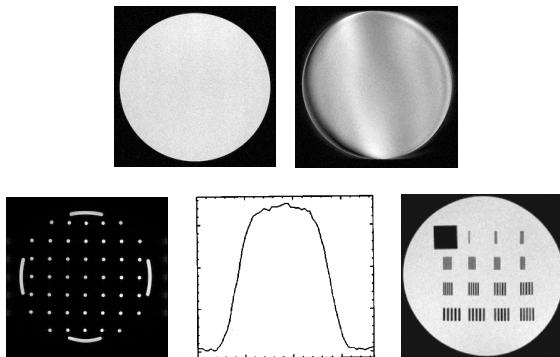


# **Untersuchungen zur Bildqualität in der Magnetresonanztomographie: Ein Vergleich aktueller Sequenzen und Geräte**



Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
(Dr. rer. biol. hum.)

vorgelegt von  
**Claudia Maria Fellner**  
aus Regensburg

Dekan: Prof. Dr. M. Röllinghoff

Referent: Prof. Dr. W. Kalender

Korreferent: Prof. Dr. G. Anton

Prof. Dr. W. Bautz

Tag der mündlichen Prüfung: 4. Dezember 2001

Berichte aus dem Institut für Medizinische Physik  
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Band 11

**Claudia Fellner**

**Untersuchungen zur Bildqualität in  
der Magnetresonanz-Tomographie: Ein Vergleich  
aktueller Sequenzen und Geräte**

D 29 (Diss. Universität Erlangen-Nürnberg)

Shaker Verlag  
Aachen 2002

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Fellner, Claudia:*

Untersuchungen zur Bildqualität in der Magnetresonanztomographie:  
Ein Vergleich aktueller Sequenzen und Geräte / Claudia Fellner.

Aachen : Shaker, 2002

(Berichte aus dem Institut für Medizinische Physik  
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg ; Bd. 11)

Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2001

ISBN 3-8322-0750-3

Copyright Shaker Verlag 2002

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen  
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-  
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-0750-3

ISSN 1616-0142

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

**für meine Eltern**

## VORWORT DES HERAUSGEBERS

Die Magnetresonanz- (MR-) Tomographie wurde mit ihrer Einführung euphorisch begrüßt. Sie hat sich inzwischen fest in der radiologischen Bildgebung etabliert, bietet aber weiterhin immer neue, innovative Verbesserungen und Erweiterungen des Anwendungsspektrums. Während die Bildgebung mit Röntgenstrahlen aus guten Gründen einer strengen Überwachung unterliegt, nicht nur bezüglich Strahlenschutz sondern auch bezüglich Bildqualität, wird dies für die MR-Bildgebung nicht in gleichem Maße gefordert und gehandhabt. Aber auch hier ist Qualitätssicherung von Nöten, denn eine falsche Diagnose auf Grund von Gerätemängeln oder Fehlern in der Anwendung stellt ein eventuell höheres Risiko dar als die Anwendung von ionisierender Strahlung. Auch internationale Gremien sehen inzwischen entsprechenden Nachholbedarf bei der „jungen“ Modalität MR.

Die vorliegende Arbeit wurde deshalb der Qualitätssicherung in der MR-Bildgebung gewidmet. Sie verbindet drei Themenkomplexe, von denen jeder für sich sehr umfangreich ist: Untersuchungen zur Bildqualität in der MR-Tomographie, Vergleich aktueller Sequenzen sowie Vergleich verschiedener MR-Geräte. In der Literatur sind zwar Methoden und Ergebnisse zur Quantifizierung der Bildqualität mit konventionellen Sequenzen behandelt, die Kombination obiger Themen jedoch – insbesondere ein objektiver Bildqualitätsvergleich aktueller Sequenzen – stellt einen Aspekt dar, zu dem bisher keine systematischen Untersuchungen veröffentlicht wurden.

Neue Sequenzen werden meist in Patientenstudien anhand von subjektiven Auswertekriterien auf ihre diagnostische Wertigkeit hin untersucht; die Bestimmung des Kontrast-zu-Rausch-Verhältnisses zwischen relevanten Strukturen ist dabei das einzige objektive Bildqualitätskriterium. Explizite Phantommessungen zur Quantifizierung verschiedener Bildqualitätskriterien, wie sie von anderen bildgebenden Verfahren her bekannt sind, werden in der MR-Bildgebung üblicherweise nur eingesetzt, um das Gesamtsystem oder einzelne Komponenten zu testen, nicht jedoch eine spezielle Sequenz. Im Gegensatz zu Bildgebungstechniken, die mit ionisierenden Strahlen arbeiten, gibt es für die MR-Tomographie auch keine gesetzlich verbindlichen Vorschriften für eine Qualitätskontrolle.

Wir hoffen, dass die vorliegende Arbeit Ansätze aufzeigen und Anregungen geben kann, um das Thema Qualitätssicherung in der MR-Bildgebung weiter voran zu treiben.

Erlangen, August 2002

*Willi A. Kalender, Ph.D.*

# INHALTSVERZEICHNIS

|           |                                                                                                         |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Einleitung .....</b>                                                                                 | <b>1</b>  |
| <b>2.</b> | <b>Grundlagen .....</b>                                                                                 | <b>3</b>  |
| 2.1.      | MR-Sequenzen .....                                                                                      | 3         |
| 2.1.1.    | MR-Sequenzen mit Spinecho-Kontrastverhalten .....                                                       | 3         |
| 2.1.1.1.  | Spinecho-Sequenzen .....                                                                                | 4         |
| 2.1.1.2.  | Inversion Recovery-Sequenzen .....                                                                      | 7         |
| 2.1.2.    | MR-Sequenzen mit Gradientenecho-Signalverhalten .....                                                   | 8         |
| 2.1.2.1.  | Konventionelle Gradientenecho-Sequenzen .....                                                           | 8         |
| 2.1.2.2.  | Schnelle Gradientenecho-Sequenzen .....                                                                 | 10        |
| 2.1.2.3.  | Echo Planar Imaging-Sequenzen .....                                                                     | 11        |
| 2.2.      | MR-Bildqualität .....                                                                                   | 13        |
| 2.2.1.    | NEMA-Standards aus dem Bereich der MR-Bildqualität .....                                                | 14        |
| 2.2.1.1.  | Bestimmung des Signal-Rausch-Verhältnisses .....                                                        | 14        |
| 2.2.1.2.  | Bestimmung der Bilduniformität .....                                                                    | 15        |
| 2.2.1.3.  | Bestimmung der geometrischen Verzerrung .....                                                           | 15        |
| 2.2.1.4.  | Bestimmung der Schichtdicke .....                                                                       | 16        |
| 2.2.2.    | Empfehlungen zur Qualitätskontrolle in der MR-Bildgebung .....                                          | 18        |
| 2.2.2.1.  | Europäische Initiativen .....                                                                           | 19        |
| 2.2.2.2.  | Amerikanische Initiativen .....                                                                         | 21        |
| <b>3.</b> | <b>Methoden .....</b>                                                                                   | <b>24</b> |
| 3.1.      | MR-Systeme .....                                                                                        | 24        |
| 3.2.      | Sequenzauswahl .....                                                                                    | 24        |
| 3.2.1.    | Typische Sequenzen an den Hochfeldsystemen .....                                                        | 25        |
| 3.2.2.    | Typische Sequenzen am Niederfeldsystem .....                                                            | 28        |
| 3.3.      | MR-Phantome .....                                                                                       | 29        |
| 3.3.1.    | Routinephantom .....                                                                                    | 29        |
| 3.3.2.    | Auflösungsphantom .....                                                                                 | 30        |
| 3.3.2.1.  | Basisversion des Auflösungsphantoms .....                                                               | 31        |
| 3.3.2.2.  | Hochauflösungsphantom und Messungen zur Genauigkeit .....                                               | 32        |
| 3.4.      | Messungen zur MR-Bildqualität .....                                                                     | 34        |
| 3.4.1.    | Methoden zur Bestimmung des Signal-Rausch-Verhältnisses .....                                           | 35        |
| 3.4.2.    | Konstanzmessungen .....                                                                                 | 38        |
| 3.4.2.1.  | Langzeitmessungen an einem 1,5-T-System .....                                                           | 38        |
| 3.4.2.2.  | Kurzzeitmessungen an drei 1,5-T-Systemen und einem 0,2-T-System .....                                   | 39        |
| 3.4.3.    | Messungen zum Signalverhalten .....                                                                     | 40        |
| 3.4.3.1.  | Sequenzabhängigkeit des Signal-Rausch-Verhältnisses an drei 1,5-T-Systemen und einem 0,2-T-System ..... | 40        |
| 3.4.3.2.  | Sequenzabhängigkeit der integralen Uniformität an drei 1,5-T-Systemen und einem 0,2-T-System .....      | 41        |
| 3.4.4.    | Messungen zur geometrischen Verzerrung .....                                                            | 41        |
| 3.4.4.1.  | Sequenz- und Orientierungsabhängigkeit bei kleinem Meßfeld .....                                        | 41        |
| 3.4.4.2.  | Sequenz- und Orientierungsabhängigkeit bei großem Meßfeld .....                                         | 42        |
| 3.4.5.    | Messungen zur Schichtdickenbestimmung .....                                                             | 42        |
| 3.4.5.1.  | Sequenzabhängigkeit des Schichtprofils .....                                                            | 43        |
| 3.4.5.2.  | Sequenzabhängigkeit der effektiven Schichtdicke .....                                                   | 43        |

|           |                                                                                                            |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.4.6.    | Messungen zur Ortsauflösung .....                                                                          | 43         |
| 3.4.6.1.  | Konventionelle und schnelle SE-Sequenzen .....                                                             | 44         |
| 3.4.6.2.  | Sequenzabhängigkeit an drei 1,5-T-Systemen und einem 0,2-T-System .....                                    | 45         |
| 3.4.6.3.  | Untersuchung ausgewählter Hirnnerven bei gesunden Probanden .....                                          | 46         |
| <b>4.</b> | <b>Ergebnisse .....</b>                                                                                    | <b>48</b>  |
| 4.1.      | Eignung und Genauigkeit des Auflösungsphantoms .....                                                       | 48         |
| 4.2.      | Methoden zur Bestimmung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses .....                                           | 51         |
| 4.3.      | Konstanzmessungen .....                                                                                    | 52         |
| 4.3.1.    | Langzeitmessungen an einem 1,5-T-System .....                                                              | 52         |
| 4.3.2.    | Kurzzeitmessungen an drei 1,5-T-Systemen und einem 0,2-T-System .....                                      | 54         |
| 4.4.      | Messungen zum Signalverhalten .....                                                                        | 56         |
| 4.4.1.    | Sequenzabhängigkeit des Signal-Rausch-Verhältnisses an drei 1,5-T-Systemen und<br>einem 0,2-T-System ..... | 56         |
| 4.4.2.    | Sequenzabhängigkeit der integralen Uniformität an drei 1,5-T-Systemen und einem<br>0,2-T-System .....      | 57         |
| 4.5.      | Messungen zur geometrischen Verzerrung .....                                                               | 59         |
| 4.5.1.    | Sequenz- und Orientierungsabhängigkeit bei kleinem Meßfeld .....                                           | 59         |
| 4.5.2.    | Sequenz- und Orientierungsabhängigkeit bei großem Meßfeld .....                                            | 61         |
| 4.6.      | Messungen zur Schichtdickenbestimmung .....                                                                | 63         |
| 4.6.1.    | Sequenzabhängigkeit des Schichtprofils .....                                                               | 63         |
| 4.6.2.    | Sequenzabhängigkeit der effektiven Schichtdicke .....                                                      | 64         |
| 4.7.      | Messungen zur Ortsauflösung .....                                                                          | 65         |
| 4.7.1.    | Konventionelle und schnelle SE-Sequenzen .....                                                             | 65         |
| 4.7.2.    | Sequenzabhängigkeit an drei 1,5-T-Systemen und einem 0,2-T-System .....                                    | 67         |
| 4.7.3.    | Probandenuntersuchungen .....                                                                              | 69         |
| <b>5.</b> | <b>Diskussion .....</b>                                                                                    | <b>71</b>  |
| 5.1.      | Auflösungsphantom .....                                                                                    | 71         |
| 5.2.      | Konstanzmessungen .....                                                                                    | 72         |
| 5.3.      | Messungen zum Signalverhalten .....                                                                        | 74         |
| 5.4.      | Messungen zur geometrischen Verzerrung .....                                                               | 78         |
| 5.5.      | Messungen zur Schichtdickenbestimmung .....                                                                | 80         |
| 5.6.      | Messungen zur Ortsauflösung .....                                                                          | 82         |
| 5.7.      | Vergleichbarkeit der ausgewählten MR-Geräte und Sequenzen .....                                            | 87         |
| 5.8.      | Schlußfolgerungen .....                                                                                    | 91         |
| <b>6.</b> | <b>Zusammenfassung .....</b>                                                                               | <b>93</b>  |
|           | <b>Literaturverzeichnis .....</b>                                                                          | <b>95</b>  |
|           | <b>Glossar .....</b>                                                                                       | <b>98</b>  |
|           | <b>Danksagung .....</b>                                                                                    | <b>103</b> |
|           | <b>Lebenslauf .....</b>                                                                                    | <b>104</b> |