

Klinik für Vögel
Ludwig-Maximilians-Universität München
- Arbeitsbereich Osteosynthese -

**Frakturversorgung der Beckengliedmaße beim Vogel
mittels Kombinations-Osteosynthese
mit Fixateur externe und integriertem Marknagel
(External Skeletal Fixator Intramedullary-Pin „tie-in“)**

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines

DOCTOR MEDICINAE VETERINARIAE

von
MAREN MEINERS
aus Bremen

München 2007

**Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Erwin Peter Märtlbauer
Referent: Univ.-Prof. Dr. Rüdiger Korbel
Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Ulrike Matis

Tag der Promotion: 20. Juli 2007

Aus der
Klinik für Vögel
der Ludwig-Maximilians-Universität München
(Leiter: Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. R. Korbel)

angefertigt unter Leitung von
Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. R. Korbel

**Frakturversorgung der Beckengliedmaße beim Vogel
mittels Kombinations-Osteosynthese
mit Fixateur externe und integriertem Marknagel
(External Skeletal Fixator Intramedullary-Pin „tie-in“)**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der tierärztlichen Fakultät
der Ludwig - Maximilians - Universität München

vorgelegt von
MAREN MEINERS
aus
Bremen

München 2007

MEINEN ELTERN
UND
MEINER OMA

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	LITERATUR	2
2.1	Inzidenz und Häufigkeit von Frakturen bei Vögeln und deren Ätiologie.....	2
2.2	Anatomische Grundlagen.....	5
2.2.1	Allgemeines zur Anatomie des knöchernen Skeletts des Vogels.....	5
2.2.2	Bewegungsapparat der Beckengliedmaße.....	6
2.2.2.1	Knochen der Beckengliedmaße des Vogels.....	6
2.2.2.2	Knochenverbindungen und Gelenke der Beckengliedmaße des Vogels.....	8
2.2.2.2.1	Kniegelenk (<i>Articulatio genus</i>).....	8
2.2.2.2.2	Verbindungen zwischen Tibiotarsus und Fibula, <i>Ligamenta cruris</i>	8
2.2.2.2.3	Intertarsalgelenk (<i>Articulatio intertarsalis</i>).....	8
2.2.2.3	Muskulatur der Beckengliedmaße des Vogels.....	9
2.2.2.3.1	Muskulatur des Oberschenkels sowie Nerven und Gefäße.....	10
2.2.2.3.2	Muskulatur des Unterschenkels sowie Nerven und Gefäße.....	13
2.2.2.4	Blutgefäße der Beckengliedmaße des Vogels.....	16
2.2.2.4.1	Arterielle Versorgung der Beckengliedmaße des Vogels.....	16
2.2.2.4.2	Venöse Versorgung der Beckengliedmaße des Vogels.....	17
2.2.2.5	Innervation der Beckengliedmaße des Vogels.....	18
2.2.2.6	Die Funktionen der Beckengliedmaße: Stehen und Laufen.....	19
2.3	Knochenbau.....	20
2.3.1	Bau eines reifen Knochens.....	20
2.3.2	Knochengewebstypen.....	21
2.3.2.1	Spezialform Medullärer Knochen.....	21
2.4	Knochenbildung (<i>Osteogenesis</i>).....	22
2.5	Knochenstoffwechsel und Knochenstoffwechselstörungen.....	23
2.5.1	Physiologie des Knochenstoffwechsels.....	23
2.5.2	Knochenstoffwechselstörungen.....	24

II INHALTSVERZEICHNIS

2.6	Knochenheilung und Störungen der Knochenheilung	28
2.7	Knochen- und Knorpeltumore	31
2.8	Klassifikation von Frakturen der Beckengliedmaße	32
2.8.1	Frakturen des Femurs	33
2.8.1.1	31 A - Frakturen der proximalen Trochanterregion	33
2.8.1.2	31 B - Einfache Femurhalsfrakturen, proximales Knochenende.....	33
2.8.1.3	31 C - Gesplitterte Femurkopf- oder -halsfrakturen, proximales Knochenende	33
2.8.1.4	32 A - Einfache oder unvollständige Frakturen der Diaphyse	34
2.8.1.5	32 B - Diaphysales Fragment	34
2.8.1.6	32 C - Vollständige Fraktur der Diaphyse	34
2.8.1.7	33 A - Extraartikuläre Frakturen, distales Knochenende	35
2.8.1.8	33 B - Partiell artikuläre Frakturen, distales Knochenende.....	35
2.1.8.9	33 C - Vollständig artikuläre Frakturen, distales Knochenende	35
2.8.2	Frakturen des Tibiotarsus und der Fibula	36
2.8.2.1	41 A - Extraartikuläre Frakturen, proximales Knochenende	36
2.8.2.2	41 B - Partiell artikuläre Frakturen, proximales Knochenende	36
2.8.2.3	41 C - Vollständig artikuläre Frakturen, proximales Knochenende.....	36
2.8.2.4	42 A - Fraktur der Diaphyse, einfach oder unvollständig.....	37
2.8.2.5	42 B - Fraktur der Diaphyse mit tibiotarsalem Fragment.....	37
2.8.2.6	42 C - Komplexe Frakturen der Diaphyse	37
2.8.2.7	43 A - Extraartikuläre Frakturen, distales Knochenende	38
2.8.2.8	43 B - Partiell artikuläre Frakturen, distales Knochenende.....	38
2.8.2.9	43 C - Vollständig artikuläre Frakturen, distales Knochenende	38
2.8.3	Frakturen des Tarsometatarsus.....	39
2.8.3.1	61 A - Einfache, extraartikuläre Frakturen, proximales Knochenende.....	39
2.8.3.2	61 B - Partiell artikuläre Frakturen, proximales Knochenende	39
2.8.3.3	61 C - Vollständig artikuläre Frakturen, proximales Knochenende.....	39
2.8.3.4	62 A - Einfache oder unvollständige Frakturen der Diaphyse	39
2.8.3.5	62 B - Fragmentäre Frakturen der Diaphyse.....	40
2.8.3.6	62 C - Komplexe Frakturen der Diaphyse	40
2.8.3.7	63 A - Extraartikuläre Frakturen, distales Knochenende	40
2.8.3.8	63 B - Partiell artikuläre Frakturen, distales Knochenende.....	41
2.8.3.9	63 C - Vollständig artikuläre Frakturen, distales Knochenende	41

2.9	Konservative Frakturversorgung.....	41
2.9.1	Konservative Frakturversorgung des Femurs	44
2.9.2	Konservative Frakturversorgung des Tibiotarsus.....	45
2.9.3	Konservative Frakturversorgung des Tarsometatarsus.....	47
2.10	Chirurgische Knochenzugänge.....	47
2.10.1	Femur.....	47
2.10.2	Tibiotarsus.....	48
2.10.3	Tarsometatarsus	48
2.11	Grundlagen der Osteosynthese.....	48
2.12	Interne Fixation.....	50
2.12.1	Plattenosteosynthese	53
2.12.1.1	Auswahl der Platte.....	54
2.12.1.1.1	Einteilung der verschiedenen Platten.....	54
2.12.1.1.2	Funktionelle Einteilung der verschiedenen Platten.....	55
2.12.1.1.3	Postoperative Behandlung.....	56
2.12.1.1.4	Entnahme.....	57
2.12.1.1.5	Maxillofaziale Miniplatte.....	58
2.12.2	Zerklagen	59
2.12.2.1	Knotentechnik.....	60
2.12.2.2	Versorgung von Frakturen an Knochenenden	60
2.12.2.3	Zuggurtung.....	61
2.12.2.4	Zerklage-Techniken.....	61
2.12.2.5	Komplikationen.....	62
2.12.3	Marknagelung (Intramedullärer-Pin)	62
2.12.3.1	Prinzipien der Marknagelung.....	64
2.12.3.2	Equipment.....	64
2.12.3.3	Applikationstechnik.....	65
2.12.3.4	Entnahme.....	65
2.12.3.5	Komplikationen.....	66
2.12.4	Intramedulläres Polymethylmethacrylat (PMMA)	66
2.12.4.1	„Shuttle-Pin“-Technik und Kombination mit Polymethylmethacrylat (PMMA) und intramedullären Pins.....	68
2.12.5	Cross- und Rush-Pinning.....	71
2.12.5.1	Cross-Pin-Technik.....	71

IV INHALTSVERZEICHNIS

2.12.5.2	Rush-Pin-Technik.....	72
2.12.5.3	Postoperatives Management.....	72
2.12.6	Polydioxanon-Pins.....	72
2.12.7	Verriegelungsnagelung.....	73
2.13	Externe Fixation	73
2.13.1	Indikationen für die Anwendung eines Fixateur externe.....	74
2.13.2	Aufbau eines Fixateur externe.....	76
2.13.2.1	Transkortikale Pins (ESF-Pins).....	76
2.13.2.2	Verbindungsschienen	78
2.13.2.2.1.	Kirschner-Ehmer-Verbindungsschiene	78
2.13.2.2.2	F.E.S.S.A. (Fixateur Externe du Service de Santé des Armées).....	79
2.13.2.2.3	Manuflex®-System	79
2.13.2.2.4	Optimierter Fixateur externe	80
2.13.2.3	Biphasische Fixateure	81
2.13.3	Unterschiedliche Typen des Fixateur externe	83
2.13.3.1	Fixateur externe Typ I (ESF Typ I).....	83
2.13.3.2	Fixateur externe Typ II (ESF Typ II).....	84
2.13.3.3	Fixateur externe Typ III (ESF Typ III).....	85
2.13.4	Komplikationen bei der Anwendung eines Fixateur externe.....	86
2.14	Kombinationen interner und externer Fixationstechniken.....	87
2.14.1	ESF IM-Pin „tie-in“ (Hybridfixateur).....	87
2.14.2	Kombination aus „Shuttle-Pin“ und Fixateur externe.....	88
2.14.3	Doyle-Technik	89
2.15	Grundzüge der postoperativen Nachsorge	91
2.15.1	Wundversorgung	91
2.15.2	Medikamentelle Therapie	91
2.15.3	Physiotherapie.....	92
2.15.4	Aufstallung während des stationären Aufenthaltes bzw. der Heilungsphase....	94
2.16	Ab- bzw. Entnahme der Implantate.....	94
2.17	Posttraumatische Osteomyelitis - vergleichend	95
2.18	Komplikation Sohlenballengeschwür	98

2.18.1	„Polypropylen-Schuhe“	99
2.18.2	Ballverband (ball-bandage).....	100
2.19	Wiederauswilderung von Greifvögeln	100
2.20	Frakturversorgung bei Reptilien - vergleichend.....	101
3	MATERIAL UND METHODIK	104
3.1	Material- und Instrumentenliste.....	104
3.1.1	Instrumente für die Präparation der Beckengliedmaßen	104
3.1.2	Instrumente und Material für das Setzen eines ESF IM-Pin „tie-ins“	105
3.1.3	Material zur Herstellung einer Verbindungsschiene	107
3.1.4	Material für die Gefäßplastination	108
3.1.5	Material für die Anfertigung der Silikon- und Scheibenplastinate	109
3.2	Frakturversorgung der Beckengliedmaße mittels ESF IM-Pin „tie-in“.....	110
3.2.1	Gefäßplastination	110
3.2.2.	Chronologische Darstellung der Frakturversorgung der langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße mittels ESF IM-Pin „tie-in“.....	113
3.2.2.1	Femur.....	113
3.2.2.1.1	Chirurgischer Knochenzugang zum Femur.....	113
3.2.2.1.2	Grundregeln für die Applikation von intramedullären und transkortikalen Pins	114
3.2.2.1.3	Frakturversorgung des Femurs mittels ESF IM-Pin „tie-in“	116
3.2.2.1.4	Anfertigen und Anbringen der externen Verbindungsschiene	122
3.2.2.1.5	Fertigstellung der Schiene und Versorgung der Wunde.....	123
3.2.2.2	Tibiotarsus.....	124
3.2.2.2.1	Chirurgischer Knochenzugang zum Tibiotarsus.....	124
3.2.2.2.2	Frakturversorgung des Tibiotarsus mittels ESF IM-Pin „tie-in“	125
3.2.2.3	Tarsometatarsus	131
3.2.2.3.1	Chirurgischer Knochenzugang zum Tarsometatarsus	131
3.2.2.3.2	Frakturversorgung des Tarsometatarsus mittels Fixateur externe Typ II.....	132
3.3	Maßstabsgetreue Darstellung der chirurgischen Knochenzugänge sowie von ESF IM-Pin „tie-ins“ anhand von Silikonplastinaten.....	137
3.3.1	Silikonplastination.....	137

3.4	Darstellung von Risikozonen bei der Insertion von transkortikalen Pins anhand von Scheibenplastinaten.....	138
3.4.1	Sekundäre Scheibenplastination (Blockplastination).....	138
3.5	Darstellung des ESF IM-Pin „tie-in“ am Knochenmodell	141
3.5.1	Präparation der Knochen.....	141
3.5.1.1	Abfleischen.....	141
3.5.1.2	Wässern	142
3.5.1.3	Trocknen	142
3.5.1.4	Speckkäfer	143
3.5.1.5	Biologie des Speckkäfers	145
3.5.1.6	Entfetten.....	146
3.5.1.7	Bleichen	146
3.5.1.8	Entfernung von Gewebsresten	146
4	ERGEBNISSE	147
4.1.	Chronologische Darstellung der Frakturversorgung der langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße mittels ESF IM-Pin „tie-in“.....	147
4.1.1	Chronologische Darstellung der Frakturversorgung des linken Femurs eines Mäusebussards (<i>Buteo buteo</i>) mittels ESF IM-Pin „tie-in“.....	147
4.1.2	Chronologische Darstellung der Frakturversorgung des linken Tibiotarsus eines Mäusebussards (<i>Buteo buteo</i>) mittels ESF IM-Pin „tie-in“	150
4.1.3	Chronologische Darstellung der Frakturversorgung des rechten Tarsometatarsus eines Mäusebussards (<i>Buteo buteo</i>) mittels Fixateur externe Typ II.....	153
4.2	Silikonplastinate	154
4.3	Scheibenplastinate	155
4.4	Knochenmodelle.....	155
4.4.1	Chronologische Darstellung der Frakturversorgung der langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße mittels ESF IM-Pin „tie-in“ am Beispiel des Femurs.....	155
4.4.1.1	Schritt 1 - Setzen des IM-Pins	156
4.4.1.2	Schritt 2 - Setzen des distalen ESF-Pins	157

4.4.1.3	Schritt 3 - Setzen des proximalen ESF-Pins	158
4.4.1.4	Schritt 4 - Biegen des IM-Pins und Aufstecken des Schlauches für die Verbindungsschiene	159
4.4.1.5	Schritt 5 - Anbringen der Verbindungsschiene.....	160
4.4.1.6	Schritt 6 - Anlegen eines Verbandes um die Verbindungsschiene	161
4.4.2	Darstellung des ESF IM-Pin „tie-ins“ am Knochenmodell.....	162
4.4.2.1	Darstellung des ESF IM-Pin „tie-ins“ an den Knochen der Becken- gliedmaße eines Kongo Graupapageien (<i>Psittacus erithacus</i>).....	162
4.4.2.2	Darstellung des ESF IM-Pin „tie-ins“ an den Knochen der Beckengliedmaße eines Mäusebussards (<i>Buteo buteo</i>)	163
4.4.3	Häufigkeit von Frakturen und deren Versorgung im Jahre 2006 in der Klinik für Vögel, Oberschleißheim bei München.....	165
5	DISKUSSION	175
5.1	Allgemeines.....	175
5.2	Bedeutung der Funktion der Beckengliedmaße für den Vogel	175
5.3	Auswahl der Vogelspezies.....	177
5.4	Möglichkeiten der Frakturversorgung.....	177
5.4.1	Interne Fixation.....	178
5.4.2	Externe Fixation	179
5.4.3	Kombination aus interner und externer Fixation.....	180
5.5	Chronologische Darstellung der Frakturversorgung der langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße mittels ESF IM-Pin „tie-in“.....	181
5.6	Silikonplastinate	181
5.7	Scheibenplastinate	182
5.8	Knochenmodelle.....	183
5.9	Häufigkeit von Frakturen und deren Versorgung im Jahr 2006 in der Klinik für Vögel, Oberschleißheim bei München.....	183

6	ZUSAMMENFASSUNG	186
7	SUMMARY	187
8	RÉSUMÉ	188
9	LITERATURVERZEICHNIS	189
10	DANKSAGUNG	197
11	LEBENS LAUF	198

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	= Abbildung
bzw.	= beziehungsweise
ESF	= External SKEletal Fixator (Fixateur Externe)
ESF-Pin	= External Skeletal Fixation-Pin, Transkortikalpin
ESF-IM-Pin „tie-in“	= Hybridfixateur, Kombination aus IM-Pin und Fixateur externe
evtl.	= eventuell
ggf.	= gegebenenfalls
I. E.	= Internationale Einheit
i. m.	= intramuskulär
IM-Pin	= Marknagel, intramedullärer Pin
IM-PM	= intramedulläres Polymethylmethacrylat
i. v.	= intravenös
kg	= Kilogramm
KM	= Körpermasse
Lig.	= Ligamentum
M.	= Musculus, Muskel
Mm.	= Musculi, Muskeln
MEK	= Methylethylketon
N.	= Nervus, Nerv
Nn.	= Nervi, Nerven
o. g.	= oben genannte/r
OMS	= Osteomyelosklerose
PMMA	= Polymethylmethacrylat
PO	= per Os
p. o.	= post operationem
PTH	= Parathormon
s. c.	= subkutan
s. o.	= siehe oben
s. u.	= siehe unten
UV	= ultraviolett

1 EINLEITUNG

Den Beckengliedmaßen des Vogels kommt je nach Spezies eine unterschiedliche Bedeutung zu. Bei den Ziervögeln dienen sie in erster Linie der Fortbewegung, aber auch zur „Hilfestellung“ bei der Nahrungsaufnahme. Bei Wildvögeln, insbesondere Greifvögeln, ist eine vollständige Funktion der Beckengliedmaßen für den erfolgreichen Beutefang lebenswichtig. Ein Funktionsverlust durch Frakturen oder eine Einschränkung der Funktion durch insuffiziente Reposition entsprechen nicht der erfolgreichen Rehabilitation, so daß eine sachgemäße Osteosynthese in Form eines External Skeletal Intramedullary-Pin „tie-in“ (ESF IM-Pin „tie-in“) in Abhängigkeit von Lebens- und Haltungsbedingungen essentiell ist.

In der Vogelmedizin konnte sich die Anwendung des ESF IM-Pin „tie-ins“ lange Zeit aufgrund von Schwierigkeiten in der Beschaffung von Materialien geeigneter Größe und Gewicht, teilweise nicht unerheblicher Kosten, sowie vogelspezifischer Probleme, z. B. bei der Anästhesie, nicht etablieren. Erst mit der Entwicklung kleiner und leichter und gleichzeitig preisgünstigerer Systeme gelang der Durchbruch. Als Kombination aus interner und externer Fixation erzielt der ESF IM-Pin „tie-in“, auch Hybridfixateur genannt, bei bestmöglicher Stabilität und Ruhigstellung überzeugende Ergebnisse bei der Frakturversorgung eines Vogelpatienten und schnelle und gute Heilungserfolge. Sie vereint die positiven Eigenschaften der internen und externen Fixation, reduziert Frakturkrankheiten, ist kostengünstig und hat ein weites Anwendungsspektrum. Die schrittweise Ab- bzw. Entnahme von Elementen dieser Konstruktion ermöglicht zudem eine frühzeitige Wiederherstellung der Gliedmaßenfunktion.

In der vorliegenden Studie soll, nach ausführlicher Gegenüberstellung verschiedener Methoden der Osteosynthese, die Anwendung des ESF IM-Pin „tie-ins“ anhand von für diese Studie angefertigten Zeichnungen detailliert beschrieben und der Operationsablauf von der Vorbereitung des Operationsfeldes bis zur fertigen Konstruktion fotografisch dokumentiert werden. Für diese Studie angefertigte Silikonplastinate von bemuskelten Beckengliedmaßen verschiedener Greifvögel sollen dem Betrachter anhand von zeichnerisch, fotografisch und schriftlich ausgeführten Details naturgetreu die chirurgischen Zugänge und die orthopädische Versorgung von Frakturen der Hintergliedmaße nachvollziehbar darstellen. Knochenmodelle und eine fotografisch festgehaltene chronologische Abfolge der Einzelschritte zeigen dem Betrachter die Positionierung des ESF IM-Pin „tie-ins“ am Knochen. Zur Darstellung der „Risikozone“ bei der Insertion der transkortikalen Pins werden Scheibenplastinate angefertigt, die dem Operateur als Orientierungshilfe für den Verlauf von Nerven und Gefäßen dienen können. Einen Überblick über die Häufigkeit von Frakturen bei Vögeln vermittelt eine Statistik des Jahres 2006 der Klinik für Vögel, Oberschleißheim bei München.

2 LITERATUR

Im Folgenden wird eine kurze Einführung in die allgemeine Anatomie der Hintergliedmaßen des Vogels, die Histologie des Knochenbaus und die Physiologie des Knochenstoffwechsels sowie die Knochenheilung und deren Störungen gegeben. Es folgt ein Klassifikationssystem von Frakturen nach REDIG, BROWN und GORDON (1996). Anschließend werden die einzelnen Methoden der Osteosynthese mit ihren internen und externen Fixationsmöglichkeiten beschrieben.

2.1 Inzidenz und Häufigkeit von Frakturen bei Vögeln und deren Ätiologie

Die Knochen der Vögel sind anfälliger für Frakturen als die der Säugetiere. Die Kortikales sind dünn und die Knochen dementsprechend zerbrechlich. Ferner ist ihr Gehalt an Kalzium sehr hoch (BENNETT 1997), was den Knochen spröde macht (siehe Kapitel 2.3.1). Hinzu kommt, daß einige Knochen aus Gründen der Gewichtsreduktion pneumatisiert sind, wodurch sie zum einen leichter brechen, zum anderen zum Splintern neigen und als Komplikation das Auftreten eines Emphysems bergen. Distale Gliedmaßenanteile sind wenig bemuskelt und nur von Sehnen und Haut bedeckt (BENNETT und KUZMA 1992), wodurch sie anfällig für Frakturen sind, da der Aufprall durch schützendes Gewebe nicht gemindert wird.

Frakturen beim Vogelpatienten sind aus den oben genannten Gründen oftmals kompliziert. In den meisten Fällen handelt es sich um Splitter- bzw. Trümmerbrüche, häufig mit Gelenksbeteiligung. Offene Frakturen werden vergleichsweise häufig beobachtet und gehen meistens mit nicht unerheblichen Weichteilschäden durch abgesplitterte Knochenfragmente einher. Durch die zum Teil starke Zugkraft der Muskulatur, z. B. am Femur, kommt es zur Dislokation von Knochenfragmenten, wodurch zusätzliche Weichteilschäden entstehen.

Ursachen von Knochenbrüchen sind, neben der anatomisch bedingten Prädestination des Vogelknochens für Frakturen, Traumata, ernährungsbedingte Defizite oder Imbalancen, Infektionen sowie metabolische Störungen (BLASS 1987).

Während bei Wildvögeln vor allem offene und gesplitterte Knochenbrüche zu verzeichnen sind, die auf starke Krafteinwirkungen, wie z. B. einen Aufprall bei einem Autounfall, zurückzuführen sind, handelt es sich bei Ziervögeln meist um einfache, geschlossene Frakturen (BENNETT 2000). Diese werden häufig durch Unfälle im Haushalt verursacht, wie z. B. Hängenbleiben an Gittern oder Gardinen, Kettchen von Glocken und Spielzeug, Getretenwerden oder dem Einklemmen in der Tür (WEDEL 2004).

Während Femurfrakturen infolge der Stabilität des Knochens und des Schutzes durch die Muskulatur selten auftreten (GYLSTORFF und GRIMM 1998), werden Frakturen des

Tibiotarsus und des Tarsometatarsus aufgrund der geringen Bemuskelung häufiger beobachtet. Letztere treten besonders bei Stelzvögeln auf, da deren Tarsometatarsus verglichen mit anderen Spezies relativ lang und dementsprechend verletzungsanfällig ist (GYLSTORFF und GRIMM 1998). Dahingegen ist der Tarsometatarsus der Psittaciden vergleichsweise kurz.

Die Ätiologie von Frakturen ist von der Haltung eines Vogels abhängig. Daher unterscheiden sich die Ursachen für Frakturen von Vögeln, die in menschlicher Obhut gehalten werden, von denen, die in freier Wildbahn leben.

Verletzungen von in menschlicher Obhut gehaltenen Ziervögeln sind oft auf das Verhalten des Besitzers, die Einrichtung der Unterkunft des Tieres, z. B. Käfig oder Voliere, sowie die Einrichtung der Wohnung zurückzuführen. Vögel mit Freiflug haben ein höheres Verletzungsrisiko als Vögel in ständiger Käfig- oder Volierenhaltung.

Häufig sind Verletzungen bei Ziervögeln auf die Unachtsamkeit des Menschen zurückzuführen. Am Boden sitzende Tiere sind besonders gefährdet, da sie leicht übersehen und getreten oder in Türen und Fenster eingeklemmt werden können. Auch Zugluft kann zum plötzlichen und unkontrollierten Zuschlagen von Fenstern und Türen führen. Unglücklich platzierte Einrichtungsgegenstände, wie z. B. Vasen oder Bücher, auf Schränken oder Kommoden können durch einen Stoß herunterfallen oder von freifliegenden Vögeln bzw. dem Besitzer selbst zu Fall gebracht werden und das Tier verletzen.

Ebenso können unsachgemäß platzierte Käfige, z. B. auf schmalen Fensterbänken oder zu kleinen Sockeln, durch „Ortswechsel“ des Vogels im oder auf dem Käfig aus dem Gleichgewicht geraten und umkippen oder herunterfallen, wodurch sowohl umherfliegende Tiere, als auch Tiere im Käfig verletzt werden können.

In Volieren können unsachgemäß befestigte Baumstämme oder größere Äste durch schwungvolles Anfliegen des Vogels umgerissen werden, wodurch sich dieser oder ein anderes Tier verletzen kann. Je nach Größe der Gittermaschen, kann ein Vogel, z. B. durch Erschrecken, daran hängenbleiben und sich dabei die Gliedmaße frakturieren.

Auch Artgenossen können durch Haltungsfehler Frakturen verursachen. Dieses ist insbesondere bei Kakadus zu beobachten, wenn sie geschlechtsreif werden. Aber auch Verletzungen durch andere Tiere, wie z. B. Hunde und Katzen, sind möglich. Die - zwar selten - aber immer noch umgangssprachlich anzutreffende „Kettenhaltung“ von Papageien birgt ebenfalls die Gefahr, daß sich das Tier darin stranguliert, mit der Kette Gegenstände zu Fall bringt oder durch abrupte Bewegungen, z. B. Erschrecken, Verletzungen hervorgerufen werden.

Frakturen falknerisch gehaltener Vögel ereignen sich in erster Linie bei Flugübungen. Ein besonderes Risiko bergen Flugdrahtanlagen, welche zu lang oder ohne Bremsen ausgestattet sind. Durch schwingvolles Anfliegen, Strangulationen oder schlagartiges Abbremsen des Vogels im Flug bei Erreichen der vollen Länge der Leine können Frakturen im Bereich des an den Tarsometatarsen befestigten Geschühs verursacht werden. Auch der sogenannte „Drachenflug“ zur Konditionierung von Falken kann bei Erreichen der vollständigen Leinenlänge durch plötzliches Abbremsen des fliegenden Tieres zu Frakturen an den distalen Gliedmaßeanteilen bzw. durch Stürze zu multiplen Frakturen führen (KOHLS et al. 2006).

Vögel, die zur Jagd genutzt werden, können versehentlich durch Schüsse verletzt oder von Hunden angegriffen werden, sofern sie sich am Boden aufhalten. Attacken durch zeitgleich im Flugtraining befindliche Vögel, aufgescheuchte Wildvögel oder Partnervögel in der Voliere können ebenfalls zu Frakturen führen. Ferner können Verletzungen durch unvorsichtiges Einfangen und Transporte - insbesondere bei nervösen Tieren - verursacht oder das Frakturrisiko durch eine fehlerhafte Ernährung während der Aufzucht von Jungvögeln begünstigt werden.

Wie bei Ziervögeln stellen auch hier unsachgemäß befestigte Gegenstände und Hölzer in Volieren ein Verletzungsrisiko dar. Auch Pflöcke, die einen ungünstigen Abstand zueinander aufweisen, können den Vogel gefährden und Frakturen durch einen ungenügenden Bremsweg verursachen, sowie die Entstehung von Sohlenballengeschwüren begünstigen (HUNTER 2002). Dieses geschieht dann, wenn die Pflöcke zu weit auseinander stehen, um den Abstand via Sprung zu überwinden, für ein Anfliegen mit ausreichendem Bremsweg aber zu wenig Platz lassen, so daß der Vogel ungebremst auf den Pflock trifft. Besonders gefährdet sind Tiere, die sich nachts, z. B. durch eine Katze oder Feuerwerkskörper, erschrecken, und sich in Panik am Volierengitter verletzen (HUNTER 2002).

Frakturen bei Wildvögeln werden häufig direkt, z. B. Kollision mit Kfz, oder indirekt, z. B. Stromleitungen, durch den Menschen verursacht. So werden Verletzungen durch Kollisionen mit Fahrzeugen oder Schußverletzungen verhältnismäßig häufig diagnostiziert. Oftmals sind die Tiere, die mit Fahrzeugen kollidieren durch Krankheit oder Hunger geschwächt oder leiden an verminderter Sehkraft. Insbesondere im Winter sammeln sich die Tiere aufgrund der Nahrungsknappheit an viel befahrenen Straßen, wie Landstraßen und Autobahnen, um sich an Kadavern überfahrener Tiere zu laben. Unachtsamkeit und Hunger werden den Tieren dabei oft zum Verhängnis. Ausweichmanöver bei herannahenden Fahrzeugen erfolgen meist zu spät, so daß sie selbst Opfer des Straßenverkehrs werden. Doch Gefahr lauert auch denen, die sich scheinbar rechtzeitig von der Fahrbahn entfernt haben: Die vom Fahrzeug ausgehenden Turbulenzen ziehen das Tier zum Fahrzeug hin, worauf der Vogel gegen die Karosserie schlägt.

Junge, unerfahrene oder geschwächte Vögel, die sich am Boden aufhalten, können von anderen Tieren, z. B. Hunden oder Füchsen, erfaßt und verletzt werden. Ferner stellen in der freien Wildbahn Hochspannungsleitungen, an denen die Tiere hängen bleiben, oder morsche Äste, die bei Anflug des Vogels herabfallen können, Ursachen für Frakturen dar. Eine besondere Gefahr sind auch Strangulationen flugunfähiger Tiere in Gestrüpp, z. B. nach einer Flügelfraktur, da sich diese nicht zu befreien vermögen (HUNTER 2002). Nicht zuletzt bedeuten auch Flughäfen eine erhebliche Gefahr für Wildvögel.

Grundsätzlich sollte bei allen Vögeln, die eine Fraktur erlitten haben, eine Augenuntersuchung durchgeführt werden, da traumatische Verletzungen, z. B. durch einen Zusammenstoß mit einem Fahrzeug oder einen Schlag durch eine Tür, oftmals mit Ablösungen der Netzhaut, sowie Einblutungen ins Augeninnere und einer daraus resultierenden Blindheit einhergehen. Während dieses bei Ziervögeln weniger problematisch ist, ist die Prognose bei einem Wildvogel infaust, da dieser nicht mehr jagen kann. Ferner besitzt der Vogel einen knöchernen Skleralring, der ebenfalls frakturieren kann.

Eine Übersichtsröntgenaufnahme des Körpers schließt innere Blutungen und weitere Frakturen aus und sollte, wie eine röntgenologische Untersuchung des Schädels in zwei Ebenen, routinemäßig bei einem verunfallten Vogel vorgenommen werden. Zu berücksichtigen ist hierbei, daß nur exakt gelagerte Schädel Aufschluß über vermeintliche Frakturen geben. Bei Jungtiere ist zu untersuchen, ob die Ursache für Frakturen ggf. auf eine Fehlernährung zurückzuführen ist.

2.2 Anatomische Grundlagen

2.2.1 Allgemeines zur Anatomie des knöchernen Skeletts des Vogels

Das Skelett des Vogels ist verglichen mit dem des Säugers in seiner Bauweise sehr kompakt. Durch die Pneumatisierung der Knochen wird ohne Gewichtserhöhung eine Flächenvergrößerung ihrer Oberfläche erreicht. So ist das Brustbein stark ausgebildet und bietet der kräftigen Flugmuskulatur einen großflächigen Ansatz. Die zusätzlich angelegten, beim Säuger nicht vorkommenden Rabenschnabelbeine, dienen als kräftige Streben, die den starken Zug, der beim Fliegen auf das Brustbein wirkt, abfangen (KORBEL 2007).

Ein kompliziertes Luftsacksystem, das dem Vogel zum Atmen dient, reicht mit seinen Lufträumen bis in die Knochen hinein. Zu den pneumatisierten Knochen zählen außer Humerus einige Schädelknochen, die meisten zervikalen und thorakalen Wirbelknochen,

einige Rippen, Teile des Sternums, das Coracoid, der Beckenring und der Femur (TAYLOR et al. 1971 in KORBEL 2007).

Ein durch Knochenverschmelzungen hochstabiles Skelett ist Voraussetzung für das Fliegen. Durch derartige Verschmelzungen ist die Anzahl der Knochen des Vogelskeletts verringert, so daß der Vogelkörper verglichen mit dem des Säugers verkürzt ist. Die ersten zwei bis fünf Brustwirbel sind zum Notarium verwachsen, während die distalen Schwanzwirbel zu einem kleinen Knochen, dem Synsacrum, verschmolzen sind. Durch die Verschmelzungen werden Bänder und Muskeln eingespart, was der Gewichtsreduktion zugute kommt. Hand- und Fußwurzelknochen sind zum Teil verschmolzen, ganz verschwunden oder nur noch rudimentär vorhanden. Diese Abweichungen verringern das anteilige Skelettgewicht auf 4,5 % gegenüber 6 % bei einem Säugetier gleicher Gewichtsklasse (KORBEL 2007).

2.2.2 Bewegungsapparat der Beckengliedmaße des Vogels

2.2.2.1 Knochen der Beckengliedmaße des Vogels

Das knöcherne Skelett der Beckengliedmaße des Vogels besteht aus dem Oberschenkelbein (*Os femoris*), dem Schienbein (*Tibiotarsus*), dem Wadenbein (*Fibula*), dem Laufknochen (*Tarsometatarsus*), sowie den Zehenknochen (*Phalanges*). Anatomisch finden sich einige Unterschiede zu den Beckengliedmaßen des Säugetieres. So sind viele Knochen zur Gewichtsreduktion und aus Gründen der Kompaktheit und der Stabilität Verschmelzungsprodukte und nur dem Vogel eigen.

Der meist kurze und kräftig ausgebildete Femur (*Os femoris*) liegt dem Rumpf des Vogels eng an. Auffällig ist seine kranioventrale Biegung. An seinem proximalen Ende findet sich in Verlängerung des Femurhalses (*Collum femoris*) der Femurkopf (*Caput femoris*), der die Verbindung zum Becken darstellt sowie der *Trochanter femoris*, der als Ansatzfläche für die Oberschenkelmuskulatur dient. Am Übergang vom *Collum femoris* zum *Trochanter femoris* liegt die *Facies articularis antitrochanterica*, die mit dem *Antitrochanter* des *Os coxae* artikuliert und so zur Sicherung der Biegebeanspruchung des Femurs und zum Abfedern des Körpers beim Landen beiträgt (VOLLMERHAUS 1992). Am distalen Knochenende befindet sich zwischen der lateralen und der medialen Kondyle der *Sulcus patellaris*, die Gleitfläche der *Patella*. Bei der *Patella* handelt es sich um das Sesambein der *Mm. femorotibiales*. Sie ist von der Sehne des *M. ambiens* eingedellt, bei manchen Vogelarten sogar durchlöchert.

Der *Tibiotarsus* ist ein Verschmelzungsprodukt aus der Tibia und den proximalen Tarsalknochen und stellt eine Besonderheit des Vogelskeletts dar. Er trägt sowohl zur Kompaktheit und dadurch zur Stabilität als auch zur Gewichtsreduktion des Vogelskeletts bei und übernimmt die Tragefunktion im Bereich des Unterschenkels.

Das proximale Knochenende bildet mit seinen *Facies articularis mediales* und *lateralis* inkongruente Gelenke mit den lateralen und medialen Kondylen des Femurs. Die Gelenkflächen sind durch jeweils einen Meniskus komplettiert. Am distalen Ende des Knochens befindet sich der *Sulcus extensorius*, der von einer zierlichen Knochenbrücke (*Pons supratendineus*) überbrückt und so zum *Canalis extensorius* wird, durch den die Endsehnen der Zehenstrecker führen. Den distalen Abschluß des Knochens bildet die *Trochlea cartilaginosa tibialis*, auf der die *Cartilago tibialis* gleiten kann. Bei erwachsenen Tieren kann der *Cartilago tibialis* zum *Os sesamoideum intertarsale* verknöchern. Der *Tibiotarsus* bildet zusammen mit dem Femur und der Patella das Kniegelenk (*Genus articularis*), welches dem der Säugetiere entspricht (HATT 2003).

Die *Fibula* besteht aus einem Kopf (*Caput fibulae*), der mit dem *Tibiotarsus* artikuliert und einem schlanken Körper (*Corpus fibulae*), der spitz auf halber Höhe des *Tibiotarsus* in die *Spina fibulae* ausläuft. Sie hat keine gewichtstragende Funktion.

Der *Tarsometatarsus*, auch Laufknochen genannt, stellt ein Verschmelzungsprodukt aus den zentralen und distalen Tarsalknochen sowie den *Metatarsalknochen II - IV* dar und ist eine weitere Besonderheit des Vogelskeletts. Das *Os metatarsale I* stellt den einzigen selbständigen Fußwurzelknochen dar. Die Anlage des *Os metatarsale V* befindet sich in Rückbildung. Am proximalen Knochenende des Tarsometatarsus befinden sich seitlich prominente Stellen, die dem Bandansatz dienen. Auf der Kaudalseite des *Os Metatarsale III* erhebt sich als unregelmäßig geformter Knochenvorsprung der Hypotarsus, der aus längsgerichteten Knochenleisten besteht, von denen sich eine tierartlich unterschiedlich zum *Canalis hypotarsi* schließen kann, der zur Führung der Beugesehnen dient. Am distalen Ende sind einzelne Gelenkwalzen für die Zehen II - IV vorhanden (*Trochleae metatarsi II - IV*). Die mittlere und größte Gelenkwalze ragt am weitesten nach distal. Bei Vogelarten, deren vierte Zehe aufgrund der zygodaktin Fußung nach hinten gerichtet ist, wie z. B. Pici, Psittaci und Cuculidae, ist der *Trochlea metatarsi IV* eine *Trochlea accessoria* angefügt (VOLLMERHAUS 1992).

2.2.2.2 Knochenverbindungen und Gelenke der Beckengliedmaße des Vogels

2.2.2.2.1 Kniegelenk (*Articulatio genus*)

Das Kniegelenk ist ein zusammengesetztes Gelenk, in dem der Femur mit Tibiotarsus, Fibula und Patella artikuliert. Tibiotarsus und Fibula sind proximal gelenkig miteinander verbunden. Alle vier synovialen Gelenkräume stehen miteinander in Verbindung und werden von einer geräumigen Gelenkkapsel umgeben: Dabei artikuliert die mediale Kondyle des Femurs mit dem medialen Meniskus und dem Tibiotarsus, die laterale Kondyle des Femurs mit dem lateralen Meniskus und der Fibula, der Sulcus intercondylaris des Femurs mit der Patella und der proximale Tibiotarsus mit dem Kopf der Fibula (BAUMEL und RAIKOW 1993). Aufgrund der Inkongruenz im Gelenk sind zwischen den Kondylen des Femurs und den Unterschenkelknochen zwei Menisken eingefügt. Geführt wird das Kniegelenk durch ein mediales und ein laterales Kollateralband (*Ligamentum collaterale mediale* und *laterale*), gehalten wird es durch zwei gekreuzte Bänder (*Ligamentum cruciatum craniale* und *caudale*). Das *Ligamentum patellae*, welches die Endsehnen der *Mm. femorotibiales* darstellt, verläuft vom distalen Rand der Patella zur *Crista patellaris* des Tibiotarsus und bildet einen Teil der Gelenkkapsel. Die Hauptbewegungen des Gelenkes sind Beugen und Strecken.

2.2.2.2.2 Verbindungen zwischen Tibiotarsus und Fibula, *Ligamenta cruris*

Neben einem echten Gelenk im proximalen Teil (*Articulatio tibiofibularis*), kommt es im Bereich der Knochenkörper zu einer *Syndesmosis tibiofibularis*. Ein ausgeprägter Bandapparat bildet auf der ganzen Länge die Verbindung der beiden Knochen.

2.2.2.2.3 Intertarsalgelenk (*Articulatio intertarsalis*)

Die Bezeichnung des Gelenkes als Intertarsalgelenk leitet sich davon ab, daß die Tarsalknochen im Sprunggelenk bei adulten Vögeln nicht eigenständig sind und die Kondylen des Tibiotarsus deswegen mit den proximalen Gelenkflächen des Tarsometatarsus artikulieren. Aufgrund der Inkongruenz des Gelenkes sind Menisken ausgebildet, von denen der mediale bei Hausvögeln manchmal fehlt. Bei Putern und Papageien ist er jedoch gut ausgebildet (VOLLMERHAUS 1992). Das Gelenk läßt wegen der kräftigen Kollateralbänder nur Beuge- und Streckbewegungen zu. Der Beugewinkel des Gelenks beträgt weniger als

180° und ist kranial gelegen (VOLLMERHAUS 1992). Schiebebewegungen des Gelenkes können zusätzlich durch das *Ligamentum tibiometatarsale intercondylare*, welches zwischen Tibiotarsus und Tarsometatarsus verläuft, eingeschränkt werden (MAIERL, KÖNIG und LIEBICH 2001).

Die Gelenkhöhle wird von einer weiten Kapsel umgeben, in deren kaudale Wand die starke *Cartilago tibialis* eingebaut ist, die auf der *Trochlea* bzw. im *Sulcus cartilagis tibialis* gleitet. Ein lateraler Teil des Fibrocartilago kann zum *Os sesamoideum intertarsale* verknöchern. Über und durch die *Cartilago tibialis*, welche an den Seiten durch ein *Retinaculum mediale* und *laterale* am Tibiotarsus befestigt ist, verlaufen über die Streckseite des Gelenkes die Sehne des *M. gastrocnemius* und zahlreiche Sehnen der Zehenbeuger. Halt bekommen sie zusätzlich durch das *Retinaculum flexorum*.

Synonym wird das Intertarsalgelenk auch als *Articulatio tibiotarso-tarsometatarsalis* oder *Articulatio mesotarsalis* bezeichnet (BAUMEL und RAIKOW 1993).

2.2.2.3 Muskulatur der Beckengliedmaße des Vogels

Am Becken entspringen große Muskelmassen, die als Extremitätenmuskeln sowohl das Hüftgelenk als auch das Kniegelenk bewegen.

Die Muskeln der Beckengliedmaße liegen, wie beim Säuger, möglichst nah am Körperschwerpunkt. Deshalb sind die distalen Muskeln, sowie die Beweger der Zehen etwa in Höhe des distalen Abschnitts des Tibiotarsus zunächst rein sehnig ausgebildet, während sich weiter distal nur noch kleine Einzelmuskeln anfinden. Die Sehnen sind entsprechend lang und verlaufen dicht am Skelett des Unterschenkels bzw. Fußes. Gehalten werden sie durch bindegewebige *Retinacula*, die z. T. sehr stabile Formen ausbilden, wie z. B. die *Pons supratendineus* kraniodistal am Tibiotarsus durch Verknöcherung des Bindegewebes.

Viele Muskeln haben durch ihren Verlauf über mehrere Gelenke auch mehrere Funktionen bei der Bewegung der Beckengliedmaße. Durch die Sagittalstellung der Ständer setzen die Strecker des Hüftgelenks und die Beuger des Kniegelenks kaudal am Femur an. Die Beuger des Hüftgelenkes und die Strecker des Kniegelenkes fügen sich kranial an den Knochen. Am kranialen Unterschenkel finden sich die Beuger des Intertarsalgelenkes und die Strecker der Zehengelenke, auf der kaudalen Seite die Strecker des Intertarsalgelenkes und die Beuger der Zehen.

Eine Besonderheit tritt bei einigen Hühnerarten auf, bei denen die Sehnen im Bereich des Unterschenkels mineralisieren und ossifizieren und so die *Tendines ossificantes* bilden – verknöcherte Sehnen, die als Kraftüberträger dienen.

2.2.2.3.1 Muskulatur des Oberschenkels sowie Nerven und Gefäße

Der *M. iliotibialis cranialis* (a) entspringt an der kraniodorsalen Fläche des Os ilium und setzt an der kraniomedialen Patella an. Einige Fasern inserieren an der Crista tibialis cranialis. Als Vorführer der Gliedmaße streckt er das Knie und beugt die Hüfte.

Der *M. iliotibialis lateralis* (b) ist zum Teil mit dem darunterliegenden *M. femorotibialis externus* verwachsen, so auch bei Falken (*Falconiformes*) und Eulen (OROSZ 1992). Er hat seinen Ursprung am Kamm des Os ilium und inseriert lateral an der Crista tibialis. Über eine fasziale Befestigung wird er zum Teil der Patella-Sehne. Sein proximaler Teil beugt die Hüfte und streckt das Knie, während sein distaler Abschnitt die Hüfte streckt und das Knie beugt.

Der *M. iliofibularis* (c) streckt die Hüfte und beugt das Knie. Synonym wird er als *M. biceps femoralis* bezeichnet (VAN DEN BERGE und ZWEERS 1993). Er entspringt dorsolateral am Os ilium und ist bei den *Accipitridae*, den *Strigiformes* und den *Psittaciformes* prominent ausgebildet (OROZS 1992). Am distalen Ende des Femurs wird er durch ein Retinaculum gehalten, durch das er gemeinsam mit dem *N. fibularis* und der *A. poplitea* verläuft, bevor er an der kaudalen Fibula inseriert.

Der *M. puboischiofemoralis, pars lateralis* (d) entspringt ventrolateral am Os ischium und Os pubis und liegt unter dem *M. pubo-ischio-femoralis, pars medialis* (dd). Er inseriert unter Einschluß der medialen Kondyle an der kaudalen Fläche des Femurs. Er dient als Strecker der Hüfte und Adduktor des Femurs. Die *Pars medialis* des *M. pubo-ischio-femoralis* inseriert am kaudalen Femur, seiner medialen Kondyle und der Fossa poplitea. *M. pubo-ischio-femoralis, pars lateralis*.

Der *M. flexor cruris medialis* (e) entspringt am ventralen Os ilium und inseriert gemeinsam mit dem *M. flexor cruris lateralis* proximal und medial am Tibiotarsus. Er beugt das Knie und streckt die Hüfte. Außerdem bewirkt er die Adduktion der Gliedmaße. Der *M. flexor cruris lateralis* (ee) entspringt am Os ilium inseriert mit seiner Hauptportion am medialen Kopf des *M. gastrocnemius*. Der Muskel fehlt Falken (*Falconiformes*) und Eulen (*Strigiformes*). Er beugt das Knie und streckt die Hüfte.

N. fibularis (f)

Retinaculum des *M. iliofibularis* (g)

V. poplitea (h)

A. suralis (i)

N. tibialis (j)

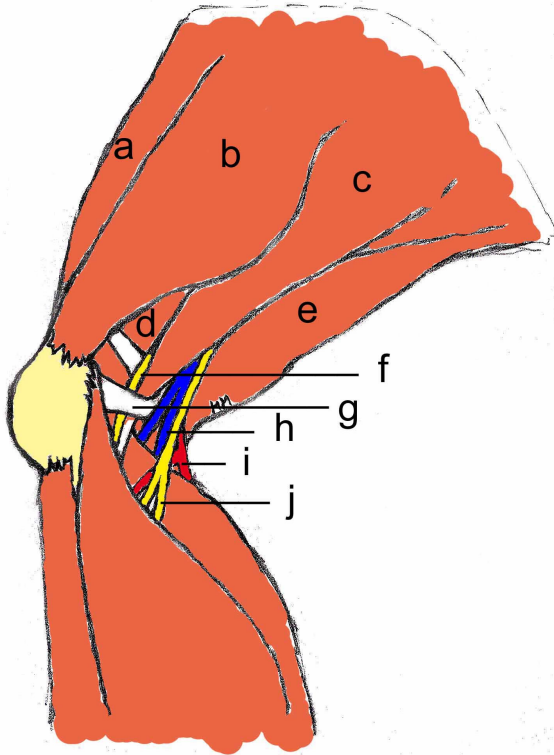


Abb. 1: Linker Femur, laterale Ansicht I.

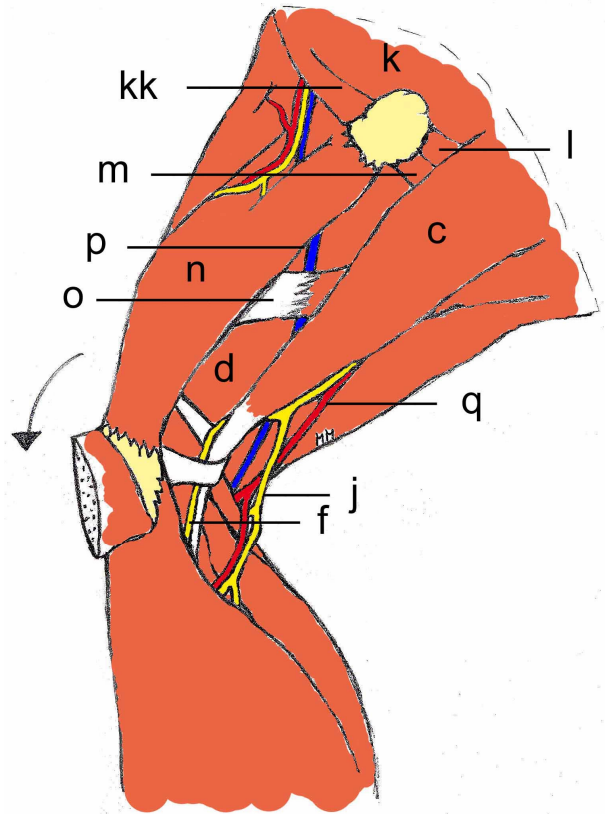


Abb. 2: Linker Femur, laterale Ansicht II.

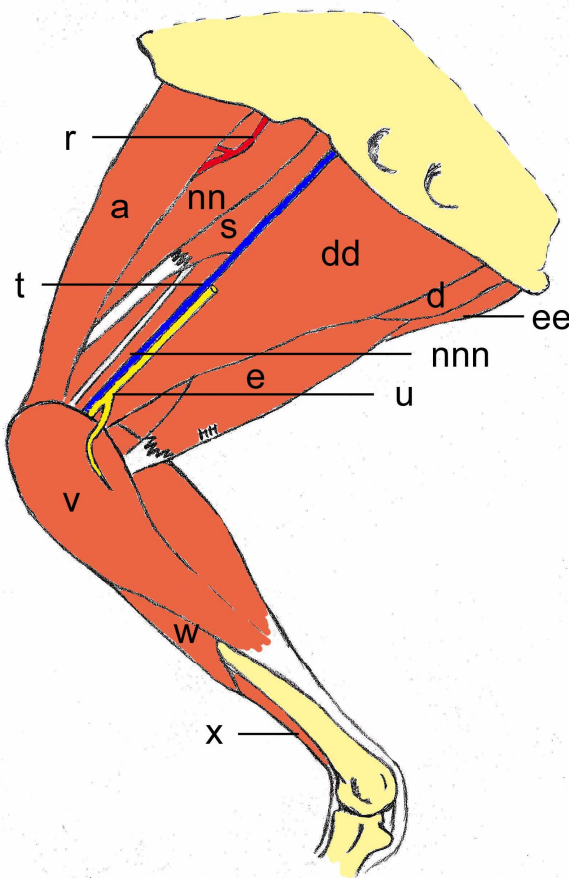


Abb. 3: Linker Femur, mediale Ansicht I.

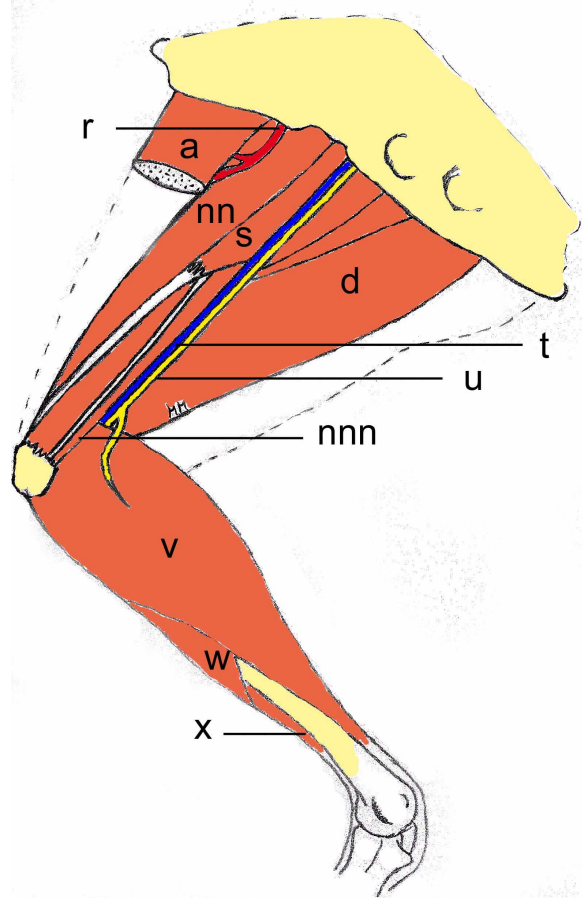


Abb. 4: Linker Femur, mediale Ansicht II.

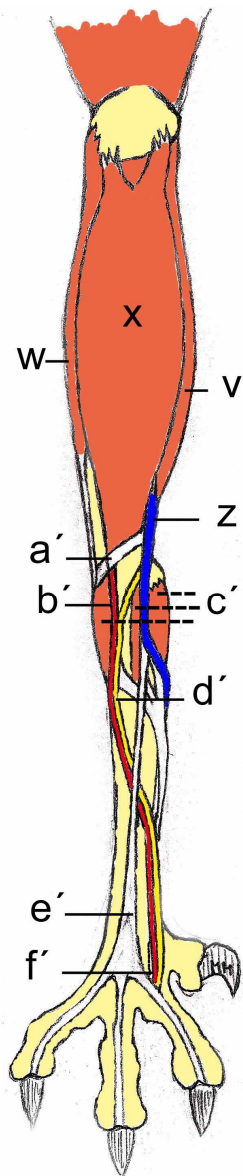


Abb. 5: Muskulatur kranialer Tibiotarsus I.

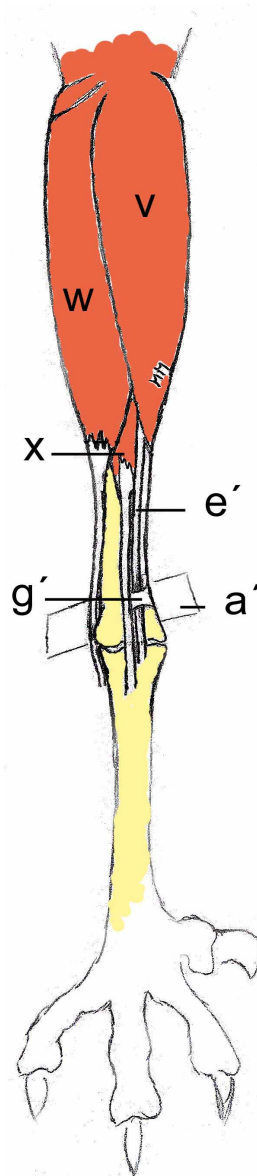


Abb. 6: Muskulatur kranialer Tibiotarsus II.

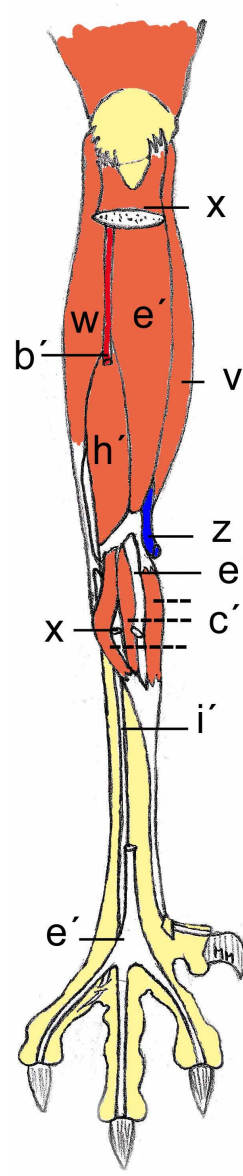


Abb. 7: Muskulatur kranialer Tibiotarsus III.

Der *M. iliotrochantericus cranialis* (kk) ist ein dünner Muskel und verläuft am lateralen Os ilium ventral zum *M. iliotrochantericus caudalis* (k). Der *M. iliotrochantericus cranialis* inseriert am lateralen Femur, distal des Trochanters. Beide Muskeln rotieren das Bein nach innen und beugen die Hüfte. Der *M. iliotrochantericus caudalis* rotiert den Femur bei dessen Beugung nach medial und beugt dadurch einer Hyperextension bei der Landung vor. Er inseriert distal des Trochanters am lateralen Femurkopf.

Der *M. obturatorius medialis* (l) verläuft von der Innenseite des Beckens zum Trochanter major und rotiert den Femur nach außen.

Der *M. ischiofemorialis* (m) liegt an der lateralen Fläche des Os ischium und setzt am Femur distal des Trochanters an. Er rotiert die Gliedmaße nach außen und streckt die Hüfte.

Der *M. femorotibialis externus* (n) und *M. femorotibialis medius* (nn) sind oftmals teilweise mit dem darüberliegenden *M. iliotibialis lateralis* verschmolzen. Der *M. femorotibialis externus* entspringt am Schaft des Femurs und inseriert an der Crista cnemialis cranialis. Bei den Säugern repräsentiert dieser Muskel zusammen mit dem *M. femorotibialis medius* und *internus* den *M. quadriceps*. Bei Vogel formen diese drei Muskeln die Patella-Sehne. Der *M. femorotibialis medius* überquert den Femur zur medialen Seite. Der *M. iliofemoralis externus* dient als Abduktor der Gliedmaße und Strecker des Knies. Der *M. femorotibialis internus* (nnn) hat seinen Ursprung am Os ilium und ist einer der drei Muskeln, aus denen sich der Quadriceps der Säuger zusammensetzt. Er verläuft kaudal zum *M. ambiens* und kranial der *Mm. pubo-ischio-femoralis pars medialis* und *lateralis*. Er inseriert an der Crista cnemialis tibialis, rotiert die Gliedmaße nach außen und ist ein schwacher Beuger der Hüfte.

Der *M. caudofemoralis* (o) bewegt den Stoß in der Vorwärtsbewegung nach unten oder lateral. Er verläuft vom Pygostyl des Schwanzes zum kaudolateralen Schaft des Femurs. Er zieht den Femur nach kaudal.

V. ischiadica (p)

A. ischiadica (q)

A. femoralis cranialis (r)

Der *M. ambiens* (s) entspringt am Os ilium und inseriert an den Aponeurosen der *Mm. flexores perforati* II-IV. Einigen Spezies, wie z. B. Tauben (*Columba livia*), Finken (*Fringillidae*) und Kanarienvögeln (*Serinus canaria*), fehlt dieser Muskel (OROZS 1992). Der *M. ambiens* wird auch als „perching muscle“ bezeichnet, weil er hilft, die Zehen zu beugen, während er das Sprunggelenk streckt.

V. femoralis medialis (t)

N. cutaneus femoralis medialis (u)

2.2.2.3.2 Muskulatur des Unterschenkels sowie Nerven und Gefäße

Der *M. gastrocnemius* (v) besteht aus drei Teilen: Pars lateralis (externa), Pars intermedia und Pars medialis (interna) (VANDEN BERGE und ZWEERS 1993). Pars lateralis und Pars intermedia entspringen an der lateralen und medialen Kondyle des Femurs, Pars medialis am Tibiotarsus. Er bildet die Achillessehne und hat seinen Ansatz über die Cartilago tibialis bis an die Crista medialis und lateralis hypotarsi, sowie am Corpus tarsimetatarsi. Er streckt das Sprunggelenk und beugt über seine Aponeurosen die Zehen.

Der *M. fibularis longus* (w) hat seinen Ursprung an der Crista cnemialis lateralis und fehlt den Eulen (*Strigiformes*) und Fischadlern (*Pandion haliaetus*) (OROZS 1992). Er hat zwei Insertionsstellen: eine am Cartilago tibialis und eine auf der Sehne des *M. flexor perforatus digiti III*. Die erste Insertionsstelle bedingt ein Strecken und die Abduktion des

Sprunggelenkes, die andere streckt die dritte Zehe. Der *M. fibularis longus* ist bei Hühnervögeln ein oberflächlich verlaufender Muskel.

Der *M. tibialis cranialis* (x) ist ein wichtiger Beuger des Sprunggelenkes und liegt, außer bei Falken und Psittaciden, unter dem *M. fibularis longus*. Er entspringt mit zwei Köpfen an der lateralen Kondyle des Femurs und lateral an der Crista cnemialis tibialis. Ihre gemeinsame Sehne inseriert am distalen Tarsometatarsus.

Mediale Metatarsalvene (z)

Retinaculum extensorium (a')

A. tibialis cranialis (b')

Der *M. extensor hallucis longus* (c') ist der Hauptstrecker der ersten Zehe. Er entspringt an der dorsomedialen Fläche des Tarsometatarsus und setzt am Streckfortsatz der Phalanx unguicularis der 1. Zehe.

A. metatarsalis dorsalis (d')

Der *M. extensor digitorum longus* (e') ist der Strecker der zweiten, dritten und vierten Zehe (außer bei Psittaciden) und beugt den Tarsometatarsus. Er entspringt am kranialen Tibiotarsus, verläuft durch den knöchernen Strecksehnenkanal und taucht tief unter dem Retinaculum der Extensoren auf. Er teilt sich in drei Sehnen, die an die distalen Prozesse der jeweiligen Zehen ziehen. Er dient als Beuger des Sprunggelenks und streckt die zweite bis vierte Zehe.

Der *M. abductor digiti II* (f') entspringt plantar am Tarsometatarsus und setzt medial an der Basis der 2. Zehe an, die er abduziert.

Canalis extensorius (g')

Der *M. fibularis brevis* (h') entspringt zweiköpfig kraniallateral an Tibiotarsus und Fibula. Die Sehne inseriert proximal und lateral am Tarsometatarsus. Bei Falken (*Falconiformes*), Geiern (*Falconiformes*) und einigen Psittaciden ist der Muskel stark ausgeprägt, bei kleinen Störchen (*Ciconiiformes*) und Flamingos (*Phoenicopteridae*) fehlt er (OROSZ 1992). Er rotiert den Mittelfuß nach innen.

Der *M. extensor brevis digiti IV* (i') ist ein Adduktor und Strecker der vierten Zehe. Er entspringt lateral an der Dorsalfläche des Tarsometatarsus und setzt medial an der Phalanx proximalis der vierten Zehe an.

Der *M. flexor perforans et perforatus digiti III* (j') entspringt an der Crista cnemialis lateralis und lateral am Lig. patellae und inseriert plantar an der Basis der Phalanx III der dritten Zehe. Er beugt die dritte Zehe und streckt das Sprunggelenk.

Der *M. flexor perforans et perforatus digiti II* (k') entspringt am Femur und liegt kaudal der *Mm. flexor perforans et perforatus digiti III*. Er spaltet sich an der zweiten Zehe auf und inseriert hier an der Basis der Phalanx II. Hier wird der Muskel von der tiefen Beugesehne durchbohrt. Er beugt die zweite Zehe und streckt das Sprunggelenk.

Der *M. flexor perforatus digiti IV* (l') entspringt vierköpfig an Femur und Fibula und nimmt die Endsehne des *M. ambiens* auf. Die Sehne überquert das distale Ende des Tibiotarsus und des Sprunggelenks und gelangt lateral an den Metatarsus. Nach dem Passieren der Trochlea für die vierte Zehe, teilt er sich in drei Anteile. Die innere Sehne inseriert am medialen proximalen Ende der Phalanx I. Die Laterale am distalen lateralen Ende der Phalanx I. Die zentrale Sehne wird von der tiefen Zehenbeugersehne an ihrer Ansatzstelle an Phalanx II perforiert. Er liegt bei Falken (*Falconiformes*) und Psittaciden unter dem *M. tibialis cranialis*. Der *M. perforatus digiti IV* beugt und streckt die vierte Zehe und besitzt bei Psittaciden zwei Bäuche, die mit einer gemeinsamen Endsehne inserieren. Außerdem streckt er das Sprunggelenk.

Achillessehne (m')

M. flexor digitorum profundus (n')

Der *M. flexor perforatus digiti II* (o') entspringt vierköpfig am Femur und distal am Tibiotarsus und setzt plantar an der Basis der Phalanx II der dritten Zehe an. Er dient als Beuger der dritten Zehe und Strecker des Sprunggelenks. Seine Endsehne mündet in die Sehne des *M. fibularis longus*.

Der *M. flexor perforatus digiti III* (p') entspringt zweiköpfig am Femur und distal am Tibiotarsus. Er hat speziesabhängig einen akzessorischen Kopf. In der Nähe des Sprunggelenks wird der Muskel von einem Ast der Sehne des *M. fibularis longus* begleitet. Er teilt sich an der Trochlea und inseriert plantar an der Basis der Phalanx II der dritten Zehe und wird von dem tiefen Zehenbeuger und dem *M. flexor perforans et perforatus digiti III* durchbohrt. Er beugt die dritte Zehe und streckt das Sprunggelenk.

Der *M. flexor hallucis longus* (q') hat seinen Ursprung zweiköpfig distal an der kaudalen Fläche des Femurs und seinen Ansatz plantar am Krallenbein der ersten Zehe. Er dient als Beuger der ersten Zehe und streckt das Tarsalgelenk.

Der *M. flexor hallucis brevis* (r') entspringt am Hypotarsus und kaudomedial am Tarsometatarsus, setzt plantar an der Basis der Phalanx proximalis der ersten Zehe an und beugt diese.

M. extensor hallucis brevis (s')

Der *M. abductor digiti IV* (t') entspringt lateral an der Plantarfläche des Tarsometatarsus und inseriert lateral an der Basis der Phalanx proximalis der vierten Zehe. Er ist Abduktor der vierten Zehe.

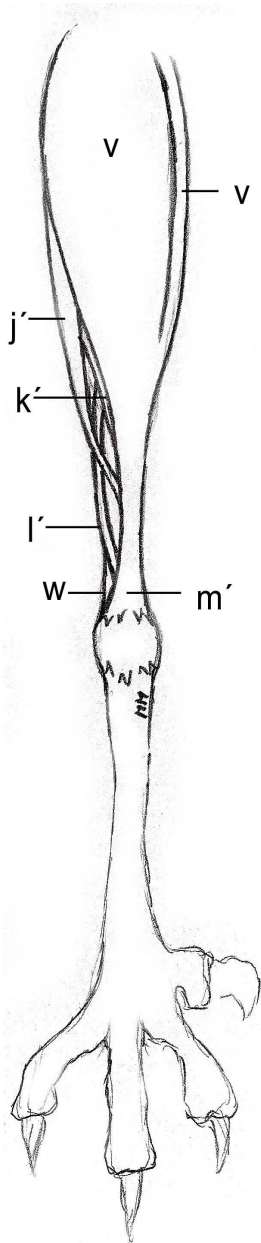


Abb. 8: Muskulatur
kaudaler Tibiotarsus
I.

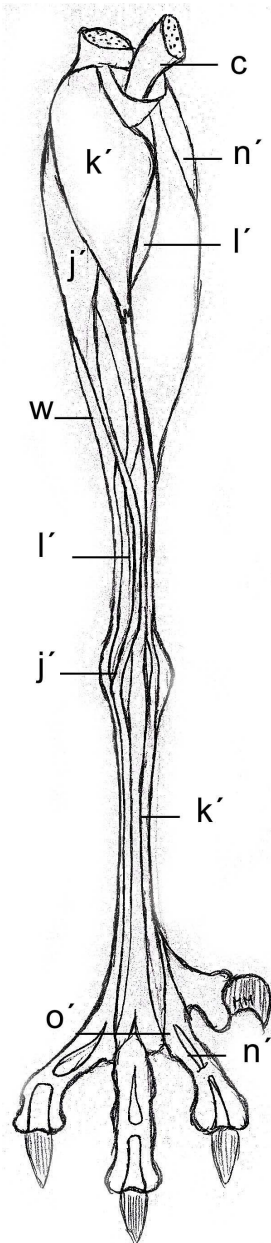


Abb. 9: Muskulatur
kaudaler Tibiotarsus
II.

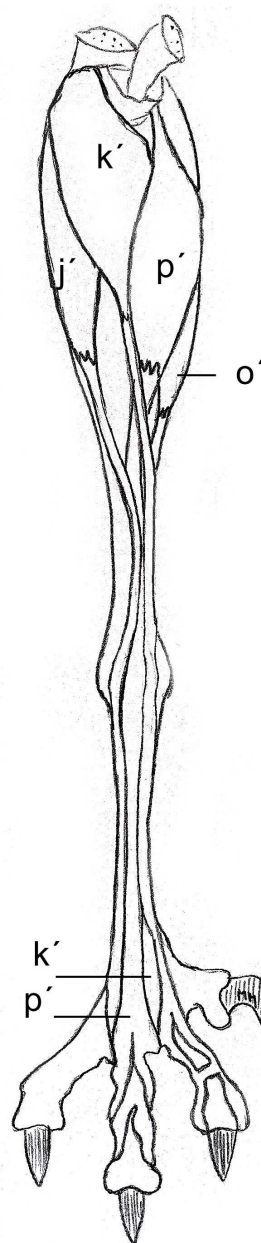


Abb. 10: Muskulatur
kaudaler Tibiotarsus
III.

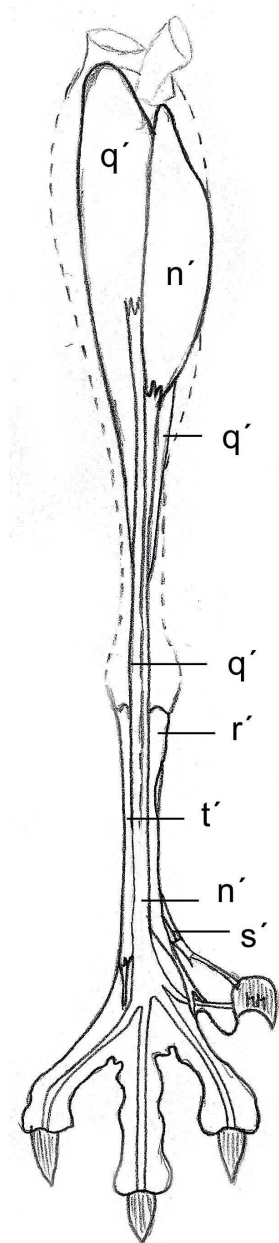


Abb. 11: Muskulatur
kaudaler Tibiotarsus
IV.

2.2.2.4 Blutgefäße der Beckengliedmaße des Vogels

2.2.2.4.1 Arterielle Versorgung der Beckengliedmaße des Vogels

Die Seitenäste *A. iliaca externa* und *A. ischiadica* der *Aorta descendens* versorgen nach ihrem Austritt aus dem Becken die Hintergliedmaßen des Vogels. Ihren Ursprung hat die *A.*

iliaca externa in Höhe der *Divisio renalis media*, während die *A. ischiadica* in Höhe der *Divisio renalis caudalis* entspringt.

Die kleinere *A. iliaca externa* erreicht den Oberschenkel kranial des Acetabulums und entläßt die *A. pubica* zur Bauchmuskulatur, bevor sie beim Eintritt in die mediale Seite des Oberschenkels zur *A. femoralis* wird. Diese entläßt nach laterodorsal die *A. coxae cranialis* zur Oberschenkelmuskulatur und entsendet an gleicher Stelle die *A. femoralis cranialis* zu den Iliotibialmuskeln, sowie zu der darübergelegenen Haut, und wird schließlich zur *A. femoralis medialis*. In Höhe des Kniegelenkes verliert sie sich in einer Anastomose mit der *A. poplitea*. Die kranialen und medialen Muskeln des Oberschenkels sowie kaudale Abschnitte der Bauchmuskulatur werden von der *A. iliaca externa* bzw. der *A. femoralis* versorgt. Im Gegensatz zur *A. femoralis* beim Säuger übernimmt beim Vogel die *A. ischiadica* mit ihren weiterführenden Ästen die Funktion als Hauptarterie der Hintergliedmaße.

Die *A. ischiadica* entspringt der Aorta in Höhe des Hüftgelenks, verläuft kaudal über das Hüftgelenk und erreicht durch das *Foramen ischiadicum* den Oberschenkel. Sie ist größer als die *A. femoralis* und entläßt eine Vielzahl kleinerer Arterien: *A. renalis media*, *A. oviducuts media*, *A. renalis caudalis*, *A. coxae caudalis* und *A. obturatoria*, diese versorgen die Muskulatur am kaudoventralen Beckenrand, *A. trochanterica* zur Doralseite des Hüftgelenks, *A. circumflexa femoris lateralis* zur Oberschenkelmuskulatur, *A. femoralis proximocaudalis* zur Ischiokruralmuskulatur, *A. femoralis distocaudalis* zur Ischiokruralmuskulatur, *A. suralis* zur Muskulatur und Haut am Unterschenkel, bevor sie in der Kniekehle zur *A. poplitea* wird, die sich weiter verästelt: *A. genicularis lateralis* und *A. genicularis medialis* zum Kniegelenk, *A. tibialis medialis*, *A. tibialis caudalis* und *A. fibularis* zum Unterschenkel und schließlich in die *A. tibialis cranialis* übergeht, um im Fuß als *A. metatarsalis dorsalis communis* auszulaufen.

2.2.2.4.2 Venöse Versorgung der Beckengliedmaße des Vogels

Das venöse Blut wird über die *V. iliaca externa* und die *V. ischiadica* dem Körperkreislauf wieder zugeführt und bei Bedarf der Niere zugeleitet. Dabei stellt die nur kurze, aber starke *V. iliaca externa* den Hauptabflußweg dar. Sie entläßt parallel zu den Arterien die *V. pubica* an das Becken und die *V. femoralis* an die kraniale Oberschenkelmuskulatur. In Höhe des proximalen Femurdrittels anastomosiert sie mit der *V. ischiadica*. Distal des proximalen Oberschenkeltrittels übernimmt die *V. ischiadica* als *V. poplitea* fast die komplette Versorgung der freien Extremität. Die *V. tibialis caudalis* erreicht als *V. metatarsalis plantaris superficialis* schließlich den Lauf.

2.2.2.5 Innervation der Beckengliedmaße des Vogels

Für die Innervation der Beckengliedmaße des Vogels sind drei Nervengeflechte verantwortlich: der *Plexus lumbalis*, der *Plexus sacralis* und der *Plexus pudendus*.

Der *N. cutaneus femoralis lateralis* und der *N. cutaneus femoralis medialis* (frühere Bezeichnung: *N. saphenus*) gehen aus dem *Plexus lumbalis* hervor. Sie versorgen die Haut am Oberschenkel, wobei der *N. cutaneus femoralis lateralis* in den lateralen Anteilen des Knies sowie im proximalen Teil des Oberschenkels endet und der *N. cutaneus femoralis medialis* die mediale Fläche des Unterschenkels bis zum Sprunggelenk innerviert. Der *N. femoralis*, als stärkster Nerv des *Plexus lumbalis*, begleitet die *A. und V. femoralis* und versorgt den *M. iliofemoralis internus* oder den *M. iliacus* und die Strecker des Kniegelenkes. Der sich abspaltende *N. coxialis cranialis* dient der Versorgung des *M. tibialis cranialis* und Teilen des *M. iliotibialis lateralis*. Die Versorgung der Haut am kranialen Femur erfolgt durch die Abgabe des *N. cutaneus femoralis cranialis*. Der *N. obturatorius* gibt vor dem Eintritt in das *Foramen obturatum* Äste an den *M. obturatorius medialis* ab, und verzweigt sich nach dem Austritt aus dem Becken in den *M. obturatorius lateralis* und den *M. puboischiofemoralis*. Für die Innervation des *M. ilioprochanterici* tritt ein Muskelast um die laterale Kante des Darmbeins, welcher früher auch als *N. glutaeus* bezeichnet wurde (FREWEIN 1992).

Die Wurzeln des *Plexus sacralis* vereinigen sich zu einem kräftigen Stamm und treten gemeinsam mit der *A. und V. ischiadica* durch das *Foramen ischiadicum*. Nach Abgabe kurzer Muskeläste an den kaudalen Teil des *M. iliotibialis lateralis* und den *M. iliofibularis* spaltet sich der Stamm in den *N. coxialis caudalis*, den *N. cutaneus femoralis caudalis* und den *N. ischiadicus* auf. Der *M. caudoiliofemoralis* und die *Mm. flexor cruris lateralis und medialis* werden durch den *N. coxialis caudalis* versorgt. Der *N. cutaneus femoralis caudalis* versorgt die Haut im kaudalen Bereich des Oberschenkels.

Der *N. ischiadicus* ist der stärkste Nerv des Körpers. Er überquert den *M. caudoiliofemoralis*, zieht zwischen *M. iliofibularis* und *M. puboischiofemoralis* gegen die *Fossa poplitea* und kann von medial unter den beiden Teilen des letztgenannten Muskels leicht erreicht werden (FREWEIN 1992). Kranial wird er stets von der *A. ischiadica* begleitet. Proximal des Kniegelenkes spaltet er sich in den größeren *N. tibialis* und den *N. fibularis*. Der *N. tibialis* teilt sich in den *N. suralis medialis und lateralis*, welche Muskeläste an die Strecker des Sprunggelenkes und die Beuger der Zehengelenke abgeben, und gibt vor der Endaufteilung den *N. cutaneus suralis* ab, der über den *M. gastrocnemius* verläuft und die Haut am kaudalen Unterschenkel versorgt.

Der *N. suralis medialis* geht in den *N. plantaris* über und verläuft unterhalb der *Pars medialis* des *M. gastrocnemius* mit der *V. tibialis caudalis* zum Sprunggelenk. Der *N. fibularis* zieht

gemeinsam mit einem Ast des *N. tibialis*, dem *N. parafibularis*, durch das *Retinaculum* für den *M. iliofibularis*. Am Unterschenkel zieht der *N. parafibularis* entlang des lateralen Randes des *M. flexor perforans et perforans digiti III*, gibt Hautäste an das Sprunggelenk ab und überquert dieses als *N. plantaris lateralis* entlang der Kante der *Cartilago tibialis* (FREWEIN 1992). Als *N. metatarsus* verläuft er entlang des *Metatarsus* zwischen den Endsehnen der Zehenbeuger und den kurzen Muskeln, die er ebenfalls innerviert und verzweigt sich anschließend als *Ramus digitalis lateralis* an der 4. Zehe. Nachdem der *N. fibularis* gemeinsam mit dem *N. parafibularis* und dem *M. iliofibularis* durch das *Retinaculum* distal am Femur getreten ist, gelangt er an die kranio-lateralen Muskeln am Unterschenkel, wo er einige *Rami musculares* entsendet und sich in den *N. fibularis superficialis* und den *N. fibularis profundus* verzweigt. Diese verlaufen lateral des Unterschenkels und schließlich gemeinsam mit der *A. tibialis cranialis* unter dem *M. fibularis longus* nach distal. Der Nerv verläuft oberflächlich und gibt sowohl an den Unterschenkel als auch an das Sprunggelenk Hautäste ab. Am Sprunggelenk verläuft er über das *Retinaculum* des *M. tibialis cranialis* und innerviert am Metatarsus die kurzen Strecker der dritten und vierten Zehe, um dann in den *N. metatarsus dorsalis lateralis* mit den *Rami digitalis*, zur Versorgung der dritten und vierten Zehe, überzugehen.

Unter dem *Retinaculum* und über der dorsalen Fläche des Sprunggelenks verläuft der *N. fibularis profundus* und versorgt die kurzen Muskeln an der Dorsalfläche des Metatarsus, welche nicht vom *N. fibularis superficialis* innerviert werden. Seine beiden Endäste versorgen als *Rami digitales* der *Nn. metatarsus dorsalis medialis et metatarsus dorsalis intermedius* die erste bis dritte Zehe.

2.2.2.6 Die Funktionen der Beckengliedmaße: Stehen und Laufen

Steht der Vogel auf zwei Beinen, so liegen der Körperschwerpunkt, die Kniegelenke und die Mitte der durch die Zehen gebildeten Unterstützungsfläche, in einer vertikalen Ebene. Die Kniegelenke sind rechtwinklig gebeugt. Bei den meisten Vögeln befindet sich der Schwerpunkt des Körpers unterhalb der Kniegelenkshöhle. Liegt der Schwerpunkt darüber, kompensiert die Muskelleistung der Tiere das dadurch hervorgerufene labile Gleichgewicht. Steht der Vogel auf einem Bein, wird das Standbein schräg einwärts unter die Medianebene gebracht. Die Mitte der Unterstützungsfläche der maximal gespreizten Zehen wird so von dem Lot aus dem Körperschwerpunkt getroffen. Der Scherung in den Gelenken der Hintergliedmaßen wirken die Kollateralbänder entgegen.

Beim Laufen fungieren die Hintergliedmaßen im Wechsel als Schwung- bzw. Stützbein. In der Stützbeinphase wird der Körper getragen. Das Abschwingen wird mit Vorwärtsbewegen

des Körperschwerpunkts eingeleitet. Vortrieb erfährt der Körper durch Streckung der Zehen. Unter Beugung der großen Gelenke schwingt das Bein schließlich vorwärts, setzt auf und übernimmt die volle Körperlast. An der zweiten Gliedmaße läuft die gleiche Schrittfolge halbezeitig versetzt ab. Ist der Gang des Vogels langsam oder verhalten, werden Phasen des einbeinigen Stehens eingebracht, während es in der Flucht bzw. bei schnellem Lauf zur Verlängerung des Einzelschrittes und zum die Laufbewegung unterstützenden Flügelschlag kommt.

2.3 Knochenbau

2.3.1 Bau eines reifen Knochens

Das Knochengewebe des Vogels besteht, wie beim Säuger, aus Zellen (Osteozyten, Osteoblasten und Osteoklasten), die für den Auf- und Umbau des Knochens verantwortlich sind sowie einer mineralisierten Interzellulärsubstanz, die aus scherengitterartigen Kollagenfibrillen zusammengesetzt ist, die in eine Grundsubstanz eingelagert sind (KAUNE 2000). Grundsubstanz und Kollagenfibrillen stellen die organischen Bestandteile dar, geben dem Knochen Elastizität und werden auch als Osteoid bezeichnet. Für Härte und Festigkeit des Knochens sind eingelagerte Salze verantwortlich. Es handelt sich dabei hauptsächlich um als Apatite vorliegende Kalziumphosphate und -karbonate. Zusammen bewirken diese beiden Einheiten des Knochens, daß der Knochen zwar hart und fest und dadurch nicht biegsam ist, aber auch, daß er nicht brüchig ist.

Die Interzellulärsubstanz setzt sich beim Vogel ungefähr zur Hälfte aus Mineralien und zu je 25 % aus organischen Verbindungen und Wasser zusammen. Hydroxylapatitkristalle bilden den überwiegenden Teil der anorganischen Substanzen, die zu 85 % aus Kalziumphosphat und zu 10 % aus Kalziumkarbonat bestehen. In geringen Mengen finden sich auch Nitrat, Natrium, Magnesium, Fluor und Spurenelemente. Kollagen stellt mit 90 - 95 % den größten Anteil der organischen Verbindungen dar, während sich der Rest aus Proteoglycanen und Glycosaminoglycanen (Chondroitin-4-sulfat, Chondroitin-6-sulfat, Keratansulfat) zusammensetzt (SINOWATZ 1992). Durch den hohen Gehalt an anorganischen Materialien erlangt der Knochen eine erhöhte Sprödigkeit im Vergleich zum Säuger, wodurch die Neigung zu Splitterfrakturen steigt, was bei der Versorgung von Frakturen stets berücksichtigt werden sollte (KORBEL 2007).

Bis auf die Gelenkflächen wird der Knochen sowohl an seiner äußeren als auch an seiner inneren Oberfläche von Bindegewebe, dem Periost bzw. Endost, überzogen. Das Periost,

welches der Knochenernährung dient und Nerven, Blut- und Lymphgefäße enthält, weist während der Knochenbildung eine äußere, faserreiche Schicht, das *Stratum fibrosum*, das überwiegend mechanische Funktionen hat, und eine innere, Gefäße und Nerven enthaltende, dem Knochen als *Stratum osteogenicum* direkt anliegende Schicht, die sogenannte Kambiumschicht, auf. Ist das Knochenwachstum abgeschlossen, sind die zwei Schichten nur noch undeutlich voneinander abgrenzbar. Erst nach einer Fraktur, bei der die Kallusbildung auch vom Periost ausgeht, zeichnen sich die Schichten wieder deutlich voneinander ab. Das Endost liegt eng am Knochen an und grenzt diesen von der Markhöhle ab. Es besteht aus einer dünnen Schicht flacher Bindegewebszellen und ist wie das Periost durch Kallusbildung an der Frakturheilung beteiligt.

Unterschieden wird zwischen dem unreifen aus verknöchertem Bindegewebe gebildetem Geflechtknochen und dem reifen Lamellenknochen mit regelmäßiger Schichtung, die als Haversches System oder Osteon bezeichnet wird.

2.3.2 Knochengewebstypen

Neben den beiden Typen kompakter und spongiöser Knochen kommt beim Geflügel noch der medulläre Knochen als Sonderform vor (KORBEL 2007). Auf letztere Knochenform wird im folgenden Kapitel eingegangen.

2.3.2.1 Spezialform Medullärer Knochen

Die Bildung von medullärem Knochengewebe findet in der Regel nur bei weiblichen Vögeln in der Reproduktionsphase statt. Das Gewebe dient als Mineralstoffspeicher, durch den Konzentrationsschwankungen der Mineralstoffe im Blut zügig ausgeglichen werden können. Gespeichert wird insbesondere Kalzium, welches zehn bis vierzehn Tage vor Beginn der Legeperiode zur Deckung des hohen Bedarfs während der Eischalenbildung in den langen Röhrenknochen eingelagert wird, um gegebenenfalls eine ungenügende Kalziumabsorption aus dem Darm auszugleichen. Durch Stimulation von Osteoklasten kommt es dann zur Kalziumfreisetzung aus dem medullären Knochengewebe. Phasen der Anbildung und des Abbaus wechseln während des Eizyklus ab.

Der Aufbau des medullären Knochengewebes ähnelt dem des Ersatzknochens. Es besteht aus kleinen miteinander verbundenen Knochenbälkchen, in deren Zwischenräumen Blutsinus angelegt sind. Durch das ungerichtete Wachstum der Kollagenfasern und der

Hydroxylapatitkristalle kommt dem Knochen jedoch keine mechanische Funktion zu. Osteone finden sich nicht.

Für die Bildung des medullären Knochengewebes sind Östrogene und Androgene verantwortlich. Zusammen bewirken sie eine erhöhte Aufnahme von Kalzium und Phosphor aus dem Darmtrakt.

2.4 Knochenbildung (*Osteogenesis*)

Das Vogelskelett ist zu einem Großteil knorpelig vorgebildet und vergrößert sich anfangs durch Zellteilungen im Knorpelgewebe. Perichondrale und enchondrale Ossifikation ersetzen das Knorpelgerüst schließlich mit Knochengewebe. In den breiten Wachstumszonen der Epiphysenfugen kommt es durch Zellteilungen im Knorpelgewebe zum Längenwachstum der langen Röhrenknochen. Während sich diese Zonen beim Säugetier deutlich darstellen, sind sie beim Vogel wenig abgegrenzt. Ferner werden die Epiphysenfugen bei Vögeln im Gegensatz zum Säugetier von Gefäßen durchzogen.

Die Knochenbildung wird in eine desmale (primäre) oder direkte Ossifikation, bei der der Knochen aus mesenchymalem Bindegewebe gebildet wird, und eine enchondrale (sekundäre) oder indirekte Ossifikation, bei der ein Knorpel als Platzhalter für den späteren Knochen dient, unterteilt (LIEBICH 2004).

Bei der desmalen Ossifikation, deren Beginn durch die Einsprossung von Kapillaren in das Bindegewebe gekennzeichnet ist, differenzieren sich Mesenchymzellen über teilungsaktive Vorläuferzellen zu kollagenfasern- und osteoidproduzierenden Osteoblasten. Durch Apposition werden Osteoide, ungehärtete Knochenvorstufen, zu Osteoidbälkchen, in deren Innerem eingemauerte Osteoblasten zu Osteozyten differenzieren. Es entsteht eine mineralisierte Knochengrundsubstanz. Durch frühzeitige Vaskularisation übernimmt das Knochengewebe stoffwechselaktive Aufgaben und dient als Mineraldepot. Der Knochenauf- und -abbau wird hormonell gesteuert.

Beispiele für Knochen, die durch desmale Ossifikation gebildet werden, sind die Knochen der Schädeldecke oder die Diaphysen der Röhrenknochen. Die Frakturheilung erfolgt ebenfalls über desmale Ossifikation.

Bei der chondralen Ossifikation wird die Grundstruktur des späteren Knochens durch ein vorläufiges Knorpelgerüst vorgegeben, welches schrittweise abgebaut und durch Knochengewebe ersetzt wird. Das knorpelige Modell bildet ferner die Grundlage für das Längenwachstum des Knochens, deren Abschluß durch den Schluß der Epiphysenfugen gekennzeichnet ist. Die chondrale Ossifikation wird in eine im Knochenmantel ablaufende

perichondrale Ossifikation und eine in der Markhöhle stattfindende enchondrale Ossifikation unterteilt.

Die perichondrale Ossifikation beginnt in der Mitte der späteren Diaphyse mit der direkten Differenzierung von Chondroblasten zu Osteoblasten und breitet sich in Richtung der Epiphysen aus. Dieses setzt den Stoffwechsel der Chondrozyten herab, die nach Hypertrophie degenerieren, wodurch die Knorpelmatrix verkalkt. Gleichzeitig kommt es zur Einwanderung von Chondroblasten über einsprossende Kapillare, die den Knorpel vollständig abbauen. Während der nun einsetzenden enchondralen Ossifikation entwickelt sich durch Auf- und Abbau von Knochengewebe die primäre Markhöhle (LIEBICH 2004). Durch den Umbau von zuvor in die Freiräume gelangtem Bindegewebe in hämoretikuläres Gewebe entsteht schließlich das rote Knochenmark.

In der Wachstumszone, den Epiphysenplatten (Metaphyse) zwischen Diaphyse und Epiphyse, werden die Prozesse des enchondralen Umbaus des Knorpelgewebes, seines langsamen Abbaus und der Neubildung von Knochengewebe besonders deutlich und lassen sich in unterschiedliche Zonen unterteilen.

Der Reservezone, in der die Chondrozyten in ihrer ursprünglichen Form vorliegen, schließt sich die Zone der Proliferation der Knorpelzellen an. Diese teilen sich vermehrt und ordnen sich aufgrund der durch die Knochenmanschette räumlich vorgegebenen Gegebenheiten säulenartig in der sogenannten Zone des Säulenknorpels an. Unter gleichzeitiger mitotischer Vermehrung der Chondrozyten tritt ein Längenwachstum des Knorpels, und damit des späteren Knochens, ein (LIEBICH 2004). Ihr folgt die Zone des Blasenknorpels, in der sich die Zellen blasenartig vergrößern, wodurch die Interzellulärsubstanz verdrängt wird und verkalkt. Den Untergang der Knorpelzellen und die Kalzifizierung der Knochenmatrix beschreibt die Verknöcherungszone. Als Eröffnungszone wird die zeitgleiche Einwanderung der die Reste der verkalkten Knorpelmatrix auflösenden Chondroklasten über die Blutbahn bezeichnet. Osteoblasten legen sich an die Knorpelreste und bilden neue Knochengrundsubstanz. Der Geflechtknochen wird langsam durch den Lamellenknochen ersetzt.

2.5 Knochenstoffwechsel und Knochenstoffwechselstörungen

2.5.1 Physiologie des Knochenstoffwechsels

Das Knochengewebe unterliegt ständigen Um- und Abbauprozessen. Diese werden durch ein komplexes Zusammenspiel von ernährungsbedingten, wie der Vitamin- und

Mineralversorgung, und hormonellen Faktoren, wie Gonaden, Schilddrüse, Epithelkörperchen und Hypophyse, gesteuert (WEDEL 2004).

Eine entscheidende Rolle im Knochenstoffwechsel kommt dem Parathormon (PTH) zu, welches in der Parathyreoidea durch einen Abfall des ionisierten Kalziums im Plasma ausgeschüttet wird, und dessen Hauptaufgabe die Verhinderung einer Hypokalzämie ist. Während die Osteoblasten direkt gehemmt werden, zieht die Ausschüttung des Hormons als indirekten Effekt eine gesteigerten Aktivität der Osteoklasten nach sich. Durch Steigerung der tubulären Resorption in der Niere wird die Ausscheidung von Kalzium gehemmt, während durch Steigerung der tubulären Resorption die Ausscheidung von Phosphor gefördert wird. Ferner stimuliert PTH die Bildung von Kalzitriol in der Niere aus deren Vorstufe 25-OH-Vitamin D 3.

Kalzitriol, ein Metabolit des Vitamin D 3, wird in den proximalen Tubuluszellen der Niere gebildet und erhöht den Kalzium- und Phosphatspiegel im Plasma. Eine Ausschüttung von Kalzitriol erfolgt durch PTH oder Absenkung des Phosphatspiegels im Plasma. Durch eine negative Rückkopplung wird die Ausschüttung gehemmt. Während das Kalzitriol im Knochen zur Senkung der Kollagensynthese durch Osteoblasten führt, wird die Bildung von Osteoklasten erhöht. In Abhängigkeit des Differenzierungsstadiums der Osteoblasten kann auch eine verstärkte Knochenbildung resultieren. Im Darm regt das PTH die Resorption von Kalzium an, während es die Absorption von Kalzium und Phosphat fördert.

Kalzitinin stammt aus den C-Zellen der Schilddrüse und senkt als Antagonist des PTH den Kalziumspiegel bei einer Hyperkalzämie. Jedoch sind die Effekte gering. Osteoklasten werden durch die Ausschüttung von Kalzitinin gehemmt, während die Proliferation der Osteoblasten gefördert wird.

Weiterhin fördern Somatotropin, Insulin, die Sexualhormone sowie die Schilddrüsenhormone den Knochenaufbau. Glukokortikoide können das Knochenwachstum kurzfristig stimulieren, langfristig ist jedoch eine Hemmung zu erwarten.

2.5.2 Knochenstoffwechselstörungen

Knochenstoffwechselstörungen können das Auftreten von Frakturen begünstigen. Im folgenden Text werden die einzelnen Stoffwechselstörungen kurz erläutert.

Es werden drei Formen einer mangelhaften Skelettverkalkung unterschieden, die durch Kalzium- und Vitamin D 3-Unterversorgung hervorgerufen werden, und deren Ursache stets in ungenügender Versorgung mit Kalzium, einem gestörten Ca-P-Verhältnis oder einem übermäßigen Phosphorangebot zu finden ist und in einer Knochenatrophie sowie Verdünnung der Kompakta, durch ungenügende Mineralisierung der neu gebildeten

Knochen, resultiert. Eine nicht artgerechte Fütterung, besonders der Körnerfresser, und somit der meisten Ziervögel, ist die häufigste Ursache für Mangelernährung. Oftmals werden fettreiche Körner, wie Sonnenblumenkerne (Ca:P = 1:7 (COLES 1992)), Hirse (Ca:P = 1:6 (COLES 1992)) oder Erdnüsse (Ca:P 1:35 (COLES 1992)), angeboten, deren Kalzium-Phosphor-Verhältnis weit vom angestrebten Wert 1,5 - 2,0:1 (HATT 2003) abweicht, da der Phosphoranteil wesentlich erhöht ist. Auch enthalten diese Körner wenig Vitamin A, Lysin, Methionin und Tryptophan (LAWTON 1992). Ferner wirkt sich auch der niedrige Gehalt an Vitamin D₃ in den Sämereien ungünstig aus. Durch Aufenthalte in Kellern oder dunklen Räumen und damit einhergehendem Mangel an ultraviolettem Licht, das für die Bildung des Vitamin D₃ essentiell ist, werden diese Erkrankungen begünstigt. Um derartige Mißstände zu vermeiden, sollte das Futter an die Nahrung des Vogels in freier Wildbahn angepaßt werden (LAWTON 1992).

Rachitis wird bei heranwachsenden Tieren in der Wachstumsphase beobachtet. In den meisten Fällen handelt es sich um Tiere aus Handaufzuchten, die ungenügend mit Kalzium und Vitamin D₃ versorgt wurden und im Wachstum zurückgeblieben sind. Eine Verdachtsdiagnose anhand Anamnese und Adspektion kann röntgenologisch mit verdickten Knochen, die außerdem eine reduzierte Röntgendichte aufweisen, gefestigt werden. Während zunächst Knochendeformationen, deren Versorgung erst bei ausgewachsenen Vögeln erfolgen kann, auftreten, kommt es im späteren Verlauf zu Grünholzfrakturen. Am häufigsten sind Veränderungen an den Beckengliedmaßen, v. a. am Tibiotarsus, zu beobachten, woraus je nach Lokalisation Fehlstellungen und Lahmheiten sowie die charakteristische Sitzstellung mit gespreizten Beinen resultieren können. Ferner werden auch Veränderungen im Bereich des Synsacrum und des Sternums beobachtet.

Die Osteomalazie, die mit einer ungenügenden Mineralisation des Knochengewebes einhergeht, tritt bei adulten Tieren auf. Wie bei rachitischen Veränderungen der Jungtiere werden auch hier Knochendeformationen und Grünholzfrakturen diagnostiziert.

Osteoporose ist eine weitere Mangelerscheinung bei ausgewachsenen Tieren. Sie tritt ebenfalls bei mangelhafter Versorgung bzw. erhöhtem Verbrauch von Vitamin D₃ bzw. Kalzium auf, z. B. während der Eiproduktion. Aufgrund der verminderten Widerstandskraft der dünnen Knochenkortikalis sind Spontanfrakturen, wie z. B. am Femurkopf, ein charakteristischer Hinweis auf das Vorliegen einer Osteoporose.

Neben einer Fütterungsoptimierung wird den Tieren therapeutisch initial Kalzium (Kalziumglukonat 50mg/kg KM langsam i. v. oder verdünnt i. m. (HATT 2003)) und Vitamin

D 3 (5.000 I. E./kg KM i. m. (HATT 2003)) verabreicht. Bei Vorliegen massiver Skelettveränderungen ist eine Euthanasie vorzuziehen.

Fallbeispiele für Kalzium- und Vitamin D 3-Unterversorgung:

O. g. Knochenstoffwechselstörungen präsentieren sich häufig bei Graupapageien (*Psittaciformes*), da deren Vermehrung einfach ist, und viele der Vögel von Hand aufgezogen werden. Die Folgen einer derartigen Mangelernährung führen in einfachen Fällen zu Lordose im Bereich des Synsacrums, unterschiedlich großen Wachstumsfugen in Femur oder Tibiotarsus, „Faltfrakturen“ am distalen Femur, sowie Verbiegungen des Tibiotarsus bis hin zu schwerwiegenderen Fällen mit starker Knochendeformation.

Bei Greifvögeln in der freien Natur treten derartige Störungen nicht auf, jedoch bei Tieren, die in menschlicher Obhut gehalten werden. Während adulte Tiere einen Nährstoffmangel symptomlos durchleben, erkranken im Wachstum befindliche Jungtiere durch die nur Teile der natürlichen Beute enthaltene Fütterung mit einem unausgewogenen Kalzium- und Phosphorverhältnis, rasch an Rachitis. So enthält schieres Fleisch sehr viel Phosphor, aber wenig Kalzium (Rindfleisch 1:17, Leber 1:44 (HEIDENREICH 1995)).

Der Speichel der Altvögel ist sehr kalziumreich, so daß auch bei bester Atzung, d. h. bei schierem Muskelfleisch, die Nahrung für den Jungvogel ausreichend Kalzium enthält (HEIDENREICH 1995). Aus dem Grunde sollten bei der Atzung durch den Menschen ganze Beutetiere mit Knochen verfüttert werden.

Klinisch äußert sich die Rachitis bei Jungvögeln im Alter von zwei bis drei Wochen mit schmerzhaften Deformationen der langen Röhrenknochen und endet oft tödlich. Ein mit Kot verschmierter Bauch läßt den Besitzer oft annehmen, der Vogel leide an Durchfall, jedoch können sich die Tiere nicht mehr zum Schmelzen erheben. Später kommt es zu Spontanfrakturen an den Flügelknochen, sowie Schnabeldeformationen, das Brustbein verbiegt sich und die langen Knochen sind gummiartig biegsam. Nur im Frühstadium der Erkrankung ist eine Therapie mit Hilfe von Kalziumpräparaten und die Anreicherung der Nahrung mit Kalziumkarbonat möglich. Vorhandene Knochendeformationen können nicht behoben werden. Der Vogel bleibt lebenslang behindert und muß bei offensichtlichen Leiden euthanasiert werden.

Die Osteomyelosklerose (OMS, polyostotische Hyperostose) wird vermutlich durch einen Hyperöstrogenismus hervorgerufen, der Folge einer tumorösen Veränderung des Ovars oder eines Sertolizell-Tumors sein kann. Die genaue Ursache ist jedoch noch nicht bekannt, da die OMS auch bei Vögeln mit normalen Östrogenwerten, besonders bei Wellensittichen (*Melopsittacus undulatus*), auftritt. Die Symptome der OMS sind äußerst unspezifisch. Röntgenologisch wird eine generalisierte, homogene oder inhomogene Verschattung der

Knochenmarkhöhle beobachtet. In einigen Fällen kommt es zu hyperostotischen Auflagerungen im Gelenksbereich. Differentialdiagnostisch kann es sich auch um Knochenumbauprozesse während der Legetätigkeit oder um ernährungsbedingte Mängel durch Kalzium- und Vitamin D₃-Unterversorgung, Neoplasien oder Osteopetrose handeln. Die Behandlung erfolgt symptomatisch bzw. wird bei Erkrankung des Ovars die Grundkrankheit, z. B. durch Ovariectomie bei Schichteibildung oder Ovar tumor, behandelt. Kann die Ursache nicht behoben werden, ist die Erkrankung schon fortgeschritten und die Prognose ungünstig, sollte der Patient bei offensichtlichem Leiden euthanasiert werden.

Der alimentäre sekundäre Hyperparathyreoidismus ist eine kompensatorische Reaktion des Organismus auf jede Art von Hypokalzämie und wird besonders häufig bei Papageienvögeln (*Psittaciformes*) beobachtet. Ausgelöst wird die Erkrankung durch einen Kalziummangel mit relativem Phosphatüberschuß in der Nahrung, Kalziumresorptionsstörungen im Darmtrakt oder Mangel an UV-Licht und Vitamin D₃. Durch den Mangel an Kalzium kommt es zur Aktivierung der Epithelkörperchen und dadurch zur vermehrten Ausschüttung von PTH. Dieses führt zu einer beschleunigten Resorption von Kalzium aus den Knochen, sowie einer Aktivierung der Osteoklasten. Gleichzeitig wird im Darm die Absorption von Kalzium gesteigert und über die Nieren vermehrt Phosphor ausgeschieden (vgl. Kapitel 2.5.). Als Ersatz für das abgebaute Knochengewebe werden ungenügend mineralisiertes Osteoid und Faserknochen gebildet. Bei Fortschreiten eines sekundären Hyperparathyreoidismus kommt es nach Resorption von Knochen zur Fibrose, was zum Bild der Osteodystrophia fibrosa führt, die bei Papageienvögeln (*Psittaciden*), Tauben (*Columba livia*), Kanarienvögeln (*Serinus canaria*) und Zebrafinken (*Taeniopygia guttata* (*Poephila castanotis*)) auftritt (GYLSTORFF und GRIMM 1998).

Klinisch werden bei Vögeln, die an dieser Stoffwechselstörung leiden, unter anderem fortschreitende Lahmheiten, tetanische Krämpfe, Flugunfähigkeit, Unvermögen, sich auf der Stange zu halten, und allgemeine Schwäche beobachtet. Des Weiteren kann es zu metabolischen Knochenbrüchen kommen. Röntgenologisch lassen sich diese Frakturen, wie auch eine Entmineralisierung der Knochen nachweisen, während der Kalziumspiegel bei der Blutuntersuchung einen Wert von unter zwei Millimol pro Liter ergibt.

Neben einer Optimierung der Fütterung sollte therapeutisch Kalziumglukonat (500 mg/kg KM (GYLSTORFF und GRIMM 1998)) s. c., sowie Vitamin D₃, Grit (Sepia), Kalk und Calcipot oral, verabreicht werden (GYLSTORFF und GRIMM 1998).

Das Hypokalzämiesyndrom ist eine Sonderform des Parathyreoidismus, die nur bei Graupapageien, Keilschwanzsittichen und Amazonen (*Psittaciformes*) im Alter von zwei bis fünf Jahren auftritt. Klinisch werden wiederholte Anfälle von Schwäche, sowie Krämpfe

beobachtet. Obwohl der Blut Ca-Spiegel subnormal ist, werden weder weiche noch dünne Knochen beobachtet.

Zur Behandlung eines akuten Anfalls wird Kalziumglukonat s. c. verabreicht (500 mg/kg KM (GYLSTORFF und GRIMM 1998)), zusätzlich Multivitamine (ADE 2 ml/kg KM i. m. und Vitamin B-Komplex BKV-Roche® 2 ml/kg KM i. m. (GYLSTORFF und GRIMM 1998)). Ferner sollte der Kalziumblutspiegel regelmäßig kontrolliert und Vitamin D 3 sowie Calcipot verabreicht werden.

2.6 Knochenheilung und Störungen der Knochenheilung

Sowohl bei Vögeln als auch bei Säugern unterscheidet man bei Frakturen zwischen einer desmalen (primären) und chondralen (sekundären) Knochenheilung (siehe Kapitel 2.4). Da der Knochenheilung bei Vögeln meistens eine Kallusbildung vorausgeht, spricht man in diesen Fällen von sekundärer Heilung. Eine primäre Heilung wird bei Vögeln nach orthopädischen Eingriffen nur selten beobachtet, da sie nur durch optimale Reposition und Kompression der Frakturenden, z. B. durch Anwendung einer Plattenosteosynthese (siehe Kapitel 2.12.1), sowie absolute Stabilität erreicht wird (HATT 2003). In einer Studie mit Vögeln wurde bei sechs von acht Frakturen, die mittels Plattenosteosynthese versorgt wurden, nur minimaler Kallus gebildet, was auf eine mögliche primäre Knochenheilung hinweist (BENNETT und KUZMA 1992).

Der Ablauf der sekundären Knochenheilung vollzieht sich in drei Schritten. Zunächst kommt es zur Induktion und Inflammation mit Proliferation von Fibroblasten und Auswanderung von osteogenetischen Zellen vom Peri- und Endosteum in den Frakturspalt, wo sich die Zellen anschließend vermehren. Es folgt die Formation des Kallus mit Hilfe der Produktion von Kollagen und Mukopolysacchariden, sowie Ablagerung von Kalzium im Kallus. Über die enchondrale Ossifikation wird der weiche Kallus in Knochen umgewandelt. Anschließend erfolgt das Remodelling. Deposition und Resorption von Knochen werden beschleunigt, die Knochenform verändert und die Funktion wiederhergestellt.

Die Kallusformation ähnelt der des Säugetiers. Endostaler Kallus sorgt für schnelle Stabilisation des Knochens, sofern die Knochenstücke gut aneinander adaptiert sind. Sind die Knochenteile stabil fixiert, kommt es lediglich zur minimalen Bildung von periostalem Kallus. Die Blutversorgung erfolgt periostal durch Muskeln und Weichteilgewebe, medullär durch die ernährende Arterie, sowie durch metaphysale und epiphysale Blutgefäße.

Obgleich Frakturen bei Vögeln aufgrund der erhöhten Stoffwechselrate schneller ausheilen als bei Säugetieren, ist zu beachten, daß die Dauer der Heilung stets von den äußeren Umständen bzw. der Art der Fraktur abhängt. So wird der Heilungsprozess zum Beispiel durch Dislokation der Knochenfragmente, Zerstörung von Blutgefäßen und dadurch

mangelnde Blutversorgung, Osteomyelitiden sowie inadäquate Stabilisation, und damit Beweglichkeit der Frakturenden, verzögert. Auch verlängert sich die Heilungsdauer je weiter ein Gliedmaßeil vom Rumpf entfernt liegt. Bei gut stabilisierten Frakturen und optimalen Bedingungen kann eine Heilung binnen drei bis vier Wochen erfolgen. Schlecht ausgerichtete Frakturen brauchen hingegen bis zu zwölf Wochen (MARTIN und RITCHIE 1994).

Bei Splitterfrakturen sollten keine Knochenfragmente entfernt werden, da diese in die Frakturstelle mit eingeschlossen werden und die Stabilität erhöhen. Eine Ausnahme bilden jedoch stark verschmutzte bzw. kontaminierte und ausgetrocknete Knochenstücke. Diese müssen, um einen Heilungserfolg zu erzielen, auf jeden Fall entfernt werden.

Osteomyelitiden kommen beim Vogel im Vergleich zum Säuger relativ selten vor. Dennoch sollte auf die Gabe von Schmerzmitteln und Antibiotika nicht verzichtet werden. Sie sollte einen Zeitraum von wenigen Tagen jedoch nicht überschreiten.

Das Voranschreiten der Heilung kann mittels Röntgenaufnahmen kontrolliert werden. Jedoch sollte der klinischen Untersuchung stets Vorrang gewährt werden. Trotz der verhältnismäßig raschen Heilung sollten Vögel nach einem osteosynthetischen Eingriff ruhig gehalten werden und ein bis zwei Wochen post operationem in einem kleinen Behältnis mit nur einer Sitzgelegenheit gehalten werden, das weder das Umherfliegen noch das Klettern erlaubt (siehe Kapitel 2.15.4).

In einer Studie wurden Tauben (*Columba livia*) manuelle Frakturen an Antebrachium und Humerus zugefügt, die nicht versorgt wurden, um die Knochenheilung zu beurteilen. Röntgenologisch konnte eine zunehmende Dichtigkeit des medullären Kanals des Humerus diagnostiziert werden, die zunächst durch die Bildung eines Hämatoms und anschließend durch Bindegewebs- und Kallusbildung hervorgerufen wurde. Neun Wochen nach Setzen der Fraktur wurde histologisch und röntgenologisch endostealer und periostaler Kallus nachgewiesen, der sich aus Spongiosa, Knorpel und fibrösem Bindegewebe zusammensetzte. Verglichen mit der Ulna war die Kallusformation am Humerus schlechter, was vermutlich auf die Pneumatisierung oder auf eine erhöhte Instabilität und Dislokation der Fragmente des Oberarmknochens zurückzuführen ist. Einige Forscher haben auf die unterschiedliche Heilung von pneumatisierten und markgefüllten Knochen hingewiesen, so treffen MARTIN und RITCHIE (1994) die Aussage, daß pneumatisierte Knochen langsamer heilen, jedoch fehlen Studien, die dieses belegen (BENNETT und KUZMA 1992).

In einer anderen Studie mit verschiedensten Knochenbrüchen bei Tauben (*Columba livia*) wurden diese unterschiedlichst fixiert und drei Wochen nach der Fixation klinische Stabilität der Knochen diagnostiziert. Die Kallusbildung wurde anhand von Röntgenaufnahmen überprüft. Auch wenn eine Kallusbildung röntgenologisch noch nicht nachweisbar ist, kann bei palpatorischer Stabilität des Frakturspaltes mit der vorsichtigen Entnahme der Implantate

begonnen werden. Sechs Wochen nach der Fixation wurde im Röntgenbild eine komplette Knocheneinheit beobachtet (BENNETT und KUZMA 1992).

Verschiedene Ursachen können dazu führen, daß die Knochenheilung nur langsam oder gar nicht abläuft. Osteomyelitiden sind lokal auf den Knochen begrenzte Infektionen, bei denen sich der Frakturspalt mit käsigem Material füllt und die Knochenenden nekrotisch und sklerotisch werden. Oftmals kommt es trotz käsiger Einlagerungen zur Brückenbildung des Kallus und damit zum Zusammenwachsen des Knochens. Ist der Materialpfropfen jedoch zu groß, wird die Bildung einer knöchernen Einheit verhindert. Chronische Osteomyelitiden werden oft durch Sequester (s. u.) oder kontaminierte Implantate hervorgerufen (SMITH 1993). Anfangsstadien einer Osteomyelitis können mit Hilfe einer Knochenszintigraphie diagnostiziert werden (ANTINOFF und POTEET 2000).

Auch die Abkapselung von Knochensplittern, so genannten Sequestern, kann zu Heilungsstörungen führen bzw. eine Heilung verhindern. Zwar kommt es zur Brückenbildung durch den Kallus und zur Vereinheitlichung der Knochenstücke, jedoch schließt sich keine Stabilität an. Aus diesem Grunde müssen Sequester chirurgisch entfernt werden.

Eine mangelnde Blutversorgung infolge eines Traumas oder iatrogen verursacht, kann ebenfalls zahlreiche Störungen hervorrufen. Werden Knochen und umliegendes Gewebe infolge der Schädigung oder Zerstörung von Blutgefäßen nicht mehr ausreichend mit Nährstoffen versorgt, nekrotisieren sie. Keime, die durch den ungenügenden Blutstrom nicht mehr abgeschwemmt werden, ziehen Osteomyelitiden nach sich, deren Auftreten durch mangelnde Immunabwehr begünstigt wird, da Leukozyten und Makrophagen nicht an den Zielort gelangen. Zeitgleich können Taubheitsgefühle und Kribbeln den Vogel zur Automutilation veranlassen, wodurch Wunden vergrößert werden und der Infektionsdruck steigt. Das Anlegen eines Verbandes oder einer Halskrause kann eine Selbstverstümmelung verhindern.

Eine weitere Komplikation stellen Pseudarthrosen dar. Dabei unterbleibt die Einheitsbildung zwischen den Knochenfragmenten. Man unterscheidet zwischen mehr oder weniger mit Blut versorgten Pseudarthrosen. Eine Pseudarthrose, die an die Blutversorgung angeschlossen ist, kann von hypertrophem, leicht hypertrophem oder oligotrophem Charakter sein. Hypertrophe Pseudarthrosen weisen reichlich Kallus und Blutgefäße auf, aber der Knochenspalt ist mit Bindegewebsknorpel gefüllt. Ursachen dieses Typs der Pseudarthrose sind unzureichende Stabilisation und vorzeitige Belastung des Knochens mit dem Körpergewicht. Eine oligotroph mit Blut versorgte Pseudarthrose zeigt keine Kallusbildung, ist aber biologisch fähig zur Heilung. Die Fragmente sind hypervaskularisiert und mit der Zeit kommt es zur Abrundung und Dekalzifizierung der Knochenenden. Von mit Blut versorgten

Pseudarthrosen unterscheiden sich Pseudarthrosen, die von der Blutversorgung abgeschnitten sind oder deren Blutzufuhr unzureichend ist. Bei derartigen Pseudarthrosen ist eine Heilung ausgeschlossen. Die frühere Terminologie, in der zwischen vaskulären und avaskulären Pseudarthrosen unterschieden wurde, ist veraltet, da die meisten Pseudarthrosen, die als avaskularisiert klassifiziert wurden, eigentlich oligotrophe, vaskularisierte Pseudarthrosen mit adäquater Blutversorgung sind. Alle Typen der Pseudarthrosen treten beim Vogel auf. Bei Vorliegen einer Pseudarthrose ist ein chirurgischer Eingriff erforderlich, um einen Heilungserfolg zu erzielen. Zwar ist jedes Knochenstück als solches verheilt, jedoch ist der Knochen nicht wieder in seiner ursprünglichen Form zusammengewachsen. Um eine Heilung zu ermöglichen, muß der Frakturspalt verkleinert, Knochenmaterial transplantiert und eine optimale Stabilisation gewährleistet werden, z. B. durch Setzen eines Fixateur externe (siehe Kapitel 2.13) oder Anwendung eines ESF IM-Pin „tie-ins“ (siehe Kapitel 2.14.1).

2.7 Knochen- und Knorpeltumore

Knochentumore können an allen Knochen auftreten und werden besonders häufig an Kopf, Brustbein oder Gliedmaßen angetroffen. Mögliche Folgen einer Knochengeschwulst sind Osteolyse und Spontanfrakturen (WEDEL 2004). Therapeutisch ist die Amputation der Gliedmaße im Frühstadium des Tumorwachstums in den meisten Fällen die Methode der Wahl. Jedoch ist das Auftreten von Rezidiven am Gliedmaßenstumpf keine Seltenheit, so daß eine Euthanasie oftmals unumgänglich ist.

Tumoren, die vom Knorpel ausgehen, sind oftmals umfangreich und weisen ein infiltratives Wachstum auf. Derartige Umfangsvermehrungen finden sich häufig an Gelenkscapseln der Knie, der Fußwurzelgelenke sowie der Flügel und sind rasch wachsend (WEDEL 2004). Da die Vögel die Tumoren häufig benagen, kommt es oft zu Blutverlust.

Am häufigsten treten Knochen- und Knorpeltumoren bei Wellensittichen (*Melopsittacus undulatus*) auf. Die bösartigen Geschwülste überwiegen die gutartigen im Verhältnis 4,5:1, die Karzinome die Sarkome 1,2:1 (GYLSTORFF und GRIMM 1998). Während GYLSTORFF und GRIMM (1998) das Vorkommen von Metastasen als selten bezeichnen, spricht WEDEL (2004) davon, daß häufig Metastasen beobachtet werden. Klinisches Symptom eines Knochentumors ist in vielen Fällen eine plötzlich auftretende Lahmheit (GYLSTORFF und GRIMM 1998). Eine tumoröse Schwellung ist adspektorisch und palpatorisch festzustellen. Eine Röntgenaufnahme beseitigt letzte Zweifel. Mit einer Knochenszintographie kann sowohl der Nachweis von primären als auch metastatischen Knochentumoren erfolgen (ANTINOFF und POTEET 2000).

2.8 Klassifikation von Frakturen der Beckengliedmaße

Neben der Unterscheidung offener und geschlossener Frakturen wurde ein komplexes System zur Einordnung und Klassifikation von Frakturen entwickelt. Diesem liegt ein Computerklassifikationssystem von Frakturen der langen Röhrenknochen bei Hund und Katze nach UNGER et al. (1990) zu Grunde, welches auf dem humanen AO/ASIF-Klassifikationssystem für Frakturen basiert (REDIG, BROWN und GORDON 1996).

Das System definiert Frakturen anhand ihrer Lokalisation am Knochen und ihrer Morphologie. HOWARD und REDIG analysierten dazu die Frakturen von 542 Vögeln (1996). Es entstand ein Zahlencode mit dessen Hilfe eine Fraktur beschrieben werden kann. Grund für die Entwicklung eines Zahlencodes ist eine auf dem Computer basierende Methode zur Beschreibung von Frakturen, welche ein Gerüst zur systematischen Auswertung liefert.

Anhand des Schemas können Frakturen mit Hilfe von vier Charaktereigenschaften klassifiziert werden (REDIG, BROWN und GORDON 1996). So erfolgt zunächst die Angabe des betroffenen Knochens, anschließend die Beschreibung der Region, als Drittes wird die Morphologie der Fraktur beschrieben und der vierte Punkt gibt Auskunft über den Schwierigkeitsgrad.

Dieses Klassifikationssystem beruht auf Röntgenbildern von Frakturen der langen Röhrenknochen bei Greifvögeln, die am Raptor Center der Universität von Minnesota von Januar 1989 bis Dezember 1994 behandelt wurden (REDIG, BROWN und GORDON 1996). Insgesamt wurden 341 Vögel 31 verschiedener Spezies mit 500 Frakturen untersucht. Bezüglich des Metakarpus und Metatarsus wurden dem System einige Kategorien hinzugefügt. Die Zahlencodes wurden teilweise modifiziert oder erweitert, um Frakturen in der Vogelmedizin ausreichend zu beschreiben.

Auf den folgenden Seiten wird ein Klassifikationssystem von FORD (1997), basierend auf den Angaben von REDIG (1996), dargestellt.

2.8.1 Frakturen des Femurs

2.8.1.1 31 A - Frakturen der proximalen Trochanterregion



A 1

Avulsion



A 2

intra-trochanterisch



A 3

gesplittert

2.8.1.2 31 B - Einfache Femurhalsfrakturen, proximales Knochenende



B 1

basiszervikal



B 2

transzervikal



B 3

mit Avulsion des
Trochanters

2.8.1.3 31 C - Gesplitterte Femurkopf- oder -halsfrakturen, proximales Knochenende



C 1

artikulär einfach



C 2

artikulär gesplittert



C 3

Splitterfraktur
Femurkopf und -hals

2.8.1.4 32 A - Einfache oder unvollständige Frakturen der Diaphyse



A 1
unvollständig



A 2
schräg



A 3
transversal

2.8.1.5 32 B - Diaphysales Fragment



B 1
reponierbares
Fragment



B 2
mehrere reponierbare
Fragmente



B 3
nicht reponierbare
Fragmente

2.8.1.6 32 C - Vollständige Fraktur der Diaphyse



C 1
reponierbare
Fragmente

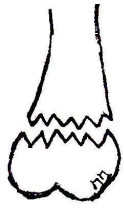


C 2
segmentär



C 3
nicht reponierbare
Fragmente

2.8.1.7 33 A - Extraartikuläre Frakturen, distales Knochenende



A 1
einfach



A 2
fragmentär



A 3
komplex

2.8.1.8 33 B - Partiell artikuläre Frakturen, distales Knochenende



B 1
laterale Kondyle,
sagittal



B 2
mediale Kondyle,
sagittal



B 3
frontal, unikondylär
(laterale Ansicht)

2.8.1.9 33 C - Vollständig artikuläre Frakturen, distales Knochenende



C 1
einfach, metaphysal
einfach oder
fragmentär



C 2
einfach, metaphysal
vollständig



C 3
gesplittert

2.8.2 Frakturen des Tibiotarsus und der Fibula

2.8.2.1 41 A - Extraartikuläre Frakturen, proximales Knochenende



A 1
Avulsion



A 2
einfach



A 3
gesplittert

2.8.2.2 41 B - Partiell artikuläre Frakturen, proximales Knochenende



B 1
lateral, einfach



B 2
medial, einfach



B 3
unikondylär gesplittert

2.8.2.3 41 C - Vollständig artikuläre Frakturen, proximales Knochenende



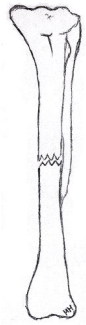
C 1
einfach, metaphysär
einfach



C 2
einfach, metaphysär
gesplittert



C 3
gesplittert

2.8.2.4 42 A - Fraktur der Diaphyse, einfach oder unvollständig

A 1
Querfraktur
Tibiotarsus,
Fibula intakt



A 2
unvollständige
Tibiotarsusfraktur
oder Fibula intakt



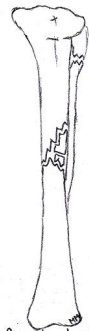
A 3
einfache
Schrägfraktur
Tibiotarsus und
Fibula



A 4
einfache
Querfraktur
Tibiotarsus und
Fibula

2.8.2.5 42 B - Fraktur der Diaphyse mit tibiotarsalem Fragment

B 1
reponierbares
Fragment



B 2
mehrere reponierbare
Fragmente



B 3
nicht reponierbares
Fragment

2.8.2.6 42 C - Komplexe Frakturen der Diaphyse

C 1
reponierbare
Fragmente



C 2
segmentär



C 3
nicht reponierbare
Fragmente

2.8.2.7 43 A - Extraartikuläre Frakturen, distales Knochenende



A 1
einfach



A 2
fragmentär



A 3
komplex



A 4
schräg, einfach

2.8.2.8 43 B - Partiiell artikuläre Frakturen, distales Knochenende



B 1
lateral Malleolus



B 2
medialer Malleolus



B 3
Multimalleolär

2.8.2.9 43 C - Vollständig artikuläre Frakturen, distales Knochenende



C 1
einfach, metaphysal
einfach



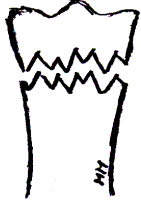
C 2
einfach, metaphysal
gesplittert



C 3
Gesplittert

2.8.3 Frakturen des Tarsometatarsus

2.8.3.1 61 A - Einfache, extraartikuläre Frakturen, proximales Knochenende



A 1
transversal



A 2
Schräg

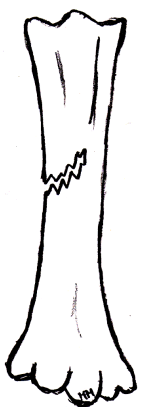
2.8.3.2 61 B - Partiell artikuläre Frakturen, proximales Knochenende

nicht übertragbar

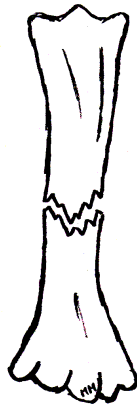
2.8.3.3 61 C - Vollständig artikuläre Frakturen, proximales Knochenende

nicht übertragbar

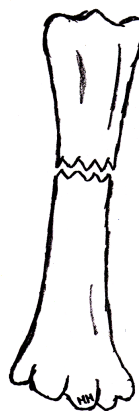
2.8.3.4 62 A - Einfache oder unvollständige Frakturen der Diaphyse



A 1
unvollständig



A 2
schräg

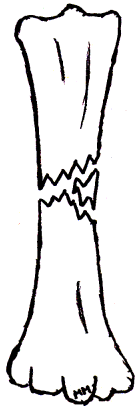


A 3
transversal



A 4
extrem schräg
distales Drittel

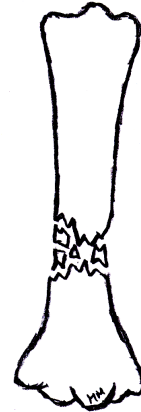
2.8.3.5 62 B - Fragmentäre Frakturen der Diaphyse



B 1
reponierbares
Fragment

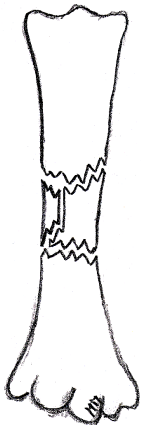


B 2
mehrere reponierbare
Fragmente

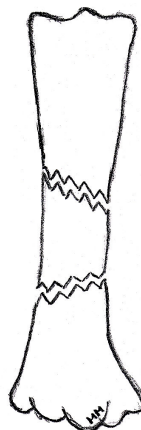


B 3
nicht reponierbare
Fragmente

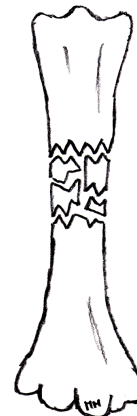
2.8.3.6 62 C - Komplexe Frakturen der Diaphyse



C 1
reponierbare
Fragmente



C 2
segmentär

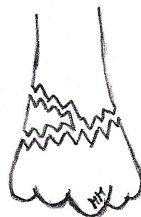


C 3
nicht reponierbare
Fragmente

2.8.3.7 63 A - Extraartikuläre Frakturen, distales Knochenende



A 1
einfach



A 2
fragmentär



A 3
Komplex

2.8.3.8 63 B - Partiiell artikuläre Frakturen, distales Knochenende

nicht übertragbar

2.8.3.9 63 C - Vollständig artikuläre Frakturen, distales Knochenende

nicht übertragbar

Beispiele:

- 31 B 2 einfache, proximale Femurhalsfraktur, transzervikal verlaufend
- 43 C 3 distale Tibiotarsusfraktur, gesplittert, mit vollständiger Gelenksbeteiligung
- 62 C 3 segmentale Fraktur der Diaphyse des Metatarsus

2.9 Konservative Frakturversorgung

Eine Alternative zum chirurgischen Eingriff stellt die konservative Frakturversorgung dar. Sie ist einfach, kostengünstig, erfordert minimale Ausrüstung und Erfahrung, birgt ein minimales Infektionsrisiko und bedarf lediglich einer Kurznarkose (BENNETT 1997). Empfohlene Anwendungsgebiete sind Fissuren oder einfache, geschlossene Brüche mit minimalen Gewebsverletzungen, bei denen die Fragmente nicht oder nur wenig disloziert sind, deren Ausrichtung nicht oder nur geringgradig verändert ist und die glatt voneinander getrennt wurden. Weitere Gründe für die Anwendung von Schienen und Verbände sind metabolisch-bedingte Frakturen und Knochen, die zu weich für die Anbringung jeglicher Gerätschaften sind (HARRISON und LIGHTFOOT 2006).

Auch bei Knochen, die vor einigen Tagen oder Wochen frakturiert wurden und bei denen sich röntgenologisch bereits eine Kallusbildung abzeichnet, bietet sich eine konservative Versorgung an, sofern oben genannte Voraussetzungen erfüllt sind. Da die konservative Methode eine Funktionsminderung der Gliedmaße bedingt, sollte sie nur zum Einsatz kommen, wenn eine 100 %ige Wiederherstellung der Gliedmaße nicht notwendig ist. Bei Zier- und Zoovögeln spielt dieses eine untergeordnete Rolle, bei Wildvögeln hingegen, insbesondere bei Greifvögeln, ist die vollständige Gliedmaßenfunktion für das Überleben in freier Wildbahn essentiell.

Eine Fixation mit Schienen und Verbänden eignet sich nur als primäre Fixationsmaßnahme, wenn lediglich eine geringe Beweglichkeit der Fragmente vorliegt, der Patient zu klein für einen chirurgischen Eingriff ist oder die Narkose das Leben des Patienten gefährdet, z. B. bei Leber- und Nierenschädigungen, Herzkrankheiten, sowie Schädeltraumen (MARTIN und RITCHIE 1994). Bei metabolischen Frakturen stellt die konservative Versorgung die Methode der Wahl dar (BENNETT 1997). Der Knochen ist in derartigen Fällen oft zu weich für andere Fixationstechniken. Auch für Frakturen kleiner Knochen, wie z. B. des Karpometakarpus, stellt diese Technik oft die einzige Versorgungsmöglichkeit dar. In allen anderen Fällen sollte die Frakturversorgung mit Schienen und Verbänden nur eine kurzfristige Notfallmaßnahme bis zur Operation des Patienten sein (MARTIN und RITCHIE 1994).

Minimale Beweglichkeiten im Frakturbereich verlängern den Heilungsvorgang bei der konservativen Frakturversorgung und können nachfolgend zu Komplikationen, wie dem Stresstod oder der Ausbildung eines Sohlenballengeschwürs an der gesunden Gliedmaße, führen (BENNETT 1997). Auch kann es zu Muskelatrophie, Gelenksversteifung, Sehnenkontraktionen oder -einklemmung in den Kallus, Verkürzung des Knochens und einer schlechten Ausrichtung des Knochens kommen (BENNETT 1997). Um Erkrankungen während des Heilungsprozesses möglichst gering zu halten, sollte der Verband daher so früh wie möglich entfernt werden (BENNETT und KUZMA 1992).

Die meisten Komplikationen entstehen häufig auch durch Fehlbenutzung der Gliedmaße (BLASS 1987). Bei mittleren und großen Vögeln führt eine exzessive Kallusbildung zu herabgesetzter oder zum Verlust der Funktionalität der Gliedmaße und Gelenksversteifung (BLASS 1987). Je nach Art und Ausmaß der Fraktur beträgt die Heilungszeit in der Regel drei bis vier Wochen (ANTINOFF 1996).

Die konservative Versorgung einer Fraktur kann mit Hilfe von Schlingen, Schienen oder Verbänden erfolgen. Ziel ist es, die Fraktur zu immobilisieren und dadurch Schmerzen zu lindern. Verbände und Schienen sollten aus den leichtesten Materialien, die zur Verfügung stehen, hergestellt werden (MARTIN und RITCHIE 1994). Eine gut ausgerichtete, stabilisierte Fraktur benötigt etwa drei Wochen zur Heilung (BUSH 1977).

Beim Anlegen von Schienen und Verbänden ist darauf zu achten, daß das proximale und das distale Gelenk in den Verband mit einbezogen werden, um Stabilität zu erzielen. Der Verband sollte mindestens einmal wöchentlich gewechselt werden, um Komplikationen, wie verminderte Durchblutung, Druckstellen oder ein Abrutschen des Verbandes, rechtzeitig entgegenzuwirken (BENNETT 1997). Gleiches gilt für Schienen, insbesondere Splintverbände bei kleinen Vögeln. Hier muß die Kallusbildung und die Stabilität regelmäßig palpatorisch überprüft werden, um den Verband nicht länger als nötig zu belassen.

Klebende Verbände sollten nicht zum Einsatz kommen, da sie das Gefieder schädigen und zu Dermopathie führen können (BENNETT 1997). Empfohlen werden Materialien wie elastische Binden, Mullbinden oder kohäsive Fixierbinden. Bei Greifvögeln sollten rote Verbände vermieden werden, da sie die Vögel irritieren und sie dazu veranlassen, in den Verband zu picken (BENNETT 1997). Bei Papageienvögeln (*Psittaciden*) sollte die Verwendung von Gaze unterbleiben, da diese dazu neigen, Fäden herauszuziehen, wodurch es zu Strangulationen, z. B. der Blutgefäße, kommen kann.

Die Breite des Tapes sollte dem Vogel bzw. dessen Gliedmaße angepaßt sein. Zu breite Verbände führen dazu, daß sie nicht richtig sitzen und verrutschen. Schienen aus Holz, Metall oder anderen Materialien sollten stets mit Verbandsmaterial abgedeckt sein, um Druckstellen und Verletzungen zu vermeiden und einer Zerstörung der Fixation vorzubeugen.

Synthetische Gipsverbände, wie Orthoplast[®], Hexcelite[®] und veterinärmedizinisches Thermoplastik sind bei Raumtemperatur stabil und werden in heißem Wasser formbar (BENNETT 1997). Orthoplast[®] ist verhältnismäßig schwer zu verarbeiten, während Hexcelite[®] einfacher in der Anwendung ist, in Sachen Stabilität allerdings dem Orthoplast[®] nachsteht. VTP ist ein thermoplastisches Material mit einer Schicht aus Gaze. Es ist besser formbar als Orthoplast und stabiler als Hexcelite[®]. Der umliegende Verband soll helfen, die Konstruktion trocken und sauber zu halten. Hierzu eignen sich selbstklebende Materialien, wie z. B. Peha-Haft[®].

Zur konservativen Versorgung gehört stets Käfigruhe in einem kleinen Käfig, in dem der Vogel sich nur bedingt bewegen kann, damit die verletzte Gliedmaße geschont wird sowie eine entsprechende Käfigausstattung, wie zum Beispiel gepolsterte Sitzstangen bzw. ein gepolsterter Pflock. Ferner sollte ein Schmerzmittel verabreicht werden. In manchen Fällen ist allein Käfigruhe ausreichend.

Welcher Verband bzw. welche Schiene im Einzelfall angelegt wird, ist abhängig von dem betroffenen Knochen. Im folgenden Text werden die einzelnen Verbände und Schienen näher beschrieben.

Die Anwendung von Schienen und Verbänden erfolgt aus unterschiedlichen Gründen. Zum einen können sie, wie bereits beschrieben, zur Stabilisation einer Fraktur dienen oder aber Schutz vor dem Auftreten von Überbelastungsreaktionen der gesunden Gliedmaße bieten, wie z. B. ein Ballverband zur Prophylaxe von Sohlenballengeschwüren, dem so genannten „Bumblefoot“. Außerdem können Verbände als zusätzliche Fixation, z. B. in Kombination mit einem intramedullären Pin (Marknagel, IM-Pin) dienen oder aber vor einer Operation, die bedingt durch Schwellung oder Entzündung erst ein bis zwei Tage später erfolgen kann, angelegt werden, um die Gliedmaße zu stabilisieren.

2.9.1 Konservative Frakturversorgung des Femurs

Die konservative Versorgung von Femurfrakturen erfolgt im Idealfall mit Hilfe eines Spica Splints, der das Hüftgelenk immobilisieren soll (siehe Abb. 12). Jedoch kommt es bei derartiger Versorgung oftmals zur Verkürzung der Gliedmaße, da die Muskulatur starken Zug auf die Fragmente ausübt, so daß diese über- bzw. ineinander geschoben werden. Eine konservative Versorgung ist nur angezeigt, wenn die Fragmente noch ausgerichtet sind, der verletzte Fuß noch genutzt wird und es durch veränderte Gewichtsverteilung nicht zu Pododermatitiden oder Arthritiden kommt. Der Spica Splint ermöglicht dem Vogel die Belastung der kranken Gliedmaße, wodurch der Entstehung eines Sohlenballengeschwürs vorbeugt wird. Er wird dem Vogel anfangend vom Rücken bis hinunter zum Tibiotarsus bzw. Tarsometatarsus in Standposition angepaßt und so befestigt, daß er sicher in Position bleibt. Durch diese Verbandstechnik kann ein Über- bzw. Ineinanderschieben der Knochenfragmente zwar nicht verhindert werden, aber sie unterstützt die axiale Ausrichtung des Knochens. Die Kombination mit einem Marknagel hat sich als vorteilhaft erwiesen.

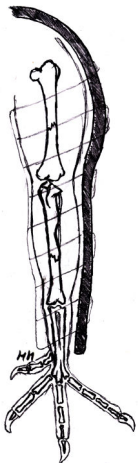


Abb. 12: Spica Split.

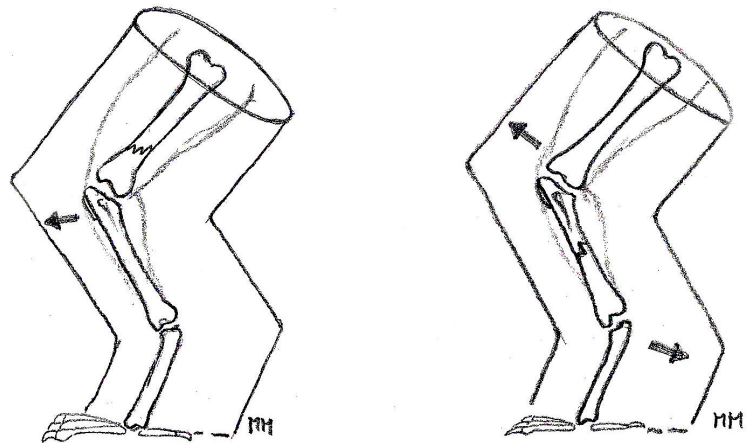


Abb. 13: Schroeder-Thomas-Schiene. Links: Befestigung der Gliedmaße an der Schiene bei einer Femurfraktur; Rechts: Befestigung der Schiene bei einer Tibiotarsusfraktur.

Zur Versorgung von Frakturen im distalen Bereich des Femurs wird die Anwendung einer Schroeder-Thomas-Schiene empfohlen (siehe Abb. 13), bei der die Fraktur durch Zugkraft zusammengehalten wird (DeCAMP 1993). Diese wird, wie der Spica Splint, an die physiologische Standposition angepasst. Die Zugkraft wird erreicht, indem Spannung auf die Gelenke proximal und distal der Fraktur gebracht wird. Für Zugkraft auf den distalen Femur wird der Tibiotarsus an die kraniale Schiene getapet, wodurch Spannung auf das Kniegelenk übertragen wird.

Alternativ können Femurfrakturen mit einer Steigbügel-umschließenden-Verbandstechnik behandelt werden. Dabei wird ein Steigbügel aus Tape geformt und mit Tape an der lateralen Seite des Beines entlang gewickelt, um das Bein in Flexionsstellung ruhig zu stellen. Das Tape sollte dabei in Höhe des Synsacrums über den Rücken, um den Bauch und wieder über den Fuß verlaufen. Jedoch kann auch diese Technik dem Muskelzug nicht standhalten und es kann zum Übereinandergleiten der Fragmente kommen. Am besten eignet sich diese Fixationsmaßnahme für Frakturen, die nur minimal disloziert sind oder als zusätzliche Fixation beim Setzen eines Marknagels.

2.9.2 Konservative Frakturversorgung des Tibiotarsus

Frakturen des Tibiotarsus können ebenfalls, wie bereits beim Femur beschrieben, mit einem Spica Splint versorgt werden (siehe Abb. 12). Auch die Schroeder-Thomas-Schiene leistet gute Dienste. Wie beim Femur sollten die Fragmente nah beieinander liegen und gut ausgerichtet sein. Außerdem sollte beachtet werden, daß die Gliedmaße nicht verkürzt ist. In Kombination mit einem intramedullären Pin erzielt die Schroeder-Thomas-Schiene eine sehr gute Stabilität der Fraktur und erlaubt eine sofortige Belastung der verletzten Gliedmaße (REDIG 1986), wodurch Überlastungsreaktionen der gesunden Gliedmaße vermindert werden können. Die Winkelung der Gliedmaße sollte der normalen Standposition entsprechen. Die Gelenke proximal und distal des Frakturspaltes werden an die Schiene getapet und ziehen so die Knochen auseinander, wodurch diese ausgerichtet werden. Wird der Femur an die kraniale und der Tibiotarsus an die kaudale Schiene getapet, wird die Spannung auf Kniegelenk und Sprunggelenk verteilt (siehe Abb. 13). Um Automutilation und ein Absterben des Gewebes zu verhindern, sollte Druck im inguinalen Bereich vermieden werden.

Ferner kann ein modifizierter Robert-Jones-Verband angelegt werden (siehe Abb. 14). Dazu wird die Gliedmaße in physiologischer Position gehalten, wobei sie, wenn möglich, ab dem Knie aufwärts gestreckt werden sollte. Nachdem eine Plastikschiene, z. B. Hexcelite® oder Orthoplast® geformt, gepolstert und angepaßt wurde, wird diese, beginnend von distal, mit der Gliedmaße verbunden und lateral oder kaudolateral an ihr befestigt. Zur Erhöhung der Stabilität kann der Fuß in die Schiene mit einbezogen werden. Ist das Material angepaßt und ausgehärtet, wird eine weitere Lage Verband und anschließend eine kohäsive Fixierbinde, z. B. VetWrap®, herumgewickelt. Wenn der Patient dazu neigt, ihn zu zerstören, kann der Verband noch mit einem strapazierfähigen Gewebeband, z. B. so genanntem „Panzerband“,

versehen werden. Beim Wechsel des Verbands wird stets die angepasste Plastikschiene verwendet. Ist ihre Form nicht ideal, kann sie erneut erhitzt und neu angepaßt werden.

Eine weitere konservative Versorgungsmöglichkeit des Tibiotarsus und des Tarsometatarsus stellt die modifizierte Ehmer-Schlinge dar. Dabei werden die beiden Knochen aneinander gebunden und geben sich so gegenseitig Halt. Anschließend wird das Bein am Körper befestigt. Das Tape verläuft dabei lateral über das Bein, über das Synsacrum und um das Abdomen.

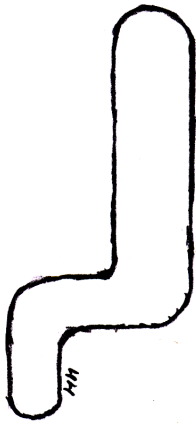


Abb. 14: Schablone für modifizierten Robert-Jones-Verband.

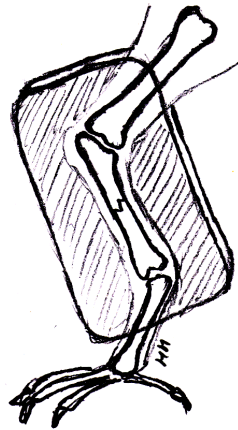


Abb. 15: Splint- oder Tape-Verband, Fraktur Tibiotarsus (Wellensittich (*Melopsittacus undulatus*)).

Bei Vögeln mit einem Gewicht unter 200 g werden bei einer Tibiotarsusfraktur stets Tapeverbände, so genannte Splint-Verbände, angewandt (BENNETT 1997) (siehe Abb. 15). Die Gliedmaße wird von Federn befreit, gereinigt und anschließend werden unter Einbeziehung des Knie- und Sprunggelenks von zwei Seiten jeweils drei bis vier Lagen Tape, z. B. Leukosilk[®], aufgebracht. Je nach Größe des Vogels können auch mehr oder weniger Lagen aufeinander geklebt werden. Dabei empfiehlt es sich, die Lagen schon vorab auf einer glatten Unterlage übereinander zu tapen und die Konstruktion anschließend auf den Tibiotarsus zu verbringen. Mit Hilfe einer Arterien-Klemme wird der Tape-Splint dem Knochen angepaßt. Anschließend sollten die Ecken abgerundet und eine kleine Schlaufe geformt werden, die unterhalb des Fußes verläuft und die Zehen in Position hält.

Die Tape-Verbände können zusätzlich mit Hilfe einer Büroklammer stabilisiert werden: Dazu wird bei Nymphensittichen (*Nymphicus hollandicus*) der innere gewundene Teil der Klammer, bei anderen Sittichen der äußere Teil der Klammer verwendet (CANNON 1995).

2.9.3 Konservative Versorgung des Tarsometatarsus

Neben der o. g. Anwendung der modifizierten Ehmer-Schlinge bei größeren Vögeln, wie Greifvögeln und Papageien (*Psittaciformes*), können Tarsometatarsusfrakturen bei kleinen Vögeln, wie Nymphen- oder Wellensittichen (*Melopsittacus undulatus*), mit Hilfe einer in der Mitte durchgeschnittenen Spritze geschient werden. Steinmann-Pins oder Kirschner-Drähte können an die plantare Fläche des Knochens, unter Einbeziehung einer Zehe, geformt und mit Verband umwickelt werden. Bei größeren Vögeln können Schienen aus Orthoplast[®], Hexcelite[®], o. ä. geformt und an den Knochen angepasst werden.

Bei Vögeln über 100 g beschreibt COLES (1997) die Anwendung eines Splint-Verbandes aus einer Plastikschiene, z. B. Hexcelite[®], und einer darunter platzierten Polyurethanschicht. Nach Anpassen der Schiene wird sie mit Hilfe einer kohäsiven Binde am Knochen befestigt.

2.10 Chirurgische Knochenzugänge

An dieser Stelle wird ein Überblick über die chirurgischen Zugänge vermittelt. Genaueres findet sich unter Material und Methoden (Kapitel 3.2.2).

2.10.1 Femur

Der chirurgische Knochenzugang zum Femur erfolgt in der Regel von lateral (OROSZ 1992). Er dient der Frakturversorgung mittels interner Fixation und der offenen Reposition. Dabei wird ein Hautschnitt entlang des Femurschafts geführt, wodurch die darunterliegende Muskulatur freigelegt wird. Nerven und Gefäße liegen tief unter der Muskulatur und treten deshalb beim Hautschnitt noch nicht in Erscheinung. Die Muskeln werden nun nach kranial verlagert, um den Knochen freizulegen. Ist die Sicht auf den Femur frei und die Frakturstelle gesichtet, kann nun der intramedulläre Pin, wie in Kapitel 3.2.2.1.3 beschrieben, in den Knochen eingebracht werden.

Beim Wundverschluss ist eine Adaptation der Muskulatur nicht unbedingt erforderlich (OROSZ 1992). Die Haut und das darunterliegende Gewebe werden mit einer Naht adaptiert. Zum Schutz sollte ein Verband angelegt werden.

2.10.2 Tibiotarsus

Am Tibiotarsus erfolgt der Knochenzugang aufgrund der starken Bemuskulung seiner lateralen Seite von medial (OROSZ 1992). Der Eingriff erfolgt zur offenen Reposition und zum Setzen eines IM-Pins.

Unter Berücksichtigung der medialen Metatarsalvene am distalen Ende des Tibiotarsus, die über das Fußgelenk nach kaudal verläuft und im Flexor als kaudale V. tibialis aufsteigt, wird nun ein Hautschnitt entlang des Schaftes des Tibiotarsus von distal nach proximal geführt.

Um die Wunde zu verschließen, werden die Muskelbäuche des *M. fibularis longus* und des *M. gastrocnemius* mit einer Naht adaptiert. Anschließend wird die Haut mit einer separaten Naht verschlossen.

2.10.3 Tarsometatarsus

Üblicherweise erfolgt das Setzen der IM-Pins, sowie die Reposition der Fragmente, blind, d. h. ohne chirurgischen Zugang. Jedoch kann zur offenen Reduktion und zur internen Fixation des Tarsometatarsus ein lateraler Zugang gelegt werden (OROSZ 1992).

Der Hautschnitt, durch den die Beugesehnen und Blutgefäße am kranialen Rand des Knochens freigelegt werden, wird über den Knochenschaft geführt. Die Strecksehnen liegen auf der kaudalen Seite des Knochens. Beim Setzen der Transkortikalpins ist die Lage der medialen Metatarsalvene zu berücksichtigen. Sie verläuft am medialen Ende des Knochens kranial zu den Beugesehnen.

Durch den Verlauf der Sehnen, ist ein chirurgischer Knochenzugang nur von medial oder lateral möglich. Das Setzen eines IM-Pins ist aufgrund der anatomischen Gegebenheiten, außer bei großen Vögeln, nicht möglich, so daß die Versorgung einer Fraktur in der Regel mit einem Fixateur externe Typ II (siehe Kapitel 3.2.2.3.2) erfolgt. Der Hautschnitt wird anschließend vernäht.

2.11 Grundlagen der Osteosynthese

Im 19. Jahrhundert wurden erstmals Knochennähte zur Osteosynthese in der Veterinärmedizin eingesetzt (PRIEUR 1985). Seit Beginn des 20. Jahrhunderts erschienen gelegentlich Fallberichte in England und Frankreich über Plattenosteosynthesen beim Tier (PRIEUR 1981), die als ein historischer Anfang zu werten sind (BONATH und VANNINI 1998). Aufgrund der schlechten Ergebnisse erlangten jedoch der Fixateur externe (STADER

1934, EHMER 1948) und der Marknagel (MÜNTSCHER 1940, JENNY et al. 1946) mehr und mehr an Bedeutung (BONATH und VANNINI 1998).

Ziel der Frakturversorgung ist die Wiederherstellung der Gliedmaßenfunktion (BONATH und VANNINI 1998). Bei einem Frakturtrauma kommt es zum Verlust der Knochenkontinuität, zur Dislokation der Fragmente sowie zur Zerstörung des Weichteilmantels. Des Weiteren werden Innervation und Vaskularisation geschädigt. Oftmals kommt es dabei auch zu Verletzungen des Gelenkknorpels. Die Folgen sind eine Beeinträchtigung der Gliedmaßenfunktion und eine mehr oder weniger herabgesetzte Mobilität des Patienten.

Eine Behandlung muß demzufolge alle bereits erwähnten Schäden mit einschließen, so dass die umfassenden Ziele einer stabilen Osteosynthese laut BONATH und VANNINI Folgendes beinhalten sollten (1998):

- Wiederherstellung der anatomischen Knochenform, insbesondere bei Gelenkfrakturen,
- ausreichende Blutversorgung der Knochenfragmente und der umliegenden Weichteile durch eine atraumatische Operationstechnik,
- stabile Fixation unter Berücksichtigung biomechanischer Anforderungen des Knochens und der Gelenke,
- frühzeitige, schmerzfreie und vollständige Belastung.

Wird eine Fraktur nicht oder falsch behandelt, kann es zur so genannten Frakturkrankheit kommen. Diese geht mit pathologischen Veränderungen der Weichteile, des Gelenks und der Knochen einher. Die auftretenden Probleme sind Inaktivitätsosteoporose (UHTHOFF und JAWORSKI 1978, UHTHOFF et al. 1985), Muskelatrophie und -fibrose, Verwachsungen von Weichteil- und Knochenstrukturen, sowie Gelenksteife, die durch eine Fibrose des Gelenkapparates, Defekte des Gelenkknorpels oder Ankylose hervorgerufen werden kann (BONATH und VANNINI 1998). Außerdem kann es zur Schwächung der Bänder und deren Ansätzen kommen. Derartige Komplikationen sind meist irreversibel.

Um das Auftreten von Frakturkrankheiten zu vermeiden, sollte eine stabile Osteosynthese angewandt werden, die eine frühzeitige Bewegung und gegebenenfalls auch Belastung ermöglicht, da das Komplikationsrisiko mit der Zeit zunimmt. Dieses wird mit Hilfe von Implantaten, wie Schrauben, Platten, Zerklagen, Marknägeln, sowie mit externer Fixation oder Kombinationen genannter Methoden, erreicht.

Welche Technik bzw. welches Implantat für die jeweilige Osteosynthese gewählt wird, ist von verschiedenen Faktoren abhängig. So wird dieses unter anderem von dem Frakturtyp, z. B. Quer-, Schräg- oder Trümmerfraktur, und der Lokalisation der Fraktur, z. B. Diaphyse, Epiphyse oder Gelenk, mitbestimmt. Außerdem muß geprüft werden, ob es sich um eine offene oder geschlossene Fraktur handelt und welchen Umfang bzw. welches Ausmaß die Fraktur einnimmt.

Entscheidend für eine rasche Heilung ist die Stabilität der Osteosynthese. Schon geringe Bewegungsmöglichkeiten der Fragmente führen zu Heilungsstörungen. Durch interfragmentäre Kompression, Knochenschienung oder deren Kombination wird diese Stabilität erreicht. Beim frühzeitigen und schmerzfreien Gliedmaßegebrauch ergänzen Körpergewicht und Muskelkraft, als dynamische Kräfte des aktiven Bewegungsapparates, bei bestimmten Techniken den Druck auf die Frakturflächen (BONATH und VANNINI 1998). Im Gegensatz zur konservativen Frakturversorgung, bei der eine sekundäre Heilung mit mehr oder weniger starker Kallusbildung erfolgt, wird durch die Osteosynthese eine frühzeitige und schmerzfreie Belastung der Gliedmaße mit primärer Knochenheilung erreicht.

2.12 Interne Fixation

Als interne Fixation bezeichnet man das Zusammenfügen und Schienen eines Knochens mit Hilfe von Implantaten, die am Knochen an- bzw. in den Knochen eingebracht werden. Nach Ausheilung der Fraktur werden die Implantate bis auf wenige Ausnahmen, wie z. B. Polymethylmethacrylat und Polymerpins, wieder entnommen. Laut NEWTON und ZEITLIN (1977) wird die Bildung einer knöchernen Einheit mit Hilfe der internen Fixation unter minimaler Kallusbildung am schnellsten erreicht.

Man unterscheidet verschiedene Methoden der internen Fixation. Dazu gehören die Plattenosteosynthese, die interne Fixation mittels Zerklagen oder die Insertion eines intramedullären Pins (IM-Pin, Marknagel) in den Knochen.

Die Wahl der Fixationsmethode ist abhängig vom Frakturtyp, der Lokalisation der Fraktur, von Größe und Alter des Tieres, der Anzahl der involvierten Knochen und Gliedmaßen und dem Ausmaß des zerstörten Weichteilgewebes. Weitere Faktoren, die für die Wahl eines angemessenen Implantates eine Rolle spielen, sind die Kooperation des Besitzers, das Verhalten des Tieres und nicht zuletzt die - zum Teil nicht unerheblichen - Kosten einer Operation, Sachkenntnis des Operateurs und der Assistenten sowie eine vorhandene Ausrüstung für die jeweilig ausgewählte Operationstechnik.

Um die Knochenverbindung nach einer Fraktur wiederherzustellen sind adäquate Stabilisation und Blutversorgung essentiell. Die Blutversorgung des Knochens wird über afferente, efferente und intermediäre Bahnen sichergestellt. Die afferente Versorgung erfolgt hauptsächlich durch die Arterie der Diaphyse, metaphysale Gefäße und periostale Arteriolen. Im heilen Knochen ist der kortikale Blutstrom von den medullären Gefäßen ausgehend. Das Blut fließt dabei zentrifugal von der Medulla zur Kortikalis und versorgt den größten Teil der diaphysalen Kortikalis. Die periostale Blutversorgung ist hingegen gering.

Nach einer Fraktur kommt es durch den Verlust der medullären Blutgefäße zum zentripetalen Blutfluss in den sich bildenden Kallus. Bei guter Stabilisation wird die medulläre Versorgung innerhalb weniger Wochen wieder hergestellt, wodurch der zentrifugale Blutfluss zur Kortikalis wieder aufgebaut ist.

Um die Wahl des Implantates individuell an die jeweils vorliegende Fraktur anzupassen, sollte der Operateur die Kräfte kennen, die auf eine Fraktur einwirken. Unterschieden werden diesbezüglich vier Basiskräfte: Rotations-, Scher- und Biegungskräfte sowie Kräfte, die durch Apposition von Fragmenten entstehen (DeYOUNG und PROBST 1993) (siehe Abb. 16).

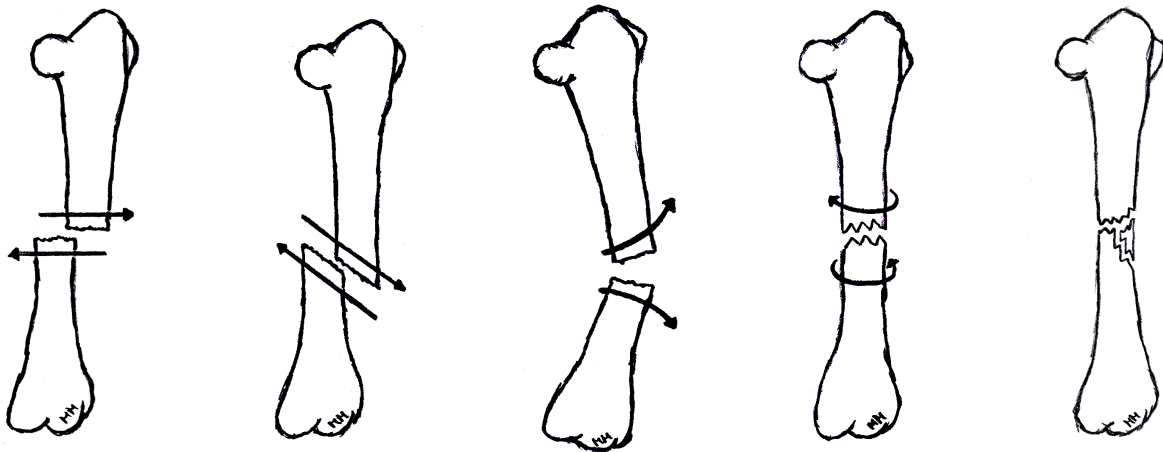


Abb. 16: Frakturkräfte. Von links nach rechts: horizontale Scherkräfte, transverse Scherkräfte, Biegungskräfte, Rotationskräfte, Apposition von Fragmenten (nach DeYOUNG und PROBST 1993).

Zur Ruhigstellung einer Fraktur muß die individuell ausgewählte Fixationsmethode die Kräfte, die auf die Fraktur einwirken, neutralisieren. Bereits eine minimale Beweglichkeit der Knochenfragmente verhindert das Einsprossen von Kapillaren, wodurch die Heilung negativ beeinflusst und damit die Verknöcherung von Fragmenten verhindert wird. Eine stabile Fixation fördert das Einsprossen von Blutgefäßen und ermöglicht durch stetigen Blutfluss das Abschwemmen von Keimen und die Angriffsmöglichkeit des Immunsystems, was zur Reduktion des Infektionsrisikos führt (vgl. Kapitel 2.6). Umliegende Gewebe werden durch eine gute Stabilisation der Fragmente vor weiteren Beeinträchtigungen, z. B. durch bewegliche, spitze Knochenteile, geschützt.

Rotationskräfte treten bei allen Frakturen auf, vor allem bei Quer- und leichten Schrägfrakturen der langen Röhrenknochen. Knochenfragmente, die direkt aneinander liegen und durch Implantate oder Muskelkraft aneinander gedrückt werden, sind den

Rotationskräften weniger ausgesetzt. Ungebremste Rotationskräfte können zu Dislokation von Fragmenten, Deformationen verschiedener Abschnitte der Hintergliedmaße sowie Störungen der Frakturheilung führen.

Unabhängig von der Größe des IM-Pins werden Rotationskräfte durch ihn nicht neutralisiert. Der kortikale Halt des IM-Pins am Ende des Knochens ist nicht ausreichend, der Rotation der Segmente um seine Achse vorzubeugen. Die Kräfte werden durch das Ineinanderverkanten von Fragmenten und deren Kompression durch interne und externe Spannkraften neutralisiert.

Biegungskraften entstehen durch eine exzentrische axiale Belastung des Knochens, Defekte in der Kortikalis auf der Kompressionsseite des Knochens oder durch beides. Werden die Biegungskraften durch das Implantat nicht neutralisiert, kann es zur Vergrößerung des Frakturspaltes oder einer Verlegung des Implantates, z. B. durch Implantatbruch oder Verrutschen des Implantates, kommen. Zusätzliche Fixationsmaßnahmen, wie z. B. Schroeder-Thomas-Schienen (siehe Kapitel 2.9), können als Hebel wirken und die Biegungskraften sogar noch verstärken.

Die Fähigkeit des IM-Pins, den Biegungskraften standzuhalten, ist proportional zu seinem Durchmesser sowie dem Verhältnis des Pindurchmessers zum Durchmesser der Markhöhle. Eine übergroße Markhöhle birgt Schwierigkeiten, Biegungskraften durch einen IM-Pin zu neutralisieren. Deswegen ist die zusätzliche Fixation durch einen Fixateur externe in den meisten Frakturen unerlässlich. Der zu bevorzugende alternative Einsatz der Plattenosteosynthese scheitert in der Vogelmedizin oftmals an der Größe der Patienten.

Scherkräfte treten vor allem bei Schrägfrakturen auf. Dabei gleiten die Frakturenenden parallel übereinander. Auch bei Querfrakturen wirken Scherkräfte, wobei die frakturierten Knochenenden horizontal aufeinander reiben. Horizontale Scherkräfte treten oftmals auf, wenn nur ein intramedullärer Pin gesetzt wurde.

Der Erfolg, horizontale und winklige Scherkräfte zu neutralisieren, ist abhängig von der Größe des IM-Pins im Verhältnis zur Markhöhle. Ist der intramedulläre Pin kleiner als die Markhöhle, können Scherkräfte auftreten, die zu horizontaler Bewegung oder Übereinanderverschieben der Fragmente, dem so genannten „over-riding“, führen können. Ähnelt der Durchmesser des intramedullären Pins dem der Markhöhle, werden die Scherkräfte effektiv neutralisiert. Allerdings ist kein Knochen gleichmäßig wie ein Zylinder geformt, so daß der intramedulläre Pin nie optimal an die Markhöhle beider Fragmente angepaßt werden kann.

Die Apposition von Fragmenten ist keine Frakturkraft. Da der Kontakt der Kortikalis die Implantate beim Entgegenwirken von Rotations-, Scher- und Biegekräften unterstützt, ist es wichtig, abgesplitterte Fragmente zu erhalten und dadurch die Stabilität zu erhöhen. Mit Ausnahme zweiteiliger Frakturen, können intramedulläre Pins die Apposition von Fragmenten nicht erhalten.

Bei der Anwendung von IM-Pins muß darauf geachtet werden, daß Rotations-, Scher- und Biegungskräfte neutralisiert werden. Kann dieses Kriterium nicht erfüllt werden, muß die Fraktur zusätzlich mit einem Fixateur externe fixiert werden oder die Wahl auf ein anderes Implantat, z. B. eine Platte, fallen. Die Verwendung und Einbringung mehrerer IM-Pins reduziert die Rotationskräfte, erhöht die Stabilität und wird als „stack-pinning“ bezeichnet (DeYOUNG und PROBST 1993).

2.12.1 Plattenosteosynthese

Die Anwendung der Plattenosteosynthese konnte sich in der Vogelmedizin lange Zeit nicht durchsetzen. Es wurde angenommen, daß die dünne und spröde Kortikalis nicht genügend Halt für die Schrauben bieten würde (BENNETT und KUZMA 1992). Durch neue Methoden und technische Verbesserungen hat sich die Plattenosteosynthese mittlerweile jedoch auch in der Vogelmedizin etabliert (BENNETT 1997). Über den Halt der Schrauben in den Vogelknochen liegen jedoch bislang keine Studien vor.

In der Regel werden die Marknagelung und der Einsatz von externen Fixateuren der Anwendung einer Plattenosteosynthese vorgezogen, jedoch gibt es einige Frakturen, die mit erstgenannten Fixationstechniken nicht optimal versorgt werden können. Während die Anwendung eines IM-Pins keine Rotationsstabilität erwirkt und die endostale Blutversorgung behindert, trifft der Fixateur externe bei gelenknahen Frakturen auf seine Grenzen. Bei derartigen Frakturen wäre eine Plattenosteosynthese die Methode der Wahl, wodurch es neben der rigiden Stabilisation auch zur Reduktion der Kallusbildung, und damit geringeren Wahrscheinlichkeit einer Synostose, kommt.

Besonders für Frakturen der Beckengliedmaße ist die Plattenosteosynthese gut geeignet, da die Kortikalis der Knochen der Hintergliedmaße dicker ist als die der Vordergliedmaße (BLASS 1987). Zusätzliche Fixationsmaßnahmen, wie Schienen und Verbände, sind bei der Verplattung nicht nötig. Die Funktionsfähigkeit der Gliedmaße bleibt bei der Anwendung der Plattenosteosynthese fast vollständig erhalten und die Funktionsrückkehr erfolgt relativ rasch.

Da Knochenplatten eine nahezu einwandfreie Stabilität verleihen, ist bei der Anwendung der Plattenosteosynthese in der Vogelmedizin eine primäre Knochenheilung mit geringer Kallusbildung zu beobachten, während die Heilung in allen anderen Fällen stets sekundär, d. h. mit der Bildung von Kallus, abläuft. Ferner ermöglicht die Plattenosteosynthese eine gute anatomische Ausrichtung und schließt Interferenzen mit angrenzenden Gelenken weitgehend aus. Da die Implantate vollständig unter der Haut liegen, werden sie von den Patienten sehr gut toleriert. Problematisch sind jedoch ein großes Operationsfeld, eine erhöhte Narkosedauer und die schwache, leicht splittende Kortikalis der Vögel (GANDAL 1988). Außerdem kommt es während der Operation zu exzessiven Gewebeabhebungen, die zum Setzen und Entfernen des Implantates unumgänglich sind. Neben hohen Kosten für die benötigte Ausrüstung eignet sich das Material, das derzeit verfügbar ist, nur für große Vögel. Die Anwendung der Plattenosteosynthese erfolgt in den meisten Fällen bei geschlossenen Frakturen. Bei offenen Frakturen sollte sie unterbleiben, da diese bereits kontaminiert sind und eingebrachte Implantate als Brücke für weitere Keime dienen können, wodurch Infektionen im Knochen hervorgerufen oder begünstigt werden können.

2.12.1.1 Auswahl der Platte

Knochenplatten sind in allen Größen und Formen erhältlich. Die Auswahl der benötigten Platte wird anhand folgender Faktoren festgelegt: Größe des Tieres, betroffener Knochen, Grad der Zertrümmerung, Vorliegen von Fissuren und Lokalisation der Fraktur am Knochen (DeYOUNG und PROBST 1993).

Die Größe der Platte sollte so gewählt werden, daß sie zwar groß genug ist, um Kräfte, die auf die Fraktur einwirken, zu neutralisieren, aber nicht zu steif für den Knochen, da dieses die Einheitsbildung des Knochens unterbinden kann. Ferner kann es zu Frakturen im Bereich der Plattenenden kommen. Da die Platte die Last des Körpers trägt, wird der Knochen nicht mehr ausreichend durch das Tragen des Körpergewichts stimuliert. Wird die Platte zu lange am Knochen belassen, kommt es zur Knochenatrophie.

2.12.1.1.1. Einteilung der verschiedenen Platten

In der Vogelmedizin werden unterschiedliche Platten zur Versorgung von Frakturen herangezogen: Fingerplatten (Humanmedizin), semitubuläre Platten, dynamische Kompressionsplatten (DCP) und veterinärmedizinische schneidbare Platten (BENNETT und KUZMA 1992), sowie Platten aus Acryl (MARTIN und RITCHIE 1994). Sie wurden mit Hilfe

der Standard ASIF-Techniken (American Society of Internal Fixation) erfolgreich eingesetzt (BENNETT und KUZMA 1992). Kleine Fingerplatten aus der Humanmedizin, schneidbare Metallplatten und Platten aus Acryl können ab einem Körpergewicht des Patienten von 350 g bei Frakturen langer Röhrenknochen eingesetzt werden (MARTIN und RITCHIE 1994).

Fingerplatten aus der Humanmedizin dienen der Versorgung von Frakturen der menschlichen Fingerknochen und sind relativ klein, so daß sie ab einer bestimmten Größe des Patienten auch in der Vogelmedizin zum Einsatz kommen.

Semitubuläre Platten passen sich sehr gut an den runden Vogelknochen an. Sie sind sehr dünn, was den Wundverschluss über der Platte erleichtert. Dafür sind sie nicht so belastbar wie dynamische Kompressionsplatten und sind nur relativ groß erhältlich. Sie werden als Selbstkompressionsplatten verwendet und sind durch ihre geringe Dicke von einem Millimeter leicht zu verformen. Durch nahe Adaptation der Platte an und Eingraben der Kanten in den Knochen wird Rotationsstabilität erreicht. Nachteilig sind die Schraubenköpfe, die weit durch die Plattenlöcher reichen und dadurch die darunter liegende Kortikalis beschädigen. Die Stabilität der Platte ist im Vergleich zu anderen geraden Platten bedeutend höher.

Veterinärmedizinische, schneidbare Platten (VCP) haben eine Länge von 30 cm und 50 Löcher und können nach Belieben gekürzt werden. Die kleinere Größe ist mit Schrauben von 1,5 mm oder 2,0 mm kompatibel, die größere Platte mit Schrauben von 2,0 mm oder 2,7 mm. Die Platten sind klein und leicht. Um ihre Stabilität zu erhöhen, können mehrere von ihnen übereinander gelegt werden.

Die dynamische Kompressionsplatte (DCP) unterscheidet sich von anderen Modellen durch ihre oval geformten Löcher. Sie wird auf der Zugseite des Knochens als Zuggurtungsplatte angelegt (MATIS 1999). Kompression wird durch exzentrisches Setzen der Schrauben in die ovalen Löcher erreicht.

2.12.1.1.2 Funktionelle Einteilung der verschiedenen Platten

Je nach Anbringung kann die Platte als Spanngurt fungieren, sofern sie auf der Spannungsseite eines gewichtstragenden Knochens angebracht ist, wie z. B. am lateralen Femur, als Neutralisationsplatte, um eine Trümmerfraktur zu schützen, oder als Stützplatte, um einen diaphysalen Spalt zu überbrücken (DeYOUNG und PROBST 1993). Die Platten

werden möglichst genau der Knochenform angepaßt. Dabei ist eine röntgenologische Ablichtung der anderen Gliedmaße sehr hilfreich. Liegt die Platte nicht gut am Knochen an, kommt es zu Fehlstellungen (DeYOUNG und PROBST 1993).

so genannte „Spannungsplatten“ kommen bei Quer- und kurzen Schrägfrakturen sowie bei pseudarthrotischen Frakturen zum Einsatz. Um axiale Kompression in Ruhe zu gewährleisten, muß die Platte so angebracht werden, daß sie nach ihrer Anbringung unter Spannung steht. Wird eine gerade Platte an einem geraden Knochen angebracht, entsteht eine Lücke auf der gegenüberliegenden Seite, wenn Spannung auf die Platte kommt, darum muß die Platte auf der Frakturseite leicht konvex durchgebogen werden.

„Neutralisationsplatten“ neutralisieren auf die Fraktur einwirkende Scher-, Spannungs- und Rotationskräfte. Sie werden vorwiegend bei der Versorgung von Splitterfrakturen eingesetzt, übernehmen gewichtstragende Funktion und schützen den gesplitterten Knochenabschnitt.

„Stützplatten“ dienen der Versorgung von Defekten in der Diaphyse und werden nie unter Spannung implantiert. Sie müssen daher so geformt werden, daß sie den Knochen unterstützen und nicht, wie bei der Anwendung einer Kompressionsplatte, zusammendrücken. Die Knochendefekte werden mit Knochenmaterial aufgefüllt, so daß die Platte bis zur Ausheilung des Defekts den Knochen vor dem Kollabieren schützt.

2.12.1.1.3 Postoperative Behandlung

Die postoperative Behandlung ist entscheidend für die Heilung der Fraktur und eine schnelle Wiederherstellung der Funktionalität der Gliedmaße (DeYOUNG und PROBST 1993). Nach der Stabilisation der Fraktur mit einer Platte, wird die Gliedmaße zusätzlich kurzzeitig verbunden bzw. geschient, um postoperativen Schwellungen vorzubeugen und Schwellungen, die vor der Operation bereits vorhanden waren, zu mindern. Postoperativen Schwellungen entgegenzuwirken ist notwendig für eine schnelle Wiederherstellung der Gliedmaße (DeYOUNG und PROBST 1993). Eine längere Anwendung von Schienen und Verbänden in Verbindung mit einer Plattenosteosynthese sollte unterbleiben, da dieses Komplikationen bergen kann.

Zur Vermeidung von Frakturkrankheiten sollte das Tier die Gliedmaße sobald wie möglich wieder benutzen. Dadurch bleibt der Muskeltonus erhalten, die gleitenden Funktionen von Muskeln und Sehnen werden beibehalten, fibrösen Adhäsionen wird vorgebeugt und die Überbelastung der kontralateralen Gliedmaße gemindert. Direkt nach dem Eingriff sowie an den ersten Tagen p. o., sollte das Tier ruhig gehalten werden.

2.12.1.1.4 Entnahme

Zeigen palpatorischer und röntgenologischer Befund, daß die Knochenverbindung wieder hergestellt ist, kann das Implantat entnommen werden. Wird die Platte belassen, kehrt der Knochen nicht wieder zur physiologischen Funktion zurück. Ein rechtzeitiges Entnehmen der Platte bezeichnet man deswegen auch als „Stressprotektion“. Ferner kann es zur Korrosion der Platte kommen. Direkt unter der Platte entsteht oft eine kortikale Osteopenie. Ist die Platte zu starr, kann dieses zur Verdünnung der darunter liegenden Kortikalis führen.

Die Implantate werden erst entfernt, wenn Röntgenbilder ergeben, daß die Architektur des Knochens wiederhergestellt ist (DeYOUNG und PROBST 1993). Nach Entfernung des Implantates kann es unmittelbar danach zu Frakturen, in den meisten Fällen von Schraublöchern ausgehend, kommen, wenn die physiologische Bewegung sofort zugelassen und nicht noch für sieben bis zehn Tage eingeschränkt wird (MARTIN und RITCHIE 1994). Durch die Entnahme von Schrauben verliert die Diaphyse bei Kleintieren 50 % der Torsionsstabilität. Erst nach ein bis zwei Monaten liegt die Belastbarkeit des Knochens wieder bei 100 % (DeYOUNG und PROBST 1993).

Lange Röhrenknochen müssen deshalb nach der Implantatentnahme vor zu schneller und zu starker Belastung geschützt werden und die Bewegungsfreiheit der Tiere für einige Wochen eingeschränkt werden, um eine erneute Fraktur zu verhindern. Ferner sollte schrittweise ein physiotherapeutisches Programm erstellt werden. Anschließend sollte es dem Vogel erlaubt sein, die Gliedmaße wieder normal zu benutzen.

Laut BENNETT (1997) ist eine Entnahme der Platte in der Vogelmedizin jedoch selten nötig. Das Belassen der Platte führt, so fern ersichtlich, zu keiner Behinderung des Vogels. Ausnahmen bilden Tiere, denen das Implantat spezifische Probleme bereitet oder die der Kälte ausgesetzt sind, da es in diesen Fällen zu Kältesensibilität, die mit Schmerzen und Automutilation einhergeht, und Frostbeulen kommen kann.

Die Entfernung von Implantaten bei Wildvögeln, die wieder ausgewildert werden sollen, ist jedoch sehr wichtig, da sie nicht unter Beobachtung stehen und eventuelle Probleme, wie eine Fraktur des Knochens am Plattenende, nicht erkannt werden. Zur Entfernung des Implantates muß der Patient in Narkose gelegt und das Gewebe an der Frakturstelle chirurgisch eröffnet werden. Über eine geringe Anzahl assoziierter Osteosarkome wird in der Kleintiermedizin berichtet. Dieses wurde bei Vögeln jedoch bislang nicht beobachtet (BENNETT 1997).

2.12.1.1.5 Maxillofaziale Miniplatte

Eine Alternative zur beschriebenen Plattenosteosynthese bietet die Maxillofaziale Miniplatte Compact 1.0 mit einer Länge von 10 cm und einer Dicke von 0,7 mm aus der Humanmedizin. Sie besteht aus Titan und kann individuell gekürzt werden. Die Platte wurde speziell für die humanmedizinische Maxillofazialchirurgie entwickelt und wird zur Stabilisierung von Knochenfragmenten eingesetzt, ohne Gewicht tragen zu müssen (CHRISTEN und HATT 2004). CHRISTEN und HATT testeten diese Platte 2004 im Rahmen einer Studie an einer gelenksnahen Tibiotarsusfraktur eines Afrikanischen Graupapageien (*Psittacus erithacus*) und an Radius-/Ulna-Frakturen bei Tauben (*Columba livia*).

Die Anwendung dieser Platte wurde bereits zweimal beschrieben. So hat HATT (2001) eine frische, geschlossene, gelenksnahe Tibiotarsusfraktur eines Afrikanischen Graupapageien (*Psittacus erithacus*) mit Hilfe einer Doppelverplattung erfolgreich versorgt. Bereits fünf Tage p. o. begann das Tier den Fuß zu belasten und mit ihm zu greifen. Röntgenologisch wurde 50 Tage nach dem Eingriff eine komplikationslose Heilung mit wenig Kallusbildung nachgewiesen.



Abb. 17: Maxillofaziale Miniplatte.

Eine andere Studie beschreibt die Osteotomie der Ulna und des Radius bei Tauben (*Columba livia*), denen zuvor beide Knochen frakturiert wurden. Anschließend wurde die Ulna im ersten Teil der Studie mit einer maxillofazialen Miniplatte versorgt, während der Radius nur adaptiert wurde. Beim Kontrollröntgen nach 14 Tagen stellte sich heraus, daß die verbogene Platte den Frakturkräften nicht standgehalten hatte. Jedoch konnte nach weiteren zwei Wochen via Röntgendiagnostik eine stabile Frakturheilung mit deutlicher Kallusbildung nachgewiesen werden. Im zweiten Teil der Studie wurde der Radius mit einem intramedullären Pin versorgt. Im Kontrollröntgen konnte nach 14 und 28 Tagen trotz Verbiegungen und Torsion der Platte eine reduzierte Kallusbildung beobachtet werden.

CHRISTEN und HATT fanden in ihrer Studie heraus, daß sich die rigide Stabilisation und die geringe Kallusbildung bei der Verplattung als vorteilhaft erwiesen hat, was zur Vermeidung von Synostosen beiträgt. Ferner können mit dieser Methode gelenksnahe Frakturen versorgt werden. Die Operationszeiten entsprechen in etwa der Versorgung einer offenen Fraktur mittels Fixateur externe. Allerdings müssen die Platten so dünn sein, daß sie unter der Haut nicht zu Spannungen der Wundnaht führen (CHRISTEN und HATT 2004). Vor allem bei diaphysären Frakturen sind die Kräfte, die auf die Platte wirken, sehr stark. Sie eignet sich

daher besser zur Fixation von kleinen Fragmenten. Insgesamt sehen CHRISTEN und HATT (2004) den Einsatz der Plattenosteosynthese in der Vogelmedizin noch immer als eine Herausforderung an.

2.12.2 Zerklagen

Zerklagen kommen in der Veterinärmedizin häufig zum Einsatz, da sie vielfältig eingesetzt werden können, einfach anzuwenden und ökonomisch sind. In erster Linie dienen sie der Versorgung von Splitter- und gelenksnahen Frakturen. In der Vogelmedizin ist ihr Einsatz jedoch begrenzt, da die Knochen häufig von zu geringer Größe sind.

Durch den Einsatz von Zerklagen kann den Rotations- und Scherkräften und somit der Dislokation von Fragmenten entgegengewirkt werden: Die zusätzliche Fixation durch einen intramedullären Pin oder eine Platte ist jedoch nötig, um Biegungskräfte zu reduzieren. In Kombination mit Kirschner-Drähten neutralisieren Achterdrähte Spannkraften und wandeln diese in Kompressionskräfte um. Die ordnungsgemäße Anwendung von Zerklagen ist essentiell für die Einheitsbildung mehrerer orthopädischer Vorrichtungen zur Stabilisation von Frakturen (REDIG 1995).

Der Blutfluss bleibt bei der Versorgung einer Fraktur mit einer Zerklage unbeeinflusst. Extraossäre Gefäße verlaufen perpendikular und wachsen um die Drähte herum. Periostale Venen und arterielle Systeme, die nicht longitudinal an der Knochenoberfläche verlaufen, werden nicht beeinträchtigt. Intrakortikale Kapillare sind durch den umgebenden Knochen geschützt. Der intrakortikale, longitudinale Blutfluss ist auf ein bis zwei Millimeter begrenzt und verringert die kollaterale Avaskularität durch den Draht.

Um beim Einsatz von Zerklagen ein Verrutschen der Drähte zu verhindern und gute Kompression sowie Stabilität der Fraktur zu erreichen, müssen diese dem Knochen fest anliegen und mit dem Periosteum in Kontakt stehen. Ferner müssen sie senkrecht am Knochen angebracht werden, da ein schräg angebrachter Draht in die senkrechte Lage verrutschen und sich dadurch lockern kann. Um dieses zu vermeiden, kann ein Kirschner-Draht quer durch den Knochen gezogen oder die Kortikalis leicht eingekerbt werden.

Wird der Knochen von Muskeln und Faszien eingeschlossen oder bedeckt, so wird der Draht mit Hilfe eines Instrumentes zur Drahtführung unterhalb der Muskel- und/oder Fasziennpartien direkt am Knochen entlang geführt. Kompression der Weichteilgewebe unter den Drähten führt zu ischämischen Nekrosen und Atrophie, wodurch sich die Zerklage lockern kann. Ist das Periosteum sichtbar, werden die Zerklagedrähte direkt darüber platziert.

2.12.2.1 Knotentechnik

Um der Lockerung der Zerklage vorzubeugen, muß sie mit Hilfe eines Knotens am Knochen befestigt werden. Man unterscheidet dabei zwischen einem gedrehten Knoten und einem so genannten „Looping-Knoten“. Instrumente, mit denen ein gedrehter Knoten vollzogen wird, erzeugen Spannung beim Drehen. Durch die mechanische Belastung kommt es zur Materialschwächung. Beim „Looping-Knoten“, bei dem das freie Ende des Drahtes durch eine Schlinge am anderen Ende des Drahtes gezogen wird, wird dieses vermieden.

Wird der gedrehte Knoten gekappt und drei Windungen bestehen gelassen, so verringert sich die Spannung um 21 % (PARDO 1993). Wird der Draht anschließend noch gebogen, kommt es zu Spannungseinbußen von 30 - 70 % (PARDO 1993). Das Biegen des Drahtes während des Verdrehens verringert den Spannungsverlust. Wird der Draht mit einer Schlinge zum so genannten „Looping-Knoten“ befestigt, hat das Kürzen keinen Effekt auf die Spannung, da der Draht bereits gebogen ist und fest am Knochen anliegt. Ferner wird mit dem „Looping-Knoten“ eine stärkere Kompression der Fragmente erzielt.

2.12.2.2 Versorgung von Frakturen an Knochenenden

Nach Reposition der Fraktur werden zwei Kirschner-Drähte senkrecht zur Frakturlinie und parallel zueinander durch das abgesplitterte Knochenstück in den Hauptknochen getrieben, um Rotationsstabilität zu erzielen. Um ausreichenden Halt zu garantieren, müssen die Drähte dabei die gegenüberliegende Kortikalis durchstoßen. An der diaphysalen Seite wird anschließend ein transverses Loch in die Kortikalis gebohrt, das den gleichen Abstand zur Frakturlinie hat wie der höchste Punkt des abgetrennten Knochenstücks. Nun wird ein Draht in Form einer Achterschlinge durch das Loch geführt und um die Kirschner-Drähte gelegt. Verschlossen wird der Draht auf beiden Seiten mit einem simultan gedrehten Knoten, der zum Knochen hin gebogen wird. Der restliche Draht wird entfernt, um die Gewebereizung gering zu halten.

Alternativ kann das freie Knochenstück mit einer Schraube und Kirschner-Drähten am Elternknochen befestigt werden. Dieses ist in der Vogelmedizin aufgrund der geringen Körpergröße der Patienten jedoch eher unüblich und stellt allenfalls eine alternative Versorgung von Frakturen bei großen Vögeln, z. B. Schwänen, dar. Entnommen wird das Implantat nur, wenn es durch das Metall zu Gewebereizungen kommt oder das Implantat sich gelockert hat und droht verloren zu gehen.

2.12.2.3 Zuggurtung

Die Zuggurtung dient der Versorgung von Frakturen, deren Fragmente durch die Kraft von Muskeln, Sehnen oder Bändern disloziert werden, d. h. an Stellen, an denen ein Knochen teil vom Elternknochen weggezogen wird, wie z. B. am Femurhals oder -kopf. Das Prinzip besteht darin, Spannungs- und Distraktionskräfte in Kompressionskräfte umzuwandeln. Die Zuggurtung wird 180° entgegen des Muskelzuges angebracht (PARDO 1993). Die gegensätzlichen Kräfte führen zur Kompression der Frakturlinie.

2.12.2.4 Zerklage-Techniken

Der Einsatz von Zerklagen ist überaus vielfältig. Welche Variante im Einzelfall gewählt wird, ist von verschiedenen Faktoren abhängig, wie z. B. von der Art der Fraktur, des involvierten Knochens und des Knochenabschnitts.

„Full-Cerclage-Wires“ werden zur Versorgung von Quer- und Spiralfrakturen sowie Splitterfrakturen, sofern deren anatomische Wiederherstellung möglich ist, entlang der Diaphyse an Femur und Tibia eingesetzt. Sie werden oft mit der Marknagelung kombiniert. Das Verfahren neutralisiert Scher-, Rotations- und Winkelkräfte und führt zur Kompression der Frakturlinie.

Interfragmentäre Drähte sind Zerklagen, die durch Löcher in der Kortikalis teilweise um den Knochen herum und über die Frakturlinie geführt werden. Der Verlauf des Drahtes ist oft unterschiedlich, z. B. Achterverlauf, horizontale Matratze oder einfache, unterbrochene Muster, die über die Querfrakturen der Diaphyse verlaufen, um Rotationskräfte zu neutralisieren. Ihr Einsatz erfolgt in Kombination mit Knochenplatten, Marknägeln oder Schrauben.

Drähte, die in Form einer Acht am Knochen angebracht sind, werden als Achter-Antirotationsdrähte bezeichnet, neutralisieren Rotationskräfte und sorgen - bei korrekter Anbringung - für eine gute Kompression. Der Draht sollte nicht zu fest gezogen werden, um eine Distraktion der Fragmente auf der gegenüberliegenden Seite zu verhindern.

Zur Stabilisation kleiner Knochenfragmente und kurzer Querfrakturen bietet sich die Anwendung von einfachen, unterbrochenen Hemizerklagen in Kombination mit Marknägeln an. Da Hemizerklagen nur aus einer Drahtlitze bestehen, gewährleisten sie eine effektive

Neutralisation von Scher- und Rotationskräften in nur eine Richtung. Hemizerklagen eignen sich sehr gut bei Frakturen der Mandibula oder anderer flacher Knochen.

2.12.2.5 Komplikationen

Komplikationen entstehen meist durch unsachgemäße Anwendung von Zerklagen. Werden die Zerklagen beispielsweise schräg an den Knochen angelegt, nicht fest gezogen oder wird Weichteilgewebe unter dem Draht belassen, kann sich dieser lockern, wodurch die Stabilität der Konstruktion verloren geht. Folgen sind u.a. Komplikationen bei der Heilung, spätere Fehlstellungen oder die Bildung einer Pseudarthrose. Eine erneute Operation ist oftmals nicht zu vermeiden, um die Fragmente zu fixieren.

Ferner kann es bei der Versorgung von Frakturen, die für die Anwendung einer Zerklage ungeeignet sind, zu Komplikationen kommen. So sollten Frakturen im Schaftbereich beispielsweise eher mittels eines ESF IM-Pin „tie-ins“ (siehe Kapitel 2.14.1) oder einer Platte versorgt werden. Auch ungeeignetes Material, wie die Anwendung zu dünner Drähte, kann Komplikationen hervorrufen. Die Verknotung der Drähte kann zu Materialschwächungen führen, die wiederum zu Instabilitäten im Frakturbereich führen können.

2.12.3 Marknagelung (Intramedullärer-Pin)

Die Marknagelung ist eine interne Fixationstechnik, deren Prinzip auf der Fixation des Knochens von der Markhöhle aus beruht (MATIS 1999). Das Implantat wird in den Knochen eingebracht und dient der Stabilisation einer reponierten Fraktur. Laut BENNETT und KUZMA (1992) gelingt die beste anatomische Frakturheilung und normale Gliedmaßenfunktion mittels intramedullärer Fixation. Die stabile Versorgung der Fraktur mit Marknägeln ist eine einfache Methode, die mit wenig Materialaufwand durchgeführt werden kann und bei richtiger Indikationsstellung und Technik zu einer raschen Frakturheilung mit nur begrenzter peripherer Kallusbildung führt (MEUTSTEGE 1998). Auch ist die Anwendung des Marknagels kostengünstig und in jeder Praxis geläufig. Bei einer Operation wird das umliegende Gewebe nur minimal geschädigt. Die stabile Immobilisation erlaubt eine frühe Funktionsrückkehr der Gliedmaße (MEUTSTEGE 1998), sofern eine gute anatomische Ausrichtung sowie eine gute Apposition der Fragmente erzielt werden. Frakturkrankheiten treten bei der Marknagelung selten auf. Nach Abheilung der Fraktur sind die Implantate leicht zu entnehmen.

Die Marknagelung dient der Versorgung von Frakturen der langen Röhrenknochen. Man unterscheidet Techniken nach Küntscher, Steinmann, Steinmann mit Teil-Fixateur-Externe, multiple Steinmann-Nagelung, Bündelung nach Hackethal, Rush-Pins, Nagelung mit resorbierbaren Materialien, ESF IM-Pin „tie-in“ und Kirschner-Draht (MEUTSTEGE 1998). Bei Vögeln kommen in der Regel Steinmann-Pins, Rush-Pins und Kirschner-Bohrdrähte zur Anwendung. Der Johanson-Nagel wird aufgrund mehrfach aufgetretener Osteomyelitiden nicht mehr eingesetzt (GANDAL 1988).

Ziel der Marknagelung ist eine belastungsstabile Osteosynthese, die zur Voraussetzung hat, daß sich der Marknagel im Markraum des Knochens verkeilt. Die Stabilität der Fixation ist dabei abhängig vom Durchmesser des Nagels im Verhältnis zum Durchmesser der Markhöhle des Knochens, dem Körpergewicht und der Aktivität des Patienten. Wird die Markhöhle durch den IM-Pin optimal ausgefüllt, bewirkt dies neben einer erhöhten Stabilität die Reduktion der Scherkräfte.

Da durch den IM-Pin nur die Biegungskräfte neutralisiert werden, muß den anderen Frakturkräften (siehe Kapitel 2.12) mit Hemizerklage, Zerklage, „stack-pinning“, interfragmentären Drähten und externer Fixation entgegengewirkt werden. Das Einbringen mehrerer Marknägel, ein so genanntes „stack-pinning“ erhöht die Stabilität und senkt die Rotation (BENNETT und KUZMA 1992) (vgl. Kapitel 2.12.). Diese erfolgt meist durch unzureichende Ausfüllung der Markhöhle durch den Marknagel sowie durch Ermangelung einer ausreichend massiven Kortikalis (GANDAL 1988).

Die Kombination von Marknagelung und Schienen bzw. Verbänden sollte vermieden werden, da sich die nachteiligen Aspekte beider Techniken addieren und das Komplikationsrisiko ansteigt. Splintverbände in Kombination mit der Marknagelung haben beispielsweise einen Hebeleffekt und führen zu Bewegungseinschränkungen der Gliedmaße. Wird dennoch eine Kombination angewandt, sollte diese innerhalb von 14 Tagen wieder entfernt werden (BENNETT 1997).

Durch starken Zug der Muskulatur kann es durch ein Über- oder Ineinanderschieben der Fragmente zu Knochenverkürzungen kommen. Minimale Beweglichkeit im Frakturbereich steigert die Kallusbildung, wodurch das Risiko von Frakturkrankheiten stark erhöht und die vollständige Wiederherstellung der Gliedmaßenfunktion in Frage gestellt wird.

In der Regel werden IM-Pins aus Metall verwendet, wobei in einigen Fällen auch Polymer-Pins zum Einsatz kommen. Bei der Auswahl intramedullärer Pins wird zwischen Pins ohne und mit Gewinde unterschieden. Letztgenannte bieten besseren Halt in der Kortikalis, während die Stabilität der Pins vom Gewinde unbeeinflusst bleibt.

Der Durchmesser des IM-Pins sollte beim Vogel etwas größer als die Hälfte des Durchmessers der Markhöhle des betroffenen Knochens sein (REDIG, KORBEL und GRIMM 2000). HARRISON und LIGHTFOOT (2006) fassen diese Beschreibung in Zahlen:

So sollte der IM-Pin-Durchmesser 50 - 60 % der Markhöhle betragen. Beim Säugetier sollte der Pindurchmesser zum Vergleich 60 - 70 % des intramedullären Kanals ausmachen (DeYOUNG und PROBST 1993). Ob der Durchmesser des IM-Pins wirklich mit dem Durchmesser der Markhöhle kompatibel ist, kann man anhand einer Röntgenaufnahme der zu versorgenden Fraktur durch Auflegen des Pins auf den frakturierten Knochen beurteilen. Alternativ bietet sich ein Rush-, Stack- oder Cross-Pinning an (siehe Kapitel 2.12.5).

2.12.3.1 Prinzipien der Marknagelung

Zur Frakturversorgung mittels Marknagelung werden, nachdem die Fraktur reponiert wurde, ein oder mehrere IM-Pins in die Markhöhle eingebracht und bis zur Ausheilung des Knochens in ihm belassen. Das Einbringen der Pins kann über einen geschlossenen oder offenen Eingriff erfolgen. Während die erste Methode den Eingriff beschleunigt, das Weichteilgewebe schont und einen größeren Eingriff vermeidet, erfolgt die Manipulation der Fragmente bei eröffnetem Knochen unter Sicht und ermöglicht zusätzliche Fixationsmaßnahmen, wie z. B. das Anbringen von Zerklagen. Ferner sollten geschlossene Operationen nur an langen, gut palpierbaren Röhrenknochen mit einfachen Frakturen erfolgen. Um Rotationsstabilität zu erreichen, sollte der Frakturspalt so gering wie möglich gehalten werden.

2.12.3.2 Equipment

In der Regel werden runde Steinmann-Pins in verschiedenen Größen eingesetzt. Die gängigsten Größen in der Vogelmedizin sind intramedulläre Pins mit einem Durchmesser von 1,2 - 1,6 mm bei Patienten bis zu einem Kilogramm Körpergewicht. Aus Kostengründen werden oftmals intramedulläre Pins mit beidseitiger Trokarspitze und 31 cm Länge verwendet. Diese werden in der Mitte halbiert und zur Stabilisation von zwei Frakturen genutzt. In der Regel kommen IM-Pins ohne Gewinde zum Einsatz. IM-Pins mit Gewinde sind schwerer in den Knochen einzubringen und bergen das Risiko, am Übergang des glatten zum Gewindeteil zu brechen. Die Trokarspitze der IM-Pins erlaubt eine gute Penetration der Kortikalis.

Das Einbringen der IM-Pins in den Knochen erfolgt mit Hilfe eines Handbohrfutters. Ein Bolzenschneider ermöglicht es, die aus dem Knochen herausstehenden IM-Pins auf die gewünschte Länge zu kürzen.

2.12.3.3 Applikationstechnik

Das Einbringen des Marknagels muß mit höchster Vorsicht geschehen, da die aviären Knochen dünn und spröde sind und durch zuviel Kraftaufwand iatrogene Frakturen und Weichteilschäden verursacht werden können (BENNETT 1997).

Das Setzen des IM-Pins kann bei gedeckter Fraktur von normograd erfolgen, sofern es sich um einen langen Röhrenknochen mit einer einfachen und palpierbaren Fraktur handelt. In allen anderen Fällen sollte der Knochen freigelegt, unter Sicht reponiert und der IM-Pin retrograd über den Frakturspalt in den Knochen eingebracht werden.

Wie weit der Knochen freigelegt werden muß, ist abhängig von Art und Ausmaß der Fraktur. Handelt es sich um eine einfache Querfraktur, reicht es, den Knochen soweit freizulegen, daß an jedem Fragment eine Zange Platz findet. Eine lange Schräg- oder Splitterfraktur erfordert mehr Einsicht, demzufolge muß der Zugang größer angelegt werden. Ein größerer Zugang ist auch beim Anbringen von Zerklagen erforderlich. Ein großzügigeres Eröffnen kann ferner in einer kürzeren Operationszeit sowie besserer Zusammenfügung und Stabilität resultieren.

Bei einer Schrägfraktur müssen zunächst die Fragmente mit Hilfe von Zerklagen in Position gebracht werden, bevor ein IM-Pin gesetzt wird. Splitter- und Trümmerfrakturen müssen zuerst so rekonstruiert werden, daß nur noch zwei Fragmente miteinander durch einen IM-Pin verbunden werden müssen.

Die detaillierte Beschreibung der Insertion eines IM-Pins findet sich in Material und Methodik, Kapitel 3.2.2.

2.12.3.4 Entnahme

Die Entnahme der Implantate sollte so früh wie möglich erfolgen, um Schäden an Sehnen, Muskulatur und Gelenken vorzubeugen bzw. so gering wie möglich zu halten. In der Regel kann der IM-Pin während einer Kurzanästhesie durch normogrades Herausziehen entfernt werden. Der richtige Zeitpunkt zur Entnahme des Implantates sollte in Abhängigkeit von palpatorischen und röntgenologischen Befunden erfolgen, die sicherstellen, daß der Knochen stabil ist.

2.12.3.5 Komplikationen

Bei der Verankerung eines Marknagels ist unbedingt darauf zu achten, daß die Gelenke unverletzt bleiben, da dieses den Funktionsverlust der Gliedmaße bedeuten kann (GANDAL 1988). Gelenksschäden treten besonders bei Kombinationen der Marknagelung mit Verbänden und Schienen auf (BENETT und KUZMA 1992). IM-Pins, die den Gelenksknorpel penetrieren, schädigen das Gelenk und können zur Ankylose führen (BENNETT und KUZMA 1992). Auch die periartikuläre Fibrose stellt in diesem Zusammenhang eine Komplikation dar. Sekundäre Schäden können durch Verletzung von Muskeln und Sehnen hervorgerufen werden (GANDAL1988).

Komplikationen treten insbesondere dann auf, wenn die Fixation des Knochens instabil ist. Durch vorzeitige Lockerung des IM-Pins kann es zu Knochenverkürzungen bei Schräg- und Mehrfragmentfrakturen sowie zur Rotation der Fragmente kommen. Dadurch wird die Heilung verzögert, es kann eine Pseudarthrose entstehen (BONATH und VANNINI 1998). Nicht selten wird eine Kombination der verschiedenen Probleme beobachtet.

Zwar sollte der IM-Pin die Markhöhle gut ausfüllen, jedoch kann die Wahl eines zu großen Pins durch Anliegen an der Kortikalis zu mangelnder Blutversorgung, Ischämie und nachfolgender Knochennekrose führen. Iatrogene Frakturen, Ausbruchfrakturen oder Fissuren sowie eine gestörte Kallusbildung sind weitere Risiken der Marknagelung. Durch das Einbringen eines oder mehrerer Marknägel in die Gliedmaße wird deren Eigengewicht erhöht, was zu Gleichgewichtsstörungen beim Fliegen und zu Schwierigkeiten beim Heben der Gliedmaße führen kann.

2.12.4 Intramedulläres Polymethylmethacrylat (PMMA)

Polymethylmethacrylat (PMMA) ist ein ungiftiger Knochenzement (BENNETT 1995), der aus einer flüssigen und einer pulverförmigen Komponente angemischt wird. Das PMMA stellt dabei keine adhesive, sondern eine mechanische Überbrückung des Frakturspaltes dar (DEGERNES und LIND 1989). Das intramedulläre PMMA ist spröde und neigt dazu, zu brechen. Es sollte daher in Kombination mit anderen Methoden, wie z. B. Polypropylen-Stäben, Steinmann-Pins oder Platten, angewandt werden (BENNETT 1995).

Beim Mischen der Komponenten läuft eine exotherme Reaktion ab, die mit einer Volumenzunahme des Gemisches von drei Prozent einhergeht (BENNETT 1997). Werden die Komponenten vor dem Mischen auf drei Grad Celsius gekühlt, verlängert sich die Zeit des Anmischens und die Festigkeit des Materials nimmt zu (BENNETT 1997). Um das Einbringen von Keimen mit dem Material in die Wunde zu verhindern, muß das Anmischen

unter aseptischen Bedingungen erfolgen. Ferner kann bakteriell infiziertes PMMA chronische Infektionen verursachen (MARTIN und RITCHIE 1994).

In Verbindung mit der Polymerisation führen die bis zu 100 °C hohen Temperaturen der exothermen Reaktion zu Nekrosen am Knochen (MARTIN und RITCHIE 1994). Diese beeinträchtigen die endostale Blutversorgung und begünstigen das Entstehen einer Osteomyelitis (MARTIN und RITCHIE 1994). Üblicherweise härtet das Material innerhalb von zehn Minuten aus (MARTIN und RITCHIE 1994). Vorteile dieser Fixationsmethode sind der geringe Zeitaufwand, das geringe Gewicht, die verhältnismäßig gute Stabilität und eine frühe Funktionsrückkehr, ohne Gelenke in Mitleidenschaft zu ziehen. Ist das Material jedoch einmal in den Knochen eingebracht, kann es nicht wieder entfernt werden.

PMMA sollte nicht bei offenen und kontaminierten oder infektiösen Frakturen zum Einsatz kommen, da es das Eindringen von Infektionskeimen begünstigt und eine Osteomyelitis verursachen kann (BENNETT 1997). Um dies zu verhindern, können dem Material hitzestabile Antibiotika zugesetzt werden (BENNETT 1997). Während diese das PMMA in Versuchen beim Menschen fünf Jahre frei von Bakterien hielten, liegen beim Vogel derzeit noch keine Langzeitstudien vor (MARTIN und RITCHIE 1994).

Es ist noch nicht erwiesen, ob das klinische Resultat der Frakturheilung durch Hemmung der endostalen Kallusformation, der endostalen Blutversorgung und durch intramedulläre Knochennekrose beeinträchtigt wird (MARTIN und RITCHIE 1994). Gelangt das PMMA jedoch zwischen die Knochenfragmente, wird die Brückenbildung des Kallus verhindert. Dieses kann zur Verzögerung oder zum Ausbleiben der Frakturheilung führen. Komplikationen können insbesondere auftreten, wenn es zur Überfüllung der pneumatisierten Knochen, wie Humerus oder Femur, kommt und das PMMA in die angeschlossenen Luftsäcke eindringt.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, das PMMA in die Markhöhle einzubringen. Zunächst muß die Markhöhle jedoch mit Hilfe steriler Stäbchentupfer getrocknet und gereinigt werden. Dann wird das PMMA zu einer teigigen Masse gemischt und in beide Knochenfragmente eingebracht. Anschließend erfolgt die Reposition der Fragmente, die so lange in anatomischer Ausrichtung gehalten werden müssen, bis der Kunststoff ausgehärtet ist. Alternativ kann jeweils ein Loch in die Enden beider Fragmente gebohrt werden. Durch eines der Löcher wird dann mit Hilfe einer Spritze der flüssige Knochenzement nach Ausrichtung der Fragmente eingebracht, wobei das andere als Ventil für die verdrängte Luft dient.

Ferner kann das PMMA mit einer Kanüle oder einem Venenkatheter in die Enden der Fragmente verbracht werden, wobei genannte Hilfsmittel während der Applikation des Kunststoffes von den Enden der Fragmente her langsam zurück in Richtung Frakturspalt

gezogen werden. Während dieses Vorganges wird gleichmäßig Kunststoff in die Markhöhle injiziert.

Eine Anwendung dieser Technik ohne zusätzliche Fixation sollte bei Vögeln, deren Körpergewicht mehr als 500 g beträgt, unterbleiben, da das Material unter zu starker Last brechen kann (BENNETT 1997). Da die Langzeiteffekte noch nicht erforscht sind, sollte diese Technik mit Vorsicht angewandt werden (MARTIN und RITCHIE 1994).

Um die Stabilität dieser Fixationsmethode zu erhöhen, kann die Anwendung von PMMA mit einem „Shuttle-Pin“ kombiniert werden (siehe Kapitel 2.12.4.1).

2.12.4.1 „Shuttle-Pin“-Technik und deren Kombination mit Polymethylmethacrylat (PMMA) und intramedullären Pins

Bei der „Shuttle-Pin“-Technik wird ein Kunststoffstab mit Hilfe eines kleinen Drahtes oder einer Nylonschnur über den Frakturspalt im Knochen positioniert. Kombinationen mit Polymethylmethacrylat (PMMA) bieten sich an, da sie hinsichtlich der Stabilität viele Vorteile bieten. So gewährleisten sie Rotationsstabilität und erhöhen den Widerstand gegenüber Biegungskräften. Die „Shuttle-Pin“-Technik kann bei nahezu allen Frakturen der langen Röhrenknochen angewandt werden. Da die Plastikstäbe jedoch relativ groß sind, eignet sich diese Technik nicht für Vögel unter 75 g (BENNETT 1997).

„Shuttle-Pins“ sind in unterschiedlichen Durchmessern erhältlich: 3/32 (= 2,38 mm), 1/8 (= 3,18 mm), 5/32 (= 3,96 mm) und 3/16 Zoll (= 4,76 mm) (BENNETT 1997). Sie sind biologisch inaktiv, können sterilisiert werden, besitzen ein geringeres Gewicht als Metallpins und sind kostengünstig. Sie können leicht gekürzt und somit individuell an die Längenverhältnisse des Knochens angepaßt werden, ohne dabei die Gelenke zu schädigen.

Alternativ können „Shuttle-Pins“ aus Metall eingesetzt werden, die eine höhere Stabilität aufweisen als die Plastikstäbe. Empfohlen werden „full-“ oder „half-pins“ (siehe Kapitel 2.13.2.1) mit aufgesetztem Gewinde, um ein Abbrechen der Pins am Übergang zum ungeschliffenen Teil zu vermeiden (BENNETT 1997).

Während die Pins in erster Linie zur Versorgung von Frakturen der Diaphyse geeignet sind, können gelenksnahe Frakturen ebenfalls therapiert werden, sofern das kürzere Knochenstück zur Verankerung des Pins mindestens ein bis zwei Zentimeter lang ist (BENNETT 1997). Um iatrogene Frakturen zu vermeiden, sollte der Pin nicht zu weit in das kurze Fragment geschoben werden.

Da die Plastikstäbe nicht so stabil sind wie IM-Pins aus Metall, kann es zu Heilungsverzögerungen durch Mikrobewegungen im Frakturbereich kommen, sofern auf eine zusätzliche Fixation verzichtet wird (BENNETT 1997). „Shuttle-Pins“ sollten nicht in offene

Frakturen eingebracht werden, da sie als Brücke für Infektionen dienen können und man sie nur schwer wieder entfernen kann (BENNETT 1997). Wird der „Shuttle-Pin“ in Kombination mit PMMA eingesetzt, ist eine Entnahme des Pins ausgeschlossen.

Die „Shuttle-Pin“-Technik erlaubt eine frühe Funktionsrückkehr der Gliedmaße. Die Rehabilitation kann bei alleinigem Einbringen eines Plastikstabs in den Knochen bereits sieben Tage nach der Operation beginnen (BENNETT 1997). Wird der „Shuttle-Pin“ in Verbindung mit Knochenzement angewandt, sollte die Gliedmaße sieben bis zehn Tage unterstützt werden, damit das Gewebe heilen kann. Meist kann bei dieser Kombination zwei bis sechs Wochen nach der Operation mit der Rehabilitation begonnen werden (BENNETT 1997).



Abb. 18: Links: „Shuttle-Pin“. Rechts: „Shuttle-Pin“ mit Bohrloch und eingefädelter Nylonschnur.

Für die Anwendung dieser Fixationsmethode wird zunächst ein Plastikstab in geeigneter Größe, und nicht länger als das längste Fragment, an beiden Enden mit Widerhaken versehen, die von den Knochenenden weg zeigen, um entsprechenden Halt im Knochenzement zu erzielen (siehe Abb. 18). Die Windungen eines intramedullären Pins aus Metall wirken in gleicher Weise als Widerhaken. Der Durchmesser des gewundenen Pins bzw. des Kunststoffstabs sollte etwa die Hälfte des Durchmessers der Markhöhle betragen (BENNETT 1997).

In die Mitte des „Shuttle-Pins“ wird nun ein Loch gebohrt, z. B. mit Hilfe eines Kirschner-Bohrdrahtes, durch das ein kleiner Draht, z. B. Zerklage-Draht, oder eine Nylonschnur gezogen wird. Anschließend wird der Knochenzement in die Markhöhle des frakturierten Knochens, wie in Kapitel 2.12.4. unter „Technik“ im dritten Absatz beschrieben, eingegeben, bevor der „Shuttle-Pin“ in die Markhöhle des größeren Knochenstücks geschoben und die Fragmente reponiert werden (siehe Abb. 19). Die Enden des feinen Drahtes bzw. der Nylonschnur hängen dabei aus dem Frakturspalt heraus, so daß der „Shuttle-Pin“ nach Ausrichtung und Reposition des Knochens zur Hälfte über den Frakturspalt in das andere Fragment gezogen werden kann (siehe Abb. 19). Danach wird der Draht bzw. die Nylonschnur entfernt. Abgesplitterte Knochenstücke müssen zusätzlich mit Zerklage-Drähten befestigt werden.

Wie bei der Verwendung intramedullärer Pins (Kapitel 2.12.3) bietet auch der „Shuttle-Pin“ bei alleiniger Anwendung keine Rotations- und Axialstabilität (BENNETT 1997). Um dieses zu erreichen, können neben der oben beschriebenen Kombination mit PMMA, auch Kirschner-Bohrdrähte oder kleine Pins durch die Kortikalis, den „Shuttle Pin“ und die gegenüberliegende Kortikalis gebohrt werden (BENNETT 1997). Ein zusätzlich angebrachter Fixateur externe verhindert die Rotation (siehe Kapitel 2.14.2).

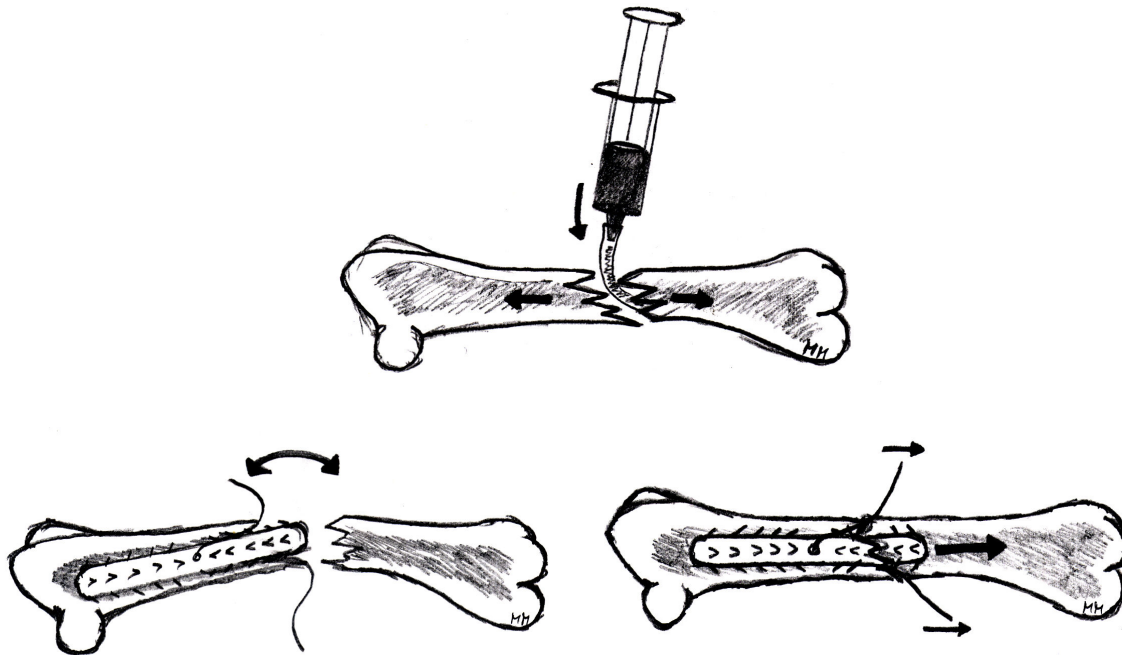


Abb. 19: „Shuttle-Pin“-Technik. Oben: Einfüllen des Knochenzements. Unten links: Setzen des „Shuttle-Pins“. Unten rechts: Positionieren des „Shuttle-Pins“ mittels Nylonschnur.

Komplikationen, die oftmals bei verzögerter Heilung auftreten, werden durch die „Shuttle-Pin“-Technik reduziert: Sekundäre Probleme wie Versteifung des Gelenks, Arthritis, Muskelatrophie und Strikturen des Weichteilgewebes treten seltener auf, was sich in einer erhöhten Erfolgsrate widerspiegelt.

Der „Shuttle-Pin“ verbleibt nach seiner Implantation ein Leben lang im Knochen, da seine Entnahme sehr schwierig bzw. bei Verwendung von Knochenzement unmöglich ist. Der Einsatz einer Kombination aus „Shuttle-Pin“ und Knochenzement bei Wildvögeln sollte unterbleiben, da das Verhalten der Tiere nach deren Auswilderung nicht beobachtet werden kann. Probleme, die auf das Implantat zurückzuführen sind, wie z. B. das Unvermögen eines Greifvogels Beute zu erfassen, blieben unerkannt und könnten den Vogel in der freien Wildbahn in eine lebensbedrohliche Situation bringen.

2.12.5 Cross- und Rush-Pinning

Sowohl das Cross- als auch das Rush-Pinning dienen der Stabilisation metaphysaler Frakturen (BENNETT und KUZMA 1992). Es wird vorwiegend bei Hunden und Katzen angewandt. Zur Versorgung von Frakturen der Diaphyse ist diese Technik ungeeignet.

2.12.5.1 Cross-Pin-Technik

Bei der Cross-Pin-Technik werden in der Regel zwei Pins in einem spitzen Winkel normograd an einer Stelle lateral oder medial des Knochenendes eingebracht, so daß das Gelenk geschont wird (BENNETT und KUZMA 1992). Der laterale Pin überquert den Frakturspalt und penetriert die mediale Kortikalis proximal der Fraktur, sofern es sich um eine am distalen Knochenende befindliche Fraktur handelt, bzw. distal der Fraktur, wenn die Fraktur am proximalen Ende des Knochens lokalisiert ist. Der mediale Pin überquert den Frakturspalt in gleicher Weise und gelangt an der lateralen Seite des Knochens durch die Kortikalis nach außen.

Rush-Pins sind kostspielig und man benötigt eine spezielle Ausrüstung, um den Pin in den Knochen einzubringen. Alternativ kann eine gleichwertige Stabilität unter Verwendung von Steinmann-Pins oder Kirschner-Bohrdrähten erreicht werden (BENNETT und KUZMA 1992). Die Pins sollten jedoch so gekürzt werden, daß Verletzungen des Gelenks unterbleiben. Ferner muß an einem Ende ein Haken geformt werden, um ein „Hineinrutschen“ in den Knochen zu verhindern und die spätere Entnahme zu erleichtern.

Die Rush-Pin-Technik stellt eine „Drei-Punkt-Fixation“ dar (BENNETT und KUZMA 1992). Diese „Drei-Punkt-Fixation“ wird mit Hilfe einer Federspannung erreicht. Die Form des Knochens im Verhältnis zum Pin bestimmt, ob dieser als IM-Pin oder als dynamischer Rush-Pin mit „Drei-Punkt-Fixation“ wirkt (BENNETT und KUZMA 1992).

Um das Einwandern der Rush-Pins in den Knochen zu verhindern und ihre Entnahme zu erleichtern, besitzen diese am Ende einen Haken, mit dem der Pin außen am Knochen verankert wird. Vor dem Einbringen eines Rush-Pins in den Knochen sollte mit Hilfe eines Steinmann-Pins gleichen Durchmessers ein Führungsloch gebohrt werden, da die Spitze des Rush-Pins an einer Seite abgeschrägt ist, um den Pin bei seiner Implantation in den Knochen von der gegenüberliegenden Kortikalis abzulenken und an dieser entlang gleiten zu lassen. Dieses unterscheidet den Rush-Pin vom Cross-Pin, der die Kortikalis durchbohrt.

2.12.5.2 Rush-Pin-Technik

Für optimale Ergebnisse muß der Pin in einem Winkel von 30° zur axialen Fläche des Knochens eingebracht werden (BENNETT und KUZMA 1992). Bei einem Winkel über 40° droht Gefahr, die gegenüberliegende Kortikalis zu durchstechen. Entscheidend für die Federspannung und die Unversehrtheit des Knocheninneren ist der Winkel, in dem der Pin in den Knochen eingebracht wird. Aus diesem Grunde sollte dieser nicht unter 30° liegen (EGGER 1993).

In der Regel werden zwei Pins benutzt, die von gegenüberliegenden Seiten zunächst nur in das kleinere Fragment eingebracht werden. Dann wird das Knochenstück ausgerichtet und die Pins weiter in das größere Fragment vorgeschoben. Als vorteilig hat sich erwiesen, die Pins geringgradig vorzubiegen, um eine Penetration der gegenüberliegenden Kortikalis zu erschweren und die Federspannung zu gewährleisten (EGGER 1993). Das Endergebnis ist eine „Drei-Punkt-Fixation“ unter Federspannung, ohne die Markhöhle komplett auszufüllen. Eine zusätzliche externe Fixation erhöht die Stabilität der Konstruktion. Die Anwendung von Rush-Pins kann bei im Wachstum befindlichen Tieren zu einem vorzeitigen Epiphysenschluss führen (EGGER 1993).

2.12.5.3 Postoperatives Management

Da Frakturen im Bereich der metaphysal sehr gelenksnah sind, muß schon früh dafür gesorgt werden, daß es nicht zur Versteifung des Gelenks kommt. Druckverbände werden nicht länger als ein bis zwei Tage belassen. Dies gilt insbesondere für wachsende Tiere. Die Entnahme der Pins erfolgt, wenn palpatorisch und röntgenologisch ausreichende Stabilität des Knochens nachgewiesen wurde.

2.12.6 Polydioxanon-Pins

Pins aus absorbierbarem Polydioxanon (PDS), die in der Humanmedizin verwendet werden, wurden zur Versorgung von Humerusfrakturen bei Tauben (*Columba livia*) getestet. Bei der Frakturversorgung des Menschen werden sie innerhalb von sechs Monaten absorbiert (BENNETT 1997). Jedoch sind die Pins nicht so stabil wie IM-Pins aus Metall, was sich in vermehrter Kallusbildung widerspiegelt. Um die Stabilität zu erhöhen, muß zusätzlich fixiert werden. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, daß der Pin nicht wieder entnommen werden muß (BENNETT 1997). Dieses wäre vorteilig bei der Behandlung von Wildvögeln. Sie sind

jedoch technisch schwierig in den Knochen einzubringen (BENNETT 1997). Studien über den Einsatz an der Hintergliedmaße liegen noch nicht vor.

2.12.7 Verriegelungsnagelung

HOLLAMBY et al. (2004) beschreibt die Anwendung einer Verriegelungsnagelung an einer offenen Schrägfraktur im mittleren Schaft des Tibiotarsus eines Weißkopfseeadlers (*Halilaeetus leucocephalus*). Nach Ausrichtung der Knochenfragmente wurde ein Verriegelungsnagel mit einem Durchmesser von 4,7 Millimeter und einer Länge von 112 Millimeter in den Knochen eingebracht. Dieser wurde mit Verriegelungsbolzen im proximalen und distalen Fragment verankert. 48 Stunden post OP wurde die Gliedmaße bereits wieder belastet, während Röntgenaufnahmen vier Wochen post OP eine Kallusbildung aufzeigten. Der Patient wurde nach fünf Monaten Rehabilitation wieder ausgewildert.

2.13 Externe Fixation

Die externe Fixation dient der Stabilisation von Frakturen oder Gelenken mit Hilfe perkutaner Pins (Transkortikalpins, External-Skeletal-Fixation-Pins (ESF-Pins)), die beide Kortikalices durchstoßen und außerhalb des Knochens mit einem Verbindungsstück adaptiert werden (EGGER 1993). In der Vogelmedizin eignet sie sich am besten zur Immobilisation von Frakturen und gewährleistet eine vollständige Wiederherstellung der Funktion der betroffenen Gliedmaße (MARTIN und RITCHIE 1994).

Ziel der externen Fixation ist eine stabile Immobilisation der Knochenfragmente mit minimaler Schädigung des umliegenden Weichteilgewebes und der ossären Blutversorgung. Implantate im Knochen werden vermieden.

Der Einsatz des Fixateur externe eignet sich besonders bei offenen oder stark gesplitterten Frakturen mit geringer Vaskularisation, die eine längere Fixation benötigen (EGGER 1993). Die freie Bewegung der angrenzenden Gelenke bleibt erhalten, einer Inaktivitätsatrophie der Muskulatur wird vorgebeugt (MEUTSTEGE 1998). Der Fixateur verursacht keine periartikuläre Fibrose und erlaubt eine frühe Funktionsrückkehr (BENNETT 1997). Vögel tolerieren diese Fixationsmaßnahme gut. Sie kann an fast jedem Knochen angebracht werden. Von Vorteil sind die geringen Kosten und die Kombinationsvielfalt. In der Praxis hat sich der Einsatz des Fixateur externe wegen der einfachen Handhabung und des umfangreichen Spektrums von Indikationen bewährt. Weitere Indikationen für den Einsatz des Fixateur externe finden sich in Kapitel 2.13.1.

Bei Vögeln sind zahlreiche Varianten der externen Fixation beschrieben. Eine Vielfalt an Kirschner-Drähten und Steinmann-Pins können in den Knochen eingebracht werden und eine Vielzahl an Verbindungsstücken und Acrylzement kann zur Stabilisation von Frakturen herangezogen werden (MARTIN und RITCHIE 1994). Ferner wird der Fixateur externe anhand der Anzahl seiner Achsen in verschiedene Typen untergliedert. Einzelheiten dazu werden in Kapitel 2.13.3 erläutert.

Ein Fixateur externe mit einer Verbindungsschiene aus Acrylzement besitzt ein geringes Gewicht, ist kostengünstig und nach Ausheilung der Fraktur leicht zu entfernen. Metallfixateure, wie das Kirschner-Ehmer-System, sind verhältnismäßig schwer und für den Gebrauch in der Vogelmedizin weniger geeignet. Auch kann die Verbindungsschiene zu Verletzungen anderer Körperteile führen oder sich am Käfig und dessen Einrichtung verkeilen.

1897 wurde zum ersten Mal durch PARKHILL ein Fixateur externe in der Anwendung beim Menschen beschrieben. LAMBOTTE gebrauchte 1907 ein ähnliches Gerät. In den Vereinigten Staaten wurden von STADER (1937) für den ersten Fixateur Metallklammern verwendet. Später wurde dieses Verfahren durch EHMER (1941) zum so genannten Kirschner-Ehmer-Fixateur modifiziert, einer Methode, die mit einem speziellen Zusatzgerät auch eine Frakturposition ermöglichte (MEUTSTEGE 1998). Im zweiten Weltkrieg wurden viele Fixateure falsch eingesetzt, was zu schweren Komplikationen führte, worauf der Fixateur externe bis in die 70er Jahre verschwand, wo er neu entdeckt wurde (EGGER 1993). Viele der heute in Anwendung befindlichen Fixateure basieren auf Entwicklungen von Hoffmann, Anderson und Stader. In Europa waren BJÖRCK (1952) und BECKER (1953) die ersten, die die externe Fixation unter Verwendung von TechnoVit® oder Gips eingesetzt haben (MEUTSTEGE 1998).

2.13.1 Indikationen für die Anwendung eines Fixateur externe

Der Fixateur externe wirkt Frakturkräften aller Art entgegen und leitet laut MEUTSTEGE die auf den Knochen einwirkende Kräfte teilweise oder vollständig über die äußere Fixation um (1998). Er neutralisiert Rotations-, Biegungs- und Scherkräfte und sorgt für bestmögliche Stabilität. Durch die Kombination des Fixateur externe mit einem IM-Pin kann, neben einer verminderten Anzahl transkortikaler Pins, eine höhere Stabilität gegenüber Rotationskräften erzielt werden. Diese Kombination wird auch als ESF IM-Pin „tie-in“ oder Hybridfixateur bezeichnet und wird im Kapitel 2.14.1 beschrieben.

Die Einsatzmöglichkeiten des Fixateur externe sind vielfältig. Bei der Versorgung von offenen und infizierten Frakturen, Splitter- und Trümmerbrüchen, Korrekturosteotomien,

sowie bei metaphysalen und epiphysalen Frakturen stellt er die Methode der Wahl dar. Auch Luxationen können mit dem Fixateur externe versorgt werden. Ein Heilungserfolg sollte jedoch nach einigen Wochen zu erwarten sein, sonst tritt das Risiko der Bildung einer Pseudarthrose ein. Wird vermutet, daß ein Heilungserfolg nach sechs Wochen ausbleibt, sollte die Fraktur anderweitig, z. B. mittels Plattenosteosynthese, versorgt werden. Bei Frakturen, die nur langsam heilen, besitzt der Fixateur externe den Vorteil, daß er ohne weiteres lange Zeit am Knochen belassen werden kann. Bei infizierten Frakturen kann er so platziert werden, daß eine Spülung und Versorgung der Wunde möglich ist und diese zur Beobachtung auch offen gehalten werden kann.

Das größte Einsatzgebiet des Fixateur externe sind Frakturen der langen Röhrenknochen bei Patienten ab einem Körpergewicht von ca. 300 g. Dabei spielen stets Lokalisation und Art der Fraktur eine Rolle. Andere Knochen sind beim Vogel zu klein, als daß sie mit solch einer Konstruktion versorgt werden könnten. Zu ihrer Versorgung werden Verbände und Schienen herangezogen (siehe Kapitel 2.9).

Ferner sollten Alter und Gewicht des Patienten berücksichtigt werden, da sich mit deren Anstieg das Narkoserisiko bzw. die Belastung des Knochens erhöht. Temperamentvolle Tiere steigern ihr Verletzungsrisiko durch hektische Bewegungen.

Weitere Aspekte, die bei der Entscheidung für die Anwendung eines Fixateur externe eine Rolle spielen, sind die chirurgische Erfahrung des Operateurs, die vorhandene Ausrüstung und die anfallenden, bei der Anwendung des Kirschner-Ehmer-Fixateurs nicht unerheblichen, Kosten. Ferner sollte der Operateur die Fähigkeit des dreidimensionalen Denkens, sowie biometrische Kenntnisse besitzen (MEUTSTEGE 1998). Ein evtl. längerer stationärer Aufenthalt des Patienten muß zuvor mit dem Patientenbesitzer besprochen werden. Auch muß vorab geklärt werden, ob dieser den Patienten gegebenenfalls zu Hause ruhig halten kann, d. h. ob eine Unterbringung in einem kleinen Käfig während der Heilungsphase denkbar wäre (siehe Kapitel 2.15.4). Mögliche Komplikationen sollten bedacht und der Patientenbesitzer darüber aufgeklärt werden. Nicht zu vergessen ist der Heilungserfolg. Speziell bei Wildvögeln ist eine Entscheidung hinsichtlich späterer Auswilderung zu treffen. Sind die Heilungschancen schlecht, sollte eine Euthanasie vorgezogen werden.

Die Entnahme des Fixateurs ist einfach und erfolgt unter einer Isofluran[®]-Kurzanaästhesie. Bei ruhigen Tieren kann auch auf eine Narkose verzichtet werden. Jedoch sollten bei einer Entnahme des Fixateurs ohne Narkose stets die Stressempfindlichkeit des Vogels und die entsprechenden Risiken berücksichtigt werden.

2.13.2 Aufbau eines Fixateur externe

Der Fixateur externe besteht aus einer unterschiedlichen Anzahl transkortikaler Pins und einer daran angebrachten, die Pins verbindenden, Schiene. Auf die einzelnen Bestandteile und deren Anbringung wird in den folgenden Kapiteln eingegangen.

2.13.2.1 Transkortikale Pins (ESF-Pins)

Transkortikalpins stellen die Verbindung zwischen Knochen und externer Schiene dar. Es gibt sie in vielen verschiedenen Größen mit und ohne Gewinde. In der Vogelmedizin kommen bei Zier- und Greifvögeln vorwiegend Transkortikalpins in den Größen 0.028 (= 0,7 mm) 0.035 (= 0,9 mm), 0.045 (= 1,2 mm) und 0.062 Zoll (= 1,6 mm) zum Einsatz.

Transkortikalpins, die in Verbindung mit dem Fixateur externe eingesetzt werden, besitzen in der Regel ein Gewinde, um besseren Halt in der Kortikalis zu vermitteln. Dieses Gewinde kann am Ende (INTERFACE™ half-pins, IMEX™, Texas; Anwendung bei Fixateur externe Typ I) oder in der Mitte (CENTERFACE™ full-pins, IMEX™, Texas; Anwendung bei Fixateur externe Typ II) des transkortikalen Pins liegen (vgl. Tab. 1, Kapitel 3.2.2.1.2).

Üblicherweise werden transkortikale Pins mit aufgesetztem Gewinde (positive threaded ESF-pins) angewandt, da sie stabiler sind. Transkortikalpins mit eingefrästem Gewinde (negative threaded ESF-pins) bergen ein erhöhtes Risiko, am Übergang vom Gewinde zum Schaft zu brechen, wodurch es zum Verlust des Fixateurs und zum Scheitern der Fixation kommen kann. Aber auch gewindefreie Transkortikalpins kommen zum Einsatz. Bei einigen Vögeln wurde festgestellt, daß mit positiv gewundenen Pins, die durch vorgebohrte Löcher in die Kortikalis eingebracht wurden, sehr solide Knochen-Pin-Einheiten über lange Zeiten (bis zu drei Monaten) erreicht werden konnten. Verglichen damit verlieren andere gewundene oder ungewundene Pins drei bis sechs Wochen nach deren Verankerung im Knochen oft den Halt in der Kortikalis (MARTIN und RITCHIE 1994).

Eine lange Trokarspitze am Ende des Pins hat sich beim Einbohren am besten bewährt (MEUTSTEGE 1998). Kurze Spitzen können beim Bohren starke Hitze entwickeln, da sie sich nicht so effizient in den Knochen einbringen lassen. Dadurch erhöht sich die Gefahr, daß sich die transkortikalen Pins rascher lockern.

Zum Setzen der Transkortikalpins kann ein Akkuschauber mit geringer Laufkraft herangezogen werden, besser aber noch ein Handbohrfutter. Um die in die Kortikalis des Knochens eingebrachten transkortikalen Pins zu kürzen, wird eine spezielle Drahtwickzange benötigt.

Das Setzen der Transkortikalpins sollte fern von Wunden und Einschnitten sowie dem Operationsfeld, über kleine Hautinzisionen im intakten und gesunden Gewebe erfolgen. Dadurch bleibt die Wundheilung unbeeinflusst und eine Einschleppung von Keimen durch die Transkortikalpins in die Fraktur wird vermieden, wodurch Wundheilungsstörungen und Infektionen des Knochens vorgebeugt wird. Zuerst werden die transkortikalen Pins in der Peripherie und dann die in Frakturnähe eingebohrt (MEUTSTEGE 1998). Optimale Stabilität wird erreicht, wenn die frakturfernen Transkortikalpins möglichst gelenksnah und die mittleren Pins möglichst frakturnah in den Knochen eingebracht werden.

Bedingt durch die dünne Kortikalis der Vögel, kommt es leicht zur Lockerung und zum Verlust der ESF-Pins. An der Eintrittsstelle des Pins können Ausbruchsfrakturen entstehen, deshalb muß mit äußerster Vorsicht vorgegangen werden. Große Muskelmassen sollten beim Einbringen der Transkortikalpins gemieden werden, um einer Lockerung der Pins entgegenzuwirken und die Schmerzen des Patienten zu lindern. Außerdem sollten die Pins durch vorgebohrte Löcher in den Knochen eingebracht werden, um ein Wackeln beim Einbringen der Transkortikalpins, das sich beim Einsatz eines Handbohrfutters nicht 100 %ig vermeiden läßt, zu verhindern und den Halt der Pins in der Kortikalis zu erhöhen.

Um die Belastung der einzelnen Pins möglichst gering zu halten, sollten in jedes Fragment drei bis vier transkortikale Pins eingebracht werden. Mindestens sollten aber zwei Transkortikalpins je Fragment verankert werden, um die Stabilität des Fixateurs, insbesondere gegenüber Rotationskräften, zu gewährleisten (MARTIN und RITCHIE 1994). Wird der Fixateur externe mit einem IM-Pin kombiniert, ist ein Transkortikalpin pro Fragment ausreichend (BENNETT 1997).

Sowohl der proximalste als auch der distalste Pin sollten so nah wie möglich an den Knochenenden gesetzt werden, um die auf die Fraktur wirkenden Kräfte entlang des ganzen Knochens zu verteilen (BENNETT 1997). Je weiter die Pins jedoch vom Frakturspalt entfernt sind, desto unstabiler wird die Konstruktion. Deswegen sollte eine angemessene Anzahl an transkortikalen Pins in den Knochen eingebracht werden.

Verwendet werden transkortikale Pins ohne Gewinde sowie Pins mit aufgesetztem oder eingefrästem Gewinde. Da Pins ohne Gewinde weniger Halt in der Kortikalis bieten, müssen sie im Winkel platziert werden. Werden die Pins in einem Winkel von 35 - 55° senkrecht zum Knochen gesetzt, wird zwar das Abrutschen des Fixateurs von einer Seite zur anderen vermindert, aber erfahrungsgemäß ist diese Methode nicht so wirkungsvoll wie die Verwendung von Pins mit aufgesetztem Gewinde (MARTIN und RITCHIE 1994).

2.13.2.2 Verbindungsschienen

Die aus dem Knochen herausstehenden Enden, der in beiden Kortikalices verankerten ESF-Pins, werden nun mit Hilfe einer Verbindungsschiene adaptiert. Diese sollte so nah wie möglich am Knochen angebracht werden, um eine bestmögliche Stabilität zu erzielen. Es sollte dabei aber soviel Platz gelassen werden, daß die Wundschwellung nicht behindert wird (BENNETT 1997) und die Möglichkeit einer Wundversorgung gegeben ist. In der Regel beträgt der Abstand zwischen Haut und Schiene je nach Ausmaß der Schwellung ca. einen Zentimeter.

Verbindungsschienen können aus verschiedenen Materialien beschaffen sein. So unterscheidet man Schienen aus Metall, wie z. B. die Kirschner-Ehmer-Schiene, und Schienen aus formbaren Materialien, wie z. B. Methylmethacrylat. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Materialien werden sie als biphasische Fixateure (siehe Kapitel 2.13.2.3) bezeichnet. Die entscheidenden Unterschiede liegen in Gewicht und Flexibilität der Systeme. In den folgenden Kapiteln wird speziell auf das Kirschner-Ehmer-System, das F.E.S.S.A.-System, die TechnoVit®-Schiene, als ausführliches Beispiel für einen biphasischen Fixateur, und das Manuflex®-System eingegangen werden.

2.13.2.2.1 Kirschner-Ehmer-Verbindungsschiene

Kirschner-Ehmer-Schienen (siehe Abb. 20) sind in der Tiermedizin sehr geläufig. Die Komponenten sind gebrauchsfertig und lassen sich leicht verbinden. Für die Verbindungsschiene dieses Systems werden spezielle Klammern benötigt, mit deren Hilfe die gewundenen Transkortikalpins an die Verbindungsschiene adaptiert werden. Auf dem Markt sind drei Größen erhältlich. Jedoch eignen sich davon nur zwei für den Einsatz in der Vogelmedizin, wobei selbst die kleinste Größe zu groß für die Anwendung beim Ziervogel ist. Bei mittel- bis sehr großen Vögeln können Standard-Kirschner-Ehmer-Fixateure, so genannte K-E-Fixateure, eingesetzt werden. Ferner sind Kirschner-Ehmer-Systeme sehr kostspielig.

Da die Lage der transkortikalen Pins durch die Schiene vorgegeben wird, muß zunächst die Anzahl der zu setzenden Transkortikalpins bestimmt werden. Anschließend werden der proximalste und der distalste ESF-Pin gesetzt und die Verbindungsschiene als Schablone für weitere Pins daran angelegt. Nun können die fehlenden Transkortikalpins individuell passend in die Schiene integriert und mittels Kirschner-Ehmer-Klammern mit der Schiene verbunden werden. Dabei werden die Pins zunächst durch die Klammer, anschließend durch Haut und Knochen geführt. Diese Fixationstechnik sorgt dafür, daß alle Transkortikalpins in

einer Linie liegen (BENNETT und KUZMA 1992). Das Aufdrücken der Schiene auf „frei Hand“ platzierte ESF-Pins sollte wegen des Risikos iatrogenen Frakturen unterbleiben. Scharfe Ecken und Kanten sollten zur Vermeidung von Verletzungen mit Verband oder Tape abgedeckt werden.

BUSH und WITHROW (1977, 1982) berichteten über den erfolgreichen Einsatz eines Zwei-ESF-Pin-Typ I Fixateurs, das heißt, es wurde pro Fragment lediglich ein transkortikaler Pin gesetzt und die beiden Pins anschließend mit einer externen Schiene verbunden. Dieses System ist laut BENNETT und KUZMA (1992) jedoch nicht stabil, da die Fragmente um die ESF-Pins rotieren können, woraus Fehlstellungen der Gliedmaße resultieren können. Die zusätzliche Fixation mit einem IM-Pin zum ESF IM-Pin „tie-in“ erhöht hingegen die Stabilität des Systems, beugt einer Fragmentrotation und dem Kollabieren des Knochens vor.

2.13.2.2.2 F.E.S.S.A. (Fixateur Externe du Service de Santé des Armées)

HATT veröffentlichte 2004 eine Studie über die Frakturbehandlung bei Greifvögeln mittels tubulärem externen Fixateur (F.E.S.S.A.), in der er zum einen das Modell und den Einsatz in der Chirurgie und zum anderen 10 klinische Fälle mit einheimischen Greifvögeln beschreibt. Der Fixateur wurde von der französischen Armee zur Osteosynthese an Händen und Füßen entwickelt und ist mit einem Gewicht unter zehn Gramm sehr leicht. Da sich dieses System hervorragend für den Einsatz an kleinen Knochen eignet, fand es in der Kleintierchirurgie bei Tieren bis zu einem Körpergewicht von sechs Kilogramm Platz.

Die transkortikalen Pins werden, nachdem sie senkrecht oder im Winkel von 45° zum Knochen darin verankert wurden, mit der kleinen Metallröhre verbunden. Diese enthält eine Vielzahl von Löchern, so daß dort transkortikale Pins individuell verschraubt werden können, und besitzt eine Länge von 30 - 118 mm. Fixateur externe Typ I und II sowie die Verriegelungsnagelung können mit diesem System angewandt werden. Ferner kann es in linearer oder gewinkelter Stellung zusammengehängt werden.

2.13.2.2.3 Manuflex®-System

Manuflex® ist ein System aus Ungarn, das in der Humanmedizin im Bereich der Handchirurgie zum Einsatz kommt. Es basiert auf einer perkutanen Transfixation und setzt sich aus Kirschner-Bohrdrähten und einer Aluminiumstange zusammen (KETZ und SCHAWALDER 1996). In Zusammenhang mit der Versorgung von Frakturen bei Vögeln wurde es erstmalig von KUZMA (1992) erwähnt.

Die Schiene hat eine Vielzahl von Löchern, durch welche die transkortikalen Pins gesteckt werden können. Es wird vor allem bei Trümmerfrakturen, deren Versorgung mit Hilfe eines intramedullären Pins (Marknagel) oder Zerklage-Drähten nicht möglich ist, eingesetzt. Das System ist kostengünstig und hat ein geringes Gewicht.

In einer Studie wurden über einen Zeitraum von drei Jahren Frakturen von Vögeln an Humerus, Radius, Ulna, Femur und Tibiotarsus mit Manuflex[®]-Systemen versorgt. Die Frakturen waren dabei zum Teil geschlossen, andere waren gesplittert, offen, alt und infiziert.

Zum Einsatz kam die Manuflex[®]-Technik bei geschlossenen Frakturen ohne deutliche Dislokation oder bei gesplitterten Frakturen, bei denen die Frakturstücke nicht vollständig adaptiert werden konnten. Bei Trümmerfrakturen wurden die Knochenfragmente, soweit wie möglich, reponiert bzw. die Gliedmaße anatomisch korrekt ausgerichtet. Bei Splitterfrakturen wurden die Fragmente mit Hilfe von Zerklage-Drähten z. T. vorfixiert. Dann wurden die Kirschner-Bohrdrähte mit Hilfe eines Handbohrfutters in ein stabiles Knochenfragment eingebracht. Anschließend wurde die Schiene angepaßt und die Bohrdrähte durch die vorher eingedrehten Löcher geführt. Nachdem der Knochen reponiert wurde und die Knochenfragmente stabil waren, wurden die Drähte durch ein Zusammendrücken der Aluminiumschiene in dieser fixiert. In 14tägigem Abstand wurden Röntgenaufnahmen angefertigt. Nach sechs bis acht Wochen waren die Frakturen verheilt, bei einfachen Frakturen trat die Heilung mit stabilem Kallus sogar schon nach vier Wochen ein.

Nach Möglichkeit sollten je drei bis vier Bohrdrähte am proximalen und distalen Fragment gesetzt werden. Bei einem Fixateur externe Typ I, sollten diese in der gegenüberliegenden Kortikalis verankert werden, bei einem Fixateur externe Typ II werden die Drähte durch den Knochen gebohrt und auf beiden Seiten des Knochens mit einer Schiene verbunden.

2.13.2.2.4 Optimierter Fixateur externe

GRIMM beschreibt 1988 an frakturierten Tibiotarsen die Anwendung eines optimierten Fixateur externe als einen modifizierten Minifixateur der Schweizer Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen von der Firma Synthes[®]. Dieser besteht aus einer Trägerstange, deren ursprüngliches Material (V₁A-Stahl) zur Gewichtsreduktion durch kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffstäbe (Fa. Sportex, Neu-Ulm), so genannte carbonfaserverstärkte Epoxidharz-Stäbe oder CFK-Stäbe, ersetzt wurde. Ferner wurden vier Schanz-Schrauben verwendet, die in Form eines Klammerfixateurs Typ I in zwei einen Winkel von 90° bildenden Ebenen miteinander verbunden waren. Die Verbindung von Trägerstange und Schanz-Schraube erfolgte über ein Gelenk, auch drehbare Backe oder Fixationsbacke genannt. Ursprünglich

bestanden die Gelenke aus V₁A-Stahl oder Messing, wurden für diese Zwecke aber durch Gelenke aus Aluminium ersetzt, um das Gewicht der Konstruktion herabzusetzen.

2.13.2.3 Biphasische Fixateure

Der biphasische Fixateur kombiniert Transkortikalpins aus Metall mit einer Verbindungsschiene aus nicht-metallischem Material. Viele dieser Materialien sind leicht und können mit kleinen Nägeln, Kanülen oder Spinalnadeln verbunden werden. Das macht sie für die Anwendung bei kleinen Vögeln interessant. Die Materialien, die für die Verbindungsstücke herangezogen werden, sind preisgünstig und flexibel, da sie individuell angepaßt werden können.

Acrylzement aus dem Dentalbereich oder unsteriles PMMA, z. B. TechnoVit[®], eignen sich gut zur Herstellung einer Verbindungsschiene. Auch synthetische Gipsverbände, wie z. B. Hexcelite[®] oder Veterinary Thermoplastic[®] (VTP[®]), und Fünf-Minuten Klebeharz bieten sich an. Transkortikalpins mit aufgesetztem Gewinde und mit einem angerauten Schaft für den besseren Halt des PMMA sind in einer Vielzahl an Größen und Variationen erhältlich. Andere Pins sollten etwas gebogen oder eingekerbt werden, um den Halt der Schiene zu erhöhen.

Die genannten Materialien sind, verglichen mit dem Kirschner-Ehmer-System, verhältnismäßig kostengünstig, von geringem Gewicht und flexibel in der Anpassung, so daß auch transkortikale Pins außerhalb einer exakten Linie, wie sie für das Kirschner-Ehmer-System erforderlich ist, problemlos an das Verbindungsstück adaptiert werden können. Besonders für kleine Patienten eignen sich Materialien wie Hexcelite[®] und VTP[®]. Das Material wird in warmem Wasser formbar und verfestigt sich, während es unter Ausrichtung der Fraktur an die transkortikalen Pins modelliert wird. Es kann wiederholt verwendet werden. VTP[®] ist im Kaltzustand stabiler als Hexcelite[®]. Um Hautverletzungen vorzubeugen, sollten Ecken und Kanten mit Tape oder Verband abgedeckt werden.

Für Vögel unter 300 g kann Epoxydharz zum Verbinden der Pins herangezogen werden (BENNETT 1997). Dazu wird z. B. eine Telefon- oder Kreditkarte V-förmig gefaltet, mit Material befüllt und über die linear ausgerichteten Transkortikalpins gelegt. Es sollte darauf geachtet werden, daß genug Platz zwischen Verbindungsschiene und Haut gelassen wird, um die spätere Abnahme der Konstruktion zu erleichtern. Bis das Harz ausgehärtet ist, muß die Fraktur in Ausrichtung gehalten werden. Das Material sollte nicht mit der Haut in Berührung kommen. Dieser Fixateur wiegt in der Regel unter fünf Gramm (BENNETT 1992). Bei Vögeln mit einem Gewicht unter 200 g können Kanülen oder Hypoderm-Nadeln als stabilisierende Pins verwendet werden, die mit Spezialkleber, z. B. Zyanoakrylatkleber, an

Zahnstochern oder anderen Nadeln, welche als temporäres Verbindungsstück dienen, befestigt werden können (MARTIN und RITCHIE 1994).

Ein noch kleineres System kann aus Kirschner-Draht geformt werden (BENNETT 1997). Jeder Transkortikalpin kann dabei mit Epoxydharz an dem Draht befestigt werden.

Methylmethacrylat- oder TechnoVit®-Verbindungsschiene:

Methylmethacrylat, z. B. TechnoVit®, wird vorwiegend in der Großtiermedizin für die Herstellung von Klauenverbänden bei Rindern eingesetzt. In der Vogelmedizin macht man sich das geringe Gewicht und die Flexibilität des Materials zu nutze. TechnoVit® kann auf unterschiedliche Art und Weise als Verbindungsschiene dienen.

Eine Möglichkeit, eine Verbindungsschiene mittels Methylmethacrylat zu kreieren, ist es, einen Plastikschauch parallel zur Knochenachse auf die transkortikalen Pins aufzustecken und diesen, nachdem die Fraktur reponiert wurde, mit dem noch flüssigen Material zu füllen (Verfahren und Anmischung siehe Kapitel 3.2.2.1.4). Eingbracht wird die Masse in den Schlauch, während sie noch heiß und flüssig ist, mit Hilfe einer Futterspritze, z. B. 60 ml Volumen. Die Aushärtung erfolgt innerhalb von ca. zehn Minuten. In dieser Zeit müssen die Enden des Plastikschauches von einem Assistenten mit Hilfe von Mosquito®-Klemmen verschlossen gehalten werden, um ein Austreten des Materials zu verhindern. Um Verbrennungen der darunter liegenden Haut durch die ablaufende exotherme Reaktion (siehe Kapitel 2.12.4) zu vermeiden, wird die Schiene unter fließendem Wasser gekühlt oder besser, die Haut mit einem feuchten Schwamm oder Tuch abgedeckt (siehe Kapitel 3.2.2.1.4).

Oft werden die Transkortikalpins bei Anwendung dieser Methode in einem leichten Winkel in den Knochen eingebracht, um ein Abrutschen der Schiene zu verhindern. Allerdings erschwert die Winkelung die Montage des Plastikschauches auf die transkortikalen Pins. Latexschläuche sind einfacher in der Handhabung.

Um den Halt der Pins im Verbindungsmaterial zu erhöhen, können diese alternativ parallel zur langen Knochenachse gebogen werden. Die Pins sollten während des Biegevorgangs, z. B. mit einer Zange, stabilisiert werden, damit die aufgebrachten Kräfte nicht auf die Fraktur, anliegende Gelenke oder die Knochen-Pin-Einheit wirken und iatrogene Frakturen vermieden werden. Anschließend wird das Methylmethacrylat bis zur zähen Konsistenz angerührt und nach Reposition der Fragmente um die transkortikalen Pins gelegt (siehe Abb. 22, rechts). Die Fraktur wird in Ausrichtung gehalten, bis das Material ausgehärtet ist.

Bei einer Kombination mit einem IM-Pin wird dieser um 90° zur langen Knochenachse gebogen und in die Schiene mit eingefügt (siehe Kapitel 2.14.1).

Bedingt durch den Anmischvorgang der Komponenten und die Aushärtungszeit sind längere Narkosen als beim Einsatz von gebrauchsfertig verwendbaren Kirschner-Ehmer-Systemen notwendig. Dieses sollte besonders bei kritischen Patienten, z. B. Vögeln mit Leber- oder Nierenerkrankungen, beachtet werden. Auch handelt es sich beim Mischen der Komponenten um eine exotherme Reaktion, deren Risiken und dementsprechend einzuhaltende Vorsichtsmaßnahmen beachtet werden müssen (siehe Kapitel 2.12.4 und 3.2.2.1.4).

2.13.3 Unterschiedliche Typen des Fixateur externe

Anhand der Anzahl seiner Achsen werden drei Typen des Fixateur externe unterschieden.

2.13.3.1 Fixateur externe Typ I (ESF Typ I)

Der Fixateur externe Typ I besteht aus einer Achse und stellt die einfachste Form des Fixateur externe dar (siehe Abb. 20, links). Wie die anderen Typen des Fixateur externe auch, setzt er sich aus einer unterschiedlichen Anzahl transkortikaler Pins und einer Verbindungsschiene zusammen. Je nach Größe der Fragmente und Anforderung an die Stabilität werden zwei bis vier oder mehr Transkortikalpins in den Knochen eingebracht. Diese werden nach Penetration der Haut in beiden Kortikalices verankert. Anschließend werden sie mit einem Verbindungsstück, das parallel zum Knochen verläuft, adaptiert. Transkortikale Pins, die von einer Seite der Gliedmaße beide Kortikalices durchstoßen, werden als „*half-pins*“ (vgl. Kapitel 2.13.2.1 und Tab. 1, Kapitel 3.2.2.1.2) bezeichnet (EGGER 1993). Zum Einsatz kommt der Fixateur externe Typ I bei den der Körperwand nahe gelegenen Anteilen der Gliedmaßen, d. h. insbesondere bei Frakturen von Humerus und Femur. Um Weichteilschäden zu vermeiden, kann der Fixateur externe Typ I auch in Verbindung mit einem IM-Pin angewandt werden (ESF IM-Pin „tie-in“). Bei der Behandlung der meisten einfachen Frakturen gewährleistet der Fixateur externe Typ I gute Stabilität. In der Veterinärmedizin kommen überwiegend der Fixateur externe Typ I und II zur Anwendung (MEUTSTEGE 1998).

Ist eine Fraktur trotz Anwendung eines Fixateur externe Typ I noch instabil, kann dieser mit Hilfe eines zweiten Verbindungsstücks „aufgestockt“ werden. Dazu wird auf die transkortikalen Pins eine weitere Schiene aufgesetzt.

Durch das zweite Verbindungsstück wird der Widerstand gegen Kompressionskräfte verdoppelt. Die zwei einzelnen Verbindungsstücke können parallel zueinander oder laut

EGGER (1993) mit einer Rotation von 60° bis 90° zueinander angebracht werden. Die daraus resultierende biplanare Typ I Konfiguration ist resistenter gegen kraniokaudale Biegungskräfte (EGGER 1993). Sie kann an sehr proximalen und sehr distalen Frakturen angebracht werden, da sie biplanar ist und durch eine größere Anzahl von Pins eine gute Stabilität garantiert.

Beispiele für den Einsatz des Fixateur externe Typ I sind Femurfrakturen. Da die mediale Seite des Knochens dem Rumpf eng anliegt, besteht die einzige Versorgungsmöglichkeit einer Fraktur in einem lateral angebrachten Fixateur externe Typ I. Die starke Bemuskelung des Knochens und der dadurch hervorgerufene Muskelzug, machen den Einsatz eines IM-Pins zur Vermeidung des In- und Übereinanderschiebens der Fragmente unerlässlich. Frakturen des Tibiotarsus können ebenfalls mit einem Fixateur externe Typ I versorgt werden, wobei aus Stabilitätsgründen und zur Vermeidung der Fragmentrotation eine Kombination mit einem IM-Pin erfolgen sollte.

2.13.3.2 Fixateur externe Typ II (ESF Typ II)

Der Fixateur externe Typ II ist durch zwei sich gegenüberliegende Achsen gekennzeichnet und erzielt eine höhere Stabilität als der Fixateur externe Typ I, da sich die Stabilität mit Erhöhung der Komplexität verbessert (BENNETT 1997). Da die Transkortikalpins die Haut auf beiden Seiten der Gliedmaße penetrieren und beide Kortikalices durchstoßen, werden sie als „full-pins“ (vgl. Kapitel 2.13.2.1 und Tab. 1, Kapitel 3.2.2.1.2) bezeichnet (EGGER 1993). Ihre Enden werden auf beiden Seiten der Gliedmaße mit einer Schiene verbunden (siehe Abb. 20, rechts). Fixateur externe Typ II Konfigurationen sind sehr resistent gegenüber Kompressionskräften.

Der Fixateur externe Typ II wird oft mit Hilfe flexibler Verbindungsschienen, z. B. aus Technofit[®], modifiziert, da das Einfädeln der ESF-Pins in ein starres Verbindungsstück mit Schwierigkeiten verbunden ist.

Der Fixateur externe Typ II kann bei sehr unstablen Frakturen, z. B. Splitter- und Trümmerfrakturen, eingesetzt werden. Um die Körperwand nicht zu verletzen, ist seine Anwendung auf distale Gliedmaßenteile, wie z. B. unterhalb des Ellenbogens und unterhalb des Kniegelenks, begrenzt. Der Fixateur externe Typ II eignet sich insbesondere für Frakturen des Tarsometatarsus (siehe Kapitel 3.2.2.3.2, Abb. 62). Der Einsatz eines zusätzlichen IM-Pins entfällt, da dieser weder proximal noch distal des Tarsometatarsus über das Gelenk in den Knochen eingebracht werden kann. Ein weiteres Einsatzgebiet für den Fixateur externe Typ II sind Frakturen des Tibiotarsus, wobei hier die Verletzungsgefahr der

anderen Gliedmaße durch Teile des Fixateurs, wie z. B. die herausstehenden Enden der transkortikalen Pins, berücksichtigt werden sollte.

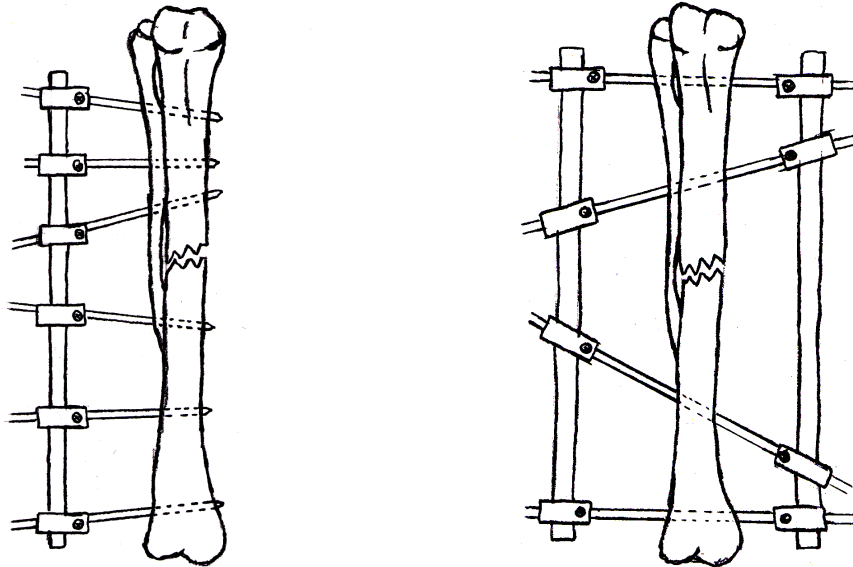


Abb. 20: Versorgung einer Tibiotarsusfraktur mittels Fixateur externe, Kischner-Ehmer-System. Links: Fixateur externe Typ I, rechts: Fixateur externe Typ II.

2.13.3.1 Fixateur externe Typ III (ESF Typ III)

Der dritte Typ des Fixateur externe Typ III stellt eine Kombination aus Fixateur externe Typ I und II dar (siehe Abb. 21). Seine Achsen lassen ein dreidimensionales Gerüst entstehen. Fixateur externe Typ III Konstruktionen bieten optimale Stabilität und sind zehnmal resistenter gegenüber axialen Kompressionskräften als der Fixateur externe Typ I (EGGER 1993).

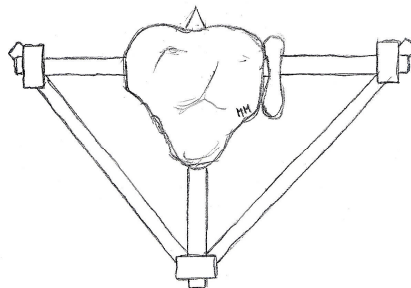


Abb. 21: Fixateur externe Typ III, linker Tibiotarsus, Aufsicht.

Der Fixateur externe dient der Versorgung höchst unstabiler oder infizierter Frakturen, Pseudarthrosen und Arthrodesen, wenn eine verlängerte stabile Fixation nötig ist. In der Vogelmedizin kommt der Fixateur externe Typ III in der Regel jedoch nicht zum Einsatz. Bei größeren Vögeln würde er sich zur Immobilisation komplizierter Frakturen der langen Röhrenknochen eignen.

2.13.2.4 Komplikationen bei der Anwendung eines Fixateur externe

Bei gezielter Indikation und qualifizierter Anwendung des Fixateur externe sind in der Regel relativ wenig Komplikationen zu erwarten. Anliegende Gelenke und periartikuläre Strukturen werden nicht in den Fixateur einbezogen, so daß von dieser Seite keine Probleme zu erwarten sind. In den meisten Fällen kann die Gliedmaße bereits wenige Tage nach der Operation wieder belastet werden.

Dennoch kann es in einigen Fällen zu lokalen Drucknekrosen der Haut kommen. An der Stelle des Durchtritts des transkortikalen Pins kann es durch Spannungen und/oder Sekretansammlungen zu lokalen Infektionen kommen, die durch eine Infektion des Pins auch auf den Knochen übergreifen können. Kommt es zu einer solchen Infektion im Knochen, kann sich der Transkortikalpin vorzeitig lockern und eine Pseudarthrose entstehen. Ist das Tier sehr unruhig, kann es auch zum Verlust des Fixateurs oder zum Ablösen von Teilen, wie den transkortikalen Pins oder der Verbindungsschiene, kommen. Dieses kann insbesondere durch Hängen bleiben, z. B. am Käfig, oder ungeschicktes Verhalten verursacht werden. Komplikationen können auch auftreten, wenn ein Fixateur externe bei heranwachsenden Vögeln angewendet wird. Wird dabei eine Wachstumsfuge überbrückt, kann es zum vorzeitigen Epiphysenschluss kommen. Ferner muß bei der Anbringung einer Technovit®-Schiene die exotherme Reaktion beim Mischen des Kunststoffes berücksichtigt werden und die Schiene nach Einbringen des flüssigen Methylmethacrylats unter fließendem Wasser gekühlt werden, um Verbrennungen der Haut zu vermeiden.

Die Heilung nimmt bei der Verwendung eines Fixateur externe in der Regel mehr Zeit in Anspruch als bei einer Versorgung mittels Plattenosteosynthese, da Mikrobewegungen bei der Anwendung des Fixateurs nicht auszuschließen sind, was sich auch in vermehrter Kallusbildung widerspiegelt. SCHWARZ et al. (1986) haben durch Entfernen einzelner ESF-Pins oder medialer bzw. lateraler Anteile des Fixateur externe, die so genannte dynamische Destabilisierung, während des Heilungsverlaufes eine zunehmende Eigenbelastung der Fraktur erreicht und dadurch die Knochenheilung stimuliert (MEUTSTEGE 1998).

2.14 Kombinationen interner und externer Fixationstechniken

Um eine bessere Stabilität der Fixation zu erreichen werden interne und externe Fixation oftmals kombiniert. Bei Frakturen an den Knochen der Hintergliedmaße ist die Anwendung des ESF IM-Pin „tie-ins“ als Kombination aus IM-Pin und Fixateur externe, die Methode der Wahl. Diese Technik eignet sich für die Versorgung von Frakturen des Femurs und des Tibiotarsus. Weiterhin kann die Anwendung des „Shuttle-Pins“ (siehe Kapitel 2.12.4.1) durch die Kombination mit einem Fixateur externe hinsichtlich seiner Stabilität verbessert werden. Diese Technik wird bei Frakturen des Tibiotarsus angewendet. Eine Technik, die interne und externe Fixation vereint, ist die Doyle-Technik, von der jedoch selten Gebrauch gemacht wird.

2.14.1 ESF IM-Pin „tie-in“ (Hybridfixateur)

Als Kombination der internen und externen Frakturversorgung stellt der ESF IM-Pin „tie-in“ ein Produkt bestmöglicher Stabilität unter Addition der positiven Eigenschaften beider Fixationstechniken dar. Frakturkräften wird mit diesem System optimal entgegengewirkt. Einzelheiten zu externen und internen Fixationsmöglichkeiten sind den vorangegangenen Kapiteln zu entnehmen.

Zum Setzen des ESF IM-Pin „tie-ins“ erfolgt zunächst die interne Fixation mittels Marknagel (siehe Kapitel 2.12.3 und 3.2.2). Dieser wird so platziert, daß er bei Versorgung einer Femurfraktur mit dem distalen ESF-Pin verkeilt wird und bei der Fixation eines frakturierten Tibiotarsus so weit im Knochen versenkt wird, daß distal seiner Spitze zunächst der distale ESF-Pin eingeschraubt werden kann, bevor der intramedulläre Pin noch ein Stück weit distal geschoben und mit diesem verkeilt wird, ohne daß die Spitze des IM-Pins in der Kortikalis verankert wird.

Anschließend wird das aus dem proximalen Knochenende herausstehende Ende des Pins auf fünf bis sieben Zentimeter gekürzt und mit Hilfe einer Drahtbiegezange, die den Knochen vor dem einwirkenden Druck schützt, und einer Drahtbiegehülse, ersatzweise kann auch das Handbohrfutter benützt werden, um 90° gebogen.

Nun erfolgt die Anbringung des Fixateur externe mit der Verankerung mindestens eines ESF-Pins pro Fragment (siehe Kapitel 2.13.2.1 und 3.2.2). Zunächst wird der distale Pin in den Knochen eingebracht. Dabei durchstößt er die nahe und die gegenüberliegende Kortikalis. Danach wird der proximale ESF-Pin gesetzt. Im letzten Schritt wird die Verbindungsschiene, z. B. Kirschner-Ehmer- oder Technovit®-Schiene, ausgewählt und

angepaßt (siehe Kapitel 2.13.2.2). Eine Versorgung des Tarsometatarsus mittels ESF IM-Pin „tie-in“ ist aufgrund der anatomischen Verhältnisse nicht möglich. Zeichnungen und Fotos des ESF IM-Pin „tie-ins“ finden sich in Kapitel 3.2.2 und im Ergebnisteil.

2.14.2 Kombination aus „Shuttle-Pin“ und Fixateur externe

Auch die „Shuttle-Pin“-Technik kann mit einem Fixateur externe kombiniert werden und eignet sich zur Frakturversorgung des Tibiotarsus. Nach Einbringen des „Shuttle-Pins“ in den Knochen (siehe Kapitel 2.12.4.1) werden die transkortikalen Pins senkrecht im Knochen verankert, wobei der erste Transkortikalpin durch das proximale, der zweite durch das distale Fragment des Knochens verläuft. Der „Shuttle-Pin“ wird dabei von beiden ESF-Pins durchbohrt.

Zu berücksichtigen ist, daß die beiden Bohrdrähte von kaudolateral oder anterolateral und kranial der Fibula in den Knochen eingesetzt werden. Der dritte Transkortikalpin wird parallel zu den anderen ESF-Pins geschoben und findet im distalen Ende des Knochens Platz (siehe Abb. 22). Er durchbohrt, wie der vierte und letzte ESF-Pin, der im proximalen Ende des Knochens verankert wird, den „Shuttle-Pin“ nicht. Abschließend werden die beidseits aus dem Knochen herausstehenden Enden der Transkortikalpins so gebogen, daß sie auf einer Linie liegen und mit Kunststoff, z. B. VTP[®], verbunden (siehe Abb. 22). Alternativ können die Drähte gerade belassen und mit einer Schiene aus TechnoVit[®] oder einem Kirschner-Ehmer-System verbunden werden.

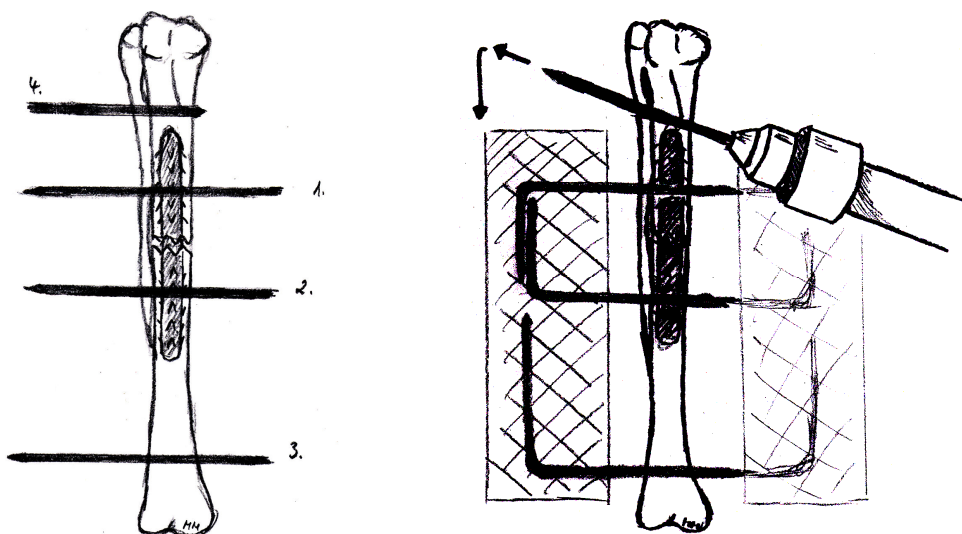


Abb. 22: Tibiotarsusfraktur. Links: Versorgung mittels eingebrachtem „Shuttle-Pin“ und transkortikalem Pin. Rechts: kombiniert mit externer Fixation.

2.14.3 Doyle-Technik

Die Doyle-Technik kombiniert interne und externe Fixation. Voraussetzung für diese Methode ist, daß das kleinste Knochensegment groß genug für die sichere Platzierung eines stabilisierenden Pins ist. Die Kompression des Frakturspaltes beschleunigt die Frakturheilung. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde die Doyle-Technik entwickelt (BENNETT 1997). Das Doyle-System ist leichter als die traditionellen externen Fixateure, da die verwendeten Rush-Pins kleiner als die Transkortikalpins sind und weniger Pins benötigt werden (BENNETT 1997). Zur Frakturversorgung bei Vögeln eignen sich Kirschner-Bohrdrähte in den Größen 0.028 (= 0,7 mm), 0.035 (= 0,9 mm), 0.045 (= 1,2 mm) oder 0.062 Zoll (= 1,6 mm) (MARTIN und RITCHIE 1994). Bei sehr kleinen Vögeln kann ersatzweise auf Katheternadeln oder Kanülen zurückgegriffen werden.

Die Doyle-Technik kompensiert viele Probleme, die typischerweise mit der Marknagelung einhergehen. Durch Platzierung der Pins in der Markhöhle bleibt das periartikuläre Gewebe unversehrt. Trabekuläre Schäden werden vermieden, ebenso wie eine Verletzung anliegender Gelenke. Das Auftreten fixationsinduzierter Frakturkrankheiten wird reduziert. Frakturen, die nur minimal disloziert sind und sich erst kürzlich ereignet haben, können mit dieser Technik geschlossen behandelt werden. Frakturen, die bereits einige Tage zurückliegen und deren Fragmente disloziert sind, sollten eröffnet werden, um abgestorbene Gewebe- und Knochenreste zu entfernen. Bei Splitterfrakturen können Zerklage-Drähte oder frakturübergreifende Klammern benutzt werden, um Rotation und dem Übereinanderschieben der Fragmente entgegenzuwirken (MARTIN und RITCHIE 1994).

Das Setzen des proximalen und distalen Pins erfolgt unter Schonung der Gelenke, und soweit wie möglich vom Frakturspalt entfernt, durch vorgebohrte Löcher, deren Durchmesser jeweils kleiner ist als der des betreffenden Pins. Anschließend werden die Rush-Pins soweit in die Markhöhle des Knochens vorgeschoben, bis sie an die gegenüberliegende Kortikalis (Trans-Kortikalis) stoßen und von dieser in Richtung der nahen Kortikalis (Cis-Kortikalis) abgelenkt werden (BENNETT 1997). Dabei überqueren sie den Frakturspalt, ohne die Kortikalis an den Gelenken zu durchbohren.

Um Kompression und axiale Stabilität der Fraktur zu erreichen, werden die Enden der Pins zu Haken geformt und mit einem Gummiband, z. B. aus dem Dentalbereich, verbunden. Bei sehr kleinen Vögeln werden im proximalen und distalen Fragment je eine Kanüle platziert (siehe Abb. 23) und ebenfalls mit einem Gummiband versehen. Vor dem Anlegen eines Verbandes wird die Haut unterhalb des Gummis mit Gaze abgedeckt, um Irritationen vorzubeugen (MARTIN und RITCHIE 1994). 10 - 21 Tage nach der Operation können die Gummibänder und 21 - 40 Tage p. o. die Pins entfernt werden (HARRISON und HARRISON 1994). Der Heilungsfortschritt wird anhand regelmäßiger Röntgenaufnahmen verfolgt.

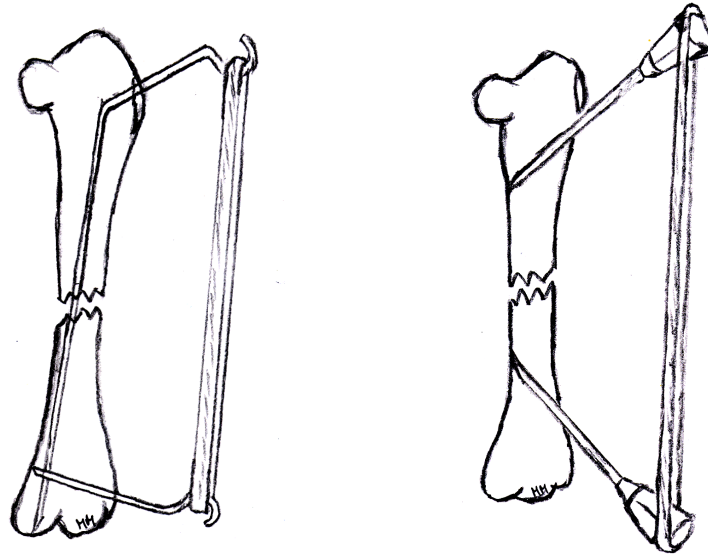


Abb. 23: Doyle-Technik. Links: unter Verwendung von Pins. Rechts: unter Verwendung von Kanülen (Anwendung bei sehr kleinen Vögeln).

Durch das Gummiband kommt es zur Kompression der Cis-Kortikalis, was in einer Distraction der Trans-Kortikalis resultiert (BENNETT 1997). Aus diesem Grunde muß die Kompressionsseite, z. B. durch eine Schiene, gestützt werden. Laut BENNETT (1997) kommt es beim Vorliegen eines Frakturspaltes zum Bruch der Fraktur durch die Kompressionskräfte.

Liegen ein kleines und ein großes Fragment vor, kann die Methode derartig modifiziert werden, daß der erste Pin wie beschrieben platziert und der zweite, kürzere Pin, in einem Winkel von 45° zur langen Knochenachse und parallel zum Winkel des ersten Pins wie ein Cross-Pin im Knochen verankert wird (siehe Kapitel 2.12.5.1), ohne die Kortikalis zu durchbrechen.

Alternativ kann, zum Erreichen axialer Stabilität, zunächst ein IM-Pin in den Knochen eingebracht werden, bevor zwei Pins, einer im proximalen und einer im distalen Fragment, in einem Winkel von 45° zur Knochenachse gesetzt werden, die wiederum mit einem Dentalgummiband verbunden werden. Nachteil dieser Methode ist das Setzen des IM-Pins, welches zu periartikulärer Fibrose führen kann (BENNETT 1997).

2.15 Grundzüge der postoperativen Nachsorge

2.15.1 Wundversorgung

Nach der Operation wird die Wunde mit Gaze abgedeckt und ein Verband angelegt, der alle zwei Tage zur Wundkontrolle gewechselt wird. Dabei wird auf die Insertionsstellen der Pins eine antibiotische Salbe aufgetragen, um Infektionen zu verhindern. Bei starker Schwellung des Gewebes kann dieses zusätzlich mit Dexamethason[®]-Salbe bestrichen werden.

Bei der Versorgung einer Femurfraktur mittels ESF IM-Pin „tie-in“ wird die Wunde aus Platzgründen oftmals mit Gaze abgedeckt und mit einem kleinen Verband, der unterhalb der Schiene verläuft, versorgt. Die Schiene mit den herausstehenden, auf zwei Millimeter gekürzten Enden der transkortikalen Pins wird mit einer kohäsiven Fixierbinde, z. B. VetWrap[®], umwickelt, um Verletzungen zu vermeiden.

Bei Frakturen an Tibiotarsus und Tarsometatarsus wird die Gliedmaße mit der Konstruktion für ein paar Tage verbunden, wobei die konische Form der Muskulatur des Tibiotarsus das Anlegen eines Verbandes erschwert (COLES 1992). Anschließend werden auch hier nur die Schiene und die herausstehenden Pins mit einem Verband versehen. Alternativ können auf die herausstehenden Enden der Pins auch kleine Kappen aufgesetzt werden. z. B. aus formbarem, aushärtendem Kunststoff.

Die Wunden und die Insertionsstellen der Pins sollten alle 24 - 48 Stunden gesäubert werden (REDIG 1999). Während der Wundnachsorge wird gleichzeitig eine leichte Physiotherapie durchgeführt.

Spätestens nach einer Woche werden die Verbände entfernt.

2.15.2 Medikamentelle Therapie

Der Patient sollte nach einem chirurgischen Eingriff oder bei Vorliegen offener Frakturen und Wunden routinemäßig mit einem Antibiotikum versorgt werden. Die Wahl des Antibiotikums richtet sich danach, welche Strukturen betroffen sind. So muß bei Infektionen, die den Knochen betreffen, ein Präparat gewählt werden, das knochengängig ist. Die Gabe des Medikamentes sollte sich auf mindestens fünf Tage belaufen. Je nach Ausmaß und Lokalisation der Infektion kann die Gabe auch verlängert werden. Gegebenenfalls ist zur Kontrolle ein Differentialblutbild anzufertigen. Da Vögel im Vergleich zum Säuger seltener Osteomyelitiden ausbilden, reicht eine Verabreichung von Antibiotika über einen kurzen Zeitraum in den meisten Fällen aus.

REDIG (1999) empfiehlt folgende antibiotische Versorgung:

Während der Vorbereitung des Patienten für die Operation und nach der Operation wird i. m. ein Cephalosporin (Cefatoxime; Greifvögel: 75 - 100 mg/kg KG i. m., q 12 h. Psittaciden: 75 - 100 mg/kg i.m., i.v., q 4 -8 h (CARPENTER 2001)) verabreicht. Bis fünf Tage p. o. werden die Patienten mit Clavamox (50 mg/kg KG) aufrechterhalten. Bei drohenden oder bereits bestehenden Infektionen des Knochens werden Enrofloxazin (Baytril[®], 10 mg/kg) und statt Clavamox entweder Metronidazol (30 - 50 mg/kg KG) oder Clindamycin (75 - 150 mg/kg KG) verabreicht.

Zur Schmerzlinderung empfiehlt es sich, Meloxicam (0,1 - 0,2 mg/kg PO, i. m., q 24h (CARPENTER 2001)); je nach Bedarf 1 - 2 x täglich, zu verabreichen. Dieses Präparat besitzt neben analgetischer Wirkung auch antiphlogistische. Befindet sich der Patient im Schock, sollte zunächst einmalig Dexamethason[®] (Schocktherapie: 2 - 4 mg/kg, i. m., i. v., q 12 - 24h (CARPENTER 2001)) verabreicht und anschließend mit der Gabe von Meloxicam (Dosierung s.o.) fortgeföhren werden. Zur Unterstützung des Flüssigkeitshaushaltes sollten laut LAWRENCE (1992) 50 ml Ringerlösung/kg Körpergewicht i. v., s. c. oder PO verabreicht werden. Dabei sollte die Lösung vorab auf Körpertemperatur erwärmt werden, z. B. in einem Wasserbad.

Kongo-Graupapageien (*Psittacus e. erithacus*) sollten bei der Gabe eines Antibiotikums gleichzeitig antimykotisch abgedeckt werden, da sie besonders anfällig für Aspergillose sind. Bei längerem stationären Aufenthalt sollten auch Wildvögel mit einem Antimykotikum parallel zur Gabe des Antibiotikums versorgt werden.

Beim Verabreichen von Medikamenten ist bei Vögeln zu berücksichtigen, daß diese aufgrund ihres Fluchtreflexes zu Abwehrbewegungen neigen, was sich zum einem negativ auf die Heilung von Frakturen auswirken, zum anderen zu neuen Verletzungen führen kann. Die Eingabe sollte deswegen mit größtmöglicher Vorsicht erfolgen.

2.15.3 Physiotherapie

Durch das Anlegen von Verbänden und das Anbringen von Fixateuren können die Patienten die verletzte Gliedmaße nur eingeschränkt bewegen. Ferner wird der Patient durch Schmerzen dazu veranlasst, die Gliedmaße zu schonen. Um zu verhindern, daß es nach Abheilung der Fraktur durch mangelnde Bewegung während der Behandlungsdauer zur Versteifung bzw. eingeschränkter Beweglichkeit der Gelenke, Muskeln und Bänder kommt,

sollte der Bewegungsapparat zwei- bis dreimal wöchentlich einer Physiotherapie unterzogen werden.

Zwar ist die Anwendung der Physiotherapie nur bei Frakturen der Vordergliedmaße essentiell, und REDIG (1999) berichtet gar von einem Verzicht oder nur einmaliger wöchentlicher Anwendung der Therapie bei Verletzungen der Hintergliedmaße, jedoch ist bei Greifvögeln zu beachten, daß deren Überleben von der Funktion ihrer Vorder- und Hintergliedmaßen abhängig ist. Nur die vollständige Wiederherstellung der Gliedmaßenfunktion sichert dem Patienten das Überleben in freier Wildbahn. Bei Vögeln, die in menschlicher Obhut gehalten werden, ist die vollständige Wiederherstellung der Gliedmaßenfunktion weniger wichtig. Auf eine Physiotherapie kann deswegen ganz oder fast verzichtet werden. Jedoch sollte beobachtet werden, ob und in wie fern die verletzte Gliedmaße benutzt wird.

Da das passive Beugen und Strecken der Gliedmaße mit Schmerzen verbunden sein kann, erfolgt die Therapie ausschließlich unter Isofluran[®]-Kurznarkose. Ferner führt die erhöhte Stressempfindlichkeit des Vogels im Vergleich zum Säuger zu einer starken Kreislaufbelastung und zusätzlichen Schmerzen durch die aus Angst verkrampfte Muskulatur. Ferner wäre eine Therapie im Zustand der Verkrampfung nicht durchführbar, da die Gliedmaße nicht in ausreichendem Maße gebeugt und gestreckt werden könnte.

Ist der Vogel in Narkose verbracht, wird, falls vorhanden, der Verband abgenommen. Anschließend sollte die Heilung der Wunde beurteilt sowie der korrekte Sitz des Fixateurs überprüft werden. Bei fortgeschrittener Therapie sollte außerdem das Voranschreiten der Heilung anhand der palpatorischen Stabilität der Frakturstelle ermittelt werden. Dieses erfordert ein hohes Maß an Vorsicht, um bereits gebildete Knochenbrücken nicht zu zerstören, da dieses die Heilung beeinträchtigen oder verhindern kann.

Zur eigentlichen Physiotherapie werden die Gelenke der Gliedmaße etwa 10 - 15 x langsam bis zum jeweiligen Anschlagspunkt gestreckt und gebeugt. Dabei sollte darauf geachtet werden, ob bereits Einschränkungen in der Beweglichkeit bestehen. In den meisten Fällen ist das Strecken und Beugen der Gliedmaße während der ersten Wiederholungen erschwert, da sich die „unbenutzte“ Muskulatur kontrahiert. Dieses bessert sich jedoch im Laufe der Übung. Bei Greifvögeln sollte das Beugen und Strecken der einzelnen Zehen nicht vernachlässigt werden. Insgesamt sollte der zeitliche Umfang der Therapie ca. fünf Minuten betragen.

Da es durch einseitige oder Fehlbelastung zu Überbelastungsreaktionen der gesunden Gliedmaße kommen kann, sollten im Rahmen der Kurznarkose die Bildung bzw. die Ausweitung von Sohlenballengeschwüren überprüft werden und ggf. dementsprechende Verbände, so genannte „Ball-bandages“ oder „Schuhe“ aus Polypropylen (siehe Kapitel

2.18), angelegt werden. Auch die Gelenke und die Frakturstelle sollten sorgfältig auf Schwellungen und vermehrte Wärme untersucht werden.

Da auch eine kurze Narkose den Kreislauf belastet, sollte der Patient stets s. c. mit Flüssigkeit versorgt werden (Dosierung s. o.). Zu verabreichende Medikamente sollten während der Narkose gespritzt werden, um den Patienten zu schonen bzw. zu vermeiden, ihn ein zweites Mal in die Hand nehmen zu müssen. Orale Medikamenten sollten jedoch im Wachzustand appliziert werden, da diese sonst aspiriert werden können.

2.15.4 Aufstallung während des stationären Aufenthaltes bzw. der Heilungsphase

Zur Aufstallung von Patienten mit Verletzungen der Hintergliedmaßen eignen sich kleine Käfige mit glatten Seitenwänden aus Holz, Fiberglas oder Plastik, um ein Herumklettern zu unterbinden. Der Boden sollte mit einem weichen Handtuch bedeckt und Klettermöglichkeiten herausgenommen werden. Befindet sich ein Patient in Bauch- oder Seitenlage, sollte ein Handtuch u-förmig um den Rumpf des Vogels gelegt werden. Dieses unterstützt die Brustlage des Patienten und verhindert ein seitliches Umkippen. Kann der Vogel sitzen, ist eine geeignete Ausstattung zu beschaffen. Stangen sollten dabei mit Leinen oder Verbandmull umwickelt werden. Bei der Verwendung von Verbandmull sollte dieser mit einer Lage Leukosilk[®] umwickelt werden, um ein Hängen bleiben mit den Krallen zu verhindern.

Die Füße sollten täglich auf Schwellungen und vermehrte Wärme untersucht werden. Patienten mit komplizierten Tibiotarsusfrakturen können aufgrund von Nervenschädigungen über einen längeren Zeitraum Lähmungen der betroffenen Gliedmaße zeigen. In welchem Maße bzw. ob die Gliedmaße wieder funktionstüchtig sein wird, läßt sich oftmals nicht vorhersagen und ist abhängig von der Schwere der Nervenschädigung. Dieses muß besonders bei Wildvögeln hinsichtlich der Wiederauswilderung kritisch beobachtet werden.

2.16 Ab- bzw. Entnahme der Implantate

Einen genauen Zeitpunkt für die Ab- bzw. Entnahme der Implantate gibt es nicht, dieser ist individuell unterschiedlich. Wann ein Fixateur ab- bzw. entnommen werden kann, ist vor allem abhängig von der Heilungsdauer des jeweiligen Knochens. Diese nimmt in der Regel von proximal nach distal zu. Außerdem spielt die Komplexität der Fraktur und der Grad der Stabilisation des Knochens durch den Fixateur eine Rolle. In der Regel erfolgt die Ab- bzw. Entnahme eines Fixateurs schrittweise, d. h. zunächst werden die externen Konstruktionen

entfernt und anschließend die Implantate, die den Knochen von innen her stabilisieren. Dadurch wird der Knochen schrittweise wieder an die auf ihn wirkende Belastung herangeführt, wodurch die Rückführung zur normalen Gliedmaßenfunktion beschleunigt wird.

Femurfrakturen heilen in der Regel in vier bis sechs Wochen aus (REDIG 1999). Wenn nachweislich eine Kallusbildung stattgefunden hat, kann mit der schrittweisen Abnahme der Apparatur begonnen und die Verbindungsschiene durchtrennt werden. Ist die Fraktur palpatorisch stabil, kann der Fixateur externe entfernt werden. Entgegen der Behandlung von Humerusfrakturen wird der IM-Pin noch bis zu 14 Tage im Knochen belassen.

Bei Tibiotarsusfrakturen, die mit einem Fixateur externe Typ II (ESF Typ II) versorgt worden sind, kann der mediale Teil des Fixateurs drei bis vier Wochen nach der Operation entfernt werden (REDIG 1999). Sechs Wochen p. o. wird schließlich das Gegenstück entfernt. Ein Großteil der Patienten kann die Gliedmaße zwei bis drei Wochen nach dem Eingriff bereits wieder belasten.

Die Heilung von Frakturen des Tarsometatarsus verläuft sehr langsam und kann bis zu 8 - 10 Wochen in Anspruch nehmen. Nach dem Entfernen des Fixateurs wird für weitere zwei Wochen Käfigruhe empfohlen.

Die Abnahme der Implantate kann sich schwierig gestalten, wenn die Schienen zu dicht über der Haut platziert wurden. Die Transkortikalpins können dann mit der Drahtzange schwer erreicht werden, ohne Verletzungen zu verursachen. Alternativ kann in diesen Fällen versucht werden, die herausstehenden Metallpins mit einem Drehmel abzutrennen oder das Material mit Hilfe eines Lötkolbens zu erwärmen, um den Fixateur abzunehmen. Bei der Erwärmung des Materials sind Verbrennungen durch die Wärmeleitung des Metalls zu berücksichtigen und dementsprechende Vorkehrungen zu treffen.

Ferner ist nach der Abnahme zu berücksichtigen, daß die entnommenen Implantate Löcher und Hohlräume im Knochen hinterlassen, was zu Stabilitätseinbußen führt und das Risiko erneuter Frakturen birgt. Nach der Entnahme sollte der Patient deswegen vorsichtig zur „normalen“ Belastung zurückgeführt werden.

2.17 Posttraumatische Osteomyelitis - vergleichend

Bei Osteomyelitiden handelt es sich um Entzündungen des Knochenmarks, der Kortikalis und möglicherweise des Periosts (vgl. Kapitel 2.6). Eine akute Osteomyelitis ist charakterisiert durch eine Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens, Schmerz und Weichteilschwellung ohne radiologisch sichtbare Alterationen am Knochen. Schlüssel zu einer erfolgreichen Behandlung von Osteomyelitiden ist die Frakturstabilisierung. Sie bildet

die Grundlage einer Knochenheilung trotz gleichzeitiger Infektion des Knochens (FOSSUM 2007).

Während des chirurgischen Eingriffs kommt es in Abhängigkeit seiner Dauer mehr oder minder zu Keimverschleppungen von der Haut des Tieres, aus der Luft oder vom Operateur in das eröffnete Gewebe. Diese Keime können sich auf der Oberfläche eines Implantates ansiedeln und eine Infektion hervorrufen. Die nachfolgende Schleimproduktion schützt die Bakterien vor Angriffen des Immunsystems, wie z. B. Phagozytose, Antikörpern und z. T. auch vor der Wirkung eines Antibiotikums. Verglichen mit der hohen Kontamination des Gewebes während des Eingriffs, treten Osteomyelitiden jedoch - selbst bei Säugetieren - selten auf (SMITH et al. 1989 in ANDERSON 1998). Begünstigt werden die Infektionen durch großflächige Eröffnung des Gewebes, Durchblutungsminde rung der Kortikalis, Instabilität der Fraktur, sowie zugrunde liegende Erkrankungen des Patienten, wie z. B. Organkrankheiten.

Kommt es zur Infektion, fließt entzündliches Exsudat entlang der Haver'schen und Volkmann'schen Kanäle, unter das Periosteum und in den medullären Kanal. Von der Blutversorgung abgeschnittene Fragmente des Knochens wirken als „Bakterienhochburg“. Unter Abkapselung des Prozesses, kommt es zur Sequesterbildung. Ist die Fraktur instabil, wird die Infektion dadurch potenziert. In der Folge kommt es zur Knochenauflösung, wodurch sich das Implantat lockert und die Bewegungsmöglichkeit der Fragmente zunimmt.

Bakterielle Infektionen im Knochen können mono- oder polymikrobial sein. Meistens handelt es sich um Infektionen, die von einem Keim ausgehen. So werden bei Kleintieren am häufigsten der β -Lactamase-bildende *Staphylococcus intermedius* (ANDERSON 1998) oder *Staphylococcus aureus* isoliert (FOSSUM 2007). Polymikrobi ale Infektionen schließen gramnegative und -positive, aerobe und anaerobe Keime ein. Vom betroffenen Gewebe sollten, um die Keimflora zu bestimmen, Kulturen angelegt und das Implantat ausgetauscht werden.

Posttraumatische Osteomyelitiden ereignen sich in der Folge einer Kombination aus chirurgischem Eingriff und verlängerter Gabe von Antibiotika. Um einer Infektion entgegen zu wirken, muß totes und nekrotisches Gewebe operativ entfernt werden. Eine Drainage schließt die Toträume. Gegebenenfalls muß die Fraktur erneut stabilisiert und die Gabe von Antibiotika, basierend auf den Ergebnissen der angelegten Kulturen und der Sensibilität der Keime, verlängert werden.

Bei akuten Infektionen ist schnelles Handeln unerlässlich, um ein Streuen der Infektion im Knochen, ausgeweitete Kortikalisnekrose und einen chronischen Verlauf zu verhindern. Röntgenaufnahmen können helfen, Sequester zu lokalisieren, um sie anschließend zu entfernen. In schwerwiegenden Fällen mit Einbeziehung von Gelenken oder Gewebe, bleibt oftmals nur die Amputation.

Erfolgt eine Infektion am noch nicht ausgeheilten Knochen, sollten die Implantate, sofern sie stabil sind, nicht entnommen werden. Sollten sich diese jedoch lockern, müssen sie entnommen und wieder eingesetzt bzw. ausgetauscht werden. In erster Linie eignen sich bei Vorliegen einer Osteomyelitis externe Fixateure, da deren Pins auch etwas entfernt vom Frakturspalt eingebracht werden können. IM-Pins sollten vermieden werden, um die Infektion nicht im Knochenmark auszubreiten.

Während man früher davon ausging, daß nicht alle Antibiotika die Blut-Knochen-Schranke überwinden können, hat die Forschung inzwischen gezeigt, daß die meisten Antibiotika in den infizierten Knochen vordringen, ihre Wirksamkeit jedoch von den verursachenden Keimen und der chirurgischen Entfernung von totem und infiziertem Knochen abhängig ist (ANDERSON 1998).

Bei einer akuten Osteomyelitis sollte sofort mit der Therapie begonnen werden, ohne die Ergebnisse des Resistenztests abzuwarten. Da die β -Lactamase produzierenden *Staphylococcus* spp. am häufigsten bei derartigen Infektionen angetroffen werden, fällt die Wahl eines Antibiotikums in der Kleintiermedizin, z. B. Hund und Katze, in der Regel auf Cephalexin (10 - 20 mg/kg KG, s. c., i. m., PO (ANDERSON 1998)), Amoxicillin mit Clavulansäure (12 - 25 mg/kg KG oral (ANDERSON 1998)) oder Clindamycin (5 - 11 mg/kg KG oral (ANDERSON 1998)). Bei Anwendung der beiden erstgenannten Antibiotika sollte zusätzlich Metronidazol verabreicht werden, um das Wirkungsspektrum zu erweitern und auch anaerobe Keime, wie z. B. *Bacteroides* spp., zu bekämpfen. Liegen die Ergebnisse des Resistenztests vor, kann die antibiotische Therapie ggf. angepaßt werden. Bei Kleintieren sollte das Antibiotikum über einen Zeitraum von 28 Tagen gegeben werden (FOSSUM 2007).

In der Vogelmedizin werden Osteomyelitiden aufgrund der im Vergleich zum Säuger höheren Körpertemperatur und einem lymphatischen System mit immunkompetenten Zellen, vorzugsweise Lymphozyten und Makrophagen, selten beobachtet. Die verglichen mit dem Säugetier erhöhte Körpertemperatur ist auf das isolierende Federkleid zurückzuführen. Ein Luftpolster zwischen der Haut und dem Federkleid schützt den Vogel vor Wärmeverlust an die Umwelt. Ferner bilden die Federn eine Barriere für den Wind und wirken durch einen dünnen Ölfilm, der in der Bürzeldrüse produziert wird, wasserabweisend. Außerdem besitzen Vögel keine Schweißdrüsen, über die Wärme unkontrolliert nach außen abgegeben wird, können aber vermehrte Wärme über die Haut verdunsten (WHITTOW 1965). Beispielsweise liegt die Körpertemperatur eines Huhnes bei 41,9 °C, die einer Ente sogar bei 42,1 °C, während die Körpertemperatur einer Katze bei 36,4 °C und die eines Hundes bei 38,2 °C liegt (WHITTOW 1965). Reptilien hingegen sind poikilotherm. Ihre Körpertemperatur variiert in Abhängigkeit von der vorherrschenden Außentemperatur.

Das Lymphsystem des Vogels umfasst das Lymphgefäßsystem einschließlich der Lymphherzen und der Lymphknoten, wobei letztgenannte nur bei Wasser- und Sumpfvögeln vorkommen. Es nimmt bei phylogenetischer Betrachtung in mancher Hinsicht eine Zwischenstellung zwischen Reptilien, die ein Mehrweg-Lymphgefäßsystem mit zahlreichen lymphovenösen Anastomosen mit eingelagerten Lymphherzen besitzen und Säugetieren, bei denen das Einweg-Lymphsystem in vollendeter Form vorliegt, ein. So besitzen Vögel ein Einweg-Lymphsystem mit zusätzlichem „Nebenweg“, das neben der Mündung im paarigen Venenwinkel auch in den dorsalen Venen am Beckenausgang endet (BUDRAS und KÖNIG 2001).

Bei Vögeln diagnostizierte Osteomyelitiden sind meist Folge von traumatischen Ereignissen. Dabei kommt es zur Ansiedelung von *Staphylokokken*, *E. coli*, *Proteus vulgaris* und *Pseudomonas aeruginosa*, aber auch von *Mykobakterien* und *Aspergillen* (GYLSTORFF und GRIMM 1998). Zu berücksichtigen ist, daß aufgrund der pneumatisierten Knochen beim Vogel eine Abwanderung der Keime in die Luftwege möglich ist, wodurch es zur generalisierten Infektion kommen kann. Die Therapie einer Osteomyelitis bei Vögeln ist der Empfehlung von REDIG (1999) in Kapitel 2.15 zu entnehmen.

Auftretenden Osteomyelitiden bei Reptilien kann mit Cephalosporinen entgegen gewirkt werden. Sie eignen sich besonders für die Behandlung von Knocheninfektionen. Seeschildkröten werden mit 20 mg/kg KG i. m. alle 72 Stunden therapiert, Schlangen mit 100 mg/kg KG i. m. alle 96 Stunden und Eidechsen mit 125 mg/kg KG i. m. alle 24 Stunden (MITCHELL 2006). MITCHELL (2004) beschreibt ferner die Versorgung von Osteomyelitiden bei Schildkröten mittels eines mit Aminoglycosiden und Clindamycin imprägnierten PMMA, welches in den Knochen eingebracht wird.

2.18 Komplikation Sohlenballengeschwür

Durch Schonung der verletzten Gliedmaße kommt es zu Gewichtsverlagerung und Fehlhaltung, wodurch oftmals Überbelastungsreaktionen der gesunden Gliedmaße hervorgerufen werden. Eine häufig auftretende Komplikation stellt das Sohlenballengeschwür, auch als „Bumblefoot“ bezeichnet, dar, dessen Bildung auf der Überbelastung der gesunden Gliedmaße beruht. Bei Greifvögeln werden entzündliche Zustände allgemein als „Bumblefoot“ bezeichnet, während der Ausdruck bei Psittaciden Pododermatitiden beschreibt (HESS 1993).

Das Sohlenballengeschwür ist eine Entzündung der Fußsohle, die mit zunehmender Verhornung der betroffenen Hautbereiche beginnt, deren Hornschichten sich anschließend abnutzen. Dadurch wird die Haut dünner und erscheint gerötet. Es entsteht ein Erythem.

Durch die herabgesetzte Vitalität der Haut können Pilze und Bakterien leicht in diese eindringen und Pododermatitiden verursachen.

Um der Entstehung von Sohlenballengeschwüren entgegenzuwirken, sollte die Käfigeinrichtung, wie in Kapitel 2.15.4 beschrieben, den Umständen des kranken Vogels angepaßt werden. Ferner sollten die Sohlenflächen regelmäßig auf Veränderungen, wie Rötungen oder Schwellungen, untersucht und rechtzeitig entlastende Verbände, z. B. ein Ballverband, so genannter „Ball-bandages“, oder „Polypropylen-Schuhe“, angelegt werden.

2.18.1 „Polypropylen-Schuhe“

Eine weitere Möglichkeit, Sohlenballenerkrankungen zu mindern, besteht darin, dem Patienten maßangefertigte Schuhe anzulegen. Hierzu werden zwei unterschiedliche Größen von Rohrisolierungen aus Polypropylen benötigt, die, ineinander geschoben und in ca. 2,5 - 3 cm dicke Scheiben geschnitten, eine runde Fläche ergeben (WETTERE und KORBEL 2005).

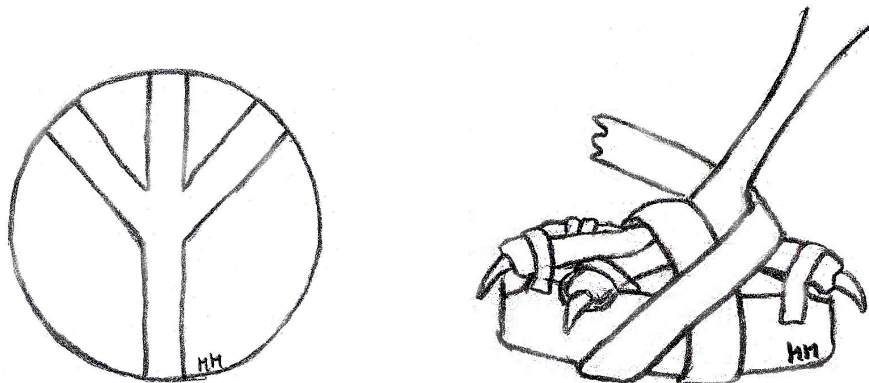


Abb. 24: Links: „Polypropylen-Schuh“, Fußabdruck ausgeschnitten, Aufsicht. Rechts: „Polypropylen-Schuh“, Befestigung am Fuß mittels Verband, Krallen liegen außerhalb der Polypropylenscheibe.

Um die Umrisse der Zehen individuell auf dem Material einzuzichnen, wird der Fuß auf eine der Scheiben aufgelegt und die Zehen mit einem Stift umrissen. Mit Hilfe eines scharfen Messers werden nun die eingezeichneten Bereiche ausgehöhlt und dem Fuß genau angepaßt (siehe Abb. 24). Die Krallen sollten außerhalb der Polypropylenscheibe zum Liegen kommen. Nun wird jede Zehe - ohne das darunterliegende Gewebe abzuschneiden - mit einem Tape in ihrer Lage fixiert und der distale Gliedmaßenteil unter Einschluss des distalen Tarsometatarsus mit einer kohäsiven Binde fixiert.

2.18.2 Ball-Verband (ball-bandage)

Bei dieser Art von Verband wird ein „Ball“ aus Tupfern geformt, um den die Zehen in physiologischer Stellung („als säße der Vogel auf einem Ast“) gelegt werden (siehe Abb. 25, links). Das Tupferknäuel sollte dabei so groß sein, daß sich die Krallen untereinander nicht berühren, um Verletzungen zu vermeiden (WETTERE und KORBEL 2005). Anschließend wird der Verband mit Hilfe einer Mullbinde am Fuß fixiert und mit einer kohäsiven Binde, z. B. VetWrap®, umwickelt (siehe Abb. 25, rechts). Neigt der Patient dazu, den Verband anzuknabbern, sollte zusätzlich eine Lage Isolier- oder „Panzerband“ aufgebracht werden. Auch der Einsatz von Leukoplast kommt in Betracht, allerdings können hier Fäden herausgezogen und abgeschluckt werden, wodurch Komplikationen durch Strangulationen im Bereich des Verdauungstraktes hervorgerufen werden können.

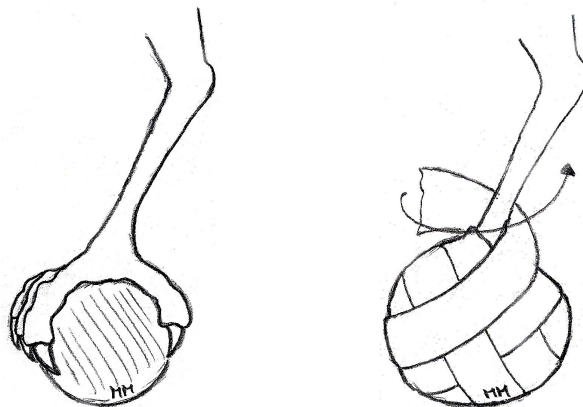


Abb. 25: Ballverband. Links: Mullbindenknäuel, um das die Zehen gelegt werden. Rechts: Umwickeln mit einem Verband.

2.19 Wiederauswilderung von Greifvögeln

Ist der Fixateur entnommen und die Fraktur ausgeheilt, kann der Vogel aus der Klinik entlassen, an eine Auffangstation abgegeben und dort für die Wiederauswilderung konditioniert zu werden. Dieses ist etwa zwei bis drei Monate nach dem Eingriff der Fall.

Da die Vögel während des stationären Aufenthaltes in der Klinik an Fitness verlieren, muß diese durch ein spezielles Trainingsprogramm wieder hergestellt werden, um die Chancen für ein Überleben in freier Wildbahn zu erhöhen. Vor allem nach längeren Aufenthalten in Gefangenschaft, wie z. B. nach einem orthopädischen Eingriff, ist von einem Verfall der

körperlichen Fitness - ähnlich wie bei einem Leistungssportler, der verletzungsbedingt pausieren muß - auszugehen. Nach der Wiederauswilderung besitzen diese Tiere im Nahrungskampf deutliche Nachteile gegenüber Nahrungskonkurrenten und dem Beutetier (LIERZ et al. 2005).

Trainingsmethoden sind - insbesondere für Falken (*Falconiformes*) - das Federspieltraining, bei dem eine Beuteattrappe an einer Schnur befestigt wird, welches kurz bevor der Falke diese fängt, weggezogen wird. Ähnlich funktioniert das Drachentraining, bei dem ein Federspiel am Drachen befestigt wird, womit insbesondere der kraftspeisende Höhenflug trainiert wird (LIERZ et al. 2005). Bei Sperbern (*Accipiter nisus*), Habichten (*Accipiter gentilis*), Bussarden (*Buteo sp.*) und Adlern (*Falconiformes*) werden andere Methoden angewandt, wie z. B. Beireiteübungen, bei denen der Vogel Distanzen überwinden muß, um anschließend auf der Hand geatzt zu werden oder das in den USA an der Universität von Minnesota entwickelte Leinentraining (LIERZ et al. 2005). Nach einem sechs-wöchigen Konditions-Programm mit Flugübungen in großen Räumen oder Außenvoliere, die so bemessen sein sollten, daß der Vogel Geschwindigkeit aufbauen und gleiten kann, kann der Vogel in der Regel wieder in die Wildbahn entlassen werden (REDIG 1999).

Bei Frakturen der Beckengliedmaße kann das Tier oftmals auch schon eher ausgewildert werden. Nach Möglichkeit sollte der Vogel an den Ort zurückgebracht werden, an dem er aufgefunden wurde, jedoch sollte er nicht in der Nähe von Straßen oder Häusern ausgesetzt werden.

2.20 Frakturversorgung bei Reptilien - vergleichend

Die Ziele der Frakturversorgung bei Reptilien sind, wie in der Vogelmedizin, eine bestmögliche Stabilisation der Fragmente und deren optimale anatomische Ausrichtung mit minimaler Zerstörung des Kallus und des Weichteilgewebes.

Die Knochenheilung der Reptilien verläuft mit 6 - 8 Monaten wesentlich langsamer als die der Vögel (siehe Kapitel 2.16). Pathologische Frakturen, die z. B. durch MBDs (metabolic bone diseases) verursacht werden, heilen hingegen mit 6 - 8 Wochen wesentlich schneller, sofern die Ursache behoben wird (MADER und BENNETT 2006).

Im Gegensatz zu Frakturen bei Vögeln handelt es sich bei Frakturen der Reptilien selten um offene oder Trümmerfrakturen. Ursache sind die geringeren Kräfte, die auf die Knochen einwirken, z. B. durch dumpfe und schwache Stöße. Die elastische Haut der Tiere wird von Knochenfragmenten in der Regel nicht durchbohrt. Die meisten Frakturen können konservativ mit Hilfe von Schienen und Verbänden versorgt werden. Bei pathologischen Frakturen durch MBDs, die auftreten, wenn der Knochen mehr als ein Drittel seines

Kalziumgehaltes verloren hat, stellt die konservative Frakturversorgung das Mittel der Wahl dar, da der Knochen für das Einbringen von Implantaten zu weich ist (MADER und BENNETT 2006). In derartigen Fällen sind Medikamente zur Behebung des Kalziumdefizits nötig, um eine Heilung zu ermöglichen. Verbände und Schienen sollten leicht sein und so angebracht werden, daß die Gliedmaße leicht gebeugt ist und sich in der physiologischen „Bewegungsposition“ befindet, um das Tier möglichst wenig einzuschränken. Die Materialien für die konservative Frakturversorgung bei Reptilien entsprechen überwiegend denen, die auch in der Vogelmedizin zur Anwendung kommen, wie z. B. Orthoplast® oder Hexcelite®. Spica Splints kommen ebenso zum Einsatz, wie Spritzen, die als Schiene dienen.

Das Anbringen von Schienen und Verbänden bei Schildkröten gestaltet sich aufgrund der im Vergleich z. B. zu Echsen verhältnismäßig kurzen Extremitäten und des Panzers schwierig. Die Gliedmaßen müssen in gebeugter Stellung unter Einbeziehung des Panzers verbunden werden.

In anderen Fällen, wie z. B. bei aquatisch oder semiaquatisch lebenden Reptilien, hat sich die interne Fixation nach Reposition der Fragmente bewährt. Sie verleiht eine höhere Stabilität, wird von den Tieren besser toleriert als die konservativen Fixationsmethoden und ist „wasserfest“. Der chirurgische Knochenzugang und das Prinzip des Setzens der Implantate entsprechen dem Vorgehen beim Säugetier. Als intramedulläre Pins können Kirschner-Drähte ab einer Größe von 0.028 Zoll (= 0,7 mm) herangezogen werden. Alternativ können Spinalnadeln verwendet werden. Der Einsatz von Zerklagen, Platten und Pins ist jedoch auf große und wertvolle Exemplare aus Zoos beschränkt, da das Setzen der Implantate mit hohen Kosten verbunden ist. Ferner läßt sich der Einsatz der Plattenosteosynthese aufgrund der Konturen der Reptilienknochen in vielen Fällen nicht realisieren (MITCHELL 2004).

Ein Fixateur externe kann für eine Vielzahl von Frakturen herangezogen werden. Insbesondere der Einsatz von biphasischen Fixateuren (siehe Kapitel 2.13.2.3) hat sich bewährt. Ein nicht unerhebliches Risiko stellt der Pinverlust dar, dem viele verschiedene Ursachen zu Grunde liegen können. Der Erfolg der Therapie ist in erster Linie von der Dauer der Heilung abhängig - je mehr Zeit die Heilung in Anspruch nimmt, desto höher ist das Komplikationsrisiko bis hin zum Scheitern der Konstruktion. Da Frakturen bei Reptilien sehr langsam heilen, ist das Risiko eines Pinverlustes hoch. Durch die Benutzung von Pins mit aufgesetztem Gewinde und das Setzen der Pins, wie von EGGER (1993) beschrieben, kann das Risiko des Pinverlustes reduziert werden. Das Anbringen eines Fixateur externe bei Schildkröten ist aufgrund der kurzen Gliedmaßen und des Panzers mit Schwierigkeiten verbunden. Um Läsionen des Panzers zu verhindern, empfiehlt MITCHELL (2004), diesen in die Fixation einzubeziehen.

Knochenplatten können in der Regel nur bei großen Patienten angewandt werden, jedoch sind inzwischen auch Platten erhältlich, die von so geringer Größe sind, daß ein Knochen mit drei Millimeter Durchmesser damit versorgt werden kann. Ferner können Fingerplatten (siehe Kapitel 2.12.1.1) zum Einsatz kommen. Bei Frakturen von Humerus und Femur stellt die Plattenosteosynthese die Methode der Wahl dar (MADER und BENNETT 2006). Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Knochen einiger Reptilien gebogen sind und die Platte an die Biegungen des jeweiligen Knochens angepaßt werden muß. Eine Entnahme der Platte ist in der Regel nicht nötig. Das Voranschreiten der Heilung sollte mit Hilfe von Röntgenaufnahmen im Abstand von einigen Wochen kontrolliert werden.

In schwerwiegenden Fällen mit hochgradiger Gewebsschädigung, unterbrochener Blutversorgung, bei hochgradigen Entzündungen und Infektionen ist eventuell eine Amputation notwendig. Für die meisten Reptilien stellt das Leben auf drei Beinen keine Einschränkung dar.

Welche Methode zum Einsatz kommt, ist von verschiedenen Faktoren abhängig: So gilt auch hier, die vier Grundkräfte, die auf eine Fraktur wirken, zu neutralisieren (siehe Kapitel 2.12). Generell ist zu berücksichtigen, daß mit einer Erhöhung der Anzahl der auf die Fraktur einwirkenden Kräfte das Risiko von Komplikationen bis hin zum Scheitern der Versorgungsmethode zunimmt (MADER und BENNETT 2006). Wenig dislozierte und geschlossene Frakturen heilen ohne Fixation. Allerdings kann es zur Funktionsminderung und zu Fehlstellungen kommen, so daß dieses zuvor mit dem Besitzer besprochen und an die Lebensbedingungen des Tieres angepaßt werden sollte.

3 MATERIAL UND METHODIK

3.1 Material- und Instrumentenliste

3.1.1 Instrumente für die Präparation der Hintergliedmaßen

AESCULAP:

- Kräftige Schere, 16 cm, gerade, Enden stumpf
- Anatomische Pinzette ADSON ,12 cm
- Anatomische Pinzette, 10 cm, mittelbreit
- Chirurgische Pinzette ADSON, 12 cm, 1 x 2 Zähne
- Skalpellgriff Standard, ergonomische Form (Flachheft), möglichst präzise Schnittführung, leichter Klingenswechsel, Nr. 3, klein, für Klagen 10 - 15
- Skalpellklingen Standard, passend für Skalpellgriffe Nr. 3, beste Sicherheit durch Präzisionsschliff, mehr Sicherheit durch exakten Schnitt, einzeln steril verpackt, Vorratspackung mit 100 Stück, Fig. 10 und Fig. 15
- Präparierschere METZENBAUM, 11,5 cm, gerade, st/st
- Präparierschere METZENBAUM, 11,5 cm, gebogen, st/st

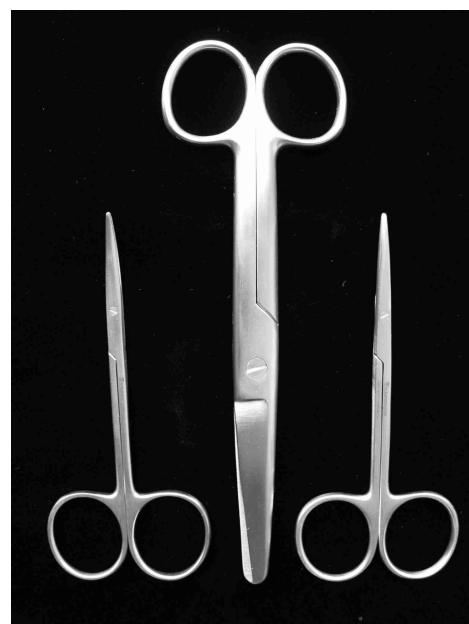
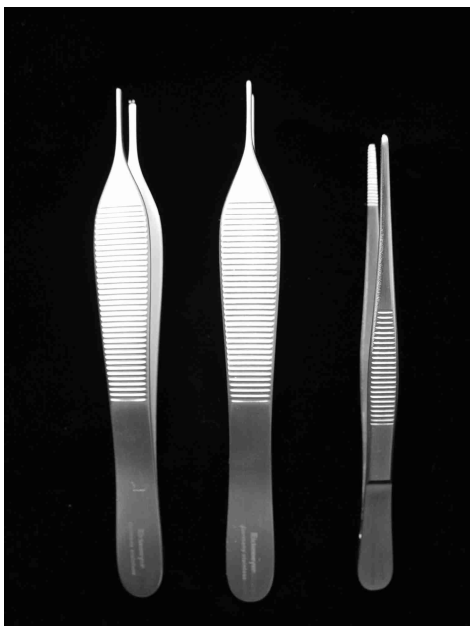


Abb. 26: Links (von links nach rechts): chirurgische Pinzette ADSON, anatomische Pinzette ADSON, anatomische Pinzette. Rechts (von links nach rechts): gebogene Präparierschere, kräftige Schere, gerade Präparierschere.



Abb. 27: Skalpellklingen und Griff.

3.1.2 Instrumente und Material für das Setzen eines ESF IM-Pin „tie-in“

- Handbohrfutter zum Platzieren von Kirschner-Bohrdrähten und Steinmann-Nägeln, mit Jacobs-Bohrfutter, autoklavierbar, 14 cm, für Schaftstärken bis 4,5 mm
- Bolzenschneider, doppelt übersetzt, 22 cm, bis D = 3,5 mm (weicher Draht) bzw. 2,5 mm (harter Draht), mit Hartmetalleinlage
- Biegehülse für Kirschner-Bohrdrähte, 12 cm, Innendurchmesser 2,7 mm
- Drahtbiege-Parallel-Flachzange, 18,5 cm, Industriequalität, Oberfläche verändert sich beim Sterilisieren, vor dem Sterilisieren gut mit Instrumentenspray behandeln
- Kirschner-Bohrdrähte aus Implantatstahl, beidseitig Trokarspitze, Länge 31 cm, Packung á 10 Stück, Durchmesser 1,2 und 1,6 mm



Abb. 28: Von links nach rechts: Biegehülse, Drahtbiege-Parallel-Flachzange, Handbohrfutter.



Abb. 29: Links: Handbohrfutter. Rechts: Bolzenschneider, doppelt übersetzt.

IMEX™, Texas:

- Miniature INTERFACE™ half-pins, 0.035" (0,9 mm) (1 Pkg à 6 Stück), Gewinde aufgesetzt
- Miniature INTERFACE™ half-pins, 0.045" (1,2 mm) (1 Pkg à 6 Stück), Gewinde aufgesetzt
- Miniature INTERFACE™ half-pins, 0.062" (1,6 mm) (1 Pkg à 6 Stück), Gewinde aufgesetzt

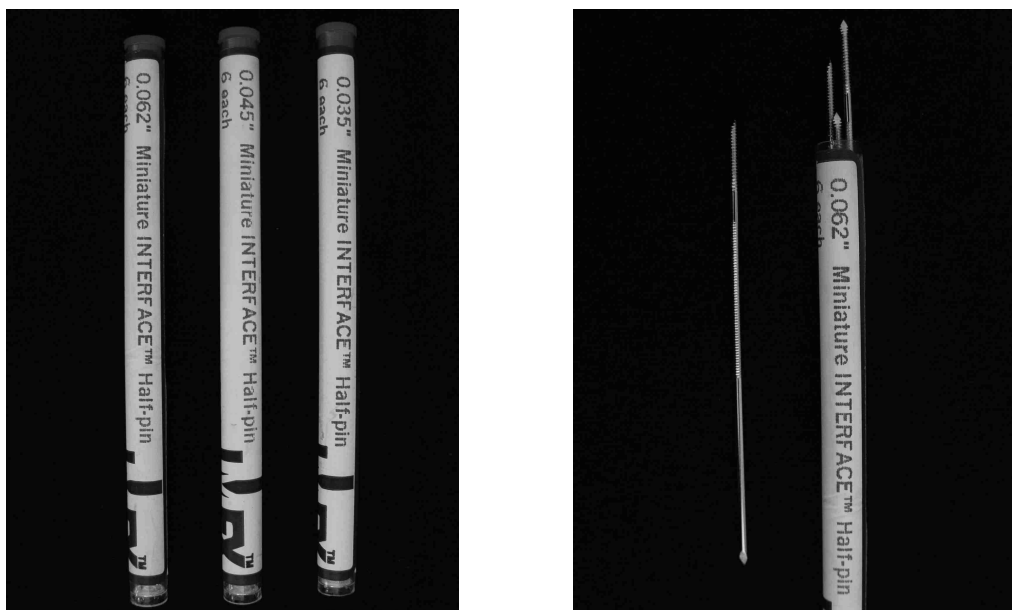


Abb. 30: Links: Miniature INTERFACE™ „half-pins“ 0.062 Zoll (= 1,6 mm), 0.045 Zoll (= 1,2 mm), 0.035 Zoll (= 0,9 mm). Rechts: Miniature INTERFACE™ „half-pins“ 0.062 Zoll (= 1,6 mm).

3.1.3 Material zur Herstellung einer Verbindungsschiene

- Penrosedrain, steril, Durchmesser 6,35 mm, 45 cm lang (Bertram)
- 2 x Arterienklemme Baby-Mosquito[®], 9 cm, gerade (Aesculap)

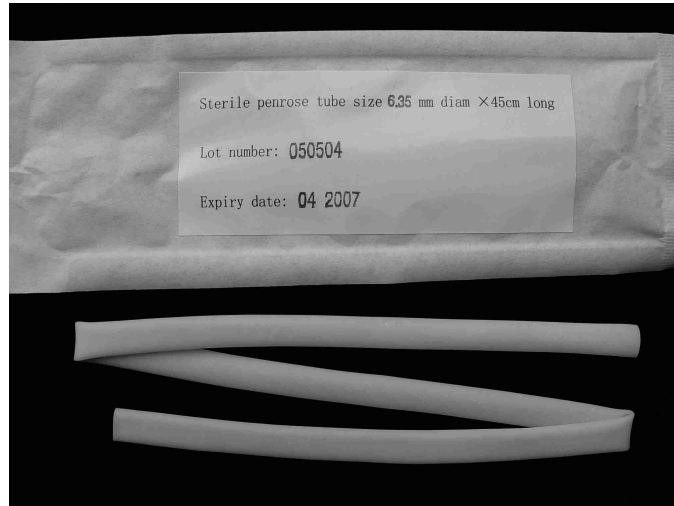


Abb. 31: Penrosedrain (Bertram), steril, Durchmesser 6,25 mm, Länge 45 cm.

- Futterspritze, 60 ml
- TechnoVit[®], 1000 g Pulver (Kulzer)
- TechnoVit[®], 500 ml Flüssigkeit (Kulzer)



Abb. 32: TechnoVit[®] (Kulzer). Links: Harz, rechts: Härter.



Abb. 33: Materialien für die Herstellung einer TechnoVit®-Verbindungsschiene. Von links nach rechts: Baby-Mosquito®-Klemmen, Futterspritze, Penrosedrain, TechnoVit® (Harz und Härter).

3.1.4 Material für die Gefäßplastination

- Kräftige Schere (Aesculap)
- Anatomische Pinzette (Aesculap)
- Präparierschere (Aesculap)
- Skalpell, Skalpellklingen (Aesculap)
- Paketband
- Knopfkanüle, ca. 7 cm
- Spritzen (10 oder 20 ml) (Braun)
- Kolbenpumpe (Spezialanfertigung)



Abb. 34: Links: Steuereinheit der Kolbenpumpe. Rechts: Große Säge.

- NaCl, 0,9 %ig
- Formalin, 37 %ig, gepuffert
- Destilliertes Wasser
- große Säge

- Kunststoff E 20 (Biodur[®], Heidelberg)
- Verdünner Methylethylketon (MEK) (Biodur[®], Heidelberg)
- Weichmacher A E 10 (Biodur[®], Heidelberg)
- Härter E 2 (Biodur[®], Heidelberg)
- Farbstoff, rot (Acrifix[®] 190, Röhm)



Abb. 35: Links: Materialien für die Gefäßplastination. Von links nach rechts: Härter E 2, Kunststoff E 20, Verdünner Methylethylketon, Weichmacher A E 10, Farbstoff, rot. Rechts: Epoxidharz.

3.1.5 Material für die Anfertigung der Silikon- und Scheibenplastinate

- Formalin, 37 %ig, gepuffert
- Silikon, Grundkomponente S 10, Härter S 10 und S 6 (Biodur[®], Heidelberg)
- Kunstharz E 12, Härter E 1 (Biodur[®], Heidelberg)
- Dichlormethan
- Vakuumkammer (Biodur[®], Heidelberg)
- Wärmeschrank
- Diamantsäge (Well, Mannheim)

3.2 Frakturversorgung der Beckengliedmaße mittels ESF IM-Pin „tie-in“

Für die Darstellung der chirurgischen Knochenzugänge wurden an frisch toten Tierkörpern die Gefäße mit rotem Kunststoff injiziert, um diese bei der Eröffnung des Gewebes besonders hervorzuheben, da sie ansonsten kollabieren würden und nur schwer aufzufinden wären.

3.2.1 Gefäßplastination

Direkt nach der Euthanasie des Vogels mittels T 61 nach vorheriger Injektionsnarkose (pro kg KG: Ketamin 0,2 ml / Xylazin 0,1 ml), wird der Kopf des Tieres abgesetzt und der Tierkörper entblutet. Anschließend wird der Tierkörper über die Apertura thoracica cranialis eröffnet, das Brustbein auf halber Höhe abgesetzt und das Herz dargestellt. Nun wird die Aorta descendens aufgesucht und mit einem Faden, z. B. Paketband, abgebunden (siehe Abb. 36, rechts). Eine weitere Ligatur wird ca. 0,5 - 1 cm distal des Gefäßes gesetzt, aber noch nicht angezogen. Dann wird das Gefäß mit einer kleinen Präparierschere auf einer Länge von ca. zwei Millimetern eröffnet und eine Knopfkanüle in distale Richtung des Gefäßes eingeführt. Durch Anziehen der zweiten Ligatur wird nun die Kanüle im Gefäß fixiert.



Abb. 36: Links: Fixation der Zehen auf einer Styroporplatte mittels Stecknadeln. Rechts: Setzen der ersten Ligatur an der Aorta descendens.

Anschließend wird eine für diese Zwecke speziell angefertigte Kolbenpumpe mit Hilfe eines dünnen Schlauches an die Knopfkanüle angeschlossen und die Gefäße mit einer Leistung

von 1,14 ml NaCl 20 x/min. gespült, bis aus der V. jugularis bzw. idealer Weise aus der höher liegenden V. vertebralis nur noch klare Flüssigkeit austritt. Nach fünf Minuten wird der Vorgang wiederholt, um auch das nachgesickerte Blut auszutreiben.

Bevor die Gefäße anschließend mit Formalin gespült werden, werden die Zehen des Vogels an zwei ca. 8 x 8 cm großen und 2 cm dicken Styroporplatten in physiologischer Stellung mit Kanülen oder Stecknadeln fixiert und die Gliedmaßen nach Möglichkeit in eine physiologische Winkelung gebracht (siehe Abb. 36 und 37). Nach der Injektion von Formalin härtet das Gewebe aus und die Gliedmaße bleibt in ihrer vorherigen Form bestehen.



Abb. 37: Für die Gefäßplastination vorbereiteter Tierkörper, Knopfkanüle in Aorta descendens. Waldkauz (*Strix aluco*).



Abb. 38: Formalin-Injektion über eine Knopfkanüle in die Aorta descendens. Waldkauz (*Strix aluco*).

Anschließend werden die Gefäße mit Hilfe einer 50 ml Spritze, die auf die Knopfkanüle aufgesetzt wird, mit 1,5 %iger Formalinlösung gefüllt, welches ca. fünf Minuten in den Gefäßen belassen wird (siehe Abb. 38). Das Spülen der Gefäße mit Formalin dient der Stabilisation der Gefäßwände für die spätere Injektion des Kunststoffes, festigt das Präparat und beugt einer Autolyse während des 24stündigen Aushärtungsprozesses des Kunststoffes

bei Raumtemperatur vor. Die Formalinlösung wird aus 4,5 ml 37 %igem, gepuffertem Formalin, das mit destilliertem Wasser auf 100 ml aufgefüllt wird, hergestellt. Zur Unterbindung von Schäden im späteren Platinat durch die Bildung knochenschädigender Ameisensäure wird gepuffertes Formalin verwendet. Das Volumen der injizierten Formalinlösung sollte mit 10 % des Tierkörpergewichts der Blutmenge des Tierkörpers entsprechen.

Danach werden die Gefäße mit zuvor frisch angerührtem Kunststoff injiziert, der sich wie folgt zusammensetzt: 40 ml des Kunststoffs BIODUR® E 20, 16 ml des Verdünners Methylethylketon (MEK) und 8 ml des Weichmachers A E 10, werden miteinander verrührt, bevor als letztes die Zugabe von 18 ml BIODUR® E 2 (Härter) erfolgt und der Kunststoff nochmals gemischt wird. Die Zugabe des Weichmachers bewirkt, daß der Kunststoff in den Gefäßen nach der Aushärtung elastisch bleibt und nicht bricht. Ferner wird eine geringe Menge eines roten Farbstoffs (Acrifix® 190, Röhm) hinzugefügt. Bei dem verwendeten Kunststoff handelt es sich um kalthärtendes Material, um das Einsetzen der Autolyse zu verzögern.

Mit Hilfe einer 10 ml Spritze, die auf die Knopfkanüle aufgesteckt wird, wird der Kunststoff anschließend in die Gefäße injiziert, wobei eine Luftblase in der Spritze den Fluss der Lösung in die Gefäße signalisiert. Diese wird bei Druck auf den Stempel zur Injektion zusammengedrückt. Wird der Stempel entlastet und der Druck verringert, vergrößert sich die Luftblase, was den Fluss des Kunststoffes in das Gefäß widerspiegelt. Tritt der Kunststoff aus der V. jugularis oder besser noch der V. vertebralis aus, ist das Präparat durchinjiziert. Auch hier entspricht das Volumen des injizierten Kunststoffs der Menge des Blutes.

Anschließend muß der Kunststoff ca. 24 Stunden bei Raumtemperatur in den Gefäßen aushärten. Danach wird der Tierkörper eingefroren, um die Beckengliedmaßen nachfolgend mit einer Säge vom Becken abzutrennen. Nachdem die Gliedmaßen vom Rumpf abgetrennt worden sind, werden restliche Organteile und Reste der Rippenbögen auf den medialen Seiten der Gliedmaßen entfernt. Damit sind die Vorbereitungen für die fotografische Darstellung einer Operation zur Frakturversorgung abgeschlossen.

Im folgenden Text wird die Frakturversorgung mittels ESF IM-Pin „tie-in“ über einen chirurgischen Zugang an den einzelnen langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße eines Mäusebussards (*Buteo buteo*) beschrieben.

3.2.2 Chronologische Darstellung der Frakturversorgung der langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße mittels ESF IM-Pin „tie-in“

Die Fotodokumentation und die Beschreibung des Vorgehens erfolgt anhand der Beckengliedmaße eines Mäusebussards (*Buteo buteo*). An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß die angegebenen Durchmesser der IM- und ESF- Pins von Spezies zu Spezies variieren und sich in diesem Fall auf den vorliegenden Mäusebussard (*Buteo buteo*), d. h. auf einen Vogel mit einem Körpergewicht von ca. einem Kilogramm (REDIG, KORBEL und GRIMM 2000), beziehen. Die Auswahl der unterschiedlichen Pin-Durchmesser sollte anhand einer Röntgenaufnahme des jeweils vorliegenden frakturierten Knochens getroffen werden.

3.2.2.1 Femur

3.2.2.1.1 Chirurgischer Knochenzugang zum Femur

Der chirurgische Knochenzugang zum Femur erfolgt in der Regel von lateral. Dazu wird das Tier in Seitenlage verbracht, wobei die frakturierte Gliedmaße dem Operateur zugewandt ist. Der Flügel wird außerhalb des Operationsfeldes abgelegt. Anschließend werden die Federn von der lateralen Kondyle entlang des Femurschaftes bis zum lateralen Trochanter auf einer Breite von ca. zwei Zentimetern entfernt. Danach wird das Operationsfeld mit sterilen Tüchern abgedeckt.

Nun wird ein Hautschnitt entlang des Schaftes vom lateralen Trochanter bis zur lateralen Kondyle geführt, wodurch der *M. iliotibialis longus* und der *M. iliofibularis* freigelegt werden (OROSZ 1992). Am distalen Ende des *M. iliofibularis* wird dieser von einem Retinaculum gehalten, durch das er gemeinsam mit dem *N. fibularis* verläuft. Unterhalb und kaudal des *M. iliofibularis* verläuft der *N. ischiadicus*, der sich am distalen Femur in den *N. tibialis* und den *N. fibularis* aufzweigt, sowie die *A. ischiadica*, die sich in die *A. poplitea* und die *A. suralis* unterteilt. Durch Anheben des *M. iliofibularis lateralis* und des *M. iliofibularis* nach kranial wird der Schaft des Femurs freigelegt. Nach Auffinden der Frakturstelle kann nun mit der Frakturversorgung begonnen werden.

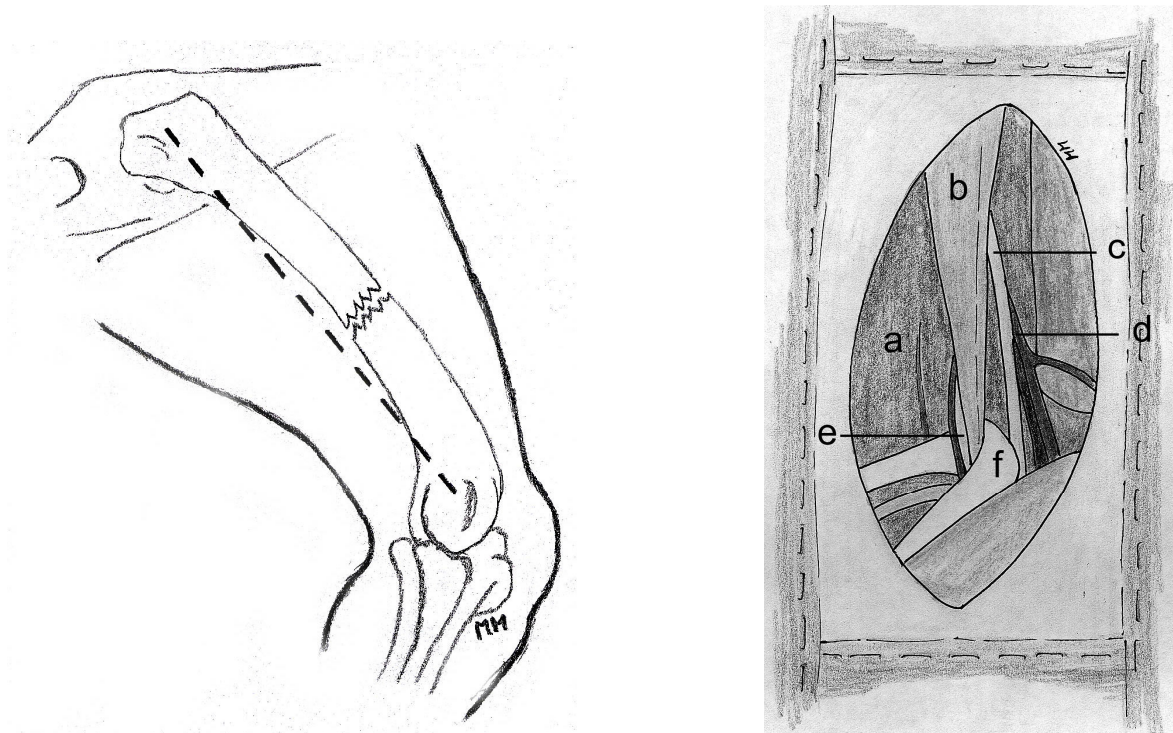


Abb. 39: Links: Hautschnitt zur Freilegung des Femurs; rechter Femur, Mäusebussard (*Buteo buteo*). Rechts: chirurgisch freigelegter Oberschenkel: a) *M. iliotibialis lateralis*, b) *M. iliofibularis*, c) *N. tibialis*, d) *A. ischiadica* vor der Aufspaltung, e) *N. fibularis*, f) Retinaculum.

3.2.2.1.2 Grundregeln für die Applikation von intramedullären und transkortikalen Pins

Intramedulläre Pins und externe Fixateure in den unterschiedlichsten Variationen und Kombinationen, teilweise mit Hilfe von Schienen und Verbänden, werden in der Vogelmedizin zur Osteosynthese herangezogen. Es gibt einige Details in der Applikationstechnik, die beachtet werden müssen, um das Auftreten von Frakturkrankheiten zu minimieren und das Ergebnis zu optimieren (REDIG 1998):

1. Benutzung teilweise gewundener Pins mit aufgesetztem Gewinde,
2. Normograde Platzierung intramedullärer Pins,
3. Bevorzugte Stellen zur Platzierung von Transkortikalpins,
4. Anbringen von Konstruktionen, die keiner weiteren Fixation durch Schienen und Verbände bedürfen und begleitende Immobilisation der Gliedmaße,
5. Gesamter Nutzen der Methode, um das Auftreten von Frakturkrankheiten zu lindern.

Transkortikaler Pin (ESF-Pin)	Besonderheiten	Indikation
ESF-„half-pin“, aufgesetztes Gewinde, z. B. INTERFACE™ half-pin (IMEX)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gewinde an der Spitze ▪ erhöhte Stabilität durch aufgesetztes Gewinde ▪ besserer Halt in Kortikalis durch Gewinde 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ESF IM-Pin „tie-in“ mit Fixateur externe Typ I ▪ alleinige Anwendung Fixateur externe Typ I
ESF-„half-pin“, eingefrästes Gewinde	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gewinde an der Spitze ▪ Stabilität durch Sollbruchstelle am Übergang von Gewindeteil zum Schaft vermindert ▪ Gefahr des vorzeitigen Pinverlustes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ESF IM-Pin „tie-in“ mit Fixateur externe Typ I ▪ alleinige Anwendung Fixateur externe Typ I
ESF-„full-pin“, aufgesetztes Gewinde, z. B. CENTERFACE™ full-pin (IMEX)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gewinde in der Mitte ▪ erhöhte Stabilität durch aufgesetztes Gewinde ▪ besserer Halt in Kortikalis durch Gewinde 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fixateur externe Typ II
ESF-„full-pin“, eingefrästes Gewinde	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gewinde in der Mitte des Pins ▪ Stabilität durch Sollbruchstelle am Übergang von Gewindeteil zum Schaft vermindert ▪ Gefahr des vorzeitigen Pinverlustes (s. o.) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fixateur externe Typ II
ESF-Pin ohne Gewinde	<ul style="list-style-type: none"> ▪ gute Stabilität, da keine Sollbruchstelle ▪ verminderter Halt in der Kortikalis durch fehlendes Gewinde ▪ Gefahr des Pinverlustes (s. o.) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ESF IM-Pin „tie-in“ mit Fixateur externe Typ I / Typ II ▪ Fixateur externe Typ I / Typ II

Tabelle 1: Überblick der für die Osteosynthese in der Vogelmedizin verwendeten Transkortikalpins.

3.2.2.1.3 Frakturversorgung des Femurs mittels ESF IM-Pin „tie-in“

Zunächst wird die Fraktur mittels eines IM-Pins (Kirschner-Bohrdraht) mit einem Durchmesser von 1,6 mm und einer Länge von 16 cm fixiert. Dazu wird dieser in ein Handbohrfutter eingespannt, aus dem er soweit herausragt, daß er, ohne das Bohrfutter erneut zu spannen, retrograd über den Frakturspalt (siehe Abb. 41) in das proximale Fragment des Knochens eingebracht werden und die proximale Kortikalis nahe des *Trochanter major* zwischen der *Fossa trochanteris* und der *Facies articularis antitrochanterica* mittels Rechts-Links-Drehung des Bohrfutters durchbohren kann (siehe Abb. 40 und Abb. 42). Der Pin wird soweit aus dem proximalen Fragment, dem darüber liegenden Gewebe und der Haut heraus geschoben bzw. -gezogen, daß er nur noch wenige Millimeter aus dem Frakturspalt herausragt. Einer Hautinzision bedarf es nicht, da die Spitze des IM-Pins so scharf ist, daß sie das Gewebe sauber durchtrennt.

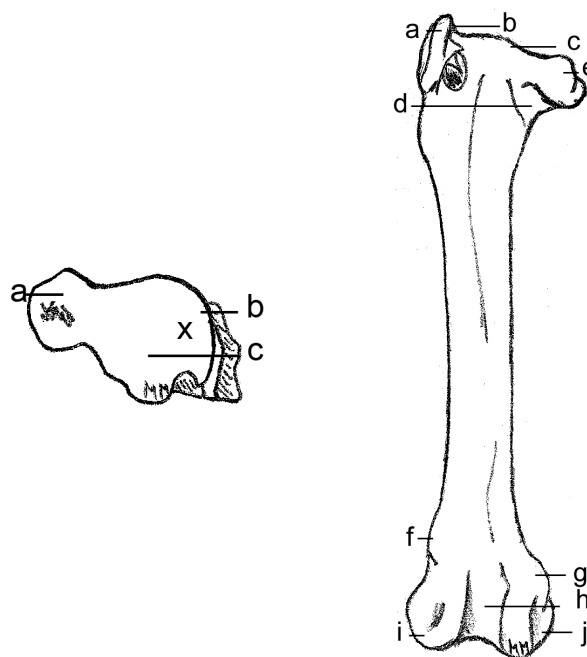


Abb. 40: Links: Aufsicht linker Femur mit Insertionsstelle IM-Pin (x), Mäusebussard (*Buteo buteo*): a) *Caput femoris*, b) *Fossa trochanteris*, c) *Facies articularis antitrochanterica*. Rechts: Rechter Femur, craniale Ansicht: a) *Trochanter major*, b) *Fossa trochanteris*, c) *Facies articularis antitrochanterica*, d) *Collum femoris*, e) *Caput femoris*, f) *Epicondylus lateralis*, g) *Epicondylus medialis*, h) *Sulcus patellaris*, i) *Condylus lateralis*, j) *Condylus medialis*.

Anschließend wird das Handbohrfutter auf das proximale Ende des Pins aufgesetzt, die Fragmente in Reposition gehalten und der Pin normograd unter Auffädung des distalen

Fragmentes zum distalen Knochenende vorgeschoben (siehe Abb. 43) und dort später mit dem distalen ESF-Pin verkeilt. Laut BENNETT sollte der IM-Pin mit ein bis zwei Umdrehungen in der distalen Kortikalis verschraubt werden (1997). Davon wird in dieser Studie jedoch aufgrund der Gefahr der Gelenkspenetration abgesehen. Oft geht die leicht kraniokaudale Biegung des Knochens durch das Setzen eines IM-Pins verloren. Dieses zieht jedoch keine Konsequenzen nach sich (HARCOURT-BROWN 1992).

Ist der IM-Pin platziert, wird das Handbohrfutter entfernt und ein IM-Pin gleicher Länge neben den frakturierten Knochen gelegt, um die Lage des Pins im Knochen zu überprüfen (DeYOUNG und PROBST 1993). Anschließend werden Reposition und Stabilität überprüft und anliegende Gelenke gebeugt und gestreckt, um sicherzustellen, daß ihre Bewegungsfreiheit durch den IM-Pin nicht eingeschränkt ist (DeYOUNG und PROBST 1993). Danach wird das herausstehende Ende des Pins mit einer Drahtzwickzange auf etwa fünf bis sieben Zentimeter gekürzt (REDIG, KORBEL und GRIMM 2000).

Anschließend wird die Wunde verschlossen und die Haut sowie das darunter liegende Gewebe mit einer Naht adaptiert. Eine Adaption des *M. iliotibialis longus* und des *M. iliofibularis* nach REDIG und ROUSH ist nicht unbedingt notwendig (OROSZ 1992).

Danach wird der distale ESF-Pin mit einem Durchmesser von 1,6 mm (0.062 Zoll, INTERFACE™ „half-pin“, IMEX™, Veterinary Inc., Texas) nach einer kleinen Hautinzision über der lateralen Kondyle knapp distal des *Epicondylus lateralis* (siehe Abb. 44 und 45) mit Hilfe des Handbohrfutters in den Knochen eingebracht. Voraussetzung für das Ziel einer möglichst exakten axialen Bohrung ohne frühzeitige Lockerung des Pins ist die Bildung einer Geraden von ESF-Pin mit Bohrfutter, sowie Hand und Unterarm. Dabei liegt das Handbohrfutter im Handteller. Der Pin wird nun mit abwechselnder Drehbewegung um 90° bis 180° nach links und rechts eingebohrt (MEUTSTEGE 1998). Ein Zittern oder Wackeln mit der Hand muß dabei vermieden werden, da dieses zu Veränderungen der Achse des ESF-Pins führt. Maximaler Halt der transkortikalen Pins wird nur durch das Penetrieren beider Kortikalices erreicht. Randständig eingebrachte Pins bergen das Risiko von Ausbruchsfrakturen (MEUTSTEGE 1998). Hautspannungen um den transkortikalen Pin gilt es bei seinem Verankern im Knochen zu vermeiden, um Infektionen und Nekrosen vorzubeugen.

Nach Durchdringen der lateralen Kortikalis läßt sich der ESF-Pin einige Millimeter leicht vorschieben, bevor er auf die mediale Kortikalis stößt, die sich als Widerstand bemerkbar macht. Der Pin wird nun soweit in die mediale Kortikalis eingeschraubt, daß er mit zwei vollen Windungen aus ihr knapp distal des *Epicondylus medialis* herauschaut und mit dem IM-Pin verkeilt ist (REDIG, KORBEL und GRIMM 2000). Penetrationen der Haut spielen dabei eine untergeordnete Rolle.

Im nächsten Schritt wird der proximale Transkortikalpin mit einem Durchmesser von 1,2 mm auf gleiche Weise distal des lateralen Trochanters senkrecht zur Knochenachse und parallel zum distalen ESF-Pin in beiden Kortikalices verankert (siehe Abb. 47). Da er sich die Markhöhle mit dem IM-Pin teilt, wird der Durchmesser eine Größe kleiner gewählt als der des distalen ESF-Pins (REDIG, KORBEL und GRIMM 2000). Die Spitze des proximalen ESF-Pins sollte zwei bis drei Millimeter distal des *Collum femoris* zum Vorschein kommen. Danach wird der proximal aus dem Knochen herausstehende Teil des IM-Pins mittels Handbohrfutter um 90° gebogen, so daß er mit den herausstehenden Enden der Transkortikalpins eine Linie bildet. Dazu wird der herausstehende IM-Pin ein bis zwei Millimeter über der Haut mit einer Drahtbiegezange gefasst, das Bohrfutter auf den übrigen Teil des Pin gesetzt und für einen ausreichenden Biegeradius fünf Millimeter über der Zange angezogen (REDIG, 2000). Nun wird der Pin mit Hilfe des Bohrfutters in die gewünschte Position gebracht (vgl. Abb. 57, Tibiotarsus). Das Ergreifen des Pins mit der Zange verhindert dabei die Übertragung der Biegungskräfte auf den Knochen und hilft, iatrogene Frakturen zu vermeiden.

Nun wird ein Plastikschlauch (Penrosedrain, 6,35 mm Durchmesser, Bertram) parallel zur Knochenachse auf die Enden der Pins gesteckt. Er sollte nach proximal und distal ca. zwei bis drei Zentimeter über den jeweils letzten Pin hinausragen. Der Abstand der Schiene zur darunter liegenden Haut sollte als Ausdehnungsmöglichkeit auftretender Schwellungen, und um die spätere Abnahme der Konstruktion zu erleichtern, ca. einen Zentimeter betragen.

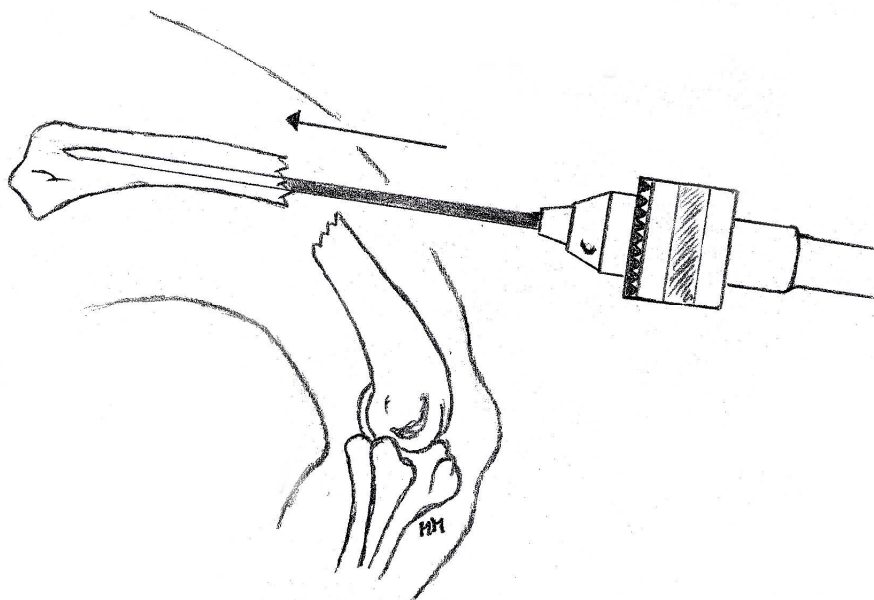


Abb. 41, Schritt 1: Retrogrades Einbringen des IM-Pins in das proximale Fragment mittels Handbohrfutter. Rechter Femur, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.

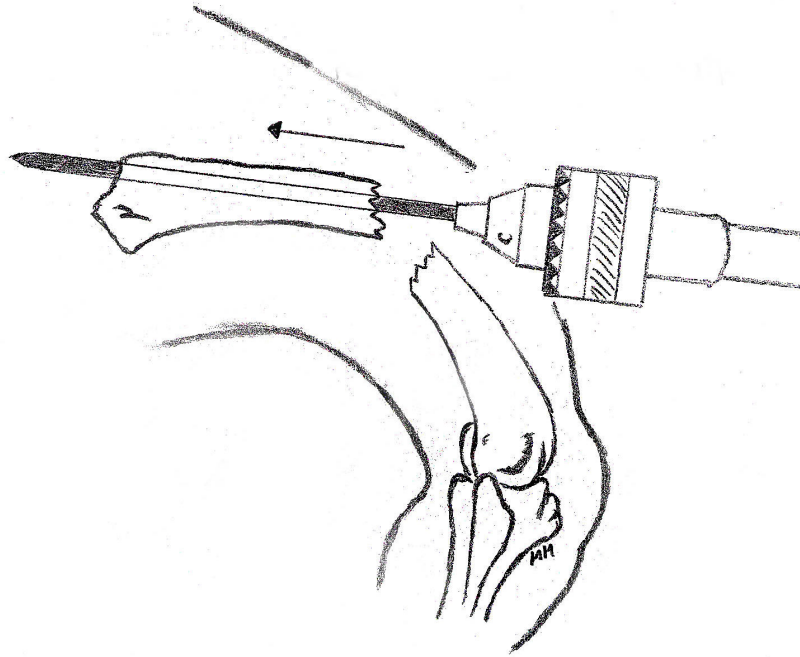


Abb. 42, Schritt 2: Retrogrades Einbringen des IM-Pins und Durchbohren der Kortikalis am proximalen Knochenende. Rechter Femur, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.

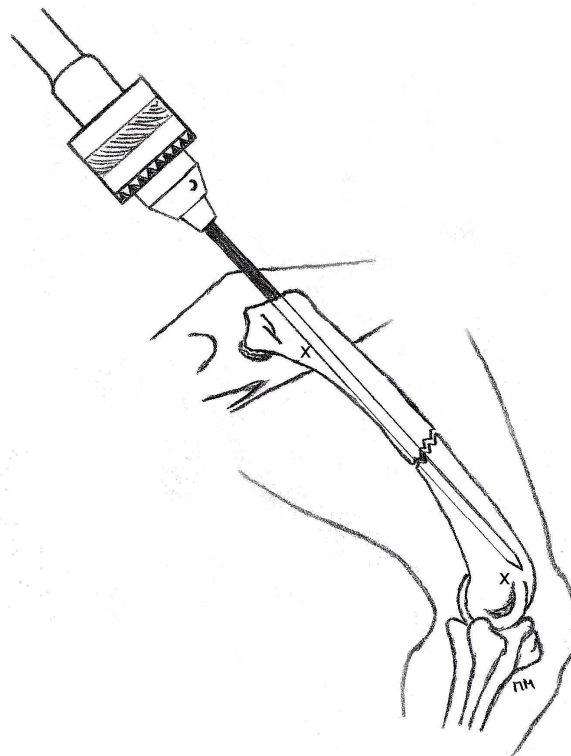


Abb. 43, Schritt 3: Umsetzen des Handbohrfutters auf das proximale Ende des IM-Pins und normogrades Verschieben des IM-Pins in das distale Knochenfragment. Die Insertionsstellen der transkortikalen Pins sind mit „x“ gekennzeichnet. Rechter Femur, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.

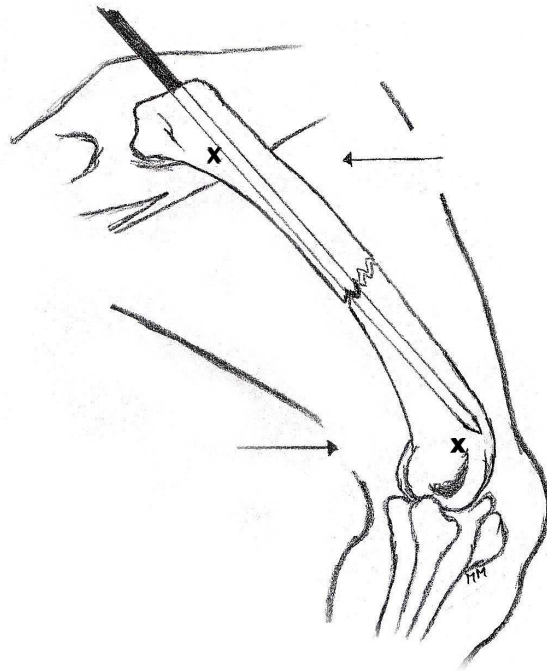


Abb. 44, Schritt 4: Inserierter IM-Pin mit Einzeichnung der Insertionsstellen der transkortikalen Pins (x). Rechter Femur, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.

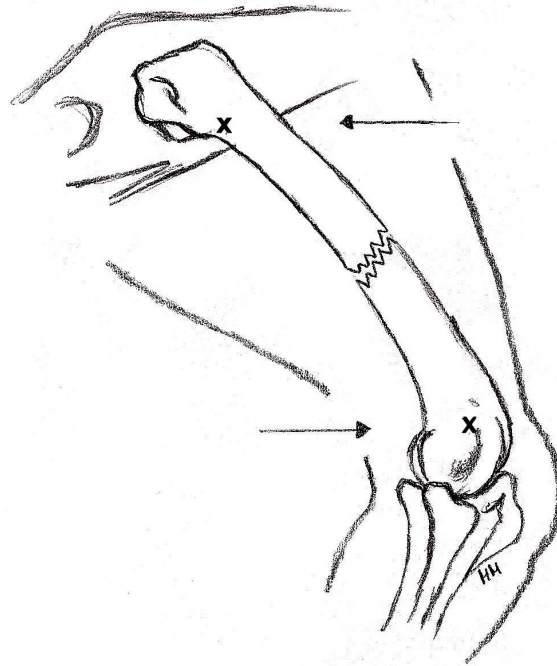


Abb. 45, Schritt 5 a: Insertionsstellen (x) der transkortikalen Pins. Distaler ESF-Pin: laterale Kondyle, proximaler ESF-Pin: knapp distal des lateralen Trochanters. Rechter Femur, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.

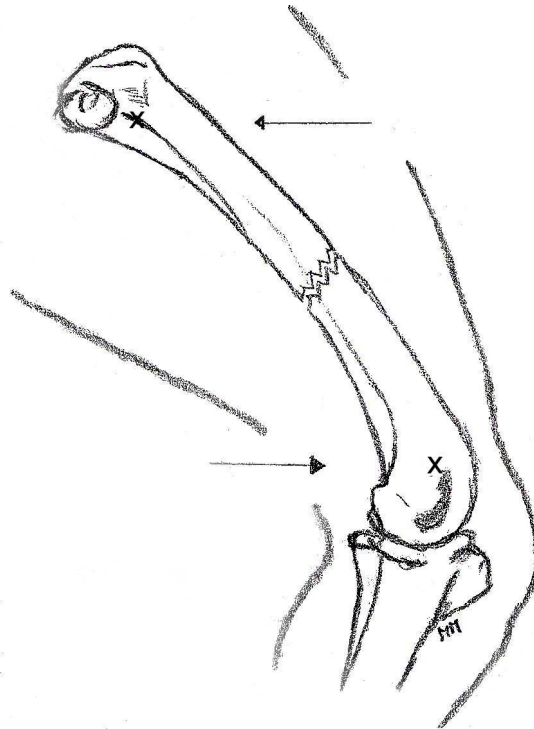


Abb. 46, Schritt 5 b: Austrittsstellen (x) der transkortikalen Pins. Distaler ESF-Pin: mediale Kondyle, proximaler ESF-Pin: distal des Femurhalses. Linker Femur, Mäusebussard (*Buteo buteo*), mediale Ansicht.

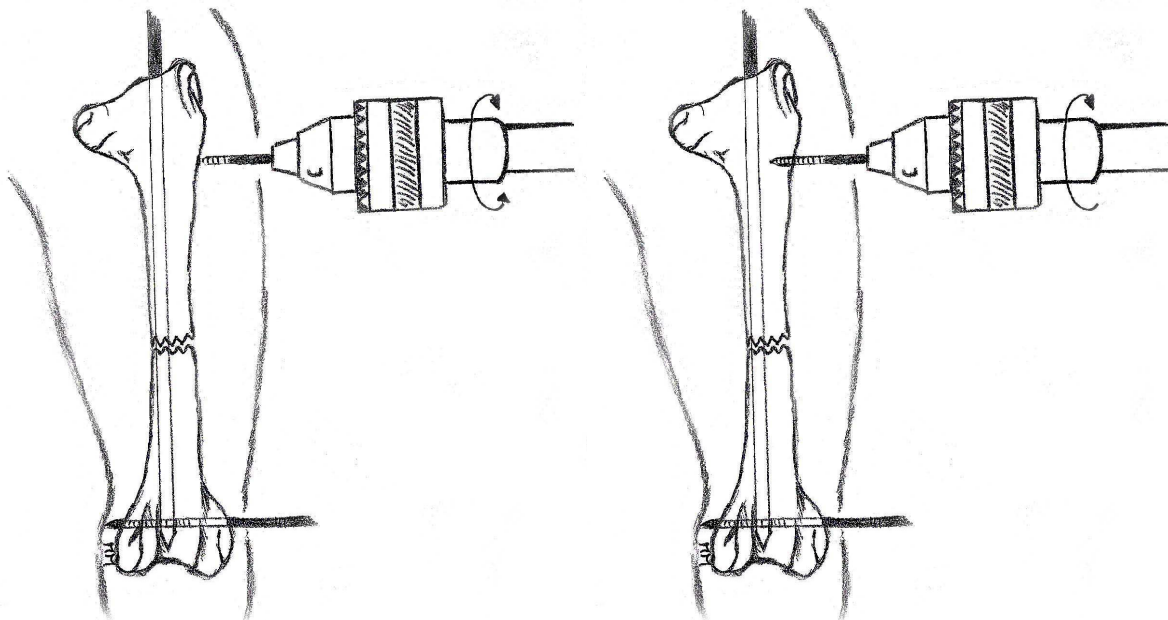


Abb. 47, Schritt 6: Insertion des proximalen Transkortikalpins knapp distal des *Trochanter major* nach Setzen des IM-Pins und des distalen Transkortikalpins. Links: Durchbohren der Kortikalis mittels Rechts-links-Drehung des Handbohrfutters (siehe Pfeil). Rechts: Wechsel zu einseitiger Drehrichtung, sobald die Kortikalis durchbohrt ist (siehe Pfeil). Linker Femur, Mäusebussard (*Buteo buteo*), kraniale Ansicht.

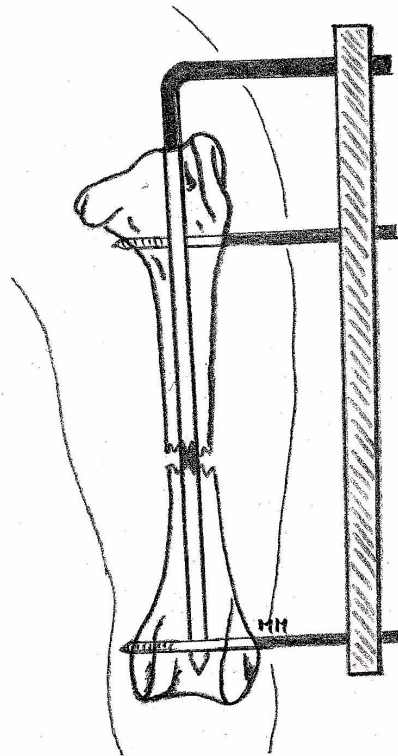


Abb. 48, Schritt 7: ESF IM-Pin „tie-in“ aus IM-Pin und Fixateur externe Typ I. Linker Femur, Mäusebussard (*Buteo buteo*), kraniale Ansicht.

3.2.2.1.4 Anfertigen und Anbringen der externen Verbindungsschiene

Hierzu werden zwei Teile TechnoVit[®]-Pulver mit einem Teil TechnoVit[®]-Flüssigkeit in einem Gefrierbeutel mit Klippverschluss ca. eine Minute gemischt und geknetet, bis die Komponenten eine homogene Masse ergeben. In dieser Studie wurden für die Anfertigung einer Schiene jeweils 16 g der pulvrigen TechnoVit[®]-Komponente mit 8 ml der flüssigen Komponente gemischt.

Anschließend wird eine Ecke des Beutels abgeschnitten und der Inhalt in eine Füllspritze gegeben. Danach wird der Stempel auf die Spritze gesetzt und diese in ein Ende des Schlauches eingefädelt. Unter vorsichtigem Druck auf den Stempel wird die Masse nun zügig in den Schlauch eingebracht. Kurz bevor sie auf der gegenüberliegenden Seite aus dem Schlauch tritt, wird dieser von einem Assistenten mit einer Arterienklemme, z. B. Baby-Mosquito[®], etwa 0,5 cm hinter dem letzten Pin verschlossen. Nun wird der Schlauch soweit mit TechnoVit[®] gefüllt, daß er zwar prall ist, die Masse jedoch nicht durch die Löcher an den Pins gepresst wird. Vor dem Entfernen der Spritze aus dem Schlauch wird das zweite Ende des Schlauches ebenfalls mit einer Klemme verschlossen. Die Aushärtungszeit der Schiene beträgt ca. fünf bis acht Minuten (REDIG, KORBEL und GRIMM 2000).

Während dieser Zeit müssen die Klemmen von einem Assistenten in Position gehalten werden. In der letzten Phase der Aushärtung läuft eine exotherme Reaktion ab. Um die darunterliegende Haut vor Verbrennungen zu schützen, sollte diese mit einem feuchten Schwamm oder Tuch abgedeckt werden. Die Schiene sollte sowohl von kranialer als auch von lateraler Ansicht eine Gerade bilden, da es sonst zu Stabilitätseinbußen kommt. Nach Aushärten des Materials werden die Klemmen entfernt und die überstehenden Reste des Schlauches abgeschnitten.

3.2.2.1.5 Fertigstellung der Schiene und Versorgung der Wunde

Danach werden die herausstehenden Enden der Pins auf ca. zwei Millimeter gekürzt, die Wunde mit einer antibiotischen Salbe und ggf. einer Dexamethason®-Salbe versorgt, mit Gaze abgedeckt und unter der Schiene mit einer kohäsiven Binde umwickelt. Um die Verbindungsschiene und die herausstehenden Pinenden wird ein Verband gelegt, um Verletzungen vorzubeugen (siehe Kapitel 4.4.1.6, Abb. 107-110).

Das Anlegen eines kompletten Verbandes ist aufgrund der anatomischen Lage des Femurs nicht möglich, ist aber an den anderen langen Röhrenknochen für einige Tage p. o. üblich (siehe Kapitel 2.15). Ferner werden beim 24 - 48stündigen Verbandswechsel die Insertionsstellen der Pins mit einer antibiotischen Salbe bestrichen.

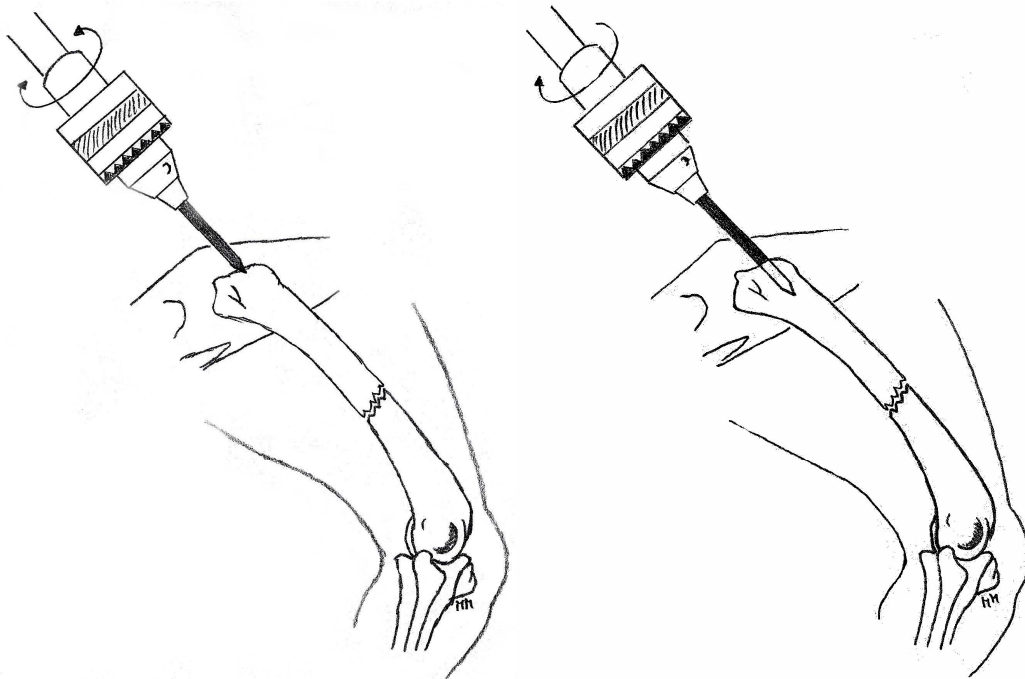


Abb. 49: Normogrades Einbringen des IM-Pins. Links: Durchbohren der Kortikalis mittels Rechts-links-Drehung des Handbohrfutters (siehe Pfeil). Rechts: Wechsel zu einseitiger Drehrichtung, sobald die Kortikalis durchbohrt ist (siehe Pfeil). Rechter Femur, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.

Zur Versorgung von einfachen und wenig dislozierten Frakturen kann auf einen chirurgischen Zugang verzichtet und der IM-Pin normograd über einen kleinen Hautschnitt nahe des *Trochanter major* zwischen der *Fossa trochanteris* und der *Facies articularis antitrochanterica* in den Knochen eingebracht werden (siehe Abb. 40 und Abb. 49). Dabei wird der Pin so in das Handbohrfutter eingespannt, daß er nur ein bis zwei Zentimeter aus ihm herauschaut, da sich die Rotation beim Einbringen des Pins mit zunehmender Länge des herausragenden Teils verstärkt.

3.2.2.2 Tibiotarsus

3.2.2.2.1 Chirurgischer Knochenzugang zum Tibiotarsus

Am Tibiotarsus erfolgt der Knochenzugang von medial, da die laterale Seite stark bemuskelt ist (OROSZ 1992). Für die Operation wird der Vogel in Seitenlage verbracht und die gesunde Gliedmaße aus dem OP-Feld verlagert, so daß dem Operateur die mediale Seite des frakturierten Tibiotarsus zugewandt ist. Anschließend werden die Federn entlang des Knochenschaftes vom proximalen Tibiotarsus bis zur medialen Kondyle auf einer Breite von ca. 1,5 cm entfernt.

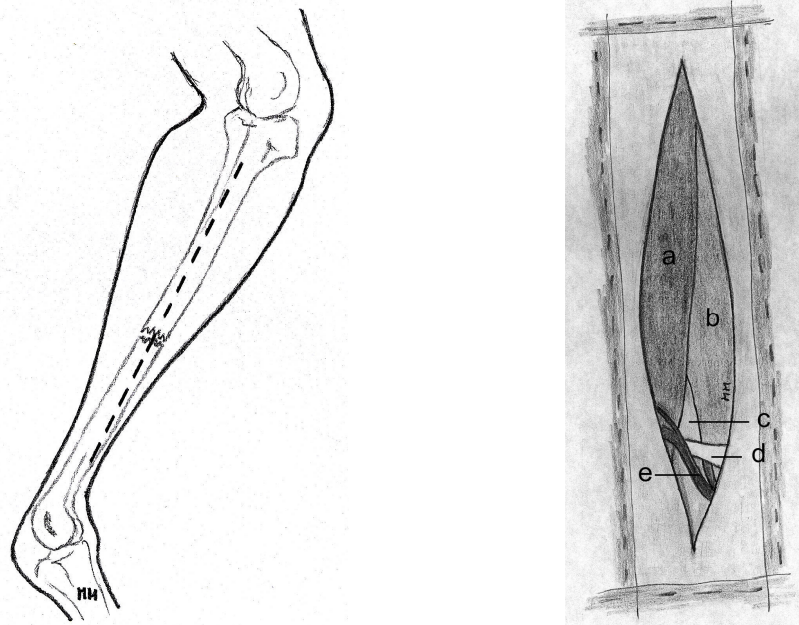


Abb. 50: Links: Schnittführung zur Freilegung des Knochens. Linker Tibiotarsus, Mäusebussard (*Buteo buteo*), mediale Ansicht. Rechts: chirurgisch eröffneter rechter Unterschenkel: a) *M. gastrocnemius*, b) *M. fibularis longus*, c) Knochen, d) Retinaculum, e) mediale Metatarsalvene.

Nun wird ein Hautschnitt entlang des Schaftes von kranial der medialen Metatarsalvene bis zum medialen proximalen Ende des Tibiotarsus geführt, der zwischen dem *M. fibularis longus* und dem medialen Kopf des *M. gastrocnemius* verläuft (OROSZ 1992). Die Schnittführung erfolgt von distal nach proximal, da dieses die Sicht auf die Muskulatur verbessert, wobei die Länge des Hautschnitts immer dem Ausmaß der Fraktur angepaßt werden sollte.

Am distalen Ende des Tibiotarsus verläuft die mediale Metatarsalvene über das Sprunggelenk. Die Freilegung des Knochens erfolgt über das Abtrennen der Faszie zwischen dem kranialen *M. fibularis longus* und dem *M. tibialis cranialis* auf der einen und dem medialen Kopf des *M. gastrocnemius* auf der anderen Seite (OROSZ 1992). Nach Lokalisation der Fraktur kann diese versorgt werden.

3.2.2.2 Frakturversorgung des Tibiotarsus mittels ESF IM-Pin „tie-in“

Auch hier erfolgt die Versorgung des frakturierten Knochens zunächst mit der Insertion eines IM-Pins (Durchmesser: 1,6 mm, Länge: 16 cm, Trokarspitze einseitig). Dieser wird retrograd über den Frakturspalt in das proximale Fragment in Richtung des Kniegelenks eingebracht (REDIG und ROUSH 1986) und die Kortikalis unter Anwinkelung des Kniegelenkes im Bereich der *Fossa retropatellaris* durchbohrt (siehe Abb. 51, links). Dabei sollte die Patella-Sehne nach lateral verlagert werden, um diese nicht zu durchbohren. Nun wird der IM-Pin soweit vorgeschoben bzw. -gezogen, daß nur noch seine Spitze aus dem Frakturspalt herauschaut und das Handbohrfutter auf den proximalen Teil des IM-Pins aufgesetzt. Anschließend wird die Fraktur reponiert und der IM-Pin normograd, und unter Auffädung des distalen Fragments, nur soweit in Richtung Sprunggelenk geschoben, daß der distale ESF-Pin noch problemlos im Knochen verankert werden kann (siehe Abb. 54). Die Lage des Pins wird mit Hilfe des Anlegens eines gleich langen Pins von außen an den Knochen kontrolliert und Reposition und Stabilität überprüft. Anschließend wird die Wunde verschlossen.

Nun werden die ESF-Pins von lateral in den Knochen gesetzt. Auch hier wird zunächst der distale und anschließend der proximale ESF-Pin im Knochen verankert. Die Insertionsstellen der ESF-Pins sind in Abb. 55 dargestellt. Beim Einbringen des distalen ESF-Pins mit einem Durchmesser von 1,2 mm (0.045 Zoll, INTERFACE™ „half-pin“, IMEX™, Texas) oberhalb der lateralen Kondyle des Tibiotarsus ist beim Durchbohren der medialen Kortikalis die Lage der medialen Metatarsalvene zu berücksichtigen, um diese nicht zu verletzen. Nach einer Hautinzision proximal der lateralen Kondyle wird der distale ESF-Pin ca. drei bis vier Millimeter proximal des *Tuberculum retinaculi M. fibularis* senkrecht zur Knochenachse in

den Knochen eingebracht und in beiden Kortikalices verankert und der IM-Pin wenige Millimeter, und ohne die distale Kortikalis zu durchstoßen, vorgeschoben und mit dem distalen ESF-Pin verkeilt. Beim Setzen des distalen ESF-Pins muß darauf geachtet werden, daß der *Sulcus extensorius* und die *Pons supratendineus* unversehrt bleiben (siehe Abb. 51, Mitte). Anschließend erfolgt das Setzen des proximalen ESF-Pins mit einem Durchmesser von 1,6 mm (0.062 Zoll, INTERFACE™ „half-pin“, IMEX™, Texas) von kraniallateral, distal des *Caput fibulae* und kranial der Fibula am Auslaufpunkt der *Crista cnemialis lateralis*, in caudomediale Richtung. Die Spitze des ESF-Pins sollte kaudal der *Impressio lig. collaterale mediale* zum Vorschein kommen (siehe Abb. 51 und 57). Dadurch wird eine Verletzung von Gefäß- und Nervenbahnen am medialen und lateralen Tibiotarsus vermieden (REDIG, KORBEL und GRIMM 2000). Durch die Platzierung des proximalen ESF-Pins in kaudomediale Richtung, kommt es später bei lateraler Ansicht des Tibiotarsus zu einem schrägen Verlauf der Verbindungsschiene verglichen mit dem darunter gelegenen Knochen (siehe Abb. 115, rechts).

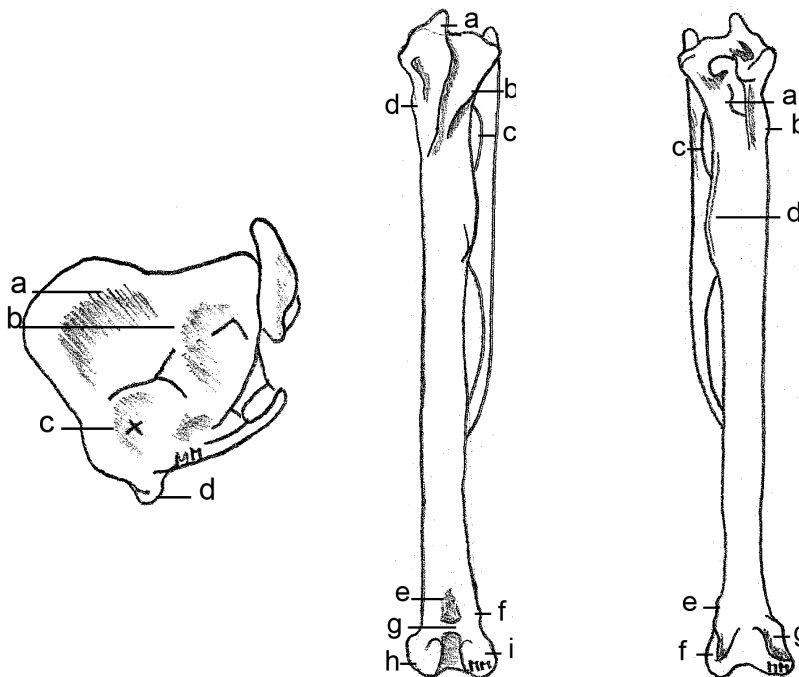


Abb. 51: Links: rechter Tibiotarsus, Aufsicht von proximal mit Insertionsstelle (x) des IM-Pins, Mäusebussard (*Buteo buteo*): a) *Facies articularis medialis*, b) *Area intercondylaris*, c) *Fossa retropatellaris* mit eingezeichneter Insertionsstelle des IM-Pins (x), d) *Crista cnemialis cranialis*. Mitte: linker Tibiotarsus, kraniale Ansicht: a) *Crista cnemialis cranialis*, b) *Crista cnemialis lateralis*, c) *Foramen interosseum proximale*, d) *Impressio lig. collaterale mediale*, e) *Sulcus extensorius*, f) *Tuberculum retinaculi m. fibularis*, g) *Pons supratendineus*, h) *Condylus medialis*, i) *Condylus lateralis*. Rechts: linker Tibiotarsus, kaudale Ansicht: a) *Fossa flexoria*, b) *Impressio lig. collaterale mediale*, c) *Foramen interosseum proximale*, d) *Crista fibularis*, e) *Tuberculum retinaculi m. fibularis*, f) *Condylus lateralis*, g) *Condylus medialis*.

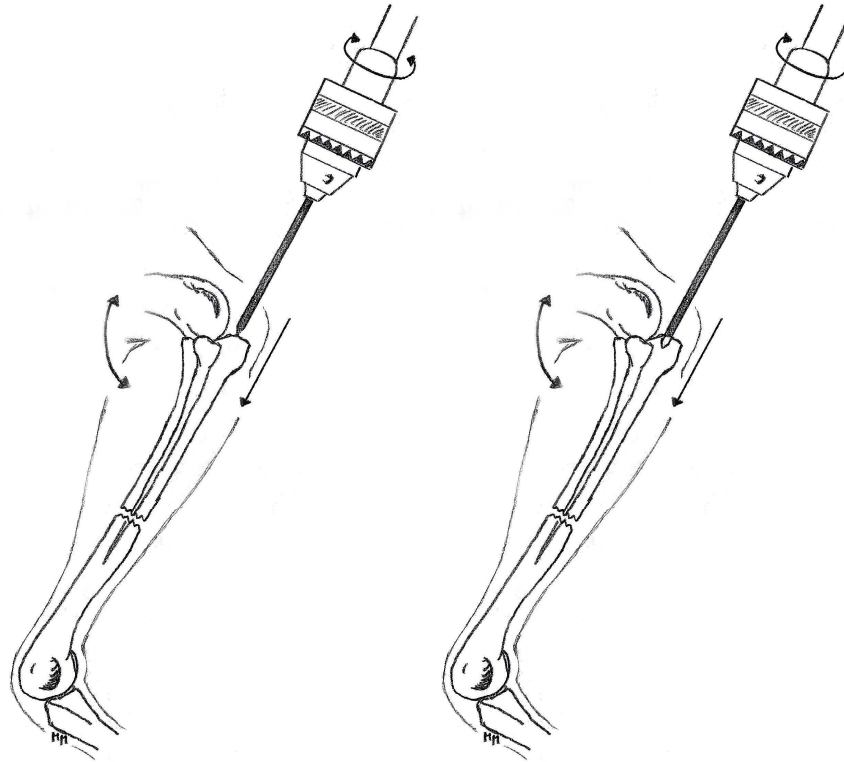


Abb. 52, Schritt 1, normograde Versorgung: Normograde Insertion des IM-Pins unter Abwinkelung des Kniegelenkes (siehe Pfeil). Links: Durchbohren der Kortikalis mittels Rechts-links-Drehung des Handbohrfutters (siehe Pfeil). Rechts: Wechsel zu einseitiger Drehrichtung, sobald die Kortikalis durchbohrt ist (siehe Pfeil). Rechter Tibiotarsus, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.

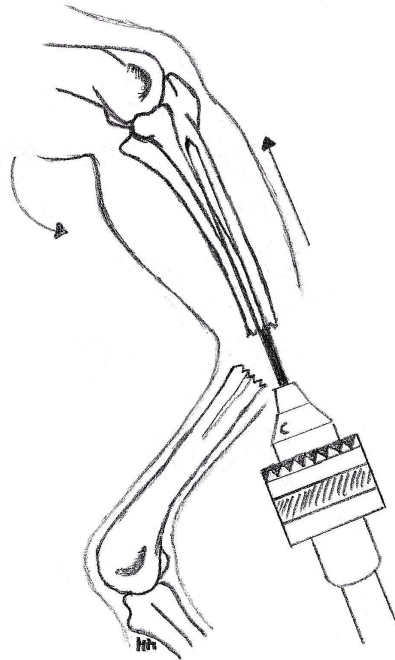


Abb. 53, Schritt 1, retrograde Versorgung: Retrograde Insertion des IM-Pins unter Abwinkelung des Kniegelenkes (siehe Pfeil). Rechter Tibiotarsus, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.

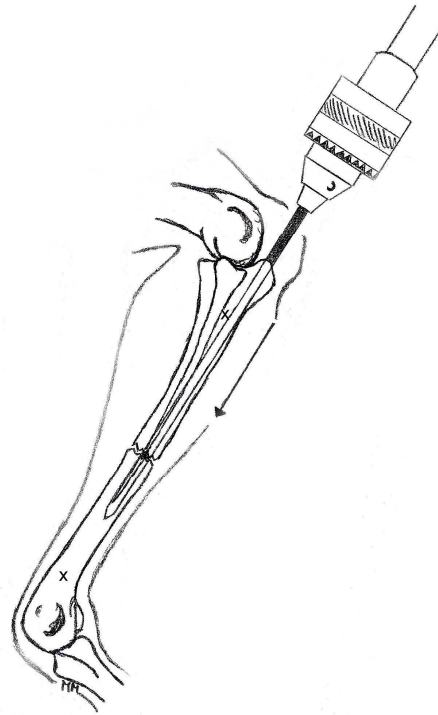


Abb. 54, Schritt 2: Normograde Insertion des IM-Pins als Folgeschritt der normograden und retrograden Insertion mit Einzeichnung der Insertionsstellen (x) der ESF-Pins. Rechter Tibiotarsus, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.

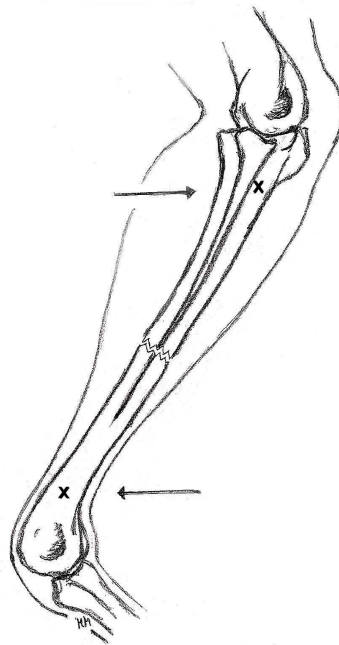


Abb. 55, Schritt 3 a: Insertionsstellen (x) der ESF-Pins. Distaler ESF-Pin: proximal der lateralen Kondyle, proximaler ESF-Pin: kranialateral, distal des *Caput tibiae*, kranial der Fibula, in kaudomediale Richtung. Rechter Tibiotarsus, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.

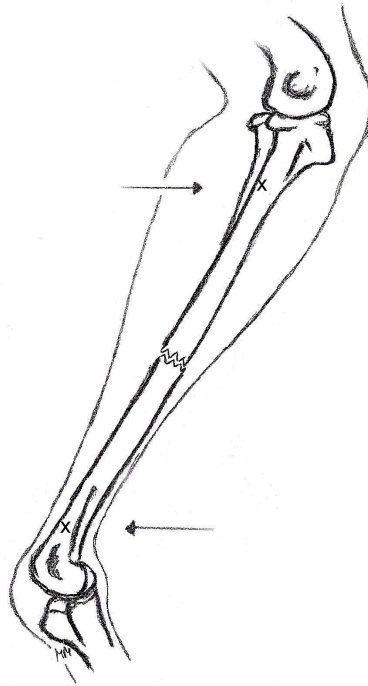


Abb. 56, Schritt 3 b: Austrittsstellen (x) der ESF-Pins. Distaler ESF-Pin: proximal der medialen Kondyle, proximaler ESF-Pin: kaudomedial, distal des *Caput fibulae*. Linker Tibiotarsus, Mäusebussard (*Buteo buteo*), mediale Ansicht.

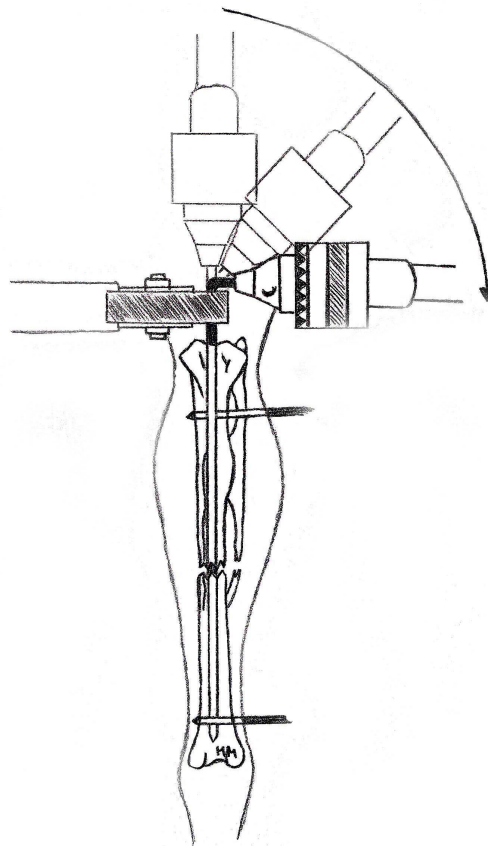


Abb. 57, Schritt 4: Biegen des IM-Pins um 90° mittels Handbohrfutter und angesetzter Drahtbiegezange (links im Bild). Rechter Tibiotarsus, Mäusebussard (*Buteo buteo*), kraniale Ansicht.

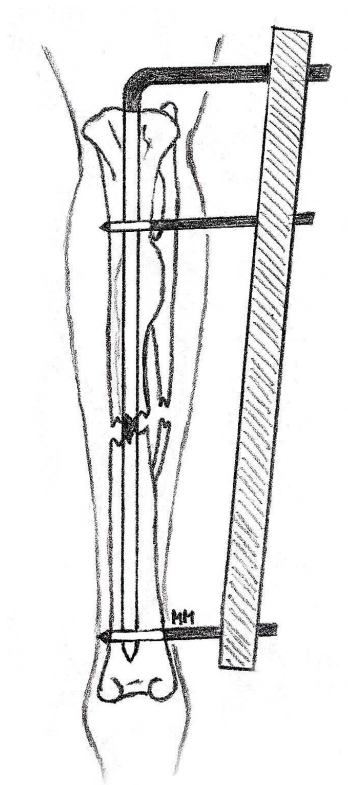


Abb. 58, Schritt 5: ESF IM-Pin „tie-in“. Linker Tibiotarsus, Mäusebussard (*Buteo buteo*), kraniale Ansicht.

Danach wird der herausstehende IM-Pin auf fünf bis sieben Zentimeter gekürzt und wie bei der Frakturversorgung des Femurs um 90° in Richtung der ESF-Pins gebogen (siehe Abb. 57). Das Anfertigen der Verbindungsschiene und die dabei zu beachtenden Details sind der Frakturversorgung des Femurs zu entnehmen.

Bei einfachen und wenig dislozierten Frakturen kann das Einbringen des IM-Pins ohne einen chirurgischen Eingriff von normograd erfolgen (siehe Abb. 52). Dabei wird der IM-Pin unter Anwinkelung des Kniegelenkes über einen kleinen Hautschnitt am proximalen Ende des Tibiotarsus in die *Fossa retropatellaris* eingebracht (siehe Abb. 51), wobei Frakturen der *Crista cnemialis cranialis* vermieden werden müssen. Die Patella-Sehne wird dazu mit der Pinspitze nach lateral verlagert. Der IM-Pin „fällt“ in der Regel in die Vertiefung der *Fossa retropatellaris*. Das Setzen in den Knochen erfolgt entlang seiner Achse.

3.2.2.3 Tarsometatarsus

3.2.2.3.1 Chirurgischer Knochenzugang zum Tarsometatarsus

Üblicherweise erfolgt die Reposition des Knochens und die Insertion der ESF-Pins blind, d. h. ohne den Knochen zu eröffnen, da dieser nur von Haut umgeben und dadurch gut zu palpieren ist. Ein chirurgischer Zugang erfolgt von lateral, um eine Verletzung der medialen Metatarsalvene zu umgehen.

Für den Eingriff wird der Vogel in Seitenlage verbracht, wobei die laterale Seite des Tarsometatarsus nach dorsal ausgerichtet wird, während die gesunde Gliedmaße aus dem OP-Feld verlagert wird. Anschließend werden auf der lateralen Seite des Knochens die Federn vom Sprunggelenk bis zum Ende des Bewuchses entfernt.

Anschließend wird ein Hautschnitt entlang des lateralen Schaftes des Knochens geführt (OROSZ 1992). Dieser legt die Beugesehnen und Blutgefäße am kranialen Rand des Knochens frei. Die Strecksehnen liegen auf der kaudalen Seite des Knochens. Am proximalen Knochenende liegen kranial der *M. extensor brevis digiti IV* und kaudal der *M. abductor digiti IV*. Durch den Verlauf der Sehnen ist ein Knochenzugang nur von lateral oder medial möglich.

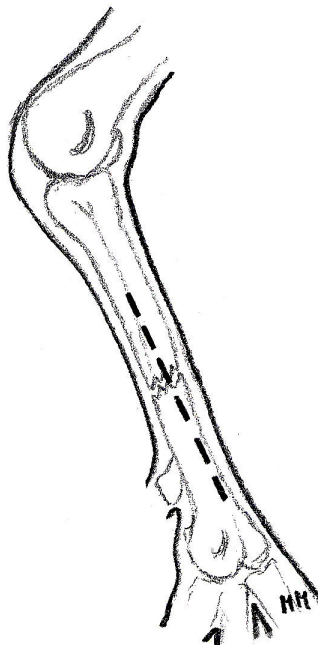


Abb. 59: Schnittführung zur Eröffnung des Knochens. Rechter Tarsometatarsus, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.

3.2.2.3.2 Frakturversorgung des Tarsometatarsus mittels Fixateur externe Typ II

Aufgrund der anatomischen Gegebenheiten erfolgt die Frakturversorgung des Tarsometatarsus mit einem Fixateur externe Typ II (vgl. Kapitel 2.13.3.2). Dazu werden zunächst in jedes der Fragmente zwei ESF-Pins mit einem Durchmesser von 1,2 mm (0.045 Zoll, INTERFACE™ „half-pins“, IMEX™, Texas) eingebracht, so daß deren Enden auf beiden Seiten des Knochens gleich weit herausstehen. Das Setzen des proximalsten ESF-Pins erfordert anatomische Fachkenntnisse über die Lage der medialen Metatarsalvene, um diese bei Einbringen des ESF-Pins nicht zu verletzen.

Bei den in dieser Studie verwendeten ESF-Pins handelt es sich um INTERFACE™ „half-pins“ (IMEX™) mit einem Gewinde an der Spitze der Pins. Üblicherweise werden für einen Fixateur externe Typ II CENTERFACE™ „full-pins“ (IMEX™) mit einem Gewinde in der Mitte des Pins herangezogen (siehe Kapitel 2.13.2.1 und Tab. 1, Kapitel 3.2.2.1.2). Diese sind jedoch in den benötigten kleinen Größen nicht erhältlich, so daß ersatzweise auf erstgenannte Pins zurückgegriffen wird.

Die ESF-Pins werden derartig in die einzelnen Fragmente eingebracht, daß einer der Pins frakturnah und der andere gelenksnah verankert ist. Eine Reihenfolge ist dabei nicht festgelegt. Da die ESF-Pins jedoch verhältnismäßig nah bei einander liegen, tut sich der Operateur leichter, sie einfach von proximal nach distal zu setzen. Dabei ist zu beachten, daß man sich beim Einbringen der Pins nicht selbst an den herausstehenden Spitzen der bereits gesetzten ESF-Pins verletzt.

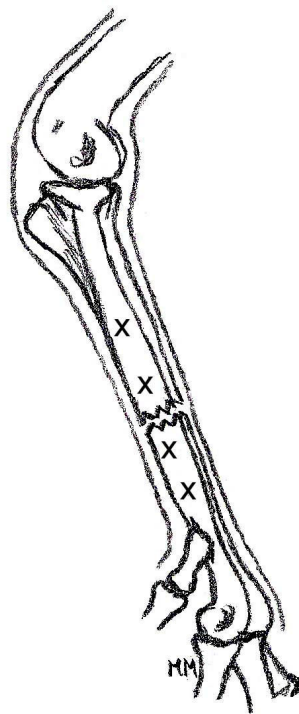


Abb. 60, Schritt 1 a: Insertionsstellen (x) der ESF-Pins. Rechter Tarsometatarsus, Mäusebussard (*Buteo buteo*), mediale Ansicht.

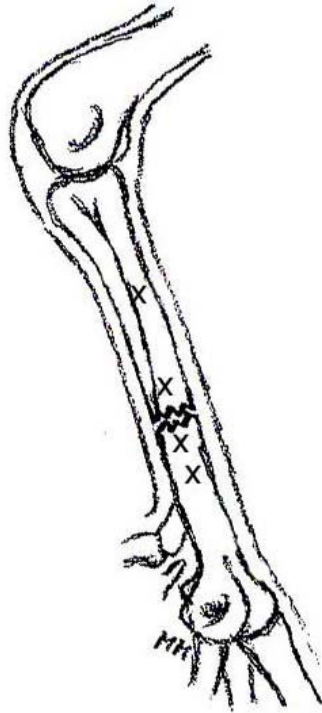


Abb. 61, Schritt 1 b: Austrittsstellen (x) der ESF-Pins. Rechter Tarsometatarsus, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.

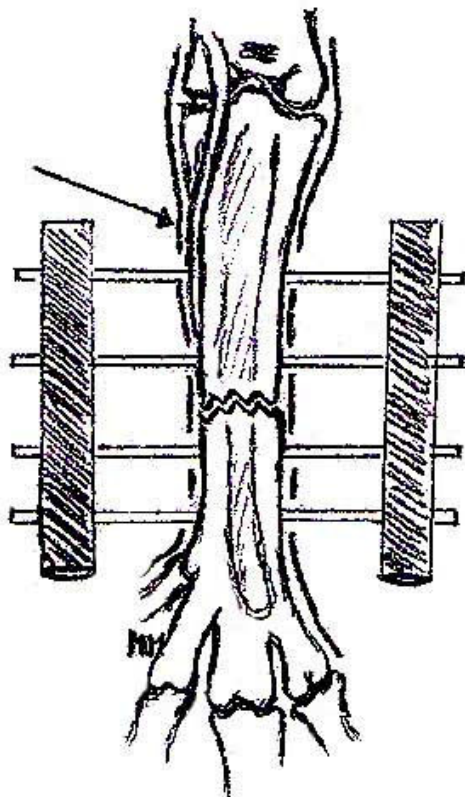


Abb. 62, Schritt 2: Fixateur externe Typ II mit eingezeichneter Lage der medialen Metatarsalvene (siehe Pfeil). Linker Tarsometatarsus, Mäusebussard (*Buteo buteo*), kraniale Ansicht.

Die Insertion der Pins erfolgt von medial, um das Verletzungsrisiko der medialen Metatarsalvene zu senken, da es leichter ist, diese beim Einbringen als beim unkontrollierten Austritt des ESF-Pins zu umgehen (siehe Abb. 60 und 61).

Sind alle ESF-Pins im Knochen verankert, werden auf beide Enden der Pins Plastikschläuche aufgesteckt, die nacheinander mit der TechnoVit[®]-Masse befüllt werden, wie bei der Frakturversorgung des Femur beschrieben.

Die Zeichnungen stellen die Knochen eines Mäusebussards (*Buteo buteo*) dar. Der Tarsometatarsus von Psittaciden ist jedoch vergleichsweise kurz. Aus diesem Grunde ist es nicht immer möglich, z. B. bei Frakturen, die im proximalen oder distalen Drittel des Knochens liegen, vier transkortikale Pins im Knochen zu verankern, so daß evtl. auf das Setzen eines vierten ESF-Pins aus Platzgründen verzichtet werden muß. In diesem Fall werden in dem größeren Fragment zwei ESF-Pins und in dem kleineren Fragment lediglich ein ESF-Pin platziert. Um eine Rotation des mit nur einem ESF-Pin fixierten Fragmentes um die Achse des ESF-Pins zu vermeiden, muß zusätzlich eine Kunststoff-Schiene, z. B. aus Hexcelite[®], angelegt werden.

Auf den folgenden Seiten findet sich eine Kurzübersicht über die Frakturversorgung der einzelnen langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße mittels ESF IM-Pin „tie-in“ bzw. Fixateur externe mit stichwortartiger Beschreibung der Vorgehensweise (Tabelle 2).

Frakturtyp	Versorgungstyp	Vorgehen	Bemerkungen / Indikationen
Femur	ESF IM-Pin „tie-in“ mit Fixateur externe Typ I	<ol style="list-style-type: none"> 1.1. normogrades Setzen des IM-Pins oder 1.2. retrogrades Setzen des IM-Pins 2. Setzen des distalen ESF-Pins 3. Setzen des proximalen ESF-Pins 4. Biegen des IM-Pins um 90° 5. Anbringen der Verbindungsschiene 6. Kürzen der Enden der ESF- und des IM-Pins auf ca. 2 mm 7. Anlegen eines Verbandes 	<p>1.1. bei einfachen und nicht oder nur geringgradig dislozierten Frakturen, wie einfache Schräg- oder Querfraktur</p> <p>1.2. bei komplizierten Frakturen, wie Trümmer- und Splitterbrüchen</p> <p>2. und 3. Verwendung von ESF-Pins mit einem Gewinde an der Spitze (INTERFACE™ half-pins)</p> <p>5. aufgrund der anatomischen Lage des Femurs kann nur ein Fixateur externe Typ I angebracht werden</p>
Tibiotarsus	ESF IM-Pin „tie-in“ mit Fixateur externe Typ I oder II	<ol style="list-style-type: none"> 1.1. normogrades Setzen des IM-Pins oder 1.2. retrogrades Setzen des IM-Pins 2. Setzen des distalen ESF-Pins 3. Setzen des proximalen ESF-Pins 4. Biegen des IM-Pins um 90° 5. Anbringen der Verbindungsschiene(n) 6. Kürzen der Enden der ESF- und des IM-Pins auf ca. 2 mm 7. Anlegen eines Verbandes 	<p>1.1. s. o.</p> <p>1.2. s. o.</p> <p>1.1. und 1.2. endgültige Verankerung des IM-Pins erst nach Setzen des distalen ESF-Pins mit diesem</p> <p>5. bei Anwendung eines Fixateur externe Typ I werden ESF-Pins mit einem Gewinde an der Spitze (INTERFACE™ half-pins), beim Fixateur externe Typ II ESF-Pins mit einem Gewinde in der Mitte (CENTERFACE™ full-pins) herangezogen</p> <p>5. ein ESF IM-Pin „tie-in“ mit Fixateur externe Typ II erhöht zwar die Stabilität der Konstruktion, führt aber auch zu einem erhöhten Verletzungsrisiko der gesunden Gliedmaße</p>

Frakturtyp	Versorgungstyp	Vorgehen	Bemerkungen / Indikationen
Tarsometatarsus	Fixateur externe Typ II	<ol style="list-style-type: none"> 1. Setzen der vier ESF-Pins 2. Anbringen der zwei Verbindungsschienen 3. Kürzen der ESF-Pins auf ca. 2 mm 4. Anlegen eines Verbandes 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verwendung von ESF-Pins mit einem Gewinde in der Mitte (CENTERFACE™ full-pins) -cave: mediale Metatarsalvene -eine Reihenfolge beim Setzen der ESF-Pins ist nicht festgelegt; empfohlen wird eine Platzierung der Pins von proximal nach distal

Tabelle 2: Übersicht der Frakturversorgung der langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße.

3.3 Maßstabsgetreue Darstellung der chirurgischen Knochenzugänge sowie von ESF IM-Pin „tie-ins“ anhand von Silikonplastinaten

Um die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen chirurgischen Knochenzugänge sowie die Anwendung des ESF IM-Pin „tie-ins“ festzuhalten und naturgetreu darzustellen, werden Silikonplastinate angefertigt. Dazu werden die für die fotografische Darstellung der Frakturversorgung angefertigten gefäßplastinierten Beckengliedmaßen der Mäusebussarde (*Buteo buteo*), an denen die chirurgischen Zugänge und der Sitz des ESF IM-Pin „tie-ins“ demonstriert wurden, und darüber hinaus die Hintergliedmaßen eines jungen Wanderfalken (*Falco peregrinus*), einem Verfahren zur Haltbarmachung des Gewebes, der so genannten Silikonplastination, unterzogen.

Nachteilig an dem Prozedere ist, daß die Präparate durch die Manipulation verblässen und das Gewebe durch die Aushärtung seine ursprüngliche Elastizität verliert. Jedoch können anhand der Modelle die Knochenzugänge mit Darstellung der Gefäße und Nerven sowie der Sitz des kompletten ESF IM-Pin „tie-ins“ maßstabsgetreu dargestellt werden.

3.3.1 Silikonplastination

Nach der Anfertigung der Fotos für die chronologische Darstellung der Frakturversorgung werden die gefäßplastinierten Beckengliedmaßen der Mäusebussarde (*Buteo buteo*) mindestens eine Woche in 6 %igem Formalin fixiert. Pro Stunde wird dabei ein Millimeter Gewebe fixiert. Anschließend wird das Präparat ca. 48 Stunden in einem Wasserbad mit fließendem Wasser gespült, um das Formalin herauszuwaschen. Dann wird es in ein nasses Tuch gewickelt und eine Nacht in die Kühlung bei ca. 3 - 5 °C verbracht, bevor es anschließend zur Entwässerung in 98 %iges, -20 °C kaltes Aceton gegeben wird. Während des Entwässerungsvorgangs wird das Aceton mindestens zwei Mal gewechselt. Das letzte Acetonbad wird dabei auf 2 % Toleranz (98 %iges Aceton +/- 2 %) mit einer Tauchspindel ausgespindelt. Winzige im Präparat noch vorhandene Wasserreste spielen bei der Silikonplastination eine untergeordnete Rolle, da bei der Entfettung des Präparates in Aceton bei Raumtemperatur auch noch Wasser entzogen wird.

Nachdem das Präparat aus dem -20 °C kalten, 98 %igem Aceton entnommen wurde, wird es bei Raumtemperatur nochmals in ebenfalls ausgespindeltes 98 %iges Aceton verbracht. Üblicherweise verbleiben die Präparate solange im Aceton, bis die Flüssigkeit nicht mehr gelb wird. Da es sich hier aber um verhältnismäßig kleine Präparate handelt und bei der Entwässerung auch schon Fett entzogen wurde, ist eine Gelbfärbung nur noch selten zu beobachten.

Zu Beginn der forcierten Imprägnierung mit Silikon wird das Präparat aus dem Acetonbad entnommen und das Aceton vorsichtig von Hand aus dem Gewebe gedrückt, bevor das Präparat anschließend für einige Stunden in Zellstoff gewickelt wird, um es vor dem Austrocknen zu schützen und gleichzeitig den Acetongehalt im Gewebe zu reduzieren.

Nun wird das Präparat in -20 °C kaltes Silikon (Biodur® S 10, Heidelberg) gegeben und in eine Vakuumkammer verbracht, in der der Druck innerhalb einer Woche auf acht Millibar gesenkt wird. Danach wird die Vakuumkammer belüftet und das Präparat noch 24 Stunden ohne Vakuum im Silikon belassen, damit es noch mehr von diesem aufnimmt. Nach der Entnahme des Präparates aus dem Silikon wird das auf der Oberfläche befindliche, überschüssige Silikon abgewischt. Für weitere zwei bis drei Tage wird das Präparat dann auf einen Zellstoff gelegt und das austretende Silikon zwischendurch immer wieder entfernt. Anschließend wird das Präparat in eine Gashärtekammer verbracht und mit einem Härtungsgas (Biodur® S 6, Heidelberg) ausgehärtet. Während der Aushärtung muß das Präparat täglich auf austretendes Silikon kontrolliert werden, da dieses sonst auf der Oberfläche in Form kleiner Erhebungen aushärtet. Dieser Vorgang dauert ca. ein bis vier Wochen, je nach Größe des Präparates und vorherrschender Raumtemperatur. Je höher die Raumtemperatur ist, desto schneller härtet das Plastinat aus.

3.4 Darstellung von Risikozonen bei der Insertion von transkortikalen Pins anhand von Scheibenplastinaten

Zur Darstellung des Verlaufes von Gefäßen und Nerven der Beckengliedmaßen werden Scheibenplastinate angefertigt. Diese werden am Anatomischen Institut der Tierärztlichen Fakultät der LMU München erstmals hergestellt und sollen dem Betrachter bzw. dem Operateur die Risikozonen bei der Insertion der transkortikalen Pins veranschaulichen. Dabei ist anzumerken, daß die anatomische Lage der Strukturen zwischen den verschiedenen Spezies geringgradig variiert.

3.4.1 Sekundäre Scheibenplastination (Blockplastination)

Die Aufbereitung des Präparates zur Plastination stimmt in den ersten Schritten mit der Herstellung eines Silikonplastinats (siehe Kapitel 3.3.1) überein, allerdings muß bei der Sekundären Scheibenplastination länger entwässert werden, da bereits kleinste Wasserreste in den Präparaten die Qualität der Plastinate herabsetzen. Bei der an dieser Stelle

beschriebenen Sekundären Scheibenplastination handelt es sich um das auch beim Säugetier übliche Verfahren.

Während des Entwässerungsvorgangs wird die Konzentration des Acetons von 98 % auf 99,9 % angehoben. Da das freiwerdende Wasser die Konzentration des Acetons senkt, wird dieses ca. alle drei bis vier Wochen ausgewechselt, so lange bis eine Konzentration des Acetons von 99,9 % konstant bleibt. Bei jedem Wechsel des Acetonbades wird das Präparat mit der Hand vorsichtig ausgedrückt und anschließend in Zellstoff gewickelt.

Nach der Entnahme aus dem konstant 99,9 %igen Aceton, dem Auspressen des Präparates, sowie der Lagerung in Zellstoff, bleibt das Präparat einige Stunden liegen, um es auf Raumtemperatur zu erwärmen. Anschließend wird es in 99,9 %iges Aceton mit Raumtemperatur eingelegt und in die Vakuumkammer verbracht. Der Druck in der Vakuumkammer wird nun im Laufe von acht Stunden auf 180 Millibar gesenkt. Eine weitere Absenkung des Druckes darf nicht erfolgen, da Aceton einen Dampfdruck von 180 Millibar hat und bei weiterer Absenkung verdunsten würde. Anschließend wird das Vakuum abgebaut und das Aceton ausgespindelt. Auch bei einem Gehalt von 99,9 % wird das Präparat noch ca. drei Wochen im Acetonbad belassen, da das Aceton durch das Vakuum in Zonen eindringen konnte, die eventuell bei der Entwässerung nicht erreicht wurden. Wenn nach dieser Zeit die Konzentration des Acetons konstant auf 99,9 % geblieben ist und keine Gelbfärbung zeigt, wird das Präparat entnommen, wiederum von Hand vorsichtig ausgepresst und für ein paar Stunden in Zellstoff gewickelt.

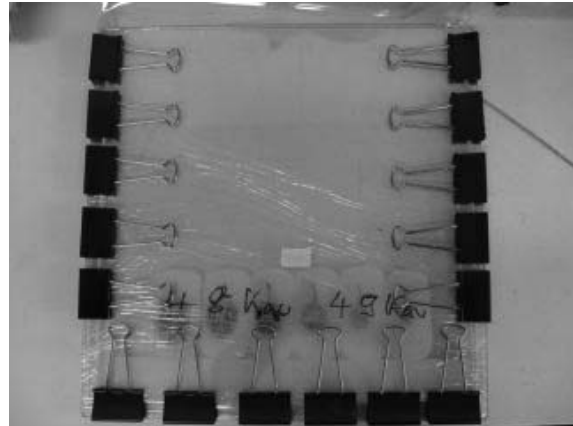


Abb. 63: Links: Vakuumkammer mit inliegenden Flachkammern. Rechts: Flachkammer.

Anschließend wird es in Dichlormethan gegeben. Dieses ist lipophiler als Aceton und dient dazu, verbliebene Fettreste zu entfernen. Dichlormethan besitzt ein höheres spezifisches Gewicht als Aceton, wodurch das Präparat im Vakuum leichter im Aceton untertaucht. Nach zehn bis vierzehn Tagen wird das Präparat entnommen und in Zellstoff gewickelt, um den Gehalt an Dichlormethan im Gewebe zu reduzieren. Verbleibt zuviel Dichlormethan im Präparat, kann sich dadurch die Plastinationsdauer verlängern.

Anschließend kommt das Präparat erneut in die Vakuumkammer. Dort wird es mit Grundharz (Biodur[®] E 12, Heidelberg), Härter (Biodur[®] E 6, Heidelberg) und Beschleuniger (Biodur[®] E 600, Heidelberg) imprägniert. Während des je nach Größe des Präparates bis zu vier Wochen dauernden Vorgangs verdunsten Aceton und Dichlormethan und das Präparat wird transparent. Der Druck in der Vakuumkammer wird nun auf drei Millibar gesenkt. Danach wird die Kammer belüftet und das Präparat anschließend in einen mit Kunstharz gefüllten viereckigen Behälter gegeben und in gewünschte Position gebracht. Anschließend wird es erneut in die Vakuumkammer gefahren, um entstandene Luftblasen zu entfernen. Im Behälter befindet sich der gleiche Kunststoff, mit dem auch imprägniert wurde.

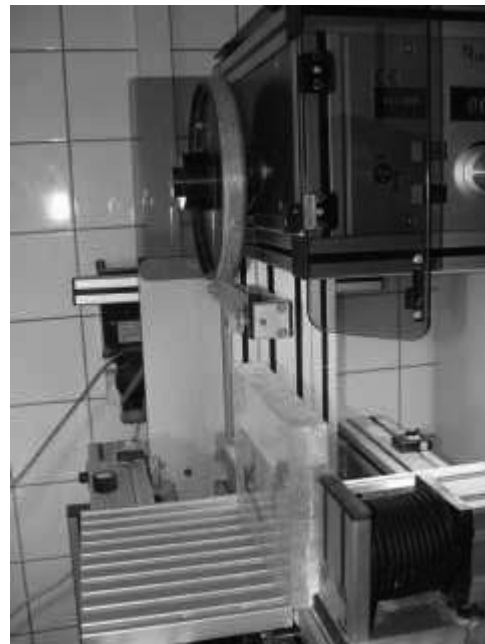


Abb. 64: Links: Diamantsäge mit Blockplastinat. Rechts: Spule für Diamantsäge.

Danach wird der Behälter mit dem Präparat 24 Stunden stehen gelassen, damit das Präparat noch Kunststoff aufnimmt, bevor es in den Wärmeschrank mit einer Temperatur von 30 °C verbracht wird. Dort wird die Temperatur alle 24 Stunden um 5 °C erhöht, wobei dies gerade bei der ersten Temperaturerhöhung keinesfalls eher geschehen darf. Sind 50 °C erreicht, bleibt der Block solange stehen, bis er ausgehärtet ist. Wie viel Zeit bis zur Aushärtung des Blocks verstreicht, ist abhängig davon, wie viel Beschleuniger (Biodur[®] E 600, Heidelberg) zugegeben wird. Bei diesen Präparaten wurde jeweils die geringste Dosis von 0,0001 % hinzugegeben, da sich der Kunststoff mit Erhöhung der Beschleunigerzugabe mehr und mehr ins Gelbe verfärbt. Nach ca. 14 Tagen ist der Block ausgehärtet und wird mit einer Diamantsäge (Well, Mannheim; siehe Abb. 64) in Scheiben geschnitten, deren Dicke vorher eingestellt werden kann und zwischen einem Millimeter und 24 cm variiert. In diesem Fall beträgt die Dicke der Schnitte zwei Millimeter.

Nach dem Sägen werden die Schnitte noch einmal mit Aceton gereinigt. Die Oberfläche der Schnitte ist nach dem Schneiden milchig-trüb und die Scheibe wird mit Grundharz (Biodur® E 12, Heidelberg) unter Zugabe eines Härter (Biodur® E 1, Heidelberg) und eines Glasseparators (Biodur® A E 30, Heidelberg) in eine Flachkammer eingegossen (siehe Abb. 63). Der Härter E 1 (Biodur®, Heidelberg) beruht auf Aminobasis und polymerisiert bei Raumtemperatur bereits nach 8 - 10 Stunden. Er härtet schneller als der zuvor verwendete Härter E 6 (Biodur®, Heidelberg), ein Anhydridhärter, der ab 30 °C polymerisiert. Danach wird die Flachkammer mit der Scheibe in die Vakuumkammer verbracht, um Luftblasen herauszulösen.

Nach acht bis zehn Stunden fängt der Kunststoff an zu polymerisieren. Er wird aus dem Vakuum entnommen und ist nach einer Woche ausgehärtet. Anschließend wird die Flachkammer 24 Stunden in den Wärmeschrank mit einer Temperatur von 50 °C gegeben, um die Oberflächenspannung herabzusetzen. Ist das Präparat kalt, kann es aus der Flachkammer entnommen und individuell zugeschnitten werden.

3.5 Darstellung des ESF IM-Pin „tie-ins“ am Knochenmodell

3.5.1 Präparation der Knochen

3.5.1.1 Abfleischen

Für die Präparation der Knochen werden die Beckengliedmaßen zunächst an der Hüfte des Tierkörpers abgesetzt und das Caput femoris aus dem Acetabulum gelöst. Anschließend wird die Gliedmaße gehäutet und mit Hilfe eines Skalpells abgefleischt, d. h. Muskulatur und Sehnen werden zur Freilegung des Knochens mechanisch grob abpräpariert. Es ist darauf zu achten, daß dabei keine Einzelknochen, wie z. B. Daumen bei der Flügelpräparation oder Sehnenverknöcherungen beim Uhu (*Bubo bubo*), verloren gehen. Außerdem sollten Verletzungen der Knochenoberfläche durch Schnitte mit Skalpell oder Schere vermieden werden.

Folglich ist es bei der Knochenpräparation wichtig, sich vorher über den speziellen osteologischen Bau des betreffenden Tieres zu informieren. Wie genau bzw. wie viel abgefleischt wird, ist individuell unterschiedlich. Zu berücksichtigen ist, daß Wässerungs- und Trocknungszeiten entsprechend der am Knochen verbleibenden Fleischmenge variieren. Perfektes Abfleischen erfordert sehr gute osteologische Kenntnisse und ist mit

hohem Zeitaufwand verbunden. Werden die Knochen zu den Speckkäfern gegeben, ist es von Vorteil, etwas mehr Muskulatur am Knochen zu belassen. Wie sich im Rahmen dieser Studie herausgestellt hat, wird dieses von den Käfern besser angenommen und unterstützt ferner deren Vermehrung.

Das Entfernen der Haut an den Zehen ist aufwendig, da diese mit den darunterliegenden Strukturen fest verbunden ist. Eine vollständige Entfernung der verhornten Häute ist notwendig, da sie von den Speckkäfern verschmäht werden und sonst am Präparat verbleiben.

3.5.1.2 Wässern

Die gehäutete und abgefleischte Gliedmaße wird nun zum Wässern in ein Becherglas mit einem Liter Fassungsvermögen oder in ein ähnliches Behältnis gegeben. Die Größe des Gefäßes sollte so bemessen sein, dass die Gliedmaße darin Platz findet und vollständig von Wasser bedeckt wird. Über einen Frischwasser führenden Schlauch wird das Gefäß nun mit Wasser gefüllt. Anschließend wird der Schlauch in das Gefäß hineingehängt, so daß das Wasser stetig ausgetauscht wird. Nach 24 Stunden wird die Gliedmaße entnommen.

3.5.1.3 Trocknen

Nach dem Wässern wird das Präparat nun für weitere 24 Stunden in einem für diese Studie angefertigten Behältnis getrocknet (siehe Abb. 65). Dieses besteht aus einem Drahtzylinder, der an seinem unteren Ende mit einer runden Metallplatte abgeschlossen ist, die gleichzeitig als Standfuß dient.

Die Höhe des Zylinders beträgt ca. 50 cm, sein Durchmesser ca. 20 cm. Die obere Öffnung des Zylinders wird durch eine viereckige Holzplatte verschlossen, in der zwei Haken verankert sind, an welche die zu trocknenden Gliedmaßen mit Hilfe einer Schnur aufgehängt werden. Dabei sollte eine Berührung der Präparate untereinander vermieden werden, um alle Bezirke der Gliedmaße gleichmäßig zu trocknen. Alternativ kann z. B. ein quadratischer Käfig mit Klapptür, der an drei oder vier Seiten mit einem feinmaschigen Gitter versehen ist und dessen Decke, Boden und Rückwand aus Holz beschaffen sind, herangezogen werden. Wichtig ist eine luftdurchlässige, vor Insekten, wie z. B. Stubenfliegen, geschützte Aufbewahrung der zu trocknenden Präparate. Form oder Größe des Behältnisses spielen dabei keine Rolle, sofern sich die Präparate untereinander nicht berühren.



Abb. 65: Trocknungszylinder. Links: Ansicht von der Seite. Rechts: Aufsicht mit geöffnetem Deckel, an dem die Haken zum Aufhängen der Präparate befestigt sind.

3.5.1.4 Speckkäfer

Nach der 24stündigen Trocknung werden die Gliedmaßen zu den Speckkäfern gegeben. Diese werden in zwei getrennten und für diese Studie präparierten Plastikboxen, deren abnehmbare Deckel gegen ein Entkommen der Käfer mit einem feinmaschigen Gitter versehen sind, gehalten (siehe Abb. 67). Die Boxen werden in einem Karton an einem warmen Ort aufbewahrt, da die Käfer lichtscheu sind und sich bei Temperaturen zwischen 25 - 30 °C und einer Luftfeuchtigkeit von 65 - 70 % (NIEDERKLOPFER 2001) am besten vermehren.

Als Versteckmöglichkeit, zur Verpuppung und zur Eiablage sind die Böden der Boxen mit ca. drei Zentimeter dicken Styroporplatten ausgestattet. Darüber befindet sich eine Lage Zellstoff, auf die die luftgetrockneten Präparate gelegt werden. Ein zugeschnittener Schwamm in einer kleinen Petrischale dient als Trinkmöglichkeit und wird täglich mit frischem Wasser getränkt. Von einem Besprühen der Zucht mit Wasser sollte abgesehen werden, da dieses zu Schimmelpilzbewuchs führen kann, der sich zunächst „unsichtbar“ am Käfigboden ausbreitet und deswegen oft zu spät bemerkt wird (NIEDERKLOPFER 2001). Es kommt zum Zusammenbruch der Zucht. In einer zweiten Petrischale wird zwischen dem Abnagen der Präparate proteinreiches Katzenfutter angeboten, um die Käferpopulation zu „stärken“.



Abb. 66: Knochenpräparate nach der Gabe zu den Speckkäfern. Links: rechte Hintergliedmaße eines Mäusebussards (*Buteo buteo*). Rechts: rechte Hintergliedmaße eines Kongo-Graupapageien (*Psittacus erithacus*).

Das Abfressen des Fleisches durch die Speckkäfer entspricht einem perfekten manuellen Abfleischen. Grundlage ist eine gute Zucht mit dem Ziel, daß Proben innerhalb von 12 - 24 Stunden abgefressen sind. Da für diese Studie mit ca. 40 - 60 Exemplaren je Plastikbox anfangs nur sehr wenige Käfer zur Verfügung standen, dauerte das Abfressen einer Gliedmaße im Durchschnitt vier bis sechs Wochen - anfangs bis zu drei Monaten, nach ausreichender Vermehrung auf ca. 300 - 400 Käfer 24 - 48 Stunden.



Abb. 67: Alternativ zur Gitterbox kann eine Plastikbox mit Abdeckung zur Käferzucht dienen.

3.5.1.5 Biologie des Speckkäfers

Bei dem für diese Studie eingesetzten Käfer handelt es sich um den Dornspeckkäfer (*Dermetes maculatus*), dessen Name sich von den dornförmig ausgezogenen Nahtspitzen an den Flügeldecken ableitet (siehe Abb. 68). Da diese Art für ihre Entwicklung relativ hohe Temperaturen benötigt, ist eine Ausbreitung außerhalb der „Aufbewahrungsbox“ nahezu unmöglich.



Abb. 68: Speckkäfer. Links Mitte: Behaarte Speckkäferlarven. Rechts: Adulter Speckkäfer.

Die Eiablage erfolgt vorzugsweise in feuchten Ritzen und benötigt eine Mindesttemperatur von 18,5 °C zur Entwicklung. Temperaturen von 41 °C über 20 - 30 Stunden töten sie ab. Die Embryonalentwicklung dauert bei 70 % rel. Luftfeuchtigkeit und bei 27 °C ca. zwei bis drei Tage, bei 22 °C vier bis fünf Tage, bei 20 °C neun bis zehn Tage (NIEDERKLOPFER 2001).

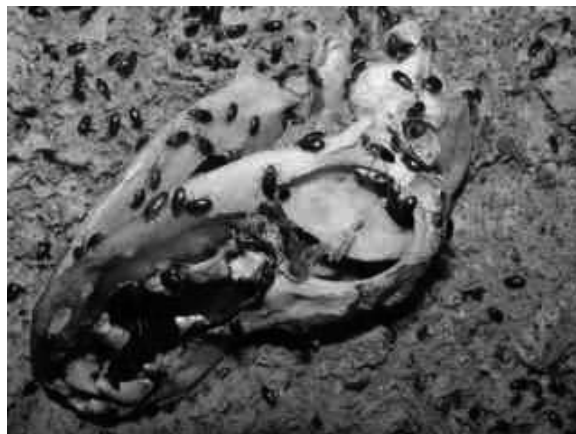


Abb. 69: Speckkäfer beim Benagen eines Hundeschädels.

Die Entwicklung der Larven verläuft am schnellsten bei 65 % Luftfeuchtigkeit und einer Temperatur von 31 °C. Die Männchen erreichen mit 30 Tagen das Adultstadium - vier Tage eher als die weiblichen Tiere (NIEDERKLOPFER 2001). Zur Verpuppung entfernen sich die

erwachsenen Larven vom Nährsubstrat und bohren sich in einen harten Stoff, z. B. Styropor oder Holz, der sie vor dem Austrocknen schützt.

Die Paarung der Käfer findet im Halbdunkel statt. Nach ca. acht Tagen legen die Weibchen die Eier bei 30 °C ab, wobei deren Anzahl abhängig ist von Temperatur und Feuchtigkeit sowie von der Nahrung und besonders von der Trinkmöglichkeit, da die Tiere für die Eiablage viel Flüssigkeit benötigen (NIEDERKLOPFER 2001). Bei ungünstiger Ernährung unterbleibt die Ablage der Eier. Die Knochen werden hauptsächlich von den Larven benagt. Hungern können die Käfer maximal 23 Tage.

3.5.1.6 Entfetten

Anschließend werden die Einzelknochen bzw. die teilweise durch bandartige Strukturen zusammengehaltenen Gliedmaßen für mindestens 14 Tage zum Entfetten in 95 - 98 %iges Aceton gegeben. Durch Anbohren der Knochen kann die Dauer des Entfettens gekürzt werden, da das Aceton dann schneller in den Knochen vordringen kann. Da die Knochen jedoch relativ klein sind und das Entfetten lediglich um wenige Tage verlängert wird, wird in dieser Studie auf ein Anbohren verzichtet. Nach dem Entfetten werden die Knochen aus dem Aceton genommen und zwei Tage auf einem Zellstoff getrocknet.

3.5.1.7 Bleichen

Die entfetteten und getrockneten Knochen werden nun für eine Nacht bzw. ca. zehn Stunden zum Bleichen in 6 %iges Wasserstoffperoxid gegeben. Anschließend werden sie entnommen und zwei Tage getrocknet. Je nach Präparat kann das Bleichen der Knochen bis zu 24 Stunden dauern.

3.5.1.8 Entfernung von Gewebsresten

Verbliebene Gewebsreste können nach der Präparation mittels Proteasen entfernt werden. Die einfachste Methode ist, die Präparate in ein Gefäß mit Wasser und reichlich Waschpulver über Nacht bei 60 °C in einen Wärmeschrank zu geben. Dabei werden in dieser Studie auf fünf Liter Wasser ca. 200 g Waschpulver gegeben. Sind die Strukturen nach einer Nacht noch nicht gelöst, müssen die Präparate so lange in der Waschmittellösung verbleiben, bis sich die Gewebsreste abgelöst haben.

4 ERGEBNISSE

4.1 Chronologische Darstellung der Frakturversorgung der langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße mittels ESF IM-Pin „tie-in“

4.1.1 Chronologische Darstellung der Frakturversorgung des linken Femurs eines Mäusebussards (*Buteo buteo*) mittels ESF IM-Pin „tie-in“



Abb. 70, Schritt 1: Vorbereitung des OP-Feldes: lateral gerupfter Oberschenkel.

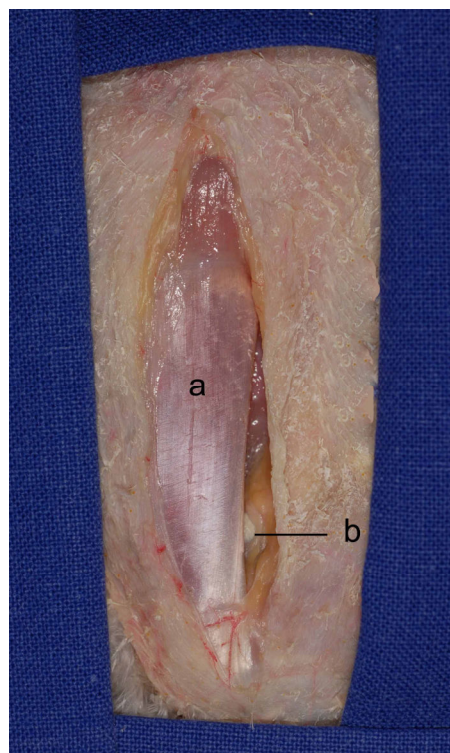


Abb. 71, Schritt 2: Hautschnitt I: a) *M. iliotibialis lateralis*, b) Retinaculum.

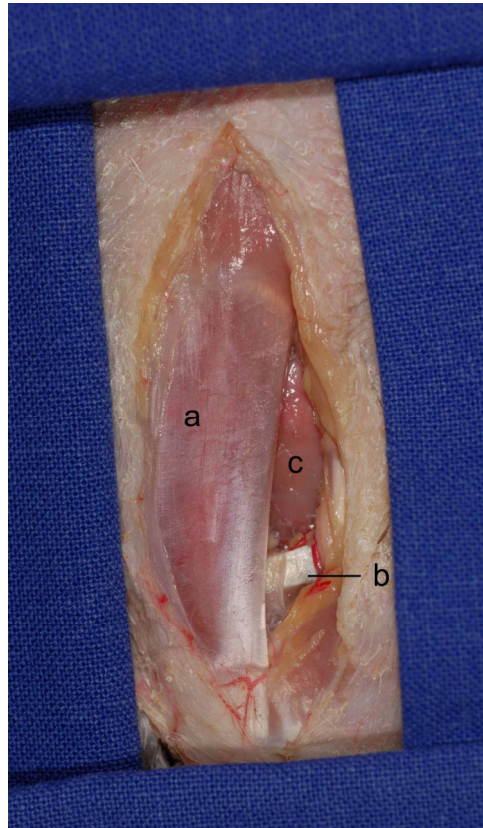


Abb. 72, Schritt 3: Hautschnitt II: a) *M. iliotibialis lateralis*, b) Retinaculum, c) *M. pubo-ischio-femoralis, pars lateralis*.

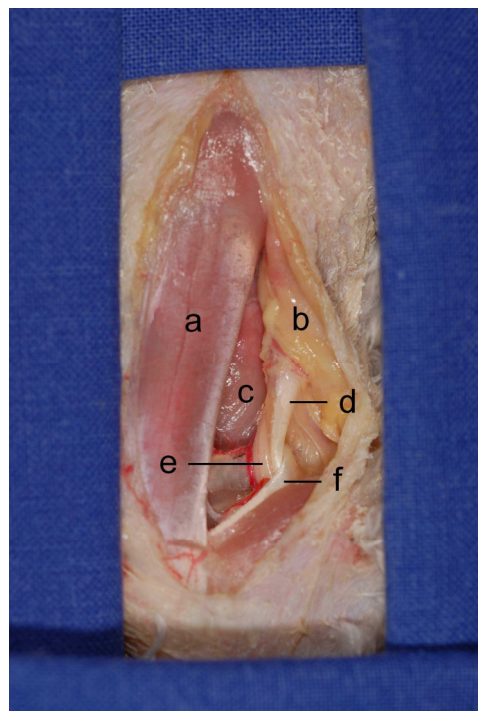


Abb. 73, Schritt 4: Chirurgischer Zugang: a) *M. iliotibialis lateralis*, b) Fettgewebe, c) *M. pubo-ischio-femoralis*, d) Sehne des *M. iliofibularis*, e) *N. fibularis*, f) Retinaculum.

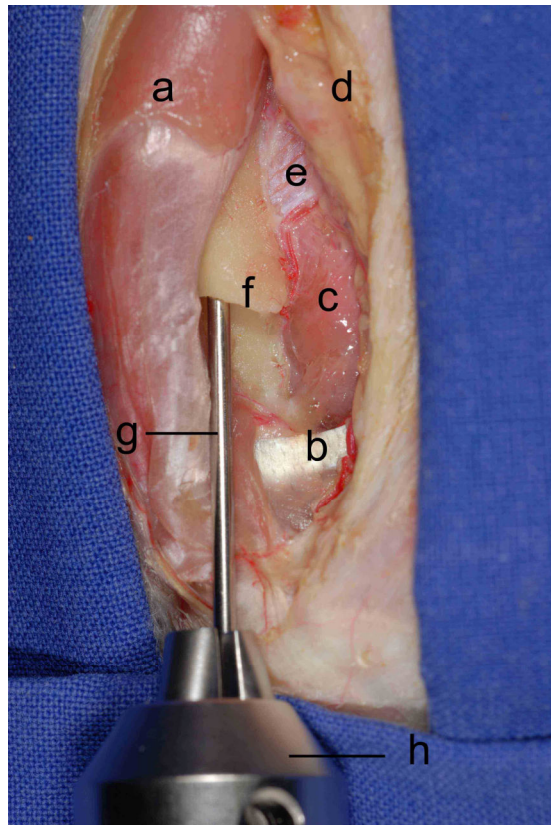


Abb. 74, Schritt 5: Retrograde Insertion des IM-Pins: a) *M. iliotibialis lateralis*, b) Retinaculum, c) *M. pubo-ischio-femoralis*, d) Fettgewebe, e) Ansatzfläche des *M. caudofemoralis*, f) Frakturspalt, g) IM-Pin, h) Handbohrfutter.



Abb. 75, Schritt 6: ESF IM-Pin „tie-in“ mit darunterliegender Hautnaht.

4.1.2 Chronologische Darstellung der Frakturversorgung des linken Tibiotarsus eines Mäusebussards (*Buteo buteo*) mittels ESF IM-Pin „tie-in“



Abb. 76, Schritt 1: Vorbereitung des OP-Feldes, medial gerupfter linker Unterschenkel.

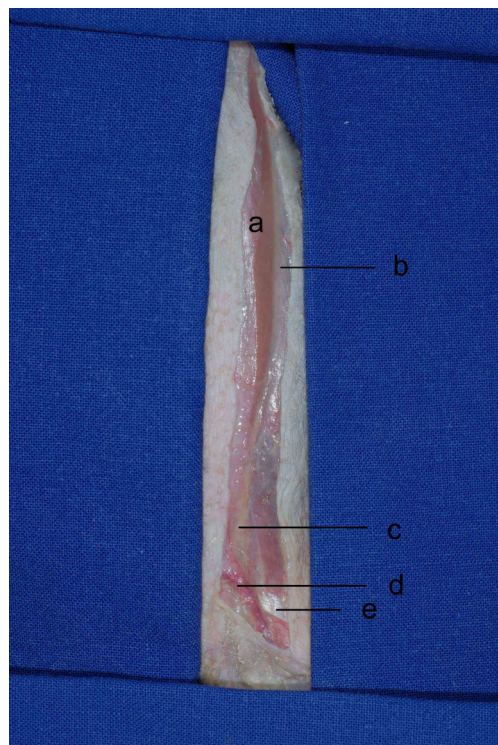


Abb. 77, Schritt 2: Hautschnitt I: a) *M. gastrocnemius*, b) *M. tibialis cranialis*, c) Knochen, d) mediale Metatarsalvene, e) Retinaculum.

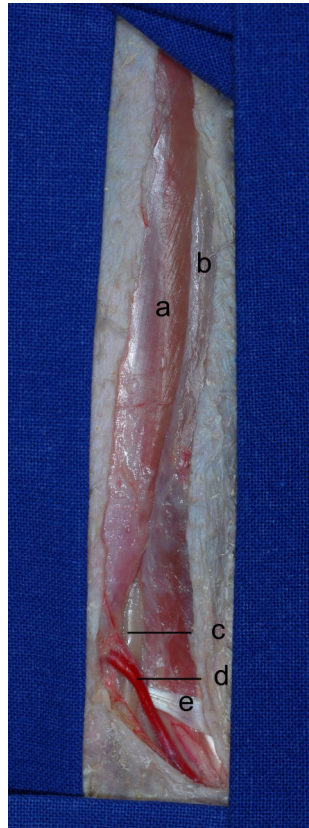


Abb. 78, Schritt 3: Hautschnitt II: Beschriftung siehe Abb. 77.

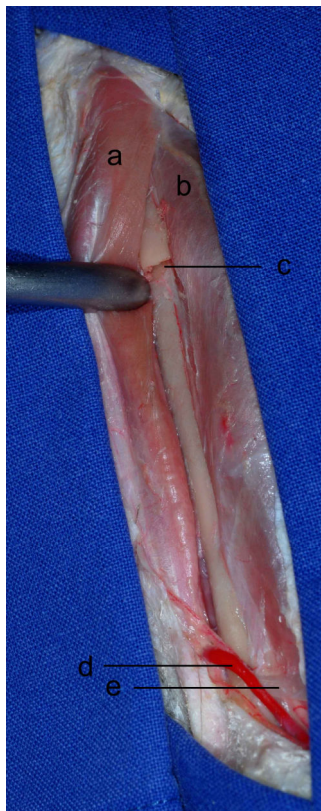


Abb. 79, Schritt 4: Sicht auf Fraktur: a) *M. gastrocnemius*, b) *M. tibialis cranialis*, c) Frakturspalt, d) mediale Metatarsalvene, e) Retinaculum.

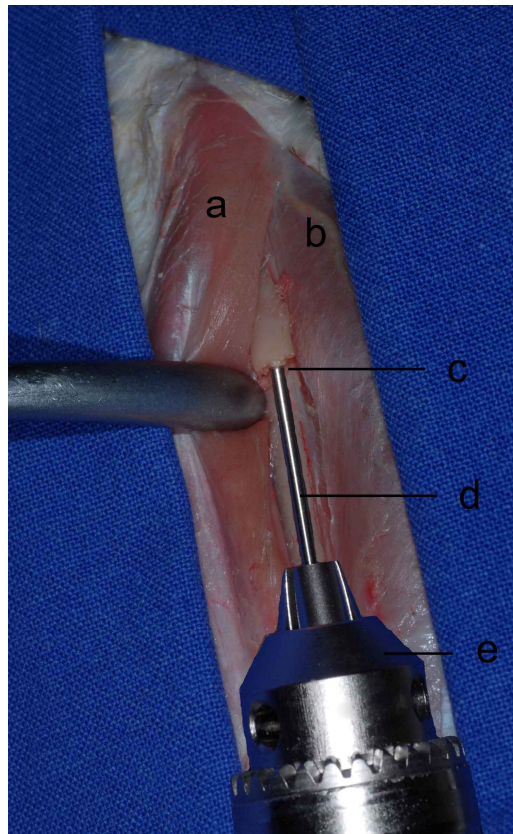


Abb. 80, Schritt 5: Retrograde Insertion des IM-Pins: a) *M. gastrocnemius*, b) *M. tibialis cranialis*, c) Frakturspalt, d) IM-Pin, e) Handbohrfutter.



Abb. 81, Schritt 6: ESF IM-Pin „tie-in“, lateral am linken Tibiotarsus.

4.1.3 Chronologische Darstellung der Frakturversorgung des rechten Tarsometatarsus eines Mäusebussards (*Buteo buteo*) mittels Fixateur externe Typ II

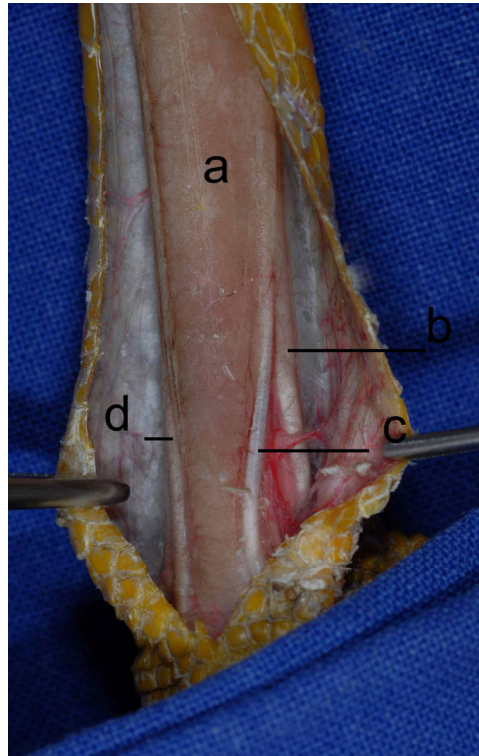


Abb. 82, Schritt 1: Hautschnitt: a) Knochen, b) Sehnen der Zehenstrecker, d) Sehnen der Zehenbeuger.



Abb. 83, Schritt 2: Fixateur externe Typ II.

4.2 Silikonplastinate

An den einzelnen angefertigten Silikonplastinaten sind der Verlauf der medialen Metatarsalvene, die verschiedenen Knochenzugänge sowie der Sitz des ESF IM-Pin „tie-ins“ dargestellt.



Abb. 84: Links: Präparation des distalen Tibiotarsus und des proximalen Tarsometatarsus zur Darstellung der medialen Metatarsalvene; rechte Beckengliedmaße, Mäusebussard (*Buteo buteo*), mediale Ansicht. Rechts: Präparation des chirurgischen Knochenzugangs des Femurs; linke Beckengliedmaße, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.



Abb. 85: Darstellung der medialen Metatarsalvene; rechte Beckengliedmaße, Mäusebussard (*Buteo buteo*), mediale Ansicht.



Abb. 86: Chirurgischer Zugang; linker Femur, Mäusebussard (*Buteo buteo*), laterale Ansicht.

4.3 Scheibenplastinate

Erst im Laufe dieser Studie stellte sich heraus, daß vorliegende Erfahrungswerte von Säugetieren bezüglich der Dauer der einzelnen Vorgänge zur Herstellung von Scheibenplastinaten nicht auf den Vogel bzw. Präparate des Vogels übertragbar sind. Insbesondere der Entfettungsvorgang der langen Röhrenknochen stellt sich, auch bei aufgesägten Knochen, als sehr zeitintensiv dar. Die Dauer des Entwässerungsvorganges ist im Vergleich zum Säugetier ebenfalls erheblich verlängert. Daher verlängert sich die Herstellung der Plastinate auf unbestimmte Zeit.

Eine Erklärung für dieses Phänomen wurde bislang nicht gefunden, es ist jedoch anzunehmen, daß die Zusammensetzung des Fettes beim Vogel Unterschiede im Vergleich zum Säuger birgt und das Aceton deswegen nicht so wirkungsstark ist, auch, wenn es regelmäßig ausgetauscht und in der höchsten Konzentration von 99,9 % eingesetzt wird.

4.4 Knochenmodelle

4.4.1 Chronologische Darstellung der Frakturversorgung der langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße mittels ESF IM-Pin „tie-in“ am Beispiel des Femurs

Anhand des rechten Femurs eines Mäusebussards (*Buteo buteo*) werden die Einzelschritte von der mit einer Säge gesetzten „Fraktur“ bis zum vollendeten ESF IM-Pin „tie-in“ dargestellt. Es handelt sich dabei um die fotografische Umsetzung des bereits in Kapitel 3.2.2 zeichnerisch dargestellten Vorgehens.

4.4.1.1 Schritt 1 - Setzen des IM-Pins

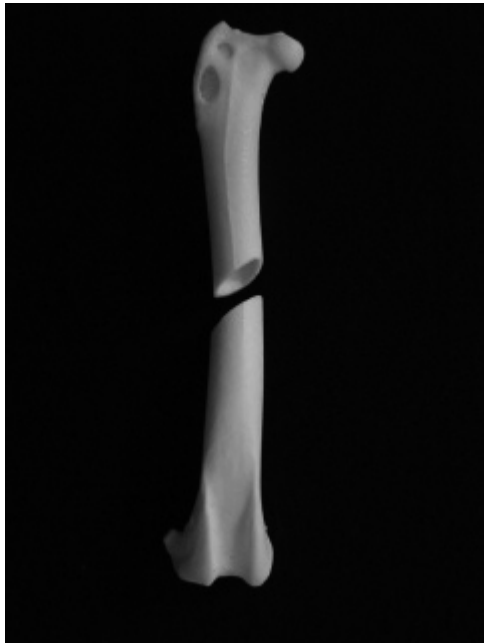


Abb. 87: Imitation einer Femurfraktur.



Abb. 88: Retrograde Insertion des IM-Pins.



Abb. 89: Durchstoßen der proximalen Kortikalis mit dem IM-Pin.



Abb. 90: Umsetzen des Handbohrfutters und normogrades Einbringen des IM-Pins unter Auffädung des distalen Fragmentes.

4.4.1.2 Schritt 2 - Setzen des distalen ESF-Pins



Abb. 91: Aufsuchen der Insertionsstelle an der lateralen Kondyle.



Abb. 92: Setzen des ESF-Pins senkrecht zur Knochenachse.

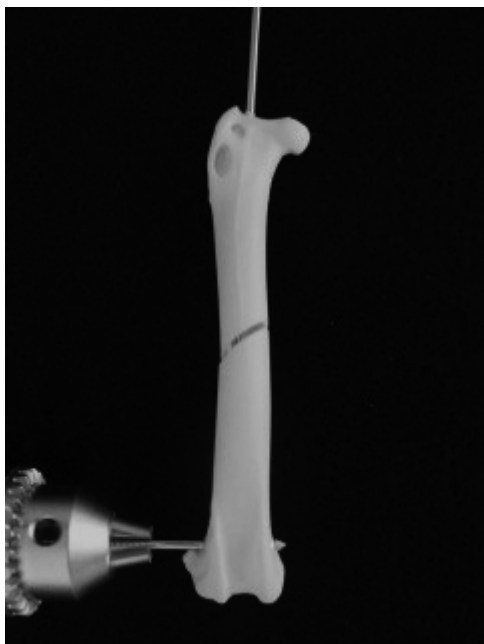


Abb. 93: Durchstoßen der medialen Kortikalis an der medialen Kondyle.



Abb. 94: Inserierter distaler ESF-Pin; zwei volle Windungen schauen aus der medialen Kortikalis.

4.4.1.3 Schritt 3 - Setzen des proximalen ESF-Pins

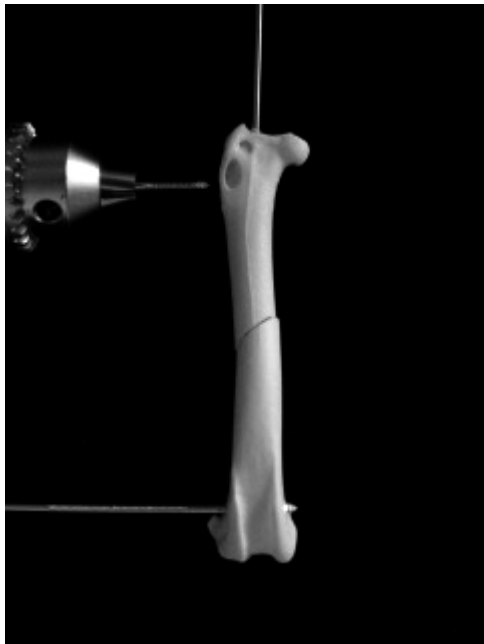


Abb. 95: Aufsuchen der Insertionsstelle distal des Trochanters.



Abb. 96: Setzen des ESF-Pins senkrecht zur Knochenachse und parallel zum distalen ESF-Pin.

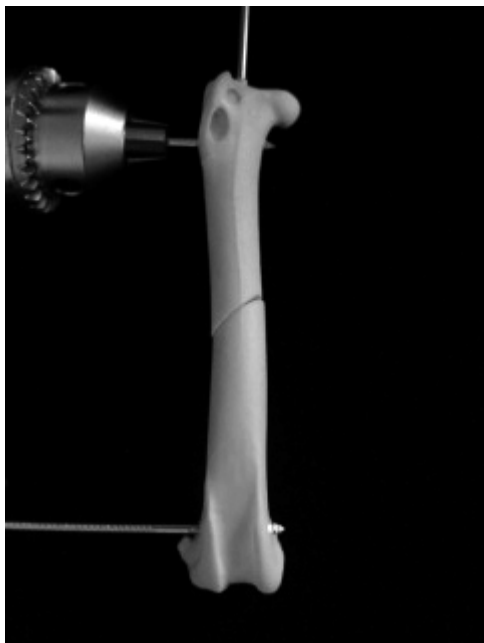


Abb. 97: Durchstoßen der medialen Kortikalis distal des Femurhalses.

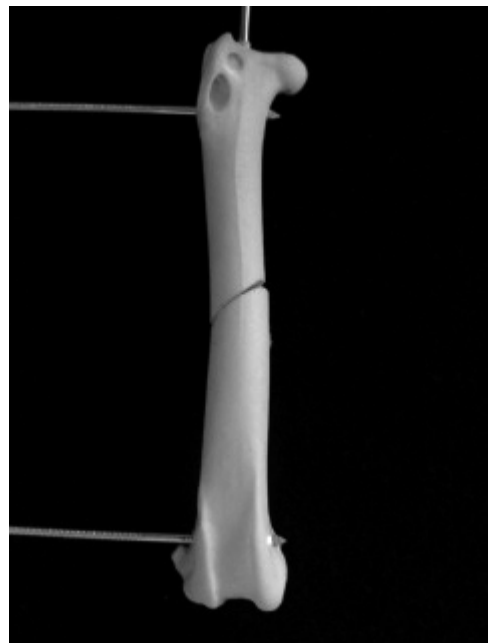


Abb. 98: Inserierter proximaler ESF-Pin. Zwei volle Windungen schauen aus der medialen Kortikalis.

4.4.1.4 Schritt 4 - Biegen des IM-Pins und Aufstecken des Penrosedrains (Latexschlauch) für die Verbindungsschiene

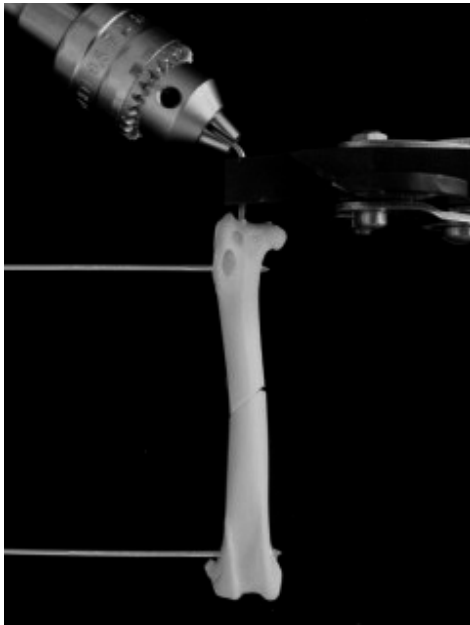


Abb. 99: Ansetzen von Handbohrfutter und Drahtbiegezange zum Biegen des IM-Pins um 90°.

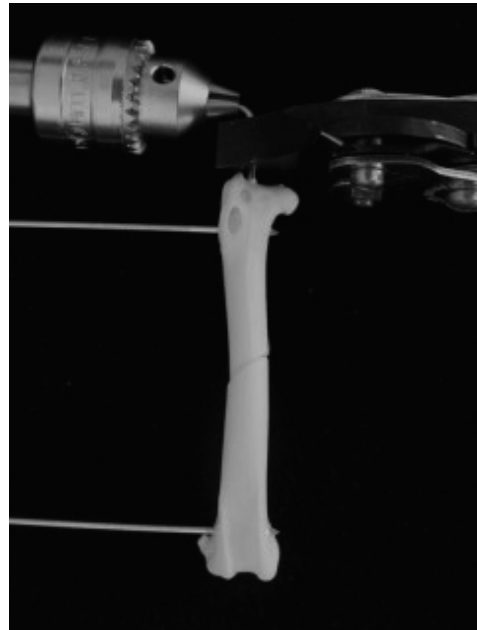


Abb. 100: Vollenden des Biegevorgangs.

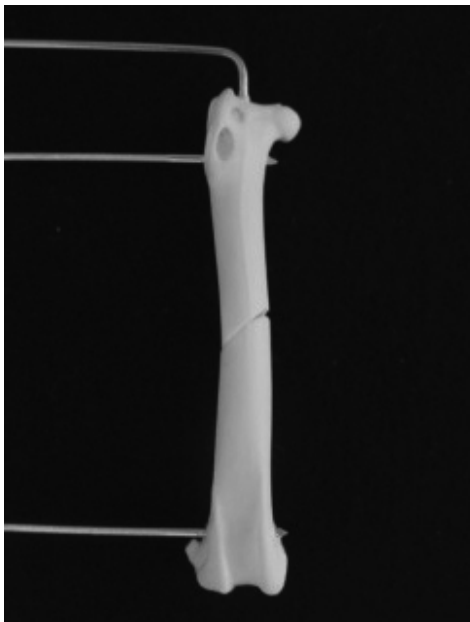


Abb. 101: Parallel aus dem Knochen herausstehende Pins.

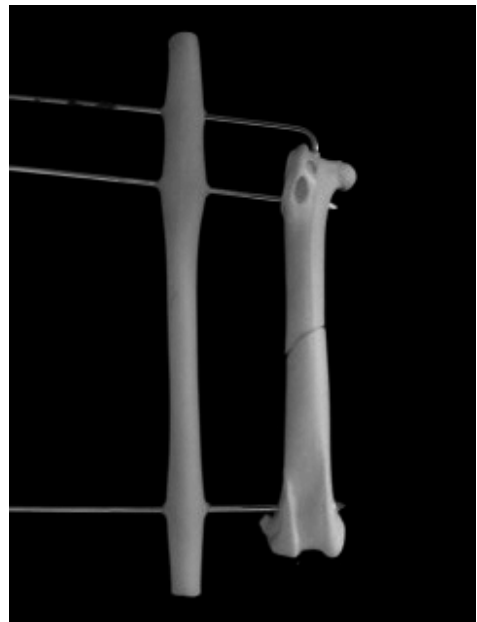


Abb. 102: Aufstecken des Penrosedrains für das Anfertigen der Verbindungsschiene.

4.4.1.5 Schritt 5 - Anbringen der Verbindungsschiene

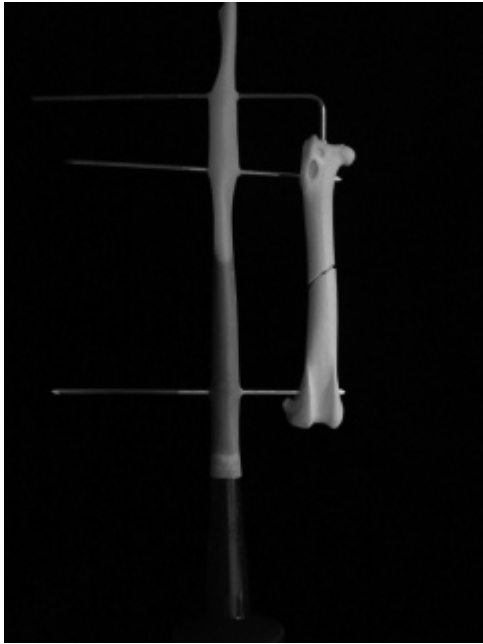


Abb. 103: Injektion des TechnoVits® in den Penrosedrain.

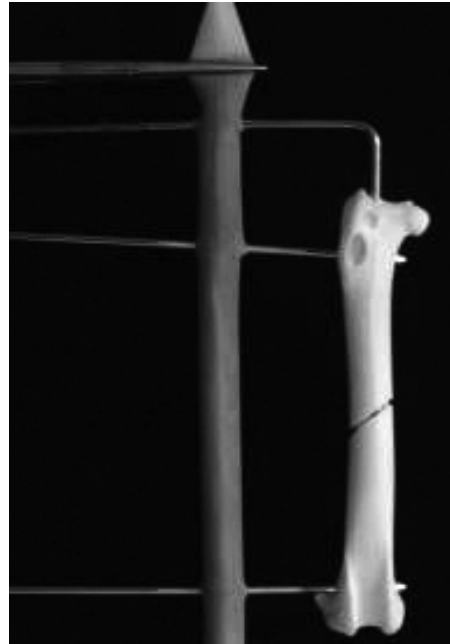


Abb. 104: Setzen der ersten Klemme am Ende des Penrosedrains.

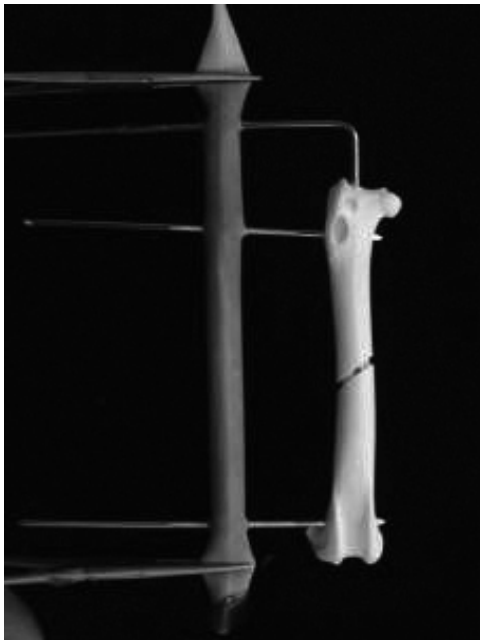


Abb. 105: Setzen der zweiten Klemme.



Abb. 106: Kürzen der ESF-Pins.

4.4.1.6 Schritt 6 - Anlegen eines Verbandes um die Verbindungsschiene

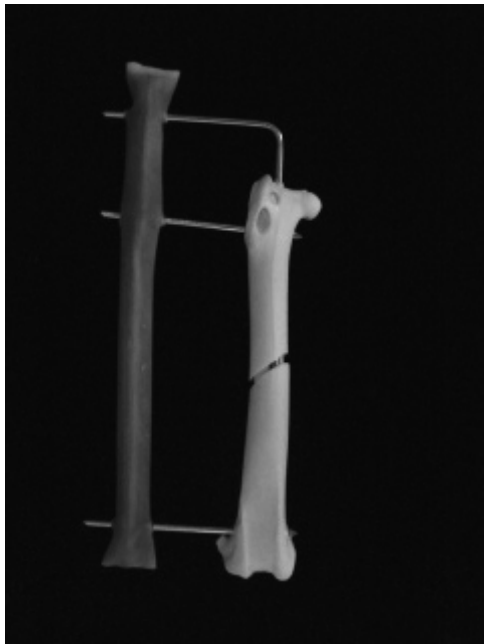


Abb. 107: Fertiggestellte Verriegelungsnagelung.

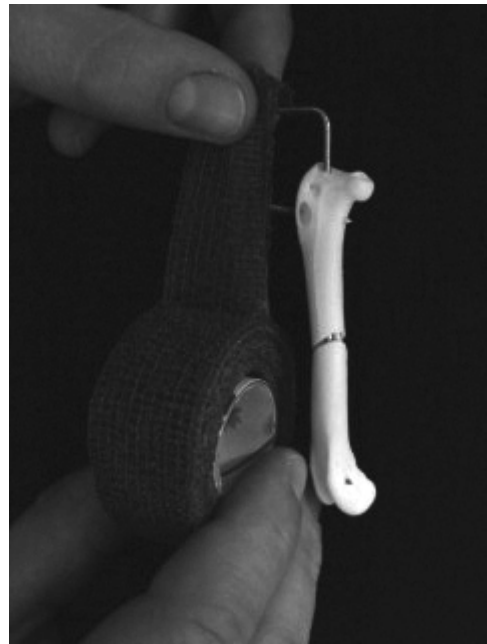


Abb. 108: Anlegen des Verbandes um die Schiene (1).

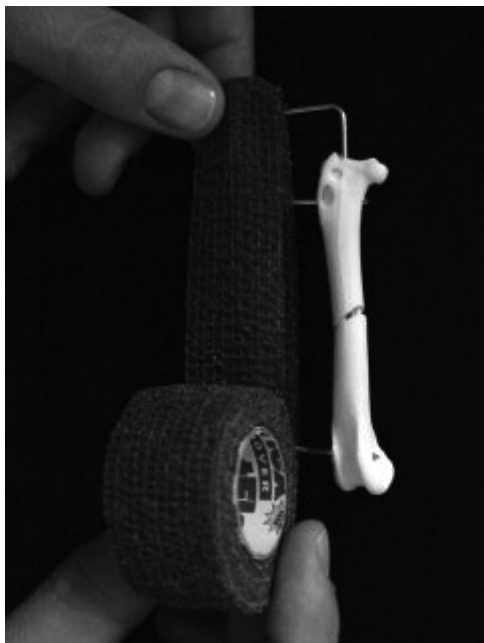


Abb. 109: Anlegen des Verbandes um die Schiene (2).

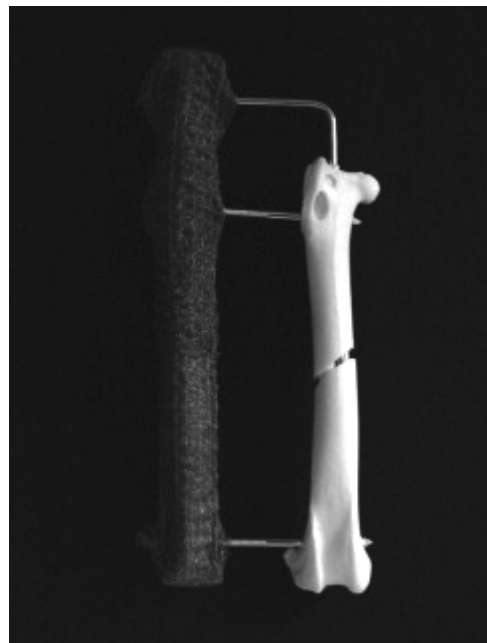


Abb. 110: Zum Schutz vor Verletzungen verbundene Verbindungsschiene.

4.4.2 Darstellung des ESF IM-Pin „tie-ins“ am Knochenmodell

4.4.2.1 Darstellung des ESF IM-Pin „tie-ins“ an den langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße eines Kongo- Graupapageien (*Psittacus erithacus*)



Abb. 111: ESF IM-Pin „tie-in“, linker Femur.



Abb. 112: ESF IM-Pin „tie-in“, rechter Tibiotarsus.

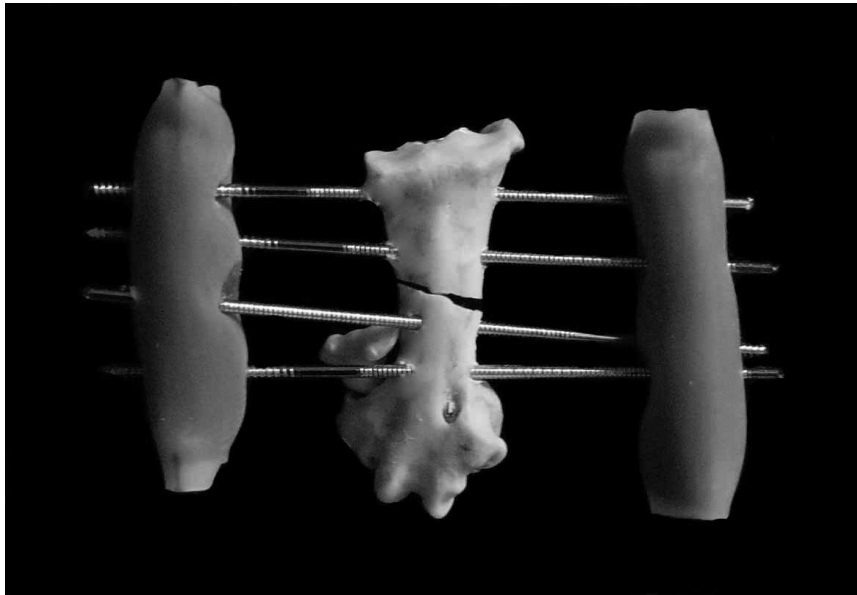


Abb. 113: ESF IM-Pin „tie-in“, linker Tarsometatarsus.

4.4.2.2 Darstellung des ESF IM-Pin „tie-ins“ an den langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße eines Mäusebussards (*Buteo buteo*)

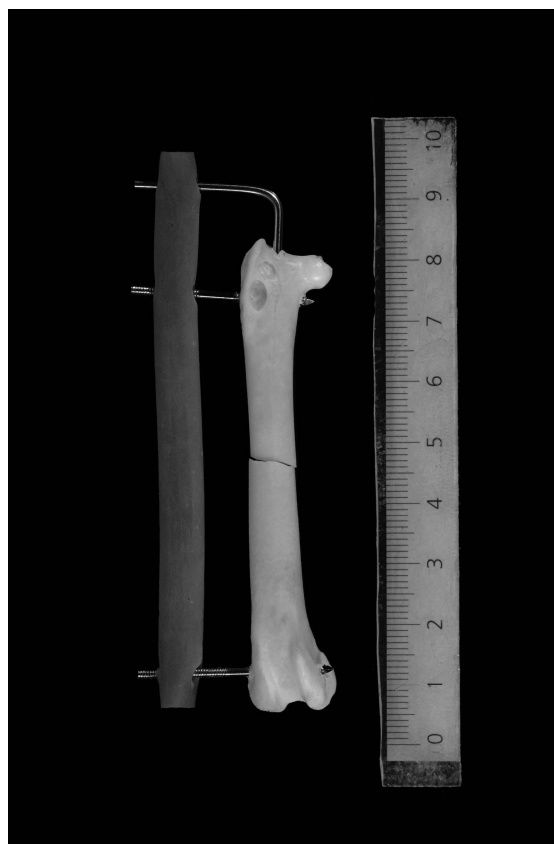


Abb. 114: ESF IM-Pin „tie-in“, rechter Femur.



Abb. 115: Links: ESF IM-Pin „tie-in“, rechter Tibiotarsus. Rechts: Verlauf der Schiene, laterale Ansicht.

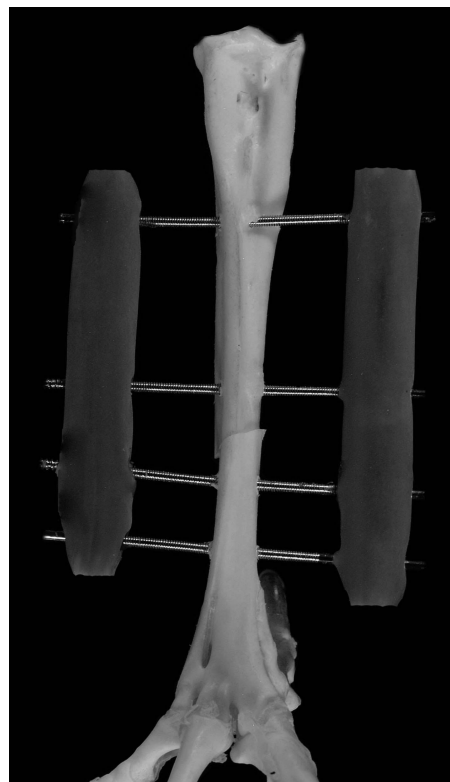


Abb. 116: ESF IM-Pin „tie-in“, rechter Tarsometatarsus.

4.4.3 Häufigkeit von Frakturen und deren Versorgung im Jahre 2006 in der Klinik für Vögel, Oberschleißheim bei München

Um das Vorkommen von Frakturen bei Vögeln zu analysieren, wurde der Patientenbestand des Jahres 2006 an der Klinik für Vögel, Oberschleißheim, ausgewertet. Dabei wurden nur Patienten berücksichtigt, die eine für die Anwendung eines ESF IM-Pin „tie-ins“ ausreichende Größe besaßen. In die Statistik wurden Wildvögel (Mäusebussarde (*Buteo buteo*), Sperber (*Accipiter nisus*), Habichte (*Accipiter gentilis*), Turmfalken (*Falco tinnunculus*), Waldohreulen (*Asio otus*), Waldkauze (*Strix aluco*), Rabenkrähen (*Corvus corone corone*) und Höckerschwäne (*Cygnus olor*)), Ziervögel (Aras: *Ara chloroptera* (dunkelroter / hellroter Ara), *Ara ararauna* (Gelbbrustara)), Amazonen (*Amazona sp.*), Graupapageien (*Psittacus erithacus*) und Kakadus (*Cacatua sp.*) und falknerisch gehaltene Vögel (Mäuse- und Wüstenbussarde (*Buteo sp.*), Wander- (*Falco peregrinus*) und Gerfalken (*Falco rusticolus*), sowie Steinadler (*Aquila chrysaetos*)) einbezogen und später einzeln ausgewertet.

Insgesamt wurden im Jahr 2006 54 Tiere der o. g. Spezies in der Klinik für Vögel, Oberschleißheim, mit Frakturen vorgestellt. Dabei handelte es sich um 37 Wildvögel, elf Ziervögel und sechs falknerisch gehaltene Vögel (siehe Tabelle 3).

Patienten mit Frakturen	Wildvögel	Ziervögel	Falknerisch gehaltene Vögel
54	37	11	6

Tabelle 3: Vorkommen von Frakturen bei o. g. Spezies an der Klinik für Vögel, Oberschleißheim, 2006.

28 Patienten wiesen Frakturen der Schultergliedmaße auf, 23 Patienten hatten Frakturen an der Beckengliedmaße und drei Patienten erlitten Frakturen beider Gliedmaßen (siehe Tabelle 4).

Bei den Frakturen der Beckengliedmaße handelte es sich in drei Fällen um Femurfrakturen, bei 14 Patienten waren es Frakturen des Tibiotarsus. Frakturen des Tarsometatarsus konnten fünf Mal diagnostiziert werden (siehe Tabelle 5). Bei Ziervögeln handelte es sich ausschließlich um Frakturen des Tibiotarsus.

Von den genannten Patienten, die mit Frakturen vorgestellt wurden, konnten insgesamt 16 Vögel wieder ausgewildert bzw. an den Besitzer abgegeben werden, 34 Vögel, bei denen es

sich ausschließlich um Wildvögel handelte, wurden euthanasiert, ein Ziervogelpatient starb aufgrund multipler Verletzungen (siehe Tabelle 6).

Fraktur	Gesamt	Wildvögel	Ziervögel	Falknerisch gehaltene Vögel
Frakturen gesamt	54	37	11	6
Frakturen der Schultergliedmaße	28	22	4	2
Frakturen der Beckengliedmaße	23	12	7	4
Frakturen Schulter- und Beckengliedmaße	3	3	0	0

Tabelle 4: Übersicht der Patienten mit Frakturen an der Klinik für Vögel, Oberschleißheim, bei im Text genannten Spezies des Jahres 2006.

Frakturen der Beckengliedmaße	Gesamt	Wildvögel	Ziervögel	Falknerisch gehaltene Vögel
Gesamt	22	13	7	2
Femur	3	3	0	0
Tibiotarsus	14	5	7	2
Tarsometatarsus	5	5	0	0

Tabelle 5: Übersicht der Frakturen der Hintergliedmaße. Die Zahlen entsprechen nicht unbedingt Tabelle 3, da die Frakturen der Beckengliedmaße bei unter „Frakturen der Schulter- und Beckengliedmaße“ (siehe Tabelle 3) aufgelisteten Tieren ebenfalls ausgewertet wurden.

Ergebnis	Gesamt	Wildvögel	Ziervögel	Falknerisch gehaltene Vögel
Vögel insgesamt	54	37	11	6
Abgabe/Auswilderung	18	3	9	6
Euthanasie	35	34	1	0
Gestorben	1	0	1	0

Tabelle 6: Übersicht über den Verbleib der Vögel bei im Text genannten Spezies des Jahres 2006.

Insgesamt wurden fünf der Frakturen mittels ESF IM-Pin „tie-in“ und neun Frakturen konservativ mit Schienen und Verbänden versorgt. Die Vordergliedmaße eines Ziervogels musste aufgrund massiver Gewebszerstörung amputiert werden (siehe Tabelle 7).

Versorgung	Gesamt	Wildvögel	Ziervögel	Falknerisch gehaltene Vögel
Vögel mit Frakturen insgesamt	54	37	11	6
ESF IM-Pin „tie-in“; Fixateur externe	5	0	4	1
konservativ	9	2	4	3
Amputation	1	0	1	0
Keine	3	1	1	2
Euthanasie	36	34	1	0

Tabelle 7: Unterschiedliche Versorgung der Frakturen.

Die Anwendung des ESF IM-Pin „tie-ins“ kam in erster Linie bei Ziervögeln zum Einsatz. Bei Wildvögeln wurde keine Osteosynthese durchgeführt. Bei den Frakturen, die mittels ESF IM-Pin „tie-in“ versorgt wurden, handelte es sich in zwei Fällen um Frakturen der Schulter- und in drei Fällen um Frakturen der Beckengliedmaße (siehe Tabelle 8). Grundsätzlich handelte es sich bei dem ESF IM-Pin „tie-in“ um eine Kombination aus Marknagelung und Fixateur externe Typ I (siehe Tabelle 9 d, e und f).

Osteosynthese	Gesamt	Wildvögel	Ziervögel	Falknerisch gehaltene Vögel
ESF IM-Pin „tie-in“ insgesamt	5	0	4	1
ESF IM-Pin „tie-in“ Vordergliedmaße	2	0	2	0
ESF IM-Pin „tie-in“ Beckengliedmaße	3	0	2	1

Tabelle 8: Anwendung des ESF IM-Pin „tie-ins“.

An der Beckengliedmaße kam der ESF IM-Pin „tie-in“ insgesamt drei Mal zum Einsatz. In allen drei Fällen handelte es sich um Frakturen des Tibiotarsus (siehe Tabelle 9 d, e und f).

Ferner wurde eine Übersicht aller Patienten o. g. Spezies, die in der Statistik berücksichtigt wurden, angefertigt. Dabei wurden im Einzelnen die frakturierten Gliedmaßen, die Spezies, der frakturierte Knochen, Lokalisation und Art der Fraktur, Ätiologie, Versorgung und Erfolg notiert. Für Wild-, Zier- und falknerisch gehaltene Vögel wurden jeweils getrennte Tabellen angefertigt (siehe Tabelle 9 a-f).

Gliedmaße	Spezies	Knochen	Lokalisation und Art der Fraktur	Ätiologie	Versorgung	Ergebnis
Schultergliedmaße	Höckerschwan	rechter Humerus	Offen	Unbekannt	Keine	T 61
	Höckerschwan	rechter Humerus	distal, offen	unbekannt	keine	T 61
	Mäusebussard	linke Ulna	distal, 2-fach frakturiert, mit Gelenksbeteiligung	Verdacht auf Schussverletzung	keine	T 61
	Mäusebussard	linker Radius und Ulna	offen	Verdacht auf Fahrzeugkollision	keine	T 61
	Mäusebussard	Ellenbogengelenk	offen	unbekannt	keine	T 61
	Rabenkrähe	linker Radius und Ulna	Radius: einfache Schrägfraktur, Ulna: doppelte Schrägfraktur	unbekannt	keine	T 61
	Rabenkrähe	linker Humerus	Splitterfraktur	unbekannt	keine	T 61
	Rabenkrähe	rechter Humerus	alte Fraktur	unbekannt	keine	T 61
	Rabenkrähe	linker Humerus	keine Angaben	unbekannt	keine	T 61
	Sperber	rechter Radius und Ulna	Splitterfraktur, offen	Unbekannt	Keine	T 61
	Sperber	rechter Radius und Ulna	offen, mit Beteiligung des Karpalgelenkes	unbekannt	keine	T 61
	Sperber	linkes Coracoid	keine Angaben	unbekannt	Körperverband	ausgewild.
	Sperber	linker Metakarpus II und III	Trümmerfraktur, Knochen nekrotisch	unbekannt	keine	T 61

Tabelle 9 a: Vorkommen von Frakturen bei Wildvögeln und deren Versorgung in der Klinik für Vögel, Oberschleißheim, 2006.

Gliedmaße	Spezies	Knochen	Lokalisation und Art der Fraktur	Ätiologie	Versorgung	Ergebnis
Schultergliedmaße	Sperber	linker Metakarpus	offen	unbekannt	keine	T 61
	Sperber	Ulna	mit Beteiligung des Karpalgelenkes	unbekannt	keine	T 61
	Sperber	rechter Humerus	offen, alt	unbekannt	keine	T 61
	Sperber	linker Humerus	offen	unbekannt	keine	T 61
	Turmfalke	rechtes Coracoid	keine Angaben	unbekannt	keine	T 61
	Turmfalke	rechte Ulna	gelenksnah	unbekannt	keine	T 61
	Turmfalke	linke Schulter	gelenksnah	unbekannt	keine	T 61
	Waldkauz	linker Humerus	offen, alt	unbekannt	keine	T 61
	Waldohreule	rechter Humerus	gelenksnah	Flughafen	keine	T 61
Beckengliedmaße	Habicht	linker Tarsometatarsus	keine Angaben	unbekannt	keine	ausgewild.
	Höckerschwan	rechter Femur, rechtes Becken	keine Angaben	unbekannt	keine	T 61
	Höckerschwan	linkes Becken	keine Angaben	Unbekannt	Keine	T 61
	Mäusebussard	Tibiotarsus	distal	unbekannt	keine	T 61
	Mäusebussard	Becken, Femurkopf	keine Angaben	unbekannt	keine	T 61
	Mäusebussard	linker Tibiotarsus	keine Angaben	unbekannt	keine	T 61
	Mäusebussard	linker und rechter Tibiotarsus	Splitterfraktur, offen	unbekannt	keine	T 61

Tabelle 9 b: Vorkommen von Frakturen bei Wildvögeln und deren Versorgung in der Klinik für Vögel, Oberschleißheim, 2006, Fortsetzung I.

Gliedmaße	Spezies	Knochen	Lokalisation und Art der Fraktur	Ätiologie	Versorgung	Ergebnis
Beckengliedmaße	Rabenkrähe	rechter Tarsometatarsus	keine Angaben	Rachitis	keine	T 61
	Rabenkrähe	rechter Tarsometatarsus	Grünholzfraktur	Nährstoffmangel	Splintverband	Abgabe an Finder
	Rabenkrähe	linker Femur	Trümmerfraktur, nahe Kniegelenk	unbekannt	keine	T 61
	Rabenkrähe	rechter Tarsometatarsus	distal, offen, alt, gelenksnah	Jungvogel => Verdacht auf Nährstoffmangel	keine	T 61
	Rabenkrähe	rechter Tibiotarsus	Schrägfraktur, offen	Jungvogel => Verdacht auf Nährstoffmangel	keine	T 61
Schulter- und Beckengliedmaße	Mäusebussard	rechter Radius und Ulna, rechter Tarsometatarsus	mit Beteiligung des Karpalgelenkes, offen, m. Beteiligung des Tarsalgelenkes	unbekannt	keine	T 61
	Rabenkrähe	rechter Humerus, rechter Tibiotarsus, Becken	keine Angaben	unbekannt	keine	T 61
	Sperber	linke Ulna, rechtes Becken	distales Drittel	unbekannt	keine	T 61

Tabelle 9 c: Vorkommen von Frakturen bei Wildvögeln und deren Versorgung in der Klinik für Vögel, Oberschleißheim, 2006, Fortsetzung II.

Gliedmaße	Spezies	Knochen	Lokalisation und Art der Fraktur	Ätiologie	Versorgung	Ergebnis
Schultergliedmaße	Dunkelroter Ara	Humerus	keine Angaben	Unbekannt	ESF IM-Pin „tie-in“; Fixateur externe Typ I	Abgabe an Besitzer
	Gelbbrustara	linker Humerus	Trümmerfraktur	Tumen im Käfig	ESF IM-Pin „tie-in“; Fixateur externe Typ I (externer Tierarzt)	Abgabe an Besitzer
	Hellroter Ara	rechter Humerus	offen	unbekannt	Wiederherstellung nicht möglich; Amputation	Abgabe an Besitzer
	Inkakakadu	linker karpometakarpus	Trümmerfraktur	Angriff durch Partnervogel	Splintverband	Abgabe an Besitzer

Tabelle 9 d: Vorkommen von Frakturen bei Ziervögeln und deren Versorgung in der Klinik für Vögel, Oberschleisheim, 2006.

Gliedmaße	Spezies	Knochen	Lokalisation und Art der Fraktur	Ätiologie	Versorgung	Ergebnis
Beckengliedmaße	Blaustirnamazone	rechter und linker Tibiotarsus	rechts: proximal, alt; links: Trümmerfraktur, alt, verwachsen	Unbekannt	Keine	T61
	Gelbwangenamazone	linker Tibiotarsus	alt	unbekannt	keine	Abgabe an Besitzer
	Gelbstirnamazone	linker Tibiotarsus	keine Angaben	unbekannt	keine	Abgabe an Besitzer
	Kongo-Graupapagei	linker Tibiotarsus	distal	Hängen bleiben in Wohnung	Verband (Scotchcast)	gestorben
	Orangenhäubenkakadu	Tibiotarsus	distal, offen	Angriff durch Partnervogel	Verriegelungsnagelg.; Fixateur externe Typ I	Abgabe an Besitzer
	Venezuela-Amazone	linker Tibiotarsus	glatte Schafffraktur mit Absplittierung	unbekannt	Schienenverband	Abgabe an Besitzer
	Venezuela-Amazone	rechter Tibiotarsus	keine Angaben	unbekannt	Verriegelungsnagelg.; Fixateur externe Typ I	Abgabe an Besitzer

Tabelle 9 e: Vorkommen von Frakturen bei Ziervögeln und deren Versorgung in der Klinik für Vögel, Oberschleißheim, 2006.

Gliedmaße	Spezies	Knochen	Lokalisation und Art der Fraktur	Ätiologie	Versorgung	Ergebnis
Schultergliedmaße	Mäusebussard	rechtes Ellenbogengelenk	keine Angaben	Verdacht auf Schussverletzung	keine (Wechsel zu kurativer Praxis aus Kostengründen)	unbekannt
	Steinadler	rechte und linke Ulna	beidseits Querfraktur im Schaft, mittig	Verletzung in Voliere	Verband	Abgabe an Besitzer
Beckengliedmaße	Gerfalke	rechter Tibiotarsus	Querfraktur im Schaft	Jungvogel, aus dem Nest gefallen	Verband	Abgabe an Besitzer
	Wanderfalke	Os Metatarsale	Fissur, offen, alt	unbekannt	Verband	Abgabe an Besitzer
	Wüstenbussard	linkes Os Digitale I	keine Angaben	unbekannt	keine	Abgabe an Besitzer
	Wüstenbussard	linker Tibiotarsus	keine Angaben	Jungvogel, erstmals mit Geschüh	Verriegelungsna- gelung; Fixateur externe Typ I	Abgabe an Besitzer

Tabelle 9 f: Vorkommen von Frakturen bei falknerisch gehaltenen Vögeln und deren Versorgung in der Klinik für Vögel, Oberschleißheim, 2006.

5 DISKUSSION

5.1 Allgemeines

Die stetige Zunahme von Ziervögeln in menschlicher Obhut sowie ein zunehmendes Verantwortungsbewusstsein der Bürger gegenüber verletzten Wildvögeln verlangt dem Tierarzt ein entsprechendes Fachwissen ab. Hinzukommen ein erhöhtes Interesse des Finders und der Öffentlichkeit am Genesungsprozess und der Wiederauswilderung des Wildvogelpatienten (LIERZ et al. 2005). Nachdem bereits in anderen Bereichen, wie der Klein- und Großtiermedizin, Frakturen mittels interner und externer Fixationstechniken oder deren Kombination erfolgreich behandelt wurden, war es nur eine Frage der Zeit und der Nachfrage, bis dieses auch der Vogelmedizin abverlangt wird.

Allerdings bedurfte es aufgrund anatomischer und „gewichtiger“ Unterschiede einiger Änderungen der Konstruktionen im Vergleich zu denen, die beim Haussäuger Anwendung finden. So musste das System von geringem Gewicht sein, dem Patienten Mobilität gewährleisten und die Heilung rasch und mit bestmöglichem Erfolg verlaufen. Bei einem Wildvogel muß die Fixation es zusätzlich ermöglichen, die Funktion der Gliedmaße vollständig wiederherzustellen, um die Auswilderung und das Überleben in freier Wildbahn zu sichern.

Auch die Kosten spielen eine nicht unerhebliche Rolle, da die Patientenbesitzer oftmals davon ausgehen, daß ein „kleines“ Tier weniger kostet als ein großes. Bezogen auf Wildvögel liegt es im eigenen wirtschaftlichen Interesse, die Tiere professionell und kostengünstig zu versorgen.

5.2 Die Bedeutung der Funktion der Beckengliedmaße für den Vogel

Grundsätzlich ist anzumerken, daß hinsichtlich der Zier- und Wildvögel beträchtliche Unterschiede in der Wichtigkeit der einwandfreien Wiederherstellung der Gliedmaßenfunktion bestehen. Diese kann bei einem Wildvogel durchaus eine Entscheidung zwischen Leben und Tod bedeuten.

Für Ziervögel in menschlicher Obhut ist die vollständige Wiederherstellung der Funktion der Beckengliedmaßen nicht lebenswichtig, da die Gliedmaßen einen anderen Zweck erfüllen als z. B. die der Greifvögel. Papageienvögel benötigen die Hintergliedmaßen zum Stehen, Sitzen und Umherklettern sowie zur Nahrungsaufnahme, wie z. B. dem Knacken von Nüssen. Eine vollständige Wiederherstellung der Gliedmaßenfunktion zum Stehen und

Sitzen ist für diese Spezies nicht essentiell. Beim Klettern dient der Schnabel als zusätzliches Instrument, so daß auch hier eine vollständige Gliedmaßenfunktion nicht zwingend erforderlich ist. Das Knacken von Nüssen und die Darreichung der Nahrung kann vom Patientenbesitzer durchgeführt werden, so daß die Nahrung „passgerecht“ verabreicht werden kann und auch hier keine Probleme entstehen. Zusammenfassend läßt sich aus den genannten Punkten ableiten, daß eine vollständige Funktion der Beckengliedmaße zwar die Mobilität des Patienten erhöht, ein Ziervogel aber durchaus mit einer verkürzten oder fehlgestellten Gliedmaße zurechtkommt, wobei sicherlich das Ausmaß der Behinderung eine Rolle spielt. Was jedoch nicht in Vergessenheit geraten darf ist, daß es durch Fehlstellungen, Verkürzungen oder andere Deformationen der Hintergliedmaße zu Überbelastungsreaktionen der gesunden Gliedmaße kommen kann. Eine dementsprechend „behindertengerechte“ Käfigeinrichtung ist deswegen unabdingbar. Gepolsterte Sitzstangen und ein weicher Boden sollten, wie regelmäßige optische Kontrollen des gesunden Fußes auf Schwellungen, Rötungen, etc., zur Pflege eines „gehbehinderten“ Vogels selbstverständlich dazugehören.

Bei Greifvögeln spielt die vollständige Funktion der Beckengliedmaße hingegen eine viel bedeutendere Rolle. Ihre einwandfreie Funktion ist für ein Überleben in freier Wildbahn essentiell. Sie dient nicht nur dem Stehen, Sitzen sowie dem Festhalten und Transportieren des Erlegten, sondern auch zum Ergreifen der Beute und damit der Lebenserhaltung des Tieres. Die Dysfunktion einer Gliedmaße kann für den Wildvogel, insbesondere für den Greifvogel, fatale Folgen haben. Sind die Veränderungen der Gliedmaße so beträchtlich bzw. ist die Funktion derart eingeschränkt, daß der Vogel seine Beute nicht mehr jagen und erlegen kann, führt dieses über einen mehr oder weniger langen Zeitraum zum Hungertod des Tieres. Das einzige Ziel der Wildvogelbehandlung liegt deshalb darin, ihn wieder auszuwildern (HOWARD und REDIG 1993). Alternativ wäre an eine Volierenhaltung nach Verletzung nicht ausreichend „wiederhergestellter“ Greifvögel zu denken, jedoch ist diese Haltungsart bei Vögeln, die aus freier Wildbahn stammen, sehr kritisch zu beurteilen. Zum einen wären die Unterbringungsmöglichkeiten begrenzt und die Tiere würden irgendwann überhand nehmen, so daß gesunden Tieren, die auf ihre Auswilderung konditioniert werden sollen, kein Platz bleibt, zum anderen kann es zu Verhaltensanomalien und Automutilation kommen. Bei einem Wildvogel sollte aus diesen Gründen grundsätzlich vor einer Behandlung immer kritisch beurteilt werden, ob eine realistische Chance auf eine vollständige Wiederherstellung der Gliedmaßenfunktion und damit auf ein uneingeschränktes Leben in freier Wildbahn nach der Genesung besteht.

5.3 Auswahl der Spezies

Die Patientenauswahl fiel auf Greifvögel aus freier Wildbahn, da die uneingeschränkte Funktion der Beckengliedmaßen für diese Tiere überlebenswichtig ist und aus Kollisionen mit Kraftfahrzeugen resultierende Frakturen aufgrund des zunehmenden Autoverkehrs keine Seltenheit sind. Eine optimale, kostengünstige und schnelle Frakturversorgung gibt dem Tier die Chance zur erfolgreichen Wiederauswilderung und erspart der kurativen Praxis übermäßige Kosten.

Aufgrund ihres häufigen Vorkommens wurden für diese Studie in erster Linie Mäusebussarde (*Buteo buteo*) herangezogen. Sie eignen sich aufgrund ihrer Größe und einem Gewicht von ca. einem Kilogramm (REDIG, KORBEL und GRIMM 2000) gut zur Veranschaulichung der anatomischen Begebenheiten, sowie zur Darstellung der chirurgischen Zugänge und der Frakturversorgung. Auch ein falknerisch gehaltener junger Wanderfalke (*Falco peregrinus*) wurde für diese Studie herangezogen.

Mäusebussarde (*Buteo buteo*) werden aufgrund ihrer Verbreitung im Verhältnis zu anderen wildlebenden Greifvögeln häufig in der Praxis vorgestellt. Grund dafür sind vielfach Frakturen der Gliedmaßen, besonders bei Tieren, die im Winter an Straßen aufgelesen werden. Falknerisch gehaltene Vögel werden z. B. nach Verletzungen bei Flugübungen in die Praxis gebracht. Außerdem kommt den Zehen der Greifvögel eine besondere Funktion zu: So dient die erste Zehe, die auch als „Fangklaue“ bezeichnet wird, dem Ergreifen der Beute, während die zweite Zehe, die so genannte „Atzklaue“, die Beute während der Nahrungsaufnahme fixiert.

5.4 Möglichkeiten der Frakturversorgung

In der vorliegenden Studie werden verschiedene Techniken zur Frakturversorgung an den Knochen der Beckengliedmaße bei Vögeln beschrieben. Interne und externe Fixationsmöglichkeiten sowie deren Kombinationen werden erläutert. Ferner werden unterschiedliche Verbindungsschienen zur Adaption der Transkortikalpins vorgestellt.

Die Möglichkeiten, eine Fraktur zu versorgen, sind vielfältig. Zum Teil wird die Wahl einer bestimmten Methode durch den Knochen selbst und die Anatomie des Vogels bestimmt. Jedoch können auch die Kosten, die eigene Leistungsfähigkeit und die zur Verfügung stehende Ausrüstung über die bevorzugte Fixationsmethode entscheiden. In erster Linie ist die angewandte Methode jedoch abhängig von Art und Lage der Fraktur sowie von dem bzw. den betroffenen Knochen.

Die Wahl der Fixationsmethode basiert auf Typ und Lokalisation der Fraktur, der Größe und dem Alter des Tieres, der Anzahl involvierter bzw. verletzter Knochen und Gliedmaßen und der Schädigung des umliegenden Gewebes (DeYOUNG und PROBST 1993). Ferner muß das Allgemeinbefinden des Patienten, z. B. in Bezug auf ein erhöhtes Narkoserisiko durch Leber- oder Nierenerkrankungen, berücksichtigt werden. Kosten, chirurgische Erfahrung, und geschultes Personal sind weitere Aspekte, die bei der Frakturversorgung eine Rolle spielen.

Um eine Fraktur optimal versorgen zu können, müssen die Kräfte, die auf eine Fraktur wirken, neutralisiert werden. Den vier Grundkräften, die auf eine Fraktur wirken (siehe Kapitel 2.12), muß dabei optimal entgegengewirkt werden, um eine bestmögliche Stabilität der Fraktur und damit gute Heilungschancen zu erreichen.

Im Folgenden werden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Fixationstechniken sowie deren Kombinationen gegenübergestellt und deren mögliche Einsatzorte diskutiert.

5.4.1 Interne Fixation

Die Frakturversorgung mittels interner Fixation ist mit verhältnismäßig geringem Arbeits- und Zeitaufwand verbunden und kann daher in der Regel in jeder Praxis angewandt werden. Ferner stellt sie eine relativ kostengünstige Methode der Frakturversorgung dar. Jedoch ist die alleinige Stabilisation mittels intramedullärem Pin ungenügend, um gute Ergebnisse in der Frakturversorgung zu erzielen, so daß zusätzlich eine Fixation von extern erfolgen muß. Bei der internen Fixation werden lediglich Biegunskräfte antagonisiert. Kompressions-, Rotations- und Spannungskräfte wirken weiterhin auf die Fraktur und deren Fragmente ein. Eine für eine rasche und gute Heilung ausreichende Immobilisation der Fragmente wird durch diese Technik nicht erreicht.

Ferner ist zu berücksichtigen, daß der Durchmesser des Pins entscheidend für den Heilungserfolg ist. Wird dieser zu groß gewählt, kommt es zu Ischämie und Nekrosen. Ein zu geringer Durchmesser läßt den Fragmenten genug Spiel, zu rotieren. Es sollte daher nach Möglichkeit vorher ein Röntgenbild angefertigt werden, um anhand der Aufnahme die Größe des Pindurchmessers zu bestimmen. Dieser sollte etwas größer als der halbe Durchmesser der Markhöhle sein (REDIG, KORBEL und GRIMM 2000). Aber auch eine röntgenologische Absicherung ist keine Garantie für den Heilungserfolg, da die Form eines Knochens stets Unregelmäßigkeiten aufweist, die es unmöglich machen, den Pin optimal anzupassen.

Die Anwendung der Plattenosteosynthese kommt in der Vogelmedizin selten zum Einsatz. Neben der im Vergleich zum Säuger meist geringen Größe des Patienten und fehlender Materialien, ist diese Methode der Frakturversorgung mit relativ hohen Kosten verbunden.

Ein Heilungserfolg ist fraglich, da die Kortikalis der Vögel den Schrauben nicht den Halt einer Säugerkortikalis bietet, so daß ein Verrutschen oder ein Verlust der Platte nicht auszuschließen sind. Nachteilig ist ferner, daß eine zweite Operation für die Entnahme der Platte nötig ist. Während Wildvögel dadurch lange Zeit in menschlicher Obhut gehalten werden müssten, wäre eine Anwendung bei Vögeln mit durch Organkrankheiten erhöhtem Narkoserisiko kontraproduktiv.

Auf die Anwendung von Zerklagen sollte ganz verzichtet werden, da diese den Blutfluss erheblich einschränken und dadurch den Heilungserfolg in Frage stellen. Wenn das Implantat stört, ist auch hier eine zweite Operation unumgänglich.

Interne Fixationsmöglichkeiten mit Implantaten, wie z. B. dem „Shuttle-Pin“, sind für den Einsatz bei Wildvögeln ungeeignet, da das Implantat im Knochen verbleibt und dadurch das Gewicht und der Schwerpunkt des Vogels erhöht bzw. verändert sind. Spätere Komplikationen blieben unerkannt.

Genannte Komplikationen, die bei der Anwendung interner Fixationsmöglichkeiten auftreten, sind bei Wildvögeln aufgrund der Wiederauswilderbarkeit wesentlich kritischer zu beurteilen als bei Ziervögeln in menschlicher Obhut, deren Gliedmaßenfunktion nicht überlebenswichtig ist, da sie zum einen unter „Beobachtung“ stehen, falls spätere Komplikationen auftreten, und der Patientenbesitzer zum anderen „Hilfestellung“, wie z. B. angepasste Käfigeinrichtung, Zerkleinerung von Nahrung, etc., leisten kann.

Zu berücksichtigen ist, daß die interne Fixation nur bei einfachen Frakturen zur Anwendung kommen kann und bei komplizierten Fällen eine Kombination mit externer Fixation herangezogen werden muß.

5.4.2 Externe Fixation

Externe Fixationen bieten mehr Einsatzmöglichkeiten als interne Fixationen und eignen sich daher besonders zur Versorgung komplizierter und stark gesplitteter Frakturen. Externe Fixateure werden mit geringem Aufwand am Knochen befestigt und bieten mehr Stabilität als die alleinige interne Fixation mit Marknägeln. So wirkt ein externer Fixateur Rotations-, Kompressions- und Spannungskräften entgegen. Biegungskräfte werden allerdings nur in geringem Maße neutralisiert.

Im Gegensatz zu vielen internen Fixationsmethoden, wie z. B. Platten und Zerklagen, kann die Fixation durch einen Fixateur externe bei einfachen Frakturen am geschlossenen Knochen erfolgen. Dadurch werden die Operationszeit verkürzt und dem Vogel Schmerzen durch ein zusätzliches Trauma erspart. Je nachdem, welche Verbindungsschiene zum Einsatz kommt, z. B. eine TechnoVit[®]-Schiene, ist die Konstruktion relativ kostengünstig.

Eine externe Konstruktion erlaubt dem Tierarzt ferner, jederzeit den Sitz der Konstruktion zu beurteilen und anzupassen.

Die Wahl des Verbindungsstückes für die transkortikalen Pins fiel in dieser Studie auf eine Technovit®-Schiene aus Acrylharz. Ihre Flexibilität und ihr geringes Gewicht sind in der Vogelmedizin ein bedeutender Vorteil gegenüber Verbindungsschienen aus Metall, wie z. B. dem Kirschner-Ehmer-System. Einer Ausrichtung der Transkortikalpins in einer Linie, wie sie bei einer Metallschiene erforderlich ist, bedarf es beim Einsatz der Technovit®-Schiene nicht. Ihre Form kann individuell an die Lage der Pins angepaßt werden. Ferner ist die Konstruktion von geringem Gewicht, wodurch Fehlbelastungen und Gleichgewichtsstörungen reduziert und Mobilität und Wohlbefinden gesteigert werden.

Nachteilig sind bei der Verwendung einer Technovit®-Schiene die verlängerte Narkosedauer durch eine „just-in-time“ - Herstellung der Verbindungsschiene und der erhöhte Personalaufwand bei der Aushärtung der Schiene.

Zwar wird der Fixateur externe in der Regel gut toleriert, jedoch sind manche Vögel durch die Apparatur verstört und neigen dazu, die Konstruktion zu zerstören. Daher sollte vor der Wahl der Fixationsmethode abgeklärt werden, ob das Tier hektisch oder nervös ist und ggf. eine interne Fixation bevorzugt werden, um Stressfaktoren zu verringern.

Bei externen Fixationsmaßnahmen sollte stets die Käfigeinrichtung angepaßt werden, damit sich der Patient nicht zusätzlich, z. B. durch Hängen bleiben an Käfiggegenständen, verletzt.

5.4.3 Kombinationen aus interner und externer Fixation

Hohe Stabilität sowie sehr gute Heilungschancen werden durch die Versorgung einer Fraktur mittels ESF IM-Pin „tie-in“ erzielt. Sie vereint die positiven Eigenschaften der internen und externen Fixation (siehe Kapitel 5.4.1 und 5.4.2) und wirkt allen Frakturkräften optimal entgegen.

Der Einsatzbereich der Verriegelungsnagelung ist vielfältig und reicht von einfachen Frakturen bis hin zu komplizierten Splitter- und Trümmerfrakturen. Lediglich die Versorgung des Tarsometatarsus mittels ESF IM-Pin „tie-in“ wird durch anatomische Gegebenheiten unterbunden.

Um Flexibilität zu gewährleisten und das Gewicht der Konstruktion zu verringern, wird auch hier der Einsatz einer Technovit®-Schiene präferiert. Die schrittweise Entnahme der Elemente bewirkt eine schonende Funktionsrückkehr der Gliedmaße.

5.5 Chronologische Darstellung der Frakturversorgung der langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße mittels ESF IM-Pin „tie-in“ am Beispiel des Femurs

Die fotografisch festgehaltene chronologische Darstellung der chirurgischen Zugänge veranschaulicht dem Operateur die Vorgehensweise bei der Freilegung eines frakturierten Knochens in Einzelschritten und dient somit als Leitfaden für die Frakturversorgung in der Vogelmedizin.

Der Operateur erhält einen Einblick in die anatomischen Lage- und Größenverhältnisse, den Verlauf von Nerven und Gefäßen, sowie in die Lage der einzelnen, im Literaturteil beschriebenen, Muskeln. Um das Verletzungsrisiko von Gefäßen zu verdeutlichen, wurden diese vor der Fotodokumentation durch Injektion mit rotem Kunststoff besonders hervorgehoben.

Die Einzelschritte vom Setzen eines intramedullären Pins bis zum vollendeten ESF IM-Pin „tie-in“ wurden anhand von Zeichnungen veranschaulicht, da ein naturgetreues Modell keinen ausreichenden Einblick ermöglicht. Die Zeichnungen geben Aufschluss über die anatomischen Verhältnisse am Knochen, der am naturgetreuen Modell von Gewebe bedeckt ist und ermöglichen so eine exakte Beschreibung der Einzelschritte, sowie der Insertionsstellen der verschiedenen Pins.

5.6 Silikonplastinate

Zur Verbildlichung der chirurgischen Zugänge sowie der realistischen Darstellung eines ESF IM-Pin „tie-ins“ wurden Silikonplastinate der Hintergliedmaßen von Greifvögeln angefertigt. Anhand der Silikonplastinate kann sich der Operateur die beschriebenen Verhältnisse vergegenwärtigen und die zweidimensionalen Fotos und Zeichnungen in ein dreidimensionales Bild umsetzen. Sie stellen ein Produkt der fotografisch und zeichnerisch festgehaltenen Einzelschritte dar und zeigen das Endprodukt in naturgetreuen Größenverhältnissen.

Nachteilig an den Plastinaten ist der Verlust der Flexibilität der Einzelstrukturen, wodurch das Platinat lediglich eine Momentaufnahme darstellt. Ein Verlagern der Muskulatur zur Darstellung des Knochens oder zur Vergegenwärtigung darunterliegender Strukturen ist nicht möglich.

Ferner kommt es bei der Plastination zum Farbverlust des Gewebes, wodurch das Präparat nicht mehr „frisch“ aussieht und einheitlich grau wirkt. So sind die einzelnen Strukturen optisch schlechter voneinander abgrenzbar.

5.7 Scheibenplastinate

Die Anfertigung der Scheibenplastinate erfolgte, um dem Operateur Transparenz über die Risikozonen, das heißt den Verlauf von Nerven und Gefäßen, beim Setzen der ESF-Pins an den langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße zu geben. Um die Strukturen deutlich voneinander abzugrenzen, fiel auch hier die Wahl auf einen Mäusebussard (*Buteo buteo*), der die erforderliche Größe aufweist.

Die transversalen Schnitte sollen in Höhe der ESF-Pins angefertigt werden. Mit Hilfe dieser Darstellung werden die Risiken von iatrogenen Gefäß- und Nervenschädigungen beim Einbringen der transkortikalen Pins verdeutlicht. Erkenntnisse über die Risikozonen führen zur verbesserten Heilung, vermindern Komplikationen und erhöhen das Wohlbefinden des Tieres. Der Operateur läuft weniger Gefahr, wichtige Strukturen zu verletzen, kann sicherer operieren, während Operationszeiten verkürzt werden. Der Unsicherheitsfaktor, einen transkortikalen Pin unsachgemäß zu implantieren, kann gesenkt werden.

Jedoch ist zu beachten, daß der Verlauf von Nerven und Gefäßen individuell unterschiedlich ist und diese Plastinate nur stellvertretend für andere Spezies stehen, deren anatomische Gegebenheiten nicht zu 100 % mit den vorliegenden Plastinaten übereinstimmen.

Die Technik der Scheibenplastination wurde zunächst beim Menschen angewandt, hat aber inzwischen auch bei Säugetieren Anwendung gefunden. Im anatomischen Institut der Ludwig-Maximilians-Universität München wurde die Anwendung der Plastination des Vogels im Rahmen dieser Studie erstmalig durchgeführt. Hierbei hat sich herausgestellt, daß die Dauer des Entwässerungsvorgangs bei Vogelpräparaten erheblich länger ist als bei Präparaten von Säugetieren. Auch der Vorgang des Entfettens ist bei Vogelpräparaten zeitintensiver und beläuft sich bei kleinen Präparaten von ca. einem Zentimeter Dicke und fünf Zentimeter Länge auf mindestens drei bis sechs Monate, je nachdem, um welches Gewebe es sich handelt.

Die Herstellung der Scheibenplastinate von den einzeln eingelegten langen Röhrenknochen der Beckengliedmaße benötigt mindestens sechs Monate, wobei es sich bei dieser Zeitangabe um eine Schätzung handelt. Erst kürzlich hat sich herausgestellt, daß insbesondere die Entfettung der langen Röhrenknochen sehr hartnäckig und zeitaufwendig ist. Da darüber bisher noch keine Erfahrungswerte vorliegen, kann man davon ausgehen, daß der Zeitfaktor wesentlich höher ist als bislang angenommen.

Aus diesem Grunde sind die Scheibenplastinate, die für diese Studie angefertigt werden, noch einige Monate zu entfetten. Da es sich um die ersten Plastinate dieser Art an der Beckengliedmaße handelt, ist zudem ein Misslingen nicht ausgeschlossen.

5.8 Knochenmodelle

Die Darstellung des ESF IM-Pin „tie-ins“ am Knochenmodell veranschaulicht die Lage der Konstruktion am Knochen. Insertionsstellen des intramedullären und der transkortikalen Pins sind dargestellt sowie die Lage der Verbindungsschiene zum Knochen. Auch ist dokumentiert, wie weit die transkortikalen Pins aus der jeweilig gegenüberliegenden Kortikalis herausstehen.

Um die Zeichnungen aus Kapitel 3.2.2 mit der Realität zu verknüpfen, wurde die Fertigstellung des ESF IM-Pin „tie-ins“ an einem Femur mittels chronologischer Fotodokumentation vom Setzen des IM-Pins bis zum Anbringen der Verbindungsschiene festgehalten.

Die Frakturen wurden mit der Säge in Form einer einfachen Schrägfraktur gesetzt, um ein Zersplittern der Knochen zu vermeiden. Das hat den Vorteil, daß es nicht zum Verlust von Knochenteilen kommt und der Knochen mit der Fraktur vollständig betrachtet werden kann.

Das Anbringen der Verbindungsschiene bereitet erhebliche Schwierigkeiten, da diese mit zunehmender Länge dazu neigt, sich zu biegen. Dieses ist besonders am Tibiotarsus der Fall. Bei allen Schienen muß darauf geachtet werden, daß die Schiene die Pins sowohl von der kranialen als auch von der lateralen Ansicht in einer geraden Linie verbindet, da dadurch die bestmögliche Stabilität der Schiene erreicht wird. Dieses ist besonders bei der bipedalen Lokomotion des Vogels von Bedeutung, da die einzelne Gliedmaße, verglichen mit dem Säuger, statt eines Viertels die Hälfte des Körpergewichts trägt.

Für diese Studie wurden der Femur und der Tibiotarsus jeweils mit einem ESF IM-Pin „tie-in“ und der Tarsometatarsus mit einem Fixateur externe Typ II dargestellt, da es sich dabei um erfolg versprechende Methoden handelt bzw. beim Tarsometatarsus ein ESF IM-Pin „tie-in“ keinen Platz findet.

5.9 Häufigkeit von Frakturen und deren Versorgung in der Klinik für Vögel, Oberschleißheim bei München

Die Statistik des Jahres 2006 aus der Klinik für Vögel soll lediglich einen kleinen Ausschnitt über die zu erwartenden Verhältnisse wiedergeben. Sie hat ergeben, daß die Gruppe von Patienten, die mit Frakturen vorgestellt wurden - bezogen auf das komplette Patientengut des Jahres 2006 von insgesamt 4283 Vögeln - relativ klein ist. Dies ist darauf zurückzuführen, daß nicht jeder verunfallte Wildvogel aufgefunden wird und sich die verletzten Zier- bzw. falknerisch gehaltenen Vögel auf die umliegenden Kliniken und Praxen verteilen. Auch erliegen viele Vögel ihren zum Teil schweren und multiplen Verletzungen,

bevor sie in die Klinik gebracht werden können. Dieses betrifft vor allem Wildvögel, die im Straßenverkehr verunglücken. Es ist also davon auszugehen, daß die tatsächliche Anzahl bzw. das tatsächliches Ausmaß von Frakturen bei Vögeln wesentlich höher ist.

Auffällig ist, daß es sich mit insgesamt 68,5 % bei der Mehrzahl der Tiere um Wildvögel handelt, was sich damit begründen läßt, daß die Anzahl von in freier Wildbahn lebender Vögeln verglichen mit der Anzahl in menschlicher Obhut gehaltener Zier- und Falkenvögel wesentlich höher ist. Ferner lassen sich bei Vögeln in menschlicher Obhut viele Gefahrenquellen, wie z. B. Straßen- und Flugverkehr, ausschalten.

Während es sich bei Wildvögeln durch die wesentlich höheren Krafteinwirkungen in der Regel um komplizierte Frakturen handelt, werden bei Zier- und Falkenvögeln eher einfache Frakturen diagnostiziert. Im Vergleich zum Säuger sind Splitter- und Trümmerfrakturen bei Vögeln im Allgemeinen häufiger anzutreffen, da Vogelknochen zum einen durch die Pneumatisierung und zum anderen durch eine erhöhte Sprödigkeit aufgrund des vermehrten Kalziumgehaltes (siehe Kapitel 2.3.1) leicht in kleine Fragmente zersplittern. Bei Wildvögeln werden ferner häufig ältere und offene Frakturen beobachtet, da deren Verletzungen oft unentdeckt bleiben und das Auffinden des Vogels neben dem Zufall vom Unvermögen des Tieres, sich zu verstecken, abhängig ist.

Mit insgesamt 64,8 % wurden auffällig viele Tiere euthanasiert. Davon waren allein 91,9 % der Wildvögel betroffen. Diese - unverhältnismäßig hohe - Anzahl von in freier Wildbahn lebender euthanasierter Tiere beruht in erster Linie auf die durch die aktuelle Situation der aviären Influenza stark eingeschränkte Diagnostik und die Nichtdurchführbarkeit von chirurgischen Eingriffen. Aufgrund der Infektionsgefahr wurden diese Wildvögel aus dem eigentlichen Klinikgebäude in ein externes Gebäude verlagert, in dem sich weder ein Röntgen- oder Narkosegerät, noch ein OP befinden. Nicht zuletzt entscheidet auch der Charakter einer Fraktur - Art und Lokalisation, Alter, offen oder geschlossen, Trümmer- oder glatte Fraktur - über das Schicksal des Tieres. Insbesondere bei Wildvögeln spielt dieser Faktor eine große Rolle, da für ein Überleben in freier Wildbahn die vollständige Wiederherstellung der Gliedmaßenfunktion gegeben sein muß.

Lediglich fünf von insgesamt 54 Patienten konnten osteosynthetisch versorgt werden. Dabei handelte es sich in allen Fällen um den Einsatz eines ESF IM-Pin „tie-ins“ mit Fixateur externe Typ I, was für die hervorragende Praktikabilität dieser Fixationsmethode spricht. Vier der fünf osteosynthetisch versorgten Patienten waren Ziervögel, ein Vogel wurde falknerisch gehalten.

REDIG berichtet in einer Studie des Raptor Centers, Minnesota, daß von 27 Tieren mit Frakturen an der Vordergliedmaße 12 Tiere nach einer osteosynthetischen Versorgung wieder fliegen konnten. Dabei handelte es sich vorwiegend um geschlossene Frakturen: So

wurden 11 von 18 Tieren mit geschlossenen Frakturen erfolgreich behandelt. Bei offenen Frakturen war die Erfolgsrate mit einem von neun Tieren hingegen weitaus geringer.

In einer vorangegangenen Studie von HOWARD und REDIG (1993) wurden von 81 Tieren zwar 38 erfolgreich behandelt, eine funktionelle Wiederherstellung gelang jedoch nur in 12 der 38 Fälle. Zur Frakturversorgung wurden in dieser Studie IM-Pins mit externer Fixation und Shuttle-Pins kombiniert mit PMMA herangezogen.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Frakturversorgung der Beckengliedmaße beim Vogel mittels ESF IM-Pin „tie-in“

Vögel stellen in der Tiermedizin eine Patientengruppe mit zunehmender Bedeutung dar. Aufgrund der vermehrten Haltung von Zier- und Greifvögeln, falknerischem Training an Flugleinen und Unfällen im Straßenverkehr mit größeren Wildvögeln, z. B. Mäusebussarden (*Buteo buteo*) sowie dem zunehmenden Verantwortungsbewusstsein des Menschen gegenüber der Natur, werden in praxi immer häufiger Vögel mit Frakturen an den Gliedmaßen vorgestellt.

Ziel der vorliegenden Studie war es, einen Überblick über die verschiedenen Methoden der Frakturversorgung der Hintergliedmaße zu erarbeiten sowie die Anwendung des ESF IM-Pin „tie-ins“ für den Vogelpatienten zeichnerisch, fotografisch und in Form von Platinaten darzustellen sowie deren Anbringung am Vogelknochen zu beschreiben.

Im Literaturteil wird zunächst ein Überblick über die Anatomie der Beckengliedmaße des Vogels gegeben, Stoffwechsel und Histologie des Knochenbaus sowie Knochenheilung und Knochenheilungsstörungen werden beschrieben. Vor der Beschreibung der chirurgischen Knochenzugänge zu den langen Röhrenknochen der Hintergliedmaße für einen operativen Eingriff, werden die Möglichkeiten der konservativen Frakturversorgung angesprochen. Es folgt eine Übersicht der verschiedenen Möglichkeiten der Osteosynthese. Unterschieden werden dabei interne und externe Fixationsmaßnahmen. Die Anwendung eines ESF IM-Pin „tie-ins“ als eine Kombination beider Methoden vereint die Vorteile beider Fixationstechniken. Im praktischen Teil der Arbeit wird die Frakturversorgung am Knochenmodell und als nachgestellte Operation an der gefäßplastinierten Beckengliedmaße fotografisch dokumentiert. Chirurgische Zugänge zu den einzelnen langen Röhrenknochen der Hintergliedmaße sowie deren Versorgung mittels ESF IM-Pin „tie-in“ werden im Silikonplatinat festgehalten. Zeichnungen erläutern die einzelnen Schritte vom Einbringen des IM-Pins über das Setzen der ESF-Pins in den Knochen bis hin zur Anbringung der externen Verbindungsschiene. Die Anfertigung von transversalen Scheibenplatinaten auf Höhe der Insertionsstellen der ESF-Pins ermöglichen die Darstellung von Gefahrenzonen beim Setzen der transkortikalen Pins.

Mit der vorliegenden Arbeit ist in der Vogelmedizin nunmehr eine Grundlage für eine routinemäßige Versorgung von Frakturen der Hintergliedmaße mittels ESF IM-Pin „tie-in“ gegeben, die im Vergleich zu anderen Fixationsmaßnahmen unter anderem aufgrund ihrer Flexibilität und ihres geringen Gewichtes die meisten Vorteile und die besten Heilungschancen für den Patienten bietet.

7 SUMMARY

Fracture fixation of the long bones of the pelvic limb in birds using an ESF IM-pin "tie-in" (External Skeletal Fixation IntraMedullary-Pin "tie-in")

In veterinary medicine birds represent a group of patients of increasing importance due to the growing popularity of keeping pet birds, falconry and traffic accidents involving large wild birds, like common buzzards. Additionally, an increased sense of human responsibility for nature leads to a higher number of birds with fractured limbs seeking medical treatment.

The aim of this study is to gain a comprehensive survey of the various methods of fracture-treatment of the pelvic limb. Graphics, photos and plastination-models including their fixation to the bird's bone are used to represent the ESF IM-pin "tie-in" as method of choice for fracture treatment in bird patients.

Initially, a study of the current literature is conducted to give an overview of the anatomy of the pelvic limbs of birds as well as of the metabolism and histology of the bone structure. Furthermore, the healing of bones and disturbances of this process are explained. Non-surgical management of fractures is addressed, followed by an outline of various possibilities of osteosynthesis applied to the long bones of the pelvic limb. Different internal and external fixation methods are compared. A combination of both, the so-called ESF IM-pin "tie-in", brings together the advantages of both fixation techniques and therefore represents the method of choice for the treatment of bone fractures in avian medicine.

In the practical part of this study a bone model of the pelvic limb is used to demonstrate the treatment of fractures. In addition, the complete surgical procedure is carried out on a pelvic limb of a bird with plastinated vessels. Both procedures are documented photographically. Surgical approaches to the individual long bones of the pelvic limb, as well as the treatment by means of ESF IM-pin "tie-in" are recorded by silicone plastinates.

Drawings illustrate the individual steps of the insertion of the IM-pin into the bone, the placement of the ESF-pins and the fixing of the external connecting bar. The preparation of transversal slices of a block plastination at the insertion point of ESF-pins allows the description of critical areas for the fixation of the ESF-pins.

For avian medicine, the present study provides a basis for the routine treatment of fractures of the pelvic limb by means of ESF IM-pin "tie-in", which, compared to other methods of fixation, is most advantageous due to flexibility and low weight. This method offers best chances for healing and maximum comfort to the patient.

8 RÉSUMÉ

Réparation osseuse des fractures du membre pelvien chez les oiseaux par enclouage centromédullaire et fixateur externe verrouillé

L'augmentation croissante de la population des oiseaux de compagnie, des oiseaux de fauconnerie ainsi que l'accroissement du sens des responsabilités envers la nature (ex. : collision d'oiseaux sauvages avec les voitures) a engendré une augmentation du nombre d'oiseaux présentés au médecin vétérinaire pour traitements médicaux et rééducation. L'objectif de ce travail est de présenter une revue compréhensible des différentes méthodes d'ostéosynthèse pour le traitement des fractures osseuses du membre pelvien. La méthode de choix, combinaison et verrouillage d'un fixateur externe et d'un clou centromédullaire, est présentée sous formes de dessins, photos et modèle plastiné. Premièrement, une revue de l'anatomie du membre pelvien des oiseaux ainsi que de la physiologie et de l'histologie du tissu osseux est présentée. Le processus de cicatrisation osseuse ainsi que les complications éventuelles sont également abordés.

Les différentes méthodes de fixation interne et externe sont comparées. L'association et le lien d'un clou centromédullaire avec un fixateur externe combinent les avantages des deux méthodes d'ostéosynthèse et représentent la méthode de choix pour le traitement des fractures des os longs chez les oiseaux. L'approche chirurgicale ainsi que l'application et la liaison d'un clou centromédullaire et d'un fixateur externe sont présentées à l'aide de photographies pour chaque os long sur le membre pelvien d'un oiseau où les vaisseaux sanguins ont été injectés avec du plastique. En outre, des dessins illustrent chaque étape de l'insertion du clou centromédullaire, du fixateur externe et du placement de la barre d'union. Ce travail présente l'application de la combinaison d'un clou centromédullaire et d'un fixateur externe verrouillé pour la réparation osseuse des fractures du membre pelvien chez les oiseaux. Cette technique, comparée aux autres méthodes, est la plus avantageuse grâce à sa flexibilité d'application et sa légèreté et maximise les chances de cicatrisation osseuse et le confort du patient.

9 LITERATURVERZEICHNIS

1. ANDERSON AA, Osteomyelitis. *In* Coughlan AR, Miller A, Manual of Small Animal Fracture Repair and Management. Shurdington, Cheltenham: BSAVA, 1998; 318-26.
2. ANTINOFF N, Bandaging Techniques and Supportive Care. Proceedings of Association of Avian Veterinarians, Tampa, 1996; Session # 8070, 343-8.
3. ANTINOFF N, Poteet BA, Bone Scans in Birds: Techniques and Clinical Applications. Proceedings of Association of Avian Veterinarians, 2000; Session # 6030, 245-7.
4. BAUMEL JJ, RAIKOW RJ, Arthrologia. *In* Baumel JJ, Handbook of Avian Anatomy: Nomina Anatomica Avium, 2nd Ed.. Cambridge: Nuttall Ornithological Club, 1993; 133-76.
5. BENNETT RA, Avian Fracture Management. Proceedings IVECCS VII, Orlando, Florida, 2000; 613-17.
6. BENNETT RA, Orthopedic Surgery. *In* Altman RB, Clubb SL, Dorrestein GM and Quesenberry K (eds), Avian Medicine and Surgery. Philadelphia, Pennsylvania: WB Saunders Co, 1997; 733-57.
7. BENNETT RA, Review of Orthopedic Surgery. Proceedings of Association of Avian Veterinarians, Nashville, Tennessee, 1995; Session # 5060, 291-6.
8. BENNETT RA, Kuzma AB, Fracture Management in Birds. *J. Zoo Wildl. Med.*, 1992; 23 (1), 5-38.
9. BLASS CE, Orthopedics. *In* Burr, EW, Companion Bird Medicine. Iowa State University Press, 1987; Chapter 24, 155-65.
10. BONATH KH, Vannini R, Die stabile Osteosynthese. *In* Bonath KH, Prieur WD, Kleintierkrankheiten, Band 3, Orthopädische Chirurgie und Traumatologie. Stuttgart: Ulmer, 1998; 241-7.

11. BUDRAS KD, König HE, Immunsystem und lymphatische Organe (Organa lymphopoetica). *In* König HE, Liebich HG, Anatomie und Propädeutik des Geflügels. Stuttgart: Schattauer, 2001; 161-8.
12. BUSH M, External Fixation of Avian Fractures. *J Am Vet Med Assoc.*, 1977; Vol 171; 943-46.
13. CANNON C, Non Surgical Fracture Repair. Main Conference Proceedings of Association of Avian Veterinariany, Nashville, Tennessee, 1995; 491-98.
14. CARPENTER JW, Exotic Animal Formulary, 3rd Ed.. St. Louis: Elsevier Saunders, 2001.
15. CHRISTEN C, Hatt JM, Plattenosteosynthese bei Vögeln - immer noch eine Herausforderung?. 14. Tagung der Fachgruppe „Geflügelkrankheiten“, Oberschleißheim, 2004. Berlin: Verlag der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e. V., 2004; 16-8.
16. COLES BH, Surgery. *In* Price CJ, Manual of Parrots, Budgerians, and other Psittacine Birds. Gloucestershire, BSAVA, 1992; 65-7.
17. COLES BH, Surgery - The Pelvic Limb. *In* COLES BH, Avian Medicine and Surgery, 2nd Ed..Oxford, London, Blackwell: 1997; 189-94.
18. COLES BH, The Musculo-Skeletal System Including the Feet. *In* Price CJ (ed.), Manual of Parrots, Budgerians, and other Psittacine Birds. Gloucestershire: BSAVA, 1992; 127-33.
19. DeCAMP CE, External Coaptation. *In* Slatter D, Textbook of Small Animal Surgery, 2nd Ed.. Philadelphia: WB Saunders Company, 1993; 1661-75.
20. DEGERNES LA, Lind, PJ, Methyl Methacrylate Bone Cement In Avian Orthopedics. Proceedings of Association of Avian Veterinarians, Seattle, Washington, 1989; 268-73.

21. DeYOUNG DJ, Probst CW, Methods of Internal Fracture Fixation - General Principles. *In* Slatter D, Textbook of Small Animal Surgery, 2nd Ed.. Philadelphia: Saunders Company, 1993: 1610-40.
22. EGGER EL, External Skeletal Fixation - General Principles. *In* Slatter D, Textbook of Small Animal Surgery, 2nd Ed.. Philadelphia: WB Saunders Company, 1993; 1641-56.
23. FORD S, Extern project: Fracture Tracking System. Ford S, Washington State university, College of Veterinary Medicine, Pullman WA 99163, 1997. (o. S.)
24. FOSSUM TW, Osteomyelitis. *In* Fossum TW, Chirurgie der Kleintiere. Elsevier GmbH: München, 2007; 1300-5.
25. FREWEIN J, Nervensystem. *In* Nickel R, Schummer A, Seiferle E, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band V, 2. Aufl, Anatomie der Vögel. Berlin, Hamburg: Parey, 1992; 359-61.
26. GANDAL CP, Frakturversorgung. *In* Petrak ML, Diagnostik und Chirurgie beim Ziervogel. Stuttgart: Enke, 1988; 92-6.
27. GRIMM FH, Experimentelle Untersuchungen zur aviären Wundheilung an osteotomierten und frakturierten Tibiotarsen bei Verwendung eines „Fixateur externe“. Institut für Geflügelkrankheiten der Ludwig-Maximilians-Universität München, 1988.
28. GYLSTORFF I, Grimm F, Vogelkrankheiten, 2. Aufl.. Stuttgart: Ulmer, 1998; 21-5, 279-89, 359-64, 365-8, 392-9, 401-2.
29. HARCOURT-BROWN NH, Pelvic Limb Problems. *In* Beynon PH, Forbes NA, Lawton MPC, Manual of Psittacine Birds, New Edition. England, Spain: BSAVA, 1996; 123-33.
30. HARRISON GJ, Lightfoot TL, General Methods of Fracture Fixation. *In* Harrison GJ, Lightfoot TL, Clinical Avian Medicine. Florida: Spix Publishing, Inc.: 2006. 762-73.
31. HATT JM, Nichtinfektiöse Erkrankungen des Skelettsystems. *In* Kaleta EF, Krautwald-Junghans M-E, Kompendium der Ziervogelkrankheiten: Papageien -

- Tauben - Sperlingsvögel, 2., überarbeitete Aufl.. Hannover: Schlütersche GmbH & Co. KG, 2003; 139-49.
32. HATT JM, Not Schläpfer I und Werthern von C: Verwendung der maxillofazialen Miniplatte Compact 1.0 zur Behandlung einer distalen Tibiotarsusfraktur bei einem Afrikanischen Graupapagei (*Psittacus erithacus*). Tierärztliche Praxis, 29 (K). Stuttgart, New York: Schattauer, 2001; 135-8.
33. HEIDENREICH M, Greifvögel: Krankheiten - Haltung - Zucht. Berlin, Wien (u.a.): Blackwell Wiss.-Verl., 1995; 155-7, 219, 212-5, 227-30.
34. HESS RE, The Use of Dental Acrylic Shoes for the Treatment of Bumblefoot. Proceedings of Association of Avian Veterinarians, Nashville, Tennessee, 1993; 135-7.
35. HOLLAMBY S, Dejardin LM, Sikarskie JG, Haeger J, Tibiotarsal Fracture Repair in a Bald Eagle (*Haliaeetus leucocephalus*) using an interlocking nail. Zoo. Wildl.Med., März 2004, 35 (1): 77-81.
36. HOWARD DJ, Redig PT, Analysis of Avian Fracture Repairs: Implications for Captive and Wild Birds. Proceedings Association of Avian Veterinarians, Nashville, Tennessee, 1993; 78-82.
37. HUNTER J, Non-infectious Diseases. In Cooper JE, Birds of Prey: Health and Disease. Oxford: Blackwell Science, 2002; 72-80.
38. KAUNE R, Knochenstoffwechsel. In Engelhardt von W, Breves G, Physiologie der Haustiere. Stuttgart: Enke, 2000; 621-5.
39. KETZ C, Schawalder P, Manuflex - A Different Way of Treating Bone Fractures of Birds. European Association of Zoo- and Wildlife Veterinarians (EAZWV), First Scientific Meeting, Rostock, Germany, 1996; 273-79.
40. KOHLS A, Hafez HM, Korbel R, Kummerfeld M, Lierz M, Rehabilitation von Greifvögeln im Licht der Falknerei. Tierärztliche Praxis, 2006.

41. KÖNIG H, Korbel R, Liebich H-G, Klinische Anatomie und Propädeutik des Geflügels. Stuttgart, New York: Schattauer, 2007.
42. LAWRENCE K, Therapeutics. *In* Price CJ, Manual of Parrots, Budgerians, and other Psittacine Birds. Gloucestershire: BSAVA, 1992; 173-4.
43. LAWTON MPC, Nutritional Diseases. *In* Price CJ, Manual of Parrots, Budgerians, and other Psittacine Birds. Gloucestershire: BSAVA, 1992; 157-62.
44. LIEBICH H-G, Knochengewebe (Textus osseus). Funktionelle Histologie der Haussäugetiere. 4. Aufl.. Stuttgart: Schattauer, 2004; 88-98.
45. LIERZ M, Greshake M, Korbel R, Kummerfeld N, Hafez HM, Falknerisches Training und Auswilderbarkeit von Greifvögeln - ein Widerspruch? Tierärztliche Praxis 2005, 33 (K) 440-5.
46. MADER DR, Bennett RA, Soft Tissue, Orthopedics, and Fracture Repair. *In* Mader DR, Reptile Medicine and Surgery, 2nd Ed.. St. Louis, Missouri: Saunders, 2006; 581-606.
47. MAIERL J, Liebich H-G, König HE, Beckengliedmaßen. *In* König HE, Liebich H-G, Anatomie und Propädeutik des Geflügels. Stuttgart: Schattauer, 2001; 55-73.
48. MARTIN HD, Ritchie BW, Orthopedic Surgical Strategies. *In* Ritchie BW, Harrison GJ, Harrison LR, Avian Medicine: Principles and Application. Florida: Wingers Publishing Inc., 1994; 1137-71.
49. MATIS U, Osteosynthese. *In* Schebitz H, Brass W, Operationen an Hund und Katze, 2., neubearbeitete Aufl.. Berlin, Wien: Parey Verlag, 1999; 57-70.
50. McARTHUR S, Hernandez-Divers S, Surgery. *In* Medicine and Surgery of Tortoises and Turtles. Oxford: Blackwell, 2004; 403, 448-450.
51. MEUTSTEGE F, Äußere Fixation. *In* Bonath KH, Prieur WD, Kleintierkrankheiten, Band 3, Orthopädische Chirurgie und Traumatologie. Stuttgart: Ulmer, 1998; 248-61.

52. MEUTSTEGE F, Marknagelung. *In* Bonath KH, Prieur WD, Kleintierkrankheiten, Band 3, Orthopädische Chirurgie und Traumatologie. Stuttgart: Ulmer, 1998; 241-7.
53. MITCHELL MA, Therapeutics. *In* Mader DR, Reptile Medicine and Surgery, 2nd Ed.. St. Louis, Missouri: Saunders, 2006; 631-650.
54. NEWTON CD, Zeitlin S, Avian Fracture Healing. *Javma*, Vol. 170, 1977; 620-5.
55. NIEDERKLOPFER P, Troxler M, Knochenpräparation - Handbuch für Praktiker 1.Auflage. CH-7405 Rothenbrunnen, Naturkundliche Sammlung des Fürstentums Liechtenstein, Triesen (P.N.), Naturhistorisches Museum der Burgergemeinde Bern (M.T.), 2001; 47-50, 75-78.
56. OROSZ SE, Ensley, PK, Haynes, CJ, Avian Surgical Anatomy: Thoracic and Pelvic Limbs. USA: W.B. Saunders Company, 1992.
57. PARDO AD, Cerclage Wiring and Tension Band Fixation. *In* Slatter D, Textbook of Small Animal Surgery, 2nd Ed.. Philadelphia: Saunders Company, 1993; 1631-40.
58. REDIG PT, A Collection of Techniques for Repair of Avian Fractures. Proceedings of Association of Avian Veterinarians, Nashville, Tennessee, 1995; Session 365, 49-62.
59. REDIG PT, Advanced Techniques in the Orthopedic Management of Avian Fractures, The Raptor Center, University of Minnesota, St. Paul, MN 55108; o. S..
60. REDIG PT, Decision Making in Avian Orthopedics. Proceedings of Association of Avian Veterinarians, St. Paul, 1998; Session # 300, 253-63.
61. REDIG PT, Evaluation and Nonsurgical Management of Fractures. *In* Harrison GJ, Harrison LR, Clinical Avian Medicine and Surgery, 1st Ed.. Philadelphia, PA: WB Saunders Co, 1986; 380-94.
62. REDIG PT, Fractures. *In* Samour J, Avian Medicine. London: Harcourt Publishers Limited 2000; 131-65.

63. REDIG PT, General Aspects of Avian Orthopedic Surgery: The Pelvic Limb. Proceedings of Association of Avian Veterinarians, New Orleans, Louisiana, 1999; 399-411.
64. REDIG PT, The Use of an External Skeletal Fixator-Intramedullary Pin Tie-in (ESF-IM Fixator) for Treatment of Longbone Fractures in Raptors. *In* Lumeij JT, Raptor Biomedicine III including Bibliography of Diseases of Birds of Prey. Florida: Zoological Education Network, Inc. 2000; 239-53.
65. REDIG PT, Brown PA, Gordon JJ, Classification of Fractures of Avian Long Bones. Proceedings of Association of Avian Veterinarians, Tampa, 1996; Session # 2000, 33-8.
66. REDIG PT, Korbel RT, Grimm F, Laboratory Procedures for Avian Orthopedics. Proceedings of the Association of Avian Veterinarians, Portland, Oregon / München, 2000; o. S..
67. REDIG PT, Roush, JC, Orthopedic and Soft Tissue Surgery in Raptorial Birds. *In* Harrison GJ, Harrison LR, Clinical Avian Medicine and Surgery, 1st Ed.. Philadelphia: WB Saunders Company, 1986; 246-53.
68. SINOWATZ F, Allgemeine Anatomie des Bewegungsapparates. *In* Nickel R, Schummer A, Seiferle E, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band V, 2. Aufl, Anatomie der Vögel. Berlin, Hamburg: Parey, 1992; 50-3.
69. SMITH MM, Orthopedic Infections. *In* Slatter D, Textbook of Small Animal Surgery, 2nd Ed.. Philadelphia: WB Saunders Company, 1993; 1685-93.
70. UNGER M, Montovan PM, Heim UFA. Classification of fractures of long bones in the dog and cat: Introduction and clinical application. *Vet Comp Orth Traum* (3): 1990; 41-50.
71. VAN DEN BERGE JC, Zweers GA, Myologia. *In* Baumel JJ, Handbook of Avian Anatomy: Nomina Anatomica Avium, 2nd Ed.. Cambridge: Nuttall Ornithological Club, 1993; 218-47.

72. VOLLMERHAUS B, Spezielle Anatomie des Bewegungsapparates. *In* Nickel R, Schummer A, Seiferle E, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band V, 2. Aufl., Anatomie der Vögel. Berlin, Hamburg: Parey Verlag, 1992; 54-153.
73. WEDEL A, Ziervögel: Erkrankungen - Haltung - Fütterung, 2. Aufl.. Stuttgart: Parey, 2004; 270-4.
74. WETTERE VAN AJ, Korbelt RT, Osteosynthese beim Vogel - Praktischer Leitfaden. BLTK Orthopädie Seminar Vogel, Klinik für Vögel, Ludwig-Maximilians-Universität München, Oberschleißheim, 2005; o. S..
75. WETTERE VAN AJ , Wallace LJ, Redig PT, Bourgeault CA, Bechtold JE, Mechanical Evaluation Of Various Configurations Of An External Skeletal Fixator - Intramedullary Pin Tie-In Applied To A Plastic Bone Model And To Avian Bone. 14. Tagung der Fachgruppe "Geflügelkrankheiten", Oberschleißheim, 2004. Berlin: Verlag der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V., 2004; 19-22.
76. WHITTOW GC, Regulation of Body Temperature. *In* Sturkie PD, Avian Physiology, 2nd Ed.. USA: Cornell University Press, 1965; 186-99.

10 DANKSAGUNG

Herrn Univ.-Prof. Dr. Dr. med. vet. habil. R. Korbelt an der Klinik für Vögel, Oberschleißheim, Ludwig-Maximilians-Universität München, danke ich aufrichtig für die Überlassung eines interessanten Themas, die Bereitstellung des Instrumentariums und die sorgfältige Durchsicht meiner Arbeit.

Ganz besonders danken möchte ich Herrn Dr. Arnaud van Wettere, der mich leider nur sechs Wochen persönlich bei der Erstellung meiner Doktorarbeit betreuen konnte, bevor er in den USA eine neue Aufgabe übernahm. Über unzählige E-Mails ließ er mich auch über die große Distanz an seinem Fachwissen teilhaben und hat damit einen großen Beitrag zum Ergebnis meiner Arbeit geleistet.

Danken möchte ich ferner Herrn Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult. H. - G. Liebich für die freundliche Unterstützung.

Ganz herzlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Hermann Obermayer für seine große Hilfsbereitschaft und die Betreuung des praktischen Teils meiner Arbeit.

Weiterhin möchte ich mich bei Frau Dr. Roswitha Beck für die Durchsicht meiner Arbeit und die vielen Anregungen und Tips bedanken.

Ferner bedanke ich mich bei Herrn Thomas Schneider für die Hilfe bei der Formatierung und Herrn Dr. Reese für die fotografische Unterstützung - und bei der Firma Impire, insbesondere Herrn Stefan Heigenhauser, für die vielen Arbeitseinsätze, mit denen ich die lange Zeit wirtschaftlich überbrücken konnte.

Mein Dank gilt weiter den Mitarbeitern der Klinik für Vögel, insbesondere Frau Dost, Herrn Andreas Päsler, Frau Martina Rzepka, Frau Dr. Heike Reball und Frau Dr. Petra Zsivanovitz.

Besonders herzlich möchte ich mich bei meiner Freundin Britta, die immer für mich da war, und meinem Freund Andi für seine Assistenz bei der Anfertigung der Knochenmodelle, seinen Beistand und die starken Arme, die mir Rückhalt gaben, bedanken.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern und meiner Oma, ohne deren finanzielle und moralische Unterstützung das Studium und die Anfertigung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wären.

11 LEBENSLAUF

Name: Maren Meiners

Geburtsdatum: 01.08.1975

Geburtsort: Bremen

Eltern: Sigrid Meiners, Vorstandsassistentin
Hans-Georg Meiners, Geschäftsführer einer Handels - GmbH

Schulbildung: 1982 - 1986 Grundschule, Buschhausen
1986 - 1988 Orientierungsstufe, Osterholz - Scharmbeck
1988 - 1992 Altes Gymnasium, Bremen
1992 - 1995 Hermann-Böse-Gymnasium, Bremen

Abitur: 29. Juni 1995

Berufliche Laufbahn: 1995 - 1998 Ausbildung zur milchwirtschaftlichen Laborantin
1998 - 1999 Tätigkeit als Tierarzhelferin in einer kurativen Praxis

Studium: 1999 - 2005 Studium der Tiermedizin an der Tierärztlichen Fakultät
der LMU München

Approbation: 02. März 2005

Dissertation: 2005 - 2007 Dissertation an der Klinik für Vögel der Ludwig-
Maximilians-Universität München, Oberschleißheim