



**University of  
Zurich**<sup>UZH</sup>

**Zurich Open Repository and  
Archive**

University of Zurich  
Main Library  
Strickhofstrasse 39  
CH-8057 Zurich  
[www.zora.uzh.ch](http://www.zora.uzh.ch)

---

Year: 2013

---

## **Neue Technologien bei Planung und Durchführung von Osteotomien: Beispiele aus der Handchirurgie**

Schweizer, Andreas

**Abstract:** New technologies improved the techniques of osteotomies, which remained over decades unchanged, and made bone cuts possible, which earlier on hardly were feasible. The introduction of simple applicable software can process CT data on a PC to reconstruct 3D models of a bone and to compare its shape with the mirror of the opposite side. This first allows an exact analysis of a malunion, the development of a plan for the correction and finally the virtual performance of the operation. The production of individualised drill-an saw-guides with the laser-sintering process (3D printer) which can be definitely positioned on the surface of the bone, implements exactly the planning into the operation. The new possibilities of this osteotomy technique are presented with 4 examples/cases from the hand surgery.

DOI: <https://doi.org/10.1024/1661-8157/a001285>

Other titles: New technologies in planning and performance of osteotomies: example cases in hand surgery

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-90953>

Journal Article

Accepted Version

Originally published at:

Schweizer, Andreas (2013). Neue Technologien bei Planung und Durchführung von Osteotomien: Beispiele aus der Handchirurgie. *Praxis*, 102(10):579-584.

DOI: <https://doi.org/10.1024/1661-8157/a001285>

***Titel:***

**Neue Technologien bei Planung und Durchführung von Osteotomien:  
Beispiele aus der Handchirurgie**

***Abstrakt:***

Neue Technologien erlauben es die seit Jahrzehnten unveränderten Arbeitsweisen der Osteotomie wesentlich zu verbessern sowie zuvor kaum durchführbare Schnittführungen zu ermöglichen. Die Einführung von einfach bedienbarer Software zur Verarbeitung von CT Daten erlaubt es am PC 3D-Modelle von Knochen herzustellen und diese mit dem Spiegelbild der Gegenseite zu vergleichen. Erst dies erlaubt eine exakte Fehlstellungsanalyse, das Erstellen eines Operationsplanes und die virtuelle Durchführung der Operation. Das Herstellen von individualisierten Bohr- und Sägelehren im Laser-Sinterverfahren (3D-Print), welche eindeutig auf der jeweiligen Knochenoberfläche positioniert wird, ermöglicht die exakte Umsetzung der Planung während der Operation. Anhand von Fallbeispielen aus der Handchirurgie sollen die neuen und erweiterten Möglichkeiten der heutigen Osteotomie dargelegt werden.

***Key words:***

Intraartikulär, Osteotomie, 3D Planung, 3D geführte Operation

### ***Einführung:***

In der Orthopädie war vor der Einführung der Endoprothetik in den 60-er Jahren die Korrektur-Osteotomie eine der wichtigsten Operation dieses Faches. Insbesondere wachstumsbedingte Fehlstellungen der unteren Extremität stellten das Hauptbetätigungsfeld der Wahleingriffe in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts dar. Während die Endoprothetik ständig weiter entwickelt wurde und auch mengenmässig die Osteotomie bei Weitem überholt hat, haben sich die Techniken der Osteotomie bis vor einigen Jahren kaum verändert. Nach wie vor werden diese meistens aufgrund von zwei konventionellen Standardröntgenbildern geplant. Die 3 möglichen Korrekturwinkel eines dreidimensionalen Körpers werden also lediglich aufgrund von zwei ungefähr senkrecht zueinander ausgerichteten konventionellen Röntgenbildern errechnet. Die Abbildung der 3. Ebene ist aus technischen und projektionsbedingten Gründen oft nicht möglich und entfällt daher meist. Es verbleibt die Möglichkeit eine Rotationsbestimmung (3. Ebene) anhand von einzelnen CT-Schnitten durchzuführen, wobei die winkelbestimmenden Linien von Hand gelegt werden müssen. Obschon die CT Technik seit den 70-er Jahren bekannt ist, wird der zur Verfügung stehende CT-Datensatz bis heute kaum genutzt. Lediglich aber das aufgrund eines solchen CT-Datensatzes rekonstruierte 3D-Modell eines Knochens lässt dessen Struktur und allfällige Fehlstellung exakt analysieren. Bis heute bleiben diese Analysemethoden in der Orthopädie weithin ungenutzt. Die dreidimensionale Analyse und virtuelle Planung eines Eingriffes war zwar schon seit den 90er Jahren möglich, der technische Aufwand aber kompliziert und teuer und es scheiterte an der bis anhin fehlenden praktikablen intraoperativen Umsetzbarkeit.

### ***Neue Technologien genutzt und angewandt in der Osteotomie***

Die Entwicklung von einfach anwendbarer Software (zum Beispiel Mimix<sup>®</sup>, Materialise, Leuven, Belgien) erlaubt es auch einem nicht in Informatik vorgebildeten Anwender (Mediziner/Chirurgen) aus einem CT-Datensatz ein dreidimensionales Knochenmodell herzustellen (Segmentierung). Zur Analyse sowie Berechnung einer allfälligen Fehlstellung kann das Spiegelbild des kontralateralen Knochens oder ein Standardknochenmodell

zur Hilfe genommen werden. Am Bildschirm können die Objekte von beliebigen Seiten betrachtet, übereinander gelegt und analysiert werden. Dies kann wahlweise manuell oder auch mittels eines Algorithmus (findet die beste volumetrische Passung) automatisch durchgeführt werden [1]. Ebenfalls können das Setzen und die Orientierung der Osteotomieebene sowohl manuell als auch automatisch an optimaler Stelle positioniert werden. Das osteotomierte Fragment wird dann automatisch volumetrisch in die richtige Position verschoben und die 6 Freiheitsgrade (3 Translation, 3 Rotation) errechnet. Diese Daten können dann, wie durch uns am distalen Radius realisiert [3], auf ein Bohrzielgerät übertragen werden. Dies erlaubt es intraoperativ die Bohrlöcher für die Platte am richtigen Ort bereits vor dem Durchführen der Osteotomie zu setzen. Auf diese Weise kann der Eingriff genauer, einfacher und schneller durchgeführt werden. Haben die neuen Methoden bei den extraartikulären Fehlstellung vor allem zu einer Verbesserung der Präzision und Geschwindigkeit geführt, ist bei den intraartikulären Fehlstellungen (Gelenkstufen nach intraartikulären Frakturen) die Korrektur-Osteotomie erst überhaupt mit dieser Präzision möglich geworden. Ist durch den Gelenkpartner selbst der Zugang zur Stufe der Gelenksfläche mit einer Säge oder Meissel sehr schwierig und meist nur mit einem Kollateralschaden möglich, ist eine Osteotomie von der Aussenseite des Gelenkes über den epi- oder metaphysären Knochen möglich, erfordert aber spezielles Instrumentarium. Hier hilft uns die Planung am 3D-Modell dies zu realisieren. Mit einer CAD Software werden virtuell mehrere Bohrkanäle entlang der geplanten Osteotomieebene von ausserhalb des Gelenkes an die Gelenkstufe/Malunion gelegt. Das Herstellen eines Knochenabgussmodells mit der Verbindung von Bohrhülsen für die gesetzten Bohrkanäle erlaubt es eine Lehre herzustellen, welche exakt in nur einer Position auf den Knochen des Patienten passt (Fig. 1). Beim Entwerfen einer solchen Bohr- oder Sägelehre sind dem Operateur praktisch keine Grenzen gesetzt, da das Herstellen einer solchen mit dem Laser-Sinterverfahren (3D-Printer) praktisch alle Formen hergestellt werden können. Diese aus Kunststoff bestehenden sterilisierbaren Bohrlehren werden dann intraoperativ auf die gelenknahe präparierte Knochenoberfläche aufgebracht und fixiert, danach kann die Bohrlochreihe ohne Eröffnen des Gelenkes gesetzt werden. Die Bohrlöcher selbst werden dann wie bei einer Briefmarke miteinander verbunden und so eine Osteotomieebene kreierte. Das zu verschiebende

Fragment wird dann mobilisiert und bei Bedarf mit einer Repositionsführung in die korrekte Position gebracht und mit einer konventionellen Platte fixiert.

Anhand von Beispielen sollen im Folgenden die Möglichkeiten dieser Technik hinsichtlich Fehlstellungsanalyse, Planung und Durchführung einer Operation dargelegt werden. Diese Technologie erlaubt es auch Fehlstellung von bis zu 1-2 mm (Stufen im Gelenk) zu korrigieren, was bis anhin nur schwierig möglich war. Wenn mit dieser Methode eine Arthrose verhindert oder einer Arthrodese aus dem Weg gegangen werden kann, berechtigt dies bereits den Mehraufwand.

#### *Fallbeispiel 1: Intraartikuläre Malunion*

Der 33-jährige Patient zieht sich bei einem Motorradsturz neben einer Knieverletzung eine distale intraartikuläre Radiusfraktur zu. Bei nur geringer Dislokation wird ein konservatives Vorgehen angestrebt (Fig. 1). Da die Fragmente weiter dislozieren, entwickelt der Patient über die kommenden Monate zunehmend Handgelenksschmerzen. Beim Folge-CT ein halbes Jahr nach Trauma zeigt sich ein vermeintlicher grosser zentraler Gelenksdefekt, so dass dem Patienten von einem Spezialisten eine Handgelenksteilarthrodese empfohlen wird. Der Patient erscheint bei uns für eine 2. Meinung, wonach wir eine 3D-Rekonstruktion des distalen Radius durchführen und diese mit der Gegenseite vergleichen. Nicht wie aufgrund des CT anfänglich geglaubt liegt ein zentraler Gelenksdefekt vor, sondern sind die drei Hauptfragmente lediglich auseinandergedriftet und fehlverheilt. Bei der virtuellen Reposition der drei Fragmente wird ersichtlich, dass die gesamte Gelenkfläche praktisch wieder ohne Defekt wiederherstellbar ist (Fig. 2). Wir planen eine mittels Bohrführung geleitete Doppel-Osteotomie, wobei von dorsal ein Fragment entlang der Osteotomieebene nach distal geschoben werden kann, palmarseitig über eine Bohrführung ein Knochenkeil entfernt wird, so dass das palmare Fragment an den Schaft angeklappt werden kann. Ohne das Gelenk zu eröffnen kann die Gelenkfläche so wieder recht genau wiederhergestellt werden. Der Patient ist ein halbes Jahr nach dem Eingriff praktisch beschwerdefrei, hat keine Krepitationen mehr, einen Bewegungsumfang

von Flexion/Extension 60-0-70° (Gegenseite 70-0-75°), einen Faustkraftschluss von 42 kg links (betroffene Seite), 44 kg rechts.

### *Fallbeispiel 2: Dysplastisches distales Radioulnargelenk (DRUG)*

Die 18-jährige Patientin hat seit Jahren zunehmend belastungsabhängige Schmerzen im DRUG, welche auf eine Inkongruenz im DRUG durch eine ausgeprägte anlagebedingte Minusvarianz der Elle beidseits (Ulnadysplasie Typ I nach Swanson) zurückgeführt werden kann. MR-tomographisch lässt sich nachweisen, dass der Knorpel des Ellenkopfes nicht mehr in Kontakt mit der Fossa sigmoidea steht. Typisch für diese Deformität ist ebenfalls der vergrößerte radiale Anstellwinkel des Radius. Mittels 3D-Rekonstruktion wird eine verkürzende und desinklinierende Radiusosteotomie geplant, mit dem Ziel die beiden Gelenkflächen des DRUG wieder kongruent stellen zu können und ebenfalls die vermehrte Inklination sowie Flexion zu korrigieren. Mittels einer Sägelehre, welche die Osteotomieebenen exakt festlegt, kann der entsprechende Knochenkeil entfernt werden. Da bereits vorgängig die Korrektur in Rotation und Translation berechnet worden ist, können die für die Plattenfixation notwendigen Bohrlöcher an der bereits vorgesehenen Stelle vor der Osteotomie gesetzt werden (Fig. 3). Schon 2 Monate postoperativ ist die Patientin beschwerdefrei und hat eine nahezu symmetrische Beweglichkeit. Ebenfalls zeigt sich radiologisch das kongruente DRUG.

### *Fallbeispiel 3: Malunion Radiuschaft*

Der 43-jährige Patient erlitt eine Vorderarmschaftfraktur, welche gleichentags mit einer Osteosynthese behandelt wurde. Bei postoperativ fehlender Supination wurde eine korrigierende Osteotomie 6 Monate später durchgeführt, welche keine Verbesserung gebracht hat. Konventionell radiologisch ist zwar durch die fehlende Prominenz der Tuberositas bicipitis eine Fehlstellung anzunehmen, quantifiziert kann diese so allerdings nicht. Mittels 3D-Rekonstruktion und Vergleich zur gespiegelten Gegenseiten zeigen sich ein Rotationsfehler im vorgängigen Frakturbereich von 76° sowie eine Achsabweichung von je 5° in valgus. Die Operation (Fig. 4) wird

mit Hilfe einer Führung für Kirschnerdrähte durchgeführt, wobei diese im geplanten distalen und proximalen Fragment mit der errechneten Fehlstellung gesetzt werden. Nach der Osteotomie wird die Repositionsführung über die Kirschnerdrähte geschoben, sodass die Fragmente wie geplant zueinander reponiert werden und die Platte lediglich noch in situ verschraubt werden muss. Der Patient erreicht so 3 Monate postoperativ wieder eine Supination von 45° (Gegenseite 60°).

#### *Fallbeispiel 4: Zweifache Malunion Metakarpale V*

Dieser 50-jährige Patient erlitt eine Schafffraktur sowohl als auch eine subkapitale Fraktur des Metakarpale V zu zwei verschiedenen Zeitpunkten. Beide Frakturen sind fehlerverheilt, sodass eine komplexe Fehlstellung in Rotation und Achse vorliegt, der Finger klinisch weit nach ulnar absteht und beim Faustschluss mit dem Ringfinger überkreuzt. Mittels 3D-Rekonstruktion werden an den beiden ursprünglichen Frakturen Osteotomien durchgeführt und die Fragmente gemäss dem gespiegelten Knochen der Gegenseite ausgerichtet. Entsprechend dessen wird die exakte Position der Bohrkanäle am fehlerverheilten Knochen errechnet und eine Bohrlehre hergestellt, welche es erlaubt die Schraubenlöcher an der für nach der Reposition korrekte Stelle zu setzen. Nach der Osteotomie können dann die Fragmente einfach an die in die Planung miteinbezogene Platte in exakt definierter Position geschraubt werden (Fig. 5). Der Patient hat 3 Monate nach der korrigierenden Osteotomie wieder eine normale Kleinfingerfunktion.

#### ***Diskussion:***

Korrektur-Osteotomien sind, insbesondere wenn Deformationen in mehreren Achsen sowie Translationen vorhanden sind, schwierige Operationen. Die Abbildung eines Knochens aufgrund von lediglich zwei konventionellen Röntgenbildern stellt daher eine deutliche Limitierung bezüglich der genauen Fehlstellungsanalyse dar. Um diese Korrekturen genauer und verlässlicher durchführen zu können wurden computerassistierte Methoden entwickelt [4]. Zur intraoperativen

Übertragung der errechneten Fehlstellungen, beziehungsweise deren Umsetzung, kommen einerseits wiederverwendbare verstellbare Bohrlehren [3] und andererseits auch individualisierte, der Knochenoberfläche angepasste Elemente zur Anwendung. Seit der Entwicklung von 3D-Printern (zum Beispiel Laser-Sinterverfahren) sind bezüglich Formgebung der Bohr- und Sägelehren praktisch keine Limitierungen mehr vorhanden. Die einem Knochen- oder Oberflächenabguss ähnlichen Elemente erlauben es mit der CAD-Technologie hier Säge sowohl als auch Bohrlöcher exakt in beliebigen Richtungen zu legen. Dies ermöglichte es erstmals eine intraartikuläre Korrektur-Osteotomie von ausserhalb des Gelenkes durchzuführen [5]. Auf diese Art kann (siehe Fall 1) die Gelenkskongruenz minimalinvasiv wieder hergestellt werden um die Entwicklung einer Arthrose möglichst zu verhindern. Diese Technologien eignen sich auch für Korrekturen für Schaftmalunionen (Fall 3 und Fall 4), setzen aber auch da eine 3D-Rekonstruktion des Knochens sowie eine genaue Berechnung der Fehlstellung anhand der Gegenseite voraus [6]. Im Bereich des Vorderarmes kann eine Achs- oder Rotationsabweichung wachstumsbedingt (siehe Fall 2 und 3) entweder zu erheblichen Einschränkungen der Beweglichkeit in der Pro- und Supinationsamplitude einerseits oder zu einer Instabilität mit Subluxationsereignissen im DRUG andererseits führen [7]. Durch die Korrektur dieser teils lange bestehenden Fehlstellungen, teils zurückgehend auf eine Fraktur im Kindesalter, können die Beweglichkeitsamplitude sowohl als auch die Instabilität im DRUG oft ohne zusätzliche ligamentäre Stabilisierungen korrigiert werden. In unserer Klinik konnten wir seit 2008 36 Operationen mit einer dieser Technologien durchführen (Weitere Beispiele, Information und Kontakt siehe unter: <http://card.balgrist.ch/>). Praktisch alle Patienten haben von dem Eingriff profitiert, im Sinne von Beweglichkeitsverbesserung und Schmerzreduktion. Ein Drittel der Patienten mit intraartikulärer Malunion hätten zudem mit konventionellen Methoden nur teils sehr schwierig und weniger genau behandelt werden können. Obschon die Planung zeitlich und organisatorisch aufwendig ist (1-4 Stunden) dürfte die Operationszeit, die Genauigkeit sowohl als auch das Resultat davon profitieren. Diese Technologien werden inzwischen analog auch bei Fehlstellungen anderer Knochen der oberen und unteren Extremität angewandt. Insbesondere die Korrektur von intraartikulären Malunionen am lasttragenden Knie- oder



Sprungelenk dürfte das Risiko einer Arthrose minimieren und somit ihre Berechtigung erhalten.

## Referenzen

1. Schweizer A, Fürnstahl P, Nagy L. Three-dimensional computed tomographic analysis of 11 scaphoid waist nonunions. *J Hand Surg Am.* 2012 Jun;37(6):1151-8. Epub 2012 Apr 4.
2. Murase T, Oka K, Moritomo H, Goto A, Yoshikawa H, Sugamoto K. Three-dimensional corrective osteotomy of malunited fractures of the upper extremity with use of a computer simulation system. *J Bone Joint Surg Am.* 2008 Nov;90(11):2375-89.
3. Farshad M, Hess F, Nagy L, Schweizer A. Corrective osteotomy of distal radial deformities: a new method of guided locking fixed screw positioning. *J Hand Surg Eur Vol.* 2011 Dec 19, [Epub ahead of print]
4. Murase T, Oka K, Moritomo H, Goto A, Yoshikawa H, Sugamoto K. Three-dimensional corrective osteotomy of malunited fractures of the upper extremity with use of a computer simulation system. *J Bone Joint Surg Am.* 2008 Nov;90(11):2375-89
5. Oka K, Moritomo H, Goto A, Sugamoto K, Yoshikawa H, Murase T. Corrective osteotomy for malunited intra-articular fracture of the distal radius using a custom-made surgical guide based on three-dimensional computer simulation: case report. *J Hand Surg Am.* 2008 Jul-Aug;33(6):835-40.
6. Schweizer A, Fürnstahl P, Harders M, Székely G, Nagy L. Complex radius shaft malunion: osteotomy with computer-assisted planning. *Hand (N Y).* 2010 Jun;5(2):171-8. Epub 2009 Oct 14.
7. Nagy L, Jankauskas L, Dumont CE. Correction of forearm malunion guided by the preoperative complaint. *Clin Orthop Relat Res.* 2008 Jun;466(6):1419-28. Epub 2008 Apr 11.

## **Bildbeschriftung:**

Fig. 1: Im konventionellen Röntgen (a) zeigt sich bei Fall 1 lediglich eine kleine Unregelmässigkeit. Im CT (b) hingegen stellt sich diese als vermeintlicher zentraler Gelenksdefekt dar. Erst die 3D Analyse (c-g) zeigt, dass es sich lediglich um 3 verschobene und gekippte Fragmente handelt. Entlang der geplanten Osteotomie werden Bohrkanäle (d, rot) gelegt und diese in 2 Bohrlehren von dorsal und palmar (d, grün) integriert. Die Lehren sind der Knochenoberfläche angepasst und dadurch in ihrer Position klar definiert. Nach der Osteotomie werden die Fragmente separiert (e), zusätzlich palmar ein Keil (hellblau) entfernt um das Fragment an den Schaft anlegen und reponieren (f) zu können. Das dorsale Fragment (blau) muss lediglich verschoben werden. Die reponierten Fragmente mit darüber gelegtem gespiegeltem Radius der Gegenseite (g, grün) zeigen die wiederhergestellte Kongruenz.

Fig. 2: Intraoperative Situation mit angelegter palmarer Bohrlehre (a), postoperatives CT (b) und Röntgen (c) zeigt die wiederhergestellte Kongruenz des Gelenkes, der vermeintliche zentrale Defekt ist aufgehoben. 3D CT prae- (d) und postop (e) zeigt in der Gelenksaufsicht des Radius die entsprechende Kontur der Fragmente (gestrichelte Linie).

Fig. 3: Dysplastisches DRUG (a) mit ausgeprägter Ulnaminusvarianz (Fall 2), die Inkongruenz und der Versatz der Gelenkflächen (hellblau) sind offensichtlich. Planung der Sägelehre (b, grün) mit den 2 Schnittflächen (rot) zur Separierung des Entnahmekeiles (c, blau). Nach Entfernung dessen wird das distale Fragment (d, gelb) an den Schaft reponiert, die Gelenkflächen des DRUG (hellblau) sind nun kongruent. Vor der Osteotomie (e) werden die Bohrlöcher mit einem einstellbaren Zielgerät an die für die folgende Verschraubung berechnete Stelle gesetzt.

Intraoperative Situation (f) mit positionierter Sägelehre, postoperatives Röntgen (g).

Fig. 4: Fehlverschraubter Radius (rot, nach Schafffraktur, Fall 3) zeigt (a) Rotationsfehlstellung von  $76^\circ$  in Pronation, sichtbar an der Differenz der Position der Tuberositas bicipitis im Vergleich zur gespiegelten Gegenseite (grün), Planung der Bohr- / Kirschnerdraht (KD) Positionslehre (b), osteotomiertes proximales Fragment (c, hellblau) mit den gesetzten KD, Reposition des Fragmentes indem die Repositionslehre (d, blau) über die 4

KD geschoben wird, danach erfolgt die Verplattung einfach in situ, entsprechende intraoperative Situationen .

Fig. 5: Subkapitale- und Schaftmalunion (Fall 4) eines Os metacarpale V in seitlicher und ap Ansicht (a, gelb), im Vergleich dazu die gespiegelte Gegenseite (grün), Planung der Bohrlehre (b, grün) wobei die Löcher vorausberechnet in der für die Osteosyntheseplatte nach der Osteotomie richtigen Position gesetzt werden können, nach der Osteotomie (c) werden die Fragmente mit der Platte reponiert, durch die winkelstabilen Schrauben ist die Richtung exakt definiert, die korrekte Position nach der Reposition ist verdeutlicht (d) durch das überlagerte Metakarpale der Gegenseite (gespiegelt), entsprechende intraoperative Situationen.