

# Radiologisches Institut

## Neuroradiologische Abteilung

### Adresse

Schwabachanlage 6  
91054 Erlangen  
Tel.: +49 9131 8539388  
Fax: +49 9131 8536179  
www.neuroradiologie.uk-erlangen.de

### Leiter

Prof. Dr. med. Arnd Dörfler

### Ansprechpartner

Prof. Dr. med. Arnd Dörfler  
Tel.: +49 9131 8539388  
Fax: +49 9131 8536179  
arnd.doerfler@uk-erlangen.de

### Forschungsschwerpunkte

- 7 Tesla Ultrahochfeld-MR-Tomographie
- funktionelle und metabolische MR-Bildgebung
- Neuroimmunologie und Multiple Sklerose
- M. Parkinson und Multisystematrophie
- Epilepsiediagnostik
- Multiparametrische Diagnostik von Hirntumoren
- Multimodale Bildgebung von zerebrovaskulären Erkrankungen
- Experimentelle und klinische Validierung der Flachdetektor-Volumen-CT
- Künstliche Intelligenz und Neuroradiologie
- Holistische Untersuchung der Sehbahn bei Glaukom

### Struktur der Abteilung

Professur: 4  
Beschäftigte: 46  
• Ärzte: 15  
• Wissenschaftler: 6  
(davon drittmittelfinanziert: 6)  
• Promovierende: 6

### Klinische Versorgungsschwerpunkte

- gesamtes Spektrum der diagnostischen und interventionellen Neuroradiologie
- multimodale Diagnostik bei zerebrovaskulären Erkrankungen, Hirntumoren, neurodegenerativen und -immunologischen Erkrankungen sowie Epilepsie
- funktionelle und metabolische Hochfeld-MRT
- spinale Schmerztherapie

### Forschung

Wissenschaftliche Schwerpunkte der Neuroradiologischen Abteilung sind die multimodale Diagnostik beim Schlaganfall, bei neurodegenerativen und entzündlichen ZNS-Erkrankungen, bei Hirntumoren und fokalen Epilepsien. Ein besonderer wissenschaftlicher Fokus liegt auf der anwendungsorientierten klinischen und wissenschaftlichen Weiterentwicklung verschiedener Bildgebungsmodalitäten, vor allem der „interventionellen Bildgebung“ mittels intravenöser und intraarterieller Flachdetektor-Angiographie und Flachdetektor-Volumen-CT direkt im

Angiographieraum beim akuten Schlaganfall und bei Aneurysmablutungen sowie der funktionellen und metabolischen Hochfeld-MR-Bildgebung bei neurodegenerativen und entzündlichen ZNS-Erkrankungen, Hirntumoren und Epilepsie. Zudem bestehen mehrere drittmittelgeförderte Forschungs-koperationen

### 7 Tesla Hochfeld-Neurobildgebung

In enger Kooperation mit dem Radiologischen Institut sowie der Neurologischen und Neurochirurgischen Klinik werden zahlreiche, teils extern drittmittelgeförderte Forschungsprojekte zur Validierung und Optimierung der klinischen Ultrahochfeld-MRT durchgeführt. Ferner wurde der Forschungsschwerpunkt „multiparametrische und metabolische Bildgebung“ durch die Berufung von Prof. Dr. rer. nat. Moritz Zaiss auf die Professur für „Multimodale Bildgebung in der klinischen Forschung“ in 2019 und den Aufbau einer eigenen Arbeitsgruppe gestärkt.

### Funktionelle und metabolische MR-Bildgebung

In Kooperation mit einer Reihe von Kliniken und Instituten (u.a. Neurologische Klinik, Psychiatrische und Psychotherapeutische Klinik, Kinder- und Jugendabteilung für Psychische Gesundheit, Psychosomatische und Psychotherapeutische Abteilung, Medizinische Kliniken 1 und 3, Institut für Physiologie und Pathophysiologie, Institut für Experimentelle und Klinische Pharmakologie und Toxikologie, Lehrstuhl für Marketing) führen wir Forschungsprojekte mit funktioneller und metabolischer MRT als zentralem Bestandteil durch. Unter anderem werden hierbei Untersuchungen an Patienten mit fokalen Epilepsien, neurodegenerativen Erkrankungen, Depression, Angst- und Essstörungen, verschiedenen Schmerzsyndromen, entzündlichen Darmerkrankungen und rheumatoider Arthritis mittels funktioneller MRT untersucht. Ein Kooperationsprojekt mit der Neurochirurgischen Klinik zur multimodalen MR-Bildgebung bei Gliomen wird durch die DFG gefördert.

### Neuroimmunologie & Multiple Sklerose

Bei Multipler Sklerose (MS) sollen reproduzierbare, unabhängige und sensitive Bildgebungsmarker validiert werden, die es erlauben, klinische Studien zur progredienten MS in Zukunft in kürzerer Zeit und mit weniger Ressourcen durchzuführen und die für Verlaufs- und Therapiemonitoring zeitnah auch in die klinische Routine überführt werden können. Mittels Ultrahochfeld-MRT werden dafür Surrogatparameter (Natrium- und Kalium-Bildgebung, QSM, CEST, Myelin-Bildgebung) bei MS-Patienten in Korrelation zum klinischen Verlauf validiert („outcome measures“). Die Na- und K-Messungen sind von der Deutschen MS-Gesellschaft gefördert.

### M. Parkinson und Multisystematrophie

Vom idiopathischen Parkinsonsyndrom (IPS) können atypische Parkinsonsyndrome unterschieden werden. Die atypischen Parkinsonsyndrome zeichnen sich durch einen rasch progredienten Verlauf sowie eine schlechtere Prognose aus. Klinisch ist eine zuverlässige bildgebende Diagnostik zur frühen Detektion und Differenzierung dieser Entitäten wünschenswert. Hierbei kann die Ultrahochfeld-MRT mit hochaufgelösten morphologischen Sequenzen und neuen Bildkontrasten zur direkten Visualisierung beispielsweise der Substantia nigra die frühe Differentialdiagnostik verbessern. Darüber hinaus werden mittels QSM (quantitative susceptibility mapping) Patienten mit IPS sowie atypischen Parkinsonsyndromen mit altersgemachten Kontrollprobanden verglichen, um so Surrogatparameter für die bildgebende Diagnostik der Erkrankungen herauszuarbeiten.

### Epilepsiediagnostik

In Kooperation mit dem Epilepsiezentrum erfolgt eine Evaluierung der multimodalen Diagnostik mittels 3 und 7 Tesla Hochfeld-MRT (morphologische Hochfeld-MRT, funktionelle MRT, MR-Spektroskopie, Diffusions-Tensor Bildgebung, MR-Volumetrie und voxelbasierte Morphometrie) und physiologischer Parameter (EEG, MEG, WADA-Test, SPECT, PET) in der prächirurgischen Lokalisationsdiagnostik epileptogener Areale.

### Neuroonkologie

In enger Kooperation mit unseren klinischen Partnern aus der Strahlenklinik, der Neurochirurgischen und Neurologischen Klinik und der klinischen Medizinphysik ist das übergeordnete Ziel unserer neuroonkologischen Forschung, die Tumorbiologie von Hirntumoren umfassend bildgebend zu erfassen und die Ergebnisse in einem translationalen Ansatz für eine bessere Diagnose und Differentialdiagnose und das Therapie-monitoring zu nutzen. Direkt aus der klinischen Forschung in die täglichen Befundungsabläufe implementierte multiparametrische Bildgebungsverfahren wie die spezielle Diffusions-, Perfusions- und quantitative (suszeptibilitätsgewichtete) MRT-Bildgebung zur Evaluation der Mikrovaskulatur und des Sauerstoffmetabolismus von Hirntumoren ermöglichen dabei eine „state-of-art“ Betreuung unserer Patienten hinsichtlich Erstdiagnose (Befundeinordnung, „Differentialdiagnose“) und insbesondere in der zuverlässigen Verlaufsbeurteilung von Hirntumoren.

Die Analyse und Kombination von quantitativen Bildmerkmalen (sog. „Radiomics“) ermöglicht hierbei u.a. eine zuverlässigere bildgebende Charakterisierung (Diagnose und Grading) von Hirntumoren. So ist z.B. eine Unterscheidung therapie-assoziiert veränderter Veränderungen von echtem Tumorprogress mit einer Genauigkeit von 94% möglich.

## Multimodale Bildgebung bei zerebrovaskulären Erkrankungen

In enger Kooperation mit der Neurologischen Klinik wird durch Anwendung der multimodalen MRT (Perfusion, Diffusion, Diffusions-Tensor-Bildgebung, Suszeptibilitätsbildgebung, Arterial-Spin-Labeling und kontrastmittelgestützte MR-Angiographie) in verschiedenen Studien zum akuten Schlaganfall die individuelle Indikation zur intravenösen Thrombolyse, intraarteriellen mechanischen Rekanalisation und/oder neuroprotektiven optimiert. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der personalisierten, CT- und MR-basierten Patientenselektion für die Schlaganfalltherapie sowie der Evaluierung und Validierung mechanischer Rekanalisationstechniken. Im Rahmen des Stroke Research Consortium in Northern Bavaria (STAMINA) werden interdisziplinär diverse klinische Parameter der Akutphase einschließlich der mechanischen Schlaganfallbehandlung konsekutiver Patienten mit erfasst und zur Therapieoptimierung mit klinischen Endpunkten korreliert.

## Experimentelle und klinische Validierung der Flachdetektor-Volumen-CT

In Kooperation mit Siemens Healthineers und dem Lehrstuhl für Mustererkennung (Technische Fakultät) erfolgt die experimentelle und klinische Validierung neuer Perfusionsmethoden und der multimodalen Bildgebung beim akuten Schlaganfall (Angio-MR-Bildgebung). Weitere Aspekte sind die Evaluierung innovativer 3D- und 4D-Techniken und die Optimierung der intravenösen und intraarteriellen Flachdetektor-Volumen-CT. Ein Fokus liegt dabei auf der optimierten Darstellung zerebraler Mikroimplantate, wie Stents, Coils, Cochlea-Implantaten und der nicht-invasiven Kontrolle nach chirurgischem Aneurysma-Clipping.

## Holistische Untersuchung der Sehbahn bei Glaukom

In Kooperation mit der Augenklinik erfolgt die Evaluierung der Diffusions-Tensor-Bildgebung zur quantitativen und qualitativen Darstellung der Sehbahn bei Glaukompatienten mittels 3 und 7 Tesla MRT. Ziel des Projektes ist dabei, eine Störung des axonalen Transportes der intrakraniellen Sehbahn über die Messung der fraktionalen Anisotropie (FA) in verschiedenen Abschnitten der Sehstrahlung zu detektieren. Die FA-Messung der Sehbahn und die Erstellung von FA-Karten erlaubt neben einer Subtypisierung verschiedener Glaukomformen auch ein Glaukomscreening bei Risikopatienten und kann darüber hinaus auch zur (frühen) personalisierten Therapiekontrolle genutzt werden. Ferner ist unser Ziel, pathologische Proteinablagerungen im Gehirngewebe bei Pseudoexfoliatioinsglaukom (PEXG) mit molekularer CEST-MRT und Na-MR-Bildgebung nachzuweisen und damit PEX-Subtypen zu charakterisieren. Bildgebungs-Marker werden dabei mit ophthalmologischen Messungen zu Schweregrad der Erkrankung und funktionellen Einschränkungen mit Bezug zur Pathologie und dem Ort der Schädigung der Sehbahn in einem holistischen Ansatz korreliert.

## Künstliche Intelligenz und Neuroradiologie

Die Neuroradiologie wird zur Aufarbeitung der akquirierten Patienten- und Bilddaten

zunehmend durch den Einsatz von Artificial Intelligence (AI) und Computer-aided diagnosis (CAD)-Verfahren unterstützt. Der Einsatz von CAD kann u.a. bei der Prognoseeinschätzung des akut ischämischen Schlaganfalls helfen. Durch die automatisierte Auswertung des Parenchymschadens, sowie der statischen und dynamischen Gehirndurchblutung, kann so eine patienten-individualisierte Therapie weiter vorangetrieben werden. Dabei ermöglicht AI, bzw. CAD eine quantifizierbare Aufarbeitung der gewonnenen Informationen, die die Grundlage für die weitere Behandlungsstrategie bilden.

In der interventionellen Neuroradiologie kann AI zudem helfen, die Strahlendosis für Patient und Untersucher zu reduzieren. Zusammen mit Siemens Healthineers evaluieren und optimieren wir u.a. AI-Algorithmen, die es ermöglichen dreidimensionale Bilder der Hirngefäße zu erstellen und dabei fast 50% der Dosis einsparen.

In Kooperation mit weiteren Industriepartnern evaluieren wir den Einsatz von AI bei der Bildgebung neurodegenerativer Prozesse, z.B. durch eine automatisierte und quantifizierte Bewertung des Hirnvolumens. Auch die Dynamik entzündlicher Veränderungen lässt sich KI-unterstützt quantifizieren und im Verlauf quantitativ erfassen.

## Lehre

Neben der Ausbildung von Studierenden der Medizin gemäß ÄAppO führt die Neuroradiologische Abteilung Lehrveranstaltungen auch für die Neuroanatomie, den Studiengang Medizintechnik (Biologisches und Technisches Sehen) sowie den Berufsfachschule für technische Assistenten in der Medizin durch. Darüber hinaus bietet die Neuroradiologische Abteilung seit 2014 das Wahlfach „Klinische Neurobildgebung“ an. Zusammen mit dem Institut für Diagnostische Radiologie erfolgt die Weiterbildung von Ärztinnen und Ärzten zur Fachärztin bzw. zum Facharzt für Diagnostische Radiologie (2 Jahre Weiterbildungsermächtigung). Für die Neuroradiologie besteht die volle Weiterbildungsermächtigung.

## Ausgewählte Publikationen

Lachner S, Ruck L, Niesporek SC, Utzschneider M, Lott J, Hensel B, Dörfner A, Uder M, Nagel AM: (2020) Comparison of optimized intensity correction methods for <sup>23</sup>Na MRI of the human brain using a 32-channel phased array coil at 7 Tesla. *Z Med Phys.* 2020;30(2): 104-115

Rösch J, Mennecke A, Knott M, Hamer HM, Doerfler A, Engelhorn T:(2020) T2-sequence with contrast inversion: diagnostic value in the investigation of gray matter heterotopias. *Neuroreport.* 2020;31(9): 686-690

Luecking H, Doerfler A, Goelitz P, Hoelter P, Engelhorn T, Lang S: (2020) Two- to five-year follow-up of 78 patients after treatment with the Flow Redirection Endoluminal Device. *Interv Neuroradiol.* 2020;26(1): 38-44

Schmidt MA, Knott M, Hoelter P, Engelhorn T, Larsson EM, Nguyen T, Essig M, Doerfler A: (2020) Standardized acquisition and post-

processing of dynamic susceptibility contrast perfusion in patients with brain tumors, cerebrovascular disease and dementia: comparability of post-processing software. *Br J Radiol.* 2020;93(1105):

Eisenhut F, Taha L, Kleibe I, Hornung J, Iro H, Doerfler A, Lang S: (2020) Fusion of Preoperative MRI and Postoperative FD-CT for Direct Evaluation of Cochlear Implants : An Analysis at 1.5 T and 3 T. *Clin Neuroradiol.* 2020;30(4): 729-737

Hoelter P, Muehlen I, Goelitz P, Beuscher V, Schwab S, Doerfler A: (2020) Automated ASPECT scoring in acute ischemic stroke: comparison of three software tools. *Neuroradiology.* 2020;62(10): 1231-1238

Macha K, Hoelter P, Siedler G, Knott M, Schwab S, Doerfler A, Kallmünzer B, Engelhorn T. Multimodal CT or MRI for IV thrombolysis in ischemic stroke with unknown time of onset. *Neurology.* 2020 Dec 1;95 (22)

## Internationale Zusammenarbeit

Massachusetts General Hospital, Harvard, USA, Professor Chris Farrar

UCL Queen Square Institute of Neurology, London, Großbritannien, Professor Xavier Golay

Inselspital Bern, Schweiz, Professor Roland Wiest

Technische Universität Graz, Österreich, Professor Rudolf Stollberger,

Institute of Biostructures and Bioimaging (IBB), Turin, Italien, Dr. Dario Longo