

Selbststudium Kapitel 3.3, 3.4 und 3.5

Liebe Studierende!

In diesem Informationsblatt werden die wichtigsten Inhalte der Kapitel 3.3 bis 3.5 zusammengefasst, damit beim Selbststudium der Unterlagen besser ersichtlich wird, welche Teile besonders wichtig und prüfungsrelevant sind.

Kapitel 3.3 Wärmewirkung durch hochfrequente Felder

Es gibt grundsätzlich zwei zentrale Wirkungen von elektromagnetischen Feldern auf den Menschen: die Reizung von Nerven (Reizwirkung, beschrieben in Kapitel 3.2) und die thermische Wirkung. Im Wesentlichen kann die Reizwirkung den niedrigen Frequenzen zugeordnet werden und die thermische Wirkung den hohen Frequenzen. Dies ist dadurch bedingt, dass niederfrequente Felder durch die niedrige Frequenz und die dielektrischen Eigenschaften des menschlichen Körpers nur sehr wenig Leistung für die Erwärmung im Gewebe umsetzen. Andererseits können die Nervenzellen auf hochfrequente Felder nicht mit einer Reizung reagieren. Dies ist in der Definition der Basisgrenzwerte für die Exposition durch elektromagnetische Felder abgebildet: Von DC bis 10MHz ist der Wert des elektrischen Feldes im Gewebe der ausschlaggebende Grenzwert und von 100kHz bis 10 GHz ist die Leistungsaufnahme im Gewebe in W/kg der Basisgrenzwert. In diesem Kapitel wird die thermische Wirkung im hochfrequenten Bereich betrachtet.

Die Erwärmung des Gewebes durch hochfrequente Felder (beschrieben durch die SAR (spezifische Absorptionsrate)) findet durch dielektrische Verluste statt, die durch folgende Zusammenhänge beschrieben wird:

$$SAR = \frac{\sigma E_i^2}{\rho} \quad SAR = c_i \frac{dT}{dt}$$

E_i	elektrische Feldstärke im Gewebe,	[V/m]
σ	elektrische Leitfähigkeit des Gewebes,	[S/m]
ρ	Dichte des Gewebes,	[kg/m ³]
c_i	Wärmekapazität des Gewebes,	[J/(kg·°C)]
dT/dt	zeitliche Ableitung der Gewebetemperatur.	[°C/s]

Das hochfrequente elektromagnetische Feld bewirkt im elektrisch leitfähigen Gewebe einen Leistungseintrag, der auch noch auf die Gewebedichte normiert wird, mit der Einheit W/kg. Der Leistungseintrag bewirkt die Erwärmung des Gewebes, welche auch abhängig von der Wärmekapazität des Gewebes ist.

Die Verteilung der SAR im Körper hängt natürlich von der Frequenz ab, während bei Frequenzen im einstelligen MHz-Bereich das Feld den Körper durchdringt und die SAR relativ gleich verteilt ist, so wird die Leistung bei 10 GHz sehr oberflächlich absorbiert, das Feld dringt nicht tief ein. Aufgrund dieser unterschiedlichen Eigenschaften gibt es Grenzwerte für die SAR gemittelt über den gesamten Körper und lokale SAR gemittelt über 1g oder 10g. Da die thermischen Effekte durch die absorbierte Leistung verzögert auftreten wird die SAR zum Vergleich mit den Grenzwerten zeitlich über z.B. 6 Minuten gemittelt. Die Grenzwerte der SAR sind so gewählt, dass das Körpergewebe sich nicht mehr als um eine bestimmte Temperatur erwärmt. Das empfindlichste Gewebe bzgl. Erwärmung ist das Auge. Ab 1°K ist eine Erwärmung für den Menschen deutlich spürbar. Um den Temperaturanstieg bestimmen zu können muss neben dem Leistungseintrag durch die SAR der gesamte Leistungseintrag im menschlichen Gewebe berücksichtigt werden und dies in Wechselwirkung mit der Thermoregulation des menschlichen Körper gesetzt werden.

Kapitel 3.4 Andere durch Erwärmung bedingt Effekte

Ein spezieller Effekt bei der Exposition durch hochfrequente Felder ist das Mikrowellenhören. Dieser Effekt tritt bei gepulsten Mikrowellenfeldern im Frequenzbereich von 300 MHz bis 10 GHz auf. Dabei wird durch das gepulste Feld eine kurzfristige geringe Erwärmung (ab 10^{-5} Grad) in der Cochlea erzeugt. Dies führt über eine Druckveränderung zu einem Höreffekt, der ansich gefahrlos ist, allerdings eine Schreckreaktion verursachen kann. Das Mikrowellenhören wird auch in der Grenzwertgebung berücksichtigt, indem zusätzlich zu den schon geltenden SAR-Grenzwerten die Energie von Pulsen im angegebenen Frequenzbereich auf max. 10 mJ/kg begrenzt wird.

Das Mikrowellenhören zeigt, dass auch im hohen Frequenzbereich andere Effekte als eine thermische Schädigung des Gewebes möglich sind.

Kapitel 3.5 Zusammenhang zwischen äußeren und inneren Feldgrößen

Externe elektromagnetische Felder erzeugen im Inneren des menschlichen Körpers ebenfalls elektromagnetische Felder. Das menschliche Gewebe ist elektrisch leitfähig und verfügt über eine Permittivität (keine Permeabilität!), diese Materialeigenschaften verändern das externe Feld und bestimmen die Feldverteilung im Inneren des Körpers.

Bei der Betrachtung der Wirkung der Felder auf den Menschen wird in drei Bereiche unterteilt werden, die alle verschieden auf den Körper wirken:

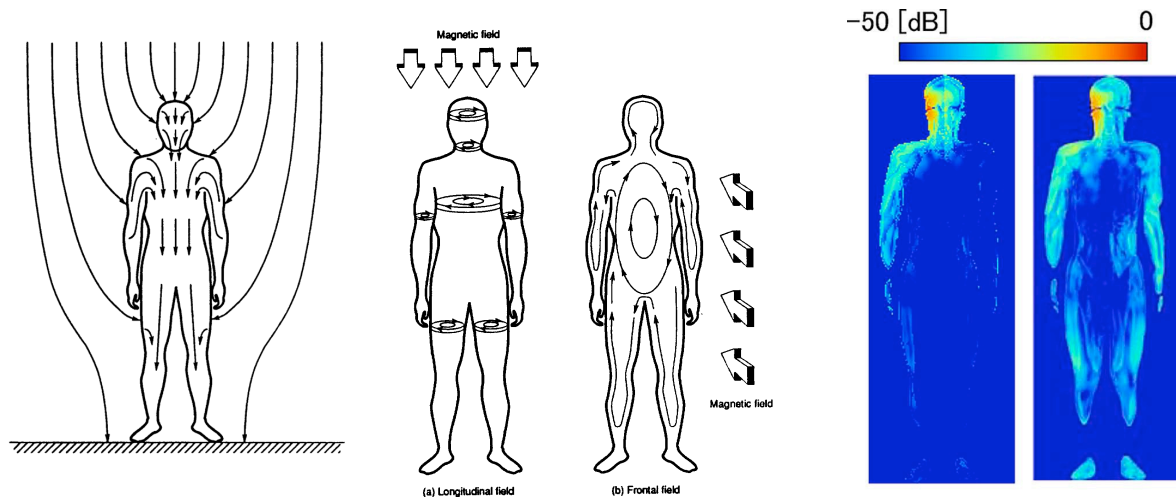
- Niederfrequente elektrische Felder
- Niederfrequente magnetische Felder
- Hochfrequente elektromagnetische Felder

Niederfrequente elektrische Felder (z.B. unter einer Hochspannungsleitung) bewirken einen Stromfluss durch zeitlich sich ändernde Influenzladungen, die durch den Körper fließen und eine Stromdichte im Gewebe bewirken. Das elektrische Feld wird durch den Körper sehr stark verzerrt, bei einem Gleichfeld ist das Körperinnere feldfrei.

Niederfrequente magnetische Felder induzieren Strom im Körper nach dem Induktionsgesetz. Induzierter Strom fließt in Kreisbahnen durch den Körper („Wirbelstrom“), daher ist es auch abhängig davon, an welcher Stelle des Körpers bei welchem Querschnitt sich der induzierte Strom einstellt. Im Unterschied zum elektrischen Feld durchdringt das (niederfrequente) magnetische Feld den menschlichen Körper ohne wesentlich verändert zu werden. Im magnetischen Gleichfeld wird kein Strom induziert.

Bei hochfrequenten elektromagnetischen Feldern kann man elektrisches und magnetisches Feld nicht mehr trennen. Bei Fernfeldbedingungen sind diese im freien Raum durch den Freiraumwellenwiderstand von 377 Ohm miteinander verknüpft. Die elektromagnetische Wellen dringt in den Körper ein (je niedriger die Frequenz desto weiter) und durch dielektrische Verluste wird ein Strom induziert und Leistung im Gewebe in Wärme umgewandelt (wie in Kap. 3.3 beschrieben).

Die Charakteristika der Auswirkung der verschiedenen externen Felder auf den menschlichen Körper wird in der folgenden Abbildung gezeigt.



NF elektrisches Feld

NF magnetisches Feld

HF-Feld

Die relevanten Größen für die Einhaltung der Grenzwerte sind die Felder und Ströme im Inneren des menschlichen Körpers. Diese Größen sind messtechnisch nur sehr schwer bzw. garnicht zugänglich. Deshalb muss man bei der Bestimmung dieser Größen numerische Simulation mit Hilfe von menschlichen Körpermodellen einsetzen.

Die Körpermodelle sind heute komplexe heterogene Modelle mit vielen verschiedenen Gewebearten mit den dazugehörigen elektrischen Materialeigenschaften. Die elektrische Leitfähigkeit und die Permittivität sind von der Frequenz abhängig. Weiters muss für die Berechnung der SAR auch die Dichte der verschiedenen Gewebe bekannt sein.

Wenn das Körpermodell definiert ist können die elektromagnetischen Felder im gesamten Frequenzbereich mit unterschiedlichen Algorithmen numerisch berechnet werden. Die verschiedenen Algorithmen sind für verschiedene Szenarien und Frequenzbereiche geeignet. Für die Berechnung von SAR in menschlichen Körpermodellen im Frequenzbereich $>1\text{MHz}$ wird meistens FDTD (= Finite Differences in Time Domain) verwendet. Für den niedrigen Frequenzbereich gibt es eigene Solver für elektrische und magnetische Felder.

Für Fragen stehe ich gerne unter stefan.cecil@seibersdorf-laboratories.at zur Verfügung.

Viel Erfolg und alles Gute!

Beste Grüße,
Stefan Cecil