



Willkommen  
im DKFZ!

**dkfz.**

DEUTSCHES  
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM  
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT



Forschen für ein Leben ohne Krebs

6/8/2018

# MR-geführte Strahlentherapie Systeme und Herausforderungen

Dr. rer. nat. Asja Pfaffenberger  
Forschungsgruppenleiterin MRgRT  
[http://www.dkfz.de/en/medphys/mr\\_guided\\_radiotherapy](http://www.dkfz.de/en/medphys/mr_guided_radiotherapy)  
Abteilung Med. Physik in der Strahlentherapie (Prof. Jäkel)

**dkfz.**

DEUTSCHES  
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM  
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT



Forschen für ein Leben ohne Krebs

## Inhaltsübersicht

- MRgRT-Systeme
- Herausforderungen
  - Dosisdeposition im Magnetfeld
  - Adaptive Therapie, Dosisberechnung auf MRT-Bildern
  - Auswahl relevanter Sequenzen
  - Dosismessung in der MRgRT, Bildqualität, Phantome
  - MR Sicherheit

# Systeme für die MRg(A)RT

**dkfz.**

DEUTSCHES  
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM  
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT



Forschen für ein Leben ohne Krebs

# Integrated devices: magnetic field perpendicular to beam

$$\vec{B} \perp \vec{v}_\gamma$$

U of Utrecht, Niederlande  
7 MV Elekta, 1.5T Philips, “Unity”;  
image Raaymakers et al. 2009

<https://www.umcutrecht.nl/en/Research/Research-centers/UMC-Utrecht-Center-for-Image-Sciences/Research-programs/MR-Radiotherapy/>  
<https://mrrt.elekta.com/elekta-mr-linac/>

ViewRay Inc.  
<sup>60</sup>Co „MRIdian“ → 6MV MRIdian linac,  
0.35T MRI; images Mutic/ Demsey 2014

<http://www.viewray.com/>

# Integrated devices: magnetic field parallel to beam

$$\vec{B} \parallel \vec{v}_\gamma$$

U of Alberta, 6MV, 0.5T,  
[www.mp.med.ualberta.ca/linac-mr](http://www.mp.med.ualberta.ca/linac-mr)  
[www.magnettx.com](http://www.magnettx.com)  
Fallone et al. 2009

The Australian MRI-linac Program,  
6MV, 1.0T,  
Constantin et al. 2011, Keall et al. 2014  
<https://inghaminstitute.org.au/where-we-work/ingham-institute-mri-linac/>

# Überblick: Bestrahlungsgeräte mit MR-Anbindung

## „MR-on-rails“

Princess Margaret Cancer Center, Toronto,  
Canada, [www.imris.com](http://www.imris.com),  
1.5 T, Jaffray et al. 2014

<https://doi.org/10.1016/j.semradonc.2014.02.012>

## shuttle-based MRgRT

Umeå University, Sweden,  
Karlsson et al. 2009

<https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2009.01.065>

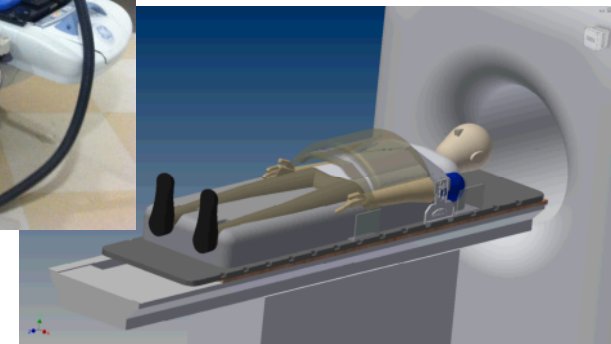
dkfz. Heidelberg, Bostel et al. 2014, 2018

<https://doi.org/10.1007/s00066-017-1258-y>



<http://diacorinc.com>

dkfz. G. Echner



Oborn, B. M., Dowdell, S. , Metcalfe, P. E., Crozier, S. , Mohan, R. and Keall, P. J. (2017),  
Future of medical physics: Real-time MRI-guided proton therapy.  
Med. Phys., 44: e77-e90. doi:[10.1002/mp.12371](https://doi.org/10.1002/mp.12371)



Herausforderungen:

Dosisdeposition

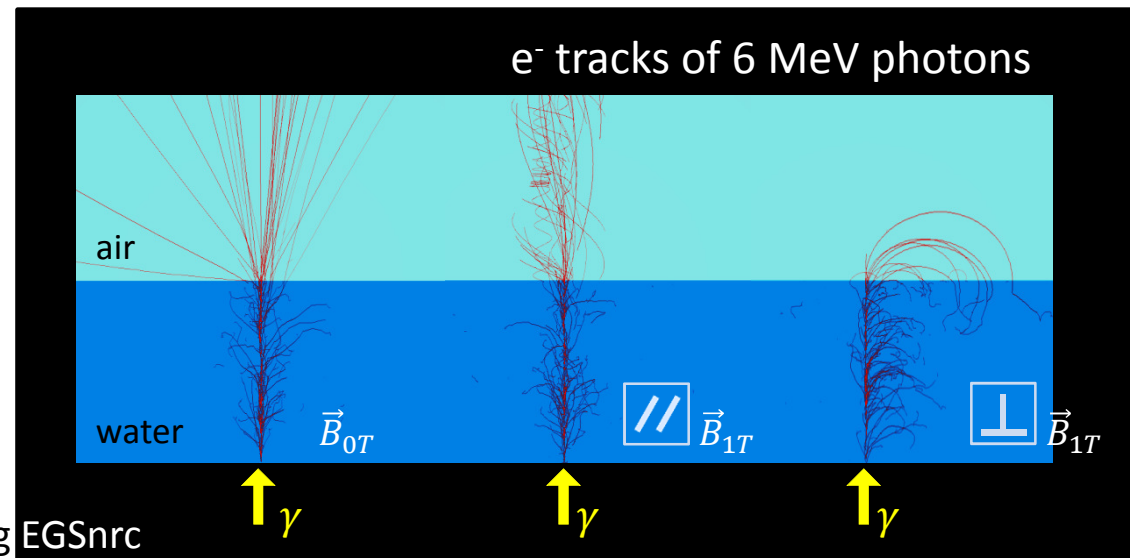
dkfz.

DEUTSCHES  
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM  
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT



Forschen für ein Leben ohne Krebs

Kirkby et al. 2010  
cf. also Raaijmakers et al. 2005



O. Schrenk using EGSnrc

## Dosis in der Lunge, verschiedene Magnetfelder und Orientierungen

Schrenk, O. , Spindeldreier, C. K., Burigo, L. N., Hoerner-Rieber, J.  
and Pfaffenberger, A. (2017),

Effects of magnetic field orientation and strength on the treatment  
planning of nonsmall cell lung cancer.

Med. Phys., 44: 6621-6631. doi:10.1002/mp.12631

**Herausforderungen:**

**Adaptive Therapie,  
Dosisberechnung auf MRT-Bildern**

**dkfz.**

DEUTSCHES  
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM  
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT



Forschen für ein Leben ohne Krebs

Cornelis Ph Kamerling, Peter Ziegenhein, Florian Sterzing and  
Uwe Oelfke 2016

Interactive dose shaping part 2: proof of concept study for six  
prostate patients

Phys. Med. Biol. 61 2471

<https://doi.org/10.1088/0031-9155/61/6/2471>

# A new methodology for inter- and intrafraction plan adaptation for the MR-linac

C Kontaxis, G H Bol, J J W Lagendijk and B W Raaymakers



July 2014, Volume 24, Number 3

Seminars in  
**RADIATION  
ONCOLOGY**

**dkfz.**  
.....  
50 Years – Research for  
A Life Without Cancer

---

# Counterpoint: Opportunities and Challenges of a Magnetic Resonance Imaging–Only Radiotherapy Work Flow

Tufve Nyholm, PhD, and Joakim Jonsson, PhD



# MR-based dose calculation (sCT/pCT) Image registration / dose accumulation

- MR CT:
  - ViewRay / Shuttle workflow: TP MR-CT registration, Fx MR-MR registration: Kraus et al.. PMB 62 2017, **MAE 70 HU in anthropomorphic deformable phantom**
  - Creation of s4DCT from 3DMRI, 3DCT and cine MRI: Collaboration with U of Sydney, Müller et al. AAPM 2017
  
- MR-only s4DCT?



**Herausforderungen:**

**Auswahl relevanter Sequenzen**

**dkfz.**

DEUTSCHES  
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM  
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT



Forschen für ein Leben ohne Krebs

# Bewegte Anatomie: (Off-)Gating



MRIdian Produktbroschüre, [www.viewray.com](http://www.viewray.com)

# Zeitaufgelöste MRT: Die Techniken im Einzelnen

- 1D+t: Navigator (schnell! Echtzeit)
  - Bewegung einer Bildlinie mit klarem Kontrast, z.B. Übergang Leber-Lunge
  - Eingesetzt zum Triggern von Aufnahmen
- Getriggerte 3D Aufnahme (Patientenabhängig  $\rightarrow \geq 10$  Min.)
  - Aufnahme immer, wenn bestimmter Triggerwert erreicht ist
- 2D+t: cine MRI (1 Schicht ca. 10/s)
  - Schnelle Abfolge von Schichtaufnahmen, ähnlich Fluoroskopie
  - Kann in beliebiger Ebene aufgenommen werden
- 3D+t: „4D“-MRI (Aufn.  $\geq 1$  Min., Rekonst. Min.~Stunden)
  - Rekonstruktion eines Atemzyklus aus zeitlich aufeinanderfolgenden Teilaufnahmen der Anatomie
  - „self-gating“
  - Neue Ansätze für MRgRT: E.g. MR-RIDDLE (Bruijnen et al. ESTRO 2018)

# Potenzial für adaptive RT – Veränderungen der Morphologie / Diffusion

**Fx 6**

**Fx 11**

**Fx 16**

**CBCT**

**T2w**

**ADC**



July 2014, Volume 24, Number 3

Seminars in  
**RADIATION  
ONCOLOGY**

**dkfz.**  
.....  
50 Years – Research for  
A Life Without Cancer

# The Value of Magnetic Resonance Imaging for Radiotherapy Planning



Piet Dirix, MD, PhD,<sup>\*,‡</sup> Karin Haustermans, MD, PhD,<sup>\*,‡</sup> and  
Vincent Vandecaveye, MD, PhD<sup>†,§</sup>

**Herausforderungen:**

**Dosismessung in der MRgRT,  
Bildqualität, Phantome**

**dkfz.**

DEUTSCHES  
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM  
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT



Forschen für ein Leben ohne Krebs

## Dosimetry in magnetic fields

Reynolds, Fallone, and Rathee: Magnetic field dose response of selected ion chambers, Medical Physics, Vol. 40, No. 4, April 2013

See also I Meijssing et al. : Dosimetry for the MRI accelerator: the impact of a magnetic field on the response of a Farmer NE2571 ionization chamber, Physics in Medicine & Biology, Vol. 54, Number 10, 2009

Radiation dosimetry in magnetic fields with Farmer-type ionization chambers: determination of magnetic field correction factors for different magnetic field strengths and field orientations.

K Spindeldreier, O Schrenk, A Bakenecker, I Kawrakow, L Burigo, C P Karger, S Greilich, A Pfaffenberger

Phys Med Biol 62 2017

<https://doi.org/10.1088/1361-6560/aa7ae4>



- Angemessener Kontrast
- Geometrische Integrität
- Zeitliche Integrität
- Reproduzierbarkeit

Gradientenbasierte Verzeichnungen:  
ohne/mit Korrektur  
(Bild Schmidt und Payne 2015)

Interplay  
(Bild Liney and Moerland 2014)

Suszeptibilitäts-  
Unterschiede  
(Bild Stanescu et al.  
2012)

## Characterization of the onboard imaging unit for the first clinical magnetic resonance image guided radiation therapy system

Yanle Hu, Leith Rankine, Olga L. Green, Rojano Kashani, H. Harold Li, Hua Li, Roger Nana, Vivian Rodriguez, Lakshmi Santanam, Shmaryu Shvartsman, James Victoria, H. Omar Wooten, James F. Dempsey, and Sasa Mutic



Citation: *Medical Physics* **42**, 5828 (2015); doi: 10.1118/1.4930249

Phantome zur  
Erfassung von  
Scanner-  
Abbildungs-  
Eigenschaften



3D-Druck

Deformierbare Silikon Organe

Variation der Füllzustände von Blase und Rektum  
(interfraktionell)

Dosismessungen an den Risiko-Organen

Niebuhr et al., Medical Physics 43, 908 (2016), *Technical Note:  
Radiological properties of tissue surrogates used in a multimodality  
deformable pelvic phantom for MR-guided radiotherapy*

# Workflow-QA MRIdian

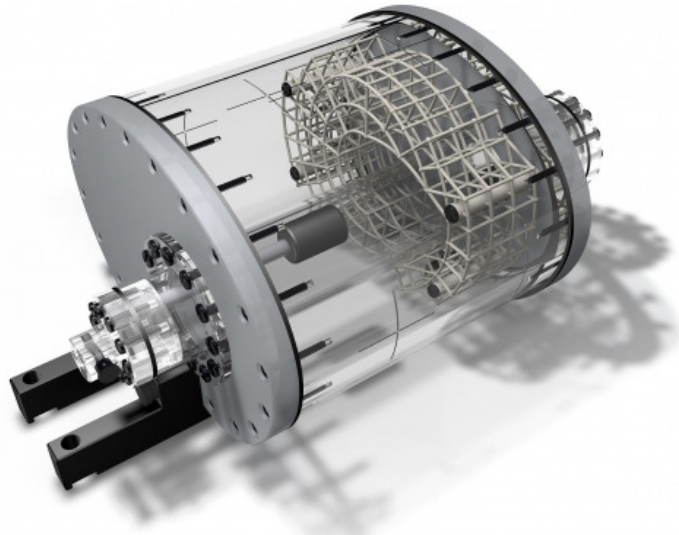
ESTRO 37 (2018):

A film-based end-to-end test for MR-guided online adaptive radiotherapy  
oc-0409

D. Hoffmans, O. Bohoudi , N. Niebuhr , A. Pfaffenberger , L. Battum , B. Slotman , M. Palacios , A. Bruynzeel , F. Lagerwaard

VUmc Amsterdam and DKFZ Heidelberg

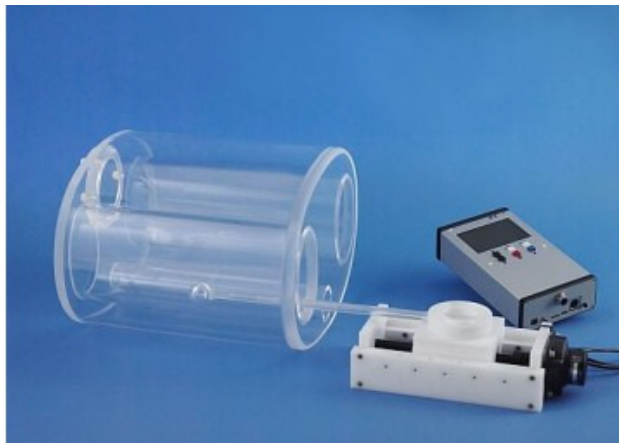
## 4D MRgRT Phantome



Dolde et al. ESTRO 2018

<http://www.cirsinc.com/products/all/112/mri-linac-dynamic-phantom/>

<http://modusqa.com/imaging/phantoms/respiratory-motion>



<http://www.simutec.com/Products/motionstages.html>



Herausforderungen:

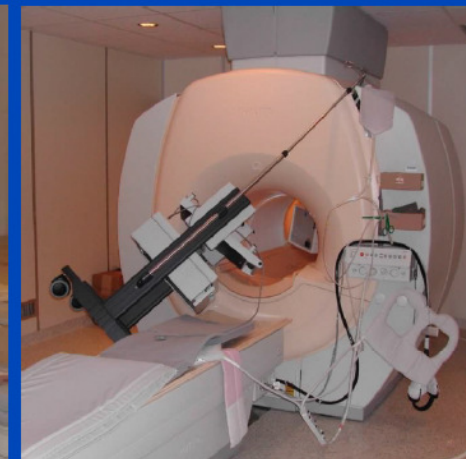
**MR-Sicherheit**

**dkfz.**

DEUTSCHES  
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM  
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT



Forschen für ein Leben ohne Krebs



# MR-geführte Strahlentherapie (MRgRT)

## MR Sicherheit: statisches Feld $B_0$

- RT-Personal muss regelmäßig in MR-Sicherheit geschult werden
- Vorsicht (Schulung) mit „externen“ Kräften
  - Anästhesie (Beatmung)
  - Betten, Rollstühle
  - Reinigungsgeräte
- Vermeidung von ferromagnetischen Gegenständen am Körper / im Bedienraum
  - Dosimeter, Tascheninhalt (Münzen), Brillen, Uhren, Handys, Schmuck, *Herzschrittmacher?*
  - Kugelschreiber → Tintenschreiber?
  - Akten (Clips), Lineale, Pins
  - Werkzeug, Werkzeugwagen
  - Patientenkleidung (ggf. zur Verfügung stellen)
  - Metalldetektor?



A photograph of the DKFZ building, a modern multi-story structure with a central glass tower and balconies. The sky is blue with some clouds. In the foreground, there is a paved plaza with several water fountains and orange benches. The DKFZ logo is visible on the top of the central tower.

dkfz.

Auf Wiedersehen im DKFZ!

Weitere Informationen unter [www.dkfz.de](http://www.dkfz.de)

**dkfz.**

DEUTSCHES  
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM  
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT



Forschen für ein Leben ohne Krebs