

# Management & Krankenhaus



Ausgabe  
5/2021

## kompakt

Sonderheft

M&K kompakt ist das Sonderheft von Management & Krankenhaus – zu besonderen Themen oder Events.



## RADIOLOGIE

### STRAHLENTHERAPIE

PET-Bildgebung liefert  
Zusatzinformationen

### RÖNTGENDIAGNOSTIK

Verlaufsprognose einer  
COVID-Pneumonie

### BILDGEBUNG

TIPSS – eine interdisziplinäre  
Herausforderung



**WILEY**

# Scharfe Einblicke ins Körperinnere

Hochfrequenzspule für die moderne MRT

■ Eine neue Hochfrequenzspule für die moderne Magnetresonanztomografie ermöglicht eine verbesserte Tiefenschärfe bei geringerer Strahlenbelastung durch das hochfrequente Magnetfeld. Die Magnetresonanztomografie (MRT) bei hohen magnetischen Flussdichten von 7 Tesla wurde erst im Herbst 2017 für die klinische Bildgebung zugelassen. Diese Geräte der neuesten Generation ermöglichen eine hohe Bildauflösung bis in den Zehntelmillimeterbereich und somit detaillierte Einblicke in feinste Gewebestrukturen bis hin zur Darstellung von Stoffwechselprozessen z.B. im Muskelgewebe oder Gehirn. Letzteres geschieht durch hochfrequente Anregung zusätzlicher Kernresonanzen von Phosphor oder Natrium, wodurch die konventionelle Protonen-Bildgebung zur funktionellen MRT erweitert wird. Für die Sende- und Empfangsspulen bedeutet dies eine erhebliche Vergrößerung der Frequenzbandbreite, um neben der Protonenresonanz bei 300 MHz auch die Signale der Phosphor- (bei 100 MHz) oder Natriumkerne (bei 79 MHz) erfassen zu können. Die Bildgebung z.B. des Herzens oder der Prostata stellt eine weitere Herausforderung dar, da sich diese Bereiche zentral im Körperinneren befinden und dadurch für die hochfrequenten Magnetfelder bei 300 MHz wegen der Absorption im Körpergewebe entsprechend schlecht erreichbar sind. Wie kann für diese Bereiche trotzdem eine gute Bildsignalqualität erzielt werden? Eine interessante Lösung bieten nicht-resonante Spulenelemente basierend auf Leckwellenantennen.

## Periodische Metamaterial-Strukturen

Ein Team aus Elektroingenieuren der Universität Duisburg-Essen hat zusammen mit Kollegen der ITMO Universität St. Petersburg, der TU Eindhoven und dem Uniklinikum Utrecht eine neue Hochfrequenzspule entwickelt, welche die funktionelle MRT bei 7 Tesla revolutionieren könnte. Das als Leckwellenantenne ausgelegte Spulenelement ist extrem breitbandig, stets an Sende- und Empfangseinheit angepasst und verursacht eine geringe spezifische Absorptionsrate (SAR) im Gewebe.

Die auf periodischen Metamaterial-Strukturen aufgebaute Leckwellenantenne ähnelt einer gedruckten elektrischen Leitung, die wiederum aus einer



Prof. Dr. Daniel Erni

Aneinanderreihung kleiner identischer, speziell geformter Leiterabschnitten – den Unit Cells – besteht (siehe Abb. 1). Durch eine pfiffige Gestaltung dieser Unit Cells können die Übertragungseigenschaften der Leitung nun so optimiert werden, dass diese periodisch strukturierte Leitung stets elektromagnetische Energie in den Außenraum abstrahlt (Abb. 2). Dadurch wird die Leitung zu einer Leckwellenantenne. Das Prinzip der Leckwellenantenne trat in der Mikrowellentechnik erstmals 1940 durch eine entsprechende Patentschrift in Erscheinung und hat sich seit Mitte der 50er Jahre als breitbandiges Antennenkonzept hervorragend bewährt. In der MRT wurde das beschriebene Konzept aber noch nie eingesetzt. Warum also Leckwellenantennen in der MRT?

## Entgegengesetzte Vorgaben erzeugen Dilemma

Interessanterweise bietet das Prinzip der Leckwellenantenne einen sehr direkten Übertragungsmechanismus an, der die eingespeiste Hochfrequenzleistung in ein abgestrahltes Wellenfeld überführt, ohne dass dabei ein starkes resonantes elektromagnetisches Feld im Nahbereich der Antenne auftritt, wie das bei den bisher gebräuchlichen MRT-Spulenelementen häufig der Fall ist. Solche starken resonanten Nahfelder induzieren im Gewebe entsprechende Wechselströme, die wiederum für eine leichte Erwärmung im Bereich von wenigen Zehntelgraden sorgen können. Im Rahmen der Produktzulassung wird dieser Absorptionsprozess über entsprechende Grenzwerte für die spezifische Absorptionsrate (SAR) mit Bezug auf die Patientensicherheit sehr streng reglementiert. Ein Hochfrequenz-Spulentwurf für die

MRT erfolgt somit immer zweigleisig: Er ist einerseits auf hohe Performanz (d.h. ein möglichst effektives Hochfrequenz-Magnetfeld) und andererseits auf die bestmögliche Sicherheit (d.h. ein möglichst geringer SAR-Wert) ausgerichtet. Diese entgegengesetzten Vorgaben definieren ein Entwurfs-Dilemma, das uns die strengen Gesetze der Elektrodynamik zwar hineinmännovriert haben, aus dem uns die Leckwellenantennen mit ihrem nichtresonanten Abstrahlmechanismus aber wieder herausführen können.

## Leckwellenantenne ist ein Allround-Talent

Der Erfolgsschlüssel des MRT-Spulenelements liegt demnach in dieser direkten, nichtresonanten Umwandlung der eingespeisten Hochfrequenzleistung in das abgestrahlte Wellenfeld (siehe Abb. 2). Überraschenderweise war zu Anfang der Untersuchungen nicht klar, wie ergiebig sich dieser Mechanismus für die hochauflösende MRT herausstellen wird. Solche Wellenfelder breiten sich im Kontext der MRT-Bildgebung ins Körperinnere aus und weisen dabei als Charakteristikum ein besonders günstiges Verhältnis hinsichtlich eines starken Magnetfeldes bei gleichzeitig geringer Absorption auf. Dadurch klingen die Wellenfelder im Körper auch weniger schnell ab, was wiederum mit der Verbesserung der „Tiefenschärfe“ für die MRT-Bildgebung aus den tiefer liegenden Bereichen des Körpers einhergeht.

Im Vergleich zu vier verschiedenen konventionellen Referenzspulen an anatomisch korrekten Körperphantomen weist die Leckwellenantenne bei der Bildgebung der Prostata mit maximalen 10g-SAR-Werten zwischen 0,22–0,24 W/kg (für eine eingespeiste Hochfrequenzleistung von 1 W) eine Verringerung der Strahlenbelastung durch das hochfrequente Magnetfeld um 30–68 % gegenüber der zweitbesten Dipol-Spule auf, dies bei einer gleichzeitigen Steigerung der in der MRT gebräuchlichen Magnetfeld-Effizienzmaße um 3–7 % (B1 transmit efficiency) bzw. 17–36 % (SAR efficiency). Das sind sehr vielversprechende Zahlen.

Die Leckwellenantenne weist in ihrem Arbeitsbereich von weit über 200 MHz eine beinahe konstante Eingangsimpedanz auf und erscheint an die Hochfrequenzquelle bzw. die Empfangseinheit des Tomografen weitestgehend angepasst. Sie ist somit um fast eine Größenordnung breitbandiger als die Dipol-Spule. Damit rücken auch weitere Kernresonanzen in den Einzugsbereich des Antennenelements, wodurch eine funktionelle MRT-Bildgebung einfach realisierbar wäre.

Geringe Absorption im Gewebe, große Reichweite bzw. „Tiefenschärfe“, enorme Frequenzbandbreite, funktionelle Mehrkern-MRT, stete Anpassung an Sende- und Empfangseinheit; und all dies mit einem einzigen Spulentyp – die Leckwellenantenne ist ein wahres Allround-Talent.

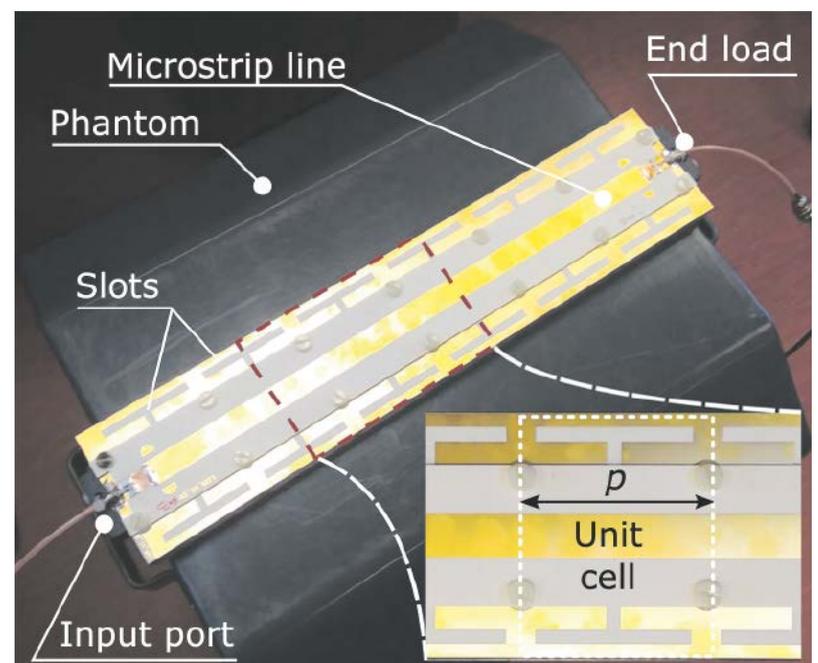


Abb. 1: Struktur der Leckwellenantenne

Foto: Daniel Erni

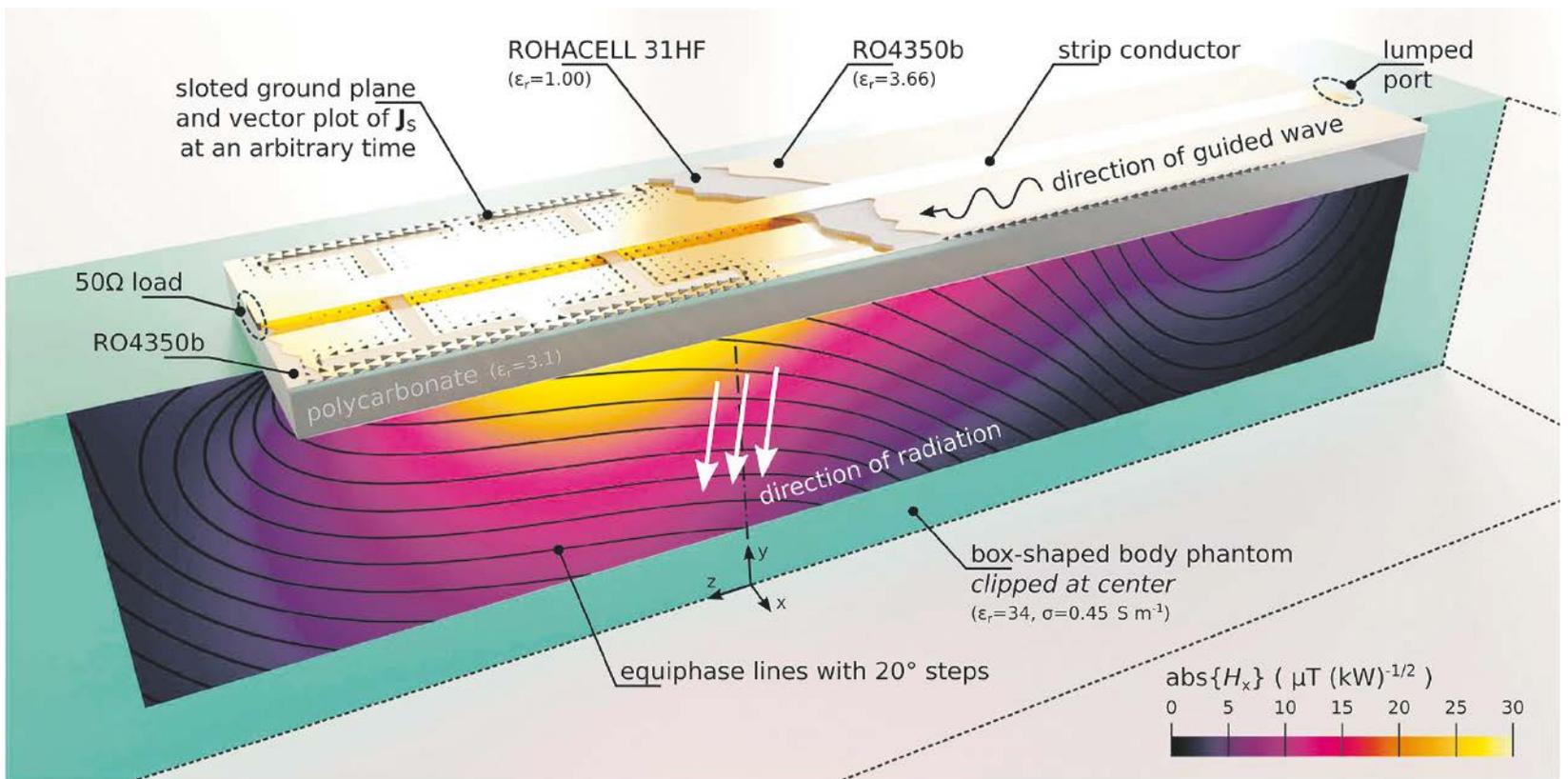


Abb. 2: Abstrahlung der Leckwellenantenne

Foto: Daniel Erni

## Auf zur ultimativ sensitiven MRT-Spule

Als nächsten Schritt möchte sich das Team an das Spulendesign für optimale Anregungs- und Detektionsbedingungen heranwagen. Damit folgt es einem derzeit intensiv diskutierten Forschungsprogramm, welches unter

dem Motto „Ultimative Intrinsic Specific Absorption Rate (UISNR)“ mit großem Interesse und Einsatz nach der absolut empfindlichsten MRT-Spule sucht. Um diese physikalisch vorgegebene Grenze der Empfindlichkeit erreichen zu können, muss eine neue Variante der Metamaterial-Struktur entworfen werden, in welcher die ein-

zelnen Unit Cells separat angesteuert werden. Dabei wird die resultierende Leckwellenantenne noch besser auf das gewünschte Magnetresonanzsignal und die unvermeidbaren Absorptionsmechanismen in der betrachteten Körperregion optimiert, wodurch sich die Bildqualität aus dem Körperinnern noch weiter steigern lässt.

### Autor:

Prof. Dr. sc. techn. Daniel Erni  
Allgemeine und Theoretische Elektrotechnik (ATE),  
Universität Duisburg-Essen, Duisburg  
www.ate.uni-due.de

## Impressum

**Herausgeber:**  
Wiley-VCH GmbH

**Publishing Director:**  
Steffen Ebert

**Geschäftsleitung Wiley Corporate Solutions:**  
Roy Opie, Dr. Heiko Baumgartner, Steffen Ebert,  
Ulrike Hoffrichter@wiley.com

**Chefredakteurin/Produktmanagerin:**  
Ulrike Hoffrichter M.A., Tel.: 06201/606-723,  
ulrike.hoffrichter@wiley.com

**Anzeigenleiter:** Dipl.-Kfm. Manfred Böhrer,  
Tel.: 06201/606-705, manfred.boehler@wiley.com

**Redaktion:**  
Dr. Jutta Jessen  
Tel.: 06201/606-726, jutta.jessen@wiley.com

**Freie Redakteure:**  
Claudia Schneebauer, Tuttingen

**Wiley GIT Leserservice:** 65341 Eltville  
Tel.: +49 6123 9238 246 - Fax: +49 6123 9238 244  
E-Mail: WileyGIT@vuseservice.de  
Unser Service ist für Sie da von Montag bis Freitag  
zwischen 8:00 und 17:00 Uhr

**Mediaberatung:**  
Dipl.-Kfm. Manfred Böhrer,  
Tel.: 06201/606-705, manfred.boehler@wiley.com  
Mehtap Yildiz,  
Tel.: 06201/606-225, myildiz@wiley.com

**Anzeigenvertretung:** Dr. Michael Leising  
Tel.: 05603/8942800, leising@leising-marketing.de

**Redaktionsassistent:** Christiane Rothermel  
Tel.: 06201/606-746, christiane.rothermel@wiley.com

**Herstellung:** Jörg Stenger (Herstellung);  
Kerstin Kunkel (Anzeigenverwaltung);  
Ruth Herrmann (Satz, Layout);  
Ramona Scheirich (Litho)

**Sonderdrucke:** Christiane Rothermel  
Tel.: 06201/606-746, christiane.rothermel@wiley.com

**Wiley-VCH GmbH**  
Boschstraße 12, 69469 Weinheim,  
Tel.: 06201/606-0, Fax: 06201/606-790,  
mk@wiley.com, www.gitverlag.com

**Bankkonten**  
J.P. Morgan AG, Frankfurt

Konto-Nr. 6161517443, BLZ: 501 108 00  
BIC: CHAS DE 33, IBAN: DE55501108006161517443  
Druckauflage: 25.000

M&K kompakt ist ein Sonderheft von  
Management & Krankenhaus



**Originalarbeiten**  
Die namentlich gekennzeichneten Beiträge stehen in der Verantwortung des Autors. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Redaktion und mit Quellenangaben gestattet. Für unangeforderte eingeseandte Manuskripte und Abbildungen übernimmt der Verlag keine Haftung.

Dem Verlag ist das ausschließliche, räumlich, zeitlich und inhaltlich eingeschränkte Recht eingeräumt, das Werk/den redaktionellen Beitrag in unveränderter Form oder bearbeiteter Form für alle Zwecke beliebig oft selbst zu nutzen oder Unternehmen, zu denen gesellschaftsrechtliche Beteiligungen bestehen, sowie Dritten zur Nutzung zu übertragen. Dieses Nutzungsrecht bezieht sich sowohl auf Print- wie elektronische Medien unter Einschluss des Internets wie auch auf Datenbanken/Datenträger aller Art.

Alle etwaig in dieser Ausgabe genannten und/oder gezeigten Namen, Bezeichnungen oder Zeichen können Marken oder eingetragene Marken ihrer jeweiligen Eigentümer sein.

**Druck:** DSW GmbH & Co. KG  
Flomersheimer Straße 2-4, 67071 Ludwigshafen  
Printed in Germany

ISSN 0176-053 X

### EU-Datenschutzgrundverordnung (EU-DSGVO)

Der Schutz von Daten ist uns wichtig: Sie erhalten die Zeitung M&K Management & Krankenhaus auf der gesetzlichen Grundlage von Artikel 6 Absatz 1 lit. f DSGVO („berechtigtes Interesse“). Wenn Sie diesen Zeitschriftentitel künftig jedoch nicht mehr von uns erhalten möchten, genügt eine kurze formlose Nachricht an Fax: 06123/9238-244 oder wileygit@vuseservice.de. Wir werden Ihre personenbezogenen Daten dann nicht mehr für diesen Zweck verarbeiten. Wir verarbeiten Ihre Daten gemäß den Bestimmungen der DSGVO. Weitere Infos dazu finden Sie auch unter unseren Datenschutzhinweis:

http://www.wiley-vch.de/de/ueber-wiley/  
impressum#datenschutz

## Index

Agfa HealthCare	8	Klinikum Dortmund	6
Bundesamt für Strahlenschutz	17, 21	Medizinische Universität Wien	22
Canon Medical Systems	5, 7, 15	Philips	13
Deutsche Gesellschaft für Klinische		Samsung Electronics	16
Neurophysiologie und Funktionelle Bildgebung	8	Simon Hegele	21
Deutsche Gesellschaft für Neuroradiologie	6	Universität Duisburg-Essen	25
Deutsche Röntgengesellschaft	3, 20	Universitätsklinikum AKH Wien	22
Deutsches Krebsforschungszentrum	11, 23	Universitätsklinikum Bonn	14, 19
Eizo Europe	9	Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden	11
Febromed	11	Universitätsklinikum Jena	17
Hologic Medidor	19	Universitätsklinikum Leipzig	9
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt	3	Universitätsklinikum Regensburg	4