

Exposition durch körpernahe Sender im Rumpfbereich

Andreas Christ, Anja Klingenböck und Niels Kuster

Foundation for Research on Information Technologies in Society
ETH, Zurich

IT^{IS} FOUNDATION

Inhalt

- Hintergrund und Zielsetzung
- Absorptionsmechanismus
- Zusammenfassung der Literaturübersicht
- Zusammensetzung des Gewebes im Rumpfbereich
- Generische Studie - Absorption in geschichtetem Gewebe
 - Grenzfälle der Gewebezusammensetzung
 - Absorption in geschichtetem Gewebe im Nahfeld von Antennen
- Simulation eines anatomischen Modells
- Zusammenfassung und nächste Schritte

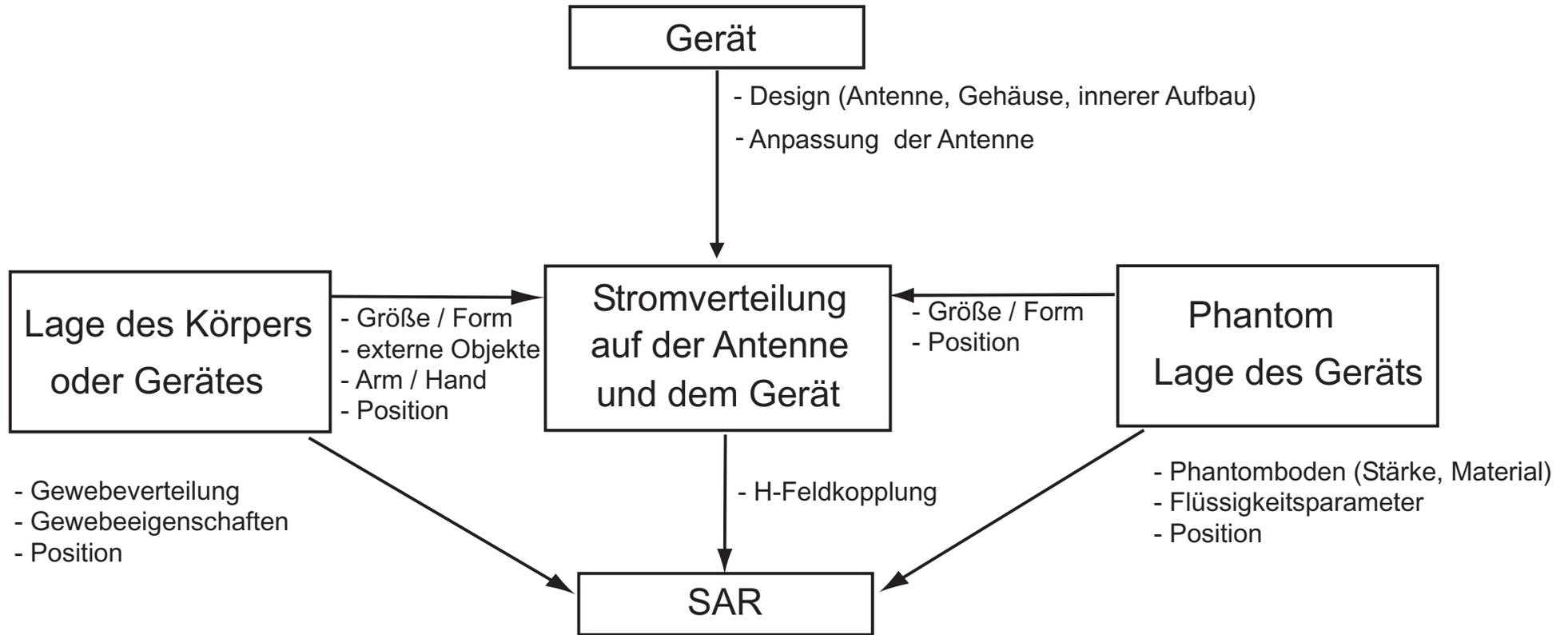
Hintergrund

- Bisher standardisiert sind:
Methoden und Verfahren für die Typprüfung von **Mobiltelefonen (handheld devices)**: IEEE 1528 (2003), IEC 62209 Pt. 1 (Draft 2004).
- Noch nicht standardisiert sind:
Methoden und Verfahren für die Typprüfung **am Körper getragener Geräte (body-worn devices)** im Frequenzbereich von 30MHz bis 6GHz bei Abständen unter 200mm

Zielsetzung

- Absorption elektromagnetischer Strahlung in biologischem Gewebe des Rumpfbereiches des menschlichen Körpers
- Untersuchung des Einflusses der **Gewebezusammensetzung** auf die Absorption im **Nahfeld** und im **Fernfeld** von Antennen
- Diskussion der Ergebnisse im Bezug auf aktuelle Standards

SAR bestimmende Faktoren



Absorptionsmechanismus

- Das SAR hängt hauptsächlich von der **Kopplung der magnetischen Felder** ab, die durch den Fußpunktstrom der Antenne verursacht werden.
- Das SAR steigt quadratisch mit dem Strom und nimmt **quadratisch** mit dem **Abstand** zwischen Fußpunkt und Gewebe ab.
- Die reaktiven Komponenten des magnetischen Nahfeldes koppeln in gleichem Maße wie die Einstrahlung durch das Fernfeld.
- Im unmittelbaren Nahfeld der Antenne fällt das SAR stärker als exponentiell. Dieser Effekt ist besonders ausgeprägt, wenn die Antenne wesentlich kürzer als $\lambda/2$ ist.
- Wegen der Verluste im Gewebe und der Abnahme des magnetischen Feldes mit dem Abstand ist das SAR-Maximum stark am Fußpunkt der Antenne konzentriert.
- Bei konstanter Ausgangsleistung steigt das SAR an, wenn die Fußpunktimpedanz fällt.

Literatur zur Strahlungsbelastung im Rumpfbereich

- Die Mehrzahl der Studien befaßt sich mit der Strahlungsabsorption im Fernfeld bzw. mit der Bestimmung des über den ganzen Körper gemittelten SARs.
- Studien zur Antennencharakteristik am Körper getragener Geräte lassen häufig die Belastung des Benutzers außer Acht.
- Dosimetrische Studien untersuchen oft nur einzelne einfache Antennenstrukturen bei wenigen Frequenzen und verwenden stark vereinfachte Körpermodelle.

Literatur zur Strahlungsbelastung im Rumpfbereich

Veröffentlichung	Sender/Antenne	Methode	Freq. [MHz]	Belastete Stelle	Abstand [mm]	Körpermodell, Auflösung
[Chatterjee et al., 1980]	HF Versiegelungsmaschine	Ebene Wellen, EFIE, MoM	27, 77, 350	-	-	Inhomogen, 180 Zellen
[Stuchly et al., 1986]	resonanter Dipol	EFIE, MoM	350	oberer Thorax	73	Homogen, 180 Zellen
[Chen and Gandhi, 1989]	HF Versiegelungsmaschine	FDTD	27-41	vorderes Abdomen	209.6	Inhomogen, 26.2mm
[Kuster, 1992]	Dipol, generisches Funkgerät mit Monopol	MMP	80-750	Rumpf, Kopf	25-200	homogen
[Kuster, 1993]	Dipol, Helix, implantiert	MMP	200, 900	Nierengegend, Kopf	0, 25	Homogen, mit Nieren
[Chuang, 1994]	Dipol	CIE, MoM	840	Kopf, vorderes Abdomen	6	Homogen, 8-50mm
[Watanabe et al., 1994]	Elementardipol	FDTD	30-300	vorderes Abdomen	200-800	Homogen, 30.1mm
[Watanabe and Taki, 1996]	Kurzer Dipol, Ebene Welle	FDTD	30-300	vorderes Abdomen	200-800	Homogen, 10mm
[Chuang, 1997]	Dipol	CIE, MoM	915	vorderes Abdomen	5-25	Homogen mit optionaler Fettschicht(keine Haut), 8-32mm
[Chuang and Chen, 1997]	Loop-Antenne	CIE, MoM	152, 280, 400	Abdomen und Thorax (vorne)	10-150	Homogen
[Chen and Chuang, 1998b]	Loop-Antenne	CIE, MoM	50-400	Abdomen (vorne)	20	Homogen
[Chen and Chuang, 1998a]	Loop-Antenne	CIE, MoM	280	Abdomen und Thorax (vorne)	20	Homogen
[Scanlon and Evans, 2001]	Loop, Monopol mit Box, Pifa	FDTD	418, 916, 2450	Thorax (vorne)	5-50	Homogen, 5mm Kind und Erwachsener
[Kang and Gandhi, 2002]	Generisches Telefon mit Monopol	FDTD	835, 1900	Thorax (vorne)	2-8	Inhomogen, 2mm und planar, homogen
[Catarinucci et al., 2003a]	Basisstationsantenne	FDTD	900	Kopf, vorderer Thorax	200-600	Inhomogen und Homogen, 4mm
[Catarinucci et al., 2003b]	Dipol, Basisstationsantenne	FDTD	900	Kopf, vorderer Thorax	200-500	Inhomogen und Homogen, 3mm, 4mm
[Troulis et al., 2003]	Generisches Telefon mit drahtgebundener Freisprecheinrichtung	FDTD	1800	Hüfte	5	inhomogen, 5mm
[Bit-Babik et al., 2003]	Dipol mit drahtgebundener Freisprecheinrichtung	FDTD	900	Hüfte	5-10	inhomogen, 5mm, generisches Modell

Bewertung der bestehenden Literatur

- Die verwendeten anatomischen Modelle sind durch homogene Modellierung oder grobe Gitterschrittweiten zu stark vereinfacht, so daß der Einfluß der Gewebetypen oder die Belastung einzelner Organe nicht bestimmt werden kann.
- Eine systematische Untersuchung verschiedener typischer täglich auftretender Benutzungssituationen fehlt. Lediglich Einzelfälle werden betrachtet.
- Verschiedene Studien zeigen einen starken Einfluß von Fettgewebe und Knochen auf die Absorption im Nah- und im Fernfeld (erhöhtes SAR).
- Allgemeine Schlußfolgerungen für die Belastung des Rumpfbereiches unter normalen Bedingungen wie auch in Grenzfällen können an Hand der bisherigen Veröffentlichungen nicht gezogen werden.

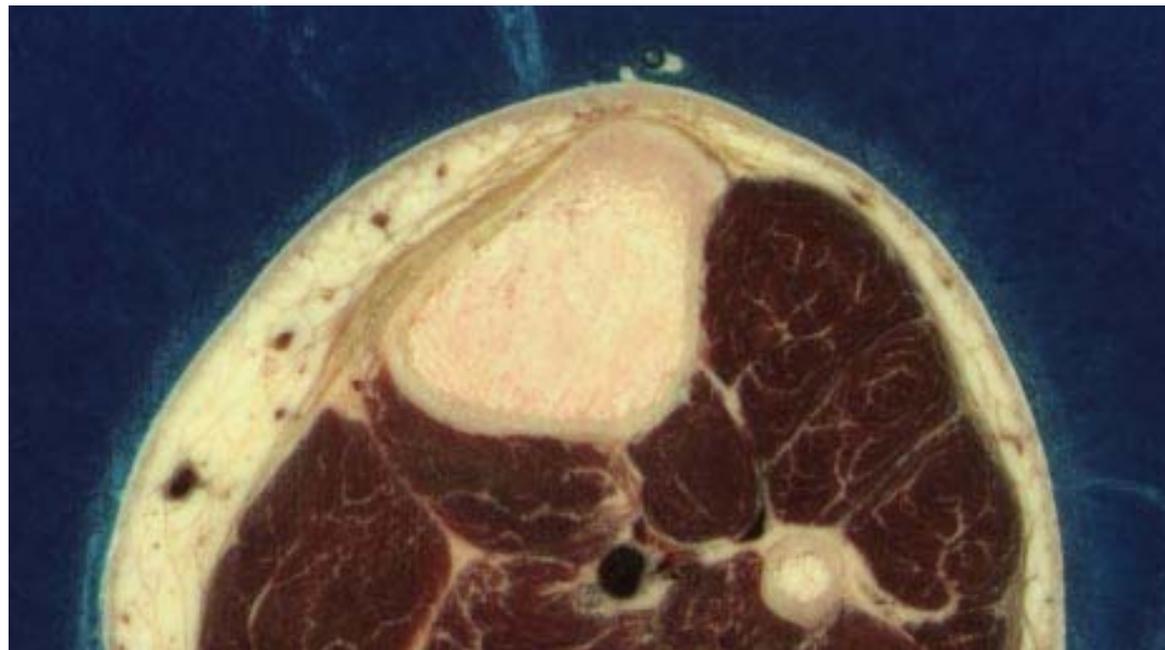
Gewebezusammensetzung im Rumpfbereich

Location	Tissue distribution				
Chest front male	skin	fat/conn. tissue	muscle	bone	heart, lung, thymus (child), liver
Chest front fem.	skin	fat/conn. tissue	breast tissue	muscle	bone heart, lung, thymus (child), liver
Chest back	skin	fat/conn. tissue	muscle	bone	Lung, liver
Abdomen front	skin	fat/conn. tissue	muscle	intestines, stomach	
Abdomen back	skin	fat/conn. tissue	muscle	intestines, kidney, spleen	
Spine	skin	fat/conn. tissue	bone	CSF	spinal cord CSF bone fat/conn. tissue
Limbs	skin	fat/conn. tissue	muscle	bone	

- Bestimmung der Gewebeverteilung einschließlich der Variationsbreite der einzelnen Gewebeschichten in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht
- Analyse des 1g und 10g SAR im Frequenzbereich von 30MHz bis 5800MHz für sämtliche Kombinationen von Gewebe und Schichtdicken unter Fernfeldbedingungen an Hand eines eindimensionalen Modells (Drossos et al., 2000)
- Vergleich der ermittelten maximalen Belastung mit Absorption in gewebesimulierenden Flüssigkeiten

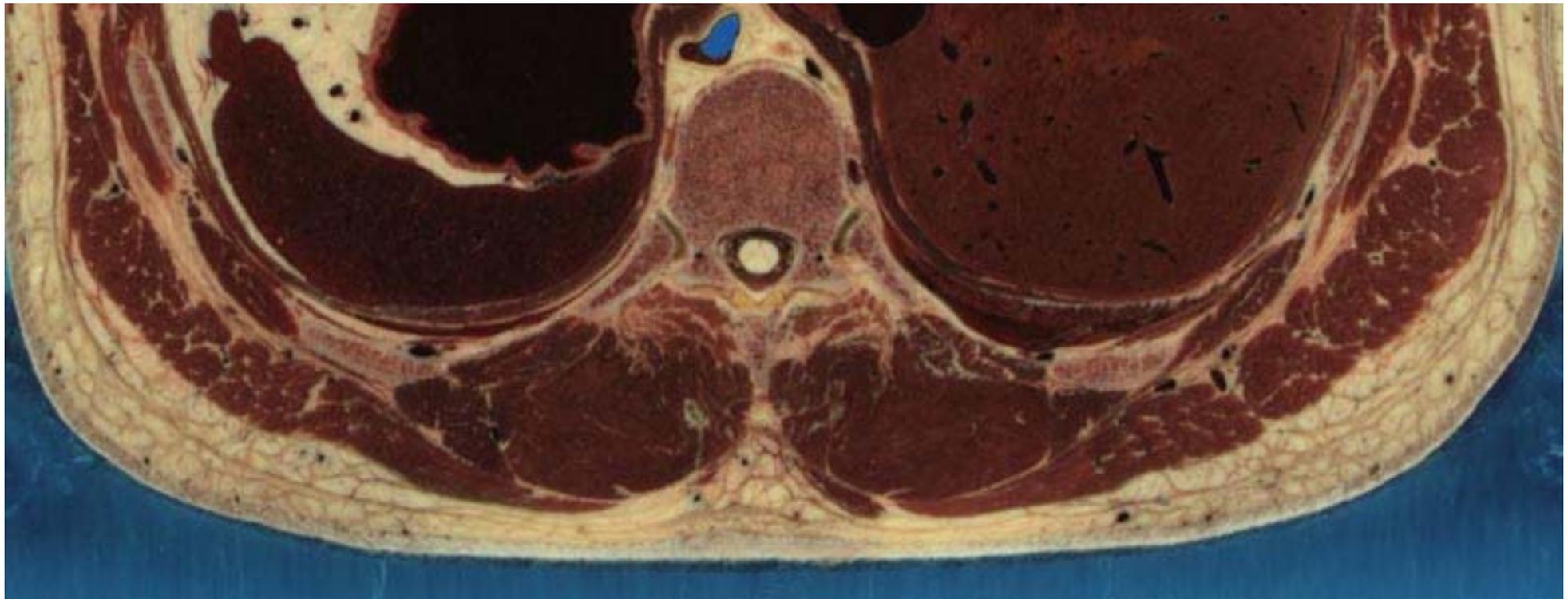
Gewebeschichtung der Gliedmaßen

Limbs	Thickness Variation [mm]			
	Child	Child _no bone	Adult	Adult _no bone
Tissue Composition				
Skin (epidermis+dermis)	0.4-1.0	0.4-1.0	0.6-2.0	0.6-2.0
Subcutaneous Adipose Tissue (fat(mean))	0.2-13.8	0.2-13.8	0.4-20.6	0.4-20.6
Muscle	0-30	inf.	0-30	inf.
Bone (Limbs)	inf.	-	inf.	-

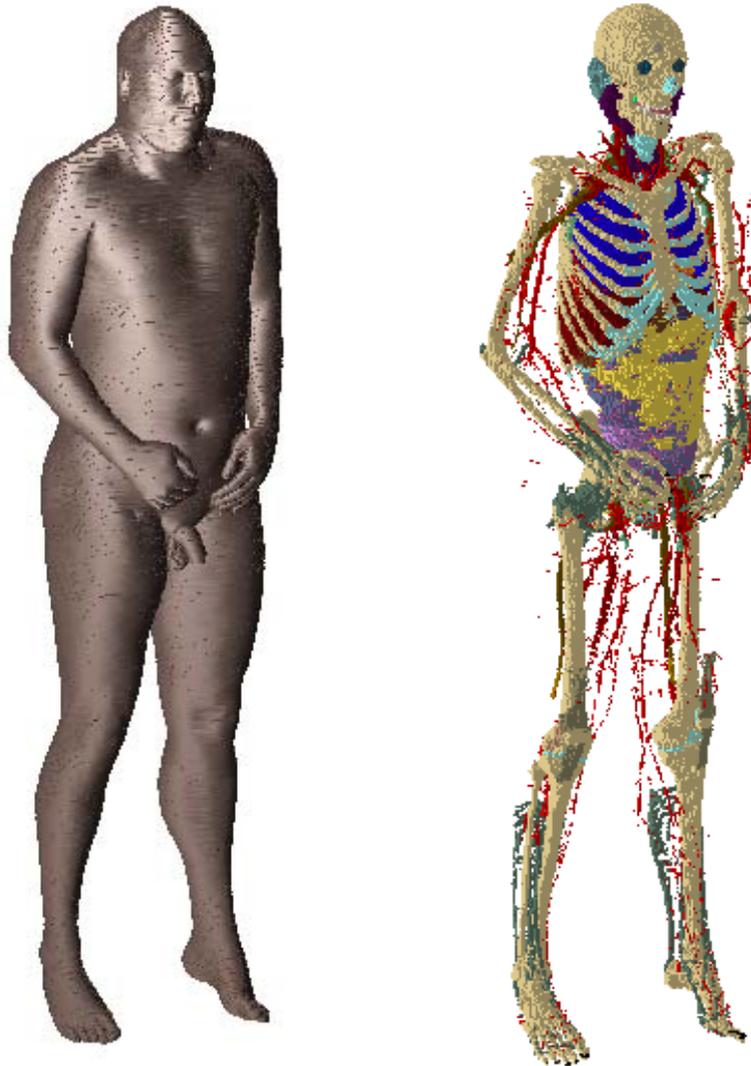


Gewebeschichtung am Rückgrat

Spine	Thickness Variation [mm]	
	Child	Adult
Tissue Composition		
Skin (epidermis+dermis)	0.4-1.0	1.4-2.6
Subcutaneous Adipose Tissue (fat(mean))	0-13.2	2.4-21.2
Vertebra (cortical+trabecular)	17-17.6	24.4-30.4
Cerebrospinal Fluid (CSF)	2.6-6.4	2.6-6.4
Spinal Cord	inf.	inf.

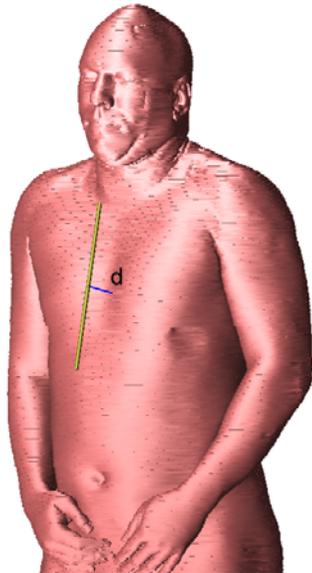


Simulationen mit einem anatomischen Körpermodell

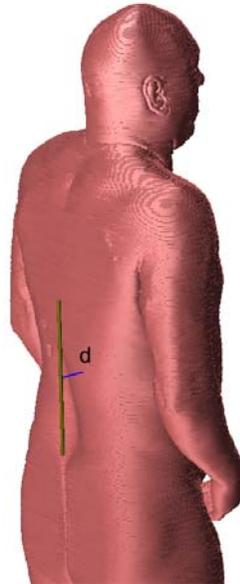


- Anatomisches Modell des Visible Human Projects
- über 100 verschiedene Gewebetypen
- 2mm Schichtdicke
- zahlreiche Körperregionen mit Schichten aus Fett- und Bindegewebe
- SEMCAD Compound Format:
 - genaue Ausrichtung des Körpers möglich
 - beliebig genaue Auflösung der Gewebe und Organe im Gitter

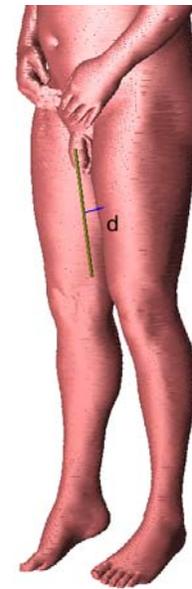
Exponierte Körperregionen und Organe



Herz



Niere



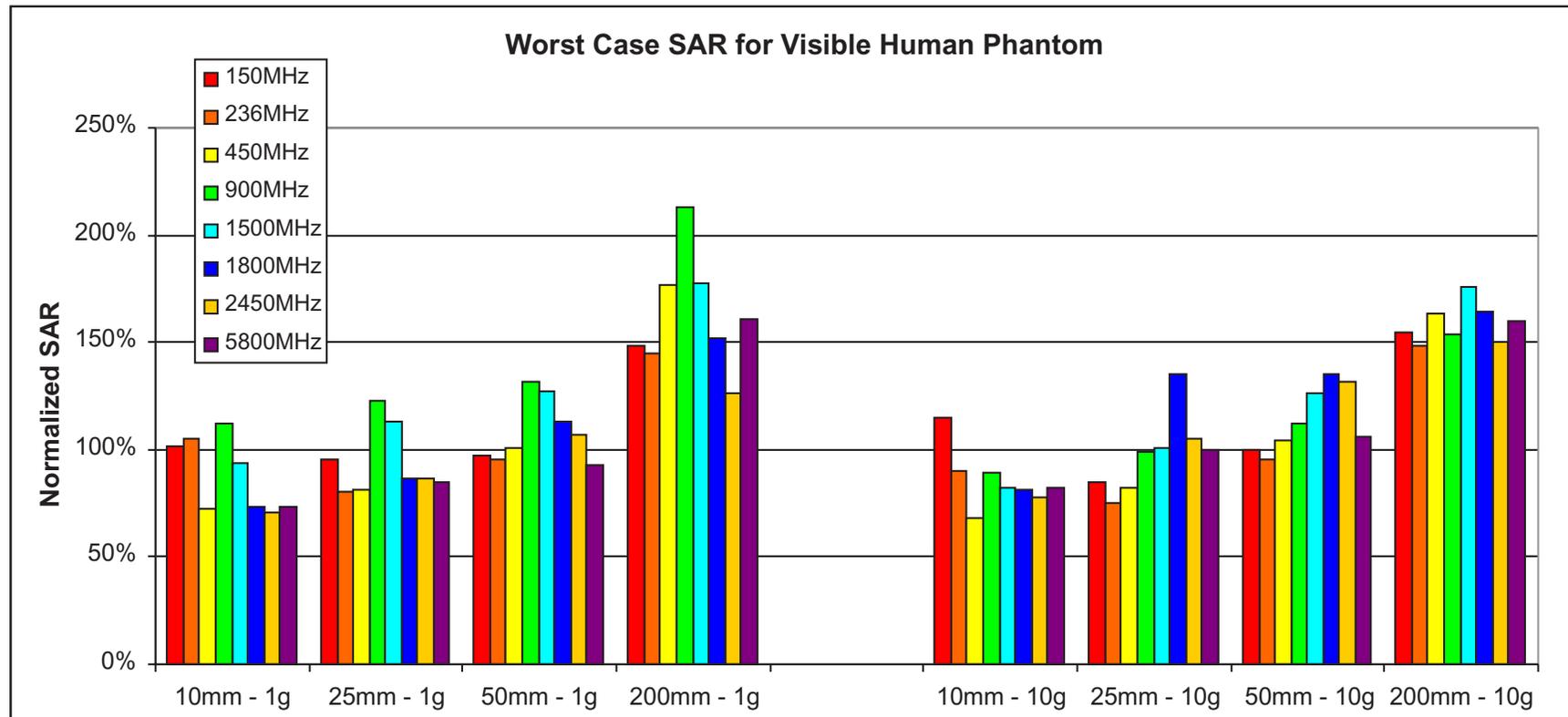
Gliedmaßen



Rückgrat

- bisher betrachteter Frequenzbereich 450-5800MHz
- $\lambda/2$ -Dipole als Strahlungsquelle
- Abstände: 10mm, 25mm, 50mm, 200mm
- Ergebnisse auf SAR im Flachphantom mit gewebesimulierender Flüssigkeit normiert

Maximales SAR für alle untersuchten Regionen



- maximales SAR des Visible Human Phantoms im Verhältnis zum flüssigkeitsgefüllten Flachphantom
- Anstieg des SARs für größere Distanzen durch Stehwelleneffekte

Schlußfolgerungen und nächste Schritte

- Die bestehende Literatur zur Belastung durch körpernahe Sender ist nicht ausreichend, um die Absorption der Strahlung für alle vorkommenden Gewebeverteilungen und Expositionsszenarien zu charakterisieren.
- Die Gewebeverteilungen im Rumpfbereich des Körpers wurden ausgewertet und Einflüsse auf die Strahlungsabsorption untersucht.
- Bei Exposition im sowohl im Nahfeld (E-Feldkopplung) als auch im Fernfeld (Stehwelleneffekte) kann es im Vergleich mit homogener Modellierung des Körpers zu erhöhtem SAR kommen.
- Erhöhte Absorption im Fernfeld wurde bei Simulationen mit einem anatomischen Körpermodell bestätigt.
- Weitere Untersuchungen zu den im Nahfeld beobachteten Effekten sind notwendig. Ebenso werden weitere Körpermodelle und realistische Geräte- und Antennenkonfigurationen eingesetzt werden.
- Zur Untersuchung der Temperaturerhöhung wird zunächst auch ein generisches Modell eingesetzt, dessen Effekte an Hand anatomischer Modelle überprüft werden.