



**Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg**  
**Medizinische Fakultät Mannheim**  
**Dissertations-Kurzfassung**

**Development and evaluation of an actuator system based on centrifugal force for magnetic resonance elastography**

Autor: Wiebke Neumann  
Institut / Klinik: Computerunterstützte Klinische Medizin  
Doktorvater: Prof. Dr. F. G. Zöllner

Die Magnetresonanz-Elastographie (MRE) dient als wichtiges diagnostisches Instrument. Es stellt einen von zahlreichen Ansätzen zur Überwachung der Gewebesteifigkeit dar. Die grundlegendsten Herausforderungen der MRE ergeben sich aus zwei Faktoren: Die Konstruktion einer mechanischen Vorrichtung, die eine dynamische Gewebebewegung im Körperinneren induziert, und sinnvolles Kodieren der Bewegung im komplexen Signal der Magnetresonanztomographie (MRT). Diese Arbeit zielt darauf ab, die Methode der Quantifizierung der Gewebesteifigkeit zu verbessern, indem sie ein neues Aktorsystem für die MRE entwickelt.

Zunächst wurde ein 3D-gedruckter pneumatischer Turbinenvibrator entwickelt, welcher sinusförmige mechanische Wellen erzeugt. Dieser verwendete eine exzentrisch rotierende Masse, die eine Zentrifugalkraft in der Turbine erzeugte. Im Gegensatz zu konventionell eingesetzten Schalldrucktreibern war die pneumatische Turbine in der Lage, Scherwellen mit geeigneter Wellenamplitude im menschlichen Gewebe zu erzeugen - insbesondere bei höheren Frequenzen, da die Zentrifugalkraft gegenüber der Drehfrequenz quadratisch ansteigt. Der Aktor erzeugte Vibrationen im Bereich von 30 Hz bis 150 Hz. Das Ausmaß der Artefakte, die durch die eingebrachten Materialien im Field-of-view verursacht werden, waren auf die absolute Umgebung des Aktors beschränkt und hatte keinen Einfluss auf die Bildqualität in der Region-of-Interest. Es wurde eine interne Zertifizierung nach §3 MPG durchgeführt; eine Voraussetzung für interne klinische In-vivo-Studien. Das Aktorsystem wurde erweitert: zwei Turbinen wurden synchron in Reihe geschaltet, um zu untersuchen, ob die Dämpfung von Scherwellen durch den Einsatz von zwei Wellenquellen kompensiert werden kann.

Außerdem wurde eine Bewegungs-kodierende Aufnahme-Sequenz entwickelt, die Gewebebewegung im MRI Signal darstellt. Die Sequenz basierte auf einer spin-echo-echo planar (SE-EPI) Sequenz und enthielt einen Bewegungs-kodierenden Gradienten (motion encoding gradient (MEG)), der Vibrationsfrequenzen von 40 Hz bis 120 Hz kodieren konnte. Um die Wellengeschwindigkeiten und damit die Gewebeelastizität zu rekonstruieren, wurde ein Trigger implementiert, der die Sequenz mit den mechanischen Wellen synchronisiert.

Zusätzlich wurde das Aktorsystem in Bezug auf für die MRE Bildgebung an einem klinischen Scanner bewertet. Gewebeelastizität-imitierende Phantome wurden als Testobjekte mit bekannter Elastizität entwickelt. Der Schermodulus der silikonbasierten Materialien lag laut rheometrischer Untersuchung zwischen 1,47 kPa und 7,29 kPa und ist im Bereich der menschlichen Weichteilelastizität. Es wurden ein Prostataphantom und ein anthropomorphes abdominales Phantom hergestellt. MR Bilder wurden mit der SE-EPI Sequenz aufgenommen, die in Bezug auf das Signal-zu-Rauschen-Verhältnis (Leber: SNR = 71,5) und das Kontrast-zu-Rauschen-Verhältnis (Leber: CNR = 16,5) ausreichend Signal für die MRE Bildgebung gaben. Neben der MRT ist die Computertomographie- (Leber: 106±6 HU) und die Ultraschallbildgebung durch Hinzufügen von Streupartikeln möglich. Es wurden drei Anregungsarten evaluiert: eine Einzel-, eine Großflächen- und eine Doppelquellenanregung. Für jeden wurde die Stärke des MEG von 5 mT/m bis 20 mT/m für Vibrationsfrequenzen von 50 Hz bis 80 Hz variiert. Die Doppelquellenanregung zeigte eine gleichmäßigere Wellenausbreitung in einem größeren Volumen, insbesondere im peripheren Bereich des abdominalen Phantoms. Die rekonstruierten Elastizitätskarten ergaben Elastizitätswerte (Leber: 1,12±0,16 kPa, Füllmaterial: 4,37±0,52 kPa) im Bereich der rheometrisch ermittelten Messergebnisse von Silikonproben.

Abschließend wurde eine in vivo MRE Machbarkeitsstudie durchgeführt, die eine erfolgreiche Implementierung des ersten entwickelten MRE Antriebssystems in unserer Klinik demonstriert. Die kurze zusätzliche Einrichtzeit erleichtert die Einbindung in Routineprotokolle und erhöht die klinische Akzeptanz. MRE ist eine Technik zur Identifizierung verschiedener Pathologien - die Quantifizierung des Schermodulus hat das Potenzial, ein weiterer unabhängiger Parameter für die MRT Diagnose in einer Vielzahl von klinischen Anwendungen zu werden.