

Grundlagen der Magnetresonanztomographie (MRT) und deren Anwendung in der Strahlentherapie

Lothar Schäd



Deutsches Krebsforschungszentrum **dkfz**
Abteilung Medizinische Physik in der Radiologie
AG: Funktionelle & Physiologische MR-Bildgebung
Im Neuenheimer Feld 280
69120 Heidelberg, Germany
L.Schäd@DKFZ-Heidelberg.de

dkfz

Überblick

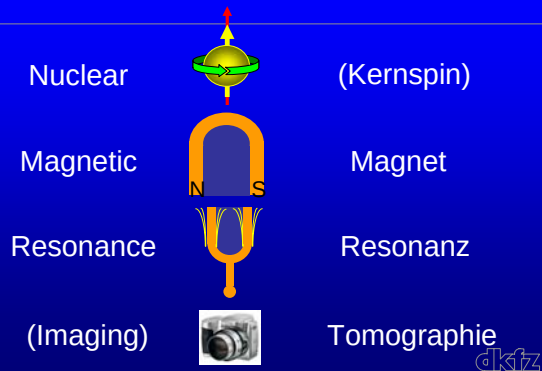
- Grundlagen MRT
 - NMR-Physik
 - Bildgebung
 - Bildkontrast: T1, T2
- Anwendungen MRT
 - Bildkorrelation
 - Angiographie
 - Perfusion
 - funktionelle MRT
 - ^{23}Na -Bildgebung

Literatur

- The Basics of MRI. Hornak JP, eds. <http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/inside.htm> Chapter 1 und 3
- NMR für Mediziner und Biologen. Haussler KH, Kalbitzer, eds. Springer, Kapitel 1
- Magnetresonanztomographie. Reiser M, Semmler W, eds. Springer, Kapitel 2

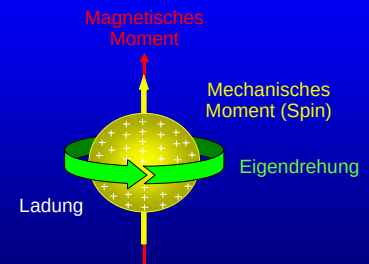
dkfz

Begriffe: MRT & NMR

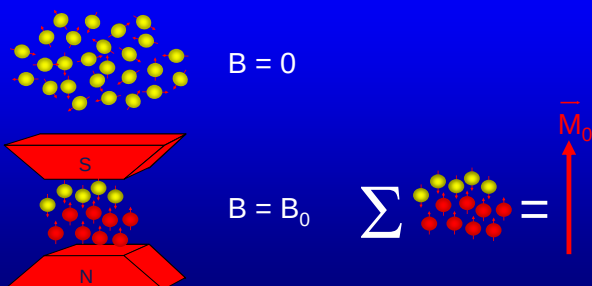


Atomkern: Proton

- N** Nuclear
M Magnetic
R Resonance

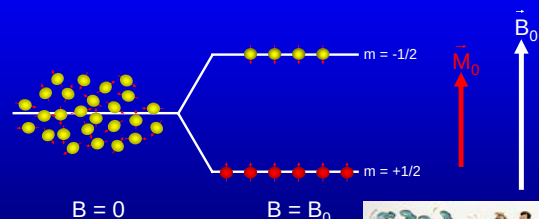


Atomkern: Magnetisierung M_0



Atomkern: Quantenmechanik I

Curie's Gesetz: $M_0 = \rho \cdot \frac{l(l+1) \cdot \gamma^2 \cdot h^2 \cdot B_0}{3kT}$



Aufspaltung der Energieniveaus
(Zeemann-Effekt)



Atomkern: Quantenmechanik II

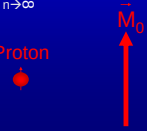
ca. 10^{23} Protonen / Mol (Avogadro-Zahl)
 1 ppm (10^{-6}) Besetzungsverhältnis bei 1.5 T
 → ca. 10^{17} parallele Spins in M_0



Bohr's Korrespondenzprinzip

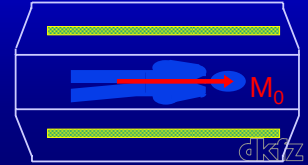
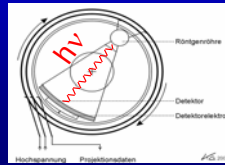
$\lim_{n \rightarrow \infty} \text{QM} \rightarrow \text{kl. Physik}$

Proton



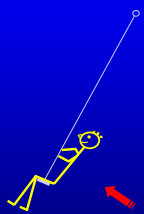
dkfz

Magnetfeld: Vergleich CT - MRT

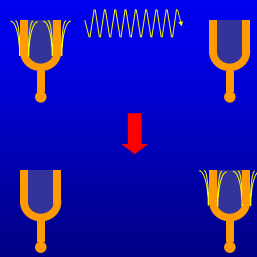


dkfz

Resonanz: Grundlagen



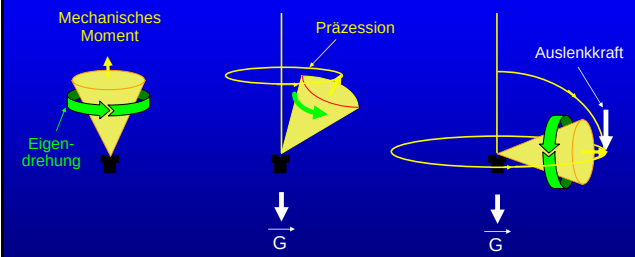
Schaukel



Stimmgabeln

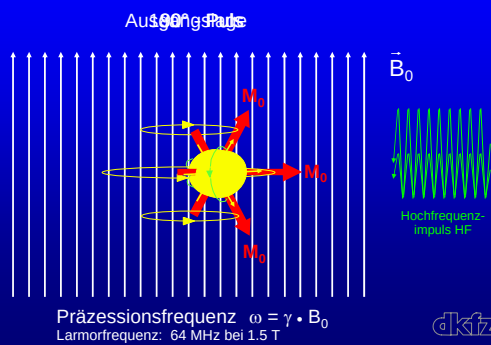
dkfz

Resonanz: Mechanischer Kreisel



dkfz

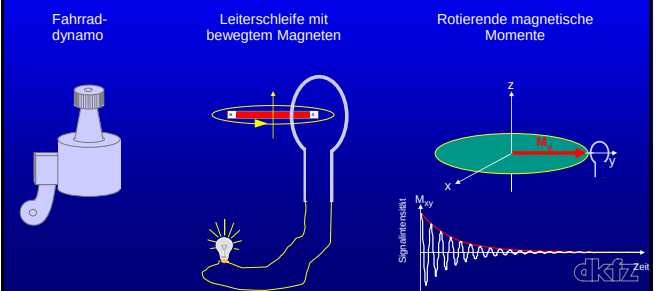
Resonanz: Protonen im Magnetfeld B_0



dkfz

Signalgewinnung

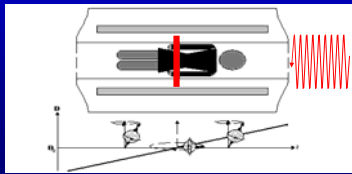
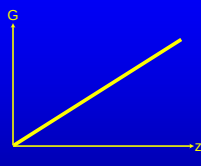
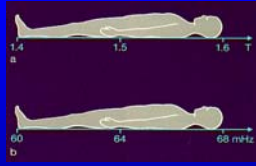
Faraday'sche Induktion



dkfz

Bildgebung: Schichtselektion

Magnetfeld-Gradient, z.B. G_z



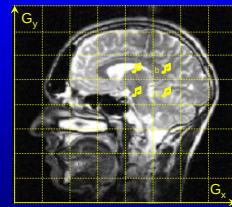
Hochfrequenz:
 $\omega = \gamma \cdot (B_0 + G_z)$

Gradient G_z

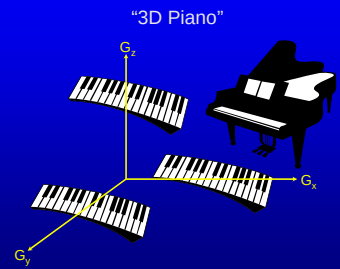
dkfz

Bildgebung: Magnetfeld-Gradienten

Magnetfeld-Gradienten G

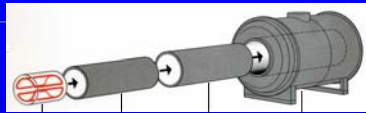


Präzessionsfrequenz $\omega = \gamma \cdot B$
mit $B = B_0 + G_x + G_y + G_z$

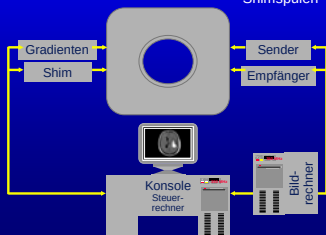


dkfz

Geräteaufbau



Hochfrequenz HF Gradienten G_{xyz} Shimspulen Grundfeld B_0



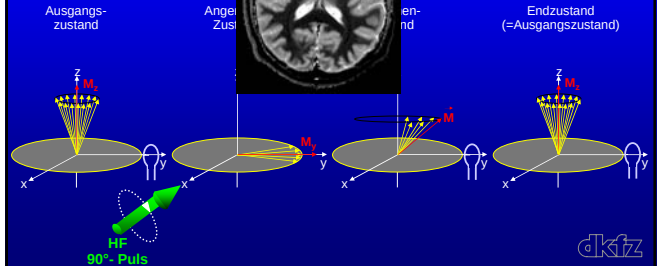
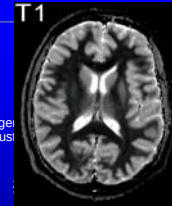
Grundfeld $B_0 \rightarrow M_0$

Hochfrequenz HF $\rightarrow$ Signal

Gradienten $G_{xyz} \rightarrow$ Bild

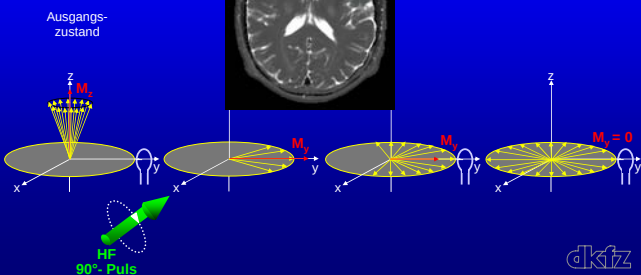
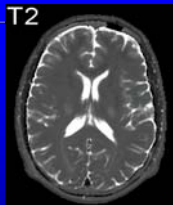
dkfz

Bildkontrast: Spin-Gitter-Relaxation T1



dkfz

Bildkontrast: Spin-Spin-Relaxation T2



dkfz

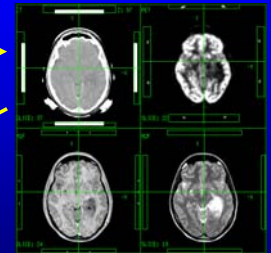
Bildkorrelation



hohes S/N



CT-MRT-PET



Patient: Astrozytom II

dkfz

Scharf et al. JCAT 1987.11:948-954

3D-Bestrahlungsplanung: MRT

- **Einzeitbestrahlungstechnik**
3D-FLASH Technik: Rekonstruktion

Rek. 30% 50% 80%

Patient: Metastase

dkfz

Blutflußmarkierung: Spin-Tagging (TAG)

- **Planungs-Probleme AVM:**
 - Nidus & zuführende Arterien → MRA
 - Hämodynamik → TAG
 - abführende Venen → BOLD
- **AVM: Spin-Tagging**

TOF-MRA

Patient: AVM

Schad et al. MRI 1992;10:609-621 Bock et al. Z Med Phys 1995;5:59-67

dkfz

Gewebe-Perfusion: Arterial Spin-Labeling (ASL)

- **Flow-sensitive Alternating Inversion Recovery: FAIR**

selektive Inversion globale Inversion

Referenz Spin-labeled Differenz

Günther et al. MRM 2001;46:974-984

dkfz

Gewebe-Perfusion: Gehirn

Patient: Glioblastom Patient: Metastase (vor Einzeitbestrahlung)

T1w T2w FL3D

Perfusion: Q2TIPS Perfusion: ITS-FAIR MIP

Schad et al. MRI 1994;12:811-819 Weber et al. Invest Radiol 2003;38:712-718

dkfz

Gewebe-Oxygenierung: BOLD-Kontrast

B_0

arteriell kapillar venös

Dipole

magnetische Eigenschaften von Hämoglobin:
oxygeniert - diamagnetisch
deoxygeniert - paramagnetisch

$$\frac{1}{T_2^*} \sim \Delta B_{loc}$$

Ogawa et al. Proc Natl Acad Sci 1987;98:68-9872

dkfz

Funktionelle MRT: Gehirn

- **Definition von funktionellen Risikostrukturen**

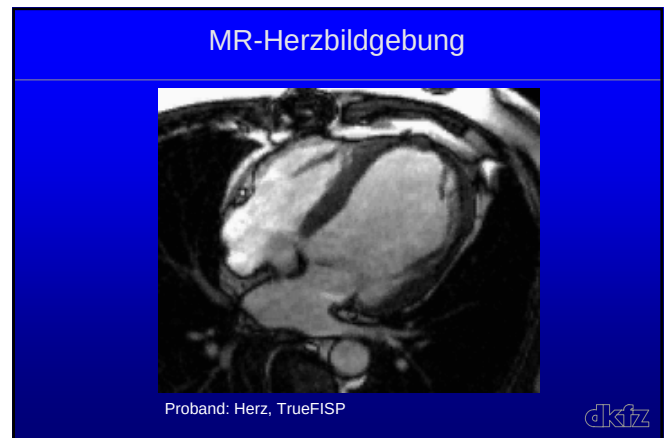
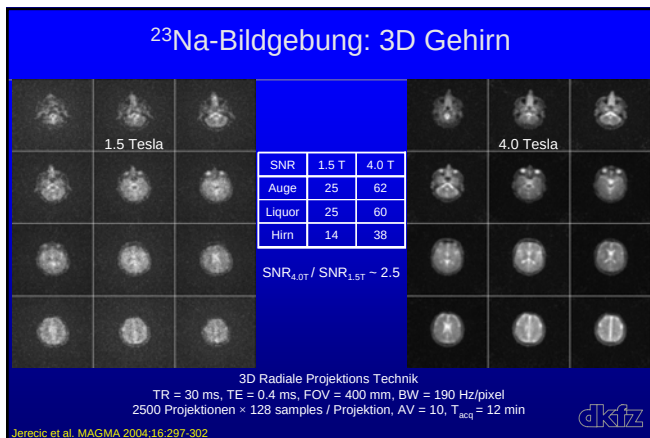
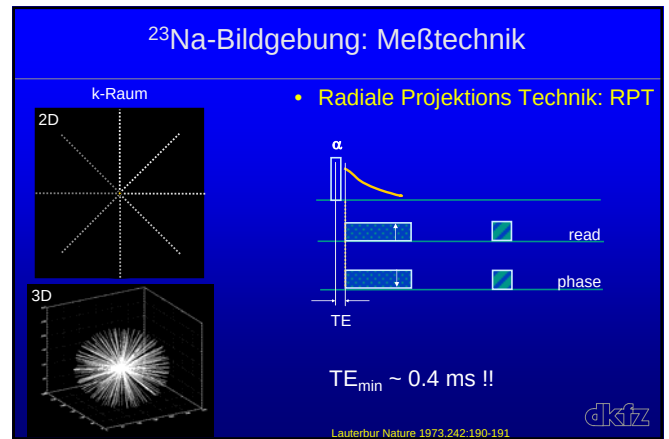
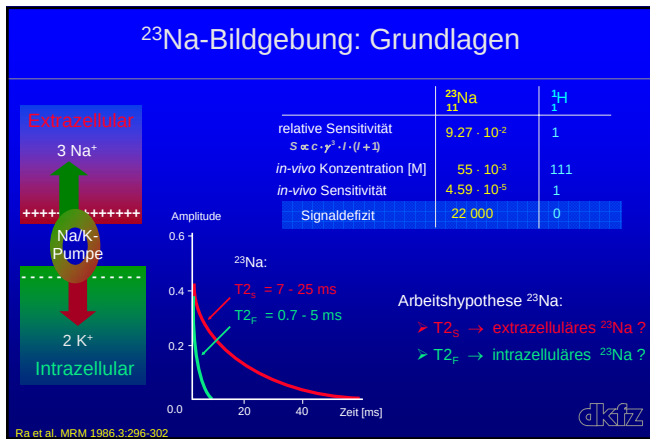
EPI: original 5,6 mm EPI: korrigiert EPI: überlagert

7,5 mm

Patient: Glioblastom, fMRT: Finger tapping

Schad et al. Eur Radiol 1996;6:38-45

dkfz



Quo vadis MRI ?

- **B₀ = 1.5 T – 3.0 T: Echtzeitbildgebung**
 - massive parallele Bildgebung (> 32 Empfangskanäle)
 - online Messung physiologischer Gewebeparameter (z.B. Perfusion, BOLD, ^{23}Na)
 - Strahlentherapie: physiologische Parameter → Dosis ?
 - Kardiologie: interventionelle MRT „One-Stop Shop“
- **B₀ ≥ 7.0 T: Molekulare Bildgebung**
 - enorme technische Probleme
 - Entwicklung geeigneter spezifischer Kontrastmittel (z.B. paramagnetische Nanopartikel)
 - Hirnforschung: funktionelle MRI (BOLD), ^{39}K -MRI