

# Eine Analyse der Bohrungsbearbeitung bei der Knochenbearbeitung<sup>3</sup>

*Dipl.-Ing. Uwe Teicher*

## 1 Einleitung

Die Bohrungsbearbeitung zählt zu den am häufigsten genutzten spanenden Verfahren, wobei darunter im Allgemeinen das Rundbohren mit symmetrisch angeordneten Hauptschneiden nach DIN 8589-2 verstanden wird.

Ein Anwendungsgebiet der Bohrungsbearbeitung ist auch im medizinischen Bereich gegeben. So wird beispielsweise die Vorbereitung einer Struktur für die Einbettung eines Implantates dadurch geschaffen, wobei es sich dabei um einen Vorbohr- und folgende Aufbohrprozesse mit Profilwerkzeugen handelt.

Die technologische Auslegung des Bohrprozesses bei der Patientenbehandlung beeinflusst den Operationserfolg. Neben den wirkenden mechanischen Lasten (Vorschubkraft und Schnittmoment) steht vor allem die Bohrungsdauer im Fokus, da sich durch das Zusammenspiel aus Eingriffszeit und mechanischen Lasten ein Temperaturgefüge an der Wirkstelle aufbauen kann, das nachteiligen Einfluss auf die Einheilung eines Implantates hat und schädigend auf das Gewebe wirkt.

## 2 Stand der Forschung

In der Wissenschaft besteht die einheitliche Meinung, dass die Überschreitung einer Grenztemperatur unter Berücksichtigung einer wirkenden Dauer schädigenden Einfluss auf das Gewebe hat und bis zur Hitzenekrose führen kann. Die Grenztemperatur mit einer ungünstigen Wirkung auf die Regenerierung wird dabei mit mindestens 46 °C angegeben, wobei schon eine kurzzeitige Überschreitung einer Temperatur von 60 °C zu einer irreversiblen Denaturierung führen /01/. So konnte schon bei einer wirkenden Temperatur von 47 °C über einen Zeitraum von 1 Minute eine Schädigung nachgewiesen werden /02/.

Die Temperaturänderung in der Bearbeitungszone wird durch die Umwandlung von mechanischer Energie in Wärme erzeugt. Der Einfluss auf die Temperaturentwicklung ist dabei durch die wirkenden technologischen und werkzeugseitigen Parameter gegeben. Einer der Haupteinflussparameter ist die wirkende Schnittgeschwindigkeit. Mit einer Steigerung der Schnittgeschwindigkeit konnten erhöhte Temperaturen nachgewiesen werden /03/. Eine Verringerung der Temperaturen wurde weiterhin mit einer Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit /03/ realisiert. Eine dazu gegensätzliche Studie zeigt aber auch, dass mit hohen Schnittgeschwindigkeiten geringere Temperaturen gemessen werden können, wobei die Ursache mit geringeren Eingriffszeiten in Verbindung mit einer geringeren Vorschubkraft begründet wird /04/.

Den Eingriffszeiten wird einheitlich eine große Bedeutung für das Schädigungspotenzial bei der Bearbeitung zugewiesen.

Aus dem Stand der Forschung lässt sich ein Arbeitsbedarf erkennen, der eine genauere Analyse der zeitlichen Zusammenhänge und den dabei wirkenden

---

<sup>3</sup> Das Projekt wird über die AiF im Rahmen der Fördermaßnahme Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWi gefördert.

mechanischen Belastungen und deren abgeleiteten Einflüsse auf die Schädigung des Gewebes und die wirkenden Temperaturen notwendig macht.

### 3 Versuchsdurchführung

Zur Analyse des Bohrvorganges wurde ein zweistufiges Verfahren gewählt. In der ersten Stufe wurden manuelle Bohrversuche durchgeführt, die in der zweiten Stufe durch maschinell NC-gesteuerte Versuche ergänzt wurden.

Für die messtechnische Überwachung des Bohrvorganges hinsichtlich der mechanischen Lasten wurde ein Versuchsstand aufgebaut, der mit einem Dynamometer zur Ermittlung des Schnittmomentes und der Vorschubkraft ausgestattet war (Abb. 1).

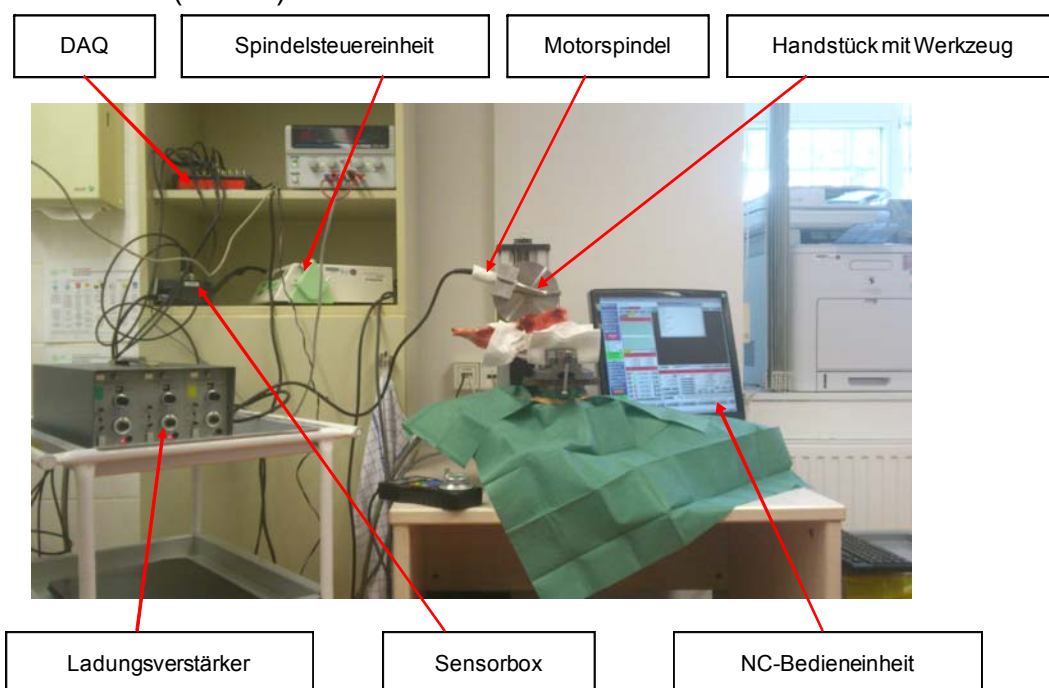


Abb. 1: Versuchsaufbau zur Durchführung maschineller NC-gesteuerter Versuche

### 4 Ergebnisse und Diskussion

Grundsätzlich ist deutlich zwischen manueller Bearbeitung und maschineller Bearbeitung zu unterscheiden. Die manuelle Bearbeitung ist in der Regel kraftgeregelt während die maschinelle Bearbeitung weggesteuert durchgeführt wird. Das bedeutet, dass die Verfahrbewegung der Achsen stets mit konstanter Geschwindigkeit erfolgt und damit sämtliche Bohrungen in der gleichen Zeit bearbeitet werden. Im Gegensatz dazu schwankt die Bearbeitungsdauer bei der manuellen Bearbeitung, indem der Operateur die Belastung des Werkzeuges bei der Bearbeitung in Abhängigkeit von Einflussfaktoren wie der Knochenspezifikation oder des Werkzeugzustandes regelt.

Die Unterschiede, die sich dadurch ergeben äußern sich in unterschiedlichen Kraft- und Momentverläufen bei der Bearbeitung und in einer unterschiedlichen Bearbeitungsdauer.

Ein typischer Verlauf des Vorschubkraftsignals und des Signals des Schnittmomentes bei einer manuell durchgeführten Bearbeitung ist in Abb. 2 dargestellt. Es wird deutlich, dass sich ein einzelner Bohrvorgang in drei Bereiche aufgliedern lässt. Der erste Bereich als Bearbeitungsbereich ist dadurch

gekennzeichnet, dass eine gezielte Vorschubbewegung des Werkzeuges realisiert wird. Nach dem Erreichen der Sollbohrungstiefe schließt sich ein Entlastungsbereich an, der als Ausspanzyklus verstanden werden kann. Nachfolgend wird das Werkzeug im Rückzugsbereich aus der Bohrung entfernt.

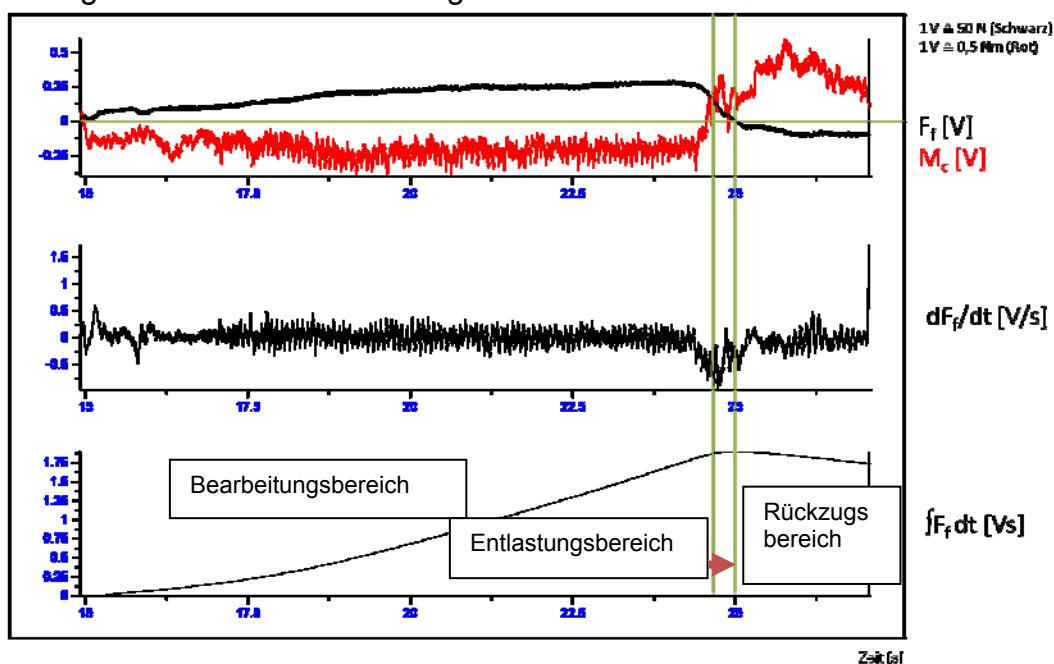


Abb. 2: Darstellung der Datenkanäle der Vorschubkraft  $F_f$  und des Schnittmoments  $M_c$  sowie die differenzierten als auch integrierten Kanäle der Vorschubkraft  $F_f$  aus einer beispielhaften Messung mit einem Dynamometer bei einer manuellen Bearbeitung

Die Identifikation der einzelnen Bereiche geschieht durch die mathematische Analyse des gemessenen Signals der Vorschubkraft. Dazu werden mit Hilfe von Extremwertberechnungen Methoden der Kurvendiskussion genutzt, um wiederholbar und transparent gemessene Signalverläufe auszuwerten.

Der minimale Anstieg im Vorschubkraftverlauf, der sich als Minimum des differenzierten Kraftsignals detektieren lässt, beschreibt den Abschluss der Vorschubbewegung und damit die Entlastung des Werkzeuges, sodass damit der Bearbeitungsbereich endet und der Entlastungsbereich beginnt. Zeitlich wird der Entlastungsbereich begrenzt bis zur vollständigen Entlastung des Werkzeuges. Das heißt, dass die Vorschubkraft einen Nulldurchgang aufweist bzw. das integrierte Kraftsignal das Maximum erreicht. Der Rückzugsbereich schließt sich daran an bis zur Vollständigen Entfernung des Werkzeuges aus der Bohrung.

Neben der zeitlichen Zuordnung der Bereiche ist die Dauer der jeweiligen mechanischen Belastung Gegenstand der Untersuchung, da beispielsweise im Zeitraum des Rückzugsbereiches teils erhebliche Schnittmomente über einen vergleichsweise großen Zeitraum wirksam werden können (vgl. Abb. 02).

Diese Größen lassen sich als Fläche unter der jeweiligen Kurve beschreiben und physikalisch als Impuls bezogen auf die Vorschubkraft bzw. als Wirkung bezogen auf das Schnittmoment darstellen.

Die detaillierten Zusammenhänge zwischen Impuls bzw. Wirkung, den daraus resultierenden Bearbeitungstemperaturen und einer darauf basierenden nachweisbaren Schädigung des Gewebes sind hochkomplex und müssen noch weiter tiefgreifend erarbeitet werden. /05/

## 5 Zusammenfassung

Die Bohrungsbearbeitung speziell für Knochen zählt zu den am häufigsten angewandten mechanischen Bearbeitungsverfahren. Zur Minimierung der Gewebeschädigung ist eine umfassende Kenntnis der wirkenden Belastungen während der Bearbeitung notwendig. Eine Möglichkeit zur Analyse der wirkenden Belastung ist die Messung und Auswertung des wirkenden Schnittmomentes und der Vorschubkraft bei der Bearbeitung. Weiterhin ist es dadurch möglich, den zeitlichen Rahmen der jeweils wirkenden Belastung dazustellen. Als Kenngrößen bieten sich hierbei die Wirkung bzw. der Impuls an. /06/

Die Zusammenhänge zwischen den mechanischen Belastungen während der Bohrungsbearbeitung, deren Beeinflussungsmöglichkeiten und deren Auswirkung auf die Bearbeitungstemperatur und biologischen Schädigungen müssen jedoch weiter erforscht werden.

### Literatur

- /01/ Fuchsberger, A.: Die schädigende Temperatur bei der spanenden Knochenbearbeitung. Unfallchirurgie Nr. 4, Jg. 14 (1988), S. 173-183
- /02/ Eriksson, R. A.; Albrektsson, T.; Magnusson, B.: Assessment of bone viability after heat trauma. Scand J Reconstr Surg, Jg. 18 (1984), S. 261-268
- /03/ Augustin, G.; Davila, S.; Mihoci, K.; Udiljak, T; Vedrina, D. S.; Antabak, A.: Thermal osteonecrosis and bone drilling parameters revisited; Arch Orthop Trauma Surg Nr. 128 (2008); S. 71-77
- /04/ Abouzgia, M. B.; Symington, J. M.: Effect of drill speed on bone temperature. Int. J. Oral Maxillofac Surg, Jg. 25 (1996), S. 394-399
- /05/ Ben Achour, A.: Analyse des Bohrprozesses zur schädigungsarmen Bearbeitung von Knochen. Großer Beleg; TU Dresden, 2014
- /06/ Teicher, U.; Nestler, A.; Meißner, H.; Lauer, G; Hipp, G: Entwicklung eines Instrumentes für implantatchirurgische Eingriffe in der Zahnmedizin und zur Gewinnung von Knochenspänen mit maximaler regenerativer Potenz. Abschlussbericht AiF-ZIM, 31.03.2016