

25-08-2023

# Eine historische Übersicht der intramedullären Nagelung

Eine historische Übersicht der intramedullären Nagelung – von der Entwicklung zur aktuellen Problemen



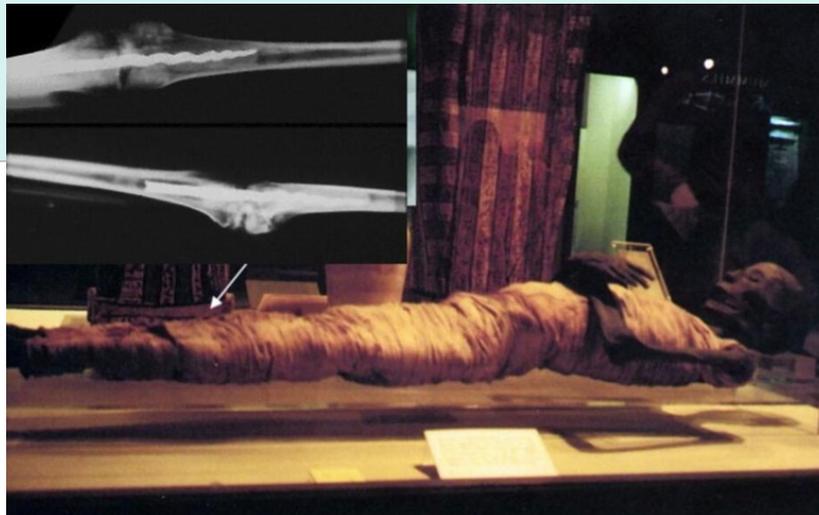
Dr. med. Sascha Halvachizadeh



Prof. Dr. med. Hans-Christoph Pape



Prof. Dr. med. Roman Pfeifer

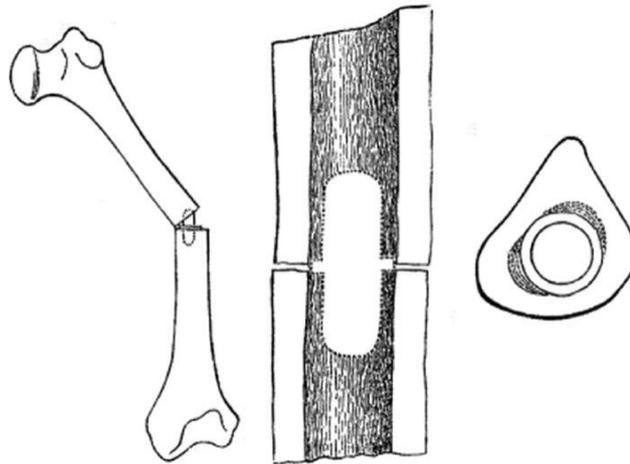


Ganz früher: Die intramedulläre Nagelung als Konzept der operativen Frakturbehandlung datiert zurück bis zu den antiken Ägyptern. Basierend auf ihrem Glauben an die Reinkarnation entwickelten die Ägypter die Tradition der Behandlung von Leichen und das Einbalsamieren (1). So findet man zum Beispiel eine stabilisierende Massnahme mittels Korkenzieher zwischen Femur und Tibia einer Mumie (Usermontu) (Abbildung 1).

Mehr als 2000 Jahre später berichtete Bernardino de Sahagun, ein Anthropologe der Hernando Cortes-Expedition, von der ersten intramedullären Nagelung am lebendigen Patienten in Mexiko. Er beobachtete 1524, wie aztekische Knochenchirurgen («Tezalo») eine Periostomie durchführten und anschliessend verharzte Holzstäbe in den medullären Kanal einführten, um eine Fraktur zu stabilisieren (2).

Erst Mitte der 1800er-Jahre schrieb die erste medizinische Zeitschrift über die intramedulläre Nagelung (3). Deutsche Chirurgen beschrieben die Verwendung intramedullärer Stifte aus Elfenbein zur Behandlung von Pseudoarthrosen. Fast zur selben Zeit berichtete Nicholas Senn aus Chicago von der intramedullären Verwendung von hohlen Schienen aus bovinen Knochen zur Behandlung von Pseudoarthrosen (4). Heinrich Bircher, ein Schweizer Chirurg, präsentierte 1886 im Rahmen einer chirurgischen

Konferenz eine intramedulläre Einlage von Elfenbeinstiften zur Behandlung von frischen Frakturen (Abbildung 2) (5).

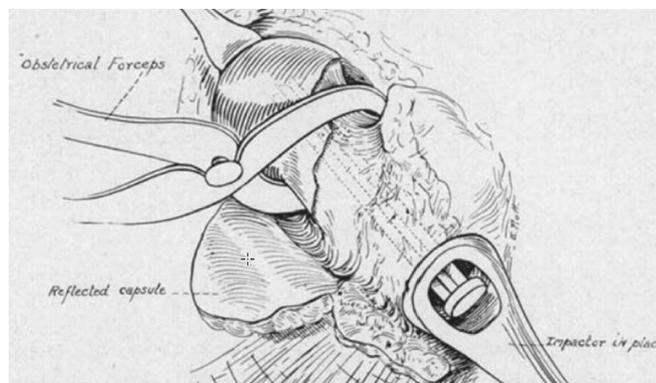


**Abbildung 2:** intramedullärer Elfenbeinstift, schematische Darstellung einer diaphysealen Fraktur stabilisierung nach Bircher

### Früher

In den folgenden Jahren wurden dem Nagel Verriegelungsschrauben hinzugefügt und die biomechanischen Vorteile einer intramedullären Nagelung referiert. 1912 untersuchte der britische Chirurg Ernest Hay Groves Metall, Aluminium, Magnesium und Stahl als Materialien des Nagels und zählte zu den Ersten, die eine retrograde Nagelung beschrieben (6).

Der Nobelpreiskandidat Gerhard Küntscher entwickelte 1939 den intramedullären Nagel (stainless-steel) zur Behandlung von diaphysealen Femurfrakturen (7). Inspiriert von dem 3-kantigen Nagel von Smith-Petersen für Schenkelhalsfrakturen (Abbildung 3), verwendete Gerhard Küntscher dieselben Prinzipien für die Diaphyse. Küntscher hat die intramedulläre Nagelung während des Zweiten Weltkriegs an der finnischen Front durchgeführt und damit diverse Soldaten behandelt. Im Rahmen ihres Rücktransports in die Heimatländer kamen unter anderem die Briten sowie die Amerikaner in Kontakt mit den Küntscher-Nagel (8). Im Rahmen der Designentwicklungen des Nagels wurden Probleme der Stabilisierung von mehrfragmentären Frakturen oder langstreckigen Schrägfrakturen unter anderem mittels der Verwendung von Verriegelungsschrauben überwunden. So konnte das Implantat besser Biegungs- und Torsionskräften widerstehen und eine sekundäre, axiale Dislokation der Fraktur und somit eine Beinlängenverkürzung verhindern.



**Abbildung 3:** Smith-Petersens-Nagel für die Behandlung von Schenkelhalsfrakturen hatte drei Kanten und galt als Inspiration für den Küntscher-Nagel der Diaphyse

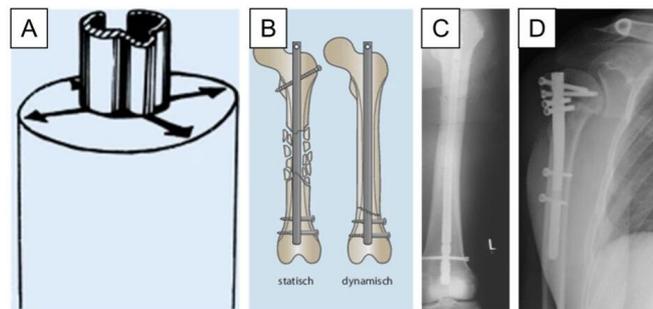
### Gar nicht so lange her

In den weiteren Jahren kam es zur Entwicklung der bildgebenden Verfahren

sowie zur Verbesserung der flexiblen intramedullären Aufbohrung. So konnten immer bessere chirurgische Resultate erzielt werden. 1984 beschrieben Winqvist und Kollegen die Methoden der Dynamisierung als einen Schritt zur verbesserten Knochenheilung (8). In der Folge wurden biomechanische Eigenschaften des Nagels optimiert und Indikationen der Dynamisierung sowie der statischen Verriegelung verfeinert (9). Insbesondere Titan-Legierungen (Titan alloy) wurden nun neu für intramedulläre Nägel verwendet. Titan alloy wurde in der Biomedizin aufgrund der Widerstandskraft, der Resistenz gegen Korrosion und der guten Biokompatibilität geschätzt (10).

Die Marknagelosteosynthese wurde über die Zeit in verschiedene Marknagelgenerationen eingeteilt mit der Nennung der wesentlichen Entwicklungsschritte (Abbildung 4):

1. Generation: Küntscher-Nagel: Stabilisierung durch Aufbohrung des Markraums und durch Verklebung (11)
2. Generation: Klemm-Schellmann-Verriegelungsnagel: Stabilisierung zusätzlich durch Verriegelung (12)
3. Generation: kleinkalibrig (ohne Aufbohrung): Stabilisierung vor allem durch Kompletterriegelung
4. Generation: kanülierter, anatomischer Rekonstruktionsnagel: Stabilisierung durch Markraumunterstützung und spezielle Verriegelung



**Abbildung 4:** eine Übersicht der vier Generationen von Marknägeln.

- A: Der Küntscher-Nagel stabilisiert vor allem durch Verklebung.
- B: Der Klemm-Schellmann-Nagel inkludiert die Verriegelung.
- C: kleinkalibrige Nägel, die ohne Aufbohren in den Markraum eingebracht werden
- D: anatomische, grosskalibrige Nägel, die zusätzlich spezielle Verriegelungsmechanismen verwenden

### Jetzt

Die systemischen Auswirkungen, z.B. auf die Lunge, von intramedullärer Nagelung wurden in translationellen Forschungsarbeiten beschrieben (13). Die intramedulläre Druckerhöhung wurde als mögliche Ursache für den pulmonalen Schaden und das respiratorische Dystress-Syndrom (14) oder das Fettembolie-Syndrom diskutiert (15, 16). Die Erkenntnisse der systemischen Auswirkung der intramedullären Nagelung führten zur Entwicklung von verschiedenen Aufbohrtechniken, mit dem Ziel der Reduktion der systemischen Inflammation (17, 18). Die Vorbereitung des Markraums durch das Aufbohren hatte Einfluss auf die Perfusion, aktiviert lokale Stammzellen und erhöht die Primärstabilität (19). Verglichen mit einer Plattenosteosynthese wird der pathophysiologische Effekt der Marknagelosteosynthese aktuell als relevanter und gefährlicher diskutiert. Insbesondere bei schweren Begleiterkrankungen oder Mehrfachverletzungen gilt es, den systemischen Effekt der chirurgischen Handlung zu berücksichtigen und so sekundäre Schäden zu vermeiden.

### Schlussfolgerung

Die Marknagelosteosynthese ist im Moment das Standardverfahren für Schafffrakturen der langen Röhrenknochen. Vor allem die grosskalibrigen, soliden Marknägel mit stabiler Verriegelungsschraube bieten hier eine hohe Primärstabilität. Es ist aktuell notwendig, sich die systemischen Folgen einer Marknagelosteosynthese zu vergegenwärtigen und entsprechend den chirurgischen Eingriff zu titrieren, um sekundäre Schäden zu vermeiden.

---

#### AUTOREN



**Dr. med. Sascha Halvachizadeh**  
[sascha.halvachizadeh@usz.ch](mailto:sascha.halvachizadeh@usz.ch)



**Prof. Dr. med. Hans-Christoph Pape**  
[hans-christoph.pape@usz.ch](mailto:hans-christoph.pape@usz.ch)



**Prof. Dr. med. Roman Pfeifer**  
[roman.pfeifer@usz.ch](mailto:roman.pfeifer@usz.ch)

---

#### REFERENZEN

1. Colton C. Orthopaedic challenges in Ancient Egypt. *Bone & Joint* 360. 2013;2(2):2-7.
2. Guerra F. Aztec medicine. *Medical History*. 1966;10(4):315-38.
3. Knothe U, Knothe Tate ML, Perren SM. 300 years of intramedullary fixation—from Aztec practice to standard treatment modality. *European Journal of Trauma*. 2000;26(5):217-25.
4. Senn N. I. A new method of direct fixation of the fragments in compound and ununited fractures. *Annals of surgery*. 1893;18(2):125.
5. Bircher H. Eine neue methode unmittelbarer retention bei fracturen der rohrenknochen. *Arch Klin Chir*. 1886;34:410-9.
6. Groves EWH. Ununited fractures, with special reference to gunshot injuries and the use of bone grafting. *British Journal of Surgery*. 1918;6(22):203-47.
7. Fischer A, Maatz R. Weitere erfahrungen mit der marknagelung nach Küntscher. *Arch Klin Chir*. 1942;203:531.
8. Born CT, Pidgeon T, Taglang G. 75 years of contemporary intramedullary nailing. *LWW*; 2014. p. S1-S2.
9. Brumback RJ, Uwagie-Ero S, Lakatos RP, Poka A, Bathon G, Burgess A. Intramedullary nailing of femoral shaft fractures. Part II: Fracture-healing with static interlocking fixation. *Orthopedic Trauma Directions*. 2006;4(01):29-33.
10. Lee DB, Pohrelyuk I, Yaskiv O, Lee JC. Gas nitriding and subsequent oxidation of Ti-6Al-4V alloys. *Nanoscale research letters*. 2012;7(1):1-5.
11. Küntscher G, Klemm H. 1. Technik der Marknagelung des Knochenbruches. *Praxis der Marknagelung*; Karger Publishers; 1986. p. 99-174.
12. Klemm K, Schellmann W, Vittali H. Die Verriegelungsnagelung des Unterschenkels. *Hefte Unfallheilkd*. 1974;117:112-4.
13. Pape H, Dwenger A, Regel G, Schweitzer G, Jonas M, Remmers D, et al.

Pulmonary damage after intramedullary femoral nailing in traumatized sheep--is there an effect from different nailing methods? *The Journal of trauma*. 1992;33(4):574-81.

14. Pape H-C, Regel G, Dwenger A, Sturm J, Tscherne H. Influence of thoracic trauma and primary femoral intramedullary nailing on the incidence of ARDS in multiple trauma patients. *Injury*. 1993;24:S82-S103.

15. Giannoudis PV, Tzioupis C, Pape H-C. Fat embolism: the reaming controversy. *Injury*. 2006;37(4):S50-S8.

16. Lempert M, Halvachizadeh S, Ellanti P, Pfeifer R, Hax J, Jensen KO, et al. Incidence of Fat Embolism Syndrome in Femur Fractures and Its Associated Risk Factors over Time—A Systematic Review. *Journal of clinical medicine*. 2021;10(12):2733.

17. Pape H-C, Zelle BA, Hildebrand F, Giannoudis PV, Krettek C, Van Griensven M. Reamed femoral nailing in sheep: does irrigation and aspiration of intramedullary contents alter the systemic response? *JBJS*. 2005;87(11):2515-22.

18. Halvachizadeh S, Teuben M, Lempert M, Kalbas Y, Cesarovic N, Lipiski M, et al. Protective effects of new femoral reaming techniques (Reamer irrigator aspirator, RIA I and II) on pulmonary function and posttraumatic contusion (CT morphology)—results from a standardized large animal model. *Injury*. 2021;52(1):26-31.

19. Pfeifer R, Sellei R, Pape H-C. The biology of intramedullary reaming. *Injury*. 2010;41:S4-S8.