



# Smart

Ein semiautomatisches, handgeführtes Sägeinstrument soll für die sichere Durchtrennung von Knochen in der Neuro-, Herz- und Thoraxchirurgie sorgen. Hierbei kooperieren in besonderer Weise Chirurg und das „intelligente Instrument“. Während die Führung auf der Oberfläche und die High-Level-Prozesskontrolle durch den Menschen erfolgen, wird die Schnitttiefe im Knochen wahlweise über Computertomographie, Ultraschall oder über optische Sensoren vollautomatisch mit Hilfe von dSPACE Echtzeit-Hardware eingestellt.

Semiautomatisches Sägeinstrument für  
Herz-, Brustkorb- und Kopfchirurgie

# CUT—

Sicher im OP



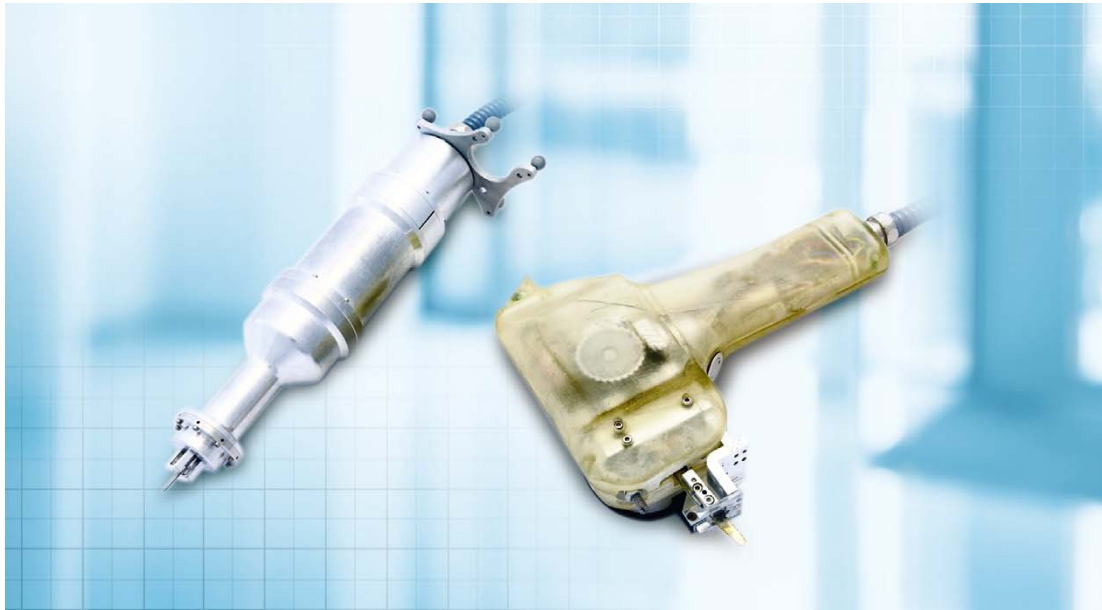


Abbildung 1: Die neuen, semiautomatischen Sägeinstrumente von smartCUT (links: das rotationssymmetrische Instrument für die Kopfchirurgie, rechts das für lineare Schnitte optimierte Instrument für die Thoraxchirurgie).

### Weichgewebeschonende Knochen-durchtrennung (Osteotomie)

Auch unter optimalen Bedingungen sind viele chirurgische Eingriffe heute noch mit großen Herausforderungen verbunden. Dies gilt unter anderem dort, wo Knochenstrukturen im Umfeld lebenswichtigen Weichgewebes durchtrennt werden müssen, so zum Beispiel in der Kopf-, Herz- und Thoraxchirurgie. Nur durch das Zusammenspiel erfahrener Chirurgen lassen sich solche Eingriffe sicher und mit bestmöglichem Ergebnis für den Patienten durchführen. Dennoch besteht bei den beiden Anwendungen ein vergleichsweise hohes Komplikationsrisiko. Jede Verbesserung am Instrumentarium bedeutet hier einen

enormen Gewinn an Sicherheit für den Patienten. Mit smartCUT, einem semiautomatischen Sägeinstrument, möchte der Lehrstuhl für Medizintechnik der RWTH Aachen einen Beitrag für noch mehr Sicherheit im OP leisten. Das neue Instrument soll die mögliche Verletzung von Weichgewebestrukturen bei Resternotomien und Kraniotomien vermeiden und setzt hierfür auf die synergistische Interaktion des Werkzeugs mit dem Chirurgen. Ihm wird hier eine direkte sensorische Kontrolle auf Basis des haptischen und visuellen Feedbacks ermöglicht. Dabei wird durch die besondere Kombination aus der Genauigkeit und Zuverlässigkeit einer Maschine einerseits und den hohen

kognitiven und sensorischen Fähigkeiten des Menschen andererseits (z.B. die Reaktion auf unerwartete Ereignisse) eine synergetische Vereinigung von Fähigkeiten erreicht.

### Smarte Schnitttiefenregelung

Die eigentliche smarte Schnitttiefenregelung durch das Instrument wird durch die Kombination eines speziell angepassten, weichgewebeschonenden Sägeverfahrens und der sensorbasierten Schnitttiefenregelung ermöglicht. Der Weichgewebeschutz wird durch kreisförmige Oszillationen des Sägeblatts im Millimeterbereich ermöglicht; durch das Mitschwingen des Weichgewebes – anders als die starre Knochenstruktur – wird eine

„Dank der Flexibilität des dSPACE Echtzeitsystems konnte das System schnell an unterschiedliche Sensorik- und Bildgebungsmodalitäten angepasst werden. Ebenso ist eine Übertragung auf Systeme mit anderen Kinematiken bzw. Freiheitsgraden mit vergleichsweise geringem Aufwand möglich.“

Alexander Korff, RWTH Aachen



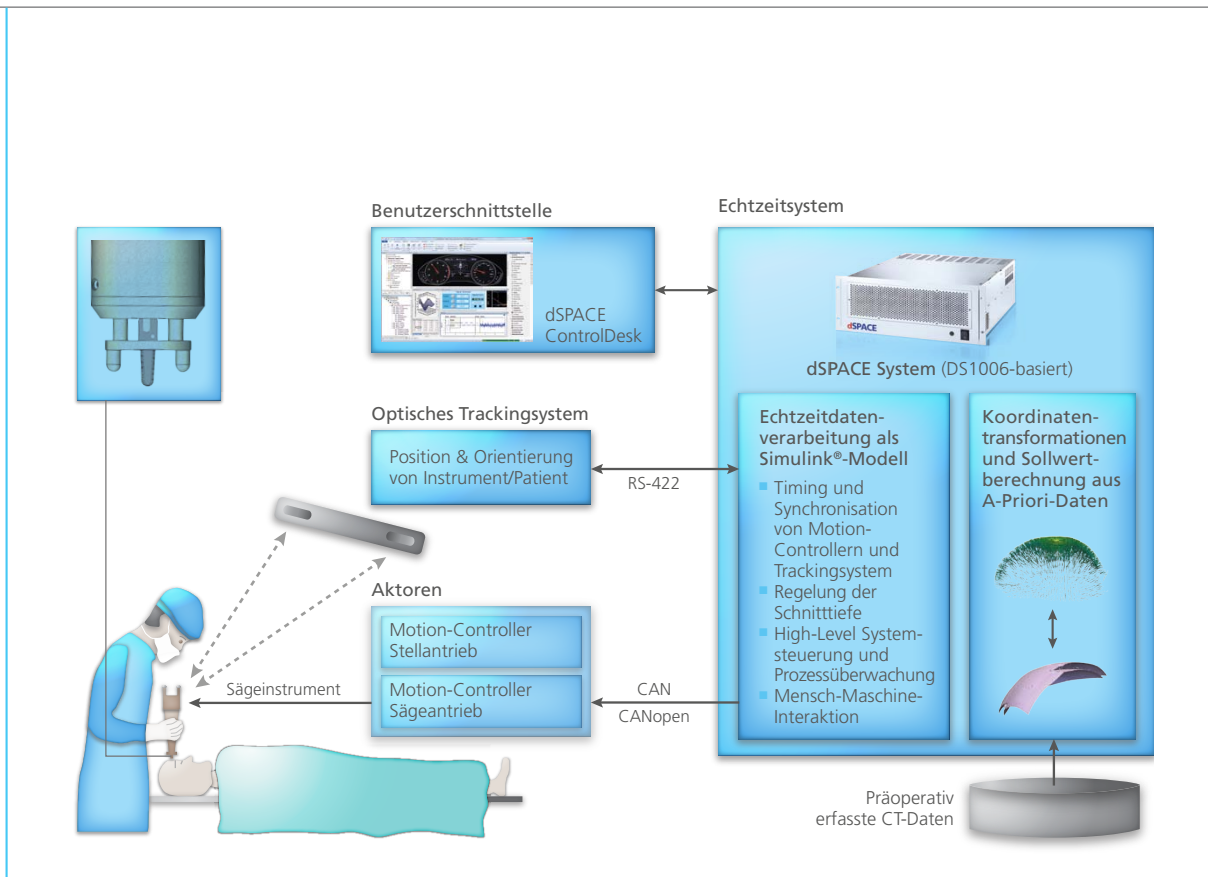


Abbildung 2: Schädelöffnung mit smartCUT anhand von Computertomographie-Daten.

Verletzung bis zu einem gewissen Maße zunächst verhindert. Der Einsatz eines derartigen Verfahrens ist notwendig, um kleine Fehler in der Ermittlung der Schnitttiefe ausgleichen zu können, die aus der Positionserfassung, weiteren Sensordaten und der medizinischen Bildgebung resultieren. Für die eigentliche sensorbasierte Schnitttiefenregelung wurden drei unterschiedliche Varianten entwickelt und getestet:

#### ■ CT-basiert:

Präoperativ erfasste dreidimensionale Schichtbilder aus der Computertomographie (CT) werden vorverarbeitet und dann mit einem dSPACE Echtzeitsystem und einem optischen Trackingsystem (Bestimmung der Position des Instruments relativ zum Patienten) zur Echtzeit-Schnitttiefenregelung verwendet. Wesentliche Prozessschritte wie das optische Tracking von Instrumenten in Kombination mit CT-Bildgebung werden heutzutage in der Neurochirurgie standardmäßig eingesetzt.

#### ■ Ultraschallbasiert:

Anders als beim CT-basierten Verfahren werden die Daten nicht vorab, sondern während der Operation mittels einer Ultraschallsonde gewonnen. Dieses Verfahren ist für die Resternotomie und die dort vorliegende geradlinige Sektion optimiert. Es kommt ebenfalls ein dSPACE Echtzeitsystem zur Schnitttiefenregelung zum Einsatz, jedoch kann in diesem Fall die Positionserfassung anders als beim CT-basierten Verfahren über einen linearen Encoder realisiert werden.

#### ■ Optischer Sensor:

Ein in die Sägeblattfläche integrierter Lichtwellenleiter in Kombination mit einem Farbsensor ermöglicht es zu bestimmen, ob die Sägeblattspitze mit Knochen oder Weichgewebe in Kontakt ist. Anders als bei den vorherigen Verfahren kann hier permanent und direkt die Position der Sägeblattspitze relativ zu der Knochen-/Weichgewebegrenzfläche bestimmt werden. Mittels des dSPACE Echtzeitsystems kann

## smartCUT im Überblick

smartCUT ist ein semiautomatisches Sägeinstrument für die Herz-, Brustkorb- und Kopfchirurgie.

- Sichere Durchtrennung von Knochenstrukturen (Schädel, Brustbein) bei gleichzeitiger Schonung des angrenzenden Weichgewebes
- Partiiell weichgewebeschonendes Sägeverfahren (Mikroszillationen)
- Intelligente sensorbasierte Schnitttiefenregelung: CT-basiert, ultraschallbasiert und basierend auf optischem Sensor
- dSPACE Echtzeitsystem für Sensordatenerfassung und Auswertung, Sicherheitsüberwachung, Realisierung der Mensch-Maschine-Interaktion und Steuerung des Gesamtsystems



## Nachgefragt

Die Neurochirurgische Klinik am Universitätsklinikum der Ruhr-Universität Bochum hat im Rahmen eines Pilotprojektes erste Erfahrungen mit smartCUT gesammelt. Die Chirurgin Frau Prof. Dr. Schmieder schildert ihre Eindrücke im Interview.

*Frau Prof. Dr. Schmieder, wie lässt sich bei der Arbeit am Kunststoffschädel die Handhabung eines semiautomatischen Sägeinstruments mit konventionellen Methoden vergleichen?*

Das lässt sich ganz gut vergleichen, da wir ja die konventionelle Methode auch am Kunststoffschädel eingesetzt haben. Unserer Erfahrung nach ist der derzeit zur Verfügung stehende Prototyp bezogen auf die Handhabung schon recht gut einsetzbar.

*Welche Vorteile bringt die Technik dem Operateur?*

Es gibt zwei Vorteile bei Nutzung des smartCUT. Zum einen gehen wir davon aus, dass akzidentielle Duraeröffnungen im Rahmen der Trepanation seltener sind. Zum anderen verkleinert sich der Sägespalt und damit reduziert sich das Risiko der fehlenden knöchernen Durchbauung des wieder eingesetzten Knochendeckels. Dies hat einen Effekt auf das kosmetische Gesamtergebnis. Ein Aspekt, der zu Recht mehr und mehr in den Fokus rückt.

*Wie beurteilen Sie die Chancen für den Einsatz am Menschen?*

Unserer Überzeugung nach hätte das Endprodukt gute Chancen, die etablierte Technik zu ersetzen oder zumindest zu ergänzen. Dementsprechend würden wir sehr gerne

unseren Beitrag dazu leisten, den bislang entwickelten Prototyp zur Marktreife zu führen.

*Vielen Dank für das Gespräch!*



*Prof. Dr. Kirsten Schmieder, Direktorin der Neurochirurgischen Klinik am Universitätsklinikum der Ruhr-Universität Bochum*

präzise zwischen Knochen und Weichgewebe unterschieden und dadurch die Schnitttiefe geregelt werden.

Einen besonderen Stellenwert hat bei smartCUT die synergistische Zusammenarbeit von Mensch und Maschine. Der Chirurg hat die Kontrolle über den Gesamtprozess und kann den medizinisch günstigen Sägespalt frei wählen und Parameter wie beispielsweise die Schnittgeschwindigkeit individuell aus eigener Erfahrung bestimmen. Das technische System übernimmt dagegen die manuell weniger gut kontrollierbaren Teile

des Sägeprozesses wie die Schnitttiefe sicher zu steuern und zu überwachen. Hierdurch ergeben sich auch besondere Anforderungen an das Echtzeitsystem und die Regelalgorithmen, insbesondere hinsichtlich der vorzuhaltenden Daten (z.B. Teil der CT-Daten).

### Modellbasierte Entwicklung von smartCUT

Das in smartCUT genutzte Echtzeitsystem ist ein dSPACE System, verbaut in einer Expansion Box, ausgestattet mit DS1006 Processor Board mit Quad-Core und verschiedenen I/O-Boards (DS3001, DS4003,

DS4201-S, DS4302). Softwareseitig kommen die Experimentiersoftware ControlDesk®, das Real-Time Interface (RTI) sowie zur CAN-Bus-Anbindung der Hardware das RTI CAN MultiMessage Blockset und die CANopen Master Solution zum Einsatz. Zuständig ist das Echtzeitsystem für die Gesamtregelung inklusive Schnitttiefenkontrolle, die zugehörige Datenerfassung und Bearbeitung sowie die Realisierung der Mensch-Maschine-Interaktion. Die modellbasierte Entwicklung unter Einsatz von dSPACE Werkzeugen hat sich in vielerlei Hinsicht als vorteilhaft erwiesen:

- Es ist ein durchgängiger Workflow zur Datenverarbeitung möglich. Zuerst wird die Bild- und Signalverarbeitung (Datenvorverarbeitung) in MATLAB®/Simulink® genutzt, dann die Regelung des Systems in Simulink erstellt und offline getestet, die dSPACE RTI-Blöcke eingebunden, die vorverarbeiteten Daten direkt in das Modell integriert und die Versuche mit dem dSPACE Echtzeitsystem durchgeführt. Für die Erfassung und anschließende Auswertung der Messdaten werden ControlDesk und MATLAB/Simulink eingesetzt.
- Die Bild- und Signalverarbeitung ist auch vor dem Hintergrund großer Datenmengen (CT-Bilddaten, Ultraschalldaten) leicht in das Modell integrierbar und dann durch die dSPACE Echtzeithardware nutzbar.
- Die Lösung steht als Gesamtmodell transparent und mit einer einheitlichen Werkzeugumgebung zur Verfügung und lässt sich leicht von Studenten und Mitarbeitern an der RWTH Aachen bedienen und weiterentwickeln.
- Die bei smartCUT entwickelten Module lassen sich durch das modellbasierte Vorgehen und das modulare dSPACE System leicht an weitere mechatronische Systeme für die Chirurgie/Medizin anpassen.

### Ergebnisse der Untersuchung

Nach den ersten praktischen Erfahrungen werden die unterschiedlichen Merkmale und Vorteile der Verfahren deutlich.

#### ■ CT-basiert:

Die zeitliche Trennung der eigentlichen Vermessung der Struktur (durch die vorgelagerte CT) vom Schnitt führt in der Praxis zu einer langen Fehlerkette. Als Herausforderung erweist sich vor allem die begrenzte Genauigkeit des optischen Trackings und die Komplexität des mehrteiligen Gesamtsystems. Hier entstehende Fehler kön-

nen jedoch durch den intrinsischen Weichgewebeschutz abgefangen werden. Ein Einsatz bietet sich insbesondere in der Neurochirurgie an, da die notwendigen Systeme (z.B. optisches Tracking) und Methoden (z.B. Registrierung des Bild- mit dem Patientenkoordinatensystem) bereits im Rahmen der Neuronavigation etabliert sind.

#### ■ Ultraschallbasiert:

Dieses Verfahren eignet sich insbesondere für die Herz- und Thoraxchirurgie, da weder optisches Tracking noch ein CT-Datensatz wie bei der CT-basierten Methode benötigt wird. Durch die intraoperative Messung der Daten kann hier, mit Hilfe eines einfachen linearen Encoders, ein direkter Bezug zwischen Position und Messdaten hergestellt werden.

#### ■ Optischer Sensor:

Es konnte gezeigt werden, dass sich dieses Verfahren für beide medizinische Anwendungen eignet. Da die Messdatenerfassung während des Schnitts erfolgt, ist keine zusätzliche intra- oder präoperative Bildgebung notwendig. Hierdurch ergibt sich eine große Nähe zu dem normalen Arbeitsablauf der beiden Eingriffe. ■

*Mit freundlicher Genehmigung des Lehrstuhls für Medizintechnik, RWTH Aachen*

## Fazit und Ausblick

Die Machbarkeit von smartCUT konnte für die drei unterschiedlichen Verfahren gezeigt werden. Hierfür wurden umfassende Laboruntersuchungen an künstlichen Knochen vorgenommen. In naher Zukunft werden vor allem die weitere Optimierung der Regelungsstrategie sowie die Sensorintegration im Sägeblatt im Fokus stehen. Für die Entwicklung und Regloptimierung spielt auch in Zukunft das dSPACE Echtzeitsystem eine entscheidende Rolle.

*Diese Arbeit wurde teilweise vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (01EZ0841 - STS) und dem Ministerium für Wirtschaft, Forschung und Technologie – NRW sowie dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (280155601 - smartCUT) gefördert.*

#### Alexander Korff

Alexander Korff ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Teamleiter der Gruppe „Smart Instruments und Robotik“ am Lehrstuhl für Medizintechnik der RWTH Aachen.



#### Dr. Klaus Radermacher

Univ. Prof. Dr.-Ing. Klaus Radermacher ist Leiter des Lehrstuhls für Medizintechnik an der RWTH Aachen.

