

**10. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
29. bis 30. März 2012 in Aachen**



**„Parameteruntersuchung für ein neurochirurgisches
Instrument zur Kra-riotomie auf Basis einer automatischen
Tiefenregulierung“**

Tobias Fürtjes, Axel Follmann, Alexander Korff, Matias de la Fuente, Klaus Radermacher
Lehrstuhl für Medizintechnik, Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik, Aachen,
Deutschland
E-Mail: fuertjes@hia.rwth-aachen.de

Kirsten Schmieder
Universität Heidelberg, Medizinische Fakultät Mannheim, Klinik für Neurochirurgie,
Mannheim, Deutschland

Copyright: VDI Verlag GmbH
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 286 „Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin“
Editors: Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt, Prof. Dr.-Ing. Dirk Abel, Prof. Dr.-
Ing. Klaus Radermacher, Christian Brendle, Henry Arenbeck, Kurt Gerlach-
Hahn, Kirsa Dannenberg
ISBN: 978-3-18-328617-1
Pages: 52-53

Parameteruntersuchung für ein neurochirurgisches Instrument zur Kraniotomie auf Basis einer automatischen Tiefenregulierung

Tobias Fürtjes¹, Axel Follmann¹, Alexander Korff¹, Matias de la Fuente¹, Kirsten Schmieder² und Klaus Radermacher¹

¹Lehrstuhl für Medizintechnik, Helmholtz-Institut für Biomedizinische Technik, Aachen, Deutschland

²Universität Heidelberg, Medizinische Fakultät Mannheim, Klinik für Neurochirurgie, Mannheim, Deutschland

Kontakt: fuertjes@hia.rwth-aachen.de

Einleitung

Die fortschreitende Entwicklung im Bereich der computerunterstützten Chirurgetechnik erlaubt eine intelligente sowie sicherheitsfördernde Automatisierung chirurgischer Instrumente. In den letzten Jahren haben sich daher insbesondere *semiaktive* bzw. *synergistische* Systeme etabliert, welche durch direkte Einbeziehung der Chirurgen in den Workflow deren Erfahrung und Geschick mit den Vorteilen der gesteigerten Präzision robotischer Systeme kombinieren [1]. Beispiele solcher Systeme sind Navigated Control [2] und der Precision Freehand Bone Sculptor [3].

Der Ansatz eines synergistischen Instruments für die Kraniotomie wird am Lehrstuhl für Medizintechnik mit der Entwicklung des Sicherheitstrepanationssystem (STS) [4] verfolgt. Das STS verhindert durch eine automatische Sägetiefenregulierung sowie dem Einsatz eines weichgewebeschonenden Sägeverfahrens Verletzungen der Dura Mater, welche in bis zu 30% aller konventionellen Eingriffe auftreten. Zusätzlich ermöglicht das Verfahren einen schmalen Schnittspalt und somit eine bessere Reintegration des entnommenen Areals.

Die Optimierung einzelner Instrumentenkomponenten im Hinblick auf die Zielgrößen des Systems ist ein essentieller Schritt in der medizinischen Instrumentenentwicklung [5]. Im Zentrum der Entwicklung des Trepanationssystems stehen drei Zielgrößen: Schonende Trepanation, hohe Sägeleistung und geringe Anwender- und Patientenbelastung. Diese Zielgrößen garantieren einen sicheren, effizienten und effektiven Einsatz des Systems. Im Folgenden werden die Einflüsse der relevanten Systemparameter auf die Zielgröße „Hohe Sägeleistung“ untersucht und evaluiert, um Aussagen über eine optimale Systemkonfiguration treffen zu können.

Methoden und Materialien

Das Ziel dieser Untersuchung ist die Optimierung der Parameterkonfiguration des Sicherheitstrepanationssystems im Hinblick auf eine möglichst hohe Sägeleistung. Zu diesem Zweck wird an einem reproduzierbaren Versuchsaufbau der Einfluss der relevanten Systemparameter untersucht. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse für den Weichgewebeschutz des Instruments bei unterschiedlichen Instrumentenkonfigurationen [6] können im Anschluss nicht nur Aussagen über die Optimierung der Parameter für die jeweiligen Zielgrößen getroffen werden, sondern auch Empfehlungen für eine bestmögliche Gesamtkonfiguration diskutiert werden.

Aus theoretischen Überlegungen heraus beeinflussen der *Sägehöhe*, die *Drehzahl*, die *Teilung*, die *Winkel am Schneidkeil* sowie die *Sägeblattdicke* den Sägeprozess und sollen daher als veränderbare Einflussgrößen untersucht werden.

Basis für die Untersuchung der Sägeparameter ist ein Versuchsaufbau mit einer 3-Achs-CNC-Fräse, welche eine hohe Steifigkeit, konstante Vorschubgeschwindigkeit und somit eine hohe Reproduzierbarkeit bietet (s. Abb.1). Die auftretenden Kräfte werden in Vorschub und Sägehöhe über einen Schunk Kraft-Momenten-Sensor (FT-Gamma SI-130-10), die entstehenden Temperaturen mittels vier Newport Temperaturfühler (Omega TJC100) und die Aufnahmeleistung der Säge über den Motioncontroller aufgezeichnet.

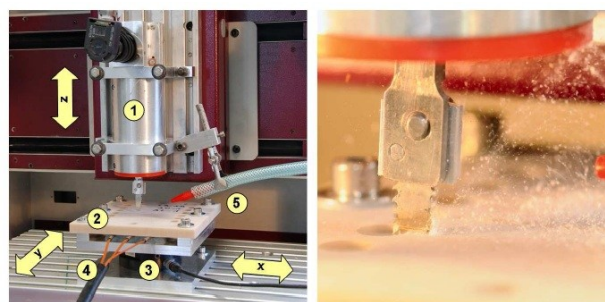


Abb. 1: Links: Versuchsaufbau auf 3-Achs-System bestehend aus Labormuster Säge (1), Werkstück (2), KMS (3), Temperatursensoren (4) und Luftkühlung (5). Rechts: Nahaufnahme des Sägevorgangs.

Als Knochenersatzwerkstoff werden 10 mm Platten aus Polyurethan (Obomodulan 1200) verwendet (s. Abb.1), welche im Vergleich zum Schädelknochen annähernd gleiche Biege- und Druckfestigkeiten aufweisen. Das verwendete Labormuster der Säge ermöglicht durch dessen offene Gestaltung einen einfachen Umbau für verschiedene Faktorkombinationen. Um ein Aufschmelzen des Kunststoffes durch zu hohe Temperaturen zu vermeiden, erfolgt eine fortwährende Kühlung mit einem konstanten Luftstrom (Überdruck 0,4 bar).

Tab. 1: Faktorstufen der Sägeversuche

Faktoren	#1	#2
Longitudinaler Sägehöhe H	1,50 mm	2,00 mm
Zahnteilung T	1,50 mm	2,00 mm
Sägeblattdicke d	0,50 mm	1,00 mm
Winkel Sägezahn $\alpha / \beta / \gamma$	25°/40°/25°	22°/55°/13°
Drehzahl n	15.000 min ⁻¹	20.000 min ⁻¹

Die Sägeversuche werden gemäß einem zweistufigen, vollständig faktoriellen Versuchsplan durchgeführt [7]. Dabei wird jede zu verändernde Einflussgröße (Faktor) in allen Faktorstufenkombinationen durchlaufen (s. Tab.1). Pro Faktorstufenkombination erfolgen zwei Schnitte von 80 mm Länge, somit umfasst die Studie insgesamt 64

Schnitte. Die Vorschubgeschwindigkeit bei allen Versuchsreihen beträgt 2 mm/s.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Versuchsreihen werden zuerst für die jeweiligen Parameter gesondert betrachtet. Die Dicke des Sägeblatts wirkt sich direkt auf die Spanbreite und damit auf die Schnitt- und Vorschubkraft aus. Während die Vorschubkraft annähernd proportional mit der Sägeblattdicke ansteigt, fällt dieser Effekt bei der Schnittkraft geringer aus. Mit dem Anstieg der Kräfte erhöht sich ebenfalls die Aufnahmeleistung des Instruments. Die Drehzahl zeigt starken Einfluss auf das Kraft und Leistungsniveau. Mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit nimmt die Schnittkraft ab und der Spann wird dünner, wodurch die Kräfte geringer werden. Zusätzlich ist eine Abnahme der Aufnahmeleistung erkennbar. Eine Verringerung des Keilwinkels β bewirkt eine deutliche Reduktion der Kraft in Vorschubrichtung und führt somit zu einer verminderten Aufnahmeleistung. Wird der Hub kleiner als die Teilung gewählt, steigen die Vorschubkräfte sehr stark an und es kommt teilweise zum Stillstand der Säge. Ein steigendes Hub-Teilung-Verhältnis verringert deutlich die Vorschubkraft sowie im geringen Maße die Schnittkraft und damit die Aufnahmeleistung des Instruments. Zusätzlich lässt sich zeigen, dass eine große Teilung größere Spanräume und damit eine verbesserte Spanabfuhr bewirkt.

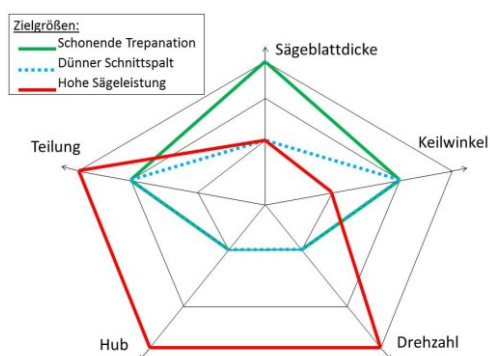


Abb. 2: Auf die Zielgrößen optimierte Parameterkonfiguration (Achsen-einteilung: Parameterwert nach außen ansteigend)

Eine optimale Sägeleistung zeichnet sich durch einen geringen Schnittspalt, eine geringe Vorschubkraft und niedrige Aufnahmeleistung aus. Abb.2 verdeutlicht die optimale Konfiguration für eine hohe Sägeleistung. In Verbindung mit den in [7] ermittelten optimalen Parametern zum Weichgewebeschutz (grüner Verlauf) zeigt sich in Abb.2 die Problematik bei der Optimierung des Systems auf mehrere Zielgrößen.

Diskussion

Der verwendete Versuchsaufbau zeigte sich zur reproduzierbaren, vergleichenden Messung der Zielgrößen als geeignet und lieferte wertvolle Erkenntnisse über den Sägevorgang und die Wirkung der verschiedenen Einfluss-

größen. Es konnte somit eine Parameterkonfiguration ermittelt werden, welche die Sägeleistung des Systems optimiert.

In weiteren Versuchen sollte der Einfluss des Chirurgen auf das Sägeverhalten durch unterschiedliche Kraftausübung und Vorschubgeschwindigkeiten untersucht werden. Darüber hinaus wurde die Spanabfuhr und Reibung der Sägeblätter im Schnittspalt nicht genauer untersucht. Hier könnten genauere Betrachtungen zu einer Verbesserung der Sägeleistung beitragen.

Die Studie zeigt, dass die Forderungen nach optimalen Weichgewebeschutz und einer hohen Schnittleistung teilweise gegenteilige Parameterkonfiguration bedingen. Es liegt daher die Vermutung nahe, dass eine ausstehende Parameteroptimierung für die dritte Zielgröße - geringe Anwenderbelastung - ebenfalls eine Parameterkonfiguration bedarf, die konträr zu den beiden anderen Zielfunktionen steht.

Schlussfolgerungen

Die Studie liefert zuverlässige Aussagen über eine optimale Parameterkonfiguration für eine hohe Sägeleistung. Die Bestimmung eines bestmöglichen Instrumentensetups, welches alle Zielgrößen optimiert, bedarf jedoch weitere Untersuchungen sowie eine evtl. Priorisierung der Zielgrößen.

Literatur

- [1] TROCCAZ, J. ; PESHKIN, M. ; DAVIES, B.: *Guiding systems for computer-assisted surgery: Introducing synergistic devices and discussing the different approaches*. Medical Image Analysis, 2(2), S. 101-119, 1998
- [2] KOULECHOV, J. ; STRAUSS, G. ; DIETZ, A. ; STRAUSS, M. ; HOFER, M. ; LUETH, T.C.: *FESS control: realization and evaluation of navigated control for functional endoscopic sinus surgery*. Computer Aided Surgery, 11(3), S. 147-159, 2006
- [3] BRISSON, G. ; KANADE, T. ; DIGIOIA, A. ; JARAMAZ, B.: *Precision Freehand Sculpting of Bone*. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, 3217/2004, S. 72-75, 2006
- [4] FOLLMANN, A. ; JANSS, A. ; KORFF, A. ; SCHMIEDER, K. ; RADERMACHER, K.: *User-interaction of a semiautomatic trepanation system*. Proceedings of the IFMBE (World Congress of Biomedical engineering and Medical Physics), S. 173-176, 2009
- [5] HIRZINGER, G. ; HAGN, U.: *Minimalinvasive Chirurgie - MicroSurge - ein innovatives Robotik-System*, Zentralblatt für Neurochirurgie, 134 (5), S. 397-400, 2009
- [6] FOLLMANN, A. ; KORFF, A. ; KUNZE, S. ; SCHMIEDER, K. ; RADERMACHER, K.: *Protection of dura mater using a semiautomatic trepanation system*. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Vol.5, S. 311-312, 2010
- [7] KLEPPMANN, W.: *Taschenbuch Versuchsplanung: Produkte und Prozesse optimieren*. Vol. 5, Hanser Verlag, 2008

Danksagung

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 01EZ 0841 gefördert.