Auf dem Weg zur Beherrschung der Gefahren Simulation der Wechselwirkungen des HF-Feldes mit Implantaten

Prof. Dr. Waldemar Zylka

Professor der Physik und Medizintechnik

Fachhochschule Gelsenkirchen Fachbereich Physikalische Technik



Schauen wir mal, woraus der Körper besteht ...

Wasser H_2O Fett $-CH_2-$

Das häufigste Atom im menschlichen Körper ist ...

¹H Wasserstoff

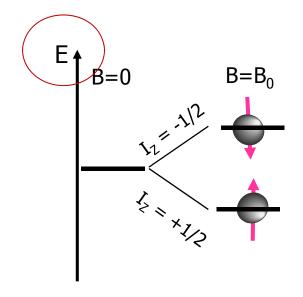
MRT – Magnetische Resonanztomograpie

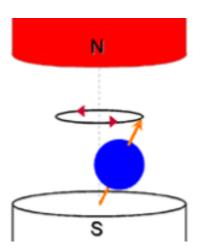
Energie und Bewegung eines ¹H spins – Larmor Frequenz

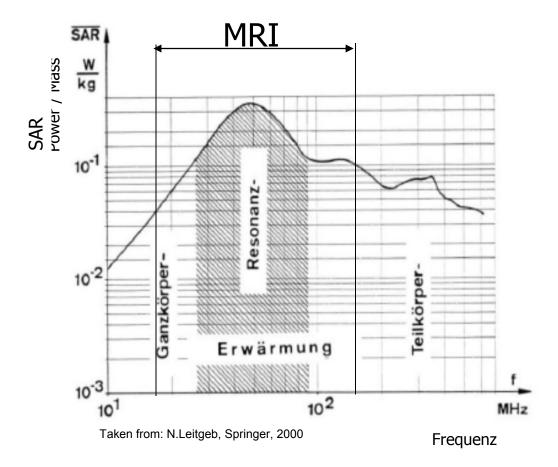
Energie (QM Bild)

$$E = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = \hbar \omega$$
$$\omega = 2\pi f = \gamma B$$

$$\gamma \vec{T} = \vec{\mu} \times \gamma \vec{B} = \vec{\mu} \times \vec{\omega} = \frac{d\vec{\mu}}{dt}$$







Das Rezept der Modellierung

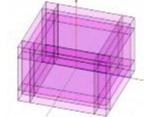
Modell der Objekte

- Draht, Implantat, Phantom, Körpermodell, ...
- Material mit elektrischen Attributen μ , ε , σ (Function der Frequenz)



Umgebung

- PML (Perfectly Matched Layer) um Unendlich zu modellieren
- Material mit elektrischen Attributen μ , ε , σ



Modell von MRT Komponenten

- B₀, Gradienten, HF Spulen, Geometrie, Material, ...



Mesh und numerischer Solver

- Meshing von Raum und ggf. Zeit: FEM, FDTD, FITD, MoM, ...
- Solver der Maxwell Gleichungen

Maxwell Gleichungen und Definition SAR (Specific Absorbtion Rate)

$$rot \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

 $rot \mathbf{H} = \mathbf{J} = \mathbf{J}_L + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$
 $div \mathbf{D} = \rho$
 $div \mathbf{B} = 0$

$$rot \mathbf{E} = -j\omega \mathbf{B}$$

 $rot \mathbf{H} = \mathbf{J} = \mathbf{J}_L + j\omega \mathbf{D}$
 $div \mathbf{D} = \underline{\rho}$
 $div \mathbf{B} = 0$

$$\mathbf{D} = \varepsilon(\omega)\mathbf{E} = \varepsilon_0\varepsilon_r(\omega)\mathbf{E}$$

$$\mathbf{B} = \mu(\omega)\mathbf{H} = \mu_0\mu_r(\omega)\mathbf{H}$$

$$\mathbf{J}_L = \sigma_L(\omega)\mathbf{E}$$

$$div \mathbf{J}_L = -div \mathbf{J}_V = -\frac{\partial}{\partial t}div \mathbf{D} = -\frac{\partial\rho}{\partial t}$$

$$SAR = \frac{dP}{dm} = \frac{dP}{dV\rho} = \frac{\sigma(\omega) \cdot E_{eff}^2}{\rho}$$

 ε Permittivity , μ Permeability, σ conductivity

Wärmeleitungsgleichung

In Gewebe – vorgeschlagen durch Pennes

0. Ordnung Approximation
$$c\frac{dT}{dt} = SAR = q_n$$

Modelldetails – Beispiel: Resonanzfrequenz eines Implantats

Implantat

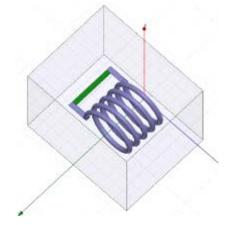
Spule (5 Windungen, I=11mm, d=9mm, Kupferdraht d=0,5mm) Kondensator als ein Passives Element C=90,2pF

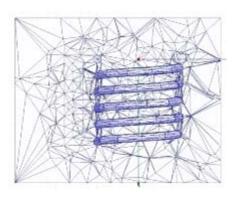
Umgebung

Box (vacuum, sonst Kurzschluss mit dem Hintergrund)
Oberfläche als PML: Fläche absorbiert das Feld (Model einer unendlichen Umgebung)

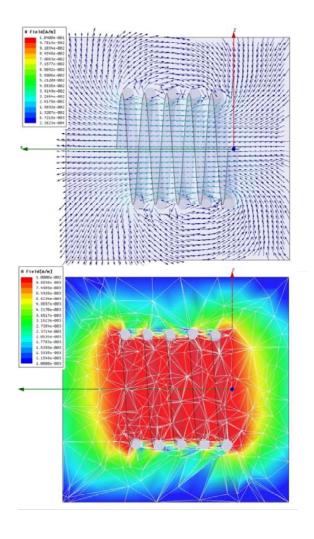
- Meshing: adaptives Mesh viel mehr Element, wo sie nötig sind
- Anregung durch eine elektromagnetische Welle, zirkulare Polarisation

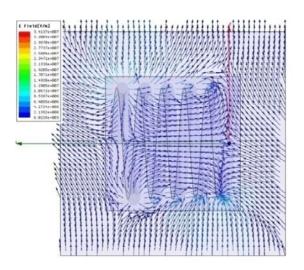




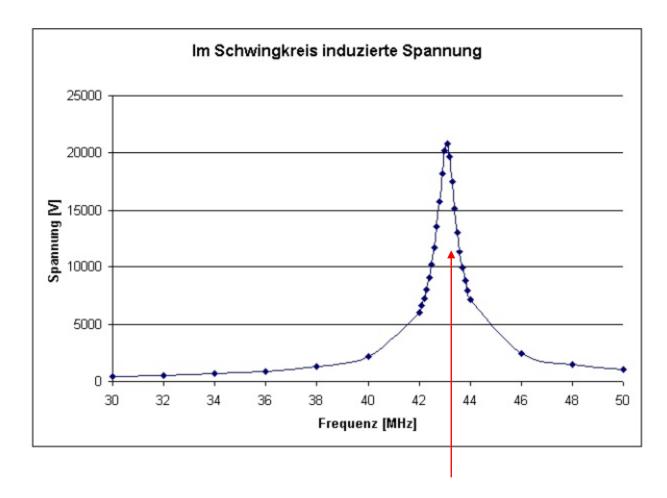


Ergebnisse – Beispiel: Elektromagnetische Felder





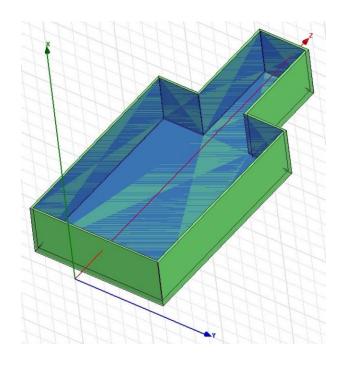
PC 1,6GHz, Pentium 4, 1,5GB, 25min, 15.284 Tetraeders, 4 adaptive passes 7 Std. 10min/freq, 314.901 Tetraeders, 6 adaptive passes



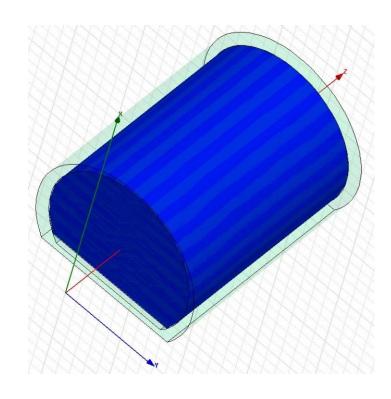
f=43,1MHz, Q=61,6

Phantome

Geometrie



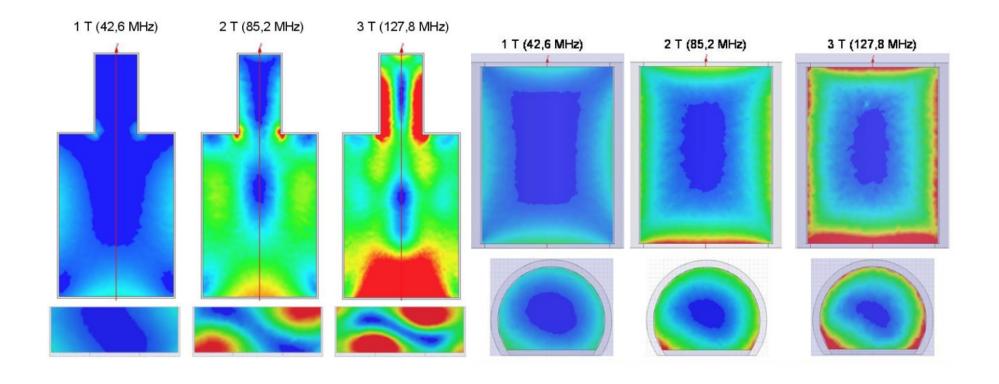
ASTM



Stenschke et al: Torso

Phantome (homogen)

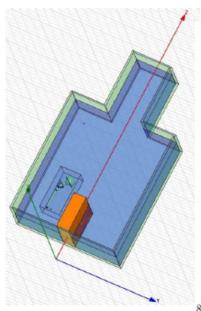
Einfluss der Geometrie auf SAR Distribution

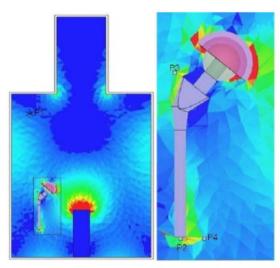


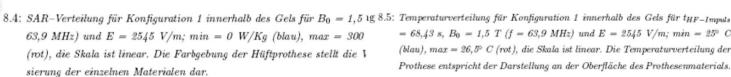
SAR Verteilung für 1T, 2T und 3T

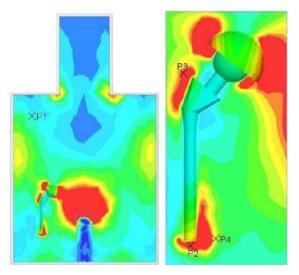
Phantom mit Inhomogenität (Implant)

SAR & Temperaturverteilung









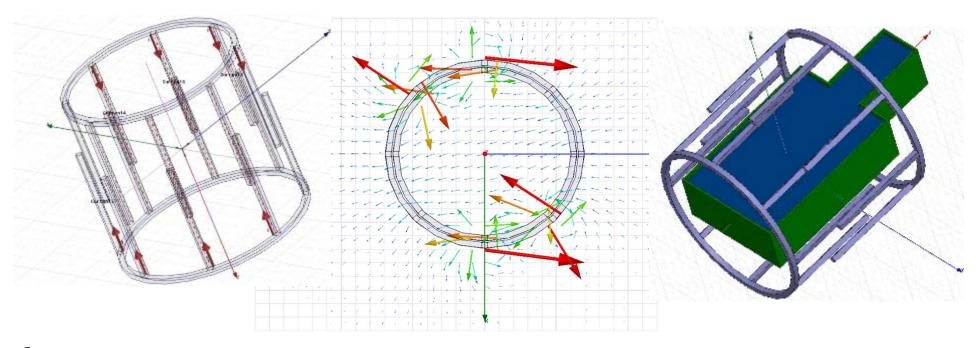
= 68,43 s, B_0 = 1,5 T (f = 63,9 MHz) und E = 2545 V/m; min = 25° C (blau), max = 26,5° C (rot), die Skala ist linear. Die Temperaturverteilung der Prothese entspricht der Darstellung an der Oberfläche des Prothesenmaterials.

SAR Verteilung

Temperatur Verteilung

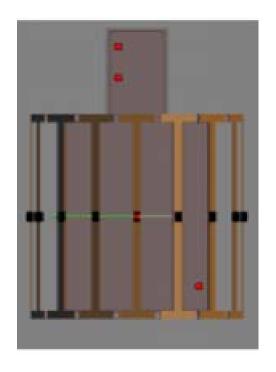
HF Spulen – Modellierung einer "body coil"

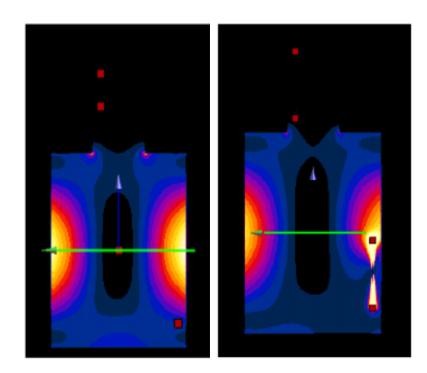
Modell, B₁ Feld, Phantom



Phantom mit Inhomogenität (Draht 20cm)

Einfluss der Geometrie auf SAR Messung (potentiell)

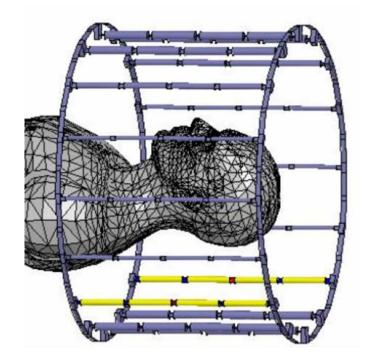




HF Spulen – Modellierung einer "body coil"

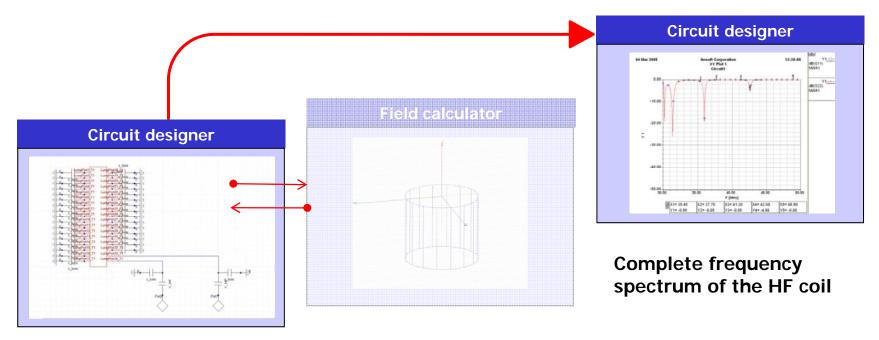
Berücksichtigung elektrischer Schaltungen





Modellierung mit einem Schaltungssimulator

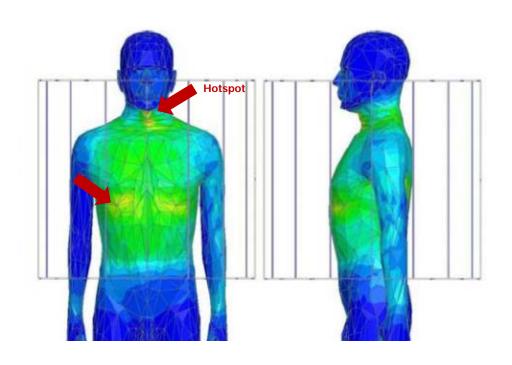
Co-Simulation der Felder und Schaltungen

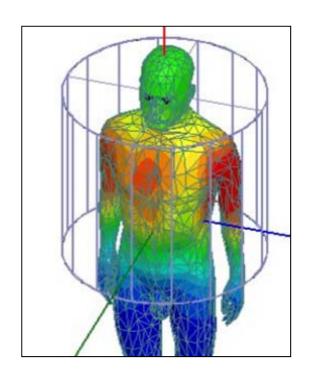


The circuit designer is co-linked with the electromagnetic calculator

Körpermodell in einer HF Spule – Closed design

Bird cage Spule – normierte SAR Ergebnisse für 1T und 3T





- Modellierung von realistischen MRI Spulen : body coil, head coil, ...
- Verschiedene Implantate, Feldstärken bis 7T
- Inhomogenes Gewebe: generische & individuelle Körpermodelle
- Elektromagnetische Felder, Energiedeposition (SAR)
- ◆ Temperatur-Karten(Spots), Wärmeleitung in der Zeit
- Co-simulation von elektrischen Schaltungen und elektromagnetischen Felder
- Individuelle Simulation von Patient (mit Implantat)
 VOR dem MRT Scan !?

Mein Dank geht ...

... an meine Studenten

Sascha Schwarzer, Jens Stenschke, Dan Li, Xixi Zhang, Maike Thomann, Jing Meng, Tatsiana Malechka, Sylvia Samjic-Peimann, Sami Kotrahe, Christian Koch, Stephan Euting

Und weitere, zur Zeit im Labor ...





Contact Details

Prof. Dr. Waldemar Zylka

Professor of Physics and Medical Engineering University of Applied Sciences Gelsenkirchen Germany

waldemar.zylka@fh-gelsenkirchen.de

