

Biomechanische Unterschiede in der Osteosynthese zwischen Kompressionsplatten und Überbrückungsplatten

■ Michael Wagner, Robert Frigg, Nathalie Schnider

Zusammenfassung

Die Plattenosteosynthese hat sich über die letzten 50 Jahre gewandelt. Wurde früher eine Fraktur vermehrt offen versorgt, liegt der heutige Fokus bei der minimalinvasiven Versorgung. Die Entwicklung der Versorgungsprinzipien, -methoden und der Operationstechniken sowie neue klinische Erkenntnisse führten zur Evolution der Osteosyntheseplatten und deren Verankerung im Knochen.

Biomechanical Differences between Compression Plates and Bridging Plates in Osteosynthesis

Osteosynthesis with the help of plates has undergone major changes over the past 50 years. Previously fractures were mostly treated by an open procedure whereas, today, the focus is on minimally invasive management. The developments in treatment principles, methods, and surgical techniques as well as new clinical knowledge have led to the evolution of new plates for osteosynthesis and methods for anchoring them to the bone.

Es gibt verschiedene Konzepte der Versorgung von Knochenfrakturen mittels Platten und Schrauben, welche durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst werden können.

Zu unterscheiden gibt es das Prinzip der Frakturstabilisation – relative oder absolute Stabilität; die Methode der Versorgung – Kompressionsplatten oder Überbrückungsplatten, auch Schienung genannt – und die chirurgische Technik – die offene versus die minimalinvasive Frakturversorgung. Moderne Implantate wie die Locking Compression Plate (LCP) sind so konzipiert, dass sie sowohl die unterschiedlichen Prinzipien und Methoden als auch die beiden Operationstechniken optimal unterstützen.

Der eigentliche Frakturheilungsprozess ist von der erreichten Frakturstabilität abhängig.

Eine direkte Frakturheilung durch internen Umbau ohne eine Kallusbildung im

Frakturbereich ist nur durch eine hohe primäre Frakturstabilität erreichbar (die sogenannte absolute Stabilität). Können sich Knochenfragmente nach der operativen Frakturversorgung relativ zueinander bewegen, spricht man von einer relativen stabilen Frakturversorgung. Diese Frakturen heilen über eine Kallusbildung, welcher die Frakturzone überbrückt.

Das Erreichen einer absoluten Frakturstabilität ist eine Herausforderung an den Chirurgen. Er muss die Knochenfragmente anatomisch reponieren, damit die Platte und die Schrauben eine Kompressionskraft auf die Fraktur ausüben können. Diese Kompression verhindert Bewegungen im Frakturspalt bei der funktionellen Belastung durch den Patienten. Die anatomische Reposition und die absolute Stabilität ist ein Muss für alle Gelenkfrakturen. Eine anatomische Reposition ist meist nur unter direkter Visualisierung der Fragmente, also durch eine offene Reposition möglich. Das kann bei komplexen Frakturformen oder bei einer extensiven Manipulation der Fragmente und den umliegenden Weichteilstrukturen zu einem operationsbedingten Zusatztrauma führen.

Die Kompression der Platte an den Knochen führt zu einer Durchblutungsstörung, welche die Hauptursache des Vitalitätsverlusts der Knochenfragmente ist.

Um das operativ bedingte Zusatztrauma zu reduzieren und den Vitalitätsverlust der Knochenfragmente zu verhindern, wurde die Technik der Überbrückungsosteosynthese entwickelt. Diese Entwicklung zielte vor allem auf die Versorgung von diaphysären, mehrfragmentären Brüchen mit einem Schienen des Knochens mittels einer Platte. Dabei wird die Frakturzone überbrückt und durch indirekte Reduktion reponiert. Anstelle einer anatomischen Reposition der einzelnen Knochenfragmente werden die Fragmente so wenig wie möglich manipuliert. Die Reposition beschränkt sich auf die Wiederherstellung der Knochenachsen, Länge und Rotation. Die überbrückende Plattenosteosynthese eignet sich speziell für die minimalinvasiven Operationstechniken, kurz MIPO (minimalinvasive Plattenosteosynthese). Bei der MIPO wird die Platte durch einen frakturfernen Zugang eingebracht und subkutan durch die Frakturzone vorgeschoben. Die Verankerung der Platte, nach erfolgter Wiederherstellung der Länge, Achse und Rotation des Knochens, erfolgt über Schrauben, die durch Stichinzisionen eingebracht werden. Nachdem anfänglich die mehrfragmentären Frakturen für die überbrückende MIPO im Fokus lagen, wird diese Versorgung auch vermehrt für einfache Frakturformen verwendet.

Kompressionsplatte → absolute Stabilität und interfragmentäre Kompression
Überbrückungsplatte (oder interner Fixateur) → relative Stabilität und Überbrückung der Frakturzone

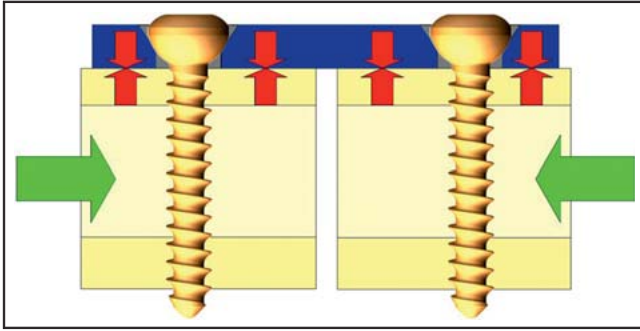


Abb. 1 Durch das Festdrehen der Kompressionsrauben wird die Platte auf den Knochen gepresst. Die dadurch erreichte Reibung zwischen Platte und Knochen ermöglicht eine Stabilisierung der Fraktur (© Synthes GmbH).

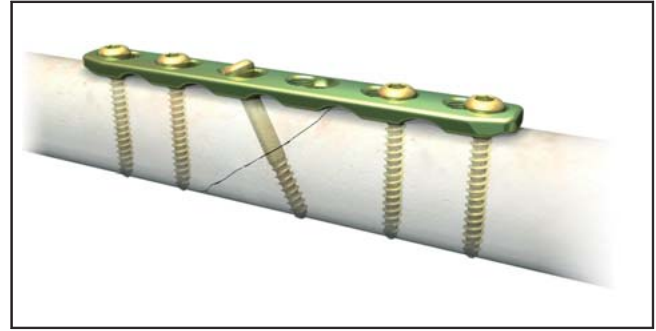


Abb. 2 Durch die exzentrisch in den Kompressionslöchern einer LCP, LC-DCP oder DCP eingebrachten Kompressionsrauben können Frakturen unter Kompression gesetzt werden. Wird zudem noch eine Kompressionsraube als Zugschraube durch die Fraktur gesetzt, kann eine hohe primäre Frakturstabilität erreicht werden (© Synthes GmbH).

Auf die Schrauben kommt es an

Die Wahl der Schrauben sowie das Prinzip der Frakturfixation machen aus einer Osteosyntheseplatte wie der LCP eine Kompressionsplatte oder einen internen Fixateur.

Kompressionschrauben

(Kortikalis- und Spongiaschrauben)

Bei der Verwendung von Kompressionschrauben in Kombination mit Osteosyntheseplatten dienen die Kompressionschrauben zur Fixation der Platte auf den Knochen. Dabei wird die Platte durch das Festziehen der Kompressionschrauben auf den Knochen gedrückt. Dank der daraus entstehenden Friktion zwischen Platte und Knochen kann die Platte stabil mit dem Knochen verbunden werden (**Abb. 1**). Übersteigen die auf den Knochen einwirkenden Kräfte (Überbelastungen durch den Patienten) die erzielte Platten-Knochen-Friktion, führt dies zu einem Repositionsverlust. Dieser Repositionsverlust ergibt sich durch Relativbewegung zwischen der Platte und Knochen oder durch Schraubenlockerung aufgrund der Überlastung des Schrauben-Knochen-Interfaces.

Nur das Anbringen einer Osteosyntheseplatte mit Kompressionschrauben reicht nicht aus, um den Frakturspalt unter Kompression zu setzen.

Wenn die Frakturkompression das Ziel der Versorgung sein soll, müssen Plattenspanner oder Osteosyntheseplatten verwendet werden, die mit sogenannten Kompressionslöchern versehen sind.

Die Kompressionslöcher sind in Plattenspannersicht gesehen oval geformt und besitzen eine sog. Spannleitbahn. Wenn

nun Kompressionschrauben exzentrisch in das frakturferne Ende des ovalen Loches gesetzt werden, trifft der untere Teil des Schraubenkopfs auf die Spannleitbahn des Kompressionslochs. Durch das Festdrehen der Schraube wird das zu verschraubende Knochensegment in Richtung Fraktur verschoben. Diese Verschiebung erfolgt solange, bis der Schraubenkopf vollkommen in das Plattenloch eingetaucht ist und die Platte dabei fest auf den Knochen gedrückt wird. Zusätzliche Frakturkompression kann mittels einer Zugschraube durch die Platte erzeugt werden (**Abb. 2**).

Überbrückende (biologische) Plattenosteosynthese mit Kompressionschrauben

Anders als bei der Kompressions-Plattenosteosynthese trägt der Knochen nur teilweise zur mechanischen Stabilisierung der Fraktur bei.

Wird die frakturüberbrückende Osteosyntheseplatte mittels Kompressionschrauben an den Knochen geschraubt, muss die Plattenform vorher der Knochenanatomie angepasst werden. Ist die Plattenform nicht korrekt, führt das Anziehen der Knochenchrauben zu einem Repositionsverlust, da die Schrauben den Knochen mit großer Kraft an die Plattenunterseite ziehen. (**Abb. 3**) Das Festziehen der Plattenschrauben ist wichtig, um eine ausreichende Platten-Knochen-Friktion zu erreichen und somit die Fraktur zu stabilisieren.

Ein weiterer Nachteil bei der Verwendung von Kompressionschrauben bei der überbrückenden Plattenosteosynthese ist deren Verankerung im metaphysären Bereich. Eine ausreichende metaphysäre Verankerung der Platte ist speziell bei der überbrückenden Platten-

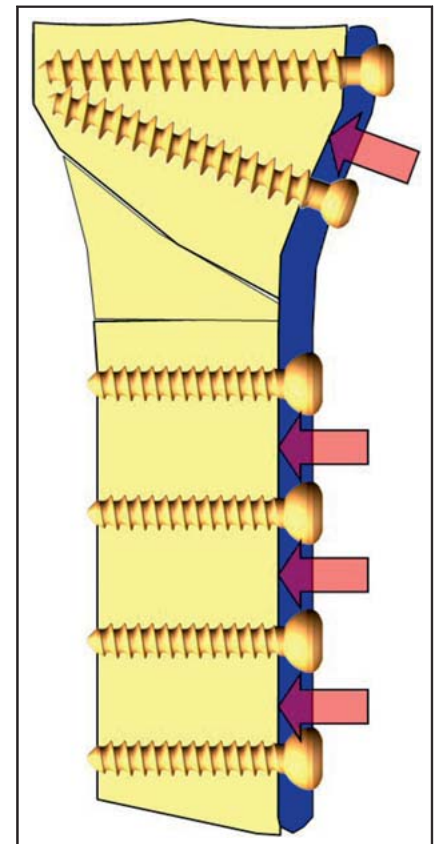


Abb. 3 Durch das Festdrehen der Kompressionschrauben werden die Knochenfragmente an die Platte herangezogen. Wird die Platte nicht anatomisch angeformt, führt das zu einem Repositionsverlust (© Synthes GmbH).

osteosynthese wichtig, da für die Überbrückung lange Platten benutzt werden müssen. Diese Verankerung mit Kompressionschrauben ist im spongiosen Knochen der Metaphyse und im Speziellen bei älteren Patienten mit Osteoporose nicht immer möglich. Dies zeigt sich oftmals schon intraoperativ durch ein Überdrehen der Schrauben bei geringer Eindrehkraft, oder postoperativ durch

Schraubenlockerung und daraus erfolgreichem sekundärem Repositionsverlust.

Kopfverriegelungsschrauben

Bei Kopfverriegelungsschrauben (KVS) handelt es sich um Knochenschrauben, die nach dem Festdrehen axial- und winkelstabil in der Knochenplatte fixiert sind. Diese Fixation ist unabhängig von der Knochenqualität und der anatomischen Region der Verankerung.

Anders als bei der Kompressionsschraube benötigt diese Schrauben-Platten-Kombination keine Reibung zwischen der Platte und dem Knochen, um eine Fraktur stabil zu versorgen.

Unabhängig davon, ob die Platte auf dem Knochen aufliegt oder nicht, verankert sich der Schraubenkopf der Schraube axial- und winkelstabil mit der Platte, ohne dass die Schraube axial belastet wird (Abb. 4).

Das hat den Vorteil, dass die Platte nicht genau an die Knochenform angepasst werden muss. Die Frakturpositionierung wird durch das Anbringen der Platte und bei der Verankerung durch Kopfverriegelungsschrauben nicht verändert (Abb. 5).

Bei der Belastung dieser Schrauben-Platten-Kombination wird die Kraft von einem Knochensegment über die KVS auf die Platte übertragen und von der Platte über den Frakturspalt zur KVS auf das andere Knochensegment geleitet. Die KVS werden anders als die Kompressionsschrauben größtenteils auf Biegung und nicht auf Zug belastet.

KVS und Platte bilden ein in sich stabiles Konstrukt

Anders als bei herkömmlichen Platten/Kompressionsschrauben-Systemen funktionieren Platten mit KVS als Fixationseinheit. Kompressionsschrauben können sich unabhängig voneinander lockern, was zu einer sequenziellen Lockerung der Platte führt. Platten, die mit KVS am Knochen verankert sind, bilden eine Einheit aus Platte und allen verwendeten KVS. Als sog. Verankerungsblock hat das Gesamtkonstrukt eine viel bessere Verankerung im Knochen und das auch im osteoporotischen Knochen.

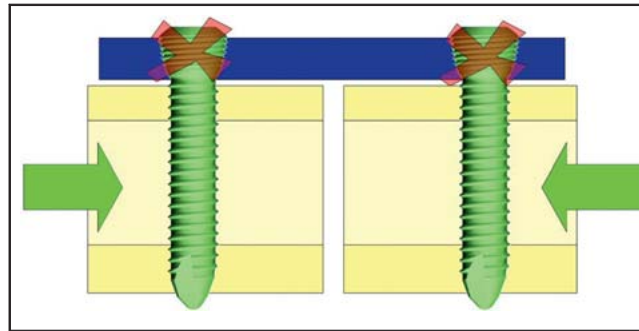


Abb. 4 Die Kraftübertragung bei Platten mit winkelstabilen Schrauben erfolgt über die Schraube und ist unabhängig vom Knochen-Platten-Kontakt (© Synthes GmbH).

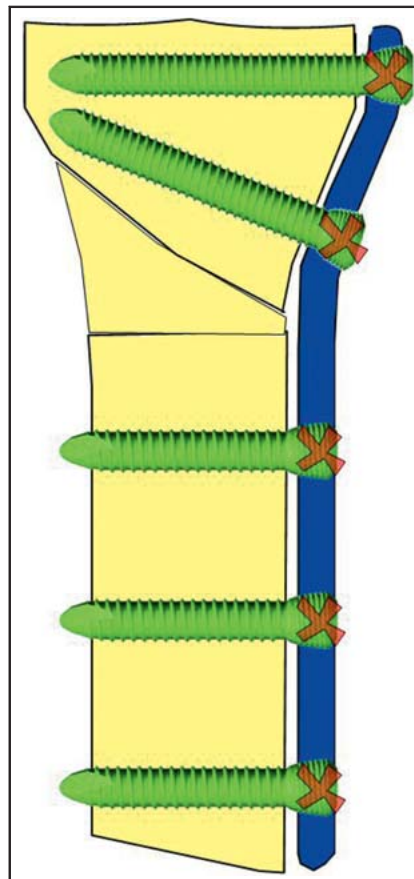


Abb. 5 Dieses Platten-Schrauben-Konstrukt wird als interner Fixateur bezeichnet (© Synthes GmbH).

Optimierte Plattenverankerung durch divergierende KVS

Die Vorteile von winkelstabilen KVS können mit den Vorteilen bekannter winkelstabiler Implantate, wie z. B. der Winkelplatten, verglichen werden. Sie verhindern das Abkippen des im Knochen verankerten Elements (Klinge), relativ zum Längsträger (Platte), und somit einen Repositionsverlust der Fraktur.

Der reine axiale Ausreißwiderstand der KVS ist durch die winkelstabile Verbindung mit der Platte nicht vergrößert



Abb. 6 Anatomisch vorgeformte Platten sind einfacher in der Anwendung und weisen eine der Anatomie angepasste Richtung der Kopfverriegelungsschrauben auf (© Synthes GmbH).

und ist abhängig vom Schraubenaußendurchmesser. Beim Überschreiten des maximalen Ausreißwiderstands reißt die Schraube einen Knochenzylinder, entsprechend dem Schraubendurchmesser, aus dem Knochen. Werden minimal 2 KVS in einem Knochensegment divergierend zueinander eingebracht, kann die Ausreißkraft dieser beiden Schrauben zusammen um ein Mehrfaches vergrößert werden. Der Grund dafür liegt in den fixierten, divergierenden Schraubenachsen, die in den entsprechend divergierend ausgerichteten Schraubenlöchern der Platte wiederum winkelstabil fixiert sind. Anders als bei divergierenden Kompressionsschrauben können sich KVS unter Zug nicht parallel ausrichten und bilden so eine größere Widerstandsfläche. In anatomisch vorgeformten LCP sind die Schraubenlagen



Abb. 7 Polyaxial schwenkbare Kopfverriegelungsschrauben (KVS)
(© Synthes GmbH).



Abb. 8 Die aus 2 Teilen bestehende KVS, welche eine kontrollierte Bewegung des Frakturspalts zulässt
(© Synthes GmbH).

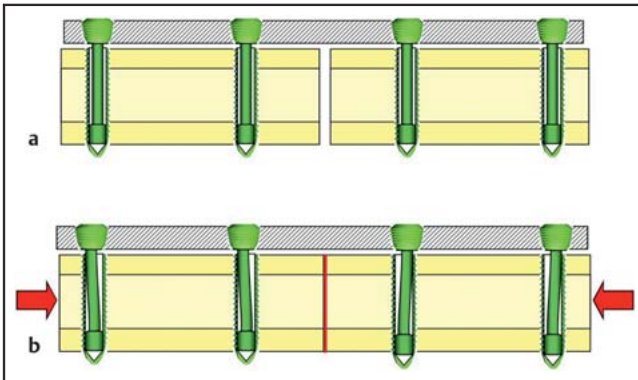


Abb. 9 a und b Kontrollierte Mikrobewegung unter Belastung
(© Synthes GmbH).

und Schraubenrichtungen so konzipiert, dass sie eine optimale Plattenverankerung unter Berücksichtigung der anatomischen Gegebenheiten ermöglichen. Durch diese Schraubenanordnung kommt es automatisch zu divergierenden Schraubenachsen und dadurch zu einer optimierten Plattenverankerung (**Abb. 6**).

Polyaxiale Kopfverriegelungsschrauben

Im Vergleich zur KVS hat die Kompressionsschraube den Vorteil, dass der Chirurg intraoperativ die Schraubenrichtung frei wählen kann. Diese Freiheit ermöglicht ihm, die Plattenverankerung an die individuelle anatomische Situation anzupassen. Das kann auch bei anatomisch vorgeformten Platten wün-

schenswert sein, speziell, wenn die Plattenlage oder die Anatomie nicht dem Standard entspricht oder wenn andere Implantate, wie z. B. bei der Versorgung von periprothetischen Frakturen das Einbringen von KVS in einer vorgegebenen Richtung, nicht möglich ist.

Um diese Einschränkung zu lösen, wurden polyaxiale KVS und Plattenlöcher entwickelt. Diese Entwicklung kombiniert die Vorteile der Kompressionsschraube mit den Vorteilen der KVS (**Abb. 7**).

Die polyaxiale Kopfverriegelungsschraube ermöglicht dem Chirurgen, die Plattenverankerung auf die individuelle anatomische Situation anzupassen.

Dynamische Kopfverriegelungsschrauben

Die Plattenosteosynthese hat sich über die letzten 20 Jahre verändert und weiterentwickelt. Der Wunsch nach weniger invasiven Plattenosteosynsetechniken für dia- und metaphysäre Frakturen hat zu einem Prinzipienwechsel bei komplexen Frakturen, aber immer mehr auch für einfache Frakturen geführt. War früher die anatomische Frakturposition und das Erreichen einer absolut stabilen Frakturversorgung das Ziel der Plattenosteosynthese, wird heute einer weniger invasiven Operationstechnik stärkere Beachtung geschenkt. Die Entwicklung interner Fixateure sowie die anatomisch vorgeformter Platten unterstützen diese MIPO-Anwendungstechnik.

Aus Publikationen über die klinischen Erfahrungen ist ersichtlich, dass bei der überbrückenden Plattenosteosynthese von mehrfragmentären Knochenbrüchen bessere Resultate erzielt werden können als bei der gleichen Versorgung von einfachen Frakturen. Über diese Problematik wurde schon vor der Zeit der winkelstabilen Plattenosteosynthese berichtet. Ungeachtet der Plattenverankerung durch Kompressionsschrauben oder KVS stabilisiert eine Platte die Fraktur asymmetrisch, wobei sie plattennahe eine Bewegung des Frakturspalts zulässt, plattennahe aber eine Bewegung des Frakturspalts verhindert. Elastischere Versorgungen mittels langen Platten, welche die Fraktur über eine lange schraubenfreie Überbrückungsdistanz versorgen, können diese Asymmetrie nicht lösen. Oftmals kann plattennahe eine Kallusbildung beobachtet werden, plattennahe erfolgt das Auffüllen des Frakturspalts verzögert oder gar nicht.

Um diese Problematik zu lösen und eine kontrollierte Mikrobewegung im gesamten Frakturspalt zu ermöglichen, wurde die dynamische Kopfverriegelungsschraube entwickelt (**Abb. 8**).

Diese 2-teilige Schraubenkonstruktion lässt eine kontrollierte Mikrobewegung zwischen dem Schraubenkopf und dem Schraubengewinde zu. Da der Schraubenkopf in der Platte verriegelt und das Schraubengewinde im Kochen verankert ist, ist eine kontrollierte Bewegung des Knochens relativ zur Platte möglich (**Abb. 9**).

Die kontrollierte Mikrobewegung der dynamischen Kopfverriegelungsschrauben lässt eine 3-dimensionale Bewegung im ganzen Frakturbereich zu, was zu einer optimaleren, symmetrischen Kallusbildung im gesamten Frakturspalt führt.

Die Plattenosteosynthese hat sich über die letzten 50 Jahre gewandelt. Die Versorgungsprinzipien, -methoden und atraumatischere Operationstechniken führten zur Evolution der Osteosynthesplatten und deren Verankerung im Kno-

chen. Lag der Fokus in der Implantatentwicklung zu Beginn bei der Versorgung diaphysärer Frakturen, mit ausreichender Knochendichte, liegt der Fokus heute mehr bei der Versorgung von metaphysären Frakturen mit z. T. stark reduzierter Knochenmasse (Frakturen des osteoporotischen Knochens). Neue Operationstechniken und neue Erkenntnisse aus der Klinik und der Forschung werden auch weiterhin die Entwicklung von neuen Instrumente und Implantaten vorantreiben, um die klinischen Resultate zu verbessern.

Prim. Univ. Prof. Dr. Michael Wagner
Abteilungsvorstand

Unfallchirurgische und
Sportmedizinische Abteilung
Wilhelminenspital der Stadt
Montleartstraße 37
1160 Wien
Österreich

Prof. Dr. h. c. mult. Robert Frigg
Chief Technology Officer

DePuy Synthes
Luzernstrasse 21
4528 Zuchwil
Schweiz

Nathalie Schnider
Senior Product Manager

Synthes Trauma
Luzernstrasse 21
4528 Zuchwil
Schweiz

schnider.nathalie@synthes.com