):

Das biologische Skalpell I - Frakturheilung und patientenbezogene Einflussfaktoren.

Z Orthop Unfall. **153**(4), 433-440.

GARCIA, P.; EVERDING, J.; HORN, D.; HOLSTEIN, J.H.; RASCHKE, M. (2015b):

Das biologische Skalpell II - Frakturheilung und pharmakologische Einflussfaktoren.

Z Orthop Unfall. **153**(5), 479-487.

GAUTIER, E.; CORDEY, J.; LÜTHI, U.; MATHYS, B.; RAHN, B.A.; PERREN, S.M. (1983):

Knochenumbau nach Verplattung: Biologische oder mechanische Ursache?

Helv Chir Acta. **50**, 53-58.

GAUTIER, E.; SOMMER, C. (2003):

Guidelines for the clinical application of the LCP.

Injury. **34 Suppl.** 2, 63-76.

GRAF, G. (2003):

Untersuchungen zur klinischen Anwendbarkeit der paraossären Klammer-Cerclage-Stabilisierung bei Hunden und Katzen.

Wien, Vet. Med. Univ., Vet. Med. Diss.

GRIFFON, D. (2005):

Fracture healing.

In: AO principles of fracture management in the dog and cat.

New York, Thieme, 72-98 - ISBN 3-13-141571-1

GRIFFON, D.; HAMAIDE, A. (2016):

Complications in Small Animal Surgery.

Wiley-Blackwell. - ISBN: 978-0470959626.

GRIFFON, D. (2016a):

Osteomyelitis.

In: Complications in Small Animal Surgery; Griffon, D. (Hrsg.)

Wiley-Blackwell. 28-32. - ISBN: 978-0470959626.

GRIFFON, D. (2016b):

Bone Resorption.

In: Complications in Small Animal Surgery; Griffon, D. (Hrsg.)

Wiley-Blackwell. 658-664. - ISBN: 978-0470959626.

GIANNOUDIS, P.; EINHORN, T.A.; MARSH, D. (2007):

Fracture healing: the diamond concept

Injury. **38 Suppl 4**, S3-6.

GIBERT S.; RAGETLY, G.R.; BOUDRIEAU, R.J. (2015):

Locking compression plate stabilization of 20 distal radial and ulnar fractures in toy and miniature breed dogs.

Vet Comp Orthop Traumatol. **28**, 441-447.

GUERRERO, T.G.; KALCHOFNER, K.; SCHERRER, N.M.; KIRCHER, P.R. (2014):

The Advanced Locking Plate System (ALPS): a retrospective evaluation in 71 small animal patients.

Vet Surg. **43** (2), 127-35.

GUSTILO, R. B.; ANDERSON, J. T. (1976):

Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses.

J Bone Joint Surg Am. **58**(4), 453-458.

GUNST, M.A.; SUTER, C.; RAHN, B.A. (1979):

Die Knochendurchblutung nach Plattenosteosynthese. Eine Untersuchung an der intakten Kaninchentibia mit Disulfinblau-Vitalfärbung.

Helv Chir Acta. **46**(1-2), 171-175.

HAALAND, P. J.; SJÖSTRÖM, L.; DEVOR M.; HAUG, A. (2009):

Appendicular fracture repair in dogs using the locking compression plate system: 47 cases.

Vet Comp Orthop Traumatol. **22**, 309-315.

HAAS, B.; REICHLER, I.M.; MONTAVON, P.M. (2003):

Use of the tubular external fixator in the treatment of distal radial and ulnar fractures in small animal dogs and cats: a retrospective clinical study.

Vet Comp Orthop Traumatol. **16**, 132-137.

HAMILTON, M. H.; LANGLEY HOBBS, S. J. (2005):

Use of the AO veterinary mini 'T'-plate for stabilization of distal radius and ulna fractures in toy breed dogs.

Vet Comp Orthop Traumatol. **18**(1), 18-25.

HARASEN, G. (2003):

Common long bone fracture in small animal practice - part 2.

Can Vet J. **44**(6), 503-504.

HAYDA, R.A.; BRIGHTON, C.T.; ESTERHAI, J.L. (1998):

Pathophysiology of delayed healing.

Clin Orthop Rel Res **355 Suppl.**, 31-40.

HOHN, R. B.; ROSEN, H. (1984):

Delayed Union and Nonunion.

In: Manual of Internal Fixation in Small Animals.

Berlin, Heidelberg, Springer - ISBN 0387106294

HORNYAK, L. (1996):

Klinische und röntgenologische Langzeituntersuchungen nach ausgewählten orthopädischen Eingriffen beim Hund.

Gießen, Justus-Liebig-Univ., Vet. Med. Diss.

HUGHES, R.; CHEN, X; HUNTER, K.D.; HOBBS, J.K.; HOLEN, I.; BROWN, N.J. (2019):
Bone marrow osteoprogenitors are depleted whereas osteoblasts are expanded
independent of the osteogenic vasculature in response to zoledronic acid.
FASEB J. **33**(11), 12768-12779.

HULSE, D.; HYMAN, B. (1991):
Biomechanics of fracture fixation failure.
Vet Clin North Am Small Anim Pract. **21**(4), 647-667.

HULSE, D.; HYMAN, B. (2003):
Fracture biology and biomechanics.
In: Textbook of small animal surgery. 3rd ed.; Slatter, D.H. (Hrsg.)
Philadelphia, WB Saunders, 1785-1792 - ISBN 978-0721686073

HUNT, J. M.; AITKEN, M. L.; DENNY, H. R.; GIBBS, C. (1980):
The complications of diaphyseal fractures in dogs: a review of 100 cases.
J Small Anim Pract. **21**(2), 103-119.

ILIZAROV, G.A. (1989):
The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part I. The influence of
stability of fixation and soft-tissue preservation.
Clin Orthop Relat Res. **238**, 249-281.

INAUEN, R.; KOCH, D.; BASS, M. (2009):
Arthrodesis of the tarsometatarsal joints in a cat with a two hole advanced locking plate
system.
Vet Comp Orthop Traumatol. **22**, 166-169.

JACKSON, L.C.; PACCHIANA, P.D. (2004):
Common complications of fracture repair.
Clin Tech Small Anim Pract. **19**(3), 168-179.

JOHNSON, A. L. (2003):
Current concepts in fracture reduction.
Vet Comp Orthop Traumatol. **16**, 59-66.

JOHNSON, A. L. (2009):

Grundlagen der orthopädischen Chirurgie und Frakturbehandlung.

In: Chirurgie der Kleintiere, 2. Auflage; Fossum Welch, T. (Hrsg.)

München, Urban & Fischer/ Elsevier- ISBN 978-3437570919

JOHNSON, A. (2016a):

Delayed Union.

In: Complications in Small Animal Surgery; Griffon, D. (Hrsg.)

Wiley-Blackwell. 665-668. - ISBN: 978-0470959626.

JOHNSON, A. (2016b):

Nonunion.

In: Complications in Small Animal Surgery; Griffon, D. (Hrsg.)

Wiley-Blackwell. 669-672. - ISBN: 978-0470959626.

JOHNSON, A. (2016c).

Implant Failure.

In: Complications in Small Animal Surgery; Griffon, D. (Hrsg.)

Wiley-Blackwell. 641-648.- ISBN: 978-0470959626.

JOHNSON, A. L.; HOULTON, J. E. F.; VANNINI, R. (2005):

AO principles of fracture management in the dog and cat.

New York, Thieme - ISBN 3-13-141571-1

JOHNSON, K. A. (1994):

Osteomyelitis in dogs and cats.

J Am Vet Med Assoc. **205**, 1882-1887.

JOHNSON, A.L.; SEITZ, S.E.; SMITH, C.W.; JOHNSON, J.M.; SCHAEFFER, D.J. (1996):

Closed reduction and type-II external fixation of comminuted fractures of the radius and tibia in dogs: 23 cases (1990-1994).

J Am Vet Med Assoc. **209**(8), 1445-1448.

KÄÄB M.J.; HAUKE, C.; SCHÜTZ, M.; SÜDKAMP, N.P.; HAAS, N.P. (1999):

Prinzip des Fixateurs interne bei Unterarmschaftfrakturen unter Verwendung des Point-contact-Fixateurs (PC-Fix).

Trauma und Berufskrankheit. **1**(4), 407-411.

KALFAS, I.H. (2001):

Principles of bone healing.

Neurosurg Focus. **10**, E1.

KANEPS, A.J.; STOVER, S.M.; LANE, N.E. (1997):

Changes in canine cortical and cancellous bone mechanical properties following immobilization and remobilization with exercise.

Bone. **21**(5), 419-423.

KELLER, M.A.; VOSS, K.; MONTAVON, P.M. (2005):

The ComPact UniLock 2.0/2.4 system and its clinical application in small animal orthopedics.

Vet Comp Orthop Traumatol. **18**(2), 83-93.

KETTUNEN, J.; KROGER, H.; BOWDITCH, M.; JOUKAINEN, J.; SUOMALAINEN, O.

(2003):

Bone mineral density after removal of rigid plates from forearm fractures: preliminary report.

J Orthop Sci. **8**(6):772–776.

KLAUSE, K.; FENGELS, I.; PERREN, S.M. (2000):

Long-term effects of plate osteosynthesis: comparison of four different plates.

Injury. **31 Suppl**(3), B51–B62.

KLAUSHOFER, K.; PETERLIK, M. (1994):

Pathophysiology of fracture healing.

Radiologe. **34**, 709– 714.

KNOBLOCH, S. (1990):

Komplikationen nach Osteosynthese von Schaftfrakturen langer Röhrenknochen bei Hund und Katze - Ursachen, Therapie und Ergebnisse in den Jahren 1980-1987.

München, Ludwigs-Maximilians-Univ., Vet. Med. Diss.

KOCH, D. (2005):

Screws and plates.

In: AO principles of fracture management in the dog and cat.

New York, Thieme, 26-51. - ISBN 3-13-141571-1

KOLATA, R.J.; KRAUT, N.H.; JOHNSTON, D.E. (1974):

Patterns of trauma in urban dogs and cats: a study of 1,000 cases.

J Am Vet Med Assoc. **164**(5), 499-502.

KRAUS, K. H.; BAYER, B. J. (2012):

Delayed Unions, Nonunions, and Malunions.

In: Veterinary Surgery: Small Animal; Tobias, K.M., Johnston, S.A. (Hrsg.)

St. Louis, MO, Elsevier Saunders. 647 - 656. - ISBN: 978-1-4377-0746-5.

KRESTAN, C.; GRUBER, M. (2013):

Quantitative Computertomographie.

J Miner Stoffwechs Muskuloskelet Erkrank **20**(2), 59-65.

LAPPIN, M. R.; ARON, D. N.; HERRON, H. L.; MALNATI, G. (1983):

Fractures of the radius and ulna in the dog.

J Am Anim Hosp Assoc. **19**(5), 643-650.

LARSEN, L.J.; ROUSH, J.K.; MCLAUGHLIN, R.M. (1999):

Bone plate fixation of distal radius and ulna fractures in small- and miniature-breed dogs.

J Am Anim Hosp Assoc. **5**(3), 243-250.

LAKSHIMI, N.D.; GANESH, T.N.; AYYAPPAN, S.; SHAFIUZAMA, M.D.; SURESHKUMAR, R. (2007):

Management of a distal metaphyseal radial fracture in a dog with a mini T-plate.

Vet Rec. **161**, 791-792.

LANGLEY-HOBBS, S. J.; CARMICHAEL, S.; PEAD, M. J.; TORRINGTON, A. M. (1996):

Management of antebrachial deformity and shortening secondary to a synostosis in a dog.

J Small Anim Pract. **37**, 359-363.

MACDONALD, J.M.; MATTHIESEN, D. (1991):

Treatment of forelimb growth plate deformity in 11 dogs by radial dome osteotomy and external coaptation.

Vet Surg. **20**, 402-408.

MANCHI, G.; BRUNNBERG, M.M.; SHAHID, M.; AL AIYAN, A.; CHOW, E.; BRUNNBERG, L.; STEIN, S. (2017):

Radial and ulnar fracture treatment with paraosseus clamp-cerclage stabilisation technique in 17 toy breed dogs.

Vet Rec Open. **4**:e000194,doi:10.1136/vetreco-2016-000194.

MANN, F. A.; PAYNE, J. T. (1989):

Bone healing.

Seminars in Veterinary Medicine & Surgery. **4**(4), 312-21.

MARSH, D.L. (1998):

Concepts of fracture union, delayed union, and non-union.

Clin Orthop. **355 Suppl.**, 22–30.

MATIS, U.; KÖSTLIN, R.G.; BRUNNBERG, L. (1985):

Fehler in der Frakturbehandlung beim Kleintier und deren Folgen.

Berl Münch Tierärztl Wschr. **98**, 173-180.

MATIS, U. (2015):

Implant removal.

AOVET North America: Principles in Small Animal Fracture Management; Lecture Abstracts
Columbus, OH April 16-19, 2015

MARK, H.; NILSSON, A.; NANNMARK, U.; RYDEVIK, B. (2004):

Effects of fracture fixation stability on ossification in healing fractures.

Clin Orthop Relat Res. **419**, 245-50.

MARSELL, R.; EINHORN, T. A. (2011):

The biology of fracture healing.

Injury. **42**(6), 551-5.

MCCARTNEY, W.; KISS, K.; ROBERTSON, I. (2010):

Treatment of distal radial/ulnar fractures in 17 toy breed dogs.

Vet Rec. **166**(14), 430-432.

MCKIBBIN, B. (1978):

The biology of fracture healing in long bones.

J Bone Joint Surg Br. **60**-B(2), 150-162.

MEYER, J. (1977):

Unterarmfrakturen des Hundes. Behandlung und Ergebnis (1970-1974).

München, Ludwigs-Maximilians-Univ., Vet. Med. Diss.

MILLER, C. W.; SUMNER-SMITH, G.; SHERIDAN, C.; PENNOCK, P. W. (1998):

Using the Unger system to classify 386 long bone fractures in dogs.

J Small Anim Pract. **39**, 390-393.

MILOVANCEV, M.; RALPHS S.C. (2004):

Radius/ulna fracture repair.

Clin Tech Small Anim Pract. **19**(3), 128-133.

MUIR, P. (1997):

Distal antebrachial fractures in toy breed dogs.

Compend Contin Educ Pract Vet. **19**, 137–145.

MÜLLER, M.E.; ALLGÖWER, M.; SCHNEIDER, R.; WILLENEGGER, H. (1992):

Manual der Osteosynthese: AO-Technik. 3. Auflage

Berlin, Springer ISBN 978-3540538196

NOSER, G. A.; BRINKER, W. O.; LITTLE, R. W.; LAMMERDING, J. J. (1977):

Effect of time on strength of healing bone with bone plate fixation.

J Am Anim Hosp Assoc. **13**, 559-561.

OLMSTEAD, M. L. (1991):

Complications of fractures repaired with plates and screws.

Vet Clin North Am Small Anim Pract. **21**(4), 669-686.

PAGEL, T. (2015):

Mikrobielle Besiedlung von Implantaten nach Osteosynthesen bei Kleintieren: Inzidenz und Einflussfaktoren.

Berlin, Freie Univ., Vet. Med. Diss.

URL: https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/11305/Pagel_online.pdf

PALMER, R.H.; HULSE, D.A.; HYMAN, W.A.; PALMER, D.R. (1992):
Principles of bone healing and biomechanics of external skeletal fixation.
Vet Clin North Am Small Anim Pract. **22**, 45–68.

PALMER, R.H. (2012):
External fixators and minimally invasive osteosynthesis in small animal medicine.
Vet Clin Small Animal **42**, 913-934.

PASSAVANT, N. (2003):
Die Anwendung des Fixateur externe bei Hund und Katze - eine retrospektive Studie (1996-1999).
Berlin, Freie Univ., Vet. Med. Diss.

PATEK, S.P.; ANTHONY, S.G.; ZURAKOWSKI, D.; DIDOLKAR, M.M; KIM, P.S.; WU, J.S.; KUNG, J.W.; DOLAN, M.; ROZENTAL, T.D. (2014):
Radiographic scoring system to evaluate union of distal radius fractures.
J Hand Surg Am. 39, 1471-1479.

PERREN, S. M.; M. RUSSENBERGER; S. STEINEMANN; M. E. MULLER; M. ALLGOWER (1969):
A dynamic compression plate.
Acta Orthop Scand Suppl. **125**, 31-41.

PERREN, S.M. (1979):
Physical and biological aspects of fracture healing with special reference to internal fixation.
Clin Orthop Relat Res. **138**, 175–196.

PERREN, S. M.; CORDEY, J.; RAHN, B. A.; GAUTIER, E.; SCHNEIDER, E. (1988):
Early temporary porosis of bone induced by internal fixation implants. A reaction to necrosis, not to stress protection?
Clin Orthop Relat Res. **232**, 139-51.

PERREN, S. M. (1991):
The concept of biological plating using the limited contact-dynamic compression plate (LC-DCP). Scientific background, design and application.
Injury. **22 Suppl 1**, 1-41.

PERREN, S. M.; BUCHANAN, J. S. (1995):

Basic concepts relevant to the design and development of the point Contact Fixator (PC-Fix).

Injury. 26 **Suppl 2**, B1-B4.

PERREN, S. M. (2002):

Evolution of the internal fixation of long bone fractures. The scientific basis of biological internal fixation: choosing a new balance between stability and biology.

J Bone Joint Surg Br. **84**(8), 1093-110.

PETEREIT, F. (2016):

Heilung diaphysärer Splitterfrakturen langer Röhrenknochen beim Hund ohne –und mit osteokonduktiver Fremdmaterial- Unterstützung (BoneCure®) bei Hund und Katze
Berlin, Freie Univ., Vet. Med. Diss.

https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/22818/Petereit_Franziska_diss.pdf

PHILLIPS, I. R. (1979):

A survey of bone fractures in the dog and cat.

J Small Anim Pract. **20**(11), 661-674.

PIERMATTEI D.L.; FLO, G. L.; DECAMP, C.E. (2006):

Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Repair, 4th edition

Philadelphia, Saunders Elsevier- ISBN 9780721692142

PIRAS, L.; CAPPELLARI, F.; PEIRONE, B.; FERRETTI, A. (2011):

Treatment of fractures of the distal radius and ulna in toy breed dogs with circular external skeletal fixation: a retrospective study.

Vet Comp Orthop Traumatol. **24**(3), 228-35.

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. **42**(19-27).

PRIEUR, W.D.; SUMNER-SMITH, G. (1984):

Fundamental Principles of the AO/ASIF Method.

In: Manual of Internal Fixation in Small Animals. Brinker, W.O.; Hohn, R.B.; Prieur, W.D.

(Hrsg.)

Berlin Heidelberg, Springer, 1-31 - ISBN 0-387-10629-4

PROBST, A.; SPIEGEL, H.U. (1997):

Cellular mechanisms of bone repair.

J Invest Surg. **10**(3), 77-86.

RADASCH, R. M. (1999):

Biomechanics of bone and fractures.

Vet Clin North Am Small Anim Pract. **29**(5), 1045-82.

RAHN, B.A. (1982):

Bone healing: histologic and physiologic concepts.

In: Bone in clinical orthopedics. A study in comparative osteology. Sumner Smith, G. (Hrsg.)

Philadelphia, Saunders, 335- 386. - ISBN 9780721686387

RAMIREZ, J.; MACIAS, C. (2016):

Conventional bone plate fixation of distal radius and ulna fractures in toy breed dogs.

Aust Vet J, 94: 76-80. doi:[10.1111/avj.12408](https://doi.org/10.1111/avj.12408)

REMEDIOS, A. (1999):

Bone and bone healing.

Vet Clin North Am Small Anim Pract. **29**, 1029– 1044.

RHINELANDER, F. W. (1968):

The normal microcirculation of diaphyseal cortex and its response to fracture.

J Bone Joint Surg Am. **50**(4), 784-800.

RHINELANDER, F. W. (1974):

The normal circulation of bone and its response to surgical intervention.

J Biomed Mater Res, 8: 87-90.

ROBELLO, G. T.; ARON, D. N. (1992):

Delayed Union and nonunion fractures.

Sem Vet Med Surg (Small Anim) **7**, 98-104.

ROSSON, J.; EGAN, J.; SHEARER, J.; MONRO, P. (1991):

Bone weakness after the removal of plates and screws. Cortical atrophy or screw holes?

J Bone Joint Surg Br. **73**(2), 283–286.

ROVESTI, G. L. (2005):

Malunions.

In: AO principles of fracture management in the dog and cat.

New York, Thieme, 410-415. - ISBN 3-13-141571-1

ROVESTI, G.L.; BOSIO, A.; MARCELLIN-LITTLE, D.J. (2007):

Management of 49 antebrachial and crural fractures in dogs using circular external fixators.

J Small Anim Pract. **48**, 194-200.

RUDD, R. G.; WHITEHAIR, J. G. (1992):

Fractures of the radius and ulna.

Vet Clin North Am Small Anim Pract. **22**(1), 135-148.

SADAN, M.; FISCHER, A.; BOKEMEYER, J.; KRAMER, M. (2015):

Surgical repair of ilial fractures in dogs and cats using string of pearls (SOP)-plate.

Indian J Vet Surg. **36**, 41-45.

SARDINAS, J. C.; MONTAVON, P. M. (1997):

Use of a medial bone plate for repair of radius and ulna fractures in dogs and cats: a report of 22 cases.

Vet Surg. **26**(2), 108-113.

SALTER, R.B.; HARRIS, W.R. (1963):

Injuries involving the epiphyseal plate.

J Bone Joint Surg Am. **45A**, 587–622.

SCHATZKER, J. (2005):

Introduction - AO philosophy and principles.

In: AO principles of fracture management in the dog and cat.

New York, Thieme, XV - XIV. - ISBN 3-13-141571-1

SCHEBITZ, H.; BRASS, W. (1975):

Allgemeine Chirurgie für Tierärzte und Studierende.

Berlin, Hamburg, Parey- ISBN 3489745167

SCHEBITZ, H.; BRASS, W. (2007):

Operationen an Hund und Katze. 3. unv. Auflage.

Berlin: Parey Verlag. ISBN 978-3-8304-4172-4

SCHEBITZ, H.; VOLLMERHAUS, B.; BRUNNBERG, L.; MATIS, U.; ROOS, H.; WAIBL, H.;
KÖSTLIN, R.G. (1981):

Zur Frakturbehandlung beim jungen Hund.

Kleintierpraxis. **26**(2), 63-70.

SCHENK, R.K. (1975):

Histology of primary bone healing.

Fortschr Kiefer Gesichtschir. **19**, 8– 12.

SCHENK, R.; WILLENEGGER, H. (1977):

Zur Histologie der primären Knochenheilung. Modifikationen und Grenzen der Spaltheilung
in Abhängigkeit der Defektgröße.

Unfallheilkunde. **80**, 155.

SCHÜTZ, M.; SÜDKAMP, N. P. (2003):

Revolution in plate osteosynthesis: new internal fixator systems.

J Orthop Sci. **8**, 252-258.

STALLER, G.S.; RICHARDSON, D.W.; NUNAMKER, D.M.; PROVOST, M. (1995):

Contact area and static pressure profile at the bone-plate interface in the nonluted and luted
bone plate.

Vet Surg. **24**, 299–307.

SUMNER-SMITH, G.; CAWLEY, A. J. (1970):

Nonunion of fractures in the dog.

J Small Anim Pract. **11**(5), 311-25.

TOBIAS, K.M., JOHNSTON, S.A. (2012):

Veterinary Surgery: Small Animal. Tobias, K.M., Johnston, S.A. (Hrsg.)

St. Louis, MO, Elsevier Saunders. - ISBN: 978-1-4377-0746-5.

TOMLINSON, J. (1991):

Complications of fractures repaired with casts and splints.

Vet Clin North Am Small Anim Pract. **21**, 735-744.

TONINO, A.J.; DAVIDSON, C.L.; KLOPPER, P.J.; LINCLAU, L.A. (1976):

Protection from stress in bone and its effects. Experiments with stainless steel and plastic plates in dogs.

J Bone Joint Surg Br. **58**, 107–113.

TOOMBS, J. P. (2005):

Fractures of the radial diaphysis.

In: AO principles of fracture management in the dog and cat.

New York, Thieme, 236-251. - ISBN 3-13-141571-1

TROSTLE, S. S.; MARKEL, M. D. (1996):

Fracture biology, biomechanics, and internal fixation.

Vet Clin North Am Food Anim Pract. **12**(1),19-46.

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. **3**, 41-50.

UHTHOFF, H.K.; POITRAS, P.; BACKMAN, D.S. (2006):

Internal plate fixation of fractures: short history and recent developments.

J Orthop Sci. **11**(2):118–126.

VALLEFUOCO, R.; LE POMMELLET, H.; SAVIN, A.; DECAMBRON, A.; MANASSERO, M.; VIATEAU, V.; GAUTHIER, O.; FAYOLLE, P. (2015):

Complications of appendicular fracture repair in cats and small dogs using locking compression plates.

Vet Comp Orthop Traumatol. **29**(1), 46-52.

VOSS, K.; KULL, M.; HÄSSIG, M.; MONTAVON, P. (2009):

Repair of long-bone fractures in cats and small dogs with the Unilock mandible locking plate system.

Vet Comp Orthop Traumatol. **22**, 398-405.

WAGNER, M.; R. FRIGG (2000):

Locking Compression Plate (LCP): Ein neuer AO-Standard.

OP-Journal. **16**, 238-243.

WAGNER, M. (2003):

General principles for the clinical use of the LCP.

Injury. **34**(2), B31-42.

WAGNER, M. (2010):

Vor- und Nachteile der winkelstabilen Plattenosteosynthese.

Der Orthopäde. **39**, 149-159.

WANIVENHAUS, G. (2001):

Paraossäre Klammer-Cerclage-Stabilisierung: eine biologische Osteosynthesemethode.

Wiener Tierärztliche Monatsschrift. **88**, 123-128.

WATERS, D. J.; BREUR, G. J.; TOOMBS, J. P. (1993):

Treatment of common forelimb fractures in miniature- and toy-breed dogs.

J Am Anim Hosp Assoc. **29**(5), 442-448.

WATROUS, G.K.; MOENS N.M. (2017):

Cutttable plate fixation for small breed dogs with radius and ulna fractures: Retrospective study of 31 dogs.

Can Vet J. **58**(4), 377-382.

WELCH, J. A.; BOUDRIEU, R. J.; DEJARDIN, L. M.; SPODNICK, G. J. (1997):
The intraosseous blood supply of the canine radius: implications for healing of distal fractures in small dogs.
Vet Surg. **26**(1), 57-61.

WILLENEGGER, H.; PERREN, S. M.; SCHENK, R. (1971):
Primary and secondary healing of bone fractures.
Chirurg. **42**(6), 241-52.

WILSON, J. W. (2002):
Blood supply to developing, mature, and healing bone.
In: Bone in Clinical Orthopaedics. 2nd ed.; Sumner-Smith, G. (Hrsg.)
Stuttgart, New York, Thieme, 23–117- ISBN 978-0865778290

WORTH, A. (2017):
Malunion.
In: Complications in Small Animal Surgery; Griffon, D. (Hrsg.)
Wiley-Blackwell. 673-679.- ISBN: 978-0470959626.

9 ANHANG

9.1 Tabellen

Anhang

Tab. I: Radius/Ulna-Frakturen (n= 91) bei den Hunden (n= 88) der Studie: Signalement, Frakturursache, -lokalisation, -morphologie und zusätzliche Verletzungen

Gewichtsklasse	Nr.	Rasse	Alter (Monate)	Geschlecht	Gewicht (kg)	Frakturursache	Lokalisation	Morphologie	offen	zusätzliche Verletzungen
< 5 kg	1	Chihuahua	16	wk	2,3	Trauma beim Spielen	distal	Querfraktur	-	-
	2	Zwergpinscher	10	w	2	unbekannt	distal	Querfraktur	-	-
	4	Yorkshire Terrier	9	w	2,7	von Couch gesprungen	diaphysär	Querfraktur	-	-
	11	Rehpinscher	5	w	2,2	in Gullydeckel stecken geblieben	distal	Querfraktur	-	-
	12	Zwergpinscher	9	wk	2,8	von Couch gesprungen	diaphysär	Querfraktur	-	-
	15	Italienisches Windspiel	14	m	4	in Loch getreten	distal	Querfraktur	-	-
	16	Rehpinscher	28	w	4	Sturz aus Hochbett	distal	Querfraktur	-	-
	17	Chihuahua	5	m	2	von Couch gesprungen	diaphysär	Schrägfraktur	-	-
	19	Rehpinscher	18	mk	4	Fahrrad	distal	Schrägfraktur	-	-
	22	Italienisches Windspiel	49	w	4	Trauma beim Spielen	distal	Schrägfraktur	-	-
	27	Chinesischer Schopfhund	5	m	4,1	auf Laminat ausgerutscht	diaphysär	Querfraktur	-	-
	29*	Mischling	17	w	3,7	aus Fahrradkorb gesprungen	diaphysär	Querfraktur	-	beidseitige Radius/Ulna-Fraktur
	30*	Mischling	17	w	3,7	aus Fahrradkorb gesprungen	distal	Querfraktur	-	beidseitige Radius/Ulna-Fraktur
	31	Chihuahua	21	w	2,1	von Stuhl gefallen	diaphysär	Querfraktur	-	-
	32	Pudel	16	w	3,5	von Couch gesprungen	diaphysär	Querfraktur	-	-
	33	Zwergspitz	13	w	2	Trauma beim Spielen	distal	Querfraktur	-	-
	37*	Chihuahua	3	m	2,2	von Stuhl gefallen	diaphysär	Querfraktur	-	beidseitige Radius/Ulna-Fraktur
	38*	Chihuahua	3	m	2,2	von Stuhl gefallen	distal	Querfraktur	-	beidseitige Radius/Ulna-Fraktur
	42	Yorkshire Terrier	6	m	4	von Couch gesprungen	diaphysär	Querfraktur	-	-
	43	Yorkshire Terrier	7	m	4	Sturz vom Arm	diaphysär	Querfraktur	-	-
	48	Papillon	26	wk	3	von Stuhl gefallen	diaphysär	Querfraktur	-	-
	56	Rehpinscher	2	m	4,6	unbekannt	diaphysär	Querfraktur	-	-
	57	Rehpinscher	18	w	1	Sturz vom Arm	distal	Querfraktur	-	-
	60	Toy Terrier	7	w	2,5	Sturz vom Arm	diaphysär	Querfraktur	-	-
	61	Chihuahua	4	w	2,4	Tritt	distal	Querfraktur	-	-
	64	Chihuahua	10	m	1,8	Sturz beim Spielen	diaphysär	Schrägfraktur	-	-
	65	Papillon	22	w	1,4	von Couch gesprungen	diaphysär	Querfraktur	-	-
	67	Prager Rattler	11	wk	1,8	Trauma beim Spielen	distal	Querfraktur	-	-
76	Prager Rattler	3	w	2,2	Sturz vom Arm	diaphysär	Querfraktur	-	-	
86	Zwergpinscher	12	w	2,8	unbekannt	distal	Querfraktur	-	-	
5 - 15 kg	6	Italienisches Windspiel	5	m	6,3	vom Bett gesprungen	diaphysär	Querfraktur	-	-
	7	Mischling	37	w	7,5	Auto	diaphysär	Querfraktur	offen Grad 1	-
	8	Pudel	51	m	5,5	Bissverletzung	diaphysär	Querfraktur	-	-
	14	Mischling	7	m	11	von Treppenstufe abgerutscht	diaphysär	Querfraktur	-	-
	21	Cairn Terrier	58	w	7,5	Auto	diaphysär	Schrägfraktur	-	-
	26	Jack Russel Terrier	12	mk	7,5	Wildschweinverletzung	distal	Querfraktur	-	-
	34	Tibet Terrier	18	w	15	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-
	39	Border Terrier	7	w	8	Sturz vom Arm	diaphysär	Querfraktur	-	keine
	40*	Sheltie	24	m	7,5	Auto	distal	Querfraktur	-	beidseitige Radius/Ulna-Fraktur
	41*	Sheltie	24	m	7,5	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	beidseitige Radius/Ulna-Fraktur
	53	Tibet Terrier	5	w	15	Trauma beim Spielen	diaphysär	Querfraktur	-	-
	54	Dackel	131	w	8	Auto	diaphysär	Querfraktur	offen Grad 2	ipsilaterale Metacarpalia-Serienfraktur
	55	Mischling	44	w	10	Bissverletzung	diaphysär	Querfraktur	offen Grad 2	-
	58	Mischling	168	m	12	Bissverletzung	distal	Splitterfraktur	-	-
	62	Border Terrier	42	w	6,3	Trauma beim Spielen	diaphysär	Querfraktur	-	-
63	Whippet	6	wk	12,5	Zusammenprall mit Fußgänger	distal	Querfraktur	-	-	
66	Mischling	33	w	8	Sturz vom Arm	diaphysär	Querfraktur	-	-	
69	Mischling	10	w	12,4	Auto	diaphysär	Splitterfraktur	-	ipsilaterale Femur-Fraktur	
77	Mischling	168	wk	15	Auto	diaphysär	Splitterfraktur	-	-	
81	Jack Russel Terrier	93	m	11	Trauma beim Spielen	diaphysär	Schrägfraktur	-	-	
82	Zwergspitz	5	m	8,5	von Couch gesprungen	diaphysär	Querfraktur	-	-	
83	Mischling	86	w	15	Trauma beim Spielen	diaphysär	Splitterfraktur	-	-	

w = weiblich; wk = weiblich kastriert; m = männlich; mk = männlich kastriert; kg = Kilogramm; * = zweifach gelisteter Patient / beidseitige Radius/Ulna-Fraktur

Tab. I: Radius/Ulna-Frakturen (n= 91) bei den Hunden (n= 88) der Studie: Signalement, Frakturursache, -lokalisation, -morphologie und zusätzliche Verletzungen

Gewichtsklasse	Nr.	Rasse	Alter (Monate)	Geschlecht	Gewicht (kg)	Frakturursache	Lokalisation	Morphologie	offen	zusätzliche Verletzungen
> 15 - 30 kg	3	Gaigo Espagnol	68	mk	26	Trauma beim Spielen	distal	Querfraktur	-	-
	5	Mischung	36	mk	15,5	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-
	10	Golden Retriever	15	w	27	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-
	13	Mischung	34	w	20	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-
	20	Pudel	20	mk	25	Auto	distal	Querfraktur	-	-
	23	Deutsch Drahthaar	19	m	25,4	Wildschweinverletzung	diaphysär	Schrägfraktur	-	-
	24	Golden Retriever	25	w	25	Trauma beim Spielen	diaphysär	Querfraktur	-	-
	25	Mischung	100	wk	26	Auto	diaphysär	Querfraktur	offen Grad 2	-
	28	Mischung	34	w	23	unbekannt	diaphysär	Querfraktur	-	-
	35	Deutsch Drahthaar	42	w	25	Trauma beim Spielen	diaphysär	Querfraktur	-	-
	36	Mischung	92	mk	16	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-
	44	Mischung	59	mk	23	Auto	diaphysär	Querfraktur	offen Grad 1	-
	46	Husky	26	m	25	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-
	51	Staffordshire Terrier	57	m	25	Auto	distal	Querfraktur	offen Grad 1	-
	52	Mischung	29	mk	20	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-
	68	Mischung	18	w	19	Auto	distal	Splitterfraktur	-	-
	71	Mischung	27	mk	20	in Fahrradspeiche hängengeblieben	diaphysär	Querfraktur	-	-
	74	Mischung	36	m	25	Auto	diaphysär	Splitterfraktur	-	-
	78	POC	65	wk	21	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-
	79	Shar Pei	72	wk	22	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-
80	Boxer	113	w	27	Auto	diaphysär	Splitterfraktur	offen Grad 1	-	
88	Deutsch Drahthaar	96	mk	25	in Tür geklemmt	diaphysär	Querfraktur	-	-	
89	Mischung	129	wk	16	Auto	diaphysär	Splitterfraktur	offen Grad 2	-	
> 30 kg	9	Golden Retriever	53	m	32	Auto	diaphysär	Splitterfraktur	-	-
	18	Golden Retriever	14	m	35	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-
	45	Deutscher Schäferhund	40	m	42	Auto	diaphysär	Schrägfraktur	offen Grad 2	-
	47	Deutscher Schäferhund	15	mk	35	Fahrrad	diaphysär	Querfraktur	-	-
	49	Dobermann	19	m	35	Bissverletzung	distal	Querfraktur	offen Grad 1	-
	50	Flat Coated Retriever	88	m	33	Bissverletzung	diaphysär	Querfraktur	-	-
	59	Mischung	93	m	37	Auto	diaphysär	Splitterfraktur	offen Grad 2	-
	70	Rhodesian Ridgeback	60	m	53	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-
	72	Mischung	64	m	34	von S-Bahn erfasst worden	diaphysär	Querfraktur	offen Grad 2	-
	73	Malinois	38	m	34	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-
	75	Deutsche Dogge	3	m	56	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-
	84	Boxer	6	m	40	Auto	diaphysär	Splitterfraktur	-	-
85	Mischung	118	mk	37	unbekannt	diaphysär	Querfraktur	-	-	
87	Golden Retriever	82	w	37	Auto	diaphysär	Querfraktur	offen Grad 1	-	
90	Mischung	58	w	38	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-	
91	Labrador Retriever	51	wk	38	Auto	diaphysär	Querfraktur	-	-	

w = weiblich; wk = weiblich kastriert; m = männlich; mk = männlich kastriert; kg = Kilogramm

**Tab. II: Zeitintervall in Tagen zwischen Trauma - Osteosynthese (n= 91);
Osteosynthese-Technik**

Gewichtsklasse	Nr.	Zeitraum bis zur Frakturversorgung	Osteosynthese-Technik
< 5 kg	1	1	R: Fixateur externe Typ II
	2	0	R: NCP 2,0 mm, 6-Loch mit Steg, 5 Schrauben
	4	2	R: NCP 2,0 mm, 8-Loch mit Steg, 7 Schrauben
	11	0	R: NCP 2,0 mm, 8-Loch, 6 Schrauben
	12	1	R: NCP 2,0 mm mit Steg, 8-Loch, 8 Schrauben
	15	0	R: NCP 2,7 mm, 8-Loch, 7 Schrauben
	16	0	R: NCP 2,0 mm, 6-Loch mit Steg, 5 Schrauben
	17	3	R: NCP 2,7 mm, 6-Loch mit Steg, 6 Schrauben
	19	1	R: NCP 2,0 mm, 6-Loch, 5 Schrauben
	22	1	R: NCP 2,0 mm, 8-Loch, 6 Schrauben, Zugschraube
	27	1	R: DCP 2,0 mm, 9-Loch, 8 Schrauben
	29*	1	R: NCP 2,0 mm, 8-Loch mit Steg, 8 Schrauben
	30*	1	R: NCP 2,0 mm, 8-Loch mit Steg, 7 Schrauben
	31	1	R: NCP 2,0 mm, 6-Loch mit Steg, 5 Schrauben
	32	1	R: NCP 2,0 mm, 8-Loch mit Steg, 8 Schrauben
	33	1	R: NCP 2,0 mm, 6-Loch mit Steg, 5 Schrauben
	37*	1	R: NCP 2,0 mm, 8-Loch, 6 Schrauben
	38*	1	R: DCP 2,0 mm, 6-Loch, 5 Schrauben
	42	1	R: DCP 2,0 mm, 8-Loch, 7 Schrauben
	43	1	R: NCP 2,0 mm, 6-Loch, 6 Schrauben
	48	0	R: NCP 2,0 mm, 6-Loch mit Steg, 6 Schrauben
	56	0	R: Fixateur externe Typ II
	57	2	R: Fixateur externe Typ II
	60	1	R: DCP 2,0 mm, 8-Loch, 7 Schrauben
	61	0	R: DCP 2,0 mm, 8-Loch, 7 Schrauben
	64	1	R: DCP 2,0 mm, 6-Loch, 6 Schrauben
	65	0	R: DCP 2,0 mm, 5-Loch, 5 Schrauben
	67	0	R: DCP 2,0 mm, 5-Loch, 5 Schrauben
76	0	R: NCP 2,0 mm, 6-Loch mit Steg, 6 Schrauben	
86	0	R: NCP 2,0 mm, 6-Loch, 4 Schrauben	
5 - 15 kg	6	0	R: NCP 2,7 mm, 6-Loch mit Steg, 6 Schrauben
	7	0	R: NCP 3,5 mm, 10-Loch mit Steg, 7 Schrauben
	8	0	R: NCP 2,0 mm, 8-Loch, 7 Schrauben
	14	1	R: NCP 2,0 mm, 8-Loch, 6 Schrauben
	21	1	R: NCP 2,7 mm, 7-Loch, 5 Schrauben
	26	1	R: DCP 2,7 mm, 8-Loch, 6 Schrauben
	34	2	R: NCP 2,7 mm, 10-Loch, 7 Schrauben
	39	1	R: DCP 2,0 mm, 10-Loch, 8 Schrauben
	40*	1	R: NCP 2,7 mm, 8-Loch, 7 Schrauben
	41*	1	R: NCP 2,7 mm, 8-Loch, 6 Schrauben
	53	1	R: NCP 2,7 mm, 8-Loch mit Steg, 8 Schrauben
	54	7	R: Fixateur externe Typ II
	55	1	R: Fixateur externe Typ II
	58	0	R: Fixateur externe Typ II
	62	1	R: DCP 2,0 mm, 9-Loch, 8 Schrauben
	63	1	R: DCP 2,0 mm, 14-Loch, 10 Schrauben
	66	1	R: DCP 2,0 mm, 7-Loch, 7 Schrauben
	69	2	R: DCP 2,7 mm, 7-Loch, 7 Schrauben, U: K-Draht als intramedullärer Pin
	77	1	R: NCP 2,7 mm, 10-Loch mit Steg, 8 Schrauben
	81	2	R: NCP 2,0 mm 12-Loch, 6 Schrauben, 1x Zugschraube
82	2	R: NCP 2,7 mm, 6-Loch mit Steg, 6 Schrauben	
83	1	R: NCP 2,7 mm, 10-Loch mit Steg, 9 Schrauben	

R = Radius; U = Ulna; NCP = Non Contact Plate; DCP = Dynamic Compression Plate;
mm = Millimeter; K-Draht = Kirschner-Bohrdraht; * = zweifach gelisteter Patient / beidseitige
Radius/Ulna-Fraktur

**Tab. II: Zeitintervall in Tagen zwischen Trauma - Osteosynthese (n= 91);
Osteosynthese-Technik**

Gewichtsklasse	Nr.	Zeitraum bis zur Frakturversorgung	Osteosynthese-Technik
> 15 - 30 kg	3	3	R: NCP 6-Loch, 6 Schrauben, 2 Zugschrauben (Fissur), U: 9-Loch Fingerplatte, 6 Schrauben
	5	1	R: NCP 2,0 mm, 10-Loch, 7 Schrauben
	10	3	R: NCP 4,5 mm, 6-Loch mit Steg, 6 Schrauben
	13	1	R: NCP 3,5 mm, 10-Loch mit Steg, 10 Schrauben
	20	1	R: NCP 3,5 mm, 6-Loch, 5 Schrauben - U: Fingerplatte 2,0 mm, 8-Loch, 7 Schrauben
	23	1	R: NCP 4,5 mm, 10-Loch mit Steg, 8 Schrauben
	24	2	R: NCP 3,5 mm, 6 Schrauben
	25	1	R: Fixateur externe Typ II
	28	0	R: NCP 3,5 mm, 8-Loch, 7 Schrauben
	35	2	R: NCP 3,5 mm, 10-Loch mit Steg, 8 Schrauben
	36	2	R: NCP 2,7 mm, 10-Loch, 8 Schrauben
	44	1	R: NCP 3,5 mm, 10-Loch mit Steg, 8 Schrauben
	46	1	R: NCP 3,5 mm, 8-Loch, 8 Schrauben
	51	1	R: DCP 3,5 mm, 10-Loch, 6 Schrauben, U: DCP 2,0 mm, 8-Loch, 7 Schrauben
	52	1	R: NCP 3,5 mm, 8-Loch mit Steg, 8 Schrauben
	68	0	R: NCP 3,5 mm, 10-Loch mit Steg, 4 Schrauben
	71	0	R: NCP 3,5 mm, 8-Loch, 8 Schrauben, U: DCP 13-Loch, 8 Schrauben
	74	1	R: NCP 2,0 mm, 8-Loch mit Steg, 2x Zugschraube, U: DCP 8-Loch, 7 Schrauben
	78	2	R: NCP 3,5 mm, 6-Loch mit Steg, 6 Schrauben
	79	1	R: NCP 3,5 mm, 8-Loch, 7 Schrauben
80	3	R: NCP 3,5 mm, 8-Loch, 8 Schrauben	
88	1	R: NCP 3,5 mm, 8-Loch, 8 Schrauben	
89	1	R: NCP 2,7 mm, 12-Loch, 9 Schrauben , 3x Zugschraube	
> 30 kg	9	2	R: NCP 4,5 mm, 12-Loch mit Steg, 8 Schrauben
	18	1	R: NCP 4,5 mm, 8-Loch, 7 Schrauben
	45	0	R: NCP 4,5 mm, 10-Loch mit Steg, 8 Schrauben
	47	1	R: NCP 3,5 mm, 8-Loch, 7 Schrauben
	49	1	R: Fixateur externe Typ II
	50	0	R: NCP 3,5 m, 10-Loch, 9 Schrauben, 2 Zugschrauben
	59	0	R: Fixateur externe Typ II
	70	1	R: NCP 4,5 mm, 12-Loch, 8 Schrauben
	72	1	R: NCP 8-Loch mit Steg, 8 Schrauben
	73	2	R: NCP 3,5 mm, 6-Loch mit Steg, 6 Schrauben, U: Fingerplatte 6-Loch, 6 Schrauben
	75	0	R: NCP 4,5 mm, 10-Loch mit Steg, 10 Schrauben
	84	0	R: NCP 3,5 mm, 10-Loch, 9 Schrauben, U: Fingerplatte, 8-Loch, 6 Schrauben
	85	3	R: NCP , 10-Loch, 8 Schrauben
	87	1	R: NCP 3,5 mm, 6-Loch, 6 Schrauben
	90	0	R: NCP 4,5 mm, 14-Loch, 12 Schrauben
91	3	R: NCP 4,5 mm, 8-Loch mit Steg, 7 Schrauben	

R = Radius; U = Ulna; NCP = Non Contact Plate; DCP = Dynamic Compression Plate;
mm = Millimeter; K-Draht = Kirschner-Bohrdraht

Tab. III: Osteosynthese-Technik, postoperative Röntgenkontrollen, röntgenologisch bestätigte Frakturheilungszeit, Implantatliegezeit/ -entfernung bei 71 Frakturen

Gewichtsklasse	Nr.	Osteosynthese-Technik	Röntgenkontrollen (Wochen)	Fusion (Wochen)	Implantatentfernung (Wochen)	
< 5 kg	1	Fixateur externe	5, 9, 13	13	13 (T-Platte)	
	2	NCP	24, 25, 29, 32, 35, 39, 41, 43, 47	24	24	
	4	NCP	4, 8, 12, 18, 22, 28, 30, 32, 36, 42, 50, 51, 55, 57, 59, 63, 65, 69	42	50 (2. NCP)	
	11	NCP	4	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung	
	12	NCP	3, 7, 10, 11, 12, 15, 17, 19, 21	11	11	
	16	NCP	36	36	36	
	17	NCP	4,5	4	5	
	22	NCP	6, 12	12	12	
	27	DCP	12	12	12	
	31	NCP	4, 8, 12, 14	12	12	
	32	NCP	4, 8, 10, 12, 16, 21	8	8	
	33	NCP	4	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung	
	42	DCP	10	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung	
	43	NCP	6	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung	
	48	NCP	4, 22, 24	22	24	
	56	Fixateur externe	4,6	4	6	
	57	Fixateur externe	2, 3, 6, 8, 9, 12, 16, 28, 84	8	9	
	60	DCP	4, 76	76	-	
	64	DCP	3, 7, 15	10	15	
	65	DCP	4, 10, 12, 18, 27	18	27	
	67	DCP	3, 6, 12, 24, 28, 34, 40, 60	12	12	
	76	NCP	12	12	12	
	86	NCP	5	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung	
	5 - 15 kg	6	NCP	2, 7, 9, 15, 17	17	17
		7	NCP	5, 11, 13	13	13
		8	NCP	4, 8, 16	16	16
21		NCP	3, 7	7	7	
26		DCP	4, 10, 16, 20	20	20	
39		DCP	4, 12, 20	12	20	
53		NCP	6, 14	14	14	
54		Fixateur externe	6	unbekannt	6	
55		Fixateur externe	5,8,11,12	11	12	
58		Fixateur externe	3, 5, 11, 13, 15, 17, 19, 22, 26	26	15	
63		DCP	6, 10	10	10	
69		DCP	3, 30	30	30	
77		NCP	2	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung	
81		NCP	4,8	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung	
82		NCP	6	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung	
83	NCP	4	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung		
> 15 - 30 kg	3	NCP	2, 3, 5, 7, 9	9	9*	
	5	NCP	6	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung	
	10	NCP	18	18	18	
	20	NCP	5, 9, 12	12	12	
	23	NCP	3, 8, 12, 24	12	12	
	24	NCP	10, 14	14	14	
	28	NCP	6, 12	12	12	
	36	NCP	8, 11, 14, 18, 22	18	18	
	44	NCP	6,1	unbekannt	Telefonat: Implantatentfernung HTA	
	46	NCP	6, 8, 12	12	12	
	51	DCP	7, 22, 24	22	24	
	52	NCP	7, 8	7	8	
	68	NCP	4, 9	9	9	
	71	NCP	4, 8, 12	12	12	
	74	NCP	3, 9, 31	31	31**	
	78	NCP	3, 5, 8, 16, 20	20	20	
	79	NCP	8, 12, 14	12	14	
	88	NCP	5, 10	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung	
	89	NCP	2	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung	
> 30 kg	9	NCP	16	16	16	
	18	NCP	6	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung	
	45	NCP	4, 5, 8, 10, 14, 16, 18	16	16	
	47	NCP	3, 12	12	12	
	49	Fixateur externe	2, 3, 5, 6, 7, 13, 49	6	6	
	50	NCP	2, 6, 16	16	16*	
	59	Fixateur externe	6, 8, 12, 16, 20	unbekannt	20	
	70	NCP	24	24	24	
	72	NCP	6, 18, 24, 32	32	32	
	73	NCP	4, 10, 16	16	16	
	75	NCP	4, 8, 12, 16	16	16	
	84	NCP	6	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung	
86	NCP	3	unbekannt	Telefonat: keine Implantatentfernung		

NCP = Non Contact Plate; DCP = Dynamic Compression Plate; mm = Millimeter;

PKCS = Paraossäre Klammer-Cerclage-Stabilisierung

* = Zugschrauben nicht entfernt

** = Zugschrauben und abgebrochene Plattenschrauben nicht entfernt

Tab. IVa: Komplikation, Therapie, Zeit bis zur röntgenologisch nachgewiesenen Heilung bei 84 Radius/Ulna-Frakturen

Gewichtsklasse	Nr.	Komplikation / Zeitpunkt	Therapie / Zeitpunkt	Fusion (Wochen)	
< 5 kg	1	5 Wo.: Implantatbiegung ▲	5 Wo.: Implantatwechsel (Fixateur externe-> 1,5 mm T-Platte, 6-Loch, 5 Schrauben)	13	
	2	24 Wo.: Knochenresorption (R) ○ 25 Wo.: Refraktur ▲	25 Wo.: neue Fixation (Fixateur externe Typ II)	24	
	4	8 Wo.: Knochenresorption (R,U) ▲ 50 Wo.: Synostose ○ 51 Wo.: Refraktur ▲	8 Wo.: Dynamisierung (Entfernung von 5 Schrauben) 28 Wo.: Rippentransplantation 32 Wo.: Implantatwechsel (NCP-> 1,5 mm NCP, 12-Loch, 2 Schrauben) 50 Wo.: Implantatentfernung 51 Wo.: neue Fixation (Fixateur externe Typ II)	1	
	11	4 Wo.: Knochenresorption (U) ▲	4 Wo.: Dynamisierung (Entfernung von 4 Schrauben)	unbekannt	
	12	10 Wo.: Knochenresorption (R,U) ○ 12 Wo.: Refraktur ▲	12 Wo.: neue Fixation (Fixateur externe Typ II)	11	
	15	-	-	unbekannt	
	16	36 Wo.: Nonunion (U) ○ 36 Wo.: Knochenresorption (R, U) ○	-	36	
	17	5 Wo.: Knochenresorption (U) ○	-	4	
	19	-	-	unbekannt	
	22	-	-	12	
	27	p.o.: Achsenfehler □ 12 Wo.: Synostose ○	-	12	
	31	-	-	12	
	32	4 Wo.: Knochenresorption (R,U) ○ 10 Wo.: Refraktur ▲	10 Wo.: neue Fixation (PKCS) 14 Wo.: Implantatwechsel (PKCS-> 2,0 mm DCP, 12-Loch, 8 Schrauben)	8	
	33	p.o.: Achsenfehler □	-	unbekannt	
	42	-	-	unbekannt	
	43	-	-	unbekannt	
	48	-	-	22	
	56	-	-	4	
	57	16 Wo.: Refraktur ▲	16 Wo.: neue Fixation (PKCS)	8	
	60	-	-	76	
	61	-	-	unbekannt	
	64	7 Wo.: Knochenresorption (U) ▲	7 Wo.: Dynamisierung (Entfernung von 4 Schrauben)	10	
	65	12 Wo.: Knochenresorption (U) ▲	12 Wo.: Dynamisierung (Entfernung von 3 Schrauben)	18	
	67	40 Wo.: Refraktur ▲	40 Wo.: neue Fixation (PKCS)	12	
	76	-	-	12	
	86	-	-	unbekannt	
	5 - 15 kg	6	2 Wo.: Achsenfehler □ 2 Wo.: Implantatlockerung ▲ 2 Wo.: Knochenresorption (U) ○ 15 Wo.: Synostose ○ 19 Wo.: Beugehemmung Karpus ○	2 Wo.: Implantatwechsel (NCP-> 2,7 mm Rekonstruktionsplatte, 13-Loch, 9 Schrauben), Achsenkorrektur 9 Wo.: Dynamisierung (Entfernung von 7 Schrauben) 19 Wo.: Physiotherapie	17
		7	-	-	13
8		-	-	16	
14		-	-	unbekannt	
21		-	-	7	
26		-	-	20	
34		-	-	unbekannt	
39		-	-	12	
53		-	-	14	
54		6 Wo.: Synostose ○	-	unbekannt	
55		-	-	11	
58		2 Wo.: Wundinfektion □ 5 Wo.: Implantatbruch ▲ 15 Wo.: Delayed Union (R, U) □ 22 Wo.: Nonunion (U) ○	2 Wo.: Antibiose 5 Wo.: neue Fixation (Fixateur externe Typ II) 15 Wo.: Castverband nach Implantatentfernung	26	
62		-	-	unbekannt	
63		-	-	10	
66		-	-	unbekannt	
69		-	-	30	
77		2 Wo.: transiente Radialislähmung ○	2 Wo.: Physiotherapie	unbekannt	
81		-	-	unbekannt	
82	-	-	unbekannt		
83	-	-	unbekannt		

Wo. = Wochen *post operationem* R = Radius; U = Ulna; p.o. = *post operationem*;
 NCP = Non Contact Plate; DCP = Dynamic Compression Plate; mm = Millimeter;
 PKCS = Paraossäre Klammer-Cerclage-Stabilisierung
 Komplikation: geringgradig ○; mittelgradig □; hochgradig ▲ (Tab. IVb; S. 124)

Tab. IVa: Komplikation, Therapie, Zeit bis zur röntgenologisch nachgewiesenen Heilung bei 84 Radius/Ulna-Frakturen

Gewichtsklasse	Nr.	Komplikation / Zeitpunkt	Therapie / Zeitpunkt	Fusion (Wochen)
> 15 - 30 kg	3	-	-	9
	5	-	-	unbekannt
	10	-	-	18
	13	-	-	unbekannt
	20	5 Wo.: Osteomyelitis ▲	5 Wo.: Antibiose	12
	23	5 Wo.: Osteomyelitis ▲ 5 Wo.: Wundinfektion □ 12 Wo.: Synostose ○	5 Wo.: Antibiose	12
	24	10 Wo.: Osteomyelitis ▲ 10 Wo.: Synostose ○ 10 Wo.: Achsenfehler □ 18 Wo.: Beugehemmung Karpus ○	10 Wo.: Antibiose 18 Wo.: Physiotherapie	14
	25	-	-	unbekannt
	28	-	-	12
	35	-	-	unbekannt
	36	8 Wo.: Osteomyelitis ▲ 8 Wo.: Implantatlockerung ▲	8 Wo.: Entfernung der gelockerten Schraube in Revisionsoperation, Antibiose	18
	44	6 Wo.: Osteomyelitis ▲ 6 Wo.: Implantatlockerung ▲	6 Wo.: Entfernung der gelockerten Schraube, Spongiosatransplantation, Antibiose	unbekannt
	46	12 Wo.: Osteomyelitis ▲ 12 Wo.: Wundinfektion □	12 Wo.: Antibiose	12
	51	-	-	22
	52	-	-	7
	68	-	-	9
	71	-	-	12
	74	3 Wo.: Implantatbruch ○	-	31
	78	3 Wo.: Implantatlockerung ▲	3 Wo.: Fixation der gelockerten Schraube	20
	79	8 Wo.: Osteomyelitis ▲	8 Wo.: Implantattausch (NCP-> Fixateur externe Typ I), Antibiose	12
80	-	-	unbekannt	
88	-	-	unbekannt	
89	-	-	unbekannt	
> 30 kg	9	-	-	16
	18	-	-	unbekannt
	45	4 Wo.: Osteomyelitis ▲ 4 Wo.: Wundinfektion □	4 Wo.: Antibiose	16
	47	-	-	12
	49	2 Wo.: Osteomyelitis ▲	2 Wo.: Antibiose	6
	50	16 Wo.: Nonunion (U) ○ 16 Wo.: Knochenresorption (U) ○	-	16
	59	8 Wo.: Delayed Union (R) ▲	8 Wo.: Dynamisierung (Entfernung von 2 fraktur-nahen Pins des Fixateur externe)+ Spongiosatransplantation; 20 Wo.: Castverband nach Implantatentfernung	unbekannt
	70	-	-	24
	72	6 Wo.: Osteomyelitis ▲	6 Wo.: Antibiose	32
	73	-	-	16
	75	4 Wo.: Osteomyelitis ▲	4 Wo.: Antibiose	16
	84	-	-	unbekannt
	87	-	-	unbekannt
	90	-	-	unbekannt
91	-	-	unbekannt	

Wo. = Wochen *post operationem* R = Radius; U = Ulna; p.o. = *post operationem*;

NCP = Non Contact Plate; DCP = Dynamic Compression Plate; mm = Millimeter;

PKCS = Paraossäre Klammer-Cerclage-Stabilisierung

Komplikation: geringgradig ○; mittelgradig □; hochgradig ▲ (Tab. IVb; S. 124)

Tab. IVb: Schweregrad der Komplikationen und deren Therapie

Grad der Komplikation	Komplikationen	Therapie	
geringgradig ○	Nonunion der Ulna	keine Reoperation/ keine medikamentelle Therapie erforderlich	ggf. Physiotherapie ggf. Verbandstherapie
	Knochenresorption		
	Synostose		
	Ankylose Karpus transiente Radialislähmung		
mittelgradig □	Delayed Union	keine Reoperation erforderlich	ggf. Verbandstherapie (Cast)
	Malunion/ Achsenfehler (< 10°)		
	Implantatbruch*	medikamentelle Therapie erforderlich	Antibiose lokale Wundbehandlung
hochgradig ▲	Wundinfektion	medikamentelle Therapie erforderlich	Antibiose
	Osteomyelitis	medikamentelle Therapie erforderlich	Antibiose
	Kollaps der Montage (durch Implantatlockerung, -biegung, - bruch)	Reoperation erforderlich	ggf. Spongiosatransplantation ggf. Verbandstherapie (Cast)
	Delayed Union		
Refraktur			
	Knochenresorption		

* abgebrochene Schraubengewinde belassen

Tab. V: Osteosynthese-Technik, Implantatentfernung, funktionelle Kurzzeit-/Langzeitergebnisse bei 84 Frakturen

Gewichtsklasse	Nr.	Osteosynthese	Implantat entfernt?	Funktionelles Therapieergebnis Kurzzeit	Funktionelles Therapieergebnis Langzeit		
					Telefonat (T)/ Kontrolle (K)	Zeitpunkt (Wochen)	Ergebnis
< 5 kg	1	Fixateur externe	ja	gut	T	53°	gut
	2	NCP	ja***	-	-	-	-
	4	NCP	ja***	-	-	-	-
	11	NCP	nein	-	T	181°	befriedigend
	12	NCP	ja***	-	-	-	-
	15	NCP	nein	-	T	199°	gut
	16	NCP	ja	gut	T	217°	gut
	17	NCP	ja	gut	T	213°	gut
	19	NCP	nein	-	T	139°	gut
	22	NCP	ja	gut	T	203°	gut
	27	DCP	ja	gut	-	-	-
	31	NCP	ja	gut	T	220°	gut
	32	NCP	ja***	-	-	-	-
	33	NCP	nein	-	T	78°	gut
	42	DCP	nein	-	T	82°	gut
	43	NCP	nein	-	T	78°	befriedigend
	48	NCP	ja	gut	T	213°	gut
	56	Fixateur externe	ja	gut	-	-	-
	57	Fixateur externe	ja***	-	-	-	-
	60	DCP	nein	-	K	76°	gut
	61	DCP	nein	-	T	102°	gut
	64	DCP	ja	gut	-	-	-
	65	DCP	ja	gut	-	-	-
	67	DCP	ja***	-	-	-	-
76	NCP	ja	gut	T	56°	gut	
86	NCP	nein	-	T	103°	befriedigend	
5 - 15 kg	6	NCP	ja	unbefriedigend	T	30°	gut
	7	NCP	ja	gut	-	-	-
	8	NCP	ja	gut	T	162°	gut
	14	NCP	nein	-	T	186°	gut
	21	NCP	ja	gut	-	-	-
	26	DCP	ja	gut	T	68°	gut
	34	NCP	ja, HTA	-	T	99°	gut
	39	DCP	ja	gut	T	68°	gut
	53	NCP	ja	gut	T	58°	gut
	54	Fixateur externe	ja	gut	K	95°	gut
	55	Fixateur externe	ja	gut	-	-	-
	58	Fixateur externe	ja	gut	K	26°	gut
	62	DCP	nein	-	T	115°	gut
	63	DCP	ja	gut	K	57°	gut
	66	DCP	nein	-	T	153°	gut
	69	DCP	ja	gut	-	-	-
	77	NCP	nein	-	T	59°	gut
	81	NCP	nein	-	T	117°	gut
	82	NCP	nein	-	T	97°	gut
	83	NCP	nein	-	T	61°	gut

* = Zugschrauben nicht entfernt; ** = Zugschrauben und abgebrochene Schrauben

nicht entfernt; *** = Refraktur nach Implantatentfernung;

° = Wochen nach Implantatentfernung; °° = Wochen *post operationem*

Tab. V: Osteosynthese-Technik, Implantatentfernung, funktionelle Kurz-/Langzeitergebnisse bei 84 Frakturen

Gewichtsklasse	Nr.	Osteosynthese	Implantat entfernt?	Funktionelles Therapieergebnis Kurzzeit	Funktionelles Therapieergebnis		
					Telefonat (T)/ Kontrolle (K)	Zeitpunkt (Wochen)	Ergebnis
> 15 - 30 kg	3	NCP	ja*	gut	-	-	-
	5	NCP	nein	-	T	22°	gut
	10	NCP	ja	befriedigend	T	8°	gut
	13	NCP	nein	-	T	180°	gut
	20	NCP	ja	gut	T	68°	gut
	23	NCP	ja	gut	T	211°	gut
	24	NCP	ja	unbefriedigend	T	197°	unbefriedigend
	25	Fixateur externe	ja, HTA	-	T	99°	gut
	28	NCP	ja	gut	-	-	-
	35	NCP	ja, HTA	-	T	92°	gut
	36	NCP	ja	gut	T	66°	gut
	44	NCP	ja, HTA	-	T	229°	gut
	46	NCP	ja	gut	T	116°	gut
	51	DCP	ja	gut	-	-	-
	52	NCP	ja	gut	T	190°	gut
	68	NCP	ja	gut	-	-	-
	71	NCP	ja	gut	-	-	-
	74	NCP	ja**	gut	K	13°	gut
	78	NCP	ja	gut	-	-	-
	79	NCP	ja	gut	-	-	-
80	NCP	nein	-	T	150°	gut	
88	NCP	nein	-	T	48°	gut	
89	NCP	nein	-	T	13°	gut	
> 30 kg	9	NCP	ja	gut	T	47°	gut
	18	NCP	nein	-	T	58°	gut
	45	NCP	ja	gut	T	179°	gut
	47	NCP	ja	gut	-	-	-
	49	Fixateur externe	ja	gut	K	39°	gut
	50	NCP	ja*	gut	T	151°	gut
	59	Fixateur externe	ja	unbefriedigend	T	69°	gut
	70	NCP	ja	gut	-	-	-
	72	NCP	ja	gut	-	-	-
	73	NCP	ja	gut	-	-	-
	75	NCP	ja	gut	T	149°	gut
	84	NCP	nein	-	T	77°	gut
	87	NCP	nein	-	T	53°	gut
	90	NCP	nein	-	T	27°	befriedigend
	91	NCP	nein	-	T	30°	gut

* = Zugschrauben nicht entfernt; ** = Zugschrauben und abgebrochene Schrauben

nicht entfernt; *** = Refraktur nach Implantatentfernung;

° = Wochen nach Implantatentfernung; °° = Wochen *post operationem*

9.2 Bewertungsschema funktionelles Behandlungsergebnis

Besitzer:

- Sind Kontrolluntersuchungen und/oder die Implantatentfernung beim Haustierarzt erfolgt?
- Wie gut ist die Belastung der operierten Gliedmaße? Lahmt das Tier?

Funktionelles Behandlungsergebnis	Besitzerangaben zur Gliedmaßenfunktion
gut	lahmheitsfrei auch unter Belastung
befriedigend	zeitweilige Entlastung; geringgradig lahm, z. B. nach starker Aktivität oder längeren Ruhephasen
unbefriedigend	kaum oder keine Belastung; hochgradig lahm

Klinische Untersuchung (aus Patientenakte entnommen):

Funktionelles Behandlungsergebnis	Gliedmaßenfunktion und Lahmheitsgrade (BRUNNBERG et al. 2014)	
	gut	Grad 0
befriedigend	Grad I	kaum gestört, ggr. - undeutlich geringgradig
	Grad II	gestört, aber stetig belastet - deutlich geringgradig
unbefriedigend	Grad III	gestört, nicht stetig belastet, mgr. - mittelgradig
	Grad IV	gestört, keine Belastung, hgr. - hochgradig

DANKSAGUNG

Herrn Prof. Dr. Leo Brunberg danke ich herzlich für die Überlassung des Themas, fachliche Betreuung und intensive, kritische Durchsicht dieser Arbeit sowie die notwendige Geduld mit mir.

Ich danke allen Kolleginnen und Kollegen der Klinik für kleine Haustiere der FU Berlin für ihre Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit und während meiner Zeit in der Klinik.

Mein besonderer Dank gilt Tanja, Kali, Mathias, George, Isa, Christine, Jördis, Anna, Domi, Nette und Laura (WbiK!) für ihre wertvolle Hilfe, konstruktive Kritik und ihren beharrlichen Beistand.

Meinen Eltern danke ich herzlich für ihre Unterstützung während des gesamten Studiums und der Anfertigung der Dissertation.

SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Ich versichere, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Berlin, den 10.03.2021

Kerstin Rösch



9 783967 291018

mbvberlin mensch und buch verlag

49,90 Euro | ISBN: 978-3-96729-101-8