

## **Titel: Innovative Konstruktionen und Antriebe für die MRT**

Die Zukunft der interventionellen Medizin liegt in der stetigen Verminderung der Invasivität chirurgischer Eingriffe. Künftig werden aufgrund technologischer Fortschritte und Verbesserungen der Instrumente, insbesondere bei Nadeln und Kathetern, Eingriffe noch minimalinvasiver durchführbar sein als bisher. Die Schlüsseltechnologie dafür ist die robotische Assistenz, die eine genaue und effiziente Handhabung dieser ultra-minimalinvasiven Instrumente erst ermöglicht. Die notwendigen Informationen zur Steuerung dieser Assistenzsysteme werden aus echtzeitfähigen Bildgebungstechnologien wie Ultraschall (US), Computertomographie (CT) oder Magnetresonanztomographie (MRT) gewonnen, die ebenfalls stetig weiterentwickelt werden. So werden beispielsweise in der interventionellen Radiologie bereits heute diagnostische und therapeutische Eingriffe unter MRT- oder CT-Bildgebung manuell durchgeführt, häufig unter Zuhilfenahme miniaturisierter Instrumente.

Die Projektgruppe für Automatisierung in der Medizin und Biotechnologie (PAMB) des Fraunhofer IPA besitzt langjährige Erfahrung in der Entwicklung von Instrumenten und Robotern für die bildgestützte ultra-minimalinvasive Chirurgie. So wurde zum Beispiel im Rahmen des BMBF-Forschungscampus M<sup>2</sup>OLIE (Mannheim Molecular Intervention Environment) gezeigt, dass roboterassistierte Cone-Beam-CT-geführte Punktionen, bei gleichbleibender Genauigkeit, deutlich zeiteffizienter als konventionelle manuelle Punktionen sind. Momentan arbeitet die PAMB am Transfer der Forschungsergebnisse in die klinische Anwendung.

Oftmals wäre es allerdings besser, einen solchen Eingriff im MRT durchzuführen, da dort Weichteile sehr gut dargestellt und Patienten nicht mit ionisierender Strahlung belastet werden. Solche MRT-geführten Punktionen sind bereits in der Klinik etabliert, sie werden heutzutage jedoch ebenfalls weitestgehend manuell durchgeführt. Der verfügbare Platz für die Durchführung der Punktion innerhalb der MRT-Röhre ist stark eingeschränkt und hängt zudem vom Körperbau des Patienten sowie vom Ort des Eingriffs ab. Dies erschwert die Arbeit des Arztes enorm. Eine roboterassistierte Positionierung der Nadel, ferngesteuert durch den Arzt von außerhalb des MRT, erlaubt einerseits die genaue Ausrichtung der Nadel und ist zudem wesentlich ergonomischer für den Arzt. Assistenzsysteme für den Einsatz in der MRT-Röhre müssen allerdings sehr kompakt sein und dürfen keine oder nur geringe Wechselwirkungen mit den Magnetfeldern hervorrufen. Dies könnte Artefakte im Bild, Wirbelströme in den Bauteilen oder sogar eine Projektilwirkung von losen Komponenten verursachen und ist deshalb unbedingt zu vermeiden. Aus diesem Grund ist die Verwendung von ferromagnetischen Materialien in Assistenzsystemen für die MRT weitgehend ausgeschlossen, was auch den Einsatz der in der Robotik gängigen Elektromotoren stark erschwert.

MRT-kompatible Assistenzsysteme erfordern daher völlig neue Ansätze hinsichtlich Konstruktion, Werkstoffen und Antriebstechnik. In den folgenden Abschnitten werden hierzu zwei Entwicklungen der PAMB vorgestellt: Neuartige 3D-gedruckte hydraulische Antriebe aus Kunststoff und ein Patiententransfer-System aus Verbundwerkstoffen.

### **Neuartige 3D-gedruckte hydraulische Antriebe für MRT-kompatible Assistenzsysteme**

Als Lösungsansatz für die komplexen Anforderungen an MRT-kompatible Antriebe forscht die PAMB an 3D-gedruckten hydraulischen Antrieben aus Kunststoff. Die Kombination hydraulischer Antriebe mit dem 3D-Druck von Kunststoffen bietet dabei einige Vorteile. Hydraulische Antriebe zeichnen sich durch eine hohe Leistungsdichte aus. Sie eignen sich also ideal, um hohe Kräfte auf kleinem Bauraum zu realisieren. Außerdem können durch eine geringe Reibung in den hydraulischen Leitungen Verluste und Latenz bei der Leistungsübertragung zwischen Eingabegerät und Antrieb sehr gering gehalten werden, was eine hochpräzise und direkte Steuerung der Antriebe ermöglicht. Der 3D-Druck von Kunststoffkomponenten ermöglicht es, die Anforderungen der MRT-Technologie an die

eingesetzten Materialien zu erfüllen, da auf ferromagnetische Materialien verzichtet werden kann. Ferner ergibt sich durch den Einsatz von 3D-Druck sogar die Möglichkeit, patienten- und anwendungsspezifische Roboterarchitekturen mit integrierten hydraulischen Antrieben in einem Prozessschritt günstig und in Stückzahl eins herzustellen. Die PAMB ist derzeit an der Entwicklung eines solchen Roboters für die MRT-gestützte Gewebeprobeentnahme mit Nadeln in einem internationalen Forschungsteam beteiligt. Erste Ergebnisse zur Integration 3D-gedruckter hydraulischer Kolbenaktoren in den ebenfalls gedruckten Roboter werden auf der diesjährigen International Conference for Robotics and Automation (ICRA) in Montreal vorgestellt.

Jedes einzelne Antriebselement mit einer eigenständigen hydraulischen Leitung zu versorgen, ist nicht praktikabel. Durch den begrenzten Bauraum müssten die Versorgungsschläuche sehr dünn sein, was wiederum Nachteile für das Übertragungsverhalten der hydraulischen Leitung mit sich bringt. Eine zentrale Druckleitung, ergänzt durch schaltbare, miniaturisierte Ventile an den Druckkammern löst dieses Problem. Die Miniaturisierung und Integration konventioneller Ventile in die 3D-gedruckte Struktur ist allerdings sehr aufwendig. In der PAMB wird daher speziell für die Medizintechnik eine Alternative zu herkömmlichen hydraulischen Ventilen entwickelt, welche die Integration extrem kompakter Ventile ohne bewegliche Teile ermöglicht. Dies wird durch den Einsatz einer sogenannten elektrorheologischen Flüssigkeit ermöglicht - einer Flüssigkeit, deren Fließeigenschaften durch elektrische Felder beeinflusst werden können. Durch gezieltes Anlegen einer elektrischen Spannung lässt sich der Fluss an jeder Stelle der hydraulischen Leitung steuern. Da diese Ventile ohne Magnete und ferromagnetische Werkstoffe gebaut werden können, ist sogar der Einsatz im MRT möglich.



Abbildung 1: 3D-gedruckter hydraulischer Antrieb

Neben 3D-gedruckten hydraulischen Kolbenaktoren wird in der PAMB auch an Antrieben aus elastischen Materialien für nachgiebige Roboter geforscht (siehe Abb.1). Diese flexiblen Antriebe haben den Vorteil, dass sie aufgrund ihrer Nachgiebigkeit ein sehr geringes Verletzungsrisiko für den Patienten darstellen und eine hohe Anpassungsfähigkeit an die zur Verfügung stehenden Bauräume aufweisen. Dies macht sie ideal für Roboter und Instrumente, die innerhalb des Körpers des Patienten eingesetzt werden, zum Beispiel bei endoskopischen Eingriffen.

### **MRT-kompatibles Patiententransfersystem zur effizienten Durchführung einer Seed-basierten Prostatabestrahlung (Brachytherapie)**

Die Kompetenzen von der PAMB im Bereich MRT-kompatibler Konstruktionen und Systeme finden bereits bei einer Sonderentwicklung für die Universitätsmedizin Mannheim ihren Weg in die klinische Praxis. Bei der röntgengeführten Seed-Implantation werden in einer Angiographieanlage radioaktive Seeds zur lokalen Bestrahlung der Prostata gesetzt. Die Position der Seeds wird anschließend im MRT überprüft und gegebenenfalls in einem weiteren Schritt korrigiert. Die Umlagerung des Patienten aus der Steinschnittlage in die liegende Position und der Transfer von der Angiographieanlage in den MRT müssen dabei für die effiziente Auslastung der Geräte möglichst einfach und schnell geschehen.

Für den Zugang des Seed-Applikators zur Prostata kann die untere Hälfte eines von der PAMB speziell für diese Anwendung entwickelten Transferboards abmontiert werden (siehe Abb. 2). Hierauf wird der Patient bereits vor dem Eingriff gelagert und für die gesamte Intervention fixiert. Auch der Angiographie-Tisch kann geteilt werden. Nach der Implantation der Seeds wird der Patient mit Hilfe des Transferboards auf einen mobilen MRT-Tisch geschoben, um die Kontrolle im benachbarten MRT-Raum durchzuführen.

Das bedeutet für die Entwicklung des Transferboards, dass es möglichst leicht, röntgendurchlässig, MRT-kompatibel und mechanisch robust, sowie funktional und hygienisch sein muss. Ein besonderer Verbindungsmechanismus zur Teilung des Boards mit wenigen Handgriffen und eine Sandwich-Konstruktion unter Verwendung von Leichtbaumaterialien, wie Schaumstoff und glasfaserverstärkten Kunststoffen, sowie Hochleistungspolymeren, wurde eigens hierfür entwickelt. Der Prototyp des Transferboards ist für das klinische Personal leicht zu handhaben, kompatibel mit dem MRT und Röntgenstrahlung und entspricht zudem den hygienischen Anforderungen in der Klinik, u.a. durch die Umsetzung eines hygienischen Designs.



Abbildung 2: Dummy in Steinschnittlage auf Transferboard und Angiographie-Tisch

Für die Entwicklung hat sich die PAMB intensiv mit allen Anwendern aus der Klinik (Radiologie, Strahlentherapie, Risikomanagement, Hygiene und Krankenhausmanagement) ausgetauscht. Nur durch Einbeziehung aller Partner konnte ein geeignetes Konzept entwickelt und umgesetzt werden. Anschließend wurden die Materialien ausgewählt, die Konstruktion numerisch berechnet und gefertigt, sowie Funktionstests im PAMB-eigenen, experimentellen Interventionsraum durchgeführt. Zudem unterstützte die PAMB bei der Erstellung der technischen Dokumentation und der Einweisung des klinischen Personals in die Benutzung des Transferboards.

Die Fortschritte in der Konstruktions- und Antriebstechnik für MRT-kompatible Assistenzsysteme und Geräte sind die Grundlage für zukünftige Innovationen im Bereich bildgeführter ultra-minimalinvasiver Interventionen. Für Diagnose und Therapie versprechen diese Fortschritte eine Effizienzsteigerung klinischer interventioneller Prozesse. Daher bietet die PAMB interessierten Kliniken und Ärzten technologische und methodische Unterstützung zur Umsetzung von der Idee bis hin zur erfolgreichen Innovation an.

ENTWURF