



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

**Weiterentwicklung der Natrium Multiquantenkohärenz  
Magnetresonanztomographie auf klinischen Scannern**

Autor: Christian Licht  
Institut / Klinik: Computerunterstützte Klinische Medizin  
Doktorvater: Prof. Dr. L. R. Schad

In den letzten Jahren erhielt die Natrium ( $^{23}\text{Na}$ ) Magnetresonanztomographie (MRT) immer mehr Aufmerksamkeit, da sie nicht-invasiv wichtige Gewebeanforderungen bereitstellt, die direkt mit der Zellvitalität verknüpft sind. Ebenso hat die Entwicklung von Ultrahochfeld Scannern ( $\geq 7$  Tesla) dazu beigetragen, dass die Natrium MRT immer häufiger verwendet wird. Das Besondere an der  $^{23}\text{Na}$  MRT ist, dass sie die quantitative Bestimmung der Gewebe-Natriumkonzentration in vivo ermöglicht. Neben der Gewebe-Natriumkonzentration, liefert die  $^{23}\text{Na}$  MRT weitere Informationen, die man mit Hilfe der  $^{23}\text{Na}$  Multiquantenkohärenz (MQC) Bildgebungstechnik auflösen kann. Leider ist die Akquisitionszeit von  $^{23}\text{Na}$  MQC MRT für die klinische Anwendung zu lang und macht es daher schwierig das Potenzial der  $^{23}\text{Na}$  MQC MRT vollständig zu untersuchen. Diese Arbeit beschäftigte sich mit der Entwicklung von robusten Methoden zur Beschleunigung der Akquisition, welche die klinische Anwendung von  $^{23}\text{Na}$  MQC MRT ermöglicht. Hierzu wurden verschiedene Methoden entwickelt und in numerischen Simulationen, Phantom und in vivo Kopf-Messungen auf 3 und 7 Tesla miteinander verglichen.

Der erste Teil dieser Arbeit beschäftigte sich mit der Entwicklung eines mehrdimensionalen (5D) Rekonstruktionsmodells basierend auf der Compressed Sensing (CS) Theorie. Hierzu wurde eine fortschrittliche Unter-Abtastmethode verwendet, die die Beschleunigung der  $^{23}\text{Na}$  MQC MRT ermöglichte. Die unterabgetasteten Daten wurden mit Hilfe des Rekonstruktionsalgorithmus, unter Berücksichtigung der Mehrdimensionalität des  $^{23}\text{Na}$  MQC Signals, optimal rekonstruiert. Ausführliche Experimente demonstrierten den Vorteil der neuen gegenüber der herkömmlichen Rekonstruktionsmethode und ermöglichte somit eine robuste Beschleunigung der Akquisition um den Faktor drei. Aufgrund der beschleunigten Aufnahme konnte erstmals eine höhere räumliche Auflösung von  $6 \times 6 \times 10 \text{mm}^3$  in vivo erzielt werden.

Für den zweiten Teil der Arbeit wurden die Kenntnisse bezüglich der Unterabtastung aus dem ersten Teil verwendet, um die Rekonstruktion und die MRT-Sequenz zu verbessern. Die Sequenz wurde erweitert um gleichzeitig  $^{23}\text{Na}$  MRT und unterabgetastete  $^{23}\text{Na}$  MQC MRT zu ermöglichen. Zum ersten Mal in der  $^{23}\text{Na}$  MRT wurden nieder-Rang Rekonstruktionsalgorithmen verwendet, um simultane  $^{23}\text{Na}$  MRT und  $^{23}\text{Na}$  MQC MRT zu rekonstruieren. Der Vorteil dieser Rekonstruktionsalgorithmen basiert darauf, dass kohärente Informationen stark komprimiert werden können. Zum ersten Mal wurde die Doppel-Echo Technik angewandt, um  $6 \times 6 \times 6 \text{mm}^3$   $^{23}\text{Na}$  in vivo MR Bilder aufzunehmen. Die Rekonstruktion der  $^{23}\text{Na}$  MQC Daten wurde mit dem 5D CS Model aus dem ersten Teil der Arbeit quantitativ verglichen. Letztlich wurde  $^{23}\text{Na}$  MQC MRT prospektiv unterabgetastet, um eine höhere räumliche Auflösung von  $8 \times 8 \times 8 \text{mm}^3$  zu erzielen. Die neue Sequenz bietet die Möglichkeit simultan  $^{23}\text{Na}$  und  $^{23}\text{Na}$  MQC MRT mit höherer räumlicher Auflösung in 2x23 Minuten aufzunehmen, welches eine optimale Grundlage für weitere Natrium-MRT Studien bietet.

Diese Arbeit zeigte Lösungen auf, wie die lange Akquisitionszeit der  $^{23}\text{Na}$  MQC MRT effektiv reduziert und die limitierte räumliche Auflösung erhöht werden kann. Hierfür wurden zwei Rekonstruktionsalgorithmen vorgestellt, die unterschiedlichen mathematischen Konzepten unterliegen. Beide Algorithmen wurden dahingehend optimiert, dass diese die mehrdimensionale Struktur des  $^{23}\text{Na}$  MQC MRT Signals optimal für die Rekonstruktion nutzen und demonstrierten verbesserte Rekonstruktionsresultate als herkömmliche Algorithmen. Beide Methoden wurden ausgiebig in silico, in vitro und in vivo getestet, um fundierte Aussagen über die Qualität der Rekonstruktion treffen zu können. Des Weiteren wurde eine effiziente Sequenz entwickelt, die die simultane Akquisition von  $^{23}\text{Na}$  und  $^{23}\text{Na}$  MQC MRT ermöglicht. Die neue Sequenz überzeugte durch die vereinfachte Rekonstruktion und die Robustheit der Akquisition aufgrund der kartesischen Aufnahmestrategie und stellt somit eine wichtige Grundlage für weitere  $^{23}\text{Na}$  MRT Studien da.