

Abschlussbericht zum Projekt
Untersuchung der SAR-Verteilung
elektromagnetisch exponierter Versuchstiere

**Jürg Fröhlich, Verónica Berdiñas Torres, Anja Klingeböck,
Neviana Nikoloski, Niels Kuster**

Zürich, September 2003

Zusammenfassung

Übersicht

Mit Hilfe der Methode der Finiten Differenzen im Zeitbereich (FDTD) wurde die Verteilung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) im Körper von exponierten Versuchstieren ermittelt. Die so gewonnenen Simulationsergebnisse wurden an Tierphantomen sowie an einem Rattenkadaver messtechnisch für eine Frequenz verifiziert. Der Untersuchung wurden fernfeldähnliche Expositionsbedingungen zugrunde gelegt, wie sie heute in gebräuchlichen Expositionskammern bzw. TEM-Zellen auftreten. Ziel war es, möglichst fein aufgelöste Modelle einer schwangeren Maus und einer schwangeren Ratte zu erstellen und daraus die SAR-Verteilung bei den technisch weitverbreiteten Frequenzen: 450 MHz, 900 MHz, 1.8 GHz und 5 GHz bei unterschiedlicher Orientierung der Modelle im Feld zu untersuchen. Zum Vergleich wurde auch eine SAR-Verteilung in einem räumlich möglichst hoch aufgelösten Modell des menschlichen Körpers berechnet.

Modelle

Es wurde sowohl ein numerisches Modell für eine trächtige Maus (B6F3C1, 28.7 g, 15. Tag p.c.), als auch für eine trächtige Ratte (Sprague Dawley, 275 g, 15. Tag p.c.) erstellt. Die mittlere Schnittdicke beträgt für die schwangere Maus 0.36 mm und für die schwangere Ratte 0.60 mm. Das Mensch-Modell basiert auf dem Datensatz des "Visible Human Projects". Davon wurden die Schnitte in einem Abstand von 2 mm verwendet. Das Modell entspricht den Anforderungen des "Standard Reference Man" nach ICRP ([2], [3]). Bei den anatomischen Modellen wurden ca. 100 Bereiche von Organen und Gewebesorten unterschieden. Die Permittivität ϵ_r und die Leitfähigkeit σ für eine bestimmte Frequenz können direkt aus dem "Gabriel-Modell" ([11]) errechnet und der Parameter-Datenbank der Simulationsplattform beigefügt werden. Die entsprechenden Werte für die Dichte ρ der Materialien wurden aus verschiedenen Quellen zusammengesucht und in eine Liste aufgenommen, die für alle Simulationen verwendet wurde. Für die Zuordnung der Gewebeparameter zu den identifizierten Geweben und Organen wurde ebenfalls eine Liste erstellt. Für die anatomischen Modelle wurde ein spezielles Datenformat entwickelt. Dieses Datenformat ('Compound-Format') ist sehr flexibel, kann aber nur innerhalb der Simulationsplattform SEMCAD verwendet werden. Es erlaubt praktisch beliebige Auflösungen dank unregelmässigen Gittern oder Subgittern.

SAR-Verteilung

Die SAR-Verteilung wurde in allen Tieren für den Fall einer ebenen Welle berechnet. Dabei steht die Körperlängsachse zweimal senkrecht (Körperlängsachse parallel zum E- resp. H-Feld) und einmal parallel (Körperlängsachse in Richtung des k-Vektors) zur ebenen Welle. Alle Simulationen wurden für die Frequenzen 450 MHz, 900 MHz, 1.8 GHz und 5 GHz durchgeführt. Für die Berechnungen am Mensch-Modell galten folgende Parameter: Frontaler Einfall der ebenen Welle bei E-Polarisation, Frequenzen: 450 MHz, 900 MHz und 1.8 GHz. Zusätzlich zu den SAR-Verteilungen wurden die Durchschnittswerte der SAR und die gemittelten Werte über entsprechende Massenwürfel gerechnet. Im Falle des Menschen sind diese Massenwürfel 10 g und 1 g. Für die Ratte und die Maus wurden die gemittelten Werte über 10 mg, 100 mg und 1 g verlangt. Diese Werte wurden nochmals auf ihre Eignung hin geprüft und gemäss Skalierung über das Durchschnittsgewicht der jeweiligen Spezies auf 50 mg und 5 mg für die Ratte und 5 mg und 0.5 mg für die Maus geändert. Für die oben genannten Frequenzen und Polarisationen wurden die organspezifischen Durchschnittswerte sowie deren Abweichungen vom Ganzkörperdurchschnittswert berechnet.

Resultate

Anatomische, numerische Modelle: Der Abstand der anatomischen Schnitte für die Erstellung des numerischen Modells sowie die Gitterschrittweite haben einen wesentlichen Einfluss auf die numerischen Resultate, vor allem auf die Spitzenwerte der räumlich gemittelten SAR. Diese Abweichungen können bei einer Reduktion des Schnittabstandes um die Hälfte sowie einer entsprechenden Verdoppelung der Auflösung bis zu 2 dB betragen. Erzeugt werden diese Unterschiede durch die nach wie vor unzureichende Auflösung der dünnen Schichten an der Oberfläche der Versuchstiere, die sich zum Teil stark in der Permittivität und Leitfähigkeit unterscheiden. Eine Sättigungstendenz ist daher erst zu erwarten, wenn diese Schichten genügend aufgelöst und zusammenhängend sind. Homogene, anstelle inhomogener Modelle lassen weder eine verlässliche Abschätzung des zu erwartenden Fehlers bezüglich Ganzkörperdurchschnittswert und räumlich gemittelten Spitzenwerten der SAR zu, noch eine Bewertung der Frequenzabhängigkeit dieser Grössen.

Abhängigkeit der Absorption von Frequenz und Polarisation: Die Absorption elektromagnetischer Wellen von Versuchstieren und Menschen ist stark von der jeweiligen Frequenz, der Polarisation der elektromagnetischen Welle und deren Einstrahlrichtung abhängig. Die Regionen hoher und niedriger Absorption variieren je nach Einstrahlbedingung und Frequenz. Erwartungsgemäss ergibt E-Polarisation die höchsten Absorptionswerte. Bei den Modellen der Versuchstiere zeigen sich in der Nähe der Körperresonanz (Maus: 1.8 GHz, Ratte: 900 MHz) bei E-Polarisation deutliche Effekte bezüglich der betrachteten Werte. In der Nähe der Körperresonanz der Versuchstiere befinden sich die Regionen hoher Absorption in der Mitte des Körpers wobei diese Regionen bei den anderen Frequenzen eher in den äusseren Schichten liegen. Resonanzen im Versuchstier sind vorteilhaft, um eine möglichst uniforme SAR-Verteilung in den Organe und Geweben zu erreichen. Auch das Verhältnis zwischen der lokalen Absorption und der durchschnittlichen Ganzkörperabsorption variiert für die Tiermodelle bei den betrachteten Frequenzen. Beim Mensch-Modell sind diese Variationen weit weniger ausgeprägt. Dort ist zu beachten, dass alle betrachteten Frequenzen oberhalb der Körperresonanz liegen.

Als Folge der Abhängigkeit der Regionen hoher und niedriger SAR-Werte ist auch die Abweichung der organspezifischen Durchschnittswerte der SAR stark von der jeweiligen Frequenz, der Polarisation und den genauen Expositionsbedingungen abhängig. Die Interpretation und der Vergleich von Ergebnissen aus Bioexperimenten erfordert deshalb die Berechnung der jeweiligen organspezifischen SAR-Werte. Durch die hohe Variabilität des Absorptionsmusters können bestimmte Organe bis zu zehnmal höheren Dosen ausgesetzt sein. Es ist zu erwarten, dass diese Variabilität bei realen Expositionen, die nicht idealen Fernfeldexpositionen entsprechen, deutlich höher sein können. Falls sich die Tiere im Feld frei bewegen können, ist die Bestimmung der organspezifischen Durchschnittswerte als Funktion des Aufenthaltsortes und der Orientierung zum Feld sowie die Standardabweichung über die ganze Expositionsdauer wichtig.

Übertragbarkeit vom Versuchstier auf den Menschen: Die SAR-Verteilungen zwischen Menschen und Versuchstieren weisen erwartungsgemäss grosse Unterschiede auf. Eine vergleichbare Exposition und eine damit einhergehende vergleichbare Absorptionsverteilung im Körper ist unmöglich zu erreichen. Es bestehen grosse Differenzen bezüglich Verhältnissen zwischen Organgrössen, Organanordnung, Körperlänge, Eindringtiefe, etc. Um trotzdem eine Übertragbarkeit zu erreichen muss sichergestellt werden, dass alle in der Studie zu betrachtenden Organe beim Tier eine grössere oder zumindest gleiche Dosis erhalten. Dieses Expositionsszenario muss zudem sicherstellen, dass die thermische Schwelle in keinem Organ oder Gewebe überschritten wird. Die Hauptschwierigkeit beim Entwurf von Expositionsvorrichtungen für Versuchstiere liegt denn auch im Sicherstellen einer konstanten Exposition aller relevanten Organe über die gesamte

Versuchsdauer. Dabei müssen Aspekte wie verschiedene Haltungen der Tiere, deren Wachstum und allometrische Daten berücksichtigt werden. Die Ganzkörperdurchschnittswert ist für die Übertragbarkeit eine nutzlose Grösse. Sie ist nur zur Abschätzung der thermischen Belastung sinnvoll.

Konsequenzen für den Entwurf von Expositionseinrichtungen: Die berechneten Resultate für die Absorption zeigen eine hohe Variabilität bezüglich der Polarisierung. Resultate aus Freilaufexperimenten, die ebene Wellen oder vergleichbare Expositionsszenarien verwenden sind demnach bezüglich der durchschnittlichen Dosis schwierig zu interpretieren. Es scheint deshalb angezeigt für Bioexperimente die Versuchstiere entweder zu fixieren oder das einfallende Feld bezüglich dessen Polarisierung zu stören, wie dies zum Beispiel in "Reverberation Chambers" der Fall ist. Bei diesen Expositionsszenarien kann das Verhältnis zwischen Durchschnittswert in den Organen und dem ganzen Körper konstant gehalten werden. Die Absorption ist nicht mehr von der Orientierung des Versuchstieres im Feld abhängig.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

- Tierstudien können nur sinnvoll miteinander verglichen werden, wenn die SAR-Werte - zusätzlich zu den Ganzkörperwerten - auch für bestimmte Organe ermittelt werden. Die Daten sollten mindestens folgende SAR-Werte enthalten:
 - SAR über jedes Organ gemittelt inkl. Standardabweichung über alle Versuchstiere und die ganze Expositionsdauer. Die Mittelungsvolumina sollten den 1 g und 10 g Volumina im Menschen entsprechen.
 - räumlich gemittelter Spitzenwert der SAR von jedem Organ inkl. Standardabweichung über alle Versuchstiere und die ganze Expositionsdauer.
 - SAR über den ganzen Körper gemittelt inkl. Standardabweichung über alle Versuchstiere und die ganze Expositionsdauer.
 - räumlich gemittelter Spitzenwert der SAR über den ganzen Körper gemittelt inkl. Standardabweichung über alle Versuchstiere und die ganze Expositionsdauer. Die Mittelungsvolumina sollten den 1 g und 10 g Volumina im Menschen entsprechen.
- Für die exakte Bestimmung der SAR-Verteilungen in Tieren und Menschen sind hochaufgelöste numerische Modelle nötig, um die Unsicherheit bezüglich der Modellparameter möglichst klein zu halten. Modelle, die mit einer Gitterschrittweite von $\lambda/10$ des Gewebes mit der höchsten Permittivität diskretisiert sind, reichen noch nicht aus, um alle relevanten anatomischen Aspekte sowie die zum Teil auftretenden starken Feldgradienten genügend aufzulösen.
- Die SAR-Verteilungen sind speziell bei den höheren Frequenzen wegen der geringen Eindringtiefe stark von der jeweiligen Anatomie abhängig. Deshalb kann mit Schnitten nur ein qualitativer Eindruck der SAR-Verteilungen vermittelt werden. Allgemeine Aussagen sind daraus nicht ableitbar. Um die Unsicherheiten bezüglich Anatomie abschätzen zu können, müsste eine Studie mit mehreren Modellen gleicher Grösse durchgeführt werden.
- Um eine Übertragbarkeit zwischen Versuchstier und Mensch zu erreichen muss sichergestellt werden, dass alle in der Studie zu betrachtenden Organe beim Tier eine grössere oder zumindest gleiche Dosis erhalten. Dieses Expositionsszenario muss zudem sicherstellen, dass die thermische Schwelle in keinem Organ oder Gewebe überschritten wird.

- Um die Variationen und die daraus resultierenden Unsicherheiten bezüglich Exposition möglichst klein zu halten sollen für Bioexperimente Expositionsszenarien verwendet werden, bei denen die Absorption nicht von der Orientierung des Versuchstieres im Feld abhängig ist.
- Mit dem hier verfolgten Studienansatz konnten phänomenologische Aussagen zur Absorption in Versuchstieren und Menschen gemacht werden. Um allgemeinere Aussagen und eine ausführliche Unsicherheitsanalyse machen zu können, sind weitere Studien unter Verwendung mehrerer anatomischer Modelle für die Versuchstiere sowie den Menschen nötig.

Summary

Overview

SAR distributions within laboratory animals exposed to electromagnetic fields have been calculated using the finite-difference time-domain method (FDTD). The results were experimentally verified at one frequency using an appropriate animal phantom as well as a rat cadaver. Far-field conditions were applied as occurring in frequently used exposure chambers, such as TEM cells. The main goal of the study was the generation of high-resolution anatomical models of a pregnant rat and a pregnant mouse and the calculation of the SAR distribution at the most commonly used frequencies 450 MHz, 900 MHz, 1.8 GHz and 5 GHz at different orientations to the incident field. The results were compared to the SAR distribution within a high-resolution human model.

Models

The numerical models of a pregnant mouse (B6F3C1, 28.7 g, 15 days p.c.) and pregnant rat (Sprague Dawley, 275 g, 15 days p.c.) were generated. The average slice distance for the mouse is 0.36 mm and for the rat 0.60 mm. The whole-body human model is based on the “Visual Human Project” dataset. Every second slice was segmented, resulting in a slice distance of 2 mm. The model fulfills the requirements of the “Standard Reference Man” according to ICRP ([2], [3]). Up to 100 different parts of the body were distinguished in the anatomical models. The dielectric parameters ϵ_r and σ for a given frequency were derived directly from the “Gabriel model” and can be added to the material database of the simulation platform. Values for the density ρ of the materials were taken out of different references and added to a standardized list used for all of the simulations. Also, the assignment of the corresponding parameters to the different parts of the body was fixed and summarized in a list. A special data format was developed in order to efficiently handle anatomical models. This data format (‘Compound format’) can only be used within the SEMCAD simulation platform. It enables high model resolutions through the application of non-uniform grids and subgrids within the simulation platform.

SAR-Distribution

The SAR distributions in the animal models were calculated for the case of an incident plane wave. The body axis was oriented perpendicular in two cases (body axis parallel to the E- and H-field, respectively) and in one case parallel (body axis in the direction of propagation) with respect to the incident plane wave. The simulations were carried out at 450 MHz, 900 MHz, 1.8 GHz and 5 GHz. For the calculations of the whole-body human model, the following parameters were used: incidence from the front for E-polarization at the frequencies of 450 MHz, 900 MHz and 1.8 GHz. In addition to the SAR distributions, the average SAR as well as the spatial peak SAR values for the corresponding mass cubes were calculated. For the human model the spatial peak SAR for 10 g and 1 g mass cubes were evaluated. For the rat and the mouse models the spatial peak SAR for 10 mg, 100 mg and 1 g were required. After reconsidering the rationale for these values, they were adjusted to 50 mg and 5 mg for the rat and 5 mg and 0.5 mg for the mouse. This corresponds to a scaling according to the average body weights of the species compared to the human. Organ-specific average SAR values as well as their deviation from the whole-body average SAR were calculated for all required polarizations and frequencies.

Results

Numerical models: The slice distance for the generation of the anatomical models as well as the grid step used for the simulation have a significant influence on the numerical results especially on the spatial peak SAR values. A deviation of up to 2 dB was observed by reducing the slice distance and the grid resolution by a factor of two. This deviation is mainly caused by insufficiently resolving the thin layers with high variations in permittivity and conductivity at the surface of the body. This effect will lead to a convergence as soon these layers are sufficiently resolved. The use of homogeneous instead of non-homogeneous models does not allow estimation of the error with respect to whole body or spatial peak SAR values, nor derivation of the frequency dependence of these parameters.

Dependence of the absorption on frequency and polarization: The absorption of electromagnetic waves in laboratory animals and humans highly depends on the frequency, polarization and direction of incidence of the wave. Regions of higher and lower absorption vary due to the exposure conditions and frequency. As expected, E-polarization results in the highest absorption. Near the body resonance of the laboratory animals (mouse: 1.8 GHz, rat: 900 MHz) at E-polarization, significant effects are observable. Regions of high absorption are located in the center of the body, whereas at the other frequencies these regions are located at the surface of the models. Resonances within the animals are preferable if a as uniform as possible exposure is required within organs and tissues. Also, the ratio between whole-body averaged SAR and the spatial peak SAR considerably varies at the frequencies of consideration. For the human model these variations are much more moderate; all frequencies considered are above the body resonance.

As a consequence of the variation of location of the regions of high and low absorption, the organ-specific average SAR values also highly depend on the specific exposure situation, i.e., frequency, polarization and direction of incidence. Therefore, the evaluation of organ-specific SAR values is required for the interpretation and comparison of results from bio-assays. Due to the variation of the absorption pattern, the organ-specific average SAR can vary up to a factor of ten. It is expected that this can be even worse in real situations, where different exposure scenarios than far-field exposure are applied. If free running animals are exposed, a careful evaluation of the organ-specific average SAR in all organs as well as their standard deviation dependent upon the position and orientation with respect to the field is necessary. This is clearly supported by the results of this study.

Extrapolation of the exposure from animals to humans: As expected, the SAR distribution within laboratory animals and humans differ significantly. Achieving a comparable exposure and therefore a similar absorption pattern within the body is impossible. There exist large differences with respect to organ size, location of organs, body-length, penetration depth, etc. However, to extrapolate the exposure it is necessary to achieve that all relevant organs and tissues for the study obtain a higher or at least an equal dose compared to humans. In addition, the exposure scenario has to guarantee that the exposure is below the thermal threshold for all organs and tissues. The main challenge in the design of exposure systems is posed by the requirement to achieve an equal dose within the organs over the entire course of the study. Therefore, different aspects such as postures, growth and the ratio between different organs at different ages have to be taken into account. The whole-body average SAR value is of minor importance for the extrapolation of the exposure. It is well suited for estimating the thermal load.

Consequences for the design of exposure systems: The results show a high dependence of the absorption on the polarization. Results from bio-assays using freely moving animals are therefore difficult to interpret with respect to the dose received by the animals. The use of fixed

animals or of exposure systems which stir the incident field, e.g., in reverberation chambers, with respect to the polarization is best suited. In these cases a fixed ratio between the organ-specific averaged SAR and the whole-body averaged SAR can be achieved. Therefore, the exposure is no longer dependent on the orientation of the animal with respect to the incident field.

In conclusion the following can be outlined:

- Animal studies can only be interpreted reliably if SAR values - in addition to the whole-body averaged SAR - are evaluated for the relevant organs. The data must at least include:
 - organ-specific averaged SAR of all organs including their standard deviation for all animals included in the study and for the entire course of the study; the averaging masses have to be appropriately scaled based on the 1 g and 10 g mass cubes for the human
 - spatial peak SAR of all organs including the standard deviation of all animals included in the study and for the entire course of the study
 - whole-body averaged SAR including the standard deviation of all animals included in the study and for the entire course of the study
 - spatial peak SAR of the whole body, including the standard deviation of all animals included in the study and for the entire course of the study; the averaging masses have to be appropriately scaled based on the 1 g and 10 g mass cubes for the human.
- In order to determine the exact SAR distribution within the body of laboratory animals and humans, high resolution anatomical models are necessary to minimize the uncertainties caused by the model parameters. Computational models fulfilling the $\lambda/10$ criterion with respect to the tissue having the highest permittivity are not sufficient to resolve all of the relevant anatomical aspects of the models as well as the steep gradients occurring within tissue.
- Especially at higher frequencies, when the penetration depth is small the SAR distributions are highly dependent on the particular anatomy. Therefore, it is only possible to impart a qualitative impression of the SAR distribution using slices. Based on these, no general conclusions can be drawn. In order to be able to give an overall uncertainty assessment, a study using different models of about the same size would be needed.
- To extrapolate the exposure from laboratory animals to humans, it is necessary to achieve that all relevant organs and tissues for the study obtain a higher or at least an equal dose compared to the human. In addition the exposure scenario has to guarantee that the exposure is below the thermal threshold for all organs and tissues.
- In order to minimize the uncertainties with respect to the orientation in the field, for bio-assays involving laboratory animals exposure systems enabling a fixed ratio between the organ-specific averaged SAR and the whole-body averaged SAR shall be used.
- This study only allows a phenomenological interpretation of the absorption within laboratory animals and humans. In order to be able to draw general conclusions and to carry out a detailed uncertainty analysis, further studies are needed. Several animal models as well as more than one human model are therefore needed.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	12
1.1 Anmerkungen zur verwendeten Schreibweise und den Einheiten	12
2 Zielsetzung	13
2.1 Änderungen im Durchführungsplan	13
3 Modellentwicklung	15
3.1 Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Erzeugung von hochaufgelösten Schnitt- bildern	15
3.2 Segementation der einzelnen Schnittbilder	16
3.3 Entwicklung eines Softwaretools zur Erzeugung der 3D-Modelle	16
4 Simulation der SAR-Verteilung in den Modellen	19
4.1 Simulationsmodell	20
4.2 Gewebeparameter	20
4.2.1 Anteil verschiedener Gewebesorten	21
4.3 Anpassungen der Simulationsplattform	21
5 Mittelungsmassen für die Bestimmung des räumlich gemittelten SAR-Wertes	22
6 Einfluss der Diskretisierung und der axialen Auflösung auf die Genauigkeit	23
6.1 Diskussion	32
7 Physikalische Gewebeparameter	33
8 Absorption in einer Maus unter Fernfeldexposition	35
8.1 SAR-Verteilung auf der Oberfläche und in einem Schnitt	35
8.2 Frequenzabhängigkeit	35
8.3 Polarisationsabhängigkeit	35
8.4 Diskussion	52
9 Absorption in einer Ratte unter Fernfeldexposition	55
9.1 SAR-Verteilung auf der Oberfläche und in einem Schnitt	55
9.2 Frequenzabhängigkeit der Absorption in einer Ratte unter Fernfeldexposition . .	55
9.3 Polarisationsabhängigkeit	55
9.4 Diskussion	71
10 Gleichmässigkeit der SAR-Verteilung in den Tiermodellen	74
11 Absorption in einem Menschen unter Fernfeldexposition	76
11.1 SAR-Verteilung auf der Oberfläche und in einem Schnitt	76
11.2 Frequenzabhängigkeit der Absorption in einem Menschen unter Fernfeldexposition	84
11.3 Diskussion	89
12 Messtechnische Verifizierung der Simulationsergebnisse	91
12.1 Diskussion	96

13 Messtechnische Verifizierung der SAR-Verteilung in einem Rattenkadaver	97
13.1 Diskussion	98
14 Vergleich mit publizierten Resultaten	99
14.1 Diskussion	99
15 Gemittelte Gewebeparameter für Maus, Ratte und Mensch	103
16 Extrapolierbarkeit der Exposition von Tieren auf den Menschen	104
17 Schlussfolgerungen	105
A Tabellen zum Anteil verschiedener Gewebesorten	110
B Resultate zum homogenen und zum inhomogenen Rattenmodell mit unterschiedlicher Auflösung	113
B.1 450 MHz	113
B.2 900 MHz	114
B.3 1.8 GHz	115
B.4 5 GHz	116
C Tabellen der SAR-Werte für die Absorption in einer Maus unter Fernfeldexposition	117
C.1 E-Polarisation	117
C.2 H-Polarisation	118
C.3 k-Polarisation	119
D Tabellen der organspezifischen Werte für die Absorption in einer Maus unter Fernfeldexposition	120
D.1 E-Polarisation	121
D.2 H-Polarisation	125
D.3 k-Polarisation	129
D.4 Verhältnis zwischen der Absorption im Schwanz und im Körper der Maus	133
E Tabellen der SAR-Werte für die Absorption in einer Ratte unter Fernfeldexposition	134
E.1 E-Polarisation	134
E.2 H-Polarisation	135
E.3 k-Polarisation	136
F Tabellen der organspezifischen Werte für die Absorption in einer Ratte unter Fernfeldexposition	137
F.1 E-Polarisation	138
F.2 H-Polarisation	142
F.3 k-Polarisation	146
F.4 Verhältnis zwischen der Absorption im Schwanz und im Körper der Ratte	150

G Tabellen für die SAR-Werte für die Absorption in einem Menschen unter Fernfeldexposition	151
G.1 E-Polarisation	151
G.2 H-Polarisation	152
G.3 k-Polarisation	153
H Tabellen für die organspezifischen Werte für die Absorption in einem Menschen unter Fernfeldexposition	154
H.1 E-Polarisation	154
I Zuordnung der einzelnen Organe zu den Gewebeparametern	160
I.1 Tiermodelle	160
I.2 Mensch-Modell	165

1 Einführung

Einer der wichtigsten Faktoren in Zusammenhang mit Bioexperimenten zur Klärung potentieller Gesundheitsrisiken durch Mobilfunktechnologien ist die möglichst genaue Bestimmung der Unsicherheiten bezüglich der Exposition. Hier sollen vor allem Aspekte untersucht werden, die bei Bioexperimenten mit Versuchstieren auftreten. Die Expositionsvorrichtungen werden für die jeweilige Versuchsanordnung entworfen. Dabei gibt es normalerweise genaue Anforderungen an die Art und Weise der Expositionscharakteristik, wie z.B. möglichst uniforme Ganzkörperabsorption oder eine möglichst lokale Exposition des Kopfes, etc.. Um sicherzustellen, dass diese Anforderungen erfüllt werden, ist es nötig, schon während des Entwurfs numerische Methoden einzusetzen, um die Anordnung bezüglich den Anforderungen zu optimieren. Im Nachhinein muss die Expositionseinrichtung dosimetrisch charakterisiert werden. Dies geschieht normalerweise experimentell mit entsprechenden Messeinrichtungen und mittels numerischer Simulation. Die numerische Dosimetrie sollte für Experimente mit Versuchstieren folgende Daten liefern:

- Ganzkörperdurchschnittswert der SAR
- Räumlich gemittelter SAR-Spitzenwert vom ganzen Tier
- Räumlich gemittelter SAR-Spitzenwert in allen Organen
- Organspezifischer Durchschnittswert der SAR
- Abhängigkeit der Dosis von Gewicht und Haltung des Tieres
- Bestimmung der Unsicherheiten aller anderen Expositionsparameter sowie die Bestimmung der Temperaturbelastung

Die Resultate der numerischen Dosimetrie werden anschliessend für bestimmte Szenarien experimentell validiert. Um dies zu ermöglichen werden Tierphantome in der Form von geeigneten Behältnissen verwendet, die mit gewebesimulierender Flüssigkeit gefüllt werden können. Die Messungen in Tierkadavern sind sehr aufwendig, und die zu erreichende Genauigkeit ist begrenzt, da viele Unsicherheiten bezüglich dem realen und dem numerischen Tiermodell bestehen.

Für die numerische Dosimetrie müssen entsprechende anatomische Modelle der Tiere generiert werden. Dies wurde bis anhin mittels MRT-Schnitten erreicht. Auf diesen Schnitten wurden die verschiedenen Organe und Gewebe identifiziert und einem vorgegebenen Raster zugewiesen. Das Resultat war dann ein sogenanntes ‘Voxelmodell’, eine Repräsentation des Tieres mittels einer Ansammlung kleiner Würfel, denen die entsprechenden Materialparameter zugewiesen sind.

Frühere Studien [13] haben gezeigt, dass Modelle mit einer Auflösung grösser als 1 mm unzureichend sind, um die Absorption im Körper von Ratten und Mäusen zuverlässig zu bestimmen. Die Auflösung sollte dafür wenigstens 0.5 mm, noch besser weniger als 0.1 mm betragen. Diese Anforderung verlangt wegen den physikalischen Grenzen der heutigen MRT-Technik (z. B. Messzeit versus Auflösung) neue Methoden zur Erzeugung hochaufgelöster Schnittbilder. Diese verfeinerten Modelle ermöglichen daher auch eine genauere Bestimmung der Absorption in den Versuchstieren, den einzelnen Organen und Geweben.

1.1 Anmerkungen zur verwendeten Schreibweise und den Einheiten

Die Werte sind im allgemeinen in wissenschaftlicher Notation gegeben, d.h. $1.0 \cdot 10^{-3}$ wird als 1.0e-03 geschrieben. Die Abbildungen von SAR-Verteilungen enthalten eine Skala in dB. Der zugehörige 0 dB Wert ist im Text gegeben (ist der 0 dB Wert gleich 15 W/kg, entspricht -10dB einem Zehntel, d.h. 1.5 W/kg, -20dB einem Hundertstel, d.h. 0.15 W/kg, etc.).

2 Zielsetzung

Mit Hilfe numerischer Methoden soll die Verteilung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) im Körper von exponierten Versuchstieren ermittelt werden. Die so gewonnenen Simulationsergebnisse werden an einem Tierphantom messtechnisch für eine Frequenz verifiziert. Der Untersuchung werden fernfeldähnliche Expositionsbedingungen zugrunde gelegt, wie sie heute in gebräuchlichen Expositionsammern bzw. TEM-Zellen auftreten. Ziel ist es, möglichst fein aufgelöste Modelle der Versuchstiere zu erstellen. Dies kann entweder durch Kernspinaufnahmen oder durch Microtom-Schnitte erreicht werden.

Primär ist die Verteilung der spezifischen Absorptionsrate bei den technisch weitverbreiteten Frequenzen 450 MHz, 900 MHz, 1.8 GHz und 5 GHz bei unterschiedlicher Orientierung der Modelle im Feld zu untersuchen. Zum Vergleich wurde auch eine SAR-Verteilung in einem räumlich möglichst hoch aufgelösten Modell des menschlichen Körpers berechnet.

Es ist grundsätzlich darauf hinzuweisen, dass es sich bei dieser Studie, aufgrund der Verwendung nur eines einzelnen Modells jeder Spezies, um eine phänomenologische Untersuchung der Absorption handelt. Allgemeine Aussagen über die Absorption in Mäusen, Ratten und Menschen können nur mit grösster Vorsicht gemacht werden. Daher wird in diesem Bericht auch auf Unsicherheitsanalysen verzichtet. Eine ausgefeilte und ausführliche Unsicherheitsanalyse hätte den Rahmen des Projektes deutlich gesprengt.

2.1 Änderungen im Durchführungsplan

- Anstelle von Wistar Ratten wurden Sprague Dawley Ratten für die Erstellung der Modelle verwendet. Der markanteste Unterschied zwischen den Wistar und den Sprague Dawley Ratten ist das Körpergewicht. Die Sprague Dawley Ratten haben beim gleichen Alter ein höheres Körpergewicht. Die Entwicklungskurve des Körpergewichts von Wistar Ratten kann aber durch entsprechende Skalierung aus derjenigen von Sprague Dawley Modellen erzeugt werden.
- Im ursprünglichen Angebot war von im zehnten Tag schwangeren Tieren die Rede (10. Tag p.c.). Gemäss Auskunft des Tierlabors sind die Embryonen am zehnten Tag noch relativ klein, am fünfzehnten aber schon gut erkennbar. Um die Aussagen über die Exposition der Embryos zu verbessern, d.h. das Mittelungsvolumen zu vergrössern, wurde deshalb entschieden, im fünfzehnten Tag schwangere Tiere zu verwenden.
- Für die Ratte und die Maus wurden im Angebot 10 mg, 100 mg und 1 g als Mittelungsmassen zur Berechnung des räumlich gemittelten SAR-Spitzenwertes festgelegt. Diese Werte wurden nochmals auf ihre Eignung hin geprüft und gemäss Skalierung über das Durchschnittsgewicht der jeweiligen Spezies auf 50 mg und 5 mg für die Ratte sowie 5 mg und 0.5 mg für die Maus geändert.
- Die Berechnung des Menschenmodells bei 5 GHz verlangt eine Auflösung von <0.9 mm und daher einen entsprechend grossen Speicherbedarf (>300 Mio. Voxel). Dies hätte eine spezielle, aufwendige Erweiterung der Simulationsplattform verlangt, die den Rahmen dieses Projekts gesprengt hätte. Deshalb wurde auf die Simulationen mit dem Menschenmodell bei 5 GHz verzichtet.
- Zusätzlich zu den im Angebot beschriebenen Berechnungen wurde eine Studie zum Einfluss verschiedener Diskretisierungen und Schnittabstände bei den Tiermodellen auf den Ganzkörperdurchschnittswert sowie die organspezifischen Durchschnittswerte der SAR

durchgeführt. Dies ist für die Interpretation und zum Vergleich von Resultaten verschiedener Studien bezüglich numerischer Dosimetrie wichtig.

- Zusätzlich zu den im Angebot beschriebenen Berechnungen wurden die SAR-Werte in homogenen Tiermodellen berechnet. Dies erlaubt die Abschätzung des Fehlers bezüglich Ganzkörperdurchschnitt der SAR und räumlich gemittelten SAR-Spitzenwerten bei Verwendung homogener an Stelle von anatomisch korrekten inhomogenen Modellen.
- Gemäss Angebot sollten die SAR-Werte für den Menschen bei den vorgegebenen Frequenzen bei frontalem Einfall und E-Polarisation berechnet werden. Zusätzlich zu den Werten bei E-Polarisation wurden H- und k-Polarisation für 450 MHz und 900 MHz ebenfalls bestimmt.
- Durch den weit höheren Aufwand für die Erstellung der Schnittbilder und für die Segmentierung wurde eine Verlängerung des Projektes nötig. Zudem entstanden Mehrkosten in der Höhe von 100'000 Euro. Diese wurden vor allem durch die Entwicklung des neuen Verfahrens für die Erstellung der Schnittbilder sowie die länger als geplant ausgefallene Segmentierungszeit verursacht. Es konnten weitere Finanzierungspartner gefunden werden, die bereit waren, einen Teil der angefallenen Mehrkosten zu übernehmen.

3 Modellentwicklung

In der ersten Phase des Vorhabens wurde jeweils ein Modell für eine trächtige Maus (B6F3C1, 28.7 g, 15. Tag p.c.), als auch für eine trächtige Ratte (Sprague Dawley, 275 g, 15. Tag p.c.) erstellt. Die ursprüngliche Idee war, diese auf dem Magnetresonanztomographen des Max-Planck-Instituts für Hirnforschung in Köln anfertigen zu lassen, da dieser speziell für Kleintiere ausgelegt ist und die weltweit beste Auflösung erreicht. Die Analysen unserer früheren Daten zeigten aber, dass diese nicht genügten und weitere Verbesserungen notwendig wurden. Parallel zu den Experimenten im Magnetresonanztomographen wurden auch die Möglichkeiten mit anderen Methoden untersucht, zum Beispiel mit Microtom-Schnitten. Es handelt sich dabei um sehr dünne Schnitte (0.01 mm) von gefrorenem Gewebe oder einzelner Organe. Als problematisch erwies sich die Anfertigung von Schnitten ganzer Tiere. Einerseits sind die zur Verfügung stehenden Microtome zu klein, um ganze Tiere aufnehmen zu können, andererseits halten die Microtommesser den Knochen und Zähnen der Tiere nicht stand.

3.1 Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Erzeugung von hochaufgelösten Schnittbildern

Ein wesentlicher Faktor bei der Erstellung exakter hochaufgelöster Tiermodelle ist die Qualität der zur Verfügung stehenden Datensätze. Unter Qualität versteht man in diesem Zusammenhang den Kontrast und die räumliche Auflösung. Bei Magnetresonanztomographie-Aufnahmen (MRT) unterteilt sich die räumliche Auflösung in die flächenhafte Auflösung der einzelnen Bilder und in die Schichtdicke. Sowohl die flächenhafte Auflösung als auch die Schichtdicke sind durch die Messzeit limitiert. Bei der flächenhaften Auflösung können innerhalb akzeptabler Messzeiten 100 dpi (0.25 mm pro Bildpunkt) erreicht werden. Die Schichtdicke ist bei vertretbaren Messzeiten auf 1 mm limitiert. Höhere Auflösungen konnten in der Max-Planck-Anlage nur für das Hirn, nicht aber für den ganzen Körperquerschnitt erzielt werden. Diese Begrenzung auf 1 mm führte dazu, rein optische Verfahren in Betracht zu ziehen.

Es wurde eine Prozedur entwickelt, um hochaufgelöste Farbbilder aus dem Inneren von Ratten und Mäusen zu erhalten. Die Tiere werden dazu in der gewünschten Körperposition nach einem speziell dafür entwickeltem Verfahren eingefroren und anschliessend mit einer ebenfalls eigens dafür entwickelten Apparatur einseitig plan abgetragen. Die so erhaltenen ebenen Schnitte können im Anschluss an das Abtragen mit einem für diese Zwecke adaptierten Hochauflösungs-Scanner digitalisiert werden. Die so erhaltenen digitalen Farbbilder eignen sich bestens für die weitere Segmentierung. Die mit diesem Verfahren erreichte Auflösung und der erhaltene Kontrast übersteigen bei weitem die von MRT-Bildern gewohnte Qualität (siehe Abbildungen 1 und 2). Mit diesem Verfahren lässt sich eine Auflösung von 0.05 mm x 0.05 mm x 0.05 mm erreichen. Ausserdem können bei diesem Verfahren die Tiere leicht in jene Position gebracht werden, die vom Tier während der Exposition eingenommen wird.

Das Modell der schwangeren Maus wurde mit einer mittleren Schichtdicke von 0.36 mm erstellt, das Modell der schwangeren Ratte mit einer mittleren Schichtdicke von 0.60 mm.

Das Mensch-Modell basiert auf dem Datensatz des "Visible Human Projects". Davon wurden die Schnitte in einem Abstand von 2 mm verwendet. Das Modell entspricht den Anforderungen des "Standard Reference Man" nach ICRP ([2], [3]). Verschiedene Möglichkeiten, um auf bereits vorhandene Datensätze zurückzugreifen, wurden untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die Daten des Visible Human Projects, die einzigen sind, die ohne grosse Zusatzkosten für dieses Projekt eingesetzt werden konnten.



Abbildung 1: Schnittbild einer Ratte hergestellt mit hochauflösendem MRT. Die verschiedenen Gewebe zeichnen sich durch unterschiedliche Graustufen aus



Abbildung 2: Schnittbild einer Ratte wie in Abbildung 1 mit dem neuen Microtom-Verfahren hergestellt. Farben und Auflösung bieten eine markant gesteigerte Unterscheidbarkeit der verschiedenen Gewebe und Organe

3.2 Segmentation der einzelnen Schnittbilder

Der Vorteil gescannter Bilder liegt einerseits in der viel höheren Auflösung gegenüber MRT-Daten und andererseits in der Farbinformation. Liegen die Datensätze vor, steht man vor der Aufgabe, die einzelnen Gewebearten zu identifizieren. Es wurden in den vergangenen Jahren viele Versuche unternommen, diese Aufgabe zu automatisieren, um den Aufwand und die Fehlerrate zu reduzieren. Bis heute ist es leider nur zur Entwicklung halbautomatisierter Verfahren gekommen. Softwaretools unterstützen dabei den Segmentierungsvorgang, wobei aber die von der Software generierte Zuordnung immer wieder von Hand korrigiert werden muss. Auch sind diese Softwaretools zur Zeit nur bei Segmentierungen des menschlichen Körpers einsetzbar. Bei den in diesem Forschungsprojekt zu generierenden Tiermodellen musste die Gewebeidentifikation von Hand unter Zuhilfenahme von veterinär-medizinischen und biologischen Atlanten für jedes Bild separat erfolgen. Zur Diskretisierung und Unterscheidung der einzelnen Gewebearten wurden Fachkräfte der biologischen Wissenschaften und der medizinischen Fakultät beigezogen. Zur Identifikation der verschiedenen Organe und Gewebebereiche in einem Schnitt wurde das digitalisierte Bild in die Photoshop-Software importiert. Diese erlaubt die Umrandung von Gebieten und Kennzeichnung der entsprechenden Pfade. Bei beiden Tierarten und im Menschenmodell wurden so mehr als hundert verschiedene Gewebe- und Organarten unterschieden. Darin enthalten sind auch die gewünschten Gewebe- und Organarten von Muskel, Gehirn, Rückenmark, Lunge, Haut, Auge, Knochen und Fett.

3.3 Entwicklung eines Softwaretools zur Erzeugung der 3D-Modelle

Die segmentierte Bildinformation liegt in Form von hunderten von Polyedern vor. Diese Polyeder müssen in ein Datenformat übersetzt werden, welches von der Simulationssoftware SEMCAD

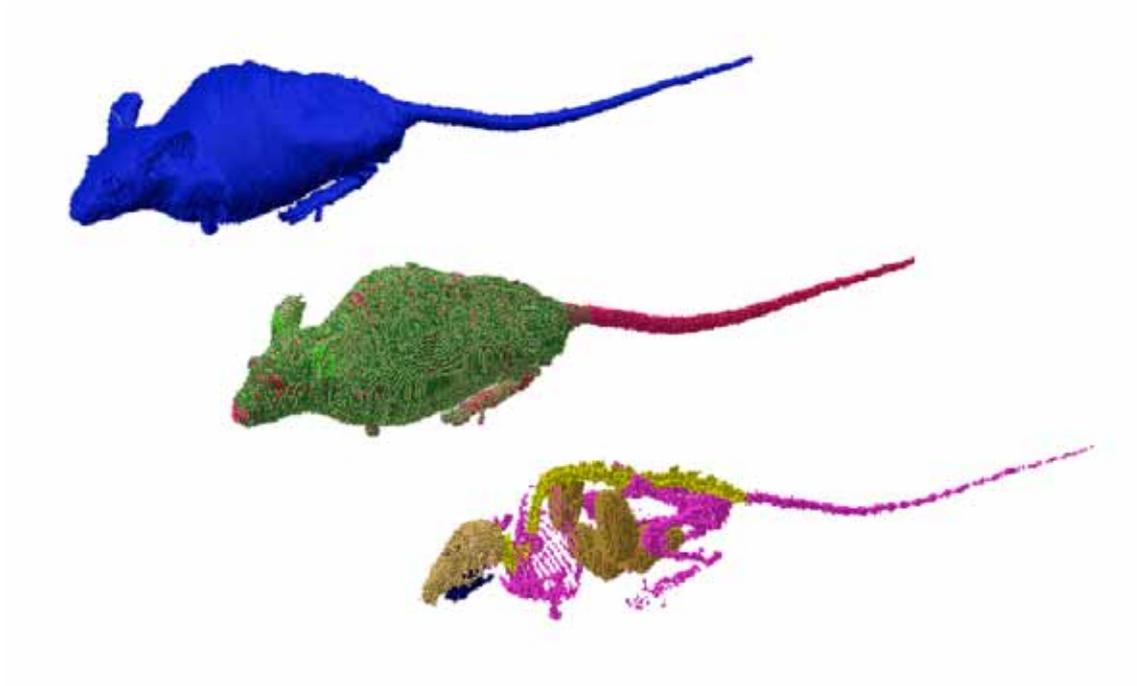


Abbildung 3: Schwangere Maus, oben das 'Compound-Modell', das diskretisierte Modell und das Skelett mit den Embryos (braun)

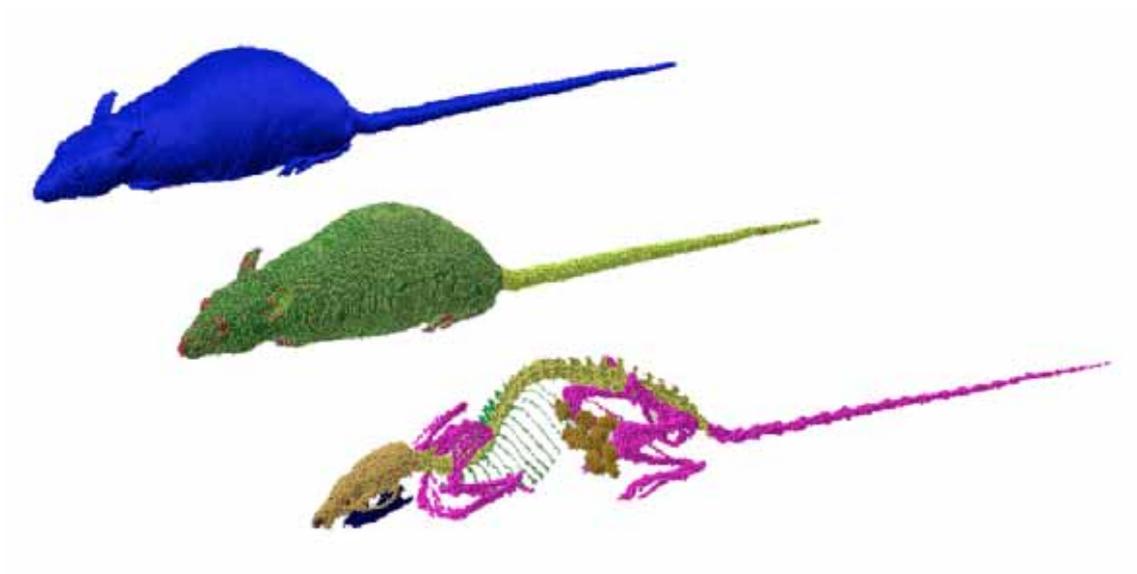


Abbildung 4: Schwangere Ratte, oben das 'Compound-Modell', das diskretisierte Modell und das Skelett mit den Embryos (braun)

unterstützt wird. Dazu wurde ein 3D-Softwaretool entwickelt, welches vollautomatisch die segmentierten Bilder in SEMCAD-kompatible Objekte übersetzt. Dieses Tool muss in der Lage sein,

eine Zahl von mehreren hundert oder mehreren tausend Polyedern handhaben zu können. Aus den Polyedern werden dann die verschiedenen Teile der Modelle erzeugt und zusammengefügt. Um mit solchen grossen Zahlen von 3D-Körpern innerhalb der Simulationsplattform effizient arbeiten zu können, musste auch ein spezielles Datenformat, das 'Compound-Format' entwickelt werden. Mittels der beschriebenen Software wurde aus den bearbeiteten Schnittbildern das dreidimensionale Modell erzeugt, das in die Simulationsplattform SEMCAD importiert werden kann. Die Simulationsplattform erlaubt unter anderem die dreidimensionale Darstellung von komplexen Geometrien sowie deren, nach vorgegebener Auflösung, generierte Diskretisierung. Dieser Schritt erlaubte die sukzessive anatomische Analyse des erstellten Modells und bei Bedarf dessen Korrektur. In den Abbildungen 3 und 4 sind die Modelle der Maus und der Ratte zuerst mittels deren Aussenhülle ('Compound-Modell'), danach diskretisiert und schlussendlich auf wenige Teile reduziert dargestellt. In Abbildung 5 ist das Menschenmodell als 'Compound-Modell' und in diskretisierter Form dargestellt.

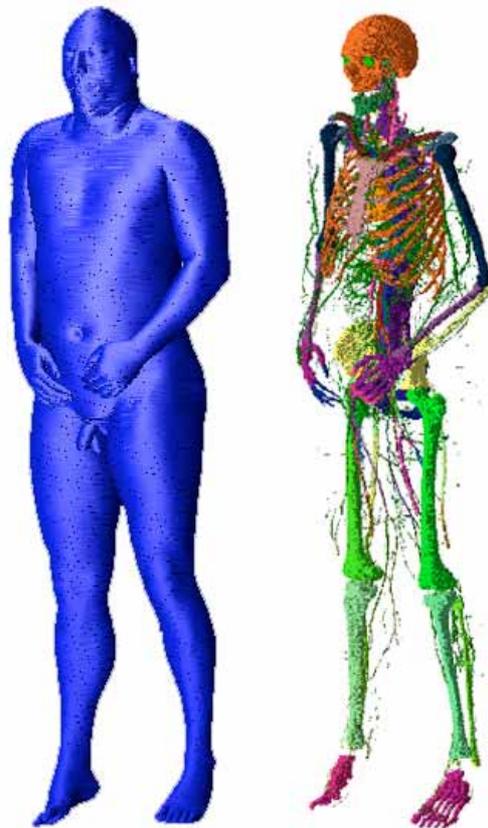


Abbildung 5: Menschenmodell als Vollmodell und rechts nur das Skelett mit den Blutgefässen

4 Simulation der SAR-Verteilung in den Modellen

Die Verteilung der spezifischen Absorptionsrate wurde in allen Tieren für den Fall einer ebenen Welle berechnet. Dabei steht die Körperlängsachse zweimal senkrecht (Körperlängsachse parallel zum E- resp. H-Feldvektor) und einmal parallel (Körperlängsachse in Richtung des k-Vektors) zur ebenen Welle (siehe Abbildung 6). Alle Simulationen wurden für die Frequenzen 450 MHz, 900 MHz, 1.8 GHz und 5 GHz durchgeführt. In der Tabelle 1 sind die Entsprechungen zwischen den Feldvektoren und den Koordinatenachsen angegeben, wie sie in den Simulationen mit den Tiermodellen verwendet wurden.

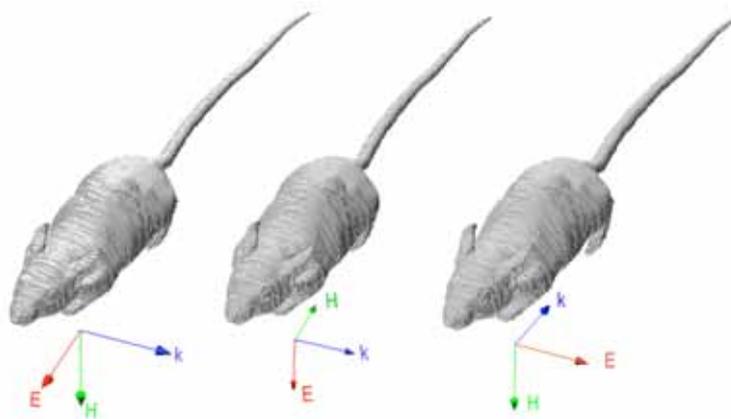


Abbildung 6: Orientierungen der Tiere zu den Feldvektoren für E-, H- und k-Polarisation; Die Körperachse der Tiere entspricht der z-Achse (positive Richtung: Kopf-Schwanz)

Polarisation	x-Achse	y-Achse	z-Achse
E	k	H	-E
H	k	E	H
k	E	H	k

Tabelle 1: Entsprechungen der Feldvektoren und der Koordinatenachsen, wie in den Simulationen mit den Tiermodellen verwendet (Abbildung 6)

Für die Berechnungen am Menschenmodell gelten folgende Parameter: Frontaler Einfall der ebenen Welle bei E-Polarisation, Frequenzen: 450 MHz, 900 MHz und 1.8 GHz. Die Berechnung des Menschenmodells bei 5 GHz verlangt eine Auflösung von <0.9 mm und daher einen entsprechend grossen Speicherbedarf (>300 Mio. Voxel). Dies hätte eine spezielle, aufwendige Erweiterung der Simulationsplattform verlangt, die den Rahmen dieses Projekts gesprengt hätte. Deshalb wurde auf die Simulationen mit dem Menschenmodell bei 5 GHz verzichtet.

Zusätzlich zu den SAR-Verteilungen wurden die Ganzkörperdurchschnittswerte der SAR und die, über entsprechende Massenwürfel, räumlich gemittelten SAR-Spitzenwerte berechnet. Im Falle des Menschen umfassen diese Massenwürfel 10 g und 1 g Gewebe. Für die Ratte und die Maus wurden im Angebot 10 mg, 100 mg und 1 g als Mittelungsmassen zur Berechnung des räumlich gemittelten SAR-Spitzenwertes festgelegt. Diese Werte wurden nochmals auf ihre Eignung hin geprüft und gemäss Skalierung über das Durchschnittsgewicht der jeweiligen Spezies auf 50 mg und 5 mg für die Ratte und 5 mg und 0.5 mg für die Maus geändert. Die Gründe dafür

sind in Kapitel 5 diskutiert.

Alle Simulationen wurden mit der für diese Zwecke an der ETH Zürich entwickelten Software SEMCAD durchgeführt. Dieses Programm basiert auf der Methode der Finiten Differenzen im Zeitbereich (FDTD) und ist speziell für Dosimetrie, Expositionsbestimmungen und Antennendesign optimiert. Die Simulationen wurden je nach Anforderung auf Unix-Workstations (UltraSparc, 2 GB RAM), LINUX-Computern (4 GB) oder auf WindowsXP-Computern (1 u. 2 GB RAM) durchgeführt.

4.1 Simulationsmodell

Das Simulationsmodell besteht aus dem anatomischen Modell im Freiraum. Die Körperachse ist jeweils parallel zur z-Achse. Die Anordnung wird mit einer ebenen Welle angeregt, die entsprechend der gewählten Polarisation einstrahlt. Die Feldwerte können nach der Berechnung aus dem eingefügten Feldsensor ausgelesen werden. Der eingeschwungene Zustand kann anhand von speziellen Kantensensoren an sensitiven Positionen überprüft werden. Abbildung 7 zeigt eine Ratte im Raum zusammen mit der Quelle (rot) und dem Feldsensor (grün). Der Rechenbereich ist nach allen Seiten mit Randbedingungen des Typs PML abgeschlossen. Die Reflexion beträgt weniger als $1.0 \cdot 10^{-6}$.

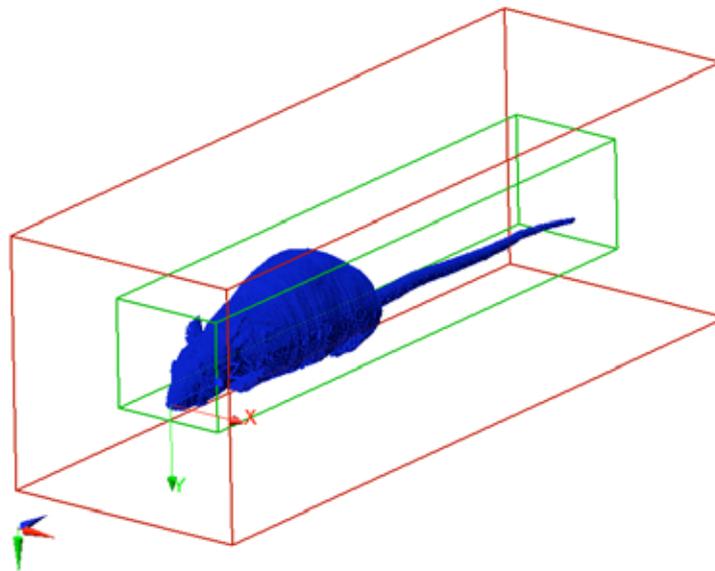


Abbildung 7: Numerisches Modell der Ratte in ebener Welle (rot) umgeben von einem Sensor zur Extraktion der Feldwerte; Die Körperachse der Tiere entspricht der z-Achse (positive Richtung: Kopf-Schwanz)

4.2 Gewebeparameter

Bei der Maus und der Ratte wurden ca. 100 Organe und Körperregionen unterschieden. Die zugehörigen dielektrischen Parameter werden einer in der Simulationsplattform integrierten Datenbank entnommen. Die Permittivität ϵ_r und die elektrische Leitfähigkeit σ für eine bestimmte Frequenz können direkt aus dem "Gabriel-Modell" ([11]) errechnet und der Datenbank beigelegt werden. Die entsprechenden Werte für die Dichte ρ der Materialien wurden aus verschiedenen

Quellen ([1], [8], [5], [12], [7]) zusammengesucht und in eine Liste aufgenommen, die für alle Simulationen verwendet wurde. Die physikalischen Parameter für die Tiermodelle und für das Menschenmodell sind im Anhang I beigefügt. Diese Werte wurden für die Auswertung der Frequenz und Polarisationsabhängigkeit zusammen mit den hochaufgelösten Modellen verwendet. Dem Vergleich mit verschiedenen Auflösungen liegen dieselben Werte für Permittivität und Leitfähigkeit zugrunde, die Dichte wurde aber für alle Materialien als $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ angenommen, was einer Überschätzung der Absorption entspricht. Zusätzlich wurden die Tiermodelle als homogene Strukturen gerechnet, um den Einfluss der Geometrie und der Inhomogenität zu erfassen. Dabei wurde ein künstliches Gewebe mit den Parametern von 2/3 Muskel gewählt, was den durchschnittlichen Gewebeparametern eines Menschen entspricht [6].

4.2.1 Anteil verschiedener Gewebesorten

Für Langzeitstudien ist zusätzlich die Veränderung der Gewichtsverhältnisse der einzelnen Organe zum Körpergewicht relevant. Daher ist es nötig, für Bioexperimente, die sich über die ganze Lebensdauer der Versuchstiere erstrecken, numerische Modelle von verschiedenen alten Tieren zu erstellen. Dies erlaubt die Reduktion der Unsicherheit bezüglich der Gewebeanteile gegenüber der Verwendung von skalierten Modellen. Im Anhang A, in den Tabellen 24, 25 und 26 sind die Anteile der verschiedenen Gewebetypen im generierten Maus-, Ratten- und Menschenmodell zusammengefasst. Muskelgewebe stellt bei allen Spezies den grössten Prozentsatz. Der Anteil an Muskeln beträgt bei der Maus 37.3%, bei der Ratte 50.2% und beim Menschen 42.2%. Als zweithäufigstes Gewebe kommt Fett vor. Dieses ist in der Maus und der Ratte jeweils zu 11% vorhanden und im vorliegenden Menschenmodell zu 15.4%. Beim Menschen kommt zusätzlich noch das Bindegewebe dazu, das aus einer Mischung von Fett und Sehnen besteht. Dieser Anteil beträgt 16.4%. Diese Gewebeart wurde bei den Tiermodellen nicht unterschieden.

4.3 Anpassungen der Simulationsplattform

Die Simulationsplattform SEMCAD wurde für dieses Projekt um einige Funktionen erweitert, um die Auswertung organ- und gewebespezifischer SAR-Werte zu ermöglichen. Dabei kann automatisch eine Liste der gemittelten organ- und gewebespezifischen SAR-Werte sowie eine materialspezifische Liste erstellt werden. Zusätzlich zu den gemittelten Werten erlaubt die Simulationsplattform auch die Darstellung der Feldverteilung in Schnitten in allen Richtungen durch die Modelle, Feldverteilungen auf der Oberfläche der Modelle sowie Histogramm Daten der SAR-Werte in mehreren oder einzelnen Gewebesorten oder Organen.

5 Mittelungsmassen für die Bestimmung des räumlich gemittelten SAR-Wertes

Das dosimetrische Konzept wurde ursprünglich für die ionisierende Strahlung definiert. Dabei wird die absorbierte Energie pro Einheitsmasse als Maß für die Dosis betrachtet. Zugrunde liegt die Annahme einer Relation zwischen der Dosis und den biologischen Effekten. Dieses Konzept wurde später auf die nicht-ionisierende Strahlung übertragen.

Für die Definition eines Grenzwertes für die Absorption nicht-ionisierender Strahlung bestimmt nicht nur die Dosis und die passive Wärmeleitung im Gewebe, sondern auch der aktive Wärmeregulationsmechanismus des jeweiligen Organismus die aktuelle Temperaturerhöhung im Gewebe. Dieser höchst komplexe Mechanismus ermöglicht die Ableitung von Temperaturerhöhungen im ganzen Körper sowie noch stärker von lokalen Temperaturerhöhungen. Dieser Mechanismus ist von verschiedenen Faktoren wie Alter, Gesundheit und von der Art der betroffenen Organe abhängig. Deshalb wurde für die Definition der Dosis das Konzept um die Definition 'absorbierte Leistung pro Einheitsmasse' erweitert.

Diese Definition bezieht sich auf den Menschen. Wegen der viel kleineren Masse der Tiere muss offensichtlich eine entsprechend kleinere Masse genommen werden, um die Dosis zu bestimmen. Im Angebot waren ursprünglich die Werte 10 mg, 100 mg und 1 g für die Maus und die Ratte vorgegeben. Dies entspricht einem 10 bis 100 mal kleineren Massenwürfel bezüglich 10 g und 1 g wie für den Menschen verwendet. Diese Wahl hat aber eigentlich keine rationale Grundlage. Für die Bestimmung eines entsprechenden Massenwürfels können verschiedene Aspekte herangezogen werden.

- Skalierung bezüglich Körpergewicht
- Skalierung bezüglich Organgewicht
- Skalierung bezüglich Verhältnis zwischen Körpergewicht und Oberfläche
- etc.

Es sind sicherlich noch andere Skalierungsmöglichkeiten denkbar. Bislang existiert kein Anhaltspunkt, wie zum Beispiel ein empfindlichstes Organ, zur Bestimmung des Skalierungsfaktors für die Dosis. Dies ist Inhalt einer laufenden Diskussion über die Bewertung von Tierstudien bezüglich der Übertragbarkeit beobachtbarer Effekte auf den Menschen. Dabei spielt zunehmend das Verhältnis zwischen dem räumlich gemittelten SAR-Spitzenwert und der Ganzkörperabsorption eine Rolle.

Für die vorliegende Studie wurde nun eine Skalierung bezüglich Körpergewicht gewählt, weil dabei alle Gewebesorten gleich behandelt werden. Ausgehend von einem Durchschnittsgewicht von 70 kg für den Menschen, 350 g für eine Ratte und 35 g für eine Maus wurden die Skalierungsfaktoren 200 (Ratte) und 2000 (Maus) festgelegt. Dies führt zu den Mittelungsmassen von 50 mg und 5 mg für die Ratte und von 5 mg und 0.5 mg für die Maus.

6 Einfluss der Diskretisierung und der axialen Auflösung auf die Genauigkeit

In diesem Abschnitt wird der Einfluss des Schnittabstands (axiale Auflösung) und der Diskretisierung auf den Ganzkörperdurchschnittswert der SAR sowie auf die Spitzenwerte der über einen bestimmten Massenwürfel gemittelten SAR-Werte untersucht. Dafür wurden zwei Modelle der Ratte erzeugt. Bei einem wurde nur jeder zweite Schnitt zur Erzeugung des numerischen Modells verwendet, d.h. der Schnittabstand wurde im Vergleich zum fein aufgelösten Modell verdoppelt. Das Modell mit doppeltem Schnittabstand wurde mit zwei verschiedenen Auflösungen gerechnet, grob und fein. Die Modelle und die dazugehörigen Diskretisierungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Modell	Schnittabstand (mm)	Auflösung axial (mm)	Auflösung lateral (mm)	Voxelvolumen (mm ³)
Ratte				
C-C	1.19	1.19	1.2	~ 1.7
C-F	1.19	0.595	0.6	~ 0.2
F-F	0.595	0.595	0.6	~ 0.2

Tabelle 2: Auflösung der verschiedenen Rattenmodelle zur Untersuchung des Einflusses auf die SAR-Werte

Spezies	1. Masse	2. Masse	Faktor
Mensch	1 g	10 g	-
Ratte	5 mg	50 mg	200
Maus	0.5 mg	5 mg	2000

Tabelle 3: Mittlungsmassen für Mensch, Ratte und Maus

Für die Untersuchung wurden zuerst homogene Tiermodelle verwendet. Die dielektrischen Parameter aller Gewebesorten wurden als 2/3 der Parameter für Muskelgewebe gesetzt. Für die inhomogenen Modelle wurden die dielektrischen Parameter für die Gewebe gemäss C. Gabriel in [9], [10] und [11] gesetzt. Die Dichte ist dabei für alle Gewebe gleich 1 g/cm^3 . Für die endgültigen Simulationen wurden alle Parameter aktualisiert und die entsprechenden Dichten korrigiert. Im Folgenden werden die Resultate für ein homogenes und ein inhomogenes Rattenmodell bei den Frequenzen 450 MHz, 900 MHz, 1.8 GHz und 5 GHz, für die drei verschiedenen Polarisierungen bei den verschiedenen Auflösungen diskutiert.

Die Abbildungen 8, 9, 10 und 11 geben den Einfluss der Polarisierung und der Diskretisierung auf den Ganzkörperdurchschnittswert graphisch wieder. In den Abbildungen 12, 13, 14 und 15 ist dasselbe für das Maximum der über 50 mg gemittelten SAR dargestellt, in den Abbildungen 16, 17, 18 und 19 für das Maximum der über 5 mg gemittelten SAR. Alle Werte sind auf eine einfallende ebene Welle der Leistungsdichte 1 W/m^2 normiert. Die zu den Abbildungen gehörigen Tabellen sind im Anhang B zusammengefasst.

In den Abbildungen 20 und 22 sind die maximalen Abweichungen des Ganzkörperdurchschnittswert der SAR und der räumlich gemittelte SAR-Spitzenwert bei allen betrachteten Frequenzen zwischen dem F-F- und dem C-C-Modell zusammengefasst. Die maximale Abweichung der verschiedenen Polarisierungen bei einer Frequenz zwischen homogenem und inhomogenem Rattenmodell sind in Abbildung 22 dargestellt.

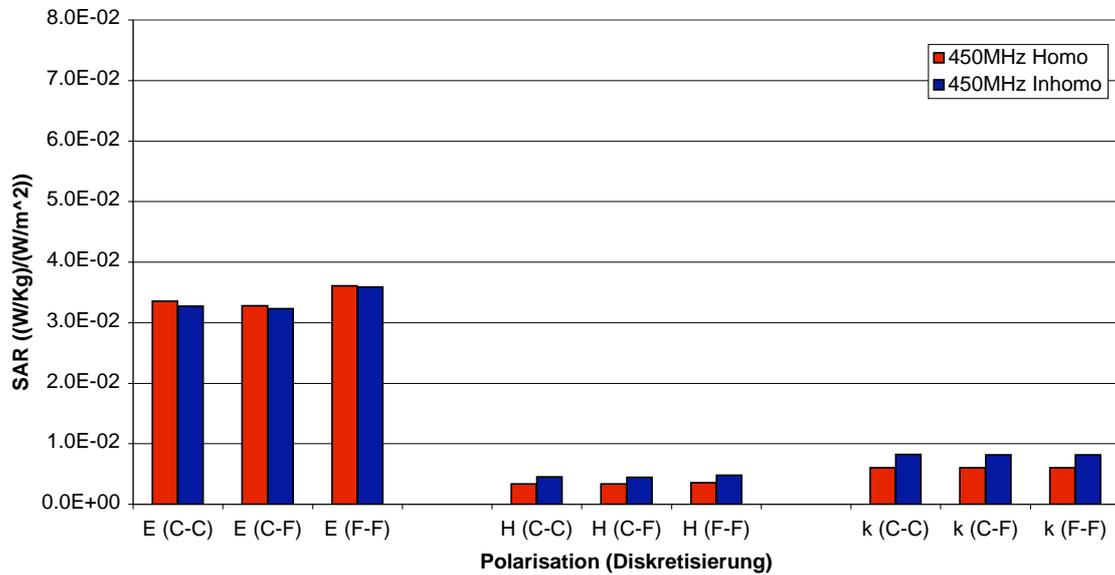


Abbildung 8: Ganzkörperdurchschnittswert der SAR für verschiedene Polarisation und Diskretisierungen bei 450 MHz

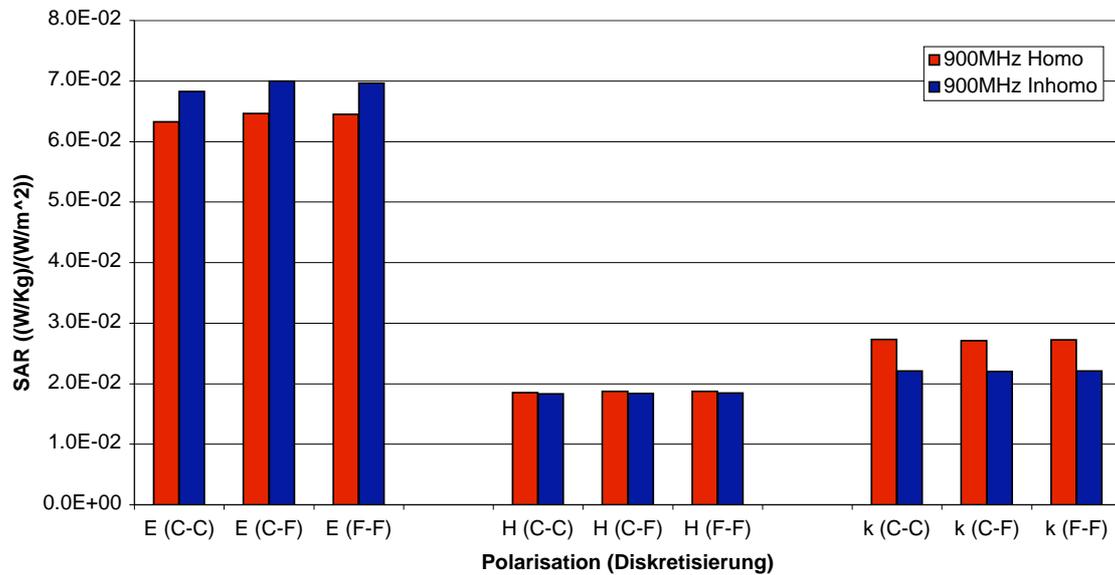


Abbildung 9: Ganzkörperdurchschnittswert der SAR für verschiedene Polarisationen und Diskretisierungen bei 900 MHz

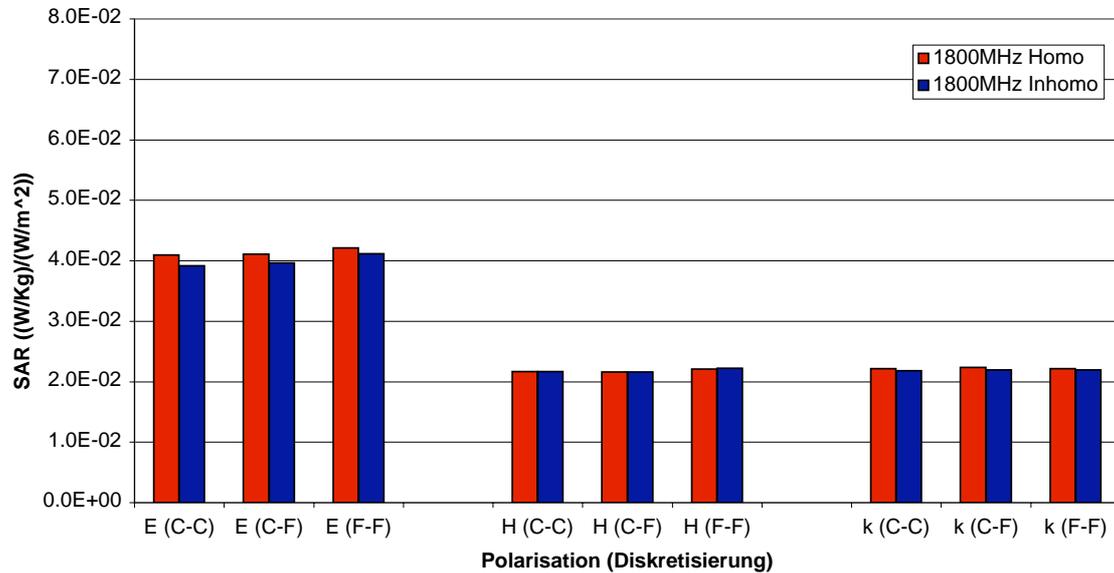


Abbildung 10: Ganzkörperdurchschnittswert der SAR für verschiedene Polarisierungen und Diskretisierungen bei 1.8 GHz

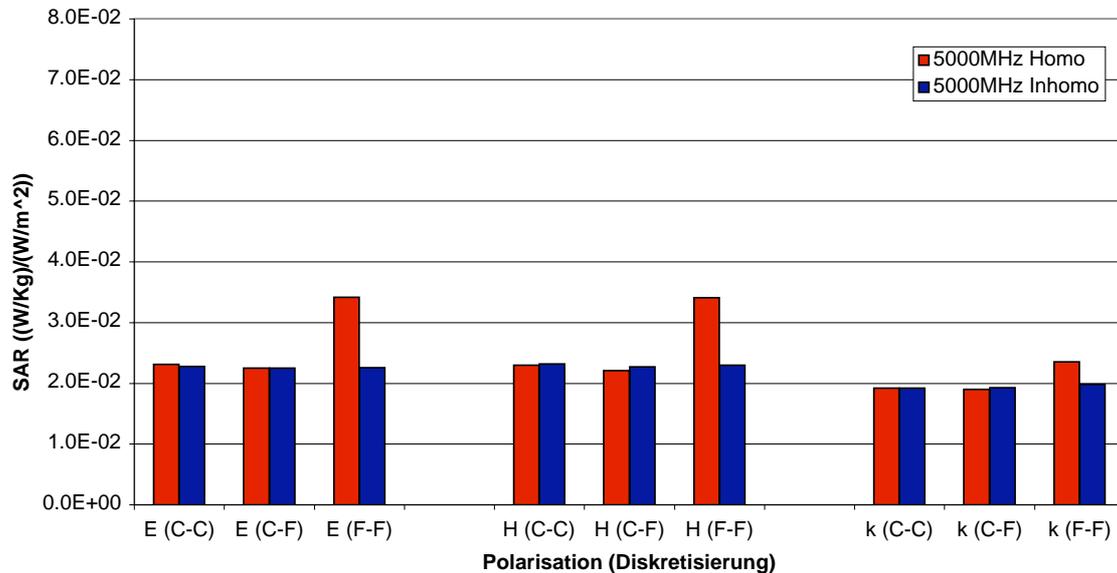


Abbildung 11: Ganzkörperdurchschnittswert der SAR für verschiedene Polarisierungen und Diskretisierungen bei 5 GHz

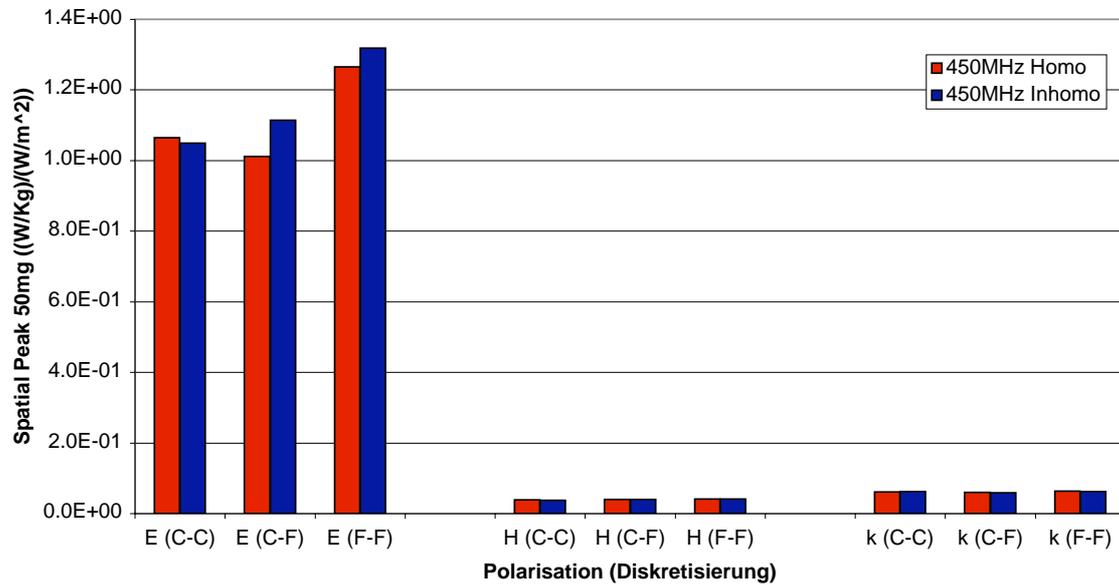


Abbildung 12: Räumlicher SAR-Spitzenwert (Spatial Peak SAR) gemittelt über 50 mg für verschiedene Polarisationen und Diskretisierungen bei 450 MHz

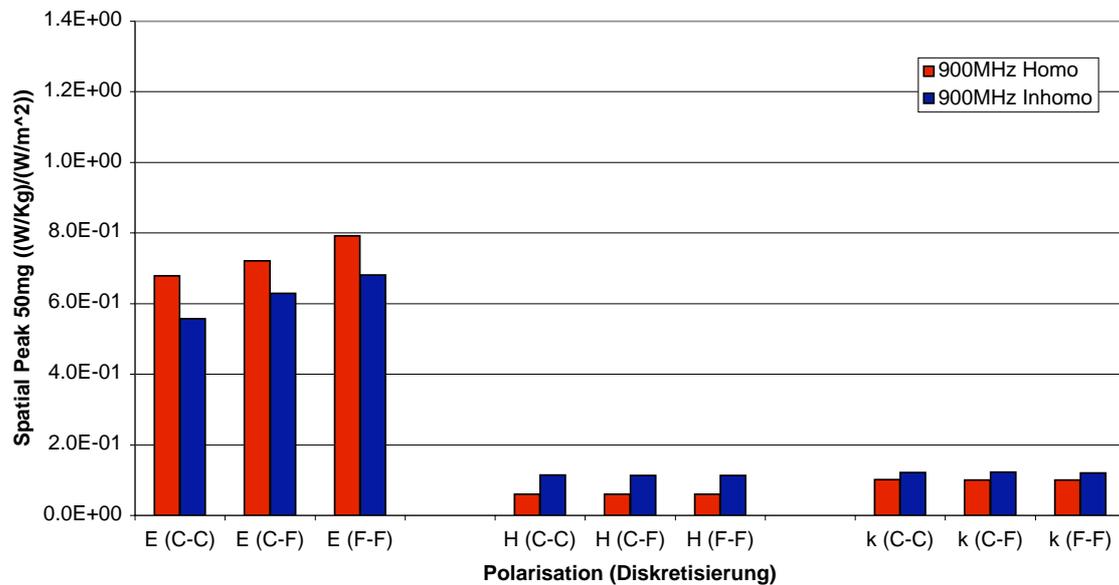


Abbildung 13: Räumlicher SAR-Spitzenwert (Spatial Peak SAR) gemittelt über 50 mg für verschiedene Polarisationen und Diskretisierungen bei 900 MHz

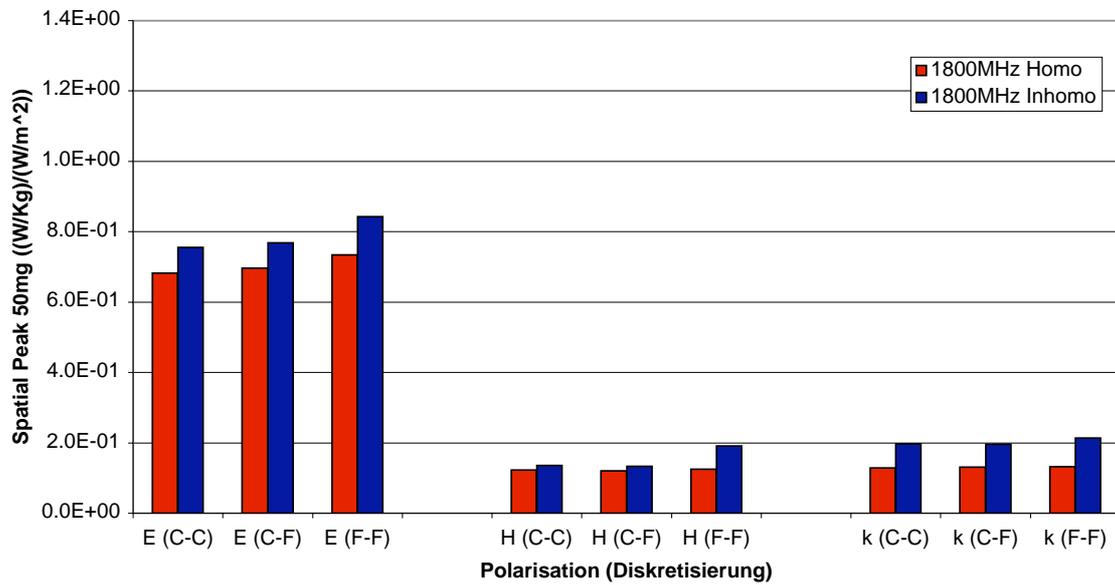


Abbildung 14: Räumlicher SAR-Spitzenwert (Spatial Peak SAR) gemittelt über 50 mg für verschiedene Polarisationen und Diskretisierungen bei 1.8 GHz

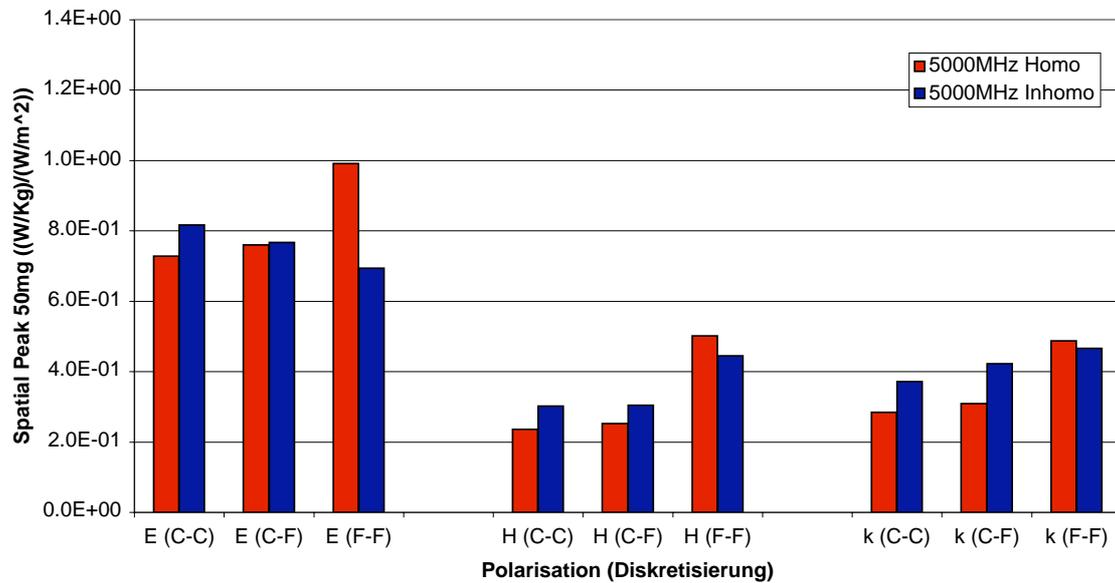


Abbildung 15: Räumlicher SAR-Spitzenwert (Spatial Peak SAR) gemittelt über 50 mg für verschiedene Polarisationen und Diskretisierungen bei 5 GHz

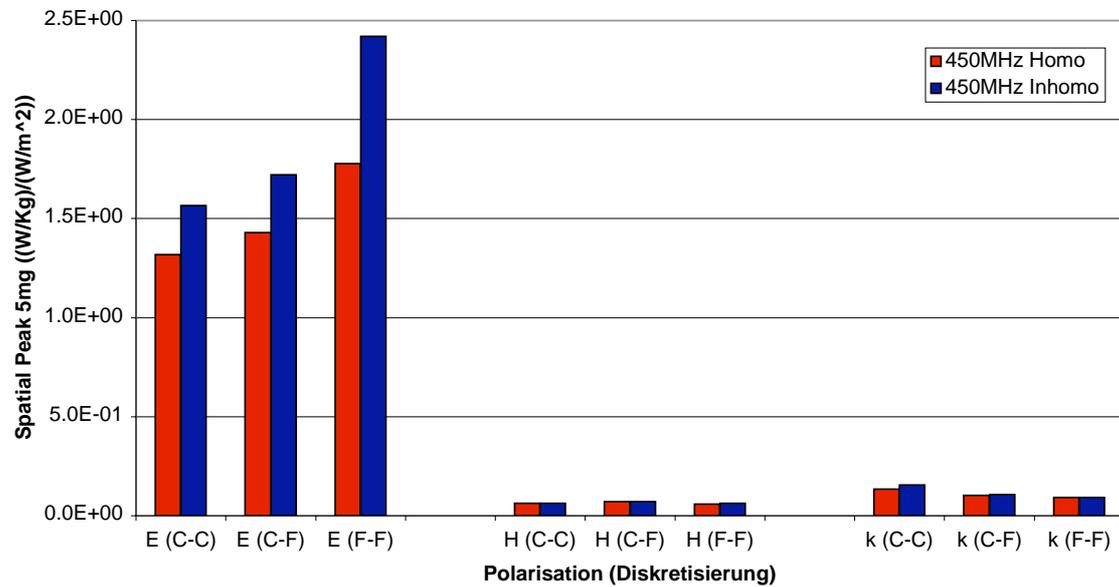


Abbildung 16: Räumlicher SAR-Spitzenwert (Spatial Peak SAR) gemittelt über 5 mg für verschiedene Polarisationen und Diskretisierungen bei 450 MHz

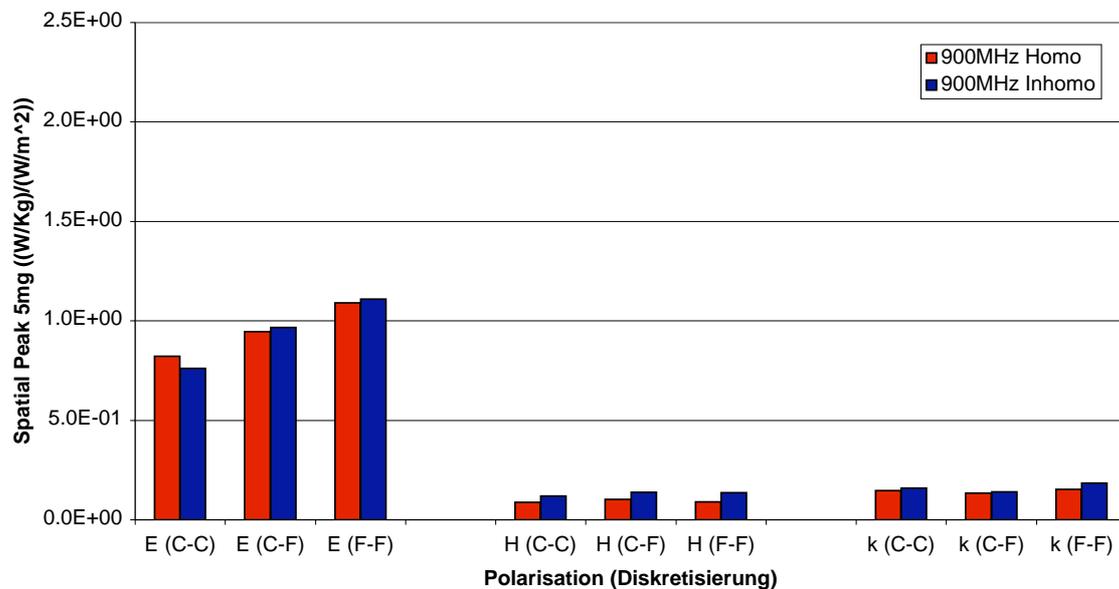


Abbildung 17: Räumlicher SAR-Spitzenwert (Spatial Peak SAR) gemittelt über 5 mg für verschiedene Polarisationen und Diskretisierungen bei 900 MHz

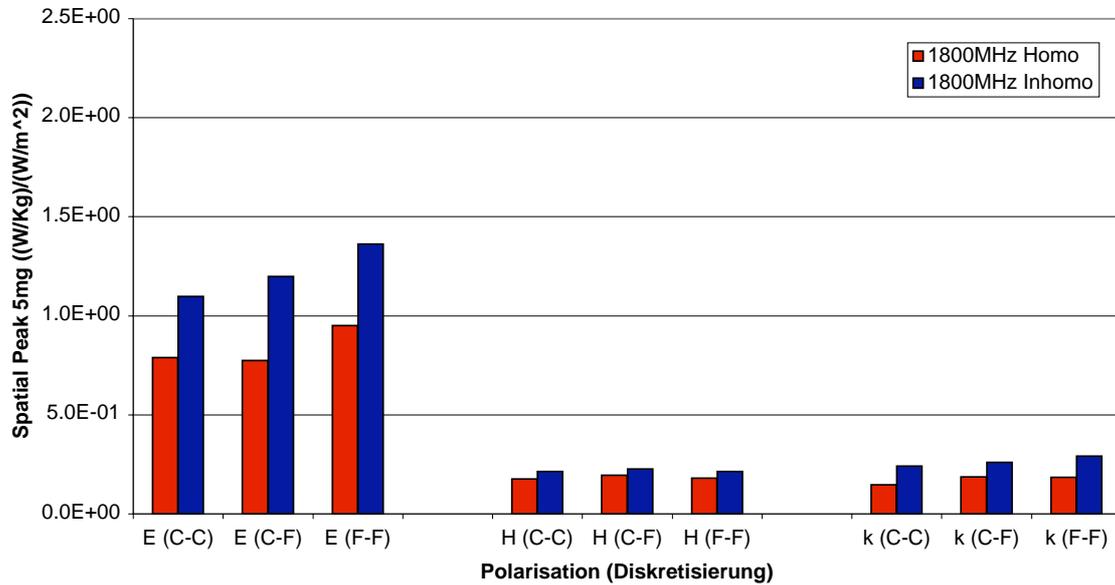


Abbildung 18: Räumlicher SAR-Spitzenwert (Spatial Peak SAR) gemittelt über 5 mg für verschiedene Polarisationen und Diskretisierungen bei 1.8 GHz

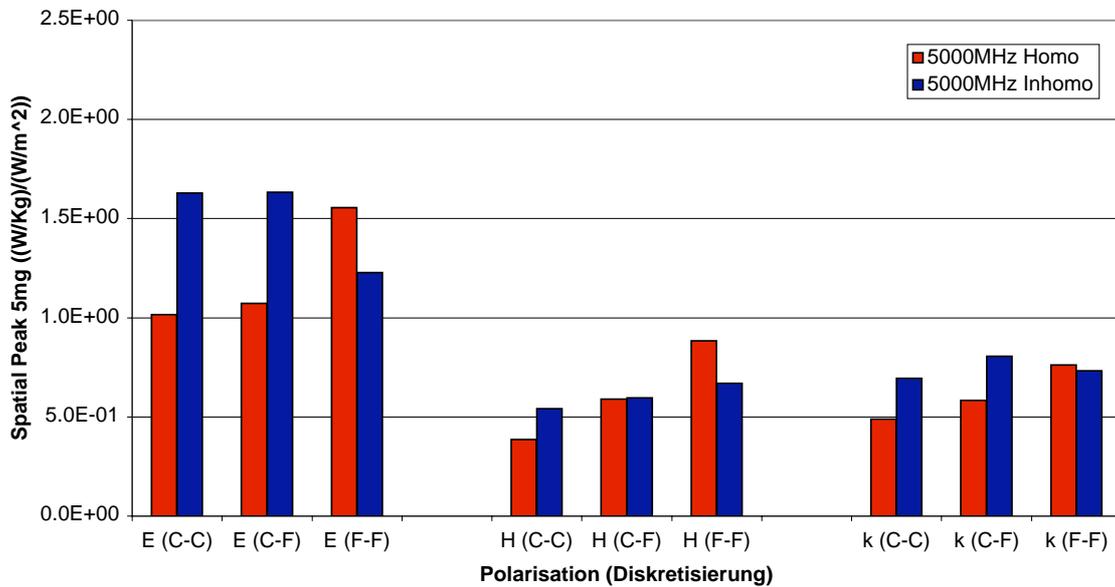


Abbildung 19: Räumlicher SAR-Spitzenwert (Spatial Peak SAR) gemittelt über 5 mg für verschiedene Polarisationen und Diskretisierungen bei 5 GHz

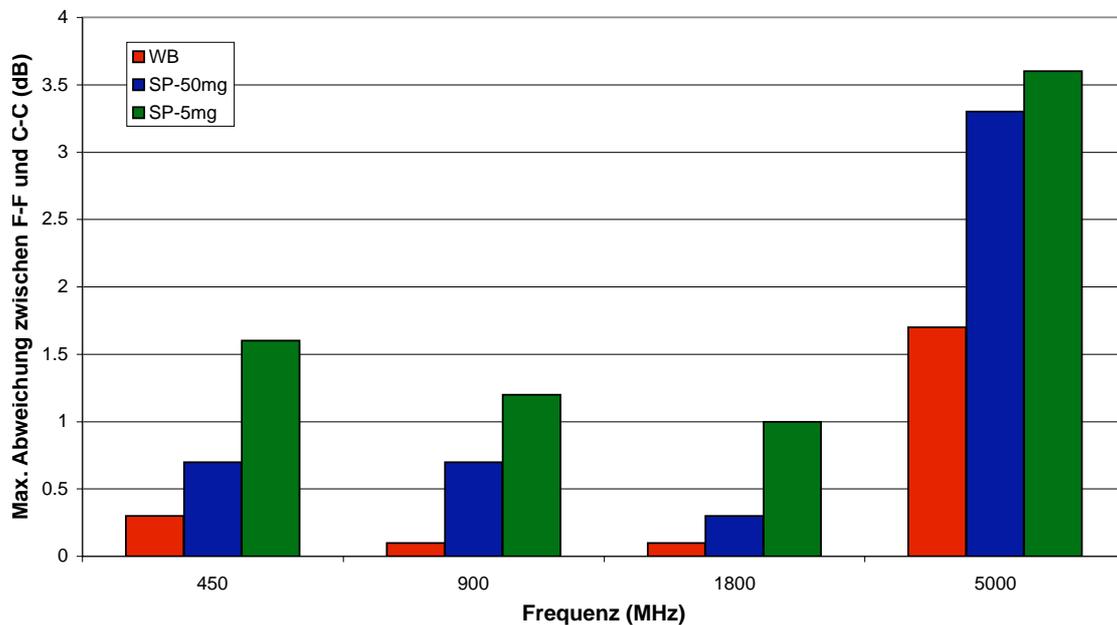


Abbildung 20: Homogenes Modell: Maximale Abweichung des Ganzkörperdurchschnittswerts (WB) und der maximalen Werte der räumlich gemittelten SAR über 50 mg (SP-50mg) und 5 mg (SP-5mg) zwischen dem F-F und C-C Modell bei den betrachteten Frequenzen

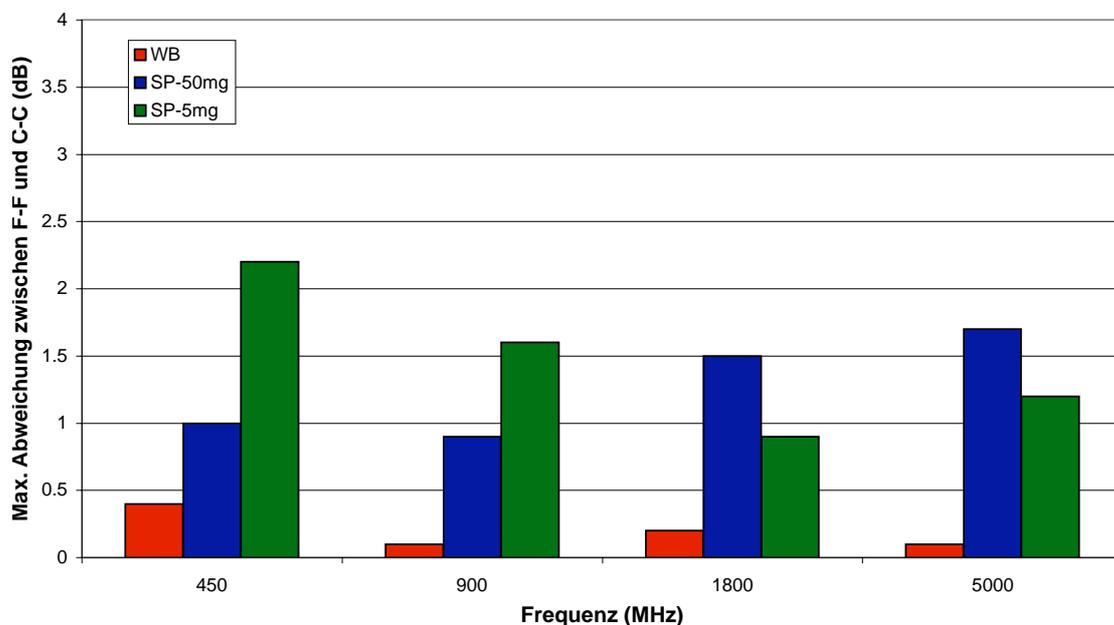


Abbildung 21: Inhomogenes Modell: Maximale Abweichung des Ganzkörperdurchschnittswerts (WB) und der maximalen Werte der räumlich gemittelten SAR über 50 mg (SP-50mg) und 5 mg (SP-5mg) zwischen dem F-F und dem C-C Modell bei den betrachteten Frequenzen

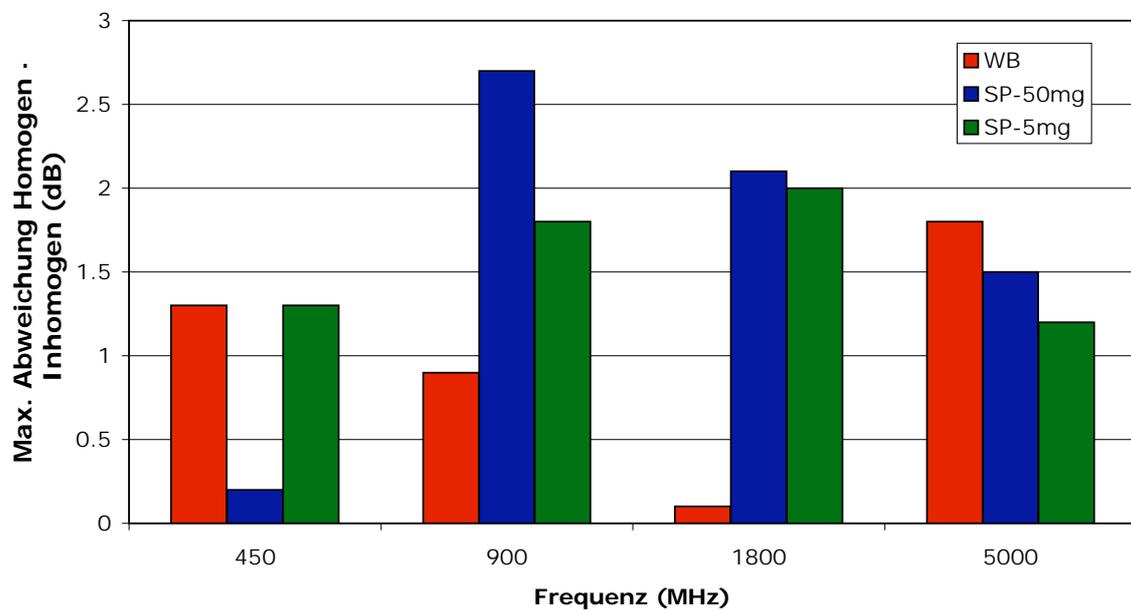


Abbildung 22: Maximale Abweichung des Ganzkörperdurchschnittswerts (WB) und der maximalen Werte der räumlich gemittelten SAR über 50 mg (SP-50mg) und 5 mg (SP-5mg) zwischen dem homogenen und inhomogenen fein aufgelösten Modell der Ratte bei den betrachteten Frequenzen

6.1 Diskussion

Die Schichtdicken am Kopf der verwendeten Ratte betragen für die Haut, die Fettschicht, die darunterliegende Muskelschicht und den Schädel zwischen 0.1 und 0.6 mm. Dabei sind die Haut und die darunterliegende Fettschicht mit ~ 0.2 mm und ~ 0.3 mm von relativ gleichmässiger Dicke. Die folgende Muskelschicht variiert zwischen 0.1 und 0.5 mm und die Schädeldicke zwischen 0.2 und 0.6 mm. Dies macht deutlich, dass die Materialzuweisung stark von der Auflösung abhängig ist. Dabei können die in Realität zusammenhängenden Schichten nach der Diskretisierung deutliche Löcher aufweisen. Diese Effekte führen zu den gezeigten Abweichungen, die beim räumlich gemitteltem SAR Spitzenwert im inhomogenen Tiermodell bei den betrachteten Änderungen um einen Faktor zwei, in axialer und transversaler Richtung mehr als 2 dB betragen können. Eine Sättigungstendenz dieser Werte ist daher erst zu erwarten, wenn, vor allem in Regionen mit stark ausgeprägten Änderungen der Permittivität und der Leitfähigkeit, die Schichtdicke mit mehreren Voxeln aufgelöst wird.

Dies unterstützt die Beobachtung, dass die Tiermodelle eine räumliche Auflösung von deutlich weniger als 0.125 mm^3 haben sollten, um die lokale Exposition verlässlich abschätzen zu können. Die höhere Auflösung bei gleichbleibendem Schnittabstand vermag die Abweichung nur zum Teil zu kompensieren. Die genauere Auflösung der Anatomie hat einen grösseren Einfluss auf die Genauigkeit der Resultate. Der Ganzkörperdurchschnittswert ist erwartungsgemäss deutlich weniger empfindlich bezüglich der Auflösung.

Die Abweichungen zwischen homogenem und inhomogenem Modell ergibt kein konsistentes Bild bezüglich Ganzkörperdurchschnittswert und den räumlich gemittelten Spitzenwerte der SAR. Alle betrachteten Werte sind stark von der Frequenz und der Polarisierung abhängig. Dies lässt weder eine verlässliche Abschätzung des zu erwartenden Fehlers zu, noch eine Bewertung der Frequenzabhängigkeit der betrachteten Grössen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass zur Abschätzung des Ganzkörperdurchschnittswerts sowie der organspezifischen Durchschnittswerte der SAR möglichst hoch aufgelöste inhomogene Modelle verwendet werden müssen. Damit lassen sich die Unsicherheiten bezüglich Auflösung, Orientierung im Feld und Frequenz der einfallenden Welle beachtlich reduzieren. Um diese Aspekte endgültig zu klären, sind weitere Untersuchungen nötig.

7 Physikalische Gewebeparameter

Im Rahmen dieses Projektes wurden alle vorhandenen Gewebeparameter (in Tabelle 4 sind diejenigen für den Menschen zusammengefasst) nochmals auf ihre Gültigkeit und Aktualität überprüft. Zusätzlich wurden auch Quellen für die Dichte der entsprechenden Gewebe gesucht und gefunden. Die Resultate dieses Zusammentragens sind in den Tabellen im Anhang I für die Frequenzen 450 MHz, 900 MHz, 1.8 GHz und 5 GHz zusammengefasst. Alle Werte sind zusammen mit den entsprechenden Quellen angegeben. Alle weiteren Resultate in diesem Bericht basieren auf diesen Gewebeparametern.

Deutsch	Englisch
Auge, Glaskörper	Eye, Vitreous Humor
Auge, Linse	Eye, Lens Cortex
Bänder	Tendon
Bauchspeicheldrüse	Pancreas
Bindegewebe	Connective Tissue
Blase	Bladder
Blut	Blood
Blutgefäße	Blood Vessels
Dickdarm	Colon
Drüsen	Glands
Dünndarm	Small Intestine
Fett	Fat
Gallenblase	Gall Bladder Bile
Haut (trocken)	Skin (dry)
Herz	Heart
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	Cerebro-Spinal Fluid
Hirnsubstanz, Grau	Brain (Grey Matter)
Hirnsubstanz, Weiss	Brain (White Matter)
Hoden	Testicles
Kleinhirn	Cerebellum
Knochenmark, Rot	Bone Marrow (Infiltrated)
Knochenmark, Weiss	Bone Marrow (Not Infiltrated)
Knochen, Rinde	Bone (Cortical)
Knorpel	Cartilage
Leber	Liver
Lunge (Mittelwert aufgebläht/entleert)	Lung (Inflated-Deflated)
Lymph	Lymph
Magen	Stomach
Milz	Spleen
Muskel	Muscle
Nägel	Nails
Nerven	Nerve
Nieren	Kidney
Prostata	Prostate
Rückenmark	Spinal Cord
Schleimhaut	Mucuous Membrane
Speiseröhre	Trachea
Thymusdrüse	Thymus
Unterhaut	Fat-Tendon (Avg.)
Zähne	Teeth
Zunge	Tongue
Zwölffingerdarm	Duodenum

Tabelle 4: Gewebe für das Mensch-Modell inklusive englische Übersetzung wie sie in den Abbildungen zum Teil gebraucht werden

8 Absorption in einer Maus unter Fernfeldexposition

Im Folgenden sind die Resultate eines Mausmodells unter Einfall einer ebenen Welle bei den vorgegebenen Frequenzen zusammengefasst. Die Auflösung des Mausmodells ist $0.4 \times 0.4 \times 0.36$ mm, was einer Voxelgrösse von ~ 0.06 mm³ entspricht. Alle Darstellungen sind auf eine einfallende ebene Welle der Leistungsdichte 1 W/m^2 normiert.

8.1 SAR-Verteilung auf der Oberfläche und in einem Schnitt

Die Abbildungen 23, 24, 25 und 26 zeigen die SAR-Verteilung auf der Oberfläche der Maus bei verschiedenen Frequenzen. Die entsprechenden SAR-Verteilungen in einem Schnitt durch die Maus sind in den Abbildungen 27, 28, 29 und 30 gezeigt. Abbildung 31 zeigt die Positionen bei denen die Transversalschnitte extrahiert wurden. In Abbildung 32 sind die entsprechenden relevanten Organe in den Schnitten hervorgehoben. Die SAR-Verteilungen in diesen Schnitten sind in den Abbildungen 33 bis 40 dargestellt.

Allen Abbildungen ist eine Skala in dB beigefügt. Dabei entspricht 0 dB einer spezifischen Absorptionsrate von 15 W/kg .

8.2 Frequenzabhängigkeit

Im Folgenden sind die Resultate für die Maus für verschiedene Polarisierungen in Abhängigkeit der Frequenz gegeben. Die Resultate sind mit dem hochaufgelösten Modell und den endgültigen Materialparametern gemäss Anhang I gerechnet.

In Abbildung 41 ist der Ganzkörperdurchschnittswert bei den drei Polarisierungen für die vorgegebenen Frequenzen gezeigt. Die Abbildungen 42, 43 und 44 zeigen die entsprechenden, für die Maxima der über einen 50 mg, 5 mg und 0.5 mg Würfel gemittelten SAR-Werte. Abbildungen 45 und 46 zeigen die jeweiligen Verhältnisse der lokalen maximalen Exposition zur durchschnittlichen Ganzkörperexposition. Die zu den Abbildungen gehörenden Werte sind im Anhang C beigefügt. Die Abweichung der organspezifischen Durchschnittswerte zum Ganzkörperdurchschnittswert bei E-, H- und k-Polarisation ist in den Abbildungen 47, 48 und 49 wiedergegeben.

8.3 Polarisationsabhängigkeit

In den Abbildungen 50, 51, 52 und 53 sind die organspezifischen SAR-Werte für die verschiedenen Polarisierungen bei den verlangten Frequenzen abgebildet. Die dazugehörigen Werte sind im Anhang D beigefügt.

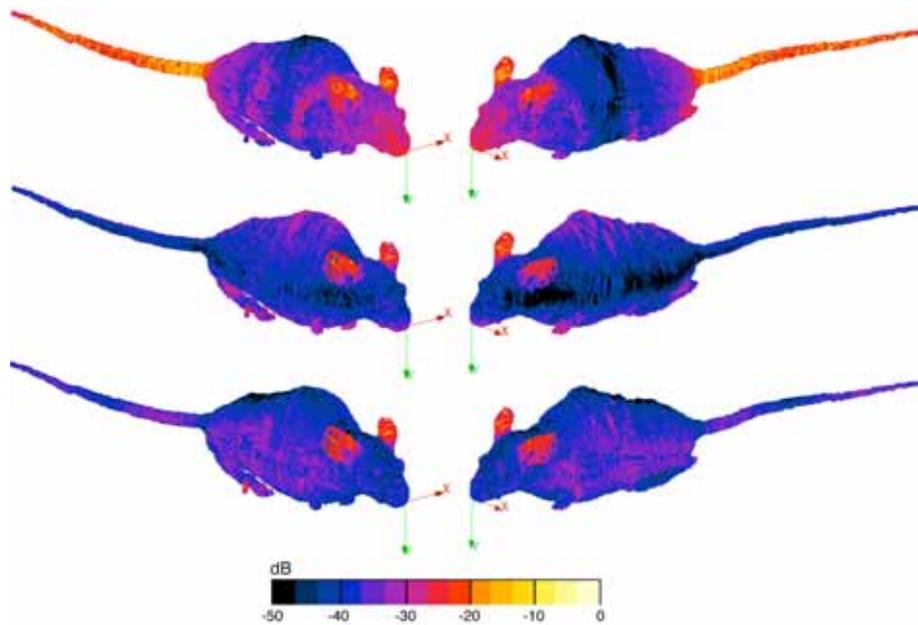


Abbildung 23: Ansicht der SAR-Verteilung von links und rechts auf der Oberfläche der Maus unter E- (oben), H- (mitte) und k-Polarisation (unten) bei 450 MHz (0 dB = 15 (W/kg)/(W/m²))

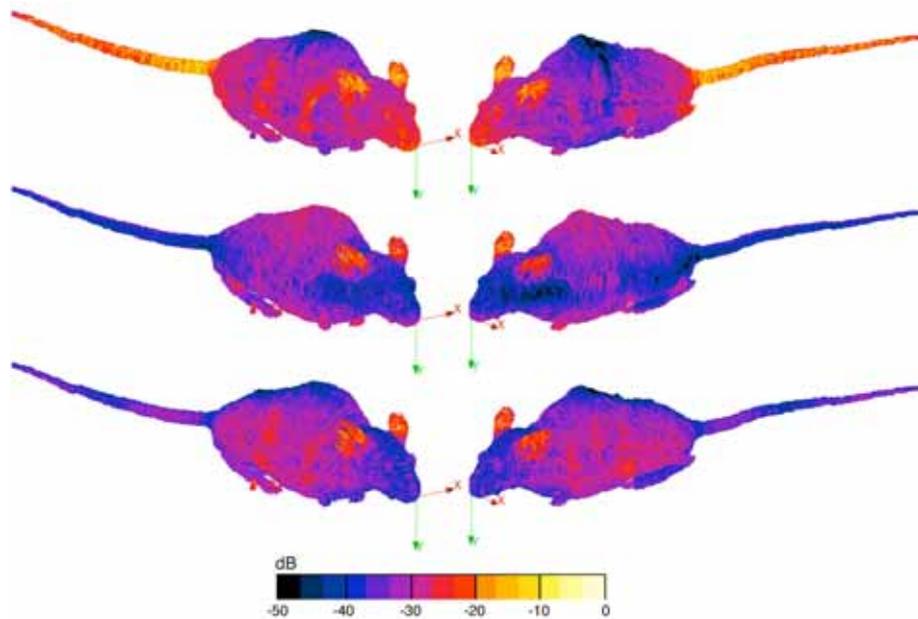


Abbildung 24: Ansicht der SAR-Verteilung von links und rechts auf der Oberfläche der Maus unter E- (oben), H- (mitte) und k-Polarisation (unten) bei 900 MHz (0 dB = 15 (W/kg)/(W/m²))

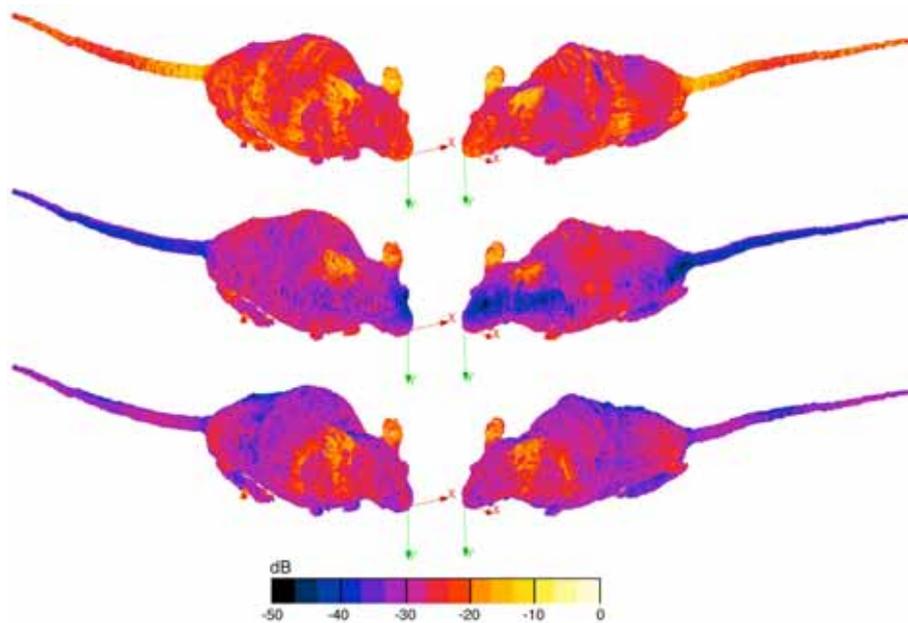


Abbildung 25: Ansicht der SAR-Verteilung von links und rechts auf der Oberfläche der Maus unter E- (oben), H- (mitte) und k-Polarisation (unten) bei 1.8 GHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

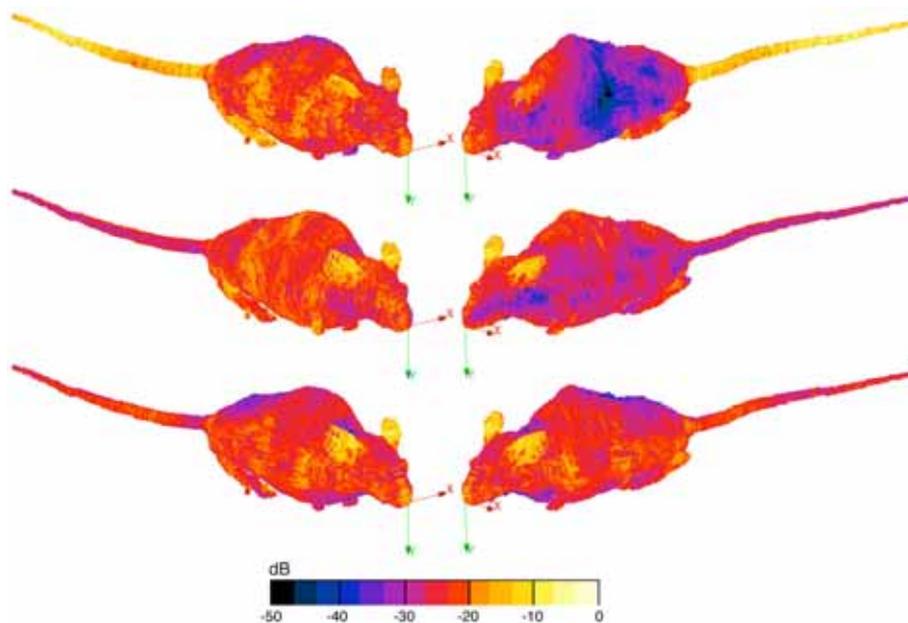


Abbildung 26: Ansicht der SAR-Verteilung von links und rechts auf der Oberfläche der Maus unter E- (oben), H- (mitte) und k-Polarisation (unten) bei 5 GHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

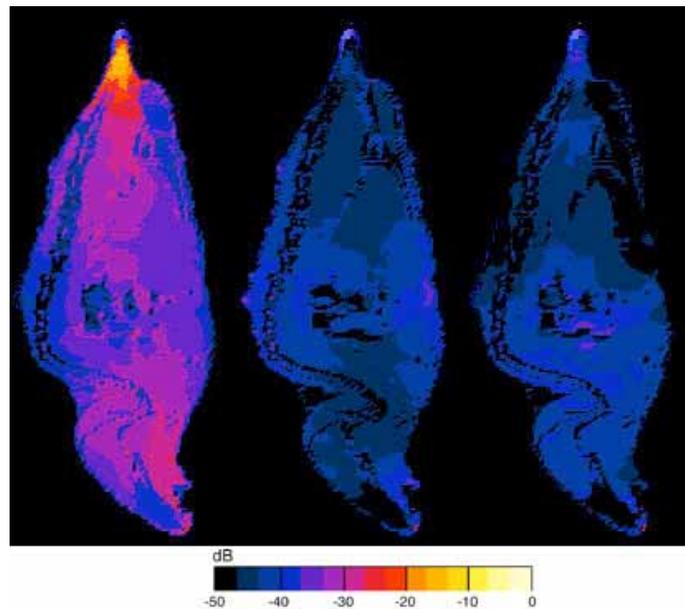


Abbildung 27: SAR-Verteilung in einem Längsschnitt durch die Maus unter E-, H- und k-Polarisation (von links nach rechts) bei 450 MHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

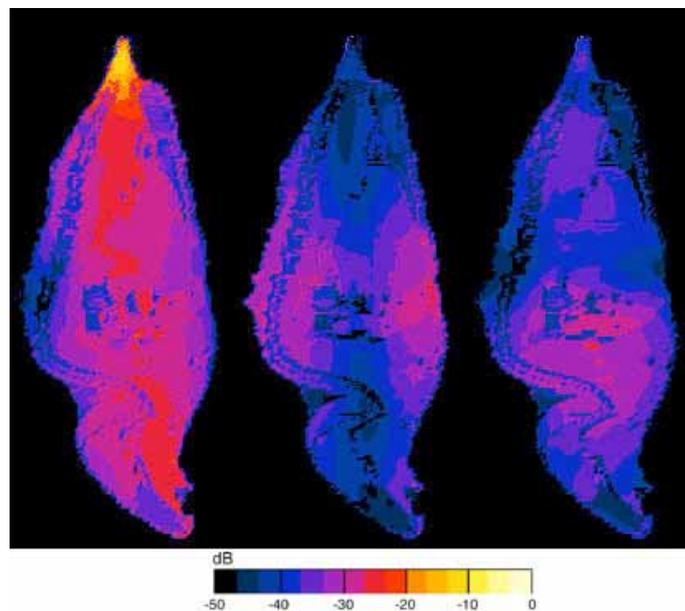


Abbildung 28: SAR-Verteilung in einem Längsschnitt durch die Maus unter E-, H- und k-Polarisation (von links nach rechts) bei 900 MHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

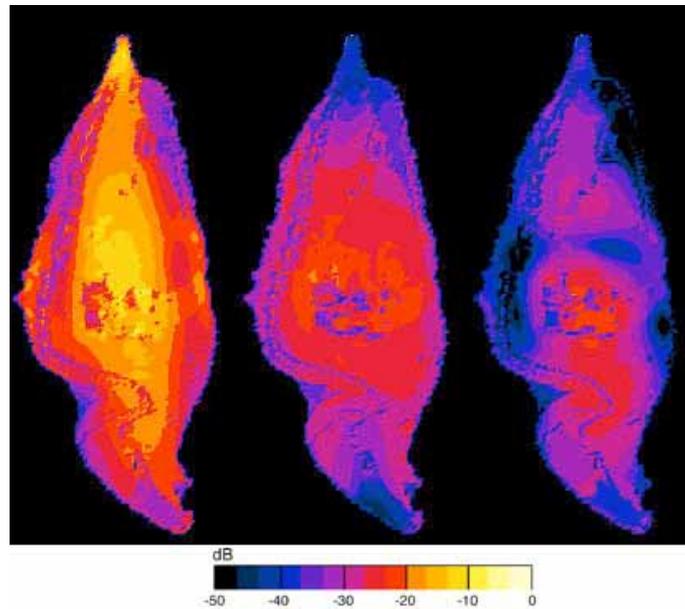


Abbildung 29: SAR-Verteilung in einem Längsschnitt durch die Maus unter E-, H- und k-Polarisation (von links nach rechts) bei 1.8 GHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

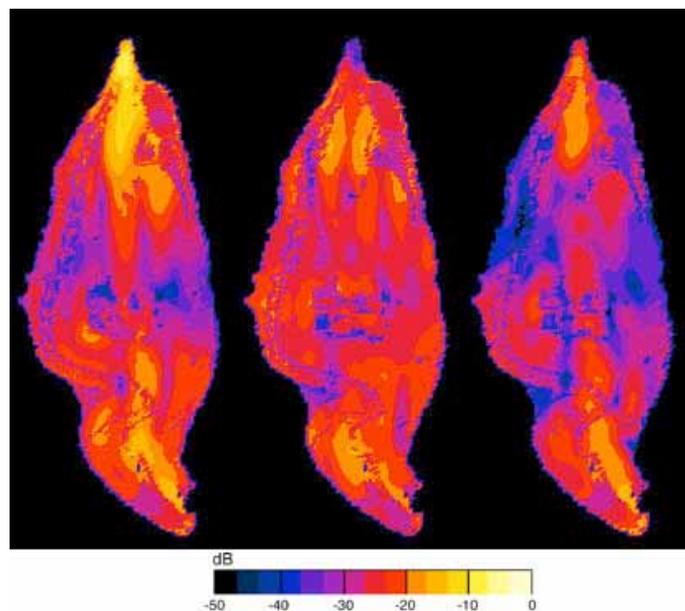


Abbildung 30: SAR-Verteilung in einem Längsschnitt durch die Maus unter E-, H- und k-Polarisation (von links nach rechts) bei 5 GHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

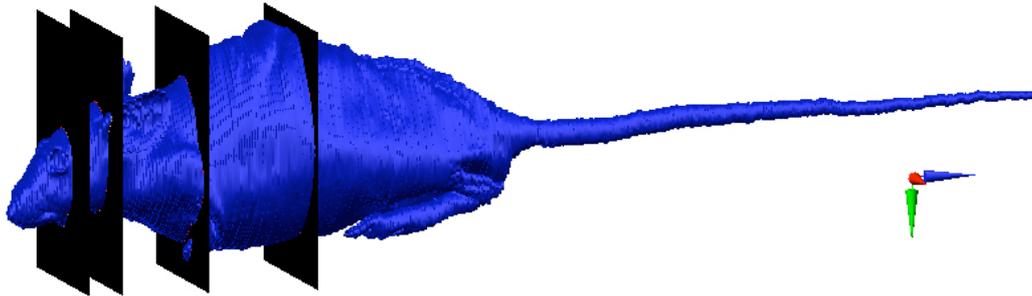


Abbildung 31: Positionen der Transversalschnitte in der Maus

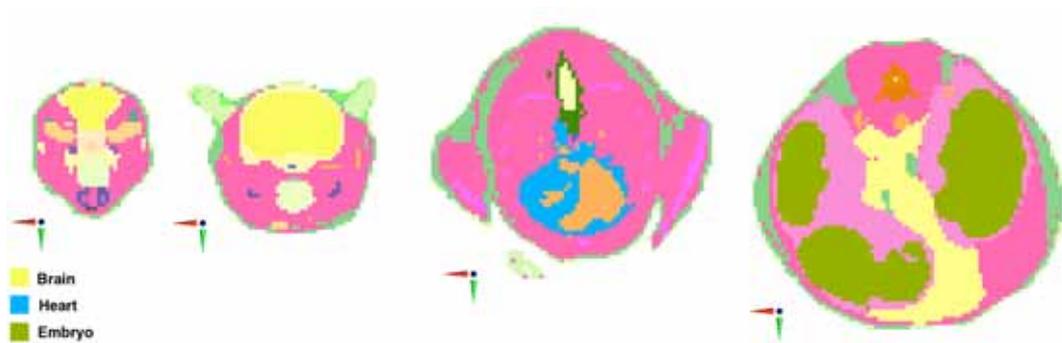


Abbildung 32: Transversalschnitte in der Maus mit hervorgehobenen relevantem Organ in dem jeweiligen Schnitt; Die Orientierung der Schnitte ist in Richtung des Kopfes (roter Pfeil: x-Achse, grüner Pfeil: y-Achse, Orientierung gemäss Abbildung 6)

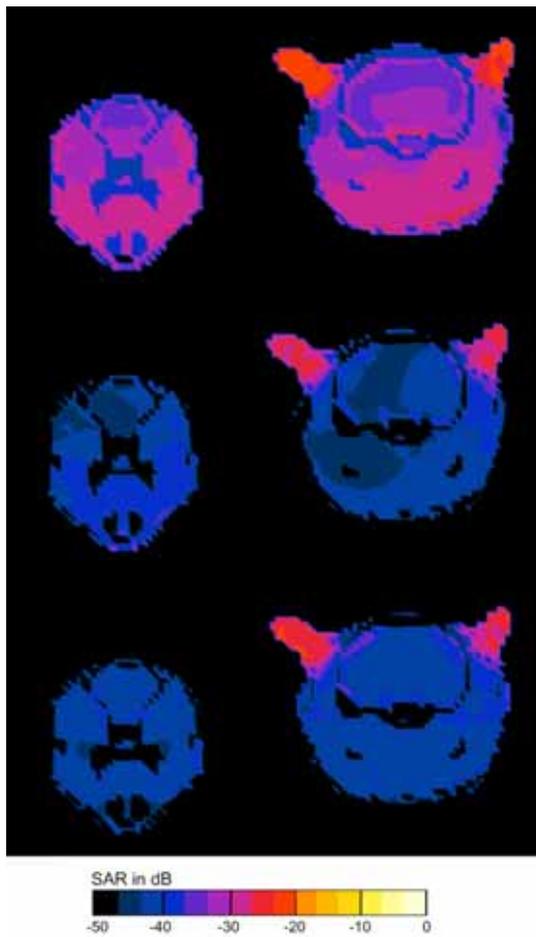


Abbildung 33: SAR-Verteilung in zwei Transversalschnitten, die das Hirn enthalten, durch die Maus unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 450 MHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2)$)

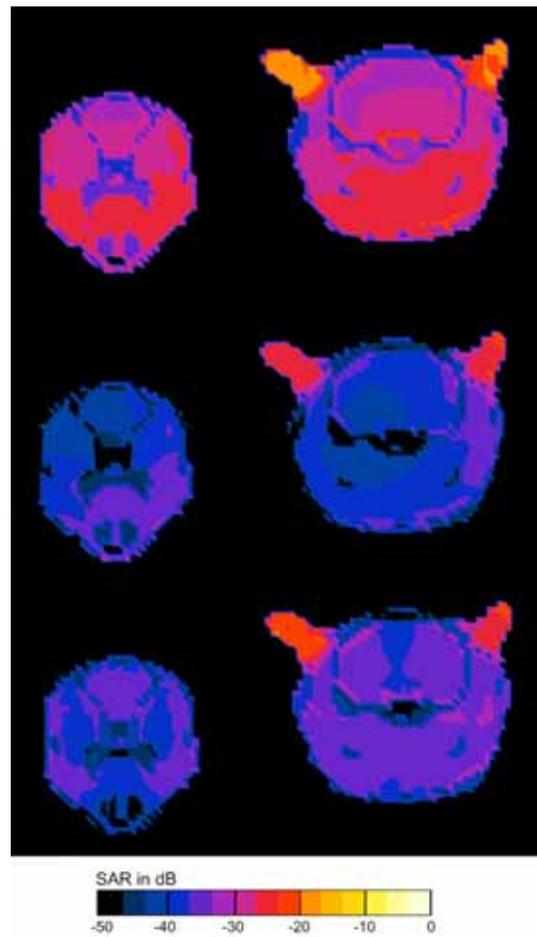


Abbildung 34: SAR-Verteilung in zwei Transversalschnitten, die das Hirn enthalten, durch die Maus unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 900 MHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2)$)

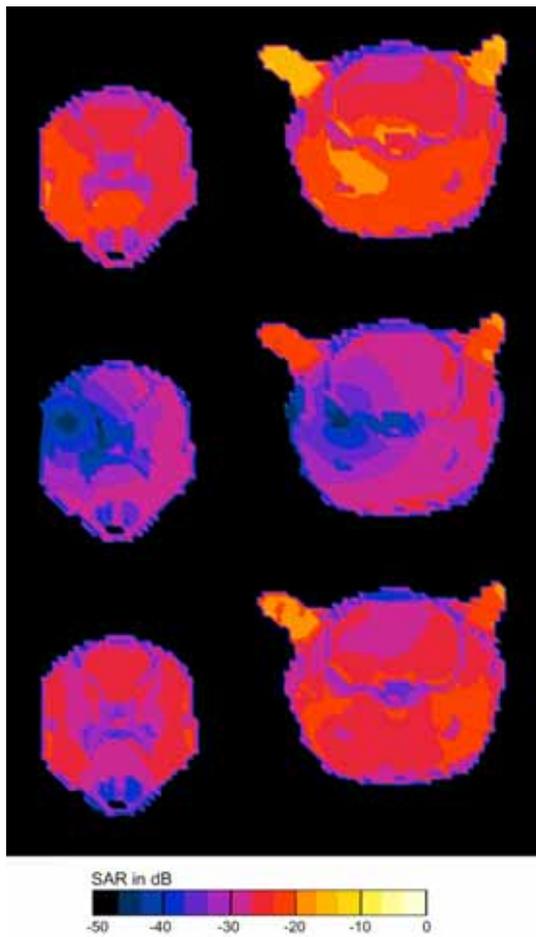


Abbildung 35: SAR-Verteilung in zwei Transversalschnitten, die das Hirn enthalten, durch die Maus unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 1.8 GHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2)$)

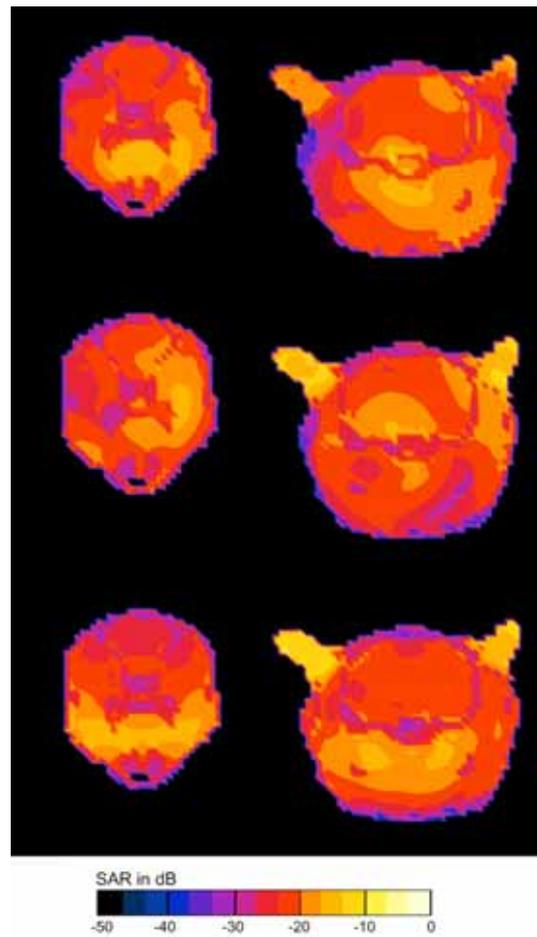


Abbildung 36: SAR-Verteilung in zwei Transversalschnitten, die das Hirn enthalten, durch die Maus unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 5 GHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2)$)

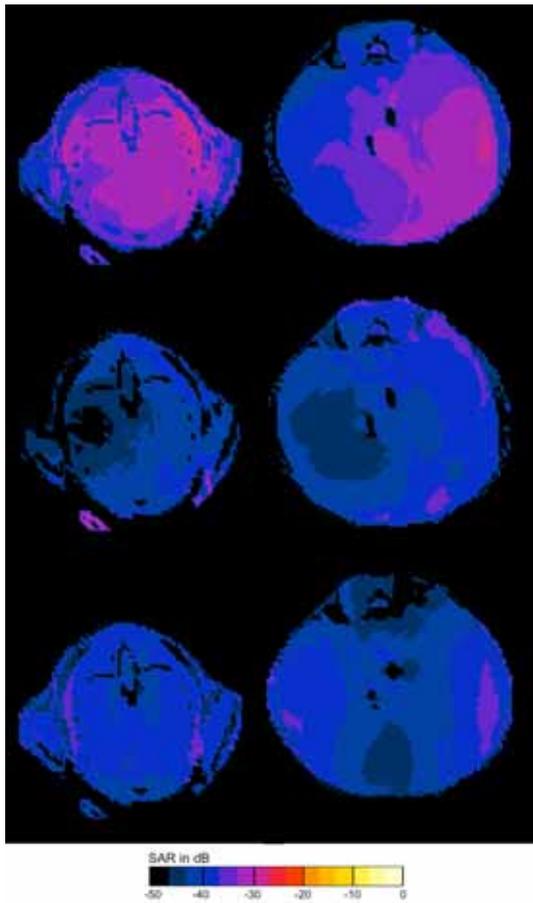


Abbildung 37: SAR-Verteilung in einem Transversalschnitt durch das Herz (links) und in der Region der Embryos (rechts) bei der Maus unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 450 MHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

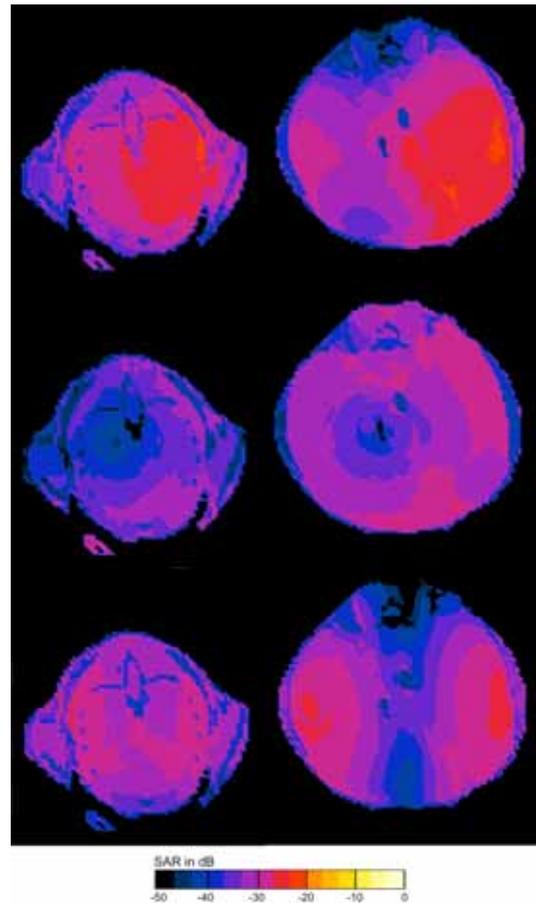


Abbildung 38: SAR-Verteilung in einem Transversalschnitt durch das Herz (links) und in der Region der Embryos (rechts) bei der Maus unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 900 MHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

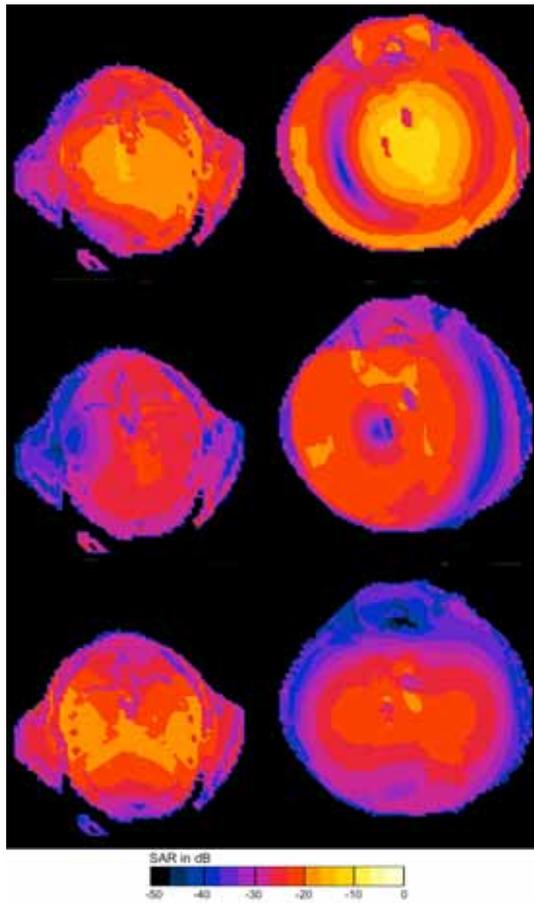


Abbildung 39: SAR-Verteilung in einem Transversalschnitt durch das Herz (links) und in der Region der Embryos (rechts) bei der Maus unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 1.8 GHz (0 dB = $15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

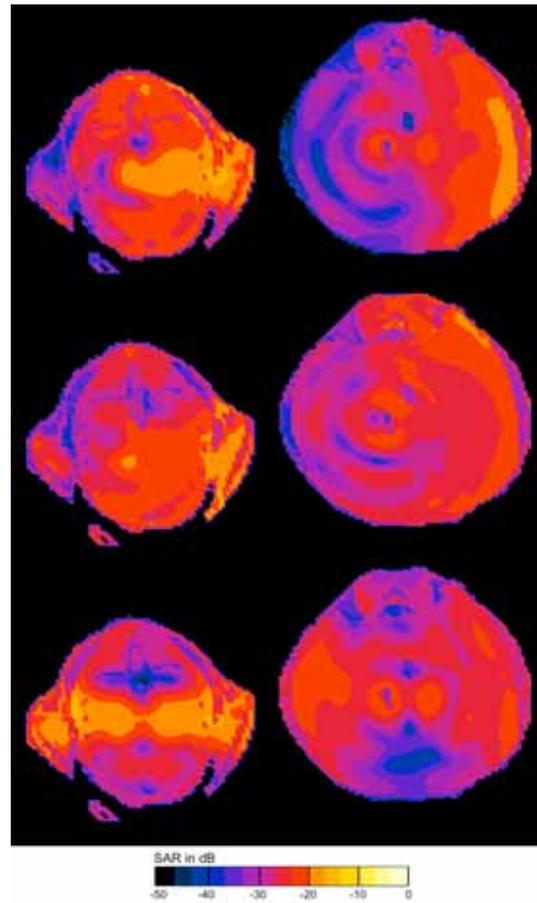


Abbildung 40: SAR-Verteilung in einem Transversalschnitt durch das Herz (links) und in der Region der Embryos (rechts) bei der Maus unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 5 GHz (0 dB = $15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

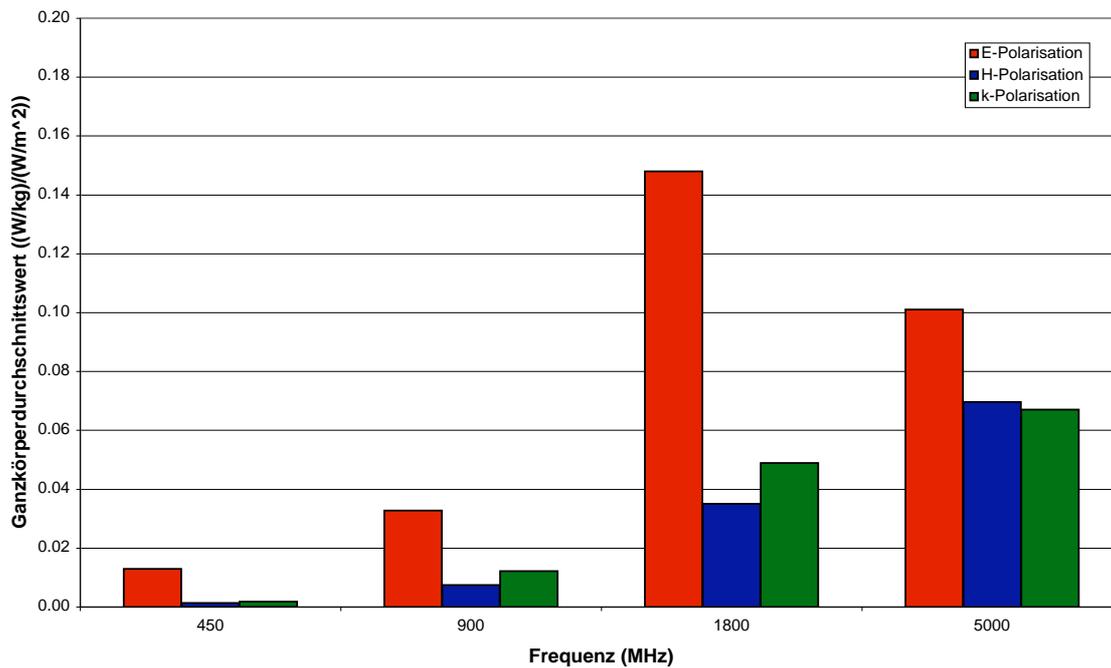


Abbildung 41: Maus: Ganzkörperdurchschnittswert für das Mausmodell bei verschiedener Polarisation und Frequenz

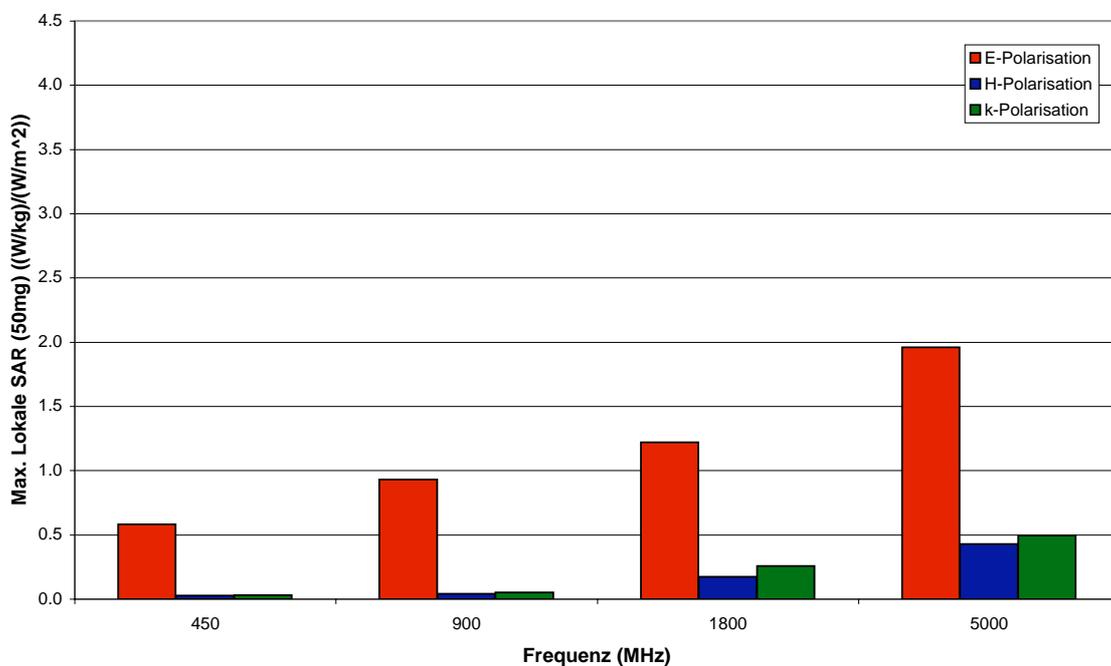


Abbildung 42: Maus: Maximale lokale Absorption (Spatial Peak) gemittelt über einen 50 mg Würfel bei verschiedener Polarisation und Frequenz

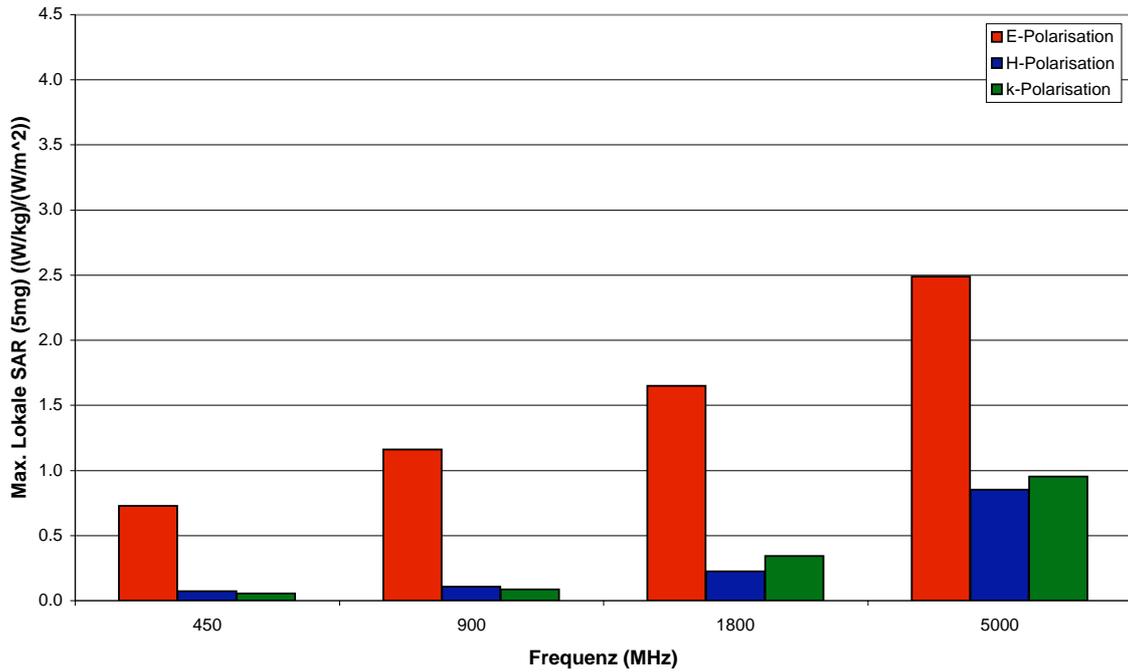


Abbildung 43: Maus: Maximale lokale Absorption (Spatial Peak) gemittelt über einen 5 mg Würfel bei verschiedener Polarisation und Frequenz

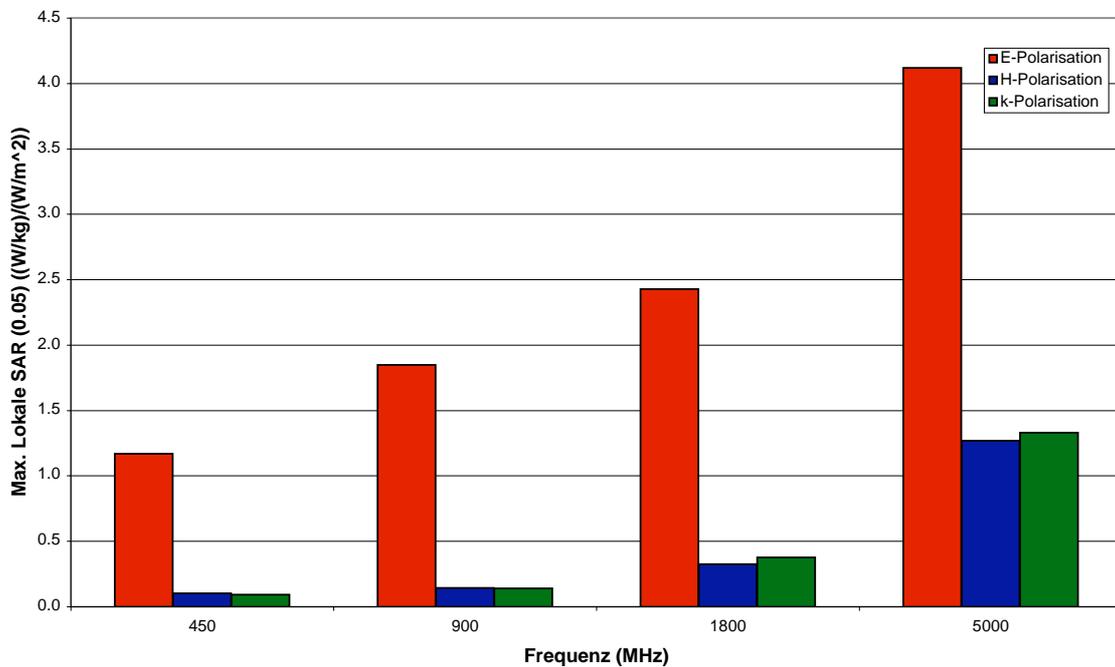


Abbildung 44: Maus: Maximale lokale Absorption (Spatial Peak) gemittelt über einen 0.5 mg Würfel bei verschiedener Polarisation und Frequenz

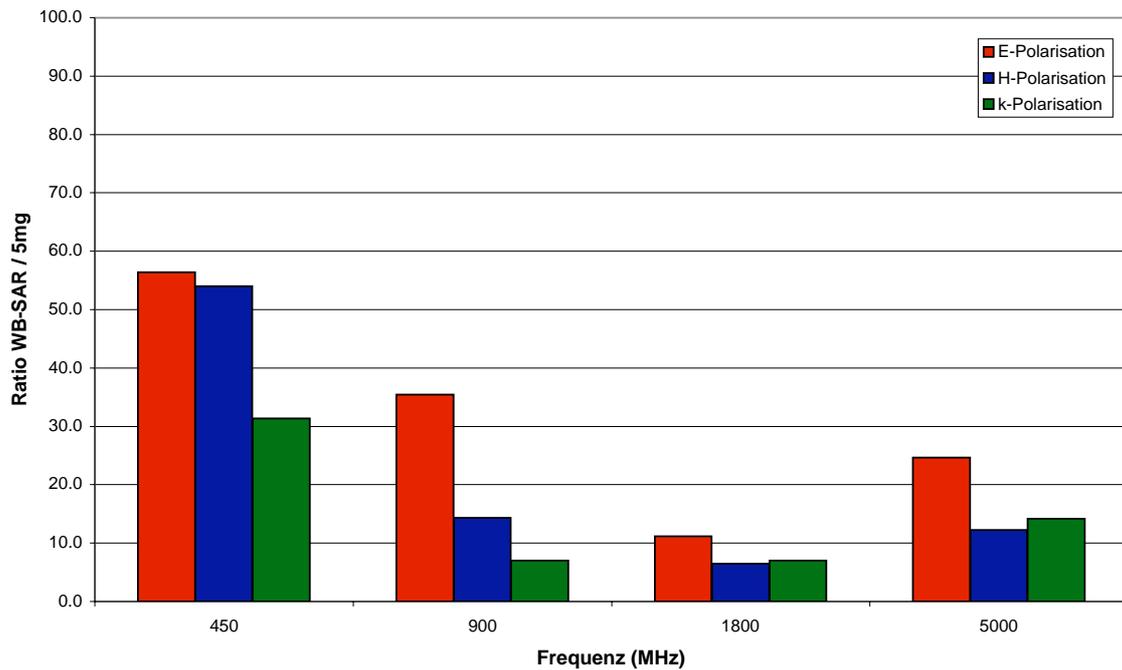


Abbildung 45: Maus: Frequenz- und Polarisationsabhängigkeit des Verhältnisses zwischen lokaler Absorption und durchschnittlicher Ganzkörperabsorption für ein Mittelungsmasse von 5 mg

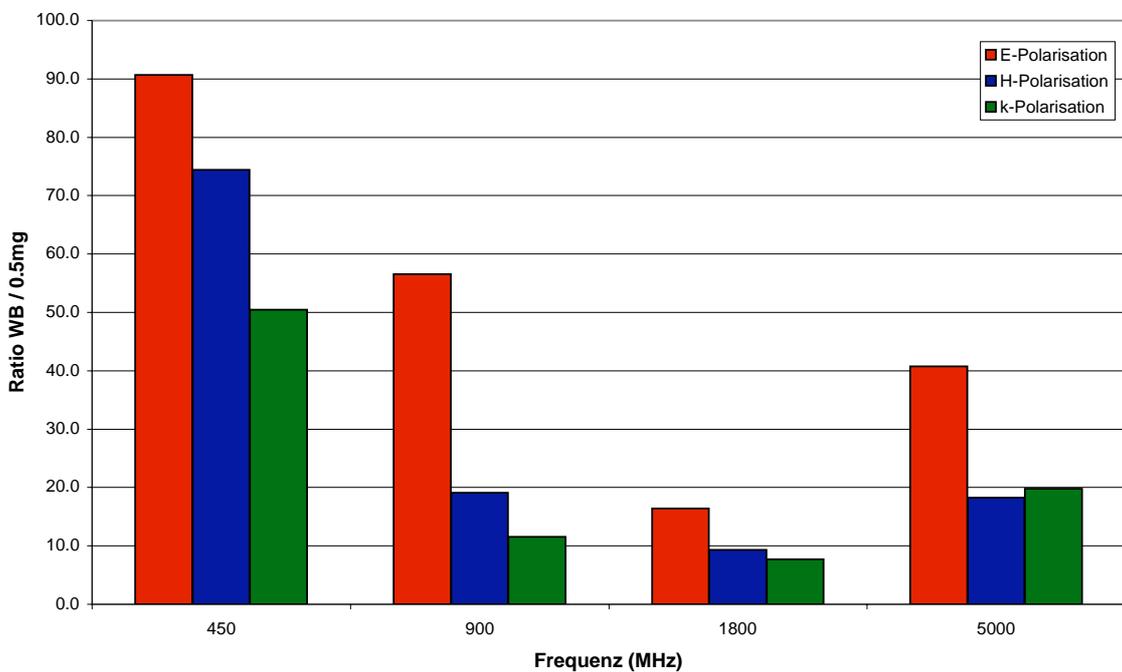


Abbildung 46: Maus: Frequenz- und Polarisationsabhängigkeit des Verhältnisses zwischen lokaler Absorption und durchschnittlicher Ganzkörperabsorption für ein Mittelungsmasse von 0.5 mg

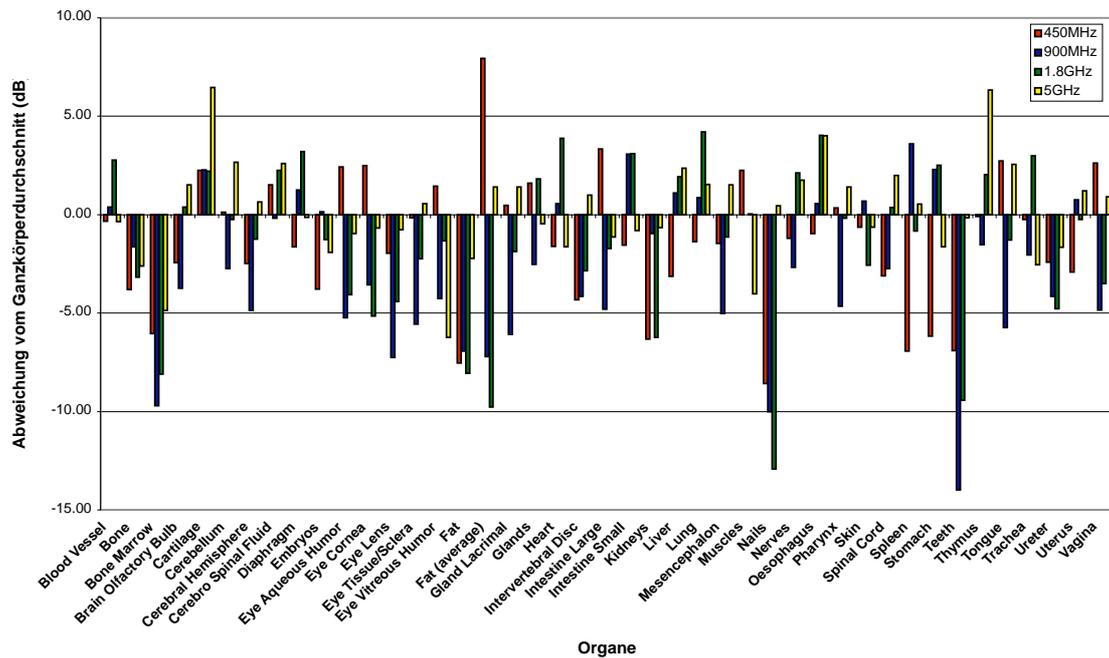


Abbildung 47: Maus: Frequenzabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR zum Ganzkörperdurchschnittswert für E-Polarisation

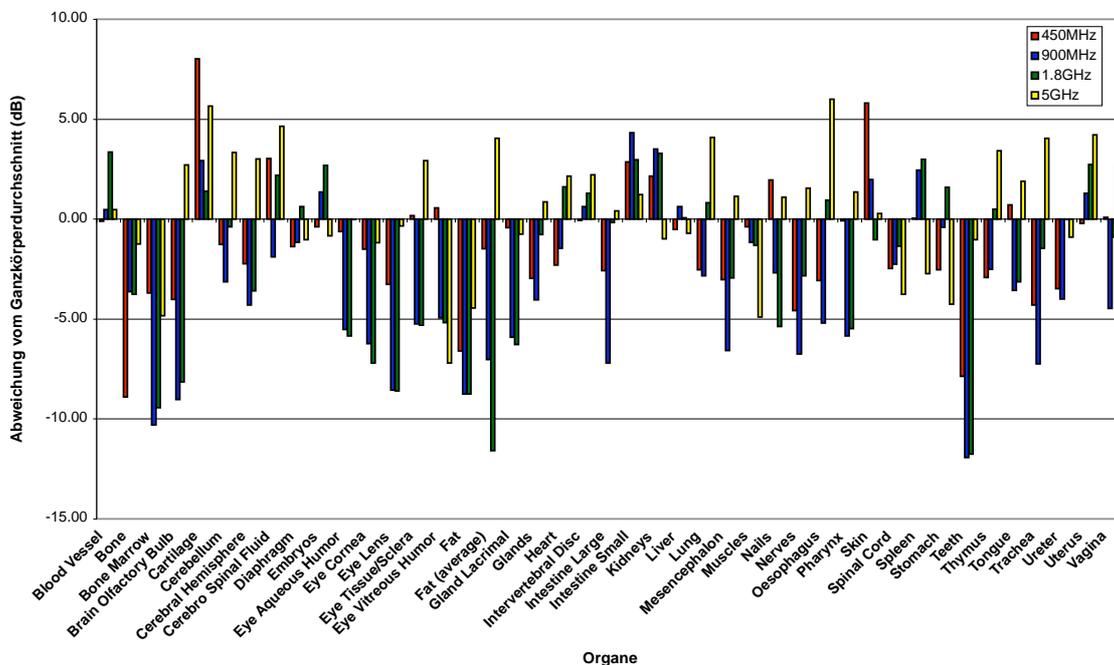


Abbildung 48: Maus: Frequenzabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR zum Ganzkörperdurchschnittswert für H-Polarisation

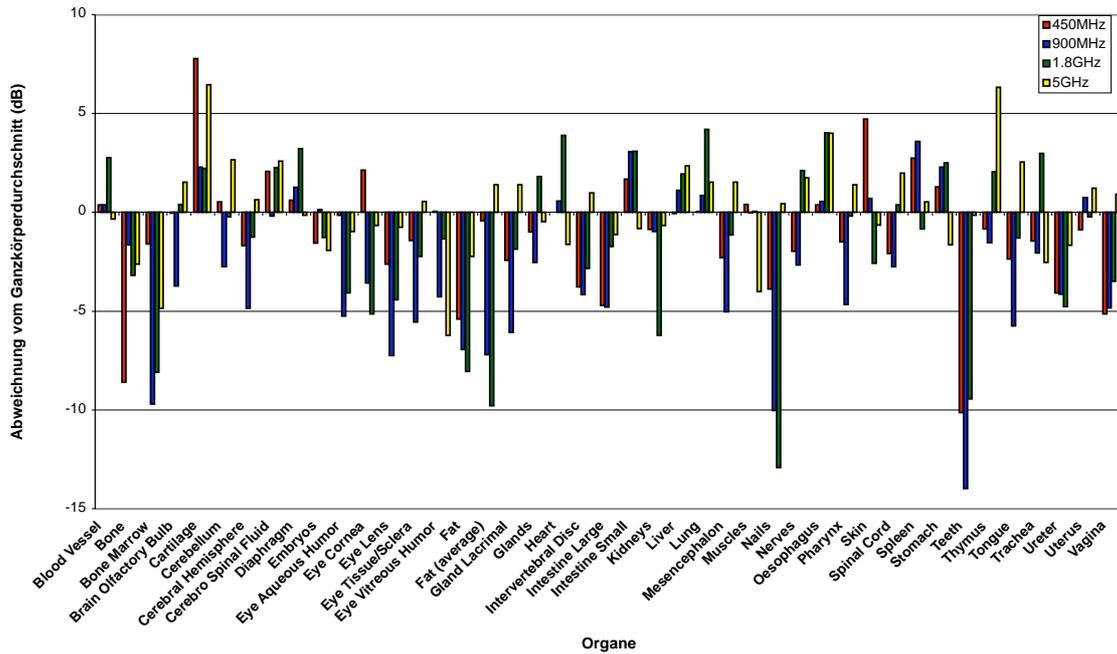


Abbildung 49: Maus: Frequenzabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR zum Ganzkörperdurchschnittswert für k-Polarisation

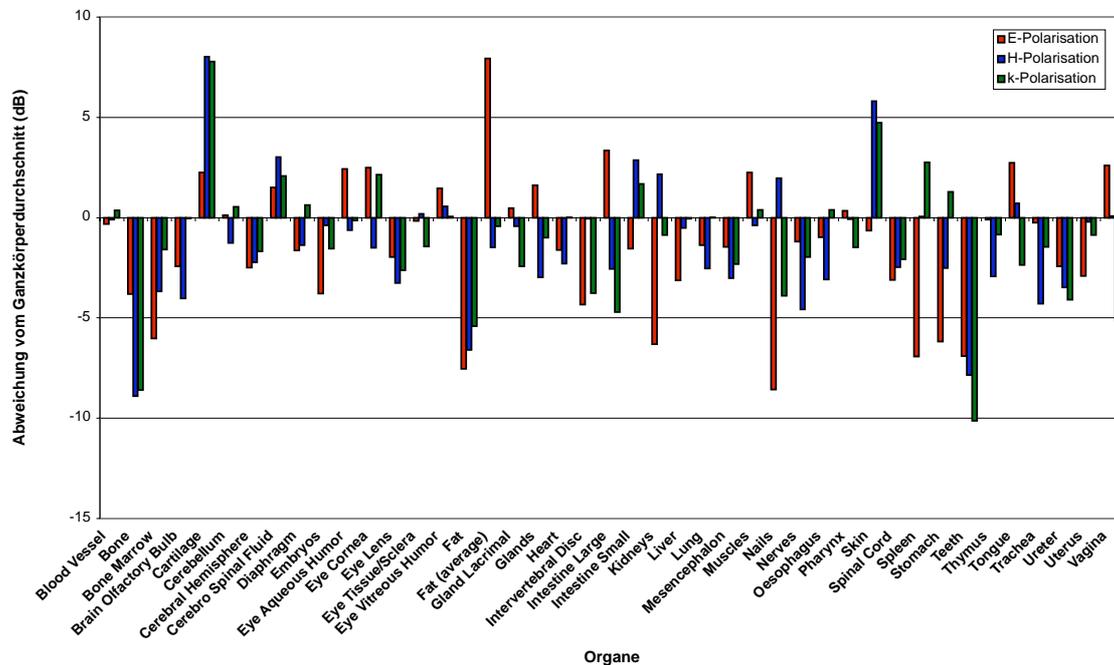


Abbildung 50: Maus: Polarisationsabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR vom Ganzkörperdurchschnittswert bei 450 MHz

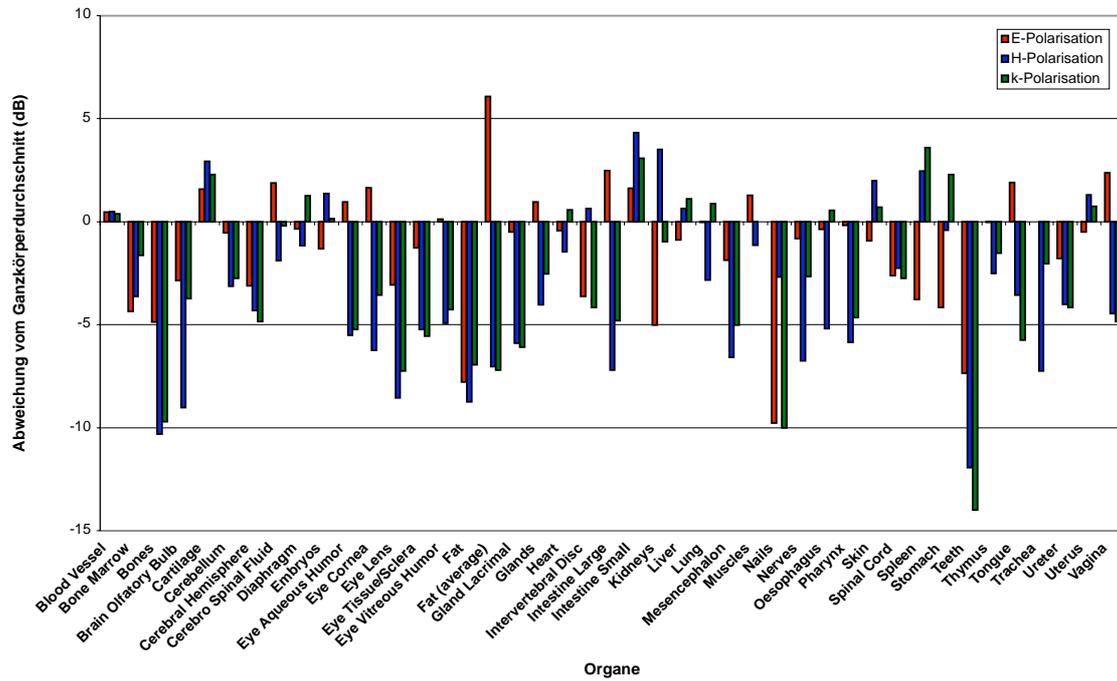


Abbildung 51: Maus: Polarisationsabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR vom Ganzkörperdurchschnittswert bei 900 MHz

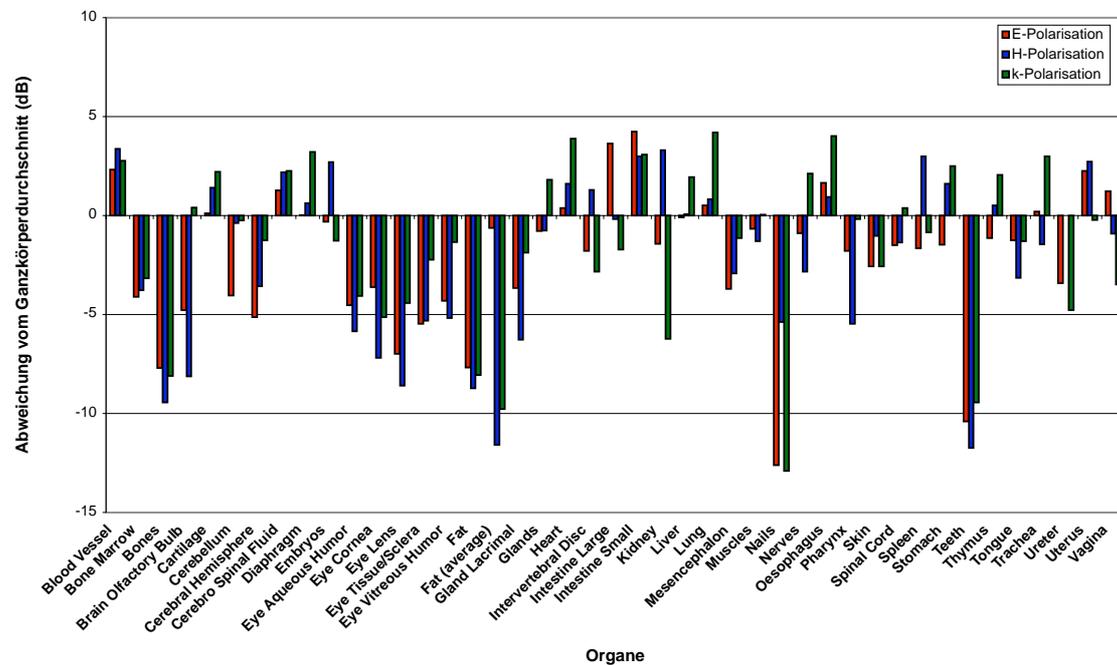


Abbildung 52: Maus: Polarisationsabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR vom Ganzkörperdurchschnittswert bei 1.8 GHz

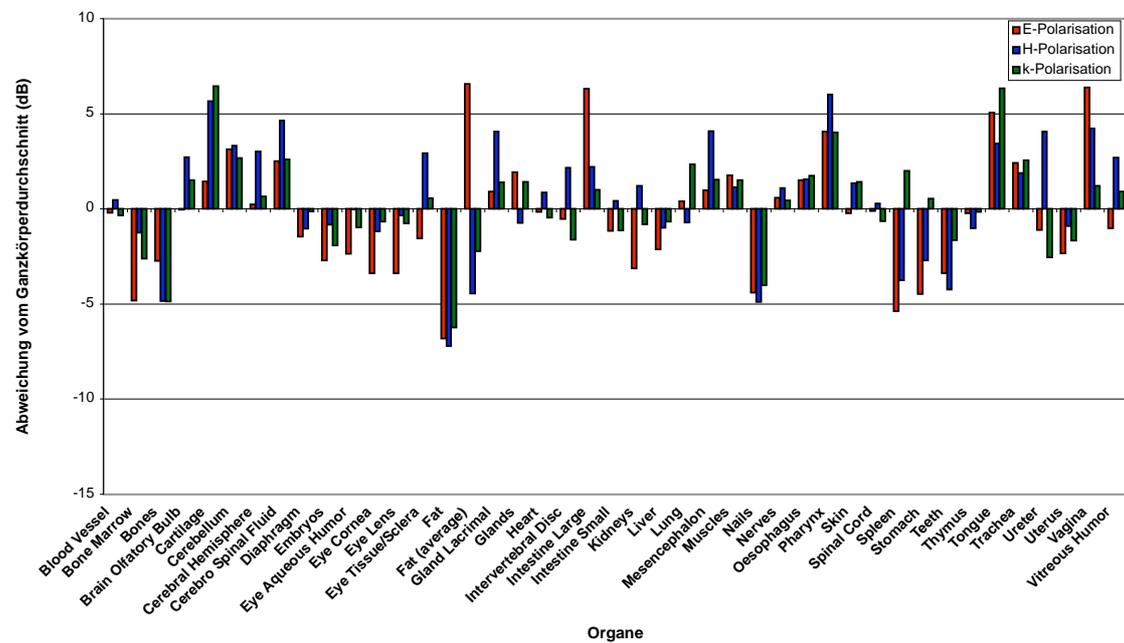


Abbildung 53: Maus: Polarisationsabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR vom Ganzkörperdurchschnittswert bei 5 GHz

8.4 Diskussion

Die Expositionscharakteristik ist höchst frequenz- und polarisationsabhängig. Die Körperlänge der Maus entspricht bei 900 MHz in etwa $\lambda/4$, zusammen mit dem Schwanz in etwa $\lambda/2$. Dementsprechend ist bei 1.8 GHz die Körperlänge in etwa $\lambda/2$, zusammen mit dem Schwanz in etwa gleich der Wellenlänge der einfallenden Welle. Dies erklärt die Resonanzerscheinungen bei 1.8 GHz, bei E-Polarisation, ausgedrückt durch die SAR-Verteilung in den Schnitten, in denen die hohen SAR-Werte eher auf der zentralen Achse des Tieres liegen (siehe Abbildungen 29, 39) und den hohen Ganzkörperdurchschnittswert der SAR bei gleicher Leistungsdichte der einfallenden Welle verglichen mit den anderen Frequenzen. Diese Tendenz reproduziert sich auch im Verhältnis der lokalen zur durchschnittlichen Ganzkörperabsorption. Die Spitzenwerte der räumlich gemittelten SAR-Werte nehmen im betrachteten Frequenzbereich mit steigender Frequenz zu.

Die Durchschnittswerte der verschiedenen Organe und Gewebesorten weichen zum Teil deutlich vom Ganzkörperdurchschnittswert ab. Die Grösse der Variationen ist ebenfalls frequenz- und polarisationsabhängig, was aus den wechselnden Regionen hoher und niedriger Absorption folgt. Dieser Aspekt hat einen grossen Einfluss auf die Interpretation der Resultate bezüglich der auftretenden Effekte und auf das Design von Expositionseinrichtungen.

Ausser bei 1.8 GHz ist zu beachten, dass der Schwanz bei E-Polarisation einer deutlich höheren durchschnittlichen Dosis ausgesetzt ist als der übrige Körper. Dies ist vor allem wichtig, weil die Maus den Schwanz zum Temperatúrausgleich benutzt. Beim Entwurf von Expositionseinrichtungen muss dieser Punkt deshalb speziell beachtet werden. Die Überexposition des Schwanzes begrenzt deshalb den maximal zulässigen Ganzkörperdurchschnittswert für ein entsprechendes Experiment. Nebst der Exposition des Schwanzes sind weitere Organe wie Hirn, Auge und bei schwangeren Tieren die Exposition der Embryos von Interesse. Einerseits sollen Organe wie das Auge nicht überexponiert werden, andererseits besteht beim Hirn und den Embryos das Interesse, dass sich diese Bereiche nicht wesentlich vom Ganzkörperdurchschnitt unterscheiden. Die Durchschnittswerte dieser Organe und Bereiche sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Die Abweichungen zum Ganzkörperdurchschnitt sind in Tabelle 6 nochmals verdeutlicht. Zu beachten ist die starke Variation der Exposition der einzelnen Bereiche sowie deren Verhältnis zum Ganzkörperdurchschnittswert der SAR in Abhängigkeit zur Frequenz und der Orientierung im Feld. Diese Variationen müssen bei der Bewertung von Studien in denen Mäuse unter Fernfeldbedingungen exponiert wurden in Betracht gezogen werden. Die Hauptschwierigkeit dabei stellt sich bei der Gewichtung der einzelnen Anteile zur Bestimmung der durchschnittlichen Exposition über die Gesamtdauer des Experiments.

Bezüglich der Frequenz sieht man anhand der SAR-Verteilungen in den Schnitten und auf der Oberfläche die starke Veränderung der Verteilungen bezüglich der Regionen hoher und niedriger SAR. In Tabelle 7 sind die Orte der Spitzenwerte der räumlich gemittelten SAR über 5 mg und 0.5 mg zusammengefasst. Für die meisten Fälle liegen die Spitzenwerte auf dem Schwanz oder auf den Ohren. Bei 1.8 GHz, nahe der Körperresonanz, für E- und k-Polarisation liegen die Spitzenwerte im Darm. Dies reproduziert den visuellen Eindruck, der aus den Darstellungen der SAR-Verteilungen auf der Oberfläche und in den Schnitten durch die Maus gewonnen werden kann.

Polarisation	Ganzkörper $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Schwanz $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Hirn $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Auge $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Embryos $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$
450 MHz					
E	8.0E-03	3.0E-01	9.7E-03	1.5E-02	5.4E-03
H	1.4E-03	1.0E-03	1.1E-03	1.1E-03	1.3E-03
k	1.8E-03	3.5E-03	1.5E-03	1.5E-03	1.3E-03
900 MHz					
E	2.6E-02	4.4E-01	2.3E-02	2.8E-02	2.4E-02
H	7.6E-03	1.5E-03	2.9E-03	1.8E-03	1.0E-02
k	1.2E-02	4.5E-03	5.3E-03	3.5E-03	1.3E-02
1.8 GHz					
E	1.4E-01	3.7E-01	7.3E-02	4.4E-02	1.4E-01
H	3.6E-02	2.2E-03	2.3E-02	7.8E-03	6.5E-02
k	5.0E-02	9.1E-03	4.5E-02	2.5E-02	3.7E-02
5.0 GHz					
E	8.4E-02	1.1E+00	1.3E-01	6.1E-02	5.4E-02
H	7.0E-02	2.8E-02	1.6E-01	9.2E-02	5.7E-02
k	6.7E-02	7.1E-02	9.1E-02	6.7E-02	4.3E-02

Tabelle 5: Ganzkörperdurchschnittswert der SAR und SAR-Durchschnittswerte von Schwanz, Hirn, Auge und Embryos für die vorgegebenen Frequenzen und Orientierungen im Feld

Polarisation	Schwanz (dB)	Hirn (dB)	Auge (dB)	Embryos (dB)
450 MHz				
E	15.7	0.8	2.6	-1.7
H	-1.2	-1.0	-1.0	-0.4
k	3.0	-0.7	-0.6	-1.5
900 MHz				
E	12.3	-0.5	0.3	-0.3
H	-6.9	-4.2	-6.3	1.3
k	-4.4	-3.7	-5.4	0.1
1.8 GHz				
E	4.0	-3.0	-5.1	-0.2
H	-12.1	-1.9	-6.6	2.6
k	-7.4	-0.4	-3.0	-1.3
5.0 GHz				
E	11.3	1.8	-1.4	-1.9
H	-4.0	3.5	1.2	-0.9
k	0.2	1.3	0.0	-1.9

Tabelle 6: Abweichungen der SAR-Durchschnittswerte von Schwanz, Hirn, Auge und Embryos vom Ganzkörperdurchschnittswert für die vorgegebenen Frequenzen und Orientierungen im Feld

Polarisation	Spitzenwert gemittelt über 5 mg	Spitzenwert gemittelt über 0.5 mg
450 MHz		
E	Schwanz	Schwanz
H	Ohr	Ohr
k	Ohr	Ohr
900 MHz		
E	Schwanz	Schwanz
H	Ohr	Ohr
k	Ohr	Ohr
1.8 GHz		
E	Darm	Darm
H	Ohr	Ohr
k	Darm	Darm
5.0 GHz		
E	Schwanz	Schwanz
H	Hinterbein	Hinterbein
k	Ohr	Ohr

Tabelle 7: Orte der räumlich gemittelten SAR-Spitzenwerte über 5 mg und 0.5 mg für die vorgegebenen Frequenzen und Orientierungen im Feld

9 Absorption in einer Ratte unter Fernfeldexposition

Im Folgenden sind die Resultate eines Rattenmodells unter Einfall einer ebenen Welle bei den verlangten Frequenzen zusammengefasst. Die Auflösung des Rattenmodells ist $0.6 \times 0.6 \times 0.595$ mm, was einer Voxelgrösse von $\sim 0.2 \text{ mm}^3$ entspricht. Alle Darstellungen sind auf eine einfallende ebene Welle der Leistungsdichte 1 W/m^2 normiert.

9.1 SAR-Verteilung auf der Oberfläche und in einem Schnitt

Die Abbildungen 54, 55, 56 und 57 zeigen die SAR-Verteilung auf der Oberfläche der Ratte bei verschiedenen Frequenzen. Die entsprechenden SAR-Verteilungen in einem Schnitt durch die Ratte sind in den Abbildungen 58, 59, 60 und 61 gezeigt. Abbildung 62 zeigt die Positionen bei denen die Transversalschnitte extrahiert wurden. In Abbildung 63 sind die entsprechenden relevanten Organe in den Schnitten hervorgehoben. Die SAR-Verteilungen in diesen Schnitten sind in den Abbildungen 64 bis 71 dargestellt.

Allen Abbildungen ist eine Skala in dB beigelegt. Dabei entspricht 0 dB einer spezifischen Absorptionsrate von 5.5 W/kg .

9.2 Frequenzabhängigkeit der Absorption in einer Ratte unter Fernfeldexposition

In Abbildung 72 ist der Ganzkörperdurchschnittswert bei den drei Polarisierungen für die vorgegebenen Frequenzen gezeigt. Die Abbildungen 73 und 74 zeigen das entsprechende für die Maxima der über einen 50 mg und 5 mg Würfel gemittelten SAR-Werte. 75 und 76 zeigen die jeweiligen Verhältnisse der lokalen maximalen Exposition zur durchschnittlichen Ganzkörperexposition. Die zu den Abbildungen gehörenden Werte sind im Anhang E beigelegt. Die Abweichung der organspezifischen Durchschnittswerte zum Ganzkörperdurchschnittswert bei E-, H- und k-Polarisation ist in den Abbildungen 77, 78 und 79 wiedergegeben.

9.3 Polarisationsabhängigkeit

In den Abbildungen 80, 81, 82 und 83 sind die organspezifischen SAR-Werte für die verschiedenen Polarisierungen bei den verlangten Frequenzen abgebildet. Die dazugehörigen Werte sind im Anhang F beigelegt.

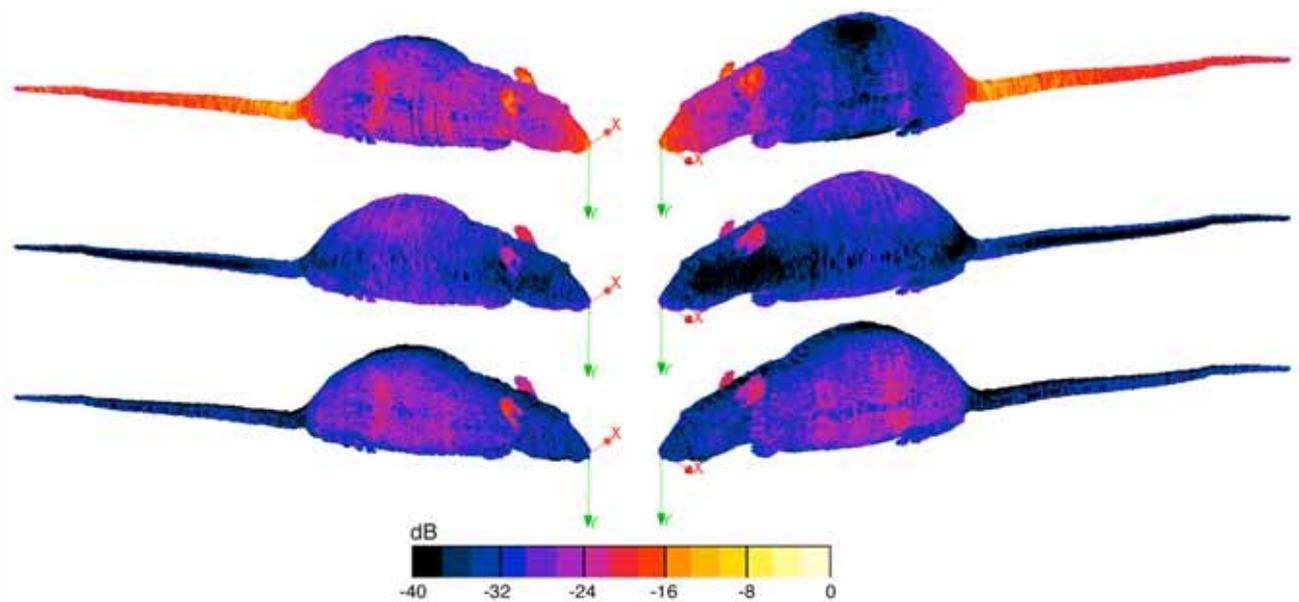


Abbildung 54: Ansicht der SAR-Verteilung von links und rechts auf der Oberfläche der Ratte unter E- (oben), H- (mitte) und k-Polarisation (unten) bei 450 MHz ($0 \text{ dB} = 5.5 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

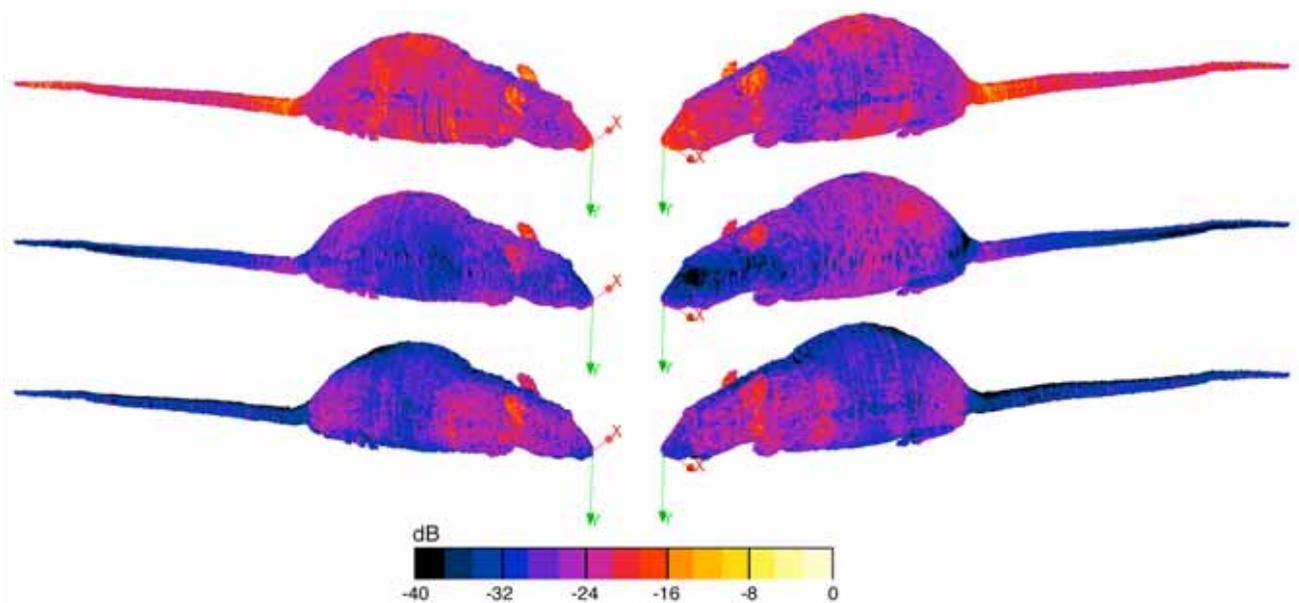


Abbildung 55: Ansicht der SAR-Verteilung von links und rechts auf der Oberfläche der Ratte unter E- (oben), H- (mitte) und k-Polarisation (unten) bei 900 MHz ($0 \text{ dB} = 5.5 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

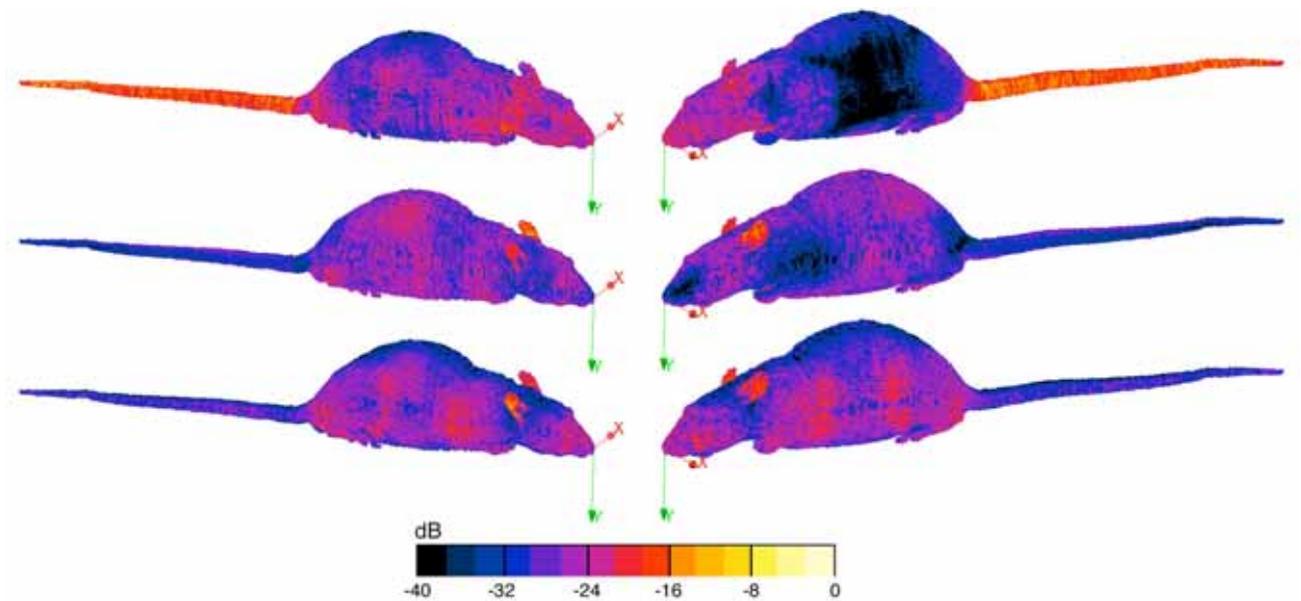


Abbildung 56: Ansicht der SAR-Verteilung von links und rechts auf der Oberfläche der Ratte unter E- (oben), H- (Mitte) und k-Polarisation (unten) bei 1.8 GHz ($0 \text{ dB} = 5.5 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

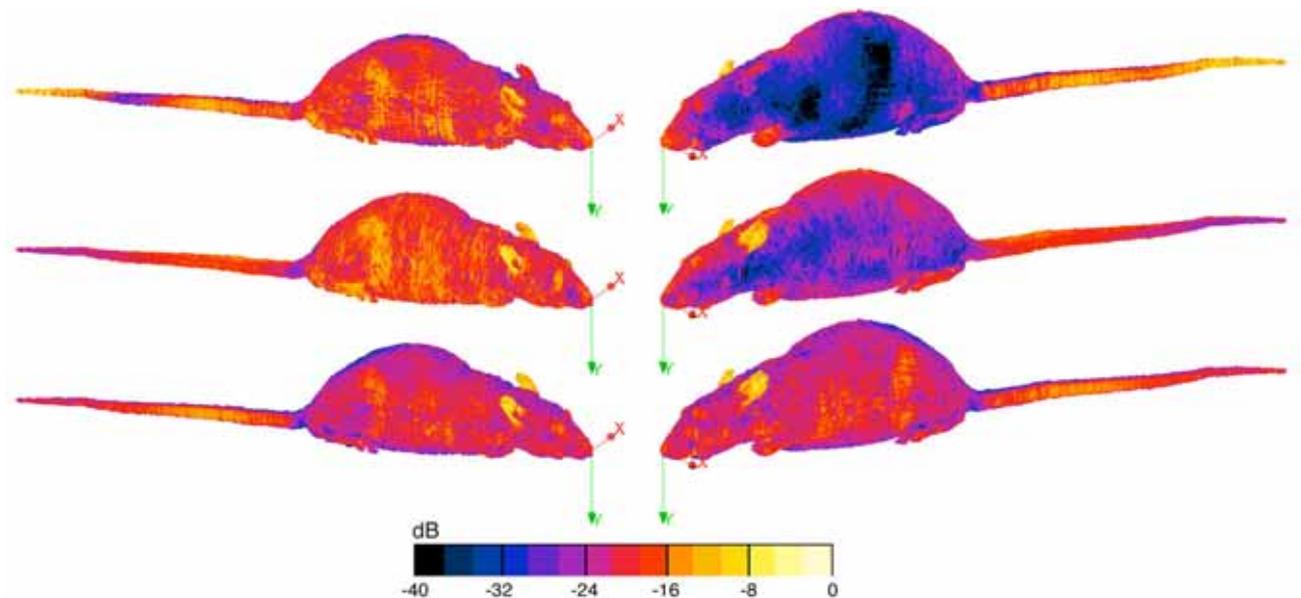


Abbildung 57: Ansicht der SAR-Verteilung von links und rechts auf der Oberfläche der Ratte unter E- (oben), H- (Mitte) und k-Polarisation (unten) bei 5 GHz ($0 \text{ dB} = 5.5 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

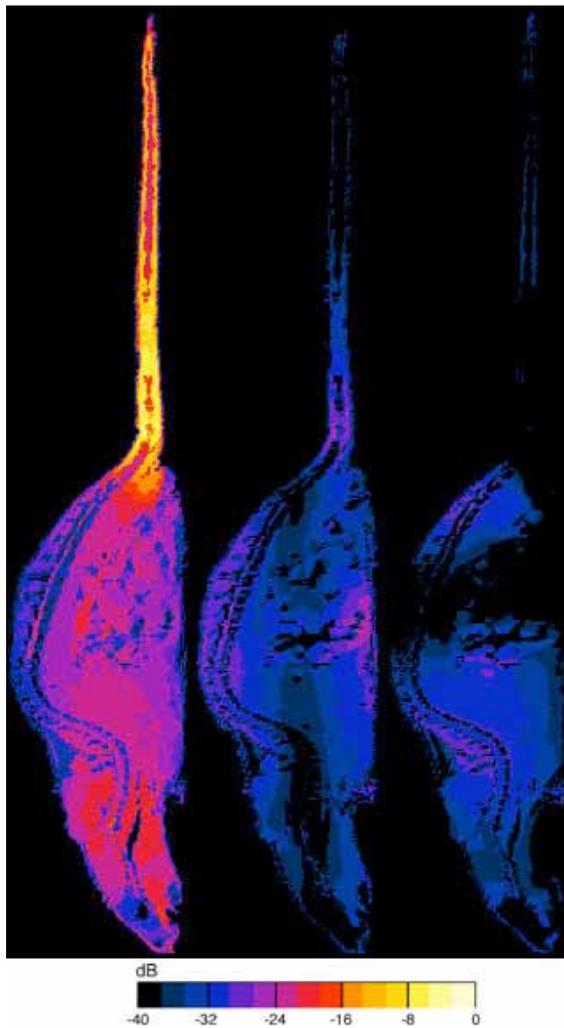


Abbildung 58: SAR-Verteilung in einem Längsschnitt durch die Ratte unter E-, H- und k-Polarisation (von links nach rechts) bei 450 MHz ($0 \text{ dB} = 5.5 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

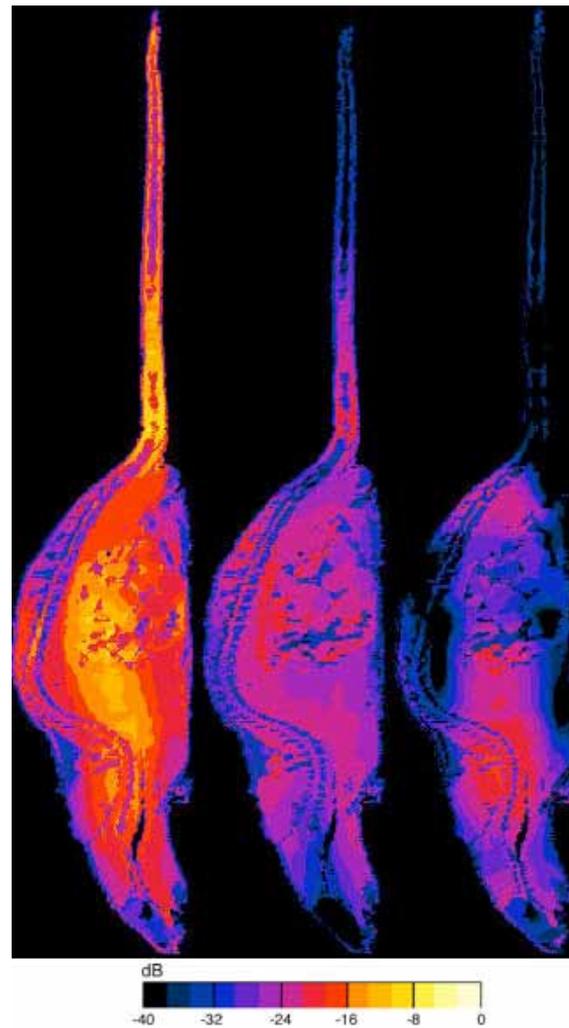


Abbildung 59: SAR-Verteilung in einem Längsschnitt durch die Ratte unter E-, H- und k-Polarisation (von links nach rechts) bei 900 MHz ($0 \text{ dB} = 5.5 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

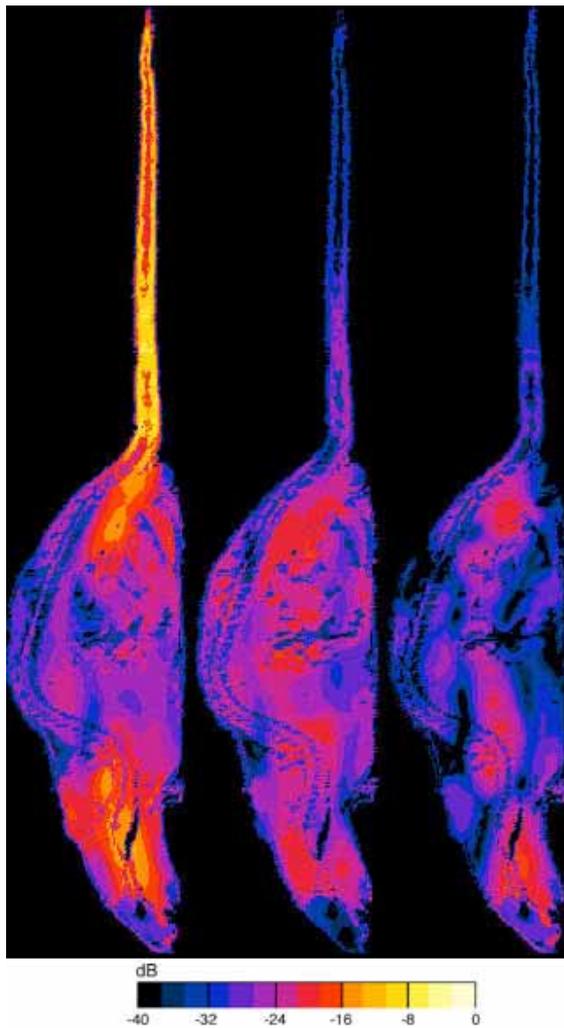


Abbildung 60: SAR-Verteilung in einem Längsschnitt durch die Ratte unter E-, H- und k-Polarisation (von links nach rechts) bei 1.8 GHz ($0 \text{ dB} = 5.5 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

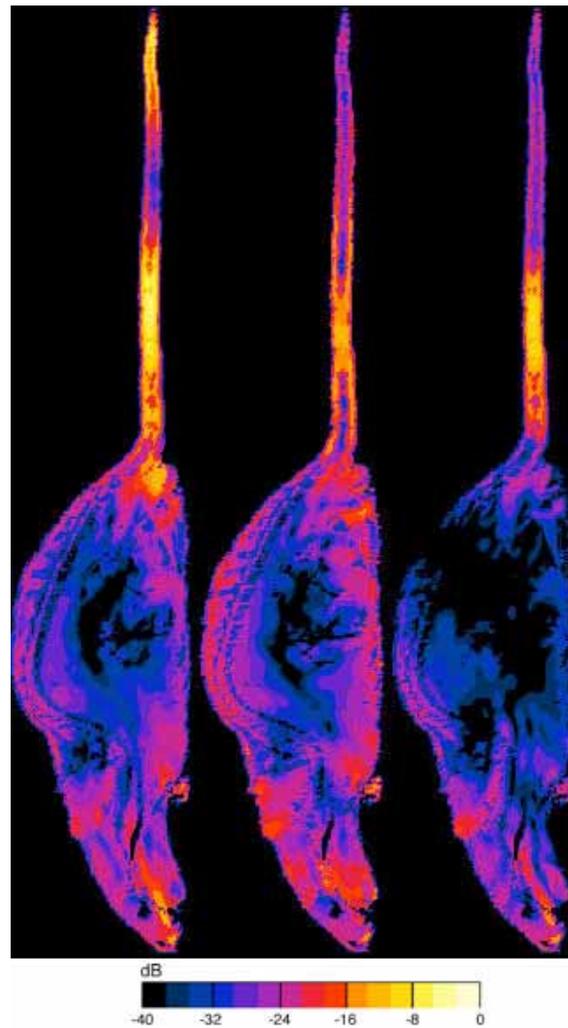


Abbildung 61: SAR-Verteilung in einem Längsschnitt durch die Ratte unter E-, H- und k-Polarisation (von links nach rechts) bei 5 GHz ($0 \text{ dB} = 5.5 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

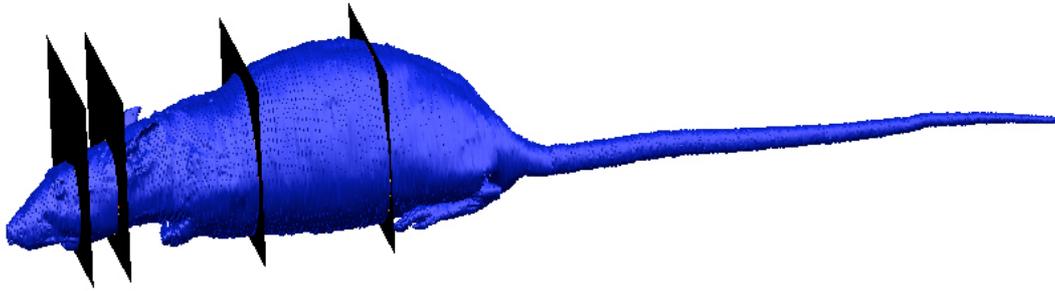


Abbildung 62: Positionen der Transversalschnitte in der Ratte



Abbildung 63: Transversalschnitte in der Ratte mit hervorgehobenen relevantem Organ in dem jeweiligen Schnitt; Die Orientierung der Schnitte ist in Richtung des Kopfes (roter Pfeil: x-Achse, grüner Pfeil: y-Achse, Orientierung gemäss Abbildung 6)

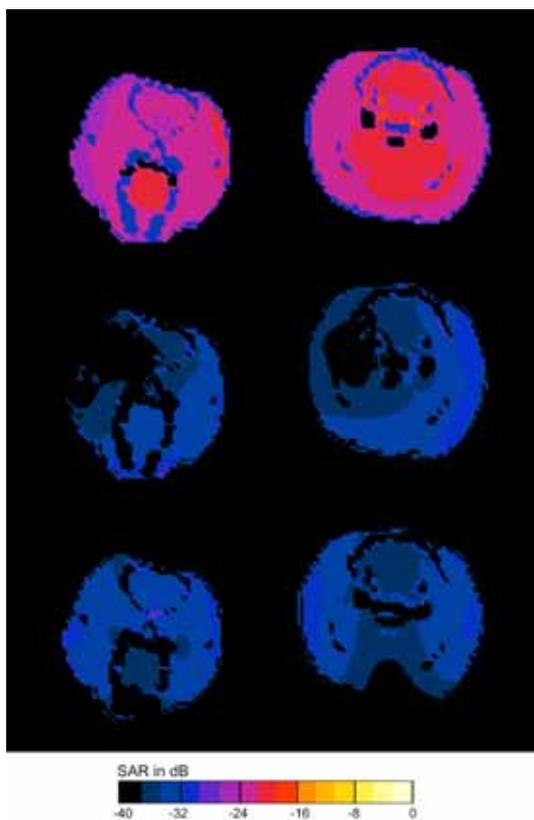


Abbildung 64: SAR-Verteilung in zwei Transversalschnitten, die das Hirn enthalten, durch die Ratte unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 450 MHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

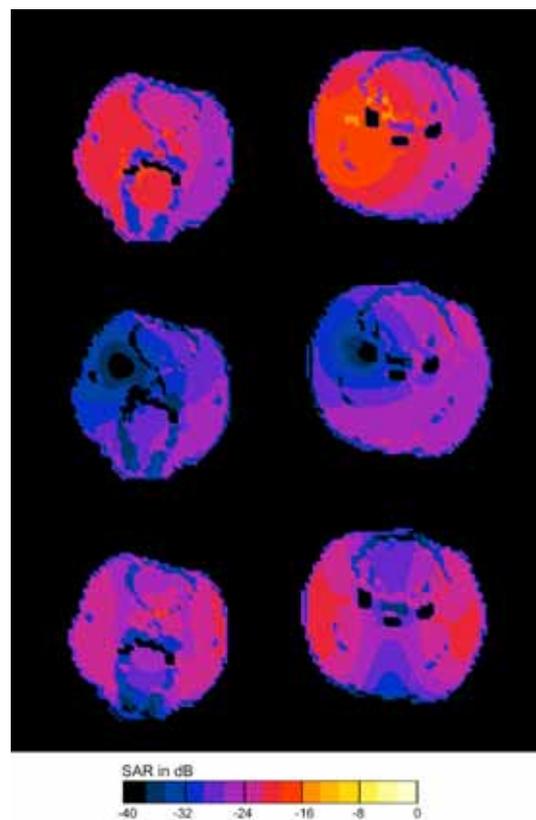


Abbildung 65: SAR-Verteilung in zwei Transversalschnitten, die das Hirn enthalten, durch die Ratte unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 900 MHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

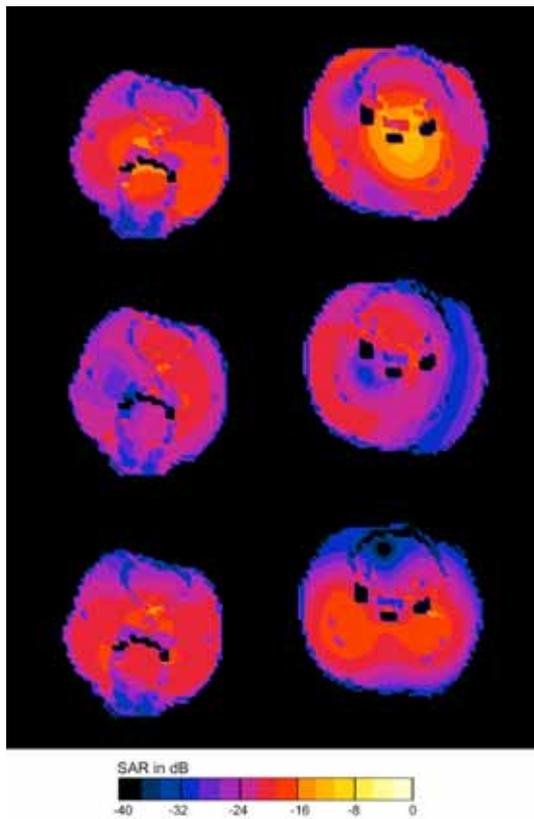


Abbildung 66: SAR-Verteilung in zwei Transversalschnitten, die das Hirn enthalten, durch die Ratte unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 1.8 GHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

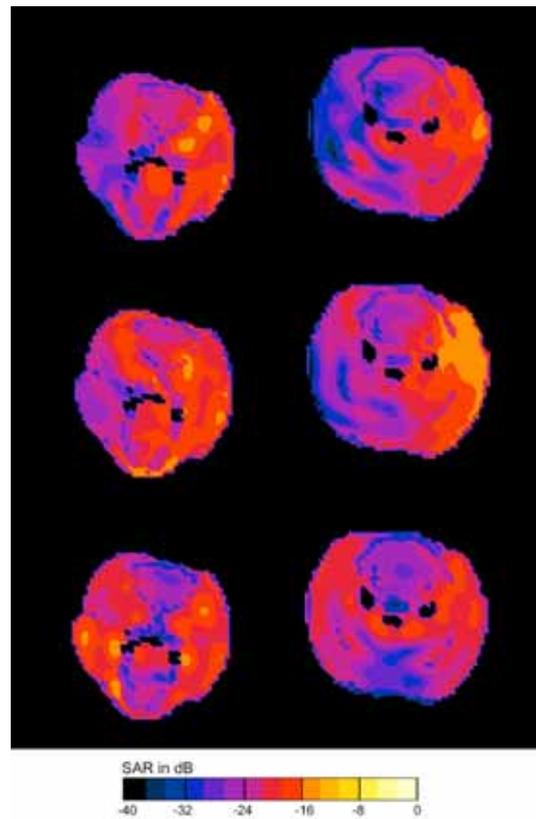


Abbildung 67: SAR-Verteilung in zwei Transversalschnitten, die das Hirn enthalten, durch die Ratte unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 5 GHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

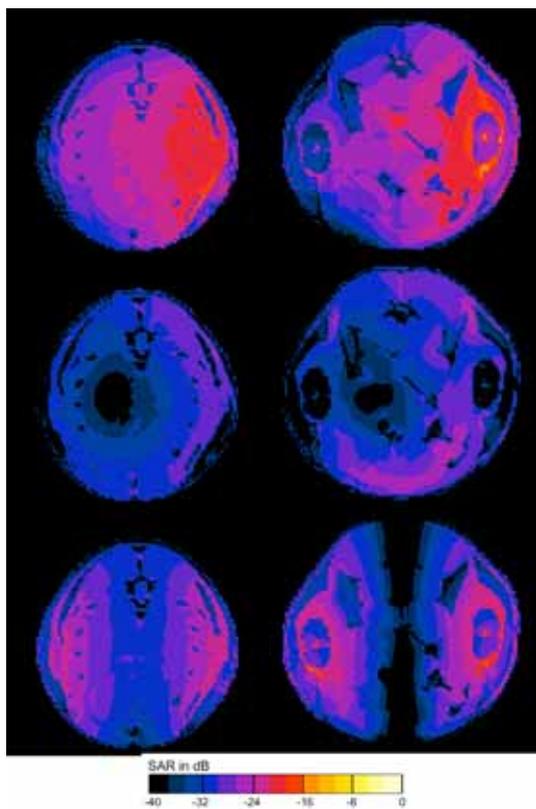


Abbildung 68: SAR-Verteilung in einem Transversalschnitt durch das Herz (links) und in der Region der Embrios (rechts) bei der Ratte unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 450 MHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

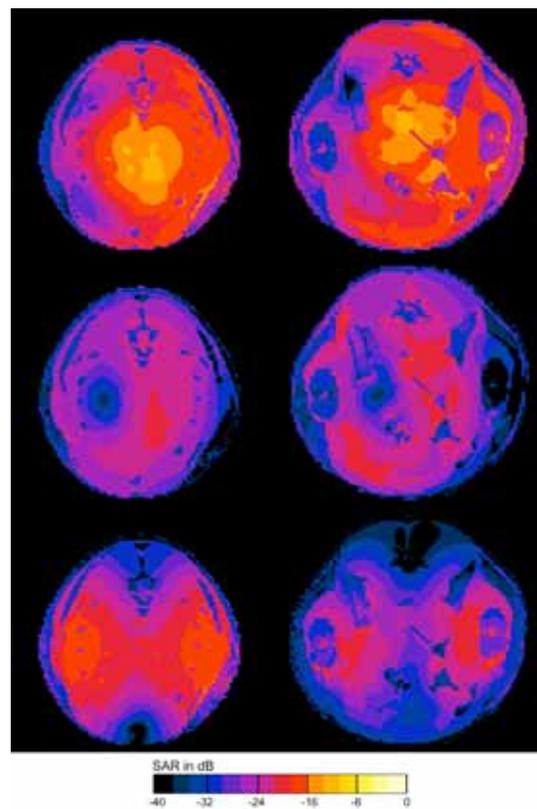


Abbildung 69: SAR-Verteilung in einem Transversalschnitt durch das Herz (links) und in der Region der Embrios (rechts) bei der Ratte unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 900 MHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

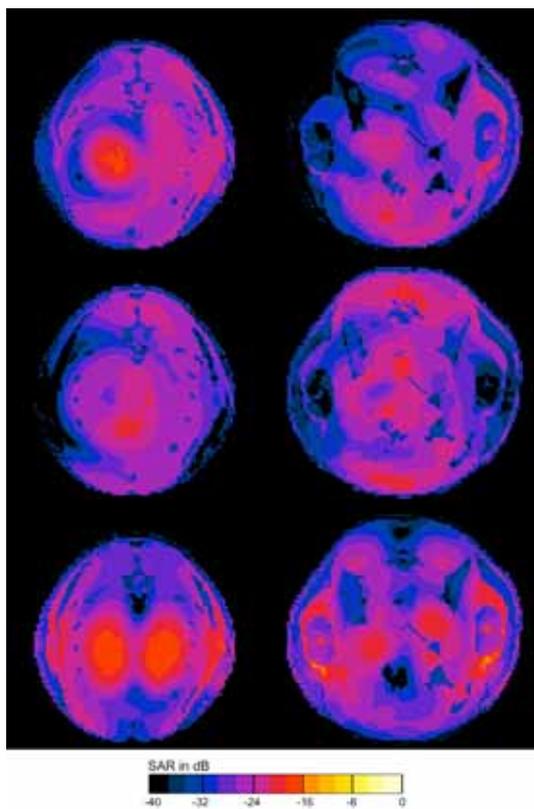


Abbildung 70: SAR-Verteilung in einem Transversalschnitt durch das Herz (links) und in der Region der Embrios (rechts) bei der Ratte unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 1.8 GHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

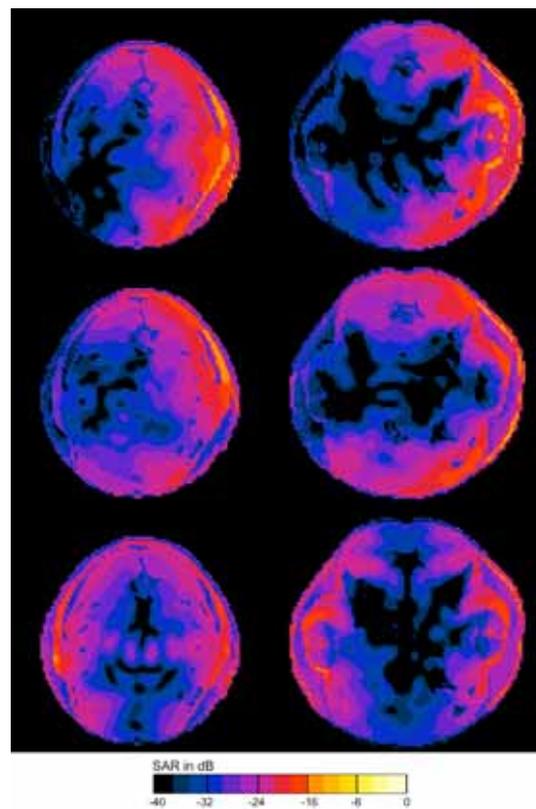


Abbildung 71: SAR-Verteilung in einem Transversalschnitt durch das Herz (links) und in der Region der Embrios (rechts) bei der Ratte unter E-, H- und k-Polarisation (von oben nach unten) bei 5 GHz ($0 \text{ dB} = 15 \text{ (W/kg)/(W/m}^2\text{)}$)

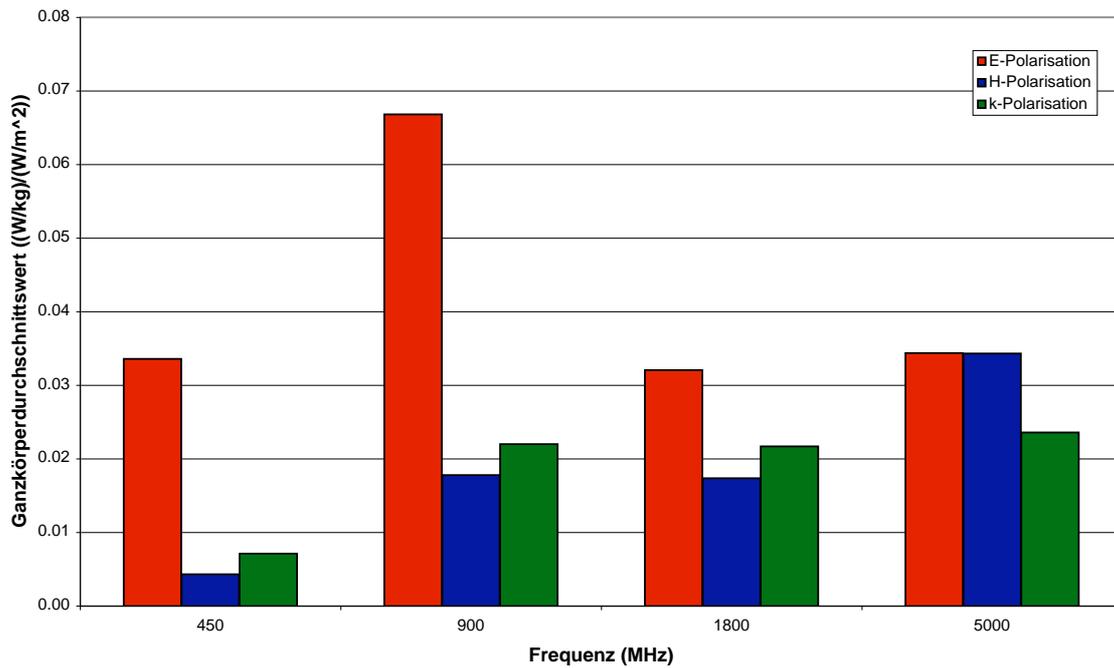


Abbildung 72: Ratte: Ganzkörperdurchschnittswert für das Rattenmodell bei verschiedener Polarisation und Frequenz

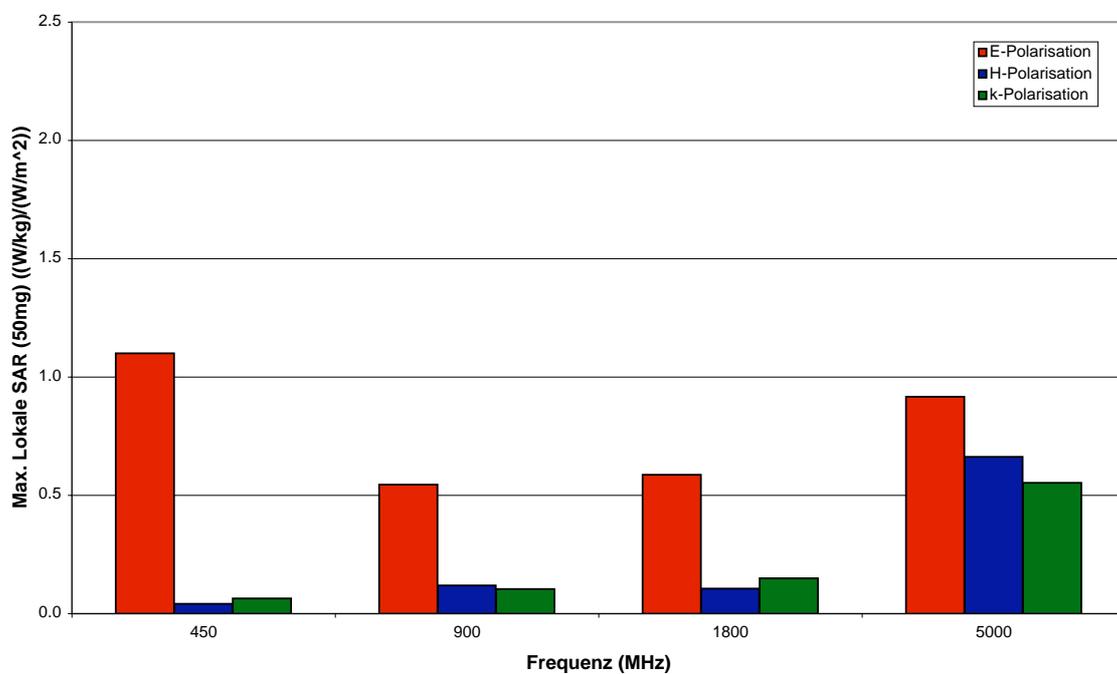


Abbildung 73: Ratte: Maximale lokale Absorption (Spatial Peak) gemittelt über einen 50 mg Würfel bei verschiedener Polarisation und Frequenz

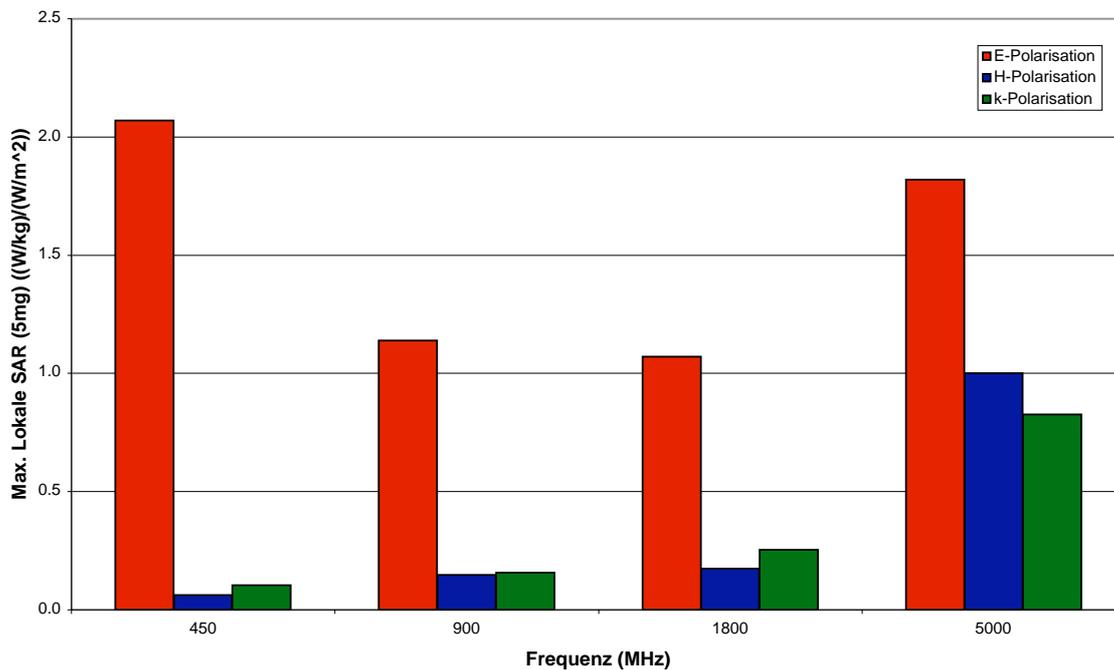


Abbildung 74: Ratte: Maximale lokale Absorption (Spatial Peak) gemittelt über einen 5 mg Würfel bei verschiedener Polarisierung und Frequenz

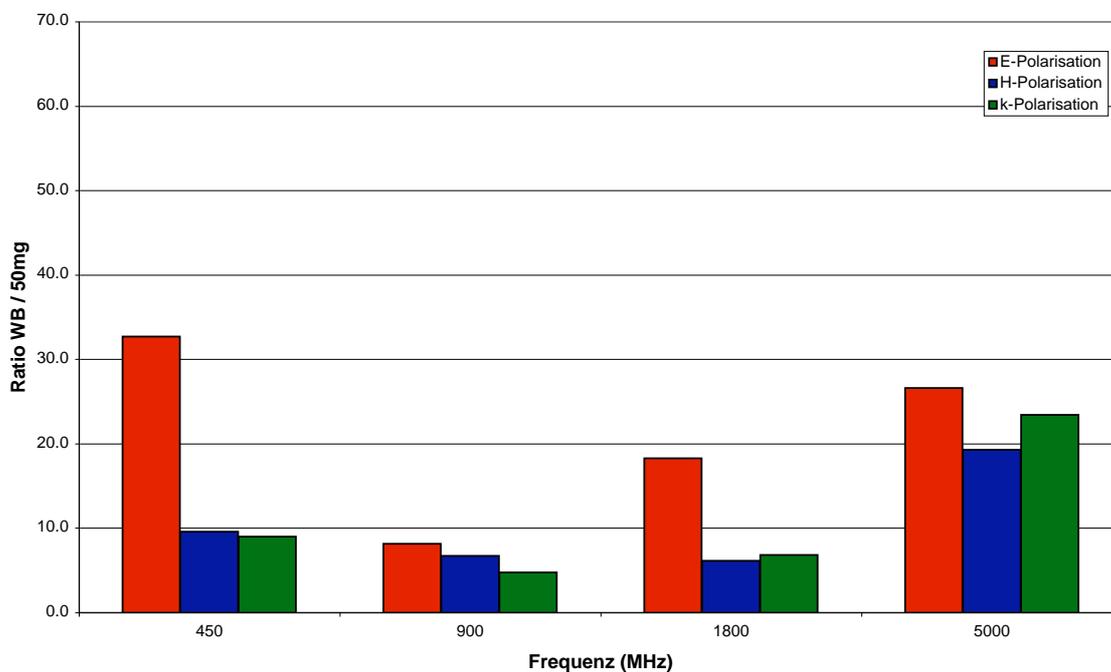


Abbildung 75: Ratte: Frequenz- und Polarisationsabhängigkeit des Verhältnisses zwischen lokaler Absorption und Ganzkörperabsorption für ein Mittelungsmasse von 50 mg

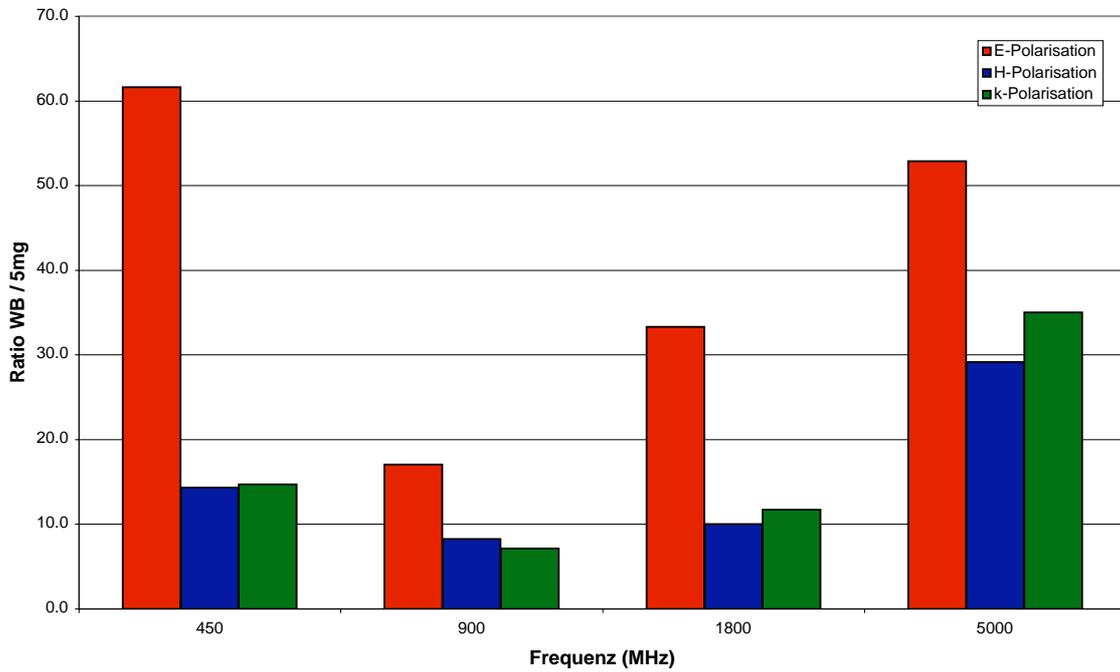


Abbildung 76: Ratte: Frequenz- und Polarisationsabhängigkeit des Verhältnisses zwischen lokaler Absorption und Ganzkörperabsorption für ein Mittelungsmasse von 5 mg

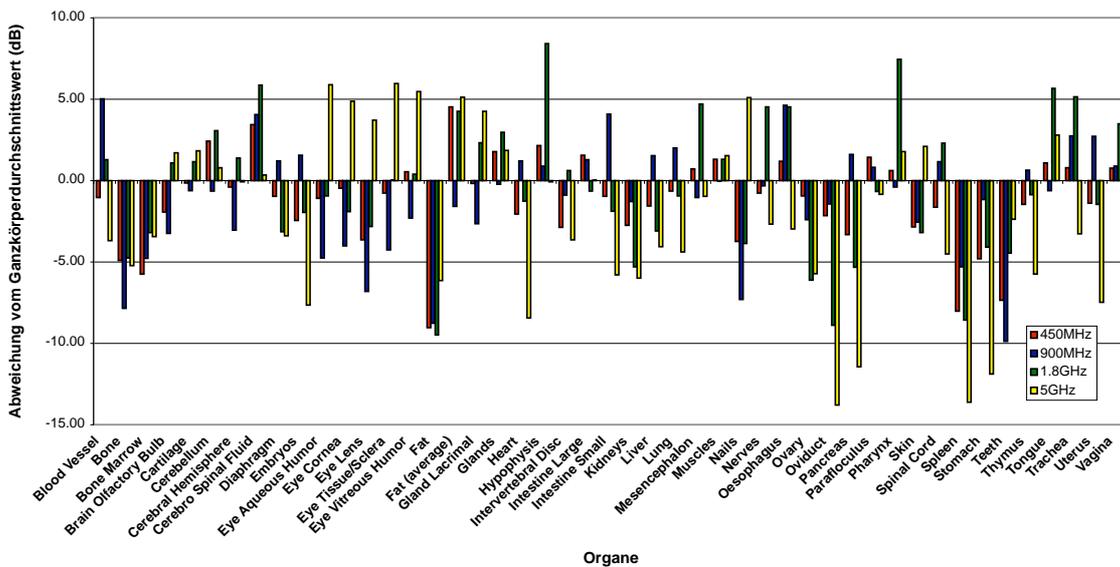


Abbildung 77: Ratte: Frequenzabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswert der SAR zum Ganzkörperdurchschnittswert für E-Polarisation

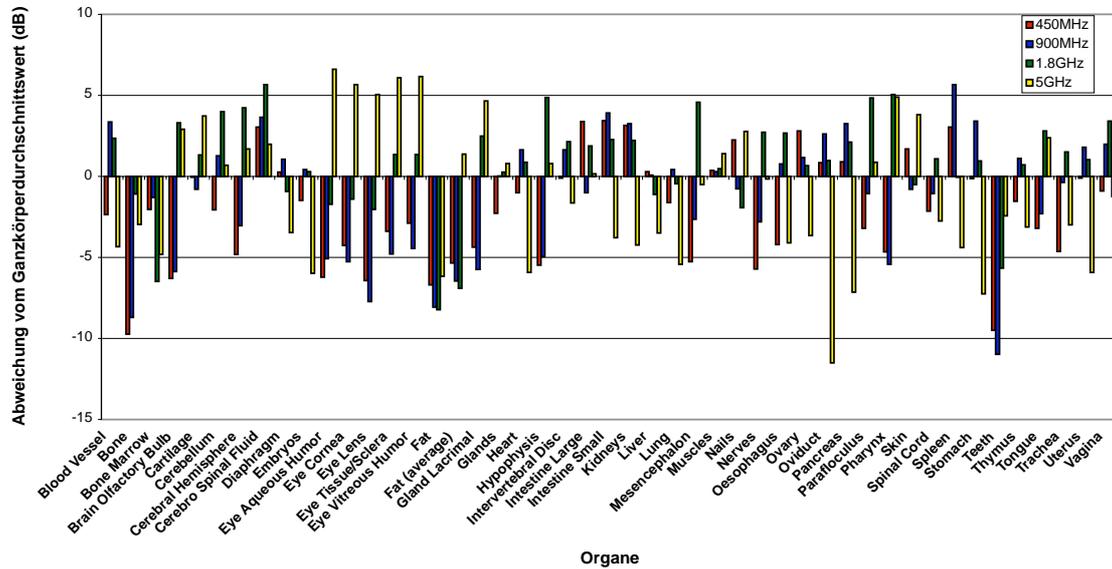


Abbildung 78: Ratte: Frequenzabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR zum Ganzkörperdurchschnittswert für H-Polarisation

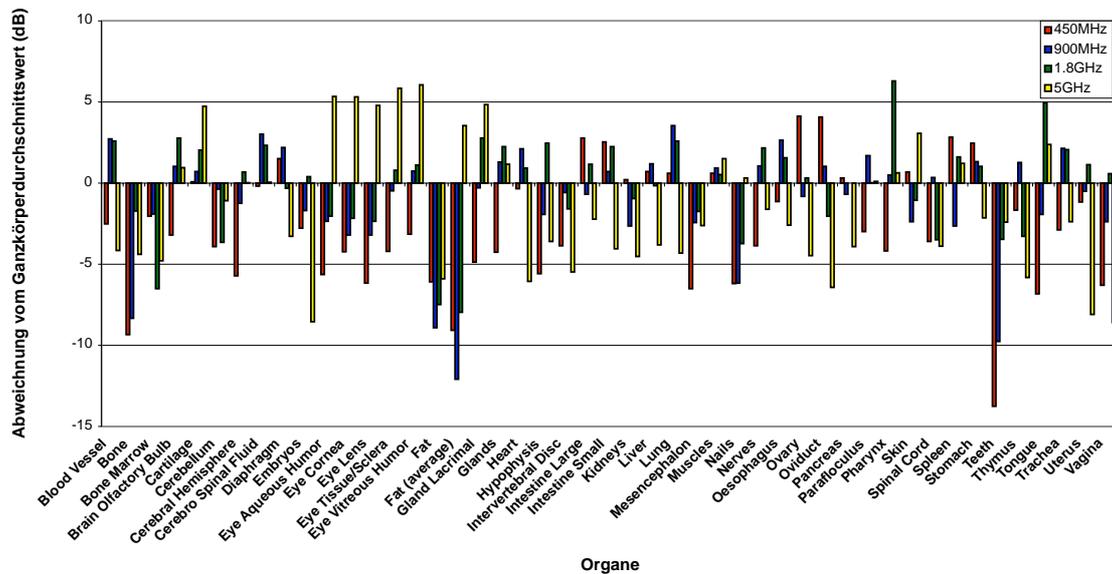


Abbildung 79: Ratte: Frequenzabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR zum Ganzkörperdurchschnittswert für k-Polarisation

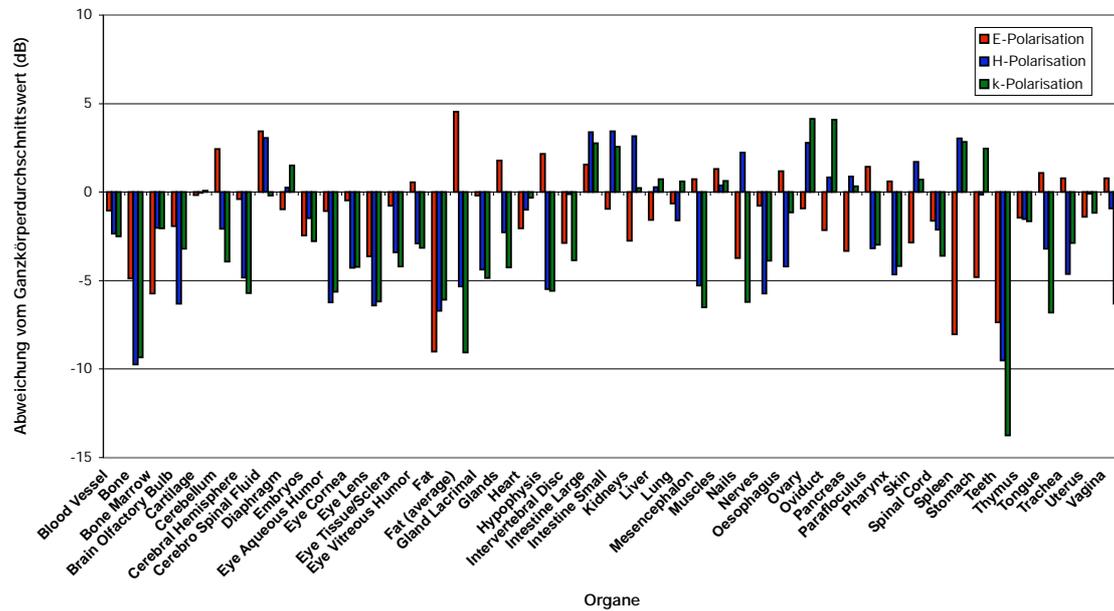


Abbildung 80: Ratte: Polarisationsabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR vom Ganzkörperdurchschnittswert bei 450 MHz

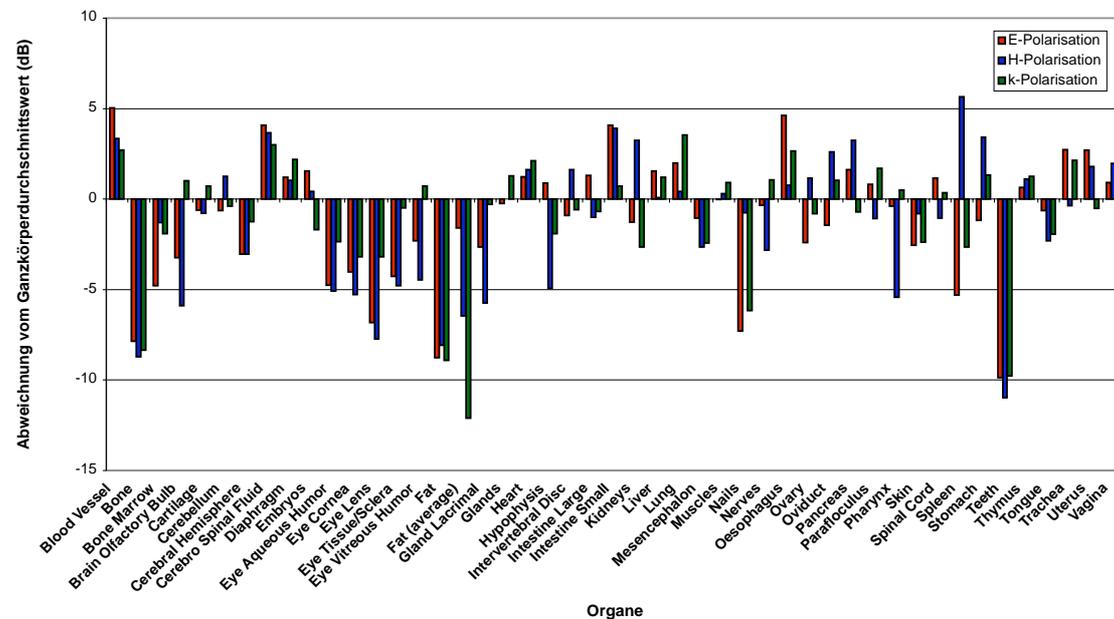


Abbildung 81: Ratte: Polarisationsabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR vom Ganzkörperdurchschnittswert bei 900 MHz

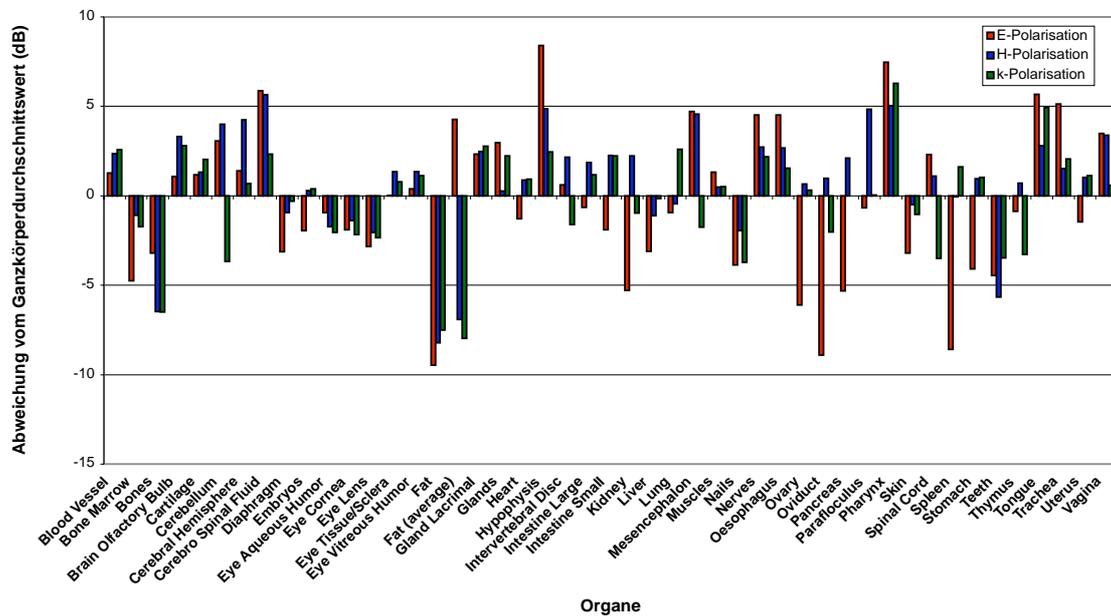


Abbildung 82: Ratte: Polarisationsabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR vom Ganzkörperdurchschnittswert bei 1.8 GHz

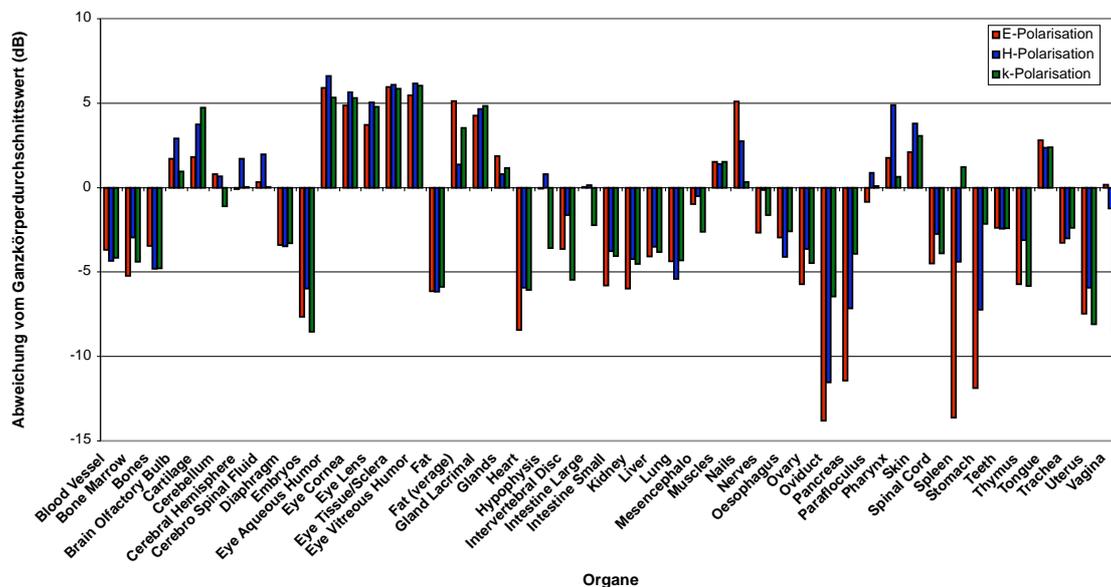


Abbildung 83: Ratte: Polarisationsabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR vom Ganzkörperdurchschnittswert bei 5 GHz

9.4 Diskussion

Auch beim Rattenmodell ist die Expositionscharakteristik höchst frequenz- und polarisationsabhängig. Die Körperlänge der Ratte entspricht bei 450 MHz in etwa $\lambda/4$, zusammen mit dem Schwanz in etwa $\lambda/2$. Dementsprechend ist bei 900 MHz die Körperlänge in etwa $\lambda/2$, zusammen mit dem Schwanz in etwa gleich der Wellenlänge der einfallenden Welle. Dies erklärt die Resonanzerscheinungen bei 900 MHz, bei E-Polarisation, ausgedrückt durch die SAR-Verteilung in den Schnitten, in denen die hohen SAR-Werte eher im Inneren des Körpers des Tieres liegen (siehe Abbildungen 59, 69) und den hohen Ganzkörperdurchschnittswert der SAR bei gleicher Leistungsdichte der einfallenden Welle verglichen mit den anderen Frequenzen. Diese Tendenz reproduziert sich auch im Verhältnis der lokalen zur durchschnittlichen Ganzkörperabsorption.

Die Durchschnittswerte der verschiedenen Organe und Gewebesorten weichen gleichermaßen deutlich vom Ganzkörperdurchschnittswert ab wie bei der Maus. Die Grösse der Variationen ist ebenfalls frequenz- und polarisationsabhängig, was aus den wechselnden Regionen hoher und niedriger Absorption folgt. Wie bereits bei der Maus erwähnt, hat dieser Aspekt einen grossen Einfluss auf die Interpretation der Resultate bezüglich der auftretenden Effekte und auf das Design von Expositionseinrichtungen.

Die SAR-Verteilungen in den Schnitten durch die Ratte variieren stark bezüglich Regionen hoher und niedriger SAR. Wie bei der Maus weist E-Polarisation die grösste Kopplungseffizienz (Ganzkörperdurchschnitt der SAR vs eingestrahlte Leistung) auf. Auch hier, wie bei der Maus, ist aber zu beachten, dass der Schwanz dabei einer deutlich höheren durchschnittlichen Dosis ausgesetzt ist als der übrige Körper. Für den Temperatenausgleich und den Entwurf von Expositionseinrichtungen müssen dieselben Punkte berücksichtigt werden wie bei der Maus. Bei E-Polarisation tritt bei der Ratte bei 900 MHz die höchste Absorption auf, was in der Nähe ihrer Körperresonanz liegt.

Ausser bei 900 MHz ist zu beachten, dass der Schwanz bei E-Polarisation einer deutlich höheren durchschnittlichen Dosis ausgesetzt ist als der übrige Körper. Wie die Maus benutzt die Ratte den Schwanz zum Temperatenausgleich. Auch beim Entwurf von Expositionseinrichtungen für Ratten muss deshalb dieser Punkt speziell beachtet werden. Die Überexposition des Schwanzes begrenzt deshalb den maximal zulässigen Ganzkörperdurchschnittswert für ein entsprechendes Experiment. Nebst der Exposition des Schwanzes sind weitere Organe wie Hirn, Auge und bei schwangeren Tieren die Exposition der Embryos von Interesse. Einerseits sollen Organe wie das Auge nicht überexponiert werden, andererseits besteht beim Hirn und den Embryos das Interesse, dass sich diese Bereiche nicht wesentlich vom Ganzkörperdurchschnitt unterscheiden. Die Durchschnittswerte dieser Organe und Bereiche sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Die Abweichungen zum Ganzkörperdurchschnitt sind in Tabelle 9 nochmals verdeutlicht. Zu beachten ist die starke Variation der Exposition der einzelnen Bereiche sowie deren Verhältnis zum Ganzkörperdurchschnittswert der SAR in Abhängigkeit zur Frequenz und der Orientierung im Feld. Diese Variationen müssen bei der Bewertung von Studien in denen Ratten unter Fernfeldbedingungen exponiert wurden in Betracht gezogen werden. Die Hauptschwierigkeit stellt sich bei der Gewichtung der einzelnen Anteile zur Bestimmung der durchschnittlichen Exposition über die Gesamtdauer des Experiments.

Bezüglich der Frequenz sieht man anhand der SAR-Verteilungen in den Schnitten und auf der Oberfläche die starke Veränderung der Verteilungen bezüglich der Regionen hoher und niedriger SAR. In Tabelle 13 sind die Orte der Spitzenwerte der räumlich gemittelten SAR über 5 mg und 0.5 mg zusammengefasst. Für die meisten Fälle liegen die Spitzenwerte auf dem Schwanz oder auf den Ohren. Bei 900 MHz, nahe der Körperresonanz, für E- und H-Polarisation liegen die Spitzenwerte im Darm. Auch bei 1.8 GHz für k-Polarisation liegen die Spitzenwerte im Innern des

Körpers, nämlich im Darm und im Uterus. Auch hier reproduziert dies den visuellen Eindruck, der aus den Darstellungen der SAR-Verteilungen auf der Oberfläche und in den Schnitten durch die Ratte gewonnen werden kann.

Polarisation	Ganzkörper $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Schwanz $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Hirn $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Auge $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Embryos $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$
450 MHz					
E	2.3E-02	4.2E-01	4.4E-02	2.8E-02	1.9E-02
H	4.3E-03	3.0E-03	3.1E-03	1.7E-03	3.1E-03
k	7.3E-03	8.3E-04	3.1E-03	2.7E-03	3.8E-03
900 MHz					
E	6.4E-02	1.8E-01	6.9E-02	2.7E-02	9.5E-02
H	1.8E-02	1.3E-02	1.8E-02	5.1E-03	2.0E-02
k	2.3E-02	1.4E-03	2.3E-02	1.8E-02	1.5E-02
1.8 GHz					
E	2.5E-02	3.0E-01	7.1E-02	2.7E-02	2.1E-02
H	1.8E-02	6.8E-03	5.0E-02	1.8E-02	1.9E-02
k	2.2E-02	5.1E-03	2.5E-02	2.1E-02	2.4E-02
5.0 GHz					
E	1.1E-01	3.9E-01	3.5E-02	1.1E-01	5.9E-03
H	4.9E-02	1.0E-01	4.8E-02	1.3E-01	8.7E-03
k	2.5E-02	3.7E-02	2.2E-02	8.5E-02	3.3E-03

Tabelle 8: Ganzkörperdurchschnittswert der SAR und SAR-Durchschnittswerte von Schwanz, Hirn, Auge und Embryos für die vorgegebenen Frequenzen und Orientierungen im Feld

Polarisation	Schwanz (dB)	Hirn (dB)	Auge (dB)	Embryos (dB)
450 MHz				
E	12.5	2.8	0.8	-0.9
H	-1.6	-1.5	-4.1	-1.5
k	-9.5	-3.7	-4.4	-2.9
900 MHz				
E	4.4	0.3	-3.7	1.7
H	-1.4	-0.1	-5.5	0.4
k	-11.9	0.0	-1.0	-1.8
1.8 GHz				
E	10.7	4.6	0.3	-0.9
Hpol	-4.2	4.5	0.1	0.2
Kpol	-6.4	0.6	-0.3	0.3
5.0 GHz				
E	5.4	-5.1	-0.1	-12.8
H	3.3	-0.1	4.2	-7.5
k	1.8	-0.5	5.4	-8.7

Tabelle 9: Abweichungen der SAR-Durchschnittswerte von Schwanz, Hirn, Auge und Embryos vom Ganzkörperdurchschnittswert für die vorgegebenen Frequenzen und Orientierungen im Feld

Polarisation	Spitzenwert gemittelt über 50 mg	Spitzenwert gemittelt über 5 mg
450 MHz		
E	Schwanz	Schwanz
H	Ohr	Ohr
k	Ohr	Ohr
900 MHz		
E	Schwanz	Darm
H	Darm	Darm
k	Muskel	Ohr
1.8 GHz		
E	Schwanz	Schwanz
H	Ohr	Ohr
k	Uterus	Darm
5.0 GHz		
E	Schwanz	Schwanz
H	Ohr	Ohr
k	Ohr	Ohr

Tabelle 10: Orte der räumlich gemittelten SAR-Spitzenwerte über 50 und 5 mg für die vorgegebenen Frequenzen und Orientierungen im Feld

10 Gleichmässigkeit der SAR-Verteilung in den Tiermodellen

Für den Entwurf von Expositionseinrichtungen für Bioexperimente wird meistens eine möglichst gleichmässige SAR-Verteilung im ganzen Versuchstier angestrebt. Wegen der Inhomogenität des Tieres und der unterschiedlichen Eindringtiefen der elektromagnetischen Wellen bei verschiedenen Frequenzen ist die SAR-Verteilung von vornherein ungleichmässig und auch bei allen Frequenzen völlig verschieden. Um aber die günstigste Art der Einstrahlung abschätzen zu können, sind in den Abbildungen 84 und 85 die Standardabweichungen der SAR-Verteilungen für alle berechneten Fälle für die Maus und die Ratte zusammengefasst.

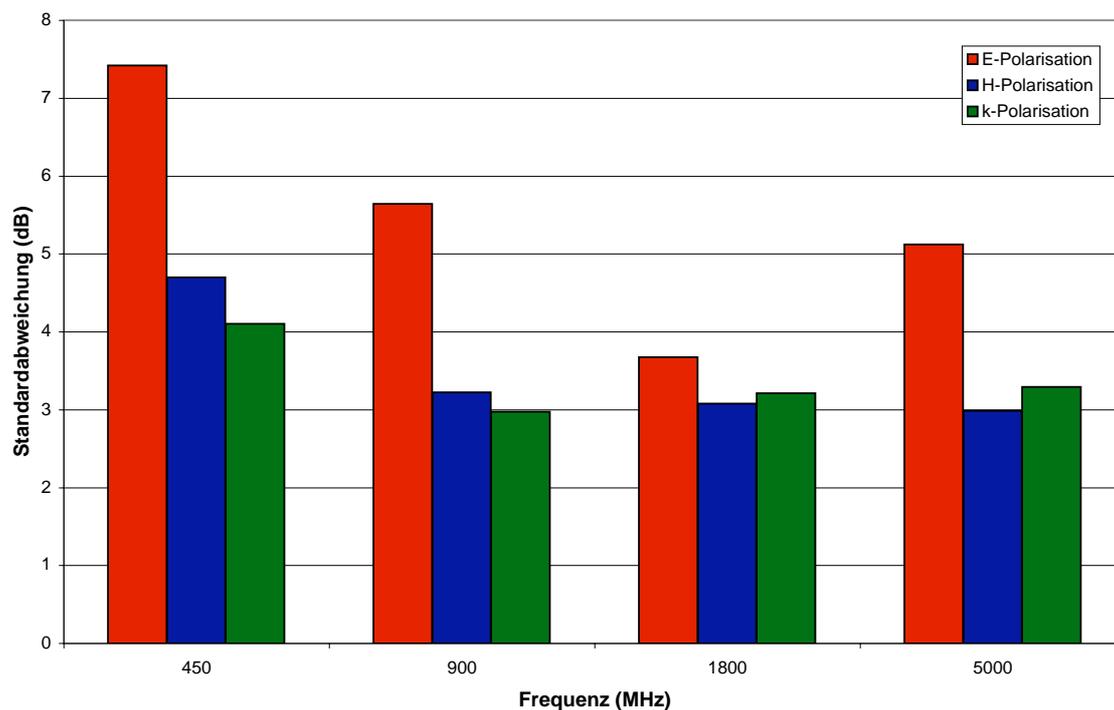


Abbildung 84: Maus: Frequenz- und Polarisationsabhängigkeit der Standardabweichung der SAR-Verteilung

Für die Ratte ist bezüglich Uniformität eindeutig H-Polarisation die günstigste Orientierung zum Feld. Bei der Maus wechselt sich H-Polarisation mit k-Polarisation ab. Bei tieferen Frequenzen ist es k-Polarisation, bei höheren dann auch H-Polarisation. Zu beachten ist die Tatsache, dass im Bereich der Resonanz der Tiere, alle Polarisierungen in etwa dieselbe Standardabweichung aufweisen. Für die Maus zeigt sich dies bei 1.8 GHz und für die Ratte bei 900 MHz. Ansonsten weist E-Polarisation, die bezüglich Kopplungseffizienz die beste ist, immer eine deutlich schlechtere Gleichmässigkeit der SAR-Verteilung im Tier auf. Die organspezifischen Durchschnittswerte der SAR müssen für jeden konkreten Fall separat betrachtet werden. Veränderungen in der Tiergrösse sowie die eingenommene Haltung der Versuchstiere können die Verhältnisse bezüglich der Absorption wesentlich beeinflussen. Für eine exakte Abschätzung der Absorption ist daher ein hoher Modellierungsaufwand nötig.

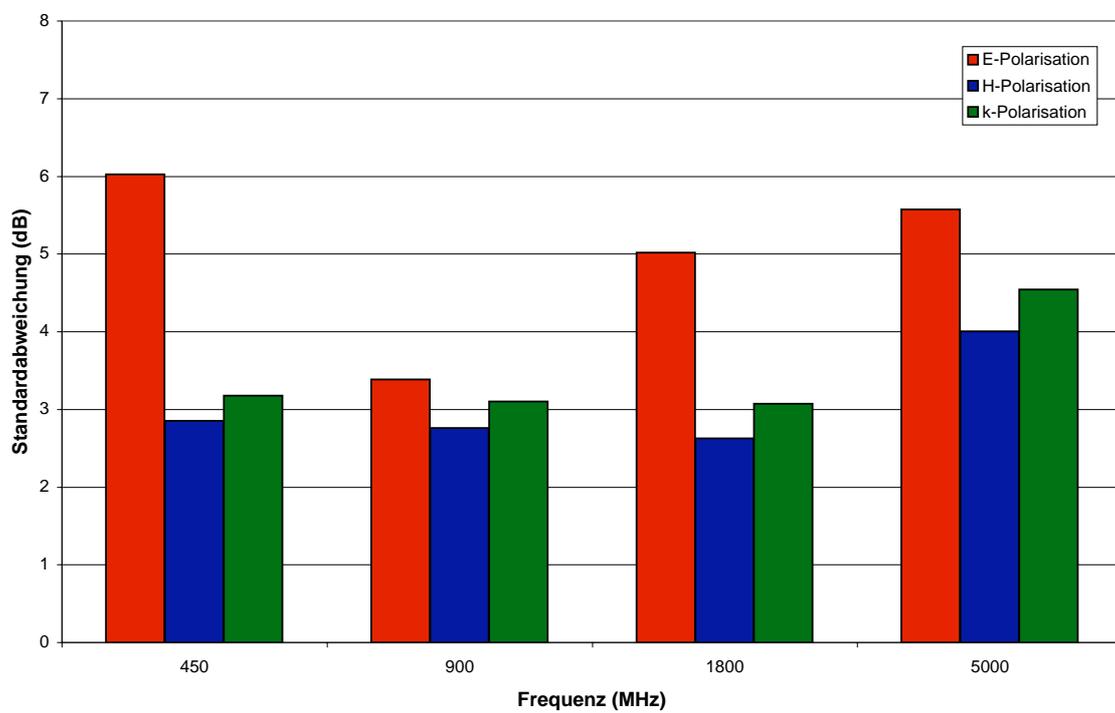


Abbildung 85: Ratte: Frequenz- und Polarisationsabhängigkeit der Standardabweichung der SAR-Verteilung

11 Absorption in einem Menschen unter Fernfeldexposition

Für die Simulationen mit dem Mensch-Modell wurden zwei verschiedene Auflösungen verwendet. Bei 450 MHz und 900 MHz reicht eine Auflösung von $4 \times 4 \times 4$ mm, was einer Voxelgrösse von 64 mm^3 entspricht. Wegen der geringeren Wellenlänge ist bei 1.8 GHz eine Erhöhung der Auflösung nötig. Die Simulationen bei 1.8 GHz wurden deshalb mit einer Auflösung von $2 \times 2 \times 2$ mm durchgeführt, was einer Voxelgrösse von 8 mm^3 entspricht. Bei 5 GHz wäre eine Auflösung von $0.9 \times 0.9 \times 0.9$ mm erforderlich. Auf die Simulationen bei dieser Frequenz wurde wegen des damit verbundenen Aufwandes verzichtet (siehe Kapitel 4). Alle Darstellungen sind auf eine einfallende ebene Welle der Leistungsdichte 1 W/m^2 normiert.

11.1 SAR-Verteilung auf der Oberfläche und in einem Schnitt

Abbildung 86 zeigt die SAR-Verteilung auf der Oberfläche des Menschen bei 450 MHz und 900 MHz. Für die Auswertungen bei 1.8 GHz musste der Bereich unterteilt werden. Daher ist die zusammenhängende Darstellung der SAR-Verteilung auf der Oberfläche nicht möglich und wurde weggelassen. Die SAR-Verteilungen in einem Schnitt durch den Menschen bei 450 MHz, 900 MHz und 1.8 GHz sind in den Abbildungen 87 und 88 gezeigt. Abbildung 89 zeigt die Positionen bei denen die Transversalschnitte extrahiert wurden. Die SAR-Verteilungen in diesen Schnitten sind in den Abbildungen 90 bis 95 dargestellt.

Allen Abbildungen ist eine Skala in dB beigelegt. Dabei entspricht 0 dB einer spezifischen Absorptionsrate von 1 W/kg .

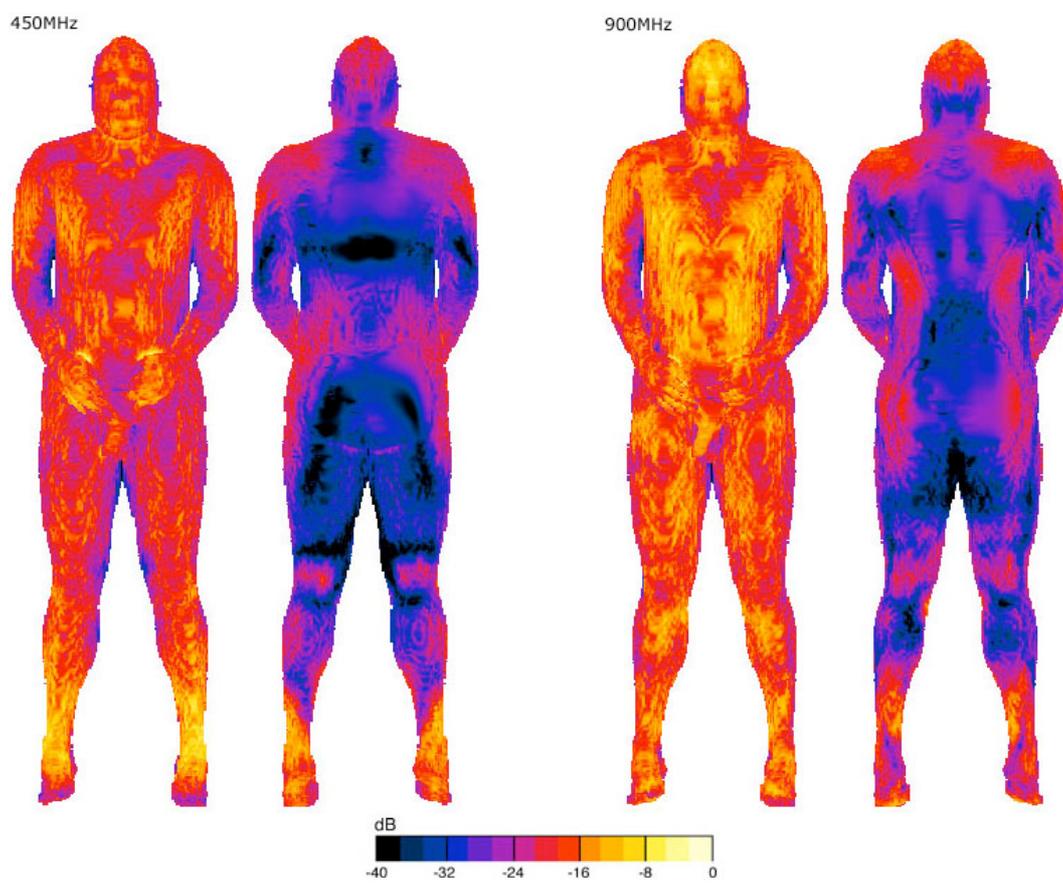


Abbildung 86: Ansicht der SAR-Verteilung von vorne und hinten auf der Oberfläche des Menschen unter E-Polarisation bei 450 MHz (links) und 900 MHz (rechts) für frontalen Einfall

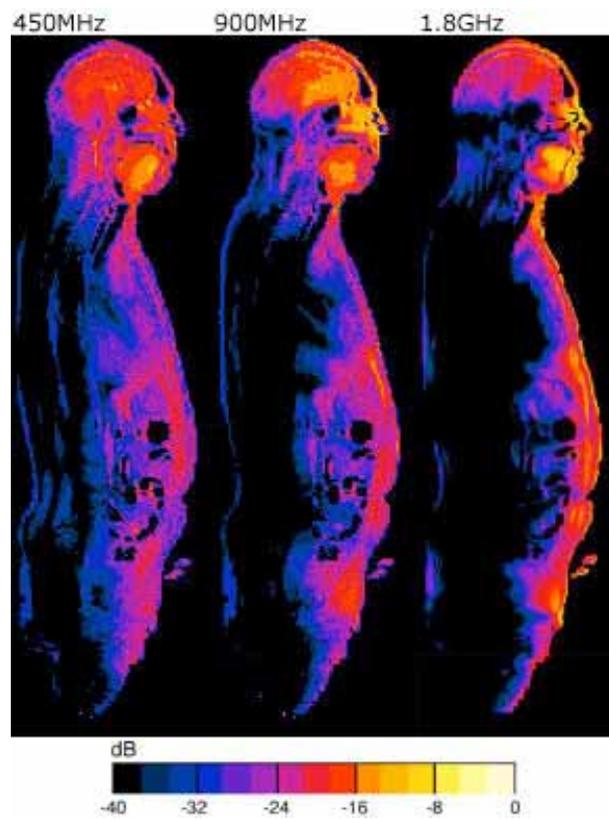


Abbildung 87: SAR-Verteilung in einem Sagittalschnitt durch den Menschen unter E-Polarisation bei 450 MHz, 900 MHz und 1.8 GHz (von links nach rechts)

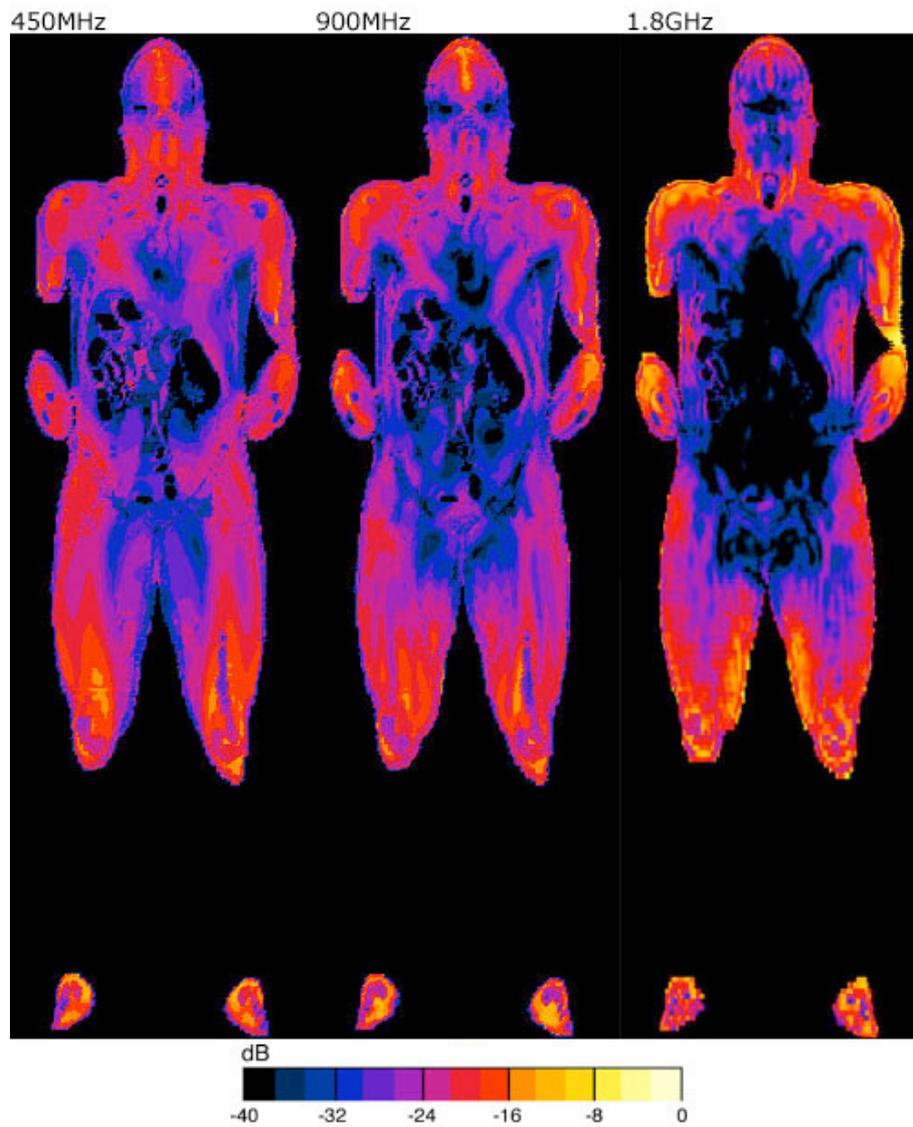


Abbildung 88: SAR-Verteilung in einem Frontalschnitt durch den Menschen unter E-Polarisation bei 450 MHz, 900 MHz und 1.8 GHz (von links nach rechts)

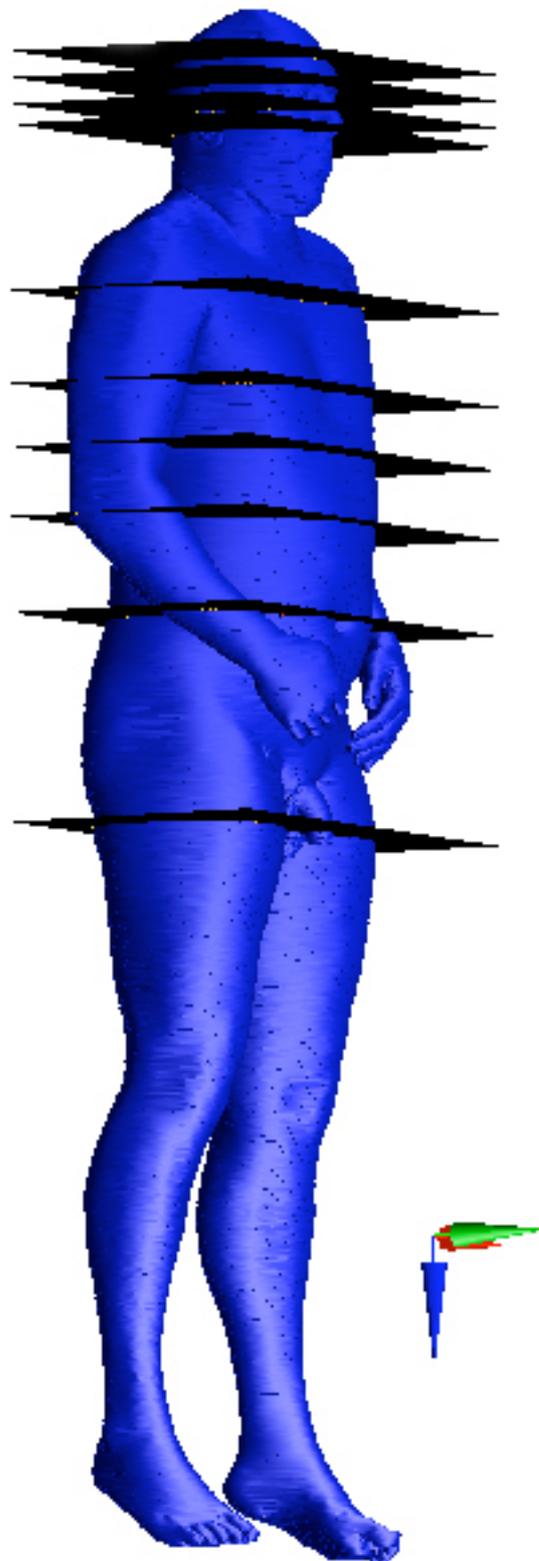


Abbildung 89: Positionen der Transversalschnitte beim Mensch-Modell

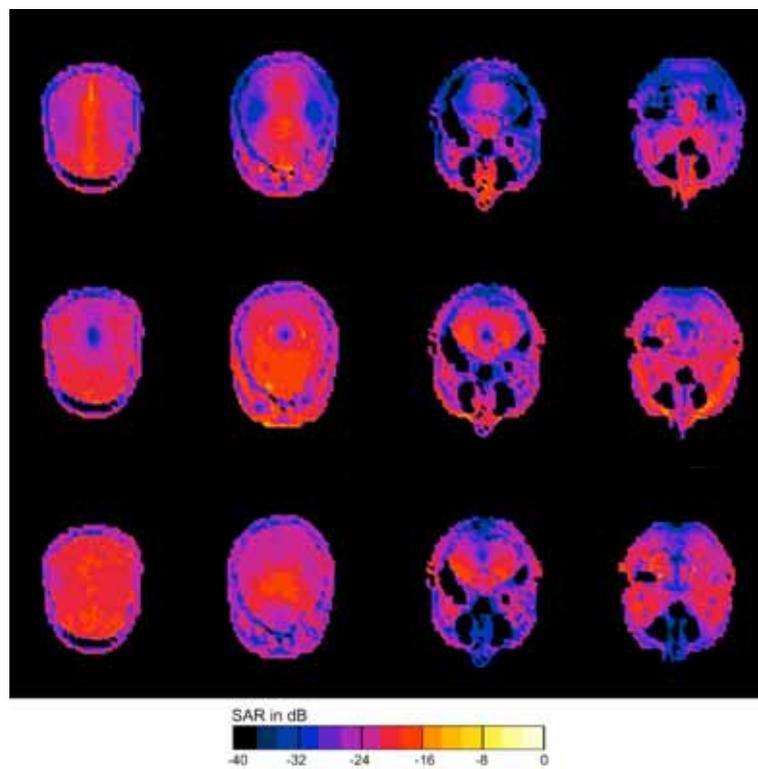


Abbildung 90: Transversalschnitte des Kopfes beim Mensch-Modell bei 450 MHz für E- (oben), H- (mitte) und k-Polarisation (unten)

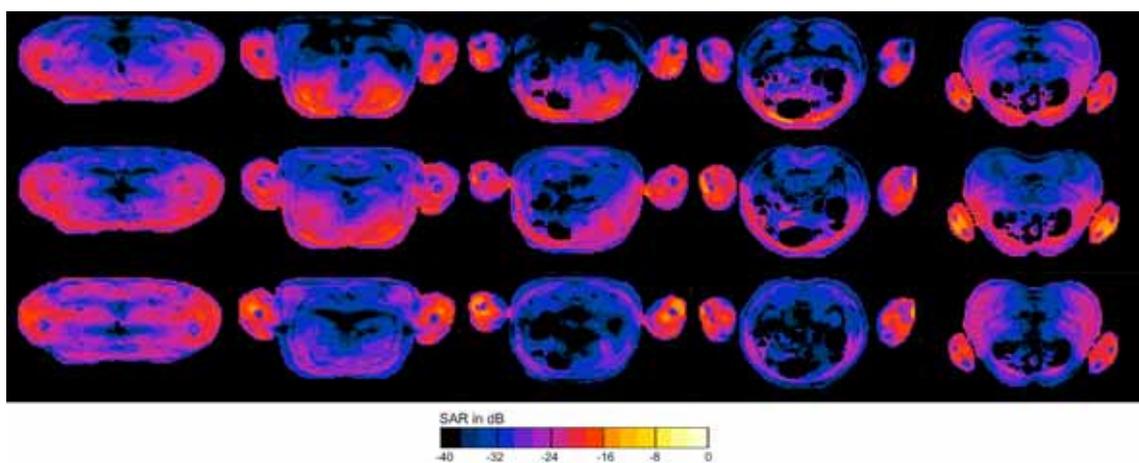


Abbildung 91: Transversalschnitte des Torsos beim Mensch-Modell bei 450 MHz für E- (oben), H- (mitte) und k-Polarisation (unten)

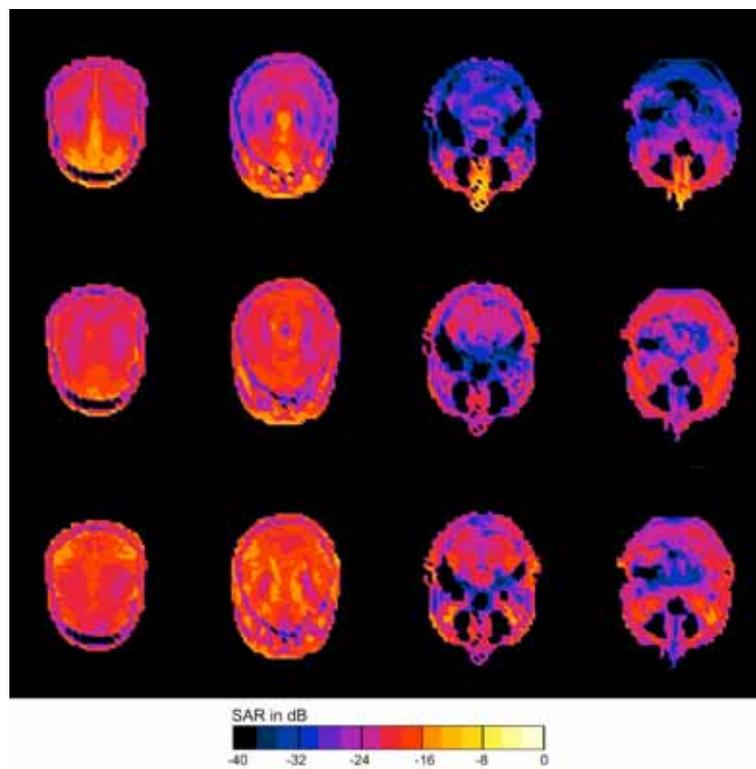


Abbildung 92: Transversalschnitte des Kopfes beim Mensch-Modell bei 900 MHz für E- (oben), H- (mitte) und k-Polarisation (unten)

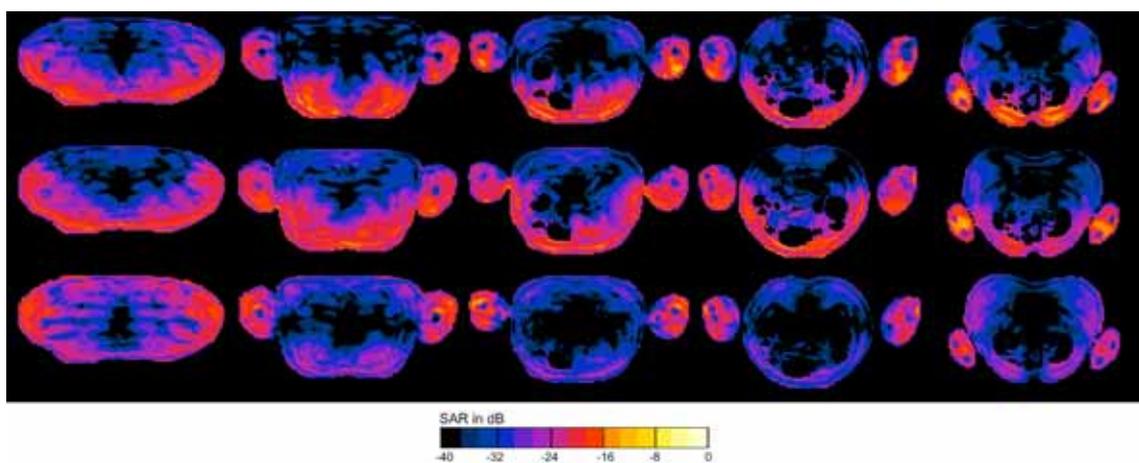


Abbildung 93: Transversalschnitte des Torsos beim Mensch-Modell bei 900 MHz für E- (oben), H- (mitte) und k-Polarisation (unten)

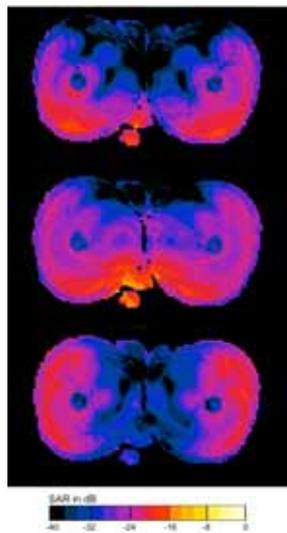


Abbildung 94: Transversalschnitte auf der Höhe der Hoden beim Mensch-Modell bei 450 MHz für E- (oben), H- (mitte) und k-Polarisation (unten)

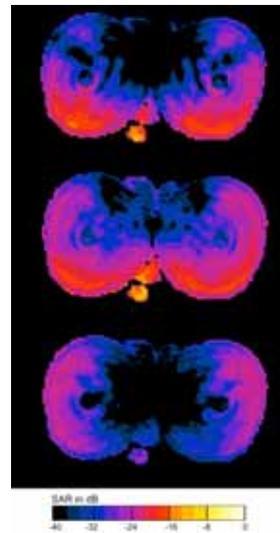


Abbildung 95: Transversalschnitte auf der Höhe der Hoden beim Mensch-Modell bei 900 MHz für E- (oben), H- (mitte) und k-Polarisation (unten)

11.2 Frequenzabhängigkeit der Absorption in einem Menschen unter Fernfeldexposition

Die Abbildungen 96, 97 und 98 vergleichen die SAR-Verteilungen in den gewählten Schnitten gemäss Abbildung 89 für E-Polarisation bei 450 MHz, 900 MHz und 1.8 GHz. Dabei ist die verschiedene Eindringtiefe und die verschiedene Wellenlänge im Gewebe deutlich zu erkennen.

Abbildung 99 zeigt die Frequenz- und Polarisationsabhängigkeit des Ganzkörperdurchschnittswertes für das Menschenmodell. In den Abbildungen 100 und 101 sind die entsprechenden Verläufe für die über 10 g und 1 g gemittelten SAR-Werte gezeigt. Das Verhältnis zwischen lokaler Absorption (Spatial Peak) und durchschnittlichen Ganzkörperabsorption ist in den Abbildungen 102 und 103 gezeigt und Abbildung 104 zeigt die Frequenzabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR zum Ganzkörperdurchschnittswert für E-Polarisation bei frontalem Einfall.

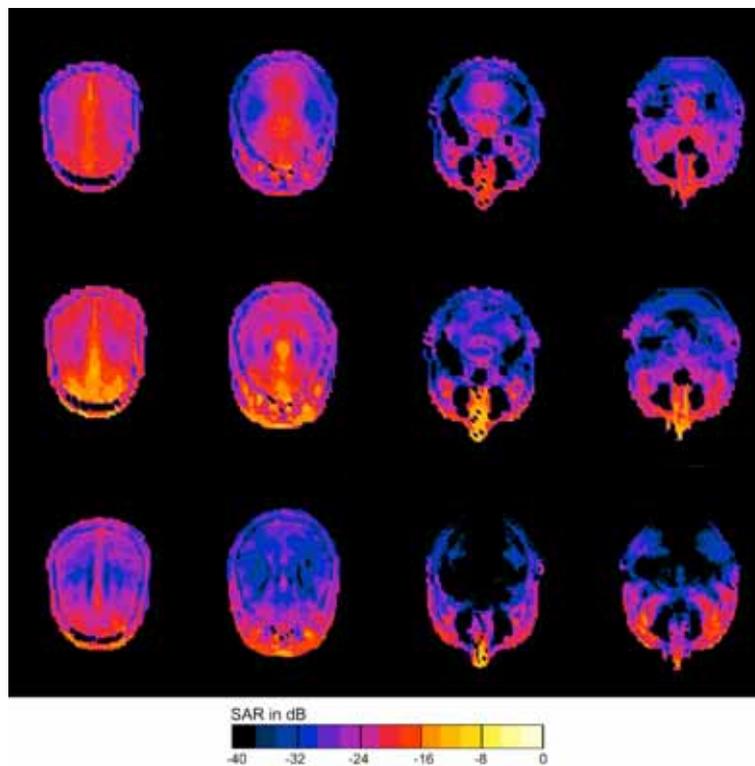


Abbildung 96: Transversalschnitte des Kopfes beim Mensch-Modell für E-Polarisation bei 450 MHz (oben), 900 MHz (mitte) und 1.8 GHz (unten)

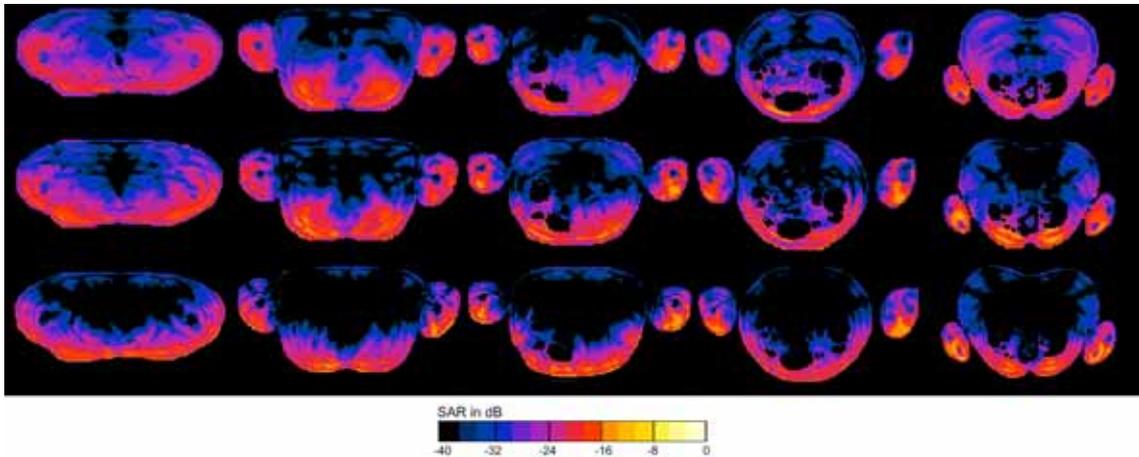


Abbildung 97: Transversalschnitte des Torsos beim Mensch-Modell E-Polarisation bei 450 MHz (oben), 900 MHz (mitte) und 1.8 GHz (unten)

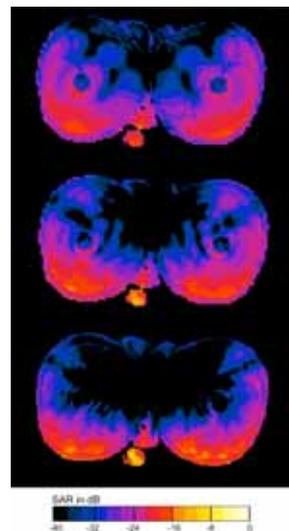


Abbildung 98: Transversalschnitte auf der Höhe der Hoden beim Mensch-Modell E-Polarisation bei 450 MHz (oben), 900 MHz (mitte) und 1.8 GHz (unten)

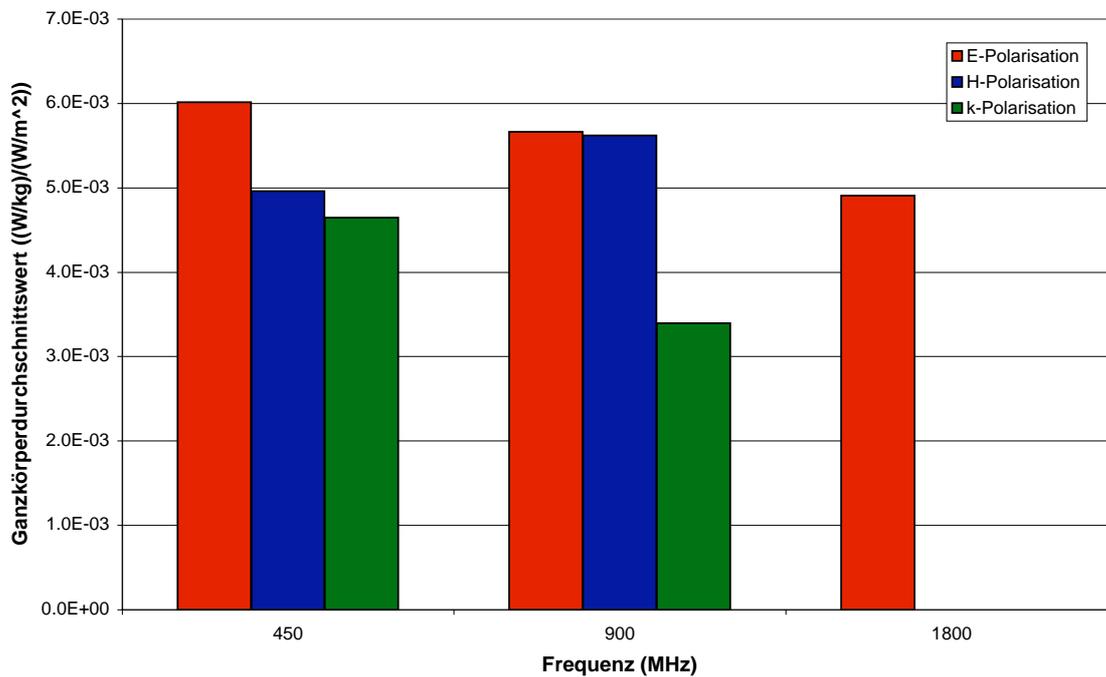


Abbildung 99: Mensch: Ganzkörperdurchschnittswert für das Menschenmodell bei verschiedener Polarisation und Frequenz

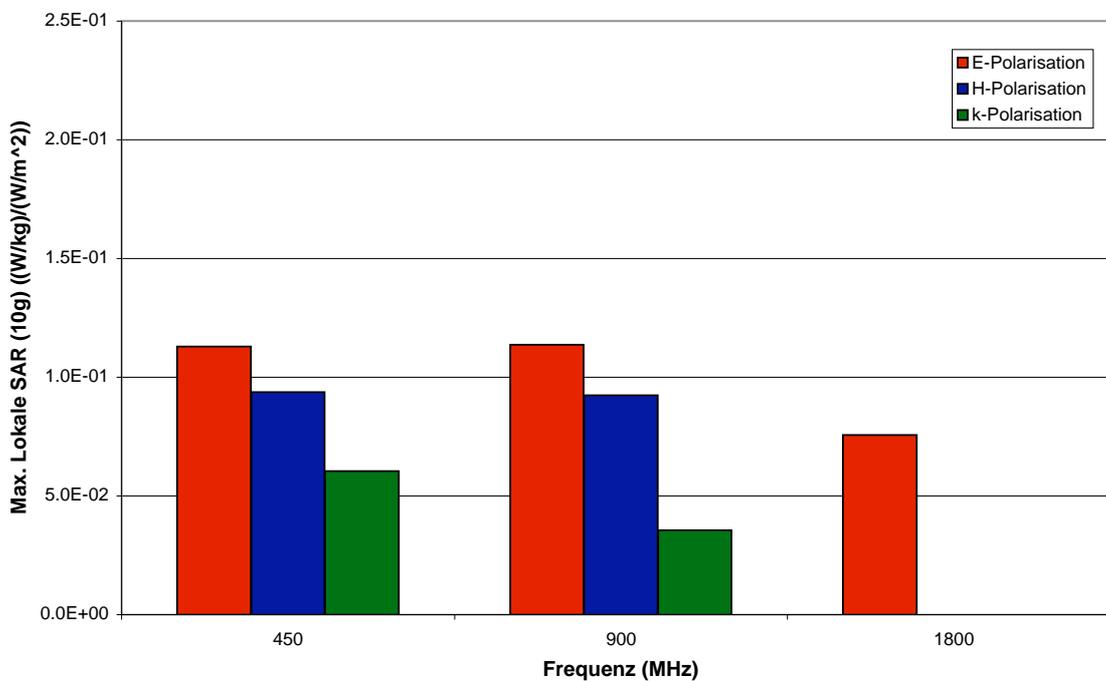


Abbildung 100: Mensch: Maximale lokale Absorption (Spatial Peak) gemittelt über einen 10g Würfel bei verschiedener Polarisation und Frequenz

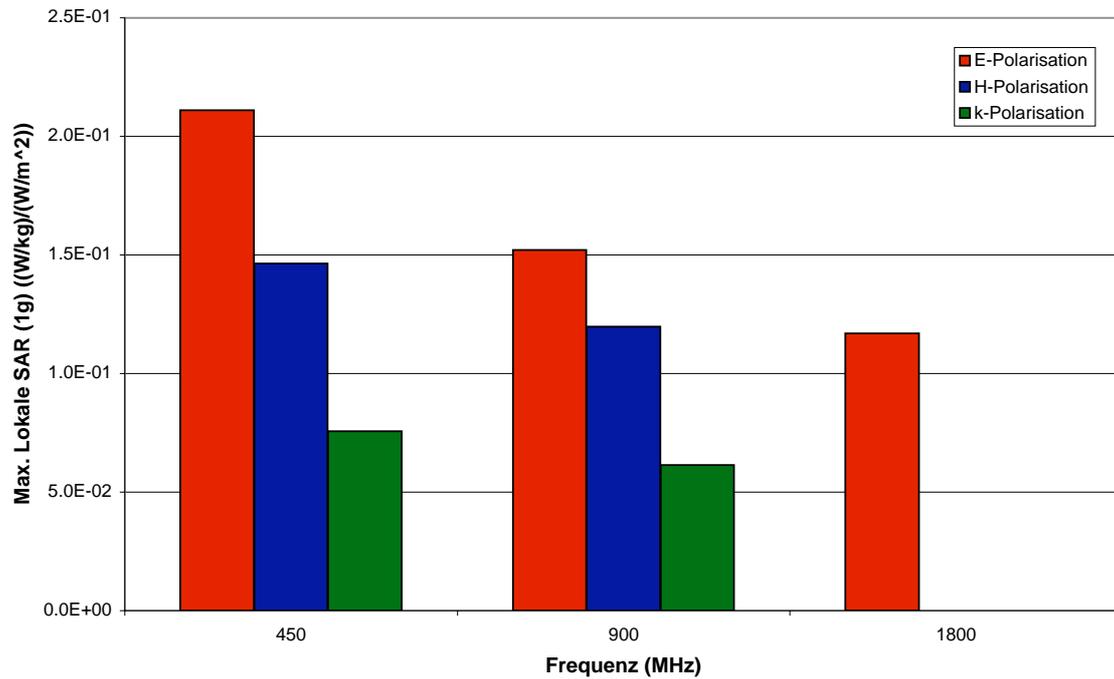


Abbildung 101: Mensch: Maximale lokale Absorption (Spatial Peak) gemittelt über einen 1g Würfel bei verschiedener Polarisation und Frequenz

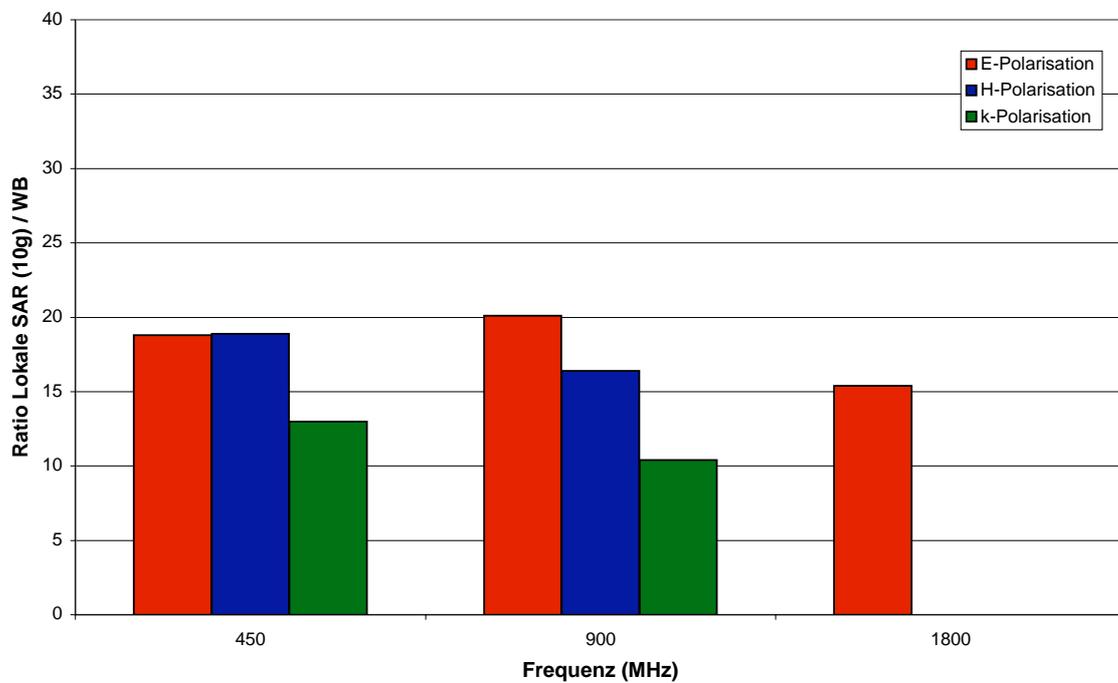


Abbildung 102: Mensch: Frequenz- und Polarisationsabhängigkeit des Verhältnisses zwischen lokaler Absorption und Ganzkörperabsorption für ein Mittelungsmasse von 10g

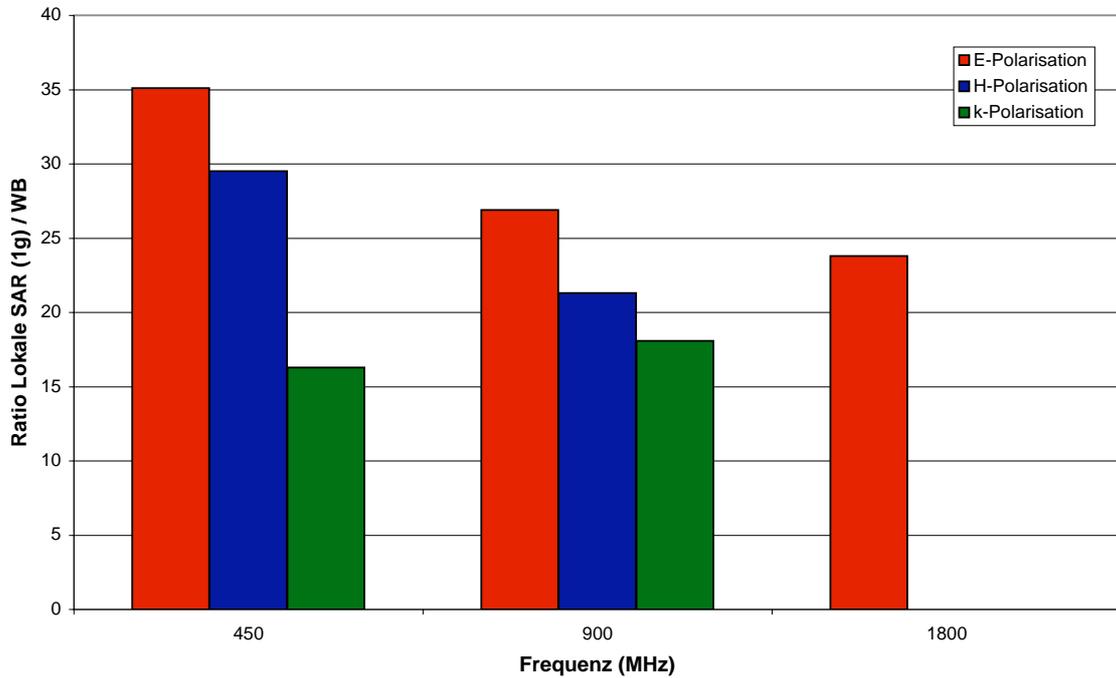


Abbildung 103: Mensch: Frequenz- und Polarisationsabhängigkeit des Verhältnisses zwischen lokaler Absorption und Ganzkörperabsorption für ein Mittelungsmasse von 1 g

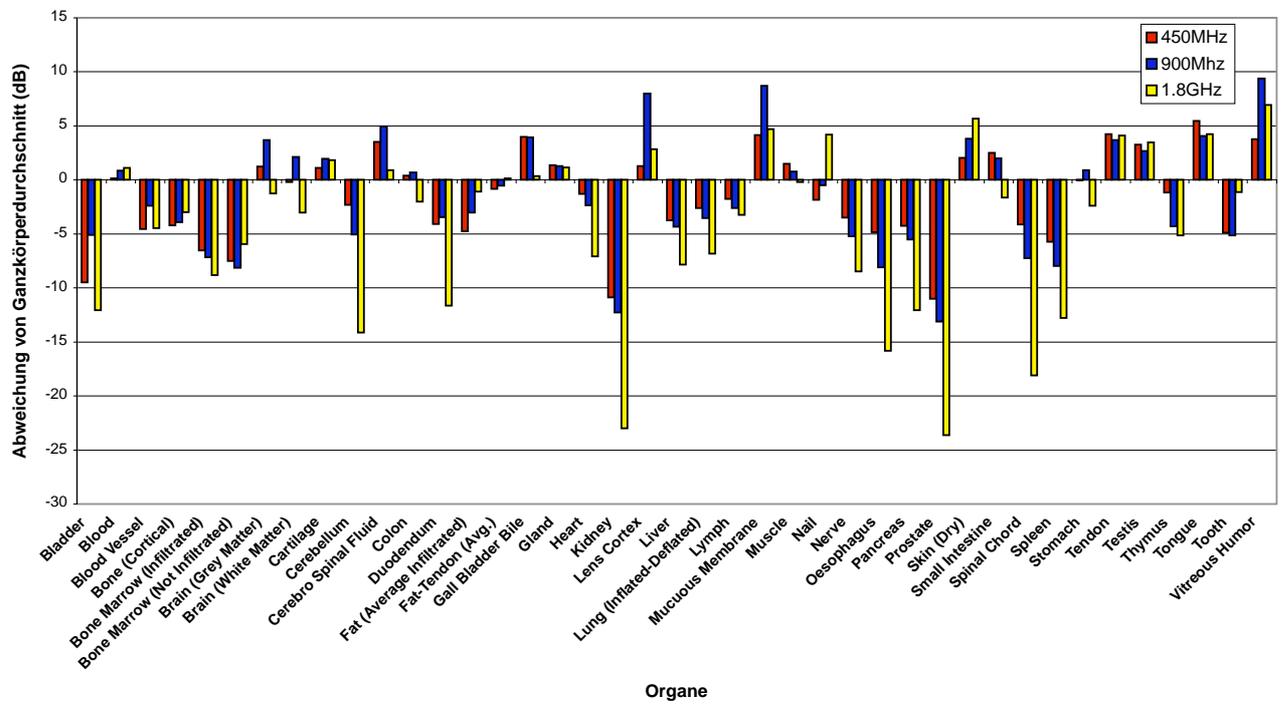


Abbildung 104: Mensch: Frequenzabhängigkeit der Abweichung des organspezifischen Durchschnittswerts der SAR zum Ganzkörperdurchschnittswert für E-Polarisation, frontaler Einfall

11.3 Diskussion

Beim Menschen ist die Abhängigkeit der Ganzkörperwerte bezüglich Frequenz bei weitem moderater als beim Versuchstier. Die Regionen hoher und niedriger Absorption verändern sich ebenfalls mit der Frequenz. Erwartungsgemäss ist die Variation der organspezifischen Durchschnittswerte wegen der grösseren Ausdehnung grösser. Das Verhältnis von lokaler Absorption (Spatial Peak) zur durchschnittlichen Ganzkörperabsorption ist für den 10 g Würfel deutlich unter 25 für frontalen Einfall der ebene Welle. Für den 1 g Würfel steigt dieses Verhältnis bis auf 35 bei 450 MHz, E-Polarisation, an. Zu beachten ist, dass dieses Verhältnis sowie die SAR-Verteilung im Innern des Körpers zusätzlich stark von der Einfallsrichtung der Welle (frontal, dorsal, lateral) abhängig ist. Weiter ist auch beim Menschen die jeweilige Absorption und die SAR-Verteilungen stark von der Anatomie abhängig. Allgemeine Aussagen sind auch hier nicht ableitbar. Zur Abschätzung der Unsicherheiten bezüglich Anatomie, müsste eine Studie unter Verwendung mehrerer Modelle von Menschen durchgeführt werden.

Frequenz (MHz)	Ganzkörper $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Hirn $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Auge $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$
450	6.0E-03	7.4E-03	1.4E-02
900	5.7E-03	1.1E-02	4.9E-02
1800	4.9E-03	3.2E-03	2.4E-02

Tabelle 11: Ganzkörperdurchschnittswert der SAR und SAR-Durchschnittswerte von Hirn und Auge für die vorgegebenen Frequenzen bei E-Polarisation

Frequenz (MHz)	Hirn (dB)	Auge (dB)
450	0.9	3.7
900	3.1	9.3
1800	-1.9	6.9

Tabelle 12: Abweichungen der SAR-Durchschnittswerte von Hirn und Auge vom Ganzkörperdurchschnittswert für die vorgegebenen Frequenzen bei E-Polarisation

Polarisation	Spitzenwert gemittelt über 10 g	Spitzenwert gemittelt über 1 g
450 MHz		
E	Haut, rechtes Bein	Muskel, rechtes Bein
H	Haut, Oberkörper	Haut, Oberkörper
k	Fuss	Fuss
900 MHz		
E	Muskel, linker Vorderarm	Muskel, linker Vorderarm
H	Fuss	Haut, linker Vorderarm
k	Muskel, rechter Arm	Muskel, rechter Arm
1.8 GHz		
E	Hand	Hand

Tabelle 13: Orte der räumlich gemittelten SAR-Spitzenwerte über 10 und 1 g für die vorgegebenen Frequenzen und Orientierungen im Feld

12 Messtechnische Verifizierung der Simulationsergebnisse

In diesem Abschnitt werden Simulationsergebnisse mit Messungen verglichen. Dafür wurden entsprechende Phantome ausgewählt und numerisch modelliert. Die Bilder 105 und 106 zeigen die verwendeten Phantome gefüllt mit gewebesimulierender Flüssigkeit zusammen mit der Hornantenne, die zur Erzeugung einer Fernfeldsituation verwendet wurde. Gemessen wurde die SAR-Verteilung in den Phantomen bei 900 MHz und den Einfallrichtungen parallel und senkrecht zur Phantomachse. Tabelle 14 gibt die physikalischen Parameter der verwendeten Flüssigkeit wieder. Für die numerische Simulation wurde ein exaktes Modell der Behältnisse erstellt und unter Einfall entsprechender ebener Wellen simuliert.

ϵ_r	σ (S/m)	ρ (kg/m ³)
53.09	1.01	1200

Tabelle 14: Physikalische Parameter der verwendeten Flüssigkeit; Damit wird durchschnittliches Körpergewebe simuliert



Abbildung 105: Messanordnung mit Hornantenne und gefülltem Mausphantom

Alle Messungen wurden mit dem Nahfeldscanner DASY3-Professional durchgeführt. Es handelt sich dabei um den zurzeit genauesten Nahfeldscanner. Die Verifizierung der dosimetrischen Werte wird mit einer hochpräzisen E-Feld-Sonde mit einer Auflösung von besser als 1 mm durchgeführt. Diese Sonde ist im Frequenzbereich von 100 MHz bis 20 GHz verwendbar. Die Komponenten des Systems sowie die Charakteristika der verwendeten Sonden sind in den Tabellen 15 und 16 zusammengefasst. Wegen der Ausmasse der jeweiligen Phantome wurden für die Messungen zwei verschiedene Sonden eingesetzt. Eine kleinere 1 mm-Sonde für das Mausphantom und eine grössere für das Rattenphantom.

Die Abbildungen 107, 108, 109 und 110 geben einen qualitativen Vergleich der SAR-Verteilungen

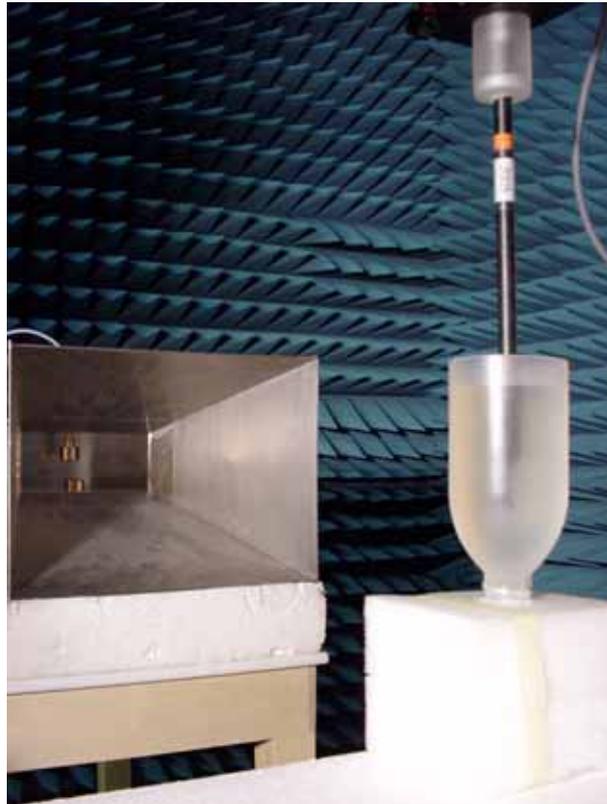


Abbildung 106: Messanordnung mit Hornantenne und gefülltem Rattenphantom

System	Type: Software:	DASY3-Professional 3.1d
Data Acquisition System	Type: Serial No: Calibrated On: Manufacturer:	DAE3V.1 355 January 2003 Schmid & Partner Engineering AG (CH)
Positioner	Robot: Serial No: Range: Repeatability: Controller: Serial No: Manufacturer:	RX90BL F99/5A80A1/A/02 1.19 m 0.02 mm CS7MB F99/5A80A1/A/02 Stäubli (France)

Tabelle 15: Systembeschreibungen

innerhalb eines definierten Volumens wieder. Dabei sind die Längsebene und die Normalebene dargestellt. Die durchschnittlichen Abweichungen und deren Standardabweichungen in den Messpunkten innerhalb des definierten Volumens sind in Tabelle 18 zusammengefasst. Dabei kann eine gute Übereinstimmung festgestellt werden. Die gesamte Messunsicherheit beträgt für diesen Fall ~ 0.5 dB.

Probe	Type: Serial Number: Manufacturer: Calibrated On: Tip Diameter: Frequency Range: Dynamic Range: Dev. Axial Isotropy: Dev. Spherical Isotropy: Calibration Uncertainty:	ES3DV5 3005 Schmid & Partner Engineering AG (CH) January 2003 3.9 mm 10 MHz to > 6 GHz 5 μ W/g to > 100 mW/g \pm 0.03 \pm 0.18 4.4% (k=1)
Probe	Type: Serial Number: Manufacturer: Calibrated On: Tip Diameter: Frequency Range: Dynamic Range: Dev. Axial Isotropy: Dev. Spherical Isotropy: Calibration Uncertainty:	ET1DV2 9003 Schmid & Partner Engineering AG (CH) January 2003 1 mm 10 MHz to > 10 GHz 20 μ W/g to > 200 mW/g \pm 0.10 \pm 0.30 4.4% (k=1)

Tabelle 16: Die verwendeten dosimetrischen Sonden für das Rattenphantom (oben) und das Mausphantom (unten)

Phantom	Polarisation	Abweichung (dB)	Std. Abw. (dB)
Maus	E	0.25	0.20
Maus	H	0.24	0.20
Ratte	E	0.39	0.25
Ratte	H	0.43	0.30

Tabelle 17: Durchschnittliche Abweichungen zwischen Simulation und Messung und deren Standardabweichungen

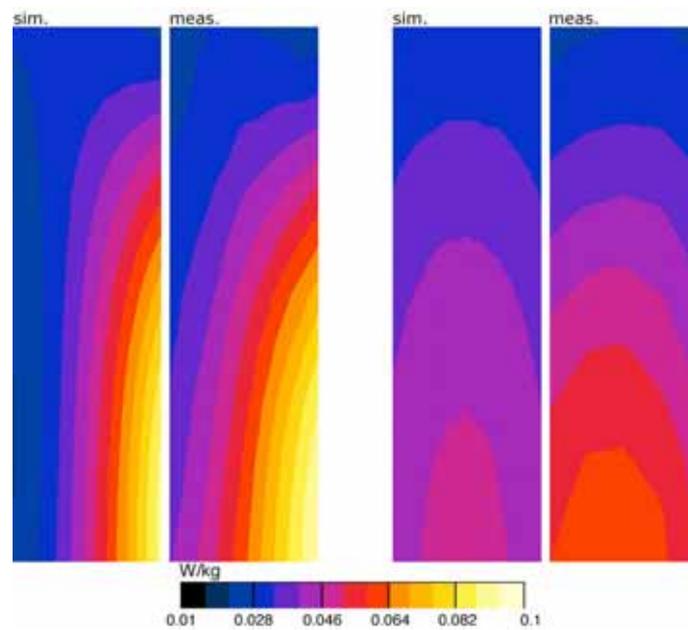


Abbildung 107: Vergleich der SAR-Verteilungen der Simulation (sim.) und der Messung (meas.) in zwei Ebenen, der Längsebene und der Normalebene zur Ausbreitungsrichtung für das Mausphantom bei E-Polarisation

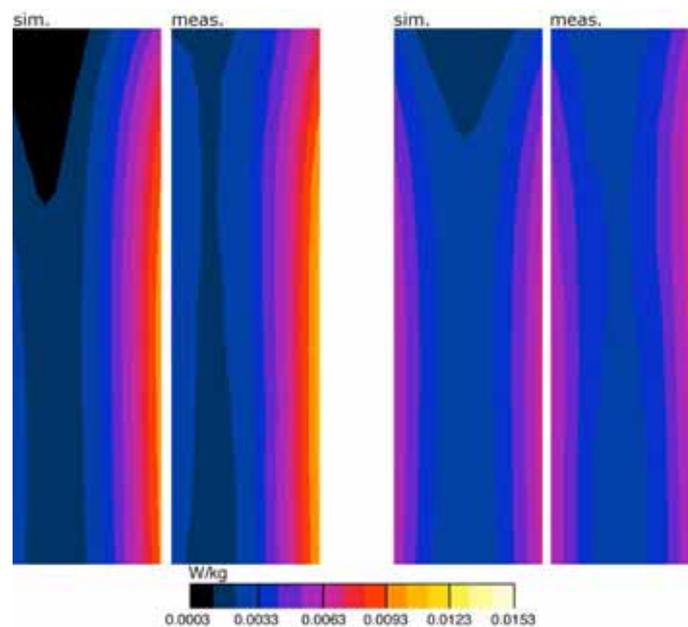


Abbildung 108: Vergleich der SAR-Verteilungen der Simulation (sim.) und der Messung (meas.) in zwei Ebenen, der Längsebene und der Normalebene zur Ausbreitungsrichtung für das Mausphantom bei H-Polarisation

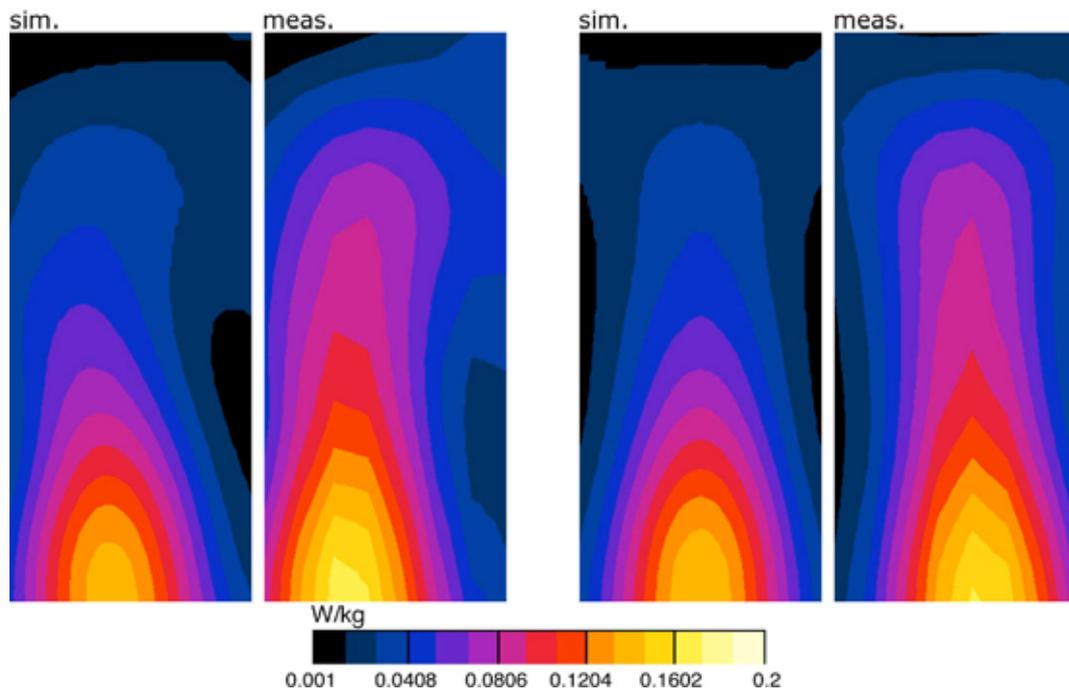


Abbildung 109: Vergleich der SAR-Verteilungen der Simulation (sim.) und der Messung (meas.) in zwei Ebenen, der Längsebene und der Normalebene zur Ausbreitungsrichtung für das Rattenphantom bei E-Polarisation

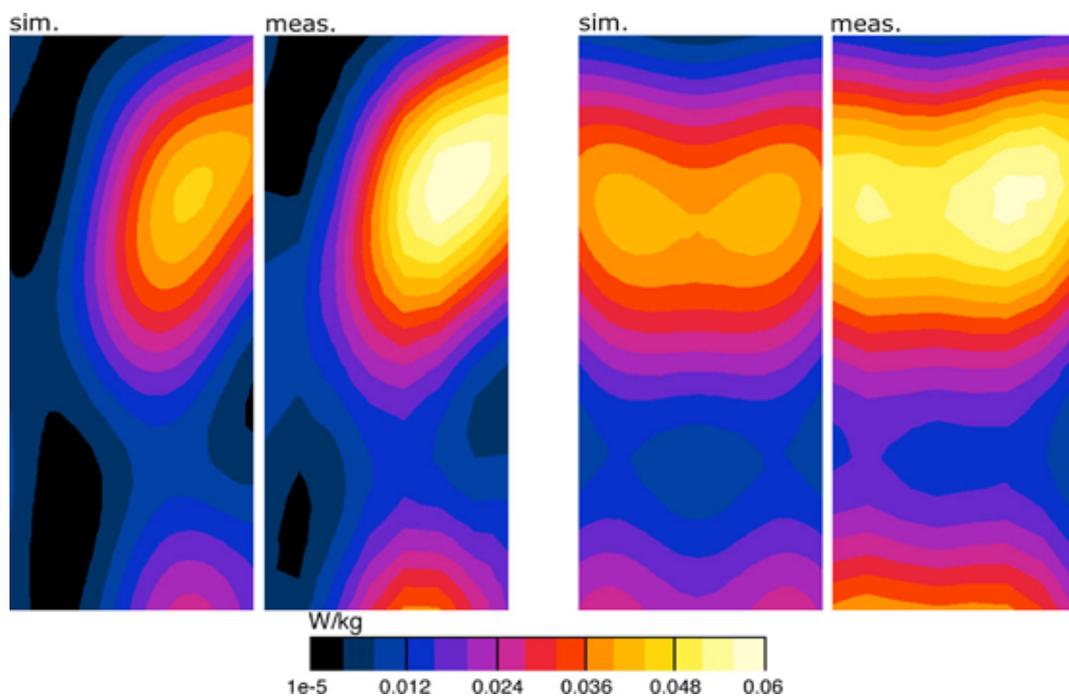


Abbildung 110: Vergleich der SAR-Verteilungen der Simulation (sim.) und der Messung (meas.) in zwei Ebenen, der Längsebene und der Normalebene zur Ausbreitungsrichtung für das Rattenphantom bei H-Polarisation

12.1 Diskussion

Die gute quantitative und qualitative Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen SAR-Werten und SAR-Verteilungen zeigt die Zuverlässigkeit des Berechnungsverfahrens. Ein Maus- oder Rattenphantom würde die Aussagekraft im Vergleich zu den verwendeten Flaschen nicht verbessern. Für den numerischen Algorithmus führen Flaschen oder geometrisch etwas komplexere, aber immer noch einfache Strukturen, zu gleichen Ungenauigkeiten. Nur mit Messungen am Tierkadaver kann die Aussagekraft bezüglich Genauigkeit der simulierten SAR-Verteilungen bei inhomogenen Modellen etwas erhöht werden. Dabei kommen nur Bereiche mit möglichst gleichmässiger SAR-Verteilung in Frage, damit sich eine kleine Unsicherheit bezüglich der Positionierung der Messsonde ergibt. Ein weiteres Kriterium bei der Auswahl der Messpunkte stellt die Erreichbarkeit des entsprechenden Organs und seine Variabilität bezüglich Position dar.

13 Messtechnische Verifizierung der SAR-Verteilung in einem Rattenkadaver

Für die messtechnische Verifizierung wurde eine 350.7 g schwere männliche Wistar Ratte von RCC Ltd., Füllinsdorf (CH), bezogen. Das Tier wurde mit einer Überdosis CO₂ getötet. Dem nichtentbluteten Tier wurde über der Hirnregion eine Öffnung von 8 mm Breite und 18 mm Länge in den Schädel geschnitten und das Hirn entnommen. Nach diesen Vorbereitungen wurde das Tier gekühlt nach Zürich (CH) gebracht. Für die Messungen wurde das Hirnvolumen mit entsprechender Hirngewebe simulierender Flüssigkeit gefüllt ($\epsilon = 42.1$, $\sigma = 0.85$). In [13] wurde gezeigt, dass die Absorption im Hirn der Ratte nur unwesentlich von der Anatomie abhängt. Auch die Messwerte in Ratten mit Hirn und in der Ratte, in der das Hirn durch gewebesimulierenden Flüssigkeit ersetzt ist, stimmen überein. Das Tier wurde in einem Abstand von 1.2 m von der Hornantenne platziert. Die Orientierung entspricht derjenigen, die in den Simulationen verwendet wurde. Die Antenne wurde mit einer Eingangsleistung von 44.6 dBm, CW bei 900 MHz gespiesen. Verifiziert wurden die numerischen Resultate für E- und H-Polarisation.



Abbildung 111: Messaufbau mit Hornantenne, Rattenkadaver und Messsonde für H- Polarisation

Die SAR-Messungen wurden mit einer horizontalen Schrittweite von 3 mm und einer vertikalen Schrittweite von 2 mm durchgeführt. Wegen des geringen Messvolumens wurde für die Messungen die 1 mm ET1DV2-Sonde (Spezifikationen siehe 16) verwendet. Insgesamt wurden 48 Punkte in der Flüssigkeit gemessen (innerhalb des Schädels). Zuvor wurden das E-Feld sowie das H-Feld im entsprechenden Volumen (400x400x10 mm) mit einer Schrittweite von 50 mm gemessen. In Tabelle 18 sind die Resultate der Messung mit den Simulationsergebnissen verglichen. Die gesamte Messunsicherheit bewegt sich im Rahmen von ~ 0.5 dB. Der Vergleich zwischen den Durchschnittswerten der gemessenen SAR-Werte ($\overline{SAR}_{Mess}^{Vol}$) und dem Durchschnittswert der SAR im Hirn (\overline{SAR}_{Sim}) und dem Durchschnittswert im entsprechenden Volumen ($\overline{SAR}_{Sim}^{Vol}$) aus der Simulation sind in Tabelle 18 zusammengefasst.

\overline{SAR}_{Sim}	$\overline{SAR}_{Sim}^{Vol}$	$\overline{SAR}_{Mess}^{Vol}$	Abweichung $\overline{SAR}_{Mess}^{Vol} - \overline{SAR}_{Sim}$ (dB)	Abweichung $\overline{SAR}_{Mess}^{Vol} - \overline{SAR}_{Sim}^{Vol}$ (dB)
$\frac{(W/kg)}{(W/(V^2/m^2))}$	$\frac{(W/kg)}{(W/(V^2/m^2))}$	$\frac{(W/kg)}{(W/(V^2/m^2))}$		
E-Polarisation				
1.1e-04	7.9e-05	1.3e-04	0.5	2.8
H-Polarisation				
5.4e-05	2.1e-05	4.7e-05	-0.6	3.5

Tabelle 18: Vergleich des Durchschnittswerts der gemessenen SAR-Werte und dem Durchschnittswert der SAR im Hirn und dem Durchschnittswert im entsprechenden Volumen aus der Simulation bei 900 MHz für E- und H-Polarisation

13.1 Diskussion

Bei den über das Messvolumen gemittelten Messwerten ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit dem Durchschnittswert der SAR im Hirn aus der Simulation. Mittelt man in der Simulation nur über das entsprechende Messvolumen werden die Abweichungen grösser. Festzustellen ist, dass zumindest das Verhältnis zwischen E- und H-Polarisation für das entsprechende Messvolumen gut übereinstimmt. Wie in Kapitel 6 bereits beschrieben, stellt die mangelnde Auflösung der dünnen Schichten eine grosse Unsicherheitsquelle dar. Auch entsprach die Länge des Tieres nicht derjenigen des simulierten Tieres, der Rattenkadaver war 90 mm länger. Das Verhältnis zwischen Schwanz und Körperlänge war dasselbe. Die Körperlänge hat gerade in der Nähe der Körperresonanz einen wesentlichen Einfluss auf die Absorption. Weitere Unsicherheiten sind von den verwendeten dielektrischen Parametern zu erwarten, die zum Teil bei verschiedenen Temperaturen ermittelt und für deren Bestimmung Gewebeproben von unterschiedlichen, teils viel grösseren Tieren, wie Schafen und Schweinen verwendet wurden. Weiter muss beachtet werden, dass Messungen im Freifeld zusätzlichen Unsicherheiten unterliegen. Bei der Positionierung in einer Expositionsvorrichtung, werden die Tiere meistens durch eine entsprechende Vorrichtung zu einer bestimmten Körperhaltung gezwungen. Dabei ist die Bestimmung der entsprechenden Messpunkte im Simulationsmodell eindeutiger möglich.

Weitere Messungen müssten sich stärker auf die Bestimmung von Verhältnissen, wie z. B. Ganzkörper-SAR und Hirn-SAR konzentrieren. Dabei müsste eine verlässliche Methode zur Bestimmung der Ganzkörper-SAR gefunden werden.

14 Vergleich mit publizierten Resultaten

In der Literatur findet man verschiedene Werte zur Absorption in Versuchstieren und im Menschen unter verschiedenen Expositionsbedingungen. Viele der publizierten Resultate entsprechen nicht den gewählten Parametern dieser Studie. Zu beachten ist die Tatsache, dass bislang keine Tiermodelle mit einer so hohen axialen Auflösung verwendet wurden. Diese Tatsache relativiert den Vergleich. Als Vergleichsbasis wurde deshalb das 'Dosimetric Handbook' [6] herangezogen. Dort wurde ein Spheroid als Näherung für Mäuse und Ratten verwendet. Die Resultate sind in Form von Abbildungen von doppellogarithmischen Kurven gegeben. Tabellen der erhaltenen Werte sind nicht beigefügt. Deshalb wurden entsprechende Spheroide bei den betrachteten Frequenzen gerechnet. Die Modellparameter sind in Tabelle 19 zusammengefasst. Die dielektrischen Parameter entsprechen einem Gewebe mit jeweils 2/3 der Permittivität und Leitfähigkeit von Muskelgewebe. Tabelle 20 zeigt die Ganzkörperdurchschnittswerte gerechnet mit den Spheroiden und die erhaltenen Ganzkörperdurchschnittswerte gerechnet mit den verwendeten anatomischen Modellen sowie die jeweilige Abweichung zwischen den Spheroidmodellen und den anatomischen Modellen. Die Abbildungen 112 und 113 zeigen den Vergleich zwischen den durchschnittlichen Ganzkörperabsorptionen in den Spheroiden und den jeweiligen anatomischen Modellen für die verschiedenen Polarisierungen und Frequenzen. In den Abbildungen 114 und 115 sind die entsprechenden Abweichungen dargestellt.

Bezüglich Expositionsdaten mit einem Menschenmodell haben Dimbylow et al. [4] über längere Zeit ihr Modell verfeinert und die Resultate für einen Frequenzbereich zwischen 100 MHz bis 3 GHz berechnet. Die neusten Resultate sind in [4] zusammengefasst. Dabei lassen sich die Ganzkörperwerte für 900 MHz und 1.8 GHz für frontalen Einfall und E-Polarisation vergleichen. Tabelle 21 fasst den Vergleich für die Frequenzen 450 MHz und 900 MHz zusammen.

Für die organspezifischen Durchschnittswerte existieren keine Vergleichsdaten, die unter gleichen Expositionsbedingungen bestimmt wurden.

Modell	a (mm)	b (mm)	Gewicht (g)
Grosse Maus	38	12.5	25
Mittlere Ratte	100	27.6	320

Tabelle 19: Modellparameter der verwendeten Spheroide

14.1 Diskussion

Wie in Kapitel 6 beschrieben sind die SAR-Werte stark von der jeweiligen Auflösung und der gewählten Schrittweite beim Erstellen des Modells abhängig. Es ist daher schwierig die hier berechneten Werte ins Verhältnis mit anderen Modelle zu stellen, da über die jeweiligen Unsicherheiten keine gesicherten Angaben gemacht werden können. Dieser Punkt bedarf einer eingehenderen Untersuchung.

Frequenz (MHz)	Spheroid $\overline{SAR_{WB}}$ ((W/kg)/(W/m ²))	Anat. Modell ((W/kg)/(W/m ²))	Abweichung (dB)
Spheroid (mittlere Ratte), anatomisches Rattenmodell			
E-Polarisation			
450	2.93e-02	3.36e-02	0.6
900	4.48e-02	6.68e-02	1.7
1800	2.70e-02	3.21e-02	0.8
5000	1.64e-02	3.44e-02	3.2
H-Polarisation			
450	3.44e-03	4.30e-03	1.0
900	1.60e-02	1.78e-02	0.5
1800	1.80e-02	1.74e-02	0.2
5000	1.90e-02	3.43e-02	2.6
k-Polarisation			
450	6.90e-03	7.14e-03	0.2
900	2.62e-02	2.20e-02	0.8
1800	2.28e-02	2.17e-02	0.2
5000	1.53e-02	2.36e-02	1.9
Spheroid (grosse Maus), anatomisches Mausmodell			
E-Polarisation			
450	1.03e-02	1.29e-02	0.99
900	2.22e-02	3.27e-02	1.67
1800	1.16e-01	1.48e-01	1.06
5000	5.49e-02	1.01e-01	2.65
H-Polarisation			
450	1.05e-03	1.37e-03	1.16
900	3.36e-03	7.48e-03	3.48
1800	5.04e-02	3.50e-02	1.58
5000	4.46e-02	6.97e-02	1.94
k-Polarisation			
450	1.37e-03	1.80e-03	1.18
900	6.00e-03	1.22e-02	3.08
1800	8.51e-02	4.90e-02	2.40
5000	4.59e-02	6.71e-02	1.65

Tabelle 20: Vergleich der errechneten Ganzkörperdurchschnittswerte ($\overline{SAR_{WB}}$, WB steht für “whole body”) gerechnet mit den entsprechenden Spheroïden (gemäss [6]) mit den Werten, die mit den anatomischen Tiermodellen erhalten wurden

Frequenz (MHz)	$\overline{SAR_{WB}}$ ((W/kg)/(W/m ²))	Dimbylow ([4]). ((W/kg)/(W/m ²))	Abweichung (dB)
450	5.66e-03	6.41e-03	0.5
900	4.91e-03	5.84e-03	0.8

Tabelle 21: Vergleich der errechneten Ganzkörperdurchschnittswerte ($\overline{SAR_{WB}}$, WB steht für “whole body”) mit den Werten publiziert in [4]

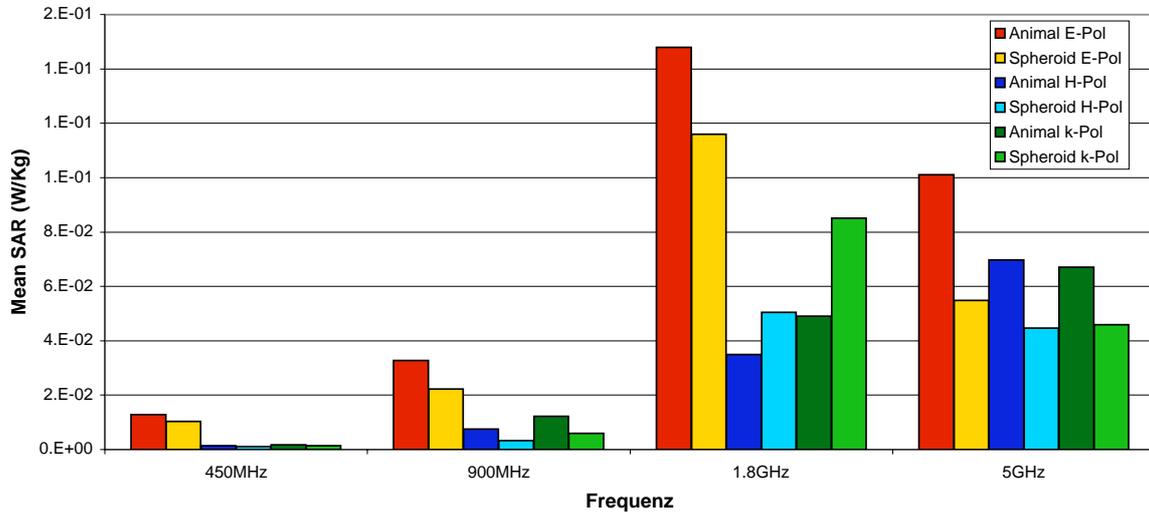


Abbildung 112: Vergleich der durchschnittlichen Ganzkörperabsorption im Spheroidmodell (grosse Maus) mit derjenigen im anatomischen Mausmodell

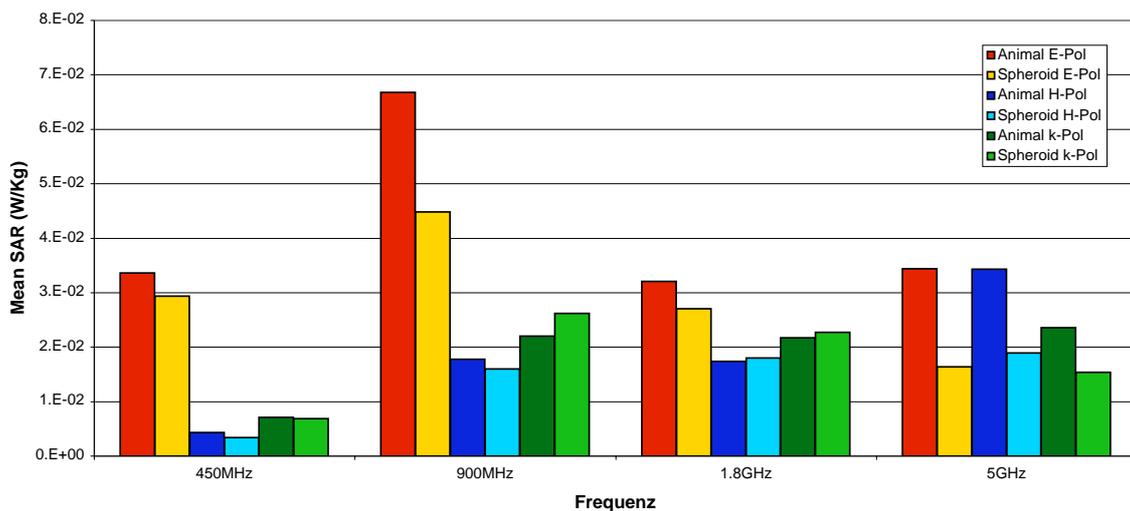


Abbildung 113: Vergleich der durchschnittlichen Ganzkörperabsorption im Spheroidmodell (mittlere Ratte) mit derjenigen im anatomischen Rattenmodell

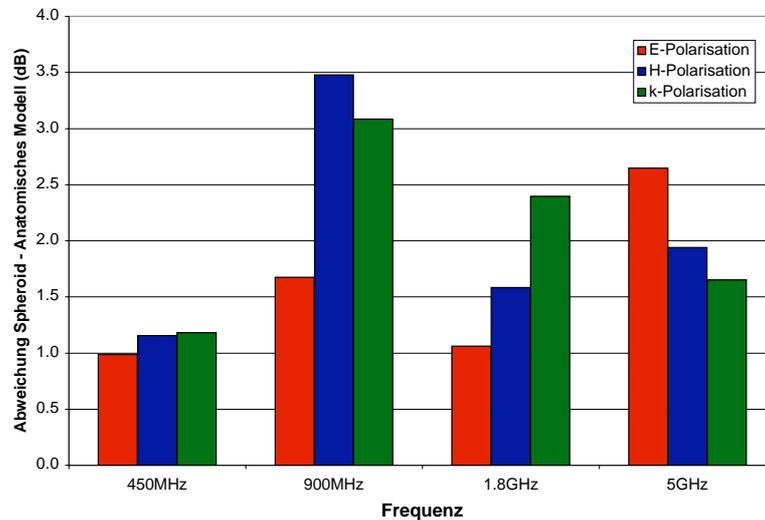


Abbildung 114: Abweichungen der durchschnittlichen Ganzkörperabsorption im Spheroidmodell (grosse Maus) und dem anatomischen Mausmodell

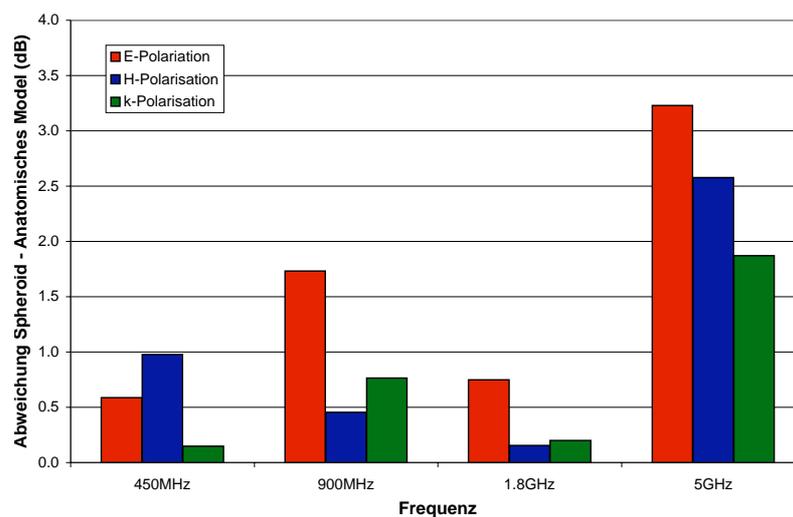


Abbildung 115: Abweichungen der durchschnittlichen Ganzkörperabsorption im Spheroidmodell (mittlere Ratte) und dem anatomischen Rattenmodell

15 Gemittelte Gewebeparameter für Maus, Ratte und Mensch

Mit den vorhandenen Modellen wurden für die höchste Auflösung die durchschnittlichen Materialparameter für die Maus, die Ratte und den Menschen bestimmt. Die resultierenden Werte für die für diese Studie erstellten Modelle sind in Tabelle 22 zusammengefasst. Als Vergleich dazu sind die Werte für jeweils 2/3 der Permittivität und Leitfähigkeit von Muskelgewebe angegeben, die häufig als Durchschnitt der Gewebeparameter bei homogenen Modellen verwendet werden. Die Parameter entsprechen den über das Volumen gemittelten Gewebeparametern beim Menschen. Bei den Tiermodellen weichen sie deutlich von den ermittelten Durchschnittswerten ab.

Die Anteile der verschiedenen Gewebe und Organe am gesamten Körpergewicht der erstellten Modelle von Maus, Ratte und Mensch sind im Anhang A in den Tabellen 24, 25 und 26 zusammengefasst. Bezüglich der Anteile der verschiedenen Gewebe treten zwischen verschiedenen Modellen Abweichungen auf. Diese Abweichungen sind einerseits alters- und geschlechtsabhängig, andererseits von der Art und Weise der Segmentierung der Schnittbilder und von der Diskretisierung des 3D-Modells. Diese Unterschiede zwischen den Modellen sind eine Unsicherheitskomponente für die Bestimmung des Ganzkörperdurchschnitts sowie für der organspezifischen Durchschnittswerte der SAR. Die organspezifischen Durchschnittswerte sind dabei empfindlicher auf Veränderungen in Form und Grösse der Gewebe und Organe als der Ganzkörperdurchschnitt der SAR.

Gemittelte Gewebeparameter						
	Mensch		Ratte		Maus	
<i>Frequenz</i> (MHz)	ϵ_r	σ (S/m)	ϵ_r	σ (S/m)	ϵ_r	σ (S/m)
450	39.7	0.54	47.4	0.72	48.8	0.8
900	38.0	0.65	45.4	0.85	46.6	0.95
1800	36.8	0.95	43.8	1.20	44.9	1.31
5000	33.5	2.89	40.1	3.47	41.0	3.67

Tabelle 22: Gemittelte Gewebeparameter für das Menschen-, Ratten- und Mausmodell

Parameter für 2/3 von Muskelgewebe		
<i>Frequenz</i> (MHz)	ϵ_r	σ (S/m)
450	38.4	0.55
900	37.3	0.65
1800	36.3	0.93
5000	33.4	2.83

Tabelle 23: Gebräuchliche Parameter für die homogene Näherung von anatomischen Modellen

16 Extrapolierbarkeit der Exposition von Tieren auf den Menschen

Die SAR-Verteilungen zwischen Menschen und Versuchstieren weisen erwartungsgemäss grosse Unterschiede auf. Eine vergleichbare Exposition und eine damit einhergehende vergleichbare Absorptionsverteilung im Körper ist unmöglich zu erreichen. Es bestehen grosse Differenzen bezüglich Verhältnissen zwischen Organgrössen, Organanordnung, Körperlänge, Eindringtiefe, etc. Um trotzdem eine Übertragbarkeit bezüglich Exposition zu erreichen, muss sichergestellt werden, dass alle in der Studie zu betrachtenden Organe beim Tier eine grössere oder zumindest gleiche Dosis wie im Menschen erhalten. Dieses Expositionsszenario muss zudem sicherstellen, dass die thermische Schwelle in keinem Organ oder Gewebe überschritten wird. Die Hauptschwierigkeit beim Entwurf von Expositionsvorrichtungen für Versuchstiere liegt denn auch im Sicherstellen einer konstanten Exposition aller relevanten Organe über die gesamte Versuchsdauer. Dabei müssen Aspekte wie verschiedene Haltungen der Tiere, deren Wachstum und allometrische Daten berücksichtigt werden. Die Ganzkörperdurchschnittswert ist für die Übertragbarkeit eine nutzlose Grösse. Sie ist nur zur Abschätzung der thermischen Belastung sinnvoll.

17 Schlussfolgerungen

Anatomische, numerische Modelle: Der Abstand der anatomischen Schnitte für die Erstellung des numerischen Modells sowie die Gitterschrittweite haben einen wesentlichen Einfluss auf die numerischen Resultate, vor allem auf die Spitzenwerte der räumlich gemittelten SAR. Diese Abweichungen können bei einer Reduktion des Schnittabstandes um die Hälfte sowie einer entsprechenden Verdoppelung der Auflösung bis zu 2 dB betragen. Erzeugt werden diese Unterschiede durch die nach wie vor unzureichende Auflösung der dünnen Schichten an der Oberfläche der Versuchstiere, die sich zum Teil stark in der Permittivität und Leitfähigkeit unterscheiden. Eine Sättigungstendenz ist daher erst zu erwarten, wenn diese Schichten genügend aufgelöst und zusammenhängend sind. Homogene, anstelle inhomogener Modelle lassen weder eine verlässliche Abschätzung des zu erwartenden Fehlers bezüglich Ganzkörperdurchschnittswert und räumlich gemittelten Spitzenwerten der SAR zu, noch eine Bewertung der Frequenzabhängigkeit dieser Grössen.

Abhängigkeit der Absorption von Frequenz und Polarisation: Die Absorption elektromagnetischer Wellen von Versuchstieren und Menschen ist stark von der jeweiligen Frequenz, der Polarisation der elektromagnetischen Welle und deren Einstrahlrichtung abhängig. Die Regionen hoher und niedriger Absorption variieren je nach Einstrahlbedingung und Frequenz. Erwartungsgemäss ergibt E-Polarisation die höchsten Absorptionswerte. Bei den Modellen der Versuchstiere zeigen sich in der Nähe der Körperresonanz (Maus: 1.8 GHz, Ratte: 900 MHz) bei E-Polarisation deutliche Effekte bezüglich der betrachteten Werte. In der Nähe der Körperresonanz der Versuchstiere befinden sich die Regionen hoher Absorption in der Mitte des Körpers wobei diese Regionen bei den anderen Frequenzen eher in den äusseren Schichten liegen. Resonanzen im Versuchstier sind vorteilhaft, um eine möglichst uniforme SAR-Verteilung in den Organe und Geweben zu erreichen. Auch das Verhältnis zwischen der lokalen Absorption und der durchschnittlichen Ganzkörperabsorption variiert für die Tiermodelle bei den betrachteten Frequenzen. Beim Mensch-Modell sind diese Variationen weit weniger ausgeprägt. Dort ist zu beachten, dass alle betrachteten Frequenzen oberhalb der Körperresonanz liegen.

Als Folge der Abhängigkeit der Regionen hoher und niedriger SAR-Werte ist auch die Abweichung der organspezifischen Durchschnittswerte der SAR stark von der jeweiligen Frequenz, der Polarisation und den genauen Expositionsbedingungen abhängig. Die Interpretation und der Vergleich von Ergebnissen aus Bioexperimenten erfordert deshalb die Berechnung der jeweiligen organspezifischen SAR-Werte. Durch die hohe Variabilität des Absorptionsmusters können bestimmte Organe bis zu zehnmal höheren Dosen ausgesetzt sein. Es ist zu erwarten, dass diese Variabilität bei realen Expositionen, die nicht idealen Fernfeldexpositionen entsprechen, deutlich höher sein können. Falls sich die Tiere im Feld frei bewegen können, ist die Bestimmung der organspezifischen Durchschnittswerte als Funktion des Aufenthaltsortes und der Orientierung zum Feld sowie die Standardabweichung über die ganze Expositionsdauer wichtig.

Übertragbarkeit vom Versuchstier auf den Menschen: Die SAR-Verteilungen zwischen Menschen und Versuchstieren weisen erwartungsgemäss grosse Unterschiede auf. Eine vergleichbare Exposition und eine damit einhergehende vergleichbare Absorptionsverteilung im Körper ist unmöglich zu erreichen. Es bestehen grosse Differenzen bezüglich Verhältnissen zwischen Organgrössen, Organanordnung, Körperlänge, Eindringtiefe, etc. Um trotzdem eine Übertragbarkeit zu erreichen muss sichergestellt werden, dass alle in der Studie zu betrachtenden Organe beim Tier eine grössere oder zumindest gleiche Dosis erhalten. Dieses Expositionsszenario muss zudem sicherstellen, dass die thermische Schwelle in keinem Organ oder Gewebe überschritten wird. Die Hauptschwierigkeit beim Entwurf von Expositionsvorrichtungen für Versuchstiere liegt denn auch im Sicherstellen einer konstanten Exposition aller relevanten Organe über die gesamte

Versuchsdauer. Dabei müssen Aspekte wie verschiedene Haltungen der Tiere, deren Wachstum und allometrische Daten berücksichtigt werden. Die Ganzkörperdurchschnittswert ist für die Übertragbarkeit eine nutzlose Grösse. Sie ist nur zur Abschätzung der thermischen Belastung sinnvoll.

Konsequenzen für den Entwurf von Expositionseinrichtungen: Die berechneten Resultate für die Absorption zeigen eine hohe Variabilität bezüglich der Polarisierung. Resultate aus Freilaufexperimenten, die ebene Wellen oder vergleichbare Expositionsszenarien verwenden sind demnach bezüglich der durchschnittlichen Dosis schwierig zu interpretieren. Es scheint deshalb angezeigt für Bioexperimente die Versuchstiere entweder zu fixieren oder das einfallende Feld bezüglich dessen Polarisierung zu stören, wie dies zum Beispiel in "Reverberation Chambers" der Fall ist. Bei diesen Expositionsszenarien kann das Verhältnis zwischen Durchschnittswert in den Organen und dem ganzen Körper konstant gehalten werden. Die Absorption ist nicht mehr von der Orientierung des Versuchstieres im Feld abhängig.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

- Tierstudien können nur sinnvoll miteinander verglichen werden, wenn die SAR-Werte - zusätzlich zu den Ganzkörperwerten - auch für bestimmte Organe ermittelt werden. Die Daten sollten mindestens folgende SAR-Werte enthalten:
 - SAR über jedes Organ gemittelt inkl. Standardabweichung über alle Versuchstiere und die ganze Expositionsdauer. Die Mittelungsvolumina sollten den 1 g und 10 g Volumina im Menschen entsprechen.
 - räumlich gemittelter Spitzenwert der SAR von jedem Organ inkl. Standardabweichung über alle Versuchstiere und die ganze Expositionsdauer.
 - SAR über den ganzen Körper gemittelt inkl. Standardabweichung über alle Versuchstiere und die ganze Expositionsdauer.
 - räumlich gemittelter Spitzenwert der SAR über den ganzen Körper gemittelt inkl. Standardabweichung über alle Versuchstiere und die ganze Expositionsdauer. Die Mittelungsvolumina sollten den 1 g und 10 g Volumina im Menschen entsprechen.
- Für die exakte Bestimmung der SAR-Verteilungen in Tieren und Menschen sind hochaufgelöste numerische Modelle nötig, um die Unsicherheit bezüglich der Modellparameter möglichst klein zu halten. Modelle, die mit einer Gitterschrittweite von $\lambda/10$ des Gewebes mit der höchsten Permittivität diskretisiert sind, reichen noch nicht aus, um alle relevanten anatomischen Aspekte sowie die zum Teil auftretenden starken Feldgradienten genügend aufzulösen.
- Die SAR-Verteilungen sind speziell bei den höheren Frequenzen wegen der geringen Eindringtiefe stark von der jeweiligen Anatomie abhängig. Deshalb kann mit Schnitten nur ein qualitativer Eindruck der SAR-Verteilungen vermittelt werden. Allgemeine Aussagen sind daraus nicht ableitbar. Um die Unsicherheiten bezüglich Anatomie abschätzen zu können, müsste eine Studie mit mehreren Modellen gleicher Grösse durchgeführt werden.
- Um eine Übertragbarkeit zwischen Versuchstier und Mensch zu erreichen muss sichergestellt werden, dass alle in der Studie zu betrachtenden Organe beim Tier eine grössere oder zumindest gleiche Dosis erhalten. Dieses Expositionsszenario muss zudem sicherstellen, dass die thermische Schwelle in keinem Organ oder Gewebe überschritten wird.

- Um die Variationen und die daraus resultierenden Unsicherheiten bezüglich Exposition möglichst klein zu halten sollen für Bioexperimente Expositionsszenarien verwendet werden, bei denen die Absorption nicht von der Orientierung des Versuchstieres im Feld abhängig ist.
- Mit dem hier verfolgten Studienansatz konnten phänomenologische Aussagen zur Absorption in Versuchstieren und Menschen gemacht werden. Um allgemeinere Aussagen und eine ausführliche Unsicherheitsanalyse machen zu können, sind weitere Studien unter Verwendung mehrerer anatomischer Modelle für die Versuchstiere sowie den Menschen nötig.

Literatur

- [1] <http://niremf.iroec.fcnr.it/tissprop/#over>.
- [2] Report of the Task Group on Reference Man. *Annals of the ICRP, ICRP Publication 23*, 1975.
- [3] Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values. *Annals of the ICRP, ICRP Publication 89*, 2001.
- [4] P. J. Dimbylow. Fine resolution calculations of SAR in the human body for frequencies up to 3 GHz. *Phys. Med. Biol.*, 47(16):2835–2846, 2002.
- [5] F. A. Duck. *Physical Properties of Tissue, A Comprehensive Reference Book*. Academic Press, 1990.
- [6] Carl H. Durney, M. F. Iskander, H. Massoudi, S. J. Allen, and J. C. Mitchell. Radiofrequency radiation dosimetry handbook. Technical report, 3rd ed., USAF School of Aerospace Medicine, Aerospace Medical Division (AFSC), Brooks Air Force Base, 1980.
- [7] Mason et al. Effects of Frequency, Permittivity and Voxel Size on Predicted SAR Values in Biological Tissue. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 48(11), 2000.
- [8] C. Gabriel. Compilation of the Dielectric Properties of Body Tissues at RF and Microwave Frequencies. Technical report, Brooks Air Force, Technical Report AL/OE-TR-1996-0037. (<http://www.fcc.gov/fcc-bin/dielec.sh>).
- [9] C. Gabriel, S. Gabriel, and E. Corthout. The dielectric properties of biological tissues: I. literature survey. *Phys. Med. Biol.*, 41:2231–2249, 1996.
- [10] S. Gabriel, R. W. Lau, and C. Gabriel. The dielectric properties of biological tissues: II. measurements in the frequency range 10 hz to 20 GHz. *Phys. Med. Biol.*, 41:2251–2269, 1996.
- [11] S. Gabriel, R. W. Lau, and C. Gabriel. The dielectric properties of biological tissues: III. parametric models for the dielectric spectrum of tissues. *Phys. Med. Biol.*, 41:2271–2293, 1996.
- [12] Om P. Gandhi, editor. *Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy*. Prentice Hall Advanced Reference Series, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
- [13] Frank J. Schönborn. *Risk Assessment to EMF Exposure by Mobile Phones: Optimization of RF Exposure Setups*. PhD thesis, Diss. ETH Nr. 13839, Zurich, 2000.

Anhang

A Tabellen zum Anteil verschiedener Gewebesorten

Gewebeanteile Mausmodell		
Gewebe	Masse (kg)	Anteil am Körpergewicht (%)
Auge, Glaskörper	9.6e-06	0.03
Auge, Hornhaut	2.5e-06	0.01
Auge, Lederhaut	2.9e-06	0.01
Auge, Linse	1.2e-05	0.04
Auge, Vordere und Hintere Augenkammer	2.9e-06	0.01
Bandscheiben	1.8e-05	0.06
Bindegewebe	1.5e-04	0.51
Blutgefäße	3.4e-04	1.12
Dickdarm	1.3e-04	0.42
Drüsen	1.3e-04	0.44
Dünndarm	2.9e-03	9.79
Embryo	2.0e-03	6.60
Fett	3.3e-03	10.98
Gebärmutter	2.3e-03	7.80
Grosshirn	2.5e-04	0.83
Harnleiter	1.8e-07	0.00
Haut	1.1e-03	3.67
Herz	1.9e-04	0.62
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	6.5e-05	0.22
Hirn, Riechkolben	1.6e-05	0.05
Kleinhirn	2.7e-05	0.09
Knochen	2.1e-03	6.88
Knochenmark	9.9e-05	0.33
Knorpel	6.8e-05	0.23
Leber	1.9e-03	6.23
Luftröhre	1.2e-05	0.04
Lunge	2.6e-04	0.87
Magen	5.0e-04	1.66
Milz	8.7e-05	0.29
Mittelhirn	8.1e-05	0.27
Muskeln	1.1e-02	37.30
Nägel	2.1e-06	0.01
Nerven	1.0e-05	0.03
Nieren	3.0e-04	1.01
Rachen	3.4e-06	0.01
Rückenmark	8.1e-05	0.27
Scheide	1.2e-04	0.40
Speiseröhre	1.5e-05	0.05
Thymusdrüse	4.0e-05	0.13
Tränendrüse	1.3e-05	0.04
Zähne	3.8e-05	0.13
Zunge	8.2e-05	0.27
Zwerchfell	6.4e-05	0.21

Tabelle 24: Gewicht und Anteil am Körpergewicht der verschiedenen Gewebesorten und Organe beim fein diskretisierten Mausmodell (Diskretisierung: 0.4x0.4x0.36 mm)

Gewebeanteile Rattenmodell		
Gewebe	Masse (kg)	Anteil am Körpergewicht (%)
Auge, Glaskörper	7.1e-05	0.03
Auge, Hornhaut	1.8e-05	0.01
Auge, Lederhaut	2.6e-05	0.01
Auge, Linse	6.4e-05	0.03
Auge, Vordere und Hintere Augenkammer	1.3e-05	0.01
Bandscheiben	1.7e-04	0.07
Bauchspeicheldrüse	1.2e-03	0.46
Bindegewebe	2.1e-03	0.82
Blutgefäße	3.7e-03	1.46
Dickdarm	9.6e-03	3.78
Drüsen	1.6e-03	0.63
Dünndarm	1.0e-02	4.14
Eierstöcke	1.3e-04	0.05
Eileiter	2.0e-05	0.01
Embryos	1.6e-03	0.63
Fett	2.9e-02	11.60
Gebärmutter	6.6e-03	2.61
Grosshirn	1.2e-03	0.48
Haut	7.7e-03	3.04
Herz	1.1e-03	0.45
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	5.5e-04	0.22
Hirn, Parafloculus	4.7e-06	0.00
Hirn, Riechkolben	9.8e-05	0.04
Hirnanhangdrüse	1.3e-05	0.01
Kleinhirn	2.8e-04	0.11
Knochen	1.8e-02	7.00
Knochenmark	8.2e-04	0.32
Knorpel	8.1e-04	0.32
Leber	1.5e-02	5.94
Luftröhre	2.4e-04	0.09
Lunge	3.7e-03	1.44
Magen	2.9e-03	1.14
Milz	7.3e-04	0.29
Mittelhirn	3.9e-04	0.15
Muskeln	1.3e-01	50.22
Nägel	1.5e-05	0.01
Nerven	9.0e-05	0.04
Nieren	2.1e-03	0.85
Rachen	4.0e-05	0.02
Rückenmark	5.1e-04	0.20
Scheide	4.1e-04	0.16
Speiseröhre	1.7e-04	0.07
Thymusdrüse	3.0e-04	0.12
Tränendrüse	3.0e-04	0.12
Zähne	6.1e-04	0.24
Zunge	9.0e-04	0.35
Zwerchfell	6.4e-04	0.25

Tabelle 25: Gewicht und Anteil am Körpergewicht der verschiedenen Gewebesorten und Organe beim fein diskretisierten Rattenmodell (Diskretisierung: 0.6x0.6x0.6 mm)

Gewebeanteile Mensch Modell		
Gewebe	Masse (kg)	Anteil am Körpergewicht (%)
Auge, Glaskörper	1.1e-02	0.01
Auge, Linse	7.0e-04	0.00
Bänder / Sehnen	5.7e-01	0.58
Bauchspeicheldrüse	8.0e-02	0.08
Bindegewebe	1.6e+01	16.44
Blase	4.5e-02	0.05
Blut	1.0e+00	1.02
Blutgefäße	5.8e-02	0.06
Dickdarm	3.0e-01	0.30
Drüsen	1.3e-01	0.13
Dünndarm	6.3e-01	0.64
Fett	1.5e-01	0.15
Gallenblase	2.7e-02	0.03
Haut (trocken)	4.9e+00	5.03
Herz	2.9e-01	0.30
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	1.3e-01	0.13
Hirnsubstanz, Grau	7.4e-01	0.75
Hirnsubstanz, Weiss	4.3e-01	0.43
Hoden	1.8e-02	0.02
Kleinhirn	1.3e-01	0.13
Knochen, Rinde	8.1e+00	8.28
Knochenmark, Rot	1.8e+00	1.85
Knochenmark, Weiss	4.5e-01	0.46
Knorpel	4.2e-01	0.43
Leber	1.8e+00	1.83
Lunge (Mittelwert aufgebläht/entleert)	2.1e+00	2.15
Lymphpe	3.6e-02	0.04
Magen	1.4e-01	0.14
Milz	2.5e-01	0.25
Muskeln	4.1e+01	42.18
Nägel	3.5e-03	0.00
Nerven	1.0e-01	0.11
Nieren	3.3e-01	0.33
Prostata	1.5e-02	0.02
Rückenmark	2.6e-02	0.03
Schleimhäute	9.2e-02	0.09
Speiseröhre	3.8e-02	0.04
Thymusdrüse	9.5e-03	0.01
Unterhaut	1.5e+01	15.35
Zähne	1.7e-02	0.02
Zunge	9.7e-02	0.10
Zwölffingerdarm	2.9e-02	0.03

Tabelle 26: Gewicht und Anteil am Körpergewicht der verschiedenen Gewebesorten und Organe beim diskretisierten Mensch Modell (Diskretisierung: 0.2x0.2x0.2 mm)

B Resultate zum homogenen und zum inhomogenen Rattenmodell mit unterschiedlicher Auflösung

In den Tabellen 27, 28, 29 und 30 sind die Werte für den Ganzkörperdurchschnitt ($\overline{SAR_{WB}}$), den jeweiligen Spitzenwert (SAR_{Peak}) und die Maxima für die über 50 mg und 5 mg gemittelten SAR-Werte bei den vorgegebenen Frequenzen zusammengefasst.

B.1 450 MHz

<i>Model</i>	$\overline{SAR_{WB}}$ ((W/kg)/(W/m ²))	SAR_{Peak} ((W/kg)/(W/m ²))	Spitzenwert gemittelt über $SAR_{50\text{ mg}}$ ((W/kg)/(W/m ²))	Spitzenwert gemittelt über $SAR_{5\text{ mg}}$ ((W/kg)/(W/m ²))
SAR-Werte für homogenes Rattenmodell, 450 MHz				
E-Polarisation				
C-C	3.36e-02	2.13e+00	1.07e+00	1.32e+00
C-F	3.28e-02	2.20e+00	1.01e+00	1.43e+00
F-F	3.61e-02	3.38e+00	1.27e+00	1.78e+00
H-Polarisation				
C-C	3.37e-03	7.47e-02	3.86e-02	6.27e-02
C-F	3.34e-03	1.55e-01	3.98e-02	7.10e-02
F-F	3.57e-03	1.06e-01	4.14e-02	5.84e-02
k-Polarisation				
C-C	6.05e-03	1.97e-01	6.13e-02	1.34e-01
C-F	6.01e-03	2.29e-01	6.04e-02	1.03e-01
F-F	6.01e-03	2.21e-01	6.41e-02	9.32e-02
SAR-Werte für inhomogenes Rattenmodell, 450 MHz				
E-Polarisation				
C-C	3.27e-02	2.93e+00	1.05e+00	1.57e+00
C-F	3.23e-02	2.74e+00	1.11e+00	1.72e+00
F-F	3.59e-02	6.05e+00	1.32e+00	2.42e+00
H-Polarisation				
C-C	4.51e-03	8.44e-02	3.82e-02	6.23e-02
C-F	4.44e-03	2.23e-01	3.98e-02	7.19e-02
F-F	4.80e-03	1.10e-01	4.09e-02	6.40e-02
k-Polarisation				
C-C	8.22e-03	2.31e-01	6.25e-02	1.54e-01
C-F	8.14e-03	2.16e-01	5.93e-02	1.06e-01
F-F	8.14e-03	2.56e-01	6.25e-02	9.31e-02

Tabelle 27: Ganzkörperdurchschnittswert der SAR und die Werte für den räumlich gemittelten Spitzenwert über 50 mg und 5 mg für das homogene und inhomogene Rattenmodell bei 450 MHz

B.2 900 MHz

<i>Model</i>	\overline{SAR}_{WB} ((W/kg)/(W/m ²))	SAR_{Peak} ((W/kg)/(W/m ²))	Spitzenwert gemittelt über $SAR_{50\text{ mg}}$ ((W/kg)/(W/m ²))	Spitzenwert gemittelt über $SAR_{5\text{ mg}}$ ((W/kg)/(W/m ²))
SAR-Werte für homogenes Rattenmodell, 900 MHz				
E-Polarisation				
C-C	6.33e-02	1.25e+00	6.78e-01	8.22e-01
C-F	6.46e-02	1.65e+00	7.21e-01	9.45e-01
F-F	6.45e-02	2.17e+00	7.92e-01	1.09e+00
H-Polarisation				
C-C	1.85e-02	1.52e-01	6.02e-02	8.91e-02
C-F	1.87e-03	2.66e-01	6.00e-02	1.02e-01
F-F	1.87e-03	3.08e-01	6.04e-02	8.99e-02
k-Polarisation				
C-C	2.73e-02	2.59e-01	1.02e-01	1.47e-01
C-F	2.71e-02	4.38e-01	1.01e-01	1.35e-01
F-F	2.72e-02	3.42e-01	1.01e-01	1.53e-01
SAR-Werte für inhomogenes Rattenmodell, 900 MHz				
E-Polarisation				
C-C	6.82e-02	1.55e+00	5.57e-01	7.62e-01
C-F	7.00e-02	2.55e+00	6.29e-01	9.68e-01
F-F	6.97e-02	2.87e+00	6.81e-01	1.11e+00
H-Polarisation				
C-C	1.83e-02	2.11e-01	1.15e-01	1.21e-01
C-F	1.84e-02	3.76e-01	1.14e-01	1.38e-01
F-F	1.85e-02	3.38e-01	1.13e-01	1.37e-01
k-Polarisation				
C-C	2.21e-02	3.15e-01	1.22e-01	1.60e-01
C-F	2.20e-02	4.86e-01	1.23e-01	1.41e-01
F-F	2.21e-02	8.37e-01	1.20e-01	1.85e-01

Tabelle 28: Ganzkörperdurchschnittswert der SAR und die Werte für den räumlich gemittelten Spitzenwert über 50 mg und 5 mg für das homogene und inhomogene Rattenmodell bei 900 MHz

B.3 1.8 GHz

<i>Model</i>	\overline{SAR}_{WB} ((W/kg)/(W/m ²))	SAR_{Peak} ((W/kg)/(W/m ²))	Spitzenwert gemittelt über $SAR_{50\text{ mg}}$ ((W/kg)/(W/m ²))	Spitzenwert gemittelt über $SAR_{5\text{ mg}}$ ((W/kg)/(W/m ²))
SAR-Werte für homogenes Rattenmodell, 1.8 GHz				
E-Polarisation				
C-C	4.09e-02	1.09e+00	6.83e-01	7.88e-01
C-F	4.11e-02	1.15e+00	6.96e-01	7.74e-01
F-F	4.21e-02	1.99e+00	7.34e-01	9.50e-01
H-Polarisation				
C-C	2.17e-02	2.12e-01	1.22e-01	1.77e-01
C-F	2.16e-02	3.20e-01	1.20e-01	1.95e-01
F-F	2.21e-02	3.27e-01	1.25e-01	1.80e-01
k-Polarisation				
C-C	2.22e-02	2.20e-01	1.29e-01	1.47e-01
C-F	2.24e-02	3.49e-01	1.31e-01	1.86e-01
F-F	2.22e-02	3.54e-01	1.32e-01	1.85e-01
SAR-Werte für inhomogenes Rattenmodell, 1.8 GHz				
E-Polarisation				
C-C	3.92e-02	1.89e+00	7.55e-01	1.10e+00
C-F	3.97e-02	1.75e+00	7.69e-01	1.20e+00
F-F	4.12e-02	3.57e+00	8.43e-01	1.36e+00
H-Polarisation				
C-C	2.17e-02	3.63e-01	1.36e-01	2.13e-01
C-F	2.16e-02	4.12e-01	1.33e-01	2.28e-01
F-F	2.22e-02	5.74e-01	1.91e-01	2.13e-01
k-Polarisation				
C-C	2.18e-02	3.60e-01	1.97e-01	2.40e-01
C-F	2.19e-02	4.41e-01	1.96e-01	2.60e-01
F-F	2.19e-02	9.65e-01	2.13e-01	2.93e-01

Tabelle 29: Ganzkörperdurchschnittswert der SAR und die Werte für den räumlich gemittelten Spitzenwert über 50 mg und 5 mg für das homogene und inhomogene Rattenmodell bei 1.8 GHz

B.4 5 GHz

<i>Model</i>	$\overline{SAR_{WB}}$ ((W/kg)/(W/m ²))	SAR_{Peak} ((W/kg)/(W/m ²))	Spitzenwert gemittelt über $SAR_{50\ mg}$ ((W/kg)/(W/m ²))	Spitzenwert gemittelt über $SAR_{5\ mg}$ ((W/kg)/(W/m ²))
SAR-Werte für homogenes Rattenmodell, 5 GHz				
E-Polarisation				
C-C	2.31e-02	1.32e+00	7.29e-01	1.02e+00
C-F	2.25e-02	1.41e+00	7.61e-01	1.07e+00
F-F	3.42e-02	2.68e+00	9.92e-01	1.56e+00
H-Polarisation				
C-C	2.30e-02	7.54e-01	2.37e-01	3.85e-01
C-F	2.21e-02	2.57e+00	2.52e-01	5.90e-01
F-F	3.41e-02	2.70e+00	5.01e-01	8.83e-01
k-Polarisation				
C-C	1.92e-02	7.46e-01	2.85e-01	4.89e-01
C-F	1.90e-02	1.80e+00	3.09e-01	5.85e-01
F-F	2.35e-02	1.30e+00	4.88e-01	7.62e-01
SAR-Werte für inhomogenes Rattenmodell, 5 GHz				
E-Polarisation				
C-C	2.28e-02	2.93e+00	8.16e-01	1.63e+00
C-F	2.25e-02	4.57e+00	7.67e-01	1.63e+00
F-F	2.26e-02	3.28e+00	6.95e-01	1.23e+00
H-Polarisation				
C-C	2.32e-02	1.36e+00	3.02e-01	5.42e-01
C-F	2.27e-02	2.86e+00	3.05e-01	5.95e-01
F-F	2.30e-02	2.545e+00	4.45e-01	6.69e-01
k-Polarisation				
C-C	1.92e-02	1.03e+00	3.72e-01	6.95e-01
C-F	1.93e-02	2.28e+00	4.22e-01	8.07e-01
F-F	1.98e-02	1.58e+00	4.66e-01	7.32e-01

Tabelle 30: Ganzkörperdurchschnittswert der SAR und die Werte für den räumlich gemittelten Spitzenwert über 50 mg und 5 mg für das homogene und inhomogene Rattenmodell bei 5 GHz

C Tabellen der SAR-Werte für die Absorption in einer Maus unter Fernfeldexposition

C.1 E-Polarisation

E-Polarisation						
<i>Frequenz</i> (MHz)	\overline{SAR}_{WB} $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Δs (dB)	SAR_{point}^{Peak} $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	SAR_{50mg}^{Peak} $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	SAR_{5mg}^{Peak} $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	$SAR_{0.5mg}^{Peak}$ $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$
450	1.29e-02	7.4	2.64e+00	5.83e-01	7.72e-01	1.17e+00
900	3.27e-02	5.7	4.00e+00	9.30e-01	1.16e+00	1.85e+00
1800	1.48e-01	3.7	5.25e+00	1.22e+00	1.65e+00	2.43e+00
5000	1.01e-01	5.1	1.50e+01	1.96e+00	2.49e+00	4.12e+00

Tabelle 31: Ganzkörperdurchschnittswert, Standardabweichung und gemittelte SAR-Werte über 50 mg, 5 mg und 0.5 mg in der Maus bei E-Polarisation

E-Polarisation			
<i>Frequenz</i> (MHz)	$\frac{SAR_{50mg}^{Peak}}{\overline{SAR}_{WB}}$	$\frac{SAR_{5mg}^{Peak}}{\overline{SAR}_{WB}}$	$\frac{SAR_{0.5mg}^{Peak}}{\overline{SAR}_{WB}}$
450	45.2	56.4	90.7
900	28.4	35.5	56.6
1800	8.2	11.1	16.4
5000	19.4	24.7	40.8

Tabelle 32: Verhältnisse der lokalen zur durchschnittlichen Ganzkörperabsorption für die Massenwürfel 50 mg, 5 mg und 0.5 mg beim Mausmodell bei E-Polarisation

C.2 H-Polarisation

H-Polarisation						
<i>Frequenz</i> (MHz)	\overline{SAR}_{WB} $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Δs (dB)	SAR_{point}^{Peak} $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	$SAR_{50\,mg}^{Peak}$ $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	$SAR_{5\,mg}^{Peak}$ $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	$SAR_{0.5\,mg}^{Peak}$ $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$
450	1.37e-03	4.7	1.79e-01	2.92e-02	7.40e-02	1.02e-01
900	7.48e-03	3.2	2.55e-01	4.26e-02	1.07e-01	1.43e-01
1800	3.50e-02	3.1	6.11e-01	1.73e-01	2.27e-01	3.25e-01
5000	6.97e-02	3.0	2.98e+00	4.29e-01	8.54e-01	1.27e+00

Tabelle 33: Ganzkörperdurchschnittswert, Standardabweichung und gemittelte SAR-Werte über 50 mg, 5 mg und 0.5 mg in der Maus bei H-Polarisation

H-Polarisation			
<i>Frequenz</i> (MHz)	$\frac{SAR_{50\,mg}^{Peak}}{\overline{SAR}_{WB}}$	$\frac{SAR_{5\,mg}^{Peak}}{\overline{SAR}_{WB}}$	$\frac{SAR_{0.5\,mg}^{Peak}}{\overline{SAR}_{WB}}$
450	21.3	54.0	74.5
900	5.7	14.3	19.1
1800	4.9	6.5	9.3
5000	6.2	12.3	18.2

Tabelle 34: Verhältnisse der lokalen zur durchschnittlichen Ganzkörperabsorption für die Massenwürfel 50 mg, 5 mg und 0.5 mg beim Mausmodell bei H-Polarisation

C.3 k-Polarisation

k-Polarisation						
<i>Frequenz</i> (MHz)	\overline{SAR}_{WB} $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Δs (dB)	SAR_{point}^{Peak} $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	$SAR_{50\,mg}^{Peak}$ $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	$SAR_{5\,mg}^{Peak}$ $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	$SAR_{0.5\,mg}^{Peak}$ $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$
450	1.80e-03	4.1	1.75e-01	2.98e-02	5.64e-02	9.09e-02
900	1.22e-02	3.0	2.82e-01	5.21e-02	8.56e-02	1.41e-01
1800	4.90e-02	3.2	9.07e-01	2.57e-01	3.42e-01	3.79e-01
5000	6.71e-02	3.3	2.72e+00	4.95e-01	9.52e-01	1.33e+00

Tabelle 35: Ganzkörperdurchschnittswert, Standardabweichung und gemittelte SAR-Werte über 50 mg, 5 mg und 0.5 mg in der Maus bei k-Polarisation

k-Polarisation			
<i>Frequenz</i> (MHz)	$\frac{SAR_{50\,mg}^{Peak}}{\overline{SAR}_{WB}}$	$\frac{SAR_{5\,mg}^{Peak}}{\overline{SAR}_{WB}}$	$\frac{SAR_{0.5\,mg}^{Peak}}{\overline{SAR}_{WB}}$
450	16.6	31.3	50.5
900	4.3	7.0	11.6
1800	5.2	7.0	7.7
5000	7.4	14.2	19.8

Tabelle 36: Verhältnisse der lokalen zur durchschnittlichen Ganzkörperabsorption für die Massenwürfel 50 mg, 5 mg und 0.5 mg beim Mausmodell bei k-Polarisation

D Tabellen der organspezifischen Werte für die Absorption in einer Maus unter Fernfeldexposition

D.1 E-Polarisation

E-Polarisation, 450 MHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{5 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	1.80e-02	1.46	1.87e-02	1.0
Auge, Hornhaut	2.29e-02	2.49	2.29e-02	1.0
Auge, Lederhaut	1.25e-02	-0.15	1.25e-02	1.0
Auge, Linse	8.23e-03	-1.95	8.90e-03	1.1
Auge, Augenkammern	2.25e-02	2.42	2.25e-02	1.0
Bandscheiben	4.76e-03	-4.33	6.42e-03	1.3
Bindegewebe	8.01e-02	7.93	2.04e-01	2.5
Blutgefäße	1.20e-02	-0.32	3.58e-02	3.0
Dickdarm	2.78e-02	3.34	9.54e-02	3.4
Drüsen	1.87e-02	1.61	2.66e-02	1.4
Herz	8.91e-03	-1.61	1.35e-02	1.5
Dünndarm	9.04e-03	-1.55	2.56e-02	2.8
Embryos	5.40e-03	-3.78	1.31e-02	2.4
Fett	2.27e-03	-7.54	4.17e-02	18.3
Gebärmutter	6.60e-03	-2.91	2.07e-02	3.1
Grosshirn	7.27e-03	-2.49	1.07e-02	1.5
Harnleiter	7.39e-03	-2.42	7.39e-03	1.0
Haut	1.11e-02	-0.64	1.11e-01	10.0
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	1.83e-02	1.52	3.94e-02	2.2
Hirn, Riechkolben	7.38e-03	-2.42	7.81e-03	1.1
Kleinhirn	1.33e-02	0.12	1.60e-02	1.2
Knochen	5.36e-03	-3.81	1.21e-01	22.5
Knochenmark	3.22e-03	-6.03	7.52e-03	2.3
Knorpel	2.16e-02	2.25	7.43e-02	3.4
Leber	6.28e-03	-3.12	1.46e-02	2.3
Luftröhre	1.22e-02	-0.25	1.34e-02	1.1
Lunge	9.43e-03	-1.36	1.54e-02	1.6
Magen	3.11e-03	-6.17	1.05e-02	3.4
Milz	2.62e-03	-6.92	5.45e-03	2.1
Mittelhirn	9.23e-03	-1.45	1.33e-02	1.4
Muskeln	2.17e-02	2.26	1.30e+00	59.9
Nägel	1.79e-03	-8.57	1.79e-03	1.0
Nerven	9.79e-03	-1.20	1.16e-02	1.2
Nieren	3.02e-03	-6.31	5.58e-03	1.9
Rachen	1.40e-02	0.34	1.40e-02	1.0
Rückenmark	6.32e-03	-3.10	1.23e-02	2.0
Scheide	2.35e-02	2.61	4.37e-02	1.9
Speiseröhre	1.03e-02	-0.96	1.88e-02	1.8
Thymusdrüse	1.26e-02	-0.09	1.77e-02	1.4
Tränendrüsen	1.44e-02	0.48	1.51e-02	1.0
Zähne	2.64e-03	-6.90	3.34e-03	1.3
Zunge	2.42e-02	2.73	3.49e-02	1.4
Zwerchfell	8.84e-03	-1.64	1.53e-02	1.7

Tabelle 37: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 450 MHz in der Maus

E-Polarisation, 900 MHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{5 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	3.37e-02	0.13	3.48e-02	1.0
Auge, Hornhaut	4.79e-02	1.66	4.79e-02	1.0
Auge, Lederhaut	2.44e-02	-1.27	2.44e-02	1.0
Auge, Linse	1.61e-02	-3.07	1.74e-02	1.1
Auge, Augenkammern	4.08e-02	0.96	4.08e-02	1.0
Bandscheiben	1.42e-02	-3.62	2.07e-02	1.5
Bindegewebe	1.33e-01	6.08	3.68e-01	2.8
Blutgefäße	3.65e-02	0.48	8.65e-02	2.4
Dickdarm	5.80e-02	2.49	1.50e-01	2.6
Drüsen	4.07e-02	0.95	5.19e-02	1.3
Dünndarm	4.76e-02	1.63	1.30e-01	2.7
Embryos	2.42e-02	-1.30	7.06e-02	2.9
Fett	5.45e-03	-7.78	6.72e-02	12.3
Gebärmutter	2.92e-02	-0.49	9.59e-02	3.3
Grosshirn	1.60e-02	-3.11	4.34e-02	2.7
Harnleiter	2.17e-02	-1.78	2.17e-02	1.0
Haut	2.64e-02	-0.93	2.09e-01	7.9
Herz	2.96e-02	-0.43	5.32e-02	1.8
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	5.05e-02	1.89	6.64e-02	1.3
Hirn, Riechkolben	1.69e-02	-2.86	1.74e-02	1.0
Kleinhirn	2.88e-02	-0.55	3.71e-02	1.3
Knochen	1.06e-02	-4.87	2.21e-01	20.8
Knochenmark	1.20e-02	-4.35	3.61e-02	3.0
Knorpel	4.71e-02	1.59	1.56e-01	3.3
Leber	2.66e-02	-0.89	7.05e-02	2.6
Luftröhre	3.27e-02	0.00	3.53e-02	1.1
Lunge	3.25e-02	-0.03	6.30e-02	1.9
Magen	1.26e-02	-4.16	2.97e-02	2.4
Milz	1.37e-02	-3.77	4.05e-02	3.0
Mittelhirn	2.12e-02	-1.87	3.22e-02	1.5
Muskeln	4.39e-02	1.28	2.00e+00	45.5
Nägel	3.45e-03	-9.77	3.45e-03	1.0
Nerven	2.71e-02	-0.81	3.29e-02	1.2
Nieren	1.03e-02	-5.02	2.48e-02	2.4
Rachen	3.14e-02	-0.18	3.14e-02	1.0
Rückenmark	1.79e-02	-2.61	3.48e-02	1.9
Speiseröhre	3.00e-02	-0.37	4.85e-02	1.6
Thymusdrüse	3.25e-02	-0.03	4.46e-02	1.4
Tränendrüsen	2.91e-02	-0.50	3.03e-02	1.0
Zähne	6.00e-03	-7.36	7.36e-03	1.2
Zunge	5.06e-02	1.90	6.74e-02	1.3
Zwerchfell	3.01e-02	-0.36	6.25e-02	2.1

Tabelle 38: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 900 MHz in der Maus

E-Polarisation, 1.8 GHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{5 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	5.50e-02	-4.31	6.73e-02	1.2
Auge, Hornhaut	6.47e-02	-3.61	6.47e-02	1.0
Auge, Lederhaut	4.21e-02	-5.47	4.21e-02	1.0
Auge, Linse	2.97e-02	-6.98	3.99e-02	1.3
Auge, Augenkammern	5.23e-02	-4.53	5.23e-02	1.0
Bandscheiben	9.81e-02	-1.79	1.15e-01	1.2
Bindegewebe	1.28e-01	-0.63	4.53e-01	3.5
Blutgefäße	2.53e-01	2.32	9.25e-01	3.7
Dickdarm	3.42e-01	3.63	6.16e-01	1.8
Drüsen	1.24e-01	-0.79	2.56e-01	2.1
Dünndarm	3.95e-01	4.25	1.76e+00	4.5
Embryos	1.38e-01	-0.32	9.33e-01	6.8
Fett	2.53e-02	-7.67	3.54e-01	14.0
Gebärmutter	2.50e-01	2.27	1.06e+00	4.3
Grosshirn	4.55e-02	-5.14	8.90e-02	2.0
Harnleiter	6.77e-02	-3.41	6.77e-02	1.0
Haut	8.23e-02	-2.56	4.41e-01	5.4
Herz	1.62e-01	0.39	3.77e-01	2.3
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	1.99e-01	1.28	5.00e-01	2.5
Hirn, Riechkolben	4.94e-02	-4.78	5.61e-02	1.1
Kleinhirn	5.86e-02	-4.03	8.24e-02	1.4
Knochen	2.52e-02	-7.70	3.00e-01	11.9
Knochenmark	5.77e-02	-4.10	1.10e-01	1.9
Knorpel	1.52e-01	0.11	4.27e-01	2.8
Leber	1.46e-01	-0.08	5.07e-01	3.5
Luftröhre	1.55e-01	0.21	1.72e-01	1.1
Lunge	1.67e-01	0.52	2.95e-01	1.8
Magen	1.06e-01	-1.47	6.53e-01	6.2
Milz	1.01e-01	-1.65	1.88e-01	1.9
Mittelhirn	6.30e-02	-3.72	9.93e-02	1.6
Muskeln	1.27e-01	-0.68	2.10e+00	16.6
Nägel	8.12e-03	-12.62	8.12e-03	1.0
Nerven	1.21e-01	-0.90	1.51e-01	1.3
Nieren	1.07e-01	-1.43	1.73e-01	1.6
Rachen	9.82e-02	-1.79	9.82e-02	1.0
Rückenmark	1.05e-01	-1.48	2.07e-01	2.0
Scheide	1.97e-01	1.23	4.40e-01	2.2
Speiseröhre	2.17e-01	1.66	2.81e-01	1.3
Thymusdrüse	1.14e-01	-1.13	1.66e-01	1.5
Tränendrüsen	6.38e-02	-3.66	8.09e-02	1.3
Zähne	1.35e-02	-10.40	2.40e-02	1.8
Zunge	1.11e-01	-1.24	1.52e-01	1.4
Zwerchfell	1.49e-01	0.01	2.69e-01	1.8

Tabelle 39: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 1.8 GHz in der Maus

E-Polarisation, 5 GHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{5 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	8.04e-02	-1.01	1.06e-01	1.3
Auge, Hornhaut	4.66e-02	-3.37	4.66e-02	1.0
Auge, Lederhaut	7.09e-02	-1.55	7.09e-02	1.0
Auge, Linse	4.65e-02	-3.39	5.92e-02	1.3
Auge, Augenkammern	5.88e-02	-2.36	5.88e-02	1.0
Bandscheiben	8.96e-02	-0.54	1.32e-01	1.5
Bindegewebe	4.60e-01	6.57	1.12e+00	2.4
Blutgefäße	9.66e-02	-0.21	3.21e-01	3.3
Dickdarm	4.33e-01	6.31	1.00e+00	2.3
Drüsen	1.58e-01	1.93	2.35e-01	1.5
Dünndarm	7.77e-02	-1.16	2.90e-01	3.7
Embryos	5.43e-02	-2.72	2.82e-01	5.2
Fett	2.11e-02	-6.82	1.67e-01	7.9
Gebärmutter	5.91e-02	-2.35	2.92e-01	4.9
Grosshirn	1.07e-01	0.24	2.03e-01	1.9
Harnleiter	7.84e-02	-1.12	7.84e-02	1.0
Haut	9.62e-02	-0.23	6.33e-01	6.6
Herz	9.78e-02	-0.15	2.71e-01	2.8
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	1.80e-01	2.50	4.40e-01	2.4
Hirn, Riechkolben	1.00e-01	-0.04	1.12e-01	1.1
Kleinhirn	2.08e-01	3.13	2.81e-01	1.3
Knochen	5.39e-02	-2.74	9.75e-01	18.1
Knochenmark	3.33e-02	-4.83	1.48e-01	4.4
Knorpel	1.41e-01	1.44	2.88e-01	2.0
Leber	6.22e-02	-2.12	2.10e-01	3.4
Luftröhre	1.77e-01	2.42	2.86e-01	1.6
Lunge	1.11e-01	0.41	3.17e-01	2.8
Magen	3.62e-02	-4.47	1.23e-01	3.4
Milz	2.94e-02	-5.37	7.49e-02	2.5
Mittelhirn	1.27e-01	0.98	1.77e-01	1.4
Muskeln	1.52e-01	1.76	3.82e+00	25.1
Nägel	3.67e-02	-4.41	3.67e-02	1.0
Nerven	1.16e-01	0.58	1.52e-01	1.3
Nieren	4.95e-02	-3.12	9.70e-02	2.0
Rachen	2.59e-01	4.07	2.59e-01	1.0
Rückenmark	9.87e-02	-0.11	2.38e-01	2.4
Scheide	4.42e-01	6.39	8.48e-01	1.9
Speiseröhre	1.43e-01	1.51	2.88e-01	2.0
Thymusdrüse	9.62e-02	-0.23	1.23e-01	1.3
Tränendrüsen	1.25e-01	0.91	1.60e-01	1.3
Zähne	4.65e-02	-3.39	6.46e-02	1.4
Zunge	3.25e-01	5.07	4.43e-01	1.4
Zwerchfell	7.25e-02	-1.46	1.41e-01	1.9

Tabelle 40: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 5 GHz in der Maus

D.2 H-Polarisation

H-Polarisation, 450 MHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{5 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	1.56e-03	0.56	1.91e-03	1.2
Auge, Hornhaut	9.72e-04	-1.49	9.72e-04	1.0
Auge, Lederhaut	1.43e-03	0.18	1.43e-03	1.0
Auge, Linse	6.47e-04	-3.26	8.37e-04	1.3
Auge, Augenkammern	1.19e-03	-0.63	1.19e-03	1.0
Bandscheiben	1.35e-03	-0.05	2.11e-03	1.6
Bindegewebe	9.74e-04	-1.48	1.73e-03	1.8
Blutgefäße	1.34e-03	-0.10	3.02e-03	2.3
Dickdarm	7.59e-04	-2.56	2.00e-03	2.6
Drüsen	6.92e-04	-2.97	1.33e-03	1.9
Dünndarm	2.65e-03	2.86	8.24e-03	3.1
Embryos	1.25e-03	-0.38	3.96e-03	3.2
Fett	3.00e-04	-6.60	2.85e-03	9.5
Gebärmutter	1.31e-03	-0.21	5.96e-03	4.6
Grosshirn	8.21e-04	-2.22	1.48e-03	1.8
Harnleiter	6.16e-04	-3.47	6.16e-04	1.0
Haut	5.21e-03	5.80	7.06e-02	13.6
Herz	8.09e-04	-2.29	1.56e-03	1.9
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	2.75e-03	3.03	5.25e-03	1.9
Hirn, Riechkolben	5.43e-04	-4.02	6.28e-04	1.2
Kleinhirn	1.03e-03	-1.25	1.48e-03	1.4
Knochen	1.77e-04	-8.89	2.53e-03	14.3
Knochenmark	5.87e-04	-3.68	1.24e-03	2.1
Knorpel	8.67e-03	8.02	4.22e-02	4.9
Leber	1.22e-03	-0.50	3.92e-03	3.2
Luftröhre	5.10e-04	-4.29	6.11e-04	1.2
Lunge	7.65e-04	-2.53	1.63e-03	2.1
Magen	7.67e-04	-2.52	1.49e-03	1.9
Milz	1.39e-03	0.05	2.08e-03	1.5
Mittelhirn	6.83e-04	-3.02	8.35e-04	1.2
Muskeln	1.25e-03	-0.38	2.35e-02	18.7
Nägel	2.16e-03	1.97	2.16e-03	1.0
Nerven	4.77e-04	-4.58	5.62e-04	1.2
Nieren	2.25e-03	2.16	6.22e-03	2.8
Rachen	1.34e-03	-0.08	1.34e-03	1.0
Rückenmark	7.78e-04	-2.46	1.63e-03	2.1
Scheide	1.40e-03	0.09	5.53e-03	4.0
Speiseröhre	6.74e-04	-3.08	8.14e-04	1.2
Thymusdrüse	6.98e-04	-2.93	1.01e-03	1.5
Tränendrüsen	1.25e-03	-0.41	1.57e-03	1.3
Zähne	2.25e-04	-7.85	3.11e-04	1.4
Zunge	1.61e-03	0.71	2.68e-03	1.7
Zwerchfell	1.00e-03	-1.36	1.57e-03	1.6

Tabelle 41: Organspezifische SAR Werte für H-Polarisation bei 450 MHz in der Maus

H-Polarisation, 900 MHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{5 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	2.40e-03	-4.94	3.13e-03	1.3
Auge, Hornhaut	1.78e-03	-6.23	1.78e-03	1.0
Auge, Lederhaut	2.24e-03	-5.23	2.24e-03	1.0
Auge, Linse	1.04e-03	-8.55	1.46e-03	1.4
Auge, Augenkammern	2.10e-03	-5.52	2.10e-03	1.0
Bandscheiben	8.65e-03	0.63	1.44e-02	1.7
Bindegewebe	1.48e-03	-7.03	2.53e-03	1.7
Blutgefäße	8.37e-03	0.49	2.23e-02	2.7
Dickdarm	1.43e-03	-7.20	2.47e-03	1.7
Drüsen	2.95e-03	-4.04	4.43e-03	1.5
Dünndarm	2.02e-02	4.32	4.87e-02	2.4
Embryos	1.03e-02	1.37	2.32e-02	2.3
Fett	1.00e-03	-8.74	4.70e-03	4.7
Gebärmutter	1.01e-02	1.30	3.01e-02	3.0
Grosshirn	2.78e-03	-4.30	1.55e-02	5.6
Harnleiter	2.98e-03	-4.00	2.98e-03	1.0
Haut	1.18e-02	1.98	1.02e-01	8.6
Herz	5.35e-03	-1.46	1.02e-02	1.9
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	4.85e-03	-1.88	8.82e-03	1.8
Hirn, Riechkolben	9.37e-04	-9.02	1.19e-03	1.3
Kleinhirn	3.64e-03	-3.13	4.55e-03	1.3
Knochen	6.99e-04	-10.30	4.48e-03	6.4
Knochenmark	3.25e-03	-3.62	6.17e-03	1.9
Knorpel	1.47e-02	2.92	6.19e-02	4.2
Leber	8.66e-03	0.64	2.13e-02	2.5
Luftröhre	1.41e-03	-7.25	1.65e-03	1.2
Lunge	3.90e-03	-2.83	8.84e-03	2.3
Magen	6.82e-03	-0.40	1.29e-02	1.9
Milz	1.32e-02	2.46	1.97e-02	1.5
Mittelhirn	1.65e-03	-6.57	2.20e-03	1.3
Muskeln	5.75e-03	-1.15	4.07e-02	7.1
Nägel	4.04e-03	-2.68	4.04e-03	1.0
Nerven	1.58e-03	-6.75	2.06e-03	1.3
Nieren	1.68e-02	3.51	2.78e-02	1.7
Rachen	1.95e-03	-5.85	1.95e-03	1.0
Rückenmark	4.46e-03	-2.25	1.30e-02	2.9
Scheide	2.68e-03	-4.46	8.59e-03	3.2
Speiseröhre	2.26e-03	-5.19	3.21e-03	1.4
Thymusdrüse	4.20e-03	-2.50	6.12e-03	1.5
Tränendrüsen	1.92e-03	-5.90	2.67e-03	1.4
Zähne	4.80e-04	-11.93	6.67e-04	1.4
Zunge	3.29e-03	-3.57	5.21e-03	1.6
Zwerchfell	5.73e-03	-1.16	9.37e-03	1.6

Tabelle 42: Organspezifische SAR Werte für H-Polarisation bei 900 MHz in der Maus

H-Polarisation, 1.8 GHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{5 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	1.06e-02	-5.18	1.87e-02	1.8
Auge, Hornhaut	6.68e-03	-7.19	6.68e-03	1.0
Auge, Lederhaut	1.03e-02	-5.31	1.03e-02	1.0
Auge, Linse	4.84e-03	-8.60	9.81e-03	2.0
Auge, Augenkammern	9.12e-03	-5.84	9.12e-03	1.0
Bandscheiben	4.72e-02	1.30	6.81e-02	1.4
Bindegewebe	2.43e-03	-11.58	4.63e-03	1.9
Blutgefäße	7.59e-02	3.36	1.48e-01	2.0
Dickdarm	3.37e-02	-0.17	6.36e-02	1.9
Drüsen	2.94e-02	-0.76	4.23e-02	1.4
Dünndarm	6.95e-02	2.98	2.19e-01	3.2
Embryos	6.52e-02	2.70	1.57e-01	2.4
Fett	4.68e-03	-8.74	2.74e-02	5.9
Gebärmutter	6.56e-02	2.73	1.79e-01	2.7
Grosshirn	1.54e-02	-3.58	3.60e-02	2.3
Harnleiter	3.49e-02	-0.01	3.49e-02	1.0
Haut	2.76e-02	-1.03	2.04e-01	7.4
Herz	5.08e-02	1.61	9.13e-02	1.8
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	5.79e-02	2.19	1.01e-01	1.7
Hirn, Riechkolben	5.38e-03	-8.13	9.14e-03	1.7
Kleinhirn	3.21e-02	-0.38	3.46e-02	1.1
Knochen	3.99e-03	-9.44	1.78e-02	4.5
Knochenmark	1.47e-02	-3.77	3.01e-02	2.0
Knorpel	4.84e-02	1.41	1.59e-01	3.3
Leber	3.56e-02	0.07	9.38e-02	2.6
Luftröhre	2.51e-02	-1.45	3.49e-02	1.4
Lunge	4.24e-02	0.83	7.38e-02	1.7
Magen	5.06e-02	1.60	1.13e-01	2.2
Milz	6.98e-02	3.00	9.58e-02	1.4
Mittelhirn	1.78e-02	-2.93	2.34e-02	1.3
Muskeln	2.60e-02	-1.30	1.63e-01	6.3
Nägel	1.01e-02	-5.38	1.01e-02	1.0
Nerven	1.82e-02	-2.83	2.74e-02	1.5
Nieren	7.49e-02	3.30	1.82e-01	2.4
Rachen	9.92e-03	-5.48	9.92e-03	1.0
Rückenmark	2.56e-02	-1.35	3.86e-02	1.5
Scheide	2.84e-02	-0.90	5.99e-02	2.1
Speiseröhre	4.35e-02	0.95	6.87e-02	1.6
Thymusdrüse	3.93e-02	0.51	4.57e-02	1.2
Tränendrüsen	8.24e-03	-6.28	1.65e-02	2.0
Zähne	2.34e-03	-11.75	4.28e-03	1.8
Zunge	1.70e-02	-3.14	2.35e-02	1.4
Zwerchfell	4.05e-02	0.63	7.43e-02	1.8

Tabelle 43: Organspezifische SAR Werte für H-Polarisation bei 1.8 GHz in der Maus

H-Polarisation, 5 GHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{5 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	1.29e-01	2.69	1.95e-01	1.5
Auge, Hornhaut	5.31e-02	-1.18	5.31e-02	1.0
Auge, Lederhaut	1.37e-01	2.93	1.37e-01	1.0
Auge, Linse	6.44e-02	-0.35	1.07e-01	1.7
Auge, Augenkammern	6.95e-02	-0.01	6.95e-02	1.0
Bandscheiben	1.14e-01	2.15	1.70e-01	1.5
Bindegewebe	2.50e-02	-4.45	5.41e-02	2.2
Blutgefäße	7.76e-02	0.47	1.50e-01	1.9
Dickdarm	1.16e-01	2.22	2.56e-01	2.2
Drüsen	5.87e-02	-0.74	1.50e-01	2.6
Dünndarm	7.67e-02	0.42	2.86e-01	3.7
Embryos	5.75e-02	-0.84	1.94e-01	3.4
Fett	1.33e-02	-7.20	9.56e-02	7.2
Gebärmutter	5.67e-02	-0.89	2.66e-01	4.7
Grosshirn	1.40e-01	3.02	2.65e-01	1.9
Harnleiter	1.77e-01	4.05	1.77e-01	1.0
Haut	9.52e-02	1.36	6.57e-01	6.9
Herz	8.52e-02	0.87	1.58e-01	1.9
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	2.03e-01	4.65	4.15e-01	2.0
Hirn, Riechkolben	1.30e-01	2.72	1.64e-01	1.3
Kleinhirn	1.50e-01	3.33	1.78e-01	1.2
Knochen	2.29e-02	-4.83	1.84e-01	8.0
Knochenmark	5.23e-02	-1.24	1.45e-01	2.8
Knorpel	2.56e-01	5.66	7.54e-01	2.9
Leber	5.56e-02	-0.98	1.72e-01	3.1
Luftröhre	1.08e-01	1.89	1.55e-01	1.4
Lunge	5.91e-02	-0.71	1.39e-01	2.3
Magen	3.73e-02	-2.72	1.03e-01	2.8
Milz	2.94e-02	-3.75	6.54e-02	2.2
Mittelhirn	1.79e-01	4.09	3.04e-01	1.7
Muskeln	9.08e-02	1.15	1.18e+00	13.0
Nägel	2.26e-02	-4.89	2.26e-02	1.0
Nerven	8.97e-02	1.10	1.31e-01	1.5
Nieren	9.23e-02	1.22	2.91e-01	3.2
Rachen	2.78e-01	6.00	2.78e-01	1.0
Rückenmark	7.44e-02	0.28	1.51e-01	2.0
Scheide	1.84e-01	4.22	2.93e-01	1.6
Speiseröhre	9.98e-02	1.56	1.40e-01	1.4
Thymusdrüse	5.51e-02	-1.02	9.57e-02	1.7
Tränendrüsen	1.77e-01	4.05	2.96e-01	1.7
Zähne	2.62e-02	-4.24	3.71e-02	1.4
Zunge	1.54e-01	3.43	2.37e-01	1.5
Zwerchfell	5.50e-02	-1.03	9.50e-02	1.7

Tabelle 44: Organspezifische SAR Werte für H-Polarisation bei 5 GHz in der Maus

D.3 k-Polarisation

k-Polarisation, 450 MHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{5 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	1.83e-03	0.06	1.89e-03	1.0
Auge, Hornhaut	2.95e-03	2.14	2.95e-03	1.0
Auge, Lederhaut	1.29e-03	-1.43	1.29e-03	1.0
Auge, Linse	9.84e-04	-2.62	1.10e-03	1.1
Auge, Augenkammern	1.74e-03	-0.14	1.74e-03	1.0
Bandscheiben	7.56e-04	-3.77	1.05e-03	1.4
Bindegewebe	1.63e-03	-0.42	2.81e-03	1.7
Blutgefäße	1.96e-03	0.37	3.36e-03	1.7
Dickdarm	6.09e-04	-4.70	9.24e-04	1.5
Drüsen	1.43e-03	-0.99	2.92e-03	2.0
Dünndarm	2.65e-03	1.68	8.84e-03	3.3
Embryos	1.26e-03	-1.55	3.40e-03	2.7
Fett	5.18e-04	-5.41	4.74e-03	9.1
Gebärmutter	1.47e-03	-0.87	4.94e-03	3.4
Grosshirn	1.22e-03	-1.68	1.70e-03	1.4
Harnleiter	7.03e-04	-4.08	7.03e-04	1.0
Haut	5.35e-03	4.73	5.60e-02	10.5
Herz	1.80e-03	0.00	2.77e-03	1.5
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	2.91e-03	2.08	4.55e-03	1.6
Hirn, Riechkolben	1.79e-03	-0.03	2.04e-03	1.1
Kleinhirn	2.04e-03	0.53	2.56e-03	1.3
Knochen	2.49e-04	-8.60	1.35e-03	5.4
Knochenmark	1.25e-03	-1.60	3.86e-03	3.1
Knorpel	1.08e-02	7.78	4.69e-02	4.3
Leber	1.77e-03	-0.06	3.91e-03	2.2
Luftröhre	1.29e-03	-1.45	1.44e-03	1.1
Lunge	1.81e-03	0.02	2.70e-03	1.5
Magen	2.42e-03	1.29	4.11e-03	1.7
Milz	3.39e-03	2.75	7.74e-03	2.3
Mittelhirn	1.06e-03	-2.30	1.21e-03	1.1
Muskeln	1.97e-03	0.39	1.46e-02	7.4
Nägel	7.35e-04	-3.89	7.35e-04	1.0
Nerven	1.15e-03	-1.96	1.26e-03	1.1
Nieren	1.48e-03	-0.86	2.61e-03	1.8
Rachen	1.28e-03	-1.48	1.28e-03	1.0
Rückenmark	1.12e-03	-2.08	1.47e-03	1.3
Scheide	5.51e-04	-5.14	8.94e-04	1.6
Speiseröhre	1.97e-03	0.39	2.20e-03	1.1
Thymusdrüse	1.48e-03	-0.84	1.66e-03	1.1
Tränendrüsen	1.03e-03	-2.43	1.19e-03	1.2
Zähne	1.75e-04	-10.12	2.12e-04	1.2
Zunge	1.04e-03	-2.36	1.61e-03	1.5
Zwerchfell	2.08e-03	0.63	3.13e-03	1.5

Tabelle 45: Organspezifische SAR Werte für k-Polarisation bei 450 MHz in der Maus

k-Polarisation, 900 MHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{5 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	4.58e-03	-4.26	4.57e-03	1.0
Auge, Hornhaut	5.38e-03	-3.57	5.38e-03	1.0
Auge, Lederhaut	3.40e-03	-5.56	3.40e-03	1.0
Auge, Linse	2.30e-03	-7.25	2.56e-03	1.1
Auge, Augenkammern	3.66e-03	-5.24	3.66e-03	1.0
Bandscheiben	4.70e-03	-4.16	5.75e-03	1.2
Bindegewebe	2.33e-03	-7.20	4.06e-03	1.7
Blutgefäße	1.34e-02	0.38	2.37e-02	1.8
Dickdarm	4.05e-03	-4.80	6.76e-03	1.7
Drüsen	6.84e-03	-2.53	1.46e-02	2.1
Dünndarm	2.48e-02	3.08	9.76e-02	3.9
Embryos	1.26e-02	0.14	3.85e-02	3.0
Fett	2.48e-03	-6.94	1.79e-02	7.2
Gebärmutter	1.45e-02	0.75	5.40e-02	3.7
Grosshirn	4.00e-03	-4.86	1.19e-02	3.0
Harnleiter	4.70e-03	-4.15	4.70e-03	1.0
Haut	1.44e-02	0.70	8.64e-02	6.0
Herz	1.39e-02	0.57	2.34e-02	1.7
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	1.17e-02	-0.19	1.46e-02	1.2
Hirn, Riechkolben	5.19e-03	-3.73	5.93e-03	1.1
Kleinhirn	6.51e-03	-2.74	8.02e-03	1.2
Knochen	1.31e-03	-9.71	1.18e-02	9.0
Knochenmark	8.39e-03	-1.64	2.75e-02	3.3
Knorpel	2.07e-02	2.28	7.48e-02	3.6
Leber	1.58e-02	1.11	3.52e-02	2.2
Luftröhre	7.63e-03	-2.05	9.62e-03	1.3
Lunge	1.49e-02	0.87	2.48e-02	1.7
Magen	2.07e-02	2.29	4.70e-02	2.3
Milz	2.80e-02	3.60	7.47e-02	2.7
Mittelhirn	3.85e-03	-5.02	5.47e-03	1.4
Muskeln	1.22e-02	0.00	7.42e-02	6.1
Nägel	1.22e-03	-10.02	1.22e-03	1.0
Nerven	6.62e-03	-2.67	8.47e-03	1.3
Nieren	9.80e-03	-0.96	2.22e-02	2.3
Rachen	4.19e-03	-4.66	4.19e-03	1.0
Rückenmark	6.50e-03	-2.75	1.05e-02	1.6
Scheide	4.02e-03	-4.84	7.66e-03	1.9
Speiseröhre	1.39e-02	0.55	1.74e-02	1.3
Thymusdrüse	8.60e-03	-1.53	1.00e-02	1.2
Tränendrüsen	3.02e-03	-6.08	3.14e-03	1.0
Zähne	4.88e-04	-13.99	6.40e-04	1.3
Zunge	3.26e-03	-5.74	4.68e-03	1.4
Zwerchfell	1.64e-02	1.26	2.70e-02	1.7

Tabelle 46: Organspezifische SAR Werte für k-Polarisation bei 900 MHz in der Maus

k-Polarisation, 1.8 GHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{5 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	3.60e-02	-1.34	3.92e-02	1.1
Auge, Hornhaut	1.50e-02	-5.14	1.50e-02	1.0
Auge, Lederhaut	2.93e-02	-2.23	2.93e-02	1.0
Auge, Linse	1.77e-02	-4.42	2.18e-02	1.2
Auge, Augenkammern	1.92e-02	-4.07	1.92e-02	1.0
Bandscheiben	2.55e-02	-2.84	2.77e-02	1.1
Bindegewebe	5.16e-03	-9.78	8.64e-03	1.7
Blutgefäße	9.27e-02	2.76	1.99e-01	2.1
Dickdarm	3.30e-02	-1.72	5.20e-02	1.6
Drüsen	7.44e-02	1.81	1.33e-01	1.8
Dünndarm	9.99e-02	3.09	3.51e-01	3.5
Embryos	3.66e-02	-1.26	1.19e-01	3.2
Fett	7.68e-03	-8.05	8.15e-02	10.6
Gebärmutter	4.65e-02	-0.23	1.44e-01	3.1
Grosshirn	3.68e-02	-1.25	5.40e-02	1.5
Harnleiter	1.63e-02	-4.77	1.63e-02	1.0
Haut	2.71e-02	-2.57	1.58e-01	5.8
Herz	1.20e-01	3.89	1.83e-01	1.5
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	8.25e-02	2.26	2.70e-01	3.3
Hirn, Riechkolben	5.37e-02	0.39	6.12e-02	1.1
Kleinhirn	4.64e-02	-0.24	6.51e-02	1.4
Knochen	7.60e-03	-8.10	3.69e-02	4.9
Knochenmark	2.36e-02	-3.18	5.02e-02	2.1
Knorpel	8.17e-02	2.22	1.63e-01	2.0
Leber	7.65e-02	1.93	2.15e-01	2.8
Luftröhre	9.76e-02	2.99	1.19e-01	1.2
Lunge	1.29e-01	4.21	2.04e-01	1.6
Magen	8.74e-02	2.51	1.77e-01	2.0
Milz	4.04e-02	-0.84	8.65e-02	2.1
Mittelhirn	3.78e-02	-1.13	5.77e-02	1.5
Muskeln	4.95e-02	0.04	2.55e-01	5.1
Nägel	2.51e-03	-12.91	2.51e-03	1.0
Nerven	7.98e-02	2.11	1.04e-01	1.3
Nieren	1.17e-02	-6.22	2.81e-02	2.4
Rachen	4.70e-02	-0.19	4.70e-02	1.0
Rückenmark	5.34e-02	0.37	1.31e-01	2.5
Scheide	2.19e-02	-3.49	4.45e-02	2.0
Speiseröhre	1.24e-01	4.03	1.54e-01	1.2
Thymusdrüse	7.85e-02	2.04	1.05e-01	1.3
Tränendrüsen	3.19e-02	-1.87	3.60e-02	1.1
Zähne	5.59e-03	-9.43	8.71e-03	1.6
Zunge	3.65e-02	-1.29	6.31e-02	1.7
Zwerchfell	1.03e-01	3.22	1.91e-01	1.9

Tabelle 47: Organspezifische SAR Werte für k-Polarisation bei 1.8 GHz in der Maus

k-Polarisation, 5 GHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{5 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	8.28e-02	0.92	8.62e-02	1.0
Auge, Hornhaut	5.74e-02	-0.67	5.74e-02	1.0
Auge, Lederhaut	7.63e-02	0.56	7.63e-02	1.0
Auge, Linse	5.64e-02	-0.76	6.86e-02	1.2
Auge, Augenkammern	5.37e-02	-0.96	5.37e-02	1.0
Bandscheiben	4.62e-02	-1.62	4.88e-02	1.1
Bindegewebe	4.02e-02	-2.22	8.92e-02	2.2
Blutgefäße	6.20e-02	-0.34	2.02e-01	3.3
Dickdarm	8.43e-02	1.00	2.35e-01	2.8
Drüsen	9.27e-02	1.41	3.67e-01	4.0
Dünndarm	5.17e-02	-1.13	1.86e-01	3.6
Embryos	4.31e-02	-1.92	1.11e-01	2.6
Fett	1.60e-02	-6.23	1.33e-01	8.3
Gebärmutter	4.57e-02	-1.66	1.78e-01	3.9
Grosshirn	7.78e-02	0.64	1.29e-01	1.7
Harnleiter	3.74e-02	-2.54	3.74e-02	1.0
Haut	9.27e-02	1.41	8.93e-01	9.6
Herz	6.02e-02	-0.47	2.13e-01	3.5
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	1.22e-01	2.59	2.42e-01	2.0
Hirn, Riechkolben	9.52e-02	1.52	1.13e-01	1.2
Kleinhirn	1.24e-01	2.67	1.77e-01	1.4
Knochen	2.19e-02	-4.86	1.56e-01	7.1
Knochenmark	3.67e-02	-2.62	7.95e-02	2.2
Knorpel	2.97e-01	6.46	1.07e+00	3.6
Leber	5.76e-02	-0.66	2.19e-01	3.8
Luftröhre	1.21e-01	2.56	1.79e-01	1.5
Lunge	1.15e-01	2.36	2.85e-01	2.5
Magen	7.57e-02	0.53	1.36e-01	1.8
Milz	1.06e-01	1.99	2.37e-01	2.2
Mittelhirn	9.55e-02	1.54	1.52e-01	1.6
Muskeln	9.51e-02	1.52	4.51e-01	4.7
Nägel	2.66e-02	-4.02	2.66e-02	1.0
Nerven	7.42e-02	0.44	1.09e-01	1.5
Nieren	5.57e-02	-0.81	8.34e-02	1.5
Rachen	1.69e-01	4.01	1.69e-01	1.0
Rückenmark	5.78e-02	-0.64	1.23e-01	2.1
Scheide	8.88e-02	1.22	2.10e-01	2.4
Speiseröhre	1.00e-01	1.75	2.24e-01	2.2
Thymusdrüse	6.48e-02	-0.15	8.43e-02	1.3
Tränendrüsen	9.26e-02	1.40	9.99e-02	1.1
Zähne	4.60e-02	-1.63	6.56e-02	1.4
Zunge	2.88e-01	6.33	4.67e-01	1.6
Zwerchfell	6.49e-02	-0.14	1.73e-01	2.7

Tabelle 48: Organspezifische SAR Werte für k-Polarisation bei 5 GHz in der Maus

D.4 Verhältnis zwischen der Absorption im Schwanz und im Körper der Maus

<i>Polarisation</i>	\overline{SAR}_{Body}	SP_{Body}^{5mg}	\overline{SAR}_{Tail}	SP_{Tail}^{5mg}	$\overline{SAR}_{Tail}/\overline{SAR}_{Body}$	$SP_{Tail}^{5mg}/SP_{Body}^{5mg}$
450 MHz						
E	8.04e-03	1.77e-01	2.97e-01	7.27e-01	37.00	4.12
H	1.38e-03	7.40e-02	1.03e-03	2.01e-03	0.75	0.03
k	1.77e-03	5.64e-02	3.53e-03	7.99e-03	1.99	0.14
900 MHz						
E	2.59e-02	3.00e-01	4.36e-01	1.16e+00	16.87	3.85
H	7.58e-03	1.07e-01	1.54e-03	2.72e-03	0.20	0.03
k	1.24e-02	8.56e-02	4.53e-03	1.00e-02	0.37	0.12
1.8 GHz						
E	1.45e-01	1.65e+00	3.67e-01	1.30e+00	2.54	0.79
H	3.56e-02	2.27e-01	2.20e-03	4.21e-03	0.06	0.02
k	4.97e-02	3.42e-01	9.11e-03	1.91e-02	0.18	0.06
5 GHz						
E	8.39e-02	1.21e+00	1.13e+00	2.49e+00	13.50	2.06
H	7.04e-02	8.54e-01	2.78e-02	1.29e-01	0.40	0.15
k	6.70e-02	9.52e-01	7.07e-02	2.04e-01	1.06	0.21

Tabelle 49: SAR-Werte für Körper und Schwanz und deren Verhältnisse in der Maus

E Tabellen der SAR-Werte für die Absorption in einer Ratte unter Fernfeldexposition

E.1 E-Polarisation

E-Polarisation					
<i>Frequenz</i> (MHz)	\overline{SAR}_{WB} $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Δs (dB)	SAR_{point}^{Peak} $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	$SAR_{50\text{ mg}}^{Peak}$ $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	$SAR_{5\text{ mg}}^{Peak}$ $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$
450	3.36e-02	6.0	5.52e+00	1.10e-00	2.07e+00
900	6.68e-02	3.4	3.48e+00	5.46e-01	1.14e+00
1800	3.21e-02	5.0	2.92e+00	5.87e-01	1.07e+00
5000	3.44e-02	5.6	4.54e+00	9.16e-01	1.82e+00

Tabelle 50: Ganzkörperdurchschnittswert, Standardabweichung und gemittelte SAR-Werte über 50 mg und 5 mg in der Ratte bei E-Polarisation

E-Polarisation		
<i>Frequenz</i> (MHz)	$\frac{SAR_{50\text{ mg}}^{Peak}}{\overline{SAR}_{WB}}$	$\frac{SAR_{5\text{ mg}}^{Peak}}{\overline{SAR}_{WB}}$
450	32.7	61.6
900	8.2	17.1
1800	18.3	33.3
5000	26.6	52.9

Tabelle 51: Verhältnisse der lokalen zur durchschnittlichen Ganzkörperabsorption für die Massenwürfel 50 mg und 5 mg beim Rattenmodell bei E-Polarisation

E.2 H-Polarisation

H-Polarisation					
<i>Frequenz</i> (MHz)	\overline{SAR}_{WB} $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	Δs (dB)	SAR_{point}^{Peak} $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	$SAR_{50\,mg}^{Peak}$ $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$	$SAR_{5\,mg}^{Peak}$ $\frac{(W/kg)}{(W/m^2)}$
450	4.30e-03	2.9	1.05e-01	4.12e-02	6.17e-02
900	1.78e-02	2.8	4.49e-01	1.20e-01	1.47e-01
1800	1.74e-02	2.6	3.05e-01	1.07e-01	1.74e-01
5000	3.43e-02	4.0	3.91e+00	6.62e-01	1.00e+00

Tabelle 52: Ganzkörperdurchschnittswert, Standardabweichung und gemittelte SAR-Werte über 50 mg und 5 mg in der Ratte bei H-Polarisation

H-Polarisation		
<i>Frequenz</i> (MHz)	$\frac{SAR_{50\,mg}^{Peak}}{\overline{SAR}_{WB}}$	$\frac{SAR_{5\,mg}^{Peak}}{\overline{SAR}_{WB}}$
450	9.6	14.3
900	6.7	8.3
1800	6.1	10.0
5000	19.3	29.2

Tabelle 53: Verhältnisse der lokalen zur durchschnittlichen Ganzkörperabsorption für die Massenwürfel 50 mg und 5 mg beim Rattenmodell bei H-Polarisation

E.3 k-Polarisation

k-Polarisation					
<i>Frequenz</i> (MHz)	$\overline{SAR_{WB}}$ ((W/kg)/(W/m ²))	Δs (dB)	$\overline{SAR_{Peak}}$ averaged $\overline{SAR_{50mg}}$ ((W/kg)/(W/m ²))	Spatial Peak averaged $\overline{SAR_{5mg}}$ ((W/kg)/(W/m ²))	Spatial Peak ((W/kg)/(W/m ²))
450	7.14e-03	3.2	4.12e-01	6.44e-02	1.05e-01
900	2.20e-02	3.1	8.49e-01	1.05e-01	1.57e-01
1800	2.17e-02	3.1	6.29e-01	1.49e-01	2.54e-01
5000	2.36e-02	4.5	1.81e+00	5.53e-01	8.27e-01

Tabelle 54: Ganzkörperdurchschnittswert, Standardabweichung und gemittelte SAR-Werte über 50 mg und 5 mg in der Ratte bei k-Polarisation

k-Polarisation		
<i>Frequenz</i> (MHz)	$\frac{\overline{SAR_{50mg}^{Peak}}}{\overline{SAR_{WB}}}$	$\frac{\overline{SAR_{5mg}^{Peak}}}{\overline{SAR_{WB}}}$
450	9.0	14.7
900	4.8	7.1
1800	6.9	11.7
5000	23.4	35.0

Tabelle 55: Verhältnisse der lokalen zur durchschnittlichen Ganzkörperabsorption für die Massenwürfel 50 mg und 5 mg beim Rattenmodell bei k-Polarisation

F Tabellen der organspezifischen Werte für die Absorption in einer Ratte unter Fernfeldexposition

F.1 E-Polarisation

E-Polarisation, 450 MHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe ((W/kg)/(W/m ²))	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{50 mg} ((W/kg)/(W/m ²))	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	3.81e-02	0.55	4.19e-02	1.1
Auge, Hornhaut	3.01e-02	-0.48	3.01e-02	1.0
Auge, Lederhaut	2.81e-02	-0.78	2.81e-02	1.0
Auge, Linse	1.46e-02	-3.63	1.58e-02	1.1
Auge, Augenkammern	2.62e-02	-1.08	2.62e-02	1.0
Bandscheiben	1.73e-02	-2.88	1.10e-02	0.6
Bauchspeicheldrüse	1.57e-02	-3.31	3.30e-02	2.1
Bindegewebe	9.54e-02	4.53	2.59e-01	2.7
Blutgefäße	2.64e-02	-1.04	1.35e-01	5.1
Dickdarm	4.82e-02	1.57	2.46e-01	5.1
Drüsen	5.06e-02	1.78	7.56e-02	1.5
Dünndarm	2.70e-02	-0.95	8.17e-02	3.0
Eierstöcke	2.71e-02	-0.93	4.56e-02	1.7
Eileiter	2.05e-02	-2.16	2.05e-02	1.0
Embryos	1.91e-02	-2.46	4.02e-02	2.1
Fett	4.21e-03	-9.02	3.44e-02	8.2
Gebärmutter	2.44e-02	-1.39	7.24e-02	3.0
Grosshirn	3.07e-02	-0.40	4.17e-02	1.4
Haut	1.75e-02	-2.84	1.25e-01	7.1
Herz	2.10e-02	-2.05	4.58e-02	2.2
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	7.42e-02	3.44	1.61e-01	2.2
Hirn, Parafloculus	4.68e-02	1.44	4.68e-02	1.0
Hirn, Riechkolben	2.16e-02	-1.92	2.32e-02	1.1
Hirnanhangdrüse	5.51e-02	2.15	5.51e-02	1.0
Kleinhirn	5.87e-02	2.42	6.51e-02	1.1
Knochen	1.09e-02	-4.89	1.57e-01	14.4
Knochenmark	8.98e-03	-5.73	2.24e-02	2.5
Knorpel	3.24e-02	-0.16	7.92e-02	2.4
Leber	2.34e-02	-1.57	5.51e-02	2.4
Luftröhre	4.02e-02	0.78	5.24e-02	1.3
Lunge	2.90e-02	-0.64	5.71e-02	2.0
Magen	1.11e-02	-4.80	2.19e-02	2.0
Milz	5.29e-03	-8.03	9.54e-03	1.8
Mittelhirn	3.97e-02	0.73	4.23e-02	1.1
Muskeln	4.54e-02	1.31	1.80e+00	39.6
Nägel	1.42e-02	-3.73	1.42e-02	1.0
Nerven	2.81e-02	-0.77	3.00e-02	1.1
Nieren	1.79e-02	-2.74	3.74e-02	2.1
Rachen	3.87e-02	0.61	3.87e-02	1.0
Rückenmark	2.31e-02	-1.63	4.45e-02	1.9
Scheide	4.02e-02	0.78	7.70e-02	1.9
Speiseröhre	4.42e-02	1.19	6.00e-02	1.4
Thymusdrüse	2.41e-02	-1.45	3.22e-02	1.3
Tränendrüsen	3.22e-02	-0.18	3.65e-02	1.1
Zähne	6.17e-03	-7.36	1.13e-02	1.8
Zunge	4.31e-02	1.08	5.87e-02	1.4
Zwerchfell	2.69e-02	-0.96	5.72e-02	2.1

Tabelle 56: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 450 MHz in der Ratte

E-Polarisation, 900 MHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{50 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	3.92e-02	-2.31	4.77e-02	1.2
Auge, Hornhaut	2.65e-02	-4.02	2.65e-02	1.0
Auge, Lederhaut	2.50e-02	-4.27	2.50e-02	1.0
Auge, Linse	1.39e-02	-6.81	1.54e-02	1.1
Auge, Augenkammern	2.23e-02	-4.76	2.23e-02	1.0
Bandscheiben	5.42e-02	-0.90	4.56e-02	0.8
Bauchspeicheldrüse	9.69e-02	1.62	2.63e-01	2.7
Bindegewebe	4.62e-02	-1.59	1.42e-01	3.1
Blutgefäße	2.12e-01	5.03	4.40e-01	2.1
Dickdarm	9.00e-02	1.30	4.29e-01	4.8
Drüsen	6.33e-02	-0.23	1.47e-01	2.3
Dünndarm	1.71e-01	4.08	6.61e-01	3.9
Eierstöcke	3.84e-02	-2.40	6.16e-02	1.6
Eileiter	4.78e-02	-1.45	4.78e-02	1.0
Embryos	9.54e-02	1.55	2.45e-01	2.6
Fett	8.86e-03	-8.77	1.07e-01	12.1
Gebärmutter	1.25e-01	2.72	3.92e-01	3.1
Grosshirn	3.31e-02	-3.04	6.96e-02	2.1
Haut	3.71e-02	-2.55	1.20e-01	3.2
Herz	8.85e-02	1.22	2.54e-01	2.9
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	1.70e-01	4.07	4.07e-01	2.4
Hirn, Parafoculus	8.04e-02	0.81	8.04e-02	1.0
Hirn, Riechkolben	3.17e-02	-3.24	3.32e-02	1.0
Hirnanhangdrüse	8.21e-02	0.90	8.21e-02	1.0
Kleinhirn	5.76e-02	-0.64	8.13e-02	1.4
Knochen	1.10e-02	-7.85	9.01e-02	8.2
Knochenmark	2.22e-02	-4.78	4.95e-02	2.2
Knorpel	5.80e-02	-0.61	1.12e-01	1.9
Leber	9.53e-02	1.55	3.23e-01	3.4
Luftröhre	1.25e-01	2.74	1.86e-01	1.5
Lunge	1.06e-01	2.00	2.38e-01	2.3
Magen	5.10e-02	-1.17	2.45e-01	4.8
Milz	1.97e-02	-5.31	4.45e-02	2.3
Mittelhirn	5.25e-02	-1.05	7.26e-02	1.4
Muskeln	6.65e-02	-0.02	8.74e-01	13.1
Nägel	1.25e-02	-7.29	1.25e-02	1.0
Nerven	6.19e-02	-0.33	7.50e-02	1.2
Nieren	4.97e-02	-1.28	1.16e-01	2.3
Rachen	6.10e-02	-0.39	6.10e-02	1.0
Rückenmark	8.72e-02	1.16	1.49e-01	1.7
Scheide	8.22e-02	0.90	1.32e-01	1.6
Speiseröhre	1.94e-01	4.63	2.52e-01	1.3
Thymusdrüse	7.75e-02	0.65	1.16e-01	1.5
Tränendrüsen	3.62e-02	-2.65	5.66e-02	1.6
Zähne	6.86e-03	-9.88	1.02e-02	1.5
Zunge	5.77e-02	-0.63	9.04e-02	1.6
Zwerchfell	8.84e-02	1.22	2.31e-01	2.6

Tabelle 57: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 900 MHz in der Ratte

E-Polarisation, 1.8 GHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{50 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	3.51e-02	0.38	3.99e-02	1.1
Auge, Hornhaut	2.08e-02	-1.89	2.08e-02	1.0
Auge, Lederhaut	3.23e-02	0.03	3.23e-02	1.0
Auge, Linse	1.67e-02	-2.83	1.82e-02	1.1
Auge, Augenkammern	2.58e-02	-0.94	2.58e-02	1.0
Bandscheiben	3.69e-02	0.61	2.20e-02	0.6
Bauchspeicheldrüse	9.45e-03	-5.31	2.85e-02	3.0
Bindegewebe	8.56e-02	4.26	1.63e-01	1.9
Blutgefäße	4.31e-02	1.28	1.75e-01	4.1
Dickdarm	2.77e-02	-0.64	1.75e-01	6.3
Drüsen	6.37e-02	2.98	1.92e-01	3.0
Dünndarm	2.08e-02	-1.89	6.11e-02	2.9
Eierstöcke	7.86e-03	-6.11	1.29e-02	1.6
Eileiter	4.14e-03	-8.89	4.14e-03	1.0
Embryos	2.05e-02	-1.95	4.77e-02	2.3
Fett	3.63e-03	-9.47	2.89e-02	8.0
Gebärmutter	2.30e-02	-1.46	7.93e-02	3.5
Grosshirn	4.43e-02	1.40	1.20e-01	2.7
Haut	1.54e-02	-3.20	8.20e-02	5.3
Herz	2.40e-02	-1.27	1.01e-01	4.2
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	1.24e-01	5.86	3.51e-01	2.8
Hirn, Parafoculus	2.75e-02	-0.67	2.75e-02	1.0
Hirn, Riechkolben	4.12e-02	1.08	4.96e-02	1.2
Hirnanhangdrüse	2.23e-01	8.41	2.23e-01	1.0
Kleinhirn	6.51e-02	3.07	8.27e-02	1.3
Knochen	1.54e-02	-3.19	1.36e-01	8.8
Knochenmark	1.07e-02	-4.75	3.39e-02	3.2
Knorpel	4.20e-02	1.17	1.73e-01	4.1
Leber	1.58e-02	-3.09	5.47e-02	3.5
Luftröhre	1.05e-01	5.14	2.34e-01	2.2
Lunge	2.58e-02	-0.95	1.17e-01	4.5
Magen	1.25e-02	-4.08	4.37e-02	3.5
Milz	4.46e-03	-8.57	1.38e-02	3.1
Mittelhirn	9.48e-02	4.70	1.52e-01	1.6
Muskeln	4.35e-02	1.32	9.20e-01	21.1
Nägel	1.32e-02	-3.87	1.32e-02	1.0
Nerven	9.09e-02	4.52	1.26e-01	1.4
Nieren	9.50e-03	-5.29	2.48e-02	2.6
Rachen	1.79e-01	7.46	1.79e-01	1.0
Rückenmark	5.46e-02	2.31	1.36e-01	2.5
Scheide	7.17e-02	3.49	1.27e-01	1.8
Speiseröhre	9.11e-02	4.53	1.37e-01	1.5
Thymusdrüse	2.64e-02	-0.85	3.55e-02	1.3
Tränendrüsen	5.49e-02	2.33	9.82e-02	1.8
Zähne	1.15e-02	-4.45	3.02e-02	2.6
Zunge	1.18e-01	5.66	2.55e-01	2.2
Zwerchfell	1.56e-02	-3.13	2.66e-02	1.7

Tabelle 58: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 1.8 GHz in der Ratte

E-Polarisation, 5 GHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{50 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	1.21e-01	5.48	1.58e-01	1.3
Auge, Hornhaut	1.06e-01	4.87	1.06e-01	1.0
Auge, Lederhaut	1.36e-01	5.97	1.36e-01	1.0
Auge, Linse	8.09e-02	3.71	8.89e-02	1.1
Auge, Augenkammern	1.34e-01	5.90	1.34e-01	1.0
Bandscheiben	1.49e-02	-3.64	7.79e-03	0.5
Bauchspeicheldrüse	2.48e-03	-11.42	2.04e-02	8.2
Bindegewebe	1.12e-01	5.12	3.77e-01	3.4
Blutgefäße	1.48e-02	-3.68	1.28e-01	8.7
Dickdarm	3.47e-02	0.04	2.92e-01	8.4
Drüsen	5.28e-02	1.86	2.46e-01	4.7
Dünndarm	9.07e-03	-5.79	9.28e-02	10.2
Eierstöcke	9.23e-03	-5.72	1.94e-02	2.1
Eileiter	1.43e-03	-13.80	1.43e-03	1.0
Embryos	5.93e-03	-7.64	4.45e-02	7.5
Fett	8.36e-03	-6.14	6.35e-02	7.6
Gebärmutter	6.16e-03	-7.47	6.41e-02	10.4
Grosshirn	3.37e-02	-0.09	6.80e-02	2.0
Haut	5.58e-02	2.10	2.93e-01	5.2
Herz	4.94e-03	-8.43	2.45e-02	5.0
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	3.72e-02	0.34	9.49e-02	2.6
Hirn, Parafoculus	2.83e-02	-0.85	2.83e-02	1.0
Hirn, Riechkolben	5.09e-02	1.70	6.19e-02	1.2
Hirnanhangdrüse	3.39e-02	-0.06	3.39e-02	1.0
Kleinhirn	4.13e-02	0.79	9.42e-02	2.3
Knochen	1.56e-02	-3.45	2.91e-01	18.7
Knochenmark	1.03e-02	-5.22	3.03e-02	2.9
Knorpel	5.23e-02	1.82	3.35e-01	6.4
Leber	1.35e-02	-4.07	7.33e-02	5.4
Luftröhre	1.62e-02	-3.27	3.94e-02	2.4
Lunge	1.26e-02	-4.37	6.69e-02	5.3
Magen	2.24e-03	-11.87	1.03e-02	4.6
Milz	1.50e-03	-13.61	5.05e-03	3.4
Mittelhirn	2.75e-02	-0.97	4.97e-02	1.8
Muskeln	4.90e-02	1.54	1.69e+00	34.5
Nägel	1.11e-01	5.09	1.11e-01	1.0
Nerven	1.86e-02	-2.66	2.45e-02	1.3
Nieren	8.68e-03	-5.98	3.24e-02	3.7
Rachen	5.18e-02	1.77	5.18e-02	1.0
Rückenmark	1.22e-02	-4.49	2.54e-02	2.1
Scheide	3.58e-02	0.17	1.35e-01	3.8
Speiseröhre	1.74e-02	-2.97	2.23e-02	1.3
Thymusdrüse	9.20e-03	-5.73	1.99e-02	2.2
Tränendrüsen	9.20e-02	4.27	1.69e-01	1.8
Zähne	1.99e-02	-2.38	5.85e-02	2.9
Zunge	6.56e-02	2.80	1.72e-01	2.6
Zwerchfell	1.58e-02	-3.39	4.92e-02	3.1

Tabelle 59: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 5 GHz in der Ratte

F.2 H-Polarisation

H-Polarisation, 450 MHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe ((W/kg)/(W/m ²))	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{50 mg} ((W/kg)/(W/m ²))	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	2.21e-03	-2.89	2.73e-03	1.2
Auge, Hornhaut	1.61e-03	-4.27	1.61e-03	1.0
Auge, Lederhaut	1.97e-03	-3.40	1.97e-03	1.0
Auge, Linse	9.82e-04	-6.42	1.09e-03	1.1
Auge, Augenkammern	1.03e-03	-6.23	1.03e-03	1.0
Bandscheiben	4.19e-03	-0.11	7.33e-03	1.7
Bauchspeicheldrüse	5.28e-03	0.89	1.31e-02	2.5
Bindegewebe	1.26e-03	-5.34	3.18e-03	2.5
Blutgefäße	2.51e-03	-2.35	6.35e-03	2.5
Dickdarm	9.37e-03	3.38	1.66e-02	1.8
Drüsen	2.56e-03	-2.26	4.21e-03	1.6
Dünndarm	9.50e-03	3.44	3.21e-02	3.4
Eierstöcke	8.19e-03	2.79	1.23e-02	1.5
Eileiter	5.23e-03	0.84	5.23e-03	1.0
Embryos	3.06e-03	-1.48	7.46e-03	2.4
Fett	9.21e-04	-6.70	6.78e-03	7.4
Gebärmutter	4.21e-03	-0.10	1.05e-02	2.5
Grosshirn	1.42e-03	-4.82	2.22e-03	1.6
Haut	6.37e-03	1.70	3.55e-02	5.6
Herz	3.42e-03	-0.99	5.84e-03	1.7
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	8.69e-03	3.05	2.08e-02	2.4
Hirn, Parafoveolus	2.07e-03	-3.19	2.07e-03	1.0
Hirn, Riechkolben	1.01e-03	-6.30	1.18e-03	1.2
Hirnanhangdrüse	1.22e-03	-5.48	1.22e-03	1.0
Kleinhirn	2.67e-03	-2.07	3.57e-03	1.3
Knochen	4.57e-04	-9.74	1.64e-03	3.6
Knochenmark	2.70e-03	-2.03	5.53e-03	2.1
Knorpel	4.26e-03	-0.05	1.37e-02	3.2
Leber	4.59e-03	0.28	1.16e-02	2.5
Luftröhre	1.48e-03	-4.63	1.79e-03	1.2
Lunge	2.97e-03	-1.61	7.42e-03	2.5
Magen	4.17e-03	-0.14	7.88e-03	1.9
Milz	8.67e-03	3.04	1.03e-02	1.2
Mittelhirn	1.28e-03	-5.27	1.67e-03	1.3
Muskeln	4.69e-03	0.37	2.91e-02	6.2
Nägel	7.21e-03	2.24	7.21e-03	1.0
Nerven	1.15e-03	-5.72	1.35e-03	1.2
Nieren	8.89e-03	3.15	1.76e-02	2.0
Rachen	1.47e-03	-4.66	1.47e-03	1.0
Rückenmark	2.63e-03	-2.14	6.59e-03	2.5
Scheide	3.49e-03	-0.91	5.43e-03	1.6
Speiseröhre	1.64e-03	-4.20	2.07e-03	1.3
Thymusdrüse	3.02e-03	-1.53	4.28e-03	1.4
Tränendrüsen	1.57e-03	-4.38	2.46e-03	1.6
Zähne	4.82e-04	-9.51	1.80e-03	3.7
Zunge	2.06e-03	-3.20	2.79e-03	1.4
Zwerchfell	4.57e-03	0.26	8.55e-03	1.9

Tabelle 60: Organspezifische SAR Werte für H-Polarisation bei 450 MHz in der Ratte

H-Polarisation, 900 MHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{50 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	6.37e-03	-4.46	8.30e-03	1.3
Auge, Hornhaut	5.28e-03	-5.27	5.28e-03	1.0
Auge, Lederhaut	5.91e-03	-4.78	5.91e-03	1.0
Auge, Linse	3.00e-03	-7.73	3.62e-03	1.2
Auge, Augenkammern	5.51e-03	-5.09	5.51e-03	1.0
Bandscheiben	2.59e-02	1.63	4.16e-02	1.6
Bauchspeicheldrüse	3.76e-02	3.26	7.89e-02	2.1
Bindegewebe	4.03e-03	-6.45	1.28e-02	3.2
Blutgefäße	3.84e-02	3.35	6.88e-02	1.8
Dickdarm	1.41e-02	-1.01	4.64e-02	3.3
Drüsen	1.78e-02	0.01	2.55e-02	1.4
Dünndarm	4.38e-02	3.91	1.26e-01	2.9
Eierstöcke	2.32e-02	1.16	4.31e-02	1.9
Eileiter	3.25e-02	2.62	3.25e-02	1.0
Embryos	1.96e-02	0.43	3.80e-02	1.9
Fett	2.77e-03	-8.08	1.62e-02	5.8
Gebärmutter	2.69e-02	1.79	6.25e-02	2.3
Grosshirn	8.84e-03	-3.04	1.85e-02	2.1
Haut	1.48e-02	-0.80	5.99e-02	4.0
Herz	2.59e-02	1.63	4.15e-02	1.6
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	4.13e-02	3.66	9.24e-02	2.2
Hirn, Parafoculus	1.39e-02	-1.06	1.39e-02	1.0
Hirn, Riechkolben	4.59e-03	-5.88	5.58e-03	1.2
Hirnanhangdrüse	5.70e-03	-4.94	5.70e-03	1.0
Kleinhirn	2.38e-02	1.27	3.22e-02	1.4
Knochen	2.40e-03	-8.71	8.21e-03	3.4
Knochenmark	1.32e-02	-1.29	2.49e-02	1.9
Knorpel	1.48e-02	-0.79	2.84e-02	1.9
Leber	1.82e-02	0.09	5.62e-02	3.1
Luftröhre	1.63e-02	-0.37	2.55e-02	1.6
Lunge	1.96e-02	0.42	3.47e-02	1.8
Magen	3.90e-02	3.41	7.46e-02	1.9
Milz	6.53e-02	5.65	8.38e-02	1.3
Mittelhirn	9.69e-03	-2.64	1.42e-02	1.5
Muskeln	1.90e-02	0.29	7.20e-02	3.8
Nägel	1.49e-02	-0.76	1.49e-02	1.0
Nerven	9.30e-03	-2.81	1.34e-02	1.4
Nieren	3.76e-02	3.25	7.20e-02	1.9
Rachen	5.11e-03	-5.41	5.11e-03	1.0
Rückenmark	1.40e-02	-1.05	2.38e-02	1.7
Scheide	2.80e-02	1.97	4.28e-02	1.5
Speiseröhre	2.12e-02	0.76	2.91e-02	1.4
Thymusdrüse	2.30e-02	1.11	2.72e-02	1.2
Tränendrüsen	4.75e-03	-5.73	1.03e-02	2.2
Zähne	1.42e-03	-10.97	3.52e-03	2.5
Zunge	1.04e-02	-2.31	1.53e-02	1.5
Zwerchfell	2.26e-02	1.04	3.42e-02	1.5

Tabelle 61: Organspezifische SAR Werte für H-Polarisation bei 900 MHz in der Ratte

H-Polarisation, 1.8 GHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{50 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	2.37e-02	1.35	2.80e-02	1.2
Auge, Hornhaut	1.26e-02	-1.39	1.26e-02	1.0
Auge, Lederhaut	2.37e-02	1.35	2.37e-02	1.0
Auge, Linse	1.09e-02	-2.04	1.25e-02	1.2
Auge, Augenkammern	1.17e-02	-1.73	1.17e-02	1.0
Bandscheiben	2.85e-02	2.16	3.08e-02	1.1
Bauchspeicheldrüse	2.82e-02	2.11	4.89e-02	1.7
Bindegewebe	3.54e-03	-6.90	8.36e-03	2.4
Blutgefäße	2.98e-02	2.35	7.33e-02	2.5
Dickdarm	2.67e-02	1.87	7.14e-02	2.7
Drüsen	1.84e-02	0.26	5.87e-02	3.2
Dünndarm	2.93e-02	2.27	8.63e-02	2.9
Eierstöcke	2.02e-02	0.66	2.43e-02	1.2
Eileiter	2.18e-02	0.99	2.18e-02	1.0
Embryos	1.85e-02	0.28	3.90e-02	2.1
Fett	2.62e-03	-8.21	1.39e-02	5.3
Gebärmutter	2.20e-02	1.04	7.22e-02	3.3
Grosshirn	4.61e-02	4.24	7.41e-02	1.6
Haut	1.54e-02	-0.51	8.93e-02	5.8
Herz	2.12e-02	0.87	4.73e-02	2.2
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	6.38e-02	5.66	1.27e-01	2.0
Hirn, Parafoculus	5.28e-02	4.83	5.28e-02	1.0
Hirn, Riechkolben	3.72e-02	3.30	4.52e-02	1.2
Hirnanhangdrüse	5.32e-02	4.86	5.32e-02	1.0
Kleinhirn	4.36e-02	4.00	6.46e-02	1.5
Knochen	3.91e-03	-6.48	1.94e-02	5.0
Knochenmark	1.35e-02	-1.08	2.87e-02	2.1
Knorpel	2.35e-02	1.32	6.04e-02	2.6
Leber	1.35e-02	-1.10	4.28e-02	3.2
Luftröhre	2.46e-02	1.51	3.70e-02	1.5
Lunge	1.56e-02	-0.45	3.72e-02	2.4
Magen	2.16e-02	0.95	5.65e-02	2.6
Milz	1.72e-02	-0.05	2.06e-02	1.2
Mittelhirn	4.97e-02	4.57	6.52e-02	1.3
Muskeln	1.94e-02	0.49	7.72e-02	4.0
Nägel	1.11e-02	-1.94	1.11e-02	1.0
Nerven	3.25e-02	2.72	4.48e-02	1.4
Nieren	2.90e-02	2.23	4.98e-02	1.7
Rachen	5.55e-02	5.05	5.55e-02	1.0
Rückenmark	2.23e-02	1.09	3.76e-02	1.7
Scheide	3.80e-02	3.40	5.60e-02	1.5
Speiseröhre	3.22e-02	2.68	3.95e-02	1.2
Thymusdrüse	2.05e-02	0.71	3.12e-02	1.5
Tränendrüsen	3.07e-02	2.48	5.68e-02	1.8
Zähne	4.72e-03	-5.65	1.26e-02	2.7
Zunge	3.30e-02	2.80	5.40e-02	1.6
Zwerchfell	1.40e-02	-0.93	2.54e-02	1.8

Tabelle 62: Organspezifische SAR Werte für H-Polarisation bei 1.8 GHz in der Ratte

H-Polarisation, 5 GHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{50 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	1.42e-01	6.18	1.62e-01	1.1
Auge, Hornhaut	1.26e-01	5.65	1.26e-01	1.0
Auge, Lederhaut	1.39e-01	6.08	1.39e-01	1.0
Auge, Linse	1.10e-01	5.06	1.22e-01	1.1
Auge, Augenkammern	1.57e-01	6.61	1.57e-01	1.0
Bandscheiben	2.36e-02	-1.63	2.53e-02	1.1
Bauchspeicheldrüse	6.61e-03	-7.15	3.26e-02	4.9
Bindegewebe	4.71e-02	1.37	9.55e-02	2.0
Blutgefäße	1.26e-02	-4.34	1.04e-01	8.3
Dickdarm	3.55e-02	0.15	1.39e-01	3.9
Drüsen	4.12e-02	0.79	1.32e-01	3.2
Dünndarm	1.44e-02	-3.78	1.11e-01	7.7
Eierstöcke	1.48e-02	-3.64	2.97e-02	2.0
Eileiter	2.42e-03	-11.52	2.42e-03	1.0
Embryos	8.69e-03	-5.97	4.97e-02	5.7
Fett	8.33e-03	-6.15	9.57e-02	11.5
Gebärmutter	8.78e-03	-5.93	5.82e-02	6.6
Grosshirn	5.09e-02	1.70	1.10e-01	2.2
Haut	8.23e-02	3.80	5.09e-01	6.2
Herz	8.80e-03	-5.92	2.00e-02	2.3
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	5.41e-02	1.97	1.29e-01	2.4
Hirn, Parafoculus	4.19e-02	0.86	4.19e-02	1.0
Hirn, Riechkolben	6.70e-02	2.90	8.27e-02	1.2
Hirnanhangdrüse	4.13e-02	0.80	4.13e-02	1.0
Kleinhirn	4.02e-02	0.68	8.43e-02	2.1
Knochen	1.13e-02	-4.82	8.49e-02	7.5
Knochenmark	1.74e-02	-2.95	4.71e-02	2.7
Knorpel	8.11e-02	3.73	4.96e-01	6.1
Leber	1.54e-02	-3.50	8.88e-02	5.8
Luftröhre	1.72e-02	-3.00	4.40e-02	2.6
Lunge	9.87e-03	-5.42	4.21e-02	4.3
Magen	6.48e-03	-7.24	2.05e-02	3.2
Milz	1.25e-02	-4.38	2.43e-02	1.9
Mittelhirn	3.06e-02	-0.50	5.18e-02	1.7
Muskeln	4.75e-02	1.41	4.35e-01	9.2
Nägel	6.49e-02	2.77	6.49e-02	1.0
Nerven	3.32e-02	-0.15	5.04e-02	1.5
Nieren	1.29e-02	-4.24	3.81e-02	2.9
Rachen	1.06e-01	4.88	1.06e-01	1.0
Rückenmark	1.83e-02	-2.74	3.60e-02	2.0
Scheide	2.58e-02	-1.24	7.71e-02	3.0
Speiseröhre	1.34e-02	-4.10	1.26e-02	0.9
Thymusdrüse	1.68e-02	-3.12	2.64e-02	1.6
Tränendrüsen	1.00e-01	4.65	1.53e-01	1.5
Zähne	1.96e-02	-2.43	3.19e-02	1.6
Zunge	5.93e-02	2.37	9.04e-02	1.5
Zwerchfell	1.55e-02	-3.47	4.37e-02	2.8

Tabelle 63: Organspezifische SAR Werte für H-Polarisation bei 5 GHz in der Ratte

F.3 k-Polarisation

k-Polarisation, 450 MHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{50 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	3.45e-03	-3.16	3.61e-03	1.0
Auge, Hornhaut	2.69e-03	-4.23	2.69e-03	1.0
Auge, Lederhaut	2.72e-03	-4.20	2.72e-03	1.0
Auge, Linse	1.72e-03	-6.17	1.82e-03	1.1
Auge, Augenkammern	1.95e-03	-5.63	1.95e-03	1.0
Bandscheiben	2.94e-03	-3.85	2.63e-03	0.9
Bauchspeicheldrüse	7.70e-03	0.33	1.90e-02	2.5
Bindegewebe	8.83e-04	-9.07	1.77e-03	2.0
Blutgefäße	4.00e-03	-2.51	8.71e-03	2.2
Dickdarm	1.35e-02	2.77	3.19e-02	2.4
Drüsen	2.68e-03	-4.25	8.90e-03	3.3
Dünndarm	1.28e-02	2.55	4.57e-02	3.6
Eierstöcke	1.85e-02	4.14	2.13e-02	1.2
Eileiter	1.83e-02	4.08	1.83e-02	1.0
Embryos	3.77e-03	-2.77	1.86e-02	4.9
Fett	1.76e-03	-6.08	1.45e-02	8.2
Gebärmutter	5.45e-03	-1.17	3.32e-02	6.1
Grosshirn	1.92e-03	-5.71	2.59e-03	1.3
Haut	8.38e-03	0.70	5.60e-02	6.7
Herz	6.61e-03	-0.33	1.19e-02	1.8
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	6.82e-03	-0.19	1.41e-02	2.1
Hirn, Parafoculus	3.59e-03	-2.98	3.59e-03	1.0
Hirn, Riechkolben	3.42e-03	-3.19	3.78e-03	1.1
Hirnanhangdrüse	1.97e-03	-5.59	1.97e-03	1.0
Kleinhirn	2.89e-03	-3.92	3.57e-03	1.2
Knochen	8.30e-04	-9.34	9.49e-03	11.4
Knochenmark	4.46e-03	-2.04	1.34e-02	3.0
Knorpel	7.26e-03	0.08	3.24e-02	4.5
Leber	8.43e-03	0.73	2.32e-02	2.8
Luftröhre	3.67e-03	-2.88	5.43e-03	1.5
Lunge	8.20e-03	0.60	1.92e-02	2.3
Magen	1.26e-02	2.46	2.58e-02	2.1
Milz	1.37e-02	2.84	2.55e-02	1.9
Mittelhirn	1.59e-03	-6.52	1.82e-03	1.1
Muskeln	8.23e-03	0.62	6.03e-02	7.3
Nägel	1.71e-03	-6.20	1.71e-03	1.0
Nerven	2.93e-03	-3.87	3.98e-03	1.4
Nieren	7.51e-03	0.22	1.32e-02	1.8
Rachen	2.73e-03	-4.18	2.73e-03	1.0
Rückenmark	3.12e-03	-3.60	4.89e-03	1.6
Scheide	1.67e-03	-6.30	3.72e-03	2.2
Speiseröhre	5.49e-03	-1.14	7.13e-03	1.3
Thymusdrüse	4.87e-03	-1.66	6.38e-03	1.3
Tränendrüsen	2.33e-03	-4.86	2.55e-03	1.1
Zähne	3.01e-04	-13.75	4.60e-04	1.5
Zunge	1.48e-03	-6.82	2.41e-03	1.6
Zwerchfell	1.01e-02	1.50	1.87e-02	1.9

Tabelle 64: Organspezifische SAR Werte für k-Polarisation bei 450 MHz in der Ratte

k-Polarisation, 900 MHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{50 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	2.60e-02	0.73	2.64e-02	1.0
Auge, Hornhaut	1.06e-02	-3.19	1.06e-02	1.0
Auge, Lederhaut	1.97e-02	-0.48	1.97e-02	1.0
Auge, Linse	1.05e-02	-3.20	1.13e-02	1.1
Auge, Augenkammern	1.28e-02	-2.35	1.28e-02	1.0
Bandscheiben	1.93e-02	-0.58	1.24e-02	0.6
Bauchspeicheldrüse	1.87e-02	-0.70	3.54e-02	1.9
Bindegewebe	1.36e-03	-12.09	2.52e-03	1.9
Blutgefäße	4.11e-02	2.71	9.27e-02	2.3
Dickdarm	1.88e-02	-0.68	4.39e-02	2.3
Drüsen	2.96e-02	1.29	8.11e-02	2.7
Dünndarm	2.59e-02	0.71	9.82e-02	3.8
Eierstöcke	1.83e-02	-0.81	2.64e-02	1.4
Eileiter	2.80e-02	1.04	2.80e-02	1.0
Embryos	1.49e-02	-1.68	3.78e-02	2.5
Fett	2.83e-03	-8.91	1.84e-02	6.5
Gebärmutter	1.96e-02	-0.51	5.49e-02	2.8
Grosshirn	1.65e-02	-1.24	2.71e-02	1.6
Haut	1.27e-02	-2.38	8.23e-02	6.5
Herz	3.58e-02	2.11	6.62e-02	1.9
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	4.40e-02	3.01	1.42e-01	3.2
Hirn, Parafoculus	3.25e-02	1.69	3.25e-02	1.0
Hirn, Riechkolben	2.78e-02	1.02	2.97e-02	1.1
Hirnanhangdrüse	1.41e-02	-1.92	1.41e-02	1.0
Kleinhirn	2.02e-02	-0.38	3.21e-02	1.6
Knochen	3.22e-03	-8.34	1.50e-02	4.7
Knochenmark	1.42e-02	-1.92	2.77e-02	2.0
Knorpel	2.60e-02	0.72	7.03e-02	2.7
Leber	2.90e-02	1.20	7.89e-02	2.7
Luftröhre	3.61e-02	2.15	5.55e-02	1.5
Lunge	4.98e-02	3.54	8.75e-02	1.8
Magen	2.98e-02	1.32	5.06e-02	1.7
Milz	1.19e-02	-2.66	1.74e-02	1.5
Mittelhirn	1.26e-02	-2.43	1.66e-02	1.3
Muskeln	2.72e-02	0.92	1.38e-01	5.1
Nägel	5.33e-03	-6.16	5.33e-03	1.0
Nerven	2.81e-02	1.06	3.84e-02	1.4
Nieren	1.19e-02	-2.65	2.36e-02	2.0
Rachen	2.47e-02	0.50	2.47e-02	1.0
Rückenmark	2.38e-02	0.34	5.16e-02	2.2
Scheide	1.27e-02	-2.38	2.62e-02	2.1
Speiseröhre	4.05e-02	2.65	5.81e-02	1.4
Thymusdrüse	2.94e-02	1.26	4.40e-02	1.5
Tränendrüsen	2.05e-02	-0.30	2.66e-02	1.3
Zähne	2.32e-03	-9.77	4.56e-03	2.0
Zunge	1.41e-02	-1.93	2.07e-02	1.5
Zwerchfell	3.65e-02	2.19	7.70e-02	2.1

Tabelle 65: Organspezifische SAR Werte für k-Polarisation bei 900 MHz in der Ratte

k-Polarisation, 1.8 GHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{50 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	2.81e-02	1.12	2.97e-02	1.1
Auge, Hornhaut	1.32e-02	-2.18	1.32e-02	1.0
Auge, Lederhaut	2.60e-02	0.78	2.60e-02	1.0
Auge, Linse	1.27e-02	-2.35	1.37e-02	1.1
Auge, Augenkammern	1.36e-02	-2.05	1.36e-02	1.0
Bandscheiben	1.51e-02	-1.59	1.13e-02	0.8
Bauchspeicheldrüse	2.18e-02	0.01	5.26e-02	2.4
Bindegewebe	3.47e-03	-7.96	7.78e-03	2.2
Blutgefäße	3.94e-02	2.59	1.24e-01	3.1
Dickdarm	2.85e-02	1.18	1.35e-01	4.7
Drüsen	3.64e-02	2.24	1.06e-01	2.9
Dünndarm	3.64e-02	2.24	1.54e-01	4.2
Eierstöcke	2.34e-02	0.32	3.03e-02	1.3
Eileiter	1.36e-02	-2.03	1.36e-02	1.0
Embryos	2.38e-02	0.40	9.17e-02	3.8
Fett	3.87e-03	-7.50	2.28e-02	5.9
Gebärmutter	2.82e-02	1.13	1.44e-01	5.1
Grosshirn	2.54e-02	0.68	6.39e-02	2.5
Haut	1.71e-02	-1.05	9.19e-02	5.4
Herz	2.69e-02	0.92	9.43e-02	3.5
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	3.72e-02	2.34	1.28e-01	3.4
Hirn, Parafoculus	2.19e-02	0.03	2.19e-02	1.0
Hirn, Riechkolben	4.13e-02	2.79	4.85e-02	1.2
Hirnanhangdrüse	3.82e-02	2.45	3.82e-02	1.0
Kleinhirn	9.36e-03	-3.66	2.44e-02	2.6
Knochen	4.86e-03	-6.50	2.07e-02	4.3
Knochenmark	1.46e-02	-1.72	3.33e-02	2.3
Knorpel	3.47e-02	2.03	7.43e-02	2.1
Leber	2.10e-02	-0.15	8.32e-02	4.0
Luftröhre	3.50e-02	2.06	7.17e-02	2.1
Lunge	3.96e-02	2.60	1.16e-01	2.9
Magen	2.76e-02	1.04	7.38e-02	2.7
Milz	3.16e-02	1.63	5.51e-02	1.7
Mittelhirn	1.45e-02	-1.75	3.36e-02	2.3
Muskeln	2.45e-02	0.52	1.25e-01	5.1
Nägel	9.23e-03	-3.72	9.23e-03	1.0
Nerven	3.58e-02	2.17	5.36e-02	1.5
Nieren	1.75e-02	-0.95	2.75e-02	1.6
Rachen	9.25e-02	6.29	9.25e-02	1.0
Rückenmark	9.70e-03	-3.50	3.29e-02	3.4
Scheide	2.49e-02	0.58	6.52e-02	2.6
Speiseröhre	3.10e-02	1.55	3.63e-02	1.2
Thymusdrüse	1.02e-02	-3.28	2.00e-02	2.0
Tränendrüsen	4.11e-02	2.77	6.39e-02	1.6
Zähne	9.77e-03	-3.47	2.36e-02	2.4
Zunge	6.79e-02	4.95	9.86e-02	1.5
Zwerchfell	2.02e-02	-0.31	6.55e-02	3.2

Tabelle 66: Organspezifische SAR Werte für k-Polarisation bei 1.8 GHz in der Ratte

k-Polarisation, 5 GHz				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{50 mg} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	9.50e-02	6.05	1.07e-01	1.1
Auge, Hornhaut	8.03e-02	5.32	8.03e-02	1.0
Auge, Lederhaut	9.08e-02	5.85	9.08e-02	1.0
Auge, Linse	7.11e-02	4.79	7.58e-02	1.1
Auge, Augenkammern	8.07e-02	5.34	8.07e-02	1.0
Bandscheiben	6.71e-03	-5.46	6.71e-03	1.0
Bauchspeicheldrüse	9.55e-03	-3.93	4.58e-02	4.8
Bindegewebe	5.34e-02	3.55	1.22e-01	2.3
Blutgefäße	9.05e-03	-4.17	6.90e-02	7.6
Dickdarm	1.41e-02	-2.23	5.77e-02	4.1
Drüsen	3.09e-02	1.18	1.17e-01	3.8
Dünndarm	9.28e-03	-4.05	6.03e-02	6.5
Eierstöcke	8.46e-03	-4.46	1.21e-02	1.4
Eileiter	5.36e-03	-6.44	5.36e-03	1.0
Embryos	3.30e-03	-8.55	1.42e-02	4.3
Fett	6.09e-03	-5.89	3.27e-02	5.4
Gebärmutter	3.66e-03	-8.10	2.37e-02	6.5
Grosshirn	2.38e-02	0.04	5.71e-02	2.4
Haut	4.79e-02	3.07	3.92e-01	8.2
Herz	5.85e-03	-6.06	1.63e-02	2.8
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	2.38e-02	0.04	6.01e-02	2.5
Hirn, Parafoculus	2.42e-02	0.11	2.42e-02	1.0
Hirn, Riechkolben	2.93e-02	0.94	3.56e-02	1.2
Hirnanhangdrüse	1.03e-02	-3.59	1.03e-02	1.0
Kleinhirn	1.83e-02	-1.10	3.11e-02	1.7
Knochen	7.86e-03	-4.78	4.69e-02	6.0
Knochenmark	8.61e-03	-4.38	1.89e-02	2.2
Knorpel	7.04e-02	4.75	4.44e-01	6.3
Leber	9.82e-03	-3.81	4.37e-02	4.4
Luftröhre	1.37e-02	-2.37	3.49e-02	2.6
Lunge	8.73e-03	-4.32	3.01e-02	3.5
Magen	1.44e-02	-2.14	3.73e-02	2.6
Milz	3.12e-02	1.22	6.16e-02	2.0
Mittelhirn	1.29e-02	-2.62	1.65e-02	1.3
Muskeln	3.35e-02	1.52	4.84e-01	14.4
Nägel	2.54e-02	0.32	2.54e-02	1.0
Nerven	1.63e-02	-1.62	2.32e-02	1.4
Nieren	8.32e-03	-4.53	2.05e-02	2.5
Rachen	2.74e-02	0.64	2.74e-02	1.0
Rückenmark	9.65e-03	-3.88	1.82e-02	1.9
Scheide	3.26e-03	-8.60	9.95e-03	3.1
Speiseröhre	1.30e-02	-2.59	1.23e-02	0.9
Thymusdrüse	6.16e-03	-5.83	8.48e-03	1.4
Tränendrüsen	7.19e-02	4.84	1.07e-01	1.5
Zähne	1.36e-02	-2.40	2.64e-02	1.9
Zunge	4.09e-02	2.39	1.01e-01	2.5
Zwerchfell	1.11e-02	-3.29	2.46e-02	2.2

Tabelle 67: Organspezifische SAR Werte für k-Polarisation bei 5 GHz in der Ratte

F.4 Verhältnis zwischen der Absorption im Schwanz und im Körper der Ratte

<i>Polarisation</i>	\overline{SAR}_{Body}	$SP_{Body}^{50\text{ mg}}$	\overline{SAR}_{Tail}	$SP_{Tail}^{50\text{ mg}}$	$\overline{SAR}_{Tail}/\overline{SAR}_{Body}$	$SP_{Tail}^{50\text{ mg}}/SP_{Body}^{50\text{ mg}}$
450 MHz						
E	2.32e-02	3.38e-01	4.17e-01	1.10e+00	17.97	3.26
H	4.34e-03	4.12e-02	2.98e-03	1.03e-02	0.69	0.25
k	7.31e-03	6.44e-02	8.25e-04	3.26e-03	0.11	0.05
900 MHz						
E	6.38e-02	5.04e-01	1.75e-01	5.46e-01	2.75	1.08
H	1.79e-02	1.20e-01	1.30e-02	4.41e-02	0.72	0.37
k	2.26e-02	1.05e-01	1.44e-03	4.79e-03	0.06	0.05
1.8 GHz						
E	2.50e-02	3.17e-01	2.96e-01	5.87e-01	11.84	1.85
H	1.76e-02	1.07e-01	6.78e-03	2.26e-02	0.38	0.21
k	2.22e-02	1.49e-01	5.10e-03	3.08e-02	0.23	0.21
5 GHz						
E	1.12e-01	1.91e+00	3.92e-01	1.39e+00	3.49	0.73
H	4.92e-02	1.08e+00	1.04e-01	2.75e-01	2.12	0.25
k	2.46e-02	5.59e-01	3.69e-02	2.93e-01	1.50	0.52

Tabelle 68: SAR Werte für Körper und Schwanz und deren Verhältnisse in der Ratte

G Tabellen für die SAR-Werte für die Absorption in einem Menschen unter Fernfeldexposition

G.1 E-Polarisation

E-Polarisation					
<i>Frequenz</i> (MHz)	$\overline{SAR_{WB}}$ ((W/kg)/(W/m ²))	Δs (dB)	SAR_{Peak} ((W/kg)/(W/m ²))	Spatial Peak averaged SAR_{10g} ((W/kg)/(W/m ²))	Spatial Peak averaged SAR_{1g} ((W/kg)/(W/m ²))
450	6.02e-03	4.7	6.56e-01	1.13e-01	2.11e-01
900	5.66e-03	4.5	6.40e-01	1.14e-01	1.52e-01
1800	4.91e-03	4.8	1.05e+00	7.56e-02	1.17e-01

Tabelle 69: Ganzkörperdurchschnittswert, Standardabweichung und gemittelte SAR-Werte über 10 g und 1 g im Menschen bei E-Polarisation

E-Polarisation		
<i>Frequenz</i> (MHz)	$\frac{SAR_{10g}^{Peak}}{\overline{SAR_{WB}}}$	$\frac{SAR_{1g}^{Peak}}{\overline{SAR_{WB}}}$
450	18.8	35.1
900	20.1	26.9
1800	15.4	23.8

Tabelle 70: Verhältnisse der lokalen zur durchschnittlichen Ganzkörperabsorption für den 10 g und 1 g Massenwürfel beim Menschen bei E-Polarisation

G.2 H-Polarisation

H-Polarisation					
<i>Frequenz</i> (MHz)	$\overline{SAR_{WB}}$ ((W/kg)/(W/m ²))	Δs (dB)	SAR_{Peak} ((W/kg)/(W/m ²))	Spatial Peak averaged SAR_{10g} ((W/kg)/(W/m ²))	Spatial Peak averaged SAR_{1g} ((W/kg)/(W/m ²))
450	4.96e-03	3.8	7.16e-01	9.37e-02	1.46e-01
900	5.62e-03	4.0	3.17e-01	9.25e-02	1.20e-01

Tabelle 71: Ganzkörperdurchschnittswert, Standardabweichung und gemittelte SAR-Werte über 10 g und 1 g im Menschen bei H-Polarisation

H-Polarisation		
<i>Frequenz</i> (MHz)	$\frac{SAR_{10g}^{Peak}}{SAR_{WB}}$	$\frac{SAR_{1g}^{Peak}}{SAR_{WB}}$
450	18.9	29.4
900	16.5	21.4

Tabelle 72: Verhältnisse der lokalen zur durchschnittlichen Ganzkörperabsorption für die 10 g und 1 g Massenwürfel beim Menschenmodell bei H-Polarisation

G.3 k-Polarisation

k-Polarisation					
<i>Frequenz</i> (MHz)	$\overline{SAR_{WB}}$ ((W/kg)/(W/m ²))	Δs (dB)	SAR_{Peak} ((W/kg)/(W/m ²))	Spatial Peak averaged SAR_{10g} ((W/kg)/(W/m ²))	Spatial Peak averaged SAR_{1g} ((W/kg)/(W/m ²))
450	4.65e-03	4.0	2.38e-01	6.04e-02	7.57e-02
900	3.39e-03	4.8	1.48e-01	3.55e-02	6.14e-02

Tabelle 73: Ganzkörperdurchschnittswert, Standardabweichung und gemittelte SAR-Werte über 10 g und 1 g im Menschen bei k-Polarisation

k-Polarisation		
<i>Frequenz</i> (MHz)	$\frac{SAR_{10g}^{Peak}}{\overline{SAR_{WB}}}$	$\frac{SAR_{1g}^{Peak}}{\overline{SAR_{WB}}}$
450	13.0	16.3
900	10.5	18.1

Tabelle 74: Verhältnisse der lokalen zur durchschnittlichen Ganzkörperabsorption für die 10 g und 1 g Massenwürfel beim Menschenmodell bei k-Polarisation

H Tabellen für die organspezifischen Werte für die Absorption in einem Menschen unter Fernfeldexposition

H.1 E-Polarisation

E-Polarisation, 450 MHz, Spitzenwert gemittelt über 10 g				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{10 g} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	1.44e-02	3.79	1.46e-02	1.0
Auge, Linse	8.06e-03	1.27	8.06e-03	1.0
Bänder / Sehnen	1.59e-02	4.23	8.93e-02	5.6
Bauchspeicheldrüse	2.27e-03	-4.23	5.01e-03	2.2
Bindegewebe	4.98e-03	-0.82	9.76e-02	19.6
Blase	6.80e-04	-9.46	1.08e-03	1.6
Blut	6.18e-03	0.12	2.75e-02	4.5
Blutgefäße	2.10e-03	-4.56	5.82e-03	2.8
Dickdarm	6.55e-03	0.38	1.77e-02	2.7
Drüsen	8.23e-03	1.37	1.49e-02	1.8
Dünndarm	1.07e-02	2.49	3.57e-02	3.3
Fett	2.01e-03	-4.75	4.32e-02	21.5
Gallenblase	1.50e-02	3.98	2.03e-02	1.4
Haut (trocken)	9.59e-03	2.03	1.23e-01	12.9
Herz	4.47e-03	-1.29	1.46e-02	3.3
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	1.35e-02	3.52	4.28e-02	3.2
Hirnsubstanz, Grau	8.02e-03	1.25	1.99e-02	2.5
Hirnsubstanz, Weiss	5.76e-03	-0.18	1.25e-02	2.2
Hoden	1.27e-02	3.25	1.43e-02	1.1
Kleinhirn	3.52e-03	-2.32	9.42e-03	2.7
Knochen (Rinde)	2.28e-03	-4.21	1.53e-02	6.7
Knochenmark, Rot	1.33e-03	-6.54	9.16e-03	6.9
Knochenmark, Weiss	1.07e-03	-7.48	4.13e-03	3.8
Knorpel	7.74e-03	1.10	2.80e-02	3.6
Leber	2.54e-03	-3.74	1.34e-02	5.3
Lunge (aufgebläht/entleert)	3.30e-03	-2.60	2.61e-02	7.9
Lymphpe	4.00e-03	-1.77	4.13e-03	1.0
Magen	5.98e-03	-0.02	1.72e-02	2.9
Milz	1.60e-03	-5.74	2.25e-02	14.1
Muskeln	8.48e-03	1.49	1.87e-01	22.0
Nägel	3.93e-03	-1.84	3.93e-03	1.0
Nerven	2.68e-03	-3.51	3.68e-03	1.4
Nieren	4.90e-04	-10.89	1.21e-03	2.5
Prostata	4.78e-04	-11.00	4.90e-04	1.0
Rückenmark	2.32e-03	-4.14	5.56e-03	2.4
Schleimhäute	1.57e-02	4.17	2.33e-02	1.5
Speiseröhre	1.97e-03	-4.85	5.32e-03	2.7
Thymusdrüse	4.59e-03	-1.17	4.59e-03	1.0
Zähne	1.96e-03	-4.87	2.57e-03	1.3
Zunge	2.11e-02	5.46	4.01e-02	1.9
Zwölffingerdarm	2.34e-03	-4.10	3.89e-03	1.7

Tabelle 75: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 450 MHz im Menschen

E-Polarisation, 450 MHz, Spitzenwert gemittelt über 1 g				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe ((W/kg)/(W/m ²))	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{1g} ((W/kg)/(W/m ²))	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	1.44e-02	3.79	1.90e-02	1.3
Auge, Linse	8.06e-03	1.27	8.06e-03	1.0
Bänder / Sehnen	1.59e-02	4.23	1.58e-01	9.9
Bauchspeicheldrüse	2.27e-03	-4.23	7.86e-03	3.5
Bindegewebe	4.98e-03	-0.82	1.26e-01	25.2
Blase	6.80e-04	-9.46	1.57e-03	2.3
Blut	6.18e-03	0.12	2.22e-01	35.9
Blutgefäße	2.10e-03	-4.56	7.18e-03	3.4
Dickdarm	6.55e-03	0.38	4.21e-02	6.4
Drüsen	8.23e-03	1.37	1.88e-02	2.3
Dünndarm	1.07e-02	2.49	6.84e-02	6.4
Fett	2.01e-03	-4.75	7.04e-02	35.0
Gallenblase	1.50e-02	3.98	2.62e-02	1.7
Haut (trocken)	9.59e-03	2.03	3.03e-01	31.6
Herz	4.47e-03	-1.29	1.71e-02	3.8
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	1.35e-02	3.52	4.94e-02	3.7
Hirnschubstanz, Grau	8.02e-03	1.25	2.73e-02	3.4
Hirnschubstanz, Weiss	5.76e-03	-0.18	1.58e-02	2.7
Hoden	1.27e-02	3.25	1.76e-02	1.4
Kleinhirn	3.52e-03	-2.32	1.46e-02	4.1
Knochen (Rinde)	2.28e-03	-4.21	1.82e-02	8.0
Knochenmark, Rot	1.33e-03	-6.54	1.14e-02	8.5
Knochenmark, Weiss	1.07e-03	-7.48	6.96e-03	6.5
Knorpel	7.74e-03	1.10	4.63e-02	6.0
Leber	2.54e-03	-3.74	1.50e-02	5.9
Lunge (aufgebläht/entleert)	3.30e-03	-2.60	3.22e-02	9.7
Lymphknoten	4.00e-03	-1.77	1.45e-02	3.6
Magen	5.98e-03	-0.02	2.89e-02	4.8
Milz	1.60e-03	-5.74	2.61e-02	16.3
Muskeln	8.48e-03	1.49	2.38e-01	28.1
Nägel	3.93e-03	-1.84	6.24e-03	1.6
Nerven	2.68e-03	-3.51	1.79e-02	6.7
Nieren	4.90e-04	-10.89	2.47e-03	5.0
Prostata	4.78e-04	-11.00	5.77e-04	1.2
Rückenmark	2.32e-03	-4.14	9.49e-03	4.1
Schleimhäute	1.57e-02	4.17	3.32e-02	2.1
Speiseröhre	1.97e-03	-4.85	8.13e-03	4.1
Thymusdrüse	4.59e-03	-1.17	6.16e-03	1.3
Zähne	1.96e-03	-4.87	4.72e-03	2.4
Zunge	2.11e-02	5.46	5.07e-02	2.4
Zwölffingerdarm	2.34e-03	-4.10	8.43e-03	3.6

Tabelle 76: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 450 MHz im Menschen

E-Polarisation, 900 MHz, Spitzenwert gemittelt über 10 g				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{10 g} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebeittelwert
Auge, Glaskörper	4.93e-02	9.40	5.00e-02	1.0
Auge, Linse	3.57e-02	8.00	3.57e-02	1.0
Bänder / Sehnen	1.32e-02	3.69	5.55e-02	4.2
Bauchspeicheldrüse	1.59e-03	-5.52	4.08e-03	2.6
Bindegewebe	5.02e-03	-0.52	7.94e-02	15.8
Blase	1.75e-03	-5.09	3.07e-03	1.8
Blut	6.88e-03	0.85	6.99e-02	10.2
Blutgefäße	3.26e-03	-2.39	1.15e-02	3.5
Dickdarm	6.64e-03	0.70	2.17e-02	3.3
Drüsen	7.58e-03	1.27	2.24e-02	3.0
Dünndarm	8.96e-03	2.00	4.06e-02	4.5
Fett	2.82e-03	-3.02	2.95e-02	10.4
Gallenblase	1.40e-02	3.94	2.01e-02	1.4
Haut (trocken)	1.36e-02	3.82	9.40e-02	6.9
Herz	3.29e-03	-2.35	1.20e-02	3.6
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	1.78e-02	4.96	8.71e-02	4.9
Hirnsubstanz, Grau	1.33e-02	3.70	4.36e-02	3.3
Hirnsubstanz, Weiss	9.28e-03	2.15	2.76e-02	3.0
Hoden	1.04e-02	2.65	1.34e-02	1.3
Kleinhirn	1.77e-03	-5.05	5.38e-03	3.0
Knochen (Rinde)	2.29e-03	-3.93	1.19e-02	5.2
Knochenmark, Rot	1.09e-03	-7.16	1.91e-02	17.6
Knochenmark, Weiss	8.73e-04	-8.12	3.69e-03	4.2
Knorpel	8.86e-03	1.95	2.70e-02	3.0
Leber	2.09e-03	-4.32	1.28e-02	6.1
Lunge (aufgebläht/entleert)	2.50e-03	-3.55	2.33e-02	9.3
Lymphge	3.11e-03	-2.60	2.33e-03	0.7
Magen	6.98e-03	0.91	3.10e-02	4.4
Milz	9.05e-04	-7.96	1.12e-02	12.4
Muskeln	6.80e-03	0.79	1.18e-01	17.3
Nägel	5.03e-03	-0.51	5.03e-03	1.0
Nerven	1.69e-03	-5.24	2.67e-03	1.6
Nieren	3.36e-04	-12.27	1.42e-03	4.2
Prostata	2.75e-04	-13.13	3.30e-04	1.2
Rückenmark	1.07e-03	-7.25	2.45e-03	2.3
Schleimhäute	4.20e-02	8.71	7.98e-02	1.9
Speiseröhre	8.76e-04	-8.11	3.07e-03	3.5
Thymusdrüse	2.10e-03	-4.30	2.10e-03	1.0
Zähne	1.74e-03	-5.12	2.53e-03	1.5
Zunge	1.45e-02	4.08	2.80e-02	1.9
Zwölffingerdarm	2.56e-03	-3.45	5.53e-03	2.2

Tabelle 77: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 900 MHz im Menschen

E-Polarisation, 900 MHz, Spitzenwert gemittelt über 1 g				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{1g} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	4.93e-02	9.40	7.09e-02	1.4
Auge, Linse	3.57e-02	8.00	3.57e-02	1.0
Bänder / Sehnen	1.32e-02	3.69	1.32e-01	10.0
Bauchspeicheldrüse	1.59e-03	-5.52	5.38e-03	3.4
Bindegewebe	5.02e-03	-0.52	1.23e-01	24.4
Blase	1.75e-03	-5.09	4.59e-03	2.6
Blut	6.88e-03	0.85	1.05e-01	15.2
Blutgefäße	3.26e-03	-2.39	1.48e-02	4.5
Dickdarm	6.64e-03	0.70	4.37e-02	6.6
Drüsen	7.58e-03	1.27	2.91e-02	3.8
Dünndarm	8.96e-03	2.00	6.49e-02	7.2
Fett	2.82e-03	-3.02	4.83e-02	17.1
Gallenblase	1.40e-02	3.94	2.51e-02	1.8
Haut (trocken)	1.36e-02	3.82	2.17e-01	15.9
Herz	3.29e-03	-2.35	1.61e-02	4.9
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	1.78e-02	4.96	1.07e-01	6.0
Hirnsubstanz, Grau	1.33e-02	3.70	5.33e-02	4.0
Hirnsubstanz, Weiss	9.28e-03	2.15	3.57e-02	3.9
Hoden	1.04e-02	2.65	1.97e-02	1.9
Kleinhirn	1.77e-03	-5.05	9.56e-03	5.4
Knochen (Rinde)	2.29e-03	-3.93	2.05e-02	8.9
Knochenmark, Rot	1.09e-03	-7.16	2.19e-02	20.2
Knochenmark, Weiss	8.73e-04	-8.12	7.51e-03	8.6
Knorpel	8.86e-03	1.95	8.39e-02	9.5
Leber	2.09e-03	-4.32	1.84e-02	8.8
Lunge (aufgebläht/entleert)	2.50e-03	-3.55	2.73e-02	10.9
Lymphge	3.11e-03	-2.60	1.42e-02	4.6
Magen	6.98e-03	0.91	5.83e-02	8.4
Milz	9.05e-04	-7.96	2.00e-02	22.0
Muskeln	6.80e-03	0.79	1.65e-01	24.3
Nägel	5.03e-03	-0.51	6.44e-03	1.3
Nerven	1.69e-03	-5.24	1.21e-02	7.1
Nieren	3.36e-04	-12.27	1.83e-03	5.4
Prostata	2.75e-04	-13.13	4.76e-04	1.7
Rückenmark	1.07e-03	-7.25	5.12e-03	4.8
Schleimhäute	4.20e-02	8.71	1.26e-01	3.0
Speiseröhre	8.76e-04	-8.11	6.27e-03	7.2
Thymusdrüse	2.10e-03	-4.30	3.25e-03	1.5
Zähne	1.74e-03	-5.12	5.79e-03	3.3
Zunge	1.45e-02	4.08	3.67e-02	2.5
Zwölffingerdarm	2.56e-03	-3.45	1.44e-02	5.6

Tabelle 78: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 900 MHz im Menschen

E-Polarisation, 1.8 GHz, Spitzenwert gemittelt über 10 g				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe ((W/kg)/(W/m ²))	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{10 g} ((W/kg)/(W/m ²))	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	2.43e-02	6.94	2.46e-02	1.0
Auge, Linse	9.47e-03	2.85	9.47e-03	1.0
Bänder / Sehnen	1.26e-02	4.10	5.29e-02	4.2
Bauchspeicheldrüse	3.06e-04	-12.05	1.15e-03	3.7
Bindegewebe	5.06e-03	0.13	7.66e-02	15.1
Blase	3.06e-04	-12.05	8.23e-04	2.7
Blut	6.36e-03	1.12	6.48e-02	10.2
Blutgefäße	1.76e-03	-4.47	7.73e-03	4.4
Dickdarm	3.08e-03	-2.03	1.33e-02	4.3
Drüsen	6.40e-03	1.15	1.52e-02	2.4
Dünndarm	3.38e-03	-1.62	2.31e-02	6.8
Fett	3.82e-03	-1.09	3.21e-02	8.4
Gallenblase	5.33e-03	0.36	1.02e-02	1.9
Haut (trocken)	1.82e-02	5.68	9.74e-02	5.4
Herz	9.58e-04	-7.10	6.10e-03	6.4
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	6.04e-03	4.01	3.40e-02	2.8
Hirnsubstanz, Grau	3.68e-03	-1.25	1.78e-02	4.8
Hirnsubstanz, Weiss	2.43e-03	-3.05	9.26e-03	3.8
Hoden	1.10e-02	3.49	1.14e-02	1.0
Kleinhirn	1.90e-04	-14.13	5.06e-04	2.7
Knochen (Rinde)	2.48e-03	-2.97	2.10e-02	8.5
Knochenmark, Rot	6.46e-04	-8.81	1.49e-02	23.1
Knochenmark, Weiss	1.25e-03	-5.95	4.37e-03	3.5
Knorpel	7.51e-03	1.85	2.00e-02	2.7
Leber	8.09e-04	-7.83	8.11e-03	10.0
Lunge (aufgebläht/entleert)	1.02e-03	-6.82	1.15e-02	11.3
Lymphknoten	2.32e-03	-3.26	1.94e-03	0.8
Magen	2.84e-03	-2.38	2.21e-02	7.8
Milz	2.59e-04	-12.78	2.36e-03	9.1
Muskeln	4.68e-03	-0.21	5.22e-02	11.1
Nägel	1.29e-02	4.21	1.29e-02	1.0
Nerven	6.98e-04	-8.47	1.25e-03	1.8
Nieren	2.47e-05	-22.98	1.42e-04	5.7
Prostata	2.13e-05	-23.63	2.87e-05	1.3
Rückenmark	7.59e-05	-18.11	1.79e-04	2.4
Schleimhäute	1.44e-02	4.68	4.66e-02	3.2
Speiseröhre	1.28e-04	-15.84	5.03e-04	3.9
Thymusdrüse	1.51e-03	-5.13	1.51e-03	1.0
Zähne	3.79e-03	-1.12	5.71e-03	1.5
Zunge	1.30e-02	4.23	4.94e-02	3.8
Zwölffingerdarm	3.37e-04	-11.63	7.58e-04	2.2

Tabelle 79: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 1.8 GHz im Menschen

E-Polarisation, 1.8 GHz, Spitzenwert gemittelt über 1 g				
Gewebe	Mittelwert im Gewebe $((W/kg)/(W/m^2))$	Δ_{Gewebe} (dB)	Spitzenwert _{1g} $((W/kg)/(W/m^2))$	Verhältnis zum Gewebemittelwert
Auge, Glaskörper	2.43e-02	6.94	4.29e-02	1.8
Auge, Lins	9.47e-03	2.86	9.47e-03	1.0
Bänder Sehnen	1.26e-02	4.10	1.40e-01	11.1
Bauchspeicheldrüse	3.06e-04	-12.05	1.61e-03	5.3
Bindegewebe	5.06e-03	0.13	1.26e-01	24.9
Blase	3.06e-04	-12.05	1.80e-03	5.9
Blut	6.36e-03	1.13	1.05e-01	16.6
Blutgefäße	1.76e-03	-4.46	1.22e-02	7.0
Dickdarm	3.08e-03	-2.02	2.89e-02	9.4
Drüsen	6.40e-03	1.16	2.18e-02	3.4
Dünndarm	3.38e-03	-1.62	4.19e-02	12.4
Fett	3.82e-03	-1.09	6.93e-02	18.1
Gallenblase	5.33e-03	0.36	1.87e-02	3.5
Haut (trocken)	1.82e-02	5.68	1.95e-01	10.7
Herz	9.58e-04	-7.09	9.98e-03	10.4
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	6.04e-03	0.90	4.75e-02	7.9
Hirnsubstanz, Grau	3.68e-03	-1.25	2.41e-02	6.6
Hirnsubstanz, Weiss	2.43e-03	-3.04	1.44e-02	5.9
Hoden	1.10e-02	3.49	1.91e-02	1.7
Kleinhirn	1.90e-04	-14.13	2.07e-03	10.9
Knochen (Rinde)	2.48e-03	-2.97	3.57e-02	14.4
Knochenmark, Rot	6.46e-04	-8.80	1.90e-02	29.3
Knochenmark, Weiss	1.25e-03	-5.95	8.87e-03	7.1
Knorpel	7.51e-03	1.85	9.37e-02	12.5
Leber	8.09e-04	-7.83	1.16e-02	14.4
Lunge (aufgebläht/entleert)	1.02e-03	-6.82	2.03e-02	19.9
Lymphpe	2.32e-03	-3.26	1.98e-02	8.5
Magen	2.84e-03	-2.37	4.65e-02	16.4
Milz	2.59e-04	-12.77	3.72e-03	14.4
Muskeln	4.68e-03	-0.20	9.86e-02	21.0
Nägel	1.29e-02	4.21	1.38e-02	1.1
Nerven	6.98e-04	-8.47	5.59e-03	8.0
Nieren	2.47e-05	-22.97	2.23e-04	9.0
Prostata	2.13e-05	-23.63	5.27e-05	2.5
Rückenmark	7.59e-05	-18.10	3.89e-04	5.1
Schleimhäute	1.44e-02	4.68	1.13e-01	7.9
Speiseröhre	1.28e-04	-15.84	1.34e-03	10.5
Thymusdrüse	1.51e-03	-5.13	2.38e-03	1.6
Zähne	3.79e-03	-1.12	1.39e-02	3.7
Zunge	1.30e-02	4.23	7.89e-02	6.1
Zwölffingerdarm	3.37e-04	-11.63	1.96e-03	5.8

Tabelle 80: Organspezifische SAR Werte für E-Polarisation bei 1.8 GHz im Menschen

I Zuordnung der einzelnen Organe zu den Gewebeparametern

Für die Gewebeparameter wurden alle verfügbaren Daten zusammengetragen und die aktuellsten Werte ausgewählt. Die folgenden Tabellen geben die für die Simulationen verwendeten Gewebeparameter wieder. Für alle Werte sind die entsprechenden Referenzen angegeben. Dabei entsprechen die Buchstaben a-e folgenden Referenzen:

- a. IFAC Liste gemäss Camelia Gabriel (<http://niremf.iroec.fcnr.it/tissprop/#over>)
- b. FCC Liste 'Compilation of the Dielectric Properties of Body Tissues at RF and Microwave Frequencies' gemäss Camelia Gabriel 'Brooks Air Force Technical Report AL/OE-TR-1996-0037' (<http://www.fcc.gov/fcc-bin/dielec.sh>)
- c. F. A. Duck, 'Physical Properties of Tissue, A Comprehensive Reference Book', 1990
- d. O. P. Gandhi, 'Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy', p. 121, Table 6-1, 1990
- e. Mason et al., 'Effects of Frequency, Permittivity and Voxel Size on Predicted SAR Values in Biological Tissue', IEEE Trans. on MW Theory and Technique, Vol 48, No. 11, 2000

I.1 Tiermodelle

Im Folgenden sind die Tabellen der für die Simulationen verwendeten Gewebeparameter gegeben. Dabei sind die Organe, die nur bei der Maus identifiziert wurden mit dem Symbol [†] versehen, diejenigen, die nur bei der Ratte gekennzeichnet sind mit [‡].

450 MHz						
Gewebe	Leitfähigkeit (S/m)	Ref.	Rel. Permittivität	Ref.	Dichte (kg/m^3)	Ref.
Auge, Glaskörper	1.53	a	68.99	a	1009	c
Auge, Hornhaut	1.21	a	58.54	a	1076	c
Auge, Lederhaut	1.02	a	57.24	a	1030	e
Auge, Linse	0.68	a	47.87	a	1090	c
Auge, Vordere und Hintere Augenkammer	1.53	a	68.99	a	1003	c
Bandscheiben	0.60	a	45.00	a	1100	c
Bauchspeicheldrüse [‡]	0.89	a	61.23	a	1045	c
Bindegewebe	0.08	b	11.58	b	916	c
Blutgefäße	1.37	a	63.67	a	1060	c
Dickdarm	0.88	a	61.75	a	1044	c
Drüsen	0.89	a	61.23	a	1051	c
Drüsen, Lymphe [†]	0.89	a	61.23	a	1050	c
Dünndarm	1.93	a	64.89	a	1044	c
Eierstöcke [‡]	1.04	a	56.28	a	1048	c
Eileiter [‡]	0.88	a	61.75	a	1044	c
Embryos	0.89	a	61.23	a	1050	c
Fett	0.04	a	5.56	a	916	c
Gebärmutter	1.09	a	63.85	a	1052	c
Grosshirn	0.61	b	49.02	b	1035	c
Harnleiter [†]	0.88	a	61.75	a	1044	c
Haut	0.71	a	45.75	a	1100	c
Herz	0.99	a	64.97	a	1060	c
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	2.26	a	70.48	a	1007	c
Hirn, Paraflocculus [‡]	1.06	a	54.74	a	1035	c
Hirn, Riechkolben	0.61	b	49.02	b	1035	c
Hirnanhangdrüse [‡]	0.89	a	61.23	a	1050	c
Kleinhirn	1.06	a	54.74	a	1040	e
Knochen	0.10	a	13.04	a	1990	c
Knochenmark	0.19	b	11.77	b	1027	c
Knorpel	0.60	a	45.00	a	1100	c
Leber	0.67	a	50.44	a	1050	c
Luftröhre	0.65	a	43.81	a	1080	c
Lunge	0.70	a	54.02	a	1066	c
Magen	1.02	a	67.06	a	1050	c
Milz	1.05	a	62.10	a	1054	c
Mittelhirn	0.61	b	49.02	b	1035	c
Muskeln	0.81	a	56.75	a	1041	c
Nägel	0.10	a	13.04	a	1300	c
Nerven	0.46	a	34.88	a	1038	c
Nieren	1.13	a	65.00	a	1050	c
Rachen	1.02	a	67.06	a	1040	c
Rückenmark	0.46	a	34.88	a	1038	c
Scheide	0.88	a	61.75	a	1044	c
Speiseröhre	1.02	a	67.06	a	1040	c
Thymusdrüse	0.89	a	61.23	a	1026	c
Tränendrüsen	0.89	a	61.23	a	1050	c
Zähne	0.10	a	13.04	a	2160	c
Zunge	0.79	a	57.24	a	1041	c
Zwerchfell	0.81	a	56.75	a	1041	c

Tabelle 81: Gewebeparameter für die Tiermodelle bei 450 MHz zusammen mit den jeweiligen Quellen für die entsprechenden Werte

900 MHz						
Gewebe	Leitfähigkeit (S/m)	Ref.	Rel. Permittivität	Ref.	Dichte (kg/m^3)	Ref.
Auge, Glaskörper	1.64	a	68.90	a	1009	c
Auge, Hornhaut	1.40	a	55.23	a	1076	c
Auge, Lederhaut	1.17	a	55.27	a	1030	e
Auge, Linse	0.79	a	46.57	a	1090	c
Auge, Vordere und Hintere Augenkammer	1.64	a	68.90	a	1003	c
Bandscheiben	0.78	a	42.65	a	1100	c
Bauchspeicheldrüse [‡]	1.04	a	59.68	a	1045	c
Bindegewebe	0.11	b	11.33	b	916	c
Blutgefäße	1.54	a	61.35	a	1060	c
Dickdarm	1.08	a	57.93	a	1044	c
Drüsen	1.04	a	59.68	a	1051	c
Drüsen, Lymphe [†]	1.04	a	59.68	a	1050	c
Dünndarm	2.17	a	59.48	a	1044	c
Eierstöcke [‡]	1.29	a	50.46	a	1048	c
Eileiter [‡]	1.08	a	57.93	a	1044	c
Embryos	1.04	a	59.68	a	1050	c
Fett	0.05	a	5.46	a	916	c
Gebärmutter	1.27	a	61.11	a	1052	c
Grosshirn	0.77	b	45.80	b	1035	c
Harnleiter [†]	1.08	a	57.93	a	1044	c
Haut	0.87	a	41.40	a	1100	c
Herz	1.23	a	59.88	a	1060	c
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	2.41	a	68.63	a	1007	c
Hirn, Paraflocculus [‡]	1.26	a	49.43	a	1035	c
Hirn, Riechkolben	0.77	b	45.80	b	1035	c
Hirnanhangdrüse [‡]	1.04	a	59.68	a	1050	c
Kleinhirn	1.26	a	49.43	a	1040	e
Knochen	0.14	a	12.45	a	1990	c
Knochenmark	0.23	b	11.27	b	1027	c
Knorpel	0.78	a	42.65	a	1100	c
Leber	0.86	a	46.82	a	1050	c
Luftröhre	0.77	a	42.00	a	1080	c
Lunge	0.86	a	51.42	a	1066	c
Magen	1.19	a	65.06	a	1050	c
Milz	1.27	a	57.17	a	1054	c
Mittelhirn	0.77	b	45.80	b	1035	c
Muskeln	0.94	a	55.03	a	1041	c
Nägel	0.14	a	12.45	a	1300	c
Nerven	0.57	a	32.53	a	1038	c
Nieren	1.39	a	58.66	a	1050	c
Rachen	1.19	a	65.06	a	1040	c
Rückenmark	0.57	a	32.53	a	1038	c
Scheide	1.08	a	57.93	a	1044	c
Speiseröhre	1.19	a	65.06	a	1040	c
Thymusdrüse	1.04	a	59.68	a	1026	c
Tränendrüsen	1.04	a	59.68	a	1050	c
Zähne	0.14	a	12.45	a	2160	c
Zunge	0.94	a	55.27	a	1041	c
Zwerchfell	0.94	a	55.03	a	1041	c

Tabelle 82: Gewebeparameter für die Tiermodelle bei 900 MHz zusammen mit den jeweiligen Quellen für die entsprechenden Werte

1.8 GHz						
Gewebe	Leitfähigkeit (S/m)	Ref.	Rel. Permittivität	Ref.	Dichte (kg/m ³)	Ref.
Auge, Glaskörper	2.03	a	68.57	a	1009	c
Auge, Hornhaut	1.86	a	52.77	a	1076	c
Auge, Lederhaut	1.60	a	53.57	a	1030	e
Auge, Linse	1.15	a	45.35	a	1090	c
Auge, Vordere und Hintere Augenkammer	2.03	a	68.57	a	1003	c
Bandscheiben	1.29	a	40.21	a	1100	c
Bauchspeicheldrüse [‡]	1.50	a	58.14	a	1045	c
Bindegewebe	0.19	b	11.02	b	916	c
Blutgefäße	2.04	a	59.37	a	1060	c
Dickdarm	1.58	a	55.15	a	1044	c
Drüsen	1.50	a	58.14	a	1051	c
Drüsen, Lymphe [†]	1.50	a	58.14	a	1050	c
Dünndarm	2.70	a	55.90	a	1044	c
Eierstöcke [‡]	1.82	a	46.40	a	1048	c
Eileiter [‡]	1.58	a	55.15	a	1044	c
Embryos	1.50	a	58.14	a	1050	c
Fett	0.08	a	5.35	a	916	c
Gebärmutter	1.76	a	58.94	a	1052	c
Grosshirn	1.15	b	43.54	b	1035	c
Harnleiter [†]	1.58	a	55.15	a	1044	c
Haut	1.18	a	38.87	a	1100	c
Herz	1.77	a	56.32	a	1060	c
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	2.92	a	67.20	a	1007	c
Hirn, Parafloculus [‡]	1.71	a	46.11	a	1035	c
Hirn, Riechkolben	1.15	b	43.54	b	1035	c
Hirnanhangdrüse [‡]	1.50	a	58.14	a	1050	c
Kleinhirn	1.71	a	46.11	a	1040	e
Knochen	0.27	a	11.78	a	1990	c
Knochenmark	0.35	b	10.68	b	1027	c
Knorpel	1.29	a	40.21	a	1100	c
Leber	1.29	a	44.21	a	1050	c
Luftröhre	1.11	a	40.51	a	1080	c
Lunge	1.28	a	49.38	a	1066	c
Magen	1.70	a	63.23	a	1050	c
Milz	1.78	a	53.85	a	1054	c
Mittelhirn	1.15	b	43.54	b	1035	c
Muskeln	1.34	a	53.55	a	1041	c
Nägel	0.27	a	11.78	a	1300	c
Nerven	0.84	a	30.87	a	1038	c
Nieren	1.95	a	54.43	a	1050	c
Rachen	1.70	a	63.23	a	1040	c
Rückenmark	0.84	a	30.87	a	1038	c
Scheide	1.58	a	55.15	a	1044	c
Speiseröhre	1.70	a	63.23	a	1040	c
Thymusdrüse	1.50	a	58.14	a	1026	c
Tränendrüsen	1.50	a	58.14	a	1050	c
Zähne	0.27	a	11.78	a	2160	c
Zunge	1.37	a	53.57	a	1041	c
Zwerchfell	1.34	a	53.55	a	1041	c

Tabelle 83: Gewebeparameter für die Tiermodelle bei 1.8 GHz zusammen mit den jeweiligen Quellen für die entsprechenden Werte

5 GHz						
Gewebe	Leitfähigkeit (S/m)	Ref.	Rel. Permittivität	Ref.	Dichte (kg/m ³)	Ref.
Auge, Glaskörper	5.41	a	65.81	a	1009	c
Auge, Hornhaut	4.72	a	47.73	a	1076	c
Auge, Lederhaut	4.50	a	49.00	a	1030	e
Auge, Linse	3.56	a	41.67	a	1090	c
Auge, Vordere und Hintere Augenkammer	5.41	a	65.81	a	1003	c
Bandscheiben	4.08	a	33.62	a	1100	c
Bauchspeicheldrüse [‡]	4.66	a	53.34	a	1045	c
Bindegewebe	0.70	b	10.08	b	916	c
Blutgefäße	5.39	a	53.95	a	1060	c
Dickdarm	4.58	a	49.72	a	1044	c
Drüsen	4.66	a	53.34	a	1051	c
Drüsen, Lymphatic [†]	4.66	a	53.34	a	1050	c
Dünndarm	5.75	a	49.98	a	1044	c
Eierstöcke [‡]	4.48	a	39.96	a	1048	c
Eileiter [‡]	4.58	a	49.72	a	1044	c
Embryos	4.66	a	53.34	a	1050	c
Fett	0.24	a	5.03	a	916	c
Gebärmutter	4.98	a	53.68	a	1052	c
Grosshirn	3.48	b	39.29	b	1035	c
Harnleiter [†]	4.58	a	49.72	a	1044	c
Haut	3.06	a	35.77	a	1100	c
Herz	4.86	a	50.27	a	1060	c
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	6.60	a	61.95	a	1007	c
Hirn, Parafloculus [‡]	4.19	a	41.05	a	1035	c
Hirn, Riechkolben	3.48	b	39.29	b	1035	c
Hirnanhangdrüse [‡]	4.66	a	53.34	a	1050	c
Kleinhirn	4.19	a	41.05	a	1040	e
Knochen	0.96	a	10.04	a	1990	c
Knochenmark	0.98	b	9.05	b	1027	c
Knorpel	4.08	a	33.62	a	1100	c
Leber	3.83	a	39.26	a	1050	c
Luftröhre	3.34	a	36.86	a	1080	c
Lunge	3.94	a	44.86	a	1066	c
Magen	5.16	a	57.89	a	1050	c
Milz	4.72	a	48.19	a	1054	c
Mittelhirn	3.48	b	39.29	b	1035	c
Muskeln	4.05	a	49.54	a	1041	c
Nägel	0.96	a	10.04	a	1300	c
Nerven	2.43	a	27.89	a	1038	c
Nieren	4.94	a	48.06	a	1050	c
Rachen	5.16	a	57.89	a	1040	c
Rückenmark	2.43	a	27.89	a	1038	c
Scheide	4.58	a	49.72	a	1044	c
Speiseröhre	5.16	a	57.89	a	1040	c
Thymusdrüse	4.66	a	53.34	a	1026	c
Tränendrüsen	4.66	a	53.34	a	1050	c
Zähne	0.96	a	10.04	a	2160	c
Zunge	4.27	a	49.00	a	1041	c
Zwerchfell	4.04	a	49.54	a	1041	c

Tabelle 84: Gewebeparameter für die Tiermodelle bei 5 GHz zusammen mit den jeweiligen Quellen für die entsprechenden Werte

I.2 Mensch-Modell

450 MHz					
Gewebe	Leitfähigkeit (S/m)	Rel. Permittivität	Ref.	Dichte (kg/m^3)	Ref.
Auge, Glaskörper	1.54	68.99	a	1009	c
Auge, Linse	0.68	47.87	a	1090	c
Bänder / Sehnen	0.57	47.05	a	1110	c
Bauchspeicheldrüse	0.89	61.23	a	1045	c
Bindegewebe	0.32	29.31	b	1013	c
Blase	0.33	19.58	a	1040	c
Blut	1.37	63.67	a	1060	c
Blutgefäße	0.57	46.57	a	1056	c
Dickdarm	0.88	61.75	a	1044	c
Drüsen	0.89	61.23	a	1025	c
Dünndarm	1.93	64.89	a	1044	c
Fett	0.04	5.56	a	916	c
Gallenblase	1.71	72.17	a	1026	c
Haut (trocken)	0.71	45.75	a	1100	c
Herz	0.99	64.97	a	1060	c
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	2.26	70.48	a	1007	c
Hirnsubstanz, Grau	0.76	56.55	a	1039	c
Hirnsubstanz, Weiss	0.46	41.48	a	1043	c
Hoden	1.04	62.87	a	1044	c
Kleinhirn	1.06	54.74	a	1040	d
Knochen, Rinde	0.1	13.04	a	1990	c
Knochenmark, Rot	0.19	11.77	b	1027	c
Knochenmark, Weiss	0.03	5.64	b	980	c
Knorpel	0.6	45	a	1082	c
Leber	0.67	50.44	a	1050	c
Lunge (Mittelwert aufgebläht/entleert)	0.67	49.15	a	655	c
Lymphpe	0.89	61.23	a	1030	c
Magen	1.02	67.06	a	1050	c
Milz	1.05	62.1	a	1054	c
Muskeln	0.81	56.75	a	1041	c
Nägel	0.1	13.04	a	1300	c
Nerven	0.46	34.88	a	1038	c
Nieren	1.13	65	a	1044	c
Prostata	1.04	62.87	a	1045	c
Rückenmark	0.46	34.88	a	1038	c
Schleimhäute	0.69	49.2	a	1050	c
Speiseröhre	1.02	67.06	a	1040	c
Thymusdrüse	0.89	61.23	a	1026	c
Unterhaut	0.08	11.58	b	916	c
Zähne	0.1	13.04	a	2160	c
Zunge	0.79	57.24	a	1041	c
Zwölffingerdarm	1.02	67.06	a	1044	c

Tabelle 85: Gewebeparameter für das Mensch Modell bei 450 MHz zusammen mit den jeweiligen Quellen für die entsprechenden Werte

900 MHz					
Gewebe	Leitfähigkeit (S/m)	Rel. Permittivität	Ref.	Dichte (kg/m ³)	Ref.
Auge, Glaskörper	1.64	68.9	a	1009	c
Auge, Linse	0.79	46.57	a	1090	c
Bänder / Sehnen	0.72	45.82	a	1110	c
Bauchspeicheldrüse	1.04	59.68	a	1045	c
Bindegewebe	0.41	28.57	b	1013	c
Blase	0.38	18.94	a	1040	c
Blut	1.54	61.36	a	1060	c
Blutgefäße	0.7	44.77	a	1056	c
Dickdarm	1.08	57.94	a	1044	c
Drüsen	1.04	59.68	a	1025	c
Dünndarm	2.16	59.49	a	1044	c
Fett	0.05	5.46	a	916	c
Gallenblase	1.84	70.19	a	1026	c
Haut (trocken)	0.87	41.4	a	1100	c
Herz	1.23	59.89	a	1060	c
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	2.41	68.64	a	1007	c
Hirnsubstanz, Grau	0.94	52.72	a	1039	c
Hirnsubstanz, Weiss	0.59	38.89	a	1043	c
Hoden	1.21	60.55	a	1044	c
Kleinhirn	1.26	49.44	a	1040	d
Knochen, Rinde	0.14	12.45	a	1990	c
Knochenmark, Rot	0.23	11.27	b	1027	c
Knochenmark, Weiss	0.04	5.5	b	980	c
Knorpel	0.78	42.65	a	1082	c
Leber	0.85	46.83	a	1050	c
Lunge (Mittelwert aufgebläht/entleert)	0.66	36.71	a	655	c
Lymphpe	1.04	59.68	a	1030	c
Magen	1.19	65.06	a	1050	c
Milz	1.27	57.18	a	1054	c
Muskeln	0.94	55.03	a	1041	c
Nägel	0.14	12.45	a	1300	c
Nerven	0.57	32.53	a	1038	c
Nieren	1.39	58.67	a	1044	c
Prostata	1.21	60.55	a	1045	c
Rückenmark	0.57	32.53	a	1038	c
Schleimhäute	0.84	46.08	a	1050	c
Speiseröhre	1.19	65.06	a	1040	c
Thymusdrüse	1.04	59.68	a	1026	c
Unterhaut	0.11	11.33	b	916	c
Zähne	0.14	12.45	a	2160	c
Zunge	0.94	55.27	a	1041	c
Zwölffingerdarm	1.19	65.06	a	1044	c

Tabelle 86: Gewebeparameter für das Mensch Modell bei 900 MHz zusammen mit den jeweiligen Quellen für die entsprechenden Werte

1.8 GHz					
Gewebe	Leitfähigkeit (S/m)	Rel. Permittivität	Ref.	Dichte (kg/m ³)	Ref.
Auge, Glaskörper	2.03	68.57	a	1009	c
Auge, Linse	1.15	45.35	a	1090	c
Bänder / Sehnen	1.2	44.25	a	1110	c
Bauchspeicheldrüse	1.5	58.14	a	1045	c
Bindegewebe	0.69	27.63	b	1013	c
Blase	0.53	18.34	a	1040	c
Blut	2.04	59.37	a	1060	c
Blutgefäße	1.07	43.34	a	1056	c
Dickdarm	1.58	55.15	a	1044	c
Drüsen	1.5	58.14	a	1025	c
Dünndarm	2.7	55.9	a	1044	c
Fett	0.08	5.35	a	916	c
Gallenblase	2.3	69.06	a	1026	c
Haut (trocken)	1.18	38.87	a	1100	c
Herz	1.77	56.32	a	1060	c
Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit	2.92	67.2	a	1007	c
Hirnsubstanz, Grau	1.39	50.08	a	1039	c
Hirnsubstanz, Weiss	0.91	37.01	a	1043	c
Hoden	1.69	58.6	a	1044	c
Kleinhirn	1.71	46.11	a	1040	d
Knochen, Rinde	0.27	11.78	a	1990	c
Knochenmark, Rot	0.35	10.68	b	1027	c
Knochenmark, Weiss	0.07	5.37	b	980	c
Knorpel	1.29	40.21	a	1082	c
Leber	1.29	44.21	a	1050	c
Lunge (Mittelwert aufgebläht/entleert)	0.96	35.16	a	655	c
Lymphpe	1.5	58.14	a	1030	c
Magen	1.7	63.23	a	1050	c
Milz	1.78	53.85	a	1054	c
Muskeln	1.34	53.55	a	1041	c
Nägel	0.27	11.78	a	1300	c
Nerven	0.84	30.87	a	1038	c
Nieren	1.95	54.43	a	1044	c
Prostata	1.7	58.6	a	1045	c
Rückenmark	0.84	30.87	a	1038	c
Schleimhäute	1.23	43.85	a	1050	c
Speiseröhre	1.7	63.23	a	1040	c
Thymusdrüse	1.5	58.14	a	1026	c
Unterhaut	0.19	11.02	b	916	c
Zähne	0.27	11.78	a	2160	c
Zunge	1.37	53.57	a	1041	c
Zwölffingerdarm	1.7	63.23	a	1044	c

Tabelle 87: Gewebeparameter für das Mensch Modell bei 1.8 GHz zusammen mit den jeweiligen Quellen für die entsprechenden Werte