



**Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.
Hermann Scharfetter**
Institut für Medizintechnik
E-Mail: hermann.scharfetter@tugraz.at
Tel.: 0316 873 7394



**Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.
Rudolf Stollberger**
Institut für Medizintechnik
E-Mail: rudolf.stollberger@tugraz.at
Tel.: 0316 873 5370



Univ.-Prof. Dr. Richard Fotter
Vorstand Univ. Klinik f. Radiologie
Meduni Graz
E-Mail: richard.fotter@meduni-graz.at
Tel.: 0316 385 3850



Univ.-Prof. Dr.med.univ. Franz Ebner
Vorstand Abteilung für Neuroradiologie
Meduni Graz
E-Mail: franz.ebner@meduni-graz.at
Tel.: 0316 385 3530

Magnetresonanz Forschungsanlage mit 3 Tesla Flussdichte

Magnetic Resonance Research Unit with 3 Tesla Flux Density

Seit ungefähr einem Jahr ist die gemeinsam mit der Medizinischen Universität Graz aus Mitteln des Rats für Forschung und Technologieentwicklung (Uni-Infrastrukturprogramms) finanzierte 3 Tesla Magnetresonanz-Forschungsanlage im Betrieb (Abb. 1). Um den Bedürfnissen der klinischen Forschung entgegenzukommen wurde die Anlage am Gelände des LKH-Universitätsklinikums installiert. Diese Lokalisation ergibt sich auch aus der Aufteilung der notwendigen Mittel, die zum Großteil von der Medizinischen Universität stammen.

Darüber hinaus stellt die Forschungsanlage ein Musterbeispiel gelebter Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft dar, das in der realisierten Form letztlich erst durch erhebliche Anstrengungen der Firma Siemens möglich wurde. Im Zuge dieses Projektes wurde zwischen den beteiligten Universitäten eine gemeinsame interuniversitäre interdisziplinäre Forschungsplattform ins Leben gerufen, deren ersten Kristallisationspunkt die neue 3 Tesla MR-Anlage darstellt (Abb. 2). Damit wurden wesentliche Weichenstellungen für eine erfolgreiche Forschungsentwicklung auf dem Gebiet der Biomedizinischen Technik in Graz vorgenommen und von den beteiligten Universitäten ein gemeinsamer Weg zur Stärkung des Standortes eingeschlagen.

Seit der Inbetriebnahme des Systems wurden zahlreiche Projekte gestartet, die für verschiedene Anwendungen die erwarteten Verbesserungen im Bereich der räumlichen Auflösung und des Bildrauschens brachten. Zur Ausschöpfung des vollen Potentials der 3 Tesla Technik sind aber noch weitere technisch-methodische Entwicklungen notwendig. Dieses Entwicklungspotential ist vor allem im Bereich der abdominalen Anwendungen, bei allen quantitativen Verfahren, in der Hochfrequenztechnik und für Methoden gegeben, die sensitiv gegenüber Magnetfeldänderungen sind.

Works in Progress

Im Folgenden sind drei Forschungsbereiche dargestellt, die in der Anfangsphase bisher bearbeitet wurden:

Hochaufgelöste MR-Angiographie im Kopf

Das proportional zur Feldstärke steigende Signal-zu-Rausch Verhältnis und die feldstärkeabhängigen NMR-Parameter des Gewebes begünstigen die Anwendung von MR-Angiographietechniken bei 3 Tesla. In diesem Projekt

zur Abbildung von Gefäßen dritter Ordnung wurde versucht, unter Verwendung von Array-Empfangsspulen und Parallel Imaging die Auflösung der Untersuchung signifikant unter einen Millimeter zu bringen und gleichzeitig die Untersuchungszeit pro Scan im Bereich weniger Minuten zu halten. Die im Vergleich zu niedrigeren Feldstärken wesentlich verbesserte Auflösung ist auch für die Darstellung von Aneurysmen von hoher Bedeutung. Als ein Beispiel für die hohe Qualität, die nun erreicht werden kann ist in Abb. 3 ein sehr kleines Aneurysmen dargestellt. In weiteren Projekten im

Bereich der Gefäßdiagnostik werden Verfahren zur hochaufgelösten in-vivo Abbildung von Arterienwänden und atherosklerotischer Plaques implementiert. Diese Daten sollen für die biomechanische Modellierung der krankhaft veränderten Gefäßwände Verwendung finden.

Quantifizierung biophysikalischer Größen der Tumormikroumgebung

Das Tumorwachstum, das Überleben der Tumorzelle und die Metastasierung hängen entscheiden von der Bildung neuer Gefäße ab. Daher wurde und wird intensiv an Medikamenten geforscht, die die Gefäßneubildung hemmen. Verschiedene Studien haben nun gezeigt, dass diese Medikamente teilweise sehr selektiv die Tumorkapillarisation reduzieren und in der Folge massive Nekrosen des Tumorgewebes bewirken. Die verbleibenden Tumorreste müssen dann weiter mit herkömmlichen Verfahren bekämpft werden. Für die Einschätzung des Therapieerfolges eines spezifischen Medikamentes und der generellen Therapieoptimierung ist die nichtinvasive Bestimmung von Parametern im Tumorgewebe wünschenswert, die die Wirksamkeit der Medikamente frühzeitig, möglichst bereits nach einer ersten Anwendung bestimmen lassen. Im Rahmen dieser Studie wurden für ausgewählte Tumore (Gebärmutter, Dickdarm) Parameter zur Charakterisierung des Mikrogefäßsystems (Tracer-Austauschkinetik, Gefäßpermeabilität, extrazelluläres Volumen) und die zelluläre Dichte über die Eigendiffusion des Wassers erfasst. Für Tumore der Prostata werden diese Parameter zur Erhöhung der diagnostischen Spezifität derzeit evaluiert. Die Quantifizierung der beschriebenen Parameter für die Beurteilung des Mikrogefäßsystems aus dynamischen kontrastmittelverstärkten MR-Untersuchungen wird erheblich durch Inhomogenitäten des Hochfrequenz-



Abb. 1. 3T MR-System, Siemens Tim Trio. Gewicht: 13 Tonnen, Innere Tunnellänge: 142 cm, Gesamtlänge des Tunnels: 213 cm, Durchmesser des Tunnels: 60 cm, Gradientenstärke: 40 mT/m, HF Pulsleistung 25kW, 18 parallel digitale Empfangskanäle für „Parallele Bildgebung“



Abb. 2. Rektor Walter (Meduni) und Rektor Sünkel (TU) bei der Unterzeichnung des „Letters of Intent“ zur interuniversitären Forschungsplattform bei der Eröffnung der 3T-Anlage im Mai 2006.

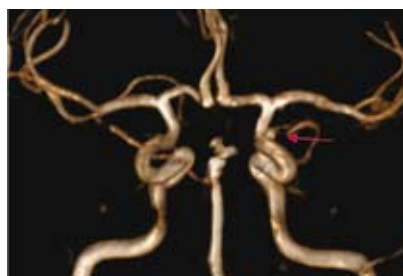


Abb. 3. 3D-Oberflächendarstellung intracerebraler Arterien mit einem 2mm großen Aneurysmen (Pfeil). Die Originaldaten basieren auf nahezu isotropen Voxeln mit einem Volumen von 0.24 mm³.

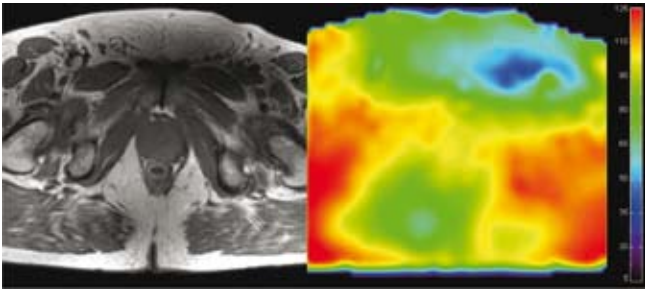


Abb. 4. Das MR Bild und Verteilung des Betrages des anregenden Hochfrequenzfeldes in einer transversalen Ebene durch das Becken eines Patienten. Die Inhomogenitäten des Hochfrequenzfeldes führen in dieser Körperregion zu einer Variation des tatsächlichen Kippwinkels zwischen ca. 50% und 125% vom Nominalwert.

feldes beeinflusst (Abb. 4). Diese Inhomogenitäten nehmen mit der Flussdichte zu und sind im Abdomen bei 3 Tesla bereits beträchtlich. Es ist daher notwendig die für die Anregung der Kernspins maßgebliche Komponente des hochfrequenten Magnetfeldes zu bestimmen und individuell zu korrigieren. Die in-vivo Bestimmung des hochfrequenten Magnetfeldes und dessen Berücksichtigung bei der Tracerquantifizierung sind Teil einer Forschungs Kooperation mit Siemens Medical Solutions.

Die Beherrschung von HF-Inhomogenitäten wird entscheidend für die weitere Entwicklung im Bereich höchster Feldstärken sein. Die Entwicklung von Verfahren zur homogenen Anregung der Kernmagnetisierung wird daher in nächster Zeit ein wesentlicher Teil der technischen Entwicklung im Bereich der in-vivo Magnetresonanz sein. Eine wichtige Rolle werden vermutlich dabei parallele Anregungstechniken mit mehreren Spulenelementen spielen.

MR Studien zur Darstellung der Verteilung der neuronalen Aktivierung bei bestimmten Aufgaben (functional MRI = fMRI)

(in Kooperation mit Arbeitsgruppen des Institutes für Psychologie der Karl Franzens Universität Graz und dem Institut für Human Computer Interfaces)

Die hervorragende Eignung des 3T Systems für Forschungsaufgaben aus dem Bereich der Neurowissenschaften, Neurorehabilitation und Human-Computer Interfaces konnte eindrucksvoll durch mehrere Studien im Bereich des fMRI bestätigt werden. Als Beispiel sei hier eine Studie angeführt, die die Verteilung der Aktivierung von Gehirnanlagen in Abhängigkeit der Komplexität von Rechenaufgaben für Probanden mit unterschiedlicher Rechenkompetenz untersucht hat. Die Untersuchung zeigte, dass eine geringere Rechenkompetenz mit der Aktivierung einer größeren Anzahl von Neuronen und einer verschobenen Lokalisation verbunden ist. Ähnliche Zusammenhänge sind auch für Rechenaufgaben unterschiedlicher Komplexität gegeben.

Die MR Forschungsanlage ist auch eine wesentliche Voraussetzung für die Durchführung von zwei erfolgreichen Projektanträgen i. e.: „Quantification of Functional and Biophysical Information in Magnetic Resonance Imaging“ (R. Stollberger) im neuen SFB, Mathematical Optimization in Biomedical Sciences, Sprecher K. Kunisch, und das Projekt „Four-Dimensional Molecular Imaging of Human Stem Cells“ (D. Strunk, MUG und R. Stollberger TUG) in der Nano-Initiative der FFG.

Nach Fertigstellung eines geplanten Zubaus zum derzeitigen



Abb. 5. Darstellung der neuronalen Aktivierung auf einem normalisierten Gehirn von drei Seiten während der Bearbeitung von komplexeren Multiplikationsaufgaben (z. B. $4 \times 18 = 82$). Im Gegensatz zu einfachen Rechnungen (z.B. $5 \times 8 = 40$) beanspruchen diese Aufgaben ein frontal-parietales Netzwerk, welches eine Schlüsselrolle bei intellektuellen Leistungen spielt.

Magnetic Resonance Research Unit with 3 Tesla Flux Density

The new common 3 Tesla MR Research unit of the Medical University of Graz and of the Graz University of Technology is in operation for approximately one year. The system has been installed at the University Hospital to optimally support clinical research. As the realization of that project was strongly supported by a financial support of Siemens Medical Solutions it is an excellent example of real-life cooperation between science and industry. During realization of that project an interdisciplinary research platform was initialized between the two Universities with the new 3T research system as a seed crystal. This is an essential basis for further successful development in the field of biomedical engineering in Graz and a common contribution of the participating universities to a strengthening of the research site.

During the last year numerous projects have been started. The expected improvements in signal-to-noise ratio and spatial resolution could be shown for different applications. However, different technological and methodological improvements are necessary for the full exploitation of the inherent potential at 3T. This development potential is particularly given for RF related topics, quantitative methods and scan techniques susceptible for changes of the main magnetic field.

Works in Progress

High Resolution MRA of Cerebral Vessels

Purpose of this study was to evaluate different strategies in the visualisation of first and third order vessels, using a 3.0 T unit and different types of contrast media application or without contrast media. Using array coils and parallel imaging techniques it was possible to resolve voxels with 0.24 mm^3 in a few minutes. These data sets clearly visualized small aneurysms as small as 2mm in diameter.

Quantification of Biophysical Parameters in the Tumor Micro Environment

Dynamic Contrast Enhanced MRI provides biomarkers, which change rapidly in response to pharmacologic activity of antiangiogenic compounds in tumors. A study was initialized to monitor the tumor response to antiangiogenic treatment of different tumors in the pelvis. For that project it is necessary to investigate the pronounced RF-inhomogeneities at 3T and to develop strategies to compensate this influence.

fMRI Studies

Several functional MRI studies confirmed that the new system is particularly well suited for research purposes in the field of neuroscience, neuro-rehabilitation and Human-Computer Interfaces.