



IFA

Institut für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

EMF-Expositionsbewertung gemäß DGUV Vorschrift 15 und der EMFV

**Messen, Simulieren und Bewerten des
magnetischen Feldes an einer
Induktionserwärmungsanlage**

Dr. Carsten Alteköster
M.Sc. Claudine Neumann

BAuA - Infoveranstaltung EMF an Arbeitsplätzen
08.11.2016

Messaufgabe: Expositionsbewertung



Betriebsparameter Induktionserwärmungsanlage

Nennleistung	360 kW
Betriebsspannung	525 V
Arbeitsfrequenz	3,1 kHz

Ermittlung der Exposition

Ermittlung der magnetischen Felder

Vergleichen



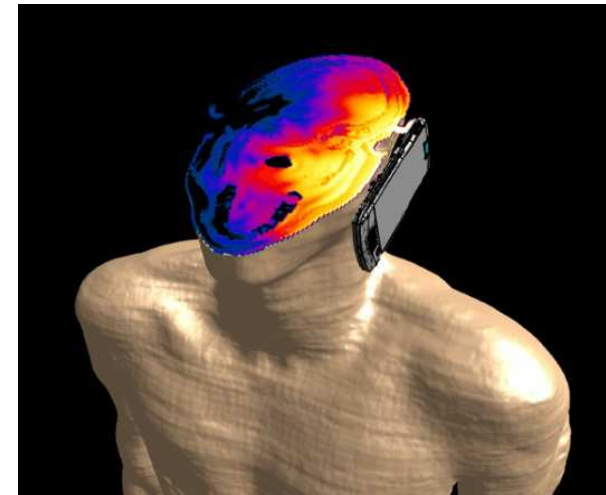
Quelle: IFA intern

Messen



Quelle: DGUV

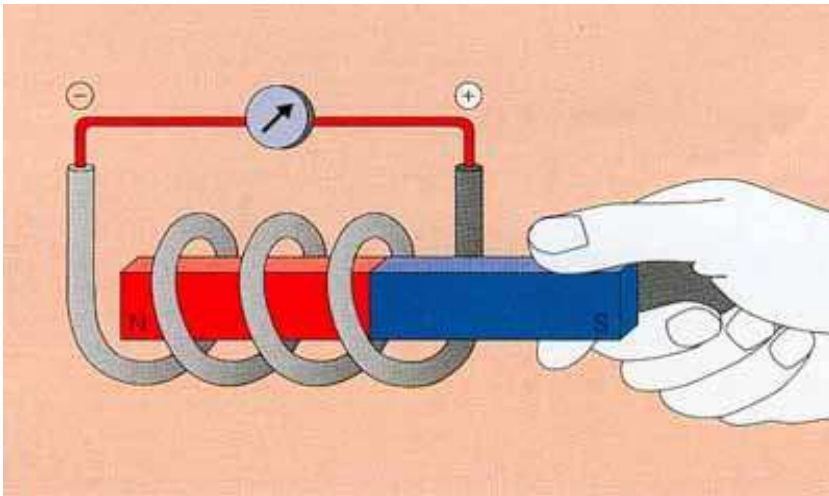
Berechnen



Quelle: EMF-Portal

Messprinzip

- **Niederfrequentes Magnetfeld: Induktionsspule**



Quelle: <http://www.bmo.physik.uni-muenchen.de/~riedle/E2p/vorlesung.html>

$$U \sim dB$$



Quelle: IFA intern



Quelle: IFA intern

Ermittlung der magnetischen Felder

Vergleichen



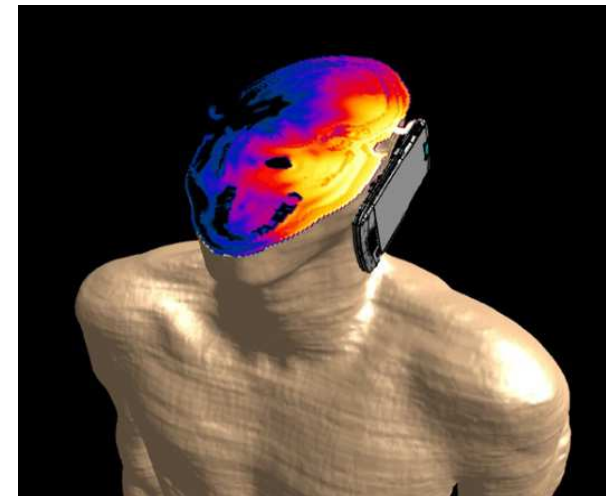
Quelle: IFA intern

Messen



Quelle: DGUV

Berechnen



Quelle: EMF-Portal

Sim4Life (ZMT Zürich MedTech AG)



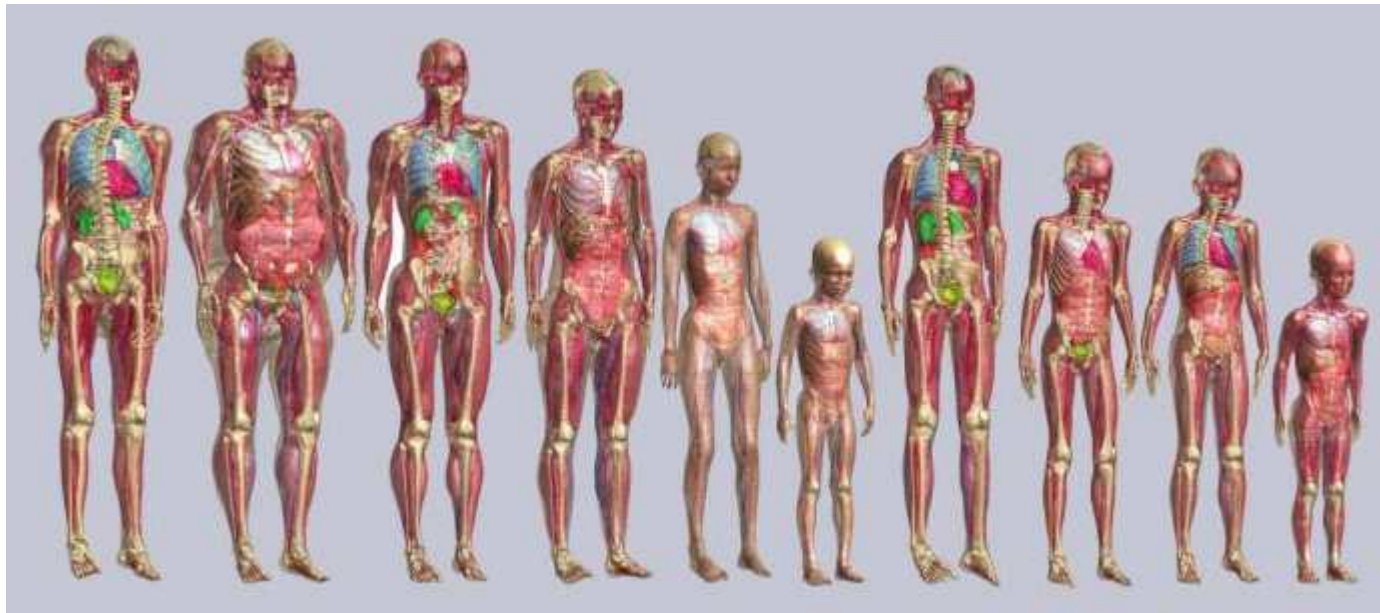
- Multiphysics-Simulationssoftware für Medizin und Life Science
- Evaluierung von elektromagnetischen Feldern in komplexen Umgebungen
- Einbinden detaillierter anatomischer Modelle des menschlichen Körpers (Phantoms) → Virtual Population
- Berechnungen der körperinternen physikalischen Größen im Zusammenhang mit Betriebsmessungen
- Sicherheit von medizinischen Implantaten in elektromagnetischen Feldern



Quelle:
<http://www.speag.com> und <http://www.zurichmedtech.com>

Anatomische Menschmodelle (Phantoms)

(IT'IS - The Foundation for Research on Information Technologies in Society)



Quelle:
<http://www.itis.ethz.ch/>

- CAD Format erlaubt prinzipiell beliebige Auflösungen ohne Detailverlust
- umfangreiche Datenbank mit Gewebeeigenschaften
- Anzahl der Gewebearten: 299-305 (ViP Version 3)
- „Poser“-Funktionalität

Bewertungsgrundlagen

DGUV Vorschrift 15

- Unfallverhütungsvorschrift „Elektromagnetische Felder“



Zulässige Werte (DGUV Vorschrift 15)

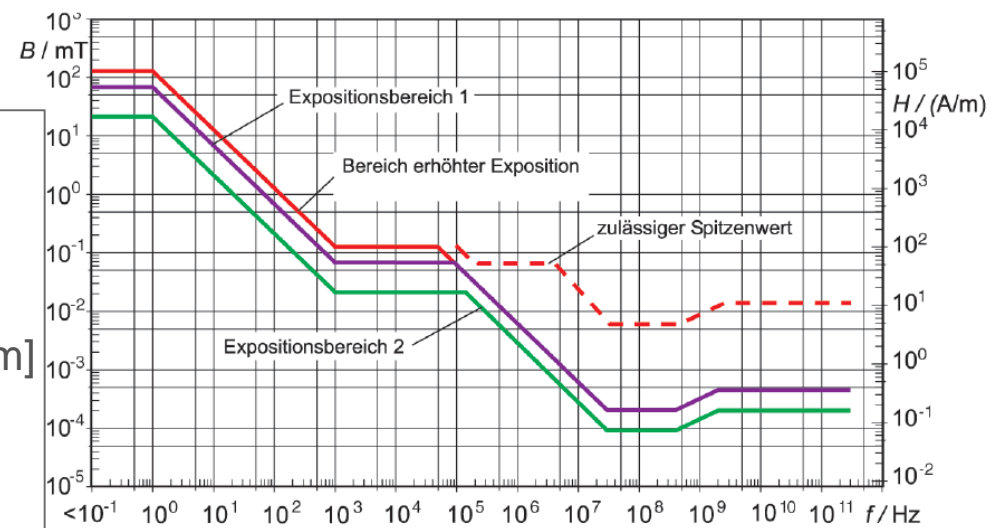
- Basiswerte

- Effektivwert der elektrischen Stromdichte J_{eff} [A/m²]
- körperinterne physikalische Größe

Berechnung,
Sicherheitsfaktoren

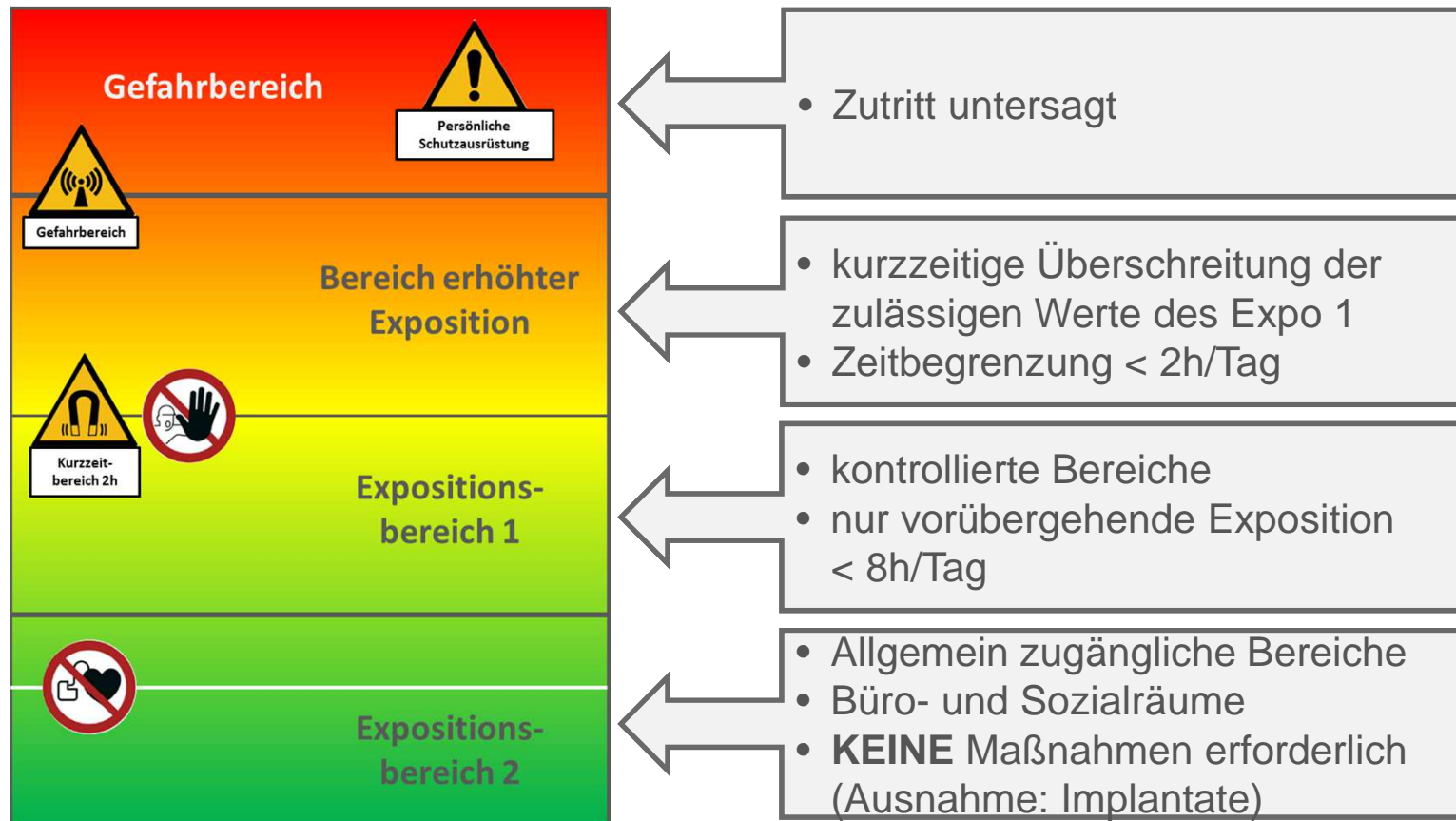
- zulässige abgeleitete Werte

- Effektivwert der magnetischen Flussdichte B [T] bzw. magnetischen Feldstärke H [A/m]
- externe physikalische Größe
- direkt messbar

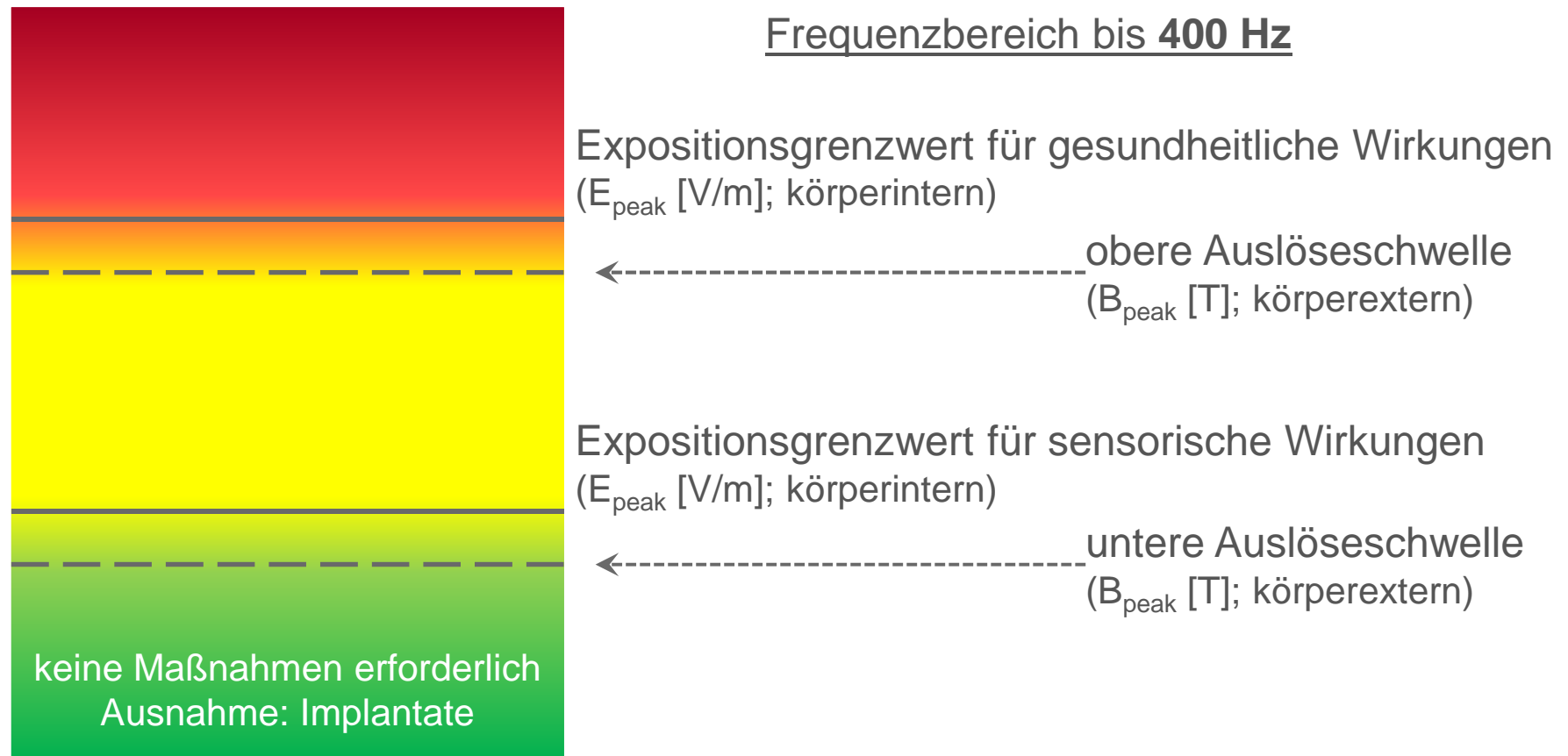


Quelle: DGUV Vorschrift 15

Expositionsbereiche (DGUV Vorschrift 15)



Grenzwertkonzept EMF – Verordnung 2016



Grenzwertkonzept EMF – Verordnung 2016



Frequenzbereich bis 10 MHz

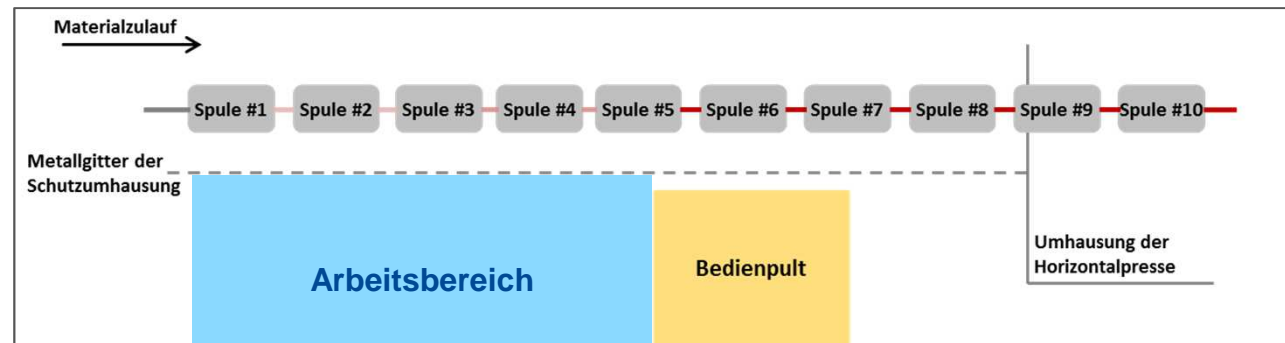
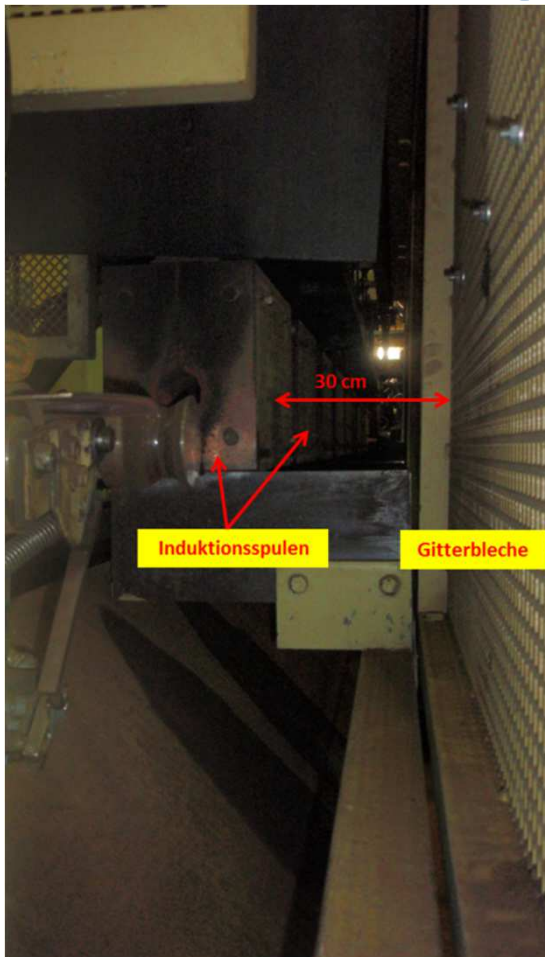
Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen
(E_{peak} [V/m]; körperintern)

untere / obere Auslöseschwelle
(B_{peak} [T]; körperextern)

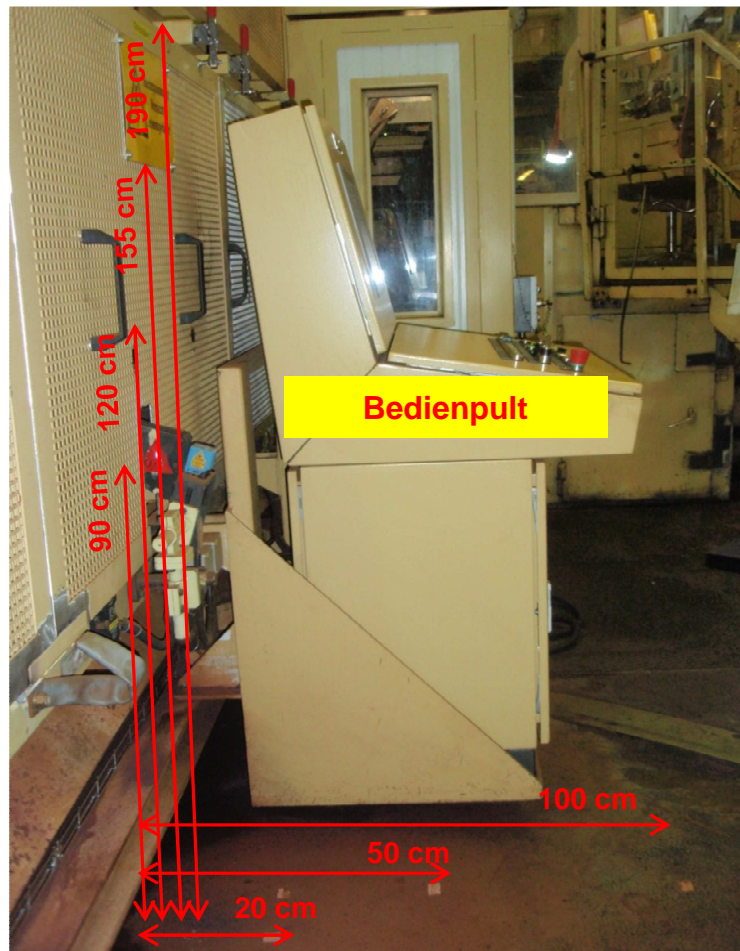
keine Maßnahmen erforderlich
Ausnahme: Implantate

Expositionsbewertung an einer Induktionserwärmungsanlage

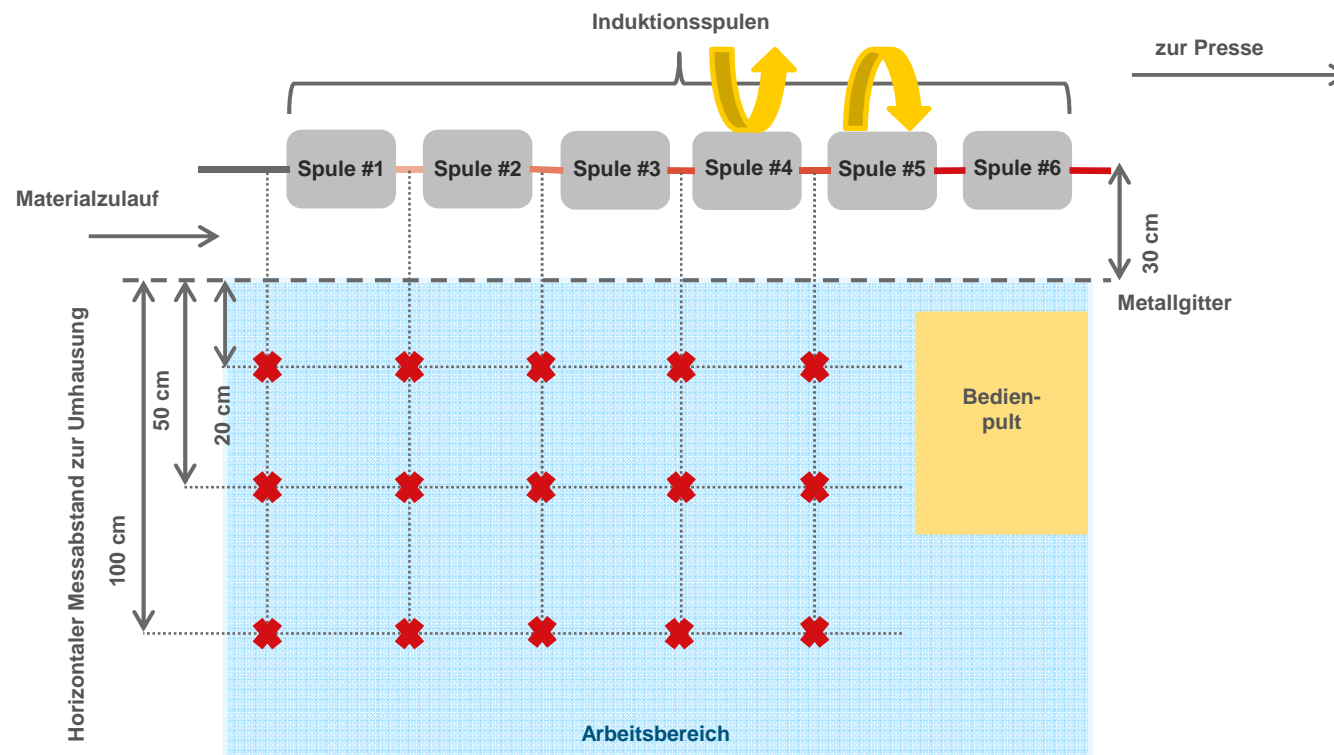
Durchführung der Messung



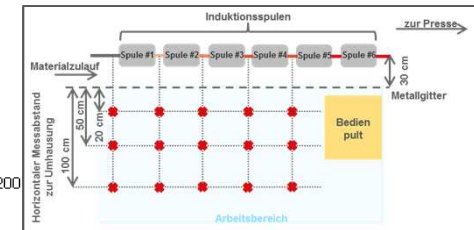
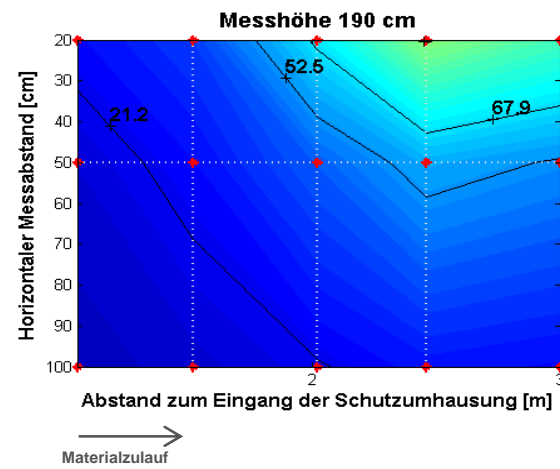
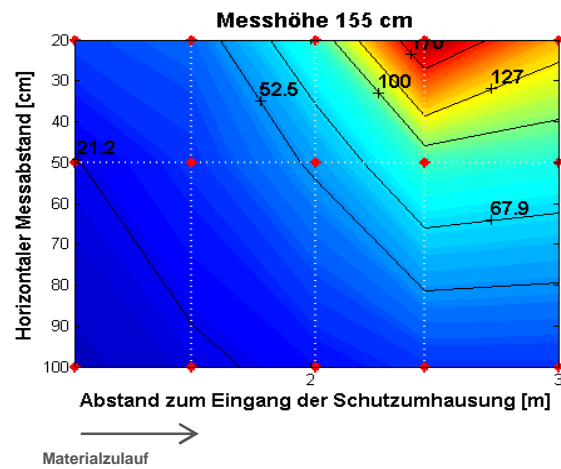
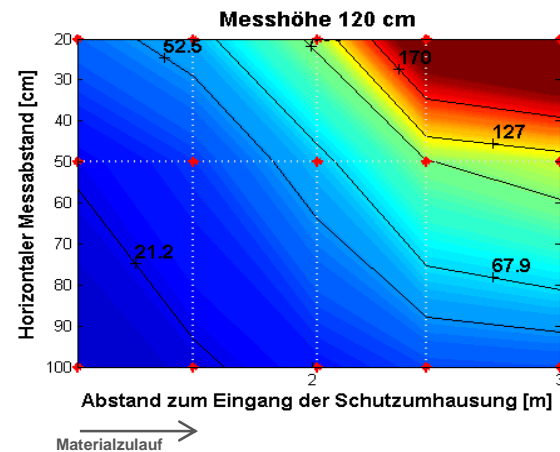
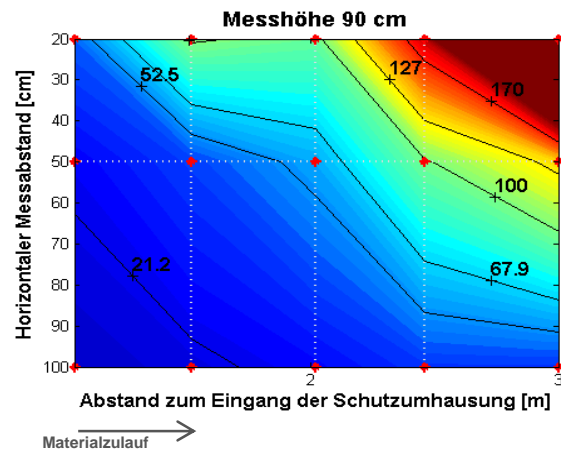
Durchführung der Messung



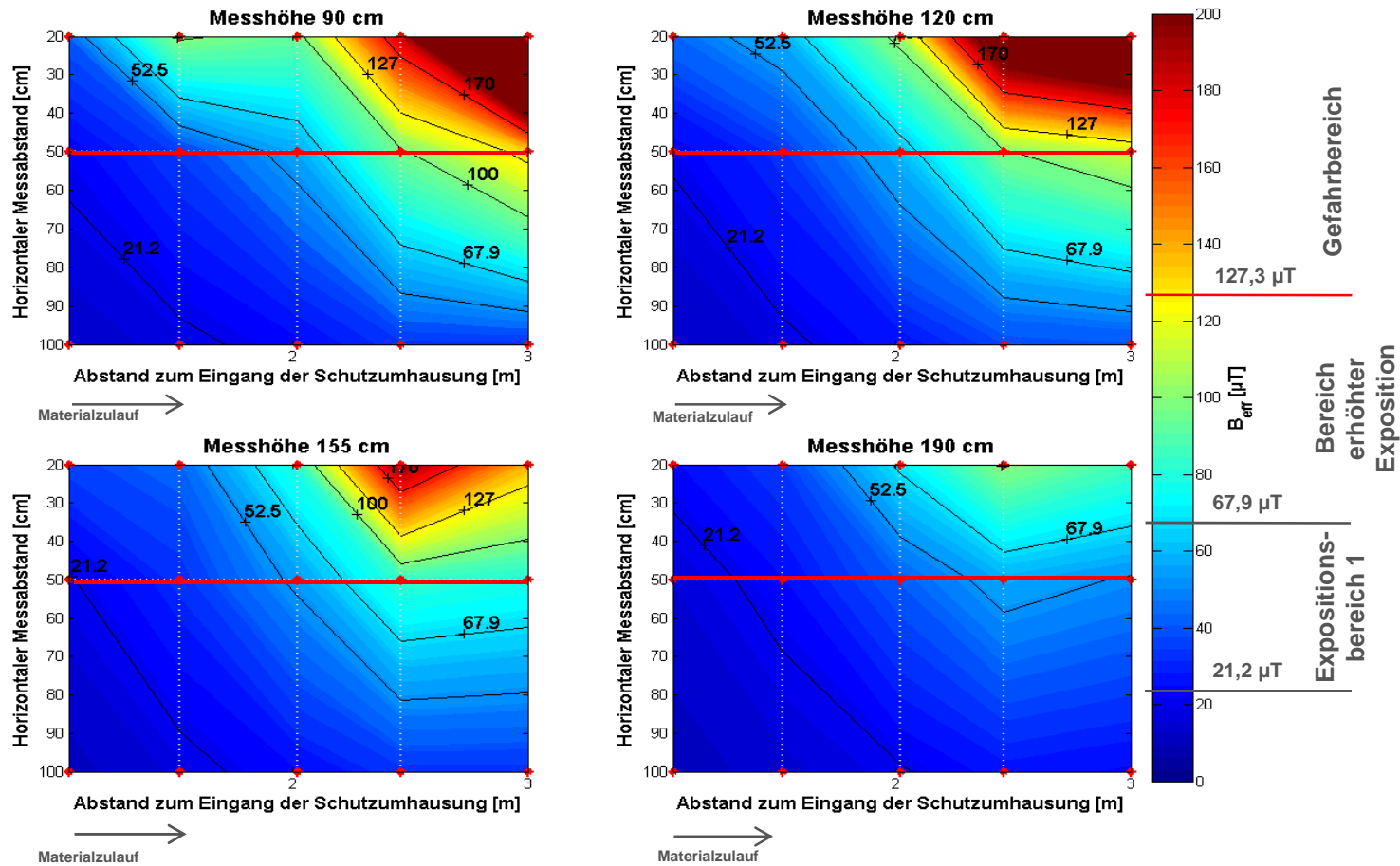
Wahl der Messpunkte



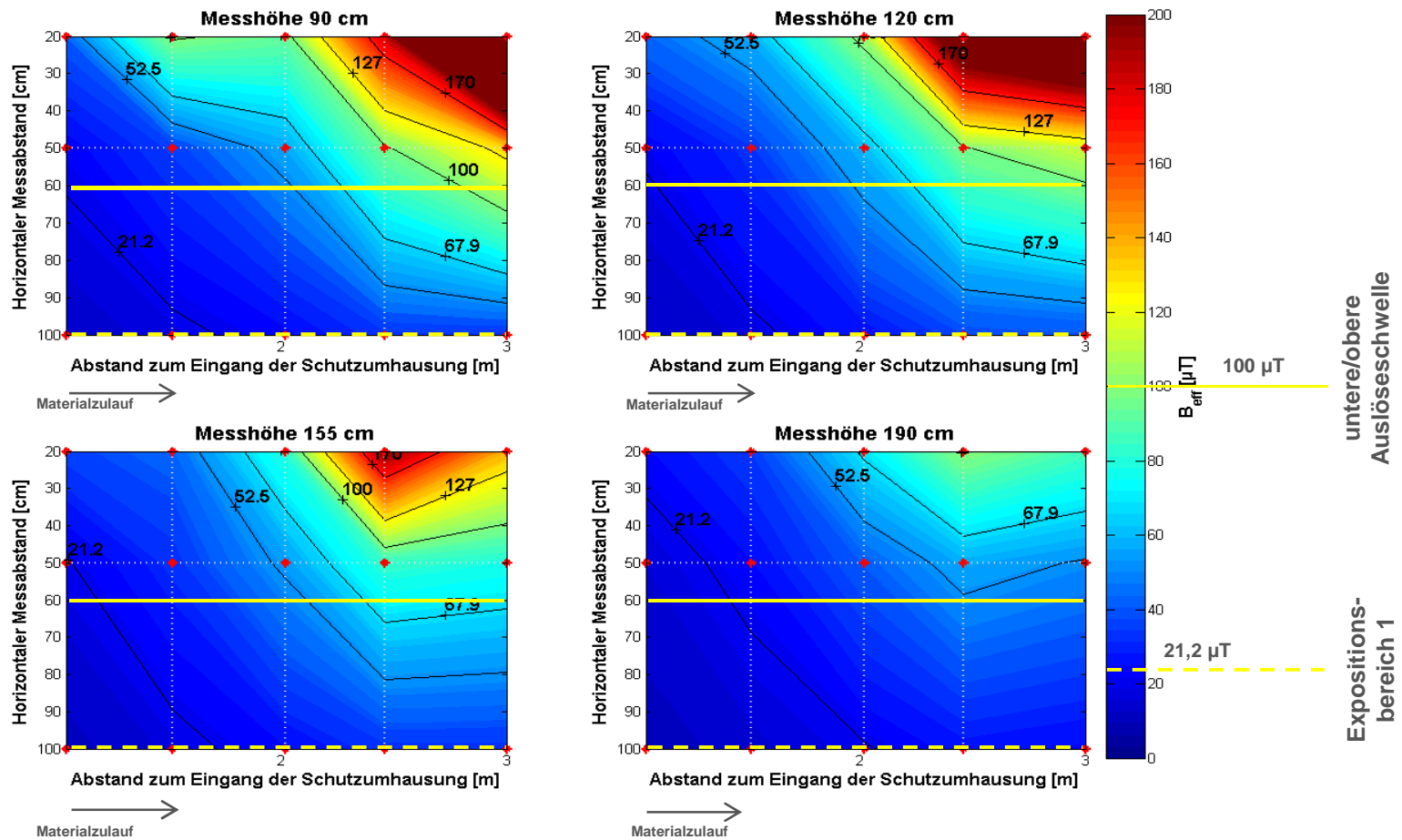
Messergebnisse



Bewertung nach DGUV Vorschrift 15



Bewertung nach EMF-Verordnung

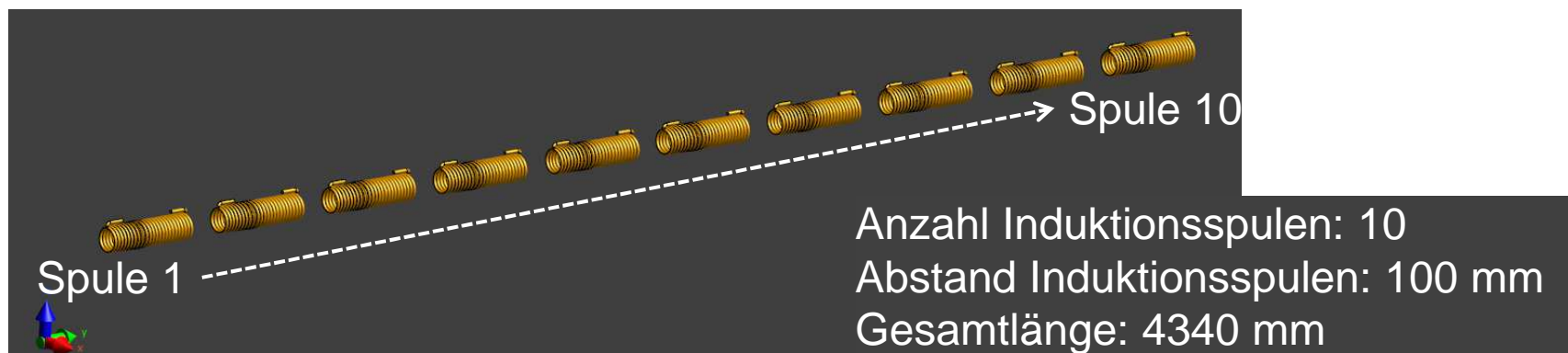
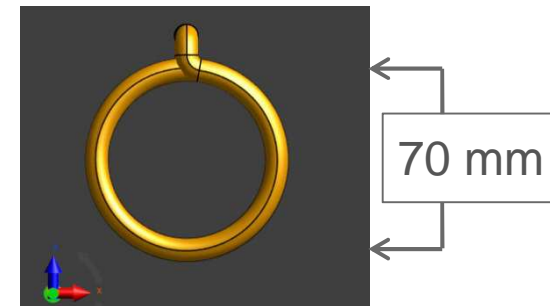
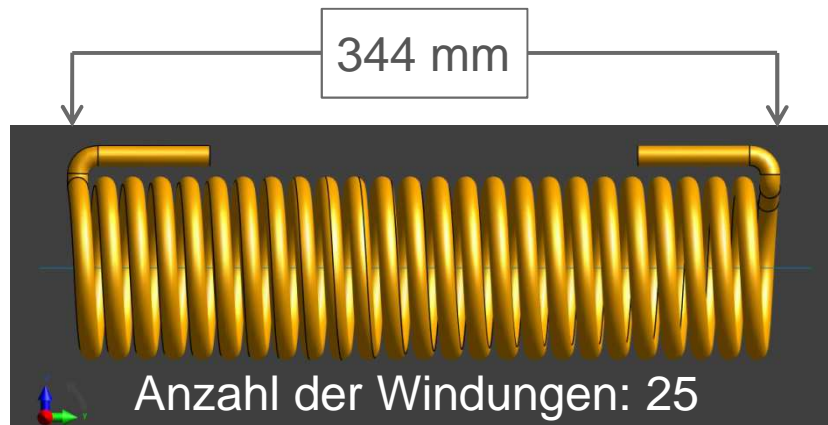


Berechnungen zur Ermittlung der internen physikalischen Größen

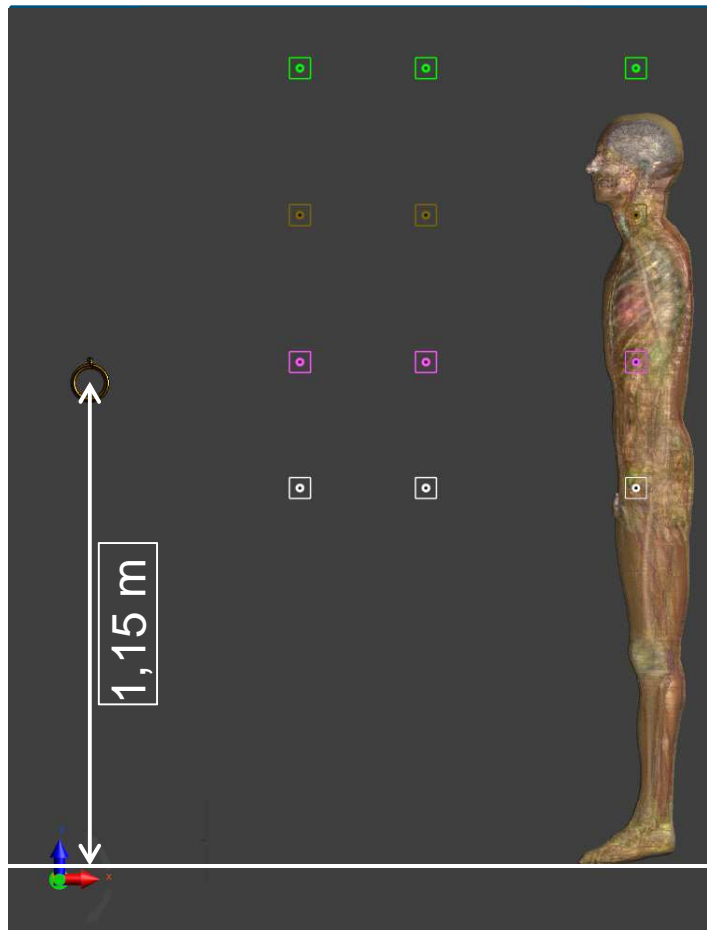
Ablauf einer Simulationsrechnung

1. Erstellen der Modellgeometrie
2. Zuweisung von Materialeigenschaften
3. Randbedingungen definieren
4. Quellen und Anregungen
5. Frequenzbereich der Erregergröße
6. Zeitlicher Verlauf der Erregergröße
7. Diskretisierung (Meshing)/Voxelerstellung
8. Berechnungsmethode / Lösungsverfahren
9. Postprocessing, Visualisierung, Analyse

Modell der Induktionsspulen



Positionierung des Körpermodells „Duke“



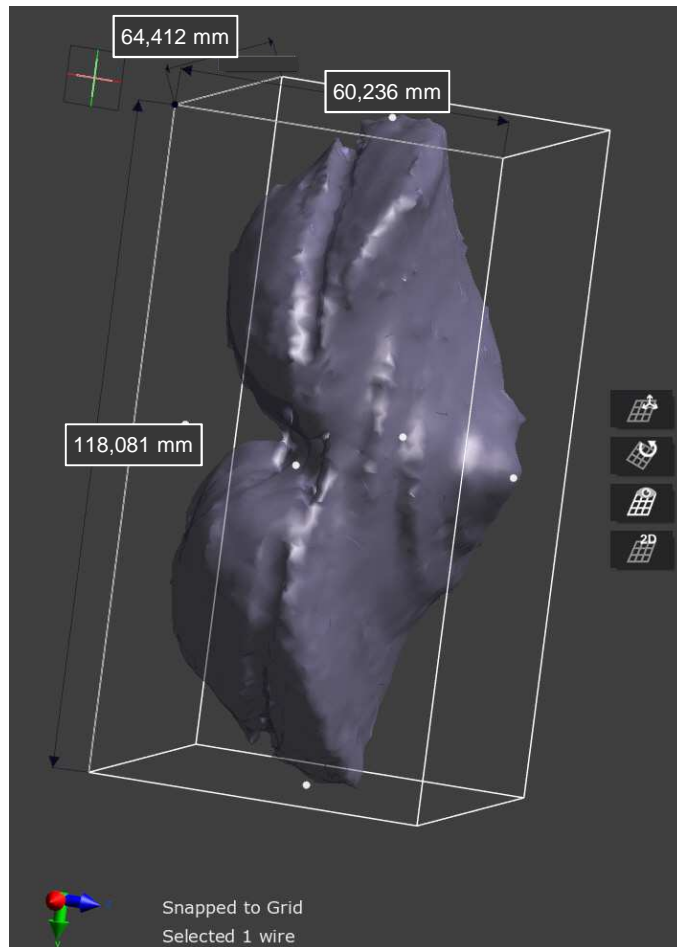
Abstände

- y-Richtung
Übergang Spule 4 zu Spule 5
- z-Richtung
Spulenmittelpunkt – Boden: $z = 1,15\text{m}$
- x-Richtung
Spulenmittelpunkt – Duke
3 Abstände: $x = 50\text{ cm}$
 $x = 80\text{ cm}$
 $x = 130\text{ cm}$

Hinweis:

Abstand Metallgitter-Spulen = 30 cm

Diskretisierung / Voxelling



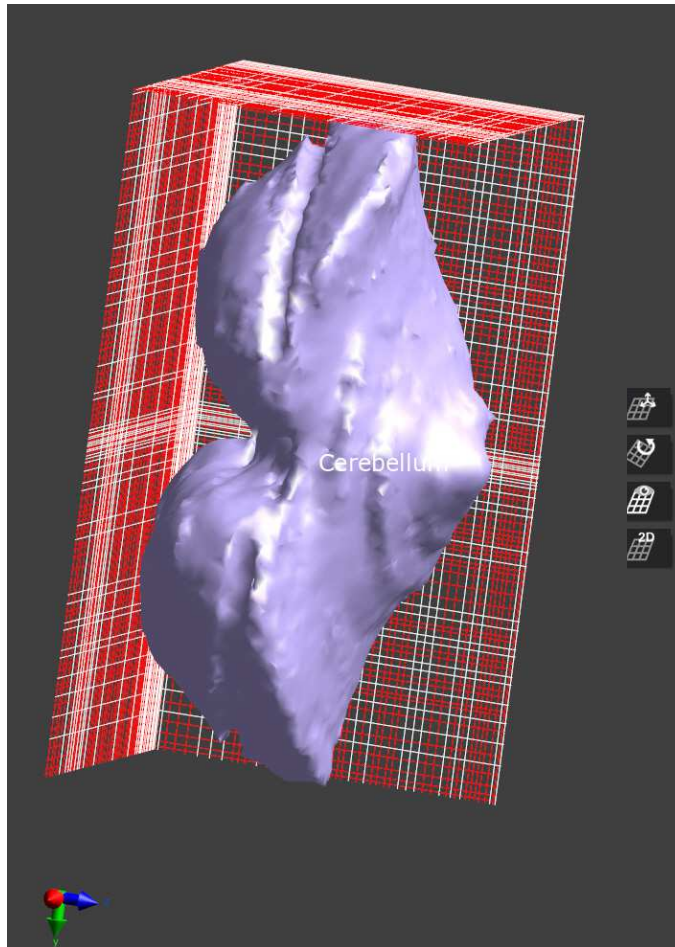
Größe des Gitters:

217 x 314 x 791 Zellen = 53,897 Mcells

Min. Kantenlänge einer Gitterzelle : 0,3 mm

Max. Kantenlänge einer Gitterzelle : 18 mm

Diskretisierung / Voxelling



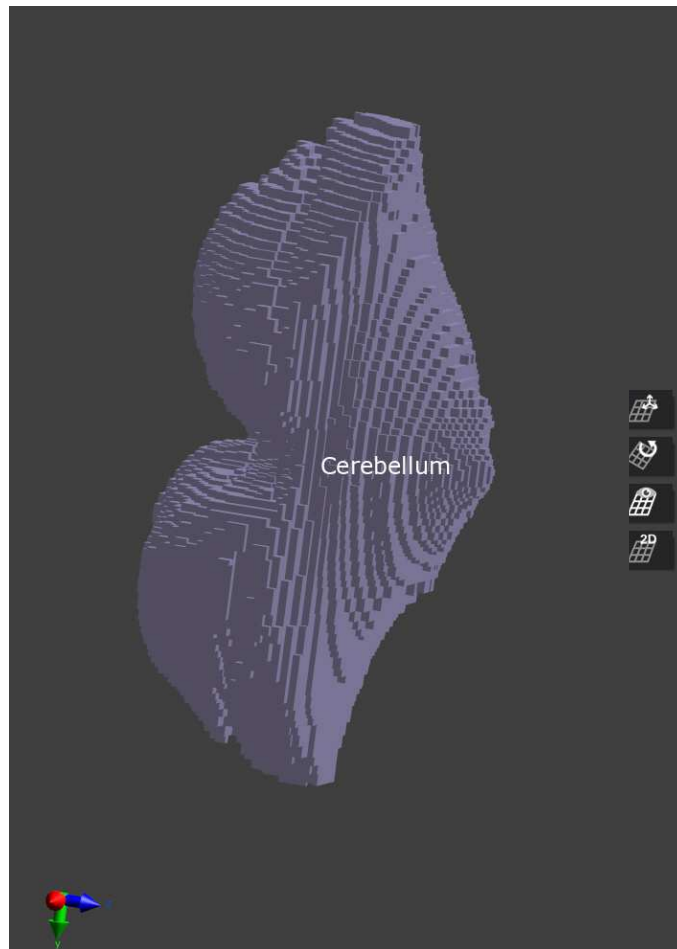
Größe des Gitters:

217 x 314 x 791 Zellen = 53,897 Mcells

Min. Kantenlänge einer Gitterzelle : 0,3 mm

Max. Kantenlänge einer Gitterzelle : 18 mm

Diskretisierung / Voxelling



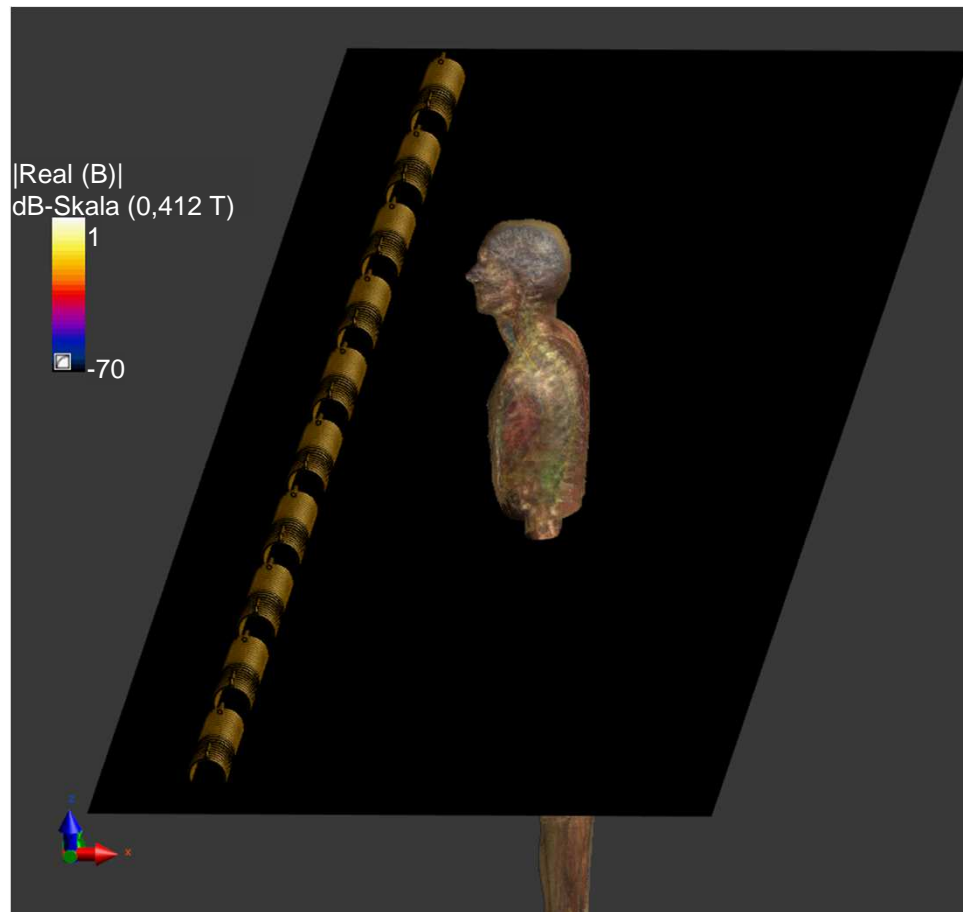
Größe des Gitters:

217 x 314 x 791 Zellen = 53,897 Mcells

Min. Kantenlänge einer Gitterzelle : 0,3 mm

Max. Kantenlänge einer Gitterzelle : 18 mm

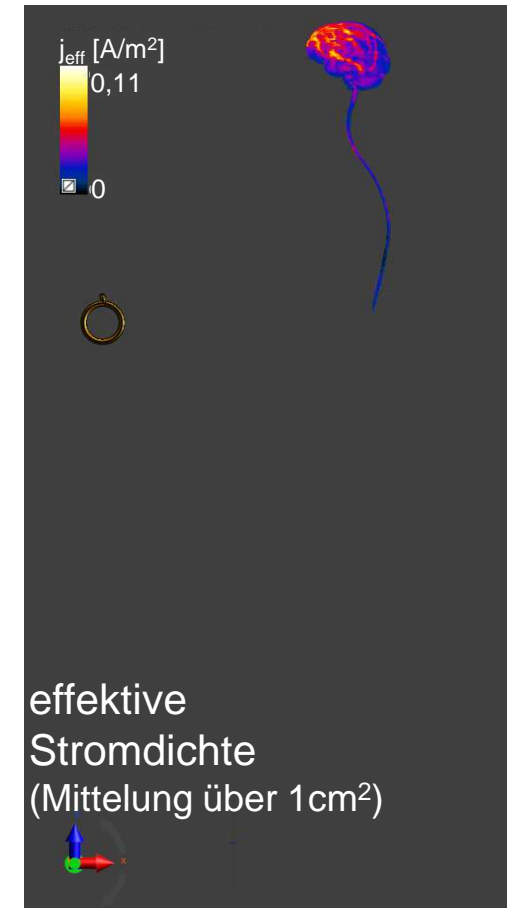
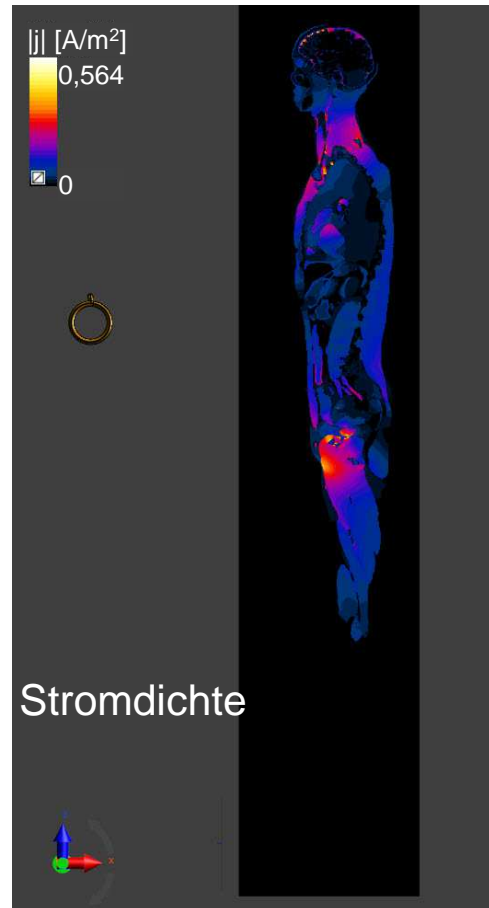
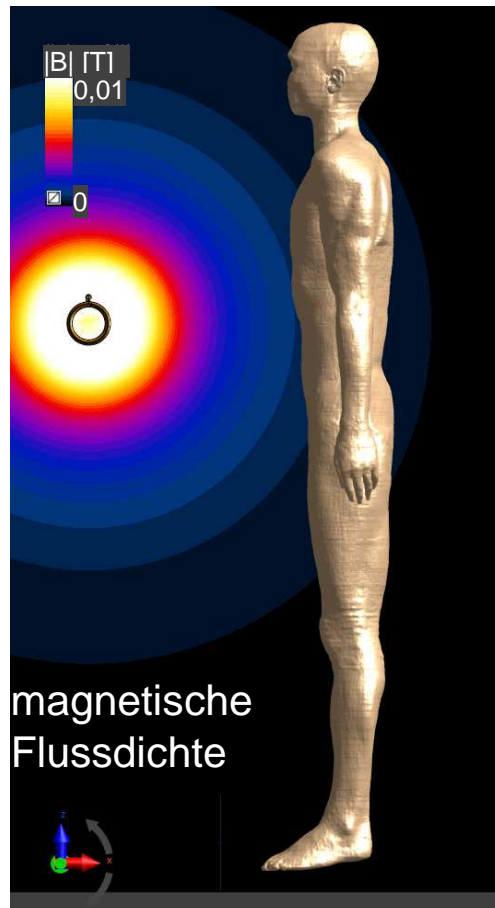
Simulation des magnetischen Feldes



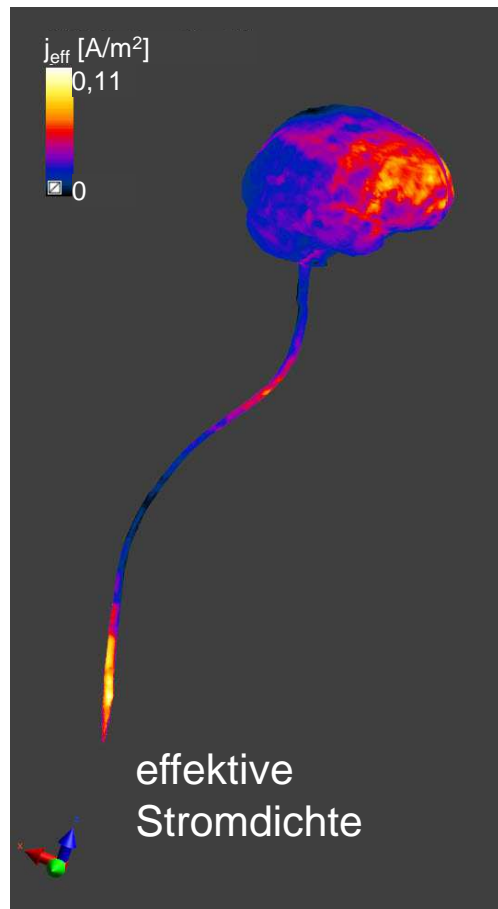
- Umkehrung der Stromrichtung zwischen Spule 4 und Spule 5
- Angaben zur exakten Stromstärke waren nicht verfügbar
- Stromstärke pro Spule wurde auf 3 kA festgelegt

$$\Rightarrow B_{peak}^{simuliert} \geq B_{peak}^{gemessen}$$

Auswertung nach DGUV Vorschrift 15



Auswertung nach DGUV Vorschrift 15



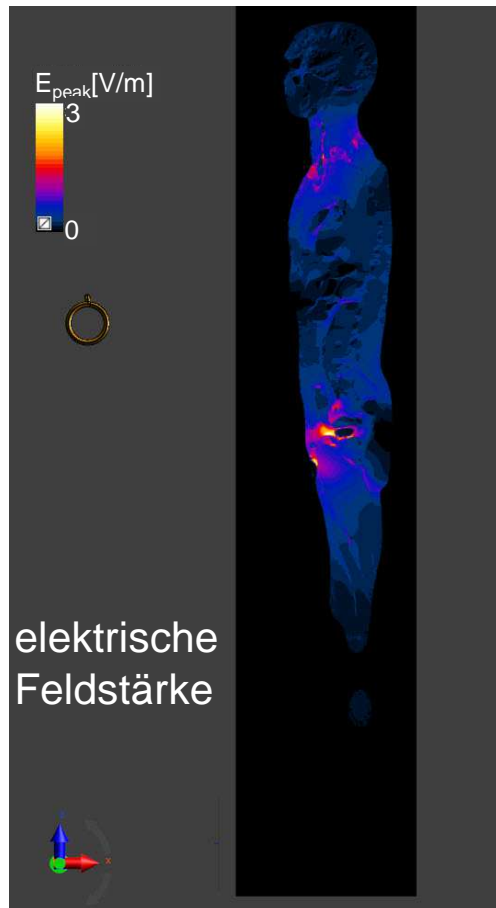
Basiswert für unmittelbare Wirkungen

$$f = 3,1 \text{ kHz} \rightarrow j_{\text{eff}} = 0,031 \text{ A/m}^2$$

Surface-Average Report [ICNIRP 1998] (Mittelung über 1cm²)

	Max [A/m ²] @3100Hz	99th [A/m ²] @3100Hz
All Lossy	0.5073	0.2860
Heart_lumen (Duke_34y_m_v3b03)	0.2083	0.1757
Vertebra_cortical_T10 (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	4.381e-002	3.625e-002
Salivary_gland (Duke_34y_m_v3b03)	0.1144	0.1040
Vertebra_cortical_C5 (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	9.110e-002	8.411e-002
Metacarpus_I_cortical_right (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	1.155e-002	9.509e-003
Phalanx_distalis_IV_cortical_right (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	2.407e-004	2.403e-004
SAT (Duke_34y_m_v3b03)	0.3333	0.1745
Vertebra_cancellous_T5 (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	2.743e-002	1.751e-002
Metacarpus_V_cancellous_left (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	8.792e-003	7.890e-003
Ulna_cortical_left (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	2.480e-002	1.875e-002
Metacarpus_II_cancellous_right (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	1.874e-002	1.760e-002
Fibula_cortical_left (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	2.079e-002	1.587e-002

Auswertung nach EMF Verordnung















Expositionsgrenzwert für gesundheitliche Wirkungen

$$f = 3,1 \text{ kHz} \rightarrow E_{\text{peak}} = 1,178 \text{ V/m}$$

Volume-Average Report [ICNIRP 2010] (Mittelung über $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$)

	Max [V/m] @3100Hz	99th [V/m] @3100Hz
All Lossy	8.6515	1.2712
Heart_lumen (Duke_34y_m_v3b03)	0.7957	0.3080
Vertebra_cortical_T10 (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	0.3947	0.2987
Salivary_gland (Duke_34y_m_v3b03)	0.5003	0.2303
Vertebra_cortical_C5 (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	0.8413	0.7233
Metacarpus_I_cortical_right (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	6.265e-002	5.601e-002
Phalanx_distalis_IV_cortical_right (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	1.034e-002	1.033e-002
SAT (Duke_34y_m_v3b03)	6.2229	1.7579
Vertebra_cancellous_T5 (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	0.3462	0.2225
Metacarpus_V_cancellous_left (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	9.009e-002	8.407e-002
Ulna_cortical_left (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	0.2867	0.2387
Metacarpus_II_cancellous_right (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	0.1909	0.1583

Ergebnis Simulationsberechnungen

Abstand zum Schutzgitter		Expositionsgrenzwert gesundheitliche Wirkung (EMFV)	Basiswert (DGUV Vorschrift 15)
20 cm	ZNS-Gewebe Kopf & Rückenmark		
	ganzer Körper (ZNS/PNS)		
50 cm	ZNS-Gewebe Kopf & Rückenmark		
	ganzer Körper (ZNS/PNS)		
100 cm	ZNS-Gewebe Kopf & Rückenmark		
	ganzer Körper (ZNS/PNS)		

Zusammenfassung / Maßnahmen

Zusammenfassung

	DGUV Vorschrift 15	EMF – Verordnung 2016
Körperexterne Werte	<ul style="list-style-type: none"> • Maßnahmen ab 100 cm Abstand • min. Abstand 50 cm 	Maßnahmen ab 60 cm Abstand
Körperinterne Werte	min. Abstand 50 cm	min. Abstand 50 cm



Die Anlage muss nicht neu bewertet werden !





IFA

Institut für Arbeitsschutz der
Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

Kontakt

claudine.neumann@dguv.de Tel.: 02241-231 2598
carsten.alteköster@dguv.de Tel.: 02241-231 2975

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstraße 111
53757 Sankt Augustin