

Aus der Klinik für Strahlenheilkunde  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Kardiovaskuläre MRT bei 1.5 und 3.0 Tesla unter Verwen-  
dung von dynamischen SSFP- und statischen  
„Black-Blood“-Sequenzen, mit und ohne den Einsatz  
paralleler Bildgebungstechniken**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät Charité –  
Universitätsmedizin Berlin

von

Patrick Freyhardt

aus Berlin

Gutachter: 1. Prof. Dr. med. Matthias Gutberlet  
2. Priv.-Doz. Dr. med. Joachim Lotz  
3. Prof. Dr. med. Thomas Albrecht

Datum der Promotion: 17.07.2008

# INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS .....	3
VERZEICHNIS DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN .....	5
WIDMUNG .....	7
TITEL .....	8
<b>I. EINLEITUNG .....</b>	<b>9</b>
<b>1. HERZDIAGNOSTIK - METHODEN .....</b>	<b>9</b>
1.1 Konventionelle Röntgendiagnostik .....	9
1.2 Sonographie (Echokardiographie) .....	9
1.3 Herzkatheter .....	11
1.4 Nuklearmedizinische Verfahren .....	11
1.5 CT-Herzbildgebung .....	13
1.6 MRT .....	15
1.6.1 <i>Geschichte der MRT</i> .....	15
1.6.2 <i>MRT in der Herzbildgebung</i> .....	16
<b>2. MRT - Physikalische Grundlagen .....</b>	<b>18</b>
2.1 Kernspin, T <sub>1</sub> - und T <sub>2</sub> -Relaxation .....	18
2.2 Bildentstehung und k-Raum .....	22
<b>3. MRT-Sequenzen .....</b>	<b>25</b>
3.1 Allgemeine Sequenztypen .....	25
3.1.1 <i>Spin-Echo-Sequenzen</i> .....	25
3.1.2 <i>Gradienten-Echo-Sequenzen</i> .....	26
3.2 Signal-zu-Rausch- und Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis .....	28
3.3 Artefakte .....	28
3.3.1 <i>Bewegungs-/ Motionartefakte</i> .....	28
3.3.2 <i>Chemical-Shift-Artefakte</i> .....	29
3.3.3 <i>Suszeptibilitätsartefakte</i> .....	30
3.3.4 <i>Shadingartefakte</i> .....	31
<b>4. MRT in der Herzdiagnostik .....</b>	<b>32</b>
4.1 EKG-Triggerung und Atembewegung .....	32
4.2 Spezielle MRT-Sequenzen .....	35
4.2.1 <i>Balanced-Steady-State-Free-Precession- (SSFP) -Sequenzen</i> .....	35
4.2.2 <i>Inversion Recovery Sequenzen</i> .....	36
<b>5. Parallele Bildgebung (pMRT) .....</b>	<b>37</b>
<b>6. Herleitung der Aufgabenstellung .....</b>	<b>41</b>
<b>II. MATERIAL UND METHODIK .....</b>	<b>43</b>
<b>1. Probandenkollektiv .....</b>	<b>43</b>
<b>2. Technische Komponenten .....</b>	<b>43</b>
2.1 MRT-Scanner .....	43
2.2 Spulen .....	44
2.3 Sequenzen .....	44
2.3.1 <i>FIESTA-Sequenz</i> .....	44
2.3.2 <i>FIESTA-ASSET-Sequenz</i> .....	45
2.3.3 <i>FSE – „Black Blood“ - Sequenzen</i> .....	46
2.3.4 <i>Rauschsequenz</i> .....	46
2.4 EKG-Triggerung und Atemkontrolle .....	47
2.5 Herzebenen .....	48
2.6 Spezifische Absorptionsrate (SAR) .....	50
<b>3. Untersuchungsablauf .....</b>	<b>50</b>
<b>4. Auswertung .....</b>	<b>51</b>

4.1	Quantitative Auswertung.....	51
4.2	Qualitative Auswertung .....	54
4.3	Statistische Analyse .....	55
<b>III.</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>56</b>
1.	<b>FIESTA-Sequenz</b> .....	<b>56</b>
1.1	Quantitative Auswertung .....	56
1.1.1	1.5 T FIESTA .....	57
1.1.2	3.0 T FIESTA .....	57
1.1.3	Vergleich 1.5 T und 3.0 T FIESTA.....	59
1.1.4	Regionale Unterschiede im LV-Myokard in der SA – Vergleich 1.5 vs. 3.0T.....	61
1.2	Qualitative Auswertung .....	62
1.2.1	Beurteilung des Gesamteindrucks.....	62
1.2.2	Auswertung der einzelnen Schnittebenen .....	63
1.2.2.1	4-Kammer-Blick.....	63
1.2.2.2	2-Kammer Blick LA.....	65
1.2.2.3	2-Kammer-Blick SA.....	66
2.	<b>FIESTA ASSET-Sequenz</b> .....	<b>68</b>
2.1	Quantitative Auswertung .....	68
2.1.1	1.5 T FIESTA ASSET.....	69
2.1.2	3.0 T FIESTA ASSET.....	73
2.1.3	Vergleich 1.5 T und 3.0 T FIESTA ASSET .....	77
2.1.4	Vergleich 1.5 T FIESTA und 3.0 T FIESTA ASSET .....	79
2.2	Qualitative Auswertung .....	81
2.2.1	Beurteilung des Gesamteindrucks.....	81
2.2.2	Auswertung der einzelnen Schnittebenen .....	83
2.2.2.1	4-Kammer-Blick FIESTA ASSET.....	83
2.2.2.2	2-Kammer-Blick LA FIESTA ASSET.....	85
2.2.2.3	2-Kammer-Blick SA FIESTA ASSET .....	87
3.	<b>FSE – Sequenzen</b> .....	<b>91</b>
3.1	Double Inversion Recovery „Black Blood“ T <sub>1</sub> .....	91
3.1.1	Quantitative Auswertung .....	91
3.1.2	Qualitative Auswertung .....	93
3.2	Short Tau Inversion Recovery (STIR) .....	95
3.2.1	Quantitative Auswertung .....	95
3.2.2	Qualitative Auswertung .....	97
3.3	Double Inversion Recovery „Black Blood“ T <sub>2</sub> .....	99
3.3.1	Quantitative Auswertung .....	99
3.3.2	Qualitative Auswertung .....	102
<b>IV.</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>104</b>
1.	<b>FIESTA-Sequenzen</b> .....	<b>105</b>
2.	<b>FIESTA ASSET-Sequenzen</b> .....	<b>111</b>
3.	<b>FSE- „Black-Blood“-Sequenzen</b> .....	<b>116</b>
<b>V.</b>	<b>LIMITATIONEN DER STUDIE</b> .....	<b>121</b>
<b>VI.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG und AUSBLICK</b> .....	<b>122</b>
<b>VII.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>125</b>
<b>VIII.</b>	<b>DANKSAGUNG</b> .....	<b>130</b>
<b>IX.</b>	<b>EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG</b> .....	<b>131</b>
<b>X.</b>	<b>LEBENS LAUF</b> .....	<b>132</b>
<b>XI.</b>	<b>PUBLIKATIONS LISTE</b> .....	<b>133</b>

## VERZEICHNIS DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN

4KB	4-Kammer-Blick
Ant	Anterior
Api	Apikal
AV-Klappen	Atrioventrikularklappen
BB	Black-blood
CNR	Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis
CT	Computertomographie
EBT	Elektronenstrahl-CT
ESR	Elektronen-Spin-Resonanz
ETL	Echo-Train-Length
FSE	Fast-Spin-Echo
FIESTA	Fast imaging employing steady state acquisitions
FIESTA ASSET	FIESTA Sequenz mit Verwendung von pMRT
FOV	Field of View
FSE	Fast-Spin-Echo
GE	General Electric
GRE	Gradienten-Echo
HF-Impuls	Hochfrequenzimpuls
Inf	Inferior
IR	Inversion-Recovery
LA	2-Kammer-Blick lange Achse
IA	Linker Vorhof / links atrial
Lat	Lateral
LV	Linker Ventrikel / links ventrikulär
Max	Maximum
MD	Median
Min	Minimum
MRT	Magnetresonanztomographie
MSCT	Multislice-CT
MW	Mittelwert
NEX	Number of Exzitations
n.s.	Nicht signifikant
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
pMRT	Parallele MRT / Parallele Bildgebung
Post	Posterior
rA	Rechter Vorhof / rechts atrial
RF-Impuls	Radiofrequenzimpuls
ROI	Region of Interest
RV	Rechter Ventrikel / rechts ventrikulär
SA	2-Kammer-Blick kurze Achse
SAR	Spezifische Absorptionsrate
SD	Standardabweichung
SE	Spin-Echo
SENSE	Sensitivity Encoding
Sept	Septal
SI	Signalintensität
SNR	Signal-zu-Rausch-Verhältnis
SPECT	Single-Photon-Emissions-Computed-Tomographie
SSFP	Steady-state-free-precession
STIR	Short-Tau-Inversion-Recovery
T	Tesla
TA	Totale Akquisitionszeit

TE	Echozeit, "Time to Echo"
TI	Inversionszeit
TR	Repetitionszeit, "Time to Repeat"

**Meinen lieben Eltern**

## VIII. DANKSAGUNG

Ich danke meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med M. Gutberlet, der mich mit seiner fachlichen Kompetenz und seinem großem Engagement in jeder Phase der Entstehung dieser Arbeit unterstützt hat und wesentlich zur Fertigstellung meiner Dissertation beitrug.

Auch möchte ich mich bei allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe Kardiovaskuläre Magnetresonanztomographie des Virchow-Klinikums, bei meiner Betreuerin Frau Dr. med. B. Spors und speziell bei Frau V. Ding-Reinelt bedanken, die mir als MTA zu Beginn der Datenerhebung mit Rat und Tat zur Seite stand.

Ich danke auch Prof. Dr. rer. nat. T. Niendorf für die fachliche Unterstützung durch die kompetente und stets prompte Beantwortung meiner zahlreichen Fragen

Danken möchte ich auch dem ehemaligen Direktor der Klinik für Strahlenheilkunde Herrn Prof. Dr. med Dr. h.c. Felix für seine Förderung auf fachlicher und menschlicher Ebene.

Mein besonderer Dank gilt nicht zuletzt meinen Eltern, die mir durch ihre stetige motivierende Unterstützung während der zeitaufwendigen Arbeit an diesem Thema eine große Hilfe waren.



## IX. EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

„Ich, Patrick Freyhardt, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema:

**„Kardiovaskuläre MRT bei 1.5 und 3.0 Tesla unter Verwendung von dynamischen SSFP- und statischen „Black-Blood“-Sequenzen, mit und ohne den Einsatz paralleler Bildgebungstechniken“**

selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopie anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Berlin, den 11.10.2007

Patrick Freyhardt

## **X. LEBENSLAUF**

Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.

## XI. PUBLIKATIONSLISTE

### Artikel:

**Gutberlet M, Noeske R, Schwinge K, Freyhardt P, Felix R, Niendorf T.**

Comprehensive Cardiac Magnetic Resonance Imaging at 3.0 Tesla: Feasibility and Implications for Clinical Applications.

Investigative Radiology 2006 Feb; 41(2):154-67

**Gutberlet M, Schwinge K, Freyhardt P, Spors B, Grothoff M, Denecke T, Ludemann L, Noeske R, Niendorf T, Felix R.**

Influence of high magnetic field strengths and parallel acquisition strategies on image quality in cardiac 2D CINE magnetic resonance imaging: comparison of 1.5 T vs. 3.0 T.

European Radiology 2005 Aug;15(8):1586-97.

**Gutberlet M, Freyhardt P, Spors B, Schwinge K, Grothoff M, Noeske R, Niendorf T, Felix R.**

Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging at 3.0 Tesla

Imaging Decisions 2004 Oct; 8(3):23-30.

**Gutberlet M, Spors B, Grothoff M, Freyhardt P, Schwinge K, Plotkin M, Amthauer H, Noeske R, Felix R.**

Comparison of different cardiac MRI sequences at 1.5 T/3.0 T with respect to signal-to-noise and contrast-to-noise ratios - initial experience.

RöntgenFortschritte (RöFo) 2004 Jun;176(6):801-8.

### Abstracts

**Freyhardt P, Spors B, Schwinge K, Hamm B, Gutberlet M.**

Regionale Unterschiede des Signalzuwachses in der kardialen MR-Bildgebung bei 3.0 Tesla. Ein intraindividueller Sequenzvergleich.

RöntgenFortschritte (RöFo) 2007 Mai, 179

**Gutberlet M, Spors B, Grothoff M, Freyhardt P, Amthauer H, Noeske R, Schultheiss HP, Felix R.**

Optimierung der Bildqualität bei der kardialen MRT-Vitalitätsdiagnostik mittels „late enhancement“ bei 3.0 T durch Einsatz eines adiabatischen Präparationspulses

RöntgenFortschritte (RöFo) 2005, 177

**Spors B, Grothoff M, Noeske R, Freyhardt P, Durak M, Schwinge K, Felix R, Gutberlet M.**

Vergleich verschiedener kardialer MRT Sequenzen zwischen 1.5 und 3.0 T bezüglich Bildqualität, Signal- und Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis

RöntgenFortschritte (RöFo) 2004, 176

### Poster

**Freyhardt P, Spors B, Hamm B, Gutberlet M.**

Regionale Unterschiede des Signalzuwachses in der kardialen MR-Bildgebung bei 3.0 Tesla. Deutsche Kardiodiagnostik Tage

27.-29.9.2007 Stuttgart