

## Einfache Osteosynthesetechniken

Daniel Koch, Dr. med. vet. ECVS, Universität Zürich

### 1. Einleitung

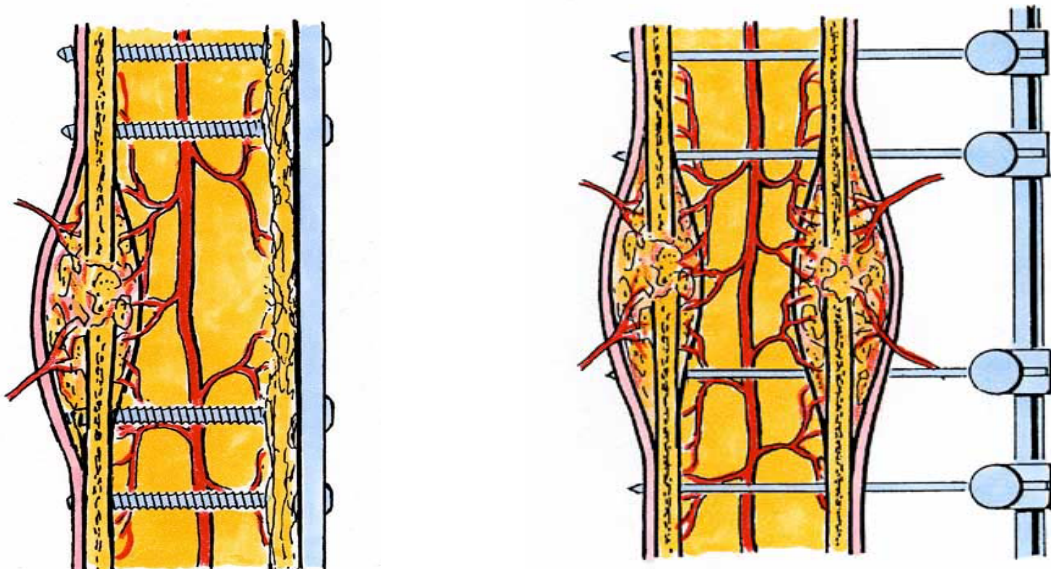
Zu den einfachen Osteosynthesetechniken zählen Schiene, Cast, Kreuzspickung, Pinning, Cerclagen, Zuggurtung, intramedulläre Nagelung und Fixateur externe. Allen ist gemeinsam, dass relativ wenig Materialien benötigt werden. Dies soll aber nicht heissen, dass dafür eine weniger gute Operationstechnik erforderlich ist. Eine genaue Beurteilung der Fraktur, des Patienten, der eigenen chirurgischen Fähigkeiten und das Vorhandensein einer adäquaten Ausrüstung sind Voraussetzungen für den Behandlungserfolg.

Im folgenden werden zunächst grundlegende Überlegungen zur Frakturheilung, Indikationsstellung und Osteosynthese dargelegt. Anschliessend werden die mit dem vorhandenen Material möglichen Frakturbehandlungen aufgelistet und gegenübergestellt.

### 2. Grundsätzliche Überlegungen zur Frakturheilung

#### 2.1 Biologische Frakturheilung

Die moderne Frakturbehandlung folgt dem Prinzip der maximalen Schonung der Blutversorgung am Frakturort. Deswegen ist vor einer möglichst anatomischen Reposition der Fragmentenden abzuschätzen, wieviel zusätzlicher vaskulärer Schaden dem Patienten zugefügt werden soll. Die Anforderungen an eine Stabilisierung unter dem Aspekt der biologischen Frakturheilung sind: korrekte Länge der Extremität,



u

und axiale Ausrichtung der Fragmentenden und interfragmentäre Stabilität. Wenn immer möglich sollen Techniken zur Anwendung gelangen, welche den Frakturort nicht einbeziehen (Cast) oder minimal berühren, (Fixateur externe, antegrade Nagelung mit Fixateur externe, Interlocking Nail, Trilam-Nagel,

u.ä.). Cerclagedrähte um den gesamten Umfang des Knochens sind insbesondere bei Jungtieren nicht indiziert, da zwei Drittel der Blutversorgung des Knochens vom Periost übernommen werden. Erst beim erwachsenen Tier sinkt der periostale Anteil auf einen Drittel.

Bei der Entwicklung neuer Implantate zur Frakturbehandlung ist mit einiger Verzögerung derselbe Trend auszumachen. Die dynamische Kompressionsplatte (DCP) muss Implantatsystemen weichen, welche weniger Kontaktfläche mit dem Knochen haben (LC-DCP, no contact fixateur, Vet-Fix) und zusätzlich auf monokortikalen und verriegelten Schrauben basieren (PC-Fix, LCP, UniLock).

Die Frakturheilung folgt der Theorie des "Interfragmentary strain". Je mehr Mikrobewegungen am Frakturort durch das gewählte Fixationssystem erlaubt sind, desto eher werden Reparaturgewebe gebildet, welche diesen Stress aushalten können. Granulationsgewebe kann 100% Deformation widerstehen, Knorpel und Bindegewebe um 10 % und Knochen ungefähr 2 %. Bei Fixationssystemen mit hoher Stabilität wie zum Beispiel Plattenosteosynthesen ist demzufolge mit einer direkten Knochenbruchheilung zu rechnen. Bei weniger stabilen Fixationssystemen wie Casts oder einigen Fixateur externes kommt es zuerst zur Bildung von Kallus, welcher die Fragmentenden zunehmend stabilisiert und erst danach die Bildung von Knochen ermöglicht (indirekte Knochenbruchheilung).

## 2.2 Patient

Die meisten Frakturen sind durch den Strassenverkehr verursacht. Die Traumaenergie ist dabei sehr hoch, weshalb eine Fraktur selten die einzige Unfallfolge. Vor der Frakturbehandlung ist der Allgemeinzustand des Patienten gründlich abzuklären. Rund ein Drittel aller Frakturpatienten haben zusätzlich Thoraxverletzungen (Lungenkontusionen, Pneumothorax, Rippenbrüche, Zwerchfellhernien u.a.), welche dramatische Konsequenzen auf die Narkose haben können. Die radiologische Beurteilung des Thorax ist deshalb zwingend vor jeglicher Frakturabklärung vorzunehmen.

Frakturen werden erst dann behandelt, wenn der Patient untersucht als narkosetüchtig bezeichnet wurde ist. Ausnahmen sind nur dann zu rechtfertigen, wenn die unbehandelte Fraktur weiteren Schaden anrichten kann (Nerven- oder Gefäßläsionen) oder eine Infektion droht (Grad 2 und 3 offene Frakturen).

Allgemeine Risikofaktoren sind der Tabelle (nach Fossum, 1997) zu entnehmen.

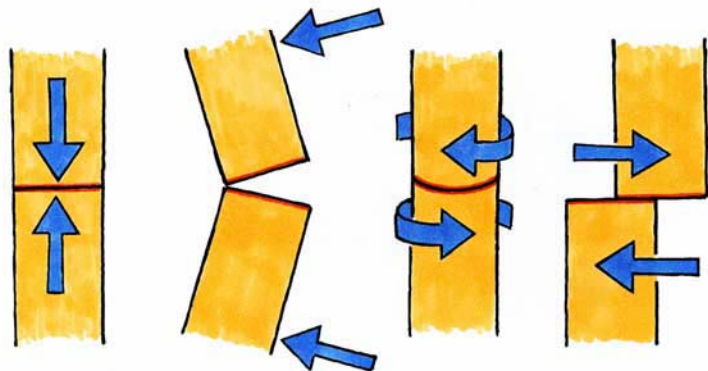
<b>Hohes Risiko</b>		<b>Geringes Risiko</b>	
Alter Patient	Mittelalter Patient	Junger Patient	Juveniler Patient
Grosse Rasse			Kleine Rasse
Mehrere Extremitäten			Eine Extremität
Schlechte Gesundheit	Vorbestehende Krankheit		Gute Gesundheit
Wenig Weichteilmantel			Guter Weichteilmantel
Kortikaler Knochen			Spongiöser Knochen
Hohe Traumageschwindigkeit			Tiefe Traumageschwindigkeit
Operativer Zugang		Mini-Zugang	Geschlossen

### 2.3 Biomechanische Ueberlegungen

Knochen werden vorzugsweise auf ihrer Zugseite fixiert, weil Stahl hervorragend auf Zug belastbar ist. Es können im Gegensatz zur Druckseite kleinere Implantate verwendet werden, die Gefahr eines Implantatversagens ist geringer. Die Zugseiten der wichtigsten Röhrenknochen sind meistens dort, wo sie konvexe Kurvaturen haben.

Wo immer möglich, sollen die Hauptfragmente in direktem Kontakt stehen. Dadurch wird ein Teil der Kraft bei der Fortbewegung durch sie übertragen und muss nicht vom Implantat alleine überbrückt werden („load-sharing“). Dies hat zur Konsequenz, dass nicht reponierbare Frakturen eine vergleichsweise stabilere Fixation nötig haben als reponierte. Zusätzliche Stabilität wird erreicht durch dickere und längere Platten, Fixateur externe Konfigurationen in mehreren Ebenen oder Kombinationen von Implantaten (Fixateur externe und Nagel; Platte und Nagel; usw.).

Die höchste Biegesteifigkeit hat ein intramedulläres Implantat. Je weiter entfernt vom Knochen der Halteapparat angelegt wird, desto instabiler wird die gesamte Konstruktion. Der rotationellen Instabilität wird in vielen Fällen bereits durch das Implantatsystem begegnet. Glatte Nägel hingegen



bieten wenig rotationelle und axiale Stabilität und sollten nur bei einfachen Querfrakturen mit Abstützung und Verzahnung der Fragmente angewendet werden.

Die mangelnde Kooperation des Patienten in der Nachbehandlung bedeutet in manchen Fällen, dass nicht nur eine - wie in der Humanmedizin gebräuchliche - biegestabile, sondern zusätzlich auch belastungsstabile Fixation gewählt werden muss. Deswegen kommen bei Tieren vergleichsweise grosse Implantate zur Anwendung.

Der Vorteil der Quadrupeden hingegen ist ihre Fähigkeit, sich bequem auf drei Beinen fortzubewegen. Die Gesamtmorbidität kann dadurch gesenkt werden. Zwei betroffene Gliedmasse stellen den Orthopäden dann aber vor grössere Herausforderungen. Die Konstruktionen müssen stabil genug sein, um vom ersten Tag nach erfolgreicher Therapie an die volle Belastung zu erlauben. Es gilt die Regel „1 + 1 ≠ 2“.

## 2.4 Frakturklassifizierung und Konsequenzen

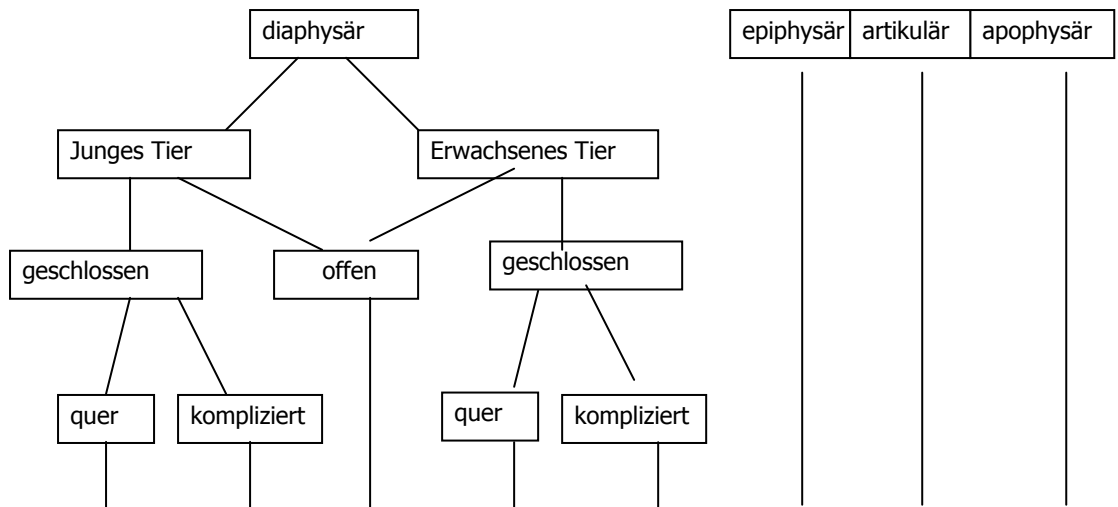
Eine Fraktur wird klassifiziert nach: Knochen, Lokalisation der Fraktur, Frakturtyp, Art der Weichteilverletzung. Diese Kriterien haben entsprechende Konsequenzen auf die Behandlung.

Der Knochen wird wenn immer möglich auf der Zugseite fixiert. Diese ist für den Radius medial oder kranio-medial, für die Ulna kaudal, für den Humerus medial oder kranio-lateral (proximaler Humerus), für die Tibia medial und für den Femur lateral. Die entsprechenden Zugänge sind beschrieben.

Frakturen in der Diaphyse lassen verschiedene Therapiemöglichkeiten zu (externe Koaptation, Platten, Fixateur externe, intramedulläre Implantate mit rotationeller Stabilität, u.a.). Die Elimination der hohen Biege- und Rotationskräfte steht im Vordergrund. Frakturen durch die Wachstumszonen (sogenannte Salter-Harris-Frakturen) treten fast ausschließlich bei wachsenden Tieren auf. Die Fixation sollte so schonend wie möglich und so stabil wie nötig sein, um zusätzliche Traumen in dieser empfindlichen Zone zu vermeiden und ungestörtes Knochenwachstum zu ermöglichen. Eine Kreuzspickung eignet sich zur Versorgung derartiger Frakturen. Apophysäre Frakturen kommen zustande, wenn auf Zug belastete Wachstumszonen durch Muskelkraft oder Gelenküberdehnung abreißen. Nach der Reposition werden die enormen Kräfte am besten durch eine Zuggurtung neutralisiert. Artikuläre Frakturen müssen perfekt reponiert und stabil fixiert werden. Aus diesem Grund eignen sich dafür nur Platten- oder Schraubenosteosynthesen.

Offene Frakturen werden in drei Grade eingeteilt: Grad 1 (Hautverletzung durch den Knochen), Grad 2 (Hautverletzung von aussen) und Grad 3 (massive Hautverletzung). Offene Frakturen vom Grad 1 können wie geschlossene Frakturen behandelt werden. Offene Frakturen der Grade 2 und 3 bedeuten, dass bereits eine bedeutende Kontamination am Frakturort stattgefunden hat und der Frakturbereich teilweise schlecht durchblutet ist. Damit keine Implantate in möglicherweise infiziertes Gebiet eingebracht werden und um möglichst wenig zusätzlich vaskulären Schaden zu verursachen, ist in diesen Fällen ein Fixateur externe die Methode der Wahl. Falsch ist hingegen, infizierte Frakturen erst dann zu stabilisieren, wenn die Infektion abgeklungen ist. Nur maximale Stabilität hilft, dem Problem Herr zu werden.

Zusammengefasst lässt sich der Entscheidungsprozess in einen Algorithmus passen:



	diaphysär	Junges Tier	Erwachsenes Tier	epiphysär	artikulär	apophysär
Schiene	+					-
Cast	+	( )	( )			-
Cross Pins, Pinning				+		
Zuggurtung					( )	+
Nagel (Trilam, u.ä.)	+		+			-
Fixateur externe	+	+	+	+		
Schraube, Platte		+	+	+		+
Plate - Rod		( )	( )	+		( )

## 2.5 Materielle und personelle Voraussetzungen

Für die meisten Frakturen gibt es mehrere Therapiemöglichkeiten. Mit verhältnismässig wenig materiellem Aufwand lassen sich eine Vielzahl von Frakturen behandeln. Den höchsten Schwierigkeitsgrad stellen schwere Patienten und gelenknahe Knochenbrüche dar.

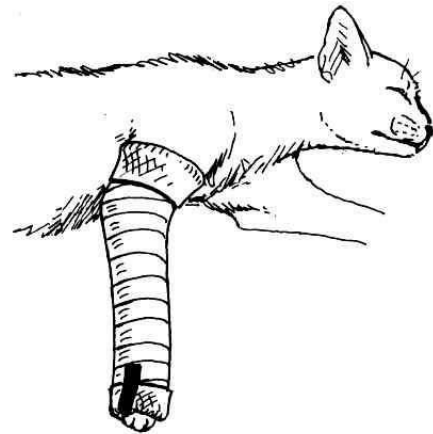
Grösste Bedeutung hat die Selbsteinschätzung des Chirurgen. Die richtige Indikationsstellung kann theoretisch erworben werden. Ausbildung, Erfahrung, Geschick und permanentes Training sind aber unabdingbar und ersetzen einen gut bestückten Instrumenten- und Implantateschrank nicht. So gesehen sind die einfachen Osteosynthesetechniken nur dann als „einfach“ zu bezeichnen, wenn neben der richtigen Indikationsstellung die materiellen und personellen Voraussetzungen gegeben sind.

## 3. Anwendungsgebiete einfacher Osteosynthesetechniken

### 3.1 Schiene und Cast

Schiene und Cast bieten wenig rotationelle Stabilität bei mässiger Biegestabilität. Sie respektieren die biologische Frakturheilung am besten. Sie werden eingesetzt für diaphysäre Frakturen bei wachsenden Tieren, wo das meist noch intakte Periost die Frakturenden in Position hält (Grünholzfrakturen) oder die reduzierte Fraktur eine gute Stabilität hat (gute Interdigitation, intakter Kollateralknochen). Wegen der Unmöglichkeit, die Schiene oder den Cast höher als über Ellbogen oder Knie zu ziehen und dem Zwang, die der Fraktur benachbarten Gelenke in die Fixation einzubeziehen, beschränkt sich die Anwendung dieser beiden Methoden auf Frakturen der Metacarpi respektive Metatarsi und Radius/Ulna respektive Tibia/Fibula.

Das Anlegen des Casts geschieht in Narkose. Die Zwischenzehenbereiche werden mit Watte gepolstert, ein Strumpf über die Extremität gezogen und Knochenvorsprünge minimal gepolstert. Eine antiadhäsive Zwischenlage fixiert die Polsterung, bevor die Frakturreduktion nochmals überprüft wird. Der Cast wird feucht oder trocken in Innenrotation gewickelt. Die Trockenwicklung hat den Vorteil, dass mehr Zeit für die perfekte Schichtung der Lagen bleibt. Der Cast muss dann mit einem feuchten Schwamm oder Gazerolle aktiviert werden. Er wird mit der flachen Hand geformt. Klebestreifen, welche zu Beginn auf die distale Extremitätenenden angebracht wurden, können

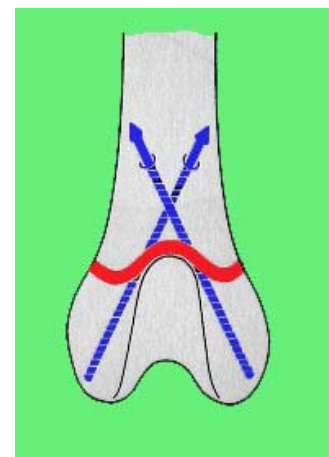


nun mit dem Strumpfende umgeklappt und auf den trockenen Cast geklebt werden. Der Cast lässt die Sicht zumindest auf die dritte und vierte Zehe frei. Tierarzt und Besitzer können so Stauungen bemerken. Der Cast wird gewechselt, sobald er wegen des Muskelschwundes rutscht, wegen des Wachstums des Patienten zu klein wird oder sonst seine Funktion verliert. Die unter Cast angestrebte indirekte Frakturheilung wird bei jungen Tieren in maximal 10 Wochen erreicht.

### 3.2 Kreuzspickung und Pinning

Kreuzspickung und Pinning werden in Gebieten mit wenig Biegekräften eingesetzt. Dies ist normalerweise im gelenknahen epiphysären und metaphysären Bereich der Fall. Gelenkfrakturen dürfen nicht mit diesen Methoden behandelt werden.

Klassische Anwendungsgebiete der Kreuzspickung sind die Salter Harris – Frakturen I und II oder in Kombination mit Schrauben die Salter Harris – Frakturen III und IV. Typisches Beispiel ist die Fraktur durch die distale Femurwachstumszone bei wachsenden Tieren. Nach dem Zugang zum Kniegelenk wird die Fraktur vorsichtig unter Flexion des Gelenkes

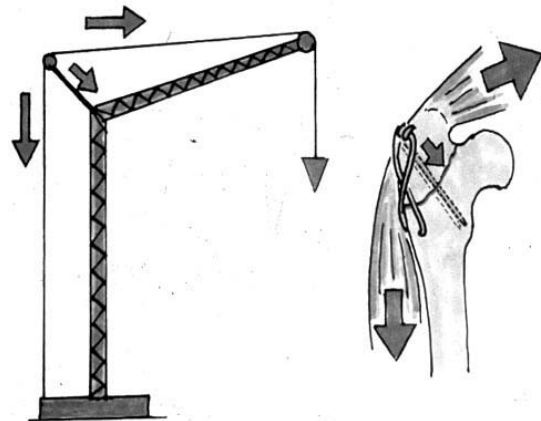


und mit Hilfe vorsichtig angesetzter Repositionszangen reponiert. Je ein Kirschner-Draht wird weit distal des Epikondylus angesetzt und schräg über die Frakturzone in den Transkortex des proximalen Fragmentes getrieben. Die Kirschnerdrähte sollen sich proximal der Fraktur kreuzen. Die gleiche Therapie kann bei Wachstumszonenfrakturen der proximalen und distalen Tibia und des distalen Humerus angewendet werden sowie nach medialem Zugang bei gewissen Femurkopffrakturen.

Die Parallelpinnung ist indiziert bei Femurkopf und -halsfrakturen, Salter Harris Typ II Frakturen der proximalen Tibia oder bei Salter Harris Typ I und II Frakturen des proximalen Humerus. Bei Hunden mit breiten Femurkondylen (z.B. Dackel) kann die Parallelpinnung auch für die Salter Harris Frakturen des distalen Femur angewendet werden.

### 3.3 Zuggurtung

Zuggurtungen sind hervorragende Methoden, Muskelkräfte und Kräfte entlang von Bändern zu eliminieren. Sie sind deswegen dort im Einsatz, wo Apophysen frakturiert sind oder osteotomiert wurden. Beispiele dazu sind die Calcaneusfraktur, Malleolusfrakturen, Crista tibia - Frakturen oder Osteotomien, Patellafraktur, Trochanterosteotomie, Styloidfraktur, Olecranonfraktur oder -osteotomie, Tuberculumfrakturen oder -osteotomien, und Acromionosteotomien.



Die Pins der Zuggurtung werden möglichst parallel und senkrecht zur Frakturbene eingetrieben. Um

die Pinspitzen verankerte und im Knochen verankerte Cerclagedrähte in Achter-Konfiguration neutralisieren die Zugkräfte und wandeln sie in Druckkräfte um, welche entlang der Pins kompressiv auf die Fraktur respektiv die Osteotomie wirken.

Spezielle Varianten der Zuggurtung kommen bei Patellafrakturen, bei knöchernen Gaumenspalten oder bei Iliumfrakturen als sogenannte Skewer-Pin zur Anwendung. Die Cerclagedrähte werden dabei um beide Enden der Pins gelegt und verspannt.

### 3.4 Intramedulläre Nagelung

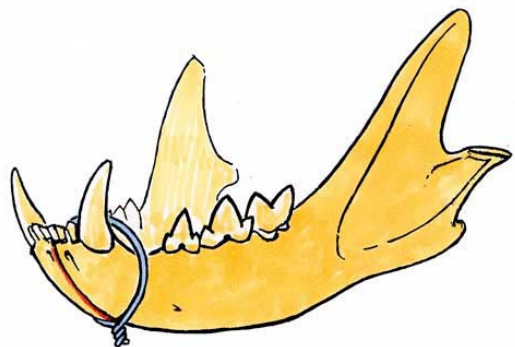
Intramedulläre Implantate wirken hervorragend gegen Biegekräfte. Glatte Nägel alleine wirken allerdings Rotationskräften und Axialkräften nicht entgegen, weshalb sie nur in Ausnahmefällen (intakter Parallelknochen, verzahnte einfache Querfraktur) ausreichend sind. Nägel sollten antirotationell gebaut (Dreieckquerschnitt wie beim Trilam Nagel), zusätzlich gegen Rotation gesichert (Interlocking Nail) oder mit anderen Implantaten kombiniert werden (Fixateur externe, Platte). Gefährlich ist die Kombination von intramedullärem Nagel mit Cerclagedraht, da die Blutzufuhr sowohl endostal als auch periostal massiv beeinträchtigt wird. Zudem ist die rotationelle Stabilität meist nicht genügend.

Die folgenden praktischen Hinweise für die Nagelung gelten nur, wenn durch ein anderes System (z.B. Fixateur externe) genügende rotationelle Stabilität gewährleistet werden kann. Nägel werden am einfachsten retrograd, d.h. von der Frakturseite in das proximale Hauptfragment eingeführt und zurückgezogen bis die Pinspitze am Frakturspalt ist. Die Fraktur wird dann reponiert, der Nagel in das distale Fragment vorgeschoben und seine Lage mit einem zweiten Nagel gleicher Länge verglichen. Aus praktischen Gründen sind Nägel mit beiseitigen Spitzen zu bevorzugen. Dieses zuerst retrograde, dann antegrade Einführen des Nagels ist möglich an Femur, Ulna und Humerus. An der Tibia ist nur die antegrade Nagelung von proximomedial sicher durchzuführen, da retrograd eingeführte Nägel meist genau unter den Menisken den Cortex im Gelenk penetrieren. Am Radius ist eine Nagelung nicht möglich, weil an beiden Enden Gelenksflächen einen Austritt des Nagels verunmöglichen.

Frakturen der Metacarpi oder Metatarsi können mit intramedullären Implantaten alleine versorgt werden. Die Kirschnerdrähte werden entweder über durch Zugangsslots eingeführt oder im Falle von Reihenfrakturen die Kirschnerdrähte in der korrekten Länge retrograd in die distalen Fragmentenden eingeführt und alle Knochen miteinander reduziert.

### 3.5 Cerclagen

Die Anwendungsgebiete für Cerclagen als alleinige Osteosynthesemethode sind auf den Schädel und weitere flache Knochen wie Scapula beschränkt. Einfache Mandibula- und Maxillafrakturen können mit Cerclagedrähten aufgebaut werden, weil die Heilung bei diesen flachen Knochen schnell ist und der Gebisschluss eine gute Führung gibt. Die Cerclagedrähte sollten so nah als möglich an der Zugseite, der oralen Seite des Knochens, appliziert werden. Die häufigste Mandibulafraktur der Katze ist die Spaltung der Symphyse. Diese wird mittels eines hinter den Canini verankerten Cerclagedrahtes stabilisiert. Die Zwirnung soll nach ventral kurz über die Haut zeigen, damit eine Drainage ermöglicht wird. Einige komplizierte Mehretagenfrakturen der Maxilla oder der Mandibula können mittels des sogenannten „intraoral splints“ versorgt werden. Lange Cerclagedrähte werden im intakten Kiefer verankert und dann in grossen Schlaufen durch zwischen den Zähnen durch die frakturierten Fragmente geführt. Die Schlaufen werden über einem Führungsdraht verzwirrt und bei Bedarf zusätzlich in Methylmetacrylat eingebettet.

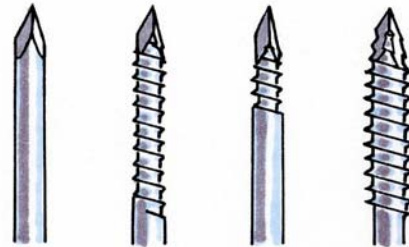


Keine guten Lösungen sind Cerclagen um die langen Röhrenknochen. Sie stören die periosteale Durchblutung schwer. Hemicerclagen sind wegen der geringeren Beeinträchtigung der Blutzufuhr zu bevorzugen.

### 3.6 Fixateur externe

Ob der Fixateur noch als einfache Osteosynthesetechnik bezeichnet werden kann, ist fraglich. Die Anwendungsgebiete sind breit, von einfachen Frakturen über Fixation und Distraction nach Korrekturosteotomien bis zur Arthrothese. Mit dem Fixateur externe lassen sich auch Kiefer und Wirbelsäulen bequem behandeln.

Die meisten Vorteile bietet der Fixateur externe, wenn er geschlossen oder nach Minizugang zur Fraktur angewendet wird. Die Blutzufuhr zum Knochen wird damit nur wenig weiter gestört. Die zu erwartende indirekte Frakturheilung verläuft rasch. Typische Fixateur externe Konfigurationen sind uniplanar einseitig (Typ I), uniplanar beidseitig (Typ II), biplanar



(Typ III) oder als Ringfixateur. Die Pins haben glatte, negativ geschnittene oder positiv geschnittene Gewinde. Ihre Verankerung im Knochen sowie der Preis für die Implantate steigt in der angegebenen Reihenfolge. Verschiedene Verbindungssysteme mit unterschiedlicher Haltekraft und Bedienerfreundlichkeit sind auf dem Markt erhältlich.

Die meisten Komplikationen mit Fixateur externe entstehen aufgrund technischer Fehler bei der Anwendung. Die Kontaktfläche zwischen Implantate und Knochen, das sogenannte Pin-Bone-Interface (PBI), ist anfällig auf Hitzenekrose, vor allem wenn zu grosse Pins ohne Vorbohren eingedreht werden und wenn keine Kühlung stattfindet. Im weiteren entstehen durch Wackeleffekte Teilabrisse des PBI, auch kann das PBI durch Zurückziehen der Pins geschwächt werden. Ungenügende Gesamtsteifigkeit des Fixateurs führt zu frühzeitiger Lockerung. Für eine gute Stabilität werden drei Pins pro Hauptfragment empfohlen. Als Nachbehandlung können die Austritte der Pins an der Haut mit Chlorhexidine für ein paar Tage betupft werden und soll ein Verband die Osteosynthese und den Patienten schützen.

