

# Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz

**Untersuchung des Einflusses von intrakorporalen Feldkomponenten an Gewebegrenzschichten bei der numerischen Bestimmung induzierter Feldstärkeverteilungen in hoch aufgelösten realistischen Computermodellen zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten - Vorhaben 3611S70017**

**Auftragnehmer:**

**Seibersdorf Labor GmbH, Österreich**

**G. Schmid  
S. Cecil  
R. Überbacher  
B. Petric  
R. Hirtl**

**Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt.**



**Bundesamt für Strahlenschutz**

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Ressortforschung des BMUB (UFOPLAN) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BfS übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BfS übereinstimmen.

**BfS-RESFOR-97/14**

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:  
**urn:nbn:de:0221-2014111011874**

Salzgitter, November 2014

## REPORT

Untersuchung des Einflusses von intrakorporalen  
Feldkomponenten an Gewebegrenzschichten bei der  
numerischen Bestimmung induzierter  
Feldstärkeverteilungen in hoch aufgelösten  
realistischen Computermodellen zur Überprüfung der  
Einhaltung von Grenzwerten

Abschlussbericht

Gernot Schmid, Stefan Cecil, Richard Überbacher, Benjamin Petric, Rene Hirtl

16.10.2014  
Exemplar 1  
SL-LE-010/13

V2.0

# Untersuchung des Einflusses von intrakorporalen Feldkomponenten an Gewebebegrenzschichten bei der numerischen Bestimmung induzierter Feldstärkeverteilungen in hoch aufgelösten realistischen Computermodellen zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten

**Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben S3611S70017**

im Auftrag des

**Bundesamtes für Strahlenschutz  
38201 Salzgitter, Deutschland**

Gernot Schmid, Stefan Cecil, Richard Überbacher, Benjamin Petric, Rene Hirtl

Seibersdorf Labor GmbH  
Geschäftsfeld EMC & Optics  
Fachbereich Elektromagnetische Verträglichkeit

*Verfasser:*

Dipl. Ing. Gernot Schmid  
Fachbereich EMV, Geschäftsfeld EMC & Optics  
Seibersdorf Labor GmbH  
A-2444 Seibersdorf

Dipl. Ing. Stefan Cecil  
Fachbereich EMV, Geschäftsfeld EMC & Optics  
Seibersdorf Labor GmbH  
A-2444 Seibersdorf

Dipl. Ing. Richard Überbacher  
Fachbereich EMV, Geschäftsfeld EMC & Optics  
Seibersdorf Labor GmbH  
A-2444 Seibersdorf

Ing. Benjamin Petric  
Fachbereich EMV, Geschäftsfeld EMC & Optics  
Seibersdorf Labor GmbH  
A-2444 Seibersdorf

Rene Hirtl, MSc.  
Fachbereich EMV, Geschäftsfeld EMC & Optics  
Seibersdorf Labor GmbH  
A-2444 Seibersdorf

**Projektleitung beim Auftragnehmer:**

Dipl. Ing. Gernot Schmid  
Fachbereich EMV, Geschäftsfeld EMC & Optics  
Seibersdorf Labor GmbH  
A-2444 Seibersdorf  
[gernot.schmid@seibersdorf-laboratories.at](mailto:gernot.schmid@seibersdorf-laboratories.at)

**Projektleitung beim Auftraggeber:**

Dipl. Ing. Dirk Geschwentner  
Bundesamt für Strahlenschutz  
Arbeitsgruppe SG 1.4  
Ingolstädter Landstraße 1  
D-85764 Oberschleißheim  
[dgeschwentner@bfs.de](mailto:dgeschwentner@bfs.de)

## KURZZUSAMMENFASSUNG

Die internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) veröffentlichte 2010 neue Empfehlungen zur Begrenzung der Exposition von Personen gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern im Frequenzbereich 1 Hz -10 MHz. Diese Empfehlungen werden in naher Zukunft internationale rechtliche Relevanz erlangen bzw. bilden in der aktuellen Fassung der 26. BImSchV bereits die Grundlage der Grenzwerte für bestimmte ortsfeste Anlagen in Deutschland.

Da sich die in den ICNIRP 2010 Empfehlungen definierten Bewertungsmethoden für die im Körper induzierten Feldgrößen und die daraus abgeleiteten Referenzwerte für die externen Feldstärken deutlich von früheren von ICNIRP empfohlenen Verfahren unterscheiden, wurden die neuen Bewertungsmethoden im Rahmen dieses Projekts einer kritischen Prüfung unterzogen, insbesondere im Hinblick auf die Konservativität der Referenzwerte bezüglich der zugrundeliegenden Basiswerte für Gewebe des Zentralnervensystems im Kopf, inkl. Retina (CNS-Gewebe) und periphere Gewebe (alle anderen Gewebe im Körper). Weiters war die Frage nach einem geeigneten Vorgehen bei der Ermittlung der als Raummittelwert über ein Volumen von  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  definierten Bewertungsgröße an Gewebegrenzschichten zu beantworten. Zu diesem Zweck wurden zunächst optimierte Mittelungsverfahren für die im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke entwickelt und daran anschließend, auf Basis numerischer Berechnungen, mit mehreren anatomischen Körpermodellen unterschiedliche Expositionssituationen analysiert.

Bei einer Rechengitterauflösung von  $\leq 1 \text{ mm}$  erwies sich der Maximalwert der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten intrakorporalen elektrischen Feldstärkeverteilung als bestgeeignete Bewertungsgröße zum Vergleich mit den Basiswerten, wobei im Hinblick auf die Behandlung von Gewebegrenzschichten im Zuge der Mittelung ein optimierter Algorithmus entwickelt wurde. Rechengitterschrittweiten  $> 1 \text{ mm}$  sollten vermieden werden. Von einer Perzentilbildung vor dem Vergleich mit den Basiswerten, wie von ICNIRP vorgeschlagen, ist grundsätzlich abzuraten, da sie potenziell zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Exposition führt.

Die in den ICNIRP 2010 Empfehlungen festgesetzten Referenzwerte für die äußere magnetische Feldstärke erwiesen sich auf der Grundlage der durchgeführten Berechnungen als konservativ im Hinblick auf die Basiswerte für CNS-Gewebe. Bei Einhaltung der Referenzwerte ist damit auch die Einhaltung der CNS-Basiswerte sichergestellt, wobei die „Reserve“, d.h., das Verhältnis von Basiswert zur berechneten Bewertungsgröße im Frequenzbereich unterhalb von 50 Hz weniger als einen Faktor 2 beträgt. Oberhalb von 50 Hz ist diese „Reserve“ größer als Faktor 2.

Für die Referenzwerte der elektrischen Feldstärke besteht Konservativität im Hinblick auf die Basiswerte für CNS-Gewebe in eindeutiger Weise nur in den Frequenzbereichen unterhalb von 10 Hz und oberhalb von ca. 150 Hz. Zwischen ca. 10 und 150 Hz deuten die durchgeführten Berechnungen bei homogener Ganzkörperexposition darauf hin, dass es unter der Bedingung eines geerdeten Körpermodells zu Überschreitungen des Basiswertes im CNS-Gewebe kommen kann, wenn die äußere ungestörte elektrische Feldstärke dem Referenzwert entspricht. Die „Reserve“ zum Basiswert im Frequenzbereich oberhalb von 150 Hz beträgt dabei durchwegs mehr als einen Faktor 2.

Bezüglich der peripheren Gewebe zeigen die Berechnungsergebnisse substantielle Probleme auf. Vor allem in Zusammenhang mit den in der Haut induzierten elektrischen Feldstärken, deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Referenzwerte im Hinblick auf die Basiswerte in peripherem Gewebe im Allgemeinen als nicht konservativ anzusehen sind. Der Hauptgrund für diese Problematik ist vermutlich in der stark eingeschränkten Anzahl der für die Referenzwertfestsetzung betrachteten Expositionsszenarien (ausschließlich aufrecht stehende Körpermodelle ohne Kontakt zu leitfähigen Objekten) zu sehen, die als nicht ausreichend repräsentativ für in der Praxis auftretende ungünstige Situationen gesehen werden müssen. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass bei äußeren Feldstärken entsprechend der ICNIRP 2010 Referenzwerte, in ungünstigen Situationen, die

intrakorporalen elektrischen Feldstärken in der Haut bzw. im darunterliegenden Fettgewebe die Basiswerte für periphere Gewebe überschreiten. Dem daraus sich ergebenden dringenden Bedarf nach der Festlegung wissenschaftlich fundierter und im Hinblick auf die Basiswerte für periphere Gewebe konservativer Referenzwerte sollte daher auf der Grundlage eines validierten Hautmodells zeitnah Rechnung getragen werden.

Schließlich konnte gezeigt werden, dass sich bei gleichzeitiger Exposition in elektrischen und magnetischen Feldern die von den beiden Feldtypen im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärken, zumindest in Teilbereichen des Körpers addieren können, womit eine getrennte und unabhängige Bewertung von externer elektrischer und magnetischer Feldstärke in Bezug auf die Referenzwerte im Allgemeinen nicht gerechtfertigt werden kann.

## ABSTRACT

In 2010 the International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) published new guidelines for limiting personal exposure in electric and magnetic fields in the frequency range 1 Hz – 10 MHz. These guidelines will become legally relevant on an international level in near future and are already the basis for the exposure limit values in the surrounding of stationary low frequency systems according to the current version of the 26. BImSchV in Germany.

Due to the fact that the ICNIRP 2010 guidelines differ significantly from earlier ICNIRP recommendations with respect to the assessment of the field quantities induced inside the body and reference values derived from these internal field quantities, the new assessment procedures have been critically reviewed in the frame of this project. Particularly the conservativity of the derived reference levels with respect to the basic restrictions for central nervous system tissues, including retina (CNS tissues) and peripheral tissues (all other body tissues) was investigated. Moreover, the question concerning an appropriate procedure for calculating the  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  volume averaged induced electric field strength at tissue interfaces was addressed. For this purpose optimized methods for determining the relevant basic assessment quantity in terms of the  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  volume averaged induced electric field strength have been developed in a first step, and secondly, numerous different exposure situations were analyzed based on numerical computations using different anatomical body models.

Using a spatial resolution of the computational domain of  $\leq 1 \text{ mm}$ , the maximum value of the  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  volume averaged intra-corporal electric field strength distribution was identified as the best assessment quantity, using a particularly developed averaging algorithm. A coarser resolution of the computational domain than 1 mm should be avoided. Using percentiles of the computed electric field for comparison with the basic restriction, as recommended by ICNIRP 2010, is strongly inadvisable as it potentially underestimates the actual exposure.

The reference levels for the external magnetic field strengths defined in the ICNIRP 2010 guidelines proved to be conservative with respect to the basic restrictions for CNS tissue on the basis of the computations carried out. Meeting the reference levels for the magnetic field strength therefore ensures also that the basic restrictions for CNS tissues are not exceeded. However, the remaining “margin”, i.e., the ratio of the basic restriction to the computed maximum volume averaged induced electric field strength, is not more than a factor of 2 in the frequency range below 50 Hz. Above 50 Hz this “margin” is more than a factor of 2.

Concerning the reference levels for the external electric field strength conservativity with respect to the basic restriction for CNS tissues could only be demonstrated in the frequency ranges below 10 Hz and above approximately 150 Hz. Between 10 Hz and roughly 150 Hz the computational results indicate that the basic restrictions for CNS tissue may be exceeded at exposures in an external electric field strength corresponding to the reference level, under the condition of a grounded body model. The “margin” to the basic restriction in the frequency range above 150 Hz was found to be more than a factor of 2.

Concerning the conservativity of the reference levels with respect to the basic restrictions for peripheral tissues the computational results indicate substantial problems, particularly in connection with the induced electric field strength inside skin tissue. The reason for these problems is most probably due to the fact that the derivation of the reference levels in the ICNIRP 2010 guidelines is based on a very restricted number of different exposure situations, i.e., only upright standing adult body models without contact to conductive objects, which must be seen as not sufficiently representative for adverse exposure situations in practice. Therefore, induced electric field strengths inside peripheral tissues in excess of the corresponding basic restriction cannot be excluded in adverse exposure situations even when the reference levels for the external field strengths are met. This indicates a strong demand for the definitions of scientifically sound and consistent reference levels for external



electric and magnetic field strengths, which should urgently be met on the bases of a validated skin model.

Finally it could be demonstrated that at simultaneous exposure to external electric and magnetic fields, the induced electric field strengths inside the tissue caused by the different external field types may add at least in parts of the body. Consequently, a separate assessment of exposure to electric and magnetic fields based on the reference levels is not justifiable in the general case.

# ZUSAMMENFASSUNG

## Hintergrund und Projektziel

Die internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) veröffentlichte 2010 neue Empfehlungen zur Begrenzung der Exposition von Personen gegenüber zeitlich veränderlichen elektrischen und magnetischen Feldern im Frequenzbereich bis 10 MHz. Diese Empfehlungen werden in naher Zukunft als Grundlage rechtlich relevanter Regelwerke dienen, bzw. die darin enthaltenen Referenzwerte für die elektrische und magnetische Feldstärke bilden bereits die Grundlage der Grenzwerte für bestimmte ortsfeste Anlagen in Deutschland gemäß der kürzlich novellierten Fassung der 26. BImSchV.

Zum Schutz vor nachteiligen Effekten auf das Zellmembranpotenzial durch die zufolge der Exposition in externen elektrischen und/oder magnetischen Felder im Gewebe induzierten intrakorporalen Feldgrößen setzt ICNIRP in den aktuellen Empfehlungen aus 2010 Basiswerte fest, bei deren Unterschreitung gemäß dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand keine nachteiligen akuten Effekte auf das Zellmembranpotenzial zu erwarten sind. Um methodischen Unsicherheiten Rechnung zu tragen, beinhalten diese Basiswerte bereits einen Reduktionsfaktor gegenüber den wissenschaftlich dokumentierten Effektschwellwerten. Im Unterschied zu den ICNIRP Empfehlungen aus 1998, in denen Basiswerte in Form der ausschließlich im Zentralnervensystem (Gehirn und Rückenmark) induzierten Stromdichte definiert wurden, setzen die neuen Empfehlungen einerseits Basiswerte für das Zentralnervensystem im Kopf (inkl. Retina), und andererseits auch Basiswerte für periphere Gewebe fest, wobei als intrakorporale Bewertungsgröße nicht die induzierte Stromdichte, sondern die maximale über ein Volumen von  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte im Gewebe induzierte elektrische Feldstärke verwendet wird. Mit der Absicht der Vermeidung von Überbewertungen der intrakorporalen Feldstärken zufolge numerischer Artefakte bei der Expositionsbewertung auf Basis von Computersimulationen empfiehlt ICNIRP zum Vergleich mit den Basiswerten die Verwendung des 99ten Perzentils der gemittelten Feldstärkewerte anstatt des Maximums. Neben den Basiswerten für die intrakorporal auftretenden elektrischen Feldstärken werden in den ICNIRP Empfehlungen auch Referenzwerte für die einer messtechnischen Erfassung zugänglichen äußeren ungestörten elektrischen und magnetischen Feldstärke festgelegt, wobei die Referenzwerte als konservative Richtwerte dienen sollen, bei deren Unterschreitung die Einhaltung der Basiswerte sichergestellt sein soll. Die Festlegung der Referenzwerte erfolgte dabei auf Basis einiger weniger numerischer Berechnungsergebnisse in der zum damaligen Zeitpunkt verfügbaren wissenschaftlichen Literatur, hauptsächlich aus dem Zeitraum 2005-2006. Weiters wurden diese, den Referenzwerten der aktuellen ICNIRP Empfehlungen zugrunde liegenden, numerischen Berechnungen anhand von aufrecht stehenden anatomischen Körpermodellen mit einer räumlichen Auflösung des Rechengitters von nicht besser als  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  durchgeführt. Neben der nur sehr eingeschränkten Information bezüglich anzusetzender Unsicherheiten zufolge unterschiedlicher Körpermodelle, Körperhaltungen und dielektrischer Gewebeparameter, lagen bisher auch keine fundierten Analysen im Hinblick auf den Einfluss des zur Ermittlung der Bewertungsgröße erforderlichen Mittelungsalgorithmus auf das Bewertungsergebnis vor. Insbesondere muss erwartet werden, dass die konkrete Vorgehensweise an Grenzschichten unterschiedlicher Gewebe bzw. an der Grenzschicht Gewebe-Luft maßgeblichen Einfluss auf das Bewertungsergebnis hat.

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel dieses Projekts, zu überprüfen, ob bzw. in welchem Maße die geltenden Regelungen und Empfehlungen zum Schutz vor niederfrequenten elektromagnetischen Feldern (26.BImSchV) hinsichtlich der in den aktuellen ICNIRP-Empfehlungen festgesetzten Basiswerte konservativ sind. Dazu wurden die Festlegungen in den ICNIRP-Empfehlungen aus 2010, insbesondere die Konsistenz der Referenzwerte bezüglich der Basiswerte, auf der Grundlage modernster dosimetrischer Methoden und unter Berücksichtigung des Einflusses unterschiedlicher Mittelungsalgorithmen, im Hinblick auf

Unsicherheiten bezüglich elektrisch relevanter Gewebeparameter und unterschiedlicher anatomischer Körpermodelle kritisch beleuchtet.

## **Ergebnisse**

### **Darstellungsform der Bewertungsgröße zum Vergleich mit den Basiswerten**

Unter der Annahme, dass die von ICNIRP 2010 getroffene Wahl eines  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  großen Mittelungsvolumens physiologisch sinnvoll und richtig ist, zeigte sich im Hinblick auf die am besten geeignete Darstellungsform der im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke zum Vergleich mit den Basiswerten zunächst, dass von einer Perzentilbildung vor dem Vergleich mit den Basiswerten abzuraten ist, da sie potenziell zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Expositionssituation führt. Je nach Expositionssituation, Feldverteilung und betrachtetem Gewebe kann das Ausmaß der Unterschätzung beträchtlich sein. Um numerische Unsicherheiten und Artefakte zufolge einer im Verhältnis zum Mittelungsvolumen von  $8 \text{ mm}^3$  (zu) großen Gitterschrittweite im Rechenraum zu vermeiden bzw. innerhalb vertretbarer Grenzen zu halten, sollte die Gitterschrittweite keinesfalls größer als 1 mm, wenn ressourcentechnisch möglich nicht größer als 0,5 mm gewählt werden. Unter diesen Voraussetzungen liefern rechtechnisch einfach zu implementierende Mittelungsverfahren, die in grenschichtnahen Volumenelementen Feldstärkekomponenten die nicht gänzlich im Zielgewebe liegen ignorieren, hinreichend genaue Ergebnisse. Der Aufwand für komplexere Verfahren mit Inter- bzw. Extrapolationen an Gewebegrenzschichten ist auf Basis verbleibender Unsicherheiten nicht rechtfertigbar. Der mittels eines einfachen Algorithmus über ein  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  großes Volumen gebildete maximale vektorielle Mittelwert der im Gewebe induzierten Feldstärke stellt daher ein adäquates Bewertungsmaß zum Vergleich mit den Basiswerten dar, sofern die räumliche Auflösung des Rechengitters nicht schlechter als 1 mm ist.

### **Konservativität der Referenzwerte im Hinblick auf die Basiswerte für CNS-Gewebe**

Bezüglich der ICNIRP 2010 Referenzwerte für die äußere magnetische Feldstärke ergaben sich aus den durchgeführten Berechnungen keine Hinweise darauf, dass bei Einhaltung der Referenzwerte die Basiswerte für Gewebe des Zentralnervensystems (CNS-Gewebe), inklusive Retina, überschritten werden. Auch bei Zuschlag verbleibender Unsicherheiten (z.B. zufolge unterschiedlicher Körperhaltungen, Körpermodelle, Staturen, Gewebeparameter) kann daher von ausreichendem Schutz des CNS-Gewebe im Sinne der ICNIRP 2010 durch die Referenzwerte für die magnetische Feldstärke im Frequenzbereich bis 10 MHz ausgegangen werden. Dies gilt insbesondere bei Berücksichtigung der den Basiswerten bereits innewohnenden Reduktionsfaktoren.

Im Hinblick auf die Konservativität der ICNIRP 2010 Referenzwerte für die elektrische Feldstärke bezüglich der Einhaltung der Basiswerte für CNS-Gewebe stellt sich die Situation demgegenüber etwas weniger klar dar. Wird, der Empfehlung von ICNIRP folgend, das 99te Perzentil der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten Feldstärkeverteilung für den Vergleich mit dem Basiswert verwendet, ergeben sich keine Überschreitungen des Basiswertes. Von der Verwendung des 99ten Perzentils für den Vergleich mit dem Basiswert muss allerdings dringend abgeraten werden, da dies zur Unterschätzung im Körper auftretender lokaler Feldstärkemaxima führen kann. Verwendet man anstelle des 99ten Perzentils das Maximum der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten Feldstärkeverteilung für den Vergleich mit den Basiswerten, zeigen die Berechnungsergebnisse, dass im Frequenzbereich zwischen ca. 10 und 150 Hz Basiswertüberschreitungen in CNS Geweben auftreten können, wenn die äußere ungestörte elektrische Feldstärke dem Referenzwert entspricht (gilt nicht für die Retina). Das Ausmaß dieser Basiswertüberschreitungen bei Befeldung mit dem Referenzwert lag unter den betrachteten Bedingungen bei maximal ca. 50%. Bei Zuschlag verbleibender Unsicherheiten (z.B. zufolge unterschiedlicher Körperhaltungen, Körpermodelle, Staturen, Gewebeparameter) muss naturgemäß von noch größeren Basiswertüberschreitungen ausgegangen werden. Allerdings erscheinen nachteilige Auswirkungen im Sinne von ICNIRP

2010 bei Befeldung mit dem Referenzwert aufgrund des im Basiswert bereits enthaltenen Reduktionsfaktors als unwahrscheinlich. Im Frequenzbereich unterhalb von 10 Hz und oberhalb von ca. 150 Hz konnten keine Hinweise auf Überschreitungen der CNS Basiswerte durch das Maximum der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten Feldstärkeverteilung bei Befeldung mit elektrischen Feldstärken entsprechend den Referenzwerten gefunden werden.

### **Konservativität der Referenzwerte im Hinblick auf die Basiswerte für periphere Gewebe**

Bezüglich der Konsistenz der Referenzwerte im Hinblick auf die Basiswerte in peripheren Geweben deuten die Berechnungsergebnisse auf substantielle Probleme, vor allem in Zusammenhang mit den in der Haut induzierten elektrischen Feldstärken hin. Da die Haut Nervenendigungen enthält, sind gemäß ICNIRP auch in der Haut die Basiswerte für periphere Gewebe einzuhalten.

Vorausgeschickt werden muss in diesem Zusammenhang, dass die den Referenzwerten in ICNIRP 2010 zugrundeliegenden numerischen Berechnungen auf der Annahme einer 2 mm dicken homogenen Komposit-Hautschicht (inklusive subkutanem Fettgewebe) mit einer mittleren Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m (bei 50 Hz) basieren. D.h., der in der Realität vorhandene Schichtaufbau der Haut (Hornhaut, Epidermis, Dermis, Subkutis) wurde aus ressourcentechnischen Gründen nicht berücksichtigt. Aufgrund der stark unterschiedlichen Leitfähigkeiten der einzelnen Hautschichten stellt dies jedoch eine starke Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse in der Haut dar. Insbesondere muss die Frage nach der Validität des angenommenen Komposit-Hautmodells und der dafür verwendeten Leitfähigkeit von 0,1 S/m gestellt werden, wofür gegenwärtig keine stützenden Daten vorliegen. Die Nichtberücksichtigung der vergleichsweise sehr schlecht leitfähigen Hornhaut bei der Expositionsbewertung erscheint in erster Näherung aus physiologischer und dosimetrischer Sicht sinnvoll, da in der Hornhaut einerseits keine Nervenendigungen liegen und andererseits, aufgrund der geringen Leitfähigkeit, große induzierte Feldstärken zu erwarten sind. Eine Berücksichtigung der Hornhaut bei der Expositionsbewertung würde daher zu einer Überbewertung des tatsächlichen Risikos führen. Dieser Umstand wurde bisher offensichtlich auch im Bereich der internationalen Regelwerke nicht bedacht, da auch internationale Normen (z.B. 62311:2008) eine Modellierung der Haut mit Leitfähigkeitswerten entsprechend Hornhaut empfehlen.

Allerdings deuten die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Berechnungsergebnisse auch bei Annahme einer Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m darauf hin, dass die von ICNIRP 2010 festgesetzten Referenzwerte im Frequenzbereich unterhalb von ca. 1 MHz die Einhaltung der Basiswerte in peripheren Geweben (vor allem in der Haut und subkutanem Gewebe) nicht unter allen in der Praxis denkbaren Situationen sicherstellen.

Der Hauptgrund dafür ist vermutlich darin zu sehen, dass in den der Referenzwertfestlegung zugrunde liegenden numerischen Berechnungen ausschließlich von der Annahme aufrecht stehender Körpermodelle mit seitlich hängenden Armen ausgegangen wurde, was speziell im Hinblick auf magnetische Einkopplungen nicht als ungünstigster Fall angesehen werden kann. Speziell in der Haut sind nämlich größere elektrische Feldstärken zu erwarten, wenn direkter Hautkontakt zwischen den Endpunkten „schleifenbildender“ Körperteile oder direkter Hautkontakt zu leitfähigen Objekten besteht, die gemeinsam mit Körperteilen große Schleifenstrukturen bilden, in die ein externes Magnetfeld effektiv einkoppeln kann.

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse kann jedenfalls nicht ausgeschlossen werden, dass bei äußeren Feldstärken entsprechend der ICNIRP 2010 Referenzwerte, in ungünstigen, in der Praxis nicht auszuschließenden Situationen, die intrakorporalen elektrischen Feldstärken in der Haut bzw. im darunterliegenden Fettgewebe die Basiswerte für periphere Gewebe um mehr als den bei der Festsetzung der Basiswerte berücksichtigten Reduktionsfaktor überschreiten.

Dem daraus sich ergebenden dringenden Bedarf nach der Festlegung wissenschaftlich fundierter und zu den Basiswerten für periphere Gewebe konsistenter Referenzwerte, sollte daher zeitnah Rechnung getragen werden. Die Grundlage dafür sollte ein validiertes

vereinfachtes Hautmodell für die numerischen Berechnungen sein, mit dem das Risiko von relevanten Beeinflussungen der in der Haut vorhandenen Nerven- und Rezeptorzellen zuverlässig abgeschätzt werden kann.

### **Überlagerung der Wirkung elektrischer und magnetischer Exposition**

Die Berechnungsergebnisse für Ganzkörperexposition in kombiniert homogenen elektrischen und magnetischen Feldern zeigten eindeutig, dass eine getrennte und unabhängige Bewertung von elektrischer und magnetischer Feldstärke bei einer Expositionsbewertung auf Basis der Referenzwerte aus strahlenschutztechnischer Sicht im Allgemeinen nicht gerechtfertigt werden kann, da sich in ungünstigen Situationen zumindest in Teilbereichen des Körpers die intrakorporal induzierten elektrischen Feldstärken zufolge äußerer elektrischer und magnetischer Befeldung addieren. Für eine konservative Expositionsbewertung wird daher empfohlen die auf die jeweiligen Referenzwerte normierten Immissionsbeiträge elektrischer und magnetischer Felder zu addieren.

# INHALT

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>BESTANDSAUFNAHME .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Gegenüberstellung unterschiedlicher Schutzkonzepte im Frequenzbereich bis 10 MHz .....</b>	<b>14</b>
2.1.1	ICNIRP Guidelines 1998 [2] .....	14
2.1.2	ICNIRP Guidelines 2010 [1] .....	17
2.1.3	IEEE C95.6- 2002 [6].....	22
2.1.4	Zusammenfassender Vergleich von ICNIRP 1998, ICNIRP 2010 und IEEE C95.6-2002.....	25
<b>2.2</b>	<b>Anwendung der Empfehlungen zum Schutz der Allgemeinbevölkerung</b>	<b>28</b>
2.2.1	Europäische Ebene .....	28
2.2.2	Die 26. BImSchV in Deutschland .....	28
<b>2.3</b>	<b>Wissenschaftlicher Kenntnisstand bezüglich numerischer Berechnungen und Mittelungsstrategien intrakorporaler Feldgrößen ...</b>	<b>30</b>
2.3.1	Numerische Berechnungen intrakorporaler Feldgrößen bei Exposition in magnetischen und elektrischen Feldern.....	30
2.3.2	Einfluss der Berechnungsmethoden und der verwendeten Mittelungsalgorithmen für die intrakorporalen Feldgrößen .....	33
<b>2.4</b>	<b>Wissenschaftlicher Kenntnisstand bezüglich der elektrischen und dielektrischen Gewebeeigenschaften im Frequenzbereich bis 10 MHz..</b>	<b>36</b>
<b>2.5</b>	<b>Anwendungsregeln für die Expositionsbewertung in der Praxis.....</b>	<b>40</b>
Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz) .....		42
<b>3</b>	<b>ENTWICKLUNG UND ANALYSE UNTERSCHIEDLICHER MITTELUNGSSTRATEGIEN FÜR DIE INTRAKORPORALE ELEKTRISCHE FELDESTÄRKE .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Grundlegende praktische Problematik der Perzentilbildung.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2</b>	<b>Definition unterschiedlicher Mittelungskonzepte .....</b>	<b>45</b>
3.2.1	Betrachtung unterschiedlicher geometrischer Formen.....	45
3.2.2	Betrachtung unterschiedlicher Mittelungsstrategien .....	47
<b>3.3</b>	<b>Vorgehen bei der Mittelung an Gewebegrenzen zu Luft .....</b>	<b>52</b>
<b>3.4</b>	<b>Validierung der unterschiedlichen Mittelungskonzepte.....</b>	<b>52</b>
3.4.1	Validierung für einfaches Modell magnetischer Befeldung.....	52
3.4.2	Validierung für einfaches Modell elektrischer Befeldung .....	53
3.4.3	Vergleich von Würfel- und Kugelform an anatomischen Strukturen.....	55
<b>3.5</b>	<b>Einzelgewebe-spezifische vs. Gewebegruppen-spezifische Mittelung ..</b>	<b>57</b>
<b>4</b>	<b>NUMERISCHE BERECHNUNGEN FÜR HOMOGENE GANZKÖRPEREXPOSITION .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1</b>	<b>Verwendete Rechenmethode.....</b>	<b>60</b>

<b>4.2 Konstellationen mit maximaler Feldeinkopplung .....</b>	<b>63</b>
4.2.1 Maximale Feldeinkopplung bei rein elektrischer Befeldung .....	64
4.2.2 Maximale Feldeinkopplung bei rein magnetischer Befeldung .....	65
4.2.3 Einfluss der Erdungsverhältnisse .....	67
<b>4.3 Berechnungen für den Frequenzbereich von 1 Hz bis 10 MHz.....</b>	<b>73</b>
4.3.1 Homogene vertikale elektrische Befeldung mit geerdetem Körpermodell .....	73
4.3.2 Homogene frontale magnetische Befeldung mit geerdetem Körpermodell .....	75
4.3.3 Kombiniert homogene vertikale elektrische und homogene frontale magnetische Befeldung mit geerdetem Körpermodell .....	77
<b>4.4 Unsicherheiten zufolge Gewebeparameter .....</b>	<b>80</b>
4.4.1 Einfluss der Gewebeanisotropie .....	80
4.4.2 Einfluss der elektrischen Eigenschaften der Haut .....	81
<b>4.5 Gesamtunsicherheit der Berechnungsergebnisse .....</b>	<b>84</b>
<b>5 NUMERISCHE BERECHNUNGEN FÜR AUSGEPRÄGTE TEILKÖRPEREXPOSITIONEN .....</b>	<b>86</b>
<b>5.1 Verwendete Rechenmethoden .....</b>	<b>87</b>
<b>5.2 Problematik der Auftrennung von elektrischer und magnetischer Exposition .....</b>	<b>88</b>
<b>5.3 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse .....</b>	<b>88</b>
<b>5.4 Szenario 1: unmittelbar am Körper betriebene Bohrmaschine .....</b>	<b>89</b>
5.4.1 Quellenmodellierung und Validierung .....	89
5.4.2 Berechnungsergebnisse .....	93
5.4.3 Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten .....	97
<b>5.5 Szenario 2: Person stehend vor einem Induktionskochfeld .....</b>	<b>98</b>
5.5.1 Quellenmodellierung und Validierung .....	98
5.5.2 Berechnungsergebnisse .....	99
5.5.3 Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten .....	101
<b>5.6 Szenario 3: Person mit Elektroschweißzange.....</b>	<b>103</b>
5.6.1 Quellenmodellierung und Validierung .....	103
5.6.2 Berechnungsergebnisse .....	104
5.6.3 Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten .....	106
<b>5.7 Szenario 4: Person stehend unter einer Energiesparlampe .....</b>	<b>106</b>
5.7.1 Quellenmodellierung .....	106
5.7.2 Berechnungsergebnisse .....	107
5.7.3 Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten .....	109
<b>5.8 Szenario 5: Person stehend unter Kabelzuführung zu einer Elektroschmelz- bzw. Heizanlage.....</b>	<b>110</b>
5.8.1 Quellenmodellierung und Validierung .....	110
5.8.2 Berechnungsergebnisse .....	111
5.8.3 Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten .....	113
<b>5.9 Szenario 6: Person liegend auf Hochspannungs-Erdkabeltrasse.....</b>	<b>114</b>
5.9.1 Quellenmodellierung und Validierung .....	114
5.9.2 Berechnungsergebnisse .....	115
5.9.3 Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten .....	117

5.10	<b>Szenario 7: Person mit Kopf auf Magnetfeldkissen liegend</b>	117
5.10.1	Quellenmodellierung und Validierung	118
5.10.2	Berechnungsergebnisse	118
5.10.3	Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten	120
<b>6</b>	<b>SPEZIELLE BETRACHTUNG DER HAUT</b>	<b>121</b>
6.1	<b>Theoretische Betrachtungen für Schichtmodelle</b>	<b>121</b>
6.2	<b>Verwendete Hautmodelle</b>	<b>123</b>
6.2.1	Generische Hautmodelle zur Identifikation unterschiedlicher Kopplungsmechanismen	123
6.2.2	Dielektrische Gewebeparameter	125
6.3	<b>Berechnungsergebnisse</b>	<b>125</b>
6.4	<b>Schlussfolgerungen für die Expositionsbewertung in der Haut</b>	<b>129</b>
<b>7</b>	<b>BERECHNUNGEN FÜR DIE RETINA</b>	<b>132</b>
7.1	<b>Verwendetes Augenmodell</b>	<b>132</b>
7.1.1	Generische Modellierung des Auges	132
7.1.2	Dielektrische Gewebeparameter	133
7.2	<b>Berechnungsergebnisse</b>	<b>134</b>
7.3	<b>Schlussfolgerungen für die Expositionsbewertung in der Retina</b>	<b>135</b>
<b>8</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>137</b>
8.1	<b>Bestgeeignete Bewertungsgröße für die intrakorporale elektrische Feldstärke</b>	<b>137</b>
8.2	<b>Konservativität von Referenzwerten im Hinblick auf die Einhaltung der Basiswerte für CNS-Gewebe</b>	<b>137</b>
8.3	<b>Konservativität der Referenzwerte im Hinblick auf die Basiswerte für PNS-Gewebe</b>	<b>138</b>
8.4	<b>Überlagerung der Wirkung elektrischer und magnetischer Exposition</b>	<b>139</b>
8.5	<b>Bedeutung unterschiedlicher Mittelungsstrategien für die Überprüfung der Festlegungen von ICNIRP 2010 und darüber hinaus</b>	<b>140</b>
8.6	<b>Offene Fragen bezüglich der numerischen Modellierung der Haut</b>	<b>141</b>
<b>9</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>142</b>
<b>Anhang A</b>		



# 1 EINLEITUNG

Im Dezember 2010 hat die Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP) neue Empfehlungen zur Begrenzung der Exposition von Personen gegenüber zeitlich veränderlichen elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich bis 10 MHz publiziert [1]. Diese Empfehlungen haben inzwischen in Deutschland rechtliche Relevanz erreicht, da die im Juni 2013 vom deutschen Bundestag beschlossene Novelle der 26. BImSchV bezüglich Niederfrequenzanlagen darauf beruht. Aber auch auf europäischer Ebene haben die neuen Empfehlungen der ICNIRP insofern rechtliche Relevanz erreicht, als die bis Mitte 2016 in nationales Recht der Mitgliedstaaten umzusetzende EU-Direktive 2013/35/EU über Mindestvorschriften zum Schutz von Arbeitnehmern vor der Gefährdung durch Einwirkungen elektromagnetischer Felder auf diesen Empfehlungen aufbaut. Diese ICNIRP Empfehlungen aus 2010 (in weiterer Folge kurz als „ICNIRP 2010“ bezeichnet) unterscheiden sich bezüglich des Bewertungsverfahrens der im Körper zufolge der Exposition auftretenden elektro-magnetischen Feldgrößen substantiell von den früher publizierten Empfehlungen aus dem Jahr 1998 [2] (in weiterer Folge kurz als „ICNIRP 1998“ bezeichnet). Während gemäß ICNIRP 1998 die unmittelbar mit der biologischen Wirkung verknüpften Basiswerte in Form der maximalen über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelten Stromdichte im Zentralnervensystem (Gehirn und Rückenmark) festgelegt wurden, sieht ICNIRP 2010 die im Gewebe induzierte maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte elektrische Feldstärke als Bewertungsgröße vor. Zudem werden in ICNIRP 2010 nicht nur Basiswerte für das Zentralnervensystem im Kopf (Gehirn und Retina), sondern auch (etwas weniger strenge) Basiswerte für das periphere Nervensystem definiert. Bezüglich des Schutzes des peripheren Nervensystems besteht jedoch das Problem, dass die gegenwärtig verfügbaren numerischen Körpermodelle, zufolge begrenzter räumlicher Auflösung, periphere Nerven nicht hinreichend genau nachbilden können. Weiters liegen gegenwärtig nur unzureichende wissenschaftliche Informationen vor, die eine Umrechnung von im umgebenden Gewebe auftretender elektrischer Feldstärke in die im Nervengewebe wirksam werdende elektrische Feldstärke erlauben würden. Aus diesem Grund wird in ICNIRP 2010 in konservativer Weise argumentiert, dass die Basiswerte für peripheres Nervensystem für alle Gewebe des Körpers anzuwenden sind (ausgenommen Gewebe des Zentralnervensystems im Kopf und Retina, für die ja strengere Basiswerte festgesetzt wurden).

Da die intrakorporalen Feldgrößen nur auf Basis aufwändiger numerischer Berechnungen (Computersimulationen) bestimmbar sind, werden in ICNIRP 2010, in einer ähnlichen Vorgangsweise wie in ICNIRP 1998, aus den festgesetzten Basiswerten, sogenannte Referenzwerte für die von außen einwirkenden elektrischen und magnetischen Feldstärken abgeleitet. Diese Referenzwerte haben die Aufgabe als konservative Richtwerte für die einer Routinemessung zugänglichen äußeren Feldstärken zu dienen. Bei einer Unterschreitung der Referenzwerte sollte demnach die Einhaltung der Basiswerte sichergestellt sein (sowohl für das Zentralnervensystemgewebe im Kopf, als auch für periphere Gewebe). Umgekehrt folgt aus einer Überschreitung der Referenzwerte nicht zwangsläufig eine Überschreitung der Basiswerte. Für die Ableitung der Referenzwerte aus den zugrunde liegenden Basiswerten stützt sich ICNIRP 2010 allerdings nur auf sehr wenige wissenschaftliche Publikationen über numerische Berechnungen [3], [4], [5]. In diesen Berechnungen wurden ausschließlich aufrecht stehende anatomische Körpermodelle in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern betrachtet. Zudem lag die Gitterschrittweite der räumlichen Diskretisierung des Rechenraumes bei diesen Berechnungen bei nicht besser als 2 mm. Dies bedeutet, dass das Volumen eines elementaren Raumelements des Rechenraumes (Voxel) bereits dem in ICNIRP 2010 definierten Mittelungsvolumen für die im Körper induzierte Feldstärke entspricht, was zufolge hat, dass selbst nur vereinzelt auftretende numerische Artefakte unmittelbar auf die Bewertungsgröße durchschlagen. Aus diesem Grund wird in ICNIRP 2010 auch empfohlen, nicht das Maximum der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten intrakorporalen Feldstärke, sondern das 99te Perzentil (p99) für den Vergleich

mit den Basiswerten zu verwenden. Bezüglich des anzuwendenden Mittelungsalgorithmus (bei Voxelgrößen  $< 2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  notwendig) finden sich in ICNIRP 2010 nur insofern Empfehlungen, als bei gewebespezifischer Mittelwertbestimmung das Mittelungsvolumen grundsätzlich nicht über die Gewebegrenzen hinausragen soll. Nur im Falle der Haut wird das Hineinragen des Mittelungsvolumens in das darunter liegende Gewebe und im Falle der Retina das Hineinragen des Mittelungsvolumens in die umgebenden Gewebe als praktikable Vorgangsweise angesehen. Nähere Details bezüglich des anzuwendenden Mittelungsalgorithmus werden in ICNIRP 2010 nicht diskutiert, obwohl von diesem bei komplexem geometrischem Verlauf von Gewebegrenzen, und insbesondere bei Voxelgrößen, die nur geringfügig kleiner als das Mittelungsvolumen sind, relevanter Einfluss auf das Bewertungsergebnis erwartet werden muss.

Vor diesem Hintergrund stellen sich aus praktischer Sicht daher einige Fragen im Hinblick auf die Konsistenz der in ICNIRP 2010 empfohlenen Referenzwerte in Bezug auf die Sicherstellung der Einhaltung der Basiswerte.

Ziel dieses Projektes war es daher, auf Basis optimierter Vorgangsweisen bei der Ermittlung der Bewertungsgröße (Mittelungsalgorithmus, dabei insbesondere Behandlung von Gewebegrenzschichten, Perzentilbildung, etc.) und unter Berücksichtigung verbleibender Unsicherheiten, zu überprüfen, ob bzw. in welchem Maße die geltenden Regelungen und Empfehlungen zum Schutz vor niederfrequenten elektromagnetischen Feldern (26.BImSchV) hinsichtlich der in den aktuellen ICNIRP-Empfehlungen festgesetzten Basiswerte konservativ sind.

Dazu wurde, ausgehend von einer umfassenden Bestandsaufnahme bezüglich gegenwärtig vorliegender Expositionsbewertungsverfahren, zunächst die Frage nach dem bestgeeigneten Mittelungsalgorithmus und der bestgeeigneten Bewertungsgröße (maximaler Mittelwert oder Perzentile) untersucht. Unter Verwendung dieses optimierten Bewertungsverfahrens wurden anschließend numerische Berechnungen mit unterschiedlichen anatomischen Körpermodellen sowohl bei homogener Befeldung des ganzen Körpers in elektrischen und magnetischen Feldern, als auch bei ausgeprägt inhomogener Teilkörperexposition durch realistische Quellenmodelle realer Feldquellen durchgeführt. Schließlich erfolgten noch spezifische Betrachtungen im Hinblick auf Unsicherheiten der elektrisch relevanten Gewebeparameter und den speziellen Verhältnissen bei der Bewertung der induzierten elektrischen Feldstärke in der Haut und in der Retina.

## **2 BESTANDSAUFNAHME**

### **2.1 Gegenüberstellung unterschiedlicher Schutzkonzepte im Frequenzbereich bis 10 MHz**

Für die strahlenschutztechnische Beurteilung der Exposition gegenüber niederfrequenten elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern gelten derzeit die Effekte auf das Zellmembranpotenzial und die damit verknüpften Möglichkeiten des Auslösens von Aktionspotenzialen bzw. die Beeinflussung von Schwellwerten der Zell-Erregbarkeit als die biologisch relevanten und wissenschaftlich etablierten Effekte. Sie stellen die Basis für von unterschiedlichen Institutionen herausgegebene Empfehlungen dar. Trotz dieser gemeinsamen Basis sind die Empfehlungen unterschiedlicher Institutionen im Allgemeinen nicht identisch. Als Gründe dafür können einerseits unterschiedliche Auslegungen des Interpretationsspielraums der vorliegenden wissenschaftlichen Daten im Hinblick auf das reale Gefährdungspotenzial, und andererseits der kontinuierlich fortschreitende wissenschaftliche Erkenntnisgewinn bei jedoch asynchroner Publikation von Empfehlungen der unterschiedlichen Institutionen genannt werden.

In den nachfolgenden Kapiteln sollen zunächst die Beurteilungskonzepte und die Basis der weltweit gegenwärtig wahrscheinlich wichtigsten Dokumente mit Empfehlungen zum Schutz vor niederfrequenten elektrischen und magnetischen Felder, den ICNIRP Empfehlungen aus 1998 [2] und 2010 [1], sowie dem IEEE Standard C95.6 aus 2002 [6], gegenübergestellt werden. Anschließend erfolgt eine Zusammenfassung bzw. Gegenüberstellung der auf EU-Ebene und nationaler Ebene in Deutschland gegenwärtig vorhandenen Regelwerke zum Schutz der Bevölkerung vor gesundheitlich nachteiligen Effekten der Exposition gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern.

#### **2.1.1 ICNIRP Guidelines 1998 [2]**

Die internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP) veröffentlichte im Jahr 1998 Empfehlungen zur Begrenzung der Exposition durch zeitlich veränderliche elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich bis 300 GHz. Zur Vermeidung der oben genannten Effekte auf das Zellmembranpotenzial (im Folgenden kurz „Reizwirkung“ genannt) werden in diesem Dokument Basiswerte für die im Zentralnervensystem induzierte Stromdichte  $J$  im Frequenzbereich bis 10 MHz festgelegt. In der wissenschaftlichen Literatur vor der Veröffentlichung der ICNIRP-Guidelines 1998 teilweise berichtete Hinweise auf anderen Feldwirkungen, insbesondere Langzeitwirkungen, wurden zwar in den Review-Prozess der Empfehlungen eingeschlossen, jedoch von ICNIRP als zu wenig konklusiv für die Ableitung quantitativer Empfehlungen angesehen.

##### **2.1.1.1 (Elektro-) Biologische Basis der ICNIRP Guidelines 1998**

Die Grundlage für die Festsetzung der Basiswerte in den ICNIRP Guidelines 1998 sind wissenschaftliche Befunde, die im Frequenzbereich zwischen 4 Hz und 1 kHz, ab Gewebestromdichten von 10-100 mA/m<sup>2</sup> Einflüsse auf elektrisch erregbare Gewebe und kognitive Funktionen zeigen. Oberhalb von 100 mA/m<sup>2</sup> muss von einer Überschreitung der Schwellwerte für das Auslösen von Aktionspotenzialen in Nervengewebe ausgegangen werden und oberhalb von 1 A/m<sup>2</sup> mit der Beeinflussung der Herzaktivität. Zusätzlich wird in ICNIRP 1998 angeführt, dass die Relevanz und die Wahrscheinlichkeit für irreversible Veränderungen von Gewebefunktionen bei chronischer Exposition mit Stromdichten oberhalb von ca. 10-100 mA/m<sup>2</sup> ansteigen. Eine Begrenzung der Gewebestromdichte auf 10 mA/m<sup>2</sup> in Kopf, Nacken und Rumpf im Frequenzbereich von 4 Hz bis 1 kHz wird daher von ICNIRP in den Empfehlungen aus 1998 als angemessen angesehen. Unterhalb von 4 Hz bzw. oberhalb von 1 kHz (bis 10 MHz) sinkt die Empfindlichkeit von Nerven und

Muskelgewebe im Hinblick auf beobachtbare Effekte überproportional mit abnehmender bzw. zunehmender Frequenz, was entsprechend frequenzabhängige Basiswerte rechtfertigt.

### 2.1.1.2 Basiswerte und Sicherheitsfaktoren

Ausgehend von der oben genannten Schwelle von  $100 \text{ mA/m}^2$  für Stimulationseffekte im Zentralnervensystem legt ICNIRP den Basiswert für berufliche Exposition im Frequenzbereich von 4 Hz – 1 kHz, unter Angabe eines Sicherheitsfaktors von 10, mit  $10 \text{ mA/m}^2$  fest (für Kopf und Rumpf, gemäß Tabelle 4 in [2]). Für die Allgemeinbevölkerung wird ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor von 5 angegeben, so dass sich der zugehörige Basiswert für Kopf und Rumpf im Frequenzbereich 4 Hz – 1 kHz zu  $2 \text{ mA/m}^2$  ergibt.

Die Tatsache, dass die Basiswertfestsetzung vom Schwellwert für Stimulationseffekte (Auslösen von Aktionspotenzialen) ausgeht und nicht von bereits ab ca.  $2\text{-}20 \text{ mA/m}^2$  berichteten Effekten zufolge von unterschwelligen Membranpotenzialverschiebungen (z.B. Magnetophosphene) führte nach Veröffentlichung der ICNIRP Guidelines 1998 zu Kritik seitens unterschiedlicher Institutionen. Zu dieser Kritik wurde von ICNIRP im Dokument *Use of the ICNIRP EMF Guidelines* [7] Stellung genommen. In [7] wird diesbezüglich eingeräumt, dass der Sicherheitsfaktor des Basiswertes für berufliche Exposition im Hinblick auf diese Effekte in der Tat wesentlich geringer als 10 ist, es wird jedoch auch gleichzeitig darauf hingewiesen, dass diese Effekte (wie z.B. Magnetophosphene) als nicht gesundheitsgefährdend anzusehen sind.

Tabelle 2.1 und Abbildung 2.1 zeigen tabellarisch und grafisch die in ICNIRP 1998 definierten Basiswerte zur Vermeidung von Reizwirkungen bzw. Stimulationseffekten im Frequenzbereich bis 10 MHz.

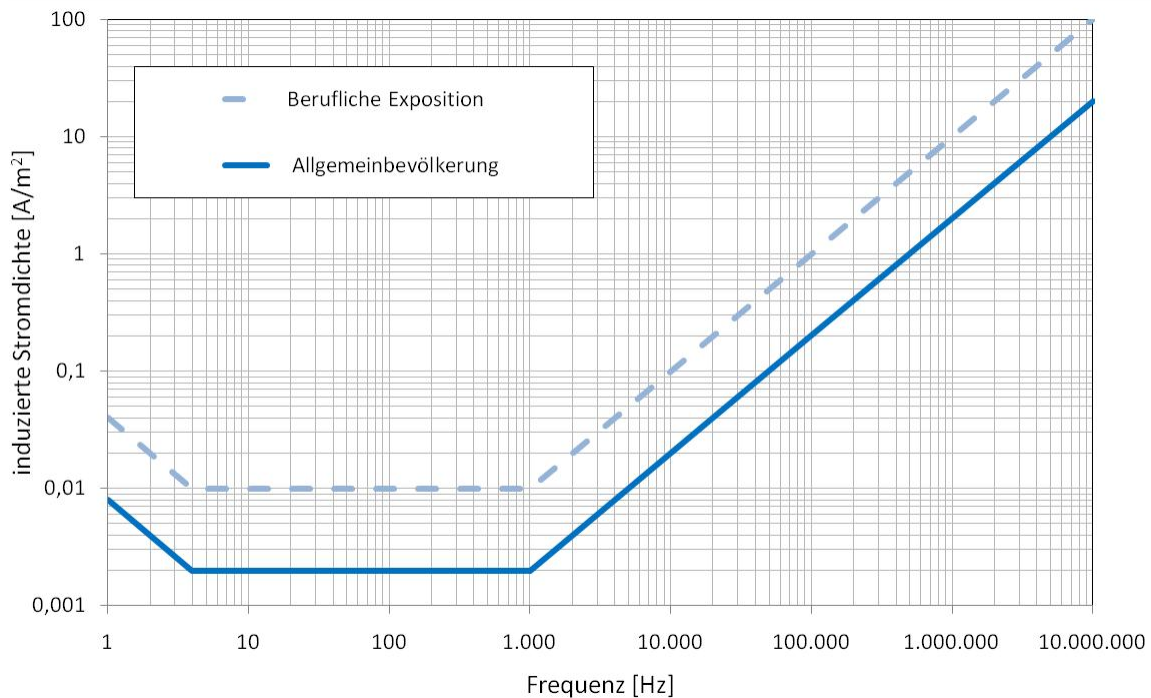
Frequenz f	Basiswert für induzierte Stromdichte [ $\text{mA/m}^2$ ]	
	berufliche Exposition	Allgemeinbevölkerung
bis 1 Hz	40	8
1 – 4 Hz	$40/f$	$8/f$
4 Hz – 1 kHz	10	2
1 kHz – 10 MHz	$f/100$	$f/500$

**Tabelle 2.1:** Basiswerte für die über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromrichtung zu mittelnde induzierte Stromdichte im Zentralnervensystem-Gewebe im Frequenzbereich 1 Hz bis 10 MHz gemäß ICNIRP 1998. Die Frequenz f ist zur Berechnung des jeweiligen Basiswertes in Hz einzusetzen.

### 2.1.1.3 Zeitliche und räumliche Mittelung der induzierten Stromdichte

Bezüglich zeitlicher Mittelung wird in ICNIRP 1998 in einer Fußnote zu Tabelle 4 angegeben, dass im Frequenzbereich bis 100 kHz die zulässigen Spitzenwerte der induzierten Gewebestromdichte aus den in der Tabelle angegebenen Basiswerten (zu verstehen als Effektivwerte harmonischer Größen) durch Multiplikation mit  $1,414 (= \sqrt{2})$  berechnet werden können. Für den Frequenzbereich 100 kHz – 10 MHz wird kein Hinweis auf zulässige Stromdichtespitzenwerte im Hinblick auf die Reizwirkung gegeben, wobei jedoch kein plausibler Grund besteht, die genannte Vorgangsweise nicht auf den Frequenzbereich bis 10 MHz auszudehnen. Für die Beurteilung von gepulsten Feldern (Pulsdauer  $t_p$ ) wird empfohlen, die für die Frequenz  $1/t_p$  definierten Basiswerte heranzuziehen.

Im Hinblick auf die räumliche Mittelung der induzierten Stromdichte vor dem Vergleich mit den Basiswerten, wird in ICNIRP 1998 (in einer Fußnote zu Tabelle 4) eine Mittelung über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung angegeben. Als Begründung für diese Mittelung wird in dieser Fußnote lediglich „die Inhomogenität des Körpers“ angegeben, jedoch ohne nähere Erläuterung für den angegebenen Vorschlag. Speziell das Fehlen konkreter Spezifikationen für den zu verwendenden Mittelungsalgorithmus ist Ursache für große Unsicherheiten in der Beurteilung von Expositionssituationen (siehe Kapitel 2.3.2).



**Abbildung 2.1:** Basiswerte für die über 1 cm<sup>2</sup> quer zur Stromrichtung zu mittelnde induzierte Stromdichte im Zentralnervensystem-Gewebe im Frequenzbereich 1 Hz bis 10 MHz gemäß ICNIRP 1998

#### 2.1.1.4 Beschränkung auf Gewebe des Zentralnervensystems

Die Beschränkung der Gültigkeit der Basiswerte in ICNIRP 1998 ausschließlich für das Zentralnervensystem wurde durch ICNIRP im Dokument *Response to Questions and Comments on the Guidelines for Limiting Exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)* [8] klargestellt, ergänzt um den Hinweis, dass in anderen Geweben höhere Stromdichten erlaubt sein können, ohne jedoch konkrete Hinweise auf die Größenordnungen zu geben. Abgesehen von dieser Stellungnahme in [8] erscheint die Absicht von ICNIRP, die Gültigkeit der in den Empfehlungen aus 1998 definierten Basiswerte ausschließlich auf Zentralnervensystemgewebe einzuschränken, jedoch nicht vollkommen klar kommuniziert. Im Originaldokument [1] wird als Basis für die Begrenzung der Exposition, unter anderem, ausdrücklich die Stimulation von peripheren Nerven angeführt („... and so these guidelines are based on short-term, immediate health effects such as stimulation of peripheral nerves and muscles, .....“).

Und auch im Dokument *Use of the ICNIRP EMF Guidelines* [7], das zeitlich nach der einschränkenden Klarstellung in [8] veröffentlicht wurde, ist zu lesen: „Since one of the objectives of the new ICNIRP guidelines is to avoid stimulation of peripheral nerves and muscles, .....“.

#### 2.1.1.5 Ableitung der Referenzwerte

Die Ableitung der Referenzwerte in Form von Maximalwerten der äußeren ungestörten, einer Routinemessung zugänglichen, elektrischen und magnetischen Feldstärken erfolgte unter der Annahme homogener Befeldung bei gleichzeitig ungünstiger Ausrichtung der Körpers (maximale Feldeinkopplung), mit der Absicht die Referenzwerte damit als konservative Vergleichswerte zu definieren, aus deren Unterschreitung gleichzeitig auch die Unterschreitung der Basiswerte gefolgert werden kann. Umgekehrt bedeutet damit eine Überschreitung der Referenzwerte nicht zwangsläufig auch eine Überschreitung der Basiswerte.

Die Ableitung der Referenzwerte für die magnetische Feldstärke erfolgte auf Basis von Berechnungen mittels des Induktionsgesetzes mit sehr einfachen homogenen Kreisscheiben- bzw. Ellipsoid-Modellen, um die im Körper bzw. in unterschiedlichen Organen induzierte Stromdichte mit dem äußeren ungestörten magnetischen Feld in Verhältnis setzen zu können. Bis 65 kHz werden die Referenzwerte der magnetischen Feldstärke für die Allgemeinbevölkerung konstant um einen Faktor 5 unterhalb der Referenzwerte für berufliche Exposition angesetzt. Im Frequenzbereich zwischen 65 und 150 kHz verringert sich dieser Faktor auf 2,2 und wird dann bis 10 MHz beibehalten (vgl. Abbildung 2.5 mit Abbildung 2.6).

Für die Ableitung der Referenzwerte für die elektrische Feldstärke wird einerseits eine in der Literatur dokumentierte (frequenzproportionale) maximale Induktionswirkung bei 50 Hz von ca.  $2 \text{ mA/m}^2$  im Nacken und Rumpf pro  $5 \text{ kV/m}$  homogener (exakt in Richtung der Körperlängsachse gerichteter) elektrischer Feldstärke herangezogen. Andererseits wird eine Feldstärke von  $10 \text{ kV/m}$  (50 Hz) als ausreichend zur Vermeidung von Stimulationseffekten zufolge der Berührung ungeerdeter metallischer Objekte im Feldraum angesehen. Davon ausgehend, wird der Referenzwert für die elektrische Feldstärke bei 50 Hz und beruflicher Exposition mit  $10 \text{ kV/m}$  festgelegt und für die Allgemeinbevölkerung zusätzlich um einen Faktor 2 abgesenkt, d.h. auf  $5 \text{ kV/m}$  festgelegt (vgl. Abbildung 2.7 und Abbildung 2.8). Im Frequenzbereich von 25 Hz bis 820 Hz werden die Referenzwerte für berufliche Exposition als umgekehrt proportional zur Frequenz definiert, wobei für Frequenzen  $< 25 \text{ Hz}$  konstant  $20 \text{ kV/m}$  gilt (zur Vermeidung von Stimulationseffekten zufolge der Berührung ungeerdeter metallischer Objekte im Feldraum). Zwischen 820 Hz und 1 MHz liegt der Referenzwert für berufliche Exposition (wegen der mit der Frequenz abnehmenden Empfindlichkeit der Gewebe für Reizwirkungen) konstant bei  $610 \text{ V/m}$ , bevor er zwischen 1 MHz und 10 MHz wieder umgekehrt proportional zur Frequenz abnimmt (Berücksichtigung von Ganzkörperresonanzeffekten im Hinblick auf thermische Effekte bei homogener Ganzkörperbefeldung). Das Verhältnis der Referenzwerte für die elektrische Feldstärke zwischen beruflicher Exposition und Allgemeinbevölkerung entspricht bis 820 Hz einem Faktor 2, zwischen 3 kHz und 1 MHz einem Faktor 7 und bei 10 MHz einem Faktor 2,18. In den Übergangsbereichen wird entsprechend interpoliert.

Aufgrund der Annahme homogener Ganzkörperbefeldung bei der Ableitung sind die Referenzwerte gemäß ICNIRP 1998 als über den Körper der exponierten Person gemittelte Feldstärkewerte zu verstehen, jedoch unter der wichtigen Voraussetzung, dass auch lokal die Basiswerte eingehalten werden. Aufgrund der Tatsache, dass die Basiswerte nur für Gewebe des Zentralnervensystems definiert wurden, lässt diese Auslegung, ohne weitere Überprüfung, sehr hohe lokale Feldstärken, vor allem im Bereich der Gliedmaßen zu, die in vielen praktischen Fällen auch tatsächlich auftreten (z.B. Schweißgeräte etc.).

Hinsichtlich der Überprüfung der Einhaltung der Basiswerte wird in den ICNIRP Guidelines 1998 ausdrücklich angemerkt, dass es ausreicht, die Referenzwerte der elektrischen und magnetischen Feldstärke, getrennt voneinander beurteilt, einzuhalten (Zitat der Begründung: *„This is because, for protection purposes, the currents induced by electric and magnetic fields are not additive“*).

### **2.1.2 ICNIRP Guidelines 2010 [1]**

Ende 2010 veröffentlichte ICNIRP neue Guidelines mit Empfehlungen für den Frequenzbereich von 1 Hz-10 MHz. Dieses Dokument ist als Revision der alten Guidelines aus 1998 [2], unter Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse im betrachteten Frequenzbereich bis 10 MHz zu verstehen. Grundsätzlich wird darin nach wie vor ausschließlich die Reizwirkung als der einzige etablierte biologische Wirkungsmechanismus niederfrequenter Felder angesehen, der als Basis für die Ableitung quantitativer Empfehlungen verwendbar ist. Im Hinblick auf mögliche Langzeitwirkungen wird in ICNIRP 2010 konkret auf die auf Basis von Ergebnissen aus epidemiologischen Studien getroffene Klassifizierung von 50/60 Hz Magnetfeldern als mögliches Kanzerogen durch IARC

eingegangen. Aufgrund der schwachen Evidenz für einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang dieser Ergebnisse kann dieser Effekt gemäß ICNIRP nicht zur Festsetzung von Basiswerten herangezogen werden. Es wird jedoch auf Empfehlungen der WHO und anderer Institutionen im Hinblick auf Risikomanagement-Maßnahmen unter Einbeziehung von Vorsorgemaßnahmen hingewiesen.

### 2.1.2.1 (Elektro-) Biologische Basis der ICNIRP Guidelines 2010

Eine wesentliche Neuerung der ICNIRP 2010 Guidelines im Vergleich zu ICNIRP 1998 ist die Einführung der induzierten elektrischen Feldstärke  $E_i$  als Basisgröße, anstatt der in ICNIRP 1998 verwendeten induzierten Stromdichte  $J$ . Obwohl  $E_i$  und  $J$  lokal im Gewebe durch die elektrische Gewebeleitfähigkeit eindeutig miteinander verknüpft sind, stellt die Verwendung von  $E_i$  aus dosimetrischer Sicht eine Verbesserung dar, da bei gleicher biophysikalischer Aussagekraft die Gesamtunsicherheiten wesentlich verringert werden [4].

Eine weitere wichtige Neuerung in ICNIRP 2010 ist die Tatsache, dass nunmehr ausdrücklich auch Basiswerte für alle Gewebe und nicht nur für Gewebe des Zentralnervensystems definiert wurden. In ICNIRP 2010 werden hinsichtlich der Basiswertfestlegung zwei unterschiedliche Gewebegruppen unterschieden, nämlich:

- *Gewebe des Zentralnervensystems im Kopf*  
und
- *alle Gewebe in Kopf und Körper.*

Die Definition von Basiswerten für *alle Gewebe in Kopf und Körper* dient der Vermeidung von Stimulationseffekten in peripheren Nerven bzw. im peripheren Nervensystem (PNS). Periphere Nerven sind in vielen Geweben, wie z.B. auch in der Haut und Fettgewebe eingebettet, bzw. enthalten die meisten Gewebe des menschlichen Körpers freie Nervenendigungen (Nozizeptoren).

Seitens der Dosimetrie liegen bisher keine verlässlichen Daten für Konversionsfaktoren zur Umrechnung von externer Feldstärke auf die in peripherem Nervengewebe bzw. in Nervenendigungen induzierte elektrische Feldstärke vor. In Anbetracht dieser Tatsache wurde von ICNIRP, mit der Begründung, dass die Haut Nervenendigungen enthält, die Haut als worst-case Zielgewebe für die Festlegung der Basiswerte für *alle Gewebe in Kopf und Körper* gewählt. Warum gerade die Haut aus allen in Frage kommenden, d.h., Nervenendigungen enthaltenden Geweben gewählt wurde, wird zwar nicht näher begründet, ist jedoch wahrscheinlich darin zu sehen, dass in [3] die Haut, neben Fett und Knochen, als eines jener Gewebe ausgewiesen ist, in dem die größten elektrische Feldstärken durch Exposition in externen elektrischen und magnetischen Feldern induziert werden und zusätzlich die Haut als das Gewebe mit der größten Nozizeptordichte anzusehen ist.

In der tabellarischen Zusammenstellung der Basiswerte in ICNIRP 2010 wird, wie oben erwähnt, neben den Basiswerten für die *Gewebe des Zentralnervensystems im Kopf*, daher ein zweiter Satz von Basiswerten für *alle Gewebe in Kopf und Körper* (Originaltext: „*All tissues of head and body*“) angeführt, um Stimulationseffekte in peripherem Nervengewebe zu vermeiden. Ob der Begriff „*alle Gewebe in Kopf und Körper*“ im Sinne von „*alle Gewebe in Kopf und Körper, die periphere Nerven bzw. Nervenendigungen enthalten*“ zu interpretieren ist, oder ob er strikt, wie formuliert, im Sinne „alle Gewebe in Kopf und Körper“ zu verstehen ist, erscheint dabei diskussionswürdig. Vor dem Hintergrund des beabsichtigten Schutzes von Stimulationseffekten in Nervengewebe liegt zunächst eine Interpretation im Sinne von „*alle Gewebe in Kopf und Körper, die periphere Nerven bzw. Nervenendigungen enthalten*“ nahe. Hält man sich jedoch die Tatsachen vor Augen, dass

1. die meisten Gewebe im menschlichen Körper Nozizeptoren enthalten,

2. viele dieser Nozizeptoren-enhaltenden Gewebe in den gegenwärtig verfügbaren Körpermodellen, aufgrund limitierten Auflösungsvermögens der Modelle, überhaupt nicht berücksichtigt sind (z.B. Knochenhaut)
3. Nervenbahnen in vielen unterschiedlichen Geweben eingebettet sind, bzw. eng an unterschiedliche Gewebe anliegen (Fett, Muskel, Bindegewebe, Knochen, etc.)
4. die, die Nervenbahnen unmittelbar umgebende bindegewebigen Strukturen (Endoneurium, Perineurium, Epineurium) in den gegenwärtig verfügbaren Körpermodellen, aufgrund limitierten Auflösungsvermögens der Modelle, nicht berücksichtigt sind,

erscheint eine Interpretation des Begriffs im Sinne „alle Gewebe in Kopf und Körper“ für das Ziel einer konservativen Expositionsbeurteilung durchaus sinnvoll.

Beispielsweise verlaufen Nervenbahnen häufig durch enge Knochenkanäle (vor allem im Kopf), wobei diese Nervenbahnen in den gegenwärtig verfügbaren Körpermodellen, zumeist nicht berücksichtigt sind. Schließt man aufgrund einer Begriffsinterpretation im Sinne „*alle Gewebe in Kopf und Körper, die periphere Nerven bzw. Nervenendigungen enthalten*“ Knochen kategorisch von einer Bewertung der induzierten elektrischen Feldstärke aus, schließt man zwangsläufig auch die Bewertung für die genannten Nervenbahnen aus. Ähnlich kann für stark innervierte Gewebe, wie z.B. Knochenhaut, Magen- und Darmtrakt, Muskel, etc. argumentiert werden.

Vor diesem Hintergrund und mit dem Ziel einer sinnvoll konservativen Expositionsbeurteilung wird im Folgenden die betreffende Formulierung im Sinne „alle Gewebe in Kopf und Körper“ interpretiert und für diese Gewebe im Weiteren die kompakte Bezeichnung „PNS-Gewebe“ (als Hinweis auf das eigentliche Schutzziel) verwendet.

Für die *Gewebe des Zentralnervensystems im Kopf* (im Folgenden auch kurz „CNS-Gewebe“ oder synonym „ZNS-Gewebe“ genannt) wird für die Basiswertfestsetzung von dokumentierten minimalen Schwellwerten für das Auslösen von Phosphenen von ca. 50 mV/m (bei 20 Hz) ausgegangen. Unterhalb dieser Schwelle wird davon ausgegangen, dass auch andere transiente Einflüsse auf das Zellmembranpotenzial unterhalb relevanter Grenzen bleiben. Da der Schwellwert für das Auslösen von Phosphenen unterhalb und oberhalb von 20 Hz mit fallender bzw. steigender Frequenz  $f$  stark ansteigt, ist die Annahme eines konstanten Schwellwertes von 50 mV/m nur in einem sehr schmalen Frequenzbereich von 10 – 25 Hz gerechtfertigt und darunter bzw. darüber entsprechend proportional mit  $1/f$  bzw.  $f$  ansteigend angenommen.

Für *alle Gewebe in Kopf und Körper* wird die Vermeidung der Stimulation von myelinisierten Nerven als Grundlage zur Festlegung von Basiswerten herangezogen. Für diesen Effekt ist ein minimaler Schwellwert von ca. 4 V/m in der Literatur dokumentiert, wobei in konservativer Weise dieser Schwellwert als gültig im Frequenzbereich bis 3 kHz angenommen wird. Oberhalb von 3 kHz ist auch hier ein starker Anstieg der Stimulationsschwellwerte anzunehmen, was einen frequenzproportionalen Anstieg des Basiswertes für *alle Gewebe in Kopf und Körper* oberhalb von 3 kHz (bis 10 MHz) rechtfertigt.

### 2.1.2.2 Basiswerte und Reduktionsfaktoren

Ausgehend von den obigen Überlegungen wird in ICNIRP 2010 der Schwellwert von 50 mV/m gleichzeitig als Basiswert für Gewebe des Zentralnervensystems im Kopf für berufliche Exposition im Frequenzbereich 10-25 Hz festgelegt, d.h., es wird für berufliche Exposition kein Reduktionsfaktor zur Schwelle für das Auslösen von Phosphenen verwendet. Dies wird damit begründet, dass die genannten Effekte nicht als gesundheitlich relevant eingestuft werden, wenngleich angemerkt wird, dass sie unter Umständen als störend einzustufen sind und wenn möglich vermieden werden sollten. Für die Allgemeinbevölkerung wird ein Reduktionsfaktor von 5 für die Basiswerte für Gewebe des Zentralnervensystems im Kopf verwendet, d.h. der Basiswert im Frequenzbereich 10-25 Hz wird mit 10 mV/m



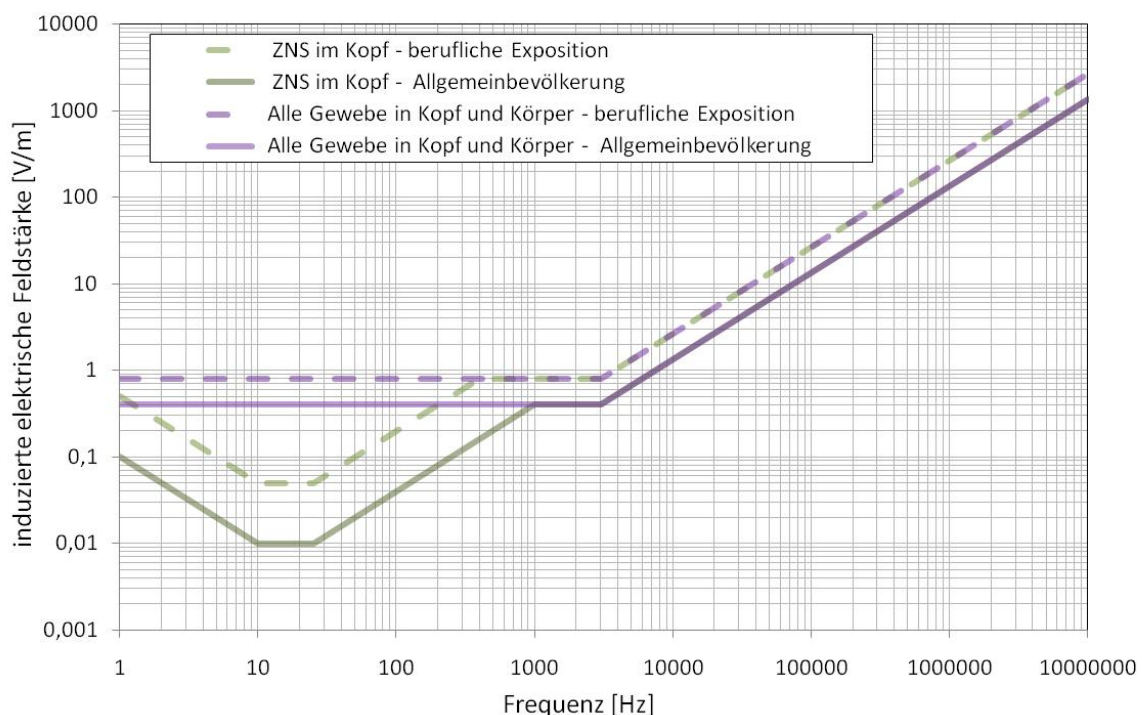
festgelegt. Unterhalb von 10 Hz bzw. oberhalb von 25 Hz steigen die Basiswerte für Gewebe des Zentralnervensystems im Kopf proportional mit  $1/f$  bzw.  $f$  an.

Die Basiswerte für alle Gewebe in Kopf und Körper werden ausgehend vom oben genannten minimalen Schwellwert von 4 V/m im Frequenzbereich bis 3 kHz, unter Einführung eines Reduktionsfaktors von 5 auf 800 mV/m für berufliche Exposition festgelegt. Für die Allgemeinbevölkerung wird ein zusätzlicher Reduktionsfaktor von 2 verwendet, was zu einem Basiswert für alle Gewebe in Kopf und Körper von 400 mV/m führt. Oberhalb von 3 kHz steigen die genannten Basiswerte frequenzproportional an.

Tabelle 2.2 und Abbildung 2.2 zeigen tabellarisch und grafisch die in ICNIRP 2010 definierten Basiswerte zur Vermeidung von Reizwirkungen im Frequenzbereich bis 10 MHz.

Frequenz $f$	Basiswert für induzierte elektrische Feldstärke in Gewebe des Zentralnervensystems im Kopf [V/m]	
	berufliche Exposition	Allgemeinbevölkerung
1 -10 Hz	$0,5/f$	$0,1/f$
10 – 25 Hz	0,05	0,01
25 - 400 Hz	$0,002 \cdot f$	$0,0004 \cdot f$
400 Hz – 1 kHz	0,8	$0,0004 \cdot f$
1 kHz – 3 kHz	0,8	0,4
3 kHz – 10 MHz	$0,00027 \cdot f$	$0,000135 \cdot f$
Frequenz $f$	Basiswert für induzierte elektrische Feldstärke für alle Gewebe in Kopf und Körper [V/m]	
	berufliche Exposition	Allgemeinbevölkerung
1 Hz – 3 kHz	0,8	0,4
3 kHz – 10 MHz	$0,00027 \cdot f$	$0,000135 \cdot f$

**Tabelle 2.2:** Basiswerte für die im Gewebe induzierte elektrische Feldstärke gemäß ICNIRP 2010 im Frequenzbereich 1 Hz bis 10 MHz. Die Frequenz  $f$  ist zur Berechnung des jeweiligen Basiswertes in Hz einzusetzen.



**Abbildung 2.2:** Basiswerte für die im Gewebe induzierte elektrische Feldstärke gemäß ICNIRP 2010 im Frequenzbereich 1 Hz bis 10 MHz

### **2.1.2.3 Zeitliche und räumliche Mittelung der induzierten elektrischen Feldstärke**

Im Hinblick auf die zeitliche Mittelung der induzierten elektrischen Feldstärke wird in ICNIRP 2010 darauf hingewiesen, dass für die Vermeidung von Reizwirkungen keine zeitliche Mittelung rechtfertigbar ist, da auch kurzzeitig auftretende Impulse zu den genannten unerwünschten Effekten führen können. Die Umrechnung von den als Effektivwerte harmonischer Größen gegebenen Basiswerten auf Basis-Spitzenwerte der induzierten Feldstärke erfolgt daher durch Multiplikation mit  $1,414 (= \sqrt{2})$ . Eine einfache Anleitung zur Berechnung der zulässigen Spitzenwerte für komplexe Signalformen ist im Anhang von ICNIRP 2010 gegeben. Für Details wird auf [9] verwiesen.

Bezüglich der räumlichen Mittelung der im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke wird in ICNIRP 2010 betont, dass eine räumliche Mittelung schon allein auf Basis biologischer Überlegungen notwendig ist, da physiologisch immer das Integral über ein bestimmtes Zellmembranareal relevant ist, und nicht kleinräumige Potenzialmaximalwerte. Als biologisch sinnvolle Größen der Integrationsbereiche über Zellmembranen von Nervenzellen bzw. über Synapsenbereiche werden Größenordnungen von 1 – 7 mm bzw.  $1 \text{ mm}^3$  angesehen. Unter Einbeziehung von Überlegungen zu gegenwärtig verfügbaren Computerressourcen in der numerischen Dosimetrie schlägt ICNIRP in den Empfehlungen aus 2010 als praktischen Kompromiss ein Mittelungsvolumen von  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  vor. Weiters wird zur Unterstreichung der Notwendigkeit der räumlichen Mittelung von numerisch berechneten induzierten Feldstärken angemerkt, dass die Verwendung von Voxel-Maximalwerten für den Vergleich mit den Basiswerten zu großen Überschätzungen der tatsächlichen Verhältnisse, verursacht durch numerische Artefakte zufolge der räumlichen Diskretisierung des Rechenraumes führen kann. Zur Vermeidung derartiger Probleme wird die Verwendung des 99ten Perzentils ( $p_{99}$ ) anstatt des Maximalwertes als Lösung vorgeschlagen, wenngleich auch hier angemerkt wird, dass dabei die räumliche Auflösung des Rechenraumes entscheidenden Einfluss haben kann. Schließlich wird auch noch die Option der Mittelung über ein lineares Segment genannt, wie dies z.B. im Standard IEEE C95.6-2002 [6] vor dem Vergleich mit den dort definierten Basiswerten gefordert wird.

Für die Berechnung von gewebespezifischen Mittelwerten der induzierten Feldstärke gibt ICNIRP als generelle Regel an, dass das Mittelungsvolumen nicht über das jeweils betrachtete Gewebe hinausragen soll, mit Ausnahme der Mittelwertbildung in der Haut und in der Retina. Bei der empfohlenen Beibehaltung des Mittelungsvolumens von  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  wird nahegelegt, für die Mittelwertbildung in der Haut das Mittelungsvolumen in Richtung Unterhautgewebe und bei Mittelwertbildung in der Retina ins umliegende Gewebe reichen zu lassen.

Obwohl im Vergleich zu den ICNIRP Guidelines 1998 [2] in den Guidelines von 2010 [1] das Thema der räumlichen Mittelung der Basisgröße wesentlich fundierter begründet und plausibler erscheint, bieten auch die Festlegungen in ICNIRP 2010 wieder Interpretationsspielraum, der bereits zu kontroversen Diskussionen geführt hat bzw. führt. Beispielsweise herrscht teilweise Uneinigkeit darüber, ob die Mittelung über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  als Alternative zur Perzentilbildung, parallel zur Perzentilbildung oder in Kombination mit der Perzentilbildung angewendet werden soll. Weiters liegen erste Publikationen vor, die auf eine potenzielle Unterschätzung der tatsächlich induzierten elektrischen Feldstärke durch die Perzentilbildung hindeuten ([10],[47],[53]).

### **2.1.2.4 Ableitung der Referenzwerte**

Die Ableitung der Referenzwerte für die magnetische Feldstärke erfolgte auf Basis von in der wissenschaftlichen Literatur verfügbaren systematischen numerischen Berechnungen, basierend auf anatomischen Körpermodellen, wobei, wie auch in ICNIRP 1998, homogene Ganzkörperbefeldung und Ausrichtung des Körpermodells für maximale Einkopplung angenommen wurde, um konservative Referenzwerte zu erhalten ([3], [4], [5]). Die aus den genannten numerischen Berechnungen erhaltene, zugrunde gelegte maximale Induktionswirkung wird bei 50 Hz mit 33 V/m pro T für Gewebe des Zentralnervensystems

und mit 60 V/m pro T für andere Gewebe (im Hinblick auf die Stimulation von peripheren Nerven) angegeben und ist [3] entnommen. Zur Abdeckung dosimetrischer Unsicherheiten wurde weiters ein Reduktionsfaktor von 3 berücksichtigt, woraus sich beispielsweise bei 50 Hz ein Referenzwert für die magnetische Flussdichte von 796 A/m (entspricht 1 mT) bei beruflicher Exposition und von 159 A/m (entspricht 200  $\mu$ T) für die Allgemeinbevölkerung ergibt (vgl. Abbildung 2.5 und Abbildung 2.6).

Die Ableitung der Referenzwerte für die elektrische Feldstärke erfolgte im Frequenzbereich bis 25 Hz unter Berücksichtigung ausreichender Sicherheit im Hinblick auf die Vermeidung von Stimulationseffekten zufolge der Berührung ungeerdeter metallischer Objekte im Feldraum. Im Frequenzbereich zwischen 25 Hz und 10 MHz wurden ausschließlich Induktionseffekte für die Festlegung der Referenzwerte betrachtet (vgl. Abbildung 2.7 und Abbildung 2.8). Es wird in diesem Zusammenhang in ICNIRP 2010 daher explizit darauf hingewiesen, dass die Referenzwerte in diesem Frequenzbereich möglicherweise nicht ausreichen, um Stimulationseffekte zufolge der Berührung ungeerdeter metallischer Objekte im Feldraum unter allen Umständen auszuschließen. Die angegebenen Referenzwerte für die elektrische Feldstärke für die Allgemeinbevölkerung werden jedoch als ausreichend angesehen, um indirekte Effekte durch die Berührung ungeerdeter metallischer Objekte im Feldraum (Elektrisierung, Verbrennungen) in mehr als 90% der Bevölkerung zu verhindern. Ebenso wird in ICNIRP 2010 darauf verwiesen, dass bei 50 Hz die Referenzwerte für die elektrische Feldstärke für die Allgemeinbevölkerung ausreichen, um indirekte Effekte für die meisten Personen unterhalb der Wahrnehmungsschwelle zu halten.

Aufgrund der Annahme homogener Ganzkörperbefeldung bei der Ableitung sind die Referenzwerte als über den Körper der exponierten Person gemittelte Feldstärkewerte zu verstehen, jedoch unter der wichtigen Voraussetzung, dass auch lokal die Basiswerte eingehalten werden. Für die Bewertung von Expositionen in inhomogenen Feldern in der Praxis verweist ICNIRP auf mögliche Festlegungen von Standardisierungsgremien (Zitat: "*The standardization bodies also may derive new reference levels for special types of non-uniform exposure.*").

Bezüglich der Additivität der Induktionswirkungen von externer elektrischer und magnetischer Feldstärke wird in den neuen Guidelines 2010 die Möglichkeit der Additivität genannt, wenngleich in der Praxis als sehr selten bzw. wenig relevant eingestuft, insbesondere, wenn man die in der Praxis üblicherweise stark unterschiedlichen räumlichen Verteilungen der von äußeren elektrischen und magnetischen Feldern im Körper induzierten Feldstärke betrachtet.

### **2.1.3 IEEE C95.6- 2002 [6]**

Neben ICNIRP veröffentlicht auch das US-amerikanische Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) regelmäßig Empfehlungen im Hinblick auf die Sicherheit von Personen bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern. Der aktuelle Standard IEEE C95.6-2002 [6] legt Basiswerte und *maximum permissible exposure* (MPE-) Werte für den Frequenzbereich 0 Hz – 3 kHz fest. MPE-Werte sind dabei das Analogon zu den Referenzwerten bei ICNIRP. Ebenso wie bei ICNIRP werden diese Festlegungen auch für zwei unterschiedliche Klassen, nämlich Exposition der Allgemeinbevölkerung und Exposition in *kontrollierter Umgebung* (z.B. berufliche Exposition) getroffen. Der Frequenzbereich oberhalb von 3 kHz bis 300 GHz wird vom Standard IEEE C95.1-2005 [11] abgedeckt. Die in C95.6-2002 formal bis 3 kHz definierten Festlegungen im Hinblick auf die Vermeidung von Reizwirkungen werden in C95.1-2005 konsistent und lückenlos bis zu 5 MHz fortgeführt. D.h., alle Festlegungen in C95.6-2002 sind auch bis 5 MHz gültig.

Als Grundlage für die Festsetzung der empfohlenen Basiswerte in [6] werden von IEEE, wie auch von ICNIRP, ausschließlich akute Effekte auf das Zellmembranpotenzial verwendet. Wie in den ICNIRP Guidelines wird auch von IEEE in [6] betont, dass diskutierte mögliche Langzeiteffekte keine Basis für die getroffenen Empfehlungen waren, da die diesbezüglich

vorliegende wissenschaftliche Evidenz als unzureichend angesehen wird und kein plausibler Wirkungsmechanismus für solche Effekte bekannt ist.

### 2.1.3.1 (Elektro-) Biologische Basis von IEEE C95.6-2002

Ausgangspunkt der Überlegungen in IEEE C95.6-2002 sind die in der Literatur gut dokumentierten Schwellwerte der im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke  $E_0$  (inklusive zugehöriger Frequenz  $f_0$  maximaler Empfindlichkeit) für experimentell beobachtbare Auswirkungen von Zellmembranpotenzialverschiebungen. Neben der Auslösung von Aktionspotenzialen in unterschiedlichen Nervenfasern und Herzmuskelzellen, werden dabei auch Veränderungen der Synapsenaktivität betrachtet, die bereits bei Membranpotenzialveränderungen weit unterhalb der Schwellwerte für das Auslösen von Aktionspotenzialen zu beobachten sind. Beispielsweise werden Elektro- und Magnetophosphene den letztgenannten Effekten zugeschrieben. Insgesamt werden 4 Schwellwert/Frequenz-Paare als Grundlage für die weitere Festsetzung der Basiswerte herangezogen, wobei die in Tabelle 2.3 angegebenen Schwellwerte  $E_0$  jeweils als Median der wissenschaftlich dokumentierten Werte und als Effektivwerte harmonischer Größen zu verstehen sind.

beobachtbarer Effekt	$E_0$ [V/m]	$f_0$ [Hz]
Veränderungen der Synapsenaktivität im Gehirn	0,053	20
Auslösen von Aktionspotenzialen in 10 $\mu\text{m}$ dicken Nervenfasern (Gehirn)	8,70	3350
Auslösen von Aktionspotenzialen in 20 $\mu\text{m}$ dicken peripheren Nervenfasern	4,35	3350
Auslösen von Aktionspotenzialen in Herzmuskelzellen	8,49	167

**Tabelle 2.3:** Mediane der für die Festsetzung der Basiswerte in IEEE C95.6 zugrunde gelegten Schwellwerte  $E_0$  (Effektivwert) und zugehörige Frequenzen  $f_0$

### 2.1.3.2 Basiswerte und Reduktionsfaktoren

Ausgehend von den in Tabelle 2.3 zusammengefassten Schwellwert-Medianen werden unter Verwendung von Gewichtungsfaktoren für die biologische Relevanz (1,45 für das Auslösen von Aktionspotenzialen an peripheren Nerven, in allen anderen angeführten Fällen 1,0), Wahrscheinlichkeitsverteilungsfaktoren zur Umrechnung vom Median auf das sensitivste Perzentil (für alle angeführten Fälle 0,333) und Reduktionsfaktoren die Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung und kontrollierte Umgebung berechnet. Für kontrollierte Umgebung wird bezüglich des Auslösens von Aktionspotenzialen in Herzmuskelzellen ein Reduktionsfaktor von 0,333 verwendet, in allen anderen in Tabelle 2.3 angeführten Fällen ein Reduktionsfaktor von 1,0. Für die Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung wird im Hinblick auf das Auslösen von Aktionspotenzialen in peripheren Nervenzellen ein Reduktionsfaktor 1,0, für alle anderen in Tabelle 2.3 angeführten Fälle ein Sicherheitsfaktor von 0,333 verwendet. Die in Tabelle 2.4 zusammengefassten Basiswerte für unterschiedliche Körperregionen ergeben sich im Frequenzbereich  $\leq f_0$  aus den entsprechenden in Tabelle 2.3 angeführten Schwellwerten durch Multiplikation mit den genannten Gewichtungsfaktoren, Wahrscheinlichkeitsfaktoren und Sicherheitsfaktoren. Im Frequenzbereich unterhalb von  $f_0$  wird in konservativer Weise ein konstanter Basiswert angenommen. Oberhalb von  $f_0$  steigen die Basiswerte frequenzproportional an.

Abbildung 2.3 zeigt die Basiswerte für die induzierte elektrische Feldstärke grafisch als Funktion der Frequenz.

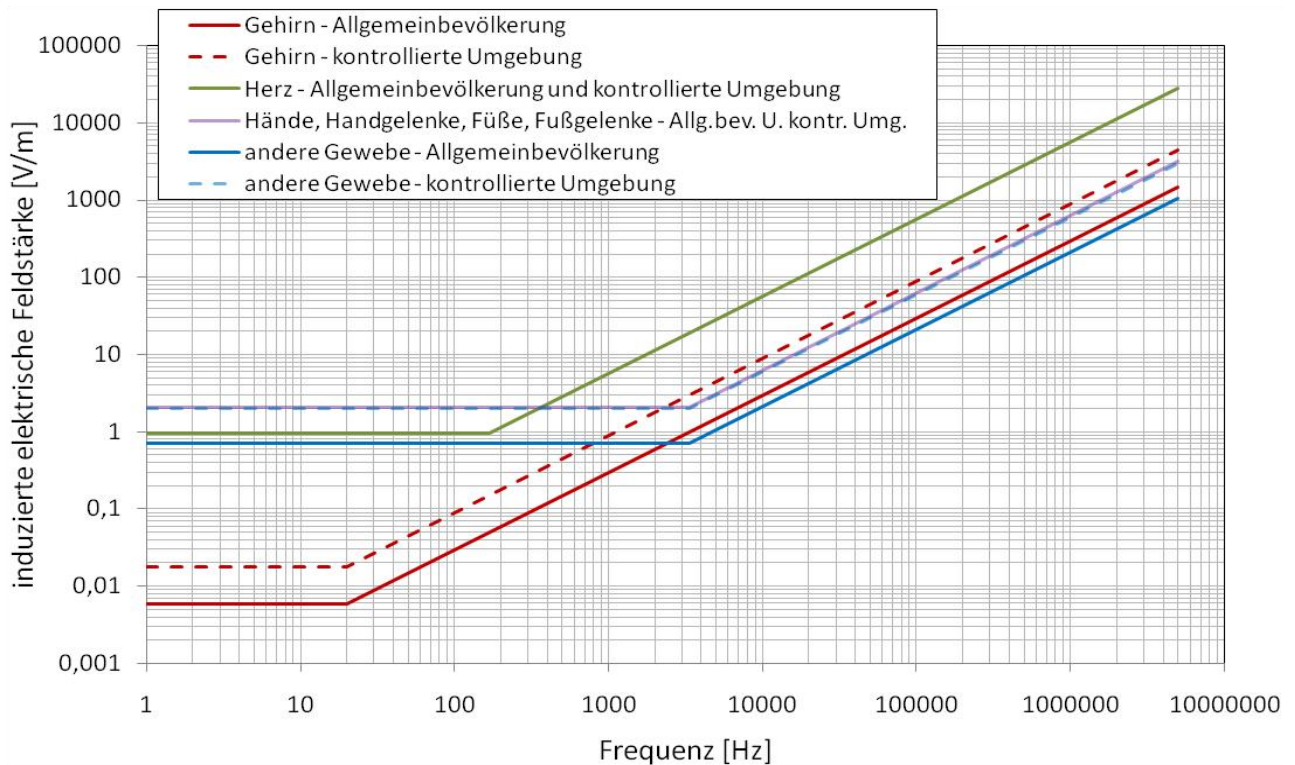
Zusätzlich zu den Basiswerten für die im Gewebe induzierte elektrische Feldstärke werden in [6] für Frequenzen unterhalb von 10 Hz auch maximal zulässige Spitzenwerte für die im Gewebe auftretende magnetische Flussdichte zur Vermeidung magnetohydrodynamischer Effekte definiert. Sie betragen 500 mT für kontrollierte Umgebung und 167 mT für die Allgemeinbevölkerung.

Körperregion	Frequenz f	Basiswert für induzierte elektrische Feldstärke $E_i$ [V/m]	
		kontr. Umgebung	Allgemeinbev.
Gehirn	bis 20 Hz	0,0177	0,00589
	20 Hz – 5.000.000 Hz	$0,0177 \cdot f / 20$	$0,00589 \cdot f / 20$
Herz	bis 167 Hz	0,943	0,943
	167 Hz – 5.000.000 Hz	$0,943 \cdot f / 167$	$0,943 \cdot f / 167$
Hände, Handgelenke, Füße, Fußgelenke	bis 3.350 Hz	2,10	2,10
	3.350 Hz – 5.000.000 Hz	$2,10 \cdot f / 3.350$	$2,10 \cdot f / 3.350$
andere Gewebe	bis 3.350 Hz	2,10	0,701
	3.350 Hz – 5.000.000 Hz	$2,10 \cdot f / 3.350$	$0,701 \cdot f / 3.350$

**Tabelle 2.4:** Basiswerte für die induzierte elektrische Feldstärke  $E_i$  (Effektivwerte) im Frequenzbereich bis 5 MHz, gemäß IEEE C95.6-2002

### 2.1.3.3 Zeitliche und räumliche Mittelung der induzierten Feldstärke

Eine adäquate zeitliche Mittelung der induzierten Feldstärke bzw. der Immissionsgrößen wird in [6] ebenfalls auf Basis biophysikalischer Überlegungen definiert. Für Frequenzen unterhalb von 25 Hz soll demnach ein Zeitintervall von 200 ms, für höhere Frequenzen von zumindest 5 Periodendauern, jedoch maximal 10 s für die Effektivwertbildung herangezogen werden. Die Spitzenwerte der induzierten elektrischen Feldstärke sind auf die in Tabelle 2.4 angeführten Basiswerte, multipliziert mit 1,414 ( $=\sqrt{2}$ ) zu begrenzen. Für die Bewertung gepulster induzierter elektrischer Feldstärken (Pulsdauer  $t_p$ ) sind die Basiswerte der Frequenz  $1/t_p$  heranzuziehen.



**Abbildung 2.3:** Basiswerte für die im Gewebe induzierte elektrische Feldstärke gemäß IEEE C95.6-2002 im Frequenzbereich 1 Hz bis 5 MHz

Bezüglich der räumlichen Mittelung der induzierten elektrischen Feldstärke wird in [6] auf Basis biophysikalischer Überlegungen festgelegt, dass der maximale arithmetische Mittelwert entlang einer geraden, 5 mm langen, beliebig orientierten Linie mit den festgelegten Basiswerten zu vergleichen ist.

#### **2.1.3.4 Ableitung der MPE-Werte**

Wie ICNIRP leitet auch IEEE aus den definierten Basiswerten unter konservativen Annahmen, Maximalwerte für die äußere elektrische und magnetische Feldstärke (bzw. Flussdichte) ab, bei deren Unterschreitung die Einhaltung der Basiswerte gefolgert werden kann.

Die Ableitung der MPE-Werte für die magnetische Feldstärke erfolgt in [6] getrennt für Kopf und Gliedmaßen, basierend auf einfachen, homogenen Ellipsoidmodellen, bei gleichförmiger Befeldung mit maximaler Feldeinkopplung. Ausgangsbasis der Überlegungen sind die in Tabelle 2.3 zusammengefassten Schwellwerte für die induzierte elektrische Feldstärke und die für ihre Erreichung notwendige zeitliche Änderungsrate der magnetischen Flussdichte dB/dt, woraus sich frequenzabhängige MPE-Werte für Kopf und Rumpf, für kontrollierte Umgebung und Allgemeinbevölkerung ergeben. Entsprechend der für Gliedmaßen weniger strengen Basiswerte ergeben sich dafür auch deutlich höhere MPE-Werte (vgl. Abbildung 2.5 und Abbildung 2.6).

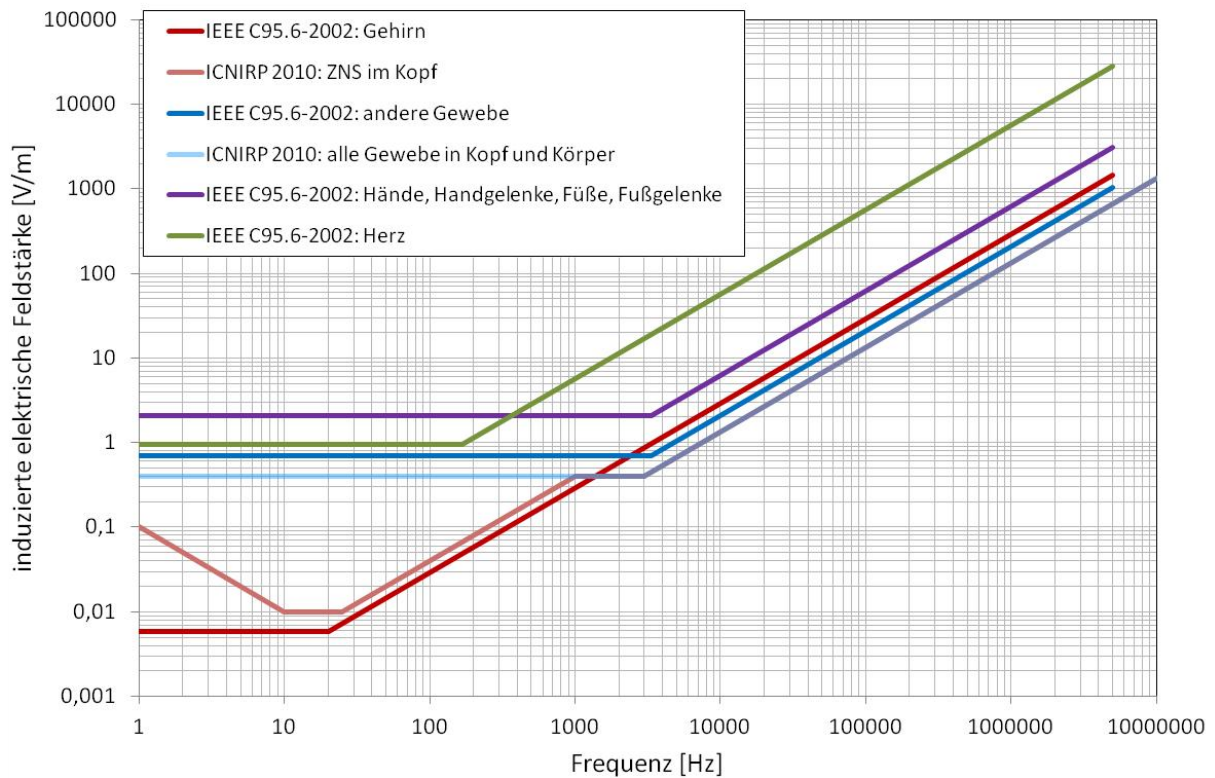
Für die Ableitung der MPE-Werte für die elektrische Feldstärke (vgl. Abbildung 2.7 und Abbildung 2.8) wird, vor allem im unteren Frequenzbereich, hauptsächlich die Vermeidung indirekter Effekte (Wahrnehmung bis Schmerz durch Funkenentladung) zufolge der Berührung ungeerdeter metallischer Objekte im Feldraum als der limitierende Effekt zugrunde gelegt. Die MPE-Werte bis einige hundert Hertz werden dabei, ähnlich wie bei ICNIRP, so festgelegt, dass zwar der Großteil der Bevölkerung ausreichend vor den genannten indirekten Effekten geschützt ist, das Auftreten der Effekte bei besonders sensiblen Personen in der Praxis aber nicht unter allen Umständen ausgeschlossen werden kann.

#### **2.1.4 Zusammenfassender Vergleich von ICNIRP 1998, ICNIRP 2010 und IEEE C95.6-2002**

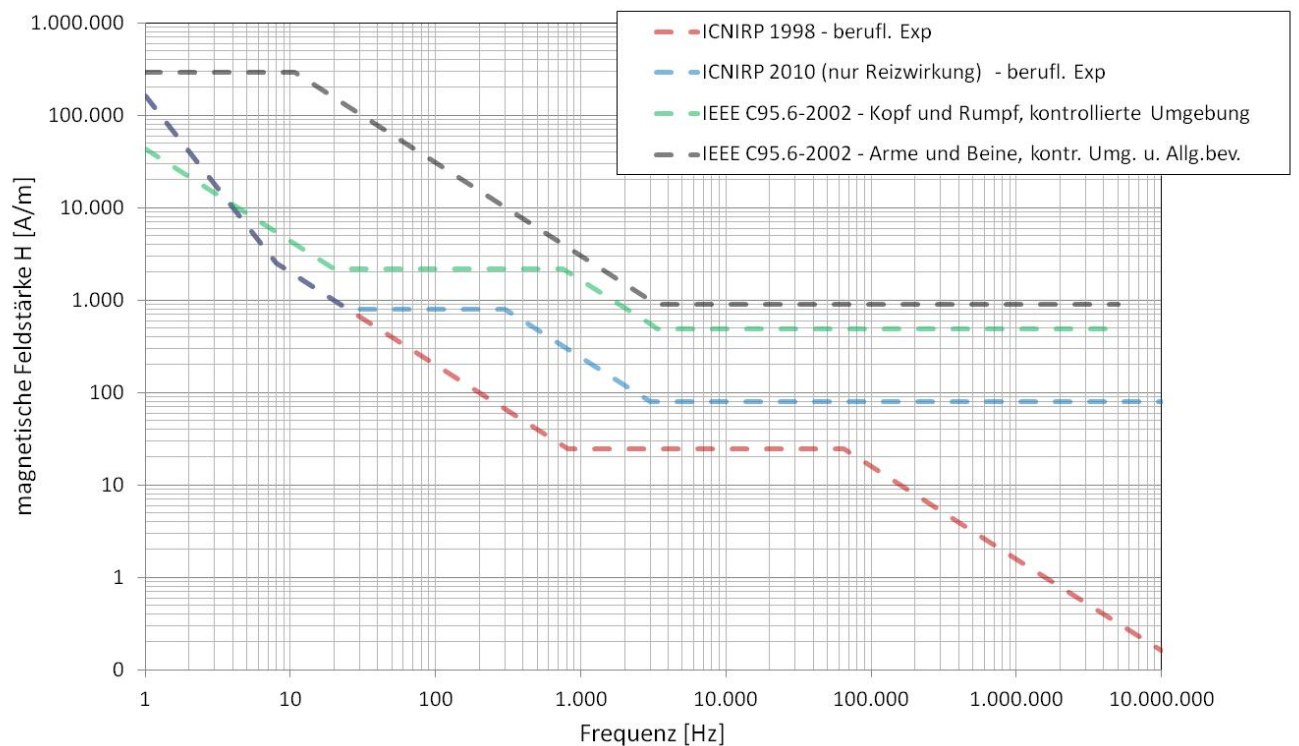
Obwohl bezüglich der empfohlenen Mittelung der induzierten elektrischen Feldstärke Unterschiede zwischen ICNIRP 2010 (Mittelungsvolumen  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ ) und IEEE C95.6-2002 (Mittelung über 5 mm lange gerade Linie) bestehen, erscheint ein Vergleich der in den beiden Dokumenten festgelegten Basiswerte interessant, zumal das Mittelungsvolumen bzw. die Länge der Mittelungsstrecke in der gleichen Größenordnung liegen. Aus dem in Abbildung 2.4 dargestellten Vergleich (am Beispiel der Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung) zeigt sich, dass IEEE C95.6-2002 im Frequenzbereich bis ca. 1 kHz hinsichtlich der im Kopf (Gehirn) induzierten elektrischen Feldstärke geringfügig restriktiver ist. Oberhalb von 1 kHz bzw. im Hinblick auf die Exposition anderer als Zentralnervensystemgewebe setzt ICNIRP 2010 strengere Basiswerte fest.

Ein Vergleich mit den in ICNIRP 1998 definierten Basiswerten ist nicht sinnvoll durchführbar, da dort die Basiswerte in Form der induzierten elektrischen Stromdichte festgelegt sind.

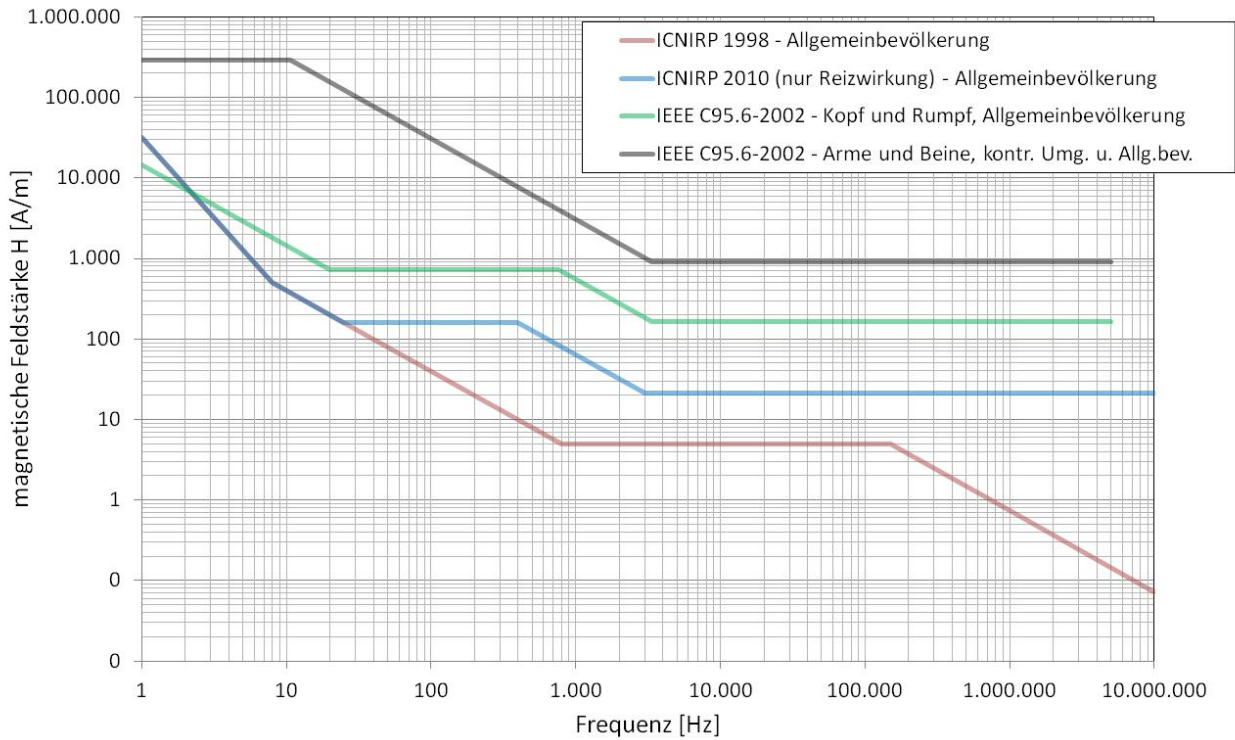
Schließlich zeigen Abbildung 2.5 bis Abbildung 2.8 Vergleiche der Referenz- bzw. MPE-Werte aller drei behandelten Dokumente.



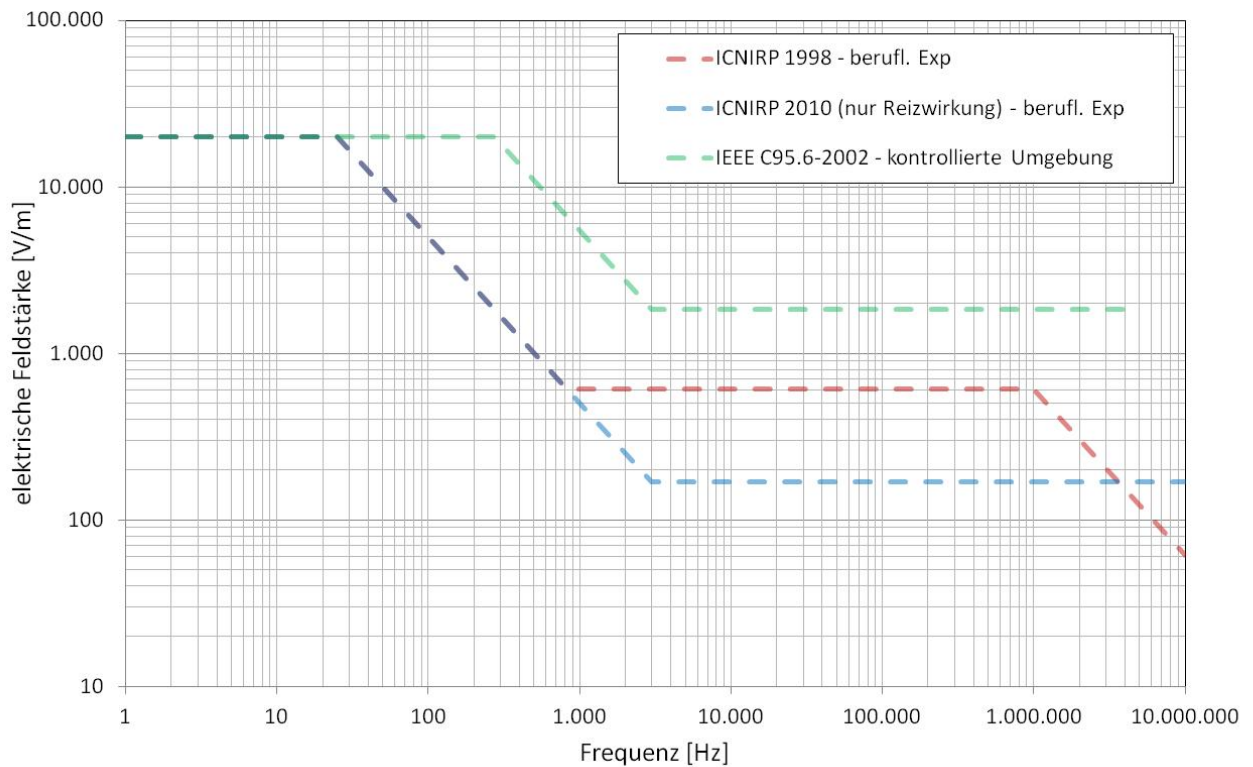
**Abbildung 2.4:** Vergleich der Größenordnungen der Basiswerte für die im Gewebe induzierte elektrische Feldstärke nach ICNIRP 2010 [1] und IEEE C95.6-2002 [6]. Zu beachten ist, dass in [1] und [6] unterschiedliche Mittelungsverfahren vor dem Vergleich mit den Basiswerten empfohlen werden.



**Abbildung 2.5:** Vergleich der Referenzwerte bzw. MPE-Werte für die äußere magnetische Feldstärke für berufliche Exposition bzw. kontrollierte Umgebung nach ICNIRP 1998 [2], ICNIRP 2010 [1] und IEEE C95.6-2002 [6]

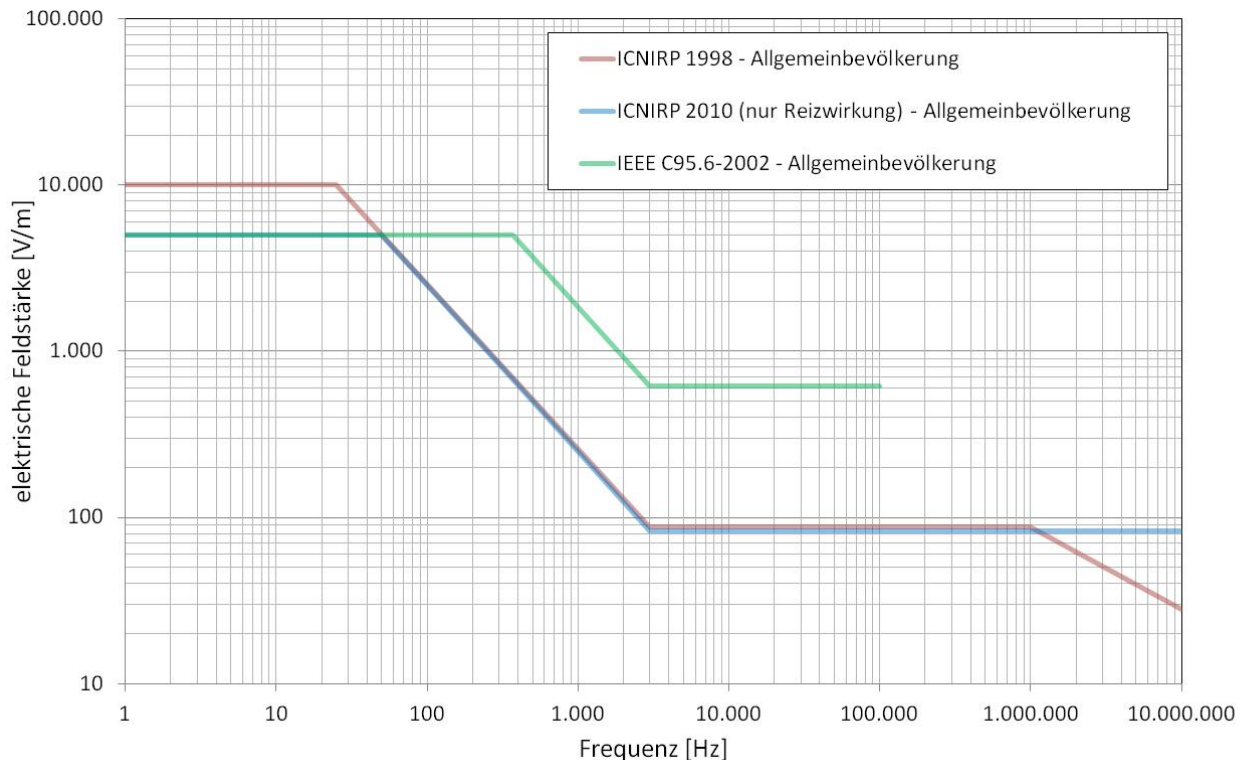


**Abbildung 2.6:** Vergleich der Referenzwerte bzw. MPE-Werte für die äußere magnetische Feldstärke für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998 [2], ICNIRP 2010 [1] und IEEE C95.6-2002 [6]



**Abbildung 2.7:** Vergleich der Referenzwerte bzw. MPE-Werte für die äußere elektrische Feldstärke für berufliche Exposition bzw. kontrollierte Umgebung nach ICNIRP 1998 [2], ICNIRP 2010 [1] und IEEE C95.6-2002 [6]





**Abbildung 2.8:** Vergleich der Referenzwerte bzw. MPE-Werte für die äußere elektrische Feldstärke für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998 [2], ICNIRP 2010 [1] und IEEE C95.6-2002 [6]

## 2.2 Anwendung der Empfehlungen zum Schutz der Allgemeinbevölkerung

### 2.2.1 Europäische Ebene

Für die Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern wurde 1999 die EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG [12] veröffentlicht, die von ICNIRP 1998 für die Allgemeinbevölkerung entwickelten Basis- und Referenzwerte übernimmt. Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei dem Dokument lediglich um eine *Empfehlung* und nicht um eine *Richtlinie* handelt, besteht seitens der Mitgliedsstaaten keine zwingende Notwendigkeit zur gesetzlichen Umsetzung auf nationaler Ebene. Folglich besteht gegenwärtig innerhalb der Europäischen Union keine einheitliche Basis im Hinblick auf Mindestanforderungen zum Schutz der Bevölkerung vor gesundheitlich nachteiligen Effekten zufolge der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern.

Im Bereich des Arbeitnehmerschutzes vor gesundheitsgefährdenden Einwirkungen elektromagnetischer Felder ist hingegen eine Harmonisierung in Europa absehbar, da im Juni 2013 eine entsprechende Richtlinie 2013/35/EU [13] beschlossen wurde. Diese setzt zum Schutz vor Stimulationseffekten (bis 10 MHz) im Wesentlichen auf ICNIRP 2010, zum Schutz vor thermischen Effekten auf ICNIRP 1998 auf.

### 2.2.2 Die 26. BImSchV in Deutschland

In Deutschland ist seit 1.1.1997 die 26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (26.BImSchV) in Kraft, die im Sommer 2013 novelliert wurde [14]. Der Anwendungsbereich dieser aktualisierten Verordnung beschränkt sich jedoch auf ortsfeste Hochfrequenzanlagen im Frequenzbereich 9 kHz – 300 GHz, auf ortsfeste Niederfrequenz-Anlagen und auf ortsfeste Gleichstromanlagen.

Der Begriff der ortsfesten Niederfrequenz-Anlagen wird dabei auf Anlagen zur Umspannung und Fortleitung der Elektrizität mit einer Nennspannung von 1.000 Volt oder mehr, einschließlich Bahnstromfern- und Bahnstromoberleitungen und sonstiger vergleichbarer Anlagen im Frequenzbereich von 1 Hz bis 9 kHz eingeschränkt.

Als Grenzwerte der Immissionen zum Schutz vor Stimulationseffekten werden in der neuen Fassung der 26.BImSchV die Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung von ICNIRP 2010 festgesetzt. Diese Werte sind als die Summe aller am Messort einwirkenden Immissionsanteile bis 10 MHz, verursacht von Niederfrequenz- und ortsfeste Hochfrequenzanlagen gemäß obiger Definition, zu verstehen.

Frequenz f	Effektivwert für	
	elektrische Feldstärke E [kV/m]	magnetische Flussdichte B [ $\mu$ T]
1 – 8 Hz	5	$40000/f^2$
8 – 25 Hz	5	$5000/f$
25 – 50 Hz	5	200
50 – 400 Hz	$250/f$	200
400 – 3000 Hz	$250/f$	$80000/f$
3 kHz – 10 MHz	0,083	27

**Tabelle 2.5:** Die in der 26. BImSchV (in der novellierten Fassung vom 14.08.2013) für den Frequenzbereich 1 Hz - 10 MHz festgelegten maximal zulässigen Immissionswerte für die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte

Niederfrequenzanlagen dürfen die in Tabelle 2.5 genannten Grenzwerte in ihrem Einwirkungsbereich an Orten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung nicht überschreiten, wobei speziell für Anlagen mit einer Betriebsfrequenz von 50 Hz nur die Hälfte des in Tabelle 2.5 angegebenen Wertes für die magnetische Flussdichte zulässig ist. Mit dieser Ausnahmeregelung wird der Grenzwert für die magnetische Flussdichte bei 50 Hz auf dem gleichen Niveau (100  $\mu$ T) wie in der Vorgängerversion der 26.BImSchV gehalten, und nicht auf 200  $\mu$ T angehoben, wie es eigentlich dem Referenzwert in ICNIRP 2010 entsprechen würde.

Weiters wurde, im Sinne eines Bestandsschutzes, gemäß der alten 26.BImSchV, festgelegt, dass im Einwirkungsbereich von Niederfrequenzanlagen, die vor dem 22. August 2013 errichtet wurden, kurzzeitige (maximal das Doppelte der angegebenen Grenzwerte für insgesamt nicht länger 5% eines Tages, d.h., 72 Minuten pro Tag) und für die elektrische Feldstärke zusätzlich auch dauerhaft kleinräumige (außerhalb von Gebäuden bis zum Doppelten der angegebenen Grenzwerte) Überschreitungen zulässig sind. Diese kleinräumigen und kurzzeitigen Überschreitungen sind grundsätzlich nur dann zulässig, wenn dadurch nicht nach Art und Dauer unzumutbare Belästigungen (Berührungsspannungen) für die Nachbarschaft entstehen.

Für Niederfrequenzanlagen, die nach dem 22. August 2013 errichtet wurden bzw. werden, sind diese kurzzeitigen bzw. kleinräumigen Überschreitungen der in Tabelle 2.5 angeführten Grenzwerte nicht zulässig, wobei bestehende Genehmigungen und Planfeststellungsbeschlüsse unberührt bleiben und speziell 16,7 Hz Anlagen, die vor dem 22. August 2013 errichtet wurden, bis zum 22.August 2018 den weniger strengen Grenzwert für die elektrische Feldstärke (10 kV/m) gemäß der alten 26. BImSchV ausschöpfen dürfen.

Wesentliche Änderungen an Niederfrequenzanlagen in der Nähe von Wohnungen, Krankenhäusern, Schulen, Kindergärten, Spielplätzen oder ähnlichen Einrichtungen dürfen nur dann durchgeführt werden, wenn die in Tabelle 2.5 angeführten Grenzwerte eingehalten werden (d.h., keine Zulässigkeit kurzzeitiger und kleinräumiger Überschreitungen). Weiters gelten in der Nähe der genannten Einrichtungen für Anlagen, die nach dem 16.12.1996 errichtet oder wesentlich wurden, weiterhin die Vorsorgeanforderungen der alten 26. BImSchV (Fassung vom 16.12.1996).

## 2.3 Wissenschaftlicher Kenntnisstand bezüglich numerischer Berechnungen und Mittelungsstrategien intrakorporaler Feldgrößen

### 2.3.1 Numerische Berechnungen intrakorporaler Feldgrößen bei Exposition in magnetischen und elektrischen Feldern

Numerische Berechnungen der induzierten intrakorporalen Feldgrößen bei Exposition gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern finden sich seit den 1980er Jahren in der Literatur. Als Rechenmethoden kamen dazu vor allem die Impedanzmethode [15], die *Scalar Potential Finite Difference Methode* ([16], [17]) und auf FDTD (*Finite Difference Time Domain*) bzw. FIT (*Finite Integral Theory*) basierende Ansätze mit Frequenzskalierung ([18], [19]) zum Einsatz. Hinsichtlich der unterschiedlichen numerischen Berechnungsmethoden ist gemäß einer neuen Arbeit aus 2010 [20] anzumerken, dass die Unsicherheit von Berechnungsergebnissen zufolge der unterschiedlichen Berechnungsmethoden deutlich geringer sind, als Unsicherheiten zufolge unterschiedlicher Körpermodelle, dielektrischer Gewebeeigenschaften und Unsicherheiten zufolge unterschiedlicher Mittelungsmethoden der intrakorporalen Feldgrößen vor deren Vergleich mit den Basiswerten (siehe auch Kapitel 2.3.2).

In den meisten Arbeiten wurden Expositionen gegenüber homogenen elektrischen und magnetischen Feldern bei 50 Hz bzw. 60 Hz betrachtet. Frühe Arbeiten (z.B. [18]), erlaubten aufgrund beschränkter Computerressourcen und nicht verfügbarer, entsprechend gut aufgelöster anatomischer Körpermodelle, nur eine sehr grobe Modellbildung des menschlichen Körpers (Voxelgrößen  $> 1 \text{ cm}^3$ ) und damit auch nur sehr beschränkte Einblicke in die gewebespezifische Verteilung intrakorporaler Feldgrößen. Die in den vergangenen Jahren sich rasant entwickelnden Hard- und Softwareressourcen, sowie die Verfügbarkeit hoch aufgelöster anatomischer Körpermodelle erlauben seit einigen Jahren numerische Berechnungen von Ganzkörperexpositionsszenarien mit einer räumlichen Auflösung von  $\leq 2 \text{ mm}$ .

Die Arbeiten [3] und [21] zählen zu den frühesten Berechnungsergebnissen in dieser Qualität. In [3] erfolgten Berechnungen mit einem weiblichen Erwachsenenmodell (Auflösung ca. 2 mm, mehr als 30 unterschiedliche Gewebebereiche berücksichtigt) bei Exposition in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern, bei unterschiedlicher Ausrichtung der Körpermodelle, im Frequenzbereich von 50 Hz bis 10 MHz. Weiters wurden in [3] frühere, mit einem männlichen Erwachsenenmodell (4 mm Auflösung, ca. 30 unterschiedliche Gewebebereiche) bei 50 Hz berechnete Ergebnisse bis 10 MHz erweitert und mit den Berechnungen mit dem weiblichen Erwachsenenmodell verglichen. Magnetische und elektrische Exposition wurde dabei immer separat betrachtet. Neben der, gemäß ICNIRP 1998, über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelten induzierten Stromdichte in Gehirn, Rückenmark und Retina, wurde auch das 99te Perzentil der induzierten elektrischen Feldstärke im Gewebe berechnet. Die Ergebnisse in [3] zeigen zunächst, dass für die untersuchten Expositionsverhältnisse (homogene Befeldung, separate Betrachtung von elektrischer und magnetischer Exposition) die Referenzwerte von ICNIRP 1998 ausreichend konservativ im Hinblick auf die im Gewebe induzierte, über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelten induzierten Stromdichte im Zentralnervensystem ist.

Im Hinblick auf die Verwendung der induzierten Stromdichte oder der induzierten elektrischen Feldstärke als Bewertungsgröße wird in [3] gezeigt, dass, je nach extern appliziertem Feld (elektrisch oder magnetisch) unterschiedliche Sensitivitäten der beiden Bewertungsgrößen bezüglich Variationen der elektrischen Gewebeleitfähigkeiten bestehen. Insgesamt erweist sich jedoch die induzierte elektrische Feldstärke als stabilere Bewertungsgröße, da sich Unsicherheiten bezüglich der elektrischen Gewebeleitfähigkeit insgesamt stärker auf das Berechnungsergebnis für die induzierte Stromdichte auswirken als auf das Berechnungsergebnis für die induzierte elektrische Feldstärke. Dieser Befund steht auch in Einklang mit den Erkenntnissen von [4].

Weiters wird in [3] ein Vergleich von Berechnungsergebnissen unter der Annahme von Basiswerten für die induzierte Stromdichte  $J_{BW}$  ( $1\text{cm}^2$  Mittelwert) und die induzierte elektrische Feldstärke  $E_{BW}$  (99tes Perzentil) durchgeführt, wobei  $J_{BW}$  und  $E_{BW}$  über die elektrische Leitfähigkeit für Hirngewebe (graue Substanz,  $\sigma_{50\text{Hz}} = 0,1\text{ S/m}$ ) miteinander verknüpft ( $J_{BW} = E_{BW} \cdot \sigma_{50\text{Hz}}$ ) angenommen wurden. Dieser Vergleich zeigte, dass bei Verwendung der über  $1\text{ cm}^2$  gemittelten induzierten Stromdichte als Bewertungsgröße (bei gegebenem äußeren Feld), die Verhältnisse in gut leitfähigen Geweben zum limitierenden Faktor im Hinblick auf die Erreichung des Basiswertes werden. Umgekehrt wird bei Verwendung des 99ten Perzentils der induzierten elektrischen Feldstärke als Beurteilungsgröße der Basiswert in schlecht leitenden Geweben früher erreicht. Darüber hinaus erwies sich bei homogener magnetischer Exposition die Bewertung auf Basis der induzierten Stromdichte als restriktiver und bei Exposition im rein elektrischen Feld bis 100 kHz die Bewertung auf Basis der induzierten elektrischen Feldstärke als restriktiver.

In [21] berichtet derselbe Autor von Berechnungsergebnissen bei Exposition von Körpermodellen Schwangerer (2 mm Auflösung, 4 unterschiedliche Schwangerschaftsstadien) in 50 Hz elektrischen und magnetischen Feldern (separate Betrachtung von elektrischer und magnetischer Exposition). Bei den Modellen der Schwangeren handelt es sich um Hybrid-Modelle, bestehend aus dem in [3] verwendeten weiblichen Erwachsenenmodell und sehr einfachen generisch hinzumodellierten Föten bzw. umgebender Gewebe. Berechnet wurden die induzierten Stromdichten und induzierten Feldstärken im gesamten Körper und speziell im Zentralnervensystem der Föten, sowie im Gehirn der Mutter. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die intrakorporalen Feldgrößen im Gehirn der Föten größer sein können, als im Gehirn der Mutter. Deutlich wird in den angestellten Analysen wieder die starke Abhängigkeit der Berechnungsergebnisse für die Stromdichte von den Gewebeeigenschaften (Gewebeleitfähigkeit), die insbesondere für fetale Gewebe mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Unter der Annahme, dass fetales Hirngewebe deutlich besser leitfähig ist als jenes Erwachsener, deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die induzierte Stromdichte im fetalen Gehirn höher sein kann, als jene im Gehirn der Mutter. Wird bezüglich der Gewebeleitfähigkeit nicht zwischen fetalem und erwachsenem Gewebe unterschieden, sind die induzierten Stromdichten im mütterlichen Gehirn durchwegs größer. Im Hinblick auf die induzierte elektrische Feldstärke im Gehirn zeigt sich ein umgekehrter, jedoch weniger stark ausgeprägter Trend. Bei gleicher elektrischer Leitfähigkeit von fetalem und erwachsenem Hirngewebe zeigt sich die induzierte elektrische Feldstärke im Fötus höher als im Erwachsenen Gehirn, bei höherer Gewebeleitfähigkeit des fetalen Gewebes sind die induzierten Feldstärken im Erwachsenen Gehirn größer.

Ähnlich wie in [3] werden in [5] Berechnungen der induzierten Stromdichte ( $1\text{ cm}^2$  Mittelwert, quer zur Stromflussrichtung) und induzierten elektrischen Feldstärke (99tes Perzentil) mit einem weiblichen und einem männlichen (japanischen) Erwachsenenmodell (2 mm Auflösung, 51 unterschiedliche Gewebe- bzw. Organbereiche) bei Exposition in einem homogenen Magnetfeld bei 50 Hz beschrieben. Diese beiden genannten Publikationen ([3], [5]) sind die einzigen in den ICNIRP Guidelines 2010 zitierten Arbeiten, in denen, neben Ergebnissen für CNS-Gewebe, auch explizit Berechnungsergebnisse für induzierte elektrische Feldstärken in der Haut angegeben werden. Konkret werden die in [3] angeführten Berechnungsergebnisse für CNS- und PNS Gewebe als Basis für die Festlegung der ICNIRP 2010 Referenzwerte herangezogen (vgl. Kapitel 2.1.2.4). Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass bezüglich der magnetischen Induktionswirkung in der Haut eine nur vermeintliche Übereinstimmung der Berechnungsergebnisse von [3] und [5] besteht. In [5] wird nämlich von einer maximalen Induktionswirkung in der Haut von 312 mV/m pro mT (Voxel-Maximum,  $2 \times 2 \times 2\text{ mm}^3$  Voxelgröße) berichtet, während in [3] das 99te Perzentil bzw. der Maximalwert der  $2 \times 2 \times 2\text{ mm}^3$  großen Voxel mit 36 mV/m pro mT bzw. 65,6 mV/m pro mT angegeben werden. Es mag verwundern, dass diese relativ große Diskrepanz in ICNIRP 2010 in keiner Weise kommentiert wurde. Es kann daher spekuliert werden, ob möglicherweise übersehen wurde, dass die Angabe der Induktionswirkung in [5] nicht bezogen auf 1 mT, sondern bezogen auf 0,1 mT (Referenzwert für

Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 1998) angegeben wird. Dies führt auf einen Zahlenwert von 31,2 mV/m (allerdings bezogen auf 0,1 mT) der innerhalb des angenommenen Zahlenwertebereichs von 20-60 mV/m (bezogen auf 1 mT) liegt und damit vermeintliche Übereinstimmung suggeriert.

Hinsichtlich einer Begründung für die große Abweichung der Berechnungsergebnisse (in der Größenordnung eines Faktors 10) für die induzierte Feldstärke in der Haut zwischen [3] und [5], kann über Unterschiede in den verwendeten elektrischen Gewebeleitfähigkeiten gemutmaßt werden. Während in [3] die verwendete elektrische Leitfähigkeit für die Haut explizit mit 0,1 S/m (bei 50 Hz) angegeben wird, findet sich in [5] keine konkrete Zahlenwertangabe, sondern nur ein allgemeiner Literaturhinweis auf [34]. Wie später (siehe Kapitel 4.4.2) noch ausführlich dargelegt wird, ergibt sich eine Abweichung der Berechnungsergebnisse für die induzierte elektrische Feldstärke in der Haut in der genannten Größenordnung, wenn die Hautleitfähigkeit einerseits, wie in [3] mit 0,1 S/m und andererseits mit sehr geringen Leitfähigkeitswerten von 0,0002 S/m, entsprechend dem gegenwärtig meistgenutzten Parametermodell für Gewebeleitfähigkeiten ([34],[37],[38]) verwendet wird. Dieser geringe Leitfähigkeitswert entspricht allerdings der Hornhaut, die keine Nervenendigungen enthält. Auf die sich daraus ergebenden Fragestellungen wird noch detailliert in Kapitel 4.4.2 eingegangen.

Die Frage der möglichen Additivität der induzierten Stromdichte bei gleichzeitiger Exposition in elektrischen und magnetischen Feldern wird in [22] und [23] aufgegriffen. Die Berechnungen wurden separat für ein homogenes (vertikales) elektrisches und homogene magnetische Felder (von vorne, von der Seite, von oben) bei 50 Hz durchgeführt und die vom elektrischen und magnetischen Feld (jeweils für die unterschiedlichen Orientierungen des Feldvektors) induzierten Stromdichten im Gewebe vektoriell oder skalar addiert. In [23] wird dabei konkret die Situation einer Schwangeren betrachtet. Beide Arbeiten führen übereinstimmend zum Ergebnis, dass für die betrachteten Verhältnisse (maximale Einkopplung sowohl des elektrischen als auch des magnetischen Feldes) die kombinierte elektrische und magnetische Exposition zu deutlich höheren induzierten Stromdichten führen kann, als bei unabhängiger Bewertung von elektrischer und magnetischer Exposition. Bei gleichzeitiger Ausschöpfung der Referenzwerte für die elektrische und magnetische Feldstärke sind unter den genannten ungünstigen Annahmen daher Überschreitungen der Basiswerte möglich, wenn die Referenzwerte nicht ausreichend konservativ zur Abdeckung der Additivität festgelegt sind. Im Hinblick auf die induzierten Stromdichten im Fötus zeigen die Ergebnisse in [23] zusätzlich, dass die Basiswerte von ICNIRP 1998 nicht nur bei gleichzeitiger Exposition im elektrischen und magnetischen Feld, sondern auch schon alleine bei Exposition im elektrischen Feld entsprechend dem Referenzwert überschritten werden.

Speziell das Thema der Exposition in stark inhomogenen Magnetfeldern wird in [24] behandelt. Es wird dabei das praktische Problem aufgegriffen, dass bei relativ starken, kleinräumigen inhomogenen Magnetfeldern, wie dies beispielsweise bei körpernaher Verwendung von Elektrogeräten auftreten kann, eine Beurteilung auf der Grundlage der Referenzwerte im Allgemeinen zu einer Überbewertung führt, weil bei der Ableitung der Referenzwerte homogene Ganzkörperbefeldung mit maximaler Feldeinkopplung zugrunde gelegt wurde. Im Falle einer kleinräumigen Überschreitung der Referenzwerte ist es daher in den meisten Fällen möglich die Übereinstimmung mit den Basiswerten durch (numerische) Berechnungen zu zeigen. Zur Vermeidung von unzähligen aufwändigen Einzelfallanalysen in der Praxis wird in [24] ein Verfahren vorgeschlagen, dass auf Basis von Referenzfaktoren eine einfache Beurteilung im Fall der Exposition in lokal begrenzten Magnetfeldern oberhalb der Referenzwerte erlaubt. Dazu wurden einfache, jedoch für typische Elektrogeräte repräsentative Ersatzquellen auf Basis numerischer Berechnungen unter Verwendung anatomischer Körpermodelle bezüglich der über 1 cm<sup>2</sup> quer zur Stromflussrichtung gemittelten induzierten Stromdichte im Zentralnervensystem untersucht und daraus die genannten Referenzfaktoren (in Abhängigkeit der Distanz zum Körper) abgeleitet, die ein Maß für zulässige lokale Überschreitung der Referenzwerte darstellen. In der Praxis soll damit, nach einer punktuellen Messung des Maximalwertes des Magnetfeldes (an der Geräteoberfläche), eine Beurteilung der resultierenden Exposition möglich sein.

### 2.3.2 Einfluss der Berechnungsmethoden und der verwendeten Mittelungsalgorithmen für die intrakorporalen Feldgrößen

Bei der numerischen Berechnung der intrakorporalen Feldkomponenten kommt der Frage nach den Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse in Bezug zu den realen Verhältnissen zentrale Bedeutung zu. Folgende Unsicherheitsquellen können identifiziert werden:

- Repräsentativität der verwendeten anatomischen Körpermodelle (berücksichtigte Organe und Gewebe, Körperbau und Größe)
- Variabilität bzw. Unsicherheit bezüglich der dielektrischen Gewebeeigenschaften
- Räumliche Auflösung der anatomischen Körpermodelle bei der Berechnung
- Unsicherheit der numerischen Quellenmodelle
- Unsicherheiten der numerischen Berechnungsmethode (Algorithmus, Randbedingungen, Rechengitter)
- Unsicherheiten der Mittelungsverfahren für die intrakorporalen Feldgrößen

Die im Verhältnis zur tatsächlich beobachtbaren anatomischen Detailliertheit und Variabilität nur eingeschränkte Repräsentativität der gegenwärtig verfügbaren anatomischen Körpermodelle ist ein zentrales Problem der Unsicherheitsanalyse bei numerischen Berechnungen, das kurzfristig nicht zufriedenstellend lösbar ist. Gegenwärtige und zukünftige Entwicklungen werden dieses Problem aber sukzessive entschärfen.

Die physiologische Variabilität und die teilweise, vor allem im Niederfrequenzbereich, relativ große Unsicherheit der verfügbaren dielektrischen Daten, bzw. die Tatsache der grundsätzlich nur eingeschränkt verfügbaren dielektrischen Gewebedaten, ist ebenfalls ein großes Problem der gegenwärtigen numerischen Dosimetrie. Die damit verbundenen Unsicherheiten können jedoch in vielen Fällen auf Basis physiologischer Überlegungen zumindest grob quantifiziert werden.

Die räumliche Auflösung (Feinheit der Diskretisierung) der anatomischen Körpermodelle sowie die Unsicherheiten der verwendeten numerischen Quellenmodelle stellen ein vergleichsweise geringes Problem dar, da sie einerseits durch die heute verfügbaren Hard- und Softwareressourcen zunehmend an Bedeutung verlieren, und andererseits quantitativ gut abschätzbar sind (Validierungsmessungen an realen Quellen und Simulationen mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung).

Ebenso erweisen sich die Unsicherheiten der numerischen Berechnungsmethoden als vergleichsweise gering, wie beispielsweise in [20] und [4] dokumentiert wurde. In einer Vergleichsstudie [20] wurden insgesamt vier unterschiedliche Berechnungsmethoden (darunter die Impedanzmethode, SPFD und frequenzskalierte FDTD) von sechs unterschiedlichen Institutionen anhand einer Berechnung der induzierten Stromdichte und der induzierten elektrischen Feldstärke in einem anatomischen Modell eines Erwachsenen in einem homogenen 50 Hz Magnetfeld verglichen. Verglichen wurden insgesamt sechs Ergebnisgrößen: die Voxel-Maxima der induzierten elektrischen Feldstärke und induzierten Stromdichte, das 99te Perzentil der Voxel-Werte der induzierten elektrischen Feldstärke, jeweils im ganzen Körper und ausschließlich im Zentralnervensystem und die maximale über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelte induzierte Stromdichte, jeweils im ganzen Körper und ausschließlich im Zentralnervensystem. Bezüglich der Ermittlung des  $1 \text{ cm}^2$  Mittelwertes der Stromdichte wurde immer der gleiche Algorithmus verwendet. Die räumliche Auflösung des anatomischen Modells für die Berechnungen betrug 2 mm und 51 unterschiedliche Gewebereiche wurden unterschieden. Die Vergleichsergebnisse zeigten, abgesehen von einzelnen Ausreißern, Abweichungen im Bereich von maximal 10-30%. Die Autoren kommen daher zum Schluss, dass die Unsicherheiten zufolge unterschiedlicher Berechnungsmethoden wesentlich geringer sind als zufolge der meisten anderen Unsicherheiten (Leitfähigkeit der Gewebe, anatomische Genauigkeit der Körpermodelle).

Von essentieller Bedeutung im Hinblick auf die Interpretation bzw. Unsicherheit numerischer Berechnungsergebnisse ist der verwendete Algorithmus zur Ermittlung der räumlichen Mittelwerte der intrakorporalen Feldgrößen, bzw. anderer statistischer Kenngrößen aus den Voxel-basierten Roh-Berechnungsergebnissen. Die Ermittlung solcher statistischer Kenngrößen ist einerseits aus biologischer Sicht sinnvoll, da, im Hinblick auf die im Niederfrequenzbereich relevanten Zellreizungseffekte, physiologisch immer das Integral über ein bestimmtes Zellmembranareal relevant ist und nicht kleinräumige Potenzialmaximalwerte an der Zellmembran, bzw. weil eine Mindestanzahl von (präsynaptisch wirksamen) Zellen beeinflusst werden muss, um z.B. postsynaptische Reaktionen hervorzurufen. Andererseits birgt die Verwendung von Voxel-Maximalwerten die Gefahr von starken Überbewertungen aufgrund numerischer Artefakte. Aus diesem Grund legen Dokumente mit Grenzwertempfehlungen üblicherweise auch statistische Kennwerte der intrakorporalen Feldgrößen fest, die zur Beurteilung, d.h., zum Vergleich mit den Basiswerten, herangezogen werden sollen, dies jedoch zumeist ohne gleichzeitig auch einen Algorithmus festzulegen, wie diese Kennwerte zu ermitteln sind, was in manchen Fällen zu großen Interpretationsspielräumen und damit verknüpft zu großen Variationen der Ergebnisse führen kann. Für die Ermittlung der lokalen SAR im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz (Basiswerte zumeist als 1g- bzw. 10g- Mittelwerte über einen würfelförmigen Gewebebereich definiert) ist beispielsweise in [25] ein Mittelungsalgorithmus definiert, der gegenwärtig in allen bedeutsamen Simulationsplattformen implementiert ist. Im Niederfrequenzbereich ist, vor allem im Hinblick auf die in ICNIRP 1998 geforderte Mittelung der induzierten Stromdichte über  $1 \text{ cm}^2$ , kein vergleichbarer standardisierter Algorithmus publiziert. Auch für die in ICNIRP 2010 vorgeschlagene Mittelung der im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  findet sich gegenwärtig kein standardisierter Mittelungsalgorithmus.

Die derzeit im Bereich der numerischen Dosimetrie im Niederfrequenzbereich üblichen statistischen Kenngrößen sind:

- Maximum der über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelten induzierten Stromdichte (ICNIRP 1998)
- Maximum der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrische Feldstärke
- 99tes Perzentil der Voxel-Werte der induzierten elektrische Feldstärke (ICNIRP 2010)
- Maximum der über ein gerades, beliebig orientiertes, 5 mm langes Liniensegment gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke (IEEE C95.6-2002).

Die Bildung von Mittelwerten intrakorporaler Feldgrößen führt ganz allgemein im Zusammenhang mit gewebespezifisch unterschiedlich definierten Basiswerten zu Problemen bei der Mittelwertbildung an Gewebegrenzen, da eine Strategie festgelegt werden muss, ob und in welcher Art über die Gewebegrenzen hinaus gemittelt wird. Bei stark unterschiedlicher Größe der intrakorporalen Feldgrößen zu beiden Seiten der Gewebegrenze gewinnt diese Strategie naturgemäß großen Einfluss auf das Berechnungsergebnis.

Insbesondere die in den ICNIRP Guidelines von 1998 empfohlene Mittelung der induzierten Stromdichte über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung in Kombination mit der Tatsache, dass die zugehörigen Basiswerte nur für das Zentralnervensystem (ZNS) anzuwenden sind, stellt ein Beispiel besonders großen Einflusses der Mittelungsstrategie auf das Ergebnis dar. Abgesehen von der Tatsache, dass die Mittelwertbildung über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung im kubisch diskretisierten Rechenraum numerisch relativ aufwändig ist und schon allein dadurch viele unterschiedliche Berechnungsansätze ermöglicht, kommt der Behandlung von Gewebegrenzen (Mittelungsstrategie) in diesem Fall besondere Bedeutung zu. Aufgrund der Tatsache, dass das Gehirn bzw. das Rückenmark (mit relativ geringer Gewebeleitfähigkeit) von Zerebrospinalflüssigkeit (mit ca. 10mal größerer Leitfähigkeit als Gehirn und Rückenmark) umgeben ist, bzw. mit Zerebrospinalflüssigkeit (ZSF) gefüllte Räume aufweist, führen unterschiedliche Mittelungsstrategien an den Grenzen des Zentralnervensystems zu stark unterschiedlichen Ergebnissen. Schließt man bei der

Mittelwertberechnung in den äußeren Schichten des ZNS die Stromdichtewerte in der umgebenden ZSF ein, so ergibt sich zwangsläufig eine Überschätzung des Stromdichtemittelwertes im ZNS-Gewebe. Umgekehrt führt ein einfacher Nichteinschluss (Nullsetzung) der Stromdichtewerte in der ZSF tendenziell zu einer Unterbewertung des Stromdichtemittelwertes im ZNS-Gewebe. D.h., unabhängig von der numerischen Unsicherheit bei der Mittelwertberechnung (notwendige Interpolationen zwischen den diskreten Voxelwerten, etc.) ergibt sich in diesem Fall bereits ein großer Unsicherheitsfaktor durch die Tatsache, dass keine Strategie der Grenzschichtbehandlung definiert ist. Ganz besonders relevant wird dieser Umstand im unteren Teil des Rückenmarks mit Querschnitten von bereits deutlich unter  $1 \text{ cm}^2$ .

Analysen der Unsicherheiten in Zusammenhang mit der in ICNIRP 1998 empfohlenen Stromdichtemittelung über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung im Zentralnervensystem finden sich in [4], [5] und [26]. Die Analysen in den drei Arbeiten werden für unterschiedliche Expositionsszenarien und Körpermodelle durchgeführt. Auch die verwendeten Mittelungsalgorithmen sind unterschiedlich, in allen Fällen aber einfach und es wird nicht in jedem die Mittelungsfläche schneidenden Voxel die Normalkomponente des Stromdichtevektors ermittelt, sondern ganz einfach das Stromdichtemaximum in den drei orthogonalen Rechengitterrichtungen berechnet. Die in den Arbeiten dokumentierten Abweichungen in den Ergebnissen für die über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelte induzierte Stromdichte im Zentralnervensystem zufolge unterschiedlicher Strategien der Mittelung an der Gewebegrenze ZNS-ZSF betragen bis zu einem Faktor 20 im Rückenmark [26] und einem Faktor 12 im Gehirn [5].

In [27] wird ein aufwändiger Mittelungsalgorithmus vorgestellt und mit einem vereinfachten Mittelungsalgorithmus [28], ähnlich jenem in [4] und [26] verwendeten, auf Basis einer einfachen generischen Expositionssituation mit homogener Befeldung und einer realistischen Expositionssituation mit lokaler (inhomogener) magnetischer Befeldung (Spule vor dem Körper) eines anatomischen Körpermodells verglichen. Der in [27] vorgestellte Mittelungsalgorithmus unterscheidet sich vor allem in den folgenden beiden Eigenschaften von jenem in [28] verwendeten:

- Verwendung einer kreisrund berandeten Mittelungsfläche im Gegensatz zu einer quadratisch berandeten Mittelungsfläche in [28]
- Verwendung einer tatsächlich normal zum Strömungsfeld liegenden, d.h., im Allgemeinen gewölbten, Mittelungsfläche im Gegensatz zu einer planaren Mittelungsfläche (nur im Flächenmittelpunkt normal zum Stromdichtevektor) in [28].

Im Hinblick auf das Maximum der über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelten induzierten Stromdichte in Geweben des Zentralnervensystems zeigen sich maximale Abweichungen zufolge der unterschiedlichen Mittelungsalgorithmen von ca. einem Faktor 2, wobei sich kein Trend der unterschiedlichen Algorithmen in Richtung einer Unter- oder Überschätzung zeigt. Welcher Algorithmus jeweils zu höheren Werten führt, hängt dabei von der konkreten Situation (betrachtetes Gewebe, Expositionsszenario) ab. Im Vergleich zu den mit den unterschiedlichen Mittelungsstrategien verknüpften und oben genannten Unsicherheiten erscheint dies zwar gering, wird von den Autoren aber als relevante Unsicherheitsquelle bezeichnet. Im Hinblick auf die Frage des Vorgehens an Gewebegrenzen (Mittelungsstrategie) wird in [27] angemerkt, dass ein Nichteinschließen von außerhalb des Zielgewebes liegenden Stromdichtewerten bei der Mittelung nach Meinung der Autoren als nicht konform zu ICNIRP 1998 angesehen wird, da die in ICNIRP 1998 angeführte Begründung für das Erfordernis einer Mittelung die Inhomogenität des Körpers ist. Ein Nichteinschließen von benachbarten Geweben bei der Mittelung erscheint nach Meinung der Autoren von [27] daher als sinnwidrig.

Die Auswirkungen unterschiedlicher Mittelungsstrategien im Hinblick auf die induzierte elektrische Feldstärke im Zentralnervensystem wurde in [29] ausführlich analysiert. Für homogene Expositionsverhältnisse in elektrischen und magnetischen Feldern und Verwendung eines weiblichen und eines männlichen Erwachsenenmodells (2 mm Auflösung,



51 unterschiedliche Gewebe-/Organregionen) wurden maximale Volumenmittelwerte für unterschiedliche würfelförmige Mittelungsvolumen (8, 64, 125, 216, 512 und 1000 mm<sup>3</sup>) und maximale Linienmittelwerte über 5 mm der induzierten elektrischen Feldstärke in Gehirn und Rückenmark berechnet. Zum Vergleich mit den maximalen Volumenmittelwerten wurden zusätzlich auch 99. Perzentile der Volumenmittelwerte angegeben. Für die Berechnung der Volumen- und Linienmittelwerte wurden drei unterschiedliche Mittelungsstrategien verglichen (Linienmittelwerte nur I und II):

- (I) Es werden alle Gewebetypen (und zugehörige Feldstärkewerte) im Mittelungsvolumen berücksichtigt, solange das zentrale Voxel des Mittelungsvolumens zum Zielgewebe gehört.
- (II) Bei der Berechnung des Mittelwertes werden außerhalb des Zielgewebes liegende Feldstärkewerte gleich null gesetzt.
- (III) Es wird nur dann ein Mittelwert gebildet, wenn das Mittelungsvolumen vollständig innerhalb des Zielgewebes verläuft.

Erwartungsgemäß zeigten sich steigende maximale Mittelwerte mit kleiner werdendem Mittelungsvolumen. Weiters führte Mittelungsstrategie (I) bei großen Mittelungsvolumina zu höheren maximalen Mittelwerten, da zunehmend relativ hohe Feldstärkewerte aus angrenzenden niedrigleitfähigen Geweben (Knochen der Wirbelsäule und Schädelknochen) in die Mittelung einbezogen werden. Ergebniswerte basierend auf Mittelungsstrategie (III) waren durchgehend kleiner oder gleich, wie jene mit Strategie (II) berechneten Werte, was ebenfalls plausibel ist. Für das kleinste verwendete Mittelungsvolumen von  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3 = 8 \text{ mm}^3$  führten alle drei Mittelungsstrategien zum gleichen Ergebnis. Die berechneten 99ten Perzentile der über  $8 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke lagen in allen Fällen bei deutlich weniger als der Hälfte der maximalen Mittelwerte. Wie im Fall der Volumenmittelung führte bei der Linienmittelung über 5 mm Mittelungsstrategie (I) auf durchgehend höhere oder gleich große Werte wie Mittelungsstrategie (II). Im Vergleich zur Volumenmittelung über  $8 \text{ mm}^3$  waren die Ergebniswerte bei der Linienmittelung über 5 mm im Gehirn und Rückenmark kleiner, ausgenommen im Gehirn des männlichen Körpermodells bei magnetischer Exposition mit Feldvektororientierung links-rechts. In diesem Fall war der nach Strategie (i) berechnete Linienmittelwert über 5 mm nahezu identisch mit dem Volumenmittelwert über  $8 \text{ mm}^3$ .

Im Hinblick auf die Bildung des 99ten Perzentils für die Bewertung der intrakorporalen Feldgrößen muss abschließend darauf hingewiesen werden, dass diesbezüglich bereits Publikationen existieren, die auf die potenzielle Unterschätzung der induzierten elektrischen Feldstärke durch die Perzentilbildung demonstrieren ([10],[47],[53]). Die Vernachlässigung von 1% der Voxel mit den höchsten induzierten Feldstärkewerten kann demnach in Expositionssituationen mit stark lokalisierter Induktion zur fälschlichen Nichtbewertung von eng begrenzten aber realen Feldstärkespitzen im Gewebe führen.

## **2.4 Wissenschaftlicher Kenntnisstand bezüglich der elektrischen und dielektrischen Gewebeeigenschaften im Frequenzbereich bis 10 MHz**

Die Menge der gegenwärtig verfügbaren wissenschaftlichen Publikationen bezüglich der elektrischen und dielektrischen (elektrisch relevanten) Gewebeeigenschaften von Körpergewebe ist relativ umfangreich und geht bis in die 1920er Jahre zurück. Aufgrund der Vielzahl der strukturell und damit augenscheinlich auch elektrisch unterschiedlichen Körpergewebe und der Frequenzabhängigkeit der elektrisch relevanten Gewebeeigenschaften sind die verfügbaren Arbeiten hinsichtlich der untersuchten

Frequenzbereiche und der betrachteten Gewebearten sehr heterogen. Zusätzlich erschwerend bei der Interpretation der Ergebnisdaten kommen die folgenden Randbedingungen hinzu, von denen grundsätzlich ein Einfluss auf das Messergebnis zu erwarten ist:

- Herkunft der untersuchten Gewebeprobe (Mensch, Tierspezies)
- Physiologisches Alter des untersuchten Gewebes
- Messung in vivo / in situ / in vitro
- Post mortales Alter des Gewebes
- Behandlung / Vorbereitung der Gewebeproben vor der Messung
- Temperatur des Gewebes bis zur und bei der Messung
- Messmethode und Messsensor

Aufgrund dieser Heterogenität der verfügbaren Daten erfolgten in den letzten Jahrzehnten mehrmals gründliche Reviews, oftmals ergänzt durch eigene Messungen der Autoren [30]-[33], sodass die Anzahl der Gewebe für die gebündelt ein Datensatz ihrer dielektrischen Gewebeparameter vorlag stetig anstieg. Lückenhaft blieb bis in die erste Hälfte der 1990er Jahre jedoch in vielen Fällen die Information über die Frequenzabhängigkeit über den gesamten technisch genutzten Frequenzbereich. Dieses Problem wurde 1996 durch eine Reihe von Veröffentlichungen [34]-[37] einer englischen Autorengruppe um Camelia Gabriel maßgeblich entschärft. Im Zuge der Arbeiten dieser Gruppe wurde zunächst eine ausführliche Bestandsaufnahme vorliegender Daten durchgeführt. Weiters erfolgten Messungen an mehr als 20 unterschiedlichen menschlichen (in vivo oder in vitro, 24h-48h nach Gewebeentnahme) und tierischen (in vitro, innerhalb von 2 h nach Entnahme) Geweben im Frequenzbereich 10 Hz bis 20 GHz (und an mehr als 10 weiteren Geweben im Frequenzbereich 1 MHz – 20 GHz). Basierend auf den Daten der Bestandsaufnahme und den erhaltenen Messergebnissen wurden schließlich Dispersionsmodelle für alle betrachteten Gewebearten entwickelt, so dass für diese Gewebe heute lückenlose Informationen der dielektrischen Gewebeparameter im betrachteten Frequenzbereich vorliegen. Diese Dispersionsmodelle stellen die gegenwärtige Datenbasis fast aller dosimetrischen Berechnungen dar und sind beispielsweise in [38] im Internet frei verfügbar, bzw. werden diese Daten auch in internationalen Standards zur Expositionsbestimmung (z.B. [39]) herangezogen. Eine weitere seit kurzem im Internet verfügbare Datenbank dielektrischer (und weiterer physikalischer) Gewebeparameter wird von der IT'IS Foundation zur Verfügung gestellt [40]. Sie basiert grundsätzlich auch auf den Arbeiten [34]-[37], allerdings aktualisiert mit neueren Daten, insbesondere im Niederfrequenzbereich.

Trotzdem diese Datenbasis gegenwärtig weltweit intensiv genutzt wird, bleiben vor allem im unteren Frequenzbereich noch viele Fragen offen. Grundsätzlich liegen im Frequenzbereich unterhalb von ca. 1 MHz wesentlich weniger Daten vor, die zudem aus messtechnischen und physiologischen Gründen mit größerer Unsicherheit behaftet sind, als die Daten aus dem Hochfrequenz- und Mikrowellenbereich. Aufgrund des heterogenen Gewebeaufbaus aus (schlecht leitfähigen) Zellmembranen und (gut leitfähigen) intra- und extrazellulärem Milieu, ist die Spannweite der dielektrischen Gewebeeigenschaften im Niederfrequenzbereich wesentlich größer als im Hochfrequenz- und Mikrowellenbereich, wo die heterogene Zellstruktur aufgrund der immer dominanter werdenden Verschiebungsströme immer mehr an Einfluss verliert. Diese Tatsache, dass der Körper mit steigender Frequenz aus elektrischer Sicht immer homogener erscheint, bedeutet gleichzeitig auch geringere Unsicherheiten bei der Übertragung von an bestimmten Gewebeproben gemessenen Gewebeeigenschaften auf ähnliche, aber sicher nicht identische Gewebestrukturen. Diesbezüglich sind im Niederfrequenzbereich wesentlich höhere, gegenwärtig nur schlecht quantifizierbare Unsicherheiten anzunehmen.

Zudem erweist sich im Niederfrequenzbereich die messtechnische Bestimmung der dielektrischen Gewebeeigenschaften in der Praxis als wesentlich komplizierter und aufwändiger. Hauptgrund dafür ist die sogenannte *Elektrodenpolarisation*. Sie entsteht durch die Tatsache, dass bei Kontakt von Metallen mit wässrigen Medien, bzw. Ionen enthaltende Medien, es zu einer Anlagerung von Wassermolekülen und Ionen an der Metalloberfläche kommt. Die dabei entstehende dielektrische Doppelschicht an der Metalloberfläche (=Oberfläche der Messelektrode) bildet einen parasitären, hauptsächlich kapazitiv wirkenden Impedanzanteil, der die Messungen an Gewebe verfälscht, wenn nicht entsprechende kompensatorische Maßnahmen ergriffen werden. Aufgrund der Tatsache, dass dieser Effekt sowohl frequenzabhängig als auch abhängig von der Kombination des Elektrodenmaterials und des umgebenden Mediums (=zu messendes Gewebe) ist, sind wirkungsvolle kompensatorische Maßnahmen entsprechend aufwändig und zumeist nur näherungsweise wirksam. Deutlich bemerkbar bei Messungen an Geweben wird die Elektrodenpolarisation im Frequenzbereich unterhalb von 100 kHz [34]. Neben rechnerischer kompensatorischer Maßnahmen auf Basis von Referenzmessungen mit bekannten Medien sind die Verwendung spezieller Elektrodenmaterialien- und geometrien übliche Abhilfemaßnahmen zur Verringerung des Einflusses der Elektrodenpolarisation. Dies führt auch dazu, dass bei Gewebemessungen im Niederfrequenzbereich die Messsonden wesentlich größer sind als im Hochfrequenz- und Mikrowellenbereich, was wiederum das Problem mit sich bringt, dass sehr fein strukturierte bzw. nur kleinräumig in dünnen Schichten vorkommende Gewebe einer Messung gar nicht oder nur sehr eingeschränkt, mit entsprechend erhöhter Unsicherheit, zugänglich sind. Die resultierende Unsicherheit der Messergebnisse im Frequenzbereich unterhalb von 1 kHz, unter Einbeziehung aller mit der Elektrodenpolarisation zusammenhängender Probleme wird in [34] mit bis zu einem Faktor 2 angegeben, während sie im Hochfrequenz- und Mikrowellenbereich mit ca.  $\pm 15\%$  eingegrenzt werden kann [34]. Hinzuzuzählen sind in der Praxis noch biologische Variationen, die jedoch innerhalb einer Gewebeart wahrscheinlich geringer als die angegebene Messunsicherheit im Niederfrequenzbereich sind. Diese Größenordnung der Unsicherheit spiegelt sich für die meisten Gewebe auch im Vergleich der Messergebnisse aus [34] mit anderen Daten aus der Literatur wider. Tabelle 2.6 zeigt einen solchen Vergleich für die in [34] gemessenen Gewebeleitfähigkeiten mit Werten aus der Literatur von vor 1990 [33], wobei darin vereinzelt (für Nerven- und Nierengewebe) auch deutlich größere Variationsbreiten als Faktor 2 erkennbar sind.

Ein weiterer wesentlicher Unsicherheitsfaktor in der numerischen Dosimetrie ist die Anisotropie mancher Gewebearten (Muskel, Nerven, Knochen), die typischerweise unterhalb von 1 MHz deutlich merkbar wird und mit fallender Frequenz zunimmt. Am besten dokumentiert ist die Anisotropie von Skelettmuskulatur. Die in der Literatur zu findenden Angaben der Verhältnisse von elektrischer Leitfähigkeit in longitudinaler und transversaler Richtung der Muskelfasern unterliegen jedoch großen Schwankungsbereichen und werden beispielsweise bei 100 Hz zwischen 1,5 und ca. 16 angegeben ([34], [41]-[43]). Aus dosimetrischer Sicht besteht jedoch das Problem, dass selbst bei bekannter Anisotropie von Muskelgewebe im Allgemeinen gegenwärtig trotzdem keine Möglichkeit zur Berücksichtigung bei der numerischen Berechnung besteht, da dazu eine aufwändige Neusegmentierung der anatomischen Körpermodelle notwendig wäre, die die unterschiedliche räumliche Lage der einzelnen Muskeln berücksichtigt. Die zusätzliche Notwendigkeit der anisotropen Parametrisierung der einzelnen Muskeln in den Simulationsplattformen ist dagegen relativ einfach zu bewerkstelligen.

Gewebe	Leitfähigkeit ( $\leq 100$ Hz) $\sigma$ [S/m]	
	Mittelwerte aus früherer Literatur [33]	Messergebnisse aus [34]
Auge-Cornea	-	0,4
Auge-Glaskörper	-	1,5
Auge-Linse	-	0,25
Bauchspeicheldrüse	0,13	0,22
Blase	-	0,2
Blut	0,68	0,7
Brust	-	0,06
Dickdarm	-	0,1
Dünndarm	-	0,5
Fett	-	0,04
Gallensekret	1,6	1,4
Gehirn- graue Substanz	0,3	0,1
Gehirn- weiße Substanz	0,1	0,06
Haut nass	-	0,1
Herz	0,2	0,1
Hirnhaut	-	0,5
Hoden	-	0,4
Kleinhirn	-	0,1
Knochen (Compacta)	0,02	0,02
Knochen (Spongiosa)	-	0,07
Knochenmark	-	0,05
Knorpel	-	0,18
Leber	0,12	0,07
Lunge (mit Luft)	0,05	0,08
Lunge (ohne Luft)	0,1	0,2
Magen	-	0,5
Milz	-	0,1
Muskel	0,4	0,35
Nervengewebe	0,4	0,03
Niere	0,9	0,1
Schilddrüse	-	0,5
Sehne	-	0,3
Urin	3,3	-
Zerebrospinalflüssigkeit	1,81	2
Zunge	-	0,3

**Tabelle 2.6:** Vergleich von Gewebeleitfähigkeiten [S/m] aus Literatur von vor 1990 [33] und den in [34] gemessenen Werten für den Frequenzbereich kleiner oder gleich 100 Hz, in dem die Frequenzabhängigkeit vernachlässigt werden kann

## 2.5 Anwendungsregeln für die Expositionsbewertung in der Praxis

Wie in Kapitel 2.2 bereits erwähnt existiert auf europäischer Ebene derzeit kein allgemein verbindliches Rechtsdokument, das die Begrenzung der Exposition der Allgemeinbevölkerung gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern regelt, sondern lediglich die auf den Basis- und Referenzwerten von ICNIRP 1998 aufbauende EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG [11], für die jedoch definitionsgemäß keine Verbindlichkeit zur Umsetzung auf nationaler Ebene besteht.

Seit Juni 2013 in Kraft ist die Richtlinie 2013/35/EU [13] über Mindestvorschriften zum Schutz der Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder). Diese Richtlinie ist bis Mitte 2016 in nationales Recht der Mitgliedstaaten umzusetzen. Die darin festgesetzten Expositionsgrenz- und Auslösewerte basieren zum Schutz vor Stimulationseffekten (Frequenzbereich bis 10 MHz) auf ICNIRP 2010 und zum Schutz vor thermischen Effekten (Frequenzbereich 100 kHz – 300 GHz) auf ICNIRP 1998.

Auf nationaler Ebene in Deutschland ist seit 1.1.1997 die 26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (26.BImSchV) in Kraft, die im Sommer 2013 novelliert wurde [14] und Grenzwerte für ortsfeste Anlagen festsetzt. Im Frequenzbereich bis 10 MHz werden dabei die Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung aus ICNIRP 2010 als Grenzwerte festgesetzt [14] (weitere Details, siehe Kapitel 2.2.2). Für die Ermittlung der Feldstärke- und Flussdichtewerte zur Überprüfung der Einhaltung der in der 26. BImSchV definierten Grenzwerte wird auf die DIN EN 50413 (Ausgabe August 2009) verwiesen, die entsprechende Mess- und Berechnungsverfahren definiert.

Darüber hinaus besteht auch in Deutschland keine allgemeingültige verbindliche gesetzliche Regelung, die konkret die Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern regelt.

Hinsichtlich der Exposition gegenüber den elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern, die von diversen Geräten und Anlagen verursacht werden, kann jedoch indirekt über anzuwendende Direktiven über Produktzulassungsbestimmungen eine Verbindlichkeit zur Einhaltung von Referenz- bzw. Basiswerten abgeleitet werden. Beispielsweise definiert die Richtlinie 1999/5/EG über *Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen und die gegenseitige Anerkennung Ihrer Konformität* [44] in Artikel 3, Absatz (1) den „Schutz der Gesundheit des Benutzers und anderer Personen ...“ als grundlegende Anforderung.

In ähnlicher Weise wird in Artikel 2, Absatz (1) der Richtlinie 2006/95/EG zur *Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen* [45] festgelegt, dass die Mitgliedstaaten alle zweckdienlichen Maßnahmen treffen, „... damit die elektrischen Betriebsmittel nur dann in Verkehr gebracht werden können, wenn sie ... so hergestellt sind, dass sie bei einer ordnungsgemäßen Installation und Wartung sowie einer bestimmungsgemäßen Verwendung die Sicherheit von Menschen und Nutztieren sowie die Erhaltung von Sachwerten nicht gefährden.“

Aus diesen Direktiven ist somit für die betroffenen Produkte (Geräte, Anlagen) eine Verbindlichkeit zur Begrenzung der Exposition von Personen durch die von den Produkten erzeugten elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder ableitbar. Für die Überprüfung der Konformität der betroffenen Geräte und Anlagen wird auf harmonisierte Normen verwiesen. Für Geräte- bzw. Anlageklassen für die noch keine speziell anwendbaren harmonisierten Normen verfügbar sind wird eine adäquate Beurteilung nach dem gegenwärtigen technischen Kenntnisstand verlangt. Konkret für Niederfrequenzgeräte und -anlagen sind gegenwärtig die in Tabelle 2.7 gelisteten Normen unter 2006/95/EG harmonisiert (gemäß Amtsblatt der Europäischen Union vom 04.09.2013), wobei nur solche Normen angeführt sind, die sich auf die Beurteilung der Exposition bis 10 MHz beziehen.

Zusätzlich zur internationalen Normenbezeichnung sind auch die deutschen Entsprechungen in der ersten Spalte angegeben.

<b>EN 50364:2010</b> VDE 0848-362:2010-11	Begrenzung der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern von Geräten, die im Frequenzbereich von 0 Hz bis 10 GHz betrieben und in der elektronischen Artikelüberwachung (en: EAS), Hochfrequenz-Identifizierung (en: RFID) und ähnlichen Anwendungen verwendet werden
<b>EN 50445:2008</b> VDE 0848-545-20:2009-02	Produktfamilienorm zur Konformitätsprüfung von Einrichtungen zum Widerstandsschweißen, Lichtbogenschweißen und artverwandten Prozessen in Bezug auf die bei der Exposition durch elektromagnetische Felder anzuwendenden Basisgrenzwerte (0 Hz - 300 GHz)
<b>EN 62233:2008</b> VDE 0700-366:2008-11	Verfahren zur Messung der elektromagnetischen Felder von Haushaltgeräten und ähnlichen Elektrogeräten im Hinblick auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern
<b>EN 62233:2008/AC:2008</b> VDE 0700-366 Berichtigung 1 :2008-11	Verfahren zur Messung der elektromagnetischen Felder von Haushaltgeräten und ähnlichen Elektrogeräten im Hinblick auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern
<b>EN 62311:2008</b> VDE 0848-211:2008-09	Bewertung von elektrischen und elektronischen Einrichtungen in Bezug auf Begrenzungen der Exposition von Personen in elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz)
<b>EN 62493:2010</b> VDE 0848-493:2010-09	Beurteilung von Beleuchtungseinrichtungen bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern

**Tabelle 2.7:** Liste der unter 2006/95/EG gelisteten harmonisierten Normen zum Themenkreis der Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern (Frequenzbereich < 10 MHz)

Tabelle 2.8 listet weitere aktuelle europäische Normen mit Bezug zur Expositionsbeurteilung in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich bis 10 MHz auf (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

<b>EN 50413:2008</b> VDE 0848-1:2009-08	Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)
<b>EN 50475:2008</b> VDE 0848-375:2009-01	Grundnorm für die Berechnung und Messung der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern von Rundfunksendern in den KW-Bändern (3 MHz bis 30 MHz)
<b>EN 50476:2008</b> VDE 0848-376:2009-01	Produktnorm zum Nachweis der Übereinstimmung von Rundfunksendern mit den Referenzwerten und den Basisgrenzwerten bezüglich der Exposition der Allgemeinbevölkerung gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (3 MHz bis 30 MHz)
<b>EN 50499:2008</b> VDE 0848-499:2009-11	Verfahren für die Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber elektromagnetischen Feldern
<b>EN 50444:2008</b> VDE 0544-20:2009-02	Grundnorm zur Ermittlung der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern von Einrichtungen zum Lichtbogenschweißen und artverwandten Prozessen
<b>EN 50505:2008</b> VDE 0545-21:2009-03	Grundnorm für die Bewertung der menschlichen Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern von Einrichtungen zum Widerstandsschweißen und für verwandte Verfahren
<b>EN 50519:2010</b> VDE 0848-519:2010-11	Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber elektrischen und magnetischen Feldern von industriellen induktiven Elektrowärmeanlagen
<b>EN 50527-1:2010</b> VDE 0848-527-1:2011-01	Verfahren zur Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern mit aktiven implantierbaren medizinischen Geräten (AIMD) gegenüber elektromagnetischen Feldern - Teil 1: Allgemeine Festlegungen
<b>prEN 50527-2-1:2011</b> VDE 0848-527-2-1:2010-09	Verfahren zur Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern mit aktiven implantierbaren medizinischen Geräten (AIMD) gegenüber elektromagnetischen Feldern - Teil 2-1: Besondere Beurteilung für Arbeitnehmer mit Herzschrittmachern
<b>EN 62110:2009</b> VDE 0848-110:2010-08	Elektrische und magnetische Felder, die von Wechselstrom-Energieversorgungssystemen erzeugt werden - Messverfahren im Hinblick auf die Exposition der Allgemeinbevölkerung
<b>EN 62226-1:2005</b> VDE 0848-226:2005-10	Sicherheit in elektrischen oder magnetischen Feldern im niedrigen und mittleren Frequenzbereich - Verfahren zur Berechnung der induzierten Körperstromdichte und des im menschlichen Körper induzierten elektrischen Feldes - Teil 1: Allgemeines
<b>EN 62226-2-1:2005</b> VDE 0848-226-2-1:2005-09	Sicherheit in elektrischen oder magnetischen Feldern im niedrigen und mittleren Frequenzbereich - Verfahren zur Berechnung der induzierten Körperstromdichte und des im menschlichen Körper induzierten elektrischen Feldes - Teil 2-1: Exposition gegenüber magnetischen Feldern - 2D-Modelle
<b>EN 62226-3-1:2007</b> VDE 0848-226-3-1:2008-06	Sicherheit in elektrischen oder magnetischen Feldern im niedrigen und mittleren Frequenzbereich - Verfahren zur Berechnung der induzierten Körperstromdichte und des im menschlichen Körper induzierten elektrischen Feldes - Teil 3-1: Exposition gegenüber elektrischen Feldern - Analytische Modelle und numerische 2D-Modelle
<b>EN 62369-1:2009</b> VDE 0848-369-1:2010-03	Ermittlung der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich 0 GHz bis 300 GHz durch Geräte mit kurzer Reichweite für verschiedene Anwendungen - Teil 1: Felder, die durch Geräte erzeugt werden, die zur elektronischen Artikelüberwachung, Hochfrequenz-Identifizierung und für ähnliche Anwendungen verwendet werden

**Tabelle 2.8:** Liste weiterer europäischer Normen, zum Themenkreis der Expositionsbeurteilung in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern, verursacht von Geräten bzw. Anlagen mit Arbeitsfrequenzen bis 10 MHz.

### 3 ENTWICKLUNG UND ANALYSE UNTERSCHIEDLICHER MITTELUNGSSTRATEGIEN FÜR DIE INTRAKORPORALE ELEKTRISCHE FELDSTÄRKE

Bezüglich der räumlichen Mittelung der intrakorporalen Feldstärke  $E_i$  wird in den ICNIRP Guidelines 2010 [1] empfohlen, den vektoriellen Mittelwert über ein  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  großes Volumen zusammenhängenden Gewebes zu bilden, und für eine gewebespezifische strahlenschutztechnische Beurteilung das 99te Perzentil dieser Größe mit dem jeweiligen Basiswert zu vergleichen. Die Basis für die Wahl des angegebenen Mittelungsvolumens wird mit Überlegungen bezüglich Größenordnungen von Integrationsbereichen entlang von Nervenfasern angegeben. Die Anwendung des 99ten Perzentils wird mit praktischen Überlegungen hinsichtlich der Elimination von numerischen Artefakten („staircasing error“) bei der Berechnung der intrakorporalen Feldgrößen zufolge limitierter räumlicher Auflösung der Berechnungsmodelle begründet.

#### 3.1 Grundlegende praktische Problematik der Perzentilbildung

Hierzu ist zunächst anzumerken, dass die bei der Erstellung der ICNIRP Guidelines 2010 verfügbaren numerischen Berechnungsergebnisse für Ganzkörperexpositionsszenarien auf Modellen mit einer räumlichen Auflösung von nicht besser als 2 mm beruhten. D.h., der von ICNIRP empfohlene räumliche Mittelwert entsprach eigentlich einem Voxel-Maximalwert, der naturgemäß besonders anfällig für Artefakte der oben genannten Art ist. In dieser Situation sah sich ICNIRP offenbar gezwungen die Perzentilbildung in ihre Empfehlung aufzunehmen.

Basierend auf einfachen grundlegenden Überlegungen muss die Perzentilbildung im Allgemeinen jedoch als problematisch angesehen werden. Dies wird vor allem anhand von Expositionssituationen deutlich, bei denen es zufolge der Exposition zu stark lokalisierten induzierten Feldstärkemaxima im Gewebe kommt. Derartige Situationen sind nicht zwangsläufig an die Exposition in stark inhomogenen externen Feldern geknüpft. Beispielsweise können auch bei Exposition in einem (ürprünglich) homogenen elektrischen Feld vor allem an der Körperperipherie (Finger- und Zehenspitzen, Scheitel, etc.) stark lokalisierte Feldstärkemaxima im Gewebe auftreten. Ähnliches gilt für homogene magnetische Ganzkörperbefeldung, die, in Abhängigkeit von der Körperhaltung, aufgrund von Induktionswirkungen in unterschiedlichen Körperteilen, zu lokalen intrakorporalen Feldstärkemaxima (z.B. in den Fingern) führen können (vgl. dazu Kapitel 6.4).

In derartigen Fällen kommt es in einem sehr kleinen Bereich (Volumenanteil) des Körpers zu sehr hohen induzierten Feldstärken. Wenn das signifikant exponierte Gewebenvolumen weniger als 1% des Gesamtvolumens beträgt, wird durch die Bildung des 99ten Perzentils diese Exposition bei der Beurteilung völlig ignoriert. Diese Überlegung lässt sich natürlich auch auf weniger extreme Situationen übertragen und lässt erkennen, dass die Perzentilbildung generell als Quelle potenzieller Unterschätzung von Expositionssituationen angesehen werden muss (siehe dazu auch [10], [47], [48]).

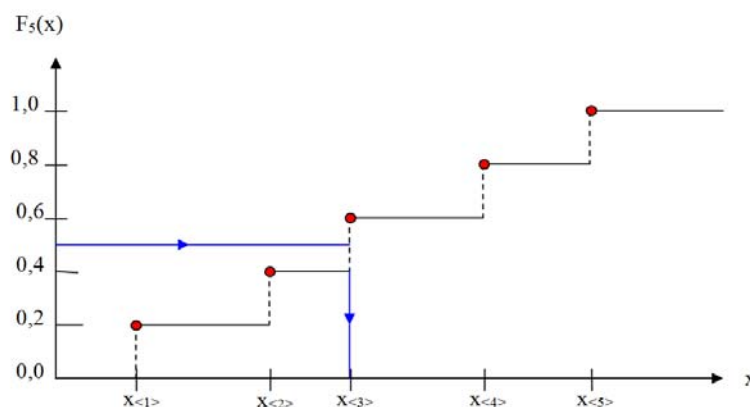
Abgesehen davon eröffnet die knappe Formulierung in den ICNIRP 2010 Guidelines „*For a specific tissue, the 99<sup>th</sup> percentile value of the electric field is the relevant value to be compared with the basic restriction.*“ weitere in der Praxis der numerischen Expositionsbewertung relevante Fragen. Durch die Perzentilbildung hängt das Berechnungs- und damit Bewertungsergebnis naturgemäß davon ab, welche bzw. wie viele Gewebe bzw. Gewebegruppen (wie viele Einzelmittelwerte bzw. welcher Volumenanteil) in die Auswertung mit einbezogen werden. Je mehr niedrig exponiertes Gewebenvolumen in die Auswertung mit einbezogen wird, desto niedriger wird das Ergebnis sein. In diesem Zusammenhang wird in weiterer Folge die Frage relevant, ob beispielsweise bei der Überprüfung des Basiswertes für periphere Gewebe des Körpers jede Gewebeart einzeln



oder alle peripheren Gewebe gemeinsam ausgewertet werden. Schließlich erhöht die Perzentilbildung die Sensitivität des Bewertungsergebnisses auf anatomische Unsicherheiten der Körpermodelle zufolge unterschiedlich detaillierter Segmentierung. Beispielsweise wird in manchen Körpermodellen zwischen „Fett“ und „Unterhaut-Fettgewebe“ unterschieden (auch wenn deren elektrische Eigenschaften annähernd gleich sind), manche Modelle fassen beides unter „Fett“ zusammen. Je nachdem, wie die induzierte Feldstärke im Körper verteilt ist, kann dies bei der Perzentilbildung zu extrem unterschiedlichen Bewertungsergebnissen führen. In einem Modell, in dem „Unterhautfett“ und „Fett“ nicht getrennt, sondern nur gemeinsam als „Fett“ segmentiert sind, kann der Volumenanteil „Fett“ ein Vielfaches des „Unterhautfett“-Anteils in einem besser segmentierten Modell betragen. Bei hohen intrakorporalen Feldstärken, z.B. im Bereich Haut bzw. Unterhautfett der Finger, wird die Perzentilbewertung im schlechter segmentierten Modell daher viel früher zu Verwerfung des tatsächlich auftretenden Maximums führen als im besser segmentierten Modell. In diesem Sinne erhöht die Perzentilbildung demnach massiv die Sensitivität der Bewertungsergebnisse bezüglich anatomischer Unsicherheiten der Körpermodelle.

Weiters treten bei der Perzentilbildung, speziell bei einer kleinen Anzahl von Werten ( $\leq 100$ ), wie sie bei der separaten Auswertung von Geweben bei sehr kleinen Organstrukturen (z.B., Hypophyse) vorliegen kann, die nächsten Probleme statistischer Natur auf:

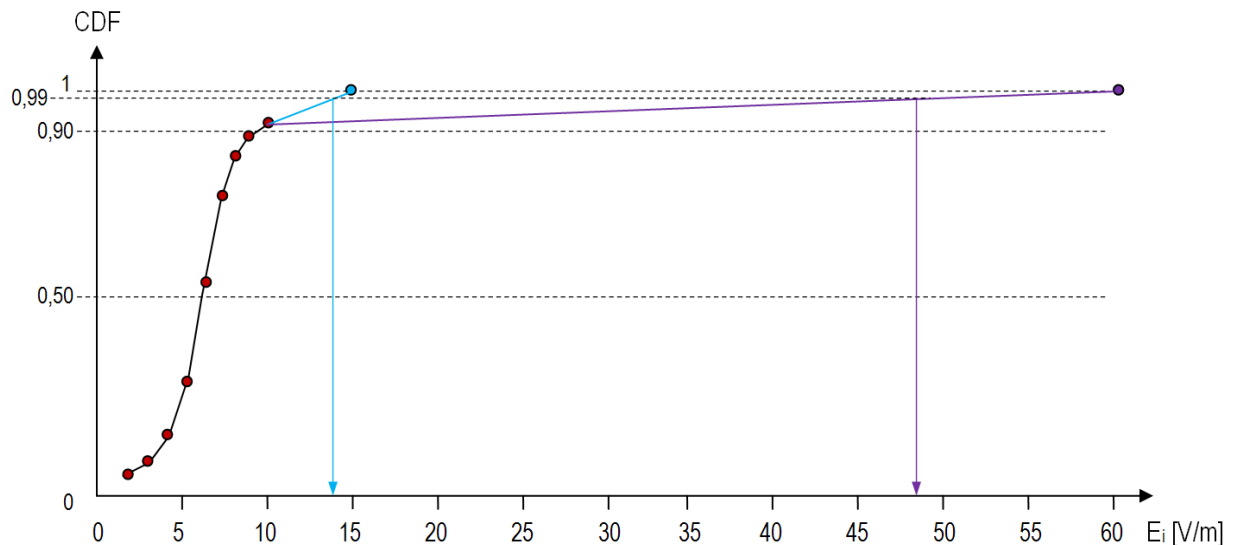
Grundsätzlich gibt es in der Statistik zwei Möglichkeiten der Ermittlung eines Perzentils aus einer Grundmenge von Werten [49]. Die erste Möglichkeit besteht in der simplen Reihung der Werte nach ansteigender Größe von links nach rechts und die Auffindung jenes Wertes, bei welchem, z.B. für das 99te Perzentil, 99% der Werte kleiner oder gleich einer oberen Schranke sind, und damit linksseitig des gesuchten Wertes zu liegen kommen. Der Wert des 99ten Perzentils selbst ist damit wieder Element der ausgewerteten Grundmenge (Abbildung 3.1).



**Abbildung 3.1:** Perzentilbildung ( $p_{50}$ ) durch einfache Reihung in Form einer diskreten Häufigkeitsdichte

Eine weitere Art der Ermittlung des Perzentiles erfolgt über die Bildung der Verteilungsfunktion (CDF, cumulative distribution function,) und Interpolation der Werte durch z.B. einen Polygonzug. Das daraus ermittelte Perzentil ist damit nicht zwingend Element der untersuchten Grundmenge (Abbildung 3.2). Im Hinblick auf die Begründung von ICNIRP für die Perzentilbildung (Unterdrückung von numerischen Artefakten) entsteht bei dieser Methode bei einer geringen Anzahl von Werten ( $\leq 100$ ) zunächst das Problem, dass das ermittelte Perzentil starke Abhängigkeit von der Größe der (zu eliminierenden) Maximalwerte (bzw. Ausreißer) zeigt. Abbildung 3.2 illustriert dies schematisch anhand der CDF für eine hypothetische Verteilung von deutlich weniger als 100 Einzelwerten der induzierten Feldstärke  $E_i$ . Die rot gekennzeichneten Punkte stellen dabei „korrekte“ Ergebniswerte dar, d.h., die maximale induzierte elektrische Feldstärke liegt bei ca. 10 V/m. Der blaue bzw. der violette Punkt sind zwei unterschiedlich große Einzelwerte (entsprechend ca. 15 V/m bzw.

60 V/m) von Artefakten. Die oben beschriebene Perzentilbildung auf Basis der interpolierten Verteilungsdichtefunktion führt dabei auf Werte für das 99te Perzentil von ca. 14 V/m bzw. 49 V/m, je nach Artefaktgröße (Abbildung 3.2). Weiters wird das angestrebte Ziel, nämlich die effiziente Eliminierung von Artefakten nur bedingt erreicht.



**Abbildung 3.2:** Beispiel der Perzentilbildung auf Basis der interpolierten Verteilungsdichtefunktion und bei geringem Stichprobenumfang zur Illustration der problematischen Abhängigkeit von der Artefaktgröße (siehe Text)

Die Statistik kennt für derartige Fälle, wie z.B., die Eliminierung von Artefakten bei kleinem Stichprobenumfang, durchaus geeignete Werkzeuge, wie z.B. sogenannte *robustifizierte Methoden* (z.B. *getrimmte* oder *winsorisierte Methoden*). Es werden dabei, vereinfacht gesprochen, die obersten und untersten  $\alpha \cdot 100\%$  der gereihten Werteverteilung von der weiteren Auswertung ausgeschlossen, wobei natürlich das Problem bleibt, den Koeffizienten  $\alpha$  im Intervall  $[0..1]$  sinnvoll zu definieren.

Das eingangs beschriebene Problem der potenziellen Unterschätzung der Exposition bei sehr lokaler Befeldung wird dadurch aber natürlich in keiner Weise gelöst, im Gegenteil, es wird durch die Anwendung solcher Methoden sogar potenziell verschärft.

Zusammenfassend muss aus den oben angeführten Gründen von einer Perzentilbildung vor dem Vergleich mit den Basiswerten daher abgeraten werden.

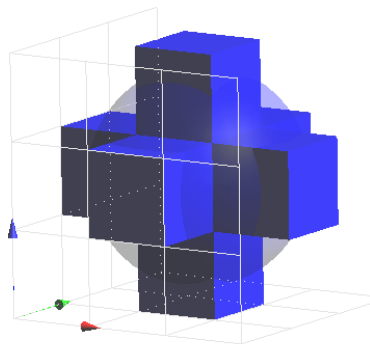
## 3.2 Definition unterschiedlicher Mittelungskonzepte

Bei der Definition von räumlichen Mittelungsverfahren für die intrakorporale Feldstärke im Sinne der ICNIRP 2010 stellen sich zunächst zwei grundlegende Fragen, nämlich jene nach der geometrischen Form des Mittelungsvolumens und jene nach der Vorgehensweise (Strategie) im Bereich von Gewebegrenzschichten (Gewebe-Gewebe oder Gewebe-Luft).

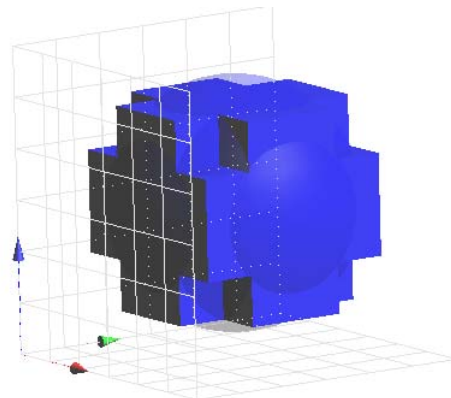
### 3.2.1 Betrachtung unterschiedlicher geometrischer Formen

Die Festlegung von ICNIRP 2010 auf ein Mittelungsvolumen  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  impliziert ein würfelförmiges Mittelungsvolumen mit  $8 \text{ mm}^3$  Rauminhalt. Der Hintergrund für diese Festlegung von ICNIRP waren wahrscheinlich praktische Überlegungen im Hinblick auf die am häufigsten verwendeten numerischen Berechnungsmethoden mit einer orthogonalen Diskretisierung des Rechenraumes. Im Sinne räumlicher Isotropie muss ein kugelförmiges Mittelungsvolumen als zielführender angesehen werden, vorausgesetzt natürlich, dass die erregbaren Zellstrukturen gleichmäßig und ohne besondere Bevorzugung einer besonderen

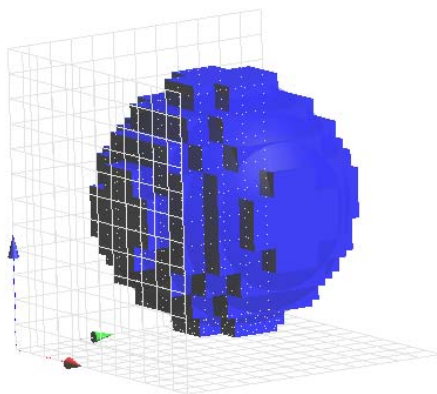
Raum-Richtung über das gesamte Feldgebiet (in der Regel damit der gesamte Körper) statistisch unabhängig bzw. gleichverteilt angeordnet sind. Dieser Vorzug der Kugelform ist vor allem bei hoher Auflösung des Rechenraumes gegeben. Bei gröberer Auflösung geht er zunehmend verloren, wie aus Abbildung 3.3 unmittelbar einsichtig.



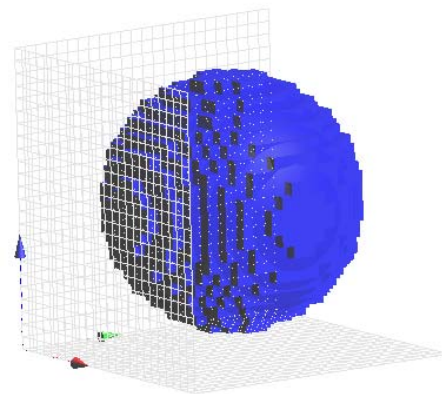
Gitter: 1,0 mm Auflösung



Gitter: 0,5 mm GitterAuflösung



Gitter: 0,25 mm Auflösung



Gitter: 0,125 mm Auflösung

**Abbildung 3.3:** Kugelförmiges Mittelungsvolumen bei unterschiedlicher räumlicher Auflösung

In vielen typischen Expositionssituationen, wie z.B. in elektrischen Feldern treten an der Körperoberfläche zufolge des großen Sprunges der dielektrischen Eigenschaften auch entsprechend hohe Sprünge der elektrischen Feldstärke auf. Ähnliches gilt natürlich auch bei Gewebe-Gewebe-Übergängen mit großem dielektrischem Kontrast.

Bei Mittelung über ein würfelförmiges Feldgebiet (Abbildung 3.4, rechts) werden, im Falle von zumindest über wenige Millimeter planer Grenzschichten, die Feldstärkewerte entlang der Grenzschicht stärker in die Mittelung einbezogen als im Fall des kugelförmigen Mittelungsvolumen mit nur einem Berührungspunkt an der Grenzschicht.

Im weiteren Verlauf werden sowohl würfelförmige, als auch kugelförmige Mittelungsvolumina mit jeweils  $8 \text{ mm}^3$  Rauminhalt vergleichend betrachtet.

Andere theoretisch denkbare geometrische Formen des Mittelungsvolumens werden nicht weiter betrachtet, weil für sie keine sinnvolle und generell anwendbare biophysikalische Begründung existiert.

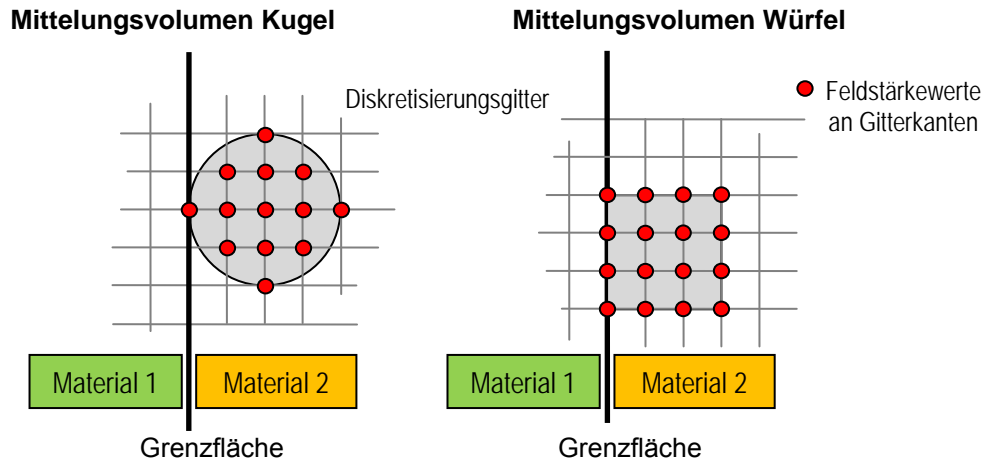


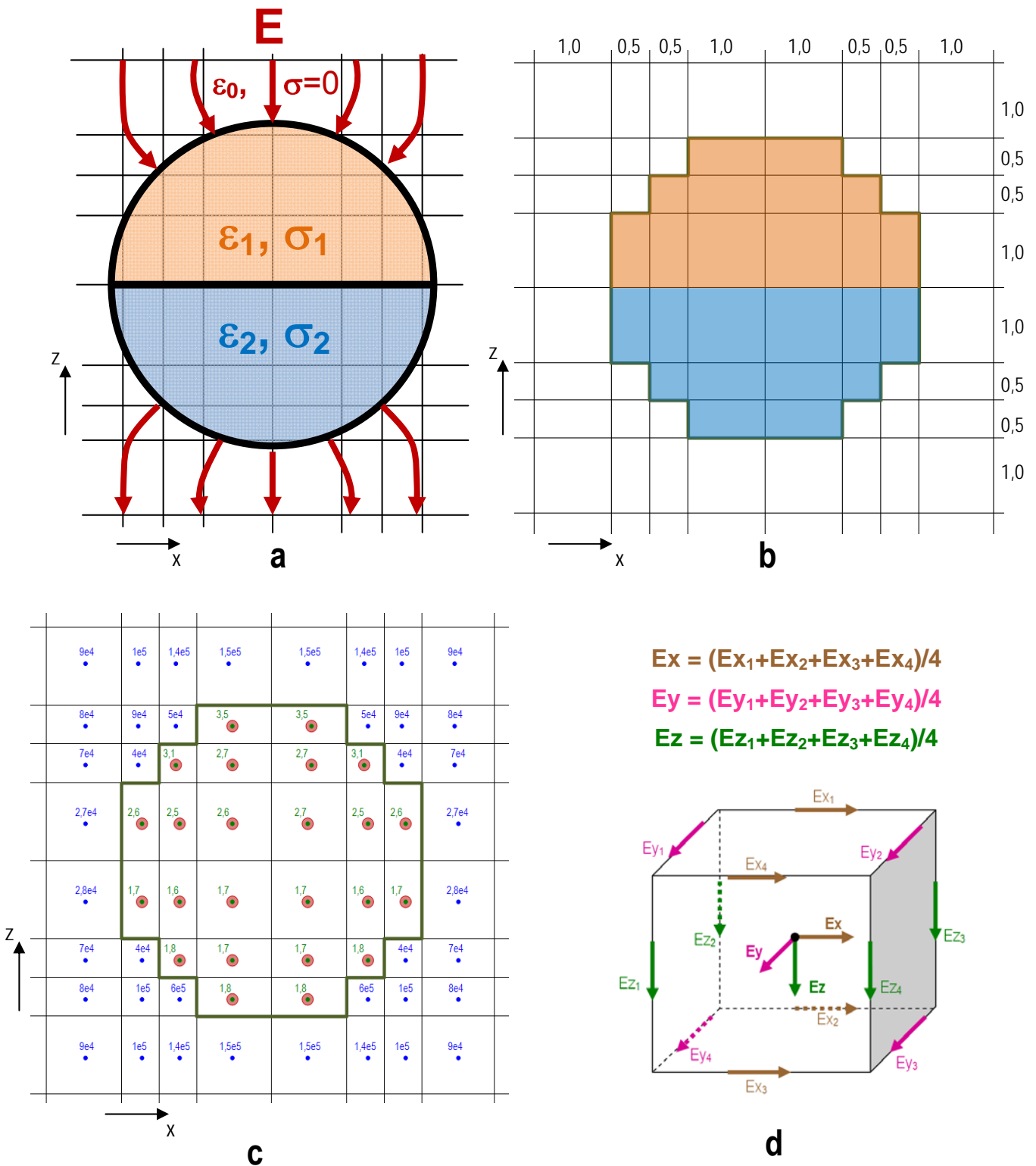
Abbildung 3.4: Prinzipvergleich von kugelförmigem und würfelförmigem Mittelungsvolumen

### 3.2.2 Betrachtung unterschiedlicher Mittelungsstrategien

Neben der Festlegung einer geometrischen Form des Mittelungsvolumens ist die Behandlung der Feldverteilung an Gewebegrenzschichten (Gewebe-Gewebe oder Gewebe-Luft) von entscheidender Bedeutung für das Mittelungsergebnis.

Im Folgenden werden diesbezüglich „Volumen-strikte“ und „Volumen-tolerante“ Verfahren diskutiert. Solange sich das Mittelungsvolumen zur Gänze innerhalb des betrachteten Gewebebereiches befindet existiert kein Unterschied zwischen den strikten und den toleranten Verfahren. Der Unterschied liegt ausschließlich in der Vorgehensweise bei der Mittelung, wenn sich Teile des Mittelungsvolumens über die Gewebegrenzschicht hinaus erstrecken.

Abbildung 3.5 zeigt zunächst ein einfaches Beispiel anhand dessen die unterschiedlichen Mittelungsstrategien erläutert werden sollen. Es handelt sich dabei um ein sehr einfaches Modell eines (in die Bildebene hinein) näherungsweise unendlich lang gestreckten Zylinders, der aus zwei unterschiedlichen Materialien besteht (Abbildung 3.5a,b). Die Feldverteilung normal zur Bildebene kann als homogen angenommen werden, wodurch die Erklärungen der Mittelungsmethoden zweidimensional erfolgen können. Die Diskretisierung des Rechengitters wurde anhand eines Gitters mit 0,5 mm bzw. 1,0 mm Schrittweite vorgenommen. In Abbildung 3.5c ist ein Berechnungsergebnis in Form der den einzelnen Voxelmittelpunkten zugeordneten Feldstärkewerte dargestellt (zwecks Vereinfachung ist nur die z-Komponente in der Abbildung eingetragen). Blaue Punkte kennzeichnen E-Feldwerte bzw. Voxel in der umgebenden Luft, grüne Punkte kennzeichnen E-Feldwerte bzw. Voxel im Inneren des Zylinders. Die roten Punkte markieren die Voxel-Mittelpunkte im Inneren des Zylinders in denen die Feldstärkemittelwerte über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  (bzw. hier in der vereinfachten zweidimensionalen Darstellung über  $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ) zu ermitteln sind, wobei in der folgenden Beschreibung über die Gewebegrenzschicht im Inneren des Zylinders hinweggemittelt wird, d.h., als für die Mittelungsstrategie relevante Gewebegrenzschicht wird ausschließlich der Übergang Gewebe-Luft betrachtet. Die Berechnung der in der Abbildung eingetragenen Voxel-Feldstärkewerte aus den (ursprünglichen) Feldstärkewerten entlang der Gitterkanten erfolgt dabei, für jede Raumrichtung separat, durch Mittelwertbildung aus den jeweils 4 zugehörigen Feldstärkevektoren (Abbildung 3.5d).



$$E_x = (E_{x_1} + E_{x_2} + E_{x_3} + E_{x_4})/4$$

$$E_y = (E_{y_1} + E_{y_2} + E_{y_3} + E_{y_4})/4$$

$$E_z = (E_{z_1} + E_{z_2} + E_{z_3} + E_{z_4})/4$$

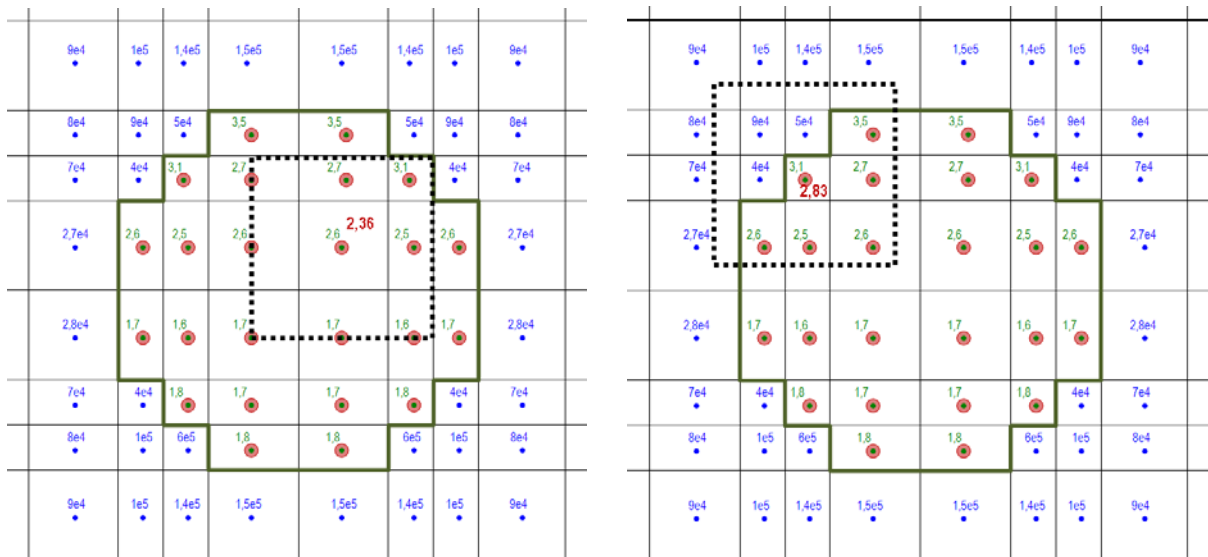
**Abbildung 3.5:** Einfaches Beispiel eines langen, zweischichtigen Zylinders in einem ursprünglich homogenem elektrischem (Feld quer zur Zylinderlängsachse) zur Erklärung der unterschiedlichen Mittelungsstrategien. **a:** schematische Darstellung des Modells im Querschnitt; **b:** Voxelanordnung (Querschnitt) nach Diskretisierung mit 0,5-1,0 mm Auflösung; **c:** Rechengitter mit berechneten elektrischen Feldstärken, jeweils den Voxelmittelpunkten zugeordnet (zwecks Vereinfachung nur z-Komponente dargestellt), blau: Feldstärkewerte in der umgebenden Luft, grüne Punkte: Feldstärkewerte im Inneren des Zylinders, rote Punkte: Voxel-Mittelpunkte denen ein Feldstärkemittelwert zugewiesen werden soll; **d:** Schema zur Erklärung der Berechnung der den Voxelmittelpunkten zugeordneten elektrischen Feldstärkekomponenten ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$ ) aus den Feldstärkewerten entlang der Gitterkanten ( $E_{x_i}$ ,  $E_{y_i}$ ,  $E_{z_i}$ ).

Das Vorgehen bei der Volumenmittelung über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  erfolgt nun grundsätzlich derart, dass das Mittelungsvolumen im betreffenden Voxel-Mittelpunkt zentriert wird. Liegt das gesamte Mittelungsvolumen innerhalb des betrachteten Gewebebereiches, so wird der dem Voxelmittelpunkt zuzuordnende Feldstärkemittelwert einfach aus dem Mittelwert aller Feldstärkewerte berechnet deren zugehörige Voxel zumindest teilweise im Mittelungsvolumen liegen (Abbildung 3.6, links). Angemerkt wird dazu, dass in den vereinfachten zweidimensionalen Abbildungen aus Gründen der Übersichtlichkeit jeweils einfach der arithmetische Mittelwert der umgebenden Gitter-Feldstärkewerte berechnet wird. In der Realität erfolgt diese Mittelwertbildung selbstverständlich unter Beachtung der vektoriellen Eigenschaften der elektrischen Feldstärke. D.h., es werden für alle drei Raumrichtungen zunächst separat die Mittelwerte  $E_{i,\text{avg},x}$ ,  $E_{i,\text{avg},y}$ ,  $E_{i,\text{avg},z}$  ermittelt und anschließend die Vektorsumme gemäß

$$E_{i,\text{avg}} = \sqrt{E_{i,\text{avg},x}^2 + E_{i,\text{avg},y}^2 + E_{i,\text{avg},z}^2}$$

berechnet.

Beim Volumen-toleranten Verfahren wird nun, wenn das in den Voxel-Mittelpunkten zentrierte Mittelungsvolumen über die Gewebegrenzen hinausragt ein kleineres Mittelungsvolumen als die vorgegebenen  $8 \text{ mm}^3$  in Kauf genommen, wobei gleichzeitig auch die strenge Würfel- bzw. Kugelform verloren geht (Abbildung 3.6, rechts). Das im rechten Teilbild der Abbildung 3.6 strichliert angedeutete würfelförmige Volumen stellt lediglich jenes  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  Volumen dar, das um das betrachtete Voxel aufgespannt werden kann, wenn man keine Rücksicht auf Gewebegrenzen nimmt. Dass außerhalb des Zielgewebes liegende Feldstärkewerte dabei nicht in die Mittelwertbildung eingehen, und damit das in die Mittelwertbildung einbezogene Gewebevolumen nicht würfelförmig, sondern im konkreten Fall treppenförmig ist, ist unmittelbar aus dem im rechten Teilbild der Abbildung 3.6 eingetragenen Feldstärkemittelwert ersichtlich ( $2,83 \text{ V/m}$ ). Bei Miteinbeziehung der außerhalb (im konkreten Fall in Luft) liegenden Feldstärkewerte, würde sich ein (dem Gewebe zugeordneter) Mittelwert deutlich größer als  $10.000 \text{ V/m}$  ergeben. Dass ein derartiges Vorgehen physikalisch nicht sinnvoll ist, ist unmittelbar einsichtig.

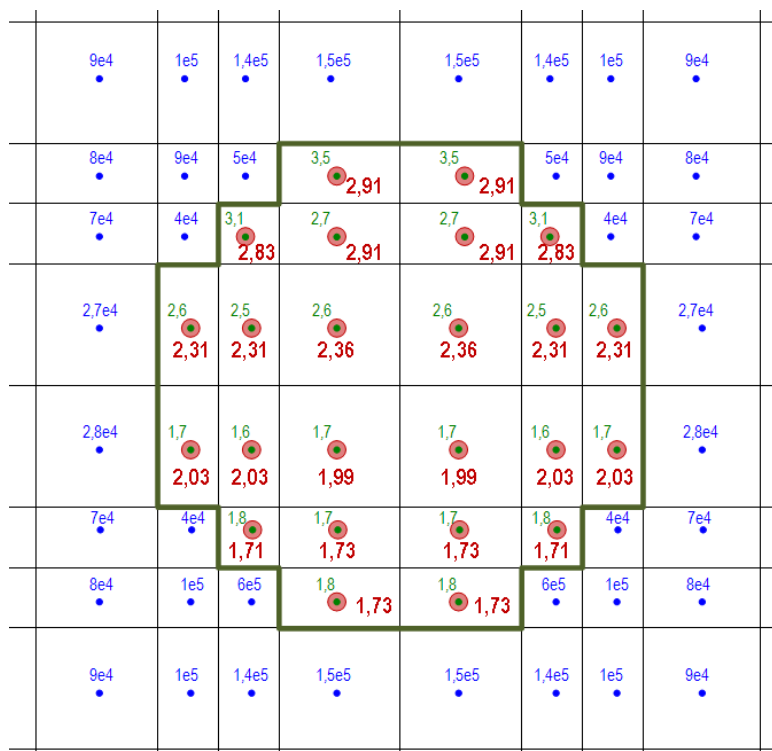


**Abbildung 3.6:** Einfaches Beispiel der Vorgehensweise beim Volumen-toleranten Verfahren. Solange das Mittelungsvolumen vollständig innerhalb des betrachteten Gewebebereiches liegt, wird über die im Inneren liegenden Feldstärkewerte gemittelt (links). Ragt das Mittelungsvolumen über den betrachteten Gewebebereich teilweise hinaus, wird eine entsprechende Verkleinerung des Mittelungsvolumens in Kauf genommen (rechts).

Der Begriff „würfelförmiges“ Mittelungsvolumen ist beim Volumen-toleranten Mittelungsverfahren daher so zu verstehen, dass grundsätzlich von einem würfelförmigen Mittelungsvolumen ausgegangen wird, d.h., es wird zunächst versucht, in jedem betrachteten Voxel ein würfelförmiges  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  Mittelungsvolumen aufzuspannen. Gerät man dabei in Konflikt mit Gewebegrenzen, wird eine Verformung des Mittelungsvolumens zugelassen (aber am betrachteten Voxel festgehalten). In anderen Worten wird das Ziel für jedes Voxel im Gewebe einen Mittelwert zu berechnen durch ein verformtes Mittelungsvolumen erkauft. Neben dem Preis eines „verformten“, d.h., nicht mehr würfelförmigen und weniger als  $8 \text{ mm}^3$  Gewebe enthaltenden Mittelungsvolumens ergibt sich dadurch auch zwangsläufig der Effekt, dass die Feldstärkemittelwerte am Rand des betrachteten Gewebebereiches tendenziös den ungemittelten Feldstärkewerten zustreben, d.h., der Mittelungseffekt abgeschwächt wird.

Durch dieses Vorgehen bei der Volumen-toleranten Mittelungsstrategie wird das Mindestvolumen für das noch eine Mittelung vorgenommen wird zu einem charakterisierenden Parameter des Mittelungsalgorithmus. Im Rahmen der hier durchgeführten Berechnungen wurde dieses Mindestvolumen mit  $1 \text{ mm}^3$ , also 12,5% des empfohlenen Mittelungsvolumens, festgelegt.

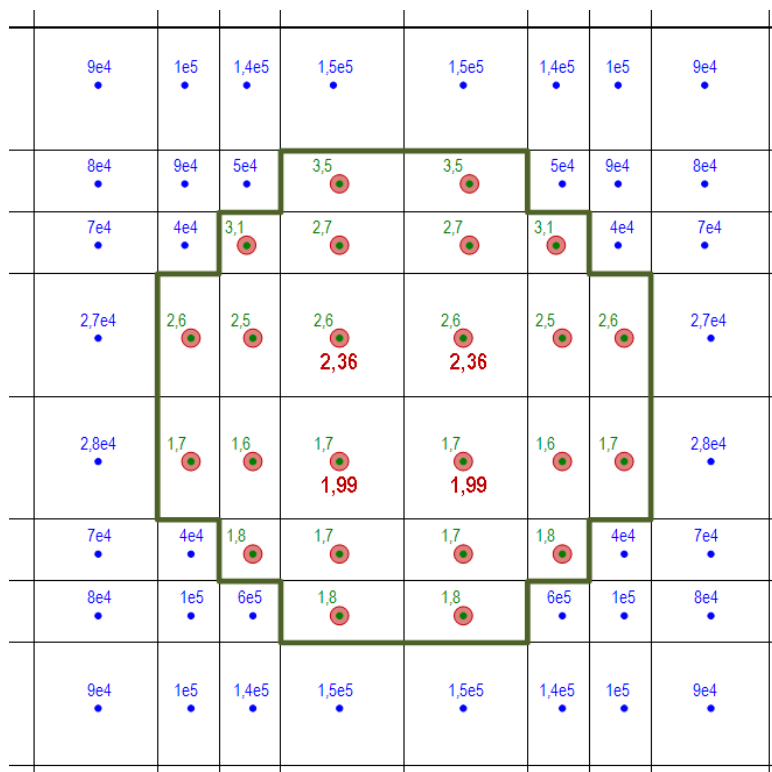
Abbildung 3.7 zeigt das vollständige Ergebnis der Mittelung der intrakorporalen Feldstärke bei Verwendung des Volumen-toleranten Verfahrens. Der maximale, gemittelte intrakorporale Feldstärkewert  $\max E_{i, \text{avg}}$  beträgt in diesem Fall 2,91 V/m.



**Abbildung 3.7:** Mittelungsergebnis für das in Abbildung 3.5 dargestellte Beispiel bei Anwendung des Volumen-toleranten Mittelungsalgorithmus

Im Gegensatz zum Volumen-toleranten Verfahren wird beim Volumen-strikten Mittelungsverfahren das Ziel verfolgt innerhalb des Gewebes ausschließlich über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte Feldstärkewerte zu ermitteln, d.h., es werden nur Mittelungsvolumina von  $8 \text{ mm}^3$  zugelassen. Ergibt sich beim Versuch in einem Voxel ein solches Mittelungsvolumen aufzuspannen ein Konflikt mit Gewebegrenzen, wird auf die Mittelwertberechnung im betreffenden Voxel verzichtet. Diese Strategie vermeidet demnach Überbewertungen (Verlust des Mittelungseffektes) an Gewebegrenzen. Das dabei augenscheinlich gegebene Risiko einer Unterbewertung zufolge der Tatsache, dass für einige Voxel nahe der Gewebegrenzfläche weder Voxelwerte, noch Mittelwerte in die Bewertung eingehen, kann bei hinreichend guter Auflösung innerhalb sinnvoller Grenzen gehalten werden (vgl. Abbildung 3.9).

Abbildung 3.8 zeigt das vollständige Ergebnis der Mittelung der intrakorporalen Feldstärke bei Verwendung des Volumen-strikten Verfahrens. Der maximale, gemittelte intrakorporale Feldstärkewert  $\max E_{i,\text{avg}}$  beträgt in diesem Fall 2,36 V/m und ist damit erwartungsgemäß niedriger als das Ergebnis des Volumen-toleranten Mittelungsverfahrens.



**Abbildung 3.8:** Mittelungsergebnis für das in Abbildung 3.5 dargestellte Beispiel bei Anwendung des Volumen-strikten Mittelungsalgorithmus

Während das Volumen-tolerante Verfahren, aufgrund des Akzeptierens kleinerer Mittelungsvolumina als die von ICNIRP festgesetzten  $8 \text{ mm}^3$  inherent die Tendenz zu einer Überbewertung der intrakorporalen Feldstärkemittelwertes haben muss, kann vom Volumen-strikten Verfahren erwartet werden, dass sich die Feldstärkemittelwerte mit feiner werdender Auflösung des Rechengitters den analytisch berechneten Mittelwerten der entsprechenden kontinuierlichen (nicht-diskretisierten) Feldverteilung annähern.



### 3.3 Vorgehen bei der Mittelung an Gewebegrenzen zu Luft

Wie bereits weiter oben in Zusammenhang mit den in Abbildung 3.6 dargestellten Ergebnissen erwähnt, muss an Gewebegrenzen zu Luft grundsätzlich eine spezielle Vorgehensweise gewählt werden, um physikalisch sinnvolle Ergebnisse zu erhalten. Da in Luft, unmittelbar an der Körperoberfläche bzw. unmittelbar an der Grenze zum Gewebe sehr hohe elektrische Feldstärken auftreten können, ist die Grenze zu Luft ausnahmslos als unbedingt zu betrachtende Gewebegrenze zu behandeln. In anderen Worten, dürfen Lufträume niemals einer Zielgewebegruppe zugeordnet werden. Andernfalls würden in einem solchen Fall bei gewebespezifischer  $\max E_{i,avg}$  Ermittlung die  $\max E_{i,avg}$  Werte in den an den Luftraum angrenzenden Geweben überschätzt werden.

### 3.4 Validierung der unterschiedlichen Mittelungskonzepte

Im Folgenden werden die folgenden Mittelungsmethoden auf Basis einfacher Modelle verglichen:

Methode  $W_t$ : Volumen-tolerantes Verfahren mit würfelförmigem Mittelungsvolumen

Methode  $W_s$ : Volumen-striktes Verfahren mit würfelförmigem Mittelungsvolumen

Methode  $K_s$ : Volumen-striktes Verfahren mit kugelförmigem Mittelungsvolumen

Für die Methoden  $W_s$  und  $K_s$  werden zu Vergleichszwecken zusätzlich die 99ten Perzentile angegeben und dafür die Bezeichnungen  $W_{s\_p99}$  und  $K_{s\_p99}$  verwendet. Sinngemäß entsprechen die Bezeichnungen  $W_{s\_p100}$ ,  $W_{t\_p100}$  und  $K_{s\_p100}$  den maximalen Mittelwerten, für die in weiterer Folge allgemein (unabhängig vom Mittelungsalgorithmus) die Bezeichnung  $\max E_{i,avg}$  verwendet wird.

#### 3.4.1 Validierung für einfaches Modell magnetischer Befeldung

Ausgangspunkt ist eine homogene Kreisscheibe (Durchmesser  $d=20\text{mm}$ ), die einem homogenen Magnetfeld (Flussdichte  $B$ , Frequenz  $f$ ) parallel zur Rotationsachse ausgesetzt ist. Die räumliche Verteilung der in der Scheibe induzierten elektrischen Feldstärke  $E$  kann leicht analytisch berechnet werden ( $r$  .. radialer Abstand vom Scheibenzentrum):

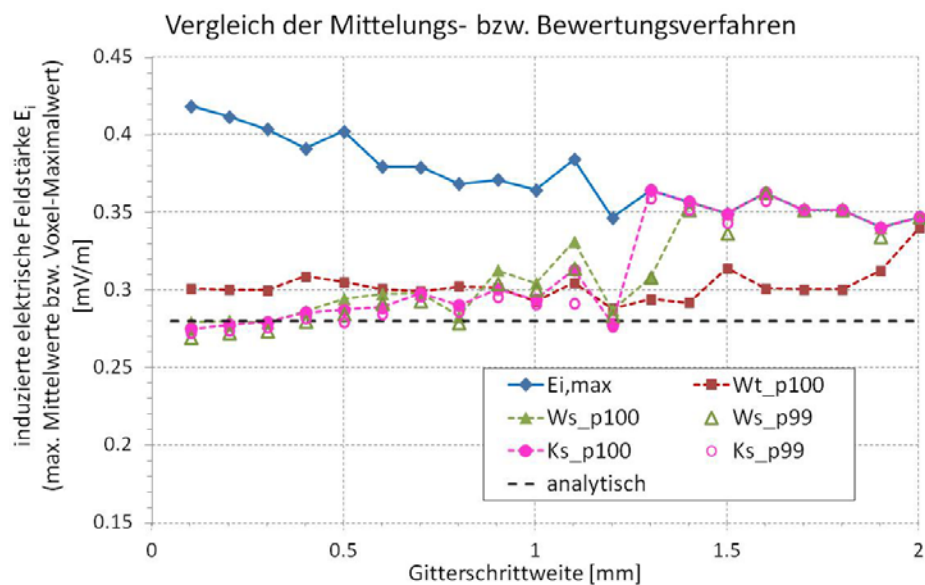
$$E(r) = f \cdot B \cdot r \cdot \pi$$

Für  $f=50\text{ Hz}$  und  $B=200\text{ }\mu\text{T}$  kann daraus einfach auf analytischem Weg der maximale, über  $2 \times 2 \times 2\text{ mm}^3$  gemittelte Wert der in der Scheibe induzierten elektrischen Feldstärke zu ca.  $0,28\text{ mV}$  berechnet werden. Dieser Wert dient daher als Referenz für die Validierung.

Abbildung 3.9 zeigt einen Vergleich der Berechnungsergebnisse hinsichtlich der maximalen gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke für das Kreisscheibenmodell für unterschiedliche räumliche Auflösung des Rechenraumes. Zusätzlich zu den berechneten maximalen Feldstärkemittelwerten ist zum Vergleich auch der Voxel-Maximalwert  $E_{i,max}$  (Maximalwert der ungemittelten induzierten Feldstärke) angegeben.

Für hohe Auflösung des Rechengitters zeigt sich erwartungsgemäß eine sehr gute Übereinstimmung der strikten Mittelungsalgorithmen mit dem analytisch berechneten Wert, wobei, ebenfalls erwartungsgemäß, das kugelförmige Mittelungsvolumen zu etwas niedrigeren Ergebnissen führt (vgl. Kapitel 3.2.1). Das tolerante Verfahren überschätzt bei feinen Auflösungen geringfügig (ca. 7%). Bei  $1\text{ mm}$  Gitterschrittweite zeigen die unterschiedlichen Mittelungsmethoden gute Übereinstimmung mit einer Überschätzung des analytisch ermittelten Werten von ca. 5-8%. Bei Gitterschrittweiten größer  $1\text{ mm}$  werden die Abweichungen naturgemäß größer. Die Tatsache, dass die beiden strikten Algorithmen bereits ab ca.  $1,3\text{ mm}$  bzw.  $1,4\text{ mm}$  Gitterschrittweite keinen Mittelungseffekt mehr zeigen,

sondern mit dem Voxel-Maximalwert übereinstimmen liegt daran, dass die implementierten strikten Algorithmen (im Gegensatz zum toleranten Algorithmus) aus Rechenzeitgründen keine Interpolationen durchführen, sondern nur auf das Original-Feldstärkewertegitter zurückgreifen. Diese Einschränkung hat keinerlei Konsequenzen für die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Berechnungen mit anatomischen Körpermodellen, da diese alle mit einer konstanten Gitterschrittweite von 1 mm durchgeführt wurden. Ganz generell muss, bei Anwendung eines Raummittelwertes über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  als Bewertungsgröße, von Rechengitterauflösungen größer als 1 mm abgeraten werden. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass, wie in Kapitel 3.1 gezeigt, die Perzentilbildung aus grundlegenden Überlegungen als ungeeignetes Mittel zur Reduzierung von numerischen Artefakten angesehen werden muss und diese numerischen Artefakte mit größerer Auflösung immer mehr zunehmen (vgl. dazu auch [48]).



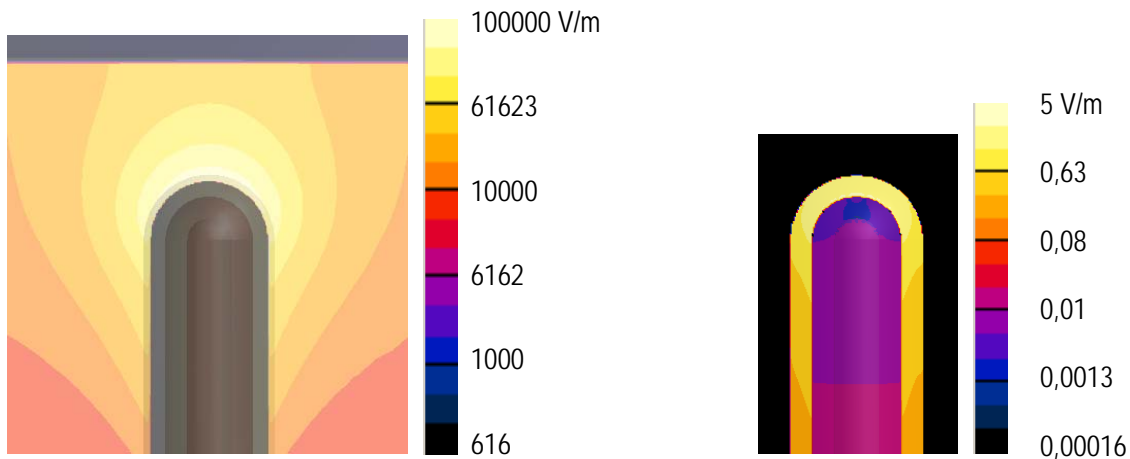
**Abbildung 3.9:** Vergleich der Mittelungsmethoden bzw. Bewertungsgrößen für eine homogene Kreisscheibe (Durchmesser 20 mm) in einem homogenen Magnetfeld (50 Hz, 200  $\mu\text{T}$ )

### 3.4.2 Validierung für einfaches Modell elektrischer Befeldung

Ausgangspunkt ist ein einfaches Modell einer in der Praxis durchaus relevanten Situation eines Fingers, der einem spannungsführendem Objekt nahe kommt. An der Fingerkuppe sind dabei, stark lokal konzentriert, hohe Feldstärkewerte zu erwarten. Das Fingermodell besteht aus 3 Schichten: Haut, Muskel und Knochen, wobei Haut- und Muskelschicht jeweils 3 mm dick sind und einen Knochen mit 6 mm Außendurchmesser umgeben. Die dielektrischen Gewebeeigenschaften wurden für 50 Hz gemäß [38] zugeordnet. Abbildung 3.10 zeigt auf der linken Seite die elektrische Feldverteilung in Luft und rechts die elektrische Feldverteilung im Finger.

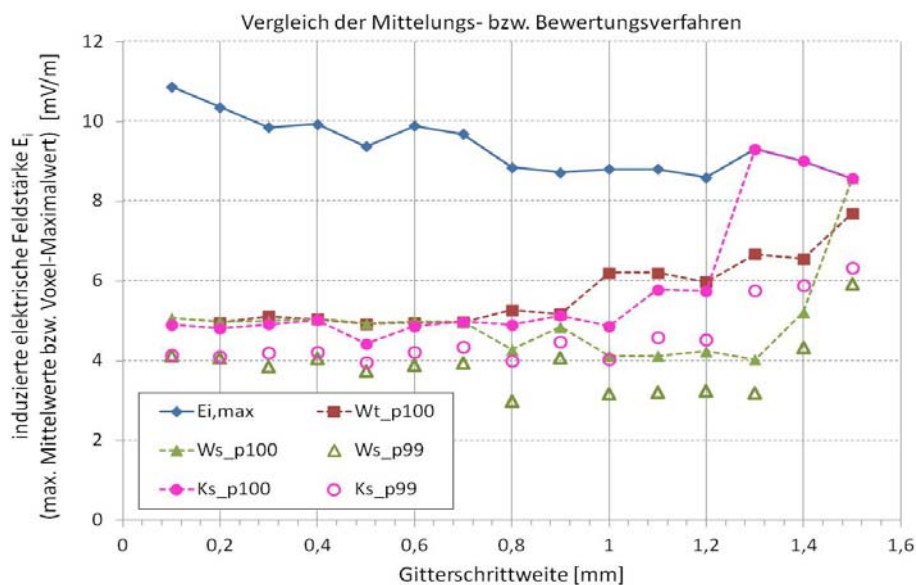
Abbildung 3.11 zeigt einen Vergleich der Berechnungsergebnisse hinsichtlich der maximalen gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke für das Fingermodell für unterschiedliche räumliche Auflösung des Rechenraumes. Zusätzlich zu den berechneten maximalen Feldstärkemittelwerten ist zum Vergleich auch wieder der Voxel-Maximalwert  $\max E_i$  (Maximalwert der ungemittelten induzierten Feldstärke) angegeben.

Die unterschiedlichen Mittelungsalgorithmen konvergieren für feiner werdende räumliche Auflösungen des Rechenraumes gegen ca. 5 V/m, wobei sich bei tolerantem und striktem Algorithmus mit würfelförmigem Mittelungsvolumen für Gitterschrittweiten  $\leq 0,7 \text{ mm}$  praktisch exakte Übereinstimmung zeigt.



**Abbildung 3.10:** Einfaches Fingermodell (links) und Verteilung der elektrischen Feldstärke in Haut, Muskel und Knochen in einem Längsschnitt durch das Fingermodell

Die Ergebnisse mit kugelförmigem Mittelungsvolumen zeigen in diesem Bereich wieder die erwartete geringfügige Tendenz zu kleineren Werten. Für Gitterschrittweiten  $>0,7$  mm ergeben sich merkbare Unterschiede in den Ergebnissen mit den unterschiedlichen Mittelungsverfahren. Das tolerante Verfahren (mit würfelförmigem Mittelungsvolumen) liefert mit größer werdender Gitterschrittweite zunehmend größere Werte, die sich dem Voxel-Maximalwert annähern. Für Gitterschrittweiten  $>0,7$  mm erfolgt offensichtlich eine Trendumkehr zwischen kugelförmigem und würfelförmigem Mittelungsalgorithmus in dem Sinn, dass nunmehr die mit würfelförmigem Mittelungsvolumen ermittelten Ergebnisse kleiner als jene mit dem kugelförmigen Mittelungsvolumen ermittelten sind. Dies ist in Anbetracht des im Verhältnis zur Gitterschrittweite zunehmend kleiner werdenden Krümmungsradius der Fingerspitze und der dort stark lokalisierten Feldstärkewerte plausibel, da sich die Kugelform besser dem Krümmungsradius anschmiegt. Bei 1 mm Gitterschrittweite liegen die Abweichungen vom erwarteten Wert (5 V/m) bei +24%, -3% und -20% für das tolerante Verfahren mit würfelförmigem Volumen ( $W_t$ ), das strikte Verfahren mit kugelförmigem Volumen ( $K_s$ ) und das strikte Verfahren mit würfelförmigem Volumen ( $W_s$ ). Die p99-Werte bleiben naturgemäß hinter den p100-Werten zurück, wobei durch die starke Fokussierung der Feldstärke die Unterschiede in diesem Modellbeispiel besonders deutlich hervortreten.



**Abbildung 3.11:** Vergleich der Mittelungsmethoden bzw. Bewertungsgrößen für das einfache Modelle eines Fingers vor einem spannungsführenden Objekt.

Zusammenfassend lassen sich aus den oben dargestellten Ergebnissen die folgenden Erkenntnisse bezüglich der räumlichen Mittelung und der Bewertung der intrakorporalen Feldstärken vor dem Hintergrund der ICNIRP 2010 Empfehlungen ziehen:

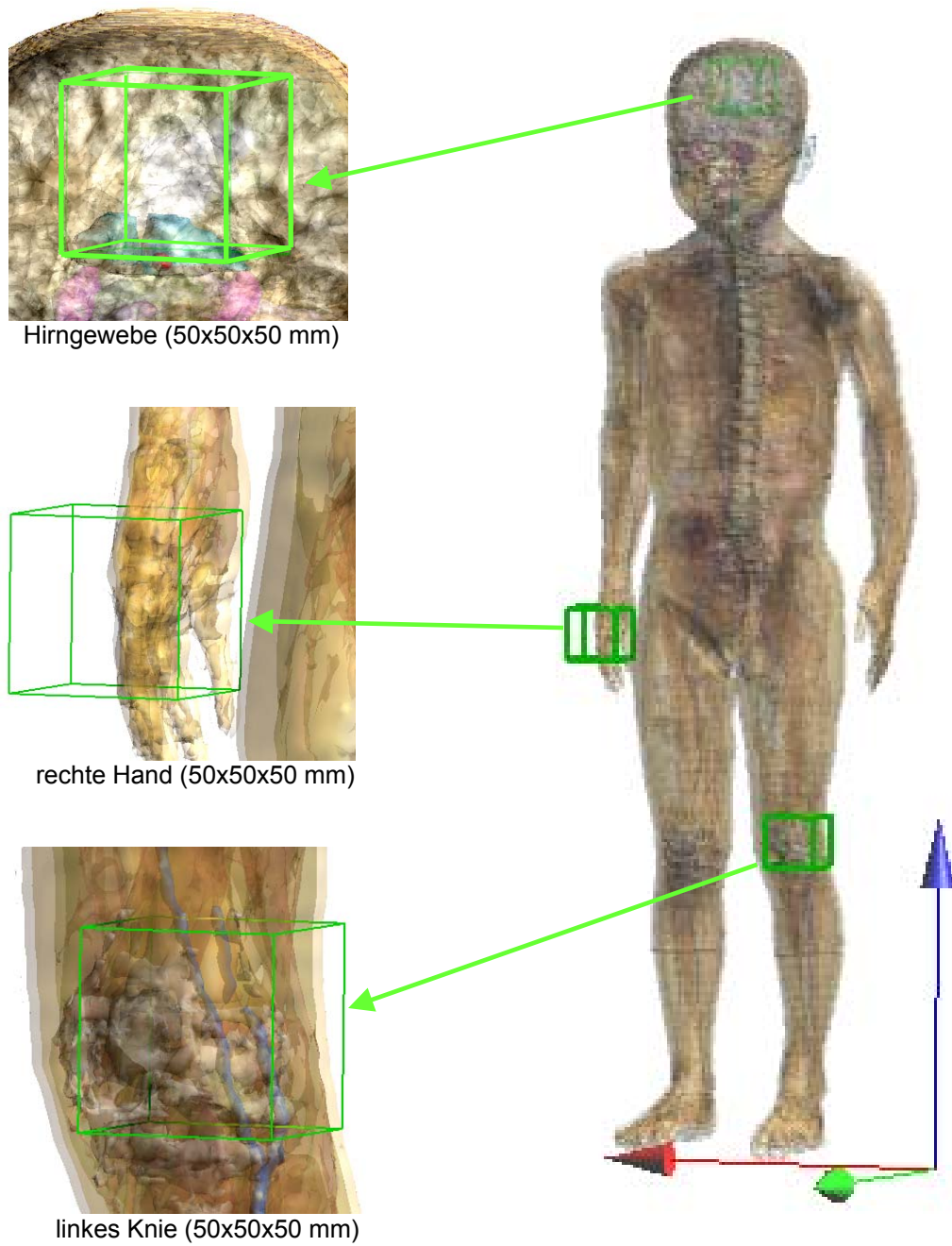
1. Von einer Perzentilbildung vor dem Vergleich mit den Basiswerten ist abzuraten, da sie potenziell zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Expositionssituation führt. Je nach Expositionssituation, Feldverteilung und betrachtetem Gewebe kann das Ausmaß der Unterschätzung beträchtlich sein. In diesem Zusammenhang ist weiters anzumerken, dass die ursprüngliche in den ICNIRP 2010 Empfehlungen angegebene Begründung für die Einführung der Perzentilbildung die Unterdrückung numerischer Artefakte war, die insbesondere bei geringer räumlicher Auflösung des Rechengitters merkbar werden. Aufgrund des rasanten Fortschritts auf dem Gebiet der numerischen Dosimetrie sind inzwischen Rechengitterauflösungen möglich, die dieser Begründung zunehmend die Basis entziehen, wodurch sich ein weiteres, rein formales Argument gegen die Perzentilbildung ergibt.
2. Um numerische Unsicherheiten und Artefakte zufolge einer im Verhältnis zum Mittelungsvolumen von  $8 \text{ mm}^3$  großen Gitterschrittweite im Rechenraum zu vermeiden bzw. innerhalb vertretbarer Grenzen zu halten, sollte die Gitterschrittweite keinesfalls größer als 1 mm, wenn ressourcentechnisch möglich nicht größer als 0,5 mm gewählt werden. Diese Erkenntnis deckt sich auch mit der aktuellen Publikation von Chen et al. [48].
3. Aus rein numerischer Sicht liefern rechtechnisch einfach zu implementierende strikte Mittelungsverfahren bei hinreichend guter Auflösung des Rechengitters (Gitterschrittweite  $\leq 1 \text{ mm}$ ) hinreichend genaue Ergebnisse und zeigen keine relevanten Nachteile gegenüber aufwändigeren Volumen-toleranten Verfahren. Aus biophysikalischer Sicht, im Hinblick auf den beabsichtigten Schutz vor Zellreizungseffekten, gilt diese Aussage nur unter der Voraussetzung, dass die von ICNIRP getroffene Wahl eines  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  großen Mittelungsvolumens sinnvoll und richtig ist.

### **3.4.3 Vergleich von Würfel- und Kugelform an anatomischen Strukturen**

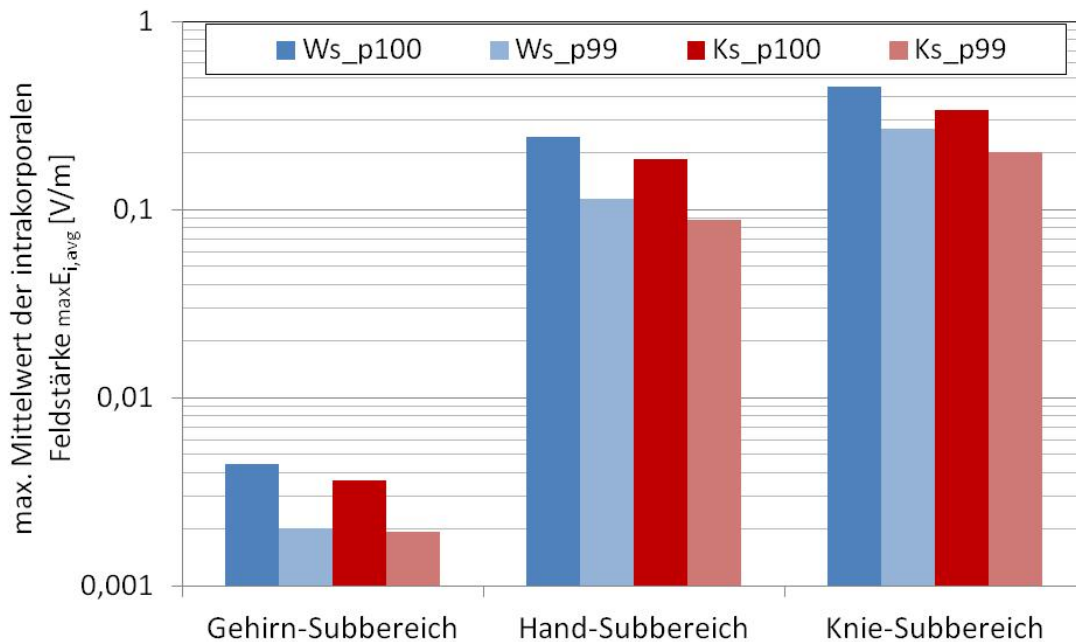
Zusätzlich zu den oben dargestellten Vergleichen an einfachen Modellen wurden die strikten Verfahren mit würfelförmigem und kugelförmigem Mittelungsvolumen in ausgewählten Regionen (ein jeweils  $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$  großer Subbereich) des Gehirns, der Hand und des Knies eines anatomischen Körpermodells bei Befeldung in einem vertikal ausgerichteten homogenen elektrischen Feld verglichen. Die Rechengitterschrittweite betrug 1,0 mm.

Abbildung 3.13 fasst die Ergebnisse zusammen. Für die untersuchten Gewebe-Subbereiche zeigen sich durchgehend geringfügig niedrigere Werte (15-25%) bei Anwendung des kugelförmigen Mittelungsvolumens.

Wie in Abschnitt 3.4.2 gezeigt ist unter Umständen, insbesondere im Fall von Rechengitterschrittweiten  $> \text{ca. } 0,7 \text{ mm}$  und bei anatomischen Strukturen mit kleinen Krümmungsradien, jedoch auch der Fall denkbar, dass das kugelförmige Mittelungsvolumen als besser geeignet angesehen werden muss. Die Unterschiede in den Ergebniswerten zwischen kugelförmigem und würfelförmigem Mittelungsvolumen liegen allerdings in einem überschaubaren Bereich unterhalb von ca. 20%.



**Abbildung 3.12:** Veranschaulichung der ausgewählten anatomischen Bereiche für den Vergleich von würfelförmigem und kugelförmigem Mittelungsvolumen



**Abbildung 3.13:** Vergleich der Mittelungsergebnisse in anatomischen Strukturen mit strikten Mittelungsverfahren mit würfelförmigem (Ws) und kugelförmigem (Ks) Mittelungsvolumen. Dargestellt sind jeweils die maximalen Mittelwerte (Ws\_p100, Ks\_p100) im untersuchten Sub-Gewebebereich. Zusätzlich sind auch die dem 99ten Perzentil entsprechenden Werte (Ws\_p99, Ks\_p99) angegeben.

### 3.5 Einzelgewebe-spezifische vs. Gewebegruppen-spezifische Mittelung

In ICNIRP 2010 werden einerseits Basiswerte für Gewebe des Zentralnervensystems im Kopf und zusätzlich auch (teilweise weniger restriktive) Basiswerte für alle Gewebe in Kopf und Körper, in Form der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke festgelegt. Da an mehreren Stellen des vorliegenden Berichts, sowie mittlerweile auch schon in einigen wissenschaftlichen Publikationen gezeigt werden konnte, dass die in ICNIRP 2010 empfohlene Perzentilbildung vor dem Vergleich mit den Basiswerten als grundsätzlich nicht zielführend im Sinne einer zuverlässigen Expositionsbewertung anzusehen ist, beziehen sich die folgenden Ausführungen auf den Vergleich des Maximums der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke  $\text{max}E_{i,\text{avg}}$  mit den Basiswerten. Gemäß den Begriffsdefinitionen im vorliegenden Bericht (vgl. Seite 18-19) wird für die Gewebe des Zentralnervensystems im Kopf im Folgenden die Kurzbezeichnung „CNS-Gewebe“, für alle anderen Gewebe die Kurzbezeichnung „PNS-Gewebe“ verwendet. Eine weitere Unterteilung dieser Gewebegruppen ist in ICNIRP 2010 nicht vorgesehen und es ergibt sich dafür, insbesondere für PNS-Gewebe, auch keine Notwendigkeit, da die in ICNIRP 2010 festgelegten Basiswerte für PNS-Gewebe von Stimulationsschwellwerten peripherer Nerven abgeleitet wurden und periphere Nerven in nahezu allen oberflächennahen (und damit in der Praxis typischer Weise am höchsten exponierten) Geweben des menschlichen Körpers vorkommen bzw. eingebettet sind. Im Übrigen erschließt sich aus ICNIRP 2010 auch keine Möglichkeit unterschiedliche Stimulationsschwellwerte für periphere Nerven in unterschiedlichen Gewebetypen und daraus in weiterer Folge weitere gewebespezifische Basiswerte sinnvoll abzuleiten.

Unter Miteinbeziehung der weiter oben und in den Kapiteln 3.2 bis 3.4 des Berichts angeführten Erläuterungen hinsichtlich der Feldstärkemittelung, sowie des zugrundeliegenden Projektziels, nämlich der Untersuchung des Einflusses von

intrakorporalen Feldkomponenten und Mittelungsstrategien an Gewebegrenzschichten im Hinblick auf die (in ICNIRP 2010 festgelegten) Basiswerte, ergibt sich daher auch kein nachvollziehbarer Grund für eine Berechnung von  $\max E_{i,avg}$  separat für alle einzelnen Gewebe (Einzelgewebe-spezifische Mittelung). Im Gegenteil, vor dem Hintergrund der Basiswertdefinition in ICNIRP 2010 hätte eine separate Berechnung von  $\max E_{i,avg}$  für jedes einzelne Gewebe gegenüber der Gewebegruppen-spezifischen Berechnung für CNS- und PNS-Gewebe Nachteile im Hinblick auf die erzielbare Unsicherheit. Bei Anwendung eines Volumen-toleranten Mittelungsverfahrens würde der Mittelungseffekt für die induzierten elektrischen Feldstärken nahe der Grenze zwischen unterschiedlichen Gewebetypen der gleichen Gewebegruppe (CNS oder PNS) abgeschwächt, was zu einer Überbewertung von  $\max E_{i,avg}$  führen kann. Bei Verwendung eines Volumen-strikten Verfahrens, werden einzelne Voxel nahe der Grenze zwischen unterschiedlichen Gewebetypen der gleichen Gewebegruppe nicht in die Bewertung miteinbezogen. Dies kann, wie oben erläutert, bei hinreichend feiner Rechengitterauflösung in eingeschränktem Maß zu einer Unterbewertung von  $\max E_{i,avg}$  führen. Diesen genannten Nachteilen steht kein Vorteil der separaten  $\max E_{i,avg}$  Ermittlung für die einzelnen Gewebetypen innerhalb der Gewebegruppe CNS und PNS gegenüber, weshalb solche Ergebnisse im Rahmen des vorliegenden Berichts auch nicht angeführt werden. Wenn im vorliegenden Bericht gewebespezifische  $\max E_{i,avg}$  Ergebnisse angeführt sind, handelt es sich daher immer um die Maximalwerte der Gewebegruppen-spezifisch gemittelten Feldstärkeverteilung in den einzelnen Geweben. D.h., für die Berechnung der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten Feldstärkeverteilung wurden Gewebegrenzen zwischen Geweben innerhalb der beiden betrachteten Gewebegruppen (CNS oder PNS) ignoriert, und anschließend wurden aus der gemittelten Feldstärkeverteilung die Maximalwerte innerhalb der Einzelgewebe ermittelt und als gewebespezifische  $\max E_{i,avg}$  im Bericht dargestellt.

Angemerkt muss in diesem Zusammenhang werden, dass bei der Darstellung derartiger gewebespezifischer Ergebniswerte, die auf Basis Gewebegruppen-spezifischer Mittelung berechnet wurden, auf den ersten Blick überraschend anmutende numerische Effekte auftreten können. Leicht nachvollziehbar ist beispielsweise der Effekt, dass Gewebespezifische Ergebniswerte für zur Gruppe der CNS-Gewebe gehörende Gewebe bei Gewebegruppen-spezifischer Auswertung über (ausschließlich) CNS-Gewebe anders sein können, als bei Gewebegruppen-spezifischer Auswertung über alle Körpergewebe bzw. über eine Gewebegruppe die zusätzlich zu den CNS-Geweben weitere (angrenzende) Gewebetypen enthält. Analog, müssen Unterschiede in den Ergebniswerten erwartet werden, wenn die Gruppe der CNS-Gewebe (aus welchen Gründen auch immer) gegenüber einer ursprünglichen Definition auf weniger Gewebe eingeschränkt wird. Diese ist, wie leicht einsichtig, ein unmittelbarer Effekt der Tatsache, dass bei der Gewebegruppen-spezifischen Mittelung die Gewebegrenzen innerhalb der betrachteten Gewebegruppe für die Mittelung ignoriert werden.

Ein weiterer möglicher Effekt ist jener, dass in einer Zusammenstellung von Gewebegruppen-spezifisch gemittelten Ergebniswerten die berechneten maximalen Mittelwerte ( $\max E_{i,avg}$ ) größer sein können als der Voxel Maximalwert  $\max E_i$ . Dies kann beispielsweise in der Nähe von Grenzschichten zwischen Geweben mit hohem Leitfähigkeitskontrast, bzw. nahe Grenzschichten mit einem großen Sprung des resultierenden elektrischen Feldstärkevektors, im Gewebe mit geringerer induzierter Feldstärke  $E_i$  auftreten. Diese Tatsache ist keineswegs Ausdruck fehlender physikalischer Plausibilität der Berechnungsergebnisse, sondern vielmehr eine Folge dessen, dass in diesem Fall ein Vergleich von  $\max E_{i,avg}$ - und  $\max E_i$ -Ergebniswerten physikalisch nicht sinnvoll ist. Nämlich deshalb, weil die  $\max E_i$ -Ergebniswerte natürlich völlig unabhängig von der Behandlung der Gewebegrenzschichten ermittelt werden (können) und die  $E_{i,avg}$ -Ergebniswerte und damit natürlich auch die  $\max E_{i,avg}$ -Ergebniswerte immer von der konkreten Behandlung der Gewebegrenzschicht abhängen. Im konkret betrachteten Fall

eines großen Sprungs der elektrischen Feldstärke an einer (bei der Mittelung ignorierten) Gewebegrenzschicht innerhalb der Gewebegruppe, werden im Gewebe mit geringerer induzierter elektrischer Feldstärke in Grenzschichtnähe die  $E_{i,avg}$ -Werte durch den Einfluss der grenzschichtnahen Voxel des Gewebes mit größerer induzierte Feldstärke „nach oben gezogen“ und können daher grundsätzlich auch größer werden als die zugehörigen  $E_i$ -Werte und damit auch größer als der  $\max E_{i,avg}$ -Wert im betrachteten Gewebe.



## 4 NUMERISCHE BERECHNUNGEN FÜR HOMOGENE GANZKÖRPEREXPOSITION

### 4.1 Verwendete Rechenmethode

Für die Berechnung der im Körper induzierten elektrischen Feldstärken im Niederfrequenzbereich stehen gegenwärtig grundsätzlich unterschiedliche etablierte Methoden zur Verfügung, wie z.B. die Impedanzmethode, die SPFE (Skalar Potential Finite Difference)-Methode und die frequenzskalierte FDTD-Methode (für vergleichende Betrachtungen der Methoden, siehe z.B. [5]). Bei Berechnungen mit modernen anatomischen Ganzkörpermodellen und einer Diskretisierung des Rechenraumes mit einer räumlichen Auflösung von 1 mm oder feiner (entsprechend einer Größenordnung von ca. 500 Mio. Elementarzellen) stellt vor allem die Speichereffizienz der verwendeten Methode ein wesentliches Kriterium in der Praxis dar. Explizite Zeitbereichsmethoden (wie die FDTD-Methode) sind diesbezüglich gegenüber impliziten Methoden (Impedanzmethode, SPFE) im Vorteil. Zusätzlich wurde durch die Verfügbarkeit von Hardwarebeschleunigung das Problem der langen Rechenzeiten bei Verwendung der der FDTD-Methode bei niedrigen Frequenzen in den letzten Jahren deutlich entschärft. Bei Zugrundelegung der numerischen Gleichwertigkeit der Ergebnisse ([5]) und unter Einbeziehung praktischer Überlegungen (Verfügbarkeit passender Körpermodelle, Soft- und Hardwareressourcen) wurde daher die FDTD-Methode für die Berechnung der Ganzkörperexpositionsszenarien gewählt. Im Frequenzbereich unterhalb von 1 MHz wurde Frequenzskalierung [18] verwendet, im Frequenzbereich  $\geq 1$  MHz direkte FDTD-Berechnung. Bezüglich der Quellenmodellierung bei homogener Ganzkörperexposition stehen dabei grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Einerseits können homogene externe elektrische bzw. magnetische Felder durch Parallelplattenanordnungen bzw. Spulenanordnungen erzeugt werden, die auch numerisch modelliert werden können. Andererseits besteht bei der numerischen Berechnung die Möglichkeit homogene elektrische bzw. homogene magnetische Felder durch gegenläufige ebene Wellen gleicher Intensität zu generieren. Die Orientierung der Feldvektoren und der Ausbreitungsrichtung der ebenen Wellen muss dabei lediglich so gewählt werden, dass sich die jeweils nicht erwünschten Feldkomponenten durch Überlagerung der beiden ebenen Wellen zu Null kompensieren.

Beide Möglichkeiten wurden für eine Frequenz von 50 Hz auf Basis von einfachen, in den Normen EN 62226-2-1 [50] und EN 62226-3-1 [51] definierten Modellen validiert.

Für **magnetische Befeldung** wurden 2 unterschiedliche Szenarien mit einem homogenen Scheibenmodell (Radius 100 mm, Leitfähigkeit  $\sigma=0,2$  S/m) gemäß [50] betrachtet. Im ersten Szenario (ohne Abbildung) befindet sich die kreisrunde Scheibe in einem homogenen Magnetfeld ( $1,25 \mu\text{T}$ , erzeugt durch Helmholtz-Spulenordnung), das die horizontale Scheibe vertikal durchsetzt. Im zweiten betrachteten Szenario befindet sich die Scheibe neben einer Doppelleiteranordnung (Leiterabstand  $e=5$  mm), wobei die Distanz zwischen Scheibenmodell und Doppelleiteranordnung mit  $d=97,5$  mm angenommen wurde (vgl. Abbildung 4.1). Die magnetische Flussdichte an dem der Doppelleitung zugewandten Rand der Scheibe beträgt  $1,25 \mu\text{T}$ .

Die Berechnungen wurden zu Validierungszwecken nicht nur mit der frequenzskalierten FDTD-Methode, sondern zusätzlich auch mit einem SPFE-Lösungsalgorithmus durchgeführt.

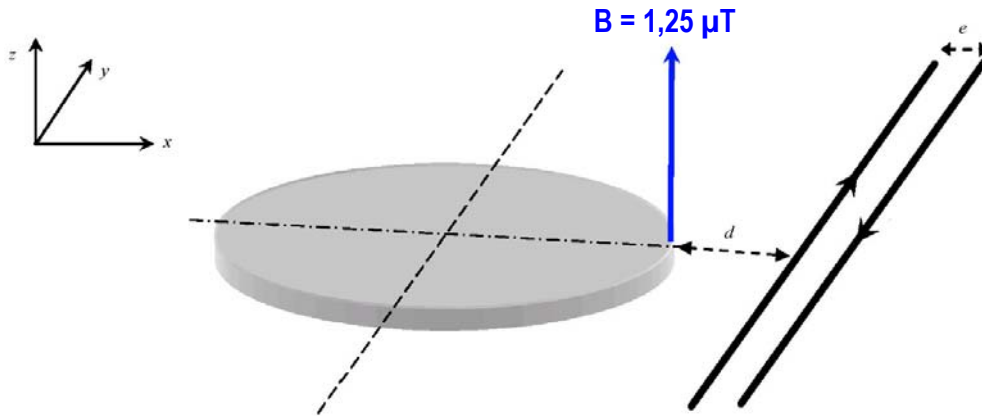


Abbildung 4.1: Scheibenmodell nach EN 62226-2-1

Abbildung 4.2 zeigt zunächst den Vergleich der Berechnungsergebnisse in Form der in der Scheibe induzierten elektrischen Stromdichte  $J$  für unterschiedliche Quellenmodellierung bzw. unterschiedliche Berechnungsmethoden (SPFE-Solver mit Helmholtzspule und frequenzskalierte FDTD-Methode mit ebenen Wellen) für das Szenario mit homogener magnetischer Befeldung der homogenen Kreisscheibe.

In gleicher Weise ist in Abbildung 4.3 ist der Vergleich der Berechnungsergebnisse von SPFE- und FDTD-Berechnungen für das Szenario mit der Kreisscheibe und daneben verlaufender Doppelleitung gemäß Abbildung 4.1 dargestellt.

Die Umrechnung von der in der Schreibe induzierten Stromdichte  $J$  zur induzierten elektrischen Feldstärke  $E_i$  kann auf Basis der elementaren Beziehung  $J = \sigma \cdot E_i$  erfolgen.

Die frequenzskalierte FDTD-Methode zeigt in beiden Fällen gute Übereinstimmung mit den theoretisch erwarteten Ergebnissen und eignet sich demnach für magnetische Befeldungsszenarien.

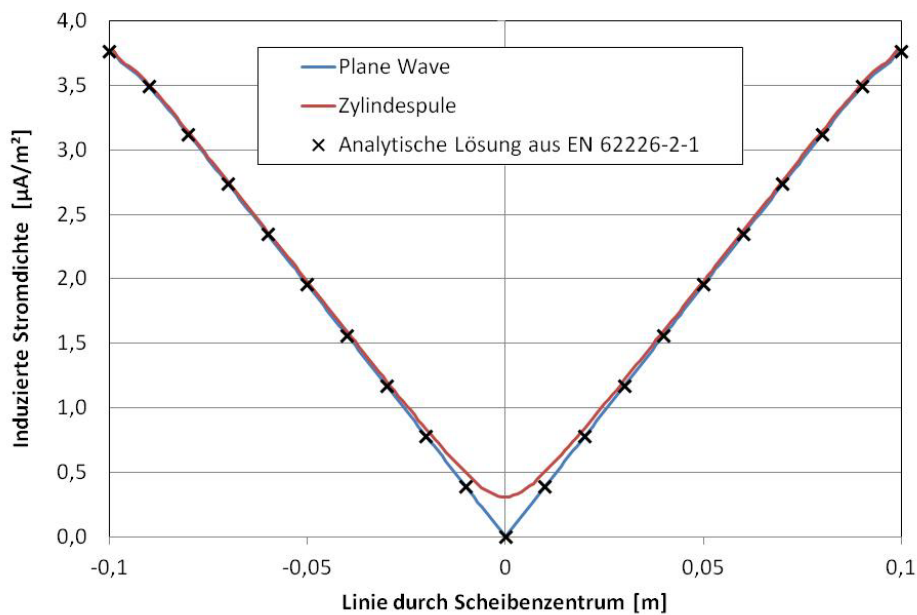
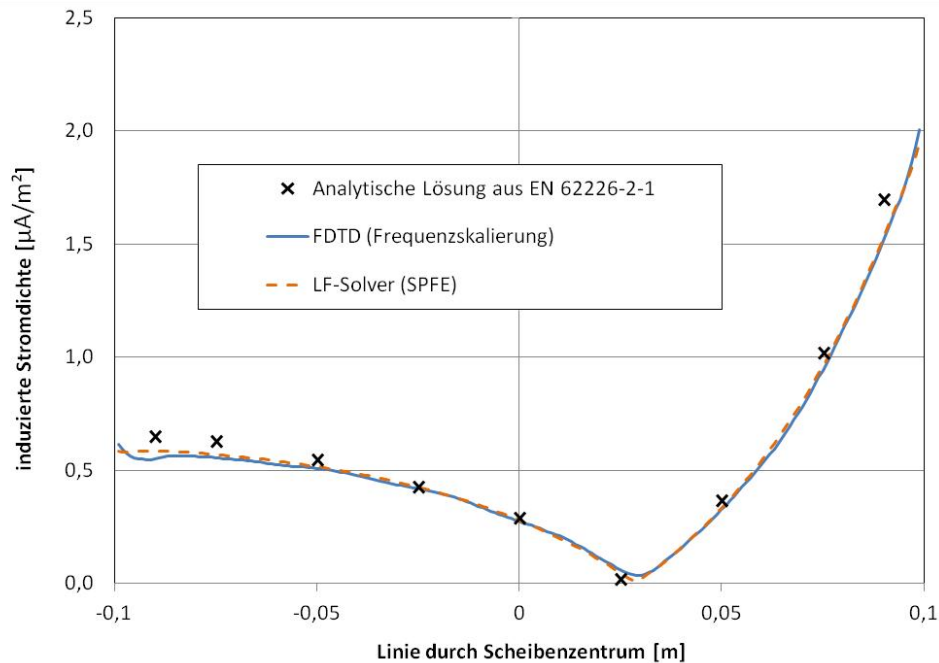
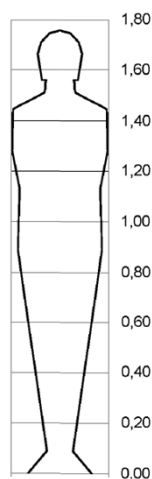


Abbildung 4.2: Berechnungsergebnisse (frequenzskalierte FDTD) mit Helmholtzspule bzw. ebener Welle als Feldquellen und Vergleich mit der analytischen Lösung gemäß EN 62226-2-1 für das Scheibenmodell ( $R=100$  mm,  $\sigma=0,2$  S/m) im homogenen  $1,25$   $\mu\text{T}$  Magnetfeld (50 Hz)



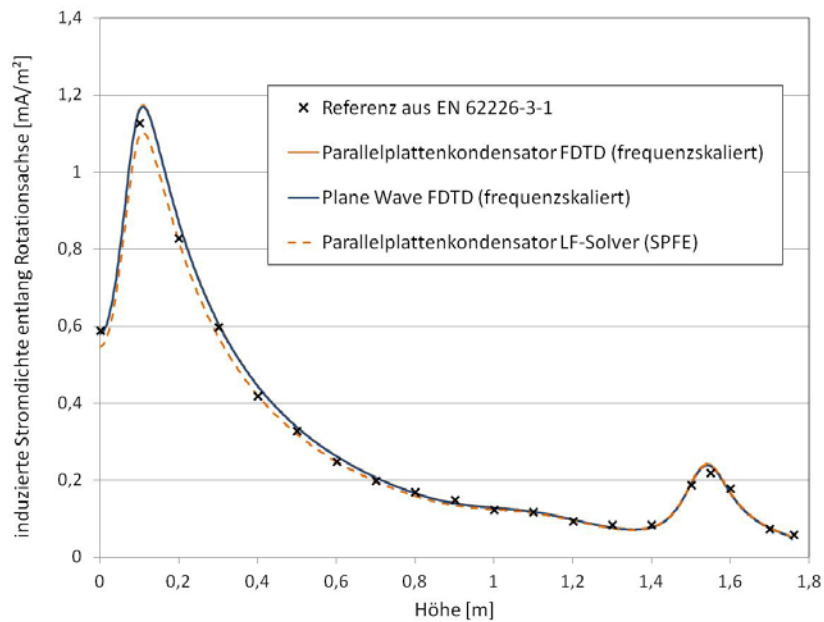
**Abbildung 4.3:** Berechnungsergebnisse mit SPFE-Solver bzw. frequenzskalierter FDTD Methode und Vergleich mit der analytischen Lösung gemäß EN 62226-2-1 für das Scheibenmodell ( $R=100$  mm,  $\sigma=0,2$  S/m) im Magnetfeld einer Doppelleiteranordnung (50 Hz)

Für **elektrische Befeldung** wurde als Referenz das in EN 62226-3-1 definierte Rotationsmodell eines Erwachsenen (Abbildung 4.4) mit einer Leitfähigkeit von 0,2 S/m bei homogener Befeldung mit vertikal ausgerichteter elektrischer Feldstärke (1 kV/m, 50 Hz, Füße auf Potenzial 0) gewählt.



**Abbildung 4.4:** Rotationsmodell eines Erwachsenen nach EN 62226-3-1

Abbildung 4.5 vergleicht die Berechnungsergebnisse in Form der induzierten Stromdichte entlang der Rotationsachse bei Verwendung der frequenzskalierten FDTD-Methode für eine Quellenmodellierung mittels Plattenkondensator und Quellenmodellierung mittels ebener Wellen mit den Ergebnissen des LF-Solvers (Quelle als Plattenkondensator) und den Referenzergebnissen aus EN 62226-3-1. Im Fall der Quellenmodellierung mit ebenen Wellen wurde die Tatsache der Erdung der Füße des Rotationsmodells mit der Spiegelmethode nachgebildet, d.h., das Körpermodell wurde an der Basisebene (Füße) gespiegelt und das so erhaltene „Doppelmodell“ mit ebenen Wellen befeldet.



**Abbildung 4.5:** Vergleich von Berechnungsergebnissen mit unterschiedlicher Quellenmodellierung und Berechnungsmethoden mit den als Referenz betrachteten Werten aus EN 62226-3-1, für eine homogene Befeldung des Rotationsmodells aus Abbildung 4.4 mit 1 kV/m bei 50 Hz.

Die Berechnungsergebnisse zeigen sehr gute Übereinstimmung der mit den Referenzergebnissen. D.h., die frequenzskalierte FDTD-Methode und die Modellierung der Quellen durch gegenläufige ebene Wellen stellt auch für den Fall der elektrischen Befeldung eine brauchbare Methode dar. Insbesondere zeigen die Ergebnisse auch, dass das Szenario eines geerdeten Körpermodells durch das Spiegelungsprinzip korrekt nachgebildet werden kann.

Alle weiteren numerischen Berechnungen für homogene elektrische oder magnetische Befeldung erfolgten auf Basis der FDTD-Methode unter Verwendung von zwei gegenläufigen ebenen Wellen. Im Frequenzbereich unterhalb von 1 MHz wurde Frequenzskalierung, für Frequenzen  $\geq 1$  MHz direkte FDTD-Berechnung verwendet. Die Situation geerdeter Körpermodelle wurde auf Basis des Spiegelungsprinzips modelliert (Details dazu, siehe auch Kapitel 4.2.3).

## 4.2 Konstellationen mit maximaler Feldeinkopplung

In Voruntersuchungen wurde zunächst analysiert, welche Expositionsszenarien hinsichtlich Ausrichtung des Feldvektors und Erdungsverhältnissen die im Körper induzierte elektrische Feldstärke maximieren. Dazu wurden Berechnungen mit den in Tabelle 4.1 gelisteten anatomischen Körpermodellen [52] bei 50 Hz durchgeführt. Die Zuordnung der dielektrischen Gewebeparameter erfolgte gemäß [38] und die Auflösung der Körpermodelle wurde homogen mit einer Gitterschrittweite von 1 mm gewählt.

Modell	Geschlecht	Alter	Körperlänge	Körpergewicht
Roberta	weiblich	5 Jahre	1,08 m	17,8 kg
Duke	männlich	34 Jahre	1,77 m	72,4 kg
Ella	weiblich	26 Jahre	1,63 m	58,7 kg

**Tabelle 4.1:** Für die numerischen Berechnungen verwendete anatomische Körpermodelle

Da die Basiswerte gemäß ICNIRP 2010 [1] getrennt für periphere Gewebe und Gewebe des Zentralnervensystems im Kopf festgelegt sind, wurde die folgende Unterteilung getroffen:

### Gewebe des Zentralnervensystems im Kopf (CNS-Gewebe):

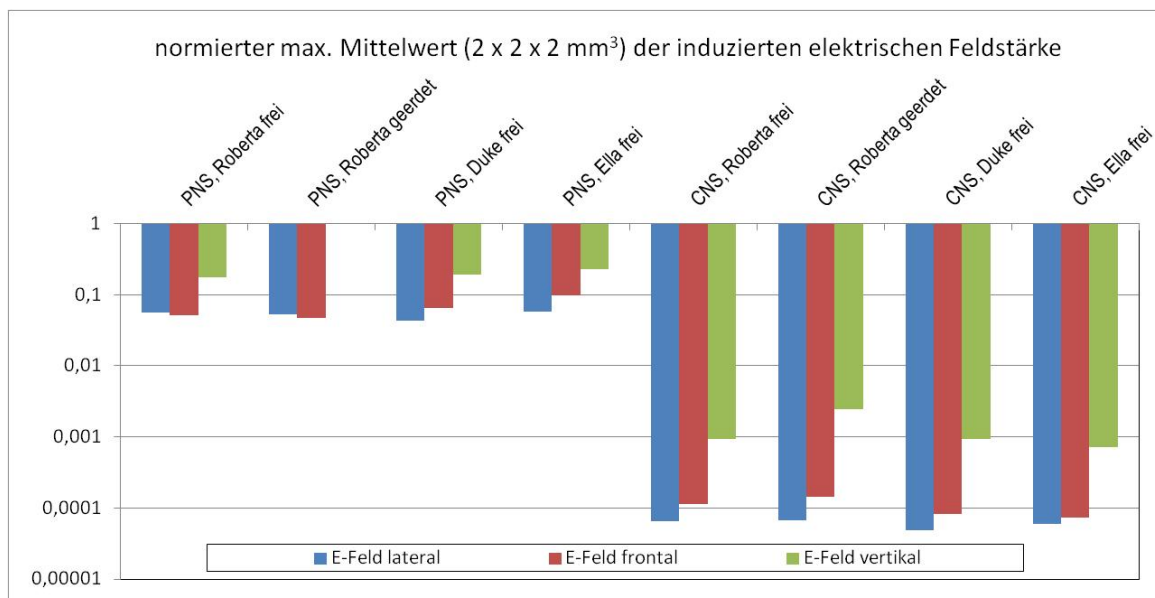
- Graue Hirnsubstanz
- Weiße Hirnsubstanz
- Medulla oblongata
- Pinealdrüse
- Mittelhirn
- Hypothalamus
- Hypophyse
- Hippocampus
- Cerebellum
- Pons

### Periphere Gewebe (PNS-Gewebe):

- Alle anderen Gewebe

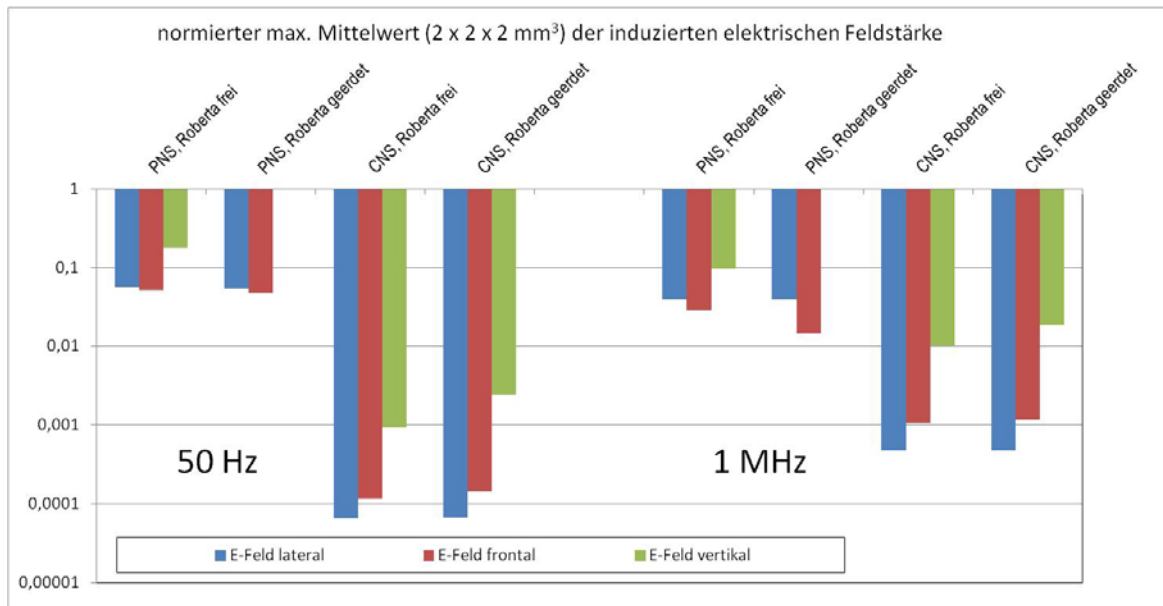
## 4.2.1 Maximale Feldeinkopplung bei rein elektrischer Befeldung

Abbildung 4.6 zeigt einen Vergleich der Berechnungsergebnisse in Form der normierten, maximalen, räumlich über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i, \text{avg}}$  bei homogener elektrischer Befeldung mit lateraler (Feldstärkevektor von links nach rechts), frontaler (Feldstärkevektor von vorn nach hinten) und vertikaler (Feldstärkevektor von oben nach unten) Ausrichtung des elektrischen Feldstärkevektors. Die Ergebnisse in Abbildung 4.6 sind normiert auf den Maximalwert aus den dargestellten Szenarien, der im Szenario mit geerdetem Körpermodell Roberta in der Haut (PNS-Gewebe) bei vertikaler Ausrichtung des Feldvektors auftritt. Als Mittelungsalgorithmus für die intrakorporale elektrische Feldstärke  $E_i$  wurde der standardmäßig in SEMCAD X V14.8 implementierte Algorithmus verwendet. Es handelt sich dabei um einen Volumen-toleranten Mittelungsalgorithmus mit würfelförmigem Mittelungsvolumen (vgl. Kapitel 3.2.2). Die Ergebnisse zeigen erwartungsgemäß deutlich höhere induzierte maximale Feldstärkemittelwerte in peripheren Geweben (PNS-Gewebe) als in Zentralnervensystemgeweben (CNS-Gewebe), wobei der PNS-Maximalwert immer in der Haut auftritt. Sowohl in PNS- als auch in CNS-Gewebe tritt der Maximalwert in allen untersuchten Szenarien immer bei vertikaler Felddausrichtung auf. Eine Erdung des Körpermodells an den Füßen bei vertikaler Feldorientierung bewirkt offenbar vor allem in der Haut eine deutliche Erhöhung der induzierten Feldstärke. In CNS-Gewebe zeigt sich dieser Trend zwar auch, jedoch deutlich weniger ausgeprägt (siehe dazu auch Kapitel 4.2.3).



**Abbildung 4.6:** Vergleich der in PNS und CNS maximalen, über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke bei unterschiedlicher Orientierung des elektrischen Feldvektors (50 Hz). Die Werte sind normiert auf den maximal aufgetretenen Wert (PNS, Roberta geerdet, E-Feld vertikal)

Abbildung 4.7 bestätigt auch für hohe Frequenzen das Auftreten der größten  $\max E_{i, \text{avg}}$  Werte bei vertikaler elektrischer Befeldung, sowohl für PNS- als auch CNS-Gewebe.



**Abbildung 4.7:** Vergleich der in PNS und CNS maximalen, über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke bei unterschiedlicher Orientierung des elektrischen Feldvektors bei 50 Hz und 1 MHz. Die Werte sind normiert auf den bei der jeweiligen Frequenz maximal aufgetretenen Wert (PNS, Roberta geerdet, E-Feld vertikal)

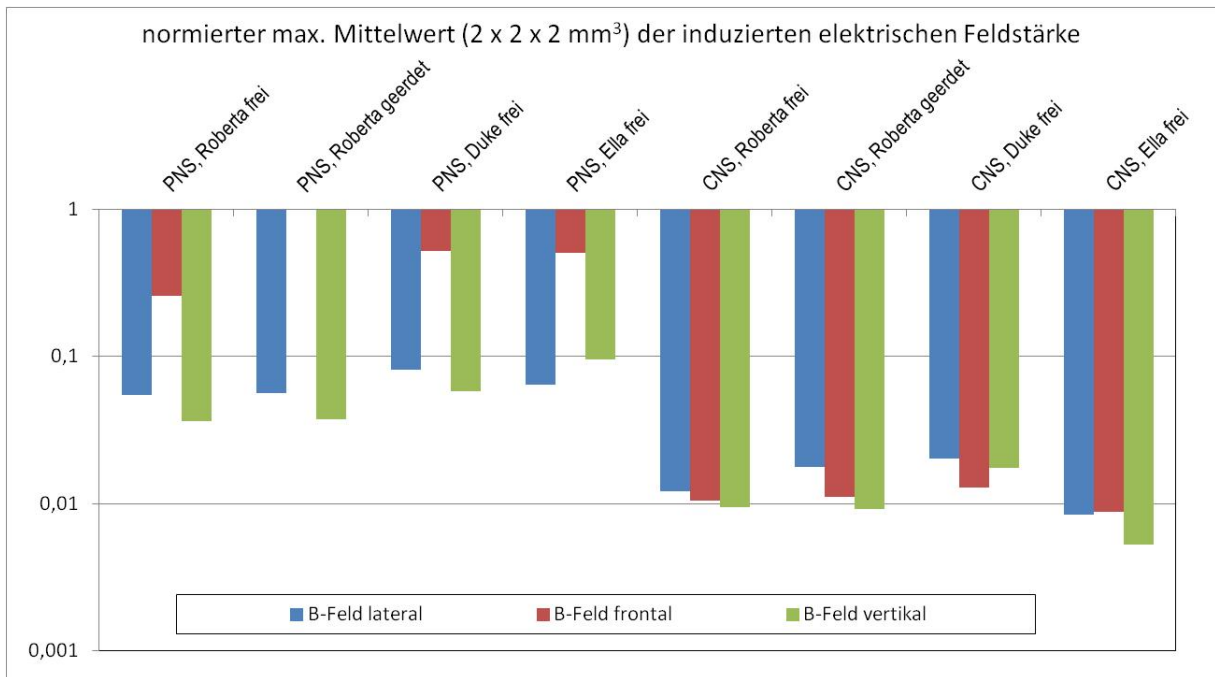
#### 4.2.2 Maximale Feldeinkopplung bei rein magnetischer Befeldung

Abbildung 4.8 zeigt einen Vergleich der Berechnungsergebnisse in Form der normierten, maximalen, räumlich über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,avg}$  bei homogener magnetischer Befeldung mit lateraler (Feldstärkevektor von links nach rechts), frontaler (Feldstärkevektor von vorn nach hinten) und vertikaler (Feldstärkevektor von oben nach unten) Ausrichtung des magnetischen Feldstärkevektors. Die Ergebnisse in Abbildung 4.8 sind wieder normiert auf den Maximalwert aus den dargestellten Szenarien, der im Szenario mit geerdetem Körpermodell Roberta in der Haut (PNS-Gewebe) bei frontaler Ausrichtung des Feldvektors auftritt. Als Mittelungsalgorithmus für die intrakorporale elektrische Feldstärke  $E_i$  wurde wieder der standardmäßig in SEMCAD X V14.8 implementierte (Volumen-tolerante) Algorithmus verwendet.

Die Ergebnisse zeigen auch hier generell höhere induzierte Feldstärkewerte in peripheren Geweben (PNS-Gewebe) als in Zentralnervensystemgeweben (CNS-Gewebe), wobei der PNS-Maximalwert wieder in der Haut zu beobachten war.

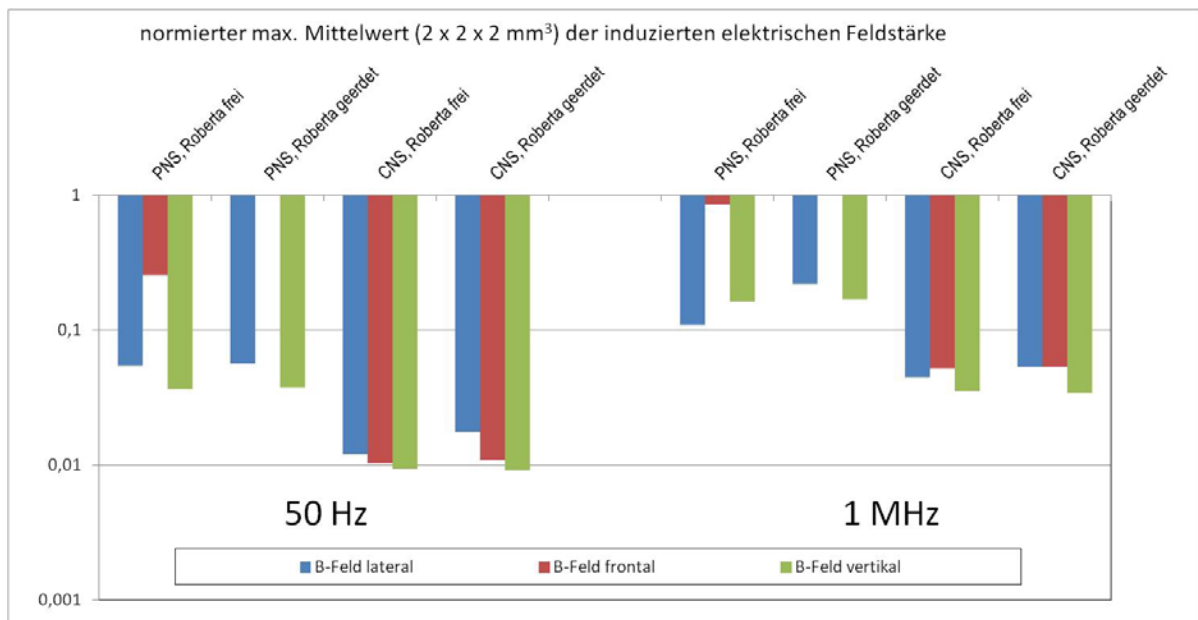
In PNS-Gewebe tritt der Maximalwert in allen untersuchten Szenarien immer bei frontaler Felddausrichtung auf. Eine Erdung des Körpermodells an den Füßen bewirkt auch hier höhere induzierte Feldstärkewerte, wobei die Feldstärkemaxima hauptsächlich in der Haut nahe den Kontaktstellen zur Erde auftreten.

Hinsichtlich der CNS-Gewebe zeigen die Ergebnisse, dass die induzierten Feldstärkewerte für die Körpermodelle Roberta und Duke bei lateraler Felddausrichtung maximal werden, wobei die Unterschiede zwischen unterschiedlichen Befeldungsrichtungen in CNS-Geweben generell deutlich weniger ausgeprägt sind als in PNS-Geweben. Der Befund, dass in CNS Geweben bei homogener magnetischer Befeldung die induzierte elektrische Feldstärke bei lateraler Felddausrichtung größer sein kann als bei frontaler Felddausrichtung deckt sich mit [48] und [53], und ist auch physikalisch dadurch erklärbar, dass die Projektionsfläche der CNS-Struktur (Gehirn) lateral größer sein kann, bzw. in den meisten Fällen größer ist, als die frontale Projektionsfläche.



**Abbildung 4.8:** Vergleich der in PNS und CNS maximalen, über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke bei unterschiedlicher Orientierung des magnetischen Feldvektors (50 Hz). Die Werte sind normiert auf den maximal aufgetretenen Wert (PNS, Roberta geerdet, B-Feld frontal)

Abbildung 4.9 zeigt, dass frontale magnetische Befeldung auch bei hohen Frequenzen zu maximalen  $\max E_{i,avg}$  Werten in PNS-Geweben führt. Für CNS-Gewebe ist bei hohen Frequenzen offensichtlich nur mehr ein geringerer Unterschied zwischen frontaler und lateraler magnetischer Befeldung zu beobachten als bei niedrigeren Frequenzen (zumindest beim analysierten Körpermodell Roberta).



**Abbildung 4.9:** Vergleich der in PNS und ZNS maximalen, über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke bei unterschiedlicher Orientierung des magnetischen Feldvektors bei 50 Hz und 1 MHz im Körpermodell Roberta. Die Werte sind normiert auf den bei der jeweiligen Frequenz maximal aufgetretenen Wert (PNS, Roberta geerdet, B-Feld frontal)

### 4.2.3 Einfluss der Erdungsverhältnisse

Wie bereits aus Abbildung 4.6 bis Abbildung 4.9 ersichtlich, und auch aus der Literatur bekannt, kann die Erdung des Körpermodells (sowohl in CNS- als auch in PNS-Geweben) zu höheren induzierten Feldstärken im Körper im Vergleich zum Fall ohne Erdung (d.h. frei stehend bzw. isoliert) führen. Dies trifft vor allem für die Befeldungsszenarien mit maximaler Einkopplung zu (vertikales elektrisches Feld bzw. frontales magnetisches Feld). Wie Abbildung 4.6 bis Abbildung 4.9 zeigen ist das Verhältnis der  $\max E_{i,avg}$  zwischen geerdeter und ungeerdeter Situation bei Feldausrichtung mit maximaler Einkopplung in der Haut bzw. im Unterhaut-Fettgewebe, besonders bei niedrigeren Frequenzen, offensichtlich deutlich größer als im Fall der CNS-Gewebe.

Problematisch im Hinblick auf die Gesamtunsicherheiten bzw. Variationsbreiten von Berechnungsergebnissen bei der Expositionsbewertung ist die Tatsache, dass die größten  $\max E_{i,avg}$  Werte bei homogener Befeldung üblicherweise in der Haut in unmittelbarer Nähe der Kontaktstelle zur Erde zu erwarten sind und ganz entscheidend vom Querschnitt der Kontaktfläche abhängen. Je kleiner die Kontaktfläche, desto größer die lokalen Feldstärken (und damit auch  $\max E_{i,avg}$ ) im Bereich der Kontaktfläche. Anschaulich gesprochen bedeutet dies, dass für eine barfuß mit den Zehenspitzen auf Erdpotenzial stehende Person deutlich höhere  $\max E_{i,avg}$  Werte in der Haut (PNS-Gewebe) erwartet werden müssen als für eine vollflächig mit der ganzen Fußsohle auf Erdpotenzial stehende Person. Um die Größenordnung dieser zufolge unterschiedlich großer Kontaktflächen zur Erde auftretenden Variationsbreiten der  $\max E_{i,avg}$  Werte abzuschätzen, wurden mit dem Körpermodell Roberta mehrere Simulationen mit unterschiedlich großen Kontaktflächen zur Erde durchgeführt. Aufgrund der Verwendung des Spiegelungsprinzips wurden unterschiedliche Kontaktflächen durch unterschiedlich weit ineinandergeschobene Körpermodelle (Originalmodell und Spiegelmodell) simuliert (Abbildung 4.10). Ausgangspunkt der Überlegungen war die Annahme eines Stehens auf den Fußballen als realistische worst case Situation ( $\Delta z = 0$  mm in Abbildung 4.10). Diese wurde durch Ineinanderschieben des Originalmodells und des Spiegelmodells erreicht, bis Kontakt zwischen den Fußballen hergestellt war. Von dieser Situation ausgehend wurde die  $\max E_{i,avg}$  für PNS- und CNS-Gewebe bei vertikaler elektrischer Befeldung und frontaler magnetischer Befeldung für unterschiedliche Werte  $\Delta z$  berechnet. Negatives  $\Delta z$  bedeutet demnach zunehmend mehr Kontakt, positives  $\Delta z$  immer weniger Kontakt bis zur Situation ohne Kontakt zwischen Original- und Spiegelmodell bzw., für  $\Delta z > \text{ca. } 20$  mm, zunehmender Distanz zwischen Original- und Spiegelmodell.

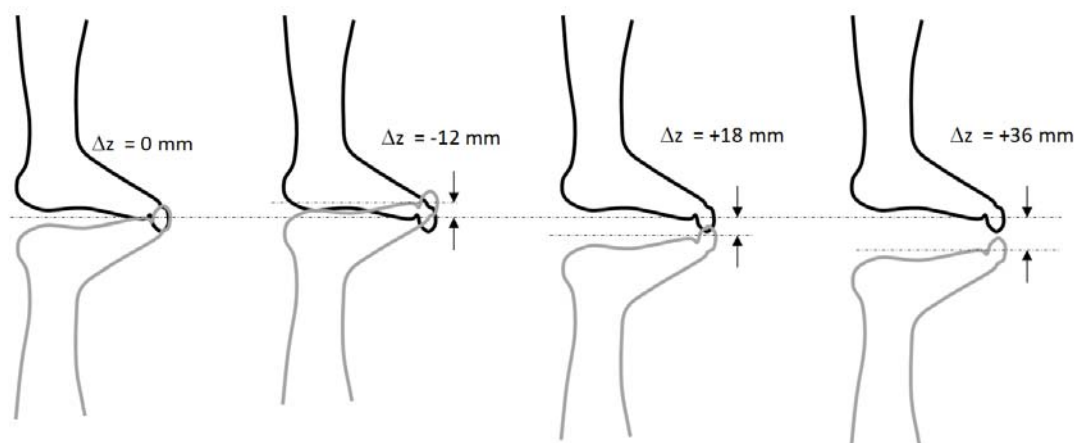
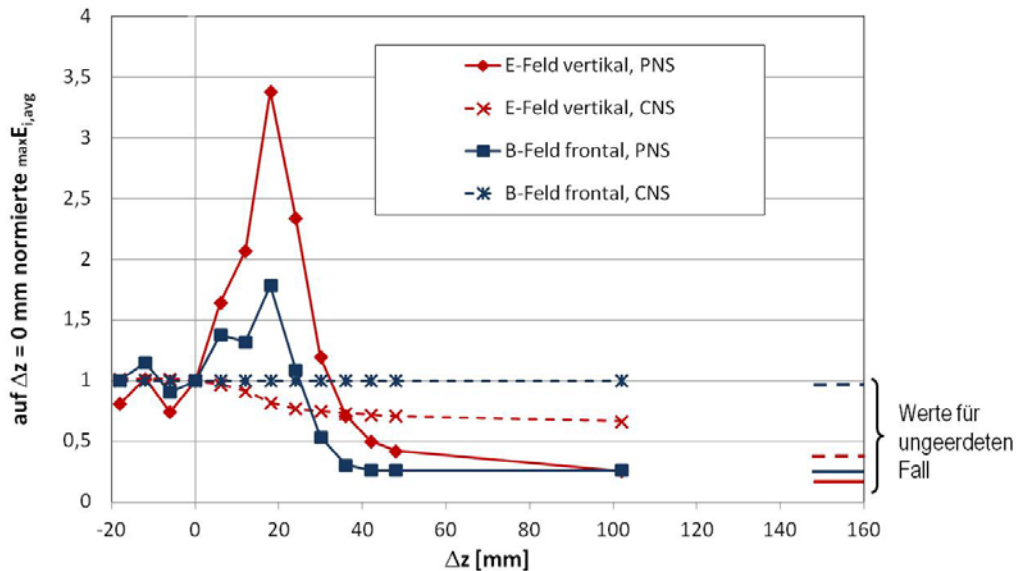


Abbildung 4.10: Definition der Verschiebung  $\Delta z$  zur Simulation unterschiedlich großer Kontaktflächen zur Erde

Die Ergebnisse der Berechnungen fasst Abbildung 4.11 zusammen ( $\max E_{i,avg}$  berechnet mit dem in SEMCAD V14.8 implementierten Volumen-toleranten Mittelungsverfahren). Die  $\max E_{i,avg}$  Werte in CNS-Gewebe erweisen sich erwartungsgemäß als relativ unempfindlich gegenüber der Größe der Kontaktfläche. Dies gilt vor allem für magnetische Befeldung. Aber auch bei elektrischer Befeldung bleibt die Schwankungsbreite der  $\max E_{i,avg}$  Werte in CNS-

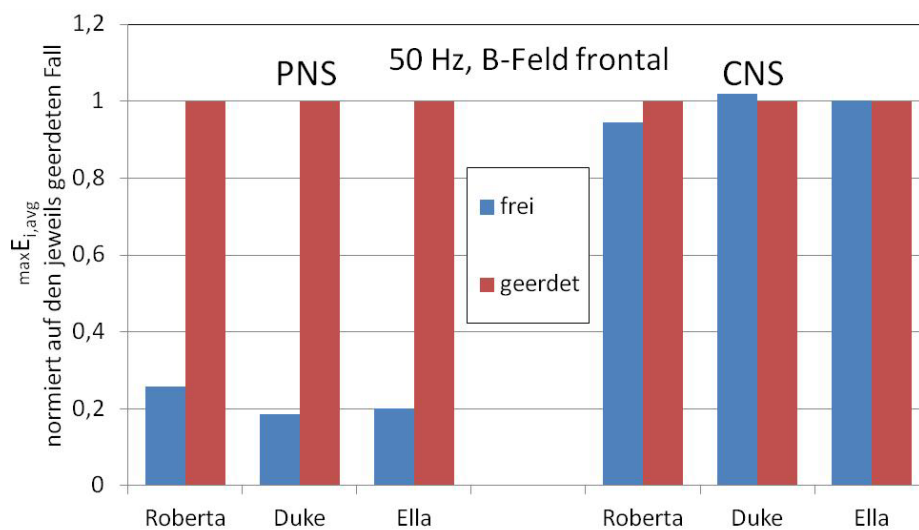


Gewebe innerhalb vertretbarer Schranken. Dagegen zeigen die  $\max E_{i,avg}$  Werte in PNS-Gewebe, d.h., in der Haut im Bereich der Kontaktfläche, große Sensitivität bezüglich der Größe der Kontaktfläche zur Erde. Insbesondere bei elektrischer Befeldung konnten Überhöhungen bis zu einem Faktor von ca. 3,5 bei nur sehr kleiner Kontaktfläche festgestellt werden. Bei hinreichend großer Kontaktfläche (für  $\Delta z < 0$  mm), die in der Praxis typischer Weise gegeben ist, bleibt die Schwankungsbreite der  $\max E_{i,avg}$  Werte in PNS-Gewebe innerhalb von ca.  $\pm 25\%$ .



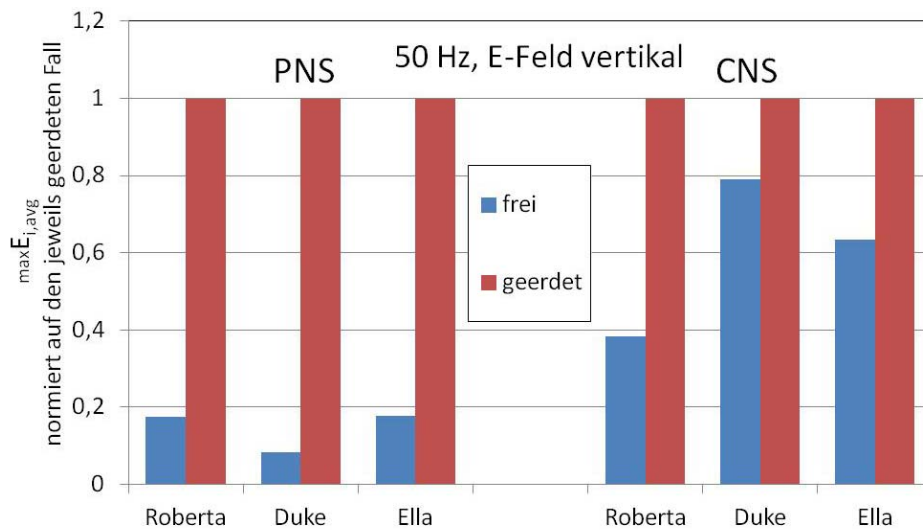
**Abbildung 4.11:** Einfluss der Kontaktfläche zur Erde (Verschiebung  $\Delta z$ ) auf die  $\max E_{i,avg}$  (normiert auf den angenommenen realistischen worst case mit  $\Delta z = 0$  mm). Körpermodell Roberta, 50 Hz ( $\max E_{i,avg}$  berechnet mit volumen-toleranten Mittelungsalgorithmus)

Abbildung 4.12 und Abbildung 4.13 zeigen den Unterschied zwischen ungeerdetem und geerdetem Körpermodell bei 50 Hz und frontaler magnetischer und vertikaler elektrischer Befeldung für Erdungsverhältnisse entsprechend dem angenommenen realistischen worst case mit  $\Delta z = 0$  mm (berechnet mit dem in SEMCAD V14.8 implementierten volumen-toleranten Mittelungsverfahren). Wie schon oben erwähnt, ist dieser Unterschied vor allem für periphere Gewebe relevant und kann bis zu einem Faktor von ca.10 betragen.



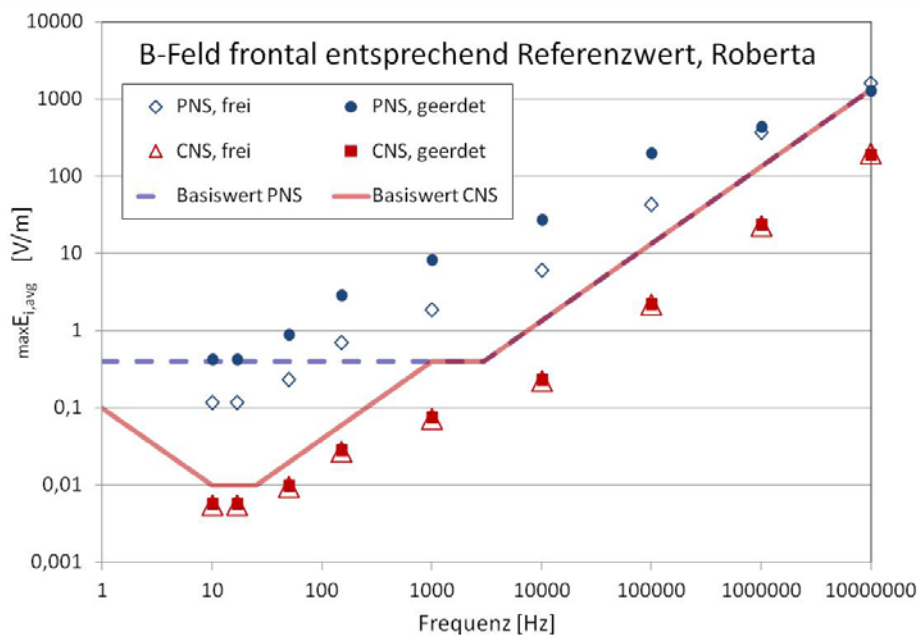
**Abbildung 4.12:** Vergleich der maximalen, über  $2 \times 2 \times 2$  mm<sup>3</sup> gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke für geerdete und ungeerdete Körpermodelle bei 50 Hz und frontaler magnetischer Befeldung. Die Werte sind normiert auf den jeweiligen geerdeten Fall ( $\max E_{i,avg}$  berechnet mit volumen-toleranten Mittelungsalgorithmus)

Bezüglich CNS-Gewebe im Kopf zeigt sich bei magnetischer Befeldung nur ein geringfügiger Einfluss der Erdungsverhältnisse. Bei vertikaler elektrischer Befeldung wird jedoch auch in CNS-Gewebe ein deutlicher Unterschied zwischen geerdetem und ungeerdetem Körpermodell sichtbar.



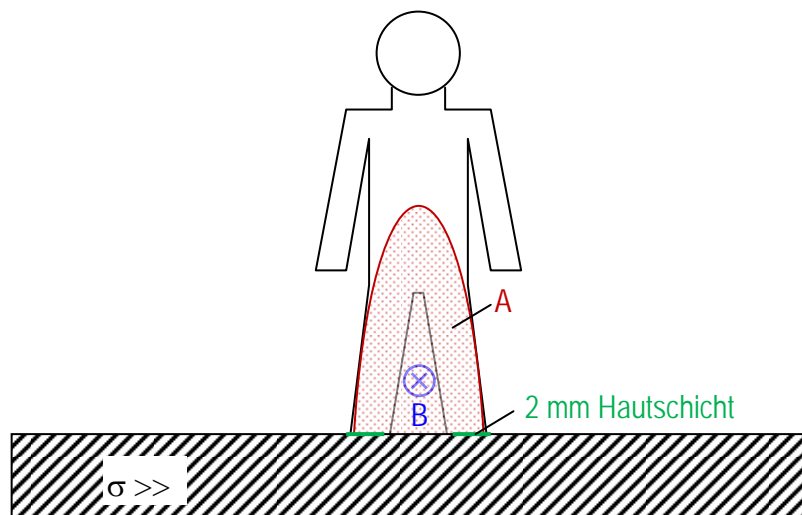
**Abbildung 4.13:** Vergleich der maximalen, über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke für geerdete und ungeerdete Körpermodelle bei 50 Hz und vertikaler elektrischer Befeldung. Die Werte sind normiert auf den jeweiligen geerdeten Fall. ( $\text{maxE}_{i,\text{avg}}$  berechnet mit Volumen-toleranten Mittelungsalgorithmus)

Abbildung 4.14 und Abbildung 4.16 zeigen den Unterschied hinsichtlich  $\text{maxE}_{i,\text{avg}}$  in CNS-Gewebe und PNS-Gewebe zwischen ungeerdetem und geerdetem Zustand für das Körpermodell Roberta im Frequenzbereich 10 Hz bis 10 MHz. Die Ergebnisse entsprechen der Situation einer homogenen Befeldung mit einer Feldstärke bzw. Flussdichte entsprechend der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010. Die Ergebnisse wurden mit dem in SEMCAD V14.8 implementierten Volumen-toleranten Mittelungsverfahren berechnet.



**Abbildung 4.14:** Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke für geerdetes und ungeerdetes Körpermodell Roberta über der Frequenz, bei frontaler magnetischer Befeldung mit dem Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010 ( $\text{maxE}_{i,\text{avg}}$  berechnet mit Volumen-toleranten Mittelungsalgorithmus)

Für **frontale magnetische Befeldung** des Körpermodells Roberta (Abbildung 4.14) zeigen sich nur geringfügige Unterschiede (< ca. 5%) der im CNS-Gewebe induzierten maximalen, gemittelten Feldstärken zwischen geerdetem und ungeerdetem Fall. Es besteht offensichtlich auch noch Reserve zu den Basiswerten für den möglichen Fall, dass laterale Magnetfeldexposition zu etwas höheren  $\max E_{i,avg}$  Werten führt als frontale Exposition. Bezüglich der in PNS-Geweben induzierten elektrischen Feldstärke zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen dem Fall des geerdeten und dem Fall des ungeerdeten Körpermodells. Im geerdeten Fall liegen die  $\max E_{i,avg}$  Werte im Frequenzbereich bis 100 kHz um ca. einen Faktor 3,7-4,7 höher als im ungeerdeten Fall, wobei in allen Fällen, das Feldstärkemaximum in der Haut lag, im geerdeten Fall insbesondere im Bereich der Kontaktstelle zur Erde (außer bei 10 MHz mit dem Maximum auf der Innenseite der Oberschenkel). Die deutlich höheren elektrischen Feldstärkewerte in der Haut bei geerdetem Körpermodell, und insbesondere die daraus folgende potenzielle Überschreitung der Basiswerte sind physikalisch plausibel, wie bereits anhand des in Abbildung 4.15 dargestellten einfachen Modells einer barfuß auf ideal leitfähigem Grund stehenden Person, die frontal von einem homogenen Magnetfeld durchsetzt wird, gezeigt werden kann.



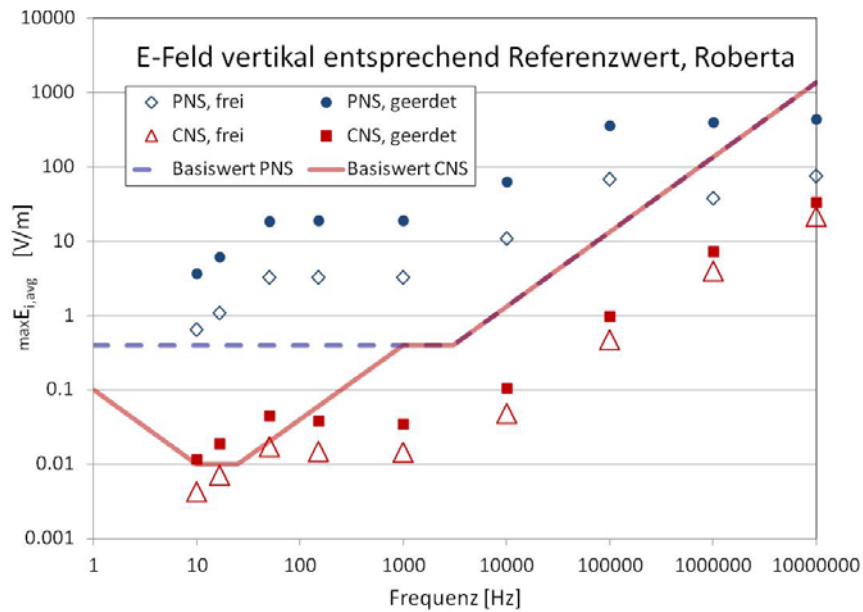
**Abbildung 4.15:** Einfaches Modell zur analytischen Abschätzung der in der Haut induzierten elektrischen Feldstärke bei geerdetem Körpermodell

Selbst wenn man nur den unteren Körperabschnitt betrachtet, kann davon ausgegangen werden, dass die Einkopffläche A, im Bereich von ca. 0,2-0,5 m<sup>2</sup> liegt. Die entlang der Randkurve der Einkopffläche A zufolge des äußeren magnetischen Feldes induzierte elektrische Spannung U lässt sich elementar gemäß

$$U = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot B \cdot A$$

berechnen.

Zufolge der im Vergleich zu allen anderen Geweben wesentlich geringeren elektrischen Leitfähigkeit der Haut gemäß [38] bzw. [40] (z.B. 0,0002 S/m bei 50 Hz) steht diese Spannung näherungsweise ausschließlich an der Haut im Bereich des Erdkontaktes an. Selbst unter Annahme einer (relativ dicken) Hautschicht von ca. 5 mm (auf jeder Seite) führt dies für 50 Hz bei einer magnetischen Flussdichte von 200 μT (Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010) zu einer elektrischen Feldstärke im Bereich von ca. 1-3 V/m, was auch quantitativ mit den in Abbildung 4.14 dargestellten Ergebnissen übereinstimmt. Der entsprechende PNS-Basiswert wurde von ICNIRP jedoch mit 0,4 V/m festgesetzt, also deutlich niedriger.



**Abbildung 4.16:** Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke für geerdetes und ungeerdetes Körpermodell Roberta über der Frequenz, bei vertikaler elektrischer Befeldung mit dem Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010 ( $\text{max}E_{i,\text{avg}}$  berechnet mit Volumen-toleranten Mittelungsalgorithmus)

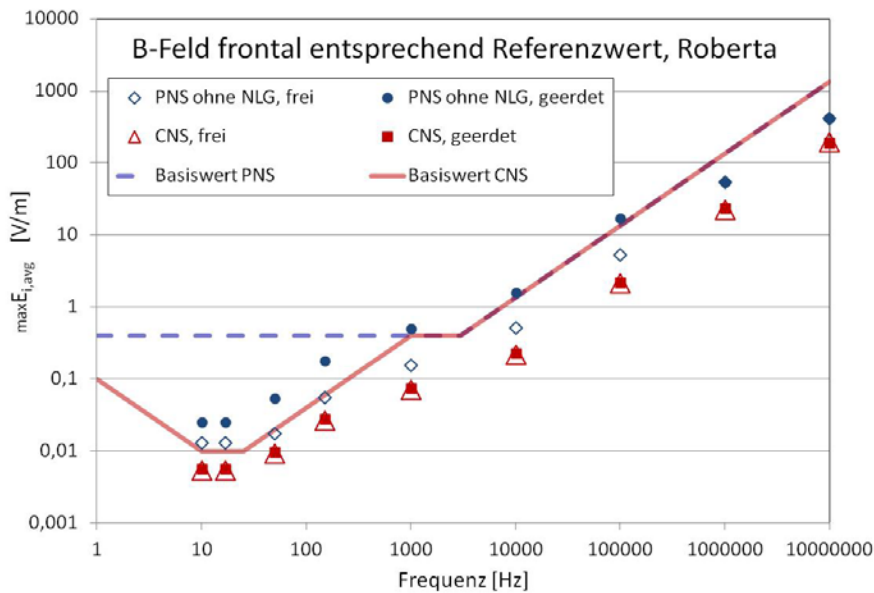
Bei **vertikaler elektrischer Befeldung** zeigen sich auch in CNS-Gewebe bereits deutliche Unterschiede zwischen geerdetem und ungeerdetem Fall (Faktor 1,5-2,7 höhere Werte im geerdeten Zustand). Auch dies ist plausibel, da durch den Erdkontakt das Erdpotenzial teilweise auch zum Kopf bzw. zum Scheitel verschleppt wird, wodurch sich eine im Vergleich zum ungeerdeten Fall verstärkte Feldstärkekonzentration im Bereich des Kopfes bzw. des Scheitels einstellt. Im Hinblick auf die Basiswerte führt dies, wie in Abbildung 4.16 zu erkennen, dazu, dass die CNS-Basiswerte bei Befeldung mit dem Referenzwert im Frequenzbereich 10-100 Hz im geerdeten Zustand geringfügig überschritten sein können.

In PNS-Geweben sind die Unterschiede bezüglich der induzierten elektrischen Feldstärke zwischen geerdetem und ungeerdetem Körpermodell deutlich stärker, insbesondere auch stärker wie im Fall der rein magnetischen Befeldung mit geerdetem Körpermodell. Die  $\text{max}E_{i,\text{avg}}$  Werte liegen im gesamten Frequenzbereich um ca. einen Faktor 5-10 höher als im ungeerdeten Fall.

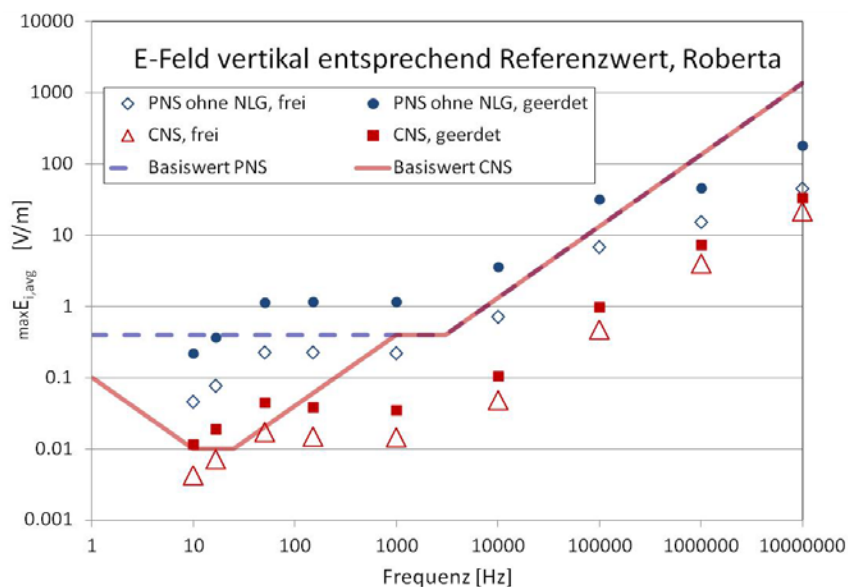
Zusätzlich ist zu bemerken, dass auch bereits bei ungeerdetem Körpermodell die PNS-Basiswerte im Frequenzbereich von 10Hz bis über 100 kHz offensichtlich überschritten werden. Im Fall des geerdeten Körpermodells ist das potenzielle Ausmaß der Basiswertüberschreitungen noch deutlich größer und reicht bis in den Frequenzbereich oberhalb von 1 MHz. Die PNS-Feldstärkemaxima traten dabei immer in der Haut auf, im geerdeten Fall wieder insbesondere im Bereich der Kontaktstelle zur Erde.

Zusammenfassend kann daher bereits an dieser Stelle (auf Basis der Berechnungsergebnisse mit dem in SEMCAD X implementierten Volument-toleranten Mittelungsalgorithmus) festgestellt werden, dass die Festlegungen in den ICNIRP 2010 Guidelines zumindest für die Haut offensichtlich nicht konsistent sind. Die vermeintlichen Ursachen dafür werden in Kapitel 4.4.2 diskutiert.

Zum Vergleich mit Abbildung 4.14 und Abbildung 4.16 stellen Abbildung 4.17 und Abbildung 4.18 die Berechnungsergebnisse für PNS-Gewebe für den Fall dar, dass alle niedrig leitfähigen Gewebe (Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe) von der Mittelwertberechnung ausgeschlossen wurden.



**Abbildung 4.17:** Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke in PNS-Gewebe ohne Berücksichtigung der niedrig-leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe für geerdetes und ungeerdetes Körpermodell Roberta über der Frequenz, bei frontaler magnetischer Befeldung mit dem Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010 ( $\text{maxE}_{i,\text{avg}}$  berechnet mit Volumen-toleranten Mittelungsalgorithmus)



**Abbildung 4.18:** Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke in PNS-Gewebe ohne Berücksichtigung der niedrig-leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe für geerdetes und ungeerdetes Körpermodell Roberta über der Frequenz, bei vertikaler elektrischer Befeldung mit dem Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010 ( $\text{maxE}_{i,\text{avg}}$  berechnet mit Volumen-toleranten Mittelungsalgorithmus)

Wie die Ergebnisse zeigen, verbleiben bei Weglassung der niedrig leitfähigen peripheren Gewebe (NLG) nur noch geringfügige Überschreitungen des Basiswertes im Fall der frontalen magnetischen Befeldung und geerdetem Körpermodell im Frequenzbereich zwischen ca. 1 kHz und 100 kHz, sowie im Frequenzbereich von ca. 50 Hz bis ca. 100 kHz bei vertikaler elektrischer Befeldung mit geerdetem Körpermodell um maximal einen Faktor von ca. 2.

### 4.3 Berechnungen für den Frequenzbereich von 1 Hz bis 10 MHz

Mit den drei anatomischen Ganzkörpermodellen Roberta, Duke und Ella (vgl. Tabelle 4.1) wurden systematische Berechnungen der bei homogener vertikaler elektrischer Befeldung bzw. homogener frontaler magnetischer Befeldung im Körper induzierten elektrischen Feldstärke durchgeführt. Die Berechnungen erfolgten an insgesamt 9 Frequenzstützstellen im Frequenzbereich 10 Hz bis 10 MHz, so dass die Ergebnisse für dazwischenliegende Frequenzen mit interpoliert werden können. Aufgrund der Tatsache, dass die elektrisch relevanten Eigenschaften der Körpergewebe im Frequenzbereich 1-10 Hz keine nennenswerte Frequenzabhängigkeit zeigen und die Induktionswirkung Frequenzproportionalität zeigt, können die induzierten elektrische Feldstärken  $E_i$  im Frequenzbereich  $< 10$  Hz aus den Ergebniswerten bei 10 Hz gemäß folgendem Zusammenhang ermittelt werden:

$$E_{i,f[\text{Hz}]} = \frac{E_{i,10\text{Hz}}}{f} \quad \text{mit } 1 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ Hz.}$$

Die Berechnungsergebnisse wurden mit den in Kapitel 3 beschriebenen bzw. entwickelten Mittelungs- bzw. Bewertungsmethoden analysiert.

Auf Basis der in Kapitel 4.2 beschriebenen Untersuchungen und Erkenntnisse wurden, einem konservativen Ansatz folgend, die folgenden Bedingungen bzw. Parameter gewählt:

- Elektrischer Feldvektor vertikal, magnetischer Feldvektor von vorne nach hinten („frontal“)
- Körpermodelle jeweils mit beiden Füßen in Kontakt mit ideal leitfähiger Erde ( $\Delta z = 0$  mm, entsprechend stehen auf Fußballen, siehe Kapitel 4.2.3)
- Elektrische Gewebeparameter entsprechend [38], wobei für Haut Parameter entsprechend „trockener Haut“ gewählt wurden (siehe Tabelle 4.3)

Die räumliche Diskretisierung des Rechenraumes erfolgte mit einer homogenen Gitterschrittweite von 1,0 mm.

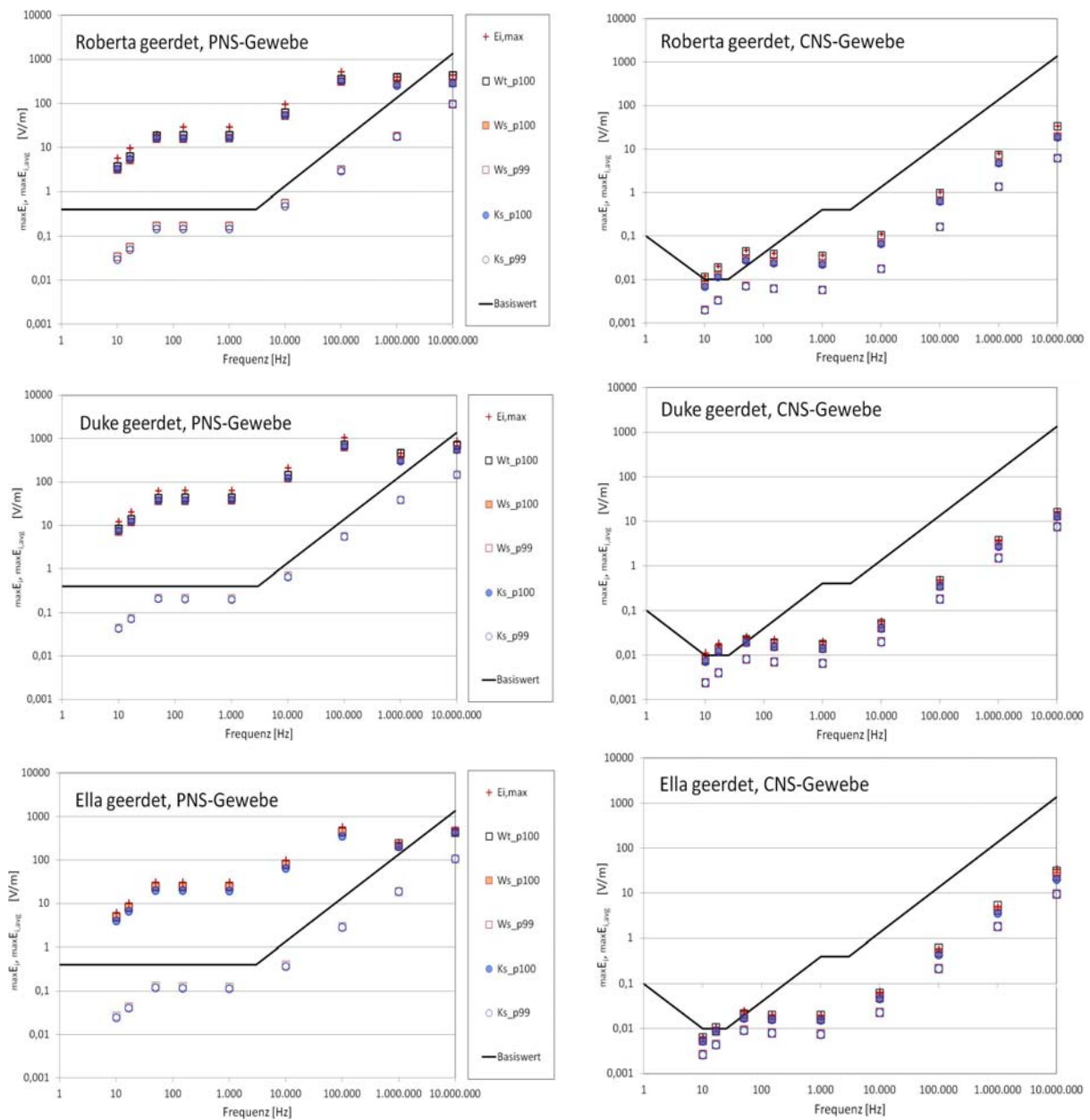
In den folgenden Kapiteln werden die Berechnungsergebnisse in Form von Maximalwerten bzw. maximalen Mittelwerten der in CNS und PNS induzierten elektrischen Feldstärke  $E_i$  dargestellt. Eine Gewebespezifische (auf Basis Gewebegruppen-spezifischer Mittelung, vgl. Kapitel 3.5) Ergebnisdarstellung findet sich in tabellarischer Form im Anhang.

#### 4.3.1 Homogene vertikale elektrische Befeldung mit geerdetem Körpermodell

Abbildung 4.19 fasst die Berechnungsergebnisse für Exposition in einem vertikalen homogenen elektrischen Feld entsprechend dem Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010 zusammen. Dargestellt sind jeweils die Ergebnisse für die maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte intrakorporale elektrische Feldstärke, ermittelt mit den unterschiedlichen Mittelungsmethoden (vgl. Kapitel 3). Zusätzlich ist jeweils das Maximum der (ungemittelten) intrakorporalen Feldstärke angegeben (Voxel-Maximalwert  $E_{i,\text{max}}$ ). Die linke Bildhälfte veranschaulicht die Verhältnisse für PNS-Gewebe, die rechte Bildhälfte für CNS-Gewebe.

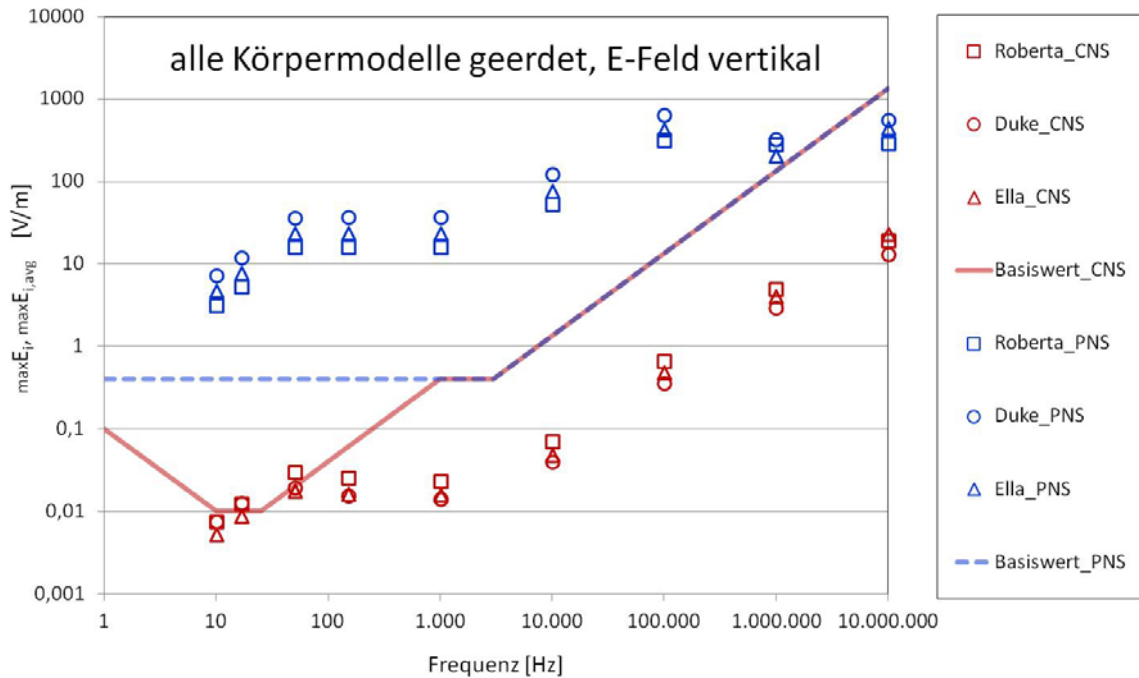
Deutlich zu erkennen ist, dass bei Betrachtung von p99-Werten der gemittelten Feldstärke (wie von ICNIRP empfohlen) keine Konflikte mit dem Basiswert entstehen (zur grundlegenden Problematik von p99-Werten, siehe Kapitel 3). Die auf Basis der mit anderen kürzlich erschienenen Publikationen übereinstimmenden Erkenntnisse in Kapitel 3 zu bevorzugende Anwendung von p100-Werten führt in PNS-Geweben zu teilweise beachtlichen Überschreitungen der Basiswerte. Für CNS-Gewebe zeigen sich nur geringfügige Überschreitungen der Basiswerte im Frequenzbereich zwischen ca. 10 Hz und 100 Hz.

## homogenes elektrisches Feld, Feldstärkevektor vertikal



**Abbildung 4.19:** Vergleich der mit den unterschiedlichen Körpermodellen und unterschiedlichen Mittelungsmethoden erhaltenen Berechnungsergebnisse mit den jeweiligen Basiswerten (links PNS-Gewebe, rechts: CNS-Gewebe). Alle Körpermodelle sind geerdet. Vertikale, homogene elektrische Feldstärke entsprechend dem Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010.

Abbildung 4.20 fasst die in Abbildung 4.19 dargestellten Daten in kompakter Form für die Auswertung der Berechnungsergebnisse mit dem zu bevorzugenden strikten Algorithmus mit würfelförmigem Mittelungsvolumen (Ws\_p100) für alle drei anatomischen Körpermodelle zusammen.



**Abbildung 4.20:** Zusammenfassung der Daten aus Abbildung 4.19 für den strikten Mittelungsalgorithmus (p100) mit würfelförmigem Mittelungsvolumen, bei Verwendung einer niedrigen Hautleitfähigkeit entsprechend Hornhaut

### 4.3.2 Homogene frontale magnetische Befeldung mit geerdetem Körpermodell

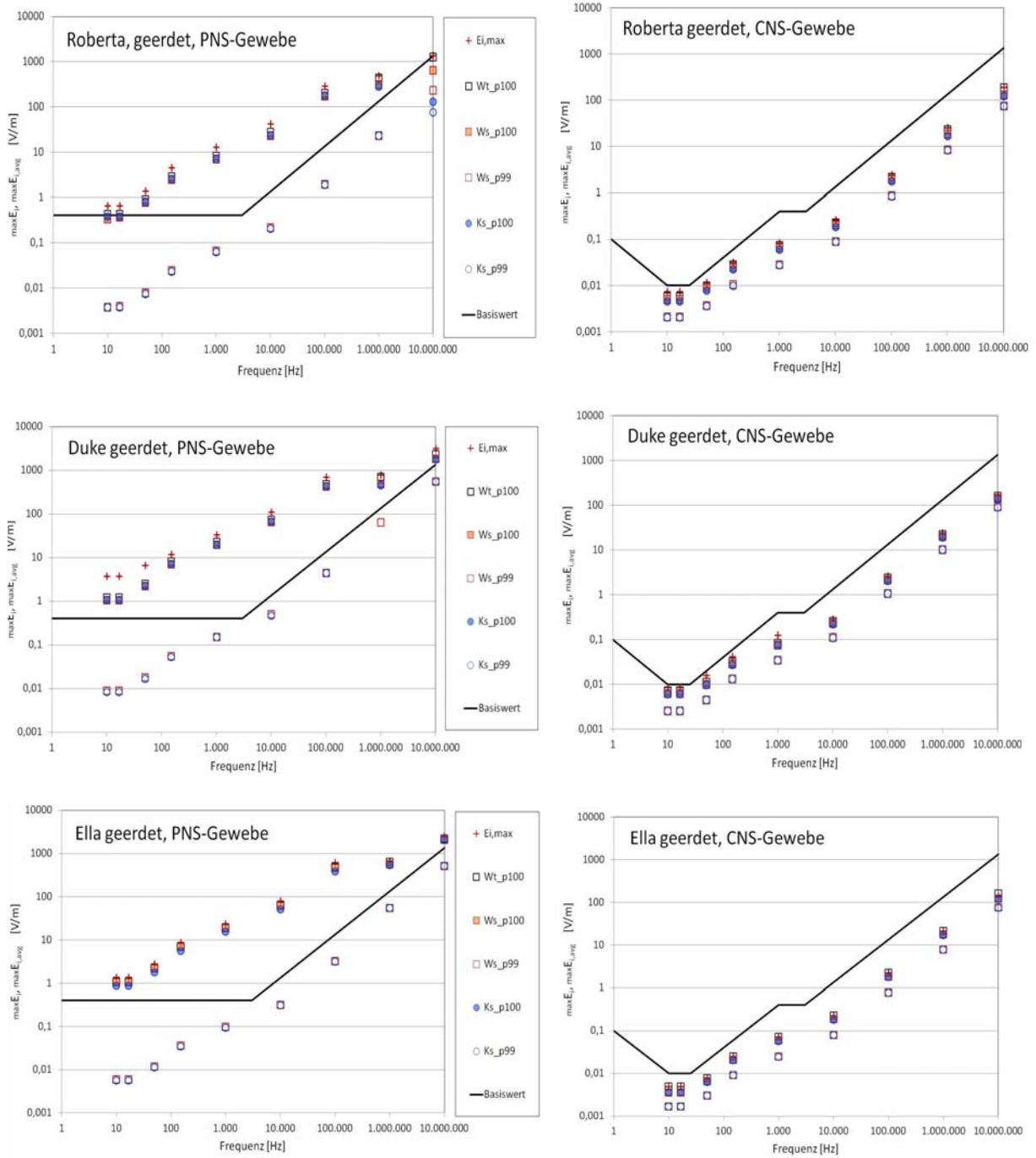
Abbildung 4.21 fasst die Berechnungsergebnisse für Exposition in einem homogenen magnetischen Feld (Feldvektor von vorne nach hinten) entsprechend dem Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010 zusammen. Dargestellt sind wieder jeweils die Ergebnisse für die maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte intrakorporale elektrische Feldstärke, ermittelt mit den unterschiedlichen Mittelungsmethoden (vgl. Kapitel 3). Zusätzlich wird auch wieder jeweils das Maximum der (ungemittelten) intrakorporalen Feldstärke angegeben (Voxel-Maximalwert  $E_{i,max}$ ). Die linke Bildhälfte veranschaulicht die Verhältnisse für PNS-Gewebe, die rechte Bildhälfte für CNS-Gewebe.

Für CNS-Gewebe treten keine Überschreitungen der Basiswerte auf. Für PNS-Gewebe ist, wie auch im oben beschriebenen Fall der Exposition im elektrischen Feld, wieder zu erkennen, dass keine Basiswertüberschreitungen auftreten, wenn man das 99te Perzentil der gemittelten intrakorporalen Feldstärke zur Bewertung heranzieht. Bei Heranziehung der maximalen Mittelwerte  $\max E_{i,avg}$  (p100 Werte) ergeben sich in PNS-Gewebe (in der Haut) teilweise deutliche Basiswertüberschreitungen im Ausmaß von mehr als einer Zehnerpotenz.

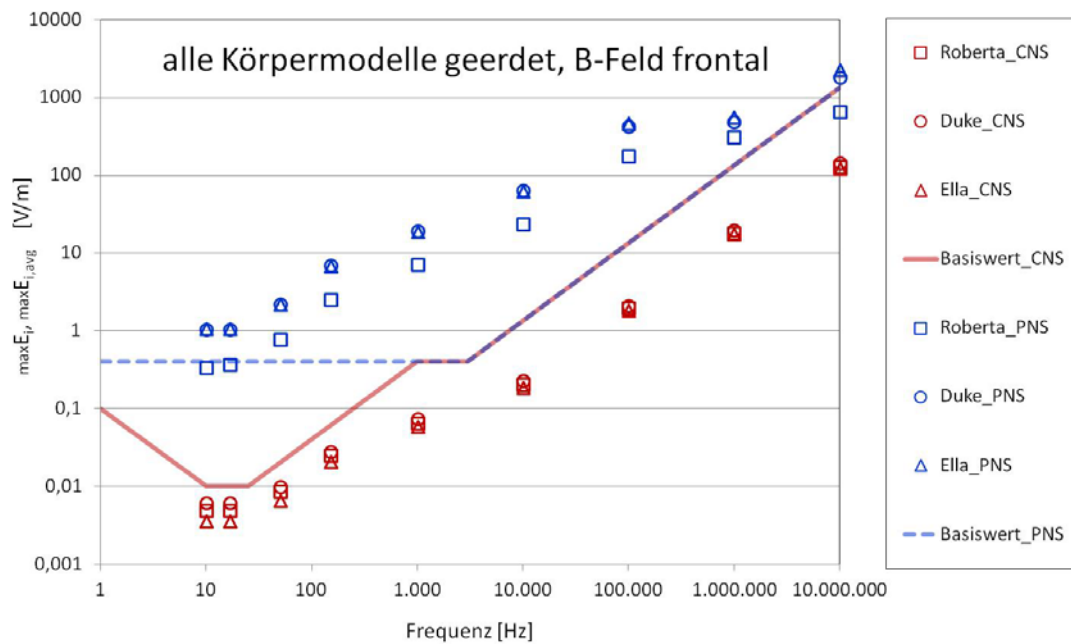
Abbildung 4.22 fasst die in Abbildung 4.21 dargestellten Daten in kompakter Form für die Auswertung der Berechnungsergebnisse mit dem zu bevorzugenden strikten Algorithmus mit würfelförmigem Mittelungsvolumen ( $Ws_{p100}$ ) für alle drei anatomischen Körpermodelle zusammen.



## homogenes magnetisches Feld, Feldstärkevektor von vorne nach hinten



**Abbildung 4.21:** Vergleich der mit den unterschiedlichen Körpermodellen und unterschiedlichen Mittelungsmethoden erhaltenen Berechnungsergebnisse mit den jeweiligen Basiswerten (links PNS-Gewebe, rechts: CNS-Gewebe). Alle Körpermodelle sind geerdet. Frontale, homogene magnetische Feldstärke entsprechend dem Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010.



**Abbildung 4.22:** Zusammenfassung der Daten aus Abbildung 4.21 für den strikten Mittelungsalgorithmus (p100) mit würfelförmigem Mittelungsvolumen, bei Verwendung einer niedrigen Hautleitfähigkeit entsprechend Hornhaut

### 4.3.3 Kombiniert homogene vertikale elektrische und homogene frontale magnetische Befeldung mit geerdetem Körpermodell

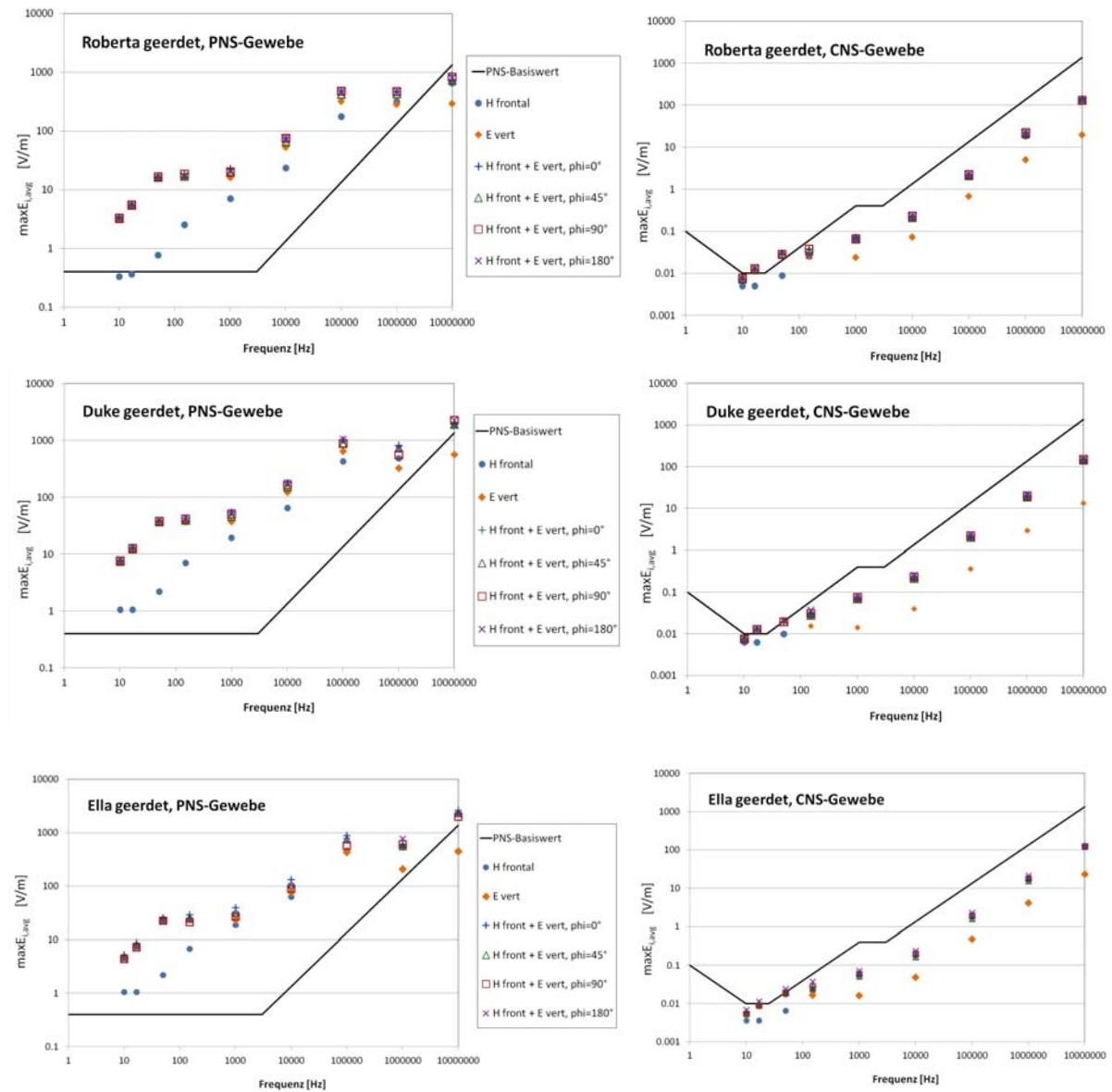
Um zu überprüfen ob, bzw. in welchem Ausmaß eine Additivität der von gleichzeitig einwirkenden externen elektrischen und magnetischen Feldern verursachten induzierten Feldstärken erwartet werden muss, wurden entsprechende Berechnungen für homogene frontale magnetische und gleichzeitig einwirkende homogene vertikale Feldstärke durchgeführt, wobei unterschiedliche Phasenverschiebungen zwischen elektrischen und magnetischem Feld untersucht wurden.

Abbildung 4.23 zeigt die Berechnungsergebnisse in Form der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten Feldstärke  $\max E_{i,avg}$  für kombinierte Befeldung ( $\max E_{i,avg,kombiniert}$ ) mit unterschiedlichen Phasenverschiebungen zunächst direkt im Vergleich mit den Basiswerten, bei externen Feldstärken in der Höhe der Referenzwerte. Zusätzlich sind in den Diagrammen auch die induzierten intrakorporalen Feldstärken  $\max E_{i,avg}$  bei rein elektrischer und rein magnetischer Befeldung dargestellt (p100-Werte des volumen-strikten Mittelungsalgorithmus mit würfelförmigem Mittelungsvolumen).

Für PNS-Gewebe (Haut) zeigt sich im Frequenzbereich bis 1000 Hz deutlich, dass die elektrische Befeldung im Hinblick auf den Beitrag zur insgesamt induzierten  $\max E_{i,avg}$  deutlich dominiert. Dieser Effekt verschwindet zunehmend mit höher werdender Frequenz. In ähnlicher Weise dominiert im Frequenzbereich zwischen ca. 10 und 100 Hz die externe vertikale elektrische Befeldung in der Höhe des Referenzwertes die in CNS-Geweben im Kopf insgesamt induzierte  $\max E_{i,avg}$ , gegenüber einer frontalen magnetischen Feldstärke in Höhe des Referenzwertes. Ab ca. 100 Hz tritt eine Trendumkehr auf und es beginnt die magnetische Befeldung die insgesamt in CNS-Geweben induzierte  $\max E_{i,avg}$  zu dominieren.

Eine andere Darstellungsform der Berechnungsergebnisse bei kombinierter elektrischer und magnetischer Befeldung zeigt Abbildung 4.24. Es ist darin das Verhältnis der resultierenden intrakorporal induzierten elektrischen Feldstärke bei kombinierter elektrischer und magnetischer Befeldung zum Maximum  $\text{MAX}\{\max E_{i,avg,Hfrontal}; \max E_{i,avg,Evertikal}\}$  der maximal induzierten elektrischen Feldstärken bei jeweils separater elektrischer bzw. magnetischer Befeldung dargestellt. Verhältniswerte kleiner 1 bedeuten, dass die kombinierte Befeldung zu

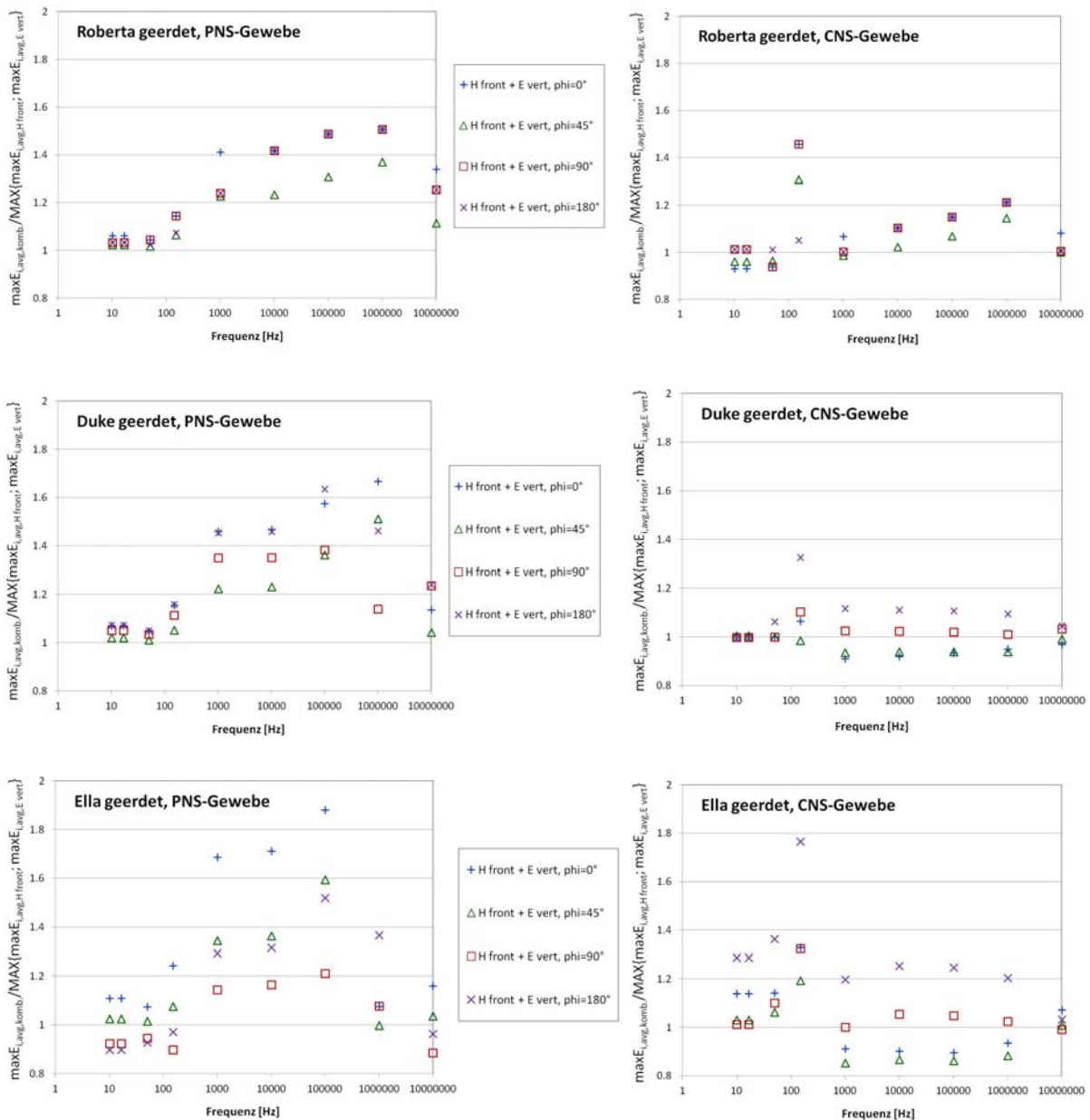
einer geringeren resultierenden maximalen Exposition (in Form der  $\max E_{i,avg}$ ) führt, als die separate Betrachtung elektrischer und magnetischer Exposition, d.h., es kommt durch die Feldkombination zur einer teilweise Kompensation der induzierten Feldstärkekomponenten. Verhältniswerte größer als 1 bedeuten, dass die resultierende Exposition bei kombinierter Befeldung größer ist, als der Expositions-Maximalwert bei separater Beurteilung elektrischer und magnetischer Befeldung. In anderen Worten bedeuten Verhältniswerte größer als 1, dass eine separate Beurteilung von elektrischer und magnetischer Exposition zu einer Unterschätzung der Verhältnisse bei kombinierter Exposition führt.



**Abbildung 4.23:** Vergleich der mit den unterschiedlichen Körpermodellen erhaltenen Berechnungsergebnisse mit den jeweiligen Basiswerten (links PNS-Gewebe, rechts: CNS-Gewebe), bei kombinierter vertikaler elektrischer und frontaler magnetischer Befeldung (jeweils in Höhe des ICNIRP 2010 Referenzwertes für Allgemeinbevölkerung), mit unterschiedlichen Phasenverschiebungen zwischen elektrischem und magnetischem Feld.

Wie Abbildung 4.24 zeigt, liegen die Verhältniswerte für die angenommenen worst case Befeldungsverhältnisse zwischen ca. 0,8 und 1,9. D.h., es kommt, zumindest lokal in bestimmten Körperregionen, bei kombiniert elektrisch und magnetischer Befeldung zu einer deutlichen additiven Wirkung der von elektrischer und magnetischer Feldkomponente intrakorporal induzierten elektrischen Feldstärke.

Hinsichtlich des Einflusses der Phasenverschiebung lassen die Ergebnisse in Form der  $\max E_{i,avg,kombiniert}$  in PNS-Gewebe keinen erkennbaren Trend erkennen, was wahrscheinlich auf die kleinräumig komplexen Verhältnisse in der Haut im Bereich der Kontaktstelle zur Erde zurückzuführen ist. In den CNS-Gewebe lässt sich zumindest im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 1 MHz der Trend einer maximalen  $\max E_{i,avg,kombiniert}$  bei Gegenphasigkeit (Phasenverschiebung  $180^\circ$ ) von elektrischem und magnetischem Feldvektor erkennen.



**Abbildung 4.24:** Verhältnis von intrakorporal induzierter elektrischer Feldstärke  $\max E_{i,avg,kombiniert}$  bei kombinierter vertikaler elektrischer und frontaler magnetischer Befeldung (jeweils in Höhe des ICNIRP 2010 Referenzwertes für Allgemeinbevölkerung) zum Maximum der maximal induzierten elektrischen Feldstärken bei jeweils separater rein elektrischer (vertikaler) bzw. rein magnetischer (frontaler) Befeldung (jeweils in Höhe des ICNIRP 2010 Referenzwertes für Allgemeinbevölkerung)

Generell zeigt sich daher, dass eine getrennte und unabhängige Bewertung von elektrischer und magnetischer Feldstärke bei einer Expositionsbewertung auf Basis der Referenzwerte aus strahlenschutztechnischer Sicht im Allgemeinen nicht gerechtfertigt werden kann.

## 4.4 Unsicherheiten zufolge Gewebeparameter

Die Unsicherheiten bezüglich der elektrischen Gewebeeigenschaften sind im Niederfrequenzbereich vergleichsweise hoch. Die für dieses Projekt am meisten relevanten Unsicherheitsquellen, die Gewebeanisotropie von Muskelgewebe und die komplexen und sehr variablen elektrischen Eigenschaften der Haut sollen im Folgenden kurz diskutiert werden.

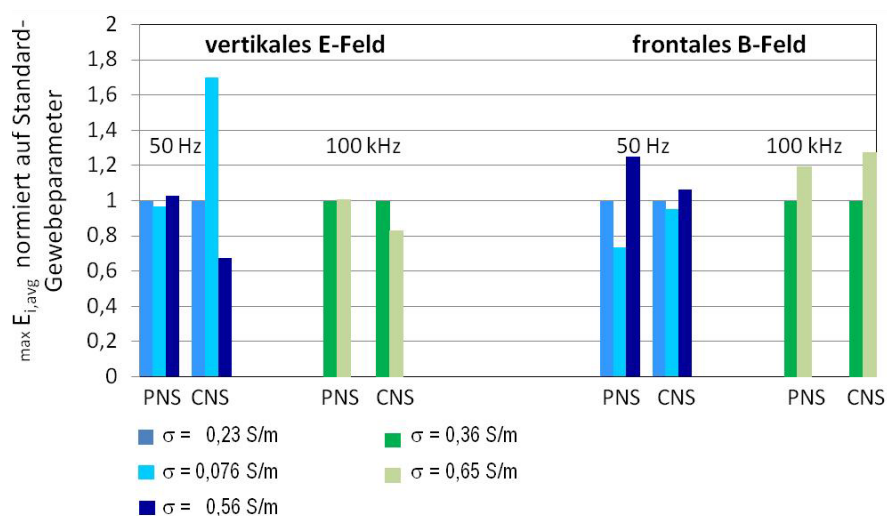
### 4.4.1 Einfluss der Gewebeanisotropie

Zur Abschätzung der Auswirkungen der anisotropen Eigenschaften von Muskelgewebe auf die Berechnungsergebnisse für die maximale induzierte gemittelte intrakorporale elektrische Feldstärke wurden zusätzliche Berechnungen mit dem anatomischen Körpermodell Roberta bei 50 Hz und 100 kHz durchgeführt. Grundsätzlich nimmt die Anisotropie der Gewebe mit größer werdender Frequenz ab und ist oberhalb von 1 MHz nur mehr von untergeordneter Bedeutung. Tabelle 4.2 vergleicht die in der Literatur verfügbaren Angaben bezüglich der Anisotropie der elektrischen Leitfähigkeit von Muskel mit den in diesem Projekt als standardmäßig verwendeten Werten gemäß [38] bzw. [40].

	$\sigma$ [S/m]			
	50 Hz		100 kHz	
	längs	quer	längs	quer
Variationsbereich gemäß Literatur [34], [56]	0,52	0,076	0,65	0,47
standardmäßig in diesem Projekt verwendet [38]	0,233		0,362	

**Tabelle 4.2:** Anisotrope elektrische Leitfähigkeit von Muskelgewebe

Abbildung 4.25 zeigt die Auswirkungen auf die Ergebnisse, wenn die elektrische Leitfähigkeit von Muskelgewebe im Bereich der in der Literatur angegebenen Variationsbreite zufolge Anisotropie variiert wird. Die resultierenden Unsicherheiten können demnach im Bereich bis zu 20-30% betragen. Die auffallend große Erhöhung von  $\max E_{i,avg}$  in CNS-Gewebe bei 50 Hz unter Annahme extrem geringer elektrischer Muskel-Leitfähigkeit (quer zur Faserrichtung) muss als unrealistisch angesehen werden, weil die Faserrichtung der Muskulatur hauptsächlich in Körperlängsrichtung (Richtung der elektrischen Feldstärke) liegt.



**Abbildung 4.25:** Einfluss der Muskelleitfähigkeit auf die induzierten Feldstärken in CNS- und PNS-Geweben. Körpermodell Roberta. Maximale induzierte, über  $2 \times 2 \times 2$  mm<sup>3</sup> gemittelte elektrische Feldstärke, normiert auf die Ergebnisse mit den Standard-Leitfähigkeitswerten

## 4.4.2 Einfluss der elektrischen Eigenschaften der Haut

Die in den Abschnitten 4.2.3 und 4.3 berichteten deutlichen Überschreitungen der PNS-Basiswerte in der Haut mögen zunächst überraschen. Der Grund dafür liegt offensichtlich darin, dass im Rahmen dieses Vorhabens Leitfähigkeitswerte für die Haut verwendet wurden, wie sie in den gegenwärtig meistverwendeten Datenbanken [38], [40] und auch in grundlegenden internationalen Normungsdokumenten [54] gefunden werden können (Tabelle 4.3). Wie eine Recherche ergab, entspricht dies nicht den Annahmen, die von ICNIRP bei der Erstellung der Empfehlungen von 2010 [1] getroffen wurden.

Der folgenden Diskussion werden zunächst die im Rahmen dieses Projektes verwendeten dielektrischen Gewebeparameter für die Haut vorangestellt:

Frequenz	trockene Haut		feuchte Haut	
	$\epsilon_r$ [1]	$\sigma$ [S/m]	$\epsilon_r$ [1]	$\sigma$ [S/m]
10 Hz	1136	0,00020	58340	0,00040
16,67 Hz	1136	0,00020	57064	0,00041
50 Hz	1136	0,00020	51274	0,00043
150 Hz	1136	0,00020	41653	0,00049
1 kHz	1136	0,00020	32135	0,00066
10 kHz	1134	0,00020	29010	0,00293
100 kHz	1119	0,00045	15357	0,06584
1 MHz	991	0,01324	1833	0,2214
10 MHz	362	0,19732	221,8	0,366

**Tabelle 4.3:** Elektrische Eigenschaften der Haut gemäß [38] bzw. [40]

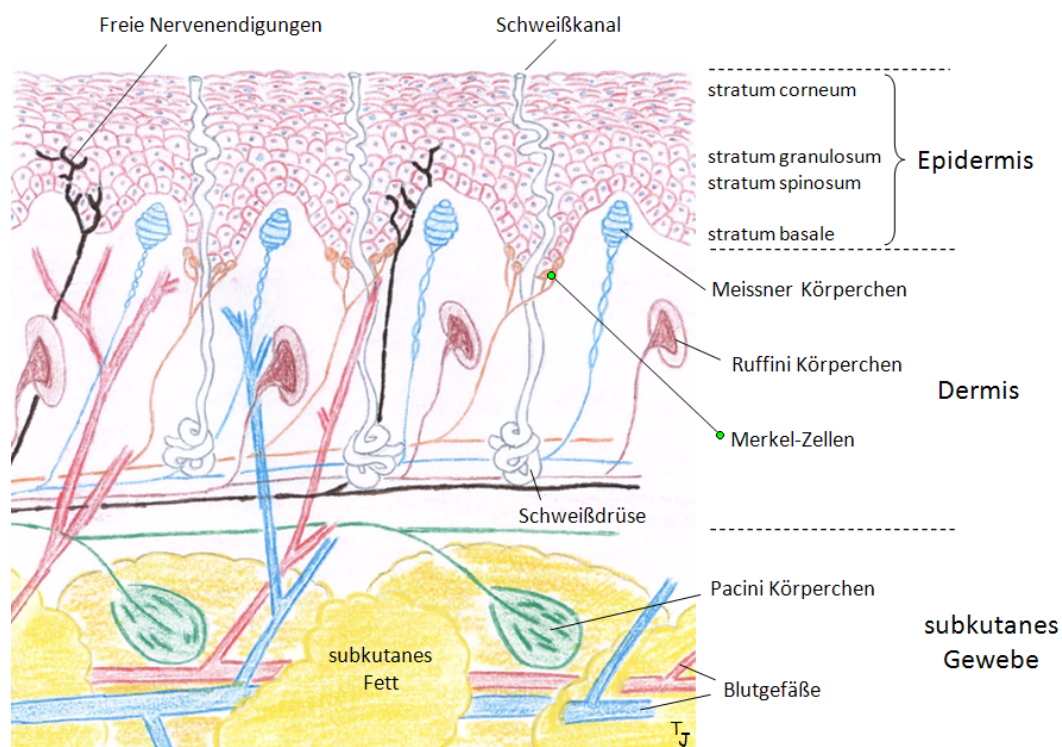
Diese Daten beruhen auf den von Camelia Gabriel entwickelten Parametermodellen [37] für feuchte und trockene Haut. Im Sinne einer konservativen Überprüfung wurden im Rahmen dieses Projekts, sofern nicht explizit anders angemerkt, immer die Werte für trockene Haut (mit niedrigerer Leitfähigkeit) verwendet.

Bei der Festlegung der Referenzwerte der ICNIRP-Empfehlungen von 2010 [1] geht ICNIRP konkret von maximalen induzierten elektrischen Feldstärken in der Haut von 20-60 mV/m pro mT bzw. 12-33 mV/m pro kV aus (Seite 824, linke Spalte, letzter Absatz und rechte Spalte erster Absatz in [1]). Als für die Erarbeitung der Empfehlungen am besten geeignete dosimetrische Arbeiten werden in ICNIRP 2010 explizit [3], [4], [5] und [55] genannt, wobei sich nur in [3] und [5] konkrete Angaben über induzierte intrakorporale Feldstärken in der Haut finden. Für die Festlegung der Referenzwerte verwendet ICNIRP nach eigenen Angaben jedoch nur die Ergebnisse von [3] und [21], wobei sich auch in [21] keine Ergebnisse in Form der in der Haut induzierten elektrischen Feldstärken finden. Die in [5] publizierten Ergebnisse wurden bei der Festlegung der Referenzwerte von ICNIRP offensichtlich, und ohne weitere Kommentierung nicht direkt berücksichtigt. Festzuhalten ist dabei zunächst, dass die Gitterschrittweite der räumlichen Diskretisierung des Rechenraumes in [3] und [5] nicht weniger als 2 mm betrug. In [5] werden punktuell nur zwei Feldstärkewerte in der Haut angegeben, wobei der größere Wert mit 31,2 mV/m bei 0,1 mT frontaler magnetischer Befeldung (50 Hz) in ungeerdetem Zustand des Körpermodells angegeben wird. Dies entspricht 312 mV/m pro mT, also mehr als einen Faktor 5 höher als die Annahmen in ICNIRP 2010. Dies ist insofern bemerkenswert, als ICNIRP bei der Festlegung der Referenzwerte einen Reduktionsfaktor von 3 zur Abdeckung dosimetrischer Unsicherheiten verwendet, also einen kleineren Faktor, als die Streubreite der Ergebnisse der von ICNIRP selbst zugrundegelegten Literatur. Als Quelle für die verwendeten elektrischen Gewebeparameter wird in [5] der weithin bekannte und oft zitierte Forschungsbericht der Gruppe um Camelia Gabriel aus dem Jahr 1996 [34] angeführt, wobei nicht konkret angegeben wird, welche Gewebeparameter für die Haut verwendet wurden.

D.h. es bleibt offen, ob für die Haut Gewebeparameterwerte entsprechend den von Gabriel et al. verwendeten Dispersionsmodellen für feuchte ( $\sigma=0,0002$  S/m bei 50 Hz) oder trockene ( $\sigma=0,0004$  S/m bei 50 Hz) Haut (siehe auch [37]) oder Werte aus der ebenfalls in [34] enthaltenen Literaturzusammenfassung verwendet wurden (siehe auch [35]).

In [3] werden Ergebnisse systematischer gewebespezifischer Untersuchungen für homogene elektrische und homogene magnetische Befeldung berichtet. Die dort angegebenen Werte für die maximale in der Haut induzierte elektrische Feldstärke bei 50 Hz decken sich weitgehend mit den getroffenen, oben zitierten Annahmen (20-60 mV/m pro mT bzw. 12-33 mV/m pro kV) für die maximal in der Haut induzierten elektrischen Feldstärken. Die obere Grenze von 33 mV/m pro kV entspricht allerdings dem p99 Wert in [3], wohingegen die obere Grenze von 60 mV/m pro mT knapp unterhalb des angegebenen Maximalwertes (p100) in [3] liegt. Ganz wesentlich bei der Betrachtung der Ergebnisse aus [3] ist jedoch, dass für die Berechnungen eine elektrische Leitfähigkeit der Haut von 0,1 S/m (bei 50 Hz) angenommen wurde, also ein Wert, der 2-3 Zehnerpotenzen höher liegt als jener in [37], [38] und [40] angegebene.

Es ist hinlänglich bekannt, dass die elektrische Leitfähigkeit der Haut im Niederfrequenzbereich großen Schwankungsbreiten unterworfen ist. Neben der äußeren Beschaffenheit der Haut (trocken oder feucht) spielen der über Körperregionen stark variierende Schichtaufbau (z.B. Dicke der Hornschicht), die Frequenz und die anliegende Feldstärke selbst eine große Rolle. Aus der gegenwärtigen wissenschaftliche Literatur (z.B.[33], [56]) lassen sich jedoch, selbst unter extremen Annahmen (feuchte Haut, dünne Hornschicht, hohe Feldstärken), nur Leitfähigkeitswerte der Haut kleiner als 0,001 S/m (bei 50 Hz) ableiten. Allerdings beziehen sich diese Angaben zumeist auf die von außen pauschal messbare Hautleitfähigkeit, die vom gering leitfähigen Stratum corneum (Hornschicht) der Epidermis dominiert wird. Im Sinne der Intention, nämlich des Schutzes von peripheren Nervenstrukturen vor relevanter elektrischer Beeinflussung des Zellmembranpotenzials ist die Verwendung von Hautleitfähigkeitswerten, die maßgeblich durch das Stratum corneum bestimmt sind in der Tat nicht sinnvoll, da dort keine Nervenstrukturen liegen (Abbildung 4.26).



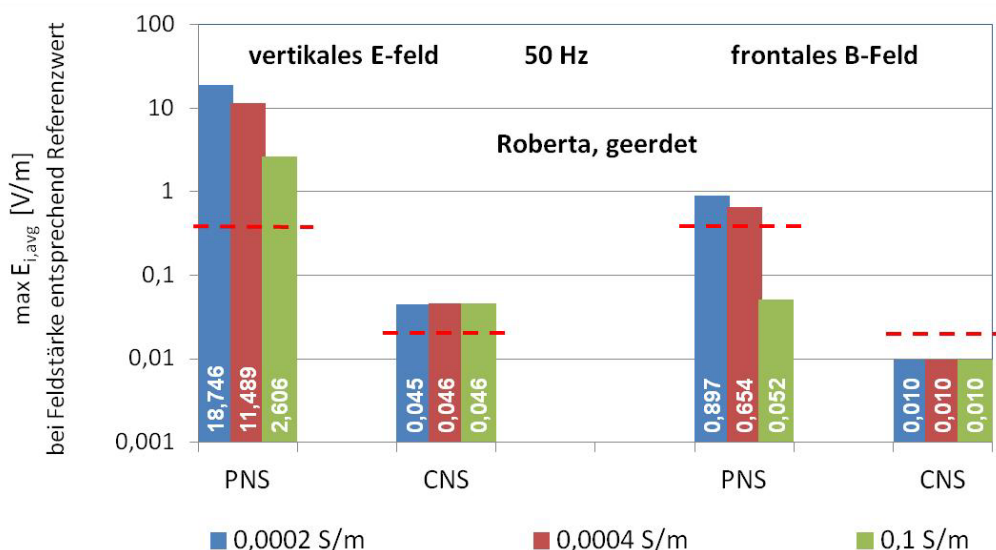
**Abbildung 4.26:** Schematische Schnittdarstellung der unbehaarten Haut mit den in unterschiedlichen Hautschichten vorkommenden Nerven- und Rezeptorstrukturen. Abbildung abgeleitet aus medizinischer Grundlagenliteratur. Grafische Ausarbeitung: Tobias Jhala.

Die Modellierung der Haut des in [3] verwendeten Körpermodells erfolgte als eine 2 mm dicke, das Modell umgebende Hülle, die als Hybrid-Gewebe aus Haut und Fettgewebe angenommen wurde. Diesem Hybrid-Gewebe wurde (bei 50 Hz) 0,1 S/m als elektrische Leitfähigkeit für die weiteren Berechnungen in [3] zugewiesen. Allerdings wird für Fettgewebe in [3] ein Leitfähigkeitswert von 0,04 S/m angenommen, also deutlich niedriger als 0,1 S/m. Dies würde konsequenter Weise bedeuten, dass für Haut alleine von noch größeren Leitfähigkeitswerten ausgegangen wurde. Die einzig auffindbare Literaturstelle, die dies stützt ist [57]. In dieser Publikation werden im Frequenzbereich zwischen 10 Hz und 100 kHz Leitfähigkeitswerte der Haut, gemessen am Stratum granulosum im Bereich zwischen 0,22 und 0,34 S/m berichtet. Möglicherweise stellt dies die Basis für die in [3] getroffenen Annahmen dar. Da das Stratum granulosum als die oberste Hautschicht angesehen werden kann in der freie Nervenendigungen vorkommen können, wäre dieser Ansatz gerechtfertigt. Leider liegen für andere, tiefer liegende Hautschichten keine verlässlichen Daten in der Literatur vor.

Zusammenfassend muss in diesem Zusammenhang jedenfalls angemerkt werden, dass die gegenwärtige Situation bezüglich der Detailkenntnis der Hautleitfähigkeit als nicht zufriedenstellend für eine verlässliche Expositionsbeurteilung, im Sinne des von ICNIRP beabsichtigten Schutzkonzeptes für peripheres Nervengewebe, bezeichnet werden muss.

Um die Auswirkungen der Annahme unterschiedlicher Leitfähigkeitswerte der Haut auf die Berechnungsergebnisse abzuschätzen, wurden zusätzliche Berechnungen mit dem Körpermodell Roberta in geerdetem Zustand durchgeführt.

Abbildung 4.27 fasst die Ergebnisse zusammen. Die jeweiligen PNS- und CNS-Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010 sind als strichlierte horizontale Linien in Abbildung 4.27 eingetragen. Während die Leitfähigkeit der Haut nur vernachlässigbaren Einfluss auf die  $\max E_{i,avg}$  Werte in CNS-Gewebe hat, ist ihre Auswirkung auf die  $\max E_{i,avg}$  Werte in der Haut selbst naturgemäß sehr groß. Konkret verschwinden bei Annahme einer Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m offensichtlich die mit Hautleitfähigkeitswerten gemäß [38] beobachtbaren Basiswertüberschreitungen bei frontaler magnetischer Befeldung und geerdetem Körpermodell. Bei elektrischer Befeldung unter den getroffenen Annahmen bleiben die Basiswertüberschreitungen jedoch auch bei Annahme einer Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m im Ausmaß von ca. einem Faktor 6-7 bestehen.



**Abbildung 4.27:** Einfluss der Hautleitfähigkeit auf die induzierten Feldstärken in CNS- und PNS-Geweben. Körpermodell Roberta, geerdet, Exposition entsprechend Referenzwert bei 50 Hz.

Die allgemeine Problematik einer adäquaten Modellierung der Haut wird auch in Kapitel 6.4 nochmals aufgegriffen



## 4.5 Gesamtunsicherheit der Berechnungsergebnisse

Im Hinblick auf die Sicherstellung der Einhaltung der Basiswerte sind bei numerischen Berechnungen mit homogener Ganzkörperbefeldung im Allgemeinen die folgenden Unsicherheitsbeiträge zu berücksichtigen:

- numerische Unsicherheiten des verwendeten Löser-Algorithmus
- numerische Unsicherheiten zufolge der Diskretisierung des Rechenraumes
- Unsicherheiten der anatomischen Körpermodelle (begrenzte anatomische Detailliertheit)
- Unsicherheiten der relevanten dielektrischen Gewebeparameter
- Unsicherheiten bezüglich Repräsentativität der anatomischen Körpermodelle hinsichtlich Größe, Statur, Körperhaltung, etc.
- Unsicherheiten des Mittelungsverfahrens der Zielgröße

Bei der konkreten Durchführung von Berechnungen unter Verwendung einer stark eingeschränkten Anzahl unterschiedlicher verfügbarer Körpermodelle, können die Unsicherheitsbeiträge zufolge begrenzter anatomischer Detailliertheit der Körpermodelle, sowie zufolge der beschränkten Repräsentativität der Körpermodelle im Hinblick auf die Gesamtpopulation nicht fundiert quantifiziert werden. Ähnliches gilt für die Unsicherheiten zufolge unterschiedlicher Körperhaltungen, die aus Aufwandsgründen im Rahmen dieses Projekts nicht detailliert untersucht wurden. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass diese Unsicherheiten ausreichend durch die bei der Festsetzung der Basiswerte eingeführten Reduktionsfaktoren abgedeckt sind.

Die Unsicherheiten der eingesetzten Löser-Algorithmen können typischer Weise mit  $< \pm 10\%$  angesetzt werden (vgl. dazu auch Kapitel 4.1 und [20]), wenn man numerische Artefakte zufolge unzureichender räumlicher Diskretisierung ausschließt und identische Randbedingungen voraussetzt.

Die voneinander nicht unabhängigen Unsicherheiten zufolge der Diskretisierung des Rechenraumes und des verwendeten Mittelungsverfahrens zur Berechnung der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke ( $\max E_{i,\text{avg}}$  ermittelt als  $W_{s,p100}$ ) können basierend auf den in Kapitel 3 dokumentierten Ergebnissen gemeinsam zu maximal ca.  $\pm 20\%$  abgeschätzt werden ( $\max E_{i,\text{avg}}$  ermittelt als  $W_{s,p100}$ , bei Gitterschrittweiten  $\leq 1 \text{ mm}$ ).

Bezüglich der Unsicherheiten der dielektrischen Gewebeparameter ist zunächst festzuhalten, dass diese im Bereich niedriger Frequenzen in der Literatur generell mit bis zu einem Faktor 2 beschrieben sind [34]. Zusätzlich ist für einige Gewebe, wie z.B. Muskel eine ausgeprägte Anisotropie zu erwarten (bis zu einem Faktor 16), die in den numerischen Berechnungen gegenwärtig noch nicht berücksichtigt werden kann. Abschätzungen der Berechnungsunsicherheiten zufolge nicht berücksichtigter Anisotropie für die Zielgröße  $\max E_{i,\text{avg}}$  in PNS- und CNS-Geweben ergaben ca.  $\pm 20\%$  bis  $30\%$  (siehe Kapitel 4.4.1). Ganz allgemein zeigen die Berechnungsergebnisse, dass sich die Unsicherheiten der Gewebeparameter nur in abgeschwächter Form auf die Berechnungsergebnisse für  $\max E_{i,\text{avg}}$  übertragen, oder anders ausgedrückt, dass nur eine relativ geringe Sensitivität der Berechnungsergebnisse bezüglich der Gewebeparameterunsicherheiten besteht. Beispielsweise zeigen Ergebnisse für magnetische Befeldung einen maximalen „Übertragungsfaktor“ in der Größenordnung der Quadratwurzel, d.h., bei Erhöhung der Gewebeleitfähigkeit um einen Faktor 2 verringert sich  $\max E_{i,\text{avg}}$  um ca. einen Faktor 1,4 (vgl. Kapitel 4.4, sowie [73], [74]). Für elektrische Befeldung deuten die Ergebnisse auf eine noch geringere Sensitivität hin (vgl. Kapitel 4 und [73]). D.h., bei einer angenommenen Unsicherheit der Gewebeparameter von einem Faktor 2 gemäß [34] (entsprechend  $\pm 33\%$ ) wird von einer Unsicherheit der Berechnungsergebnisse für  $\max E_{i,\text{avg}}$  von maximal ca.  $\pm 20\%$  auszugehen sein. Insgesamt (einschließlich Anisotropie)

kann die maximale Unsicherheit bezüglich  $\max E_{i,avg}$  zufolge Gewebeparameterunsicherheiten daher mit maximal ca.  $\pm 35\%$  angesetzt werden.

Neben den oben angeführten Unsicherheitsbeiträgen konnten im Zuge dieses Vorhabens zwei weitere Berechnungsparameter identifiziert werden, die unter den betrachteten Expositionsbedingungen sehr großen Einfluss auf die maximale induzierte elektrische Feldstärke in PNS Gewebe (insbesondere in der Haut) haben, nämlich einerseits die Erdungsverhältnisse (Kontaktfläche zur Erde) und andererseits die elektrische Leitfähigkeit der Haut. Eine Sensitivitätsanalyse der Berechnungsergebnisse im Hinblick auf Variationen der Kontaktfläche der Füße zur Erde zeigte  $\max E_{i,avg}$ -Variationen bis zum 1,8- (frontale magnetische Befeldung) bzw. 3,5-fachen (vertikale elektrische Befeldung) des angenommenen „Worst Case“ Nominalfalles (Stehen auf den Fußballen,  $\Delta z = 0$ , vgl. Kapitel 4.2.3). Die Wahl der elektrischen Leitfähigkeit der Haut und deren Einfluss auf das Berechnungsergebnis wurde bereits ausführlich in Kapitel 4.4.2 diskutiert und ist auch in Kapitel 6 Gegenstand weiterer Detailanalysen. Insbesondere im Hinblick auf die maximale induzierte elektrische Feldstärke in PNS Gewebe stellt die Wahl der elektrischen Hautleitfähigkeit einen wesentlichen Parameter dar, und zwar stellt sich konkret die Frage, ob mit einer Hautleitfähigkeit gemäß dem gegenwärtig meistverwendeten Dispersionsmodell nach [37] (repräsentativ für die Hornhaut) oder mit einer wesentlich größeren Hautleitfähigkeit (repräsentativ für tieferliegende Hautschichten) gerechnet wird. Je nach Ansatz und betrachteter Expositionssituation kann die Variation der Berechnungsergebnisse mehr als einen Faktor 10 betragen. Die Erdungsverhältnisse und die Wahl der elektrischen Leitfähigkeit der Haut werden daher im Folgenden als grundlegende, zu definierende Parameter und nicht als Beiträge zum Unsicherheitsbudget gesehen.

Unter diesen Voraussetzungen kann für die in Kapitel 4.3 zusammengefassten Berechnungsergebnisse unter den zugrunde gelegten Bedingungen bezüglich Erdungsverhältnisse und Hautleitfähigkeit, nämlich

- stehend auf dem Fußballen auf ideal leitfähiger Erde
- Hautleitfähigkeit entsprechend trockener Haut gemäß [37]

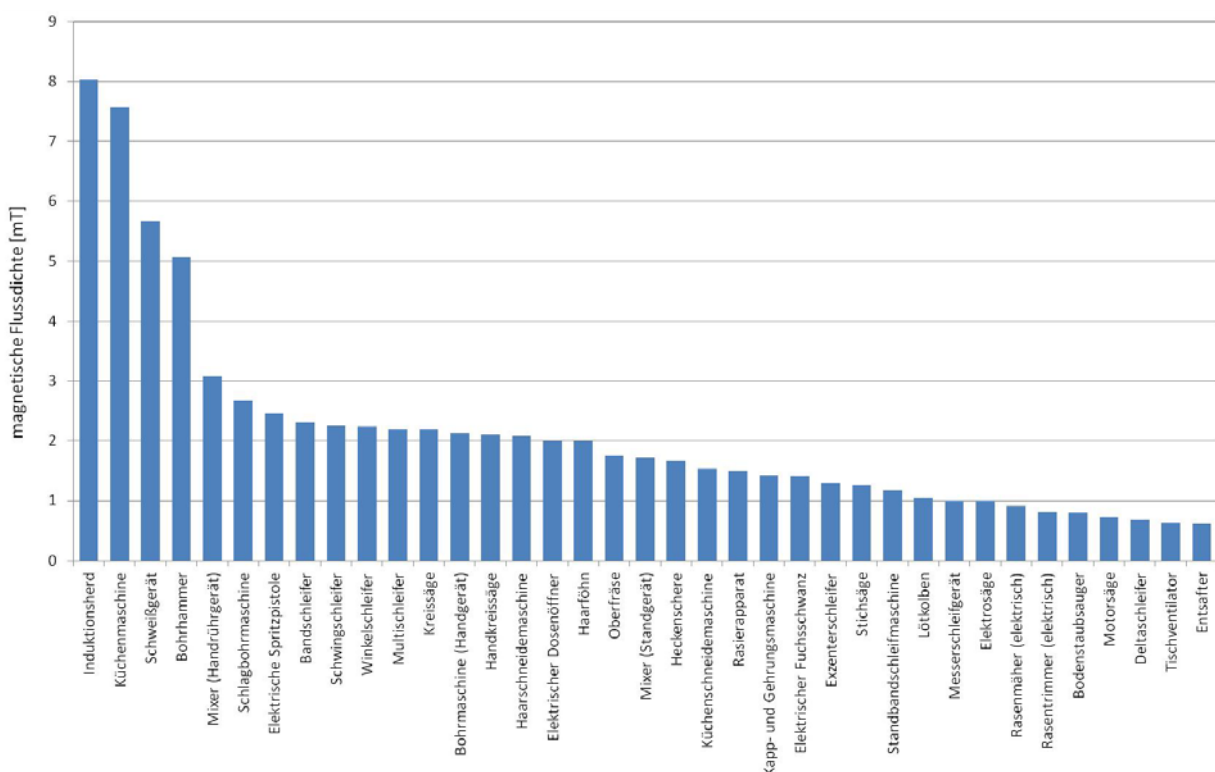
die resultierende Standard-Gesamtunsicherheit (Normalverteilung aller Unsicherheitsbeiträge angenommen) zu ca. 41,5% angenommen werden.

## 5 NUMERISCHE BERECHNUNGEN FÜR AUSGEPRÄGTE TEILKÖRPEREXPOSITIONEN

Zusätzlich zu den im vorigen Kapitel beschriebenen Berechnungen mit homogener Ganzkörperbefeldung sollen in diesem Abschnitt Szenarien mit ausgeprägter Teilkörperexposition analysiert werden. Neben der konkreten Situation einer Person auf einer Hochspannungs-Erdkabeltrasse wurden sechs weitere Expositionsszenarien angenommen, bei denen sich Personen in unmittelbarer Nähe gängiger Elektrogeräte befinden.

Um eine Grundlage für die Auswahl repräsentativer Elektrogeräte bzw. Szenarien zu haben, wurden Recherchen bezüglich dokumentierter Immissionswerte von Geräten und Anlagen im häuslichen und beruflichen Umfeld durchgeführt.

Umfangreiche Messergebnisse magnetischer Immissionen, verursacht von Haushaltsgeräten, Werkzeugen und dergleichen sind beispielsweise in [58]-[63] dokumentiert. Diese Arbeiten stellen für den Niederfrequenzbereich auch eine wesentliche Basis von [64], einer systematischen Erfassung und Bewertung aller Quellen nichtionisierender Strahlung, dar. Abbildung 5.1 fasst Maximalmesswerte der magnetischen Flussdichte aus [58] - [64] zusammen. Es handelt sich dabei um Messwerte, die punktuell entweder direkt an der Geräteoberfläche oder in 3-5 cm Distanz zum Gerät gemessen wurden.



**Abbildung 5.1:** Maximalmesswerte der magnetischen Flussdichte direkt an der Oberfläche bzw. in 3-5 cm Distanz zu Elektrogeräten, die gemäß [64] als strahlenschutztechnisch relevant eingestuft wurden

Zusätzlich sind in [65]-[68] Messwerte für magnetische Immissionen an Arbeitsplätzen der metallverarbeitenden Industrie dokumentiert und zeigen vor allem im Arbeitsbereich von Induktionsöfen und beim Elektroschweißen (mit körpernah geführtem Kabel und körperfern geführtem Erdungsleiter, bzw. beim Verwenden von Schweißzangen) lokale

Magnetfeldimmissionen, die im Bereich des 10-100 fachen der ICNIRP-Referenzwerte für berufliche Exposition liegen.

Auch die in letzter Zeit sehr populär gewordenen, frei am Markt beziehbaren und damit ohne ärztliche Kontrolle anwendbaren „Magnetfeldmatten“ erscheinen als Quellen durchaus relevanter Exposition. Lokale Immissionswerte an der Mattenoberfläche im Bereich des Kopfes von deutlich oberhalb der Referenzwerte nach ICNIRP 2010 sind damit möglich [64], [69].

Daten zu inhomogenen, ausgeprägten elektrischen Immissionen in der Größenordnung bzw. oberhalb der Referenzwerte finden sich in der Literatur zumeist nur im Bereich von Hochspannungsschalt- und Verteilanlagen. Als wesentlichste Quelle ausgeprägt elektrischer Exposition im häuslichen Umfeld sind gemäß [70] Energiesparlampen zu nennen.

Bezieht man zusätzlich zu den Maximalwerten der Immissionen in der Praxis typische bzw. mögliche Gebrauchshaltungen der Geräte bzw. Distanzen zum Körper, insbesondere Distanzen zu Kopf und Rumpf in die Überlegungen mit ein, so wurden die in Tabelle 5.1 angeführten Geräte bzw. Expositionssituationen als besonders interessant angesehen und im Zuge numerischer Berechnungen detailliert analysiert.

Quelle	Szenario
Bohrhammer/Bohrmaschine	Haltung des Antriebs unmittelbar am Körper entsprechend Bohrung in Brusthöhe
Induktionskochfeld	Person vor dem Kochfeld stehend.
Elektroschweißgerät	Schweißzange in der Hand, Kabel direkt am Körper zwischen Arm und Oberkörper
Energiesparlampe	Person direkt unter Energiesparlampe stehend
Zuleitung zu großindustrieller Elektroschmelzanlage	Typische, im Betrieb mögliche worst case Annäherung (Kopf in 10 cm Distanz zu Kabel)
Hochspannungs-Erdkabeltrasse	Person direkt über Erdkabeltrasse liegend
Magnetfeldmatte	Person auf Matte liegend mit Kopf im Bereich eines lokalen Feldmaximums

**Tabelle 5.1:** Auf Basis numerischer Berechnungen im Hinblick auf intrakorporale Feldkomponenten analysierte Feldquellen, bzw. Expositionsszenarien

## 5.1 Verwendete Rechenmethoden

Grundsätzlich standen neben frequenzskalierter FDTD-Methode [18] auch elektro-quasistatische und magneto-quasistatische Löser [71], [72] zur Verfügung. In den meisten untersuchten Fällen wurden, zumindest für die Quellvalidierung bzw. zur Optimierung des Quellenmodells, sowohl frequenzskalierte FDTD als auch quasi-statische Berechnungsmethoden eingesetzt.

Vor allem bei der Modellierung von induktiven Ersatzquellen für frequenzskalierte FDTD-Berechnungen war dies im Zuge der Quellenoptimierung notwendig bzw. hilfreich, um eine Verfälschung der Berechnungsergebnisse durch unrealistisch hohe elektrische Feldanteile zu vermeiden. Grund für solch unrealistisch hohen elektrischen Feldanteile bei Verwendung frequenzskalierter FDTD Methode sind die um den Frequenz-Skalierungsfaktor erhöhten induktiven Blindwiderstände des numerischen Quellenmodells, die in Folge zu entsprechend erhöhten elektrischen Feldanteilen im Nahbereich des Quellenmodells führen, die in der Realität nicht vorhanden sind. Durch entsprechend gezielte Maßnahmen im Quellenmodell (z.B. elektrisch wirksame Abschirmungen) kann diesen Effekten entgegengewirkt werden,

wobei diese Maßnahmen natürlich einer gesonderten Validierung bedürfen (wurde durch Vergleichsrechnungen mit frequenzskalierter FDTD und quasi-statischen Methoden gemacht).

Die räumliche Auflösung des Rechenraumes im interessierenden Feldbereich wurde mit  $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$  festgelegt.

## 5.2 Problematik der Auftrennung von elektrischer und magnetischer Exposition

Die ursprünglich vorgesehene getrennte Beurteilung der Wirkungen von elektrischer und magnetischer Feldkomponente zusätzlich zu Berechnungen unter Einbeziehung beider Feldkomponenten zum Zweck der Untersuchung der Fragestellung in wie weit sich die Expositionsbeiträge der beiden Feldkomponenten im Körper summieren, musste für die hier untersuchten lokalen Expositionsbedingungen verworfen werden, da sie technisch nicht sinnvoll machbar ist. Beim Einsatz frequenzskalierter FDTD (also Lösung der vollständigen Maxwellgleichung) mit realistischen Quellenmodellen (z.B. Spulen, Leiterschleifen) treten naturgemäß immer sowohl elektrische als auch magnetische Felder im Nahbereich der Quellenmodelle auf. Durch gezielte Maßnahmen bei der Quellenmodellierung können die Verhältnisse zwischen elektrischer und magnetischer Feldkomponente auch bei Anwendung der Frequenzskalierung mit akzeptabler Genauigkeit eingestellt werden. Die komplette Unterdrückung einer der beiden Feldkomponenten ist jedoch bei Anwendung der (frequenzskalierten) FDTD Methode nicht möglich.

## 5.3 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse

Im Hinblick auf die Sicherstellung der Einhaltung der Basiswerte sind bei numerischen Berechnungen mit konkreten Quellenmodellen, ähnlich wie bereits in Kapitel 4.5 für homogene Ganzkörperexposition angeführt, im Allgemeinen die folgenden Unsicherheitsbeiträge zu berücksichtigen:

- numerische Unsicherheiten des verwendeten Löser-Algorithmus
- numerische Unsicherheiten zufolge der Diskretisierung des Rechenraumes
- Unsicherheiten der anatomischen Körpermodelle (begrenzte anatomische Detailliertheit)
- Unsicherheiten der relevanten dielektrischen Gewebeparameter
- Unsicherheiten der Quellenmodellierung
- Unsicherheiten bezüglich Repräsentativität der anatomischen Körpermodelle hinsichtlich Größe, Statur, Körperhaltung, etc.
- Unsicherheiten des Mittelungsverfahrens der Zielgröße

Bezüglich der Unsicherheitsbeiträge zufolge begrenzter anatomischer Detailliertheit der Körpermodelle, sowie zufolge der beschränkten Repräsentativität der Körpermodelle und deren Körperhaltungen im Hinblick auf die Gesamtpopulation gilt das in Kapitel 4.5 angeführte. D.h., diese Unsicherheitsbeiträge entziehen sich im Rahmen dieser Vorhabens einer quantitativen Analyse und es muss daher davon ausgegangen werden, dass diese Unsicherheiten ausreichend durch die bei der Festsetzung der Basiswerte eingeführten Reduktionsfaktoren abgedeckt sind.

Für die Unsicherheiten der eingesetzten Löser-Algorithmen, des Mittelungsverfahrens, sowie der elektrisch relevanten Gewebeeigenschaften können  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$ , sowie  $\pm 35\%$  angesetzt werden (siehe Kapitel 4.5).

Die Frage, ob für die Haut ein Leitfähigkeitswert entsprechend Hornhaut (trocken bei 50 Hz  $0,002 \text{ S/m}$ ) anzusetzen ist, oder ein signifikant höherer Wert entsprechend tiefer liegender,

Nervenendigungen enthaltender Hautschichten ist nicht Bestandteil dieser Unsicherheitsbetrachtungen.

Die Unsicherheit der Quellenmodellierung ist naturgemäß für jedes der im Folgenden betrachteten Szenarien separat zu ermitteln.

## 5.4 Szenario 1: unmittelbar am Körper betriebene Bohrmaschine

In diesem Szenario wurde die Verwendung eines Bohrhammers unmittelbar am Oberkörper einer männlichen Person (Körpermodell Duke) nachgestellt. Die konkrete Positionierung des Gerätes entspricht näherungsweise der in der Praxis möglichen Situation mit minimalem Abstand des Gerätes zum Brustkorb (Abbildung 5.2). Auf die realitätsgetreue Nachbildung der Haltung der Hände und Arme des Körpermodells wurde verzichtet, da auf Basis der messtechnischen Untersuchungen der Feldverteilung in unmittelbarer Nähe zum Gerät davon ausgegangen werden konnte, dass es im Oberkörper zu wesentlich größerer Induktionswirkung kommt als im Bereich der Hände bzw. Arme. Zudem sind im Bereich des Oberkörpers die oberflächennahen niedrigleitfähigen Gewebeschichten (Haut, Fett) deutlich dicker als im Bereich der Hände und Arme, was bezüglich der im Körper induzierten Feldstärke ebenfalls den Oberkörper als das höher exponierte Gewebe auszeichnet.

### 5.4.1 Quellenmodellierung und Validierung

Die Modellvalidierung erfolgte auf Basis von detaillierten Messungen der dreidimensionalen vektoriellen Feldverteilung in unmittelbarer Nähe zu einem realen Gerät (Bosch GBH5-40DCE, Anschlussspannung 230 V, Nennstrom 6 A). Die Messungen wurden sowohl im Leerlauf (Stromaufnahme 3,8 A), als auch unter Belastung knapp oberhalb des Nennstromes (6,4 A) unter stationären Bedingungen durchgeführt.

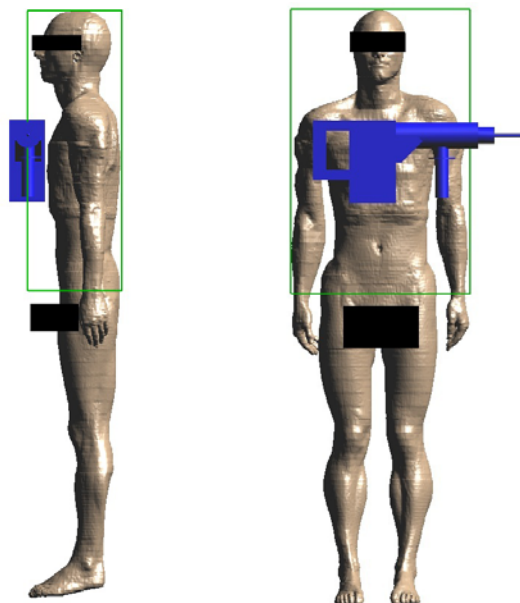


Abbildung 5.2: Betrachtetes Szenario mit Bohrhammer direkt am Oberkörper

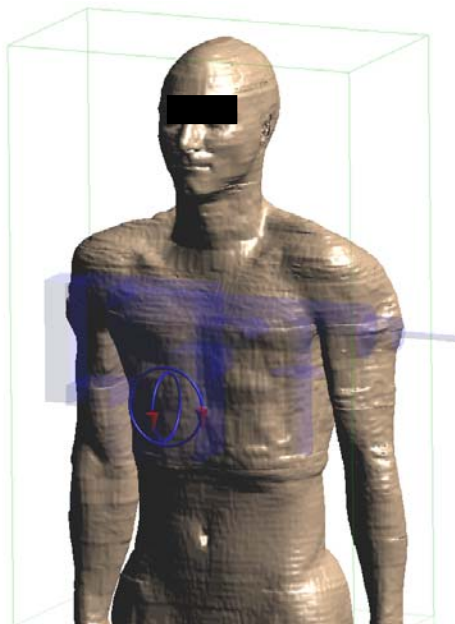
Die Schrittweite des Messrasters für die Magnetfeldmessungen (3 cm Sondendurchmesser) lag zwischen 1 cm (nahe zum Gerät) und 4 cm (bis 10 cm Abstand zum Gerät). Das lokale Maximum der magnetischen Feldstärke (in 1,5 cm Distanz zum Gerät) trat seitlich im Bereich

des Motorgehäuses auf (rote Markierung in Abbildung 5.3) und lag bei 1,6 mT bzw. 1,9 mT im Leerlauf bzw. bei Nennlast (50 Hz – 1,5 kHz), also deutlich oberhalb des Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010 [1] (z.B. 200  $\mu$ T bei 50 Hz). Der Mittelwert der Magnetfeldimmissionen in einer 25 x 25 cm<sup>2</sup> großen Ebene in 1,5 cm Distanz zum Gerät lag bei 456  $\mu$ T im Leerlauf. In unmittelbarer Nähe zum Gerät waren die vertikalen Magnetfeldkomponenten im Vergleich zu den horizontalen vernachlässigbar gering.



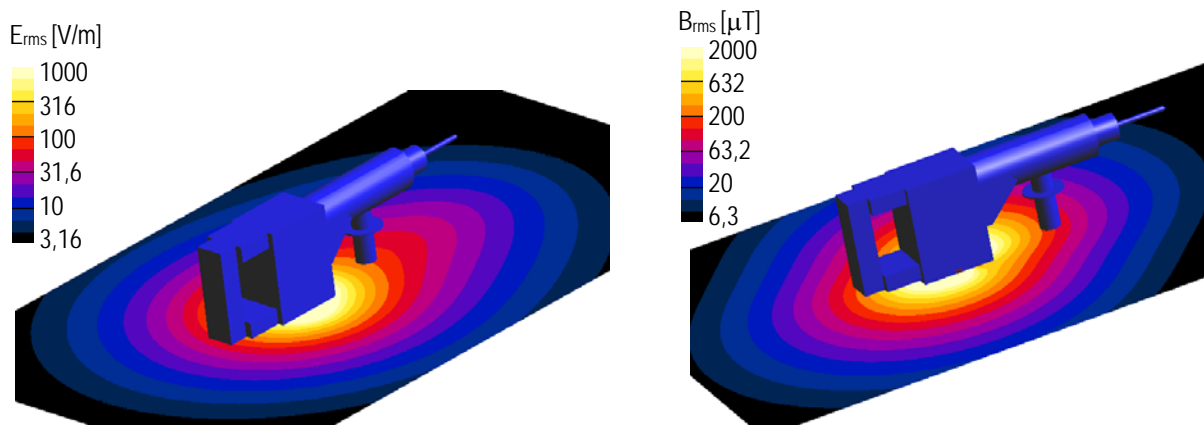
**Abbildung 5.3:** Position des Maximum der magnetischen Feldstärke (roter Kreis)

Die Magnetfeldverteilung konnte daher hinreichend genau mittels zwei orthogonalen, vertikal ausgerichteten Spulen nachgebildet werden (Abbildung 5.4). Die lokalen Abweichungen der dominanten horizontalen räumlichen Feldkomponenten zwischen der am Gerät gemessenen und mit dem numerischen Quellenmodell berechneten magnetischen Feldstärke in einer Vertikalebene in 1,5 cm Distanz zum Gerät bzw. Quellenmodell lagen bei weniger als 20% (gilt sowohl für Feldkomponenten in Normalrichtung als auch in Tangentialrichtung zum Gerätegehäuse).



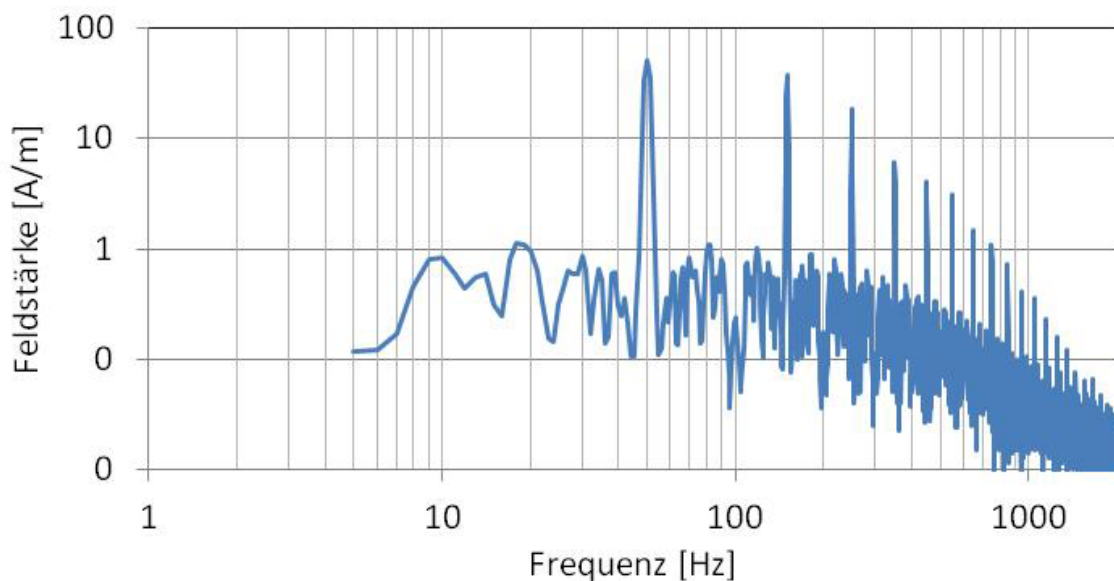
**Abbildung 5.4:** Vereinfachte Nachbildung der realen Feldquelle durch zwei orthogonal angeordnete Spulen

Abbildung 5.5 zeigt die elektrische (links) und magnetische (rechts) Feldverteilung des optimierten Quellenmodells in der Horizontalebene durch das jeweilige Feldstärkemaximum.



**Abbildung 5.5:** Elektrische (links) und magnetische (rechts) Feldverteilung des optimierten Quellenmodells in der Horizontalebene durch das Feldstärkemaximum

Neben der (dominanten) 50 Hz Grundwelle traten auch relevante Oberwellen (ungeradzahlige Harmonische) im Spektrum der magnetischen Emissionen auf (Abbildung 5.6), deren Auswirkung separat durch getrennte Simulationsläufe analysiert wurde.

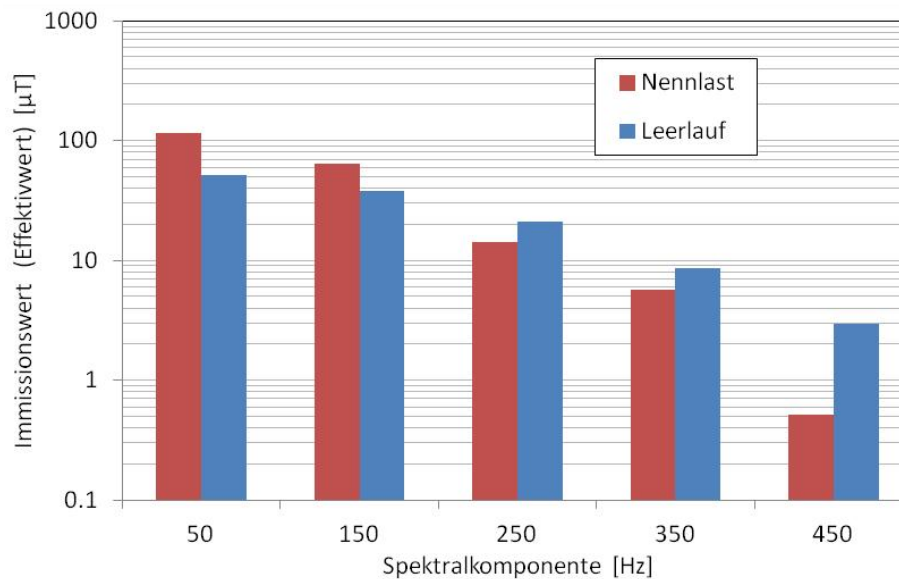


**Abbildung 5.6:** Spektrum der magnetischen Emissionen im Leerlauf des Gerätes in einem Messpunkt in 8 cm Distanz zur Geräteoberfläche

Abbildung 5.7 zeigt einen Vergleich der relevanten Spektralkomponenten (bis zur 9. Oberwelle, d.h., 450 Hz) bei Leerlauf und Nennlast der Maschine. Im Vergleich zum Leerlauf konzentrierten sich bei Nennlast die relevanten Spektralanteile etwas mehr bei den niederfrequenten Oberwellen. Konkret zeigt sich, dass die dritte bis fünfte Oberwelle im Leerlauf höher ist als bei Nennlast, obwohl der Immissionswert der Grundwelle bei Nennlast höher als im Leerlauf ist. Eine phasenrichtige Bewertung der Immissionswerte im Hinblick auf die Referenzwerte für berufliche Exposition nach ICNIRP 1998 (durchgeführt mit dem Messgerät ELT400 von Narda) führte, trotz der offensichtlich unterschiedlichen spektralen



Zusammensetzung der Immissionen, auf nahezu identische Ergebnisse im Leerlauf und bei Nennlast.



**Abbildung 5.7:** Vergleich der relevanten Spektralkomponenten der magnetischen Emissionen im Leerlauf und bei Nennlast des Gerätes in einem Messpunkt in 8 cm Distanz zur Geräteoberfläche

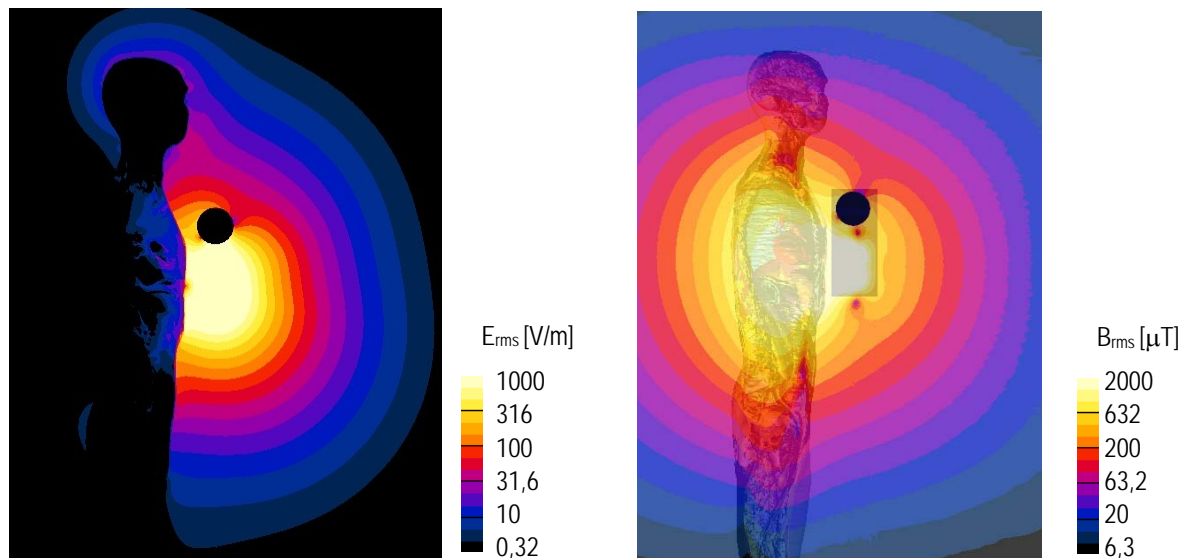
Die elektrische Feldstärke entlang der Oberfläche des (eingeschalteten) Gerätes war vergleichsweise gering (maximal 200 V/m in 6 cm Abstand zur Geräteoberfläche, 10 cm Sondendurchmesser) und lag damit bereits in unmittelbarer Nähe zum Gerät deutlich unterhalb des entsprechenden Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 2010 (5000 V/m). Elektrische Feldstärken in unmittelbarer Nähe zum Gerätegehäuse im Bereich von bis zu ca. 5 kV/m (dominant 50 Hz) traten nur im Stillstand der Maschine, bei ungünstiger Anschlussvariante (Phasenleiter nicht durch Geräteschalter unterbrochen) auf. Sobald der Geräteschalter betätigt wurde, reduzierten sich die elektrischen Feldstärkewerte drastisch auf den oben angegebenen Wertebereich von bis zu 200 V/m. Dieser von den meisten Handgeräten bekannte Effekt wird durch die (heute bei Handgeräten üblichen) einpoligen Ein-/Aus-Schalter bei ungünstiger Anschlussvariante ans Netz verursacht. Wird der Gerätestecker derart in die Steckdose gesteckt, dass nicht der Phasenleiter, sondern der Neutralleiter an den Ein-/Aus-Schalter geführt (und damit im ausgeschalteten Zustand unterbrochen) wird, liegt die volle Netzspannung im ausgeschalteten Zustand an allen elektrischen Komponenten des Gerätes an (Motorwicklung, etc.), was zu großen elektrischen Streufeldern in unmittelbarer Umgebung des Gerätes führen kann. Sofort mit Betätigung des Ein-/Aus-Schalters reduzieren sich diese Streufelder aber zu den für den Gerätebetrieb typischen Größenordnungen. Im gegenständlichen Fall war es das Ziel, die Verhältnisse für die in Betrieb befindliche Maschine zu analysieren.

Zur Erfassung der dreidimensionalen elektrischen Feldverteilung erfolgten Messungen entlang mehrerer Achsen normal zur Geräteoberfläche.

Bezüglich der elektrischen Feldstärke in einer Vertikalebene in 6 cm Distanz zum Gerät bzw. Quellenmodell lagen die lokalen Abweichungen bei weniger als 70% (im Sinne höherer Feldstärke durch das Quellenmodell). Es ist jedoch davon auszugehen dass sich diese erhöhte Unsicherheit aufgrund der im Vergleich zur magnetischen Feldkomponente geringen Absolutwerte der elektrischen Feldstärke nicht relevant auf die Berechnungsergebnisse der im Körper induzierten elektrischen Feldstärke auswirkt.

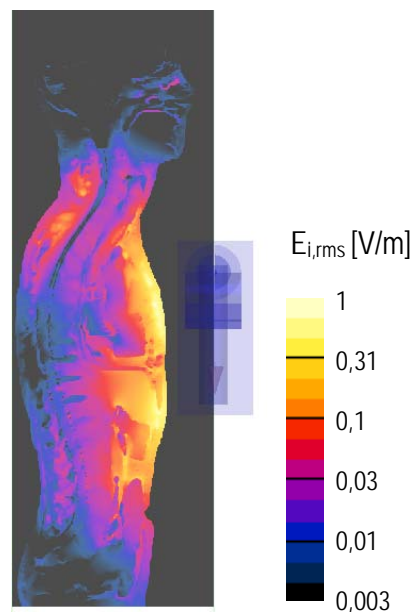
## 5.4.2 Berechnungsergebnisse

Abbildung 5.8 zeigt zunächst die räumlichen Feldverteilungen im betrachteten Szenario in einer Vertikalebene durch das Maximum der im Körper induzierten elektrischen Feldstärke.



**Abbildung 5.8:** Elektrische (links) und magnetische (rechts) Feldverteilung (50 Hz) im betrachteten Szenario in einer Vertikalebene durch das Maximum der im Körper induzierten elektrischen Feldstärke

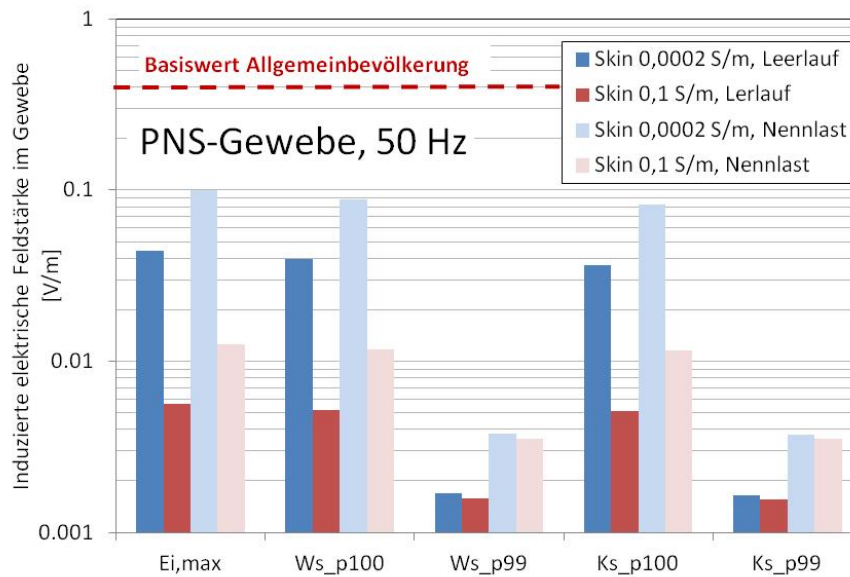
Abbildung 5.9 zeigt die Verteilung der im Körper induzierten elektrischen Feldstärke (Grundwelle 50 Hz) in einer Vertikalebene durch das Maximum.



**Abbildung 5.9:** Verteilung der ungemittelten induzierten elektrischen Feldstärke (50 Hz) im betrachteten Szenario in einer Vertikalebene durch das Maximum (bei einer angenommenen Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m).

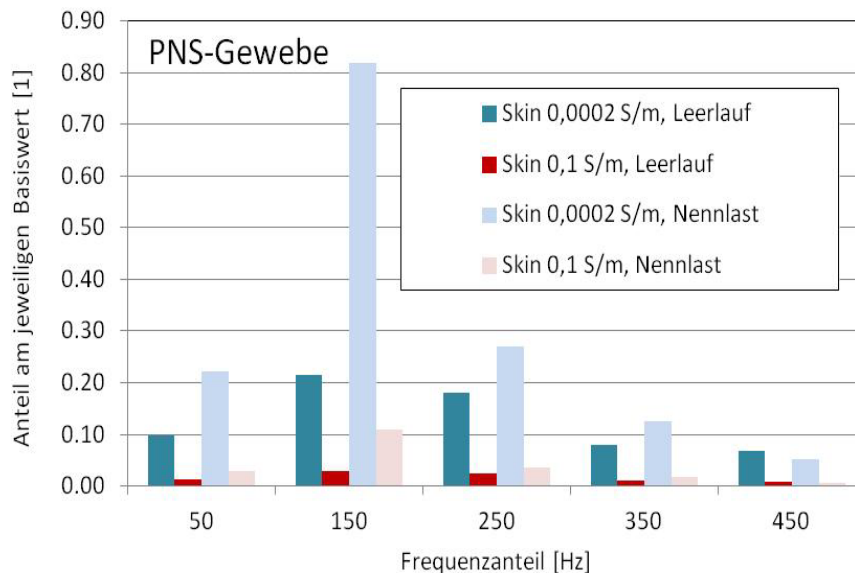
Abbildung 5.10 fasst die Berechnungsergebnisse für die 50 Hz Spektralkomponente (Grundwelle) in Form der im Körper induzierten elektrischen Feldstärke für PNS-Gewebe zusammen, wobei für die Haut mit zwei unterschiedlichen Leitfähigkeitswerten gerechnet wurde (vgl. Kapitel 4.4.2). Als Ergebnisgrößen werden in Abbildung 5.10 sowohl der maximale induzierte (ungemittelte) Feldstärkewert im Gewebe  $E_{i,max}$  (in einem  $1 \text{ mm}^3$  Voxel), als auch die unterschiedlich berechneten Maximalwerte  $\max E_{i,avg}$  der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$

gemittelten Feldverteilung bei Verwendung unterschiedlicher Mittelungsalgorithmen angegeben (vgl. Kapitel 3).



**Abbildung 5.10:** Induzierte elektrische Feldstärke in PNS-Gewebe (Haut) für unterschiedliche Haut-Leitfähigkeitswerte für das betrachtete Szenario mit der Bohrmaschine unmittelbar am Oberkörper (50 Hz-Anteil)

Abbildung 5.11 zeigt die Verhältnisse der jeweils maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,avg}$  (Mittelungsalgorithmus  $W_s_{p100}$ ) zum jeweiligen Basiswert für PNS-Gewebe für die unterschiedlichen betrachteten relevanten Spektralkomponenten bis zur neunfachen Grundfrequenz (450 Hz).



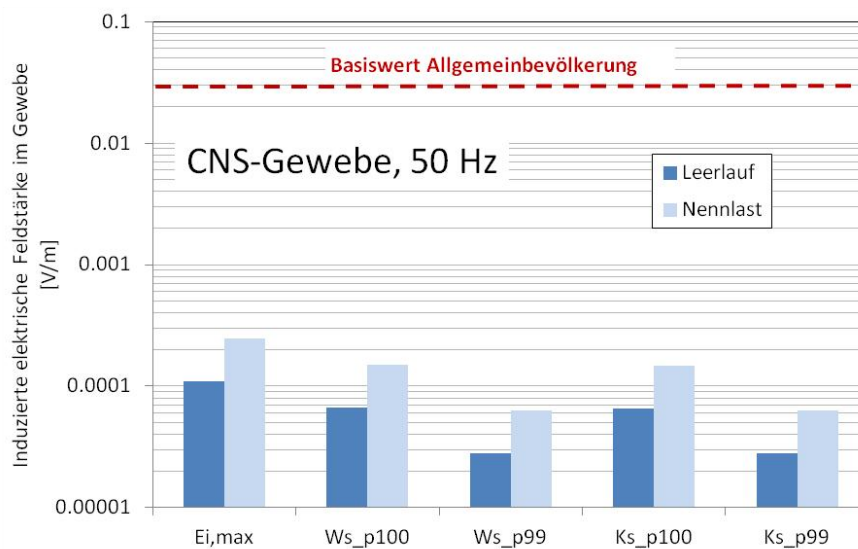
**Abbildung 5.11:** Verhältnis der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,avg}$  (Mittelungsalgorithmus  $W_s_{p100}$ ) zum jeweiligen Basiswert für PNS-Gewebe für die unterschiedlichen betrachteten Spektralkomponenten

Grundsätzlich zeigen sich die Berechnungsergebnisse für PNS-Gewebe naturgemäß abhängig von den angenommenen, sehr unterschiedlichen (Faktor 500) Hautleitfähigkeitswerten (Maximalwerte treten immer in der Haut oder im darunterliegenden Fettgewebe auf).

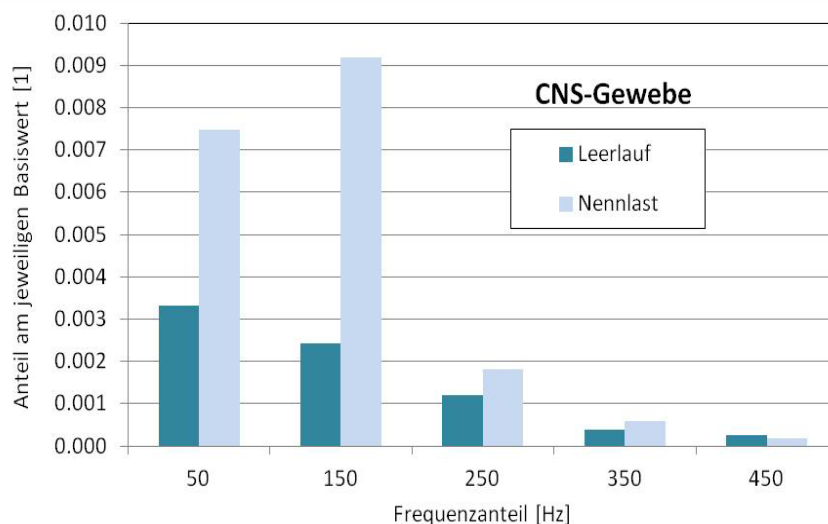
Weiters zeigt sich der interessante Effekt, dass sowohl im Leerlauf, als auch bei Nennlast die dritte und fünfte Harmonische für die Exposition von PNS-Gewebe in Relation zum Basiswert

relevanter sind, als die Grundwelle. Dies ist durch die Frequenzproportionalität der Induktionswirkung und die in diesem Frequenzbereich (vereinfachend) frequenzunabhängig festgelegten PNS-Basiswerte erklärbar. Die Annahme einer sehr geringen Hautleitfähigkeit (entsprechend der Hornschicht) führt bei Nennlast (und einfacher Summierung der einzelnen Spektralkomponenten) sogar zu einer Überschreitung des PNS-Basiswertes in einer Hautschicht mit derartig geringer Leitfähigkeit.

In gleicher Weise wie oben für PNS-Gewebe dargestellt, zeigen Abbildung 5.12 und Abbildung 5.13 die Berechnungsergebnisse für CNS-Gewebe, wobei die Ergebnisse für CNS-Gewebe nur in zu vernachlässigender Weise von der verwendeten Hautleitfähigkeit abhängig waren (Abweichungen <1%), und aufgrund der großen Distanz des Kopfes zur Quelle erwartungsgemäß deutlich unterhalb der Basiswerte lagen, sodass sich selbst bei konservativer Addition der einzelnen Spektralanteile keine Basiswertüberschreitung in CNS-Gewebe in der betrachteten Expositionssituation ergab.



**Abbildung 5.12:** Induzierte elektrische Feldstärke in CNS-Gewebe für das betrachtete Szenario mit der Bohrmaschine unmittelbar am Oberkörper (50 Hz Anteil)



**Abbildung 5.13:** Verhältnis der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke  $E_{i,avg,max}$  zum jeweiligen Basiswert für CNS-Gewebe für die unterschiedlichen betrachteten Spektralkomponenten (Mittelungsalgorithmus Ws\_p100)

Die folgende Tabelle 5.2 fasst die gewebespezifische Auswertung der Berechnungen bei Verwendung einer Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m zusammen (Mittelungsalgorithmus Ws\_p100).

	maxE <sub>i,avg</sub> im Gewebe [mV/m]									
	50 Hz		150 Hz		250 Hz		350 Hz		450 Hz	
	Leerl.	Nennl.	Leerl.	Nennl.	Leerl.	Nennl.	Leerl.	Nennl.	Leerl.	Nennl.
Fat	5.216	11.735	11.434	19.209	9.528	6.384	4.213	2.949	3.611	1.192
Bone	5.095	11.463	11.169	18.764	9.307	6.236	4.115	2.880	3.527	1.164
Muscle	4.752	10.693	10.419	17.504	8.682	5.817	3.839	2.687	3.290	1.086
Subcut. adipose tiss.	4.041	9.092	8.859	14.883	7.382	4.946	3.264	2.285	2.797	0.923
Liver	3.694	8.311	8.098	13.604	6.748	4.521	2.983	2.088	2.557	0.844
Diaphragm	3.668	8.253	8.041	13.509	6.701	4.490	2.962	2.074	2.539	0.838
Lung	3.459	7.783	7.583	12.740	6.319	4.234	2.794	1.956	2.395	0.790
Artery	3.201	7.201	7.017	11.788	5.847	3.918	2.585	1.810	2.216	0.731
Cartilage	3.198	7.195	7.011	11.778	5.842	3.914	2.583	1.808	2.214	0.731
Mucosa	2.919	6.568	6.400	10.752	5.333	3.573	2.358	1.650	2.021	0.667
Skin	2.818	6.340	6.177	10.377	5.147	3.449	2.276	1.593	1.951	0.644
Heart_muscle	2.753	6.194	6.035	10.139	5.029	3.370	2.223	1.556	1.906	0.629
Stomach	2.625	5.906	5.754	9.667	4.795	3.213	2.120	1.484	1.817	0.600
Marrow_red	2.330	5.243	5.109	8.583	4.257	2.852	1.882	1.318	1.613	0.532
Tendon_Ligament	2.263	5.091	4.961	8.334	4.134	2.770	1.828	1.279	1.567	0.517
Trachea	2.216	4.985	4.857	8.160	4.048	2.712	1.789	1.253	1.534	0.506
Large_intestine	2.188	4.922	4.796	8.057	3.996	2.678	1.767	1.237	1.514	0.500
Thymus	2.015	4.533	4.417	7.421	3.681	2.466	1.627	1.139	1.395	0.460
Larynx	1.792	4.031	3.928	6.599	3.273	2.193	1.447	1.013	1.240	0.409
Heart_lumen	1.768	3.977	3.875	6.511	3.230	2.164	1.428	0.999	1.224	0.404
Vein	1.539	3.463	3.374	5.669	2.812	1.884	1.243	0.870	1.066	0.352
Large_intestine lumen	1.421	3.197	3.115	5.234	2.596	1.739	1.148	0.803	0.984	0.325
Small_intestine	1.418	3.191	3.109	5.223	2.591	1.736	1.145	0.802	0.982	0.324
Esophagus	1.312	2.951	2.876	4.831	2.396	1.606	1.059	0.742	0.908	0.300
Gallbladder	1.148	2.584	2.517	4.229	2.098	1.406	0.927	0.649	0.795	0.262
Stomach_lumen	1.145	2.575	2.509	4.215	2.091	1.401	0.924	0.647	0.792	0.261
Spleen	1.120	2.519	2.455	4.124	2.045	1.370	0.904	0.633	0.775	0.256
Kidney_cortex	1.068	2.403	2.341	3.933	1.951	1.307	0.863	0.604	0.739	0.244
Ear_skin	0.906	2.037	1.985	3.335	1.654	1.108	0.731	0.512	0.627	0.207
Thyroid_gland	0.891	2.004	1.952	3.280	1.627	1.090	0.719	0.504	0.617	0.203
Adrenal_gland	0.843	1.896	1.847	3.104	1.540	1.032	0.681	0.476	0.583	0.193
Vertebrae	0.820	1.845	1.797	3.020	1.498	1.004	0.662	0.464	0.568	0.187
Pancreas	0.752	1.691	1.648	2.769	1.373	0.920	0.607	0.425	0.520	0.172
Small_intestine_lumen	0.726	1.633	1.591	2.672	1.326	0.888	0.586	0.410	0.502	0.166
Blood_vessel	0.664	1.494	1.456	2.445	1.213	0.813	0.536	0.375	0.460	0.152
Kidney_medulla	0.612	1.376	1.341	2.253	1.117	0.749	0.494	0.346	0.423	0.140

Fortsetzung auf nächster Seite

Intervertebral_disc	0.586	1.318	1.284	2.157	1.070	0.717	0.473	0.331	0.405	0.134
Bronchi	0.566	1.273	1.240	2.084	1.034	0.693	0.457	0.320	0.392	0.129
Nerve	0.544	1.223	1.192	2.002	0.993	0.665	0.439	0.307	0.376	0.124
Ureter_Urethra	0.518	1.165	1.135	1.907	0.946	0.634	0.418	0.293	0.359	0.118
Spinal_cord	0.485	1.091	1.063	1.786	0.886	0.594	0.392	0.274	0.336	0.111
Cerebrospinal_fluid	0.386	0.868	0.846	1.421	0.705	0.472	0.312	0.218	0.267	0.088
Ear_cartilage	0.335	0.755	0.735	1.235	0.613	0.411	0.271	0.190	0.232	0.077
Skull	0.266	0.599	0.583	0.980	0.486	0.326	0.215	0.150	0.184	0.061
Bladder	0.248	0.558	0.544	0.913	0.453	0.303	0.200	0.140	0.172	0.057
Teeth	0.162	0.365	0.356	0.598	0.296	0.199	0.131	0.092	0.112	0.037
Mandible	0.118	0.266	0.260	0.436	0.216	0.145	0.096	0.067	0.082	0.027
Brain_grey_matter	0.103	0.231	0.225	0.378	0.188	0.126	0.083	0.058	0.071	0.023
Connective_tissue	0.079	0.179	0.174	0.293	0.145	0.097	0.064	0.045	0.055	0.018
Tongue	0.068	0.153	0.150	0.251	0.125	0.083	0.055	0.039	0.047	0.016
Cerebellum	0.059	0.132	0.128	0.216	0.107	0.072	0.047	0.033	0.041	0.013
Eye_Sclera	0.049	0.110	0.107	0.180	0.089	0.060	0.040	0.028	0.034	0.011
Brain_white_matter	0.045	0.101	0.098	0.165	0.082	0.055	0.036	0.025	0.031	0.010
Cornea	0.038	0.085	0.083	0.139	0.069	0.046	0.031	0.021	0.026	0.009
Eye_vitreous_humor	0.038	0.084	0.082	0.138	0.069	0.046	0.030	0.021	0.026	0.009
Hypophysis	0.028	0.063	0.062	0.104	0.051	0.034	0.023	0.016	0.019	0.006
Hippocampus	0.026	0.058	0.056	0.095	0.047	0.032	0.021	0.015	0.018	0.006
Pons	0.025	0.056	0.055	0.092	0.046	0.031	0.020	0.014	0.017	0.006
Eye_lens	0.015	0.033	0.032	0.054	0.027	0.018	0.012	0.008	0.010	0.003
Midbrain	0.014	0.031	0.031	0.051	0.025	0.017	0.011	0.008	0.010	0.003
Medulla_oblongata	0.012	0.026	0.026	0.043	0.021	0.014	0.009	0.007	0.008	0.003
Thalamus	0.010	0.022	0.022	0.036	0.018	0.012	0.008	0.006	0.007	0.002
Hypothalamus	0.005	0.012	0.012	0.019	0.010	0.006	0.004	0.003	0.004	0.001
Pinealbody	0.005	0.012	0.011	0.019	0.009	0.006	0.004	0.003	0.004	0.001
Commissura_anterior	0.005	0.011	0.011	0.018	0.009	0.006	0.004	0.003	0.003	0.001

**Tabelle 5.2:** Gewebespezifische Auswertung (Mittelungsalgorithmus  $W_s_{p100}$ ) für alle relevanten Gewebe (CNS und PNS) im betrachteten Szenario mit dem Bohrhammer (Hautleitfähigkeit 0,1 S/m)

### 5.4.3 Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

Basierend auf den Überlegungen in Kapitel 5.3 ergibt sich unter Annahme der statistischen Unabhängigkeit der einzelnen Unsicherheitsbeiträge und einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von maximal  $\pm 20\%$  eine Standard-Gesamtunsicherheit der Berechnungsergebnisse für  $\max E_{i,avg}$  von maximal  $\pm 46\%$ .

Zieht man die oben dargestellten Berechnungsergebnisse für eine (physiologisch wahrscheinlich sinnvolle) Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m heran, so zeigt sich klar, dass im betrachteten Szenario eine Überschreitung der Basiswerte ausgeschlossen werden kann. Bei Annahme einer sehr geringen Hautleitfähigkeit (entsprechend der Hornschicht) kann bei Nennlast (und einfacher Summierung der einzelnen Spektralkomponenten) eine Überschreitung des PNS-Basiswertes in der Haut nicht ausgeschlossen werden (vgl. Abbildung 5.11). Für CNS-Gewebe zeigen die Berechnungsergebnisse aufgrund der großen Distanz zwischen Quelle und Kopf keine Konflikte mit den entsprechenden Basiswerten.

## 5.5 Szenario 2: Person stehend vor einem Induktionskochfeld

In diesem Szenario wurde jeweils eine vor einem Induktionskochfeld (Hendi, Modell 3500, Arbeitsfrequenz 26,3 kHz, 3,5 kW, Abbildung 5.14) stehende weibliche (Körpermodell Ella) und männliche (Körpermodell Duke) Person betrachtet. Um die Szenarien in Richtung eines realistischen Worst Case zu trimmen, wurde angenommen, dass die Person jeweils den Oberkörper etwas über das Kochfeld beugt (ca. 30° gegenüber Vertikalachse). Im Simulationsmodell wurde diese Situation durch entsprechende Neigung des Quellenmodells realisiert (Abbildung 5.15). Die Messungen und Berechnungen wurden im „Suchmodus“ des Gerätes durchgeführt, der sich unmittelbar nach dem Einschalten des Gerätes ohne aufgestellten Topf über einige Sekunden einstellt (führt zu maximalen Spitzenwerten der Magnetfeldimmissionen). Die maximale lokale magnetische Flussdichte in jenem Raumbereich in dem für die numerischen Berechnungen das Körpermodell positioniert wurde (vgl. Abbildung 5.15) lag bei 52  $\mu\text{T}$  (26,3 kHz, sinusförmig, Oberwellen im Vergleich zur Grundwelle vernachlässigbar), entsprechend dem zirka Zweifachen des Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010. Die maximale lokale elektrische Feldstärke in diesem Raumbereich lag bei 148 V/m, entsprechend ca. dem 1,8-fachen des Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010.



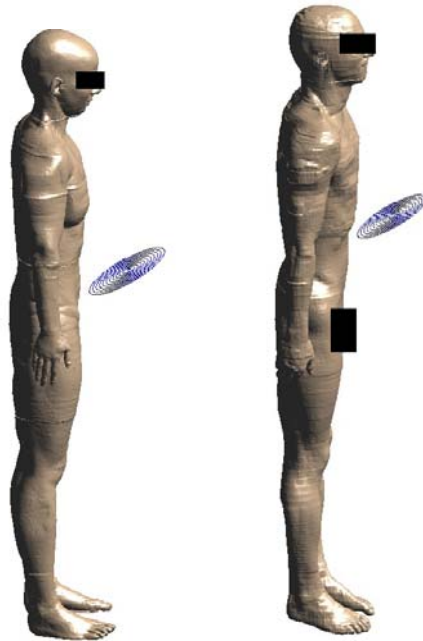
Abbildung 5.14: Betrachtetes Induktionskochfeld (Hendi, Modell 3500)

### 5.5.1 Quellenmodellierung und Validierung

Das numerische Quellenmodell wurde realitätsgetreu als ebene Spule (Abmessungen und Windungszahl entsprechend dem realen Gerät) modelliert (Abbildung 5.15).

Zum Zweck der Validierung des Quellenmodells wurden Messungen der elektrischen und magnetischen Feldverteilungen durchgeführt und die Messergebnisse mit den Feldverteilungen im Nahbereich des optimierten numerischen Quellenmodells verglichen.

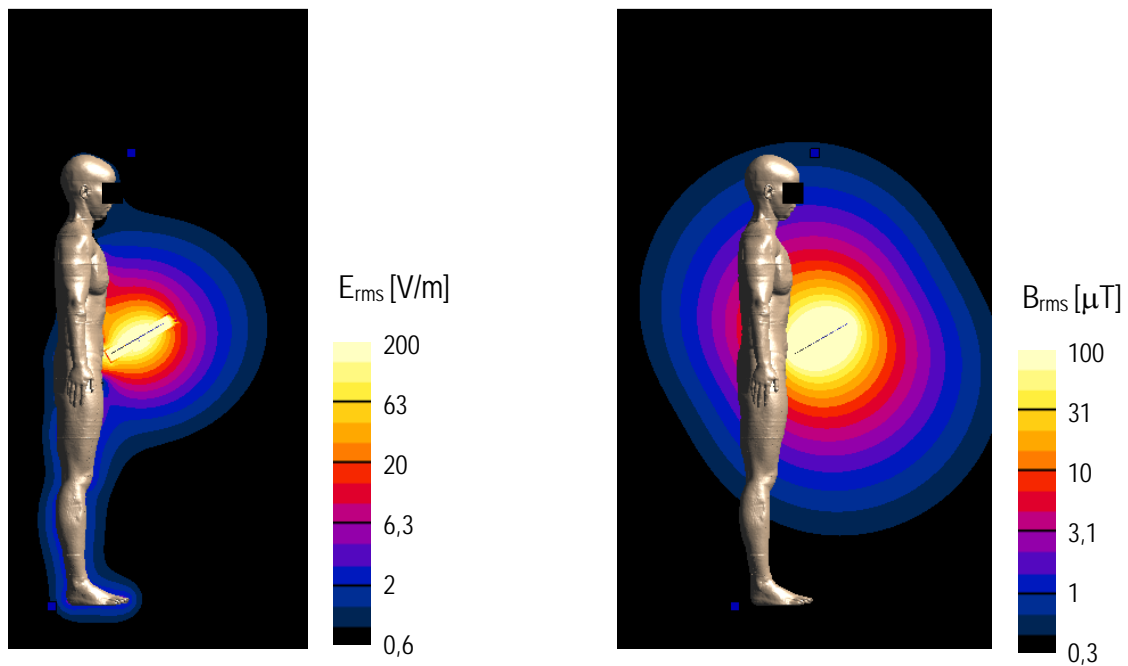
In den interessierenden Raumbereichen (in denen die Körpermodelle positioniert wurden) lagen die lokalen Abweichungen zwischen den im Nahbereich des realen Gerätes gemessenen und den mit dem Quellenmodell berechneten elektrischen und magnetischen Feldstärken bei weniger als 20%.



**Abbildung 5.15:** Betrachtete Szenarien mit weiblicher (links) und männlicher (rechts) Person, die sich über ein Induktionskochfeld beugen (Gerätegehäuse nicht dargestellt)

### 5.5.2 Berechnungsergebnisse

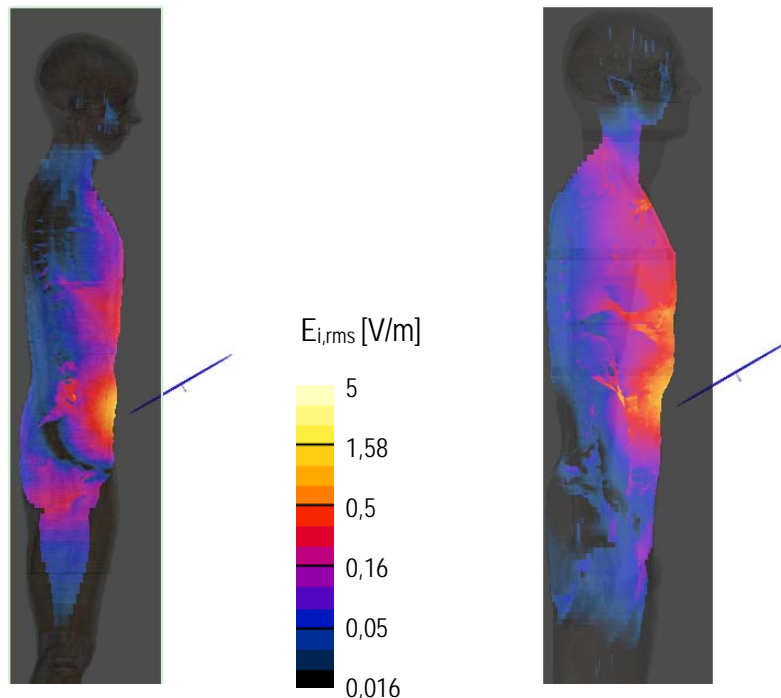
Abbildung 5.16 zeigt die räumlichen Verteilungen der externen elektrischen Feldstärke und magnetischen Flussdichte im betrachteten Szenario mit dem Körpermodell Ella in einer Vertikalebene durch das Maximum der im Körper induzierten elektrischen Feldstärke.



**Abbildung 5.16:** Elektrische (links) und magnetische (rechts) Feldverteilung im betrachteten Szenario in einer Vertikalebene durch das Feldstärkemaximum



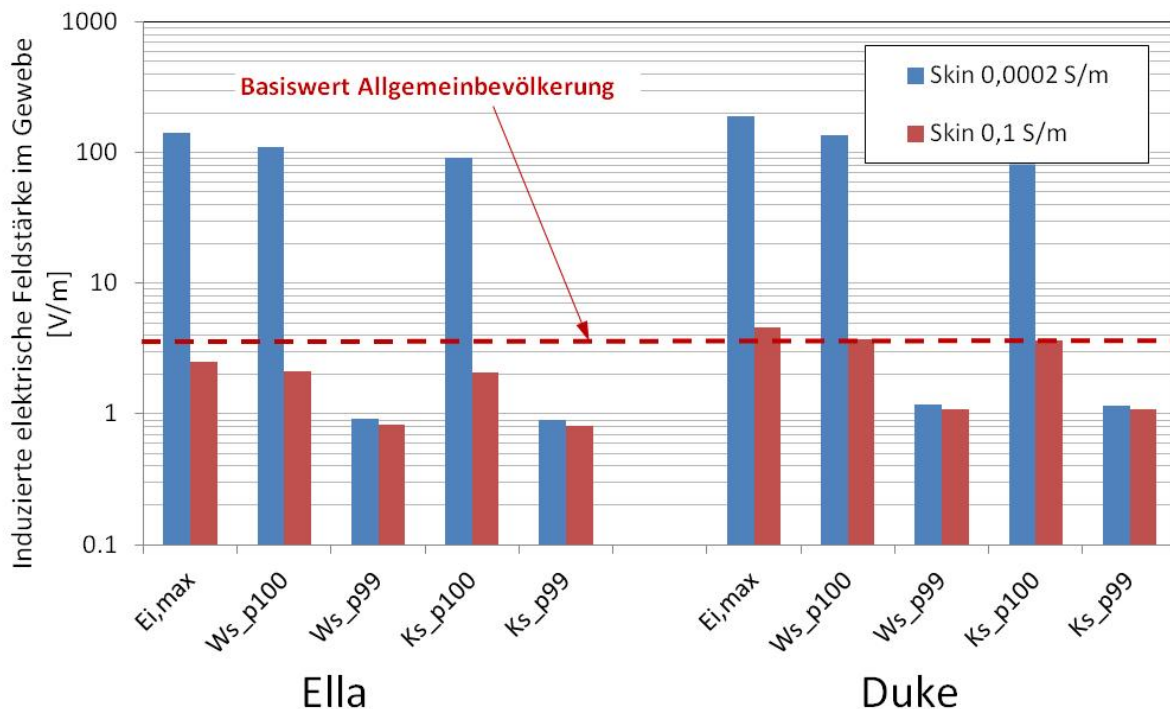
Abbildung 5.17 zeigt die Verteilung der im Körper induzierten elektrischen Feldstärke in den betrachteten Expositionsszenarien mit den Körpermodellen Ella und Duke in einer Vertikalebene durch das Feldstärkemaximum, bei Verwendung eines Hautleitfähigkeitswertes von 0,1 S/m.



**Abbildung 5.17:** Verteilung der ungemittelten induzierten elektrischen Feldstärke im betrachteten Szenario mit dem Induktionskochfeld (26,3 kHz) in einer Vertikalebene durch das Maximum, bei Annahme einer Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m. Links: Körpermodell Ella, rechts: Körpermodell Duke

Abbildung 5.18 fasst die Berechnungsergebnisse in Form der im PNS-Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke zusammen, wobei für die Haut wieder mit zwei unterschiedlichen Leitfähigkeitswerten gerechnet wurde. Als Ergebnisgrößen werden in den Diagrammen wieder sowohl der maximale induzierte (ungemittelte) Feldstärkewert im Gewebe  $E_{i,max}$  (in einem  $1 \text{ mm}^3$  Voxel), als auch die unterschiedlich berechneten Maximalwerte  $\max E_{i,avg}$  der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten Feldverteilung, bei Verwendung unterschiedlicher Mittelungsalgorithmen angegeben (vgl. Kapitel 3). Die Maximalwerte der dargestellten Größen lagen bei Annahme einer Hautleitfähigkeit von 0,0002 S/m immer oberflächennah, d.h., im Bereich der Haut bzw. des Unterhaut-Fettgewebes. Bei Berechnung mit einem Hautleitfähigkeitswert von 0,1 S/m lagen die Maximalwerte der induzierten Feldstärke entweder im Knochen oder im Unterhaut-Fettgewebe.

Bei Annahme sehr niedriger Hautleitfähigkeitswerte (entsprechend der Hornschicht) liegen die Berechnungsergebnisse teilweise deutlich oberhalb des Basiswertes für die Allgemeinbevölkerung. Werden Hautleitfähigkeitswerte angenommen, wie sie eher den Verhältnissen in jenen Hautschichten entsprechen, in denen Nervenendigungen liegen, liegen die Berechnungsergebnisse in der Nähe des PNS-Basiswertes für die Allgemeinbevölkerung.



**Abbildung 5.18:** Induzierte elektrische Feldstärke in PNS-Gewebe (Haut) für unterschiedliche Haut-Leitfähigkeitswerte für das betrachtete Szenario mit dem Induktionskochfeld

Tabelle 5.3 fasst die gewebespezifische Auswertung der Berechnungen (bei Verwendung einer Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m) für die Szenarien mit dem weiblichen Körpermodell Ella und dem männlichen Körpermodell Duke zusammen (Mittelungsalgorithmus Ws\_p100).

### 5.5.3 Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

Basierend auf den Überlegungen in Kapitel 5.3 ergibt sich unter Annahme der statistischen Unabhängigkeit der einzelnen Unsicherheitsbeiträge und einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von maximal  $\pm 20\%$  eine Standard-Gesamtunsicherheit der Berechnungsergebnisse für  $\max E_{i,avg}$  von maximal  $\pm 46\%$ .

Zieht man die oben dargestellten Berechnungsergebnisse für eine (physiologisch wahrscheinlich sinnvolle) Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m heran, so zeigt sich, dass im betrachteten Szenario eine Überschreitung der Basiswerte nicht ausgeschlossen werden kann. Bei Annahme einer sehr geringen Hautleitfähigkeit (entsprechend der Hornschicht) ist das Ausmaß der möglichen Basiswertüberschreitungen deutlich größer.

Aufgrund der großen Distanz zwischen Quelle und Kopf sind im betrachteten Expositionsszenario keine Konflikte mit den CNS-Basiswerten zu erwarten (vgl. Abbildung 5.17).

<b>maxE<sub>i,avg</sub> in PNS-Gewebe [V/m], 26,3 kHz</b>			
<b>Ella</b>		<b>Duke</b>	
Bone	1.89	Fat	3.74
Muscle	1.75	Diaphragm	3.21
Skin	1.68	Muscle	3.08
Subcutaneous adipose tiss.	1.53	Bone	2.78
Connective_tissue	1.31	Liver	2.76
Fat	1.30	Artery	2.74
Diaphragm	1.29	Large_intestine	2.61
Liver	1.23	Small_intestine	2.55
Gallbladder	1.21	Tendon_Ligament	2.39
Stomach	1.01	Stomach	2.37
Large_intestine	0.93	Subcutaneous adipose tiss.	2.30
Lung	0.87	Skin	1.74
Large_intestine_lumen	0.85	Lung	1.68
Small_intestine	0.81	Cartilage	1.56
Breast	0.81	Vein	1.31
Vertebrae	0.71	Spleen	1.26
Spleen	0.67	Thymus	1.26
Small_intestine_lumen	0.66	Heart_muscle	1.22
Cerebrospinal_fluid	0.56	Gallbladder	1.21
Heart_muscle	0.55	Vertebrae	1.12
Kidney_cortex	0.55	Stomach_lumen	1.12
Nerve	0.54	Blood_vessel	1.11
Pancreas	0.53	Marrow_red	1.01
Vagina	0.53	Kidney_cortex	1.01
Stomach_lumen	0.51	Small_intestine_lumen	0.98
Intervertebral_disc	0.50	Large_intestine_lumen	0.95
Kidney_medulla	0.50	Heart_lumen	0.90
Vein	0.47	Ureter_Urethra	0.87
Artery	0.45	Intervertebral_disc	0.85
Adrenal_gland	0.43	Trachea	0.79
Ureter_Urethra	0.42	Pancreas	0.74
Heart_lumen	0.36	Nerve	0.65
Cartilage	0.33	Adrenal_gland	0.62
Thymus	0.30	Kidney_medulla	0.55
Marrow_red	0.23	Esophagus	0.52
Bladder	0.23	Cerebrospinal_fluid	0.50
Esophagus	0.21	Spinal_cord	0.37
Bronchi	0.13	Bronchi	0.31
Ovary	0.11	-	-
Uterus	0.10	-	-
Spinal_cord	0.06	-	-

**Tabelle 5.3:** Gewebespezifische Auswertung für alle relevanten (PNS-) Gewebe im betrachteten Szenario mit dem Induktionskochfeld (Hautleitfähigkeit 0,1 S/m), Mittelungsalgorithmus Ws\_p100

## 5.6 Szenario 3: Person mit Elektroschweißzange

In diesem Szenario wurde eine Person (Körpermodell Duke) betrachtet, die mit einer Elektro-Schweißzange (Abbildung 5.19) arbeitet. Typische Schweißströme liegen dabei im Bereich 5-10 kA. Die Stromzufuhr erfolgt über Kabel, die sich bei Verwendung der Schweißzange dem Körper unmittelbar annähern können. Der Abstand von Hin- und Rückleiter zueinander kann dabei mehrere Zentimeter betragen.

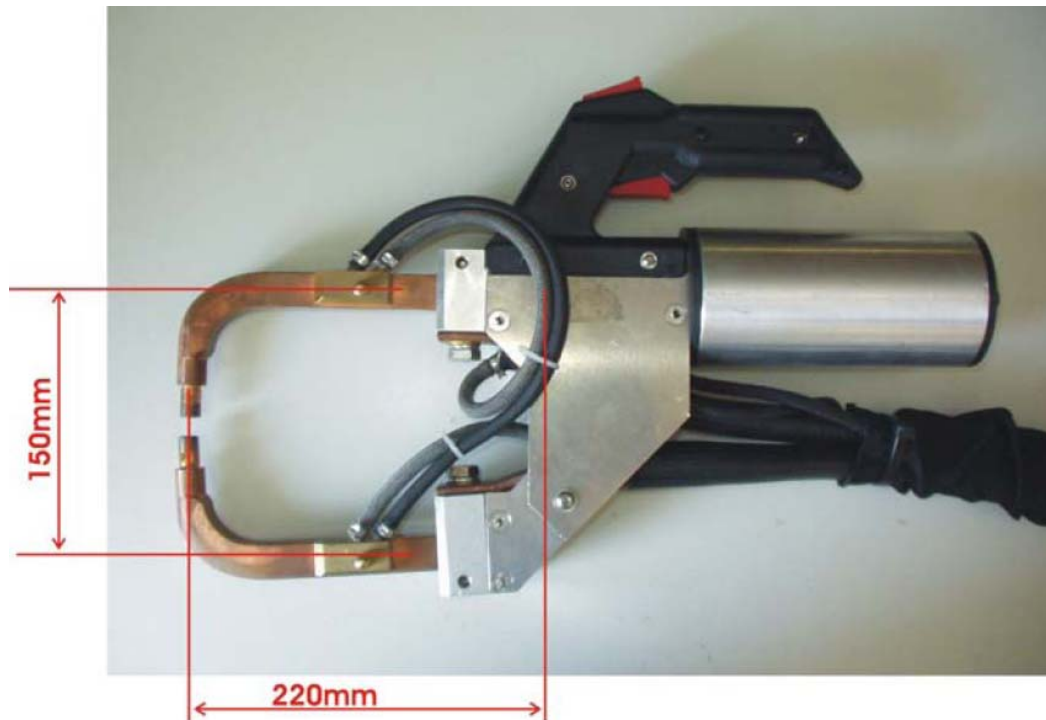
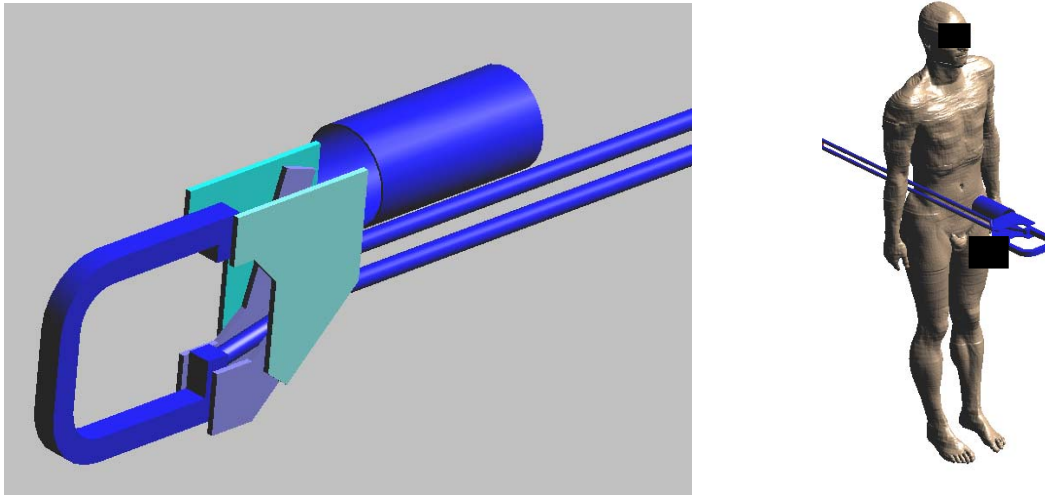


Abbildung 5.19: Betrachtete Elektro-Schweißzange

### 5.6.1 Quellenmodellierung und Validierung

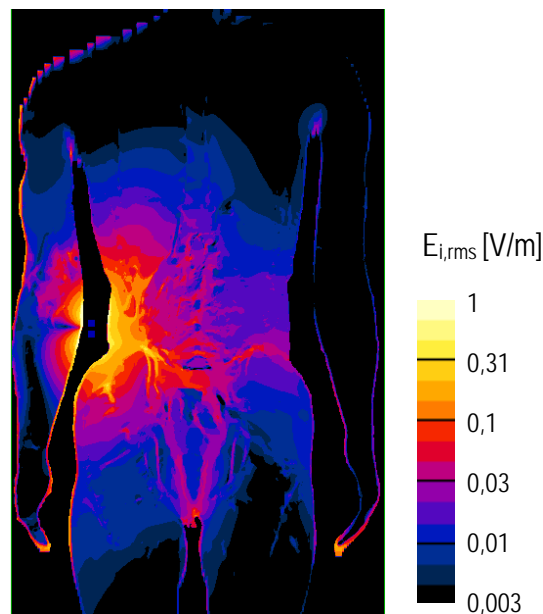
Das numerische Modell der Schweißzange wurde detailgetreu auf Basis des realen Gerätes erstellt (Abbildung 5.20). Als Leiterabstand (Mitte-Mitte) wurden 5 cm, bei einem Leiterdurchmesser von 15 mm angenommen. Dieses Quellenmodell wurde so angeordnet, dass die Zuleitungen in ca. 1-2 cm Distanz zur Körperoberfläche des Körpermodells Duke, zwischen Unterarm und Rumpf im Bereich der Taille verlaufen (Abbildung 5.20 und Abbildung 5.21). Als Schweißstrom wurde 5 kA (rms, sinusförmig, 50 Hz) angenommen. Messungen in 3 cm Distanz zu den Kabeln zeigten bei einer Stromstärke von 5 kA bis zu 26 mT magnetische Flussdicht (3 cm Sondendurchmesser). Die elektrischen Feldstärken im Nahbereich der betrachteten Schweißzange lagen unterhalb von ca. 300 V/m und sind daher gegenüber den magnetischen Immissionen vernachlässigbar. Die Abweichungen zwischen numerischer Feldquelle und den Messwerten für die magnetische Flussdichte in 3 cm Distanz zur Zuleitung waren kleiner als  $\pm 15\%$ .



**Abbildung 5.20:** Numerisches Modell der Schweißzange und betrachtetes Expositionsszenario mit dem Körpermodell Duke.

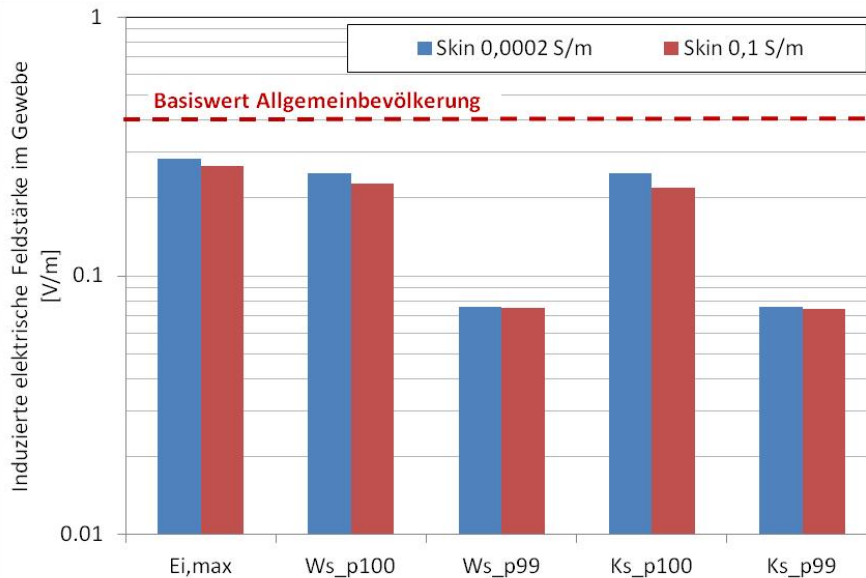
## 5.6.2 Berechnungsergebnisse

Abbildung 5.21 zeigt zunächst die räumlichen Feldverteilungen der im Körper induzierten elektrischen Feldstärke im betrachteten Szenario in einer Vertikalebene durch das Maximum.



**Abbildung 5.21:** Verteilung der ungemittelten induzierten elektrischen Feldstärke im betrachteten Szenario in einer Vertikalebene durch das Maximum.

Abbildung 5.22 fasst die Berechnungsergebnisse in Form der in PNS-Geweben induzierten elektrischen Feldstärke zusammen, wobei für die Haut wieder mit zwei unterschiedlichen Leitfähigkeitswerten gerechnet wurde. Als Ergebnisgrößen werden in den Diagrammen wieder sowohl der maximale induzierte (ungemittelte) Feldstärkewert im Gewebe  $E_{i,max}$  (in einem  $1 \text{ mm}^3$  Voxel), als auch die unterschiedlich berechneten Maximalwerte  $\max E_{i,avg}$  der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten Feldverteilung, bei Verwendung unterschiedlicher Mittelungsalgorithmen angegeben (vgl. Kapitel 3). Die Maximalwerte der dargestellten Größen lagen immer oberflächennah, d.h., im Bereich der Haut bzw. des Unterhaut-Fettgewebes. Trotz der hohen lokalen magnetischen Feldstärken in unmittelbarer Nähe zu den Kabeln, traten keine Basiswertüberschreitungen auf.



**Abbildung 5.22:** Induzierte elektrische Feldstärke in PNS-Gewebe (Haut) für unterschiedliche Haut-Leitfähigkeitswerte für das betrachtete Szenario mit der Schweißzange (Schweißstrom 5 kA)

Tabelle 5.4 fasst die gewebespezifische Auswertung der Berechnungen (bei Verwendung einer Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m) für das betrachtete Szenario zusammen (Mittelungsalgorithmus Ws\_p100).

maxE <sub>i,avg</sub> in PNS-Gewebe [mV/m], 50 Hz			
Subcutaneous adipose tissue	211	Ureter_Urethra	45.8
Muscle	204	Kidney_medulla	45.3
Bone	200	Bladder	35.6
Fat	165	Adrenal_gland	33.7
Skin	156	Spinal_cord	29.7
Artery	153	Diaphragm	25.8
Tendon_Ligament	139	Thymus	24.3
Marrow_red	105	Small_intestine_lumen	22.7
Large_intestine	99.8	Lung	22.5
Small_intestine	89.7	Intervertebral_disc	22.3
Vertebrae	88.4	Stomach_lumen	20.2
Liver	79.9	Heart_muscle	15.9
Kidney_cortex	79.8	Pancreas	12.3
Cerebrospinal_fluid	74.0	Esophagus	10.0
Stomach	71.3	Penis	9.9
Vein	65.7	Spleen	8.0
Cartilage	62.8	Prostate	4.8
Large_intestine_lumen	60.6	Testis	4.5
Blood_vessel	59.4	Epididymis	2.4
Gallbladder	52.8	Connective_tissue	1.4
Nerve	47.2	-	-

**Tabelle 5.4:** Gewebespezifische Auswertung für alle relevanten (PNS-) Gewebe im betrachteten Szenario mit der Schweißzange (Hautleitfähigkeit 0,1 S/m), Mittelungsalgorithmus Ws\_p100

### 5.6.3 Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

Basierend auf den Überlegungen in Kapitel 5.3 ergibt sich unter Annahme der statistischen Unabhängigkeit der einzelnen Unsicherheitsbeiträge und einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von maximal  $\pm 15\%$  eine Standard-Gesamtunsicherheit der Berechnungsergebnisse für  $\max E_{i,avg}$  von maximal  $\pm 44\%$ .

Die Berechnungsergebnisse liegen für die Annahme eines Schweißstromes von 5 kA unterhalb des Basiswertes für die Allgemeinbevölkerung (0,4 V/m), wobei sich nur ein geringer Unterschied der bezüglich der verwendeten Hautleitfähigkeit zeigt. Im Fall der für die konkret untersuchte Schweißzange maximal mögliche Schweißstromstärke von 10 kA würden die Berechnungsergebnisse teilweise oberhalb des Basiswertes für die Allgemeinbevölkerung, jedoch noch unterhalb des Basiswertes für berufliche Exposition (0,8 V/m) liegen. Bei Zuschlag der Unsicherheit kann auch eine Überschreitung der PNS-Basiswerte für berufliche Exposition nicht ausgeschlossen werden. Aufgrund der großen Distanz zwischen Quelle und Kopf sind im betrachteten Expositionsszenario keine Konflikte mit den CNS-Basiswerten zu erwarten.

## 5.7 Szenario 4: Person stehend unter einer Energiesparlampe

In diesem Szenario wurde eine unterhalb einer Energiesparlampe stehende Person betrachtet (10 cm Distanz zwischen Lampenunterkante und Kopf, Abbildung 5.23).



Abbildung 5.23: Betrachtetes Szenario mit Energiesparlampe 10 cm oberhalb des Scheitels

### 5.7.1 Quellenmodellierung

Die elektromagnetischen Emissionen von Energiesparlampen wurden in [70] ausführlich untersucht. Im Vergleich zu den Referenzwerten relevante elektrische Emissionen ergeben sich dabei hauptsächlich im Frequenzbereich um die Schaltfrequenz (typ. 40-50 kHz). Die ungestörte räumliche elektrische Feldverteilung kann gut mit einer Quasi-Punktquelle (elektrisch geladene Kugel) angenähert werden. Gemäß [70] wurden in 15 cm Distanz zum Mittelpunkt der untersuchten Energiesparlampen bis zu 433 V/m bei 50 kHz gemessen, was mehr als dem 5-fachen des Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010 entspricht (83 V/m). Neben der Grundwelle der Schaltfrequenz treten typischer Weise auch noch Oberwellen messbar zutage, wobei vor allem die zweite Oberwelle (ca. 120-

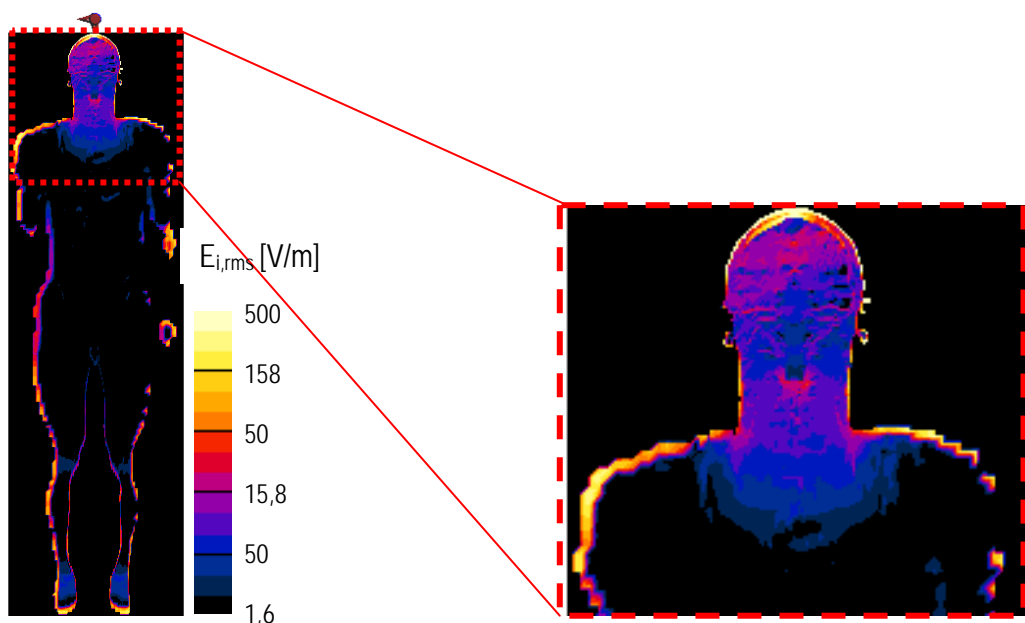
150 kHz) noch Größenordnungen von ca. 10% der Grundwelle erreichen kann. Die elektrischen Immissionen bei 50 Hz liegen in 15 cm Distanz zum Mittelpunkt der untersuchten Energiesparlampen typischer Weise bei weniger als ca. 300 V/m.

Die magnetischen Emissionen im gesamten Frequenzbereich liegen typischer Weise bei weniger als 300 nT und sind daher gegenüber den elektrischen Emissionen vernachlässigbar gering.

Als Feldquelle wurde daher eine elektrisch geladene Kugel (Durchmesser 10 cm) in 15 cm Distanz (vom Kugelmittelpunkt aus gemessen) zum Scheitel des Körpermodells Duke gewählt und das Potenzial der Kugel so eingestellt, dass sich in 15 cm Entfernung eine ungestörte Feldstärke von 433 V/m (50 kHz) einstellte. Zusätzlich wurde die zweite Oberwelle (150 kHz) mit 10% der Grundwelle, d.h., 43 V/m, sowie eine netzfrequente Komponente (50 Hz) mit 300 V/m bei den Berechnungen berücksichtigt. Die im Zuge von Messungen unter einer realen Energiesparlampe erhobenen Messdaten zeigten im interessierenden Bereich (10-30 cm Distanz) Abweichungen von der theoretisch erwarteten Feldverteilung einer Punktladung von weniger als 20%.

## 5.7.2 Berechnungsergebnisse

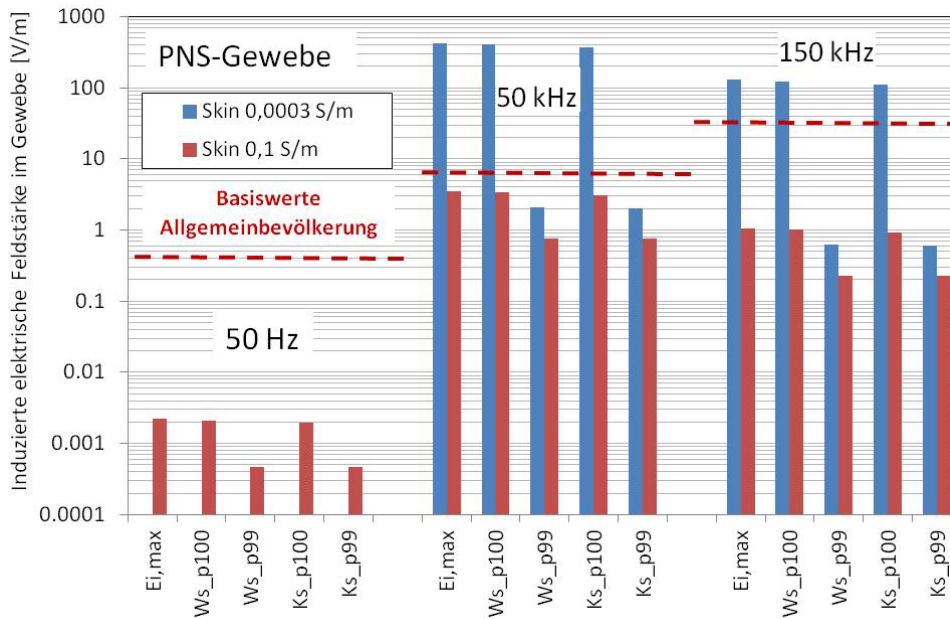
Abbildung 5.24 zeigt zunächst die räumliche Feldverteilung der im Körper induzierten elektrischen 50 kHz Feldstärke im betrachteten Szenario in einer Vertikalebene durch das Maximum.



**Abbildung 5.24:** Verteilung der ungemittelten induzierten elektrischen Feldstärke (50 kHz) im betrachteten Szenario in einer Vertikalebene durch das Maximum.

Abbildung 5.25 und Abbildung 5.26 fassen die Berechnungsergebnisse in Form der im Körper induzierten elektrischen Feldstärken für PNS und CNS-Gewebe, bei den unterschiedlichen betrachteten Frequenzanteilen zusammen, wobei für die Haut mit zwei unterschiedlichen Leitfähigkeitswerten gerechnet wurde. Als Ergebnisgrößen werden in den Diagrammen wieder sowohl der maximale induzierte (ungemittelte) Feldstärkewert im Gewebe  $E_{i,max}$  (in einem  $1\text{ mm}^3$  Voxel), als auch die unterschiedlich berechneten Maximalwerte  $\max E_{i,avg}$  der über  $2 \times 2 \times 2\text{ mm}^3$  gemittelten Feldverteilung, bei Verwendung unterschiedlicher Mittelungsalgorithmen angegeben (vgl. Kapitel 3).

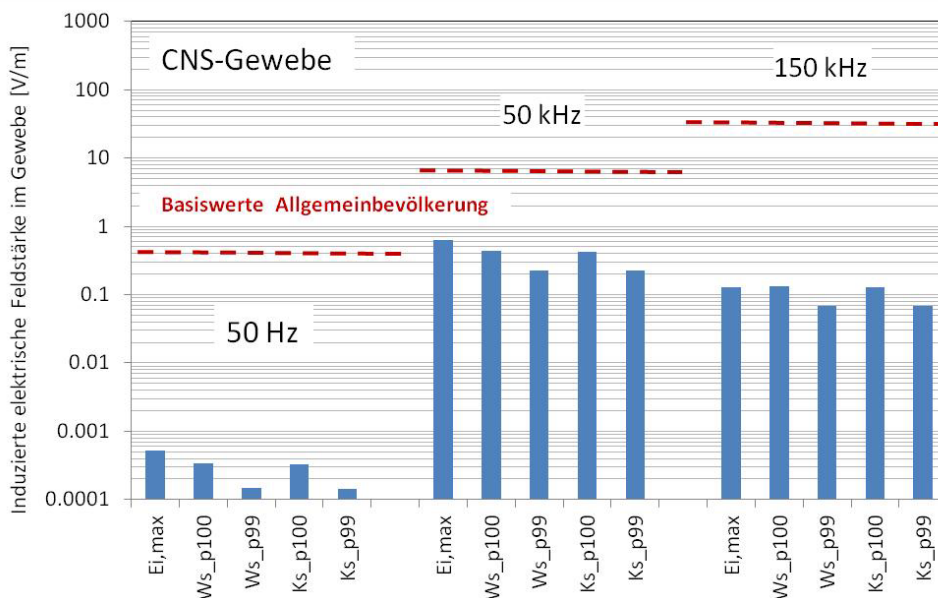




**Abbildung 5.25:** Induzierte elektrische Feldstärken bei 50 Hz, 50 kHz und 150 kHz in PNS-Gewebe (Haut) für unterschiedliche Haut-Leitfähigkeitswerte für das betrachtete Szenario einer unter einer Energiesparlampe stehenden Person

Die Ergebnisse für PNS-Gewebe zeigen bei Verwendung einer Hautleitfähigkeit von 0,0003 S/m (entsprechend der trockenen Hornschicht bei 50 kHz) deutliche Überschreitungen der Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung bei der Schaltfrequenz und deren zweiter Oberwelle, die jedoch bei Verwendung (eines physiologisch sinnvollen) Wertes von 0,1 S/m als Hautleitfähigkeit (Maximum im Schädelknochen) nicht mehr auftreten. Weiters zeigt sich erwartungsgemäß, dass die Frequenzanteile zufolge der Schaltfrequenz gegenüber den netzfrequenten Anteilen deutlich dominieren.

Die Ergebnisse für CNS-Gewebe waren in nur zu vernachlässigender Weise von der verwendeten Hautleitfähigkeit abhängig und lagen in allen Frequenzbereichen deutlich unterhalb der entsprechenden Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung.



**Abbildung 5.26:** Induzierte elektrische Feldstärken bei 50 Hz, 50 kHz und 150 kHz in CNS-Gewebe für das betrachtete Szenario einer unter einer Energiesparlampe stehenden Person

Tabelle 5.5 fasst die gewebespezifische Auswertung der Berechnungen (bei Verwendung einer Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m) zusammen (Mittelungsalgorithmus  $W_s$ \_p100).

Gewebe	$\max E_{i,avg}$ im Gewebe [mV/m]						
	50 Hz	50 kHz	150 kHz	Gewebe	50 Hz	50 kHz	150 kHz
Skull	2.10	3350	1005	Ear_skin	0.09	91.7	27.5
Connective_tissue	1.40	2136	641	Teeth	0.17	89.9	27.0
Skin	0.88	1562	469	Cartilage	0.14	88.0	26.4
SAT	0.78	1309	393	Eye_Sclera	0.08	82.5	24.8
Muscle	0.52	1562	469	Larynx	0.14	75.0	22.5
Marrow_red	1.07	1309	393	Pons	0.12	73.0	21.9
Brain_grey_matter	0.44	393	118	Hippocampus	0.18	72.6	21.8
Cerebrospinal_fluid	0.35	383	115	Eye_vitreous_humor	0.07	72.2	21.7
Vertebrae	0.27	263	78.8	Hypothalamus	0.10	66.1	19.8
Blood_vessel	0.10	261	78.4	Midbrain	0.12	64.3	19.3
Brain_white_matter	0.25	167	50.0	Vein	0.12	64.0	19.2
Fat	0.21	146	43.9	Thalamus	0.11	63.2	19.0
Spinal_cord	0.22	141	42.4	Intervertebral_disc	0.09	61.0	18.3
Tendon_Ligament	0.14	128	38.4	Ear_cartilage	0.08	60.9	18.3
Bone	0.13	106	31.9	Tongue	0.07	59.8	17.9
Mandible	0.14	98.4	29.5	Cornea	0.04	59.6	17.9
Nerve	0.16	96.9	29.1	Eye_lens	0.05	53.9	16.2
Mucosa	0.37	95.3	28.6	Trachea	0.08	49.6	14.9
Commissura_anterior	0.15	92.6	27.8	Hypophysis	0.05	47.4	14.2
Cerebellum	0.19	92.1	27.6	Pinealbody	0.07	41.9	12.6
Artery	0.14	91.9	27.6	Medulla_oblongata	0.05	41.0	12.3

**Tabelle 5.5:** Gewebespezifische Auswertung für alle relevanten Gewebe (CNS und PNS) im betrachteten Szenario mit der Energiesparlampe (Hautleitfähigkeit 0,1 S/m), Mittelungsalgorithmus  $W_s$ \_p100

### 5.7.3 Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

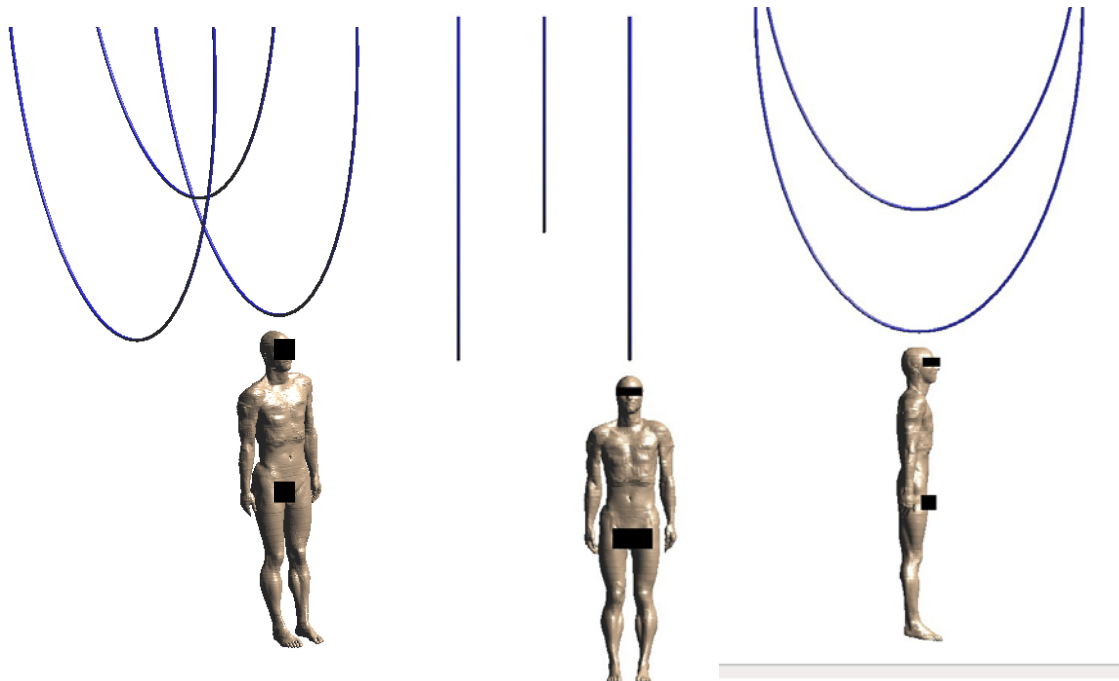
Basierend auf den Überlegungen in Kapitel 5.3 ergibt sich unter Annahme der statistischen Unabhängigkeit der einzelnen Unsicherheitsbeiträge und einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von maximal  $\pm 20\%$  eine Standard-Gesamtunsicherheit der Berechnungsergebnisse für  $\max E_{i,avg}$  von maximal  $\pm 46\%$ .

Zieht man die oben dargestellten Berechnungsergebnisse für eine (physiologisch wahrscheinlich sinnvolle) Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m heran, so zeigt sich, dass im betrachteten Szenario eine Überschreitung der Basiswerte unwahrscheinlich ist. Bei Annahme einer sehr geringen Hautleitfähigkeit (entsprechend der Hornschicht) ist die Wahrscheinlichkeit bzw. das Ausmaß der möglichen Basiswertüberschreitungen in PNS-Geweben deutlich größer.

Für CNS-gewebe ergaben sich keine Hinweise auf mögliche Basiswertüberschreitungen.

## 5.8 Szenario 5: Person stehend unter Kabelzuführung zu einer Elektroschmelz- bzw. Heizanlage

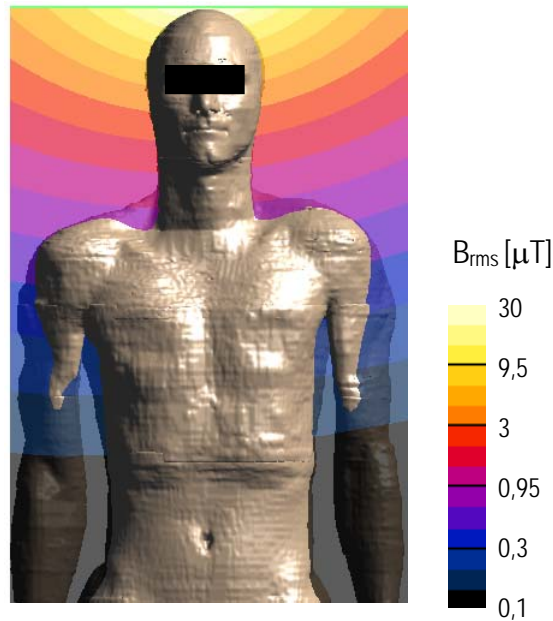
In der metallverarbeitenden Schwerindustrie werden häufig elektrische Schmelz- bzw. Heizsysteme für Metalle bzw. Metallschmelzen eingesetzt. Beim hier betrachteten Anwendungsfall handelt es sich um die Kabelzuführungen einer elektrischen Heizanlage für Schmelzgut (Tiegelgröße mehrere 10 Tonnen). Die Heizstäbe sind dabei auf einer Krananlage montiert und können um mehrere Meter in den Schmelztiegel abgesenkt werden. Die Speisekabel (50 Hz, 3-Phasensystem, Phasenstrom bis 24 kA) sind daher in Schleifen aufgehängt. Bei Absenkung der Heizstäbe in das Schmelzgut erreichen die Kabelschleifen im Bereich des größten Durchhangs Abstände zum Boden von weniger als 180 cm. D.h., für unter den Kabelschleifen durchgehende Personen ist eine Annäherung mit dem Kopf an die Kabelschleifen bis auf wenige Zentimeter möglich. An einer industriellen Anlage wurden magnetische Flussdichten bis zu 13 mT (50 Hz) in 10 cm Distanz zum Kabelmantel gemessen. Die elektrischen Feldstärken im Kopfbereich lagen durchwegs unterhalb von 300 V/m und sind demnach gegenüber den magnetischen Immissionen vernachlässigbar.



**Abbildung 5.27:** Betrachtetes Szenario mit einer Person unterhalb der Speisekabel einer großindustriellen Heizanlage für Schmelzgut

### 5.8.1 Quellenmodellierung und Validierung

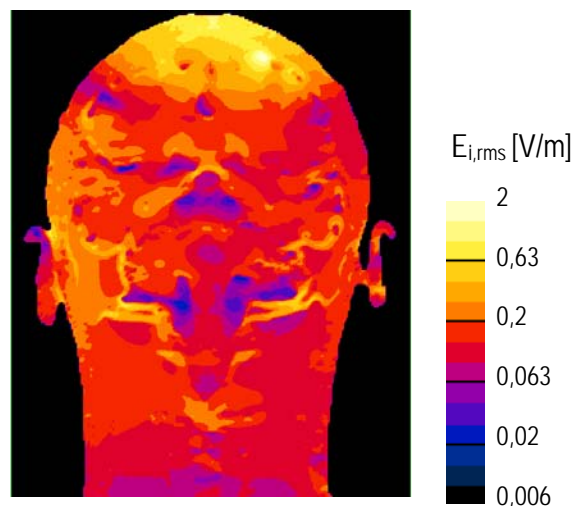
Die geometrische Anordnung der Kabelschleifen wurde im numerischen Modell entsprechend den realen Verhältnissen angenommen. Die Dreiphasen-Anspeisung wurde so eingestellt, dass sich, entsprechend den realen Verhältnissen in 10 cm Distanz unterhalb einer der äußeren Leiterschleifen (Scheitelpunkt des Körpermodells Duke) eine magnetische Flussdichte von 13 mT (50 Hz, sinusförmig) ergab (Abbildung 5.28). Dies entspricht dem 13-fachen des Referenzwertes für berufliche Exposition gemäß ICNIRP 2010. Die von der numerischen Quelle im Kopfbereich verursachte Feldverteilung zeigte Übereinstimmung mit den an der realen Anlage gemessenen Immissionswerten innerhalb von  $\pm 15\%$ .



**Abbildung 5.28:** Magnetfeldverteilung im betrachteten Szenario mit einer Person unterhalb der Speisekabel einer großindustriellen Heizanlage für Schmelzglas

### 5.8.2 Berechnungsergebnisse

Abbildung 5.29 zeigt die Berechnungsergebnisse in Form der induzierten elektrischen Feldstärke in einem Vertikalschnitt durch das Feldstärkemaximum im CNS-Gewebe.

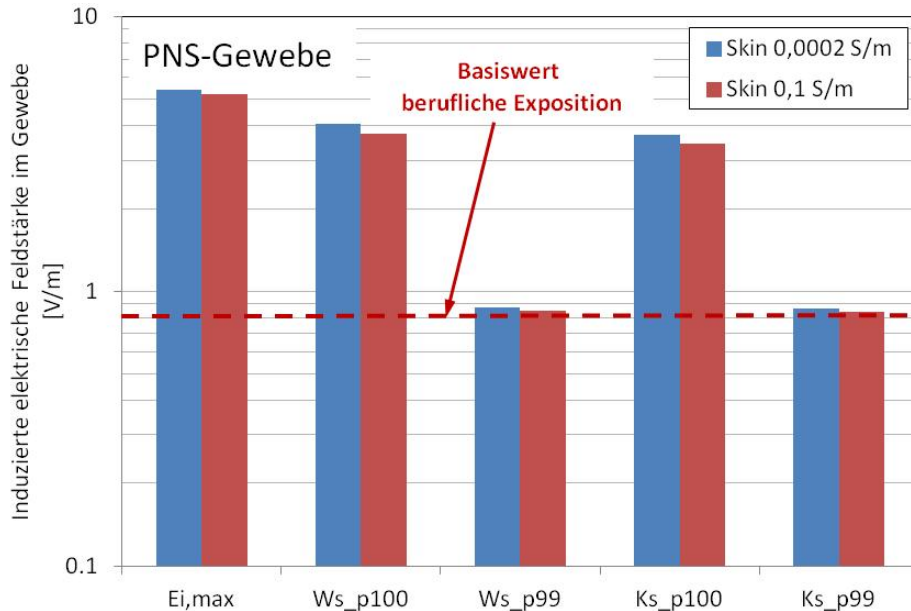


**Abbildung 5.29:** Verteilung der ungemittelten induzierten elektrischen Feldstärke  $E_i$  im Kopf in einem Vertikalschnitt durch das CNS-Feldstärkemaximum im betrachteten Szenario mit einer Person unterhalb der Speisekabel einer großindustriellen Heizanlage für Schmelzglas

Abbildung 5.30 und Abbildung 5.31 fassen die Berechnungsergebnisse in Form der im Körper induzierten elektrischen Feldstärke für PNS und CNS-Gewebe zusammen, wobei für die Haut mit zwei unterschiedlichen Leitfähigkeitswerten gerechnet wurde. Als Ergebnisgrößen werden in den Diagrammen sowohl der maximale induzierte (ungemittelte) Feldstärkewert im Gewebe  $E_{i,max}$  (in einem  $1 \text{ mm}^3$  Voxel), als auch die unterschiedlich berechneten Maximalwerte  $\max E_{i,avg}$  der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten Feldverteilung bei Verwendung unterschiedlicher Mittelungsalgorithmen angegeben.

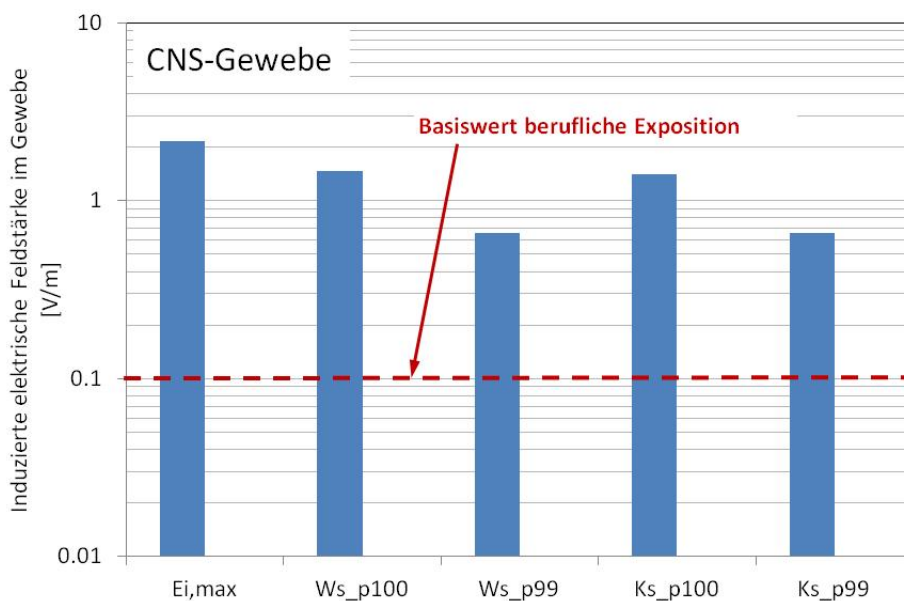
Die Ergebnisse zeigen, dass im betrachteten Szenario unter den angenommenen Verhältnissen alle betrachteten Bewertungsgrößen oberhalb des Basiswertes liegen.

Die Berechnungsergebnisse für PNS-Gewebe zeigen nur eine relativ geringfügige Abhängigkeit von den angenommenen Hautleitfähigkeitswerten (Maximalwerte treten in der Haut bzw. im Schädelknochen auf).



**Abbildung 5.30:** Induzierte elektrische Feldstärke in PNS-Gewebe (Haut) für unterschiedliche Haut-Leitfähigkeitswerte für das betrachtete Szenario mit einer Person unterhalb der Kabelzuführung einer großindustriellen Elektro-Heizanlage.

Die Ergebnisse für CNS-Gewebe waren in nur zu vernachlässigender Weise von der verwendeten Hautleitfähigkeit abhängig (Abweichungen <1%) und lagen für die angenommenen Verhältnisse ebenfalls für alle betrachteten Bewertungsgrößen deutlich oberhalb der Basiswerte für berufliche Exposition.



**Abbildung 5.31:** Induzierte elektrische Feldstärke in CNS-Gewebe für das betrachtete Szenario mit einer Person unterhalb der Kabelzuführung einer großindustriellen Elektro-Heizanlage.

Tabelle 5.6 fasst die gewebespezifische Auswertung der Berechnungen (bei Verwendung einer Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m) zusammen (Mittelungsalgorithmus Ws\_p100).

maxE <sub>i,avg</sub> im Gewebe [V/m], 50 Hz			
Skull	3.40	Tongue	0.51
Cerebrospinal_fluid	3.01	Eye_lens	0.51
Brain_grey_matter	2.68	Artery	0.45
Mucosa	2.67	Ear_skin	0.43
Marrow_red	1.68	Trachea	0.40
Connective_tissue	1.53	Blood_vessel	0.38
Fat	1.48	Hippocampus	0.38
Teeth	1.45	Vertebrae	0.37
Muscle	1.45	Hypothalamus	0.36
Skin	1.20	Intervertebral_disc	0.35
Cartilage	1.19	Commissura_anterior	0.29
Subcutaneous adipose tissue	1.14	Spinal_cord	0.28
Brain_white_matter	0.90	Ear_cartilage	0.27
Eye_Sclera	0.88	Hypophysis	0.24
Bone	0.83	Pons	0.22
Eye_vitreous_humor	0.75	Midbrain	0.21
Cerebellum	0.72	Vein	0.19
Mandible	0.71	Medulla_oblongata	0.18
Tendon_Ligament	0.59	Thalamus	0.14
Larynx	0.58	Pinealbody	0.06
Cornea	0.55	Esophagus	0.04
Nerve	0.53	-	-

**Tabelle 5.6:** Gewebespezifische Auswertung für alle relevanten Gewebe im betrachteten Szenario unter den Speisekabeln einer großindustriellen Elektro-Heizanlage für Schmelzglas (Hautleitfähigkeit 0,1 S/m), Mittelungsalgorithmus Ws\_p100

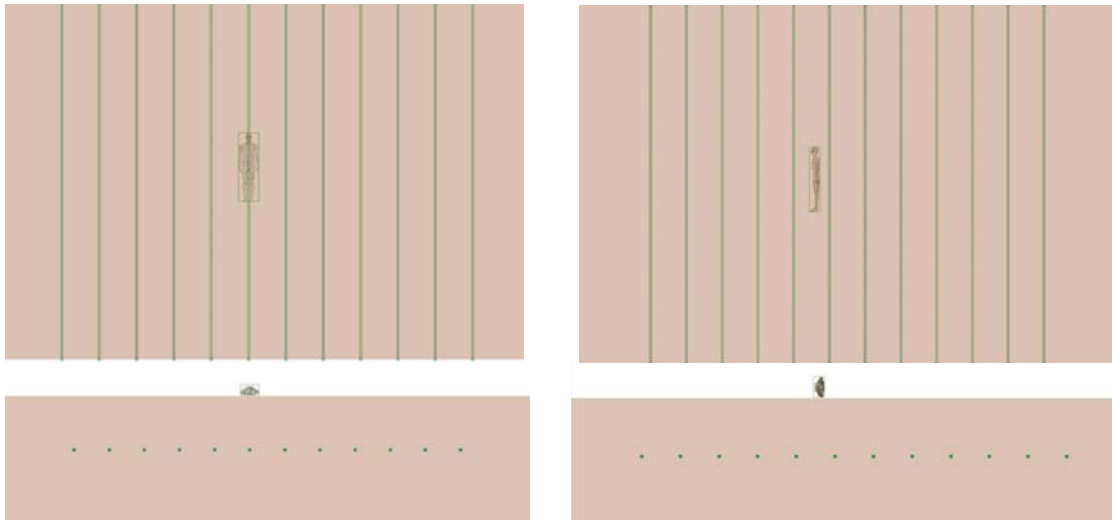
### 5.8.3 Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

Basierend auf den Überlegungen in Kapitel 5.3 ergibt sich unter Annahme der statistischen Unabhängigkeit der einzelnen Unsicherheitsbeiträge und einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von maximal ±15% eine Standard-Gesamtunsicherheit der Berechnungsergebnisse für maxE<sub>i,avg</sub> von maximal ±44%.

Die Berechnungsergebnisse zeigen deutlich, dass es in diesem Szenario jedenfalls zu Basiswertüberschreitungen, sowohl in PNS als auch in CNS-Geweben kommt. Die Abhängigkeit der Berechnungsergebnisse von der verwendeten Hautleitfähigkeit erwies sich in diesem Fall als nur geringfügig. Die lokale magnetische Flussdichte im Ausmaß des ca. 13-fachen des Referenzwertes führt zu einer ebenfalls ca. 13-fachen Überschreitung des Basiswertes in CNS-Gewebe und zu einer ca. 4,4-fachen Überschreitung des Basiswertes für PNS-Gewebe.

## 5.9 Szenario 6: Person liegend auf Hochspannungs-Erdkabeltrasse

In diesem Szenario wurde die Situation einer auf einer Hochspannungs-Erdkabeltrasse liegenden Person nachgestellt. Die Untersuchung des Szenarios einer liegenden Person wurde jenem einer stehenden Person vorgezogen, da sie wesentlich größere induzierte Feldstärken im Körper (v.a. in CNS Gewebe) erwarten lässt und in der Praxis nicht ausgeschlossen werden kann (z.B. bei einer Kabeltrasse unterhalb von Freizeitanlagen bzw. öffentlich zugänglichen Grünflächen). Es wurde sowohl die Situation mit auf dem Rücken liegendem Körpermodell als auch auf der Seite liegenden Körpermodell (Duke) betrachtet (Abbildung 5.32).



**Abbildung 5.32:** Betrachtetes Szenario einer auf einer Erdkabeltrasse liegenden Person; links: Körpermodell am Rücken liegend; rechts: Körpermodell auf der Seite liegend.

### 5.9.1 Quellenmodellierung und Validierung

Die Magnetfeldexposition auf einer Erdkabel-Hochspannungstrasse hängt, neben dem Betriebsstrom der Trasse, wesentlich auch von weiteren Trassenparametern, wie, z.B., Verlegeart, Phasenordnung und Verlegetiefe der Einzelleiter ab. Um einen möglichst ungünstigen, jedoch realistischen Fall für die Quellenmodellierung anzunehmen, wurden jene Trassenparameter gewählt, die gemäß [75] zu den höchsten Magnetfeldexpositionen oberhalb der Trasse führen. Es handelt sich dabei um die Parameter einer in Planung befindlichen 380 kV Höchstspannungstrasse (in [75] mit „EK 380\_4“ bezeichnet). Tabelle 5.7 fasst die zur Modellierung verwendeten Trassenparameter zusammen.

Spannungsebene	380 kV
Phasenordnung (eine Ebene)	RSTTSR SRTRRS
Max. Leiterstrom	1380 A
Abstand der Phasenleiter	1 m
Verlegetiefe	1,5 m

**Tabelle 5.7:** Zusammenfassung der Trassenparameter der modellierten Erdkabeltrasse

Abbildung 5.33 zeigt den Verlauf der von der Erdkabeltrasse verursachten magnetischen Flussdichte (beim maximalen Leiterstrom von 1380 A) in einer Querebene zur Trasse. Die Berechnungsergebnisse stimmen mit den in [75] berichteten Werten mit lokalen Abweichungen von weniger als 10% überein. Elektrische Felder können aufgrund der abschirmenden Wirkung des Erdreiches vernachlässigt werden [75].

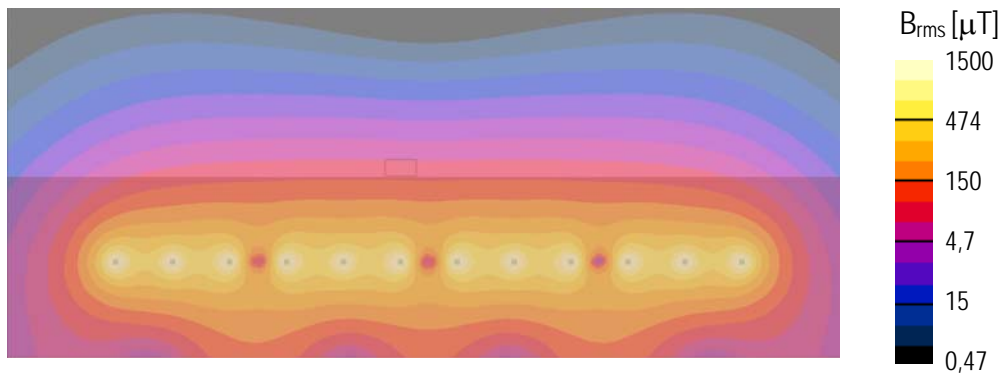


Abbildung 5.33: Verlauf der magnetischen Flussdichte in einer Querebene zur Erdleitungstrasse

## 5.9.2 Berechnungsergebnisse

Abbildung 5.34 und Abbildung 5.35 fassen die Berechnungsergebnisse in Form der im Körper induzierten elektrischen Feldstärke für PNS und CNS-Gewebe zusammen. Als Ergebnisgrößen werden in den Diagrammen sowohl der maximale induzierte (ungemittelte) Feldstärkewert im Gewebe  $E_{i,max}$  (in einem  $1\text{ mm}^3$  Voxel), als auch die unterschiedlich berechneten Maximalwerte  $\max E_{i,avg}$  der über  $2 \times 2 \times 2\text{ mm}^3$  gemittelten Feldverteilung, bei Verwendung unterschiedlicher Mittelungs-algorithmen angegeben (vgl. Kapitel 3).

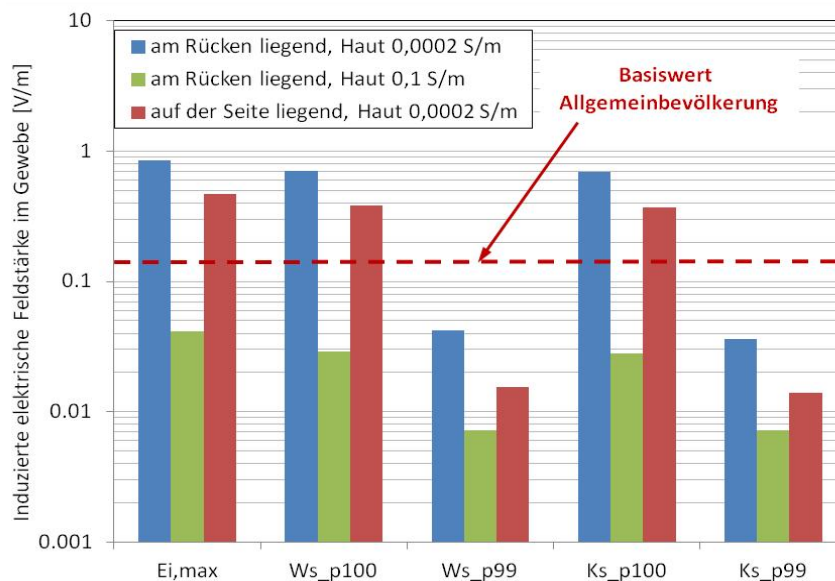


Abbildung 5.34: Induzierte elektrische Feldstärke in PNS-Gewebe (Haut) für unterschiedliche Haut-Leitfähigkeitswerte für das betrachtete Szenario mit einer Person liegend auf einer Erdkabel-Hochspannungstrasse

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass im betrachteten Szenario unter den angenommenen Verhältnissen (maximaler Leiterstrom) die Maxima der gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke in PNS-Gewebe (Haut) oberhalb der Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung liegen, wenn eine elektrische Leitfähigkeit der Haut gemäß [38] bzw. der Parametermodelle in [37] angenommen wird (0,0002 S/m), nicht jedoch bei Annahme einer Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m, wie sie offensichtlich den ICNIRP Referenzwerten zugrunde liegt. Die Situation mit am Rücken liegendem Körpermodell führt dabei durchwegs zu größeren Maximalwerten der induzierten elektrischen Feldstärke.

Die Ergebnisse für CNS-Gewebe liegen für alle betrachteten Bewertungsgrößen unterhalb der Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung und zeigen nur geringfügige Unterschiede zwischen den Situationen mit auf dem Rücken liegendem und seitlich liegendem



Körpermodell. Ebenso zeigte sich keine relevante Sensitivität der CNS-Berechnungsergebnisse bezüglich der verwendeten Hautleitfähigkeit.

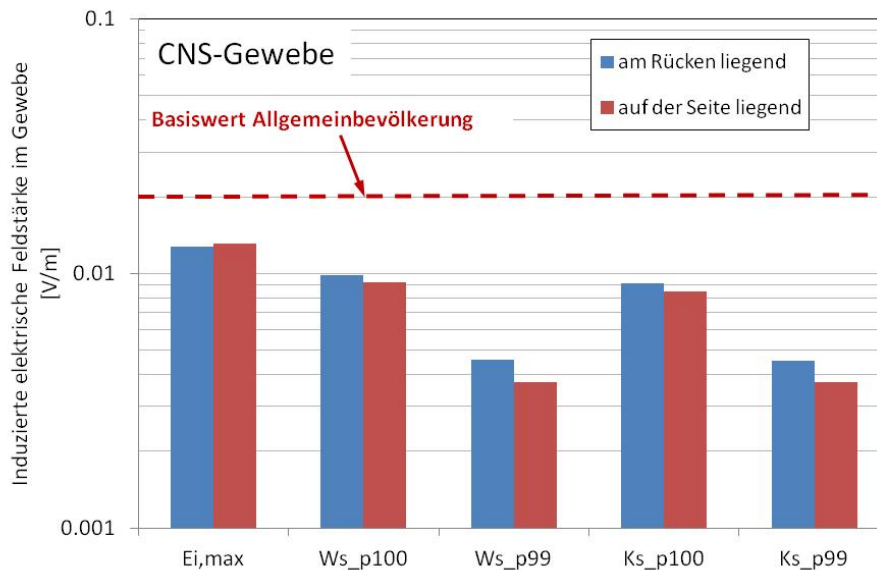


Abbildung 5.35: Induzierte elektrische Feldstärke in CNS-Gewebe für das betrachtete Szenario mit einer Person liegend auf einer Erdkabel-Hochspannungsstrasse (Hautleitfähigkeit 0,0002 S/m).

Tabelle 5.8 fasst die gewebespezifische Auswertung der Berechnungen) für das Szenario mit dem am Rücken liegenden Körpermodell zusammen (Mittelungsalgorithmus Ws\_p100).

maxE <sub>i,avg</sub> im Gewebe [mV/m], 50 Hz								
Gewebe	σ <sub>Haut</sub> [S/m]		Gewebe	σ <sub>Haut</sub> [S/m]		Gewebe	σ <sub>Haut</sub> [S/m]	
	0,0002	0,1		0,0002	0,1		0,0002	0,1
Subcut. adipose tissue	699	18.8	Cornea	15.1	3.4	Stomach	6.5	6.5
Skin	684	20.9	Vertebrae	14.9	14.7	Bladder	6.3	5.9
Bone	639	25.1	Trachea	14.7	15.1	Cerebellum	6.1	6.1
Ear_skin	267	4.20	Testis	14.3	3.2	Eye_vitreous_humor	5.5	5.6
Muscle	267	2.4	Marrow_red	13.2	12.9	Intervertebral_disc	5.4	5.3
Ear_cartilage	135	3.44	Gallbladder	12.0	12.1	Pancreas	5.1	5.1
Tendon_Ligament	81.4	11.2	Small_intestine	11.0	11.1	Meniscus	5.1	4.7
Blood_vessel	69.6	6.2	Lung	10.9	11.0	Kidney_medulla	4.5	4.5
Fat	50.0	29.0	Heart_muscle	10.9	10.8	Adrenal_gland	4.2	4.1
Connective_tissue	43.4	10.3	Spinal_cord	10.8	10.7	Small_intestine_lumen	4.0	4.0
Vein	37.3	14.6	Thymus	10.7	10.6	Bronchi	3.7	3.7
Cartilage	32.5	10.0	Teeth	10.3	10.9	Eye_lens	3.5	6.8
Patella	28.6	6.2	Large_intestine_lumen	10.3	9.0	Stomach_lumen	3.5	3.5
Skull	25.0	24.2	Ureter_Urethra	9.6	8.2	Hippocampus	2.9	2.9
Thyroid_gland	24.2	8.1	Nerve	9.5	9.4	Commissura_anterior	2.0	2.0
Penis	19.9	14.2	Mandible	9.0	8.3	Midbrain	1.9	1.9
Large_intestine	19.6	14.7	Esophagus	8.8	9.3	Epididymis	1.9	2.4
Mucosa	19.3	19.4	Spleen	7.3	7.3	Hypothalamus	1.7	1.7
Cerebrospinal_fluid	18.8	19.1	Prostate	7.2	6.3	Pons	1.7	1.7
Brain_grey_matter	18.7	18.8	Tongue	6.9	6.5	Hypophysis	1.3	1.3
Diaphragm	18.6	18.5	Brain_white_matter	6.8	6.7	Thalamus	1.2	1.2
Artery	17.1	17.1	Eye_Sclera	6.7	4.5	Medulla_oblongata	0.9	0.9
Liver	16.4	16.3	Heart_lumen	6.7	6.8	Pinealbody	0.7	0.7
Larynx	16.0	13.0	Kidney_cortex	6.5	6.5	-	-	-

Tabelle 5.8: Gewebespezifische Auswertung für alle relevanten Gewebe im betrachteten Szenario auf der Erdkabeltrasse (Körpermodell am Rücken liegend), Mittelungsalgorithmus Ws\_p100

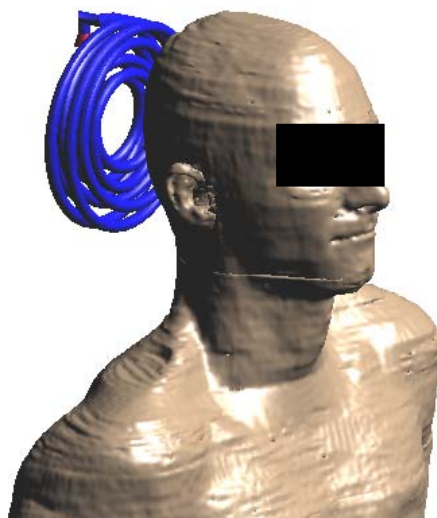
### 5.9.3 Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

Basierend auf den Überlegungen in Kapitel 5.3 ergibt sich unter Annahme der statistischen Unabhängigkeit der einzelnen Unsicherheitsbeiträge und einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von maximal  $\pm 10\%$  eine Standard-Gesamtunsicherheit der Berechnungsergebnisse für  $\max E_{i,avg}$  von maximal  $\pm 40\%$ .

Geht man auf Basis der oben dargestellten Berechnungsergebnisse von einer (physiologisch wahrscheinlich sinnvollen) Hautleitfähigkeit von  $0,1 \text{ S/m}$  aus, so kann gefolgert werden, dass im betrachteten Szenario eine Überschreitung der Basiswerte (sowohl für PNS- als auch für CNS-Gewebe) nicht zu erwarten ist. Bei Annahme einer sehr geringen Hautleitfähigkeit (entsprechend der Hornschicht) sind Überschreitungen des Basiswertes in PNS-Geweben möglich, nicht jedoch in CNS-Geweben.

### 5.10 Szenario 7: Person mit Kopf auf Magnetfeldkissen liegend

Magnetfeldtherapiesysteme werden in zunehmendem Maße nicht nur als Medizinprodukte, die nur unter ärztlicher Aufsicht verwendet werden dürfen, vermarktet, sondern auch als so genannte Wellness-Produkte, die für Jedermann erwerbbar und anwendbar sind. Die meisten dieser Produkte bestehen aus einer Signalgenerierungseinheit und einem oder mehreren wahlweise verwendbaren Applikatoren in Form von z.B. Ganzkörpermatten oder Kissen. Die Applikatoren bestehen üblicherweise aus einer oder mehreren, von weichem Material (Schaumstoff) umgebenen Spulen, die von der Signalgenerierungseinheit angesteuert werden und folglich ein Magnetfeld erzeugen. Auf der Signalgenerierungseinheit können üblicherweise unterschiedliche „Behandlungsprogramme“ gewählt werden, die aus technischer Sicht, zu unterschiedlichen Signalformen und Stärken des resultierenden magnetischen Feldes führen. Für die numerischen Berechnungen konkret betrachtet wurde das Gerät *MAS Special Multi+ mit Kissenapplikator* [76]. Es wurde die Situation einer Person angenommen, die mit dem Hinterkopf auf dem Kissenapplikator (ca. 23 cm Durchmesser) liegt. Unter der Berücksichtigung einer leichten Verformung des Kissens durch das Gewicht des Kopfes, wurde von einem Abstand zwischen Spulenkörper und Kopfoberfläche von 2 cm ausgegangen (Abbildung 5.36). Als Körpermodell wurde das eines männlichen Erwachsenen (Duke) verwendet.



**Abbildung 5.36:** Betrachtetes Szenario einer mit dem Hinterkopf auf einem Kissenapplikator eines Magnetfeldtherapiesystems liegenden Person. Dargestellt ist die vereinfacht modellierte Spule des Kissens.

### 5.10.1 Quellenmodellierung und Validierung

Der Signalfrequenzbereich des realen Gerätes ist in weiten Grenzen einstellbar und die magnetische Flussdichte an der Kissenoberfläche nimmt mit zunehmender Frequenz deutlich ab. Bei ca. 20 Hz ergab sich das größte Verhältnis zwischen der im Nahbereich des Kissens lokal gemessenen magnetischen Flussdichte (max. 2,3 mT in 15 mm Distanz zur undeformierten Kissenoberfläche, gemessen mit 30 mm Sondendurchmesser) und dem entsprechenden Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010. Die Messwerte für die elektrische Feldstärke in unmittelbarer Nähe zum Kissen waren kleiner als 50 V/m und damit gegenüber den magnetischen Immissionen vernachlässigbar. Es wurde die Spule im Kissen in vereinfachter Weise numerisch modelliert und die mit diesem Quellenmodell berechnete magnetische Flussdichte (20 Hz, sinusförmig) mit der im Nahbereich des Kissens gemessenen Flussdichteverteilung zum Zwecke der Validierung verglichen. Die maximalen lokalen Abweichungen im interessierenden Feldbereich lagen bei weniger als 5%. Abbildung 5.37 zeigt die Verteilung des Magnetfeldes in einer Mittenebene durch das Quellenmodell.

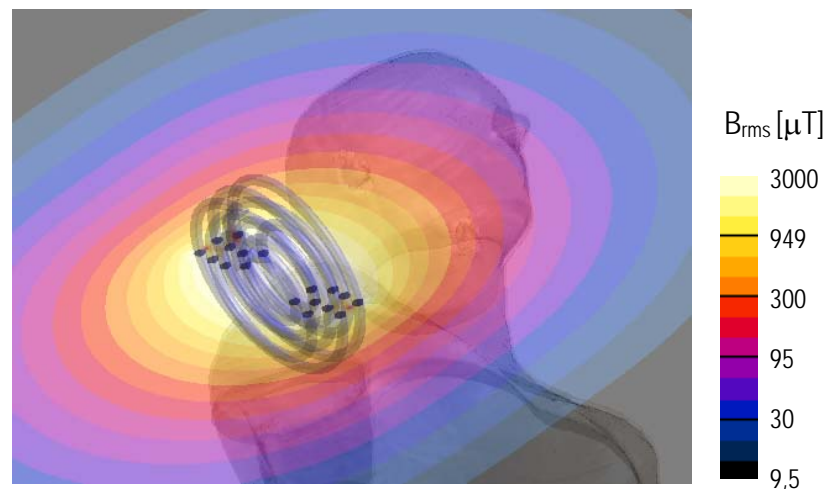


Abbildung 5.37: Magnetische Feldverteilung in der Mittenebene des Spulenkörpers (20 Hz).

### 5.10.2 Berechnungsergebnisse

Abbildung 5.38 zeigt die Berechnungsergebnisse in Form der induzierten elektrischen Feldstärke in einem Vertikalschnitt durch das Feldstärkemaximum im PNS-Gewebe.

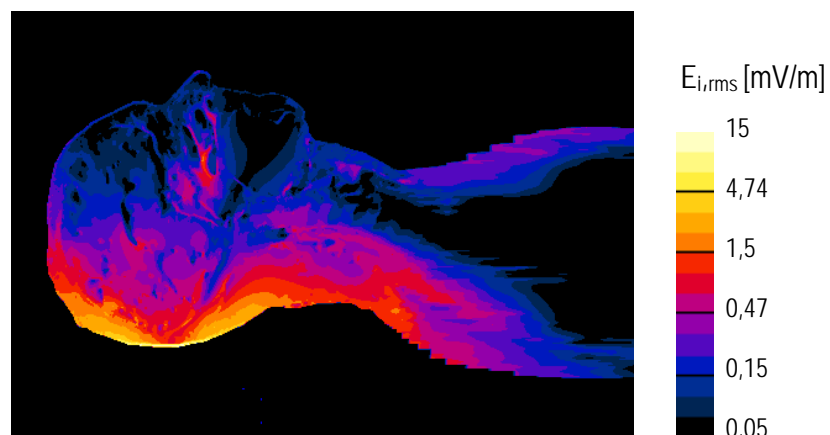
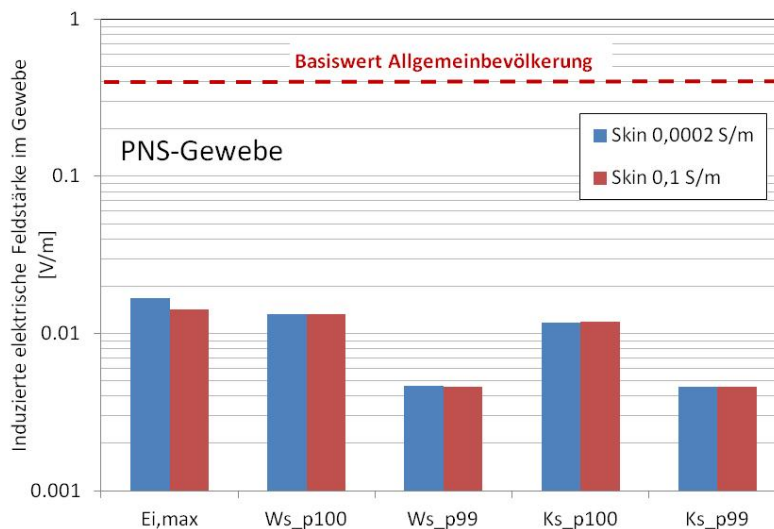


Abbildung 5.38: Verteilung der ungemittelten induzierten elektrischen Feldstärke  $E_i$  im Kopf in einem Vertikalschnitt durch das PNS-Feldstärkemaximum im betrachteten Szenario einer mit dem Hinterkopf auf dem Magnetfeldkissen liegenden Person.

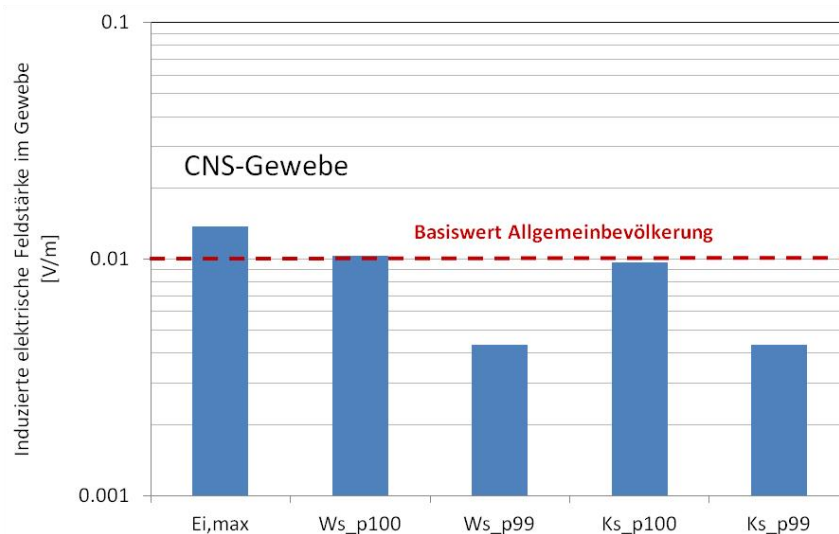
Abbildung 5.39 und Abbildung 5.40 fassen die Berechnungsergebnisse in Form der im Körper induzierten elektrischen Feldstärke für PNS und CNS-Gewebe zusammen, wobei für die Haut mit zwei unterschiedlichen Leitfähigkeitswerten gerechnet wurde. Als Ergebnisgrößen werden in den Diagrammen sowohl der maximale induzierte (ungemittelte) Feldstärkewert im Gewebe  $E_{i,max}$  (in einem  $1\text{ mm}^3$  Voxel), als auch die unterschiedlich berechneten Maximalwerte  $\max E_{i,avg}$  der über  $2 \times 2 \times 2\text{ mm}^3$  gemittelten Feldverteilung, bei Verwendung unterschiedlicher Mittelungsalgorithmen angegeben.

Die Berechnungsergebnisse für PNS-Gewebe zeigen in diesem Fall eine nur relativ geringfügige Abhängigkeit von den angenommenen Hautleitfähigkeitswerten und liegen allesamt deutlich unterhalb des Basiswertes für die Allgemeinbevölkerung.



**Abbildung 5.39:** Induzierte elektrische Feldstärke in PNS-Gewebe (Haut) für unterschiedliche Haut-Leitfähigkeitswerte für das betrachtete Szenario einer mit dem Hinterkopf auf dem Magnetfeldkissen liegenden Person.

Die Ergebnisse für CNS-Gewebe waren in nur zu vernachlässigender Weise von der verwendeten Hautleitfähigkeit abhängig (Abweichungen  $<1\%$ ). Es zeigt sich, dass die gemittelten induzierten Feldstärken in der Praxis zumindest an die Basiswerte heranreichen.



**Abbildung 5.40:** Induzierte elektrische Feldstärke in CNS-Gewebe für das betrachtete Szenario mit einer mit dem Hinterkopf auf dem Magnetfeldkissen liegenden Person.

Tabelle 5.9 fasst die gewebespezifische Auswertung der Berechnungen (bei Verwendung einer Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m) zusammen (Mittelungsalgorithmus  $W_{s,p100}$ ).

$\max E_{i,avg}$ im Gewebe [mV/m], 20 Hz			
Skull	12.21	Mucosa	1.03
Brain_grey_matter	11.55	Nerve	0.97
Marrow_red	9.94	Midbrain	0.96
Cerebrospinal_fluid	9.41	Eye_Sclera	0.86
Ear_skin	8.39	Thalamus	0.85
SAT	7.79	Spinal_cord	0.77
Muscle	7.31	Larynx	0.74
Brain_white_matter	7.03	Tongue	0.71
Cerebellum	6.78	Medulla_oblongata	0.71
Ear_cartilage	6.17	Teeth	0.69
Skin	6.07	Eye_vitreous_humor	0.61
Connective_tissue	5.69	Intervertebral_disc	0.52
Hippocampus	4.07	Bone	0.49
Cartilage	2.91	Cornea	0.46
Vein	2.86	Trachea	0.43
Mandible	2.59	Thyroid_gland	0.34
Blood_vessel	2.58	Hypothalamus	0.34
Fat	2.52	Eye_lens	0.31
Pons	2.42	Pinealbody	0.27
Vertebrae	2.23	Hypophysis	0.26
Artery	1.85	Esophagus	0.23
Tendon_Ligament	1.52	Commissura_anterior	0.21

**Tabelle 5.9:** Gewebespezifische Auswertung für alle relevanten Gewebe im betrachteten Szenario mit dem Magnetfeldkissen unter dem Hinterkopf (Hautleitfähigkeit 0,1 S/m), Mittelungsalgorithmus  $W_{s,p100}$

### 5.10.3 Ergebnisinterpretation unter Berücksichtigung der Unsicherheiten

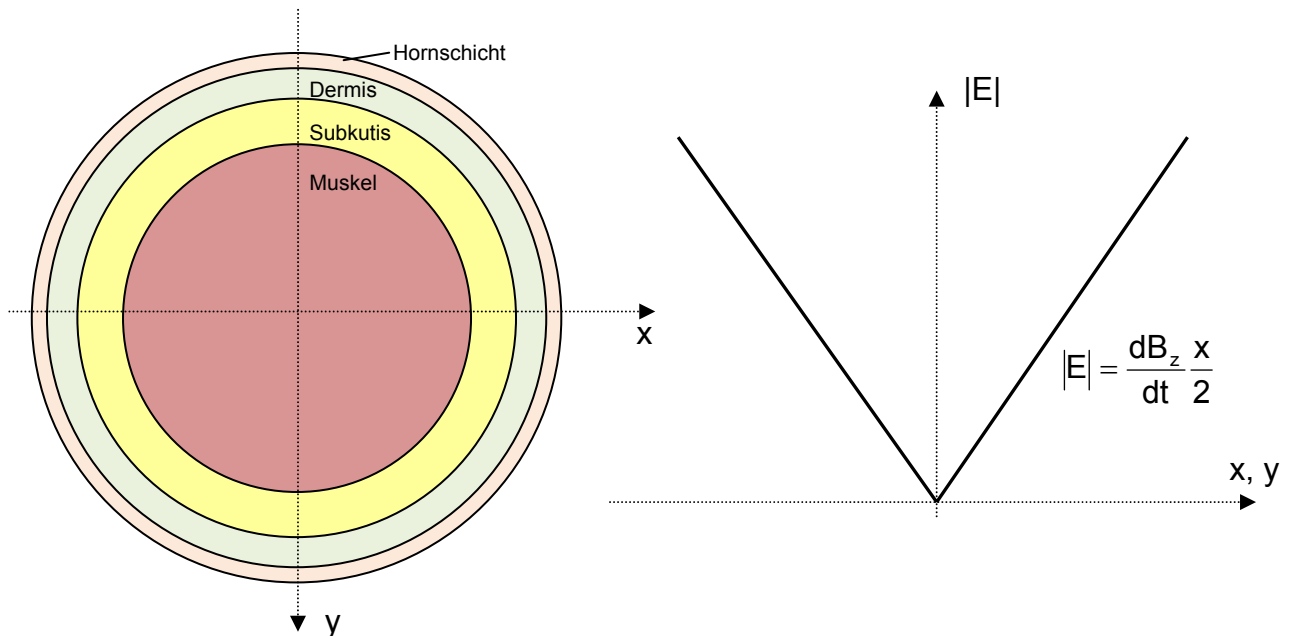
Basierend auf den Überlegungen in Kapitel 5.3 ergibt sich unter Annahme der statistischen Unabhängigkeit der einzelnen Unsicherheitsbeiträge und einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von maximal  $\pm 20\%$  eine Standard-Gesamtunsicherheit der Berechnungsergebnisse für  $\max E_{i,avg}$  von maximal  $\pm 46\%$ .

Ausgehend von den oben dargestellten Berechnungsergebnissen zeigt sich, dass im betrachteten Szenario, speziell unter Einbeziehung der Unsicherheiten, eine Überschreitung der CNS-Basiswerte (unabhängig von der verwendeten Hautleitfähigkeit) nicht ausgeschlossen werden kann. Für PNS-Gewebe ergaben sich im betrachteten Szenario keine Hinweise auf mögliche Basiswertüberschreitungen.

## 6 SPEZIELLE BETRACHTUNG DER HAUT

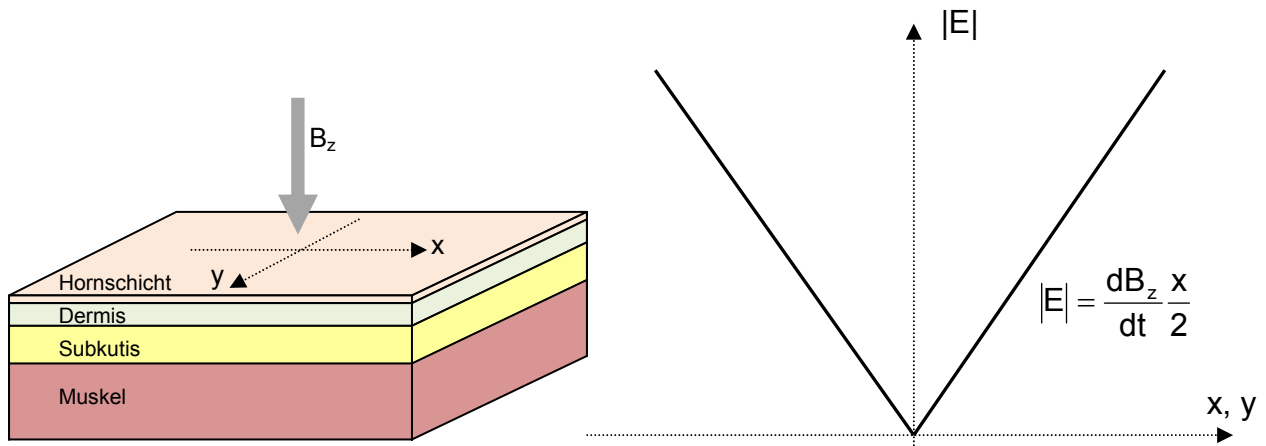
### 6.1 Theoretische Betrachtungen für Schichtmodelle

Eine genauere Betrachtung der in Kapitel 4 und 5 dokumentierten Berechnungsergebnisse zeigt, dass die Sensitivität der in der Haut induzierten, gemittelten elektrischen Feldstärke bezüglich der dielektrischen Gewebeparameter stark situationsabhängig ist. Speziell aus Kapitel 4 und [73] ist ablesbar, dass sich bei Ganzkörperexpositionssituationen immer (auch bei ungeerdetem Körpermodell), sowohl bei elektrischer als auch magnetischer Befeldung, eine starke Abhängigkeit der Berechnungsergebnisse vom verwendeten Hautleitfähigkeitswert zeigt. Hingegen deuten die Ergebnisse aus Kapitel 5 darauf hin, dass in dominant magnetischen lokalen Expositionsszenarien mit unmittelbar in der Nähe großflächiger Körperpartien (ohne Hautfalten und Extremitäten) betriebenen Feldquellen (Schweißzange mit Stromzuführung nahe der Hüfte, Speisekabel einer Heizanlage unmittelbar über dem Kopf, Magnetfeldkissen hinter dem Kopf) teilweise eine deutlich geringere Sensitivität bezüglich der verwendeten Hautleitfähigkeitswerte auftritt. Dies zeigt, in Einklang mit der Theorie, dass die Sensitivität der induzierten elektrischen Feldstärke in der Haut bezüglich der Hautleitfähigkeit nur dann relevant wird, wenn die induzierte elektrische Feldstärke ausgeprägte Normalkomponenten zu den Hautgrenzschichten aufweist. Beispielsweise ist in einem zylindrischem Schichtmodell bei homogener Exposition mit Magnetfeldvektoren parallel zur Zylinderachse überhaupt keine Abhängigkeit der induzierten elektrischen Feldstärke von den Gewebeleitfähigkeitswerten zu erwarten, da die in den Gewebeschichten induzierten elektrischen Feldstärken gemäß den Maxwell'schen Gleichungen tangential gerichtet sind und nur vom Radius (radiale Distanz zur Zylinderachse) und der zeitlichen Änderungsrate des Magnetfeldes abhängig sind (Abbildung 6.1).



**Abbildung 6.1:** Verlauf der induzierten elektrischen Feldstärke in einem Zylinderschichtmodell bei homogener magnetischer Befeldung in Richtung der Zylinderlängsachse

In ähnlicher Weise ist in einem unendlich ausgedehnten flachen Schichtmodell mit homogener magnetischer Befeldung normal zur Modelloberfläche keine Abhängigkeit der induzierten elektrischen Feldstärke von den Gewebeparametern zu erwarten (Abbildung 6.2), weil keine elektrischen Feldstärkekomponenten und damit verknüpfte elektrische Stromdichten normal zu den Gewebegrenzschichten auftreten.

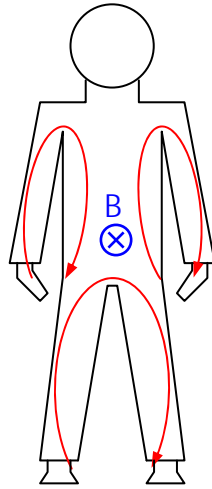


**Abbildung 6.2:** Verlauf der induzierten elektrischen Feldstärke in einem unendlich ausgedehnten flachen Gewebeschichtmodell bei homogener magnetischer Befeldung normal zur Modelloberfläche

Sobald jedoch, wie im allgemeinen Fall üblich, im Gewebe elektrische Feldstärken induziert werden, deren Normalkomponenten zu den Gewebegrenzschichten nicht verschwinden, treten Abhängigkeiten von den Leitfähigkeitswerten auf, da die Normalkomponente der elektrischen Feldstärke über grundlegende Kontinuitätsbedingungen mit den Leitfähigkeiten unmittelbar verknüpft ist.

Besonders stark tritt die Abhängigkeit der induzierten elektrischen Feldstärke von den verwendeten Gewebeleitfähigkeiten in Expositionssituationen zutage in denen zufolge von Induktionswirkung (bei magnetischer Befeldung) oder zufolge „Spitzenwirkung“ (bei elektrischer Befeldung) große elektrische Feldstärken normal zur den Gewebeschichten auftreten.

Bei vertikaler elektrischer Ganzkörperbefeldung führt dies typischer Weise zu hohen lokalen Spitzenwerten der induzierten elektrischen Feldstärken in Finger- und Zehenspitzen. Bei magnetischer Ganzkörperbefeldung spielen vor allem auch „Schleifenstrukturen“ der Körpergeometrie bzw. der Körperhaltung eine wichtige Rolle. Beispielsweise bilden die Arme jeweils mit dem Rumpf bzw. die Beine derartige „Schleifenstrukturen“ (Abbildung 6.3), die bei magnetischer Ganzkörperexposition von vorne oder hinten zu hohen, stark von der jeweils angenommenen Gewebeleitfähigkeit induzierten Feldstärken in der Haut der Finger bzw. Zehenspitzen führen können. Der dahinterstehende Mechanismus ist einfach: die entlang der „Schleife“ induzierte Spannung steht hauptsächlich an den schlecht leitfähigen Gewebeschichten, wie z.B. der Hornschicht bzw. der Haut an. Bei entsprechend geringen Schichtdicken führt dies zwangsläufig zu hohen elektrischen Feldstärken in diesen dünnen schlecht leitfähigen Schichten. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt naturgemäß bei „geschlossenen Schleifen“, d.h., wenn z.B. in Abbildung 6.3 die Fingerspitzen die Oberschenkel berühren, bzw. wenn das Körpermodell mit beiden Füßen auf gut leitfähigem Grund steht, d.h., unter geerdeten Bedingungen. Ebenso, vielleicht speziell in industrieller Umgebung relevant, ergibt sich eine ähnliche Situation, wenn man mit beiden Händen einen leitfähigen Gegenstand berührt und damit eine relativ große geschlossene Schleife mit Händen-Armen-Schultergürtel bildet. Derartige Konstellationen treten natürlich nicht nur bei großräumiger Befeldung auf, sondern ganz generell. Beispielsweise zeigen sich diese Effekte auch bei lokaler Exposition der Hände (z.B. Berührung von Zeigefinger und Daumen) und anderer Körperpartien (z.B. führt lokale Exposition des Unterleibs typischer Weise zu Feldstärke-Spitzenwerten im Bereich von Berührungspunkten von Hautfalten im Genitalbereich, z.B. Penis-Skrotum, Skrotum-Oberschenkel).



**Abbildung 6.3:** Ausgeprägte „Schleifenstrukturen“ die bei magnetischer Ganzkörperexposition von vorne bzw. hinten zu großen induzierten elektrischen Feldstärken in der Haut der Finger- und/oder Zehenspitzen führen können.

Aus den oben genannten Gründen erscheint es daher sinnvoll, die Induktionsverhältnisse in der Haut und damit zusammenhängende Effekte der Mittelungsprozedur auf Basis eines generischen Hautmodells, wie im Folgenden beschrieben, unter unterschiedlichen Expositionsbedingungen näher zu analysieren. Eine Analyse auf der Grundlage der gegenwärtig verfügbaren numerischen Ganzkörpermodelle wird an dieser Stelle als nicht sinnvoll erachtet, da in diesen Modellen die Haut nur als homogene ca. 2 mm dicke Deckschicht des Körpermodells modelliert ist. Zudem werden in diesen Modellen, zufolge beschränkter räumlicher Auflösung, anatomische Details, vor allem im Bereich der Finger, nicht adäquat nachgebildet. Beispielsweise existiert keine geschlossene subkutane Fettschicht, d.h., teilweise grenzt Haut direkt an Muskel bzw. Knochen, was naturgemäß Einfluss auf die Berechnungsergebnisse im hier betrachteten Zusammenhang haben kann.

## 6.2 Verwendete Hautmodelle

### 6.2.1 Generische Hautmodelle zur Identifikation unterschiedlicher Kopplungsmechanismen

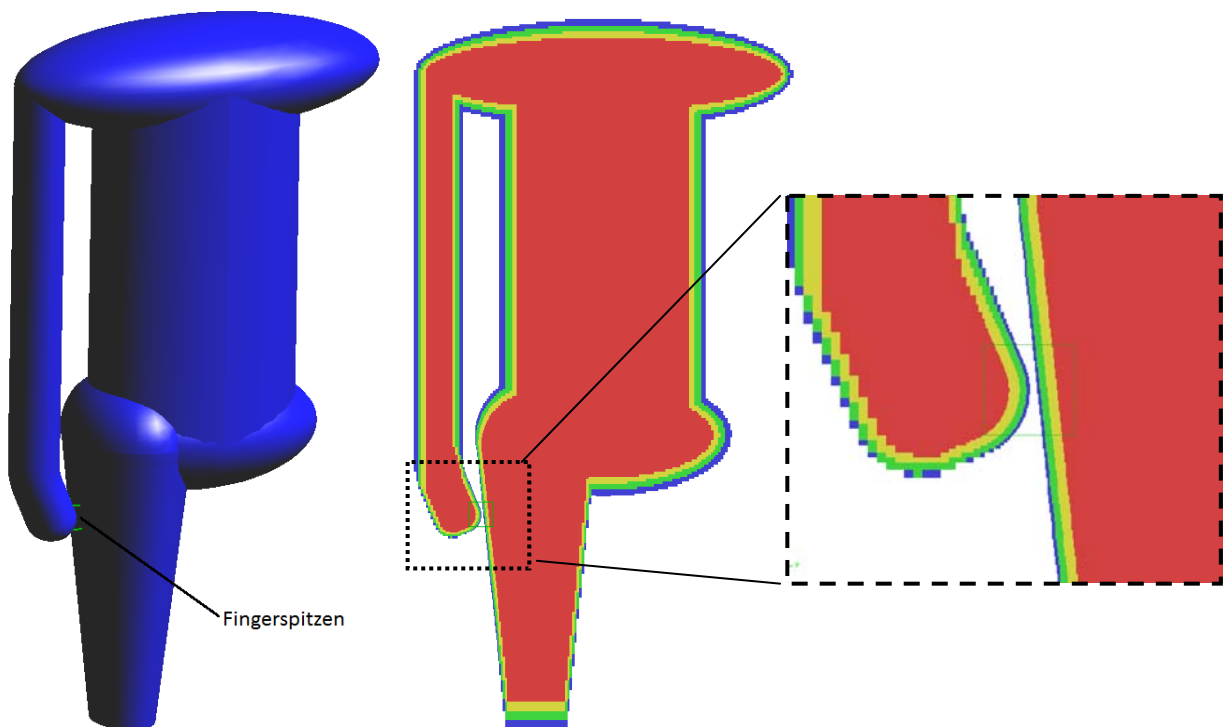
Um die oben beschriebenen Effekte bzw. Phänomene detailliert untersuchen zu können, wurden vereinfachte generische Körpermodelle mit einem Kern entsprechend Muskelgewebe und einer äußeren Hülle bestehend aus den Schichten Hornhaut, Epidermis/Dermis und Unterhautfettgewebe (Subkutis) modelliert, wobei sowohl die Verhältnisse an Fingerspitzen als auch an Hautstellen mit unterschiedlichen Krümmungsradien der Körperoberfläche untersucht wurden. Aufgrund der hohen erforderlichen räumlichen Auflösung der Hautschichten wurden die Berechnungen für die Situation der Fingerspitzen und der flachen Hautareale mit getrennten Modellen in getrennten Simulationsläufen durchgeführt. Die Dimensionen der Modelle wurden in Anlehnung an das anatomische Ganzkörpermodell eines 5 jährigen Mädchens (Roberta aus der Virtual Population) gewählt.

Abbildung 6.4 zeigt zunächst das Modell zur Untersuchung der Induktionsverhältnisse in den Fingerspitzen, mit einer typischen „Schleifenstruktur“, gebildet von einem Arm und dem Rumpf bzw. Oberschenkel, mit einer verbleibenden Distanz zwischen den Fingerspitzen und dem Oberschenkel von ca. 1,5 mm. Im interessierenden Bereich der Fingerspitzen wurden folgende realistische Schichtstärken modelliert:

Hornhaut: 0,5-0,75 mm; Epidermis/Dermis: 1,5 mm; Subkutis: 2 mm

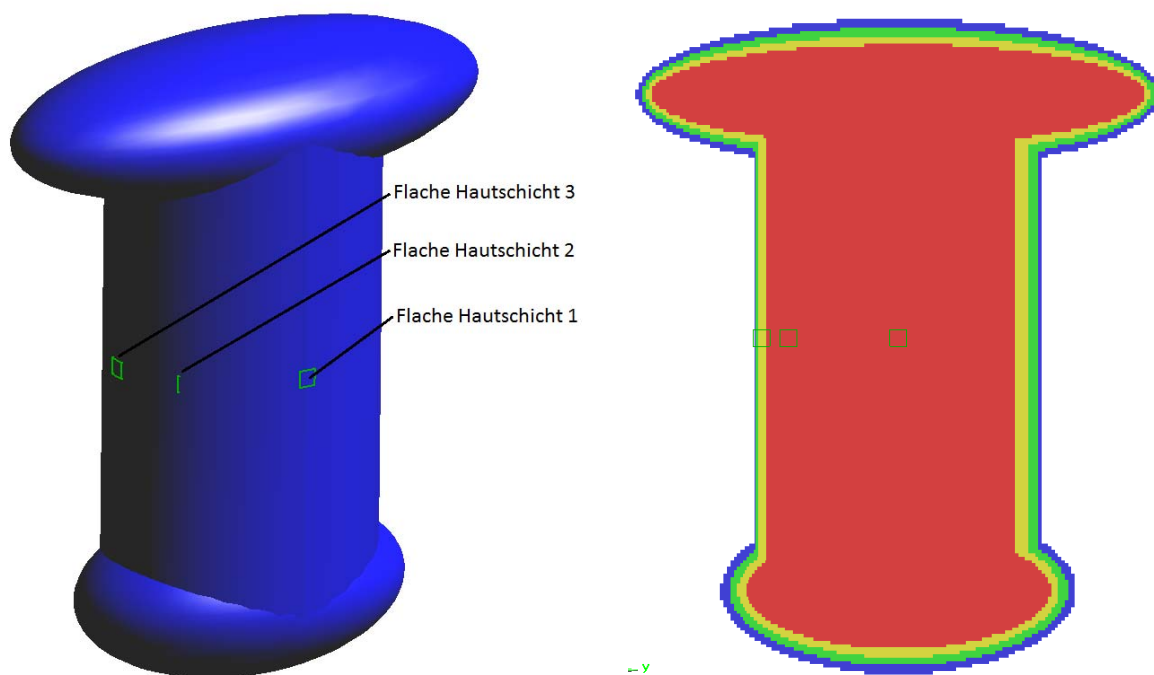


Die Berechnungen wurden mit einer räumlichen Auflösung im interessierenden Bereich von 0,25 mm durchgeführt.



**Abbildung 6.4:** Generisches Gewebeschichtmodell für die Analyse der Induktionswirkung in den Fingerspitzen; blau: Hornschicht, grün: Epidermis/Dermis, gelb: Subkutis, rot: Muskel

Abbildung 6.5 zeigt das Modell zur Untersuchung der Induktionsverhältnisse in unterschiedlich stark gekrümmten Hautarealen am Rumpf des Modells.



**Abbildung 6.5:** Generisches Gewebeschichtmodell für die Analyse der Induktionswirkung in flachen Hautarealen am Rumpf; blau: Hornschicht, grün: Epidermis/Dermis, gelb: Subkutis, rot: Muskel

In den interessierenden Bereichen wurden folgende realistische Schichtstärken modelliert:  
Hornhaut: 0,25 - 0,5 mm; Epidermis/Dermis: 1,5 - 2 mm; Subkutis: 4,5 - 5 mm

Die Berechnungen wurden wieder mit einer räumlichen Auflösung im interessierenden Bereich von 0,25 mm durchgeführt.

### 6.2.2 Dielektrische Gewebeparameter

Um den Einfluss der Gewebeleitfähigkeiten auf das Berechnungs- bzw. Mittelungsergebnis zu untersuchen, wurden die elektrischen Leitfähigkeiten von Epidermis/Dermis und Subkutis in physiologischen Schwankungsbreiten variiert. Die Leitfähigkeiten der (dünnen, keine Nervenendigungen enthaltenden) Hornschicht und von (tief liegendem und damit die Mittelung in der Haut nicht mehr beeinflussenden) Muskel wurden konstant auf den Nominalwerten gehalten (0,0002 S/m für trockene Hornhaut und 0,23 S/m für Muskel), wobei als Nominalwerte, jene aus [40] verwendet wurden. Als elektrische Leitfähigkeit für die Schicht Epidermis/Dermis wurden entweder 0,1 S/m oder 0,2 S/m angenommen. Dies wird damit begründet, dass die ICNIRP 2010 Guidelines auf Berechnungen mit einer pauschalen Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m beruhen [73] und keine anderen detaillierten Daten konkret für Epidermis und/oder Dermis in der wissenschaftlichen Literatur verfügbar sind. Für das Unterhautfettgewebe wurden einerseits 50% und andererseits 200% des Nominalwertes gemäß [40] für die Berechnungen verwendet. Die Gewebeparameterkombinationen in den insgesamt 4 Simulationsläufen pro Befeldungssituation (elektrisch bzw. magnetisch) und Hautmodell sind in Tabelle 6.1 zusammengefasst.

Simulationslauf	Schichtname	zugeordnetes Gewebe gemäß [40]	Leitfähigkeit $\sigma$ [S/m]
1	Hornhaut	Skin dry	0,0002
	Epidermis/Dermis	-	0,2
	Subkutis	SAT	0,081
	Muskel	Muscle	0,23
2	Hornhaut	Skin dry	0,0002
	Epidermis/Dermis	-	0,2
	Subkutis	SAT	0,02
	Muskel	Muscle	0,23
3	Hornhaut	Skin dry	0,0002
	Epidermis/Dermis	-	0,1
	Subkutis	SAT	0,081
	Muskel	Muscle	0,23
4	Hornhaut	Skin dry	0,0002
	Epidermis/Dermis	-	0,1
	Subkutis	SAT	0,02
	Muskel	Muscle	0,23

**Tabelle 6.1:** Zusammenfassung der Gewebeparameterkombinationen der Hautschichtenmodelle für die Berechnungen für 16 2/3 und 50 Hz

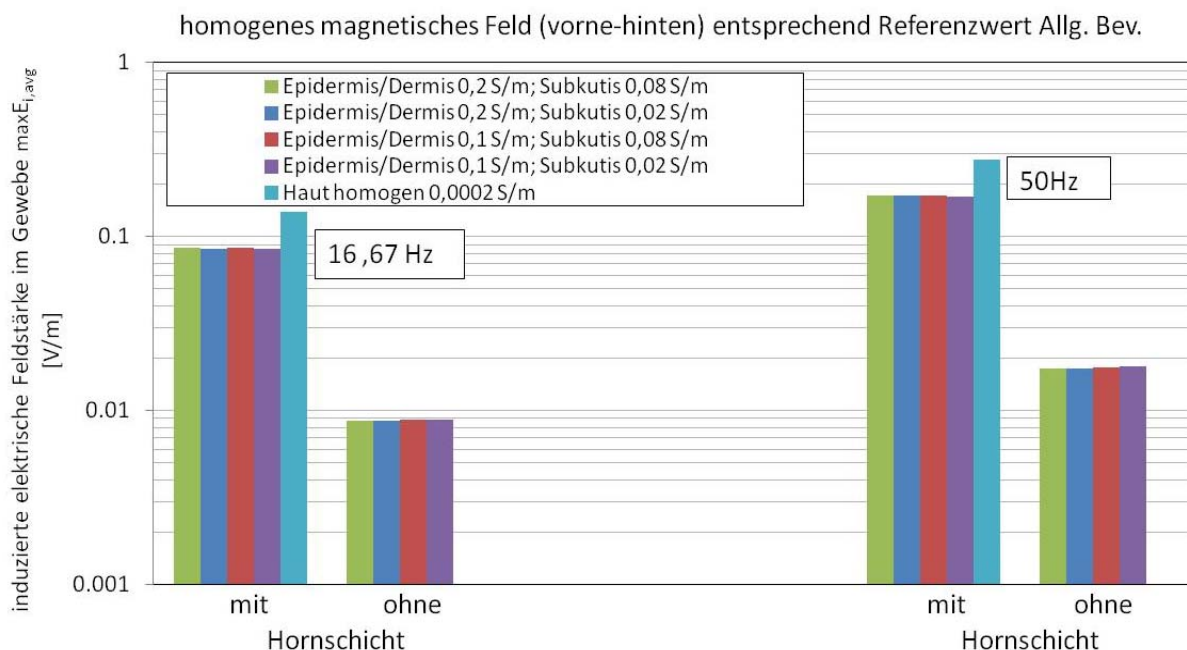
### 6.3 Berechnungsergebnisse

Die Berechnung der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,avg}$  in der Haut erfolgte gemäß der Vorgabe in ICNIRP 2010, d.h., unter Miteinbeziehung von grenzschichtnahem Unterhautgewebe bei der Mittelung. Dargestellt in den folgenden Abbildungen ist jeweils die maximale (über ein würfelförmiges  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  Volumen) gemittelte induzierte elektrische Feldstärke, unter Verwendung des in Kapitel 3 als

bestgeeignet befundenen strikten Mittelungsalgorithmus (Ws\_p100 in der Nomenklatur von Kapitel 3).

Abbildung 6.6 und Abbildung 6.7 fassen die Berechnungsergebnisse für das Modell der Fingerspitzen bei homogener magnetischer Befeldung (Magnetfeldvektor von vorne nach hinten) und elektrischer Befeldung (vertikaler Feldvektor) zusammen.

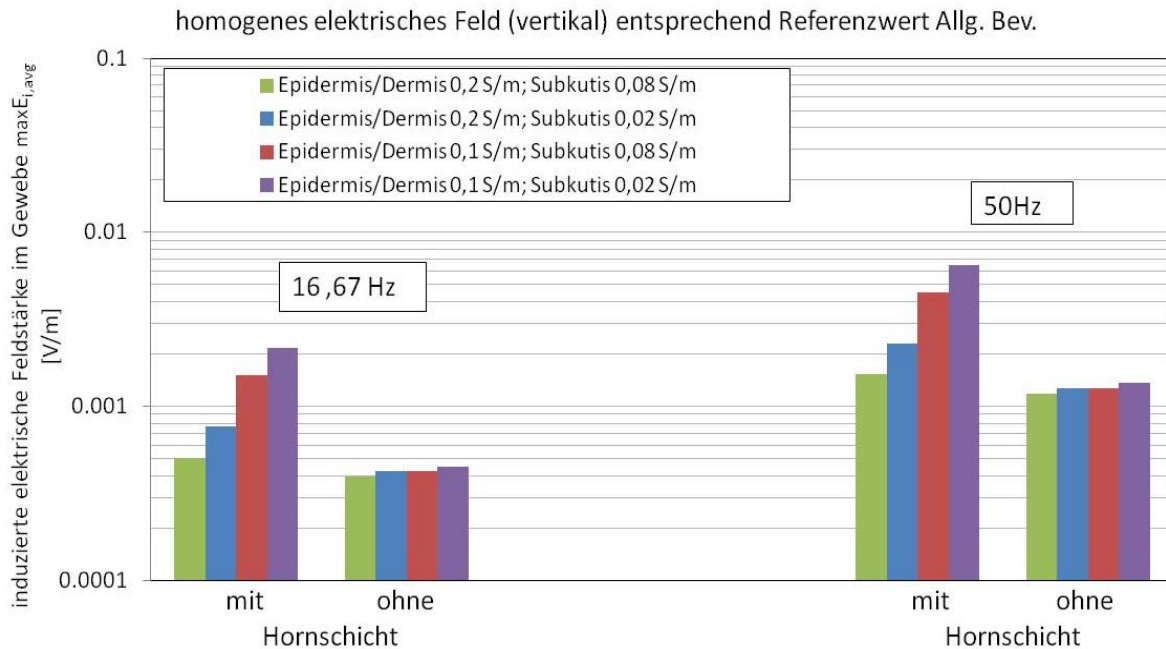
Die Ergebnisse für magnetische Exposition zeigen zunächst deutlich, dass die Behandlung der Hornschicht die entscheidende Rolle bei der Expositionsbeurteilung spielt. Wird sie in den Mittelungsprozess eingeschlossen, ergeben sich aufgrund ihrer vergleichsweise sehr geringen Leitfähigkeit (2-3 Zehnerpotenzen geringer als die Leitfähigkeit der Dermis) naturgemäß wesentlich (um ca. einen Faktor 10) höhere Ergebniswerte für  $\max E_{i,avg}$  im Vergleich zu einer Mittelung unter Ausschluss der Hornschicht. Die Validität des vereinfachten hier verwendeten Körpermodells kann anhand der Ergebniswerte für eine homogene Hautmodellierung mit einer Leitfähigkeit von 0,0002 S/m gezeigt werden (hellblaue Balken in Abbildung 6.6). Die damit erhaltenen Ergebnisse zeigen sehr gute Übereinstimmung mit den entsprechenden Ergebniswerten, die mit dem anatomischen Körpermodell Roberta berechnet wurden (vgl. Abbildung 4.14 für ungeerdete Verhältnisse). Abgesehen vom Einfluss der Hornschicht zeigt sich bei homogener magnetischer Befeldung eine nur sehr geringfügige Sensitivität der Berechnungsergebnisse bezüglich der Gewebeleitfähigkeiten. Die angenommenen, in Bezug auf die Unsicherheit der Gewebeparameter als realistisch betrachteten Variationsbreiten der Gewebeleitfähigkeiten führen auf  $\max E_{i,avg}$ -Variationen von weniger als 10%.



**Abbildung 6.6:** Berechnungsergebnisse für homogene magnetische Befeldung (vorne-hinten) des generischen Gewebeschichtmodells zur Analyse der Induktionsverhältnisse in den Fingerspitzen gemäß Abbildung 6.4

Für die Exposition in einem (vertikalen) elektrischen Feld zeigen die Ergebnisse, bei Weglassung der Hornschicht, wie auch im magnetischen Fall, eine nur sehr geringfügige Abhängigkeit von den Gewebeparametern der Haut- bzw. Unterhautgewebe (wie auch bei magnetischer Exposition weniger als 10% Variation bei den angenommenen realistischen Gewebeparametervariationsbreiten). Bei Berücksichtigung der Hornschicht im Zuge der Feldstärkemittelung zeigt sich hier jedoch ein anderes Verhalten im Vergleich zu Magnetfeldexposition. Eine Verringerung der Leitfähigkeit von Epidermis/Dermis allein führt hier zu einer überproportionalen Erhöhung von  $\max E_{i,avg}$  (Halbierung der Leitfähigkeit führt zu

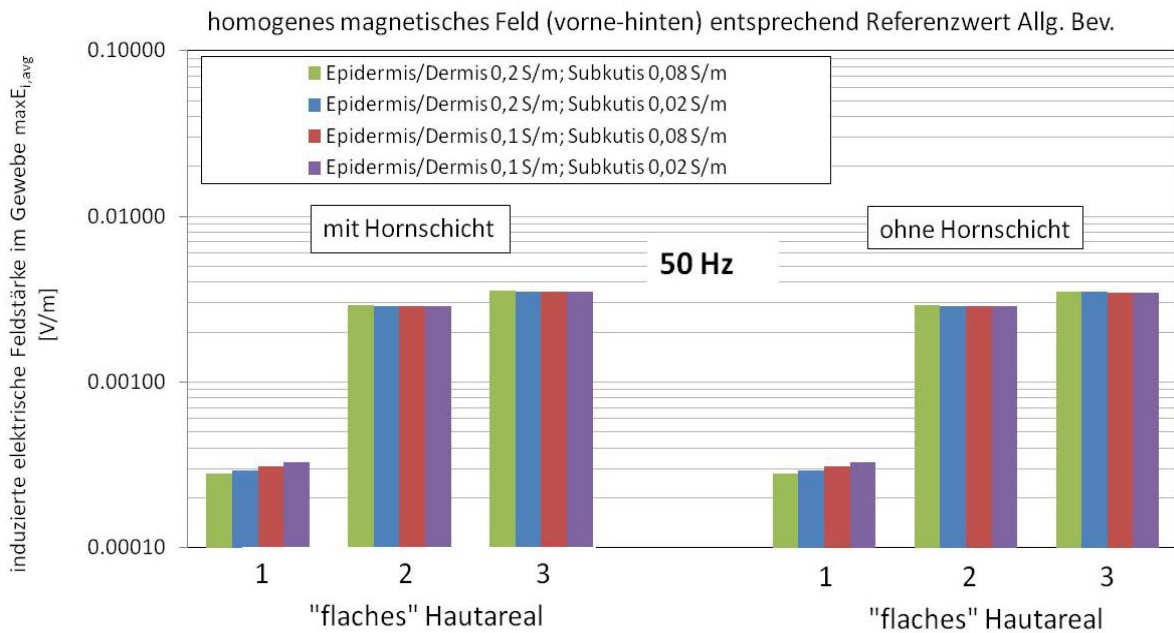
Verdreifachung von  $\max E_{i,avg}$  in der Haut und des Unterhaut-Fettgewebes). Eine Verringerung der Leitfähigkeit allein des Unterhautfettgewebes um einen Faktor 4 führt zu einer ca. 50%igen Erhöhung von  $\max E_{i,avg}$  in der Haut. Insgesamt zeigen die Ergebnisse für  $\max E_{i,avg}$  bei den angenommenen Variationsbreiten der Leitfähigkeiten eine Spannweite von ca. einem Faktor 4,3.



**Abbildung 6.7:** Berechnungsergebnisse für homogene elektrische Befeldung (vertikal) des generischen Gewebeschnittmodells zur Analyse der Induktionsverhältnisse in den Fingerspitzen gemäß Abbildung 6.4

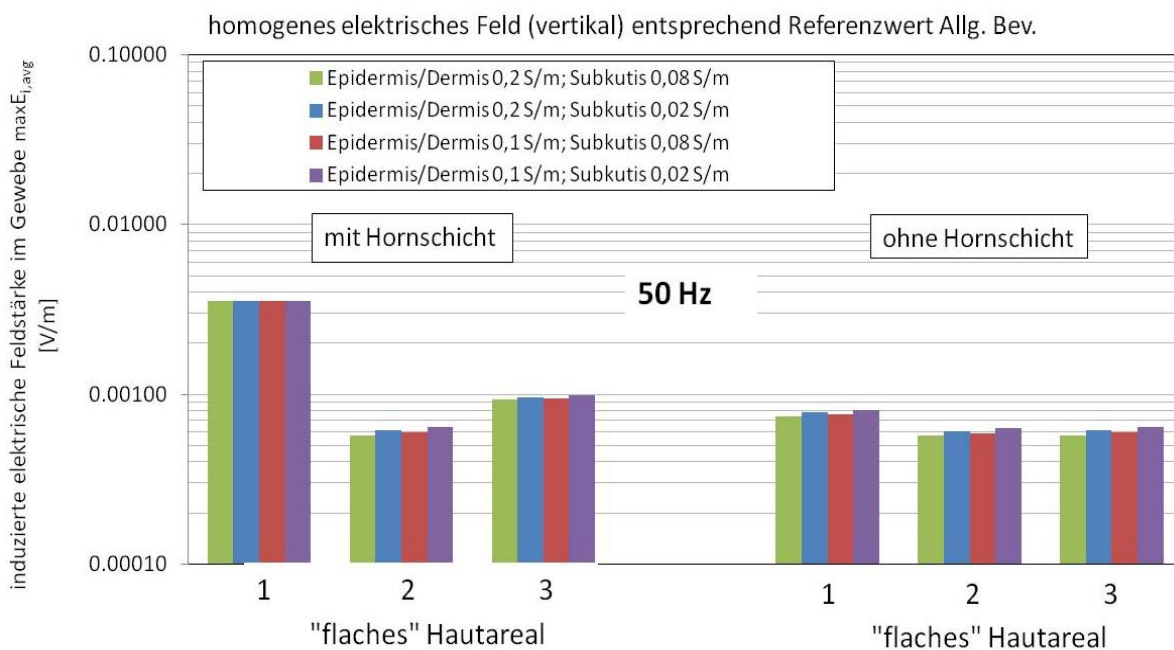
Abbildung 6.8 und Abbildung 6.9 fassen die Berechnungsergebnisse für die „flachen“ Hautschichtmodelle bei einer Frequenz 50 Hz zusammen. Die Verhältnisse bei 16,67 Hz sind qualitativ identisch, die Ergebniswerte für  $\max E_{i,avg}$  sind lediglich für magnetische Befeldung um einen Faktor 2 und für elektrische Befeldung um einen Faktor 3 geringer. Diese Faktoren ergeben sich aus dem Produkt Frequenzverhältnis (Faktor 3) und Referenzwertverhältnis (Faktor 2/3 für magnetische Befeldung und Faktor 1 für elektrische Befeldung; Abbildungen sind jeweils auf Referenzwert normiert).

Für die magnetische Befeldung zeigt Abbildung 6.8 zunächst erwartungsgemäß die geringsten Werte für  $\max E_{i,avg}$  in Hautareal 1 und die größten Werte in Hautareal 3, entsprechend größerer Induktionswirkung in peripheren Bereichen, d.h., in seitlichen Körperpartien bei Ausrichtung des äußeren Magnetfeldvektors von vorne nach hinten. Durch die Tatsache, dass aufgrund der geometrischen Verhältnisse keine nennenswerten Feldkomponenten quer zur Hautschichtung induziert werden, ergibt sich nahezu kein Unterschied der Ergebnisse zwischen dem Fall der Berücksichtigung und dem Fall der Weglassung der Hornschicht bei der Mittelwertbildung. Die sich einstellenden Variationen des Bewertungsergebnisses  $\max E_{i,avg}$  in der Haut zufolge der angenommenen Variationsbreiten der Gewebeleitfähigkeiten liegen unter den betrachteten Verhältnissen mit magnetischer Befeldung bei maximal ca. 18%.



**Abbildung 6.8:** Berechnungsergebnisse (50 Hz) für homogene magnetische Befeldung (vorne-hinten) des generischen Gewebeschichtmodells zur Analyse der Induktionsverhältnisse in drei unterschiedlichen „flachen“ Hautarealen mit unterschiedlichen Krümmungsradien und Ausrichtungen zum Magnetfeldvektor Abbildung 6.5

Abbildung 6.9 zeigt schließlich die Berechnungsergebnisse für die flachen Hautareale bei vertikaler elektrischer Befeldung. Eine nennenswerte Auswirkung der Berücksichtigung der Hornschicht auf das Berechnungsergebnis für  $\max E_{i,avg}$  zeigt sich nur in Hautareal 1 (Erhöhung von  $\max E_{i,avg}$  um ca. einen Faktor 4-5) und Hautareal 3 (Erhöhung von  $\max E_{i,avg}$  um ca. einen Faktor 1,7), nicht jedoch in Hautareal 2. Die sich einstellenden Variationen des Bewertungsergebnisses  $\max E_{i,avg}$  in der Haut zufolge der angenommenen Variationsbreiten der Gewebeleitfähigkeiten liegen unter den betrachteten Verhältnissen mit elektrischer Befeldung bei weniger als 10%.



**Abbildung 6.9:** Berechnungsergebnisse (50 Hz) für homogene elektrische Befeldung (vertikal) des generischen Gewebeschichtmodells zur Analyse der Induktionsverhältnisse in drei unterschiedlichen „flachen“ Hautarealen mit unterschiedlichen Krümmungsradien gemäß Abbildung 6.5

## 6.4 Schlussfolgerungen für die Expositionsbewertung in der Haut

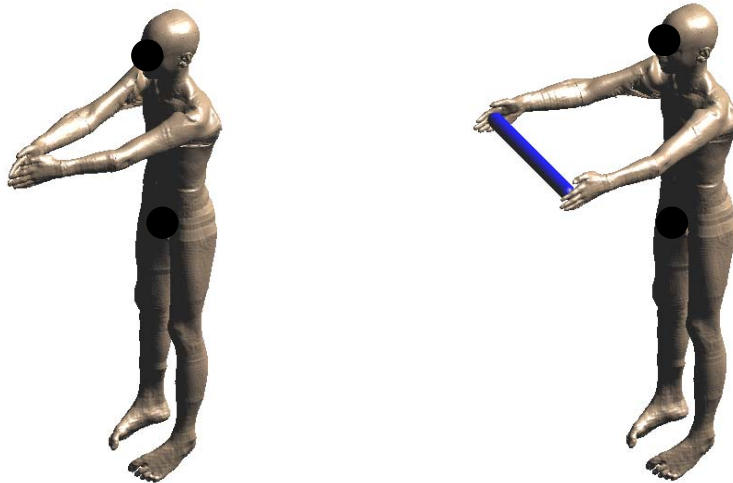
Wie in Kapitel 4 bzw. 4.4.2, sowie in [73] dargelegt, sind die in den ICNIRP-Empfehlungen aus 2010 festgesetzten Referenzwerte im Hinblick auf die Basiswerte für periphere Gewebe nur dann konservativ, wenn die (sehr niedrig leitfähige) Hornschicht bei der Ermittlung der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrische Feldstärke  $\max E_{i,avg}$  vom Mittelungsprozess ausgeschlossen wird. Andernfalls können die in der Hornschicht zufolge ihrer sehr geringen Leitfähigkeit auftretenden hohen elektrischen Feldstärken dazu führen, dass der maximale  $8 \text{ mm}^3$  Mittelwert oberhalb des Basiswertes liegt, auch wenn der Referenzwert nicht überschritten ist. Aus physiologischer Sicht ist die Nichtberücksichtigung der Hornschicht bei der Mittelwertbildung vertretbar, da sich in ihr keine Nervenendigungen befinden.

Bei Nichtberücksichtigung der Hornschicht beim Mittelungsprozess zeigt sich eine relativ geringe Sensitivität der Berechnungsergebnisse für  $\max E_{i,avg}$  bezüglich Variationen der Leitfähigkeit von Haut und Unterhautfettgewebe. Bei Variation der Leitfähigkeit der Epidermis/Dermis um einen Faktor 2, sowie jener des Unterhautfettgewebes um einen Faktor 4 lag die maximale Variationsbreite von  $\max E_{i,avg}$  bei weniger als 18%. Unter diesen genannten Bedingung, d.h., Nichtberücksichtigung der Hornschicht beim Mittelungsprozess, stellen die Unsicherheiten bezüglich der dielektrischen Eigenschaften der Haut daher offensichtlich ein nur untergeordnetes Problem in Zusammenhang mit der Frage der Konservativität Referenzwerte im Hinblick auf die Basiswerte für periphere Gewebe dar.

Allerdings zeigt die Gesamtschau der Berechnungsergebnisse ein mögliches grundsätzliches Problem in ICNIRP 2010 empfohlenen Bewertungsverfahren in Zusammenhang mit der Expositionsbewertung in der Haut, und zwar in Fällen, bei denen direkter Hautkontakt zwischen den Endpunkten „schleifenbildender“ Körperteile oder direkter Hautkontakt zu leitfähigen Objekten besteht, die gemeinsam mit Körperteilen große Schleifenstrukturen bildet in die ein externes Magnetfeld effektiv einkoppeln kann.

Der erstgenannte Fall tritt beispielsweise auf, wenn bei einer Person Kontakt zwischen den Fingern der linken und rechten Hand besteht. Im linken Teilbild von Abbildung 6.10 ist dies anhand einer Person dargestellt, deren Fingerspitzen der linken und rechten Hand sich bei vor dem Körper ausgestreckten Armen berühren. In diesem Fall würde ein vertikal ausgerichtetes Magnetfeld in die von Fingern, Armen und Schultergürtel gebildete Schleife sehr effektiv einkoppeln und in dieser Schleife zu einer Induktionsspannung führen. Die vorgestreckten Arme sind dabei natürlich keine notwendige Bedingung. Der gleiche Effekt stellt sich bei vor dem Körper mit hängenden Armen gehaltenen und sich berührenden Händen bzw. Fingern und einem frontal einwirkenden Magnetfeld ein. Ebenso entstehen derartige Schleifen bei seitlich hängenden Armen und Berührung der Finger im Bereich der Oberschenkel oder auch (jedoch entsprechend kleiner) durch Berührung der Finger einer Hand (z.B., Berührung von Daumen und Zeigefinger beim Umfassen eines Gegenstandes).

Der zweitgenannte Fall, bei dem ein leitfähiges Objekt gemeinsam mit Körperteilen eine geschlossene Induktionsschleife bildet tritt beispielsweise dann auf, wenn eine Person mit beiden Händen einen leitfähigen Gegenstand berührt. Im rechten Teilbild von Abbildung 6.10 ist ein solcher Fall anhand einer Person dargestellt, die eine ca. 50 cm lange Metallstange zwischen beiden Händen bei vor dem Körper ausgestreckten Armen hält. Dies ist eine Situation, wie Sie vor allem im beruflichen Umfeld als realistisch angesehen werden muss. Der in Kapitel 4 und insbesondere in Kapitel 4.2.3 ausführlich diskutierte Fall der Induktionsverhältnisse bei geerdetem Körpermodell entspricht ebenfalls dieser Kategorie von Expositionssituationen.



**Abbildung 6.10:** Beispiele für Situationen in denen es zu Haut-Haut Kontakt (linkes Bild) bzw. zu Kontakt zwischen einem leitfähigen Objekt (blau im rechten Bild) und Haut bei gleichzeitiger Bildung großer Schleifenstrukturen kommt, in die ein externes (in diesem Fall vertikales) Magnetfeld effektiv einkoppeln kann.

In allen oben genannten Situationen (auch bei Haut-Haut Kontakt ohne Berührung leitfähiger Objekte) kommt es zur Induktion einer Spannung entlang der gebildeten Schleife. Die Größe dieser Spannung  $U$  kann, unter der Annahme eines exakt orthogonal zur Schleifenfläche ausgerichteten Magnetfeldvektors, sehr einfach aus dem Induktionsgesetz in Abhängigkeit von der Frequenz  $f$ , der Schleifenfläche  $A$  und der magnetischen Flussdichte  $B$  abgeschätzt werden:

$$U = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot B \cdot A$$

Bei Annahme eines Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung von  $200 \mu\text{T}$  bei  $50 \text{ Hz}$  und einer Schleifenfläche in einer realistischen Größenordnung von  $0,25\text{--}0,5 \text{ m}^2$  ergeben sich beispielsweise induzierte Spannungen in der Größenordnung von  $16\text{--}32 \text{ mV}$ . Natürlich wird diese Spannung verteilt entlang der gesamten Schleife und nicht punktuell in der Haut induziert. Allerdings ist zu beachten, dass aufgrund des anatomischen Aufbaus des Körpers (Strukturausrichtung, z.B. von Muskel, Blutbahnen, usw. hauptsächlich längs der Schleife) angenommen werden muss, dass die innere Impedanz in Schleifenlängsrichtung relativ gering ist. Die im Bereich der Kontaktpunkte zwangsläufig quer zur Schleifenlängsrichtung liegenden relativ niedrigleitfähigen Schichten der Haut bzw. des darunterliegenden subkutanen Fettgewebes steuern somit einen wesentlichen Beitrag zur Gesamtimpedanz der Schleife bei. Dies bedeutet aber gleichzeitig, dass an diesen Schichten auch ein wesentlicher Teil der induzierten Spannung ansteht, was aufgrund der geringen Schichtstärken zu relativ hohen elektrischen Feldstärken in diesen Gewebeschichten führen kann, die in ungünstigen Situationen zu Konflikten mit den Basiswerten führen können.

Dieser Mechanismus erklärt auch die bei magnetischer Befeldung mit den Referenzwerten unter geerdeten Bedingungen auftretenden Basiswertüberschreitungen, wie sie in Kapitel 4 bei Annahme eines Hautleitfähigkeitswertes von  $0,0002 \text{ S/m}$  beschrieben sind. Eine derart geringe Hautleitfähigkeit liegt Größenordnungen unterhalb der Leitfähigkeit aller anderen Gewebe, sodass in diesem Fall angenommen werden kann, dass die gesamte entlang der Induktionsschleife (in diesem Fall gebildet von Beinen Füßen und ideal leitfähiger Erde) induzierte Spannung an der Haut (je  $2\text{--}5 \text{ mm}$  an linker und rechter Fußsohle) ansteht. Damit können sich Feldstärken in der Haut im Bereich von mehreren Volt pro Meter ergeben, was deutlich oberhalb des zugrundeliegenden Basiswertes liegt. Verwirft man, wie bereits oben diskutiert, die Miteinbeziehung der Hornschicht bei der Bewertung und verwendet einen physiologisch wahrscheinlich sinnvollerem Hautleitfähigkeitswert in der Größenordnung von  $0,1 \text{ S/m}$  so wird sich die Situation naturgemäß entschärfen. Allerdings muss beachtet

werden, dass für die subkutane Fettschicht elektrische Leitfähigkeitswerte in der Größenordnung von 0,04 S/m (bei 50 Hz) dokumentiert sind, wodurch diese Gewebeschicht bei der Bewertung gegenüber der Haut an Bedeutung gewinnt. Damit ist zu erwarten, dass einer anatomisch korrekten Modellierung der Haut in den Kontaktpunkten (inklusive darunter liegender subkutaner Fettschicht) substantielle Bedeutung bei der Bewertung der angesprochenen Expositionssituationen zukommt, wobei die zu erwartende Abhängigkeit von der effektiv wirksamen Kontaktfläche (vgl. Kapitel 4.2.3) die Situation zusätzlich verkompliziert.

Eine der bereits an dieser Stelle absehbaren und dringend klärungsbedürftigen Fragen im Hinblick auf Referenzwerte, die definitionsgemäß auch konservativ im Hinblick auf die Basiswerte für periphere Gewebe (inkl. Haut) sein sollen, ist daher die Frage nach der bestmöglichen numerischen Modellierung der Haut unter den vorgegebenen Randbedingungen der gegenwärtig verfügbaren Hard- und Softwareressourcen.

Stellt man den in Kapiteln 4 und 6 dokumentierten Berechnungsergebnissen und den oben angestellten Überlegungen die Grundlagen für die Festsetzung der Referenzwerte in ICNIRP 2010 gegenüber, nämlich

- Annahme einer homogenen 2 mm dicken Hautschicht (Leitfähigkeit von 0,1 S/m)
- Annahme ausschließlich aufrecht stehender Körpermodelle mit seitlich hängenden Armen, ohne distale Berührungspunkte mit anderen Körperteilen
- kein Kontakt der Körpermodelle zu leitfähigen Objekten bei magnetischer Befeldung (auch keine geerdeten Körpermodelle)
- keine detaillierten Angaben über Erdungsverhältnisse bei elektrischer Befeldung (Kontaktfläche zu Erde)

so stellt sich die Frage, ob die gegenwärtig in ICNIRP 2010 festgesetzten Referenzwerte die Einhaltung der Basiswerte in peripheren Geweben tatsächlich in ausreichendem Maße sicherstellen. Auf Basis der vorliegenden Berechnungsergebnisse ist damit zu rechnen, dass in ungünstigen, in der Praxis nicht auszuschließenden Situationen, selbst bei Einhaltung der Referenzwerte, die in der Haut auftretenden  $\max E_{i,avg}$  Werte die Basiswerte für periphere Gewebe um mehr als den bei der Festsetzung der Basiswerte berücksichtigten Reduktionsfaktor überschreiten.

Insgesamt muss daher festgestellt werden, dass im Hinblick auf eine sinnvolle und konsistente Expositionsbewertung in der Haut offensichtlich noch Forschungsbedarf besteht.

In Zusammenhang mit der oben diskutierten Problematik soll an dieser Stelle auch noch eine Anmerkung bezüglich der Festsetzung der Auslösewerte in der bis Mitte 2016 in nationales Recht der Mitgliedstaaten verbindlich umzusetzenden „Arbeitnehmerschutzrichtlinie“ 2013/35/EU gemacht werden. Die in dieser, im Juni 2013 veröffentlichten Richtlinie festgelegten Auslösewerte für den Niederfrequenzbereich entsprechen im Wesentlichen den Referenzwerten für berufliche Exposition in ICNIRP 2010. Allerdings wurden in 2013/35/EU die Auslösewerte im Bereich der Gliedmaßen, mit dem Argument eines gegenüber dem Rumpf geringeren Einkoppelquerschnitts um einen Faktor 3 höher als die Referenzwerte in ICNIRP 2010 festgesetzt. Auf Basis der oben angestellten Überlegungen ist davon auszugehen, dass dies die Situation betreffend der Expositionsbewertung in der Haut für Arbeitsplatz-spezifische Expositionsszenarien besonders verschärft, da, wie oben angeführt, in Situationen mit Hautkontakt, der Einkoppelquerschnitt der Gliedmaßen selbst nur von untergeordneter Bedeutung für die in der Haut auftretende elektrische Feldstärke ist. Zudem muss im Auge behalten werden, dass der den ICNIRP 2010 Basiswerten für berufliche Exposition innewohnende Reduktionsfaktor deutlich geringer als jener für Allgemeinbevölkerung ist.

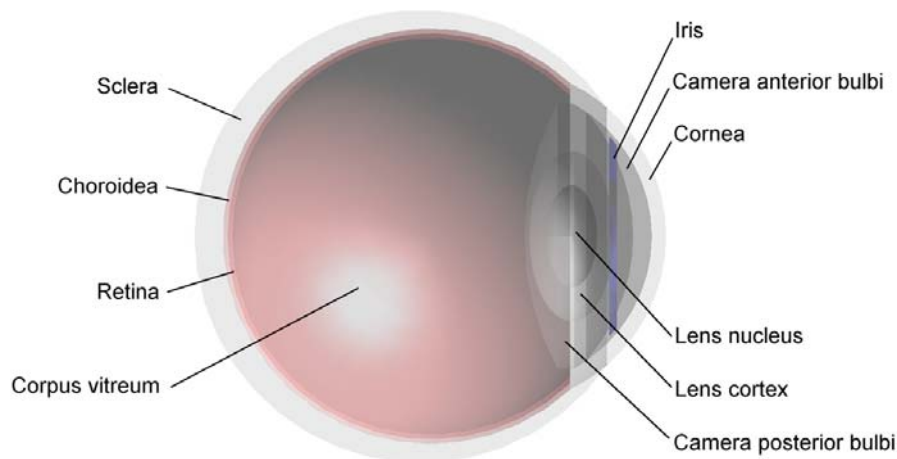


# 7 BERECHNUNGEN FÜR DIE RETINA

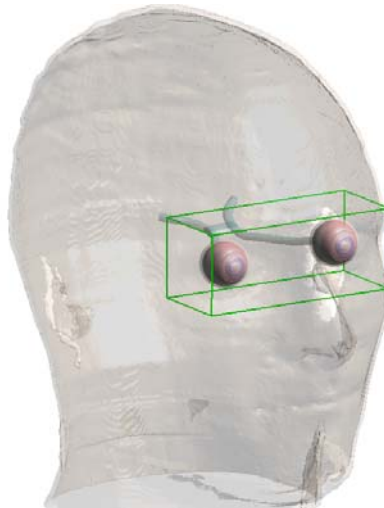
## 7.1 Verwendetes Augenmodell

### 7.1.1 Generische Modellierung des Auges

Da die gegenwärtig verfügbaren anatomischen Körpermodelle im Bereich der Augen keine ausreichende Auflösung für gewebespezifische Analysen in der Retina besitzen, wurde ein generisches Augenmodell entwickelt (Abbildung 7.1) und in ein verfügbares anatomisches männliches Körpermodell eines Erwachsenen (Duke aus der „Virtual Family“) integriert (Abbildung 7.2).



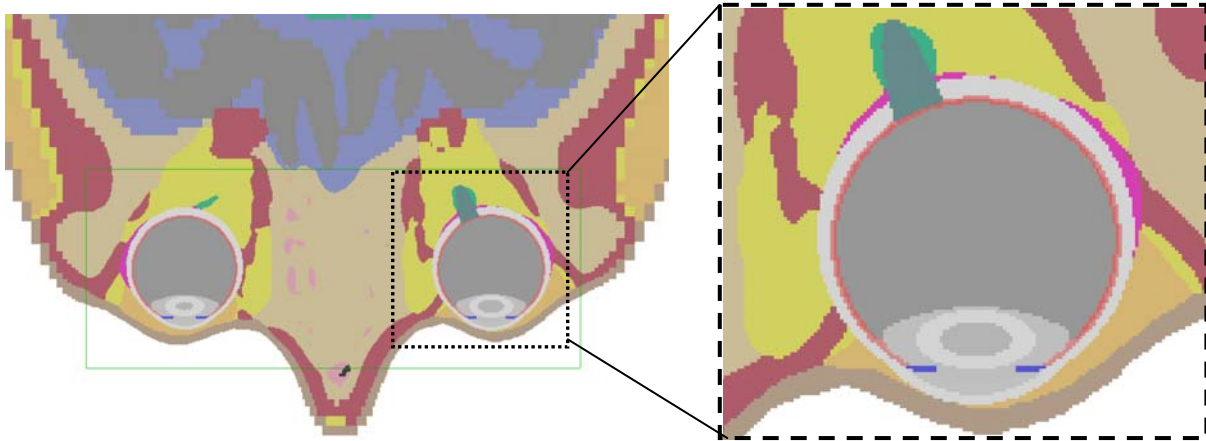
**Abbildung 7.1:** Generisches detailliertes Augenmodell für die Analyse der Induktionswirkung in der Retina



**Abbildung 7.2:** Generisches detailliertes Augenmodell beidseitig integriert in das anatomische Körpermodell „Duke“ aus der Virtual Family

In diesem Augenmodell werden insgesamt 10 unterschiedliche Gewebebereiche im Auge unterschieden (siehe Abbildung 7.1). Abbildung 7.3 zeigt einen Horizontalschnitt durch das Modell.

Die räumliche Auflösung in den interessierenden Gewebebereichen (grün umrandeter Bereich in Abbildung 7.2 und Abbildung 7.3) betrug bei allen Berechnungen 0,25 mm.



**Abbildung 7.3:** Voxel-Schnittbilddarstellung des generischen Augenmodells integriert in das anatomische Körpermodell „Duke“ aus der Virtual Family

### 7.1.2 Dielektrische Gewebeparameter

Für 5 Gewebe (Cornea, Sklera, Corpus Vitreum, Linsenkortex und Linsenkern) sind in [40] dielektrische Parameter definiert. Für die anderen im Augenmodell unterschiedenen Gewebebereiche wurden anhand anatomischer bzw. physiologischer Überlegungen entsprechende Gewebeparameter zugewiesen. Tabelle 7.1 fasst die verwendeten Nominalwerte der Gewebeparameter für 16 Hz und 50 Hz zusammen<sup>1</sup>. Für die Analyse der Sensitivität der gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke in der Retina wurden die elektrischen Leitfähigkeiten unabhängig voneinander wie folgt variiert:

- Nominalwerte für alle Gewebe
- alle Augengewebe außer Retina um 50% erhöht, Retina auf Nominalwert
- alle Augengewebe außer Retina um 50% reduziert, Retina auf Nominalwert
- Retina um 50% erhöht, Nominalwerte für alle anderen Augengewebe
- Retina um 50% reduziert, Nominalwerte für alle anderen Augengewebe

Gewebe	Leitfähigkeit (Nominalwert) bei 16-50 Hz $\sigma$ [S/m]
Sklera	0,502
Cornea	0,416
Camera anterior bulbi	1,500
Choroidea	0,300
Retina	0,100
Corpus Vitreum	1,500
Camera posterior bulbi	1,500
Iris	0,300
Linse cortex	0,321
Linse Kern	0,200

**Tabelle 7.1:** Zusammenfassung der Gewebeparameter des Augenmodells

<sup>1</sup> Die Unterschiede der Leitfähigkeiten zwischen 16 Hz und 50 Hz gemäß [40] betragen weniger als 1,6% und sind daher vernachlässigbar.

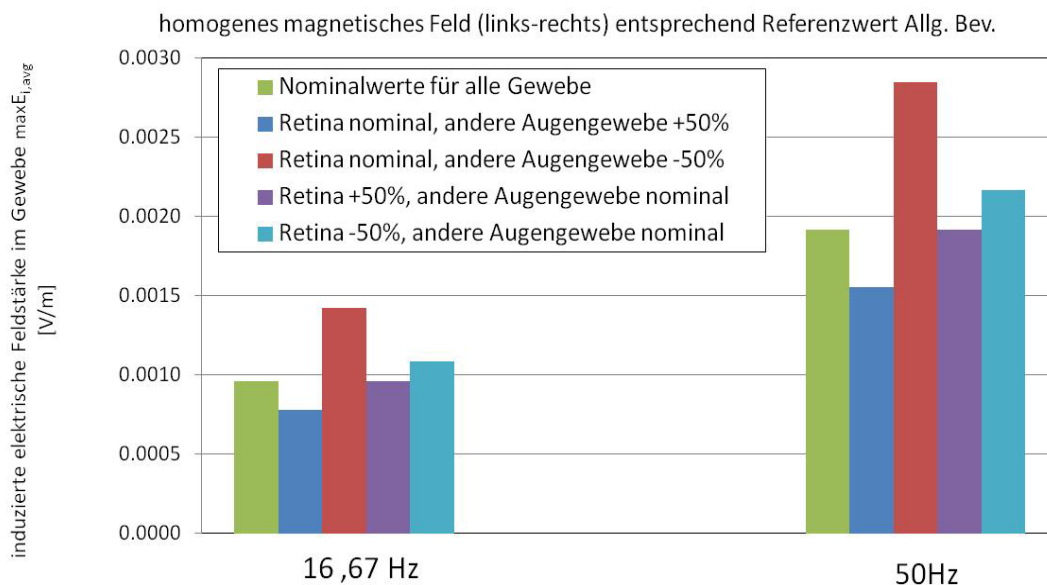
## 7.2 Berechnungsergebnisse

Die Berechnung der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke in der Retina erfolgte gemäß der Vorgabe in ICNIRP 2010, d.h., unter Miteinbeziehung von grenzschichtnahem umgebenden Gewebe bei der Mittelung. Dargestellt in den folgenden Abbildungen ist jeweils die maximale (über ein würfelförmiges  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  Volumen) gemittelte induzierte elektrische Feldstärke  $\max E_{i,avg}$ , unter Verwendung des in Kapitel 3 als bestgeeignet befundenen strikten Mittelungsalgorithmus ( $Ws\_p100$  in der Nomenklatur von Kapitel 3).

Vorangestellte Berechnungen mit Nominal-Gewebeparametern und unterschiedlicher Orientierung der Feldvektoren (vertikal, vorn-hinten, links-rechts) zeigten für die Retina maximale induzierte Feldstärken bei magnetischer Befeldung mit links-rechts gerichtetem Feldvektor (in Übereinstimmung mit [77]) und bei elektrischer Befeldung mit Feldvektorausrichtung von vorne nach hinten.

Abbildung 7.4 fasst die Berechnungsergebnisse für homogene magnetische Befeldung mit lateral (links-rechts) gerichtetem Magnetfeldvektor zusammen. Das Maximum der gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke in der Retina trat dabei immer im linken Auge auf. Die Abweichung zwischen linkem und rechtem Auge betragen weniger als 10% und sind auf anatomische Asymmetrien im Modell zurückzuführen.

Erwartungsgemäß wirkt sich eine Verminderung der elektrischen Leitfähigkeit der die Retina umgebenden Gewebe stärker (im Sinne höherer induzierter Feldstärke) aus, als eine Verminderung der Leitfähigkeit der Retina allein. Dies ist plausibel, da aufgrund der deutlich unter 1 mm dicken Retina die umgebenden Gewebe wesentlich mehr zum Mittelungsvolumen beitragen als die Retina selbst. Aufgrund der Leitfähigkeitsverhältnisse im Auge ist die Lage des maximalen Mittelwertes der induzierten elektrischen Feldstärke immer in Richtung der (im Vergleich zum Glaskörper schlechter leitfähigen) Sklera versetzt. Eine 50%ige Verminderung der elektrischen Leitfähigkeit der Retina allein führt zu einer Erhöhung des maximalen induzierten Feldstärkemittelwertes um ca. 15%. Eine Verminderung der elektrischen Leitfähigkeit der die Retina umgebenden Gewebe um 50% erhöht den maximalen Feldstärkemittelwert jedoch um ca. 48%.

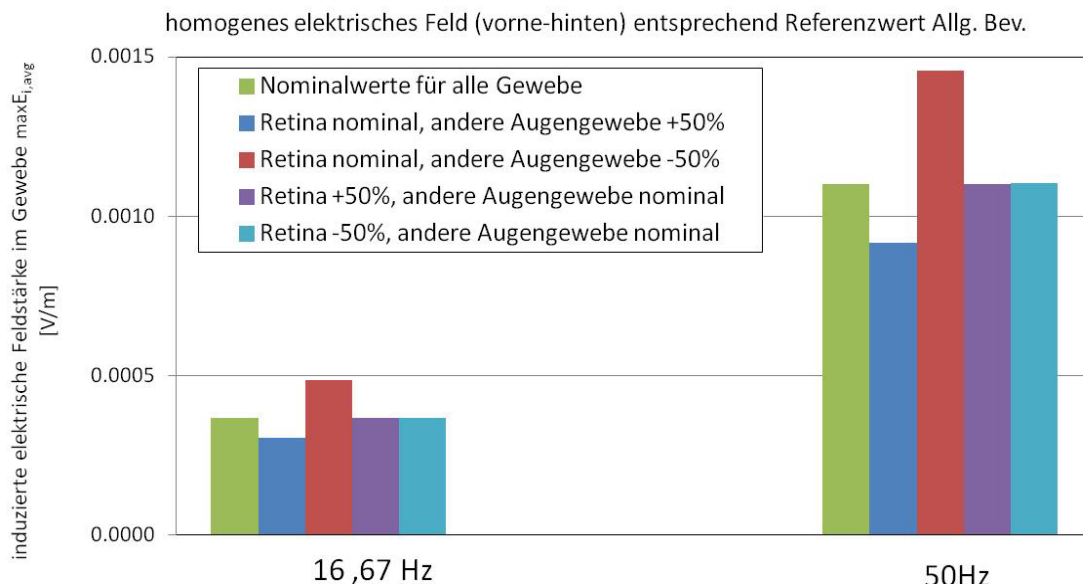


**Abbildung 7.4:** Maximale in der Retina induzierte über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  würfelförmiges Gewebe gemittelte elektrische Feldstärke für unterschiedliche Gewebeparametervariationen bei homogener magnetischer Befeldung (links-rechts) entsprechend dem Referenzwert für Allgemeinbevölkerung bei 16,67 und 50 Hz

Die Ergebnisse zeigen allerdings auch, dass man sich unter den angenommenen Bedingungen noch relativ weit entfernt (mehr als einen Faktor 7) von den Basiswerten für die Allgemeinbevölkerung befindet (0,01 V/m bzw. 0,02 V/m bei 16,67 Hz bzw. 50 Hz) und damit ausreichend Reserve für Unsicherheiten der Gewebeleitfähigkeiten besteht.

Abbildung 7.5 zeigt die Berechnungsergebnisse für homogene elektrische Befeldung mit von vorne nach hinten gerichtetem elektrischem Feldvektor. Das Maximum der gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke in der Retina trat dabei wieder durchgehend im linken Auge auf, was wieder auf anatomische Asymmetrien zurückgeführt werden kann (Abweichung zwischen linkem und rechtem Auge weniger als 9%).

Bezüglich der Sensitivität der Berechnungsergebnisse auf Variationen der elektrischen Leitfähigkeiten zeigt sich hier ein qualitativ ähnliches Bild wie im Fall der magnetischen Befeldung, wenngleich die Sensitivität bezüglich Leitfähigkeitsvariationen quantitativ geringer ist als im Fall der magnetischen Exposition. Variationen um  $\pm 50\%$  der elektrischen Leitfähigkeiten der Retina allein wirken sich nur marginal ( $< 1\%$ ) auf die induzierte Feldstärke aus. Eine 50%ige Erhöhung der Leitfähigkeit der die Retina umgebenden Gewebe führt zu einer Erhöhung des induzierten Feldstärkemittelwertes um ca. 32%.



**Abbildung 7.5:** Maximale in der Retina induzierte über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  würfelförmiges Gewebe gemittelte elektrische Feldstärke für unterschiedliche Gewebeparametervariationen bei homogener elektrischer Befeldung (vorne-hinten) entsprechend dem Referenzwert für Allgemeinbevölkerung bei 16,67 und 50 Hz

Zudem liegen die Werte der in der Retina induzierten maximalen Feldstärkemittelwerte bei elektrischer Exposition mit dem Referenzwert deutlich (ca. Faktor 3 bei 16,67 Hz und Faktor 1,6 - 2 bei 50 Hz) unter den Vergleichswerten für magnetische Exposition.

### 7.3 Schlussfolgerungen für die Expositionsbewertung in der Retina

Die Berechnungsergebnisse zeigen bei Anwendung der in ICNIRP 2010 empfohlenen Mittelungsstrategie für die Retina (Mittelungsvolumen darf sich in benachbarte Gewebe erstrecken) bei magnetischer Befeldung eine nahezu proportionale Abhängigkeit zwischen der maximalen, über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i, \text{avg}}$  in der Retina und der elektrischen Leitfähigkeit des die Retina umgebenden Gewebe. D.h., Unsicherheiten in den elektrischen Eigenschaften der die Retina umgebenden Gewebe bilden sich unmittelbar (nahezu proportional) in den induzierten Feldstärken in der Retina ab. Eine ähnliche, jedoch weniger stark ausgeprägte Abhängigkeit zeigt sich auch bei Exposition gegenüber elektrischen Feldern.

Bezüglich der Frage, ob es dadurch in der Retina zu Basiswertüberschreitungen bei Exposition mit dem Referenzwert oder darunter kommen kann, ist jedoch, unter Annahme einer Unsicherheit der elektrischen Gewebeleitfähigkeiten von bis zu einem Faktor 2 [34] Entwarnung zu geben, da die Absolutwerte der induzierten Feldstärkemittelwerte in der Retina bei externen Feldstärken entsprechend den Referenzwerten deutlich unterhalb der Basiswerte liegen. Bei magnetischer Befeldung mit dem Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung und nominalen Gewebeparametern liegt  $\max E_{i,avg}$  in der Retina bei 0,96 mV/m (16,67 Hz) bzw. 1,92 mV/m (50 Hz), d.h. bei weniger als 10% der entsprechenden Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung. Die Berechnungen für elektrische Befeldung führen auf  $\max E_{i,avg}$  Werte in der Retina entsprechend 3,7% (16,67 Hz) bzw. 5,5% (50 Hz). Die daraus ableitbare Schlussfolgerung, dass die Induktionswirkung in der Retina nicht der dominante Faktor für die Festlegung der Referenzwerte zu sehen ist, deckt sich mit der vorliegenden Literatur [3]. Diese Zahlen zeigen, dass selbst bei Annahme einer additiven Wirkung elektrischer und magnetischer Exposition und einer Berechnungsunsicherheit zufolge der Gewebeleitfähigkeiten von einem Faktor 2 noch ausreichend Reserve zum Basiswert besteht.

## 8 SCHLUSSFOLGERUNGEN

### 8.1 Bestgeeignete Bewertungsgröße für die intrakorporale elektrische Feldstärke

Auf Basis der vor allem in Kapitel 3 dokumentierten Ergebnisse lassen sich, unter der Voraussetzung, dass die von ICNIRP 2010 getroffene Wahl eines  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  großen Mittelungsvolumens physiologisch sinnvoll und richtig ist, bezüglich der numerischen räumlichen Mittelung und der Bewertung der intrakorporalen Feldstärken folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Von einer Perzentilbildung vor dem Vergleich mit den Basiswerten ist abzuraten, da sie potenziell zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Expositionssituation führt. Je nach Expositionssituation, Feldverteilung und betrachtetem Gewebe kann das Ausmaß der Unterschätzung beträchtlich sein.
- Um numerische Unsicherheiten und Artefakte zufolge einer im Verhältnis zum Mittelungsvolumen von  $8 \text{ mm}^3$  großen Gitterschrittweite im Rechenraum zu vermeiden bzw. innerhalb vertretbarer Grenzen zu halten, sollte die Gitterschrittweite keinesfalls größer als 1 mm, wenn ressourcentechnisch möglich nicht größer als 0,5 mm gewählt werden.
- Rechentechnisch einfach zu implementierende strikte Mittelungsverfahren, d.h., Bildung eines gewebespezifischen Mittelwertes nur dann, wenn alle an das betrachtete Voxel angrenzenden Feldstärkekomponenten innerhalb des Zielgewebes liegen, andernfalls Verwerfung der Mittelwertbildung im betrachteten grenzschichtnahen Voxel, führen bei hinreichend guter Auflösung des Rechengitters (Gitterschrittweite  $\leq 1 \text{ mm}$ ) zu hinreichend genauen Ergebnissen. Der Aufwand für komplexere Verfahren mit Inter- bzw. Extrapolationen zur Grenzschicht ist nicht rechtfertigbar.

Unter den eingangs erwähnten Voraussetzungen ist daher der mittels eines einfachen Algorithmus über ein  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  großes Volumen gebildete maximale vektorielle Mittelwert ein adäquates Bewertungsmaß, sofern die räumliche Auflösung des Rechengitters nicht schlechter als 1 mm ist. Grenzschichtnahe Voxel deren elektrische Feldkomponenten nicht mehr alle im Zielgewebe liegen, können dann im Zuge der Mittelwertbildung ignoriert werden, ohne dass inakzeptable Fehlbewertungen der Exposition befürchtet werden müssen.

### 8.2 Konservativität von Referenzwerten im Hinblick auf die Einhaltung der Basiswerte für CNS-Gewebe

Aus den in Kapitel 4 und Kapitel 7 beschriebenen Berechnungsergebnissen ergibt sich kein Hinweis darauf, dass die in ICNIRP 2010 festgesetzten Referenzwerte für die magnetische Feldstärke nicht konservativ im Hinblick auf die Basiswerte für CNS-Gewebe (inklusive Retina) werden. D.h., bei Einhaltung der Referenzwerte ist auch die Einhaltung der CNS-Basiswerte sichergestellt. Auch bei Zuschlag verbleibender Unsicherheiten (z.B. zufolge unterschiedlicher Körperhaltungen, Körpermodelle, Staturen, Gewebeparameter) kann daher von ausreichendem Schutz des CNS-Gewebe im Sinne der ICNIRP 2010 durch die Referenzwerte für die magnetische Feldstärke im Frequenzbereich bis 10 MHz ausgegangen werden, insbesondere bei Berücksichtigung der den Basiswerten bereits innewohnenden Reduktionsfaktoren.

Bezüglich der in ICNIRP 2010 festgesetzten Referenzwerte für die elektrische Feldstärke und deren Konservativität bezüglich der Basiswerte für CNS-Gewebe stellt sich die Situation

etwas weniger klar dar. Im Frequenzbereich zwischen ca. 10 und 150 Hz deuten die durchgeführten Berechnungen bei homogener Ganzkörperexposition darauf hin, dass es unter der Bedingung eines geerdeten Körpermodells zu Überschreitungen des CNS-Basiswertes kommen kann, wenn die äußere ungestörte elektrische Feldstärke dem Referenzwert entspricht (gilt nicht für die Retina, für die keinerlei Hinweise auf mögliche Basiswertüberschreitungen gefunden wurden). Dieses Problem ist vermutlich auf die Verwendung des 99ten Perzentils anstatt des maximalen Mittelwertes der intrakorporalen Feldstärke bei der Ableitung der ICNIRP 2010 Referenzwerte zurückzuführen. Das Ausmaß der Basiswertüberschreitungen bei Befeldung mit dem Referenzwert lag unter den betrachteten Bedingungen bei maximal ca. 50%. Bei Zuschlag verbleibender Unsicherheiten (z.B. zufolge unterschiedlicher Körperhaltungen, Körpermodelle, Staturen, Gewebeparameter) muss naturgemäß von noch größeren Basiswertüberschreitungen ausgegangen werden. Allerdings erscheinen nachteilige Auswirkungen im Sinne von ICNIRP 2010 bei Befeldung mit dem Referenzwert aufgrund des im Basiswert bereits enthaltenen Reduktionsfaktors als unwahrscheinlich.

Im Frequenzbereich unterhalb von 10 Hz und oberhalb von ca. 150 Hz konnten keine Hinweise auf diese Inkonsistenz zwischen Referenzwerten für die elektrische Feldstärke und den Basiswerten für CNS-Gewebe gefunden werden.

### **8.3 Konservativität der Referenzwerte im Hinblick auf die Basiswerte für PNS-Gewebe**

Bezüglich der Konservativität der Referenzwerte im Hinblick auf die Basiswerte in peripheren Geweben (PNS-Gewebe) deuten die Berechnungsergebnisse auf substantielle Probleme hin.

Zunächst ist in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, dass die Referenzwerte in ICNIRP 2010 auf Basis numerischer Berechnungen festgesetzt wurden, die von einem 2 mm dicken homogenen Composit-Hautmodell (inklusive subkutanem Fettgewebe) mit einer mittleren Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m (bei 50 Hz) ausgegangen sind, und gemäß ICNIRP auch in der Haut die Basiswerte für PNS-Gewebe einzuhalten sind, weil die Haut Nervenendigungen enthält.

In der Realität handelt es sich bei der Haut um ein komplexes geschichtetes Gewebe, bei dem zumindest die vier wesentlichen Schichten, nämlich Hornhaut, Epidermis, Dermis und Subkutis Unterschiede bezüglich ihrer relevanten elektrischen Eigenschaften erwarten lassen. Leitfähigkeitswerte für die Hornhaut (z.B. 0,0002 S/m bei 50 Hz) und subkutanes Fettgewebe (z.B. 0,04 S/m bei 50 Hz) sind in der Literatur gut dokumentiert. Für die dazwischenliegenden Hautschichten finden sich allerdings nur sehr wenige zuverlässige Daten bezüglich ihrer elektrischen Leitfähigkeit. Allerdings lässt sich auf Basis ihres zellulären Aufbaus und der wenigen verfügbaren Daten in der Literatur darauf schließen, dass die Leitfähigkeit von Epidermis und Dermis deutlich oberhalb der Werte von Hornhaut und auch oberhalb der Werte für subkutanes Fettgewebe liegen. Weiters ist zu berücksichtigen, dass in der Hornhaut keine Nervenendigungen liegen und damit die sich in der Hornhaut einstellende elektrische Feldstärke als irrelevant für das Schutzziel von ICNIRP 2010 angesehen werden muss. Insofern ist die Annahme des oben erwähnten Composit-Hautmodells mit 0,1 S/m elektrischer Leitfähigkeit aus physiologischer Sicht in erster Näherung (vor allem bei Berücksichtigung der zum damaligen Zeit verfügbaren Hard- und Softwareressourcen) vertretbar, wenngleich sie natürlich keinerlei detaillierte Analysen in der Haut erlaubt.

Wesentlich in diesem Zusammenhang ist jedenfalls, dass einerseits die meisten der gegenwärtig verfügbaren Körpermodelle an der Körperoberfläche einen Gewebebereich „Haut“ und teilweise auch einen (oftmals aber anatomisch unzureichend repräsentierten) Gewebebereich „subkutanes Gewebe“ unterscheiden, und andererseits die gegenwärtig meistverwendeten Datenbanken Leitfähigkeitswerte für „Haut“ entsprechend Hornhaut und für subkutanes Gewebe enthalten, jedoch keine Werte für Dermis und Epidermis.

Die Modellierung der Haut als homogene Schicht mit einer elektrischen Leitfähigkeit entsprechende Hornhaut führt zu sehr hohen induzierten Feldstärken in der Haut, die bei Befeldung mit den Referenzwerten deutlich oberhalb der Basiswerte für PNS Gewebe liegen können (siehe Kapitel 4). Dieser Umstand wurde bisher offensichtlich wenig beachtet, und internationale Normen (z.B. 62311:2008) empfehlen eine Modellierung der Haut mit Leitfähigkeitswerten entsprechend Hornhaut.

Auf Basis der den ICNIRP 2010 Empfehlungen zugrundeliegenden Annahmen (Composite-Hautmodell mit 0,1 S/m Leitfähigkeit) ist es demnach nicht überraschend, dass die Referenzwerte nicht die Einhaltung der Basiswerte in der Hornhaut sicherstellen.

Jedoch zeigen die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Berechnungsergebnisse auch bei Annahme einer Hautleitfähigkeit von 0,1 S/m deutliche Hinweise darauf, dass die von ICNIRP 2010 festgesetzten Referenzwerte im Frequenzbereich unterhalb von ca. 1 MHz die Einhaltung der Basiswerte in PNS-Geweben (vor allem in der Haut und subkutanem Gewebe) nicht unter allen in der Praxis denkbaren Situationen sicherstellen.

Der Hauptgrund dafür ist vermutlich darin zu sehen, dass in den der Referenzwertfestlegung zugrunde liegenden numerischen Berechnungen ausschließlich von der Annahme aufrecht stehender Körpermodelle mit seitlich hängenden Armen ausgegangen wurde, was speziell im Hinblick auf magnetische Einkopplungen nicht als ungünstigster Fall angesehen werden kann. Speziell in der Haut sind nämlich größere elektrische Feldstärken zu erwarten, wenn direkter Hautkontakt zwischen den Endpunkten „schleifenbildender“ Körperteile oder direkter Hautkontakt zu leitfähigen Objekten besteht, die gemeinsam mit Körperteilen große Schleifenstrukturen bilden, in die ein externes Magnetfeld effektiv einkoppeln kann (vgl. Kapitel 6.4). Bezüglich elektrischer Befeldung haben wahrscheinlich zu wenig konservative Annahmen der Erdungsbedingungen (z.B. vollflächiger Kontakt der Füße mit ideal leitfähiger Erde) dazu beigetragen, dass die Referenzwerte für die elektrische Feldstärke die Einhaltung der Basiswerte in PNS Geweben nicht unter allen in der Praxis denkbaren Situationen sicherstellen.

Da detaillierte und systematische Untersuchungen bezüglich Expositionsbedingungen mit Kontakt zu metallischen Objekten bzw. Haut-Haut Kontakt außerhalb des Rahmens dieses Projektes lagen, kann das Ausmaß der möglichen Basiswertüberschreitungen in den PNS-Geweben an dieser Stelle nicht quantifiziert werden. Zudem ist dafür zunächst eine optimierte numerische Modellbildung für die Haut zu entwickeln (siehe auch Kapitel 6.4 bzw. 8.6). Auf Basis der bisher vorliegenden Ergebnisse kann jedenfalls nicht ausgeschlossen werden, dass bei äußeren Feldstärken entsprechend der ICNIRP 2010 Referenzwerte, in ungünstigen, in der Praxis nicht auszuschließenden Situationen, die intrakorporalen elektrischen Feldstärken in der Haut die Basiswerte für periphere Gewebe um mehr als den bei der Festsetzung der Basiswerte berücksichtigten Sicherheitsfaktor überschreiten.

## **8.4 Überlagerung der Wirkung elektrischer und magnetischer Exposition**

Die Berechnungsergebnisse für Ganzkörperexposition in kombiniert homogenen elektrischen und magnetischen Feldern zeigten, dass eine getrennte und unabhängige Bewertung von elektrischer und magnetischer Feldstärke bei einer Expositionsbewertung auf Basis der Referenzwerte aus strahlenschutztechnischer Sicht im Allgemeinen nicht gerechtfertigt werden kann, da sich in ungünstigen Situationen zumindest in Teilbereichen des Körpers die intrakorporal induzierten elektrischen Feldstärken zufolge äußerer elektrischer und magnetischer Befeldung addieren. Dies gilt sowohl für CNS- als auch für PNS-Gewebe.



## 8.5 Bedeutung unterschiedlicher Mittelungsstrategien für die Überprüfung der Festlegungen von ICNIRP 2010 und darüber hinaus

Der Wunsch nach einer eindeutigen und über alle methodischen Zweifel erhabenen Vorgehensweise bei der Mittelung der intrakorporalen Feldstärkeverteilung für die strahlenschutztechnischen Bewertung von Expositionssituationen ist, insbesondere im Hinblick auf das angepeilte Ziel dieses Forschungsvorhabens verständlich. Wie die Ergebnisse und Erkenntnisse dieses Vorhabens jedoch gezeigt haben, kann dieses Ziel nicht unabhängig von den jeweiligen dosimetrischen Randbedingungen gesehen werden.

Insbesondere die in Kapitel 3.5 bereits angesprochene Problematik der gewebespezifischen Auswertung von  $\max E_{i,avg}$  macht dies deutlich. Auf Basis der im vorliegenden Bericht dokumentierten Ergebnisse und des oben gesagten können die folgenden Fakten festgehalten werden:

1. Bei der Mittelwertbildung kann an Gewebegrenzen entweder ein Volumen-tolerantes oder ein Volumen-striktes Mittelungsparadigma verfolgt werden. Ein Volumen-tolerantes Verfahren zeigt die Tendenz einer Überbewertung der  $E_{i,avg}$ -Werte in Grenzschichtnähe, während ein Volumen-striktes Verfahren zwar zu einer Unterbewertung der  $E_{i,avg}$ -Werte in Grenzschichtnähe tendiert, diese Unterbewertung jedoch, bei hinreichend feiner Rechengitterauflösung, innerhalb akzeptabler Grenzen ( $< 10\%$ ) gehalten werden kann. Ein Volumen-striktes Verfahren ist daher als numerisch zuverlässiger zu bezeichnen.
2. Die im Zuge einer gewebespezifischen Auswertung ermittelbaren  $\max E_{i,avg}$ -Ergebniswerte sind aufgrund der komplexen Gewebeschichtungen und des teilweise großen Leitfähigkeitskontrastes (teilweise deutlich) abhängig davon, ob man jedes Gewebe separat betrachtet oder für die Auswertung funktionell begründet, Gewebegruppen bildet innerhalb derer über die Gewebegrenzen hinweg gemittelt wird.

Weiters besteht (als Randbedingung der numerischen Dosimetrie) das Problem, dass die gegenwärtig verfügbaren anatomischen Körpermodelle die Feinstruktur, insbesondere des peripheren Nervensystems, nicht ausreichend abbilden. D.h., die in der Realität, insbesondere in oberflächennahen Geweben eingebetteten Nerven bzw. Nervenendigungen sind in den Körpermodellen nicht repräsentiert. Gemäß den heute anerkannten und auch in ICNIRP 2010 zugrunde gelegten Schutzziele (Vermeidung von relevanten Effekten auf das Zellmembranpotenzial) sind jedoch auch diese peripheren Nervengewebe bei der Expositionsbeurteilung zu betrachten. Aufgrund des erwähnten Mankos der Körpermodelle besteht zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine andere Möglichkeit, als die induzierten elektrischen Feldstärken in allen Körpergeweben zu begrenzen, in denen potenziell Nerven eingebettet sein können bzw. die potenziell unmittelbar an Nervengewebe angrenzen können (dies trifft auf die meisten Gewebetypen zu, die in den gegenwärtig verfügbaren Körpermodellen repräsentiert sind). Insbesondere ist anzumerken, dass der Verlauf von Nervenbahnen entlang von Gewebegrenzschichten (z.B. zwischen Haut und Unterhautfettgewebe) oder quer zu Gewebegrenzschichten (beim Emportreten aus tieferen Gewebeschichten in Richtung der Haut) als Faktum anzunehmen ist. Vor diesem Hintergrund ist der von ICNIRP 2010 verfolgte Ansatz einer Gewebegruppierung (in CNS- und PNS-Gewebe) als sinnvoll zu bezeichnen.

Im Lichte des oben Gesagten, insbesondere bei Beachtung der in Punkt 1 und Punkt 2 zusammengefassten Fakten, erscheint daher eine Einzelgewebe-spezifische Auswertung, d.h. ohne Zusammenfassung zu Gewebegruppen und daher mit Berücksichtigung der Grenzschichten innerhalb der betrachteten Gewebegruppe bei der Mittelung als nicht sinnvoll, da dabei, bei Verwendung eines Volumen-strikten Mittelungsverfahrens, die Feldverhältnisse an diesen Grenzschichten tendenziös unterschätzt werden könnten. Demgegenüber ergibt sich für eine strahlenschutztechnische Beurteilung mit den heute verfügbaren anatomischen Körpermodellen kein Nachteil, wenn die Mittelung Gewebegruppen-spezifisch durchgeführt wird.

Die im Anhang zusammengestellten Ergebnisse in Form gewebespezifischer  $\max E_i$ - und  $\max E_{i,avg}$ -Werte (nach Gewebegruppen-spezifischer Mittelung) sind in diesem Sinne daher als konservativ zu werten.

## **8.6 Offene Fragen bezüglich der numerischen Modellierung der Haut**

Die in Abschnitt 8.3 angesprochene Problematik bezüglich der Modellierung der Haut in den der Referenzwertfestsetzung zugrundeliegenden wissenschaftlichen Publikationen führt gemeinsam mit den im Rahmen dieses Projekts gewonnenen Erkenntnissen zu einigen klärungsbedürftigen Fragen im Hinblick auf eine adäquate bzw. unter den gegenwärtigen Randbedingungen bezüglich verfügbarer Soft- und Hardwarebedingungen optimierte numerische Modellierung der Haut. Eine Modellierung aller anatomischen Details der Haut verbietet sich naturgemäß aufgrund der dafür erforderlichen räumlichen Auflösung des Rechengitters und der daran geknüpften Hard- und Softwareressourcen. Andererseits ist eine homogene Modellierung der Haut, auf Basis des derzeitigen Kenntnisstandes mit großen Unsicherheiten verknüpft. Wie an anderer Stelle bereits mehrmals angesprochen führt in einem solchen Fall die Verwendung einer elektrischen Leitfähigkeit entsprechend Hornhaut zu einer Überbewertung der intrakorporalen elektrischen Feldstärke in dem Sinne, dass die Bewertung eigentlich für ein Gewebe vorgenommen wird, in dem keine Nervenendigungen vorkommen. Andererseits spiegelt die homogene Modellierung der Haut mit Leitfähigkeitswerten deutlich größer als jene für die Hornschicht die realen Verhältnisse nur sehr unzureichend wieder, da die Hornschicht in der Realität als sehr gut elektrisch isolierende Schicht fungiert, was an Kontaktstellen (Haut-Haut oder Haut-Objekt) einen protektiven Effekt haben kann. Auf Basis dieser Überlegungen erscheint im Zuge numerischer Berechnungen eine Modellierung der Haut sinnvoll, die zumindest die Schichten Hornhaut, Epidermis/Dermis und subkutanes Fettgewebe enthält. Bei der Mittelwertbildung der intrakorporalen Feldstärke sollte dann die Hornhaut nicht berücksichtigt werden.

Die Repräsentativität eines derartigen und optimierten Hautmodells im Hinblick auf anatomische Variationen der Hautschichtung in unterschiedlichen Körperregionen und die resultierende verbleibende Unsicherheit im Hinblick auf die Konsistenz von Referenzwerten im Hinblick auf die Basiswerte für PNS-Gewebe sollten jedenfalls auf wissenschaftlicher Basis für alle in der Praxis vorhersehbaren Expositionssituationen zeitnah geklärt werden.

## 9 LITERATUR

- [1] ICNIRP. 2010. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Physics, Vol. 99:818-836
- [2] ICNIRP. 1998. Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics, Vol. 74:494-522
- [3] Dimbylow PJ. 2005. Development of the female voxel phantom, NAOMI and its application to calculations of induced current densities and electric fields from applied low frequency magnetic and electric fields. Phys Med Biol 50:1047–1070
- [4] Bahr A, Bolz T, Hennes C. 2007. Numerical dosimetry ELF: accuracy of the method, variability of models and parameters, and the implication for quantifying guidelines. Health Phys. 92, 521–30
- [5] Hirata A, Wake K, Watanabe S, Taki M. 2009. In-situ electric field and current density in Japanese male and female models for uniform magnetic field exposures. Radiation Protection Dosimetry 135(4):272-5
- [6] IEEE. 2002. IEEE Std C95.6 Standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0 - 3 kHz
- [7] ICNIRP. 1999. Use of the ICNIRP EMF guidelines <http://www.icnirp.de/documents/Use.pdf>
- [8] ICNIRP. 1998. Response to Questions and Comments on the Guidelines for Limiting Exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Physics, Vol. 75:438-439
- [9] ICNIRP. 2003. Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines. Health Phys 84:383–387
- [10] Nadakuduti J, Douglas M, Crespo-Valero P, Kuster N. 2011. Comparison of different safety standards in terms of human exposure to electric and magnetic fields at 100 kHz. 33. Meeting der Bioelectromagnetics Society (BEMS), Halifax, 12.-17. Juni 2011, Abstract Book PB-92.
- [11] IEEE. 2005. IEEE Std C95.1 Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz – 300 GHz
- [12] Rat der Europäischen Union. 1999. Empfehlung 1999/519/EG zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz -300 GHz)
- [13] Parlament und Rat der Europäischen Union. 2013. Richtlinie 2013/35/EU über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder) (20. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) und zur Aufhebung der Richtlinie 2004/40/EG
- [14] 26. BImSchV. 1996. [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschv\\_26/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschv_26/gesamt.pdf)
- [15] Gandhi OP, DeFord JF, Kanai H. 1984. Impedance method for calculation of power deposition patterns in magnetically induced hyperthermia. IEEE Transaction on Biomedical Engineering 31, 644-651
- [16] Dawson TW, De Moerloose J, Stuchly MA. 1996. Comparison of magnetically induced ELF fields in humans computed by FDTD and scalar potential FD codes. Appl. Comput. Electromagn. Soc. J. 11 63–71

- [17] Dawson TW, Stuchly MA. 1997. A comparison of analytical and numerical solutions for induction in a sphere with equatorially varying conductivity by low-frequency uniform magnetic fields of arbitrary orientation Proc. of 1997 Symposium of the Applied Computational Electromagnetics Society pp 533–40
- [18] Gandhi OP, Chen J-Y. 1992. Numerical dosimetry at power-line frequencies using anatomically based models. *Bioelectromagnetics Supplement* 1:43-60
- [19] DeMoerloose J, Dawson TW, Stuchly MA. 1997. Application of FDTD to quasi-static field analysis. *Radio. Sci.* 8 355–75
- [20] Hirata A, Yamazaki K, Hamada S, Kamimura Y, Tarao H, Wake K, Suzuki Y, Hayashi N, Fujiwara O. 2010. Intercomparison of induced fields in Japanese male model for ELF magnetic field exposures: effect of different computational methods and codes. *Radiation Protection Dosimetry* 138(3):237-44
- [21] Dimbylow PJ. 2006. Development of pregnant female, hybrid voxel mathematical models and their application to the dosimetry of applied magnetic and electric fields at 50 Hz. *Phys Med Biol* 51:2383–2394
- [22] Leitgeb N, Cech R. 2008. Dosimetric assessment of simultaneous exposure to ELF electric and magnetic fields. *IEEE Transaction on Biomedical Engineering* 55(2), 671-674
- [23] Cech R, Leitgeb N, Padiaditis M. 2008. Current densities in a pregnant woman model induced by simultaneous ELF electric and magnetic field exposure. *Phys Med Biol* 53:177–186
- [24] Leitgeb N, Cech R, Schröttner J. 2008. Assessment of inhomogeneous ELF magnetic field exposures. *Radiation Protection Dosimetry* 131(2):251-258
- [25] IEEE. 2002. IEEE Std C95.3 Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz–300 GHz
- [26] Dimbylow P. 2008. Quandaries in the application of the ICNIRP low frequency basic restriction on current density. *Phys. Med. Biol.* 53 133–45
- [27] Zopetti N, Andreuccetti D. 2009. Influence of the surface averaging procedure of the current density in assessing compliance with the ICNIRP low-frequency basic restrictions by means of numerical techniques. *Phys. Med. Biol.* 54 4835–48
- [28] Dawson TW, Caputa, Stuchly M. 2002. Magnetic field exposures for UK live-line workers. *Phys. Med. Biol.* 47, 995–1012
- [29] Hirata A, Takano Y, Kamimura Y, Fujiwara O. 2010. Effect of the averaging volume and algorithm on the in situ electric field for uniform electric- and magnetic-field exposures. *Phys Med Biol* 55:N243–52
- [30] Geddes LA, Barker LE. 1967. The specific resistance of biological material - a compendium of data for the biomedical engineer and physiologist. *Medical and Biological Engineering*, 5, 271-293.
- [31] Durney CH, Massoudi H, Iskander MF. 1986 *Radiofrequency radiation dosimetry handbook*, Brooks Air Force Base- USAFSAM-TR-85-73
- [32] Foster KR, Schwan, HP. 1989. Dielectric properties of tissues and biological materials: A critical review, *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 17, 1, 25-104
- [33] Duck FA. 1990. *Physical properties of tissue: A comprehensive reference book*. Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. ISBN 0-12-222800-6

- [34] Gabriel C and Gabriel S. 1996. Compilation of the Dielectric Properties of Body Tissues at RF and Microwave Frequencies. Final Report for AFOSR/NL Bolling AFB DC 20332-0001. <http://niremf.ifac.cnr.it/docs/DIELECTRIC/home.html>
- [35] Gabriel C, Gabriel S, Corthout E. 1996. The dielectric properties of biological tissues: I. Literature survey. *Phys. Med. Biol.* 41, 2231-2249
- [36] Gabriel S, Lau RW, Gabriel C. 1996. The dielectric properties of biological tissues: II. Measurements in the frequency range 10 Hz to 20 GHz. *Phys. Med. Biol.* 41, 2251-2269
- [37] Gabriel S, Lau RW, Gabriel C. 1996. The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues. *Phys. Med. Biol.* 41, 2271-2293
- [38] Italian National Research Council IFAC. Internet resource for the calculation of the dielectric properties of body tissues in the frequency range 10 Hz – 100 GHz. <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/#refs>
- [39] CENELEC. 2008. EN 62311-2008 Bewertung von elektrischen und elektronischen Einrichtungen in Bezug auf Begrenzungen der Exposition von Personen in elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz)
- [40] IT'IS Foundation. 2013. Online Resource Dielectric Tissue Property Data Base <http://www.itis.ethz.ch/itis-for-health/tissue-properties/database/dielectric-properties/>
- [41] Gielen FLH, Wallinga de Jonge W, Boon KL. 1984. Electrical conductivity of skeletal muscle tissue: Experimental results from different muscles in vivo. *Medical and Biological Engineering*, 22, 569-577
- [42] Epstein BR, Foster KR. 1983. Anisotropy in the dielectric properties of skeletal muscle, *Medical and Biological Engineering and Computing*, 21, 51-55
- [43] Bodakian B, Hart FX. 1994. The dielectric properties of meat, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 1, 2, 181-187
- [44] Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 1999. Richtlinie 1999/5/EG über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen und die gegenseitige Anerkennung Ihrer Konformität.
- [45] Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 2006. Richtlinie 2006/95/EG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen
- [46] Nadakuduti J, Douglas M, Crespo-Valero P, Kuster N. 2011. Comparison of different safety standards in terms of human exposure to electric and magnetic fields at 100 kHz. 33. Meeting der Bioelectromagnetics Society (BEMS), Halifax, 12.-17. Juni 2011, Abstract Book PB-92.
- [47] Laakso I, Hirata A. 2012. Reducing staircasing error in computational dosimetry of low-frequency electromagnetic fields. *Phys Med Biol* 57:N25-N34
- [48] Chen XL, Benkler S, Chavanne N, De Santis V, Bakker J, Van Rhooen GC, Mosig J, Kuster N. 2013. Analysis of human brain exposure to low-frequency magnetic fields: a numerical assessment of spatially averaged electric fields and exposure limits. *Bioelectromagnetics* 34, 375-384
- [49] Rinne H. 1997. Taschenbuch der Statistik. 2. Auflage, Verlag Harri Deutsch. ISBN 3-8171-1559-8

- [50] EN 62226-2-1:2005. Sicherheit in elektrischen oder magnetischen Feldern im niederen und mittleren Frequenzbereich – Verfahren zur Berechnung der induzierten Körperstromdichte und des im menschlichen Körper induzierten elektrischen Feldes. Teil 3-1: Exposition gegenüber magnetischen Feldern – 2D-Modelle
- [51] EN 62226-3-1:2007. Sicherheit in elektrischen oder magnetischen Feldern im niederen und mittleren Frequenzbereich – Verfahren zur Berechnung der induzierten Körperstromdichte und des im menschlichen Körper induzierten elektrischen Feldes. Teil 3-1: Exposition gegenüber elektrischen Feldern – Analytische Modelle und numerische 2D-Modelle
- [52] IT'IS Foundation. 2012. The virtual population. <http://www.itis.ethz.ch/itis-for-health/virtual-population/human-models/>
- [53] Bakker JF, Paulides MM, Neufeld E, Christ A, Chen XL, Kuster N, Van Rhoon GC. 2012. Children and adults exposed to low-frequency magnetic fields at the ICNIRP reference levels: theoretical assessment of the induced electric fields. *Phys. Med. Biol.* 57: 1815-1829
- [54] EN 62311:2008. Bewertung von elektrischen und elektronischen Einrichtungen in Bezug auf die Begrenzung der Exposition von Personen in elektromagnetischen Feldern (0Hz – 300 GHz)
- [55] Nagaoka T, Watanabe S, Sakurai K, Kunieda E, Watanabe S, Taki M, Yamanaka Y. 2004. Development of realistic highresolution whole body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic field Dosimetry. *Phys Med Biol* 49:1–15
- [56] Reilly J. *Applied bioelectricity: from electrical stimulation to electropathology*. New York: Springer-Verlag; 1998.
- [57] Yamamoto T, Yamamoto Y. 1976. Electrical properties of the epidermal stratum corneum, *Medical and Biological Engineering* 14 151-158
- [58] Leitgeb N, Cech R, Schröttner J, Lehofer P, Schmidpeter U, Rampetsreiter M. 2008. Magnetic emission ranking of electrical appliances. A comprehensive market survey. *Radiation Protection Dosimetry* 129 (4), 439-445.
- [59] Leitgeb N, Cech R, Schröttner J, Lehofer P, Schmidpeter U, Rampetsreiter M. 2008. Magnetic emissions of electric appliances. A comprehensive market survey. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 211, 69-73.
- [60] Leitgeb N. 2007. Messtechnische Erfassung der Exposition der Bevölkerung durch niederfrequente und hochfrequente elektromagnetische Felder, die beim Betrieb von Geräte entstehen, interner Forschungsbericht an das Bundesamt für Strahlenschutz
- [61] SSK Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 1997. Schutz vor niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern der Energieversorgung und -anwendung - Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Gustav Fischer Verlag, Heft 7, 1997
- [62] Bayerisches Landesamt für Umwelt. 2009. Elektromagnetische Felder im Alltag – Aktuelle Informationen über Quellen, Einsatz und Wirkungen. ISBN 978-3-88251-341-7. [http://www.ehekirchen.de/gdeblatt/elektrom-Felder-im-Alltag-stmugv\\_app000001.pdf](http://www.ehekirchen.de/gdeblatt/elektrom-Felder-im-Alltag-stmugv_app000001.pdf)
- [63] Gauger JR. 1985. Household appliances magnetic field survey. *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*, 104 (9), 2435-2445

- [64] Bornkessel C, Schubert M, Wuschek M, Brüggemeyer H, Weiskopf D. 2010. Systematische Erfassung aller Quellen nichtionisierender Strahlung, die einen relevanten Beitrag zur Exposition der Bevölkerung liefern können. Abschlussbericht zum Vorhaben 3609S80004. BfS-RESFOR-38/11  
[http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-201101134413/3/BfS\\_2011\\_3609S80004.pdf](http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-201101134413/3/BfS_2011_3609S80004.pdf)
- [65] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt AUVA. 2008. Belastung von Schweißern durch elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz. Report Nr. 46.  
<https://www.sozialversicherung.at/mediaDB/R46.pdf>
- [66] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt AUVA. 1998. Messung und sicherheitstechnische Beurteilung der elektromagnetischen Felder im Bereich von Induktionsöfen. Report Nr. 22.
- [67] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. 2003. BGI 839. Elektromagnetische Felder in Metallbetrieben. <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgi839.pdf>
- [68] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. 2003. Elektromagnetische Felder an Anlagen, Maschinen und Geräten. BIA Report 6/2003.
- [69] Gwechenberger M, Rauscha F, Stix G, Schmid G, Strametz-Juranek J. 2006. Interference of programmed electromagnetic stimulation with pacemakers and automatic implantable cardioverter defibrillators. *Bioelectromagnetics* 27, 365-377
- [70] Nadakuduti J, Douglas M, Capstick M, Kühn S, Benkler S, Kuster N. 2010. Assessment of EM Exposure of Energy-Saving Bulbs & Possible Mitigation Strategies. Final Report on Project BAG/08.004316/434.0001/-13 & BFE/1535
- [71] SEMCAD X ELF-Solvers. <http://www.speag.com/products/semcad/solutions/elf/>
- [72] CST EM Studio. <http://www.cst.com/Content/Products/EMS/Solvers.aspx>
- [73] Schmid G, Cecil S, Überbacher R. 2013. The role of skin conductivity in a low frequency exposure assessment for peripheral nerve tissue according to the ICNIRP 2010 guidelines. *Physics in Medicine and Biology* 58:4703-4716
- [74] Cecil S, Schmid G, Überbacher R. 2013. Impact of skin properties on the averaged internal electric field according to the ICNIRP 2010 in a hand-model. Poster Presentation PA-19 at the BioEM 2013, Thessaloniki, Greece
- [75] Neitzke H-P, Osterhoff J, Voigt H. 2009. Bestimmung und vergleich der von Erdkabeln und Hochspannungsfreileitungen verursachten Expositionen gegenüber niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern. Abschlussbericht 3608S03011 im Auftrag des Bundesamt für Strahlenschutz.  
<http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-20100326958>
- [76] MAS. 2013: <http://www.mas.at/produkte/mas-wellnessprodukte/special-multi/>
- [77] Hirata A, Takano Y, Fujiwara O, Dovan T, Kavet R. 2011. An electric field induced in the retina and brain at threshold magnetic flux density causing magnetophosphenes. *Physics in Medicine and Biology* 56:4091-4101

# Anhang A

## Tabellarische Zusammenstellung der gewebespezifisch ausgewerteten induzierten elektrischen Feldstärken

### A.1 Roberta, ungeerdet

frontales B-Feld (100  $\mu$ T), CNS-Gewebe

CNS Gewebe Roberta, ungeerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 $\mu$ T]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,002	0,001	0,0009	0,0005	0,003	0,002	0,002	0,0008	0,007	0,005	0,004	0,002
Brain_white_matter	0,0007	0,0006	0,0006	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,0006	0,003	0,003	0,003	0,002
Cerebellum	0,002	0,0006	0,0006	0,0003	0,003	0,001	0,001	0,0004	0,008	0,003	0,003	0,001
Hippocampus	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0006	0,0005	0,0004	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0009
Hypophysis	0,0002	0,0001	0,00007	0,00007	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,001	0,0007	0,0004	0,0004
Hypothalamus	0,00008	0,00006	0,00005	0,00005	0,0001	0,00009	0,00008	0,00008	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002
Medulla_oblongata	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0003	0,0003	0,0002	0,002	0,0009	0,0009	0,0006
Midbrain	0,0004	0,0002	0,0002	0,0001	0,0006	0,0003	0,0003	0,0002	0,002	0,0009	0,0009	0,0006
Pinealbody	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00009	0,00007	0,00006	0,00006	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Thalamus	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0004	0,0004	0,0002	0,001	0,001	0,001	0,0006

CNS Gewebe Roberta, ungeerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 $\mu$ T]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,019	0,013	0,011	0,006	0,132	0,088	0,072	0,037	1,36	0,846	0,696	0,36
Brain_white_matter	0,01	0,009	0,009	0,005	0,072	0,056	0,056	0,032	0,763	0,547	0,547	0,317
Cerebellum	0,026	0,009	0,009	0,004	0,181	0,065	0,063	0,026	1,84	0,649	0,636	0,258
Hippocampus	0,004	0,003	0,003	0,002	0,029	0,022	0,02	0,017	0,278	0,216	0,188	0,16
Hypophysis	0,003	0,002	0,001	0,001	0,022	0,014	0,008	0,008	0,225	0,147	0,086	0,086
Hypothalamus	0,001	0,001	0,0007	0,0007	0,008	0,007	0,004	0,004	0,088	0,073	0,047	0,047
Medulla_oblongata	0,004	0,003	0,003	0,002	0,029	0,017	0,017	0,012	0,286	0,172	0,172	0,119
Midbrain	0,005	0,003	0,003	0,002	0,03	0,018	0,018	0,011	0,288	0,174	0,174	0,113
Pinealbody	0,0008	0,0006	0,0006	0,0006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,05	0,041	0,038	0,038
Thalamus	0,003	0,003	0,003	0,002	0,023	0,018	0,018	0,011	0,22	0,177	0,177	0,109

CNS Gewebe Roberta, ungeerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 $\mu$ T]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	14	8,06	6,66	3,46	145	75,9	63,2	33,6	1113	544	470	290
Brain_white_matter	8,06	5,15	5,15	3,07	85,7	47,8	47,8	29,9	749	416	416	286
Cerebellum	19	6,46	6,37	2,55	198	66,3	66,1	26,4	1548	485	485	222
Hippocampus	2,67	2,08	1,8	1,54	25,5	20,3	17,5	15,2	229	184	153	139
Hypophysis	2,33	1,53	0,905	0,905	21,4	14,2	8,5	8,5	216	150	95	95
Hypothalamus	0,93	0,784	0,522	0,508	8,41	7,12	4,61	4,52	94,6	82,2	58,4	57,2
Medulla_oblongata	2,88	1,74	1,74	1,23	26,7	16,1	16,1	11,3	269	141	141	113
Midbrain	2,77	1,73	1,73	1,15	25,9	16,1	16,1	11,2	242	129	128	104
Pinealbody	0,489	0,399	0,37	0,37	4,94	4,1	3,81	3,81	50,4	43,5	41,4	41,4
Thalamus	2,07	1,69	1,69	1,07	20,1	16,5	16,5	10,7	165	143	143	102



frontales B-Feld (100  $\mu$ T), PNS-Gewebe

PNS Gewebe Roberta, ungeerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Artery	0,002	0,0009	0,0009	0,0003	0,003	0,002	0,002	0,0006	0,009	0,005	0,005	0,002
Bladder	0,0008	0,0005	0,0005	0,0004	0,001	0,0008	0,0008	0,0006	0,004	0,003	0,003	0,002
Bone	0,011	0,002	0,002	0,0007	0,018	0,004	0,003	0,001	0,056	0,012	0,008	0,004
Brain_grey_matter	0,002	0,001	0,001	0,0005	0,003	0,002	0,002	0,0008	0,007	0,005	0,004	0,002
Brain_white_matter	0,0007	0,0006	0,0006	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,0006	0,003	0,003	0,003	0,002
Cartilage	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,001
Cerebellum	0,002	0,001	0,001	0,0003	0,003	0,002	0,002	0,0005	0,008	0,005	0,005	0,001
Cerebrospinal_fluid	0,002	0,0006	0,0006	0,0002	0,003	0,001	0,001	0,0003	0,01	0,003	0,003	0,001
Connective_tissue	0,027	0,005	0,003	0,0006	0,045	0,008	0,005	0,001	0,136	0,023	0,015	0,003
Ear_cartilage	0,002	0,0004	0,0004	0,0003	0,004	0,0007	0,0007	0,0005	0,012	0,002	0,002	0,002
Ear_skin	0,003	0,002	0,001	0,001	0,005	0,004	0,002	0,002	0,016	0,012	0,007	0,007
Esophagus	0,0001	0,0001	0,00008	0,00008	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0008	0,0005	0,0005	0,0004
Eye_Sclera	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00008	0,00007	0,00007	0,00007	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
Eye_lens	0,0004	0,0001	0,0001	0,0001	0,0006	0,0002	0,0002	0,0002	0,002	0,0005	0,0005	0,0005
Eye_vitreous_humor	0,0002	0,00007	0,00007	0,00005	0,0003	0,0001	0,0001	0,00009	0,0009	0,0004	0,0003	0,0003
Fat	0,002	0,001	0,001	0,0007	0,004	0,002	0,002	0,001	0,012	0,008	0,008	0,004
Gallbladder	0,001	0,0005	0,0005	0,0003	0,002	0,0008	0,0008	0,0004	0,004	0,002	0,002	0,001
Heart_lumen	0,0009	0,0004	0,0004	0,0001	0,001	0,0007	0,0007	0,0002	0,003	0,002	0,002	0,0008
Heart_muscle	0,001	0,0009	0,0009	0,0008	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,004	0,004	0,003
Hippocampus	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0006	0,0004	0,0004	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0009
Hypophysis	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,001	0,0009	0,0009	0,0009
Hypothalamus	0,00008	0,00006	0,00006	0,00005	0,0001	0,00009	0,00009	0,00008	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003
Intervertebral_disc	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0007	0,0004	0,0004	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,001
Kidney_cortex	0,0007	0,0005	0,0005	0,0004	0,001	0,0009	0,0009	0,0007	0,003	0,002	0,002	0,002
Kidney_medulla	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006	0,002	0,002	0,002	0,002
Large_intestine	0,01	0,003	0,003	0,001	0,016	0,005	0,005	0,002	0,045	0,012	0,012	0,004
Large_intestine_lumen	0,002	0,0008	0,0008	0,0004	0,003	0,001	0,001	0,0006	0,004	0,003	0,003	0,002
Liver	0,002	0,001	0,001	0,0007	0,003	0,002	0,002	0,001	0,008	0,006	0,005	0,004
Lung	0,001	0,0008	0,0008	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0008	0,005	0,004	0,003	0,002
Mandible	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0009	0,0008	0,0008	0,0007	0,003	0,003	0,003	0,002
Marrow_red	0,0007	0,0003	0,0003	0,0002	0,001	0,0006	0,0005	0,0003	0,004	0,002	0,002	0,0009
Medulla_oblongata	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0003	0,0003	0,0002	0,002	0,001	0,001	0,0007
Menisicus	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002	0,001	0,0008	0,0007	0,0005
Midbrain	0,0004	0,0002	0,0002	0,0001	0,0006	0,0004	0,0004	0,0002	0,002	0,001	0,001	0,0006
Mucosa	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0007	0,0003	0,0003	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,001
Muscle	0,002	0,001	0,001	0,0005	0,003	0,002	0,002	0,0008	0,011	0,006	0,006	0,002
Nerve	0,001	0,0007	0,0007	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0007	0,005	0,004	0,004	0,002
Ovary	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0007	0,0004	0,0004	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,001
Pancreas	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0003	0,0003	0,0002	0,001	0,0009	0,0008	0,0006
Patella	0,0001	0,00009	0,00009	0,00008	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004
Pinealbody	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00009	0,00007	0,00006	0,00006	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
SAT	0,018	0,007	0,007	0,0008	0,031	0,012	0,012	0,001	0,093	0,037	0,037	0,004
Skin	0,031	0,025	0,025	0,004	0,052	0,042	0,042	0,006	0,156	0,126	0,126	0,018
Skull	0,002	0,002	0,002	0,0008	0,004	0,003	0,003	0,001	0,012	0,01	0,01	0,004
Small_intestine	0,001	0,0007	0,0007	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0006	0,004	0,003	0,003	0,002
Small_intestine_lumen	0,0008	0,0005	0,0005	0,0003	0,001	0,0009	0,0008	0,0006	0,003	0,002	0,002	0,002
Spinal_cord	0,0006	0,0004	0,0004	0,0003	0,0009	0,0007	0,0006	0,0005	0,003	0,002	0,002	0,001
Spleen	0,001	0,0009	0,0009	0,0006	0,002	0,001	0,001	0,001	0,005	0,004	0,004	0,003
Stomach	0,001	0,0004	0,0004	0,0002	0,002	0,0007	0,0007	0,0004	0,004	0,002	0,002	0,001
Stomach_lumen	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,001
Teeth	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,001	0,0008	0,0008	0,0007
Tendon_Ligament	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0007	0,0003	0,0003	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0008
Thalamus	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0004	0,0004	0,0002	0,001	0,001	0,001	0,0006
Thymus	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0003	0,0003	0,0002	0,002	0,001	0,0009	0,0007
Tongue	0,0004	0,0002	0,0002	0,00009	0,0007	0,0003	0,0003	0,0001	0,002	0,0009	0,0009	0,0005
Trachea	0,0001	0,00009	0,00007	0,00007	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0006	0,0005	0,0004	0,0004
Ureter_Urethra	0,003	0,001	0,001	0,001	0,005	0,002	0,002	0,002	0,015	0,007	0,006	0,006
Uterus	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0003	0,0003	0,0002	0,001	0,0009	0,0008	0,0006
Vagina	0,004	0,002	0,002	0,002	0,007	0,004	0,004	0,003	0,019	0,009	0,009	0,008
Vein	0,002	0,0007	0,0007	0,0004	0,003	0,001	0,001	0,0006	0,009	0,004	0,004	0,002
Vertebrae	0,001	0,0009	0,0009	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0008	0,006	0,004	0,004	0,003

PNS Gewebe Roberta, ungeerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Artery	0,028	0,014	0,014	0,005	0,186	0,097	0,097	0,035	1,88	0,978	0,978	0,353
Bladder	0,013	0,008	0,008	0,005	0,093	0,059	0,059	0,037	0,948	0,605	0,605	0,377
Bone	0,167	0,036	0,025	0,011	1,12	0,241	0,164	0,078	11	2,37	1,61	0,788
Brain_grey_matter	0,019	0,013	0,012	0,006	0,132	0,087	0,078	0,038	1,36	0,832	0,8	0,369
Brain_white_matter	0,01	0,009	0,009	0,005	0,072	0,056	0,056	0,032	0,763	0,547	0,547	0,316
Cartilage	0,005	0,004	0,004	0,003	0,034	0,026	0,026	0,02	0,346	0,266	0,258	0,207
Cerebellum	0,026	0,015	0,015	0,005	0,181	0,102	0,102	0,031	1,84	1,02	1,02	0,313
Cerebrospinal_fluid	0,033	0,009	0,009	0,003	0,238	0,063	0,063	0,02	2,45	0,647	0,647	0,201
Connective_tissue	0,409	0,069	0,046	0,009	2,73	0,463	0,308	0,061	27,1	4,58	3,02	0,608
Ear_cartilage	0,036	0,007	0,006	0,005	0,243	0,046	0,043	0,035	2,45	0,465	0,433	0,354
Ear_skin	0,05	0,037	0,022	0,021	0,335	0,245	0,149	0,141	3,38	2,48	1,5	1,42
Esophagus	0,002	0,002	0,002	0,001	0,016	0,012	0,011	0,011	0,162	0,129	0,113	0,111
Eye_sclera	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,059	0,053	0,053	0,053
Eye_lens	0,006	0,002	0,002	0,002	0,04	0,01	0,01	0,01	0,406	0,099	0,099	0,099
Eye_vitreous_humor	0,003	0,001	0,001	0,0009	0,019	0,008	0,008	0,006	0,189	0,079	0,079	0,062
Fat	0,037	0,029	0,029	0,011	0,251	0,207	0,207	0,076	2,49	2,1	2,1	0,764
Gallbladder	0,015	0,007	0,005	0,004	0,098	0,045	0,036	0,029	0,891	0,443	0,352	0,29
Heart_lumen	0,01	0,005	0,005	0,002	0,065	0,035	0,035	0,016	0,518	0,318	0,318	0,172
Heart_muscle	0,012	0,011	0,011	0,009	0,075	0,072	0,072	0,061	0,651	0,592	0,592	0,506
Hippocampus	0,004	0,003	0,003	0,002	0,029	0,022	0,02	0,016	0,278	0,216	0,188	0,16
Hypophysis	0,003	0,003	0,003	0,003	0,022	0,018	0,018	0,018	0,225	0,186	0,186	0,185
Hypothalamus	0,001	0,001	0,001	0,001	0,008	0,007	0,007	0,006	0,088	0,075	0,075	0,067
Intervertebral_disc	0,008	0,004	0,004	0,003	0,053	0,032	0,032	0,021	0,539	0,329	0,329	0,222
Kidney_cortex	0,01	0,008	0,007	0,006	0,068	0,051	0,05	0,039	0,705	0,502	0,502	0,384
Kidney_medulla	0,006	0,006	0,006	0,005	0,038	0,038	0,037	0,036	0,373	0,368	0,362	0,348
Large_intestine	0,128	0,031	0,031	0,007	0,852	0,205	0,205	0,044	8,56	2,06	2,06	0,451
Large_intestine_lumen	0,01	0,009	0,008	0,005	0,057	0,053	0,052	0,036	0,574	0,525	0,523	0,366
Liver	0,025	0,018	0,016	0,011	0,172	0,124	0,113	0,072	1,6	1,17	1,05	0,699
Lung	0,016	0,012	0,01	0,007	0,111	0,082	0,067	0,05	1,08	0,8	0,652	0,485
Mandible	0,009	0,008	0,008	0,006	0,066	0,057	0,057	0,043	0,67	0,578	0,578	0,439
Marrow_red	0,011	0,006	0,005	0,003	0,079	0,04	0,034	0,018	0,807	0,407	0,342	0,185
Medulla_oblongata	0,004	0,003	0,003	0,002	0,029	0,022	0,022	0,014	0,286	0,225	0,225	0,147
Meniscus	0,003	0,002	0,002	0,002	0,022	0,016	0,015	0,01	0,224	0,167	0,148	0,102
Midbrain	0,005	0,003	0,003	0,002	0,03	0,021	0,021	0,012	0,288	0,202	0,202	0,12
Mucosa	0,006	0,003	0,003	0,003	0,042	0,02	0,02	0,02	0,405	0,194	0,194	0,194
Muscle	0,036	0,019	0,019	0,007	0,251	0,132	0,132	0,05	2,58	1,34	1,34	0,497
Nerve	0,016	0,012	0,012	0,007	0,111	0,082	0,082	0,048	1,15	0,843	0,843	0,468
Ovary	0,007	0,004	0,003	0,003	0,046	0,027	0,021	0,02	0,47	0,277	0,208	0,201
Pancreas	0,004	0,003	0,003	0,002	0,028	0,022	0,018	0,014	0,262	0,207	0,176	0,14
Patella	0,002	0,001	0,001	0,001	0,01	0,008	0,008	0,008	0,1	0,081	0,081	0,077
Pinealbody	0,0008	0,0006	0,0006	0,0006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,05	0,041	0,038	0,038
SAT	0,279	0,11	0,11	0,012	1,86	0,736	0,736	0,08	18,4	7,25	7,25	0,799
Skin	0,469	0,379	0,379	0,055	3,13	2,53	2,53	0,365	31,1	25,1	25,1	3,64
Skull	0,041	0,031	0,031	0,014	0,285	0,214	0,214	0,096	2,92	2,19	2,19	0,994
Small_intestine	0,014	0,007	0,007	0,005	0,105	0,052	0,052	0,034	1,07	0,527	0,527	0,343
Small_intestine_lumen	0,007	0,006	0,006	0,005	0,042	0,036	0,036	0,031	0,421	0,364	0,364	0,312
Spinal_cord	0,008	0,006	0,006	0,004	0,055	0,041	0,04	0,027	0,497	0,373	0,357	0,249
Spleen	0,016	0,012	0,012	0,008	0,112	0,082	0,082	0,057	1,15	0,822	0,822	0,575
Stomach	0,011	0,006	0,006	0,004	0,07	0,043	0,043	0,026	0,746	0,448	0,448	0,266
Stomach_lumen	0,004	0,004	0,004	0,004	0,026	0,026	0,026	0,025	0,27	0,266	0,266	0,253
Teeth	0,004	0,002	0,002	0,002	0,028	0,015	0,015	0,014	0,281	0,154	0,154	0,143
Tendon_ligament	0,007	0,003	0,003	0,002	0,047	0,023	0,021	0,017	0,531	0,224	0,222	0,171
Thalamus	0,003	0,003	0,003	0,002	0,023	0,018	0,018	0,011	0,22	0,177	0,177	0,109
Thymus	0,005	0,003	0,003	0,002	0,032	0,021	0,019	0,014	0,324	0,218	0,183	0,141
Tongue	0,006	0,003	0,003	0,001	0,038	0,017	0,017	0,009	0,321	0,151	0,151	0,092
Trachea	0,002	0,002	0,001	0,001	0,013	0,012	0,009	0,009	0,132	0,125	0,088	0,088
Ureter_Urethra	0,045	0,021	0,018	0,017	0,303	0,142	0,122	0,118	3,06	1,44	1,24	1,2
Uterus	0,005	0,003	0,002	0,002	0,037	0,019	0,013	0,01	0,372	0,189	0,137	0,104
Vagina	0,058	0,023	0,023	0,02	0,397	0,155	0,155	0,129	4	1,56	1,56	1,3
Vein	0,027	0,011	0,011	0,006	0,186	0,071	0,071	0,038	1,88	0,719	0,719	0,384
Vertebrae	0,02	0,015	0,015	0,008	0,136	0,105	0,105	0,058	1,39	1,09	1,09	0,598

PNS Gewebe Roberta, ungeerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Artery	18,8	10	10	3,54	162	102	102	35,9	1035	681	681	373
Bladder	9,77	6,21	6,21	3,85	112	71	71	42,9	891	579	579	352
Bone	62,8	15	13,2	7,9	187	143	143	84,8	1531	1245	1245	805
Brain_grey_matter	14	8,21	8,21	3,56	145	88,8	88,8	34,5	1113	716	716	297
Brain_white_matter	8,06	5,15	5,15	3,06	85,7	47,8	47,8	29,9	749	416	416	286
Cartilage	3,58	2,71	2,63	2,11	38,1	29,8	27,9	21,6	408	308	284	225
Cerebellum	19	10,2	10,2	3,13	198	104	104	32,3	1548	808	808	268
Cerebrospinal_fluid	25,3	6,61	6,61	2,03	268	68,8	68,8	20,9	1951	553	553	214
Connective_tissue	163	24,6	15,7	5,85	175	91,1	84,2	58,9	1530	828	828	584
Ear_cartilage	22,7	4,68	4,36	3,58	108	45,3	41,5	34,4	659	430	375	316
Ear_skin	32,7	24	14,1	13,8	148	116	87,5	86,2	668	599	353	350
Esophagus	1,68	1,33	1,17	1,16	17,7	14,4	12,5	12,5	201	165	134	133
Eye_sclera	0,608	0,551	0,551	0,549	7,12	6,43	6,43	6,42	92	83	83	83
Eye_lens	4,14	1,01	1,01	1,01	40,1	9,76	9,76	9,76	410	106	106	106
Eye_vitreous_humor	1,91	0,807	0,807	0,638	19,4	8,92	8,92	7,15	181	101	101	85,8
Fat	25	21,5	21,5	7,78	304	243	243	83,7	2608	2238	2238	870
Gallbladder	7,74	4,12	3,41	2,81	63,5	36,5	34,6	25,9	718	355	355	285
Heart_lumen	4,41	2,97	2,97	1,85	41,9	30,2	30,2	20,5	363	279	279	205
Heart_muscle	6,41	5,64	5,64	4,38	71,1	58,2	58,2	41,8	724	522	522	368
Hippocampus	2,67	2,08	1,8	1,54	25,5	20,3	17,5	15,1	229	184	153	138
Hypophysis	2,33	1,93	1,93	1,92	21,4	17,8	17,8	17,7	216	184	184	183
Hypothalamus	0,93	0,805	0,805	0,72	8,41	7,34	7,34	6,52	94,6	84	84	76,5
Intervertebral_disc	5,53	3,43	3,43	2,3	57,9	35,7	35,7	23,1	620	360	360	259
Kidney_cortex	7,78	5,13	5,13	3,8	105	59,3	59,3	38,2	1414	657	657	386
Kidney_medulla	3,64	3,56	3,52	3,38	35,5	34	34	32,2	345	326	326	305
Large_intestine	82	20,3	20,3	4,64	397	132	132	49	1500	1004	1004	466
Large_intestine_lumen	5,94	5,32	5,3	3,75	59	48,8	48,7	38,2	578	448	448	370
Liver	13,4	10,1	8,87	6,4	105	79,9	77,2	55,4	1085	769	769	510
Lung	10,7	7,99	6,5	4,85	114	85,8	70,7	52,2	922	736	727	521
Mandible	6,83	5,88	5,88	4,42	74,4	62,8	62,8	44,7	683	598	598	426
Marrow_red	8,26	4,13	3,46	1,87	88,9	44,5	36	20,2	799	472	413	280
Medulla_oblongata	2,88	2,26	2,26	1,51	26,7	21	21	14	269	177	177	135
Meniscus	2,28	1,7	1,48	1,02	25,2	18,7	14,3	9,87	384	271	271	193
Midbrain	2,77	1,97	1,97	1,22	25,9	18	18	11,9	242	162	162	109
Mucosa	3,54	1,07	1,07	1,07	39,2	7,57	7,57	7,57	351	77,9	77,9	77,9
Muscle	26,5	13,6	13,6	4,96	276	148	148	49,5	2608	1510	1510	511
Nerve	11,9	8,27	8,27	4,47	124	81,3	81,3	43,4	1132	797	797	457
Ovary	4,87	2,86	2,11	2,05	55,8	32,8	23,4	22,4	570	324	228	218
Pancreas	2,86	1,84	1,56	1,29	44,4	21,2	14,2	11,9	595	262	170	116
Patella	1,01	0,819	0,819	0,774	10,5	8,58	8,57	8,23	259	227	227	208
Pinealbody	0,489	0,397	0,37	0,37	4,94	4,07	3,81	3,81	50,4	43,3	41,4	41,4
SAT	106	42,3	42,3	7,38	792	301	301	73,5	4313	3207	3207	794
Skin	192	163	154	25,3	1171	1418	611	129	4746	6103	3218	665
Skull	29,8	22,3	22,3	10,3	309	229	229	106	2339	1776	1776	906
Small_intestine	11,2	5,38	5,38	3,47	129	57,1	57,1	34,7	1636	648	610	360
Small_intestine_lumen	4,34	3,72	3,72	3,16	46,6	39,4	39,4	31,7	486	418	418	330
Spinal_cord	4,03	3,07	2,82	2,02	30,1	23,7	23	16	282	200	200	131
Spleen	12,3	8,31	8,31	5,82	160	85,4	85,4	59,4	2372	894	894	457
Stomach	8,09	4,7	4,7	2,8	93,2	54	54	31,3	1019	539	509	300
Stomach_lumen	2,84	2,77	2,77	2,63	29,5	28,2	28,2	26,9	298	291	291	273
Teeth	2,83	1,54	1,54	1,41	28,4	14,8	14,8	13,6	261	151	151	141
Tendon_Ligament	6,46	2,33	2,33	1,77	70,8	25,6	25,6	19	749	415	415	317
Thalamus	2,07	1,69	1,69	1,06	20,1	16,5	16,5	10,6	165	143	143	102
Thymus	3,37	2,29	1,79	1,47	36	24,8	18,1	15,5	418	293	221	185
Tongue	1,98	1,2	1,2	0,916	15,4	11,1	11	8,83	166	113	110	92,9
Trachea	1,36	1,28	0,895	0,895	14,1	13,6	9,29	9,29	164	159	110	110
Ureter_Urethra	30,7	14,5	12,7	12,3	230	139	139	136	1614	1076	1076	1052
Uterus	3,86	1,96	1,42	1,08	44,6	22,2	16,1	12,3	428	210	160	115
Vagina	40	15,7	15,7	13	317	130	127	103	1558	729	729	527
Vein	19	7,24	7,24	3,88	145	62	57	40,5	1116	662	589	426
Vertebrae	14,2	11,3	11,3	6,22	149	124	124	66,4	1481	1202	1202	659

vertikales E-Feld (1 kV/m), CNS-Gewebe

CNS Gewebe Roberta ungeerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,0009	0,0006	0,0006	0,0002	0,002	0,0009	0,001	0,0004	0,005	0,002	0,002	0,0008
Brain_white_matter	0,0006	0,0004	0,0004	0,0002	0,0009	0,0007	0,0006	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0007
Cerebellum	0,001	0,0006	0,0006	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0004	0,006	0,002	0,002	0,001
Hippocampus	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0008	0,0006	0,0006	0,0005
Hypophysis	0,0002	0,0004	0,0002	0,0002	0,0003	0,00006	0,00003	0,00003	0,0008	0,0002	0,00008	0,00008
Hypothalamus	0,0001	0,00008	0,00006	0,00006	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0006	0,0004	0,0003	0,0003
Medulla_oblongata	0,001	0,0007	0,0006	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0009	0,005	0,003	0,003	0,002
Midbrain	0,0009	0,0005	0,0005	0,0004	0,001	0,0009	0,0009	0,0006	0,003	0,002	0,002	0,001
Pinealbody	0,00008	0,00007	0,00006	0,00006	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002
Thalamus	0,0006	0,0004	0,0003	0,0002	0,0009	0,0006	0,0004	0,0003	0,001	0,001	0,0008	0,0006

CNS Gewebe Roberta ungeerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,014	0,007	0,007	0,002	0,091	0,044	0,045	0,012	0,902	0,415	0,424	0,106
Brain_white_matter	0,005	0,003	0,003	0,002	0,036	0,019	0,017	0,012	0,364	0,174	0,156	0,107
Cerebellum	0,017	0,007	0,006	0,003	0,108	0,043	0,042	0,017	1,04	0,401	0,395	0,157
Hippocampus	0,002	0,002	0,002	0,001	0,014	0,01	0,01	0,008	0,124	0,092	0,09	0,075
Hypophysis	0,002	0,0005	0,0002	0,0002	0,015	0,003	0,001	0,001	0,14	0,028	0,014	0,014
Hypothalamus	0,002	0,001	0,0007	0,0007	0,01	0,007	0,004	0,004	0,089	0,064	0,043	0,043
Medulla_oblongata	0,013	0,007	0,007	0,006	0,08	0,046	0,042	0,036	0,74	0,428	0,396	0,336
Midbrain	0,007	0,005	0,005	0,003	0,044	0,03	0,029	0,02	0,394	0,264	0,263	0,178
Pinealbody	0,0009	0,0008	0,0007	0,0007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,055	0,047	0,04	0,04
Thalamus	0,003	0,002	0,002	0,001	0,021	0,014	0,012	0,009	0,181	0,123	0,106	0,08

CNS Gewebe Roberta ungeerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	8,91	3,9	3,98	0,935	75,2	32,5	33,1	7,62	397	154	154	40,3
Brain_white_matter	3,64	1,53	1,37	0,941	30,7	12,2	11	7,57	163	69,1	60,7	44,7
Cerebellum	9,95	3,76	3,73	1,45	79,4	30,9	30,9	11,8	417	148	148	58,7
Hippocampus	1,09	0,824	0,801	0,674	8,73	6,71	6,54	5,57	49,2	38,5	35,9	31,9
Hypophysis	1,34	0,267	0,127	0,127	11,1	2,38	1,04	1,04	70,1	19,7	8,51	8,51
Hypothalamus	0,818	0,602	0,406	0,405	6,86	5,1	3,41	3,4	35,1	29,7	24,4	24,3
Medulla_oblongata	6,81	4	3,71	3,14	50,3	30,5	28,4	24,2	252	153	144	131
Midbrain	3,48	2,35	2,34	1,6	26	17,5	17,4	12,1	136	72,1	72,1	53,3
Pinealbody	0,508	0,434	0,377	0,377	4,23	3,59	3,15	3,15	27,6	23,6	21,8	21,8
Thalamus	1,51	1,04	0,925	0,711	11,2	7,85	7,46	5,75	51,3	38,2	38,2	32,4

vertikales E-Feld (1 kV/m), PNS-Gewebe

PNS Gewebe Roberta ungeerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Artery	0,001	0,0008	0,0007	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0007	0,005	0,004	0,003	0,002
Bladder	0,0005	0,0003	0,0003	0,0002	0,0009	0,0006	0,0006	0,0004	0,002	0,002	0,002	0,001
Bone	0,066	0,015	0,003	0,001	0,111	0,026	0,005	0,002	0,332	0,077	0,015	0,005
Brain_grey_matter	0,0009	0,0007	0,0007	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0004	0,005	0,003	0,003	0,0008
Brain_white_matter	0,0006	0,0004	0,0004	0,0002	0,0009	0,0007	0,0007	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0007
Cartilage	0,01	0,001	0,001	0,0002	0,016	0,002	0,002	0,0003	0,049	0,006	0,006	0,0009
Cerebellum	0,001	0,0007	0,0007	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0006	0,006	0,003	0,003	0,001
Cerebrospinal fluid	0,002	0,0004	0,0004	0,0002	0,003	0,0007	0,0007	0,0003	0,008	0,002	0,002	0,0008
Connective tissue	0,141	0,025	0,025	0,0007	0,234	0,041	0,041	0,001	0,704	0,124	0,124	0,003
Ear_cartilage	0,08	0,016	0,016	0,004	0,133	0,027	0,027	0,007	0,399	0,08	0,08	0,022
Ear_skin	0,09	0,061	0,061	0,056	0,15	0,101	0,101	0,094	0,452	0,304	0,304	0,282
Esophagus	0,0005	0,0003	0,0003	0,0003	0,0008	0,0005	0,0005	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,001
Eye_Sclera	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Eye_lens	0,004	0,0001	0,0001	0,0001	0,006	0,0002	0,0002	0,0002	0,018	0,0004	0,0004	0,0004
Eye_vitreous_humor	0,004	0,0005	0,00005	0,00003	0,006	0,0008	0,00008	0,00004	0,018	0,002	0,0002	0,0001
Fat	0,009	0,002	0,002	0,0008	0,014	0,003	0,003	0,001	0,043	0,01	0,007	0,004
Gallbladder	0,0007	0,0003	0,0002	0,0002	0,001	0,0005	0,0004	0,0003	0,003	0,001	0,001	0,0008
Heart_lumen	0,0009	0,0004	0,0004	0,0001	0,002	0,0007	0,0007	0,0002	0,003	0,002	0,002	0,0005
Heart_muscle	0,001	0,001	0,001	0,0008	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,004	0,004	0,003
Hippocampus	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0008	0,0006	0,0006	0,0005
Hypophysis	0,0002	0,00009	0,00009	0,00009	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0008	0,0004	0,0004	0,0004
Hypothalamus	0,0001	0,00008	0,00006	0,00006	0,0002	0,0001	0,0001	0,00009	0,0006	0,0004	0,0003	0,0002
Intervertebral_disc	0,0007	0,0004	0,0004	0,0002	0,001	0,0007	0,0007	0,0004	0,003	0,002	0,002	0,001
Kidney_cortex	0,0004	0,0004	0,0004	0,0002	0,0007	0,0006	0,0006	0,0004	0,002	0,002	0,002	0,001
Kidney_medulla	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,0009
Large_intestine	0,001	0,001	0,001	0,0007	0,002	0,002	0,002	0,001	0,007	0,002	0,002	0,002
Large_intestine_lumen	0,001	0,0005	0,0005	0,0002	0,002	0,0009	0,0008	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0009
Liver	0,0009	0,0008	0,0008	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,0007	0,003	0,003	0,003	0,002
Lung	0,0007	0,0007	0,0006	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,0006	0,003	0,002	0,002	0,001
Mandible	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,001	0,0008	0,0008	0,0006	0,003	0,002	0,002	0,002
Marrow_red	0,002	0,001	0,001	0,0007	0,003	0,002	0,002	0,001	0,008	0,005	0,004	0,003
Medulla_oblongata	0,001	0,0008	0,0008	0,0006	0,002	0,001	0,001	0,001	0,005	0,003	0,003	0,003
Meniscus	0,001	0,0006	0,0006	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0008	0,005	0,003	0,003	0,002
Midbrain	0,0009	0,0007	0,0007	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,0007	0,003	0,002	0,002	0,001
Mucosa	0,009	0,0002	0,0002	0,0002	0,014	0,0004	0,0004	0,0004	0,043	0,0009	0,0009	0,0009
Muscle	0,023	0,01	0,003	0,0006	0,038	0,017	0,005	0,0009	0,115	0,052	0,014	0,003
Nerve	0,001	0,0009	0,0009	0,0005	0,002	0,002	0,002	0,0009	0,006	0,004	0,004	0,002
Ovary	0,0005	0,0002	0,0002	0,0002	0,0008	0,0004	0,0004	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,001
Pancreas	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0007	0,0004	0,0004	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0007
Patella	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,001	0,0009	0,0009	0,0008	0,003	0,002	0,002	0,002
Pinealbody	0,00008	0,00007	0,00006	0,00006	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002
SAT	0,144	0,043	0,031	0,004	0,239	0,071	0,051	0,006	0,718	0,214	0,153	0,018
Skin	0,162	0,126	0,126	0,038	0,269	0,21	0,21	0,064	0,809	0,631	0,631	0,192
Skull	0,017	0,008	0,001	0,0007	0,029	0,013	0,002	0,001	0,087	0,038	0,006	0,004
Small_intestine	0,0009	0,0005	0,0003	0,0002	0,002	0,0008	0,0006	0,0004	0,003	0,002	0,002	0,001
Small_intestine_lumen	0,0006	0,0003	0,0003	0,0002	0,0009	0,0005	0,0005	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0009
Spinal_cord	0,001	0,001	0,001	0,0007	0,002	0,002	0,002	0,001	0,006	0,004	0,004	0,003
Spleen	0,0006	0,0005	0,0004	0,0003	0,0009	0,0008	0,0007	0,0005	0,002	0,002	0,001	0,001
Stomach	0,0009	0,0005	0,0005	0,0002	0,002	0,0009	0,0009	0,0003	0,003	0,002	0,002	0,0007
Stomach_lumen	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008
Teeth	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,001
Tendon_Ligament	0,001	0,0008	0,0007	0,0006	0,002	0,001	0,001	0,001	0,006	0,004	0,003	0,003
Thalamus	0,0006	0,0004	0,0003	0,0002	0,0009	0,0006	0,0004	0,0003	0,001	0,001	0,0008	0,0006
Thymus	0,0007	0,0003	0,0003	0,0002	0,001	0,0005	0,0005	0,0003	0,003	0,001	0,001	0,0008
Tongue	0,001	0,0005	0,0003	0,0002	0,002	0,0008	0,0006	0,0003	0,005	0,002	0,001	0,0008
Trachea	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,002	0,002	0,001	0,001
Ureter_Urethra	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,0006	0,0004	0,0004	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,001
Uterus	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0007	0,0004	0,0004	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0009
Vagina	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,0009	0,0006	0,0006	0,0005	0,003	0,001	0,001	0,001
Vein	0,001	0,0008	0,0008	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0009	0,006	0,004	0,004	0,002
Vertebrae	0,001	0,001	0,001	0,0005	0,002	0,002	0,002	0,0009	0,006	0,005	0,005	0,002

PNS Gewebe Roberta ungeerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Artery	0,014	0,009	0,009	0,005	0,085	0,058	0,055	0,027	0,823	0,558	0,53	0,258
Bladder	0,007	0,004	0,004	0,003	0,042	0,028	0,028	0,019	0,402	0,268	0,268	0,18
Bone	0,998	0,229	0,044	0,014	6,67	1,53	0,289	0,084	65,6	15	2,82	0,808
Brain_grey_matter	0,014	0,01	0,01	0,002	0,091	0,065	0,065	0,013	0,902	0,634	0,634	0,113
Brain_white_matter	0,005	0,003	0,003	0,002	0,036	0,018	0,018	0,012	0,364	0,156	0,156	0,108
Cartilage	0,148	0,018	0,018	0,003	0,985	0,123	0,123	0,016	9,65	1,21	1,21	0,155
Cerebellum	0,017	0,008	0,008	0,004	0,108	0,053	0,053	0,025	1,04	0,498	0,498	0,237
Cerebrospinal_fluid	0,023	0,005	0,005	0,002	0,149	0,031	0,031	0,013	1,46	0,302	0,302	0,122
Connective_tissue	2,11	0,372	0,372	0,008	14,1	2,48	2,48	0,05	139	24,4	24,4	0,487
Ear_cartilage	1,2	0,239	0,239	0,067	7,97	1,59	1,59	0,449	79,1	15,8	15,8	4,43
Ear_skin	1,36	0,912	0,912	0,846	9,04	6,08	6,08	5,64	89,8	60,4	60,4	56
Esophagus	0,005	0,003	0,003	0,003	0,033	0,02	0,02	0,02	0,313	0,193	0,187	0,187
Eye_sclera	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,027	0,025	0,025	0,025
Eye_lens	0,054	0,001	0,001	0,001	0,359	0,007	0,007	0,007	3,54	0,066	0,066	0,066
Eye_vitreous_humor	0,055	0,007	0,0006	0,0003	0,367	0,047	0,003	0,002	3,62	0,464	0,033	0,022
Fat	0,128	0,029	0,022	0,011	0,855	0,19	0,147	0,065	8,39	1,87	1,44	0,627
Gallbladder	0,008	0,004	0,002	0,002	0,047	0,021	0,015	0,012	0,387	0,181	0,143	0,116
Heart_lumen	0,008	0,004	0,004	0,001	0,049	0,026	0,026	0,009	0,35	0,212	0,212	0,088
Heart_muscle	0,01	0,009	0,009	0,007	0,056	0,051	0,051	0,043	0,42	0,354	0,354	0,311
Hippocampus	0,002	0,002	0,002	0,001	0,014	0,01	0,01	0,008	0,124	0,092	0,09	0,075
Hypophysis	0,002	0,001	0,001	0,001	0,015	0,007	0,007	0,007	0,14	0,067	0,067	0,065
Hypothalamus	0,002	0,001	0,0007	0,0007	0,01	0,007	0,005	0,004	0,089	0,064	0,043	0,043
Intervertebral_disc	0,009	0,005	0,005	0,003	0,054	0,031	0,031	0,017	0,52	0,298	0,298	0,167
Kidney_cortex	0,005	0,004	0,004	0,003	0,032	0,024	0,024	0,016	0,32	0,227	0,227	0,148
Kidney_medulla	0,002	0,002	0,002	0,002	0,015	0,014	0,014	0,013	0,135	0,13	0,13	0,119
Large_intestine	0,019	0,004	0,004	0,003	0,122	0,023	0,023	0,017	1,17	0,218	0,218	0,16
Large_intestine_lumen	0,004	0,003	0,003	0,002	0,022	0,017	0,017	0,014	0,204	0,164	0,164	0,132
Liver	0,01	0,008	0,008	0,005	0,056	0,049	0,049	0,028	0,491	0,416	0,416	0,244
Lung	0,008	0,006	0,006	0,004	0,046	0,037	0,035	0,022	0,419	0,311	0,311	0,198
Mandible	0,008	0,006	0,006	0,005	0,05	0,038	0,038	0,03	0,485	0,362	0,362	0,287
Marrow_red	0,022	0,013	0,011	0,009	0,135	0,076	0,07	0,051	1,3	0,735	0,674	0,493
Medulla_oblongata	0,013	0,009	0,009	0,007	0,08	0,055	0,055	0,041	0,74	0,508	0,508	0,388
Meniscus	0,014	0,008	0,007	0,006	0,084	0,046	0,045	0,038	0,804	0,453	0,437	0,368
Midbrain	0,007	0,006	0,006	0,004	0,044	0,034	0,034	0,022	0,394	0,303	0,303	0,194
Mucosa	0,127	0,003	0,003	0,003	0,842	0,016	0,016	0,016	7,84	0,145	0,145	0,145
Muscle	0,346	0,155	0,042	0,006	2,3	1,03	0,283	0,039	22,7	10,2	2,78	0,371
Nerve	0,015	0,01	0,01	0,006	0,088	0,058	0,058	0,034	0,809	0,499	0,488	0,286
Ovary	0,006	0,003	0,003	0,003	0,037	0,019	0,019	0,017	0,357	0,186	0,183	0,16
Pancreas	0,004	0,002	0,002	0,002	0,021	0,014	0,014	0,011	0,207	0,134	0,134	0,103
Patella	0,007	0,006	0,006	0,006	0,044	0,039	0,039	0,037	0,425	0,376	0,376	0,358
Pinealbody	0,0009	0,0008	0,0007	0,0007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,055	0,046	0,04	0,04
SAT	2,15	0,64	0,459	0,053	14,4	4,27	3,06	0,353	142	42	30,2	3,47
Skin	2,43	1,89	1,89	0,575	16,2	12,6	12,6	3,84	160	124	124	37,8
Skull	0,261	0,113	0,018	0,01	1,74	0,754	0,115	0,067	17,1	7,41	1,11	0,656
Small_intestine	0,008	0,004	0,004	0,002	0,047	0,027	0,027	0,015	0,449	0,256	0,256	0,141
Small_intestine_lumen	0,005	0,003	0,003	0,002	0,029	0,017	0,017	0,013	0,273	0,162	0,162	0,128
Spinal_cord	0,014	0,01	0,01	0,008	0,085	0,063	0,063	0,045	0,756	0,556	0,554	0,402
Spleen	0,006	0,004	0,004	0,003	0,034	0,025	0,023	0,016	0,328	0,221	0,21	0,151
Stomach	0,009	0,004	0,002	0,002	0,054	0,026	0,015	0,012	0,504	0,245	0,144	0,112
Stomach_lumen	0,002	0,002	0,002	0,002	0,014	0,013	0,013	0,012	0,127	0,121	0,118	0,115
Teeth	0,004	0,004	0,004	0,004	0,028	0,022	0,022	0,022	0,273	0,212	0,212	0,212
Tendon_ligament	0,016	0,011	0,009	0,007	0,098	0,065	0,054	0,042	0,945	0,626	0,527	0,413
Thalamus	0,003	0,002	0,002	0,001	0,021	0,014	0,012	0,009	0,181	0,122	0,106	0,08
Thymus	0,008	0,004	0,003	0,002	0,047	0,022	0,019	0,013	0,438	0,209	0,182	0,117
Tongue	0,014	0,006	0,004	0,002	0,083	0,035	0,023	0,012	0,73	0,314	0,178	0,118
Trachea	0,004	0,004	0,003	0,003	0,027	0,026	0,02	0,02	0,255	0,245	0,193	0,193
Ureter_urethra	0,004	0,003	0,003	0,003	0,025	0,017	0,017	0,017	0,237	0,165	0,165	0,163
Uterus	0,006	0,003	0,003	0,002	0,039	0,016	0,016	0,012	0,379	0,155	0,155	0,118
Vagina	0,009	0,003	0,003	0,002	0,057	0,019	0,017	0,014	0,546	0,184	0,167	0,139
Vein	0,016	0,01	0,009	0,006	0,098	0,059	0,058	0,038	0,952	0,566	0,559	0,366
Vertebrae	0,016	0,013	0,013	0,006	0,097	0,077	0,077	0,038	0,869	0,695	0,695	0,354

PNS Gewebe Roberta ungeerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Artery	8,09	5,47	5,2	2,48	71	47,6	45,1	19,3	493	330	319	144
Bladder	3,92	2,6	2,6	1,75	34,4	22,6	22,6	15,5	258	170	170	125
Bone	319	76,2	27,1	7,87	228	181	181	65,1	595	536	536	403
Brain_grey_matter	8,91	6,13	6,13	0,999	75,2	51,7	51,7	8,13	397	262	262	42,3
Brain_white_matter	3,64	1,37	1,37	0,949	30,7	11	11	7,63	163	60,9	60,7	44,9
Cartilage	47,5	6,06	6,06	1,43	57,8	16,6	16,6	11,1	351	106	106	77,3
Cerebellum	9,95	4,7	4,7	2,24	79,4	38,4	38,4	18,3	417	211	211	97,5
Cerebrospinal_fluid	14,3	2,9	2,9	1,16	112	23,7	23,7	9,05	538	127	127	70,3
Connective_tissue	750	123	123	4,72	276	115	115	40,2	652	456	456	277
Ear_cartilage	511	107	107	23,8	221	66,5	66,5	24,5	137	92,4	90,5	75,7
Ear_skin	597	404	404	374	292	291	201	191	147	121	102	99
Esophagus	2,98	1,84	1,79	1,78	23	14,1	13,8	13,8	170	105	104	103
Eye_sclera	0,264	0,248	0,248	0,247	2,69	2,5	2,5	2,49	23,1	21,3	21,3	21,2
Eye_lens	16,8	0,635	0,635	0,635	24,3	4,96	4,96	4,96	116	32,3	32,3	32,3
Eye_vitreous_humor	16,7	2,38	0,311	0,219	11,8	4,85	2,64	2,14	66,7	31,4	20,6	17,3
Fat	38,6	14,5	14,5	6,15	192	148	148	54,2	1334	1030	1030	372
Gallbladder	2,71	1,38	1,32	1,09	15,8	9,43	9,43	7,88	128	60	60	52,5
Heart_lumen	2,44	1,65	1,65	0,824	14,3	10,6	10,6	6,3	77,9	62,3	62,3	40,6
Heart_muscle	3,4	2,45	2,45	2,23	21,9	16,2	16,2	13,6	155	91,2	91,2	75,2
Hippocampus	1,09	0,824	0,801	0,674	8,73	6,71	6,54	5,56	49,2	38,5	35,9	31,8
Hypophysis	1,34	0,644	0,644	0,62	11,1	5,39	5,39	5,18	70,1	36,9	36,9	35,6
Hypothalamus	0,818	0,596	0,416	0,405	6,86	5,05	3,57	3,4	35,1	29,7	26,1	24,3
Intervertebral_disc	4,99	2,86	2,86	1,6	38,6	21,9	21,9	12	271	154	154	86,2
Kidney_cortex	3,22	2,12	2,12	1,39	29,4	16,7	16,7	10,5	265	121	121	72
Kidney_medulla	1,25	1,21	1,21	1,09	9,15	8,77	8,77	7,77	64,7	58,5	58,5	51,3
Large_intestine	10,7	2,06	2,06	1,53	40,5	17,5	16,8	11,9	295	134	134	82,4
Large_intestine_lumen	1,96	1,58	1,58	1,27	15,3	12,2	12,2	9,58	110	83,9	83,9	68,7
Liver	3,98	3,27	3,27	1,97	29,9	21,8	21,8	11,8	205	139	139	69,9
Lung	3,63	2,71	2,71	1,75	26,7	19,6	19,6	13	164	122	122	85,8
Mandible	4,66	3,47	3,47	2,73	37,8	27,7	27,7	21,6	224	171	171	133
Marrow_red	12,7	7,15	6,53	4,78	100	58	53,5	39,2	542	374	351	281
Medulla_oblongata	6,81	4,72	4,72	3,63	50,3	35,6	35,6	27,7	252	174	174	146
Meniscus	7,81	4,48	4,26	3,6	63,2	41,4	35	29,6	414	293	239	195
Midbrain	3,48	2,71	2,71	1,73	26	20,2	20,2	13,1	136	85,1	85,1	56,8
Mucosa	35,8	1,09	1,09	1,09	42,4	7,36	7,32	7,32	261	47,8	47,5	47,5
Muscle	111	50,2	13,7	3,58	204	72,7	72,7	28,5	1122	467	467	204
Nerve	7,22	4,07	3,77	2,26	50	25,9	23,8	15,4	276	147	134	98
Ovary	3,49	1,8	1,77	1,54	30,4	15	14,3	12,5	235	111	111	90,2
Pancreas	2,05	1,26	1,26	0,971	22,7	11	9,97	7,64	189	84,7	72,7	55,9
Patella	4,17	3,69	3,69	3,51	36,7	32,6	32,6	31,2	262	237	237	228
Pinealbody	0,508	0,424	0,377	0,377	4,23	3,52	3,15	3,15	27,6	23,3	21,8	21,8
SAT	733	216	161	17,5	251	183	183	49,7	796	699	699	297
Skin	841	680	664	184	285	262	249	92,4	557	458	440	228
Skull	81,7	36,6	10,7	6,45	112	85,3	85,3	52,2	579	472	472	318
Small_intestine	4,39	2,49	2,49	1,34	40	21,1	21,1	10,1	313	155	155	71,3
Small_intestine_lumen	2,62	1,55	1,55	1,2	21	11,9	11,9	8,91	154	87,5	87,5	64,7
Spinal_cord	6,44	4,75	4,59	3,39	42,7	31,6	30,9	22,5	226	179	179	127
Spleen	3,19	1,92	1,9	1,36	29,5	14,3	14,3	9,91	286	107	107	47,8
Stomach	4,48	2,22	1,35	1,02	34,7	16,7	11,1	7,77	224	107	76,2	50,7
Stomach_lumen	1,14	1,09	1,08	1,04	7,78	7,59	7,46	7,23	52,7	52	52	49,5
Teeth	3,34	2,83	2,83	2,64	29,3	24,7	24,7	22,9	183	155	155	143
Tendon_Ligament	9,24	6,15	5,22	4,05	78,7	53,6	48,3	36,1	549	371	371	270
Thalamus	1,51	1,03	0,925	0,713	11,2	7,76	7,46	5,77	51,3	38,2	38,2	32,5
Thymus	4,15	1,99	1,73	1,09	32,8	15,9	14	8,87	229	112	98,2	64,8
Tongue	4,02	2,07	1,25	1,13	31	16	9,3	8,35	194	103	69,3	60,8
Trachea	2,41	2,31	1,82	1,82	19,5	17,7	14	14	143	138	107	107
Ureter_Urethra	2,22	1,62	1,62	1,61	20,2	14,9	14,9	14,7	163	120	120	119
Uterus	3,78	1,53	1,53	1,14	36,1	14,1	14,1	9,91	280	107	107	73,5
Vagina	5,19	1,76	1,61	1,34	29,4	12,5	12,5	10,9	150	96	93	81,5
Vein	9,35	5,53	5,45	3,57	80,6	49	46,4	30,6	536	349	328	225
Vertebrae	7,99	5,92	5,92	3,27	61,6	38,7	38,7	24,3	343	252	252	158

## A.2 Roberta, geerdet

frontales B-Feld (100  $\mu$ T), CNS-Gewebe

CNS Gewebe Roberta, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,002	0,001	0,001	0,0005	0,003	0,002	0,002	0,0008	0,006	0,005	0,004	0,002
Brain_white_matter	0,0007	0,0006	0,0006	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,0006	0,003	0,003	0,003	0,002
Cerebellum	0,002	0,0006	0,0006	0,0003	0,003	0,001	0,001	0,0005	0,009	0,003	0,003	0,001
Hippocampus	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,0008
Hypophysis	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,001	0,0007	0,0006	0,0006
Hypothalamus	0,00007	0,00006	0,00004	0,00004	0,0001	0,00009	0,00007	0,00007	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003
Medulla_oblongata	0,0004	0,0002	0,0002	0,0001	0,0006	0,0003	0,0003	0,0002	0,002	0,001	0,001	0,0006
Midbrain	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0003	0,0003	0,0002	0,001	0,0008	0,0008	0,0006
Pinealbody	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00009	0,00007	0,00006	0,00006	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
Thalamus	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0004	0,0004	0,0002	0,001	0,0009	0,0009	0,0006

CNS Gewebe Roberta, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,018	0,014	0,012	0,006	0,126	0,092	0,082	0,037	1,3	0,879	0,781	0,36
Brain_white_matter	0,01	0,009	0,009	0,005	0,066	0,056	0,056	0,032	0,683	0,548	0,548	0,317
Cerebellum	0,028	0,009	0,009	0,004	0,192	0,065	0,065	0,026	1,96	0,649	0,649	0,261
Hippocampus	0,004	0,003	0,003	0,002	0,028	0,022	0,019	0,016	0,273	0,213	0,179	0,159
Hypophysis	0,003	0,002	0,002	0,002	0,02	0,013	0,012	0,012	0,207	0,135	0,129	0,129
Hypothalamus	0,001	0,001	0,0008	0,0008	0,008	0,006	0,005	0,005	0,085	0,069	0,057	0,056
Medulla_oblongata	0,006	0,003	0,003	0,002	0,037	0,021	0,018	0,013	0,364	0,207	0,181	0,128
Midbrain	0,004	0,002	0,002	0,002	0,03	0,015	0,015	0,011	0,3	0,149	0,149	0,113
Pinealbody	0,0008	0,0006	0,0006	0,0006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,05	0,041	0,038	0,038
Thalamus	0,003	0,003	0,003	0,002	0,023	0,018	0,017	0,011	0,216	0,172	0,166	0,108

CNS Gewebe Roberta, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	13,4	8,31	7,42	3,47	139	77,4	69,5	33,6	1137	545	493	290
Brain_white_matter	7,06	5,16	5,16	3,07	76,6	47,9	47,9	29,9	567	415	415	287
Cerebellum	19,9	6,47	6,47	2,58	201	66,9	66,9	26,6	1570	472	472	223
Hippocampus	2,62	2,06	1,71	1,54	25,2	20,1	16,7	15,2	227	183	147	138
Hypophysis	2,15	1,4	1,34	1,34	20,2	13	12,5	12,5	211	138	133	133
Hypothalamus	0,896	0,734	0,624	0,611	8,32	6,7	5,56	5,43	93,2	78,1	67,7	66,5
Medulla_oblongata	3,6	2,07	1,81	1,32	31,1	17,9	16,1	12	237	149	149	118
Midbrain	3,04	1,51	1,51	1,15	29,4	14,5	14,5	11,2	246	128	126	103
Pinealbody	0,487	0,399	0,373	0,373	4,92	4,1	3,86	3,86	50,4	43,6	41,9	41,9
Thalamus	2,04	1,64	1,59	1,05	19,7	16	15,5	10,6	161	140	135	102



frontales B-Feld(100 µT), PNS-Gewebe

PNS Gewebe Roberta, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 µT]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Artery	0,002	0,001	0,001	0,0003	0,003	0,002	0,002	0,0006	0,01	0,005	0,005	0,002
Bladder	0,0006	0,0004	0,0004	0,0003	0,0009	0,0007	0,0007	0,0005	0,003	0,002	0,002	0,001
Bone	0,029	0,005	0,004	0,0007	0,048	0,009	0,007	0,001	0,151	0,029	0,023	0,004
Brain_grey_matter	0,002	0,001	0,001	0,0005	0,003	0,002	0,002	0,0008	0,006	0,005	0,004	0,002
Brain_white_matter	0,0007	0,0006	0,0006	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,0006	0,003	0,003	0,003	0,002
Cartilage	0,0005	0,0003	0,0003	0,0002	0,0009	0,0004	0,0004	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,001
Cerebellum	0,002	0,0007	0,0007	0,0003	0,003	0,001	0,001	0,0005	0,009	0,004	0,004	0,002
Cerebrospinal_fluid	0,002	0,0007	0,0006	0,0002	0,003	0,001	0,001	0,0003	0,011	0,003	0,003	0,001
Connective_tissue	0,059	0,008	0,008	0,0006	0,098	0,013	0,013	0,001	0,309	0,04	0,04	0,003
Ear_cartilage	0,002	0,0007	0,0004	0,0003	0,004	0,001	0,0006	0,0005	0,011	0,004	0,002	0,002
Ear_skin	0,003	0,003	0,001	0,001	0,005	0,004	0,002	0,002	0,017	0,013	0,007	0,007
Esophagus	0,0001	0,00009	0,00008	0,00008	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0008	0,0005	0,0004	0,0004
Eye_Sclera	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00008	0,00007	0,00007	0,00007	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Eye_vitreous_humor	0,0002	0,00007	0,00007	0,00005	0,0003	0,0001	0,0001	0,00009	0,0009	0,0004	0,0004	0,0003
Fat	0,003	0,001	0,001	0,0007	0,005	0,002	0,002	0,001	0,015	0,007	0,007	0,003
Gallbladder	0,001	0,0005	0,0005	0,0003	0,002	0,0008	0,0008	0,0004	0,005	0,002	0,002	0,002
Heart_lumen	0,0008	0,0004	0,0004	0,0001	0,001	0,0006	0,0006	0,0002	0,003	0,002	0,002	0,0008
Heart_muscle	0,001	0,001	0,001	0,0008	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,004	0,004	0,003
Hippocampus	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,0009
Hypophysis	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,001	0,0008	0,0008	0,0008
Hypothalamus	0,00007	0,00006	0,00005	0,00005	0,0001	0,00009	0,00009	0,00008	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003
Intervertebral_disc	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,0007	0,0004	0,0004	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,001
Kidney_cortex	0,0007	0,0005	0,0005	0,0004	0,001	0,0009	0,0009	0,0007	0,003	0,002	0,002	0,002
Kidney_medulla	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,002	0,002	0,002	0,002
Large_intestine	0,01	0,003	0,003	0,001	0,016	0,005	0,005	0,002	0,047	0,01	0,01	0,004
Large_intestine_lumen	0,002	0,0008	0,0008	0,0004	0,003	0,001	0,001	0,0006	0,005	0,003	0,003	0,002
Liver	0,002	0,001	0,001	0,0007	0,003	0,002	0,002	0,001	0,008	0,006	0,005	0,004
Lung	0,001	0,0008	0,0008	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0008	0,005	0,004	0,003	0,002
Mandible	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0009	0,0008	0,0008	0,0006	0,003	0,003	0,003	0,002
Marrow_red	0,001	0,0005	0,0005	0,0003	0,002	0,0009	0,0008	0,0006	0,005	0,003	0,002	0,002
Medulla_oblongata	0,0004	0,0002	0,0002	0,0001	0,0006	0,0003	0,0003	0,0002	0,002	0,001	0,001	0,0008
Meniscus	0,0005	0,0004	0,0004	0,0002	0,0008	0,0006	0,0006	0,0004	0,002	0,002	0,002	0,001
Midbrain	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0003	0,0003	0,0002	0,001	0,001	0,001	0,0006
Muscle	0,004	0,002	0,002	0,0005	0,007	0,004	0,004	0,0008	0,023	0,011	0,011	0,002
Nerve	0,001	0,0008	0,0008	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0007	0,006	0,004	0,004	0,002
Ovary	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0009
Pancreas	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,001	0,0009	0,0008	0,0006
Patella	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,001
Pinealbody	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00009	0,00007	0,00007	0,00007	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
SAT	0,114	0,037	0,037	0,002	0,189	0,062	0,062	0,003	0,596	0,195	0,195	0,01
Skin	0,133	0,075	0,073	0,05	0,221	0,126	0,122	0,084	0,696	0,393	0,382	0,261
Skull	0,002	0,002	0,002	0,0008	0,004	0,003	0,003	0,001	0,012	0,01	0,01	0,004
Small_intestine	0,001	0,0007	0,0007	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0006	0,005	0,003	0,003	0,002
Small_intestine_lumen	0,0009	0,0006	0,0005	0,0003	0,001	0,001	0,0008	0,0006	0,003	0,002	0,002	0,002
Spinal_cord	0,0006	0,0004	0,0004	0,0003	0,001	0,0007	0,0006	0,0005	0,003	0,002	0,002	0,001
Spleen	0,001	0,0008	0,0008	0,0006	0,002	0,001	0,001	0,001	0,005	0,004	0,004	0,003
Stomach	0,001	0,0004	0,0004	0,0002	0,002	0,0007	0,0007	0,0004	0,004	0,002	0,002	0,001
Stomach_lumen	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,001
Teeth	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,0009
Tendon_Ligament	0,001	0,0006	0,0006	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0006	0,005	0,003	0,003	0,002
Thalamus	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0004	0,0004	0,0002	0,001	0,0009	0,0009	0,0006
Thymus	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0003	0,0003	0,0002	0,001	0,001	0,001	0,0007
Tongue	0,0004	0,0002	0,0002	0,00009	0,0006	0,0003	0,0003	0,0001	0,002	0,0008	0,0008	0,0005
Trachea	0,0001	0,00009	0,00007	0,00007	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0006	0,0005	0,0004	0,0004
Ureter_Urethra	0,002	0,0009	0,0008	0,0008	0,003	0,002	0,001	0,001	0,01	0,005	0,004	0,004
Uterus	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,0005	0,0003	0,0002	0,0002	0,001	0,0009	0,0007	0,0006
Vagina	0,003	0,002	0,002	0,002	0,005	0,003	0,003	0,003	0,016	0,008	0,008	0,006
Vein	0,002	0,0009	0,0009	0,0004	0,003	0,001	0,001	0,0006	0,009	0,004	0,004	0,002
Vertebrae	0,001	0,0008	0,0008	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0008	0,006	0,004	0,004	0,003

PNS Gewebe Roberta, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Artery	0,03	0,016	0,016	0,005	0,201	0,108	0,108	0,035	2,03	1,09	1,09	0,354
Bladder	0,01	0,008	0,008	0,004	0,068	0,055	0,055	0,03	0,694	0,566	0,566	0,311
Bone	0,491	0,095	0,075	0,012	3,45	0,669	0,523	0,083	34,9	6,8	5,26	0,844
Brain_grey_matter	0,018	0,013	0,012	0,006	0,126	0,089	0,082	0,038	1,3	0,849	0,844	0,37
Brain_white_matter	0,01	0,009	0,009	0,005	0,066	0,056	0,056	0,032	0,683	0,548	0,548	0,317
Cartilage	0,007	0,004	0,004	0,003	0,043	0,028	0,028	0,021	0,425	0,285	0,285	0,211
Cerebellum	0,028	0,012	0,012	0,005	0,192	0,082	0,082	0,032	1,96	0,835	0,835	0,315
Cerebrospinal_fluid	0,035	0,011	0,011	0,003	0,251	0,074	0,074	0,02	2,58	0,75	0,75	0,201
Connective_tissue	1,01	0,131	0,131	0,01	7,14	0,919	0,919	0,063	72,1	9,26	9,26	0,63
Ear_cartilage	0,034	0,012	0,006	0,005	0,226	0,08	0,042	0,033	2,28	0,808	0,425	0,336
Ear_skin	0,051	0,041	0,021	0,021	0,34	0,274	0,142	0,14	3,43	2,76	1,43	1,41
Esophagus	0,002	0,002	0,001	0,001	0,016	0,011	0,01	0,01	0,161	0,116	0,107	0,105
Eye_Sclera	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,056	0,052	0,052	0,052
Eye_vitreous_humor	0,003	0,001	0,001	0,0009	0,019	0,008	0,008	0,006	0,192	0,079	0,079	0,062
Fat	0,049	0,024	0,024	0,011	0,34	0,18	0,18	0,075	3,41	1,83	1,83	0,753
Gallbladder	0,015	0,007	0,005	0,004	0,101	0,048	0,035	0,03	0,949	0,432	0,352	0,295
Heart_lumen	0,01	0,005	0,005	0,002	0,063	0,034	0,034	0,016	0,512	0,308	0,308	0,172
Heart_muscle	0,012	0,011	0,011	0,009	0,077	0,073	0,073	0,061	0,743	0,606	0,606	0,505
Hippocampus	0,004	0,003	0,003	0,002	0,028	0,022	0,019	0,016	0,273	0,213	0,179	0,159
Hypophysis	0,003	0,003	0,003	0,003	0,02	0,017	0,017	0,017	0,207	0,173	0,173	0,172
Hypothalamus	0,001	0,001	0,001	0,001	0,008	0,007	0,007	0,007	0,085	0,073	0,073	0,069
Intervertebral_disc	0,008	0,005	0,005	0,003	0,053	0,032	0,032	0,021	0,544	0,336	0,336	0,222
Kidney_cortex	0,01	0,008	0,007	0,006	0,07	0,051	0,05	0,039	0,722	0,51	0,51	0,387
Kidney_medulla	0,006	0,006	0,006	0,005	0,038	0,038	0,037	0,036	0,376	0,371	0,365	0,351
Large_intestine	0,136	0,027	0,027	0,007	0,917	0,175	0,175	0,044	9,25	1,77	1,77	0,448
Large_intestine_lumen	0,01	0,009	0,008	0,005	0,058	0,052	0,052	0,036	0,593	0,524	0,523	0,366
Liver	0,025	0,018	0,017	0,011	0,169	0,122	0,114	0,072	1,59	1,16	1,07	0,701
Lung	0,017	0,012	0,01	0,007	0,114	0,083	0,066	0,05	1,11	0,814	0,645	0,485
Mandible	0,009	0,008	0,008	0,006	0,063	0,058	0,058	0,043	0,642	0,587	0,587	0,436
Marrow_red	0,014	0,007	0,007	0,005	0,088	0,046	0,045	0,029	0,869	0,459	0,44	0,283
Medulla_oblongata	0,006	0,003	0,003	0,002	0,037	0,022	0,022	0,015	0,364	0,224	0,224	0,153
Meniscus	0,007	0,005	0,005	0,004	0,048	0,032	0,032	0,024	0,478	0,324	0,324	0,235
Midbrain	0,004	0,003	0,003	0,002	0,03	0,02	0,02	0,012	0,3	0,197	0,197	0,119
Muscle	0,077	0,034	0,034	0,007	0,546	0,237	0,237	0,05	5,51	2,38	2,38	0,497
Nerve	0,018	0,014	0,014	0,007	0,125	0,094	0,094	0,047	1,21	0,935	0,935	0,464
Ovary	0,005	0,003	0,003	0,003	0,037	0,023	0,022	0,018	0,375	0,231	0,218	0,184
Pancreas	0,004	0,003	0,003	0,002	0,03	0,022	0,019	0,015	0,282	0,212	0,178	0,143
Patella	0,004	0,003	0,003	0,003	0,025	0,021	0,021	0,02	0,249	0,215	0,215	0,199
Pinealbody	0,0008	0,0006	0,0006	0,0006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,05	0,04	0,038	0,038
SAT	1,95	0,635	0,635	0,031	13,7	4,47	4,47	0,212	139	45,3	45,3	2,13
Skin	2,28	1,26	1,24	0,836	16,1	8,83	8,7	5,81	162	89,2	87,9	58,7
Skull	0,04	0,031	0,031	0,014	0,281	0,216	0,216	0,096	2,88	2,21	2,21	0,992
Small_intestine	0,016	0,009	0,009	0,005	0,114	0,061	0,061	0,034	1,16	0,613	0,613	0,347
Small_intestine_lumen	0,007	0,006	0,006	0,005	0,046	0,037	0,037	0,031	0,469	0,374	0,374	0,315
Spinal_cord	0,009	0,006	0,006	0,004	0,057	0,041	0,039	0,028	0,521	0,371	0,354	0,254
Spleen	0,015	0,012	0,012	0,008	0,102	0,083	0,083	0,057	1,02	0,826	0,826	0,573
Stomach	0,012	0,006	0,006	0,004	0,082	0,043	0,043	0,026	0,866	0,446	0,446	0,266
Stomach_lumen	0,004	0,004	0,004	0,004	0,027	0,026	0,026	0,025	0,275	0,268	0,268	0,253
Teeth	0,004	0,003	0,003	0,003	0,025	0,021	0,021	0,018	0,254	0,213	0,213	0,18
Tendon_Ligament	0,016	0,009	0,009	0,005	0,107	0,063	0,057	0,031	1,07	0,634	0,568	0,311
Thalamus	0,003	0,003	0,003	0,002	0,023	0,018	0,017	0,011	0,216	0,168	0,166	0,108
Thymus	0,004	0,003	0,003	0,002	0,03	0,021	0,019	0,014	0,31	0,216	0,18	0,142
Tongue	0,005	0,002	0,002	0,001	0,032	0,015	0,015	0,009	0,28	0,133	0,133	0,091
Trachea	0,002	0,002	0,001	0,001	0,013	0,012	0,01	0,01	0,132	0,12	0,102	0,099
Ureter_Urethra	0,03	0,015	0,013	0,013	0,209	0,1	0,089	0,089	2,12	1,02	0,906	0,905
Uterus	0,005	0,003	0,002	0,001	0,04	0,018	0,012	0,009	0,413	0,188	0,123	0,095
Vagina	0,049	0,019	0,018	0,015	0,335	0,126	0,116	0,095	3,4	1,27	1,17	0,963
Vein	0,027	0,014	0,014	0,006	0,184	0,092	0,092	0,038	1,86	0,936	0,936	0,383
Vertebrae	0,018	0,015	0,014	0,008	0,13	0,106	0,101	0,057	1,33	1,09	1,04	0,588

PNS Gewebe Roberta, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Artery	20,3	11,1	11,1	3,54	166	99,8	99,8	38,8	1497	651	649	415
Bladder	6,78	5,52	5,52	3	63,5	51,5	51,5	26,3	501	406	406	208
Bone	209	57,7	57,2	8,61	257	184	184	126	1827	1625	1625	1232
Brain_grey_matter	13,4	8,77	8,77	3,56	139	94,6	94,6	34,6	1137	794	794	298
Brain_white_matter	7,06	5,16	5,16	3,07	76,6	47,9	47,9	29,9	567	415	415	287
Cartilage	5,56	2,89	2,89	2,16	109	30	29,4	22,1	1072	311	293	227
Cerebellum	19,9	8,54	8,54	3,14	201	88,4	88,4	32,5	1570	696	696	267
Cerebrospinal_fluid	26,5	7,65	7,65	2,02	279	78,5	78,5	20,8	2041	634	634	214
Connective_tissue	494	68,1	68,1	6,1	239	140	136	78,2	2181	1444	1402	800
Ear_cartilage	21,8	7,52	4,28	3,38	121	44,3	40,3	31,9	655	381	356	311
Ear_skin	33,3	26,9	14,4	14,1	148	127	90,2	86,8	638	581	331	328
Esophagus	1,67	1,21	1,12	1,1	17,6	12,9	12,2	12,1	197	146	127	125
Eye_Sclera	0,576	0,541	0,541	0,541	6,79	6,34	6,34	6,34	87	81,6	81,6	81,5
Eye_vitreous_humor	1,94	0,805	0,805	0,631	19,5	8,8	8,8	7,12	180	103	103	84,7
Fat	31,8	18	18	7,8	294	266	266	99,2	2718	2392	2392	1108
Gallbladder	8,17	3,83	3,34	2,86	67,6	35,5	35,5	26,6	708	364	364	289
Heart_lumen	4,36	2,97	2,97	1,85	41,6	31	31	20,5	359	287	287	205
Heart_muscle	7,49	5,77	5,77	4,37	87	59,6	59,6	42,1	845	532	532	368
Hippocampus	2,62	2,06	1,71	1,53	25,2	20,1	16,7	15,1	227	183	147	138
Hypophysis	2,15	1,8	1,8	1,78	20,2	16,7	16,7	16,6	211	174	174	173
Hypothalamus	0,896	0,773	0,773	0,741	8,32	7,12	7,12	6,76	93,2	81,7	81,7	78,4
Intervertebral_disc	5,58	3,48	3,48	2,3	58,7	36,4	36,4	23	642	370	370	260
Kidney_cortex	8,1	5,3	5,3	3,84	106	59,3	59,3	39	1370	616	616	390
Kidney_medulla	3,69	3,6	3,56	3,42	35,9	34,5	32,7	32,7	345	329	329	308
Large_intestine	83,5	16	16	4,61	235	87	87	48,8	1539	1030	1030	464
Large_intestine_lumen	6,29	5,32	5,32	3,75	61,6	49,4	49,4	38,3	575	453	453	373
Liver	13,4	10,2	9,23	6,41	102	81,1	80,6	55,7	1045	777	777	512
Lung	11	8,11	6,43	4,85	115	86,7	68,4	52,3	938	738	698	520
Mandible	6,54	5,97	5,97	4,4	70,1	64	64	44,4	657	605	605	423
Marrow_red	10,8	5,77	5,5	3,55	177	105	98,1	66,5	1456	1098	1037	791
Medulla_oblongata	3,6	2,26	2,26	1,55	31,1	21,1	21,1	14,3	237	182	182	134
Meniscus	5,45	3,71	3,71	2,72	84,8	56,8	56,8	41,8	890	614	614	437
Midbrain	3,04	2,01	2,01	1,2	29,4	19,5	19,5	11,8	246	168	168	109
Muscle	45,9	19,8	19,8	4,99	279	158	158	55,4	2513	1593	1593	589
Nerve	12,4	8,76	8,76	4,48	130	84,1	84,1	43,5	1191	812	812	459
Ovary	3,8	2,35	2,21	1,85	40,6	25,3	23,4	19	410	256	241	193
Pancreas	2,81	1,93	1,58	1,32	41,7	20,4	14,2	12,3	558	251	161	119
Patella	2,94	2,52	2,52	2,36	50,1	43,3	43,3	40,9	569	511	511	480
Pinealbody	0,487	0,393	0,373	0,373	4,92	4,04	3,86	3,86	50,4	43	41,9	41,9
SAT	939	313	313	18,5	585	408	408	180	2926	2487	2487	1302
Skin	1105	675	669	471	1525	1200	1189	598	3037	2891	2156	974
Skull	29,6	22,5	22,5	10,2	306	229	229	106	2310	1756	1756	903
Small_intestine	12,2	6,31	6,31	3,52	144	70,1	70,1	35,8	1811	711	711	369
Small_intestine_lumen	4,81	3,84	3,84	3,2	52,3	40,9	40,9	32,3	538	439	439	336
Spinal_cord	4,36	3,09	2,89	2,05	34,1	24,9	23	15,8	246	193	185	128
Spleen	10,3	8,35	8,35	5,79	126	86	86	59,1	1823	844	844	453
Stomach	9,43	4,67	4,67	2,8	113	53,1	53,1	31,6	1220	568	504	300
Stomach_lumen	2,85	2,79	2,79	2,63	30	28,4	28,4	26,9	300	293	293	274
Teeth	2,55	2,13	2,13	1,8	25,1	20,9	20,9	17,5	241	205	205	174
Tendon_Ligament	10,9	6,37	5,74	3,58	184	97,2	93	61	1995	1077	1027	734
Thalamus	2,04	1,6	1,59	1,05	19,7	15,7	15,5	10,6	161	138	135	102
Thymus	3,26	2,27	1,75	1,46	37,8	24,9	18,5	15,6	425	298	218	185
Tongue	1,78	1,14	1,12	0,917	14,6	11	11	8,82	158	112	110	93
Trachea	1,35	1,22	1,05	1,01	14,2	13	11,4	10,8	166	153	131	126
Ureter_Urethra	20,4	9,86	8,8	8,78	140	79,6	79,6	78,3	931	610	610	602
Uterus	4,19	1,9	1,28	0,964	42,1	19,4	14,7	10,3	413	181	147	104
Vagina	32,5	12,1	11,2	9,17	205	82,4	77,8	63,6	994	448	448	369
Vein	18,8	9,46	9,46	3,88	184	80,9	80,9	45,6	1859	932	932	515
Vertebrae	13,6	11,4	10,8	6,14	147	125	121	65,1	1407	1206	1155	661

vertikales E-Feld (1 kV/m), CNS-Gewebe

CNS Gewebe Roberta geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,001	0,001	0,0009	0,0004	0,002	0,002	0,001	0,0007	0,007	0,005	0,004	0,001
Brain_white_matter	0,0009	0,0007	0,0006	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,0005	0,003	0,002	0,002	0,001
Cerebellum	0,003	0,001	0,001	0,0005	0,005	0,002	0,002	0,0008	0,012	0,005	0,005	0,002
Hippocampus	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,0007	0,0005	0,0005	0,0004	0,001	0,001	0,0009	0,0008
Hypophysis	0,0003	0,00006	0,00006	0,00006	0,0006	0,00009	0,00009	0,00009	0,001	0,0003	0,0003	0,0003
Hypothalamus	0,0002	0,0001	0,0001	0,00009	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0009	0,0006	0,0004	0,0004
Medulla_oblongata	0,003	0,002	0,002	0,001	0,005	0,003	0,003	0,002	0,012	0,007	0,006	0,004
Midbrain	0,001	0,0008	0,0008	0,0006	0,002	0,001	0,001	0,001	0,005	0,003	0,003	0,002
Pinealbody	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0006	0,0005	0,0004	0,0004
Thalamus	0,0009	0,0005	0,0004	0,0003	0,001	0,0009	0,0007	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0009

CNS Gewebe Roberta geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,021	0,014	0,011	0,003	0,139	0,09	0,07	0,02	1,37	0,855	0,661	0,176
Brain_white_matter	0,007	0,005	0,005	0,003	0,047	0,033	0,029	0,019	0,435	0,305	0,266	0,177
Cerebellum	0,03	0,012	0,012	0,005	0,196	0,073	0,072	0,029	1,89	0,684	0,684	0,265
Hippocampus	0,004	0,003	0,002	0,002	0,022	0,017	0,015	0,014	0,202	0,152	0,14	0,124
Hypophysis	0,004	0,0007	0,0007	0,0007	0,026	0,005	0,005	0,005	0,247	0,044	0,044	0,044
Hypothalamus	0,002	0,002	0,001	0,001	0,016	0,011	0,008	0,008	0,147	0,104	0,073	0,073
Medulla_oblongata	0,031	0,017	0,015	0,011	0,186	0,104	0,094	0,068	1,7	0,954	0,865	0,634
Midbrain	0,012	0,008	0,008	0,005	0,073	0,047	0,047	0,033	0,646	0,426	0,426	0,298
Pinealbody	0,002	0,001	0,001	0,001	0,01	0,008	0,007	0,007	0,091	0,075	0,068	0,068
Thalamus	0,006	0,004	0,003	0,002	0,036	0,022	0,019	0,015	0,307	0,192	0,166	0,132

CNS Gewebe Roberta geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	13,8	8,26	6,31	1,59	120	70,7	53,5	13,2	563	300	225	62,8
Brain_white_matter	4,06	2,73	2,38	1,59	34,8	22,2	19,4	13	158	113	96,6	69,4
Cerebellum	18,5	6,56	6,56	2,49	151	55,2	55,2	20,7	703	228	228	92,7
Hippocampus	1,82	1,38	1,27	1,13	14,8	11,4	10,6	9,53	75,7	59,3	52,9	49,5
Hypophysis	2,39	0,434	0,426	0,426	20	3,98	3,83	3,83	114	29,7	28,1	28,1
Hypothalamus	1,37	0,997	0,708	0,704	11,7	8,64	6,03	6	53,1	46,1	37,8	37,7
Medulla_oblongata	15,7	8,91	8,05	6,03	115	66,8	60,2	46,2	426	258	235	213
Midbrain	5,81	3,89	3,89	2,73	44,1	29,9	29,9	21,2	209	114	114	84,5
Pinealbody	0,856	0,71	0,647	0,647	7,13	5,97	5,49	5,49	41,1	35,5	33,6	33,6
Thalamus	2,6	1,66	1,5	1,19	19,7	12,9	12,2	9,86	78,7	59,6	58,2	50,1

vertikales E-Feld (1 kV/m), PNS-Gewebe

PNS Gewebe Roberta geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Artery	0,005	0,002	0,002	0,001	0,008	0,004	0,004	0,002	0,024	0,01	0,01	0,006
Bladder	0,001	0,0008	0,0008	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0009	0,006	0,004	0,004	0,003
Bone	0,254	0,048	0,039	0,006	0,423	0,08	0,066	0,009	1,27	0,244	0,195	0,026
Brain_grey_matter	0,001	0,001	0,001	0,0004	0,002	0,002	0,002	0,0007	0,007	0,006	0,006	0,001
Brain_white_matter	0,0009	0,0007	0,0007	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,0005	0,003	0,002	0,002	0,001
Cartilage	0,02	0,002	0,002	0,0004	0,033	0,004	0,004	0,0007	0,099	0,012	0,012	0,002
Cerebellum	0,003	0,001	0,001	0,0006	0,005	0,002	0,002	0,001	0,012	0,006	0,006	0,002
Cerebrospinal_fluid	0,003	0,001	0,001	0,0004	0,005	0,002	0,002	0,0006	0,013	0,004	0,004	0,002
Connective_tissue	0,517	0,067	0,067	0,004	0,861	0,112	0,112	0,006	2,59	0,335	0,335	0,018
Ear_cartilage	0,106	0,022	0,022	0,007	0,177	0,037	0,037	0,012	0,532	0,111	0,111	0,037
Ear_skin	0,106	0,087	0,084	0,076	0,177	0,146	0,141	0,126	0,532	0,439	0,424	0,381
Esophagus	0,0007	0,0005	0,0005	0,0005	0,001	0,0008	0,0008	0,0008	0,003	0,002	0,002	0,002
Eye_Sclera	0,00005	0,00005	0,00005	0,00005	0,00009	0,00008	0,00008	0,00008	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Eye_vitreous_humor	0,007	0,0006	0,00008	0,00005	0,011	0,001	0,0001	0,00008	0,035	0,003	0,0003	0,0002
Fat	0,026	0,008	0,008	0,004	0,043	0,014	0,014	0,006	0,129	0,041	0,04	0,016
Gallbladder	0,002	0,0008	0,0005	0,0004	0,003	0,001	0,0009	0,0006	0,006	0,003	0,002	0,002
Heart_lumen	0,002	0,001	0,001	0,0002	0,003	0,002	0,002	0,0004	0,007	0,004	0,004	0,001
Heart_muscle	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,004	0,004	0,003	0,008	0,008	0,008	0,006
Hippocampus	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0007	0,0005	0,0005	0,0004	0,001	0,001	0,0009	0,0008
Hypophysis	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0006	0,0002	0,0002	0,0002	0,001	0,0006	0,0006	0,0006
Hypothalamus	0,0002	0,0001	0,0001	0,00009	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0009	0,0006	0,0004	0,0004
Intervertebral_disc	0,001	0,0007	0,0007	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0007	0,006	0,003	0,003	0,002
Kidney_cortex	0,001	0,0008	0,0008	0,0006	0,002	0,001	0,001	0,0009	0,005	0,004	0,004	0,002
Kidney_medulla	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0009	0,0009	0,0009	0,0008	0,002	0,002	0,002	0,002
Large_intestine	0,004	0,002	0,002	0,002	0,006	0,004	0,004	0,003	0,02	0,005	0,005	0,004
Large_intestine_lumen	0,003	0,001	0,001	0,0005	0,004	0,002	0,002	0,0008	0,005	0,003	0,003	0,002
Liver	0,002	0,002	0,002	0,0008	0,003	0,003	0,003	0,001	0,007	0,006	0,006	0,004
Lung	0,002	0,001	0,001	0,0008	0,003	0,002	0,002	0,001	0,006	0,005	0,005	0,003
Mandible	0,0009	0,0007	0,0007	0,0006	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,003	0,003	0,003
Marrow_red	0,009	0,005	0,005	0,003	0,014	0,008	0,008	0,005	0,04	0,022	0,021	0,015
Medulla_oblongata	0,003	0,002	0,002	0,001	0,005	0,003	0,003	0,002	0,012	0,007	0,007	0,005
Meniscus	0,003	0,002	0,002	0,001	0,005	0,003	0,003	0,002	0,015	0,008	0,008	0,007
Midbrain	0,001	0,0009	0,0009	0,0006	0,002	0,002	0,002	0,001	0,005	0,003	0,003	0,002
Muscle	0,04	0,019	0,019	0,003	0,067	0,032	0,032	0,004	0,201	0,094	0,094	0,012
Nerve	0,003	0,002	0,002	0,001	0,005	0,003	0,003	0,002	0,012	0,008	0,007	0,005
Ovary	0,001	0,0006	0,0006	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0008	0,005	0,003	0,003	0,002
Pancreas	0,0009	0,0006	0,0006	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0006	0,004	0,002	0,002	0,002
Patella	0,002	0,001	0,001	0,001	0,003	0,002	0,002	0,002	0,008	0,007	0,007	0,007
Pinealbody	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0006	0,0005	0,0004	0,0004
SAT	0,995	0,328	0,328	0,016	1,66	0,547	0,547	0,027	5	1,65	1,65	0,081
Skin	1,16	0,655	0,641	0,441	1,94	1,09	1,07	0,735	5,84	3,26	3,21	2,19
Skull	0,027	0,011	0,002	0,001	0,046	0,019	0,004	0,002	0,138	0,057	0,01	0,006
Small_intestine	0,002	0,001	0,0007	0,0005	0,004	0,002	0,001	0,0008	0,006	0,003	0,003	0,002
Small_intestine_lumen	0,001	0,0007	0,0006	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0008	0,004	0,003	0,002	0,002
Spinal_cord	0,003	0,002	0,002	0,002	0,005	0,004	0,004	0,003	0,012	0,009	0,009	0,007
Spleen	0,001	0,001	0,001	0,0006	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,004	0,003	0,002
Stomach	0,002	0,001	0,001	0,0004	0,004	0,002	0,002	0,0006	0,007	0,003	0,003	0,002
Stomach_lumen	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006	0,002	0,002	0,002	0,002
Teeth	0,0009	0,0005	0,0005	0,0005	0,002	0,0009	0,0009	0,0009	0,004	0,002	0,002	0,002
Tendon_Ligament	0,009	0,006	0,005	0,003	0,016	0,01	0,009	0,004	0,045	0,027	0,025	0,012
Thalamus	0,0009	0,0005	0,0004	0,0003	0,001	0,0009	0,0007	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0009
Thymus	0,001	0,0006	0,0005	0,0004	0,002	0,001	0,0009	0,0006	0,005	0,003	0,002	0,002
Tongue	0,002	0,0009	0,0005	0,0003	0,003	0,002	0,0009	0,0005	0,009	0,004	0,002	0,001
Trachea	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,001	0,001	0,0009	0,0009	0,003	0,003	0,002	0,002
Ureter_Urethra	0,0009	0,0006	0,0006	0,0006	0,001	0,001	0,001	0,0009	0,004	0,003	0,003	0,003
Uterus	0,001	0,0006	0,0006	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0008	0,005	0,003	0,003	0,002
Vagina	0,001	0,0009	0,0008	0,0007	0,002	0,001	0,001	0,001	0,006	0,003	0,003	0,003
Vein	0,006	0,004	0,004	0,002	0,011	0,006	0,006	0,003	0,03	0,017	0,017	0,007
Vertebrae	0,003	0,002	0,002	0,001	0,005	0,004	0,004	0,002	0,012	0,01	0,01	0,005

PNS Gewebe Roberta geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Artery	0,064	0,028	0,028	0,014	0,393	0,172	0,172	0,087	3,82	1,67	1,67	0,827
Bladder	0,016	0,01	0,01	0,007	0,102	0,063	0,063	0,044	0,988	0,606	0,606	0,426
Bone	3,86	0,741	0,587	0,068	25,8	4,97	3,88	0,412	254	49,3	38	4,01
Brain_grey_matter	0,021	0,017	0,017	0,003	0,139	0,115	0,115	0,021	1,37	1,13	1,13	0,189
Brain_white_matter	0,007	0,005	0,005	0,003	0,047	0,029	0,029	0,02	0,435	0,266	0,266	0,179
Cartilage	0,3	0,036	0,036	0,006	2	0,239	0,239	0,034	19,8	2,36	2,36	0,328
Cerebellum	0,03	0,014	0,014	0,007	0,196	0,086	0,086	0,042	1,89	0,823	0,823	0,401
Cerebrospinal_fluid	0,039	0,011	0,011	0,004	0,25	0,069	0,069	0,026	2,45	0,652	0,652	0,24
Connective_tissue	7,92	1,02	1,02	0,046	53,1	6,85	6,85	0,283	523	67,3	67,3	2,77
Ear_cartilage	1,61	0,334	0,334	0,112	10,7	2,24	2,24	0,748	107	22,3	22,3	7,38
Ear_skin	1,61	1,32	1,28	1,15	10,7	8,86	8,55	7,68	107	88,2	85,1	76,5
Esophagus	0,009	0,006	0,006	0,006	0,053	0,034	0,033	0,033	0,501	0,327	0,316	0,313
Eye_Sclera	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,047	0,042	0,042	0,042
Eye_vitreous_humor	0,104	0,01	0,0009	0,0006	0,696	0,065	0,006	0,004	6,86	0,64	0,057	0,037
Fat	0,391	0,116	0,113	0,043	2,59	0,743	0,717	0,265	25,3	7,25	7,04	2,56
Gallbladder	0,018	0,009	0,005	0,004	0,108	0,052	0,033	0,027	0,881	0,443	0,317	0,261
Heart_lumen	0,018	0,01	0,01	0,003	0,105	0,062	0,062	0,019	0,75	0,487	0,487	0,19
Heart_muscle	0,02	0,019	0,019	0,016	0,119	0,111	0,111	0,093	0,849	0,778	0,778	0,676
Hippocampus	0,004	0,003	0,002	0,002	0,022	0,017	0,015	0,014	0,202	0,152	0,14	0,124
Hypophysis	0,004	0,002	0,002	0,002	0,026	0,011	0,011	0,011	0,247	0,107	0,107	0,106
Hypothalamus	0,002	0,002	0,001	0,001	0,016	0,011	0,008	0,007	0,147	0,104	0,073	0,071
Intervertebral_disc	0,015	0,009	0,009	0,005	0,094	0,055	0,055	0,03	0,904	0,522	0,522	0,288
Kidney_cortex	0,012	0,009	0,009	0,006	0,073	0,054	0,054	0,035	0,732	0,515	0,515	0,332
Kidney_medulla	0,005	0,005	0,005	0,005	0,032	0,031	0,031	0,029	0,301	0,291	0,291	0,266
Large_intestine	0,059	0,011	0,011	0,007	0,373	0,07	0,07	0,038	3,57	0,668	0,668	0,365
Large_intestine_lumen	0,008	0,007	0,007	0,005	0,05	0,041	0,041	0,031	0,475	0,388	0,388	0,299
Liver	0,021	0,018	0,018	0,01	0,126	0,11	0,11	0,06	1,08	0,896	0,896	0,534
Lung	0,017	0,013	0,012	0,008	0,105	0,08	0,075	0,047	0,946	0,673	0,673	0,418
Mandible	0,012	0,009	0,009	0,008	0,073	0,059	0,059	0,051	0,708	0,568	0,568	0,493
Marrow_red	0,106	0,058	0,055	0,039	0,642	0,356	0,332	0,233	6,18	3,45	3,22	2,24
Medulla_oblongata	0,031	0,017	0,017	0,013	0,186	0,104	0,104	0,078	1,7	0,957	0,957	0,724
Meniscus	0,04	0,023	0,022	0,018	0,246	0,138	0,134	0,112	2,38	1,33	1,3	1,08
Midbrain	0,012	0,008	0,008	0,006	0,073	0,051	0,051	0,036	0,646	0,452	0,452	0,322
Muscle	0,62	0,276	0,276	0,03	4,17	1,81	1,81	0,178	41	17,7	17,7	1,71
Nerve	0,032	0,02	0,018	0,012	0,191	0,119	0,108	0,074	1,73	1,05	0,936	0,624
Ovary	0,014	0,007	0,007	0,006	0,09	0,047	0,046	0,039	0,864	0,451	0,447	0,376
Pancreas	0,008	0,005	0,005	0,004	0,048	0,029	0,029	0,024	0,465	0,283	0,283	0,227
Patella	0,02	0,019	0,019	0,018	0,125	0,113	0,113	0,107	1,22	1,11	1,11	1,04
Pinealbody	0,002	0,001	0,001	0,001	0,01	0,008	0,007	0,007	0,091	0,074	0,068	0,068
SAT	15,2	5	5	0,236	102	33,5	33,5	1,54	1007	330	330	15,1
Skin	17,8	9,84	9,7	6,54	119	65,6	64,7	43,2	1177	647	638	425
Skull	0,416	0,171	0,03	0,018	2,78	1,14	0,193	0,113	27,4	11,2	1,87	1,11
Small_intestine	0,017	0,009	0,009	0,006	0,107	0,058	0,058	0,034	1,04	0,556	0,556	0,323
Small_intestine_lumen	0,009	0,006	0,006	0,005	0,057	0,037	0,037	0,031	0,545	0,347	0,347	0,291
Spinal_cord	0,032	0,023	0,023	0,017	0,191	0,14	0,14	0,104	1,73	1,24	1,24	0,919
Spleen	0,011	0,009	0,008	0,006	0,067	0,056	0,051	0,036	0,604	0,495	0,471	0,335
Stomach	0,019	0,01	0,006	0,004	0,119	0,059	0,033	0,026	1,11	0,555	0,319	0,247
Stomach_lumen	0,005	0,005	0,005	0,004	0,03	0,028	0,028	0,027	0,28	0,267	0,258	0,252
Teeth	0,011	0,006	0,006	0,006	0,066	0,039	0,039	0,039	0,633	0,379	0,379	0,373
Tendon_Ligament	0,13	0,077	0,07	0,031	0,834	0,487	0,438	0,185	8,12	4,76	4,25	1,8
Thalamus	0,006	0,004	0,003	0,002	0,036	0,022	0,02	0,015	0,307	0,192	0,173	0,133
Thymus	0,014	0,007	0,006	0,004	0,083	0,041	0,036	0,026	0,779	0,388	0,339	0,228
Tongue	0,024	0,011	0,006	0,004	0,145	0,065	0,036	0,022	1,28	0,586	0,313	0,205
Trachea	0,007	0,007	0,006	0,006	0,047	0,043	0,038	0,038	0,449	0,409	0,362	0,361
Ureter_Urethra	0,009	0,007	0,007	0,007	0,056	0,041	0,041	0,04	0,544	0,402	0,402	0,389
Uterus	0,014	0,007	0,007	0,005	0,092	0,04	0,04	0,029	0,897	0,389	0,389	0,277
Vagina	0,019	0,007	0,007	0,006	0,124	0,046	0,042	0,033	1,19	0,441	0,409	0,324
Vein	0,082	0,045	0,045	0,019	0,506	0,275	0,275	0,115	4,96	2,67	2,67	1,12
Vertebrae	0,032	0,026	0,026	0,013	0,191	0,157	0,157	0,078	1,73	1,42	1,42	0,732

PNS Gewebe Roberta geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Artery	38,5	16,9	16,9	8,18	348	151	151	66	2009	893	893	419
Bladder	9,88	6,03	6,03	4,25	90,6	54,8	54,8	38,8	583	357	355	269
Bone	1223	335	332	40,1	681	482	482	332	2493	2228	2228	1761
Brain_grey_matter	13,8	11,2	11,2	1,7	120	96,7	96,7	14,1	563	459	459	66
Brain_white_matter	4,06	2,38	2,38	1,6	34,8	19,4	19,4	13,1	158	96,6	96,6	69,6
Cartilage	98,6	12,1	12,1	3,24	320	29,7	29,7	26,5	1646	178	178	164
Cerebellum	18,5	8,02	8,02	3,86	151	64,4	64,4	32,2	703	346	346	153
Cerebrospinal_fluid	24,4	6,23	6,23	2,25	194	49,7	49,7	17,4	827	232	232	114
Connective_tissue	2861	395	395	26,4	624	367	360	206	2875	1970	1922	1142
Ear_cartilage	682	159	159	36,8	332	120	116	39	213	145	128	119
Ear_skin	739	625	607	539	479	504	357	313	210	190	179	141
Esophagus	4,85	3,18	3,05	3,03	39	25	23,3	23,3	251	166	158	158
Eye_sclera	0,467	0,416	0,416	0,416	4,82	4,29	4,29	4,28	36,7	32,9	32,9	32,9
Eye_vitreous_humor	34,1	2,94	0,549	0,366	19,4	8,94	4,76	3,69	98,6	55,9	31,6	26,8
Fat	190	73,1	73,1	25,9	776	702	702	234	3842	3366	3366	1415
Gallbladder	6,25	3,46	3,03	2,5	35,5	22,6	22,6	18,8	246	125	125	106
Heart_lumen	5,37	3,83	3,83	1,83	32,3	25,4	25,4	14,4	152	126	126	79,2
Heart_muscle	7,33	5,5	5,5	4,97	56,8	37,8	37,8	31,1	295	181	181	147
Hippocampus	1,82	1,38	1,27	1,13	14,8	11,4	10,6	9,5	75,7	59,3	52,9	49,4
Hypophysis	2,39	1,05	1,05	1,04	20	9,02	9,02	8,92	114	55,3	55,3	55
Hypothalamus	1,37	0,997	0,723	0,701	11,7	8,64	6,29	6,1	53,1	46,1	40,9	39,4
Intervertebral_disc	8,86	5,07	5,07	2,81	70,8	39,4	39,4	21,5	439	253	253	137
Kidney_cortex	7,49	4,95	4,95	3,18	68,1	40,2	40,2	25	521	247	247	147
Kidney_medulla	2,86	2,78	2,78	2,5	22,2	20,9	20,9	18,4	134	120	120	104
Large_intestine	33,6	6,32	6,32	3,58	96,8	43,3	40,1	28,8	630	273	273	171
Large_intestine_lumen	4,67	3,81	3,81	2,93	37,6	30,1	30,1	22,8	234	187	187	142
Liver	9,24	6,93	6,93	4,43	65,7	46,8	46,8	27,2	399	242	242	138
Lung	8,4	6,05	6,05	3,7	63,5	45,1	45,1	27,7	341	241	241	150
Mandible	6,91	5,53	5,53	4,78	56,9	45,1	45,1	38,6	307	250	250	214
Marrow_red	62	34,4	32,6	22,4	472	290	278	191	2063	1575	1544	1165
Medulla_oblongata	15,7	8,92	8,92	6,88	115	66,7	66,7	53	426	283	283	240
Meninges	23,9	13,4	13	10,9	202	126	112	89,8	1230	773	652	515
Midbrain	5,81	4,11	4,11	2,94	44,1	31,5	31,5	22,9	209	124	124	90,2
Muscle	274	118	118	17,2	710	407	407	129	3494	2128	2128	700
Nerve	15,5	8,89	7,75	5,04	107	59,3	51,9	34,6	509	277	243	188
Ovary	8,61	4,47	4,44	3,75	78,3	38,2	36,7	31,4	522	233	220	193
Pancreas	4,72	2,85	2,85	2,2	53	26,4	23,8	17,9	374	171	155	113
Patella	12,2	11,1	11,1	10,5	113	102	102	95,7	694	634	634	596
Pinealbody	0,856	0,703	0,647	0,647	7,13	5,93	5,49	5,49	41,1	35,3	33,6	33,6
SAT	5436	1836	1836	108	1646	1168	1168	482	3842	3544	3544	1782
Skin	6396	3878	3875	2734	4375	3439	3406	1579	4655	3468	3304	1359
Skull	134	56,2	18,4	11,1	195	150	150	91,8	905	736	736	500
Small_intestine	10,5	5,57	5,57	3,14	96,3	49,1	49,1	24,4	633	311	311	149
Small_intestine_lumen	5,36	3,38	3,38	2,82	43,9	26,6	26,6	21,5	278	166	166	134
Spinal_cord	15,5	10,9	10,8	7,92	107	76	73,2	53,8	509	371	367	261
Spleen	5,99	4,39	4,39	3,1	54	34	34	23,2	438	199	199	95,5
Stomach	10,1	5,1	3,06	2,32	81,1	39	26,7	18	455	212	157	101
Stomach_lumen	2,56	2,48	2,42	2,34	18,1	17,7	17,3	16,8	105	103	103	98,2
Teeth	6,51	4,21	4,21	4,17	55,6	36,4	36,4	36,3	311	204	204	204
Tendon_Ligament	66,2	38,6	34,6	18,2	467	269	236	162	2633	1513	1384	1034
Thalamus	2,6	1,66	1,55	1,2	19,7	12,9	12,6	9,93	78,7	59,6	58,2	50,3
Thymus	7,53	3,77	3,32	2,15	60,8	31	27,9	17,8	370	191	172	112
Tongue	7,53	3,61	2,19	1,99	60,5	30,3	16,6	15,1	337	173	110	98
Trachea	4,32	3,93	3,49	3,48	36,6	30,7	26,9	26,9	234	212	186	186
Ureter_Urethra	5,54	4,07	4,07	3,95	55,9	39,8	39,8	38,5	386	274	274	267
Uterus	9,18	3,95	3,95	2,75	90,2	38,3	38,3	24,8	602	249	249	157
Vagina	11,4	4,21	4,04	3,2	72,6	32,8	32,8	27,2	299	212	212	176
Vein	50,5	26,7	26,7	11,2	473	238	238	96,7	2489	1409	1409	612
Vertebrae	15,5	12,7	12,7	6,92	115	93	93	53	657	495	495	294

# Überlagerung vertikales E-Feld (1 kV/m) und frontales B-Feld (100 µT), CNS-Gewebe

CNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 µT											
	10 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	0,002	0,001	0,0007	0,002	0,001	0,0006	0,003	0,002	0,0007	0,002	0,001	0,0006
Brain_white_matter	0,001	0,0009	0,0005	0,001	0,0008	0,0005	0,001	0,0009	0,0005	0,001	0,0008	0,0005
Cerebellum	0,004	0,002	0,0006	0,003	0,001	0,0006	0,003	0,001	0,0006	0,004	0,001	0,0006
Hippocampus	0,007	0,0005	0,0004	0,006	0,0005	0,0003	0,007	0,0005	0,0004	0,006	0,0005	0,0004
Hypophysis	0,004	0,0002	0,0002	0,004	0,0001	0,0001	0,004	0,00008	0,00008	0,004	0,0001	0,0001
Hypothalamus	0,002	0,00009	0,00009	0,002	0,00009	0,00009	0,002	0,0001	0,0001	0,002	0,00009	0,00009
Medulla_oblongata	0,003	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001
Midbrain	0,001	0,0009	0,0006	0,001	0,0008	0,0006	0,001	0,0009	0,0006	0,001	0,0008	0,0006
Pinealbody	0,001	0,0001	0,0001	0,002	0,0001	0,0001	0,002	0,0001	0,0001	0,002	0,0001	0,0001
Thalamus	0,009	0,0005	0,0003	0,008	0,0005	0,0003	0,001	0,0005	0,0004	0,009	0,0005	0,0003

CNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 µT											
	16 2/3 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,004	0,003	0,001	0,003	0,002	0,001
Brain_white_matter	0,002	0,001	0,0009	0,002	0,001	0,0008	0,002	0,001	0,0009	0,002	0,001	0,0009
Cerebellum	0,006	0,003	0,001	0,006	0,002	0,0009	0,006	0,002	0,001	0,006	0,002	0,001
Hippocampus	0,001	0,0009	0,0006	0,001	0,0008	0,0006	0,001	0,0008	0,0007	0,001	0,0008	0,0006
Hypophysis	0,007	0,0003	0,0003	0,007	0,0002	0,0002	0,006	0,0001	0,0001	0,007	0,0002	0,0002
Hypothalamus	0,003	0,0002	0,0002	0,003	0,0001	0,0001	0,004	0,0002	0,0002	0,003	0,0001	0,0001
Medulla_oblongata	0,004	0,002	0,002	0,005	0,002	0,002	0,006	0,003	0,002	0,005	0,002	0,002
Midbrain	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
Pinealbody	0,003	0,0002	0,0002	0,003	0,0002	0,0002	0,003	0,0002	0,0002	0,003	0,0002	0,0002
Thalamus	0,001	0,0008	0,0005	0,001	0,0008	0,0005	0,002	0,0008	0,0006	0,001	0,0008	0,0005

CNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 µT											
	50 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	0,008	0,005	0,003	0,007	0,004	0,002	0,012	0,006	0,003	0,008	0,005	0,002
Brain_white_matter	0,004	0,004	0,002	0,004	0,003	0,002	0,004	0,004	0,002	0,004	0,003	0,002
Cerebellum	0,019	0,007	0,003	0,017	0,006	0,002	0,014	0,005	0,002	0,018	0,007	0,003
Hippocampus	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
Hypophysis	0,002	0,0008	0,0008	0,002	0,0008	0,0008	0,002	0,0005	0,0005	0,002	0,0008	0,0008
Hypothalamus	0,008	0,0004	0,0004	0,009	0,0004	0,0004	0,001	0,0005	0,0005	0,009	0,0004	0,0004
Medulla_oblongata	0,01	0,005	0,004	0,011	0,006	0,004	0,014	0,007	0,004	0,01	0,005	0,004
Midbrain	0,005	0,003	0,002	0,005	0,003	0,002	0,005	0,003	0,002	0,005	0,003	0,002
Pinealbody	0,007	0,0005	0,0005	0,007	0,0004	0,0004	0,007	0,0005	0,0005	0,007	0,0005	0,0005
Thalamus	0,003	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001

CNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 µT											
	150 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	0,026	0,013	0,007	0,023	0,012	0,007	0,036	0,017	0,007	0,025	0,013	0,007
Brain_white_matter	0,012	0,01	0,007	0,011	0,009	0,006	0,013	0,011	0,007	0,011	0,009	0,006
Cerebellum	0,058	0,021	0,008	0,052	0,018	0,007	0,039	0,013	0,007	0,055	0,02	0,007
Hippocampus	0,006	0,005	0,004	0,005	0,004	0,003	0,007	0,005	0,004	0,006	0,005	0,004
Hypophysis	0,006	0,003	0,003	0,006	0,002	0,002	0,005	0,002	0,002	0,006	0,002	0,002
Hypothalamus	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
Medulla_oblongata	0,025	0,013	0,011	0,028	0,014	0,011	0,035	0,018	0,011	0,026	0,013	0,011
Midbrain	0,014	0,008	0,006	0,012	0,008	0,006	0,011	0,008	0,005	0,013	0,008	0,006
Pinealbody	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
Thalamus	0,007	0,004	0,003	0,006	0,004	0,003	0,008	0,005	0,003	0,006	0,004	0,003

CNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 µT											
	1 kHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	0,178	0,085	0,046	0,16	0,078	0,043	0,246	0,117	0,048	0,169	0,081	0,044
Brain_white_matter	0,075	0,064	0,043	0,068	0,058	0,04	0,093	0,073	0,043	0,071	0,061	0,041
Cerebellum	0,387	0,137	0,049	0,348	0,123	0,045	0,265	0,082	0,042	0,367	0,13	0,047
Hippocampus	0,039	0,031	0,025	0,035	0,028	0,023	0,048	0,032	0,028	0,037	0,03	0,024
Hypophysis	0,038	0,016	0,016	0,036	0,015	0,015	0,031	0,01	0,01	0,037	0,016	0,016
Hypothalamus	0,014	0,007	0,007	0,015	0,007	0,007	0,018	0,009	0,009	0,015	0,007	0,007
Medulla_oblongata	0,151	0,082	0,072	0,167	0,085	0,07	0,216	0,108	0,071	0,16	0,082	0,07
Midbrain	0,086	0,051	0,038	0,078	0,05	0,036	0,069	0,049	0,034	0,082	0,05	0,037
Pinealbody	0,013	0,008	0,008	0,012	0,008	0,008	0,012	0,008	0,008	0,012	0,008	0,008
Thalamus	0,041	0,024	0,02	0,039	0,023	0,018	0,05	0,031	0,021	0,04	0,023	0,019



CNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	10 kHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	1,8	0,785	0,438	1,62	0,75	0,406	2,47	1,13	0,457	1,71	0,752	0,421
Brain_white_matter	0,687	0,611	0,42	0,627	0,558	0,385	0,941	0,7	0,419	0,655	0,583	0,401
Cerebellum	3,84	1,33	0,473	3,45	1,2	0,427	2,63	0,751	0,4	3,64	1,26	0,449
Hippocampus	0,357	0,286	0,235	0,322	0,259	0,213	0,449	0,299	0,264	0,338	0,272	0,223
Hypophysis	0,377	0,167	0,167	0,353	0,156	0,156	0,305	0,106	0,106	0,364	0,161	0,161
Hypothalamus	0,132	0,075	0,075	0,138	0,072	0,072	0,173	0,086	0,086	0,135	0,074	0,073
Medulla_oblongata	1,42	0,771	0,674	1,51	0,778	0,651	1,99	1,01	0,661	1,44	0,759	0,661
Midbrain	0,808	0,467	0,352	0,733	0,454	0,33	0,622	0,449	0,304	0,769	0,46	0,34
Pinealbody	0,12	0,078	0,078	0,112	0,077	0,077	0,114	0,079	0,079	0,116	0,077	0,077
Thalamus	0,366	0,216	0,185	0,341	0,202	0,171	0,436	0,287	0,199	0,353	0,208	0,177

CNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	100 kHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	18,4	7,27	4,17	16,7	7,12	3,89	25	10,9	4,33	17,4	7,05	4
Brain_white_matter	6,41	5,72	3,97	5,9	5,26	3,66	9,53	6,48	3,95	6,1	5,44	3,78
Cerebellum	38,4	13	4,57	34,7	11,8	4,15	26,3	6,97	3,81	36,2	12,3	4,33
Hippocampus	3,31	2,68	2,22	3,01	2,43	2,02	4,18	2,79	2,48	3,13	2,53	2,1
Hypophysis	3,78	1,71	1,71	3,54	1,61	1,61	3,08	1,12	1,12	3,64	1,65	1,65
Hypothalamus	1,22	0,794	0,78	1,28	0,761	0,751	1,62	0,816	0,816	1,26	0,774	0,761
Medulla_oblongata	13,7	7,39	6,44	13,8	7,17	6,23	18,5	9,43	6,23	13,2	7,22	6,33
Midbrain	7,68	4,32	3,31	6,98	4,19	3,1	5,68	4,12	2,8	7,28	4,24	3,18
Pinealbody	1,14	0,751	0,751	1,07	0,736	0,736	1,09	0,758	0,758	1,1	0,742	0,742
Thalamus	3,2	1,96	1,76	2,98	1,8	1,62	3,76	2,66	1,87	3,07	1,86	1,68

CNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	1 MHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	178	66,2	39,4	163	66,8	37,2	234	102	40,5	166	66,6	37,6
Brain_white_matter	58,2	52,1	36,9	61,5	48,6	34,5	99,6	58,1	36,7	59,1	49,3	35
Cerebellum	352	122	43,2	322	112	39,7	248	58,6	35,2	329	114	40,5
Hippocampus	29,9	24,5	20,5	27,5	22,6	18,9	37,4	25,4	22,8	28,1	23	19,2
Hypophysis	33,6	15,8	15,8	31,7	15	15	27	10,6	10,6	32,1	15,1	15,1
Hypothalamus	10,5	7,03	6,91	10,9	6,77	6,65	14,2	7,31	7,31	10,8	6,82	6,7
Medulla_oblongata	109	60	51,6	102	56,8	49,9	139	71,7	48,1	104	57,4	50,3
Midbrain	65,4	36,7	28,1	59,9	33,8	26,1	44,5	33	22,3	61,2	34,4	26,5
Pinealbody	10,1	6,68	6,68	9,52	6,55	6,55	9,73	6,72	6,72	9,64	6,58	6,58
Thalamus	26,2	18,5	16,2	24,4	17,1	15	30,3	24,1	17,1	24,8	17,4	15,3

CNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	10 MHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	1193	479	306	1157	490	293	1691	641	329	1225	477	312
Brain_white_matter	497	413	305	568	409	291	665	474	324	470	424	312
Cerebellum	2208	676	283	1881	570	245	1722	382	261	2256	695	292
Hippocampus	195	166	151	229	148	140	302	198	184	202	172	157
Hypophysis	266	153	153	238	141	141	219	113	113	275	154	154
Hypothalamus	97,2	74,3	73	94,7	70	68,7	90,3	63,6	62,7	98	76,1	74,8
Medulla_oblongata	546	320	270	456	263	235	631	345	253	575	335	282
Midbrain	356	195	160	287	157	132	261	170	137	379	205	169
Pinealbody	72,3	51,5	51,5	63	50,2	50,2	77,8	52,9	52,9	74,6	52,1	52,1
Thalamus	173	144	121	159	135	110	209	184	138	179	149	127

Überlagerung vertikales E-Feld (1 kV/m) und frontales B-Feld (100 µT), PNS-Gewebe

PNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 µT											
	10 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Artery	0.005	0.002	0.001	0.005	0.002	0.001	0.006	0.002	0.001	0.005	0.002	0.001
Bladder	0.002	0.001	0.0006	0.001	0.0009	0.0006	0.001	0.0008	0.0006	0.002	0.0009	0.0006
Bone	0.28	0.044	0.006	0.265	0.041	0.006	0.227	0.035	0.006	0.281	0.044	0.006
Brain grey matter	0.002	0.002	0.0007	0.002	0.001	0.0006	0.003	0.002	0.0007	0.002	0.002	0.0007
Brain white matter	0.001	0.0009	0.0005	0.001	0.0008	0.0005	0.001	0.0009	0.0005	0.001	0.0009	0.0005
Cartilage	0.02	0.002	0.0004	0.02	0.002	0.0004	0.02	0.002	0.0006	0.02	0.002	0.0004
Cerebellum	0.004	0.002	0.0007	0.003	0.002	0.0007	0.003	0.002	0.0007	0.004	0.002	0.0007
Cerebrospinal fluid	0.003	0.001	0.0004	0.003	0.001	0.0004	0.004	0.001	0.0004	0.003	0.001	0.0004
Connective tissue	0.465	0.06	0.004	0.501	0.065	0.004	0.573	0.074	0.004	0.461	0.06	0.004
Ear cartilage	0.106	0.022	0.007	0.106	0.022	0.007	0.106	0.022	0.007	0.106	0.022	0.007
Ear skin	0.106	0.084	0.076	0.106	0.085	0.076	0.106	0.085	0.076	0.106	0.084	0.076
Esophagus	0.0007	0.0005	0.0005	0.0007	0.0005	0.0005	0.0007	0.0004	0.0004	0.0007	0.0005	0.0005
Eye Sclera	0.00009	0.00008	0.00008	0.00008	0.00007	0.00007	0.00007	0.00007	0.00006	0.00008	0.00008	0.00008
Eye vitreous humor	0.007	0.0001	0.00009	0.007	0.0001	0.00008	0.007	0.0001	0.00007	0.007	0.0001	0.00008
Fat	0.029	0.009	0.004	0.027	0.009	0.004	0.023	0.008	0.004	0.029	0.009	0.004
Gallbladder	0.0007	0.0002	0.0001	0.001	0.0005	0.0003	0.003	0.0009	0.0006	0.0009	0.0003	0.0002
Heart lumen	0.003	0.001	0.0003	0.002	0.001	0.0003	0.001	0.0007	0.0002	0.003	0.001	0.0003
Heart muscle	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002
Hippocampus	0.0007	0.0005	0.0004	0.0006	0.0005	0.0004	0.0007	0.0005	0.0004	0.0006	0.0005	0.0004
Hypophysis	0.0004	0.0002	0.0002	0.0004	0.0002	0.0002	0.0004	0.0002	0.0002	0.0004	0.0002	0.0002
Hypothalamus	0.0002	0.0001	0.00009	0.0002	0.0001	0.00009	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.00009
Intervertebral disc	0.001	0.0009	0.0005	0.001	0.0009	0.0004	0.002	0.0007	0.0004	0.001	0.0009	0.0005
Kidney cortex	0.002	0.001	0.0008	0.001	0.001	0.0007	0.001	0.001	0.0009	0.001	0.001	0.0008
Kidney medulla	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007	0.0007	0.0006	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
Large intestine	0.006	0.004	0.002	0.008	0.003	0.002	0.013	0.003	0.002	0.007	0.003	0.002
Large intestine lumen	0.004	0.002	0.0007	0.003	0.002	0.0006	0.002	0.002	0.0008	0.004	0.002	0.0007
Liver	0.002	0.002	0.0009	0.002	0.002	0.0009	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002	0.0009
Lung	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.0008	0.002	0.002	0.001
Mandible	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0009	0.001	0.001	0.0008	0.001	0.001	0.001
Marrow red	0.009	0.005	0.003	0.009	0.005	0.003	0.009	0.005	0.004	0.01	0.005	0.003
Medulla oblongata	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001
Menisiscus	0.004	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.001	0.004	0.002	0.002
Midbrain	0.001	0.001	0.0007	0.001	0.001	0.0007	0.001	0.0009	0.0006	0.001	0.001	0.0007
Muscle	0.038	0.02	0.003	0.039	0.019	0.003	0.044	0.021	0.003	0.038	0.02	0.003
Nerve	0.002	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001
Ovary	0.001	0.0006	0.0006	0.001	0.0006	0.0005	0.001	0.0008	0.0006	0.001	0.0006	0.0005
Pancreas	0.0009	0.0005	0.0004	0.0009	0.0005	0.0004	0.001	0.0007	0.0004	0.0009	0.0005	0.0004
Patella	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Pinealbody	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001
SAT	0.999	0.362	0.016	0.965	0.342	0.017	1.1	0.293	0.017	1	0.363	0.016
Skin	1.16	0.682	0.47	1.13	0.645	0.45	1.29	0.71	0.465	1.16	0.684	0.471
Skull	0.028	0.004	0.001	0.027	0.003	0.001	0.027	0.003	0.002	0.028	0.004	0.001
Small intestine	0.003	0.001	0.0008	0.002	0.001	0.0007	0.002	0.0008	0.0005	0.002	0.001	0.0008
Small intestine lumen	0.002	0.001	0.0008	0.002	0.001	0.0007	0.002	0.0007	0.0005	0.002	0.001	0.0007
Spinal cord	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
Spleen	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.0007	0.0006	0.0004	0.002	0.002	0.001
Stomach	0.003	0.001	0.0006	0.003	0.001	0.0005	0.002	0.001	0.0003	0.003	0.001	0.0005
Stomach lumen	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003	0.0006	0.0006	0.0005
Teeth	0.0009	0.0006	0.0006	0.0009	0.0006	0.0005	0.0009	0.0006	0.0006	0.0009	0.0006	0.0006
Tendon Ligament	0.01	0.006	0.003	0.01	0.006	0.003	0.008	0.005	0.003	0.01	0.006	0.003
Thalamus	0.0009	0.0005	0.0003	0.0008	0.0005	0.0003	0.001	0.0005	0.0004	0.0009	0.0005	0.0003
Thymus	0.002	0.0006	0.0004	0.001	0.0006	0.0004	0.001	0.0005	0.0004	0.002	0.0006	0.0004
Tongue	0.002	0.0007	0.0003	0.002	0.0006	0.0003	0.002	0.0004	0.0003	0.002	0.0007	0.0003
Trachea	0.0007	0.0006	0.0006	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0007	0.0006	0.0006
Ureter Urethra	0.003	0.0008	0.0008	0.002	0.0008	0.0008	0.002	0.0009	0.0009	0.003	0.0008	0.0008
Uterus	0.001	0.0007	0.0005	0.001	0.0007	0.0005	0.001	0.0007	0.0005	0.001	0.0007	0.0005
Vagina	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002
Vein	0.006	0.003	0.002	0.006	0.004	0.002	0.007	0.004	0.002	0.006	0.003	0.002
Vertebrae	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003	0.003	0.001	0.003	0.002	0.001

PNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	16 2/3 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Artery	0.008	0.004	0.002	0.008	0.004	0.002	0.009	0.004	0.002	0.009	0.004	0.002
Bladder	0.003	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001
Bone	0.467	0.073	0.009	0.441	0.069	0.009	0.378	0.059	0.01	0.468	0.073	0.009
Brain grey matter	0.003	0.003	0.001	0.003	0.002	0.001	0.004	0.003	0.001	0.003	0.003	0.001
Brain white matter	0.002	0.002	0.0009	0.002	0.001	0.0008	0.002	0.001	0.0009	0.002	0.001	0.0009
Cartilage	0.033	0.004	0.0007	0.033	0.004	0.0007	0.033	0.004	0.0009	0.033	0.004	0.0007
Cerebellum	0.006	0.003	0.001	0.006	0.003	0.001	0.006	0.003	0.001	0.006	0.003	0.001
Cerebrospinal fluid	0.006	0.002	0.0006	0.005	0.002	0.0006	0.007	0.002	0.0007	0.005	0.002	0.0006
Connective tissue	0.775	0.1	0.006	0.835	0.108	0.006	0.955	0.124	0.006	0.769	0.1	0.006
Ear cartilage	0.176	0.037	0.012	0.177	0.037	0.012	0.177	0.037	0.012	0.176	0.037	0.012
Ear skin	0.176	0.14	0.126	0.177	0.141	0.127	0.177	0.141	0.127	0.176	0.14	0.127
Esophagus	0.001	0.0009	0.0009	0.001	0.0009	0.0009	0.001	0.0007	0.0007	0.001	0.0009	0.0009
Eye Sclera	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Eye vitreous humor	0.011	0.0002	0.0001	0.012	0.0002	0.0001	0.011	0.0002	0.0001	0.011	0.0002	0.0001
Fat	0.048	0.015	0.006	0.045	0.014	0.006	0.039	0.014	0.006	0.048	0.015	0.006
Gallbladder	0.001	0.0003	0.0002	0.002	0.0008	0.0005	0.005	0.002	0.001	0.002	0.0005	0.0003
Heart lumen	0.005	0.002	0.0005	0.004	0.002	0.0005	0.002	0.001	0.0004	0.004	0.002	0.0005
Heart muscle	0.006	0.005	0.004	0.005	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002	0.005	0.005	0.004
Hippocampus	0.001	0.0009	0.0007	0.001	0.0008	0.0006	0.001	0.0008	0.0007	0.001	0.0008	0.0006
Hypophysis	0.0007	0.0004	0.0004	0.0007	0.0004	0.0004	0.0006	0.0003	0.0003	0.0007	0.0004	0.0004
Hypothalamus	0.0003	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0001	0.0004	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002
Intervertebral disc	0.002	0.002	0.0008	0.002	0.001	0.0007	0.003	0.001	0.0007	0.002	0.002	0.0008
Kidney cortex	0.003	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001
Kidney medulla	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Large intestine	0.01	0.006	0.004	0.013	0.005	0.004	0.022	0.006	0.003	0.012	0.006	0.004
Large intestine lumen	0.006	0.003	0.001	0.005	0.003	0.001	0.004	0.003	0.001	0.006	0.003	0.001
Liver	0.004	0.003	0.002	0.003	0.003	0.001	0.005	0.004	0.002	0.004	0.003	0.002
Lung	0.004	0.003	0.002	0.004	0.003	0.002	0.003	0.002	0.001	0.004	0.003	0.002
Mandible	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002
Marrow red	0.016	0.008	0.005	0.015	0.008	0.005	0.015	0.008	0.006	0.016	0.008	0.006
Medulla oblongata	0.004	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002	0.006	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002
Meniscus	0.006	0.004	0.003	0.006	0.003	0.003	0.005	0.003	0.002	0.006	0.004	0.003
Midbrain	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001
Muscle	0.064	0.033	0.004	0.065	0.031	0.004	0.074	0.035	0.004	0.064	0.033	0.004
Nerve	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.006	0.003	0.002	0.004	0.002	0.002
Ovary	0.002	0.001	0.0009	0.002	0.0009	0.0009	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.0009
Pancreas	0.001	0.0008	0.0006	0.001	0.0009	0.0006	0.002	0.001	0.0006	0.001	0.0008	0.0006
Patella	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Pinealbody	0.0003	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002
SAT	1.66	0.603	0.027	1.61	0.571	0.028	1.84	0.489	0.028	1.67	0.605	0.027
Skin	1.93	1.14	0.783	1.88	1.08	0.75	2.15	1.18	0.775	1.93	1.14	0.785
Skull	0.046	0.006	0.002	0.046	0.006	0.002	0.046	0.006	0.003	0.046	0.006	0.002
Small intestine	0.004	0.002	0.001	0.004	0.002	0.001	0.004	0.001	0.0009	0.004	0.002	0.001
Small intestine lumen	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003	0.001	0.0008	0.003	0.002	0.001
Spinal cord	0.004	0.003	0.002	0.004	0.003	0.002	0.006	0.004	0.003	0.004	0.003	0.002
Spleen	0.004	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.0006	0.003	0.003	0.002
Stomach	0.005	0.002	0.0009	0.005	0.002	0.0008	0.004	0.002	0.0005	0.005	0.002	0.0009
Stomach lumen	0.001	0.001	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0006	0.0005	0.0005	0.001	0.0009	0.0009
Teeth	0.002	0.001	0.0009	0.002	0.001	0.0009	0.002	0.001	0.0009	0.002	0.001	0.0009
Tendon Ligament	0.017	0.01	0.004	0.016	0.009	0.004	0.014	0.008	0.005	0.017	0.01	0.004
Thalamus	0.001	0.0008	0.0005	0.001	0.0008	0.0005	0.002	0.0008	0.0006	0.001	0.0008	0.0005
Thymus	0.003	0.001	0.0007	0.002	0.001	0.0007	0.002	0.0009	0.0007	0.003	0.001	0.0007
Tongue	0.004	0.001	0.0006	0.004	0.001	0.0005	0.003	0.0007	0.0005	0.004	0.001	0.0005
Trachea	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0009	0.0009	0.001	0.0008	0.0008	0.001	0.001	0.001
Ureter Urethra	0.004	0.001	0.001	0.004	0.001	0.001	0.004	0.002	0.001	0.004	0.001	0.001
Uterus	0.002	0.001	0.0008	0.002	0.001	0.0008	0.002	0.001	0.0008	0.002	0.001	0.0008
Vagina	0.007	0.003	0.003	0.007	0.003	0.003	0.005	0.003	0.003	0.007	0.003	0.003
Vein	0.011	0.006	0.003	0.01	0.006	0.003	0.012	0.007	0.003	0.011	0.006	0.003
Vertebrae	0.004	0.003	0.002	0.004	0.003	0.002	0.006	0.005	0.002	0.004	0.003	0.002

PNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	50 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Artery	0.024	0.011	0.005	0.023	0.011	0.006	0.027	0.011	0.006	0.024	0.011	0.005
Bladder	0.007	0.005	0.003	0.007	0.004	0.003	0.005	0.004	0.003	0.007	0.004	0.003
Bone	1.41	0.216	0.026	1.33	0.204	0.026	1.13	0.173	0.027	1.42	0.217	0.026
Brain grey matter	0.008	0.006	0.003	0.007	0.005	0.002	0.012	0.009	0.003	0.008	0.006	0.003
Brain white matter	0.004	0.004	0.002	0.004	0.003	0.002	0.004	0.004	0.002	0.004	0.003	0.002
Cartilage	0.099	0.012	0.002	0.1	0.012	0.002	0.1	0.012	0.003	0.099	0.012	0.002
Cerebellum	0.019	0.008	0.003	0.017	0.007	0.003	0.014	0.006	0.003	0.018	0.008	0.003
Cerebrospinal fluid	0.017	0.007	0.002	0.016	0.006	0.002	0.021	0.004	0.002	0.016	0.006	0.002
Connective tissue	2.32	0.3	0.018	2.51	0.325	0.018	2.89	0.373	0.018	2.3	0.298	0.018
Ear cartilage	0.532	0.111	0.037	0.534	0.111	0.037	0.534	0.111	0.037	0.53	0.11	0.037
Ear skin	0.532	0.423	0.38	0.534	0.425	0.382	0.534	0.426	0.383	0.53	0.422	0.382
Esophagus	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
Eye Sclera	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0004
Eye vitreous humor	0.035	0.0006	0.0004	0.035	0.0005	0.0004	0.035	0.0004	0.0003	0.034	0.0006	0.0004
Fat	0.142	0.044	0.017	0.135	0.042	0.017	0.115	0.04	0.017	0.143	0.044	0.017
Gallbladder	0.002	0.0006	0.0005	0.005	0.002	0.002	0.01	0.004	0.003	0.003	0.001	0.001
Heart lumen	0.01	0.005	0.002	0.009	0.005	0.001	0.005	0.003	0.001	0.01	0.005	0.002
Heart muscle	0.012	0.011	0.009	0.011	0.01	0.008	0.005	0.005	0.004	0.012	0.011	0.009
Hippocampus	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
Hypophysis	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.0009	0.0009	0.002	0.001	0.001
Hypothalamus	0.0008	0.0005	0.0004	0.0009	0.0004	0.0004	0.001	0.0005	0.0005	0.0009	0.0004	0.0004
Intervertebral disc	0.007	0.004	0.002	0.006	0.004	0.002	0.008	0.003	0.002	0.007	0.004	0.002
Kidney cortex	0.008	0.006	0.004	0.007	0.005	0.003	0.006	0.005	0.004	0.007	0.006	0.003
Kidney medulla	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
Large intestine	0.027	0.009	0.007	0.038	0.009	0.007	0.064	0.014	0.005	0.033	0.008	0.007
Large intestine lumen	0.009	0.005	0.003	0.008	0.005	0.003	0.007	0.006	0.004	0.008	0.005	0.003
Liver	0.009	0.008	0.004	0.009	0.007	0.004	0.012	0.01	0.006	0.009	0.007	0.004
Lung	0.009	0.008	0.005	0.008	0.007	0.004	0.008	0.005	0.004	0.009	0.007	0.005
Mandible	0.006	0.006	0.005	0.006	0.005	0.004	0.006	0.005	0.004	0.006	0.006	0.005
Marrow red	0.045	0.023	0.015	0.042	0.022	0.015	0.041	0.021	0.016	0.045	0.023	0.015
Medulla oblongata	0.01	0.007	0.005	0.011	0.007	0.005	0.014	0.007	0.005	0.01	0.007	0.005
Meniscus	0.017	0.01	0.008	0.016	0.009	0.007	0.016	0.008	0.006	0.017	0.01	0.008
Midbrain	0.005	0.004	0.003	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.003
Muscle	0.193	0.095	0.012	0.194	0.091	0.012	0.223	0.104	0.012	0.194	0.095	0.012
Nerve	0.01	0.007	0.004	0.011	0.006	0.004	0.015	0.008	0.006	0.01	0.007	0.004
Ovary	0.005	0.003	0.003	0.005	0.003	0.002	0.006	0.004	0.003	0.005	0.003	0.003
Pancreas	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.005	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002
Patella	0.008	0.008	0.007	0.008	0.007	0.007	0.009	0.008	0.007	0.009	0.008	0.007
Pinealbody	0.0007	0.0005	0.0005	0.0007	0.0004	0.0004	0.0007	0.0005	0.0005	0.0007	0.0005	0.0005
SAT	5.04	1.83	0.081	4.84	1.72	0.081	5.56	1.47	0.081	5.06	1.83	0.08
Skin	5.82	3.41	2.35	5.65	3.22	2.24	6.5	3.57	2.32	5.83	3.42	2.35
Skull	0.138	0.019	0.007	0.138	0.017	0.007	0.138	0.017	0.008	0.138	0.018	0.007
Small intestine	0.009	0.006	0.004	0.008	0.005	0.003	0.007	0.004	0.002	0.009	0.006	0.004
Small intestine lumen	0.007	0.005	0.003	0.006	0.004	0.003	0.004	0.003	0.002	0.007	0.004	0.003
Spinal cord	0.01	0.007	0.005	0.011	0.008	0.006	0.015	0.011	0.008	0.01	0.008	0.006
Spleen	0.008	0.007	0.005	0.007	0.006	0.004	0.002	0.002	0.002	0.008	0.006	0.005
Stomach	0.01	0.005	0.003	0.009	0.004	0.002	0.006	0.003	0.001	0.01	0.004	0.002
Stomach lumen	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.003	0.003	0.003
Teeth	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003
Tendon Ligament	0.05	0.028	0.012	0.047	0.027	0.012	0.04	0.023	0.013	0.05	0.028	0.012
Thalamus	0.003	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003	0.001	0.001
Thymus	0.005	0.003	0.002	0.005	0.002	0.002	0.006	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002
Tongue	0.01	0.003	0.002	0.01	0.003	0.001	0.009	0.002	0.001	0.01	0.003	0.002
Trachea	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003
Ureter Urethra	0.013	0.004	0.004	0.012	0.004	0.004	0.012	0.005	0.004	0.012	0.004	0.004
Uterus	0.006	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002
Vagina	0.021	0.007	0.006	0.02	0.007	0.006	0.015	0.008	0.007	0.021	0.007	0.006
Vein	0.031	0.015	0.007	0.029	0.016	0.007	0.034	0.019	0.007	0.031	0.015	0.007
Vertebrae	0.013	0.009	0.005	0.012	0.009	0.005	0.015	0.012	0.006	0.013	0.009	0.005

PNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	150 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Artery	0.066	0.031	0.014	0.062	0.029	0.015	0.073	0.029	0.015	0.066	0.031	0.014
Bladder	0.021	0.014	0.008	0.02	0.013	0.008	0.016	0.012	0.008	0.021	0.013	0.008
Bone	4.32	0.656	0.07	4.06	0.617	0.069	3.41	0.522	0.071	4.33	0.658	0.07
Brain grey matter	0.026	0.016	0.007	0.023	0.014	0.007	0.036	0.027	0.007	0.025	0.015	0.007
Brain white matter	0.012	0.01	0.007	0.011	0.009	0.006	0.013	0.011	0.007	0.011	0.009	0.006
Cartilage	0.3	0.036	0.006	0.3	0.036	0.005	0.3	0.036	0.007	0.299	0.036	0.006
Cerebellum	0.058	0.024	0.009	0.052	0.022	0.008	0.039	0.016	0.008	0.055	0.023	0.009
Cerebrospinal fluid	0.053	0.02	0.004	0.048	0.018	0.004	0.064	0.012	0.005	0.051	0.019	0.004
Connective tissue	7.02	0.907	0.048	7.64	0.987	0.047	8.88	1.15	0.048	6.97	0.901	0.048
Ear cartilage	1.6	0.334	0.113	1.61	0.336	0.113	1.61	0.336	0.112	1.6	0.333	0.112
Ear skin	1.6	1.28	1.15	1.61	1.28	1.15	1.61	1.29	1.16	1.6	1.27	1.15
Esophagus	0.009	0.007	0.006	0.009	0.006	0.006	0.009	0.005	0.005	0.009	0.006	0.006
Eye Sclera	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Eye vitreous humor	0.104	0.002	0.001	0.104	0.002	0.001	0.104	0.001	0.001	0.104	0.002	0.001
Fat	0.436	0.127	0.045	0.41	0.119	0.044	0.345	0.113	0.044	0.437	0.127	0.045
Gallbladder	0.004	0.001	0.0009	0.016	0.005	0.004	0.032	0.01	0.008	0.01	0.003	0.003
Heart lumen	0.027	0.015	0.005	0.025	0.013	0.004	0.012	0.007	0.003	0.026	0.014	0.005
Heart muscle	0.032	0.03	0.024	0.028	0.026	0.022	0.013	0.013	0.011	0.031	0.028	0.023
Hippocampus	0.006	0.005	0.004	0.005	0.004	0.004	0.007	0.005	0.004	0.006	0.005	0.004
Hypophysis	0.006	0.004	0.004	0.006	0.003	0.003	0.005	0.003	0.003	0.006	0.004	0.003
Hypothalamus	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
Intervertebral disc	0.02	0.012	0.006	0.018	0.011	0.006	0.021	0.009	0.005	0.019	0.012	0.006
Kidney cortex	0.022	0.016	0.01	0.019	0.014	0.008	0.018	0.014	0.011	0.021	0.015	0.009
Kidney medulla	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008	0.007	0.01	0.01	0.009	0.009	0.009	0.008
Large intestine	0.078	0.019	0.013	0.11	0.022	0.012	0.187	0.036	0.011	0.097	0.02	0.013
Large intestine lumen	0.013	0.011	0.009	0.012	0.01	0.008	0.017	0.015	0.01	0.013	0.011	0.009
Liver	0.026	0.021	0.011	0.024	0.019	0.011	0.038	0.033	0.017	0.026	0.02	0.011
Lung	0.026	0.021	0.014	0.023	0.019	0.012	0.025	0.015	0.01	0.025	0.021	0.013
Mandible	0.018	0.017	0.014	0.016	0.015	0.013	0.018	0.014	0.011	0.017	0.016	0.014
Marrow red	0.119	0.061	0.04	0.111	0.058	0.039	0.11	0.056	0.043	0.119	0.061	0.04
Medulla oblongata	0.025	0.019	0.014	0.028	0.018	0.013	0.035	0.019	0.013	0.026	0.018	0.013
Meniscus	0.046	0.027	0.021	0.043	0.025	0.019	0.042	0.02	0.017	0.046	0.027	0.021
Midbrain	0.014	0.009	0.007	0.012	0.009	0.006	0.011	0.008	0.006	0.013	0.009	0.007
Muscle	0.61	0.273	0.03	0.598	0.267	0.03	0.693	0.309	0.03	0.611	0.274	0.03
Nerve	0.027	0.021	0.012	0.028	0.019	0.012	0.039	0.022	0.015	0.026	0.02	0.012
Ovary	0.015	0.008	0.008	0.015	0.007	0.007	0.015	0.01	0.008	0.015	0.008	0.007
Pancreas	0.008	0.005	0.004	0.008	0.005	0.004	0.011	0.007	0.005	0.008	0.005	0.004
Patella	0.023	0.021	0.019	0.021	0.019	0.018	0.024	0.021	0.02	0.023	0.021	0.019
Pinealbody	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
SAT	15.4	5.58	0.236	14.7	5.26	0.238	17.1	4.5	0.237	15.5	5.6	0.236
Skin	17.8	10.2	7.07	17.2	9.64	6.72	20	10.9	7.01	17.9	10.3	7.09
Skull	0.416	0.06	0.023	0.416	0.054	0.021	0.415	0.053	0.025	0.416	0.057	0.022
Small intestine	0.03	0.018	0.01	0.026	0.016	0.009	0.02	0.01	0.007	0.028	0.017	0.01
Small intestine lumen	0.014	0.011	0.009	0.012	0.01	0.008	0.01	0.008	0.006	0.013	0.01	0.009
Spinal cord	0.023	0.018	0.013	0.028	0.021	0.015	0.039	0.028	0.021	0.025	0.019	0.014
Spleen	0.024	0.02	0.014	0.022	0.018	0.012	0.008	0.007	0.005	0.023	0.019	0.013
Stomach	0.03	0.011	0.007	0.027	0.01	0.006	0.013	0.006	0.004	0.029	0.011	0.007
Stomach lumen	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.004	0.004	0.003	0.008	0.008	0.007
Teeth	0.011	0.008	0.007	0.011	0.008	0.007	0.011	0.007	0.007	0.011	0.008	0.007
Tendon Ligament	0.145	0.078	0.03	0.136	0.074	0.031	0.115	0.062	0.033	0.145	0.078	0.03
Thalamus	0.007	0.004	0.003	0.006	0.004	0.003	0.008	0.005	0.003	0.006	0.004	0.003
Thymus	0.014	0.008	0.005	0.014	0.007	0.005	0.016	0.007	0.005	0.014	0.007	0.005
Tongue	0.027	0.008	0.004	0.026	0.008	0.004	0.024	0.004	0.003	0.026	0.008	0.004
Trachea	0.008	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007	0.008	0.006	0.006	0.008	0.007	0.007
Ureter Urethra	0.038	0.013	0.012	0.036	0.013	0.013	0.033	0.014	0.014	0.037	0.013	0.012
Uterus	0.017	0.008	0.005	0.016	0.007	0.005	0.017	0.008	0.006	0.017	0.008	0.005
Vagina	0.067	0.014	0.012	0.062	0.016	0.013	0.048	0.021	0.017	0.064	0.015	0.013
Vein	0.084	0.041	0.019	0.079	0.044	0.019	0.093	0.05	0.019	0.085	0.04	0.019
Vertebrae	0.039	0.026	0.014	0.035	0.024	0.013	0.039	0.032	0.016	0.038	0.025	0.013

PNS Gewebe Roberta, geordnet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	1 kHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Artery	0.406	0.193	0.085	0.384	0.18	0.088	0.45	0.182	0.089	0.409	0.194	0.085
Bladder	0.138	0.089	0.056	0.128	0.083	0.053	0.106	0.079	0.05	0.133	0.085	0.054
Bone	29	4.36	0.424	27.3	4.09	0.417	22.6	3.47	0.432	29.1	4.37	0.425
Brain grey matter	0.178	0.1	0.049	0.16	0.092	0.045	0.246	0.186	0.049	0.169	0.095	0.047
Brain white matter	0.075	0.064	0.043	0.068	0.058	0.04	0.093	0.073	0.043	0.071	0.061	0.041
Cartilage	2	0.241	0.036	2.01	0.241	0.035	2.01	0.239	0.045	2	0.24	0.035
Cerebellum	0.387	0.161	0.061	0.348	0.144	0.055	0.265	0.1	0.049	0.367	0.152	0.058
Cerebrospinal fluid	0.362	0.136	0.028	0.325	0.123	0.027	0.437	0.082	0.031	0.343	0.129	0.027
Connective tissue	46.7	6.03	0.292	51.1	6.59	0.285	59.9	7.72	0.294	46.4	5.99	0.29
Ear cartilage	10.7	2.23	0.752	10.8	2.24	0.755	10.8	2.24	0.75	10.7	2.23	0.746
Ear skin	10.7	8.53	7.66	10.8	8.56	7.7	10.8	8.59	7.73	10.7	8.5	7.7
Esophagus	0.058	0.04	0.039	0.055	0.038	0.037	0.052	0.034	0.033	0.057	0.039	0.038
Eye Sclera	0.009	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.009	0.008	0.008
Eye vitreous humor	0.697	0.012	0.009	0.698	0.011	0.008	0.696	0.009	0.007	0.695	0.012	0.009
Fat	2.91	0.809	0.273	2.73	0.758	0.268	2.28	0.714	0.272	2.91	0.811	0.273
Gallbladder	0.027	0.01	0.007	0.097	0.032	0.027	0.198	0.065	0.054	0.062	0.02	0.017
Heart lumen	0.167	0.091	0.033	0.149	0.083	0.029	0.071	0.042	0.019	0.161	0.088	0.032
Heart muscle	0.193	0.179	0.149	0.172	0.16	0.133	0.077	0.076	0.061	0.185	0.173	0.143
Hippocampus	0.039	0.031	0.025	0.035	0.028	0.023	0.048	0.032	0.028	0.037	0.03	0.024
Hypophysis	0.038	0.023	0.023	0.036	0.022	0.022	0.031	0.018	0.018	0.037	0.023	0.023
Hypothalamus	0.014	0.008	0.008	0.015	0.008	0.008	0.018	0.009	0.009	0.015	0.008	0.008
Intervertebral disc	0.131	0.078	0.039	0.118	0.071	0.036	0.134	0.059	0.032	0.125	0.075	0.038
Kidney cortex	0.139	0.102	0.06	0.124	0.09	0.054	0.12	0.087	0.068	0.134	0.097	0.058
Kidney medulla	0.059	0.056	0.051	0.052	0.05	0.046	0.065	0.062	0.06	0.056	0.054	0.049
Large intestine	0.548	0.119	0.075	0.744	0.146	0.067	1.23	0.23	0.065	0.667	0.133	0.072
Large intestine lumen	0.077	0.067	0.06	0.069	0.06	0.053	0.095	0.086	0.06	0.074	0.065	0.057
Liver	0.166	0.129	0.067	0.153	0.119	0.067	0.244	0.202	0.11	0.162	0.126	0.066
Lung	0.164	0.135	0.09	0.146	0.12	0.08	0.17	0.101	0.065	0.157	0.13	0.086
Mandible	0.12	0.11	0.093	0.108	0.099	0.083	0.115	0.092	0.072	0.114	0.104	0.088
Marrow red	0.723	0.372	0.242	0.677	0.349	0.233	0.671	0.341	0.259	0.725	0.373	0.243
Medulla oblongata	0.151	0.119	0.084	0.167	0.112	0.082	0.216	0.118	0.078	0.16	0.115	0.083
Meniscus	0.284	0.164	0.129	0.263	0.15	0.12	0.254	0.124	0.104	0.285	0.163	0.129
Midbrain	0.086	0.057	0.042	0.078	0.054	0.04	0.069	0.049	0.036	0.082	0.055	0.04
Muscle	4.16	1.76	0.18	4.01	1.74	0.181	4.68	2.04	0.178	4.16	1.77	0.18
Nerve	0.183	0.137	0.076	0.167	0.126	0.073	0.241	0.135	0.092	0.175	0.132	0.074
Ovary	0.098	0.052	0.048	0.097	0.047	0.044	0.094	0.064	0.053	0.095	0.051	0.046
Pancreas	0.049	0.035	0.025	0.047	0.032	0.024	0.065	0.041	0.032	0.049	0.034	0.025
Patella	0.139	0.127	0.117	0.129	0.118	0.109	0.148	0.132	0.122	0.14	0.128	0.117
Pinealbody	0.013	0.008	0.008	0.012	0.008	0.008	0.012	0.008	0.008	0.012	0.008	0.008
SAT	104	37.6	1.54	98.4	35.3	1.56	115	30.4	1.55	104	37.7	1.54
Skin	120	68.1	47.1	115	64	44.6	135	73	46.6	120	68.3	47.2
Skull	2.78	0.401	0.151	2.78	0.361	0.138	2.77	0.362	0.166	2.78	0.381	0.144
Small intestine	0.2	0.118	0.065	0.178	0.105	0.057	0.128	0.07	0.042	0.192	0.113	0.062
Small intestine lumen	0.087	0.067	0.06	0.077	0.06	0.053	0.064	0.053	0.036	0.084	0.064	0.057
Spinal cord	0.135	0.105	0.076	0.166	0.123	0.091	0.241	0.173	0.128	0.148	0.112	0.082
Spleen	0.165	0.133	0.091	0.147	0.119	0.082	0.062	0.05	0.035	0.158	0.128	0.088
Stomach	0.191	0.076	0.048	0.17	0.068	0.042	0.082	0.031	0.023	0.183	0.073	0.046
Stomach lumen	0.053	0.052	0.049	0.047	0.046	0.043	0.027	0.024	0.02	0.05	0.05	0.047
Teeth	0.068	0.054	0.045	0.068	0.05	0.044	0.065	0.043	0.042	0.068	0.052	0.044
Tendon Ligament	0.933	0.491	0.183	0.879	0.462	0.184	0.735	0.385	0.199	0.935	0.492	0.182
Thalamus	0.041	0.024	0.02	0.039	0.023	0.018	0.05	0.031	0.021	0.04	0.023	0.019
Thymus	0.086	0.047	0.034	0.082	0.042	0.031	0.099	0.046	0.03	0.083	0.045	0.033
Tongue	0.165	0.051	0.027	0.158	0.047	0.025	0.147	0.027	0.021	0.162	0.049	0.026
Trachea	0.054	0.043	0.043	0.052	0.041	0.041	0.046	0.035	0.035	0.053	0.042	0.042
Ureter Urethra	0.255	0.087	0.086	0.24	0.088	0.087	0.22	0.095	0.093	0.247	0.088	0.087
Uterus	0.118	0.043	0.029	0.107	0.04	0.029	0.113	0.05	0.034	0.114	0.042	0.029
Vagina	0.456	0.09	0.076	0.42	0.102	0.085	0.331	0.137	0.112	0.439	0.097	0.081
Vein	0.524	0.248	0.118	0.492	0.267	0.118	0.579	0.305	0.118	0.526	0.245	0.118
Vertebrae	0.261	0.173	0.087	0.234	0.155	0.084	0.242	0.197	0.098	0.249	0.165	0.086

PNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	10 kHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Artery	3.95	1.88	0.815	3.73	1.75	0.84	4.38	1.78	0.86	3.97	1.89	0.811
Bladder	1.35	0.878	0.55	1.25	0.814	0.523	1.06	0.795	0.492	1.29	0.839	0.534
Bone	287	42.9	4.13	269	40.2	4.06	222	33.8	4.2	287	43	4.14
Brain grey matter	1.8	0.918	0.462	1.62	0.907	0.429	2.47	1.87	0.461	1.71	0.875	0.444
Brain white matter	0.687	0.611	0.42	0.627	0.558	0.384	0.941	0.7	0.419	0.655	0.583	0.401
Cartilage	19.8	2.38	0.344	19.8	2.38	0.329	19.8	2.36	0.437	19.7	2.37	0.336
Cerebellum	3.84	1.57	0.586	3.45	1.41	0.533	2.63	0.999	0.46	3.64	1.49	0.558
Cerebrospinal fluid	3.66	1.36	0.27	3.3	1.22	0.26	4.4	0.814	0.296	3.47	1.29	0.263
Connective tissue	458	59	2.86	502	64.7	2.79	591	76.1	2.88	456	58.7	2.85
Ear cartilage	107	22.3	7.42	107	22.3	7.45	107	22.4	7.4	106	22.2	7.36
Ear skin	107	84.9	76.3	107	85.3	76.7	107	85.6	76.9	106	84.7	76.6
Esophagus	0.565	0.381	0.378	0.533	0.36	0.357	0.491	0.327	0.322	0.553	0.371	0.368
Eye Sclera	0.096	0.089	0.089	0.087	0.08	0.08	0.073	0.066	0.066	0.091	0.084	0.084
Eye vitreous humor	6.88	0.124	0.094	6.89	0.113	0.086	6.87	0.086	0.07	6.86	0.118	0.09
Fat	28.4	7.97	2.65	26.7	7.46	2.6	22.1	7.02	2.64	28.5	7.98	2.65
Gallbladder	0.289	0.109	0.073	0.803	0.312	0.259	1.65	0.639	0.528	0.545	0.202	0.17
Heart lumen	1.25	0.747	0.339	1.12	0.669	0.302	0.464	0.314	0.188	1.2	0.717	0.325
Heart muscle	1.57	1.32	1.14	1.4	1.18	1.01	0.596	0.541	0.44	1.51	1.27	1.09
Hippocampus	0.357	0.286	0.237	0.322	0.259	0.214	0.449	0.299	0.263	0.338	0.272	0.225
Hypophysis	0.377	0.234	0.232	0.353	0.224	0.222	0.305	0.181	0.18	0.364	0.229	0.227
Hypothalamus	0.132	0.082	0.082	0.138	0.08	0.079	0.173	0.089	0.086	0.135	0.081	0.081
Intervertebral disc	1.29	0.758	0.384	1.16	0.692	0.358	1.31	0.575	0.315	1.23	0.727	0.372
Kidney cortex	1.44	0.997	0.58	1.28	0.886	0.516	1.24	0.852	0.655	1.38	0.956	0.557
Kidney medulla	0.567	0.543	0.49	0.504	0.483	0.436	0.622	0.593	0.568	0.544	0.521	0.47
Large intestine	5.72	1.2	0.743	7.55	1.48	0.664	12.2	2.29	0.635	6.84	1.36	0.714
Large intestine lumen	0.759	0.665	0.586	0.681	0.596	0.525	0.949	0.846	0.59	0.73	0.639	0.563
Liver	1.47	1.17	0.614	1.34	1.07	0.624	2.24	1.73	1.03	1.42	1.13	0.603
Lung	1.53	1.22	0.839	1.36	1.08	0.749	1.61	0.939	0.633	1.47	1.17	0.805
Mandible	1.18	1.08	0.913	1.06	0.971	0.823	1.13	0.906	0.705	1.12	1.02	0.867
Marrow red	6.99	3.6	2.34	6.54	3.38	2.25	6.5	3.32	2.5	7	3.61	2.35
Medulla oblongata	1.42	1.12	0.784	1.51	1.05	0.771	1.99	1.09	0.721	1.44	1.09	0.778
Meniscus	2.76	1.6	1.26	2.56	1.46	1.17	2.47	1.21	1.01	2.77	1.59	1.26
Midbrain	0.808	0.531	0.383	0.733	0.486	0.364	0.622	0.449	0.323	0.769	0.506	0.373
Muscle	41.1	17.1	1.73	39.4	1.7	1.74	46.2	19.9	1.71	41.1	17.1	1.73
Nerve	1.74	1.34	0.699	1.59	1.23	0.661	2.18	1.18	0.784	1.67	1.29	0.678
Ovary	0.952	0.513	0.466	0.94	0.464	0.428	0.906	0.626	0.513	0.921	0.496	0.454
Pancreas	0.486	0.344	0.246	0.462	0.319	0.236	0.622	0.395	0.307	0.477	0.335	0.242
Patella	1.37	1.25	1.15	1.27	1.16	1.07	1.45	1.29	1.19	1.37	1.25	1.15
Pinealbody	0.12	0.079	0.079	0.112	0.077	0.077	0.114	0.079	0.079	0.116	0.077	0.077
SAT	1029	372	15.1	967	349	15.2	1138	299	15.2	1031	372	15
Skin	1186	673	465	1131	632	440	1330	721	460	1188	674	465
Skull	27.4	4	1.52	27.4	3.6	1.39	27.3	3.63	1.67	27.4	3.79	1.44
Small intestine	1.98	1.16	0.632	1.77	1.03	0.562	1.26	0.68	0.411	1.9	1.11	0.606
Small intestine lumen	0.854	0.659	0.584	0.76	0.587	0.519	0.619	0.516	0.342	0.819	0.632	0.56
Spinal cord	1.22	0.921	0.673	1.5	1.09	0.803	2.18	1.54	1.14	1.33	0.992	0.729
Spleen	1.6	1.29	0.891	1.43	1.16	0.801	0.64	0.515	0.361	1.53	1.24	0.857
Stomach	1.9	0.762	0.476	1.69	0.68	0.424	0.734	0.3	0.215	1.82	0.732	0.456
Stomach lumen	0.516	0.51	0.481	0.459	0.454	0.428	0.243	0.216	0.18	0.494	0.489	0.461
Teeth	0.657	0.531	0.44	0.649	0.485	0.422	0.618	0.413	0.407	0.652	0.507	0.43
Tendon Ligament	9.12	4.77	1.78	8.57	4.49	1.79	7.14	3.73	1.94	9.13	4.78	1.78
Thalamus	0.366	0.216	0.184	0.341	0.202	0.171	0.436	0.287	0.198	0.353	0.208	0.177
Thymus	0.822	0.424	0.321	0.777	0.381	0.292	0.944	0.445	0.27	0.795	0.406	0.308
Tongue	1.47	0.444	0.258	1.4	0.407	0.241	1.3	0.234	0.2	1.44	0.425	0.25
Trachea	0.525	0.41	0.409	0.499	0.393	0.393	0.439	0.337	0.336	0.515	0.401	0.401
Ureter Urethra	2.56	0.895	0.881	2.41	0.901	0.888	2.2	0.961	0.944	2.48	0.902	0.886
Uterus	1.16	0.42	0.284	1.04	0.387	0.279	1.11	0.494	0.332	1.11	0.408	0.278
Vagina	4.56	0.925	0.783	4.21	1.04	0.859	3.33	1.38	1.12	4.39	0.99	0.827
Vein	5.12	2.4	1.14	4.81	2.59	1.14	5.69	2.96	1.14	5.14	2.37	1.14
Vertebrae	2.61	1.72	0.862	2.34	1.54	0.822	2.36	1.79	0.918	2.48	1.64	0.846

PNS Gewebe Roberta, geordnet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	100 kHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99
Artery	41.6	19.7	7.85	39.2	18.4	8.3	45.1	18.2	8.28	41.4	19.6	7.93
Bladder	13.3	8.65	5.42	12.4	8.05	5.17	10.4	7.85	4.86	12.7	8.25	5.25
Bone	1424	387	42.2	1334	363	40.9	1043	283	42.6	1411	383	42
Brain grey matter	18.4	8.43	4.39	16.7	8.92	4.1	25	18.9	4.36	17.4	8.01	4.21
Brain white matter	6.41	5.72	3.97	5.9	5.26	3.66	9.53	6.48	3.95	6.1	5.44	3.78
Cartilage	98.6	12.2	3.35	98.7	12.2	3.21	98.8	12	4.36	98.5	12.2	3.28
Cerebellum	38.4	15.5	5.71	34.7	14	5.22	26.3	10	4.41	36.2	14.7	5.43
Cerebrospinal fluid	37.4	13.6	2.66	33.9	12.3	2.56	44.3	8.16	2.75	35.3	12.8	2.58
Connective tissue	2393	331	28.3	2666	368	27.2	3306	456	28.3	2434	336	28.1
Ear cartilage	681	158	37.2	685	159	37.4	686	160	37	678	158	36.9
Ear skin	731	603	536	739	607	539	751	612	546	727	602	534
Esophagus	5.63	3.71	3.69	5.3	3.51	3.49	4.76	3.22	3.17	5.48	3.6	3.58
Eye Sclera	0.982	0.91	0.908	0.892	0.827	0.826	0.743	0.673	0.672	0.929	0.861	0.86
Eye vitreous humor	34.2	1.25	0.954	34.2	1.15	0.875	34	0.861	0.704	34.1	1.19	0.907
Fat	221	85.5	27.2	208	80	26.6	163	73.4	26.9	219	84.7	27.1
Gallbladder	2.67	1.17	0.78	6.65	2.88	2.42	13.3	6.05	5.06	4.91	2.03	1.73
Heart lumen	9.61	6.43	3.49	8.62	5.77	3.13	3.37	2.39	1.85	9.17	6.13	3.32
Heart muscle	14.8	11.2	9.04	13.2	10	8.1	4.79	4	3.37	14.1	10.7	8.61
Hippocampus	3.31	2.68	2.25	3.01	2.43	2.05	4.18	2.79	2.47	3.13	2.53	2.13
Hypophysis	3.78	2.39	2.37	3.54	2.29	2.27	3.08	1.87	1.85	3.64	2.33	2.31
Hypothalamus	1.22	0.864	0.858	1.28	0.844	0.835	1.62	0.857	0.819	1.26	0.852	0.844
Intervertebral disc	12.8	7.46	3.81	11.6	6.84	3.56	13	5.69	3.14	12.2	7.12	3.68
Kidney cortex	15.3	9.99	5.64	13.7	8.94	5.05	13.6	8.65	6.43	14.6	9.52	5.38
Kidney medulla	5.57	5.32	4.75	4.99	4.76	4.25	6.02	5.75	5.43	5.31	5.07	4.52
Large intestine	50.2	12	7.46	67.5	13.3	6.73	112	21	6.35	61.3	12.3	7.13
Large intestine lumen	7.57	6.63	5.83	6.85	6	5.26	9.89	8.47	5.87	7.24	6.34	5.57
Liver	13.1	10	5.42	12	9.15	5.49	18.5	14.4	9.13	12.6	9.64	5.29
Lung	15.3	11.7	7.96	13.7	10.5	7.17	15.6	9.18	6.39	14.5	11.1	7.6
Mandible	11.7	10.7	9.03	10.6	9.68	8.18	11.2	8.95	6.94	11.1	10.1	8.54
Marrow red	72.4	37.5	24.3	67.7	35.2	23	66	34.1	25.4	71.7	37.2	24.1
Medulla oblongata	13.7	10.8	7.39	13.8	10.1	7.29	18.5	10.2	6.82	13.2	10.4	7.38
Meniscus	28.8	16.6	13.2	26.6	15.2	12.1	25.2	12.4	10.1	28.5	16.3	13
Midbrain	7.68	5.06	3.61	6.98	4.61	3.39	5.68	4.12	2.97	7.28	4.8	3.47
Muscle	281	127	17.2	263	119	17.4	315	136	17.1	278	126	17.2
Nerve	16.3	12.3	6.19	14.9	11.3	5.83	19.6	9.57	6.18	15.6	11.8	5.97
Ovary	9.3	5.12	4.64	9.23	4.65	4.28	9.08	6.24	5.1	9.04	4.91	4.51
Pancreas	5.01	3.56	2.49	4.75	3.3	2.36	6.8	3.92	2.92	4.89	3.44	2.43
Patella	14.4	13.1	12.1	13.4	12.2	11.2	14.9	13.3	12.2	14.3	13	11.9
Pinealbody	1.14	0.76	0.76	1.07	0.736	0.736	1.09	0.758	0.758	1.1	0.742	0.742
SAT	6071	2138	107	5695	2003	109	6282	1874	106	6011	2117	108
Skin	7046	4388	3001	6610	4112	2861	7391	4477	2982	6977	4346	2985
Skull	134	40.1	15.3	134	36.3	14.1	133	36.4	16.9	134	37.8	14.5
Small intestine	20.2	11.7	6.28	18.2	10.5	5.63	12.6	6.81	4.04	19.3	11.2	5.99
Small intestine lumen	8.52	6.57	5.79	7.64	5.9	5.19	6.08	5.08	3.34	8.13	6.27	5.53
Spinal cord	11.2	8.02	5.92	13.4	9.36	6.9	19.1	13.1	9.62	12.2	8.69	6.4
Spleen	16.2	12.7	8.77	14.6	11.5	7.95	6.82	5.49	3.84	15.5	12.2	8.4
Stomach	19.2	7.71	4.78	17.2	6.94	4.29	6.42	3	2	18.3	7.36	4.56
Stomach lumen	5.1	5.04	4.76	4.57	4.52	4.27	2.09	1.91	1.62	4.86	4.8	4.54
Teeth	6.73	5.2	4.57	6.66	4.76	4.39	6.36	4.64	4.54	6.69	4.95	4.46
Tendon Ligament	76.7	40.1	18.2	72	37.7	18.2	56.9	29.7	20	76	39.7	18.2
Thalamus	3.2	1.96	1.76	2.98	1.8	1.62	3.76	2.66	1.86	3.07	1.86	1.68
Thymus	8.1	3.95	3.12	7.54	3.61	2.86	9.22	4.42	2.56	7.79	3.78	2.99
Tongue	8.15	3.24	2.53	7.94	2.97	2.37	7.05	2.28	1.95	8.02	3.08	2.44
Trachea	5.11	3.97	3.97	4.86	3.81	3.81	4.24	3.24	3.23	5	3.88	3.88
Ureter Urethra	24.6	8.66	8.53	23.3	8.78	8.62	21.1	9.37	9.24	23.7	8.71	8.56
Uterus	11.4	4.17	2.8	10.3	3.86	2.76	11.4	5.01	3.34	10.9	4.03	2.76
Vagina	43.7	8.68	7.34	40.6	9.84	8.14	32.1	13.3	10.8	41.8	9.35	7.86
Vein	54.3	24	11.5	50.9	25.2	11.5	59.1	30.4	11.4	53.9	23.7	11.5
Vertebrae	26.2	17.2	8.69	23.6	15.6	8.22	23.1	15.8	8.69	24.8	16.3	8.47



PNS Gewebe Roberta, geordnet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	1 MHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Artery	443	208	65.5	412	193	66.6	460	188	67	423	198	65.1
Bladder	116	78	49.5	110	72.8	47.2	91.9	71.1	42.2	111	74.1	47.8
Bone	937	665	416	869	617	387	648	543	398	893	634	397
Brain grey matter	178	77.4	41.4	163	77.9	39.1	234	179	40.7	166	72.7	39.6
Brain white matter	58.2	52.1	36.9	61.5	48.6	34.5	99.6	58.1	36.7	59.1	49.3	35
Cartilage	429	36.7	29.9	400	33.8	28.5	287	42.4	39.9	410	34.5	28.7
Cerebellum	352	145	54	322	134	49.8	248	90.9	40.7	329	136	50.7
Cerebrospinal fluid	363	128	25.5	333	118	24.4	423	73.6	23	340	120	24.5
Connective tissue	862	450	263	799	417	244	817	472	250	821	428	251
Ear cartilage	376	107	47.3	353	112	45.3	354	128	48.3	363	110	45.9
Ear skin	465	362	347	457	337	328	512	396	357	457	348	334
Esophagus	52.9	30	29.9	49.5	28.3	28.2	37.3	26.6	26.2	50.6	28.7	28.6
Eye Sclera	11.1	10.2	10.2	10.2	9.41	9.4	8.15	7.36	7.36	10.4	9.58	9.57
Eye vitreous humor	38.8	13.1	10.4	35.5	12.1	9.58	20.3	8.78	7.51	36.2	12.3	9.73
Fat	1070	967	266	992	897	258	933	793	263	1019	921	260
Gallbladder	34.3	17.4	12.2	52.2	27.3	20.3	95.4	51.1	42.4	47.6	24.7	17.9
Heart lumen	72	52.6	33.7	65.6	47.9	30.8	30	20.6	17.3	67.6	49.4	31.7
Heart muscle	144	97.3	71.2	131	89	65	57.5	39.6	29.5	135	91.6	67
Hippocampus	29.9	24.5	21	27.5	22.6	19.3	37.4	25.4	22.8	28.1	23	19.7
Hypophysis	33.6	21.7	21.6	31.7	21	20.8	27	17.1	17	32.1	21.1	20.9
Hypothalamus	10.5	7.97	7.82	10.9	7.79	7.6	14.2	7.6	7.38	10.8	7.82	7.65
Intervertebral disc	115	63.8	33.5	105	58.6	31.5	113	47.6	27.2	108	60	32.1
Kidney cortex	169	98.2	50.6	154	89.7	46.3	159	86.5	58.3	159	92.3	47.6
Kidney medulla	50.1	47.4	41.4	45.8	42.2	37.8	52.5	50.2	46.7	47.1	44.5	38.9
Large intestine	272	124	71.6	253	114	66	300	107	58	257	117	67.8
Large intestine lumen	73	62.1	54	67.6	57.6	50	87.1	70.7	52.8	69.3	59	51.3
Liver	115	79.5	40.1	105	72.5	45.7	140	110	72.1	108	74.7	43.6
Lung	149	108	74.1	136	98.7	68.3	151	90.2	65.7	140	102	70.1
Mandible	112	100	81.9	103	92.3	75	99.1	78.9	60.6	105	94.1	76.6
Marrow red	648	376	242	601	349	225	587	335	244	618	358	231
Medulla oblongata	109	86.6	60	102	81.3	57.3	139	77.9	52.7	104	82.5	57.4
Meniscus	286	168	129	264	154	119	251	119	95.8	272	159	123
Midbrain	65.4	43.5	30.4	59.9	39.9	28.2	44.5	33	23.6	61.2	40.7	28.7
Muscle	978	506	145	907	468	143	838	538	139	931	481	144
Nerve	155	111	53.5	144	104	50.7	170	70.5	47.4	147	106	51.5
Ovary	80.5	46.6	42.3	78.3	42.7	39.3	81.6	55.6	44.3	77.7	44	40.3
Pancreas	48.4	34.5	22.8	45.9	31.9	21.2	88.8	33.4	25.3	46.7	32.7	21.7
Patella	156	141	130	144	130	120	152	137	126	149	134	124
Pinealbody	10.1	6.84	6.84	9.52	6.55	6.55	9.73	6.72	6.72	9.64	6.58	6.58
SAT	2134	1430	548	1980	1325	529	2119	1503	523	2033	1361	534
Skin	4155	3625	1968	3863	3370	1891	5629	4384	1835	3962	3457	1928
Skull	481	374	143	442	344	133	462	342	155	451	351	135
Small intestine	213	116	56.6	196	106	51.9	123	63	34.5	201	109	53.4
Small intestine lumen	81.6	62.1	52	74.8	57.1	47.5	51.6	43.8	27.5	76.9	58.6	48.9
Spinal cord	74.3	53.1	39	88.5	62	45.5	134	90.3	66.6	84.3	59.5	43.6
Spleen	180	120	81.7	167	111	75.9	92.6	64.3	44.6	171	114	77.6
Stomach	192	78.6	47.3	175	72.4	43.6	74.2	37.7	22.5	181	74.3	44.7
Stomach lumen	45.2	44.6	42.2	41.4	40.9	38.6	21.2	19.7	18.7	42.6	42.1	39.7
Teeth	58.2	45.4	40.1	57.4	41.9	38.5	53.9	40.1	39.3	57.6	42.7	38.8
Tendon Ligament	499	256	176	464	237	166	620	313	207	476	243	168
Thalamus	26.2	18.5	16.2	24.4	17.1	15	30.3	24.1	16.9	24.8	17.4	15.3
Thymus	72.3	35.9	28.3	66.3	33.1	26.1	79.6	40.7	23.3	68.5	33.9	26.7
Tongue	67	27.1	20.7	65	24.9	19.3	57.5	17.9	15.2	65.4	25.5	19.6
Trachea	46.4	32.2	32.1	43.8	30.5	30.5	33.5	26.2	26.1	44.7	30.9	30.8
Ureter Urethra	163	81.2	80.1	156	81	79.9	144	80.2	78.8	158	81.1	79.9
Uterus	101	36.1	24.3	92.1	33.4	23.9	116	49.1	32.2	94.9	34.2	23.7
Vagina	273	67.5	55.6	255	68.4	59.5	189	90.8	68.1	260	67.4	58.8
Vein	589	228	110	547	211	103	625	304	108	561	217	105
Vertebrae	236	153	82.9	216	141	78.9	203	137	75.8	221	144	80.4

PNS Gewebe Roberta, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	10 MHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Artery	2997	1458	543	2416	1161	544	3501	1511	515	3147	1540	553
Bladder	764	514	352	681	462	323	716	548	296	759	508	355
Bone	4081	3653	2595	3266	2923	2156	4306	3838	2810	4295	3845	2729
Brain grey matter	1193	567	319	1157	825	303	1691	1246	331	1225	582	325
Brain white matter	497	413	304	568	409	290	665	474	323	470	424	312
Cartilage	2582	290	248	2081	285	251	2120	376	357	2712	293	247
Cerebellum	2208	925	340	1881	794	307	1722	719	286	2256	947	351
Cerebrospinal fluid	2313	838	229	1997	723	219	2740	581	223	2375	858	232
Connective tissue	4788	2919	1645	3819	2348	1398	4064	3319	1729	5046	3075	1732
Ear cartilage	814	432	348	713	376	318	619	434	399	836	445	360
Ear skin	792	430	428	695	361	360	704	398	368	816	454	453
Esophagus	397	227	226	333	197	197	262	202	201	412	229	229
Eye Sclera	117	108	108	101	93.7	93.6	93.7	85.7	85.5	119	110	110
Eye vitreous humor	261	125	106	217	112	93.9	182	94.5	82.6	270	126	107
Fat	6008	5439	1877	4813	4357	1742	6344	5562	2037	6321	5722	1973
Gallbladder	542	279	218	698	356	282	920	470	379	499	260	203
Heart lumen	478	372	267	404	319	230	251	190	154	496	384	276
Heart muscle	1098	687	486	938	589	413	556	354	250	1138	712	505
Hippocampus	195	169	154	229	148	140	302	198	184	202	175	159
Hypophysis	266	198	196	238	187	186	219	170	170	275	200	199
Hypothalamus	97.2	85.9	83.6	94.7	83	80.2	90.3	78.4	74.7	98	87	84.8
Intervertebral disc	882	493	297	745	411	278	931	398	267	897	502	302
Kidney cortex	1547	834	417	1359	710	400	1882	843	520	1592	858	429
Kidney medulla	405	380	329	345	323	303	452	434	399	418	392	339
Large intestine	1890	1266	570	1667	1116	502	1330	792	523	1938	1298	584
Large intestine lumen	523	496	441	566	443	393	731	588	492	535	507	451
Liver	825	614	430	1017	756	500	1312	975	612	863	583	413
Lung	1231	833	614	1048	746	546	1104	801	586	1276	865	629
Mandible	867	791	607	753	692	515	788	642	504	882	804	623
Marrow red	3328	2450	1762	2665	1971	1421	3445	2480	1939	3503	2576	1853
Medulla oblongata	546	434	320	456	351	271	631	387	269	575	457	337
Meniscus	1782	1196	882	1446	947	699	1886	946	760	1881	1264	931
Midbrain	356	244	169	287	198	139	261	182	138	379	259	177
Muscle	5696	3154	965	4560	2518	884	5805	3716	985	5995	3324	1016
Nerve	1282	935	481	1145	855	469	1242	690	453	1313	954	486
Ovary	623	342	312	568	297	263	643	451	346	645	355	326
Pancreas	324	230	156	609	188	140	928	296	209	330	239	164
Patella	1124	1044	985	893	830	782	1237	1130	1043	1188	1103	1041
Pinealbody	72.3	52	52	63	50.2	50.2	77.8	53.1	53.1	74.6	53.3	53.3
SAT	6008	5596	2390	4813	4517	2198	6344	5817	2586	6321	5869	2520
Skin	5398	4358	1734	5194	3705	1662	7641	5449	1917	5689	4591	1807
Skull	2932	2330	991	2534	2010	967	3070	2341	1184	2999	2382	1013
Small intestine	2231	949	482	1966	810	415	1339	559	297	2288	978	496
Small intestine lumen	690	551	442	598	482	379	462	393	241	709	566	454
Spinal cord	486	257	200	479	358	258	740	529	379	517	274	198
Spleen	2203	1016	533	1960	906	480	1397	651	364	2253	1039	544
Stomach	1611	623	374	1367	548	327	775	370	220	1671	639	384
Stomach lumen	378	373	349	327	323	301	220	207	194	389	385	360
Teeth	362	329	270	325	278	247	346	266	261	371	337	277
Tendon Ligament	2812	1842	1352	3128	1615	1210	4621	2386	1721	2974	1947	1429
Thalamus	173	144	121	159	135	109	209	184	138	179	149	126
Thymus	594	291	229	490	262	214	618	351	220	625	299	232
Tongue	402	208	159	358	175	136	314	153	119	416	211	161
Trachea	353	239	238	297	213	213	250	192	191	367	241	241
Ureter Urethra	983	665	652	971	650	637	938	593	588	971	657	644
Uterus	733	257	169	627	255	174	931	380	250	761	266	175
Vagina	1233	508	384	1100	492	394	1161	476	378	1251	501	381
Vein	3690	1619	833	2950	1600	786	4342	2337	914	3886	1705	880
Vertebrae	1711	1172	719	1467	1156	680	1596	1218	670	1748	1196	735

### A.3 Ella, geerdet

frontales B-Feld (100  $\mu$ T), CNS-Gewebe

CNS Gewebe Ella, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,001	0,0009	0,0007	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0006	0,006	0,003	0,003	0,002
Brain_white_matter	0,0006	0,0006	0,0006	0,0003	0,001	0,0009	0,0009	0,0005	0,003	0,003	0,003	0,001
Cerebellum	0,001	0,0006	0,0005	0,0003	0,001	0,001	0,0008	0,0005	0,007	0,003	0,002	0,001
Hippocampus	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,001	0,0009	0,0009	0,0009
Hypophysis	0,0003	0,00008	0,00005	0,00004	0,0005	0,0001	0,00009	0,00007	0,001	0,0002	0,0001	0,0001
Hypothalamus	0,0002	0,00006	0,00005	0,00005	0,0003	0,0001	0,00008	0,00008	0,0006	0,0003	0,0002	0,0002
Medulla_oblongata	0,0001	0,0001	0,0001	0,00009	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004
Midbrain	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,0007	0,0006	0,0006	0,0005
Pinealbody	0,00009	0,00003	0,00002	0,00002	0,0001	0,00004	0,00004	0,00004	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001
Pons	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0009	0,0006	0,0006	0,0005
Thalamus	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0008	0,0007	0,0007	0,0006

CNS Gewebe Ella, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,02	0,011	0,01	0,005	0,145	0,076	0,074	0,032	1,54	0,742	0,72	0,311
Brain_white_matter	0,009	0,008	0,008	0,005	0,063	0,054	0,054	0,03	0,614	0,533	0,533	0,302
Cerebellum	0,023	0,008	0,007	0,004	0,159	0,056	0,048	0,029	1,67	0,541	0,471	0,285
Hippocampus	0,004	0,003	0,003	0,003	0,024	0,018	0,018	0,017	0,237	0,173	0,173	0,167
Hypophysis	0,003	0,0005	0,0004	0,0003	0,019	0,004	0,003	0,002	0,17	0,029	0,022	0,02
Hypothalamus	0,002	0,0008	0,0007	0,0007	0,01	0,005	0,005	0,005	0,091	0,052	0,048	0,045
Medulla_oblongata	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,009	0,008	0,007	0,099	0,083	0,079	0,072
Midbrain	0,002	0,002	0,002	0,001	0,015	0,012	0,012	0,009	0,134	0,112	0,112	0,085
Pinealbody	0,001	0,0004	0,0004	0,0004	0,006	0,003	0,003	0,003	0,062	0,03	0,028	0,028
Pons	0,003	0,002	0,002	0,001	0,018	0,012	0,011	0,009	0,17	0,111	0,105	0,089
Thalamus	0,002	0,002	0,002	0,002	0,015	0,014	0,014	0,012	0,152	0,134	0,134	0,116

CNS Gewebe Ella, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	16,4	7,23	7	3,02	169	69,3	67	29,8	1432	482	465	278
Brain_white_matter	5,95	5,2	5,2	2,94	57	50,2	50,2	29,2	474	454	454	294
Cerebellum	17,6	5,25	4,76	2,84	181	52,6	50,1	29,1	1819	436	436	250
Hippocampus	2,27	1,66	1,66	1,62	22,1	16,5	16,5	16,2	216	169	169	153
Hypophysis	1,45	0,254	0,201	0,182	20,4	3,74	2,69	2,28	156	56,7	40,2	33,6
Hypothalamus	0,751	0,486	0,452	0,426	7,94	5,23	4,85	4,57	68,5	49,5	49,5	47,2
Medulla_oblongata	0,981	0,804	0,767	0,7	10,2	9,04	8,8	8,23	95,2	77,1	77,1	67,4
Midbrain	1,23	1,07	1,02	0,804	12,2	10,8	9,71	8,14	118	90,1	90,1	71,7
Pinealbody	0,585	0,301	0,284	0,284	6,4	3,49	3,28	3,28	61,5	43,9	43,1	43,1
Pons	1,65	1,06	1	0,851	16,2	10,4	10,2	8,71	110	92,5	92,5	82,5
Thalamus	1,46	1,29	1,29	1,13	15	13,2	13,2	11,6	161	137	137	113

frontales B-Feld (100  $\mu$ T), PNS-Gewebe

PNS Gewebe Ella, geerdet, frontales B-Feld	E [V/m pro 100 uT]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	0,0007	0,0003	0,0002	0,0002	0,001	0,0005	0,0004	0,0003	0,003	0,002	0,001	0,001
Artery	0,09	0,037	0,037	0,0005	0,15	0,061	0,061	0,0009	0,464	0,189	0,189	0,003
Bladder	0,002	0,0009	0,0007	0,0005	0,003	0,001	0,001	0,0008	0,007	0,004	0,004	0,003
Bone	0,101	0,041	0,041	0,002	0,169	0,068	0,068	0,003	0,527	0,213	0,213	0,009
Brain_grey_matter	0,001	0,0008	0,0008	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0006	0,006	0,004	0,004	0,002
Brain_white_matter	0,0006	0,0006	0,0006	0,0003	0,001	0,0009	0,0009	0,0005	0,003	0,003	0,003	0,001
Breast	0,002	0,002	0,002	0,0009	0,003	0,003	0,003	0,002	0,009	0,007	0,007	0,004
Bronchi	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0006	0,0004	0,0004	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0009
Cartilage	0,003	0,0008	0,0008	0,0004	0,004	0,001	0,001	0,0007	0,014	0,004	0,004	0,002
Cerebellum	0,001	0,0008	0,0008	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0005	0,007	0,005	0,005	0,001
Cerebrospinal_fluid	0,002	0,0008	0,0008	0,0003	0,003	0,001	0,001	0,0005	0,009	0,004	0,004	0,001
Connective_tissue	0,0007	0,00005	0,00005	0,00005	0,0001	0,00009	0,00009	0,00009	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
Cornea	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00008	0,00006	0,00006	0,00006	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Diaphragm	0,004	0,002	0,002	0,0007	0,007	0,003	0,003	0,001	0,022	0,009	0,009	0,004
Ear_cartilage	0,0004	0,00005	0,00004	0,00004	0,0006	0,00008	0,00007	0,00007	0,002	0,0003	0,0002	0,0002
Ear_skin	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,003	0,003	0,002	0,012	0,008	0,008	0,005
Esophagus	0,004	0,0007	0,0007	0,0005	0,006	0,001	0,001	0,0008	0,02	0,004	0,004	0,003
Eye_Sclera	0,004	0,003	0,003	0,003	0,007	0,005	0,005	0,004	0,022	0,016	0,016	0,013
Eye_lens	0,0007	0,0005	0,0004	0,0003	0,001	0,0008	0,0006	0,0005	0,004	0,003	0,002	0,002
Eye_vitreous_humor	0,00007	0,00006	0,00006	0,00005	0,0001	0,00009	0,00009	0,00009	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003
Fat	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	0,0008	0,0002	0,0002	0,0002	0,003	0,0006	0,0006	0,0005
Gallbladder	0,0004	0,00008	0,00008	0,00006	0,0006	0,0001	0,0001	0,0001	0,002	0,0004	0,0004	0,0003
Heart_lumen	0,095	0,039	0,039	0,001	0,158	0,065	0,065	0,002	0,491	0,2	0,2	0,005
Heart_muscle	0,002	0,0008	0,0008	0,0003	0,003	0,001	0,001	0,0004	0,007	0,003	0,003	0,002
Hippocampus	0,001	0,0004	0,0004	0,0002	0,002	0,0006	0,0006	0,0003	0,004	0,002	0,002	0,001
Hypophysis	0,001	0,001	0,001	0,0006	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,004	0,004	0,003
Hypothalamus	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,001	0,0009	0,0009	0,0009
Intervertebral_disc	0,0003	0,0001	0,0001	0,00007	0,0005	0,0002	0,0002	0,0001	0,001	0,0004	0,0004	0,0002
Kidney_cortex	0,0002	0,00006	0,00005	0,00005	0,0003	0,0001	0,00009	0,00008	0,0006	0,0003	0,0002	0,0002
Kidney_medulla	0,001	0,0007	0,0007	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0005	0,007	0,004	0,004	0,002
Large_intestine	0,001	0,001	0,001	0,0007	0,002	0,002	0,002	0,001	0,005	0,004	0,004	0,003
Large_intestine_lumen	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003	0,003	0,003
Larynx	0,004	0,003	0,003	0,002	0,006	0,005	0,005	0,004	0,011	0,009	0,009	0,007
Liver	0,003	0,002	0,001	0,0008	0,005	0,003	0,002	0,001	0,008	0,006	0,006	0,003
Lung	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,002	0,002	0,002	0,002
Mandible	0,003	0,002	0,002	0,001	0,004	0,003	0,003	0,002	0,013	0,01	0,01	0,005
Marrow_red	0,002	0,002	0,002	0,0008	0,003	0,003	0,003	0,001	0,009	0,007	0,007	0,004
Medulla_oblongata	0,0008	0,0005	0,0005	0,0004	0,001	0,0008	0,0008	0,0006	0,005	0,003	0,003	0,002
Meningus	0,002	0,001	0,001	0,0005	0,004	0,002	0,002	0,0008	0,013	0,007	0,007	0,002
Midbrain	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004
Mucosa	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006	0,002	0,002	0,002	0,002
Muscle	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,0007	0,0006	0,0006	0,0005
Nerve	0,002	0,0008	0,0008	0,0007	0,003	0,001	0,001	0,001	0,008	0,004	0,004	0,004
Ovary	0,109	0,039	0,039	0,0008	0,182	0,064	0,064	0,001	0,567	0,2	0,2	0,004
Pancreas	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0007	0,0006	0,0006	0,0005	0,002	0,002	0,002	0,002
Patella	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008
Pinealbody	0,003	0,002	0,002	0,0009	0,004	0,003	0,003	0,001	0,008	0,006	0,006	0,003
Pons	0,0007	0,0006	0,0006	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,0007	0,003	0,003	0,003	0,002
SAT	0,00009	0,00003	0,00003	0,00003	0,0001	0,00005	0,00005	0,00005	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
Skin	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0009	0,0006	0,0006	0,0005
Skull	0,141	0,041	0,041	0,001	0,235	0,069	0,069	0,002	0,727	0,213	0,213	0,006
Small_intestine	0,273	0,214	0,214	0,132	0,455	0,356	0,356	0,22	1,4	1,1	1,1	0,681
Small_intestine_lumen	0,002	0,002	0,002	0,0007	0,003	0,003	0,003	0,001	0,012	0,009	0,009	0,004
Spinal_cord	0,002	0,001	0,0009	0,0004	0,004	0,002	0,001	0,0007	0,008	0,005	0,003	0,002
Spleen	0,002	0,001	0,0006	0,0004	0,003	0,002	0,001	0,0007	0,006	0,004	0,003	0,002
Stomach	0,0006	0,0004	0,0004	0,0003	0,001	0,0007	0,0007	0,0005	0,003	0,002	0,002	0,002
Stomach_lumen	0,001	0,001	0,001	0,0008	0,002	0,002	0,002	0,001	0,005	0,005	0,005	0,004
Teeth	0,003	0,001	0,001	0,0005	0,005	0,002	0,002	0,0009	0,007	0,004	0,004	0,003
Tendon_Ligament	0,0007	0,0006	0,0006	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,0007	0,003	0,003	0,003	0,002
Thalamus	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,0007	0,0005	0,0005	0,0004	0,002	0,002	0,001	0,001
Thymus	0,005	0,002	0,002	0,0008	0,008	0,003	0,003	0,001	0,024	0,01	0,008	0,004
Thyroid_gland	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0008	0,0007	0,0007	0,0006
Tongue	0,0006	0,0003	0,0003	0,0002	0,001	0,0006	0,0005	0,0004	0,003	0,002	0,002	0,001
Ureter_Urethra	0,0007	0,0004	0,0004	0,0003	0,001	0,0007	0,0007	0,0005	0,003	0,002	0,002	0,002
Uterus	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,001	0,0009	0,0008	0,0006
Vagina	0,008	0,001	0,001	0,001	0,014	0,002	0,002	0,002	0,043	0,006	0,006	0,005
Vein	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0009	0,0008	0,0008	0,0006	0,002	0,002	0,002	0,002
Vertebrae	0,004	0,003	0,003	0,002	0,007	0,005	0,005	0,004	0,017	0,01	0,01	0,008
commissura_anterior	0,095	0,034	0,034	0,0006	0,159	0,057	0,057	0,001	0,492	0,178	0,178	0,003
commissura_posterior	0,002	0,002	0,002	0,0008	0,003	0,003	0,003	0,001	0,011	0,008	0,008	0,004

PNS Gewebe Ella, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	0,011	0,005	0,004	0,003	0,07	0,032	0,028	0,022	0,64	0,323	0,284	0,227
Artery	1,46	0,595	0,595	0,007	10,1	4,1	4,1	0,045	101	41,2	41,2	0,443
Bladder	0,023	0,013	0,013	0,008	0,161	0,089	0,089	0,054	1,63	0,903	0,903	0,547
Bone	1,68	0,673	0,673	0,029	11,6	4,64	4,64	0,203	118	46,7	46,7	2,05
Brain_grey_matter	0,02	0,013	0,013	0,005	0,145	0,089	0,089	0,034	1,54	0,89	0,89	0,325
Brain_white_matter	0,009	0,008	0,008	0,004	0,063	0,054	0,054	0,03	0,614	0,533	0,533	0,302
Breast	0,029	0,024	0,024	0,014	0,199	0,165	0,165	0,092	2	1,65	1,65	0,914
Bronchi	0,005	0,003	0,003	0,003	0,034	0,023	0,023	0,019	0,316	0,224	0,217	0,186
Cartilage	0,043	0,014	0,014	0,006	0,297	0,095	0,095	0,043	3	0,968	0,968	0,438
Cerebellum	0,023	0,015	0,015	0,005	0,159	0,107	0,107	0,032	1,67	1,1	1,1	0,318
Cerebrospinal_fluid	0,031	0,013	0,013	0,004	0,223	0,089	0,089	0,026	2,26	0,9	0,9	0,262
Connective_tissue	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,047	0,038	0,038	0,038
Cornea	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,004	0,003	0,003	0,003	0,039	0,032	0,032	0,032
Diaphragm	0,066	0,026	0,026	0,011	0,433	0,165	0,165	0,071	4,32	1,67	1,67	0,717
Ear_cartilage	0,006	0,0008	0,0007	0,0007	0,037	0,006	0,005	0,005	0,368	0,055	0,05	0,05
Ear_skin	0,041	0,024	0,024	0,015	0,281	0,162	0,16	0,1	2,65	1,57	1,53	0,981
Esophagus	0,061	0,011	0,011	0,008	0,42	0,071	0,07	0,052	4,21	0,702	0,693	0,52
Eye_Sclera	0,069	0,047	0,047	0,04	0,47	0,315	0,314	0,269	4,71	3,11	3,1	2,7
Eye_lens	0,011	0,008	0,007	0,005	0,073	0,059	0,059	0,039	0,745	0,602	0,497	0,398
Eye_vitreous_humor	0,001	0,0009	0,0009	0,0009	0,008	0,006	0,006	0,006	0,08	0,065	0,065	0,062
Fat	0,008	0,002	0,002	0,002	0,054	0,012	0,012	0,011	0,541	0,117	0,117	0,113
Gallbladder	0,006	0,001	0,001	0,001	0,044	0,009	0,009	0,007	0,443	0,093	0,093	0,067
Heart_lumen	1,55	0,63	0,63	0,017	10,7	4,33	4,33	0,117	108	43,5	43,5	1,18
Heart_muscle	0,024	0,01	0,006	0,004	0,157	0,069	0,04	0,029	1,46	0,66	0,403	0,29
Hippocampus	0,011	0,005	0,005	0,003	0,069	0,035	0,035	0,022	0,51	0,315	0,315	0,224
Hypophysis	0,013	0,011	0,011	0,007	0,083	0,071	0,071	0,049	0,688	0,587	0,587	0,418
Hypothalamus	0,004	0,003	0,003	0,003	0,024	0,018	0,018	0,017	0,237	0,173	0,173	0,167
Intervertebral_disc	0,003	0,001	0,001	0,0006	0,019	0,007	0,007	0,004	0,17	0,062	0,062	0,037
Kidney_cortex	0,002	0,0008	0,0007	0,0007	0,01	0,005	0,005	0,005	0,091	0,053	0,048	0,046
Kidney_medulla	0,021	0,012	0,012	0,006	0,141	0,082	0,082	0,039	1,42	0,826	0,826	0,402
Large_intestine	0,013	0,012	0,012	0,01	0,088	0,084	0,084	0,066	0,836	0,802	0,802	0,649
Large_intestine_lumen	0,01	0,01	0,009	0,008	0,068	0,065	0,063	0,054	0,654	0,634	0,619	0,537
Larynx	0,018	0,016	0,016	0,013	0,128	0,089	0,089	0,072	1,3	0,901	0,901	0,723
Liver	0,015	0,013	0,013	0,009	0,082	0,074	0,074	0,057	0,832	0,746	0,746	0,568
Lung	0,006	0,006	0,006	0,005	0,042	0,042	0,039	0,036	0,427	0,422	0,399	0,36
Mandible	0,041	0,032	0,032	0,017	0,281	0,222	0,222	0,111	2,65	2,06	2,06	1,06
Marrow_red	0,028	0,024	0,024	0,011	0,194	0,163	0,163	0,072	1,85	1,55	1,55	0,71
Medulla_oblongata	0,016	0,01	0,009	0,006	0,114	0,067	0,06	0,042	1,18	0,696	0,621	0,427
Menisiscus	0,038	0,02	0,02	0,007	0,248	0,132	0,132	0,045	2,46	1,31	1,31	0,442
Midbrain	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,009	0,009	0,008	0,099	0,084	0,084	0,074
Mucosa	0,007	0,006	0,006	0,006	0,044	0,041	0,039	0,036	0,444	0,411	0,396	0,367
Muscle	0,002	0,002	0,002	0,001	0,015	0,013	0,013	0,01	0,134	0,117	0,117	0,091
Nerve	0,025	0,014	0,014	0,012	0,169	0,094	0,094	0,08	1,48	0,825	0,825	0,717
Ovary	1,79	0,629	0,629	0,011	12,4	4,33	4,33	0,075	125	43,6	43,6	0,752
Pancreas	0,008	0,007	0,007	0,005	0,054	0,048	0,048	0,038	0,572	0,473	0,473	0,362
Patella	0,003	0,003	0,003	0,002	0,018	0,018	0,018	0,017	0,179	0,176	0,176	0,174
Pinealbody	0,013	0,01	0,01	0,008	0,072	0,059	0,059	0,049	0,731	0,604	0,604	0,494
Pons	0,01	0,009	0,009	0,006	0,064	0,059	0,059	0,037	0,631	0,582	0,582	0,37
SAT	0,001	0,0005	0,0005	0,0005	0,006	0,003	0,003	0,003	0,062	0,033	0,032	0,032
Skin	0,003	0,002	0,002	0,001	0,018	0,013	0,011	0,009	0,17	0,125	0,105	0,089
Skull	2,28	0,668	0,668	0,018	15,7	4,58	4,58	0,123	158	46,2	46,2	1,23
Small_intestine	4,39	3,43	3,43	2,15	30,1	23,5	23,5	14,8	303	237	237	148
Small_intestine_lumen	0,039	0,031	0,031	0,013	0,271	0,218	0,218	0,087	2,8	2,24	2,24	0,9
Spinal_cord	0,013	0,009	0,009	0,007	0,073	0,057	0,057	0,046	0,738	0,573	0,568	0,46
Spleen	0,011	0,009	0,009	0,007	0,063	0,056	0,056	0,043	0,639	0,551	0,551	0,432
Stomach	0,01	0,006	0,006	0,005	0,073	0,041	0,041	0,03	0,749	0,395	0,395	0,287
Stomach_lumen	0,016	0,015	0,015	0,012	0,111	0,103	0,103	0,08	1,11	1,03	1,03	0,796
Teeth	0,02	0,013	0,011	0,008	0,134	0,085	0,072	0,053	1,26	0,829	0,727	0,544
Tendon_Ligament	0,01	0,009	0,009	0,007	0,062	0,059	0,059	0,049	0,615	0,588	0,588	0,488
Thalamus	0,007	0,005	0,005	0,004	0,045	0,034	0,031	0,027	0,453	0,342	0,313	0,271
Thymus	0,073	0,029	0,022	0,011	0,485	0,189	0,144	0,068	4,8	1,87	1,42	0,676
Thyroid_gland	0,002	0,002	0,002	0,002	0,015	0,014	0,014	0,012	0,152	0,134	0,134	0,116
Tongue	0,009	0,006	0,005	0,004	0,064	0,039	0,033	0,029	0,668	0,401	0,344	0,301
Ureter_Urethra	0,01	0,007	0,007	0,005	0,062	0,047	0,047	0,037	0,617	0,47	0,47	0,372
Uterus	0,004	0,003	0,003	0,002	0,03	0,018	0,018	0,014	0,301	0,187	0,18	0,138
Vagina	0,134	0,019	0,016	0,012	0,917	0,126	0,106	0,079	9,23	1,28	1,08	0,804
Vein	0,005	0,005	0,005	0,004	0,031	0,029	0,029	0,028	0,309	0,295	0,295	0,281
Vertebrae	0,05	0,025	0,022	0,016	0,349	0,157	0,133	0,093	3,52	1,59	1,34	0,939
commissura_anterior	1,55	0,559	0,559	0,008	10,7	3,84	3,84	0,051	108	38,7	38,7	0,507
commissura_posterior	0,036	0,027	0,027	0,013	0,265	0,194	0,194	0,088	2,68	1,97	1,97	0,906

PNS Gewebe Ella, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	5,35	3,24	2,81	2,25	45,5	32,8	28,7	24,1	484	381	335	297
Artery	775	316	316	6,53	967	566	566	156	8358	5633	5633	1640
Bladder	15,3	8,42	8,42	5,14	118	64,4	64,4	40,8	1065	585	585	409
Bone	865	367	367	22,4	1412	995	995	413	9440	7279	7279	3725
Brain_grey_matter	16,4	8,85	8,85	3,15	169	86,8	86,8	31,1	1432	623	623	288
Brain_white_matter	5,95	5,2	5,2	2,94	57	50,2	50,2	29,2	474	454	454	294
Breast	20	16,4	16,4	9,1	212	173	173	91,5	1952	1627	1627	937
Bronchi	3,01	2,14	2,07	1,81	28,5	21,1	20,3	18,4	306	274	273	249
Cartilage	27,4	9,87	9,87	5	269	146	146	79,7	2537	1593	1593	864
Cerebellum	17,6	11,3	11,3	3,18	181	116	116	32,9	1819	1128	1128	285
Cerebrospinal_fluid	23	9,17	9,17	2,6	216	89,9	89,9	26,5	1750	894	894	274
Connective_tissue	0,446	0,361	0,361	0,361	5	4,16	4,16	4,16	54,7	50,8	50,8	50,8
Cornea	0,365	0,311	0,311	0,311	4,18	3,7	3,7	3,7	54,5	53,4	53,4	53,4
Diaphragm	60,5	23,7	23,7	7,55	1113	532	532	141	7951	5098	5098	1531
Ear_cartilage	1,85	0,56	0,507	0,507	16,1	5,65	5,19	5,19	212	70,1	70,1	70,1
Ear_skin	22,8	14,7	13,6	9,27	191	132	119	83,3	1808	1217	1076	787
Esophagus	39,2	6,17	6,17	5,02	146	53	48,9	43,5	607	411	404	358
Eye_Sclera	44,2	26	26	17,4	175	116	114	90,4	921	739	516	422
Eye_lens	7,63	6,14	5,08	4,09	78,4	60,6	52,6	42,6	938	637	541	436
Eye_vitreous_humor	0,821	0,682	0,682	0,649	8,31	7,28	7,28	6,96	114	103	103	99,6
Fat	5,42	1,18	1,18	1,15	49,1	11,8	11,8	11,7	441	137	137	130
Gallbladder	4,48	1,06	1,06	0,701	40,8	11,9	11,9	7,47	371	138	138	94,3
Heart_lumen	818	342	342	12,1	1041	810	810	212	9440	8004	8004	2199
Heart_muscle	12,2	5,93	4,09	2,95	84,2	48,1	46,8	31,2	743	515	515	346
Hippocampus	4,07	3,09	3,09	2,31	38,7	30,7	30,7	24,4	385	318	318	257
Hypophysis	7,32	5,85	5,85	3,84	84,6	63,6	63,6	38,3	796	613	613	383
Hypothalamus	2,27	1,66	1,66	1,62	22,1	16,5	16,5	16,2	216	169	169	152
Intervertebral_disc	1,45	0,532	0,532	0,334	20,4	7,5	7,5	4,39	156	83	64,1	48,9
Kidney_cortex	0,751	0,49	0,452	0,427	7,94	5,28	4,85	4,64	68,5	49,5	49,5	47,2
Kidney_medulla	14,3	8,32	8,32	4,13	142	80,5	80,5	41,5	1392	801	801	446
Large_intestine	7,96	7,68	7,68	6,39	71,2	70	70	62,7	697	627	627	568
Large_intestine_lumen	6,38	6,22	6,13	5,38	62,5	61,3	60,6	54,7	561	556	551	519
Larynx	12,2	9,18	9,18	7,35	98,9	95	95	75	985	960	960	739
Liver	8,49	7,56	7,56	5,73	88	76,5	76,5	58,2	870	810	810	632
Lung	4,32	4,26	4,03	3,64	41,7	41	38,9	35,3	400	394	376	344
Mandible	22,7	17,2	17,2	9,55	182	135	130	81,4	1458	1112	1050	761
Marrow_red	17,8	14,9	14,9	7,08	190	159	159	75,2	1774	1486	1486	741
Medulla_oblongata	12,2	7,22	6,45	4,34	124	74,9	68,4	43,9	1058	709	700	470
Menicus	30,9	16,5	16,5	5,73	520	290	290	119	4404	2897	2897	1539
Midbrain	0,981	0,801	0,794	0,71	10,2	9,23	9,23	8,43	95,2	86,1	86,1	73,9
Mucosa	5,42	5	4,86	4,5	93,3	84,6	84,6	78,5	1041	961	961	890
Muscle	1,23	1,07	1,06	0,842	12,2	10,8	10,1	8,42	118	90,1	90,1	75,9
Nerve	9,56	4,6	4,26	4,02	85,3	38,6	38,6	29,8	769	383	383	290
Ovary	1003	334	334	7,66	1123	531	498	97,8	9440	4786	4786	1069
Pancreas	6,19	4,49	4,49	3,16	60,7	40,1	40,1	28,5	535	336	336	264
Patella	1,8	1,78	1,76	1,74	20	19,8	19,2	18,6	230	213	203	198
Pinealbody	7,5	6,21	6,21	5,07	79,9	67,7	67,7	55,4	804	728	728	617
Pons	7,73	7,1	7,1	4,71	133	115	115	90,2	1660	1453	1453	1032
SAT	0,585	0,333	0,324	0,324	6,4	3,86	3,84	3,84	61,5	53,4	53,4	53,4
Skin	1,65	1,21	1	0,855	16,2	12	10,2	8,77	110	94,7	94,7	84,9
Skull	1373	400	400	12,5	2177	1116	1116	227	8827	7042	7042	2295
Small_intestine	2372	1794	1794	1145	2533	2233	2151	1313	6885	4965	4371	1804
Small_intestine_lumen	28,9	23,1	23,1	9,29	301	240	240	96,6	2370	1924	1924	847
Spinal_cord	7,52	5,79	5,76	4,64	78,4	60,7	60,7	46,5	945	681	681	485
Spleen	6,52	5,59	5,59	4,37	67,6	58,9	58,9	44,4	750	701	701	490
Stomach	8,13	3,52	3,52	2,51	88,7	34,4	34,4	24,4	849	377	377	292
Stomach_lumen	11	10,2	10,2	7,96	105	97,4	97,4	77,7	824	745	745	651
Teeth	10,7	7,5	7,34	5,55	105	77,6	77,6	57,3	1070	822	822	573
Tendon_Ligament	6,14	5,89	5,89	4,94	56,1	55,6	55,6	49	635	626	626	537
Thalamus	4,6	3,47	3,17	2,75	44,7	33,4	30,6	26,4	474	373	332	291
Thymus	69,3	25,9	21,7	9,69	1306	534	473	229	5829	4272	4272	2424
Thyroid_gland	1,46	1,29	1,29	1,13	15	13,2	13,2	11,6	161	137	137	112
Tongue	6,99	4,15	3,56	3,13	79,8	45,1	39	34,5	924	533	458	406
Ureter_Urethra	6,13	4,72	4,72	3,76	55,1	46,8	45	37	640	492	491	402
Uterus	3,05	1,9	1,84	1,39	29,9	18,1	17,6	13,6	360	206	200	151
Vagina	85,3	12	10,1	7,53	416	97	77,1	61,9	1560	1083	1056	812
Vein	2,9	2,77	2,77	2,64	23,2	22,5	22,5	21,2	252	241	241	215
Vertebrae	33,1	14,8	12,5	8,75	255	107	89	61,6	2221	819	700	473
commissura_anterior	883	317	317	7,08	1259	500	500	158	4973	3828	3828	1658
commissura_posterior	27,2	20	20	9,31	254	193	193	95,6	1991	1665	1665	980

vertikales E-Feld (1 kV/m), CNS-Gewebe

CNS Gewebe Ella geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,001	0,001	0,001	0,0006	0,002	0,002	0,002	0,0009	0,007	0,004	0,004	0,002
Brain_white_matter	0,001	0,0008	0,0007	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0008	0,003	0,003	0,003	0,002
Cerebellum	0,002	0,0009	0,0008	0,0005	0,003	0,002	0,001	0,0009	0,008	0,004	0,003	0,002
Hippocampus	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,002	0,001	0,001	0,001
Hypophysis	0,0008	0,0002	0,00009	0,00008	0,001	0,0003	0,0002	0,0001	0,004	0,0007	0,0004	0,0003
Hypothalamus	0,0007	0,0004	0,0002	0,0002	0,001	0,0006	0,0004	0,0004	0,002	0,001	0,0008	0,0008
Medulla_oblongata	0,0007	0,0006	0,0006	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,0008	0,002	0,002	0,002	0,002
Midbrain	0,0008	0,0006	0,0006	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,0008	0,002	0,002	0,002	0,002
Pinealbody	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0007	0,0003	0,0002	0,0002	0,001	0,0007	0,0006	0,0006
Pons	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,001	0,0009	0,0009	0,0007	0,002	0,002	0,002	0,002
Thalamus	0,0009	0,0007	0,0006	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0009	0,002	0,002	0,002	0,002

CNS Gewebe Ella geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,02	0,01	0,01	0,005	0,134	0,066	0,064	0,028	1,35	0,601	0,589	0,253
Brain_white_matter	0,009	0,007	0,007	0,005	0,057	0,047	0,047	0,03	0,512	0,434	0,434	0,276
Cerebellum	0,024	0,01	0,009	0,005	0,151	0,062	0,059	0,033	1,5	0,578	0,577	0,309
Hippocampus	0,004	0,004	0,004	0,004	0,027	0,024	0,024	0,023	0,249	0,217	0,217	0,211
Hypophysis	0,009	0,002	0,001	0,0009	0,056	0,012	0,007	0,006	0,54	0,118	0,066	0,056
Hypothalamus	0,005	0,003	0,002	0,002	0,031	0,02	0,016	0,016	0,27	0,186	0,148	0,146
Medulla_oblongata	0,006	0,005	0,005	0,005	0,039	0,033	0,033	0,029	0,348	0,304	0,304	0,271
Midbrain	0,006	0,005	0,005	0,004	0,04	0,032	0,032	0,025	0,343	0,284	0,284	0,223
Pinealbody	0,004	0,002	0,002	0,002	0,022	0,012	0,011	0,011	0,202	0,11	0,107	0,107
Pons	0,006	0,005	0,005	0,004	0,038	0,03	0,03	0,026	0,35	0,272	0,272	0,242
Thalamus	0,006	0,005	0,005	0,004	0,037	0,029	0,029	0,025	0,308	0,255	0,249	0,221

CNS Gewebe Ella geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	13,9	5,64	5,53	2,33	117	44,7	43,7	19,6	558	175	171	99,7
Brain_white_matter	4,65	4,05	4,05	2,53	38,5	32,5	32,5	21,1	175	146	146	114
Cerebellum	15,4	5,81	5,8	2,99	129	49,2	49,2	25,1	747	283	280	124
Hippocampus	2,26	1,99	1,99	1,94	18,7	16,5	16,5	16,1	106	87	87	85,1
Hypophysis	5,32	1,17	0,659	0,562	46,2	10,5	5,97	5,09	253	62,1	37,8	32,9
Hypothalamus	2,41	1,71	1,37	1,36	19,6	14,2	11	10,9	90	73	56,9	56,3
Medulla_oblongata	3,19	2,9	2,9	2,66	25,3	23,5	23,5	22,3	151	136	134	130
Midbrain	3,04	2,55	2,55	2,04	23,4	20,1	20,1	16,9	105	85,8	85,4	79
Pinealbody	1,87	1,07	1,04	1,04	15,6	9,2	8,77	8,77	85,1	61,7	57	57
Pons	3,3	2,54	2,54	2,28	27,2	20,5	20,5	18,8	122	90,3	90,3	89,1
Thalamus	2,76	2,32	2,26	2,01	22,2	19	18,5	16,6	119	104	98,6	87,6

vertikales E-Feld (1 kV/m), PNS-Gewebe

PNS Gewebe Ella geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	0,0005	0,0003	0,0002	0,0002	0,0009	0,0005	0,0004	0,0003	0,003	0,001	0,001	0,0008
Artery	0,394	0,16	0,16	0,003	0,657	0,267	0,267	0,005	1,98	0,804	0,804	0,013
Bladder	0,001	0,0006	0,0006	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0007	0,005	0,003	0,003	0,002
Bone	0,508	0,181	0,181	0,006	0,847	0,301	0,301	0,01	2,57	0,909	0,909	0,029
Brain_grey_matter	0,001	0,001	0,001	0,0006	0,002	0,002	0,002	0,001	0,007	0,004	0,004	0,002
Brain_white_matter	0,001	0,0009	0,0009	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0009	0,003	0,003	0,003	0,002
Breast	0,005	0,0009	0,0009	0,0006	0,009	0,002	0,002	0,0009	0,027	0,004	0,004	0,002
Bronchi	0,0006	0,0004	0,0004	0,0003	0,001	0,0006	0,0006	0,0005	0,002	0,002	0,002	0,001
Cartilage	0,056	0,011	0,009	0,001	0,094	0,018	0,015	0,002	0,283	0,054	0,045	0,005
Cerebellum	0,002	0,001	0,001	0,0005	0,003	0,002	0,002	0,0009	0,008	0,006	0,006	0,002
Cerebrospinal_fluid	0,002	0,0008	0,0008	0,0004	0,003	0,001	0,001	0,0007	0,009	0,004	0,004	0,002
Connective_tissue	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
Cornea	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,002	0,002	0,002	0,002
Diaphragm	0,024	0,007	0,007	0,002	0,04	0,012	0,012	0,004	0,121	0,035	0,035	0,011
Ear_cartilage	0,011	0,0005	0,0006	0,0006	0,018	0,0009	0,0001	0,0001	0,055	0,003	0,0003	0,0003
Ear_skin	0,001	0,0009	0,0009	0,0006	0,002	0,001	0,001	0,0009	0,006	0,004	0,004	0,002
Esophagus	0,118	0,027	0,027	0,013	0,197	0,045	0,045	0,022	0,592	0,136	0,136	0,066
Eye_Sclera	0,121	0,099	0,095	0,075	0,202	0,165	0,159	0,126	0,608	0,497	0,478	0,377
Eye_lens	0,001	0,0006	0,0006	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0008	0,004	0,003	0,003	0,002
Eye_vitreous_humor	0,0001	0,00009	0,00009	0,00009	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004
Fat	0,007	0,0002	0,0002	0,0002	0,012	0,0004	0,0004	0,0004	0,037	0,001	0,001	0,0009
Gallbladder	0,008	0,0003	0,0002	0,00008	0,013	0,0004	0,0003	0,0001	0,039	0,001	0,0007	0,0003
Heart_lumen	0,419	0,172	0,172	0,003	0,698	0,287	0,287	0,005	2,1	0,857	0,857	0,014
Heart_muscle	0,002	0,0008	0,0008	0,0002	0,003	0,001	0,001	0,0004	0,006	0,003	0,003	0,001
Hippocampus	0,002	0,0007	0,0007	0,0002	0,003	0,001	0,001	0,0004	0,006	0,003	0,003	0,001
Hypophysis	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,003	0,003	0,002	0,007	0,006	0,006	0,003
Hypothalamus	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,002	0,001	0,001	0,001
Intervertebral_disc	0,0008	0,0003	0,0003	0,0002	0,001	0,0005	0,0005	0,0004	0,004	0,001	0,001	0,001
Kidney_cortex	0,0007	0,0004	0,0002	0,0002	0,001	0,0006	0,0004	0,0004	0,002	0,001	0,0009	0,0009
Kidney_medulla	0,001	0,0007	0,0007	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0007	0,005	0,003	0,003	0,002
Large_intestine	0,0008	0,0007	0,0007	0,0004	0,001	0,001	0,001	0,0007	0,003	0,002	0,002	0,002
Large_intestine_lumen	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0008	0,0007	0,0007	0,0006	0,002	0,002	0,002	0,002
Larynx	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,003	0,003	0,003	0,006	0,005	0,005	0,004
Liver	0,002	0,001	0,001	0,0006	0,003	0,002	0,002	0,001	0,005	0,003	0,003	0,002
Lung	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,004	0,004	0,003
Mandible	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,003	0,003	0,002	0,008	0,008	0,008	0,004
Marrow_red	0,001	0,001	0,001	0,0006	0,002	0,002	0,002	0,001	0,005	0,005	0,004	0,003
Medulla_oblongata	0,0009	0,0008	0,0008	0,0007	0,002	0,001	0,001	0,001	0,005	0,004	0,004	0,003
Meniscus	0,007	0,004	0,004	0,002	0,012	0,006	0,006	0,004	0,033	0,018	0,018	0,01
Midbrain	0,0007	0,0006	0,0006	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,0008	0,002	0,002	0,002	0,002
Mucosa	0,001	0,001	0,001	0,0009	0,002	0,002	0,002	0,002	0,005	0,005	0,005	0,004
Muscle	0,0008	0,0007	0,0007	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,0008	0,002	0,002	0,002	0,002
Nerve	0,019	0,003	0,002	0,002	0,031	0,005	0,003	0,003	0,092	0,016	0,009	0,008
Ovary	0,549	0,17	0,17	0,002	0,915	0,283	0,283	0,003	2,75	0,853	0,853	0,009
Pancreas	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,006	0,005	0,005	0,005
Patella	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,001	0,001	0,0009	0,0009
Pinealbody	0,002	0,001	0,001	0,0006	0,003	0,002	0,002	0,001	0,005	0,003	0,003	0,002
Pons	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,003	0,003	0,002	0,01	0,008	0,008	0,006
SAT	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0007	0,0003	0,0003	0,0003	0,001	0,0008	0,0008	0,0008
Skin	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,001	0,0009	0,0009	0,0007	0,002	0,002	0,002	0,002
Skull	0,721	0,211	0,211	0,004	1,2	0,352	0,352	0,006	3,6	1,05	1,05	0,017
Small_intestine	1,22	0,952	0,952	0,597	2,03	1,59	1,59	0,995	6,08	4,75	4,75	2,99
Small_intestine_lumen	0,012	0,003	0,003	0,001	0,02	0,004	0,004	0,002	0,061	0,013	0,011	0,005
Spinal_cord	0,002	0,001	0,0006	0,0003	0,003	0,002	0,001	0,0005	0,005	0,003	0,002	0,001
Spleen	0,001	0,0006	0,0005	0,0004	0,002	0,001	0,0008	0,0006	0,003	0,002	0,002	0,002
Stomach	0,001	0,001	0,001	0,0007	0,002	0,002	0,002	0,001	0,005	0,004	0,004	0,003
Stomach_lumen	0,0008	0,0007	0,0007	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,0009	0,003	0,003	0,003	0,002
Teeth	0,002	0,0009	0,0009	0,0005	0,003	0,002	0,001	0,0008	0,007	0,004	0,004	0,002
Tendon_Ligament	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0007	0,0007	0,0007	0,0005	0,002	0,002	0,002	0,001
Thalamus	0,002	0,0008	0,0008	0,0005	0,003	0,001	0,001	0,0009	0,007	0,004	0,004	0,002
Thymus	0,023	0,009	0,008	0,004	0,038	0,015	0,014	0,006	0,11	0,044	0,04	0,018
Thyroid_gland	0,0009	0,0007	0,0007	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0009	0,002	0,002	0,002	0,002
Tongue	0,0006	0,0004	0,0003	0,0003	0,0009	0,0006	0,0006	0,0005	0,002	0,002	0,002	0,001
Ureter_Urethra	0,0009	0,0007	0,0006	0,0005	0,002	0,001	0,0009	0,0008	0,004	0,003	0,003	0,002
Uterus	0,002	0,0009	0,0004	0,0003	0,003	0,001	0,0007	0,0005	0,007	0,004	0,002	0,001
Vagina	0,002	0,0005	0,0005	0,0005	0,003	0,0008	0,0008	0,0008	0,007	0,002	0,002	0,002
Vein	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0006	0,0004	0,0004	0,0003	0,001	0,001	0,001	0,0009
Vertebrae	0,001	0,001	0,001	0,0009	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,003	0,003	0,002
commissura_anterior	0,479	0,17	0,17	0,003	0,799	0,284	0,284	0,004	2,4	0,851	0,851	0,012
commissura_posterior	0,001	0,001	0,001	0,0009	0,002	0,002	0,002	0,002	0,007	0,006	0,006	0,004



PNS Gewebe Ella geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	0,007	0,004	0,003	0,002	0,039	0,023	0,02	0,015	0,361	0,216	0,185	0,143
Artery	5,96	2,43	2,43	0,033	39,9	16,2	16,2	0,202	394	160	160	1,97
Bladder	0,013	0,007	0,007	0,004	0,078	0,046	0,046	0,028	0,754	0,445	0,445	0,272
Bone	7,78	2,75	2,75	0,081	52,2	18,4	18,4	0,508	517	182	182	4,97
Brain_grey_matter	0,02	0,012	0,012	0,005	0,134	0,078	0,078	0,029	1,35	0,73	0,73	0,265
Brain_white_matter	0,009	0,007	0,007	0,005	0,057	0,047	0,047	0,03	0,512	0,434	0,434	0,278
Breast	0,08	0,012	0,012	0,006	0,537	0,074	0,074	0,04	5,28	0,688	0,688	0,367
Bronchi	0,006	0,004	0,004	0,003	0,038	0,028	0,028	0,022	0,331	0,243	0,243	0,201
Cartilage	0,85	0,161	0,134	0,014	5,67	1,07	0,897	0,091	55,9	10,6	8,79	0,885
Cerebellum	0,024	0,016	0,016	0,006	0,151	0,104	0,104	0,038	1,5	1,01	1,01	0,36
Cerebrospinal_fluid	0,026	0,012	0,012	0,005	0,17	0,079	0,079	0,03	1,71	0,795	0,795	0,283
Connective_tissue	0,006	0,006	0,006	0,006	0,038	0,035	0,035	0,035	0,332	0,314	0,314	0,314
Cornea	0,005	0,004	0,004	0,004	0,028	0,027	0,027	0,027	0,253	0,24	0,24	0,24
Diaphragm	0,364	0,096	0,096	0,028	2,43	0,596	0,596	0,166	23,9	5,9	5,9	1,63
Ear_cartilage	0,167	0,008	0,0008	0,0008	1,11	0,053	0,005	0,005	10,9	0,524	0,051	0,051
Ear_skin	0,016	0,01	0,01	0,006	0,102	0,06	0,06	0,038	0,895	0,515	0,515	0,346
Esophagus	1,78	0,41	0,41	0,197	11,9	2,74	2,74	1,31	118	27,2	27,2	13
Eye_Sclera	1,83	1,5	1,44	1,14	12,2	9,99	9,99	7,58	121	98,8	95	75,2
Eye_lens	0,011	0,007	0,007	0,005	0,068	0,044	0,044	0,032	0,59	0,406	0,396	0,296
Eye_vitreous_humor	0,001	0,001	0,001	0,001	0,009	0,007	0,007	0,007	0,086	0,068	0,068	0,066
Fat	0,11	0,003	0,003	0,002	0,736	0,017	0,017	0,015	7,24	0,162	0,162	0,146
Gallbladder	0,119	0,004	0,002	0,001	0,793	0,027	0,011	0,006	7,8	0,266	0,109	0,06
Heart_lumen	6,35	2,57	2,57	0,04	42,5	17,2	17,2	0,245	420	170	170	2,39
Heart_muscle	0,016	0,007	0,004	0,002	0,098	0,042	0,022	0,013	0,85	0,379	0,22	0,129
Hippocampus	0,015	0,007	0,007	0,003	0,091	0,04	0,04	0,018	0,597	0,311	0,311	0,165
Hypophysis	0,017	0,014	0,014	0,009	0,102	0,085	0,085	0,051	0,657	0,583	0,583	0,393
Hypothalamus	0,004	0,004	0,004	0,004	0,027	0,024	0,024	0,023	0,249	0,217	0,217	0,211
Intervertebral_disc	0,009	0,004	0,004	0,003	0,056	0,022	0,022	0,017	0,54	0,208	0,208	0,166
Kidney_cortex	0,005	0,003	0,002	0,002	0,031	0,02	0,016	0,016	0,27	0,186	0,151	0,147
Kidney_medulla	0,014	0,009	0,009	0,005	0,089	0,058	0,058	0,032	0,849	0,559	0,559	0,3
Large_intestine	0,007	0,006	0,006	0,004	0,041	0,035	0,035	0,027	0,358	0,315	0,315	0,249
Large_intestine_lumen	0,005	0,005	0,004	0,004	0,031	0,028	0,027	0,025	0,278	0,257	0,252	0,233
Larynx	0,01	0,008	0,008	0,006	0,067	0,047	0,047	0,03	0,648	0,456	0,456	0,283
Liver	0,006	0,006	0,006	0,004	0,032	0,029	0,029	0,024	0,306	0,276	0,276	0,228
Lung	0,01	0,009	0,009	0,009	0,057	0,056	0,053	0,052	0,544	0,528	0,506	0,499
Mandible	0,022	0,021	0,021	0,012	0,134	0,128	0,128	0,071	1,15	1,1	1,1	0,618
Marrow_red	0,014	0,012	0,012	0,007	0,089	0,069	0,069	0,04	0,801	0,611	0,611	0,362
Medulla_oblongata	0,013	0,011	0,011	0,009	0,088	0,069	0,069	0,056	0,859	0,672	0,672	0,542
Meniscus	0,092	0,05	0,05	0,027	0,58	0,315	0,315	0,163	5,6	3,05	3,05	1,57
Midbrain	0,006	0,005	0,005	0,005	0,039	0,033	0,033	0,03	0,348	0,307	0,307	0,279
Mucosa	0,013	0,013	0,013	0,012	0,085	0,081	0,081	0,078	0,832	0,8	0,8	0,767
Muscle	0,006	0,005	0,005	0,004	0,04	0,033	0,033	0,026	0,343	0,289	0,289	0,23
Nerve	0,266	0,046	0,024	0,02	1,63	0,296	0,15	0,121	11,6	2,48	1,3	0,903
Ovary	8,31	2,57	2,57	0,023	55,5	17,2	17,2	0,138	549	170	170	1,32
Pancreas	0,016	0,014	0,014	0,013	0,105	0,092	0,092	0,082	1,03	0,873	0,873	0,745
Patella	0,003	0,002	0,002	0,002	0,015	0,015	0,015	0,015	0,149	0,147	0,147	0,144
Pinealbody	0,007	0,005	0,005	0,004	0,033	0,028	0,028	0,024	0,32	0,268	0,268	0,227
Pons	0,026	0,022	0,022	0,016	0,157	0,134	0,134	0,099	1,53	1,31	1,31	0,961
SAT	0,004	0,002	0,002	0,002	0,022	0,013	0,013	0,013	0,202	0,124	0,122	0,122
Skin	0,006	0,005	0,005	0,004	0,038	0,03	0,03	0,026	0,35	0,272	0,272	0,242
Skull	10,8	3,15	3,15	0,049	71,5	20,9	20,9	0,315	707	207	207	3,07
Small_intestine	18,1	14,2	14,2	8,97	121	94,5	94,5	59,9	1195	933	933	591
Small_intestine_lumen	0,184	0,04	0,03	0,014	1,23	0,269	0,191	0,092	12,1	2,65	1,77	0,899
Spinal_cord	0,011	0,006	0,004	0,004	0,07	0,034	0,027	0,023	0,673	0,326	0,258	0,219
Spleen	0,005	0,005	0,005	0,004	0,03	0,029	0,029	0,025	0,29	0,275	0,275	0,235
Stomach	0,015	0,012	0,012	0,008	0,091	0,072	0,072	0,049	0,82	0,652	0,652	0,442
Stomach_lumen	0,007	0,007	0,007	0,005	0,044	0,042	0,042	0,034	0,415	0,398	0,398	0,317
Teeth	0,018	0,011	0,01	0,004	0,107	0,067	0,059	0,027	0,927	0,594	0,516	0,249
Tendon_Ligament	0,005	0,005	0,004	0,004	0,031	0,027	0,026	0,022	0,281	0,251	0,246	0,206
Thalamus	0,02	0,01	0,01	0,007	0,121	0,061	0,06	0,042	1,15	0,583	0,57	0,402
Thymus	0,318	0,123	0,108	0,047	2,05	0,773	0,669	0,289	20	7,51	6,5	2,82
Thyroid_gland	0,006	0,005	0,005	0,004	0,037	0,031	0,031	0,025	0,308	0,262	0,262	0,224
Tongue	0,006	0,004	0,004	0,004	0,038	0,027	0,025	0,022	0,354	0,26	0,231	0,208
Ureter_Urethra	0,01	0,008	0,007	0,006	0,058	0,048	0,043	0,038	0,544	0,456	0,418	0,364
Uterus	0,02	0,011	0,005	0,003	0,12	0,065	0,032	0,021	1,15	0,619	0,31	0,2
Vagina	0,02	0,005	0,005	0,005	0,123	0,033	0,031	0,03	1,17	0,315	0,301	0,292
Vein	0,002	0,002	0,002	0,002	0,013	0,012	0,012	0,011	0,124	0,112	0,11	0,104
Vertebrae	0,009	0,007	0,006	0,005	0,064	0,042	0,039	0,032	0,619	0,4	0,374	0,305
commissura_anterior	7,2	2,55	2,55	0,032	48	17	17	0,193	474	168	168	1,87
commissura_posterior	0,02	0,018	0,018	0,012	0,129	0,115	0,115	0,075	1,25	1,11	1,11	0,722

PNS Gewebe Ella geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	3,27	2,02	1,73	1,4	22	15,5	12,5	11,5	130	103	91,8	85,9
Artery	2223	904	904	20,8	1059	652	652	183	5295	3567	3567	1108
Bladder	7,78	4,66	4,66	2,82	70,9	46,5	46,5	26,9	500	343	343	209
Bone	2621	1054	1054	52,9	1532	1079	1079	464	5975	4776	4776	2416
Brain_grey_matter	13,9	7,03	7,03	2,44	117	56,9	56,9	20,6	558	244	244	103
Brain_white_matter	4,65	4,05	4,05	2,54	38,5	32,5	32,5	21,2	175	146	146	115
Breast	26,3	6,43	6,43	3,54	61,4	50,2	50,2	28,6	357	301	301	182
Bronchi	3,08	2,23	2,23	1,89	22,8	17,2	16,8	15,3	140	120	113	103
Cartilage	289	56,4	45,2	9,12	232	144	144	74,3	1455	917	917	469
Cerebellum	15,4	10,1	10,1	3,52	129	84	84	29,9	747	468	468	154
Cerebrospinal_fluid	17,5	8,19	8,19	2,81	149	72,1	72,1	22,9	754	426	426	156
Connective_tissue	2,92	2,78	2,78	2,78	23	22,1	22,1	22,1	104	100	100	100
Cornea	2,32	2,21	2,21	2,21	19,3	18,4	18,4	18,4	95	91,8	91,8	91,8
Diaphragm	163	63,5	63,5	17,3	1207	575	575	159	5032	3031	3031	1068
Ear_cartilage	54,1	2,81	0,517	0,517	25,2	7,27	4,87	4,87	94,6	44,9	37,6	37,6
Ear_skin	7,47	4,26	4,17	3,1	49,8	29,4	27,3	20,5	283	163	146	116
Esophagus	695	185	185	69,3	326	118	118	69,9	188	159	156	146
Eye_sclera	731	575	569	450	374	292	292	232	219	193	180	172
Eye_lens	4,99	4,08	3,62	2,85	41,1	34,5	31,5	23,3	303	250	220	164
Eye_vitreous_humor	0,873	0,694	0,694	0,678	8,11	6,43	6,43	6,42	60,9	49,6	49,6	49,3
Fat	34	1,63	1,55	1,45	39	14,4	14,4	12,7	244	92,8	92,8	80,8
Gallbladder	37	1,27	1,19	0,631	32,8	11,1	11,1	6,2	202	69,1	69,1	43,6
Heart_lumen	2355	990	990	25,7	1178	938	938	242	5975	5071	5071	1477
Heart_muscle	6,9	3,32	2,35	1,34	37,2	22,4	22,4	11,9	224	155	155	85,2
Hippocampus	4,22	2,61	2,61	1,6	25,7	18	18	12,7	127	100	100	78,9
Hypophysis	5,79	4,69	4,69	3,23	46,4	35,7	35,7	22,9	249	196	196	130
Hypothalamus	2,26	1,99	1,99	1,94	18,7	16,5	16,5	16,1	106	87	87	85
Intervertebral_disc	5,32	2,06	2,06	1,6	46,2	18,1	18,1	13,4	253	108	108	77,2
Kidney_cortex	2,41	1,71	1,41	1,37	19,6	14,2	11,3	11,1	90	73	62	61,5
Kidney_medulla	8,51	5,54	5,54	2,88	67,4	43,9	43,9	21,7	440	276	276	136
Large_intestine	3,15	2,83	2,83	2,37	20,3	19,6	19,6	17,7	152	139	139	111
Large_intestine_lumen	2,56	2,4	2,36	2,22	18,9	18,1	18	16,7	126	118	117	105
Larynx	6,69	4,76	4,76	2,84	63,2	45,8	45,8	23,3	462	324	324	146
Liver	3,07	2,75	2,75	2,29	24,7	21,4	21,4	18,3	156	143	143	122
Lung	5,4	5,22	5,01	4,94	40,3	38,8	37,3	36,6	270	260	250	245
Mandible	8,83	8,53	8,53	4,97	45,6	41,3	41,3	27,9	224	201	201	148
Marrow_red	7,41	5,9	5,9	3,42	58	48,8	48,8	26,9	301	261	261	154
Medulla_oblongata	8,6	6,78	6,78	5,45	71,8	54,7	54,7	43,4	340	301	301	249
Menisiscus	57,6	31,4	31,4	16,3	454	257	257	135	2155	1450	1450	969
Midbrain	3,19	2,92	2,92	2,72	25,3	23,8	23,8	22,6	151	139	137	131
Mucosa	8,7	8,37	8,37	8,03	76,5	73,4	73,4	69,6	487	475	475	438
Muscle	3,04	2,6	2,6	2,11	23,4	20,4	20,4	17,2	105	87,3	85,4	79
Nerve	53	10,6	7,46	4,98	128	45,7	41,5	32,6	652	248	213	178
Ovary	3037	957	957	13,6	1205	575	565	105	5975	3082	3082	690
Pancreas	10,9	8,14	8,14	6,61	84,9	58,2	58,2	46,9	454	295	295	248
Patella	1,51	1,49	1,49	1,46	12,5	12,4	12,2	12	91,6	85,2	85,2	82,6
Pinealbody	3,21	2,69	2,69	2,28	26,3	22,4	22,4	19,5	170	155	151	136
Pons	15,9	13,7	13,7	9,98	143	124	124	90,3	971	857	857	644
SAT	1,87	1,19	1,18	1,18	15,6	10,5	10,4	10,4	85,1	72,8	72,8	72,8
Skin	3,3	2,54	2,54	2,28	27,2	20,5	20,5	18,7	122	92,5	91,8	89,3
Skull	4242	1232	1232	28,6	2566	1303	1303	258	5872	4573	4573	1567
Small_intestine	6915	5230	5230	3359	2957	2598	2509	1484	5364	3516	2759	1212
Small_intestine_lumen	61,1	17,5	17,5	8,97	175	144	144	75,4	867	735	735	415
Spinal_cord	6,72	3,25	2,59	2,21	53,8	25,5	21	17,8	335	161	153	121
Spleen	2,92	2,77	2,77	2,37	23,8	22,4	22,4	19	183	167	167	133
Stomach	7,17	5,71	5,71	3,95	47,7	38,5	38,5	27,6	284	229	229	180
Stomach_lumen	3,96	3,8	3,8	3,05	28,2	25,8	25,8	21,9	119	110	110	97,1
Teeth	7,36	4,94	4,24	2,34	37,3	28,1	24,8	16,9	185	148	134	99,7
Tendon_ligament	2,44	2,31	2,31	2	16,1	15,9	15,9	14,6	106	104	104	98,4
Thalamus	11,5	5,73	5,68	3,99	91	44,9	44,9	31,2	522	262	262	183
Thymus	209	77,6	68,4	29,3	1496	611	541	263	3741	2724	2724	1597
Thyroid_gland	2,76	2,32	2,3	2,04	22,2	19	18,7	16,7	119	104	98,6	87,6
Tongue	3,45	2,61	2,32	2,09	30	22,3	19,2	17,5	208	154	131	119
Ureter_urethra	5,35	4,53	4,2	3,65	41,8	34,5	33,4	29,5	305	230	224	206
Uterus	12,3	6,3	6,2	2	110	53,8	27,1	15,4	637	320	170	101
Vagina	11,6	3,22	3,06	2,98	56,1	27,8	25,9	25,1	356	203	189	182
Vein	1,28	1,14	1,13	1,06	11,2	10,1	10,1	9,2	90,7	72,8	70,4	62,8
Vertebrae	6,36	4,08	3,82	3,11	57,8	35,3	32,9	26,2	449	263	245	193
commissura_anterior	2682	964	964	19,7	1385	553	553	174	3352	2716	2716	1066
commissura_posterior	12,6	11,4	11,4	7,2	107	95,9	95,9	56,7	581	525	525	320

# Überlagerung vertikales E-Feld (1 kV/m) und frontales B-Feld (100 µT), CNS-Gewebe

CNS Gewebe Ella, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 µT											
	10 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	0,002	0,001	0,0008	0,002	0,001	0,0007	0,002	0,002	0,0007	0,002	0,001	0,0007
Brain_white_matter	0,001	0,001	0,0007	0,001	0,001	0,0006	0,001	0,001	0,0007	0,001	0,001	0,0007
Cerebellum	0,003	0,001	0,0007	0,002	0,001	0,0006	0,003	0,001	0,0007	0,003	0,001	0,0007
Hippocampus	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0007	0,0006	0,0006	0,0007	0,0006	0,0005
Hypophysis	0,001	0,0008	0,0007	0,001	0,0007	0,0007	0,0009	0,0001	0,0001	0,0001	0,0007	0,0007
Hypothalamus	0,0007	0,0002	0,0002	0,0007	0,0002	0,0002	0,0006	0,0002	0,0002	0,0007	0,0002	0,0002
Medulla_oblongata	0,0007	0,0007	0,0005	0,0007	0,0006	0,0005	0,0008	0,0006	0,0005	0,0007	0,0007	0,0005
Midbrain	0,001	0,0008	0,0006	0,001	0,0007	0,0005	0,0008	0,0006	0,0005	0,001	0,0008	0,0005
Pinealbody	0,0005	0,0001	0,0001	0,0004	0,0001	0,0001	0,0004	0,0002	0,0002	0,0005	0,0001	0,0001
Pons	0,0006	0,0006	0,0005	0,0006	0,0006	0,0005	0,0008	0,0006	0,0005	0,0006	0,0006	0,0005
Thalamus	0,001	0,0007	0,0005	0,0009	0,0006	0,0005	0,001	0,0006	0,0005	0,001	0,0007	0,0005

CNS Gewebe Ella, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 µT											
	16 2/3 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	0,004	0,002	0,001	0,004	0,002	0,001	0,004	0,003	0,001	0,004	0,002	0,001
Brain_white_matter	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001
Cerebellum	0,005	0,002	0,001	0,004	0,002	0,001	0,004	0,002	0,001	0,004	0,002	0,001
Hippocampus	0,001	0,001	0,0009	0,001	0,0009	0,0009	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0009
Hypophysis	0,002	0,0001	0,0001	0,002	0,0001	0,0001	0,001	0,0002	0,0002	0,002	0,0001	0,0001
Hypothalamus	0,001	0,0004	0,0004	0,001	0,0004	0,0004	0,001	0,0004	0,0004	0,001	0,0004	0,0004
Medulla_oblongata	0,001	0,001	0,0009	0,001	0,001	0,0008	0,001	0,001	0,0008	0,001	0,001	0,0009
Midbrain	0,002	0,001	0,0009	0,002	0,001	0,0009	0,001	0,001	0,0008	0,002	0,001	0,0009
Pinealbody	0,0008	0,0002	0,0002	0,0007	0,0002	0,0002	0,0007	0,0003	0,0003	0,0008	0,0002	0,0002
Pons	0,001	0,001	0,0008	0,001	0,0009	0,0008	0,001	0,0009	0,0008	0,001	0,001	0,0008
Thalamus	0,002	0,001	0,0009	0,002	0,001	0,0009	0,002	0,001	0,0009	0,002	0,001	0,0009

CNS Gewebe Ella, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 µT											
	50 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	0,012	0,006	0,003	0,011	0,005	0,003	0,01	0,006	0,003	0,012	0,005	0,003
Brain_white_matter	0,005	0,005	0,003	0,005	0,004	0,003	0,005	0,005	0,003	0,005	0,005	0,003
Cerebellum	0,015	0,005	0,003	0,013	0,005	0,003	0,013	0,005	0,003	0,014	0,005	0,003
Hippocampus	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Hypophysis	0,004	0,0003	0,0003	0,004	0,0003	0,0003	0,004	0,0005	0,0004	0,004	0,0003	0,0003
Hypothalamus	0,002	0,0009	0,0009	0,002	0,0009	0,0008	0,002	0,0009	0,0008	0,002	0,0009	0,0009
Medulla_oblongata	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Midbrain	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002
Pinealbody	0,002	0,0006	0,0006	0,002	0,0006	0,0006	0,001	0,0006	0,0006	0,002	0,0006	0,0006
Pons	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Thalamus	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002

CNS Gewebe Ella, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 µT											
	150 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	0,04	0,015	0,008	0,036	0,014	0,007	0,03	0,019	0,008	0,038	0,014	0,008
Brain_white_matter	0,014	0,013	0,008	0,012	0,012	0,007	0,016	0,014	0,008	0,013	0,013	0,008
Cerebellum	0,046	0,015	0,008	0,041	0,013	0,008	0,041	0,015	0,008	0,044	0,014	0,008
Hippocampus	0,007	0,006	0,005	0,007	0,005	0,005	0,007	0,006	0,006	0,007	0,006	0,005
Hypophysis	0,012	0,0009	0,0009	0,011	0,0009	0,0009	0,009	0,001	0,001	0,012	0,0009	0,0009
Hypothalamus	0,005	0,003	0,003	0,005	0,002	0,002	0,005	0,002	0,002	0,005	0,003	0,003
Medulla_oblongata	0,007	0,006	0,005	0,006	0,006	0,005	0,007	0,006	0,005	0,007	0,006	0,005
Midbrain	0,008	0,006	0,005	0,007	0,006	0,004	0,006	0,005	0,004	0,007	0,006	0,005
Pinealbody	0,004	0,002	0,002	0,004	0,002	0,002	0,004	0,002	0,002	0,004	0,002	0,002
Pons	0,006	0,006	0,005	0,006	0,005	0,005	0,008	0,006	0,005	0,006	0,006	0,005
Thalamus	0,007	0,006	0,005	0,006	0,005	0,004	0,007	0,005	0,005	0,007	0,006	0,005

CNS Gewebe Ella, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 µT											
	1 kHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	0,27	0,097	0,052	0,25	0,087	0,046	0,204	0,13	0,05	0,266	0,093	0,049
Brain_white_matter	0,089	0,085	0,054	0,08	0,077	0,048	0,109	0,095	0,05	0,085	0,081	0,051
Cerebellum	0,309	0,098	0,055	0,276	0,087	0,049	0,275	0,097	0,052	0,295	0,094	0,052
Hippocampus	0,047	0,039	0,035	0,042	0,035	0,031	0,048	0,038	0,037	0,045	0,037	0,034
Hypophysis	0,074	0,006	0,006	0,068	0,006	0,006	0,058	0,009	0,008	0,072	0,006	0,006
Hypothalamus	0,031	0,017	0,017	0,03	0,017	0,016	0,031	0,016	0,016	0,031	0,017	0,017
Medulla_oblongata	0,044	0,04	0,033	0,041	0,037	0,031	0,046	0,038	0,032	0,043	0,039	0,033
Midbrain	0,05	0,041	0,03	0,045	0,037	0,028	0,042	0,032	0,027	0,048	0,04	0,03
Pinealbody	0,026	0,012	0,012	0,025	0,011	0,011	0,023	0,012	0,012	0,026	0,012	0,012
Pons	0,039	0,037	0,032	0,036	0,034	0,029	0,052	0,036	0,031	0,038	0,036	0,031
Thalamus	0,045	0,038	0,03	0,041	0,034	0,027	0,044	0,034	0,029	0,044	0,037	0,029

CNS Gewebe Ella, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	10 kHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	2,89	0,916	0,487	2,59	0,824	0,439	2,01	1,23	0,469	2,75	0,872	0,465
Brain_white_matter	0,848	0,812	0,515	0,763	0,731	0,463	1,04	0,911	0,48	0,808	0,773	0,491
Cerebellum	3,16	0,944	0,527	2,83	0,845	0,471	2,79	0,917	0,503	3,01	0,9	0,502
Hippocampus	0,446	0,364	0,327	0,4	0,327	0,294	0,455	0,355	0,344	0,426	0,348	0,313
Hypophysis	0,693	0,06	0,056	0,637	0,054	0,054	0,541	0,083	0,071	0,677	0,058	0,055
Hypothalamus	0,275	0,161	0,154	0,263	0,153	0,149	0,275	0,152	0,147	0,276	0,161	0,156
Medulla_oblongata	0,406	0,364	0,312	0,379	0,34	0,292	0,413	0,349	0,307	0,4	0,359	0,308
Midbrain	0,436	0,36	0,275	0,396	0,328	0,253	0,367	0,289	0,245	0,422	0,349	0,269
Pinealbody	0,239	0,11	0,11	0,223	0,108	0,108	0,212	0,113	0,113	0,236	0,112	0,112
Pons	0,358	0,34	0,298	0,331	0,314	0,274	0,488	0,329	0,283	0,351	0,333	0,291
Thalamus	0,418	0,346	0,278	0,381	0,316	0,254	0,406	0,313	0,265	0,405	0,336	0,269

CNS Gewebe Ella, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	100 kHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	30,3	8,71	4,64	27,3	7,89	4,21	20,3	11,8	4,46	28,7	8,25	4,4
Brain_white_matter	8,03	7,71	4,88	7,28	6,98	4,41	9,84	8,68	4,53	7,61	7,31	4,63
Cerebellum	32,9	9,43	5,17	29,6	8,48	4,66	28,7	9,26	4,91	31,2	8,94	4,91
Hippocampus	4,16	3,42	3,11	3,75	3,09	2,81	4,22	3,32	3,23	3,94	3,25	2,96
Hypophysis	6,61	0,606	0,568	6,13	0,563	0,547	5,1	0,791	0,684	6,47	0,583	0,563
Hypothalamus	2,34	1,51	1,45	2,32	1,44	1,39	2,49	1,42	1,38	2,4	1,5	1,45
Medulla_oblongata	3,85	3,49	3	3,6	3,26	2,82	3,79	3,29	3,01	3,78	3,43	2,96
Midbrain	3,86	3,24	2,53	3,52	2,96	2,33	3,28	2,64	2,27	3,72	3,12	2,46
Pinealbody	2,21	1,07	1,07	2,08	1,05	1,05	1,98	1,09	1,09	2,18	1,09	1,09
Pons	3,35	3,2	2,84	3,1	2,96	2,63	4,62	3,1	2,68	3,27	3,12	2,77
Thalamus	3,83	3,19	2,61	3,5	2,92	2,38	3,7	2,88	2,46	3,69	3,08	2,51

CNS Gewebe Ella, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	1 MHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	286	81,9	43,3	262	75,3	39,8	191	103	41,3	268	77	40,7
Brain_white_matter	76,3	73,3	44,9	70,2	67,5	41,2	86,7	77,1	41,5	71,7	68,9	42,1
Cerebellum	310	90,2	48,3	284	82,4	44,1	269	85,2	45,4	291	84,5	45,3
Hippocampus	37,5	31	28,5	34,2	28,3	26,1	37,5	29,4	28,8	35,1	29,1	26,8
Hypophysis	65,1	5,62	5,21	59,8	5,16	4,85	49,8	8,06	6,85	62	5,34	5,03
Hypothalamus	19,5	12,7	12,6	19	12,1	11,7	20,4	11,7	11,3	19,7	12,5	12,1
Medulla_oblongata	31,7	29,3	25,9	29,7	27,4	24,3	31,7	28,4	26,2	30,8	28,5	25,3
Midbrain	31,5	27	21,7	28,9	24,8	20,2	27,3	22,3	19,4	29,9	25,7	20,9
Pinealbody	19,4	9,34	9,34	18,2	9,17	9,17	17,2	9,55	9,55	18,8	9,48	9,48
Pons	28,1	27,1	24,8	26,1	25,2	22,9	39,8	26,2	23,3	27,1	26,1	23,8
Thalamus	32,8	27,5	23,4	30,1	25,3	21,6	31,1	24,6	21,6	31,2	26,2	22,2

CNS Gewebe Ella, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	10 MHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	1906	576	333	1606	492	290	1359	598	331	1986	604	349
Brain_white_matter	586	560	360	502	480	307	549	515	344	614	587	379
Cerebellum	2466	602	331	2078	500	275	2166	623	321	2559	630	349
Hippocampus	288	227	208	238	186	169	294	216	213	306	242	223
Hypophysis	384	60,5	51,6	335	49,6	43,3	237	55,5	46,7	380	64,1	54
Hypothalamus	124	86,8	86,3	97,9	70	69,3	108	68,9	67,6	137	94,8	94
Medulla_oblongata	216	169	159	172	130	123	201	171	158	231	190	179
Midbrain	185	140	124	144	106	93,5	188	122	112	202	153	136
Pinealbody	110	70,3	70,3	86,4	61	61	103	64,6	64,6	123	78,4	78,4
Pons	178	159	145	137	121	110	217	144	133	192	174	159
Thalamus	229	197	161	185	159	129	208	161	142	244	211	174





PNS Gewebe Ella, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	50 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	0.004	0.002	0.002	0.003	0.002	0.001	0.005	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002
Artery	2.36	0.96	0.013	2.08	0.848	0.013	1.82	0.894	0.012	2.44	0.992	0.014
Bladder	0.012	0.004	0.003	0.011	0.004	0.003	0.01	0.006	0.003	0.011	0.004	0.003
Bone	2.44	1.08	0.033	2.46	0.958	0.03	3.07	0.975	0.031	2.52	1.12	0.034
Brain_grey_matter	0.012	0.007	0.003	0.011	0.006	0.003	0.01	0.008	0.003	0.012	0.006	0.003
Brain_white_matter	0.005	0.005	0.003	0.005	0.004	0.003	0.005	0.005	0.003	0.005	0.005	0.003
Breast	0.026	0.009	0.006	0.026	0.008	0.006	0.027	0.011	0.006	0.027	0.008	0.006
Bronchi	0.004	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002
Cartilage	0.283	0.045	0.006	0.277	0.044	0.006	0.277	0.044	0.006	0.288	0.046	0.006
Cerebellum	0.015	0.011	0.003	0.013	0.009	0.003	0.013	0.006	0.003	0.014	0.01	0.003
Cerebrospinal_fluid	0.014	0.007	0.002	0.013	0.006	0.002	0.013	0.005	0.002	0.014	0.006	0.002
Connective_tissue	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Cornea	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Diaphragm	0.121	0.043	0.01	0.118	0.037	0.011	0.118	0.037	0.012	0.123	0.044	0.01
Ear_cartilage	0.055	0.0004	0.0004	0.054	0.0004	0.0004	0.054	0.0004	0.0004	0.057	0.0004	0.0004
Ear_skin	0.013	0.009	0.005	0.012	0.008	0.005	0.017	0.01	0.007	0.012	0.008	0.005
Esophagus	0.59	0.136	0.066	0.585	0.135	0.065	0.587	0.135	0.064	0.597	0.138	0.067
Eye_sclera	0.607	0.477	0.377	0.601	0.473	0.37	0.603	0.474	0.37	0.614	0.481	0.384
Eye_lens	0.005	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.002	0.005	0.003	0.003
Eye_vitreous_humor	0.0008	0.0007	0.0006	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0007	0.0006	0.0006
Fat	0.036	0.002	0.001	0.036	0.001	0.001	0.037	0.001	0.001	0.036	0.001	0.001
Gallbladder	0.04	0.001	0.0005	0.038	0.001	0.0005	0.038	0.001	0.0005	0.041	0.001	0.0005
Heart_lumen	2.51	1.02	0.014	2.22	0.903	0.015	1.91	0.932	0.013	2.59	1.06	0.015
Heart_muscle	0.002	0.0009	0.0007	0.006	0.003	0.001	0.012	0.006	0.003	0.004	0.002	0.0009
Hippocampus	0.009	0.004	0.002	0.008	0.003	0.002	0.006	0.003	0.001	0.009	0.004	0.002
Hypophysis	0.011	0.009	0.006	0.01	0.008	0.005	0.006	0.005	0.003	0.011	0.009	0.005
Hypothalamus	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Intervertebral_disc	0.004	0.002	0.001	0.004	0.002	0.001	0.004	0.001	0.0009	0.004	0.002	0.001
Kidney_cortex	0.002	0.001	0.0009	0.002	0.0009	0.0009	0.002	0.0009	0.0009	0.002	0.001	0.0009
Kidney_medulla	0.011	0.006	0.002	0.01	0.006	0.002	0.008	0.005	0.002	0.011	0.006	0.002
Large_intestine	0.007	0.007	0.004	0.006	0.006	0.004	0.006	0.006	0.005	0.007	0.006	0.004
Large_intestine_lumen	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004
Larynx	0.017	0.014	0.011	0.015	0.012	0.01	0.012	0.01	0.006	0.017	0.013	0.011
Liver	0.013	0.009	0.005	0.011	0.008	0.004	0.009	0.005	0.004	0.012	0.008	0.005
Lung	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004
Mandible	0.014	0.013	0.008	0.013	0.011	0.007	0.018	0.014	0.007	0.014	0.012	0.007
Marrow_red	0.013	0.011	0.006	0.012	0.01	0.005	0.01	0.008	0.004	0.013	0.011	0.006
Medulla_oblongata	0.009	0.005	0.005	0.008	0.005	0.004	0.007	0.005	0.004	0.009	0.005	0.005
Meniscus	0.044	0.024	0.011	0.038	0.021	0.01	0.037	0.021	0.011	0.045	0.024	0.012
Midbrain	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Mucosa	0.007	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.006	0.006	0.005	0.007	0.006	0.006
Muscle	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
Nerve	0.092	0.012	0.01	0.09	0.011	0.009	0.09	0.009	0.007	0.093	0.011	0.01
Ovary	2.52	1.02	0.009	2.64	0.898	0.009	3.3	1.02	0.009	2.6	1.05	0.009
Pancreas	0.008	0.007	0.006	0.007	0.006	0.005	0.007	0.006	0.005	0.008	0.007	0.006
Patella	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Pinealbody	0.013	0.009	0.006	0.012	0.008	0.005	0.005	0.003	0.002	0.013	0.009	0.005
Pons	0.011	0.009	0.007	0.01	0.008	0.006	0.012	0.01	0.008	0.011	0.01	0.007
SAT	0.002	0.0008	0.0008	0.002	0.0008	0.0008	0.001	0.0008	0.0008	0.002	0.0008	0.0008
Skin	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Skull	2.97	1	0.018	3.45	1.01	0.018	4.3	1.26	0.018	2.92	1.03	0.018
Small_intestine	7.23	5.65	3.47	6.4	5	3.08	6.1	4.4	3.45	7.47	5.84	3.59
Small_intestine_lumen	0.062	0.016	0.007	0.06	0.014	0.007	0.06	0.018	0.007	0.063	0.015	0.007
Spinal_cord	0.012	0.005	0.003	0.011	0.005	0.003	0.01	0.003	0.003	0.012	0.005	0.003
Spleen	0.009	0.005	0.004	0.008	0.004	0.003	0.005	0.004	0.003	0.009	0.005	0.004
Stomach	0.005	0.005	0.003	0.005	0.004	0.003	0.005	0.005	0.003	0.005	0.005	0.003
Stomach_lumen	0.008	0.007	0.006	0.007	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003	0.008	0.007	0.005
Teeth	0.012	0.006	0.004	0.011	0.005	0.003	0.007	0.003	0.002	0.012	0.006	0.004
Tendon_Ligament	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.005	0.004	0.003
Thalamus	0.007	0.004	0.003	0.007	0.004	0.003	0.008	0.004	0.003	0.007	0.004	0.003
Thymus	0.129	0.042	0.019	0.115	0.038	0.018	0.088	0.047	0.018	0.134	0.043	0.02
Thyroid_gland	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Tongue	0.005	0.003	0.002	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.005	0.003	0.002
Ureter_Urethra	0.005	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.005	0.003	0.003	0.005	0.003	0.003
Uterus	0.008	0.002	0.002	0.007	0.002	0.002	0.008	0.002	0.002	0.008	0.002	0.002
Vagina	0.05	0.005	0.004	0.048	0.005	0.004	0.038	0.006	0.005	0.049	0.005	0.004
Vein	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Vertebrae	0.015	0.01	0.008	0.016	0.01	0.008	0.019	0.012	0.009	0.015	0.01	0.008
commissura_anterior	2.3	0.903	0.013	2.3	0.815	0.012	2.87	1.02	0.012	2.37	0.933	0.013
commissura_posterior	0.015	0.012	0.006	0.014	0.01	0.005	0.012	0.009	0.005	0.015	0.011	0.006

PNS Gewebe Ella, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	150 Hz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	0.01	0.006	0.005	0.009	0.005	0.004	0.015	0.007	0.005	0.01	0.005	0.005
Artery	7.17	2.92	0.036	6.31	2.57	0.034	5.54	2.72	0.032	7.42	3.02	0.037
Bladder	0.036	0.013	0.009	0.032	0.012	0.009	0.032	0.018	0.01	0.034	0.012	0.009
Bone	7.45	3.31	0.092	7.46	2.91	0.083	9.4	2.98	0.086	7.7	3.42	0.095
Brain_grey_matter	0.04	0.019	0.008	0.036	0.017	0.008	0.03	0.023	0.008	0.038	0.018	0.008
Brain_white_matter	0.014	0.013	0.008	0.012	0.012	0.007	0.016	0.014	0.008	0.013	0.013	0.008
Breast	0.08	0.026	0.019	0.079	0.023	0.017	0.081	0.033	0.017	0.082	0.025	0.018
Bronchi	0.011	0.007	0.006	0.01	0.007	0.005	0.008	0.005	0.004	0.011	0.007	0.006
Cartilage	0.85	0.135	0.018	0.834	0.132	0.016	0.834	0.132	0.016	0.866	0.137	0.018
Cerebellum	0.046	0.032	0.009	0.041	0.028	0.008	0.041	0.017	0.009	0.044	0.03	0.009
Cerebrospinal_fluid	0.045	0.021	0.006	0.04	0.019	0.006	0.04	0.014	0.006	0.043	0.02	0.006
Connective_tissue	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Cornea	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004
Diaphragm	0.364	0.118	0.027	0.356	0.103	0.027	0.356	0.104	0.03	0.371	0.122	0.027
Ear_cartilage	0.166	0.001	0.001	0.162	0.001	0.001	0.163	0.001	0.001	0.17	0.001	0.001
Ear_skin	0.04	0.023	0.016	0.036	0.021	0.014	0.054	0.031	0.02	0.038	0.022	0.015
Esophagus	1.78	0.41	0.198	1.76	0.405	0.194	1.77	0.405	0.193	1.79	0.415	0.201
Eye_sclera	1.83	1.43	1.13	1.81	1.42	1.11	1.82	1.43	1.11	1.85	1.45	1.16
Eye_lens	0.013	0.01	0.008	0.012	0.009	0.007	0.011	0.007	0.006	0.012	0.009	0.008
Eye_vitreous_humor	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
Fat	0.109	0.004	0.004	0.108	0.004	0.003	0.111	0.003	0.003	0.11	0.004	0.004
Gallbladder	0.119	0.003	0.002	0.116	0.003	0.001	0.116	0.003	0.001	0.122	0.003	0.002
Heart_lumen	7.63	3.09	0.04	6.72	2.72	0.04	5.77	2.82	0.036	7.89	3.19	0.04
Heart_muscle	0.008	0.003	0.002	0.019	0.005	0.003	0.038	0.01	0.006	0.014	0.004	0.003
Hippocampus	0.025	0.01	0.006	0.022	0.009	0.005	0.014	0.008	0.004	0.024	0.01	0.005
Hypophysis	0.03	0.025	0.015	0.026	0.022	0.013	0.015	0.013	0.008	0.029	0.024	0.014
Hypothalamus	0.007	0.006	0.005	0.007	0.005	0.005	0.007	0.006	0.006	0.007	0.006	0.005
Intervertebral_disc	0.012	0.005	0.003	0.011	0.004	0.003	0.009	0.003	0.003	0.012	0.004	0.003
Kidney_cortex	0.005	0.003	0.003	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.003
Kidney_medulla	0.032	0.018	0.007	0.029	0.017	0.007	0.022	0.016	0.007	0.031	0.018	0.007
Large_intestine	0.016	0.015	0.012	0.014	0.013	0.01	0.018	0.017	0.014	0.015	0.014	0.011
Large_intestine_lumen	0.012	0.011	0.011	0.01	0.01	0.009	0.014	0.013	0.011	0.011	0.011	0.01
Larynx	0.027	0.023	0.018	0.025	0.021	0.017	0.025	0.018	0.012	0.026	0.022	0.018
Liver	0.021	0.018	0.013	0.019	0.016	0.011	0.015	0.012	0.01	0.021	0.018	0.012
Lung	0.012	0.011	0.011	0.011	0.01	0.01	0.011	0.01	0.01	0.012	0.011	0.011
Mandible	0.041	0.036	0.022	0.037	0.033	0.019	0.055	0.044	0.022	0.04	0.035	0.021
Marrow_red	0.04	0.034	0.017	0.036	0.031	0.015	0.03	0.023	0.012	0.039	0.033	0.016
Medulla_oblongata	0.029	0.016	0.014	0.026	0.014	0.012	0.021	0.015	0.012	0.028	0.015	0.013
Meniscus	0.126	0.068	0.03	0.108	0.058	0.027	0.099	0.058	0.03	0.129	0.069	0.031
Midbrain	0.007	0.006	0.005	0.006	0.006	0.005	0.007	0.006	0.005	0.007	0.006	0.005
Mucosa	0.019	0.017	0.017	0.016	0.015	0.014	0.018	0.017	0.015	0.019	0.018	0.017
Muscle	0.008	0.006	0.005	0.007	0.006	0.005	0.006	0.005	0.004	0.007	0.006	0.005
Nerve	0.266	0.033	0.028	0.261	0.03	0.025	0.261	0.027	0.02	0.272	0.032	0.027
Ovary	7.66	3.09	0.024	7.96	2.72	0.023	10	3.11	0.024	7.93	3.19	0.024
Pancreas	0.023	0.021	0.018	0.021	0.019	0.016	0.022	0.019	0.016	0.023	0.02	0.017
Patella	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.004
Pinealbody	0.02	0.016	0.012	0.018	0.014	0.011	0.009	0.007	0.005	0.019	0.015	0.012
Pons	0.029	0.025	0.018	0.025	0.022	0.017	0.031	0.028	0.021	0.029	0.025	0.019
SAT	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002
Skin	0.006	0.006	0.005	0.006	0.005	0.005	0.008	0.006	0.005	0.006	0.006	0.005
Skull	8.79	3.03	0.051	10.3	3.02	0.05	13	3.79	0.052	8.6	3.14	0.052
Small_intestine	21.8	17	10.5	19.2	15	9.3	18.4	13.3	10.5	22.5	17.6	10.9
Small_intestine_lumen	0.185	0.047	0.022	0.181	0.042	0.02	0.18	0.054	0.021	0.189	0.045	0.021
Spinal_cord	0.019	0.013	0.01	0.017	0.012	0.009	0.018	0.009	0.008	0.018	0.013	0.01
Spleen	0.016	0.013	0.01	0.015	0.012	0.009	0.01	0.009	0.007	0.016	0.013	0.01
Stomach	0.016	0.013	0.009	0.015	0.012	0.009	0.015	0.013	0.009	0.016	0.013	0.009
Stomach_lumen	0.023	0.02	0.016	0.021	0.019	0.015	0.012	0.011	0.008	0.022	0.02	0.016
Teeth	0.03	0.015	0.011	0.027	0.013	0.01	0.022	0.01	0.006	0.029	0.014	0.011
Tendon_Ligament	0.014	0.013	0.011	0.013	0.012	0.01	0.007	0.006	0.005	0.014	0.012	0.01
Thalamus	0.019	0.012	0.01	0.019	0.011	0.009	0.02	0.01	0.008	0.019	0.012	0.01
Thymus	0.378	0.115	0.053	0.333	0.104	0.048	0.246	0.129	0.048	0.391	0.119	0.054
Thyroid_gland	0.007	0.006	0.005	0.006	0.005	0.004	0.007	0.005	0.005	0.007	0.006	0.005
Tongue	0.014	0.008	0.006	0.013	0.007	0.005	0.011	0.006	0.005	0.014	0.007	0.006
Ureter_Urethra	0.012	0.009	0.008	0.011	0.008	0.008	0.012	0.009	0.007	0.012	0.009	0.008
Uterus	0.021	0.007	0.005	0.019	0.006	0.005	0.021	0.006	0.004	0.021	0.006	0.005
Vagina	0.154	0.015	0.012	0.147	0.015	0.012	0.119	0.018	0.014	0.151	0.015	0.012
Vein	0.006	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005
Vertebrae	0.053	0.02	0.016	0.051	0.02	0.016	0.057	0.025	0.017	0.052	0.02	0.016
commissura_anterior	6.97	2.74	0.034	6.9	2.45	0.033	8.69	3.08	0.031	7.21	2.83	0.035
commissura_posterior	0.05	0.037	0.017	0.046	0.034	0.016	0.039	0.03	0.016	0.048	0.036	0.017









PNS Gewebe Ella, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	1 MHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	60.7	35.7	31.2	56.1	33.2	28.9	60.4	37.7	32.1	57.4	33.9	29.5
Artery	2024	1217	304	1835	1103	280	1441	796	220	1905	1146	288
Bladder	186	78.8	45.7	171	72.4	44.9	170	93.8	52.2	175	74.5	45.2
Bone	2941	2072	829	2666	1878	751	1974	1580	699	2768	1950	780
Brain_grey_matter	286	116	45.4	262	106	41.8	191	134	41.7	268	108	42.7
Brain_white_matter	76.3	73.3	44.9	70.2	67.5	41.2	86.7	77.1	41.4	71.7	68.9	42.1
Breast	183	157	112	177	148	105	260	213	105	175	151	107
Bronchi	50.3	35.9	31.6	46	32.8	29	35	27.1	25.1	47.2	33.7	29.7
Cartilage	412	277	141	373	251	128	449	265	116	388	261	133
Cerebellum	310	200	54	284	183	49.3	269	109	49.1	291	187	50.7
Cerebrospinal_fluid	310	146	36.5	284	133	34.1	260	91.3	30.7	291	137	34.8
Connective_tissue	23.1	22.4	22.4	22.6	21.9	21.9	23	22.1	22.1	23.5	22.7	22.7
Cornea	21.1	18.9	18.9	20.1	18.5	18.5	20	18.4	18.4	20.9	19.2	19.2
Diaphragm	2318	1105	155	2101	1002	170	1524	857	230	2182	1040	167
Ear_cartilage	25.2	9	9	23.5	8.24	8.24	26.7	8.44	8.44	24.6	8.46	8.46
Ear_skin	240	120	91.8	227	114	87.3	226	140	97.9	230	115	88.4
Esophagus	345	129	109	327	124	101	322	110	81.1	344	128	105
Eye_sclera	360	287	253	355	278	241	377	293	235	373	292	250
Eye_lens	79.2	63.8	51.2	79.2	61.4	49.6	79.1	51.1	43.6	79.2	62.2	50.2
Eye_vitreous_humor	15.1	13.5	12.9	13.8	12.3	11.8	12.6	9.75	9.71	14.2	12.7	12.1
Fat	84.6	26.1	23.2	77.4	23.7	21.2	62.5	18.7	15.6	79.2	24.5	21.8
Gallbladder	71.8	22.8	11.8	65.6	20.8	10.9	33.9	17	9.88	67.2	21.4	11.1
Heart_lumen	2202	1743	300	1996	1580	314	1929	1361	242	2073	1641	312
Heart_muscle	47.2	25.8	20.7	65.4	35.8	25.3	114	65.1	40.1	61.9	33.7	24.3
Hippocampus	59	44.5	35.6	53.9	41.1	32.9	36.5	26.7	20	55.4	42.1	33.6
Hypophysis	124	93.1	56	113	85.4	51.7	62.6	46.8	31	116	87.6	52.9
Hypothalamus	37.5	31	28.5	34.2	28.3	26.1	37.5	29.4	28.8	35.1	29.1	26.8
Intervertebral_disc	65.1	25.5	16	59.8	23.5	14.9	49.8	13.2	12.1	62	24.3	15.4
Kidney_cortex	19.5	13.3	12.6	19	12.6	11.9	20.4	12.3	11.9	19.7	13	12.4
Kidney_medulla	197	111	46.5	183	104	45.2	135	69.5	41.9	187	106	45.7
Large_intestine	78.6	73.8	66.5	73.5	69	62.2	86.1	84.6	76.3	74.9	70.3	63.4
Large_intestine_lumen	66.7	65.6	61.3	62.2	61.1	57.2	76.2	74.1	67.7	63.4	62.4	58.3
Larynx	157	120	96.6	144	113	90.8	101	90.3	73.4	148	115	92.3
Liver	112	97.8	75.3	106	92	70.7	82	73.7	66.1	108	93.6	71.9
Lung	62.6	55.6	53.3	57.2	50.9	48.9	55	47.4	46	59.3	52.8	50.8
Mandible	136	110	75.8	155	110	74.7	218	156	97.4	151	108	74.6
Marrow_red	240	200	96.3	226	189	89.9	190	149	84.3	230	192	91.6
Medulla_oblongata	196	107	78.4	180	98.3	71.6	141	103	68.3	184	101	73.6
Meniscus	973	543	243	883	493	220	702	431	217	916	512	229
Midbrain	31.7	29.8	26.9	29.7	27.8	25.2	31.7	28.8	26.5	30.8	28.9	26.2
Mucosa	165	152	146	150	138	132	147	131	121	156	143	137
Muscle	31.5	27.6	22.6	28.9	25.3	20.9	27.3	22.3	19.7	29.9	26.2	21.6
Nerve	179	70.5	59.7	163	64.4	54.4	197	48.2	43.2	169	66.1	56
Ovary	2156	1045	157	1955	947	146	2168	961	150	2031	984	150
Pancreas	145	97.7	70.1	132	89	64	110	78.3	63.6	137	92	66.2
Patella	30.1	28.6	28	27.6	26.4	25.8	30.1	28.8	27.9	28.3	27	26.5
Pinealbody	106	90	74.5	99.1	84.2	69.5	62.7	53	43.1	101	85.8	70.9
Pons	267	226	159	242	205	144	251	217	160	251	213	150
SAT	19.4	11.5	11.5	18.2	11.1	11.1	17.2	10.9	10.9	18.8	11.5	11.5
Skin	28.1	27.1	24.9	26.1	25.2	23	39.8	26.2	23.3	27.1	26.1	23.9
Skull	2387	1749	261	2165	1586	305	4413	2252	291	2248	1648	300
Small_intestine	4355	3648	2673	3950	3308	2424	5109	4337	1496	4102	3436	2517
Small_intestine_lumen	342	303	136	314	278	125	445	356	131	321	284	128
Spinal_cord	101	76.7	61.8	95.1	72.3	57.7	98.9	54	45.8	96.8	73.5	58.8
Spleen	87.7	80.7	61.7	82.3	75.2	57.3	57.8	54.1	40.7	83.7	76.7	58.5
Stomach	81.7	48.3	36.4	85.2	45.7	35.4	99.6	50.3	34.7	84.7	47.3	36.2
Stomach_lumen	129	120	97.2	122	114	91.8	88.1	81.8	64.5	124	115	93.2
Teeth	128	95.2	72.2	122	90.3	68.1	89.1	65.5	47.4	123	91.5	69.2
Tendon_Ligament	70.4	69.7	63	66.5	65.8	59.2	46.5	46	39.6	67.5	66.9	60.2
Thalamus	92.9	66.9	52.9	86.1	61	48.3	92.8	45.2	39.8	89.5	62.9	49.6
Thymus	2799	921	459	2538	835	416	1726	943	382	2636	868	432
Thyroid_gland	32.8	28.4	23.4	30.1	26.1	21.6	31.1	24.6	21.6	31.2	27	22.3
Tongue	101	48.3	39.6	94.3	45.8	39	84.1	43.1	38.5	96.5	46.7	39.2
Ureter_Urethra	61.9	53.1	46.8	57.9	51.9	43.7	60.1	50.1	44.3	58.7	52.4	44.6
Uterus	117	36.9	28.1	109	33.6	25.6	114	29.4	22.1	113	34.6	26.3
Vagina	471	71.3	62.9	455	73.7	64.2	419	82.6	63.3	458	73.1	63.9
Vein	25.7	24.8	23.2	25.2	24.4	22.9	24.8	22.6	21.6	25.3	24.5	23
Vertebrae	288	78	60	278	82.8	60.5	293	99.9	66.2	280	81.8	60.4
commissura_anterior	1970	833	243	1786	755	229	2460	980	197	1855	784	234
commissura_posterior	315	234	107	298	221	103	266	205	98.4	302	224	105

PNS Gewebe Ella, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	10 MHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	428	370	334	456	327	296	600	413	368	437	379	341
Artery	12865	8668	2317	10262	6914	1943	8645	5870	1667	13642	9192	2457
Bladder	1503	673	431	1288	555	420	1398	799	474	1530	711	439
Bone	14525	11109	5616	11586	8874	4492	13260	10791	4930	15403	11777	5955
Brain_grey_matter	1906	828	346	1606	697	301	1359	837	333	1986	864	363
Brain_white_matter	586	560	360	502	480	307	549	515	343	614	587	379
Breast	1653	1384	1004	1870	1559	944	2277	1897	1048	1634	1398	1016
Bronchi	361	291	270	314	282	256	350	315	263	369	301	278
Cartilage	3405	2318	1204	2738	1864	987	3808	2257	1005	3614	2461	1271
Cerebellum	2466	1532	372	2078	1287	315	2166	865	345	2559	1592	391
Cerebrospinal_fluid	2177	1161	327	1858	949	290	1737	777	280	2286	1222	342
Connective_tissue	122	116	116	96.6	92	92	106	93.4	93.4	141	133	133
Cornea	108	105	105	92.5	88.6	88.6	94.6	89.9	89.9	123	119	119
Diaphragm	12226	7664	1333	9746	6140	1644	10946	5722	2062	12972	8122	1409
Ear_cartilage	274	99.6	99.6	236	80.8	80.8	247	93.9	93.9	291	106	106
Ear_skin	2059	1038	775	1902	1036	766	1780	1214	889	2083	1049	781
Esophagus	635	507	464	582	433	384	629	520	443	663	531	494
Eye_sclera	1020	596	524	958	498	448	816	542	502	1029	636	553
Eye_lens	938	610	488	937	571	461	942	504	415	941	619	498
Eye_vitreous_humor	158	143	138	131	118	114	123	108	107	166	150	146
Fat	617	216	193	495	172	155	461	144	132	654	230	203
Gallbladder	529	196	121	427	161	105	297	149	102	560	206	125
Heart_lumen	14525	12320	2548	11586	9827	2521	12845	8925	1760	15403	13064	2701
Heart_muscle	559	380	279	699	484	328	957	662	419	554	373	277
Hippocampus	473	388	320	415	343	282	289	238	191	488	398	327
Hypophysis	962	743	470	854	659	415	609	467	293	986	762	482
Hypothalamus	288	227	208	238	186	168	294	216	213	306	242	222
Intervertebral_disc	384	168	109	335	148	98.2	237	67.9	59.1	380	164	107
Kidney_cortex	124	88	86.4	97.9	70.2	69.4	108	70.9	68.1	137	96.4	94.3
Kidney_medulla	1732	993	467	1540	884	453	1401	719	437	1759	1010	472
Large_intestine	831	749	611	749	674	558	770	698	660	845	762	620
Large_intestine_lumen	626	597	561	559	538	510	653	643	611	638	607	570
Larynx	1342	1098	852	1143	1013	782	1001	812	714	1369	1111	863
Liver	1003	933	731	921	856	670	734	698	660	1015	945	740
Lung	482	434	409	403	383	360	432	406	371	508	460	438
Mandible	1258	906	671	1397	1006	731	1670	1203	867	1250	899	670
Marrow_red	2020	1693	837	1866	1563	766	1552	1267	792	2044	1713	852
Medulla_oblongata	1345	909	621	1156	772	524	1135	903	576	1395	947	648
Meningis	6211	4087	2306	5067	3335	1845	5058	3397	2058	6554	4314	2446
Midbrain	216	196	172	172	157	133	201	174	160	231	210	191
Mucosa	1429	1326	1253	1180	1092	1022	1246	1131	1068	1502	1394	1321
Muscle	185	143	129	144	110	97.4	188	124	113	202	156	141
Nerve	1173	529	418	918	438	341	1169	364	320	1261	554	446
Ovary	14525	7411	1386	11586	5904	1206	13260	6558	1321	15403	7861	1464
Pancreas	912	576	446	722	455	351	759	506	422	965	610	475
Patella	288	251	246	251	219	216	302	260	253	298	258	252
Pinealbody	947	859	732	858	778	661	647	585	494	962	873	744
Pons	2420	2110	1511	1944	1698	1201	2283	2001	1499	2570	2239	1612
SAT	110	90.9	90.9	86.4	74.1	74.1	103	77	77	123	102	102
Skin	178	164	147	137	125	111	217	144	133	192	178	162
Skull	13578	10887	2261	10822	8670	2549	13260	10262	2279	14406	11553	2389
Small_intestine	9391	6709	2308	7473	5352	2048	12025	6395	2028	9965	7113	2446
Small_intestine_lumen	2653	2264	1001	2243	1929	895	3196	2600	961	2751	2344	1044
Spinal_cord	1083	781	573	999	720	520	900	574	439	1095	789	582
Spleen	907	847	597	813	759	532	618	564	410	923	862	608
Stomach	743	396	329	799	392	312	966	436	308	767	415	343
Stomach_lumen	925	837	734	862	780	682	716	646	562	934	845	742
Teeth	1200	924	650	1120	861	602	932	713	491	1210	933	658
Tendon_Ligament	724	713	621	668	659	569	541	532	446	732	721	630
Thalamus	712	515	435	573	413	355	507	332	301	753	545	457
Thymus	9013	6585	3632	7179	5247	2906	7456	5745	3199	9563	6987	3852
Thyroid_gland	229	197	161	185	159	129	208	161	142	244	211	174
Tongue	971	499	428	922	471	418	961	472	419	998	511	435
Ureter_Urethra	637	506	445	642	497	418	665	516	436	641	517	458
Uterus	783	305	236	587	245	191	654	228	177	867	321	247
Vagina	1502	1066	847	1536	1052	825	1651	1159	828	1505	1067	848
Vein	277	265	233	264	252	224	238	227	206	279	267	235
Vertebrae	2514	643	472	2367	685	479	2244	791	535	2506	647	473
commissura_anterior	7448	5757	2102	5969	4609	1872	7992	6443	1640	7895	6103	2228
commissura_posterior	2286	1801	1024	2111	1670	996	2042	1700	965	2307	1817	1032

## A.4 Duke, geerdet

frontales B-Feld (100  $\mu$ T), CNS-Gewebe

CNS Gewebe Duke, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 $\mu$ T]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,002	0,001	0,001	0,0006	0,003	0,002	0,002	0,001	0,007	0,006	0,005	0,002
Brain_white_matter	0,001	0,0009	0,0007	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0007	0,005	0,004	0,003	0,002
Cerebellum	0,001	0,0007	0,0007	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0006	0,005	0,003	0,003	0,002
Hippocampus	0,0006	0,0004	0,0004	0,0003	0,001	0,0007	0,0007	0,0005	0,002	0,002	0,002	0,001
Hypophysis	0,00007	0,00002	0,00002	0,00002	0,0001	0,00003	0,00003	0,00003	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001
Hypothalamus	0,0001	0,00006	0,00005	0,00005	0,0002	0,0001	0,00009	0,00009	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003
Medulla_oblongata	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002	0,0008	0,0006	0,0005	0,0004
Midbrain	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0005	0,0004	0,0004	0,0002	0,001	0,0009	0,0009	0,0005
Pinealbody	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004	0,00009	0,00007	0,00007	0,00007	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
Pons	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002	0,0006	0,0005	0,0004	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0008
Thalamus	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004

CNS Gewebe Duke, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 $\mu$ T]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,022	0,016	0,014	0,007	0,151	0,103	0,092	0,047	1,54	0,967	0,868	0,451
Brain_white_matter	0,014	0,011	0,01	0,006	0,091	0,071	0,063	0,039	0,865	0,677	0,609	0,388
Cerebellum	0,014	0,009	0,009	0,005	0,092	0,06	0,06	0,034	0,886	0,584	0,584	0,337
Hippocampus	0,006	0,005	0,005	0,003	0,042	0,031	0,031	0,023	0,391	0,295	0,295	0,215
Hypophysis	0,0009	0,0003	0,0003	0,0003	0,006	0,002	0,002	0,002	0,055	0,019	0,018	0,018
Hypothalamus	0,001	0,0008	0,0008	0,0008	0,009	0,006	0,005	0,005	0,083	0,054	0,052	0,052
Medulla_oblongata	0,002	0,002	0,002	0,001	0,016	0,012	0,011	0,008	0,144	0,114	0,102	0,076
Midbrain	0,003	0,003	0,003	0,002	0,022	0,017	0,017	0,01	0,211	0,162	0,162	0,101
Pinealbody	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,053	0,045	0,045	0,045
Pons	0,006	0,004	0,004	0,002	0,037	0,028	0,026	0,016	0,365	0,282	0,259	0,154
Thalamus	0,002	0,001	0,001	0,001	0,012	0,009	0,009	0,009	0,117	0,092	0,092	0,088

CNS Gewebe Duke, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 $\mu$ T]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	16,8	9,03	8,11	4,31	180	83,8	75,3	41,6	1544	605	552	352
Brain_white_matter	8,12	6,39	5,76	3,74	75	59,7	54,1	36,3	550	466	454	342
Cerebellum	8,52	5,66	5,66	3,32	79,6	54,2	54,2	32,8	664	384	384	271
Hippocampus	3,63	2,76	2,76	2,03	33,3	25,4	25,4	19,2	259	199	199	164
Hypophysis	0,581	0,193	0,189	0,186	6,35	2,02	1,67	1,63	50,7	20,9	17,5	17,4
Hypothalamus	0,777	0,52	0,497	0,497	7,89	5,73	5,31	5,31	66,7	56,1	52,1	52,1
Medulla_oblongata	1,25	1,04	0,945	0,717	12,9	10,9	9,97	7,87	90,8	71,9	71,7	58,7
Midbrain	2	1,55	1,55	0,969	19,2	14,8	14,8	9,66	140	112	112	84,8
Pinealbody	0,521	0,443	0,443	0,443	5,47	4,71	4,71	4,71	58,8	54	54	54
Pons	3,61	2,8	2,56	1,53	36,2	27,4	25,2	15,6	286	207	194	133
Thalamus	1,11	0,885	0,885	0,846	11,2	9,2	9,1	8,64	100	88,4	87,7	83,6







PNS Gewebe Duke, geerdet, frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	8.28	3.55	2.69	2.2	111	46.6	24.4	20.9	1294	542	249	221
Artery	29.3	9.17	9.02	3.65	680	202	194	46.7	6096	2110	2110	605
Bladder	15.2	8.85	8.85	4.14	155	88.6	88.6	41.2	1204	723	723	368
Blood_vessel	8.58	6.19	4.68	3.56	115	61.1	58.9	36.9	1359	791	769	384
Bone	521	263	263	26.3	858	671	653	398	6429	4998	4982	3047
Brain_grey_matter	16.8	8.39	8.11	4.48	180	78.2	75.3	43.3	1544	582	582	367
Brain_white_matter	8.12	6.39	5.76	3.74	75	59.7	54.1	36.3	550	466	454	342
Bronchi	7.44	3.79	3.76	2.51	86.6	42.5	42.5	27	997	556	556	308
Cartilage	20.8	12.1	12.1	7.45	277	171	171	76.4	1847	1509	1509	803
Cerebellum	8.52	6.85	6.85	3.43	79.6	64.8	64.8	33.8	664	437	437	278
Cerebrospinal_fluid	17.3	6.22	6.22	2.33	185	65.7	65.7	24.1	1567	632	632	249
Commissura_anterior	0.346	0.254	0.254	0.254	3.87	3.09	3.09	3.09	41.2	32.9	32.9	32.9
Connective_tissue	18.7	9.05	9.05	4.76	391	179	179	87	3603	1908	1908	1188
Cornea	2.3	1.2	0.54	0.539	26.9	12.8	5.96	5.94	295	131	73.2	72.8
Diaphragm	19.1	9.85	9.85	5.98	173	83.3	83.3	60.5	2480	1148	1048	662
Ear_cartilage	18.8	8.36	8.36	5	123	67.8	67.8	46	790	401	396	366
Ear_skin	18.8	14.5	14.5	11.1	126	115	115	76.4	1192	802	616	433
Epididymis	31.1	11.7	11.7	8.11	20.9	9.09	7.42	5.82	857	330	265	188
Esophagus	12.2	6.66	6.66	3.19	140	76.6	76.6	36.1	1744	943	943	450
Eye_Sclera	1.31	0.618	0.618	0.614	14.6	7	7	7	180	85.8	85.8	85.7
Eye_lens	5.13	2.21	2.21	2.1	54.6	23	23	22	541	225	225	217
Eye_vitreous_humor	2.19	1.26	1.26	0.81	22.3	13.9	13.9	8.99	223	145	145	103
Fat	129	53.1	53.1	19.1	898	750	750	308	7869	6913	6913	2784
Gallbladder	16.9	7.86	7.86	4.03	180	85.3	85.3	45.3	1870	910	910	515
Heart_lumen	7.46	5.15	5.15	2.64	66.5	50	50	28.8	593	474	474	303
Heart_muscle	12.3	9.53	9.53	5.78	132	96.9	96.9	55.4	1298	916	916	526
Hippocampus	3.63	2.76	2.76	2.07	33.3	25.4	25.4	19.4	259	199	199	165
Hypophysis	0.581	0.356	0.356	0.281	6.35	3.11	3.11	2.47	50.7	28.9	28.9	24.4
Hypothalamus	0.777	0.529	0.529	0.522	7.89	5.65	5.65	5.58	66.7	55.4	54.8	54.5
Intervertebral_disc	11.9	7.9	7.68	4.42	143	93.3	89.1	45	1759	1158	1062	502
Kidney_cortex	14.8	9.4	9.4	6.43	226	129	129	62.8	3168	1638	1638	654
Kidney_medulla	6.6	6.43	6.35	5.83	61.3	59.7	58.9	54.4	626	593	593	507
Large_intestine	44.1	24.4	24.4	8.2	350	201	201	86.2	3842	1934	1934	835
Large_intestine_lumen	8.46	7.53	7.41	6.23	93.2	81.3	76	63.4	1159	811	776	681
Larynx	7.07	5.99	5.68	4.49	71.6	51	48.5	40	863	457	457	384
Liver	26.4	21.1	17.5	10.3	208	165	141	88.6	2316	1435	1435	828
Lung	18	13.9	13.9	7.89	214	161	150	82.4	2026	1476	1338	789
Mandible	13.7	11	11	7.14	141	111	111	73.1	1227	987	987	676
Marrow_red	30.6	18.1	15.7	7.48	592	363	321	158	3848	2733	2573	1617
Medulla_oblongata	1.25	1.03	0.945	0.75	12.9	10.8	9.97	8.26	90.8	73.8	73.8	63.8
Meniscus	7.48	6.18	6.18	4.85	108	85.8	85.8	68.2	1341	978	964	778
Midbrain	2	1.71	1.71	1.01	19.2	16	16	9.96	140	121	121	87
Mucosa	11.5	8.83	8.83	6.92	139	83.1	83.1	50	1801	946	946	533
Muscle	302	64.4	64.4	8.58	776	388	388	89	7009	3840	3840	919
Nerve	20.3	9.08	7.99	5.92	241	94.2	92.5	53.6	2180	992	992	529
Pancreas	17.4	9	8.28	4.55	204	104	96	52.9	2076	1112	1112	596
Patella	9.1	6.06	5.67	3.57	111	79.9	76.8	52.2	853	728	714	627
Penis	42.1	23.4	23.4	12.1	429	237	237	128	3591	2020	2020	1205
Pinealbody	0.521	0.466	0.466	0.465	5.47	4.93	4.93	4.93	58.8	55.2	55.2	55.2
Pons	3.61	2.95	2.79	1.58	36.2	28.9	27.4	16	286	222	214	138
Prostate	16.6	9.04	9.04	6.67	179	91.7	91.7	67	1523	762	762	550
SAT	2573	695	591	20.1	1492	1009	1009	313	7408	5336	5336	2667
Skin	2681	1698	1620	891	2340	1866	1846	1034	7835	6013	5929	2273
Skull	24.4	17.9	17.9	11.3	260	190	190	116	2067	1616	1616	1053
Small_intestine	21.2	10.7	10.7	5.77	203	111	111	57.5	2406	1209	1209	603
Small_intestine_lumen	11.8	7.21	7.21	5.65	124	73.5	73.5	56.1	1408	843	843	607
Spinal_cord	6.06	3.05	2.94	1.68	58.3	26	26	16.6	582	280	270	198
Spleen	19.6	14	12.5	8.36	256	159	144	84.5	3813	1558	1558	714
Stomach	16.3	10.9	10.9	5.4	187	124	124	59.6	1884	1220	1220	625
Stomach_lumen	6.32	6.11	6.11	5.14	63.2	60.9	60.9	51.2	674	654	654	559
Teeth	5.51	4.21	4.21	3.14	54.5	41.7	41.7	30.8	493	397	397	303
Tendon_Ligament	41.4	22.8	21.6	13.7	772	428	428	283	5700	4074	4074	2715
Testis	29.4	8.48	8.31	1.12	48.8	13.4	10.8	6.37	1079	270	270	150
Thalamus	1.11	0.923	0.923	0.85	11.2	9.29	9.29	8.73	100	88.3	87.8	83.8
Thymus	1.57	0.923	0.807	0.694	13.4	7.72	7.72	6.29	125	82.4	79.4	63.7
Thyroid_gland	7.89	3.85	3.85	3.28	67.4	41.6	41.6	34.8	773	468	455	396
Tongue	7.11	2.77	2.33	1.56	70.3	26.4	23.2	15.2	532	227	227	146
Trachea	12.2	5.45	5.45	4.79	139	64.8	63.1	54.6	1660	745	730	649
Ureter_Urethra	23.6	16.2	15.2	11.4	246	171	159	119	2067	1507	1375	1059
Vein	41.1	17.8	17.8	5.06	898	393	393	57.9	7408	3246	3246	676
Vertebrae	42.4	37.2	37.2	12.4	522	445	445	137	4882	4204	4204	1278

vertikales E-Feld (1 kV/m), CNS-Gewebe

CNS Gewebe Duke geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	10 Hz				16 2/3 Hz				50 Hz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,002	0,002	0,002	0,0006	0,004	0,003	0,003	0,001	0,006	0,004	0,004	0,002
Brain_white_matter	0,001	0,0008	0,0008	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0007	0,004	0,002	0,002	0,002
Cerebellum	0,001	0,0007	0,0007	0,0004	0,002	0,001	0,001	0,0006	0,004	0,003	0,002	0,001
Hippocampus	0,001	0,0007	0,0007	0,0006	0,002	0,001	0,001	0,0009	0,003	0,002	0,002	0,002
Hypophysis	0,0006	0,0004	0,0003	0,0003	0,001	0,0006	0,0005	0,0005	0,002	0,002	0,001	0,001
Hypothalamus	0,0006	0,0004	0,0003	0,0003	0,001	0,0006	0,0005	0,0005	0,003	0,002	0,001	0,001
Medulla_oblongata	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002	0,0006	0,0005	0,0004	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0009
Midbrain	0,001	0,0007	0,0006	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0005	0,004	0,002	0,002	0,001
Pinealbody	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,001	0,0008	0,0008	0,0008
Pons	0,0009	0,0007	0,0007	0,0003	0,002	0,001	0,001	0,0006	0,003	0,002	0,002	0,001
Thalamus	0,001	0,0006	0,0006	0,0005	0,002	0,001	0,001	0,0009	0,003	0,002	0,002	0,002

CNS Gewebe Duke geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	150 Hz				1 kHz				10 kHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,016	0,01	0,009	0,005	0,106	0,061	0,057	0,031	1,11	0,52	0,486	0,273
Brain_white_matter	0,008	0,006	0,006	0,004	0,051	0,039	0,039	0,025	0,44	0,358	0,358	0,233
Cerebellum	0,011	0,007	0,006	0,004	0,071	0,043	0,037	0,025	0,667	0,407	0,343	0,229
Hippocampus	0,007	0,006	0,005	0,004	0,042	0,036	0,032	0,027	0,364	0,316	0,282	0,241
Hypophysis	0,007	0,004	0,003	0,003	0,042	0,027	0,021	0,021	0,386	0,247	0,195	0,194
Hypothalamus	0,007	0,004	0,003	0,003	0,045	0,026	0,02	0,02	0,411	0,244	0,19	0,19
Medulla_oblongata	0,004	0,003	0,003	0,002	0,027	0,021	0,02	0,016	0,256	0,204	0,191	0,155
Midbrain	0,01	0,006	0,006	0,003	0,06	0,038	0,036	0,021	0,535	0,337	0,327	0,192
Pinealbody	0,003	0,002	0,002	0,002	0,018	0,015	0,015	0,015	0,167	0,14	0,14	0,14
Pons	0,008	0,006	0,006	0,004	0,051	0,039	0,039	0,024	0,458	0,354	0,354	0,226
Thalamus	0,007	0,004	0,004	0,004	0,043	0,028	0,028	0,024	0,374	0,252	0,252	0,217

CNS Gewebe Duke geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	11,8	4,51	4,36	2,49	108	35,4	35,4	20,5	585	162	161	92,6
Brain_white_matter	3,82	3,24	3,24	2,12	29,5	26,3	26,3	17,6	139	130	130	92,9
Cerebellum	6,46	3,93	3,31	2,17	55,3	33,7	28,5	18,4	241	147	126	87,6
Hippocampus	3,21	2,84	2,57	2,2	25,2	22,9	21,2	18,1	117	104	101	86,5
Hypophysis	3,18	2,22	1,77	1,77	27,5	17,3	14	14	151	90,1	74,2	73,8
Hypothalamus	3,63	2,22	1,78	1,78	27,6	17,4	14,7	14,7	130	88,9	72	72
Medulla_oblongata	2,49	2,01	1,91	1,54	21,6	17,7	17	13,8	115	101	101	83,4
Midbrain	4,88	3,12	3,02	1,82	39	25,5	24,6	15,5	128	91,4	88,4	69,6
Pinealbody	1,62	1,37	1,37	1,37	14	11,9	11,9	11,9	82,1	71,5	71,5	71,5
Pons	4,38	3,42	3,29	2,2	37,4	29,4	27,3	19,1	165	129	121	96,5
Thalamus	3,29	2,33	2,33	2	26	19,4	19,4	16,4	115	96,9	96,9	83,6





PNS Gewebe Duke geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]											
	100 kHz				1 MHz				10 MHz			
	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Wt_p100	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	11.3	5.22	3.2	2.01	101	44.8	23.8	15.2	636	283	131	97.6
Artery	145	46	46	11.1	1529	453	443	88.7	6215	2173	2173	520
Bladder	11.8	7.64	5.38	3.41	106	67.8	50	31.1	657	427	328	213
Blood_vessel	183	69.2	13	4.54	200	110	105	36.3	1199	663	638	222
Bone	2390	1205	1205	96.5	1909	1494	1459	850	6357	5054	4751	2892
Brain_grey_matter	11.8	5.12	5.12	2.57	108	45.9	45.9	21.1	585	249	249	95.6
Brain_white_matter	3.82	3.24	3.24	2.13	29.5	26.3	26.3	17.6	139	130	130	92.9
Bronchi	5.85	3.52	3.52	2.48	51.2	30.7	30.7	21	309	185	185	125
Cartilage	104	33.6	29.9	13.4	409	241	241	109	1306	988	988	583
Cerebellum	6.46	4.12	4.03	2.25	55.3	35.4	34.5	19.1	241	155	148	89.1
Cerebrospinal_fluid	12.9	4.71	4.71	1.69	117	41.2	41.2	14.6	647	260	260	101
Commissura_anterior	4.1	3.21	3.21	3.21	32.5	25.9	25.9	25.9	141	121	121	121
Connective_tissue	222	85.6	41.6	21.7	890	413	413	194	3691	1985	1985	1191
Cornea	2.51	1.1	0.451	0.431	24	9.77	4.13	3.97	160	70.9	28.9	28.1
Diaphragm	6.74	4.19	4.19	2.7	43.9	28.2	26	17.8	317	158	142	103
Ear_cartilage	906	159	129	62.1	408	178	178	63.4	202	145	145	127
Ear_skin	911	723	723	461	419	327	327	271	262	176	176	146
Epididymis	6.02	2.25	2.25	1.61	18.3	8.14	3.14	2.44	86.8	42.1	42.1	30.6
Esophagus	7.14	4	4	2.96	60.4	31.8	31.8	23.2	369	183	183	145
Eye_Sclera	0.748	0.489	0.489	0.487	7.68	4.94	4.94	4.93	54.6	36	36	35.9
Eye_lens	3.49	1.67	1.15	1.1	32.6	15	11.8	9.99	214	85.5	76.8	57.4
Eye_vitreous_humor	1.45	0.786	0.604	0.364	13.3	7.24	5.7	3.66	82.7	43	34.5	25.2
Fat	619	167	153	69.1	2024	1669	1669	663	7757	6818	6818	2651
Gallbladder	7.68	3.54	3.41	1.86	64.2	28.6	28.6	16.1	388	179	179	106
Heart_lumen	4.04	2.8	2.8	1.51	24.9	18.6	18.6	11.6	119	93.7	93.7	65.7
Heart_muscle	6.2	4.71	4.71	3.55	49.5	33.3	33.3	22.6	319	168	168	112
Hippocampus	3.21	2.84	2.57	2.23	25.2	22.9	21.2	18.3	117	104	101	86.7
Hypophysis	3.18	2.18	1.77	1.76	27.5	17.1	14	13.9	151	90	74.2	73.4
Hypothalamus	3.63	2.17	1.99	1.99	27.6	17.1	15.8	15.8	130	88.1	81.7	81.2
Intervertebral_disc	13	8.69	8.69	2.75	117	74.5	74.5	20.8	730	460	460	117
Kidney_cortex	8.18	5.67	4.74	3.18	76	43.6	43.5	24.5	620	320	320	140
Kidney_medulla	3.8	3.2	3	2.47	28.9	23.8	22.1	17.8	162	128	117	98.5
Large_intestine	19	10.3	10.3	3.98	190	96.2	96.2	33.1	1322	625	625	197
Large_intestine_lumen	6	3.78	3.52	2.89	51.9	31.2	29.3	22.9	360	195	195	144
Larynx	29.9	5.39	4.17	3.4	49.7	37.5	36.7	27.7	352	258	247	182
Liver	9.54	7.72	7.72	4.15	82	63.7	63.7	25.7	502	375	375	133
Lung	7.08	5.19	5.04	3.04	64.2	44.3	43.2	23.7	389	254	248	124
Mandible	7.11	5.72	5.72	4.81	58.7	50.9	50.9	40.1	308	253	253	220
Marrow_red	139	81.8	78.3	33.5	1255	770	714	339	3678	2670	2516	1568
Medulla_oblongata	2.49	2.12	2.12	1.67	21.6	18.6	18.6	14.8	115	101	101	86.9
Meniscus	28	22.2	22.2	13.3	236	187	187	107	972	815	815	551
Midbrain	4.88	4.37	4.37	1.94	39	35.2	35.2	16.4	128	116	116	71.6
Mucosa	135	13.9	7.51	4.82	107	68.1	44.6	31	463	341	242	193
Muscle	1217	255	117	16.9	1732	773	773	128	6594	3407	3407	675
Nerve	17.9	12.2	12.2	5.65	153	97.3	97.3	43	836	518	518	242
Pancreas	8.21	4.32	3.83	2.47	71.5	37.1	32.5	21	432	234	208	132
Patella	25.7	18.5	18.5	12.8	181	137	137	103	801	680	680	512
Penis	64.3	27.3	4.68	1.27	54.4	23.1	16.7	9.95	354	165	125	72.7
Pinealbody	1.62	1.37	1.37	1.37	14	11.9	11.9	11.8	82.1	71.5	71.5	71.5
Pons	4.38	3.58	3.45	2.26	37.4	30.9	29.7	19.6	165	137	132	98.7
Prostate	6.92	3.06	3.03	2.25	58.6	24.4	24.4	17.7	356	147	147	104
SAT	12279	3332	2722	81.4	3177	2147	2147	677	7514	5073	5073	2589
Skin	12817	8137	7777	4178	4980	3994	3925	2251	7537	5796	5695	2196
Skull	26	11.5	11.5	7.26	123	97.8	97.8	62.7	775	602	602	382
Small_intestine	16.8	7.65	7.04	3.01	164	71.2	60.8	23.6	1165	482	363	141
Small_intestine_lumen	5.84	4.14	4.14	2.8	48.8	33.6	33.6	21.7	317	220	220	134
Spinal_cord	9.97	7.51	7.51	4.36	61	46.4	46.4	30.1	314	251	251	178
Spleen	6.49	4.5	4.23	2.75	63.5	38.3	36.3	21.3	527	224	224	103
Stomach	10.9	4.99	4.99	2.34	96.5	43.3	43.3	19.6	604	244	244	115
Stomach_lumen	3.33	2.62	2.62	2.18	27.9	19.7	19.7	15.7	175	117	117	94
Teeth	9.83	8.71	8.71	6.81	87.3	73	73	52.8	463	388	388	287
Tendon_Ligament	194	98.9	92.8	62	1691	921	898	609	5364	3871	3871	2615
Testis	20.9	4.24	2.8	1.44	13.1	4.47	2.87	1.34	190	54.9	37.5	18.8
Thalamus	3.29	2.38	2.38	2.04	26	19.4	19.4	16.8	115	96.9	96.9	85.4
Thymus	6.31	3.14	3.14	2.15	44	24.2	24.2	17.3	213	123	123	92.7
Thyroid_gland	40.5	7.67	3.67	3.16	39.9	27.4	25.8	22.9	253	170	158	144
Tongue	8.38	3.57	2.2	1.94	62	27	17.9	14.5	336	153	113	86.5
Trachea	5.7	3.76	3.18	2.88	45.9	26.8	25.5	23.1	273	175	171	150
Ureter_Urethra	8.26	4.36	4.34	3.37	79.2	40.7	40.7	28	468	257	256	188
Vein	210	91.8	91.8	11.3	2024	887	887	91.3	7514	3292	3292	536
Vertebrae	16.6	15.1	15.1	7.19	162	126	126	58.9	1053	721	721	324



CNS Gewebe Duke, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	10 kHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	2,5	0,96	0,565	2,24	0,886	0,519	2,52	1,13	0,559	2,39	0,927	0,544
Brain_white_matter	0,826	0,765	0,519	0,771	0,698	0,472	1,02	0,734	0,492	0,794	0,736	0,498
Cerebellum	1,37	0,854	0,517	1,22	0,777	0,467	1,02	0,638	0,444	1,31	0,82	0,495
Hippocampus	0,526	0,443	0,354	0,471	0,397	0,319	0,668	0,529	0,395	0,502	0,423	0,338
Hypophysis	0,382	0,205	0,199	0,377	0,2	0,197	0,412	0,2	0,194	0,38	0,203	0,198
Hypothalamus	0,455	0,227	0,227	0,439	0,215	0,215	0,439	0,217	0,217	0,448	0,222	0,222
Medulla_oblongata	0,253	0,224	0,176	0,23	0,204	0,162	0,358	0,256	0,206	0,243	0,215	0,17
Midbrain	0,517	0,382	0,237	0,521	0,343	0,218	0,554	0,335	0,22	0,52	0,365	0,228
Pinealbody	0,189	0,157	0,157	0,183	0,153	0,153	0,172	0,139	0,139	0,187	0,156	0,156
Pons	0,772	0,548	0,352	0,691	0,49	0,317	0,776	0,556	0,34	0,737	0,523	0,336
Thalamus	0,432	0,271	0,241	0,407	0,258	0,229	0,396	0,317	0,257	0,421	0,265	0,234

CNS Gewebe Duke, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	100 kHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	26,5	9,07	5,37	24	8,42	4,97	27,1	10,4	5,27	25,2	8,73	5,16
Brain_white_matter	7,62	7,07	4,93	7,21	6,49	4,53	9,52	6,89	4,67	7,29	6,77	4,72
Cerebellum	13,2	8,2	5,03	11,9	7,5	4,58	9,81	6,17	4,33	12,5	7,84	4,8
Hippocampus	4,85	4,1	3,31	4,36	3,7	2,99	6,09	4,86	3,66	4,6	3,9	3,15
Hypophysis	3,15	1,88	1,82	3,02	1,83	1,8	3,41	1,82	1,78	3,09	1,85	1,81
Hypothalamus	4,03	2,14	2,14	3,89	2,03	2,03	3,85	2,04	2,04	3,96	2,09	2,09
Medulla_oblongata	2,55	2,24	1,77	2,33	2,05	1,62	3,41	2,51	2,03	2,44	2,15	1,69
Midbrain	4,73	3,63	2,27	4,77	3,27	2,09	5,07	3,11	2,09	4,76	3,45	2,17
Pinealbody	1,84	1,54	1,54	1,78	1,5	1,5	1,67	1,36	1,36	1,81	1,52	1,52
Pons	7,58	5,37	3,48	6,82	4,83	3,14	7,55	5,41	3,32	7,2	5,1	3,31
Thalamus	3,83	2,44	2,28	3,61	2,31	2,15	3,65	2,95	2,41	3,72	2,38	2,22

CNS Gewebe Duke, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	1 MHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	263	84,2	50,7	241	79,2	47,4	271	93,7	48,7	247	80,5	48,3
Brain_white_matter	69,9	65,2	46,1	66,5	60,8	42,9	86,3	63,2	43,3	66,5	61,9	43,7
Cerebellum	122	75,3	47,4	112	70	43,8	93	56,9	40,7	115	71,4	44,8
Hippocampus	42,8	35,9	29,5	39,1	32,8	27	52,9	41,9	32,1	40,1	33,7	27,7
Hypophysis	31,7	15,2	14,5	30,4	14,7	14,4	26,2	14,4	14,1	30,8	14,9	14,4
Hypothalamus	32	18,5	18,5	30,7	17,5	17,5	29,9	17,4	17,4	31,1	17,8	17,8
Medulla_oblongata	24,4	21,5	17,2	22,5	19,8	15,9	30,6	23	18,9	23	20,3	16,3
Midbrain	40,1	32,4	20,4	38,3	29,6	18,9	40,6	25,3	18,6	38,2	30,3	19,3
Pinealbody	16,5	13,8	13,8	15,8	13,4	13,4	14,6	11,9	11,9	16	13,5	13,5
Pons	70,8	50,1	32,8	64,5	45,7	29,9	67,4	49	30,5	66,3	46,9	30,8
Thalamus	32,3	21,3	20,2	30,4	20,3	19,1	30,2	24,9	20,7	30,9	20,6	19,3

CNS Gewebe Duke, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	10 MHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>	E <sub>i,max</sub>	W <sub>s_p100</sub>	W <sub>s_p99</sub>
Brain_grey_matter	1940	584	381	1675	544	359	2113	646	393	1982	595	389
Brain_white_matter	568	527	376	538	476	350	614	533	382	581	540	386
Cerebellum	866	455	327	755	406	288	787	405	311	882	467	336
Hippocampus	267	232	200	260	200	175	363	284	232	276	240	207
Hypophysis	182	84,3	78,7	171	75,3	74,4	150	79,7	77,3	178	87,1	81
Hypothalamus	164	105	105	144	88,7	88,7	171	111	111	169	109	109
Medulla_oblongata	176	148	121	146	123	102	200	165	129	181	151	124
Midbrain	221	181	127	179	147	106	215	157	126	230	188	133
Pinealbody	114	96,9	96,9	102	92,3	92,3	100	81,1	81,1	117	97,4	97,4
Pons	432	300	211	355	246	173	434	310	210	449	312	219
Thalamus	179	143	134	146	122	117	177	158	144	190	149	139















PNS Gewebe Duke, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	100 kHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	19.2	5.51	3.52	17.1	4.89	3.13	12.8	4.92	3.77	18.5	5.3	3.39
Artery	173	54.4	12.3	160	50.3	11.6	119	46.7	12.8	173	54.3	12.3
Bladder	16.9	10.3	5.12	15.3	9.47	4.87	21.1	12	5.44	16.3	10	5.03
Blood_vessel	183	16.8	7	183	15.2	6.46	183	16.2	5.66	183	16.6	6.69
Bone	2887	1456	105	2656	1340	98.9	2553	1308	105	2870	1447	104
Brain_grey_matter	26.5	11.1	5.72	24	10	5.29	27.1	10.9	5.31	25.2	10.6	5.49
Brain_white_matter	7.62	7.07	4.93	7.21	6.49	4.53	9.52	6.89	4.67	7.29	6.77	4.72
Bronchi	12	5.55	3.85	10.7	4.97	3.57	6.64	4.57	3.1	11.6	5.33	3.75
Cartilage	104	34.9	14.5	104	31	14	104	41.1	14.8	104	34.4	14.4
Cerebellum	13.2	9.91	5.17	11.9	9.07	4.71	9.81	6.6	4.36	12.5	9.48	4.93
Cerebrospinal_fluid	28.5	10.9	2.77	25.7	9.82	2.64	28.5	7.68	2.48	27.1	10.4	2.67
Commissura_anterior	4.01	3.13	3.13	4.05	3.16	3.16	4.17	3.26	3.26	4.04	3.15	3.15
Connective_tissue	223	49.1	21.6	222	45.4	22	222	45.1	21.4	223	49	21.6
Cornea	4.79	0.898	0.893	4.31	0.817	0.813	3.99	0.9	0.875	4.55	0.858	0.852
Diaphragm	17.9	10.4	6.98	16.5	9.57	6.46	24.7	13.5	7.41	17.4	10.1	6.78
Ear_cartilage	910	135	62.5	900	132	62.9	894	124	62.4	917	135	62
Ear_skin	916	726	463	906	719	461	899	715	459	923	731	468
Epididymis	25.2	9.56	6.57	28.1	10.6	7.31	36.2	13.6	9.46	26.3	9.99	6.9
Esophagus	15.6	8.99	4.73	14.5	8.31	4.4	11.8	5.4	3.76	15.1	8.7	4.6
Eye_Sclera	1.11	1.01	1.01	1.14	0.92	0.916	1.9	0.964	0.956	1.06	0.966	0.962
Eye_lens	7.62	3.3	3.15	6.95	3.01	2.87	6.79	2.53	2.17	7.28	3.15	3.01
Eye_vitreous_humor	3.22	1.86	1.12	2.93	1.7	1.03	2.83	1.17	1	3.07	1.77	1.07
Fat	501	183	71.6	579	169	70.6	739	178	74.3	504	182	71.5
Gallbladder	9.41	4.55	2.21	14	6.56	3.36	23.6	10.8	5.68	11.4	5.41	2.7
Heart_lumen	11.4	7.87	4.02	10.3	7.07	3.62	5.02	3.46	2.15	11	7.59	3.88
Heart_muscle	18.2	14.2	8.96	16.4	12.8	8.04	10.8	6.67	4.2	17.6	13.7	8.63
Hippocampus	4.85	4.1	3.32	4.36	3.7	3.01	6.09	4.86	3.73	4.6	3.9	3.17
Hypophysis	3.15	1.88	1.77	3.02	1.83	1.76	3.41	1.82	1.75	3.09	1.85	1.76
Hypothalamus	4.03	2.14	2.12	3.89	2.03	2.02	3.85	2.23	2.2	3.96	2.09	2.07
Intervertebral_disc	13.5	9.19	5.01	12.9	8.68	4.81	14.1	8.81	4.75	13.2	8.97	4.92
Kidney_cortex	18.1	11.4	7.82	16.1	10.3	7.05	20.3	13.1	8.56	17.4	11	7.55
Kidney_medulla	8.39	7.6	6.81	7.47	6.84	6.14	8.69	8.38	7.8	8.07	7.33	6.57
Large_intestine	43.4	22.7	11.1	41.9	23.3	10.1	46.9	25.7	9.74	42.8	23.1	10.7
Large_intestine_lumen	14.3	10.7	8.41	12.8	9.64	7.68	11.5	10.1	8.28	13.8	10.3	8.15
Larynx	31.8	6.57	5.7	31	6.13	5.39	28.7	6.25	5.42	31.7	6.26	5.53
Liver	17.7	12.2	7.32	22.6	15	8.85	34.1	22.6	13.3	19.8	13.3	7.91
Lung	22.1	18.4	10.6	20.3	16.9	9.72	22.9	16.9	8.73	21.5	17.8	10.3
Mandible	20.3	16	11.5	18.5	14.6	10.4	15.9	11.7	10	19.4	15.3	10.9
Marrow_red	163	73.2	36.6	150	73.5	35.5	167	92.9	34.7	162	72.9	36.5
Medulla_oblongata	2.55	2.25	1.87	2.33	2.06	1.73	3.41	2.81	2.14	2.44	2.16	1.79
Mensiscus	31.7	25.2	15.9	31	24.6	14.6	26.4	23	16.2	30.5	24.2	15.7
Midbrain	4.73	4.22	2.44	4.77	4.28	2.28	5.07	4.49	2.19	4.76	4.25	2.36
Mucosa	136	12	7.69	135	10.9	7.42	135	10.5	8.18	136	11.5	7.54
Muscle	984	141	17.7	1138	130	17.6	1454	106	17.5	990	140	17.7
Nerve	24	13.3	6.96	22.6	11.7	6.71	27.8	18.4	7.55	23.6	13.1	6.86
Pancreas	25.6	12.1	6.9	23.1	10.9	6.2	12.2	5.67	3.37	24.7	11.7	6.65
Patella	32	20.1	13.7	29.2	19.3	13.5	28.6	18.7	13.5	31.5	20.1	13.5
Penis	59.7	24.7	12.4	68.9	24.1	12.2	76	22.2	12	52.9	24.6	12.4
Pinealbody	1.84	1.61	1.61	1.78	1.54	1.54	1.67	1.36	1.35	1.81	1.58	1.57
Pons	7.58	5.91	3.55	6.82	5.32	3.21	7.55	5.89	3.35	7.2	5.62	3.38
Prostate	23.3	10.5	7.03	21.2	9.97	6.79	19.1	9.86	7.29	22.5	10.3	6.93
SAT	11922	3285	85.3	11476	3024	83.4	14667	3111	86.1	11850	3265	85
Skin	13082	8905	4369	12043	8211	4365	15305	9280	4135	13003	8849	4354
Skull	34.9	27.2	15.6	31.5	24.5	14.2	30.9	24.5	14.6	33.2	25.9	14.8
Small_intestine	24.3	14.8	8.25	22.1	13.5	7.47	33.4	11.9	5.15	23.5	14.4	7.97
Small_intestine_lumen	16.4	10.1	8.08	14.9	9.16	7.32	8.74	6.78	5.01	15.9	9.75	7.81
Spinal_cord	11.9	8.8	4.39	11.1	8.23	4.38	13.3	7.11	4.68	11.5	8.53	4.39
Spleen	26	16.7	11	23.9	15.3	10.1	14.7	9.35	6.36	25.3	16.2	10.6
Stomach	23.2	15.3	7.46	21	13.9	6.8	13.8	7.88	4.03	22.4	14.8	7.22
Stomach_lumen	8.49	8.21	6.99	7.77	7.51	6.38	4.68	4.51	3.75	8.23	7.95	6.77
Teeth	10.7	9.18	6.99	10.3	8.93	6.84	10.3	9.19	6.85	10.5	9.06	6.88
Tendon_Ligament	233	108	68.5	215	98.9	64.5	219	111	68.9	232	108	68.2
Testis	36.3	6.87	1.94	33.9	7.45	1.85	26.1	9.45	1.91	35.4	7.3	2
Thalamus	3.83	2.53	2.28	3.61	2.5	2.2	3.65	2.95	2.51	3.72	2.52	2.24
Thymus	6.05	2.85	2.09	6.1	2.98	2.07	6.49	3.43	2.61	6.16	2.93	2.11
Thyroid_gland	40.6	6	5.28	40.5	5.4	4.78	40.5	6.51	5.63	40.6	5.72	5.05
Tongue	12.9	4.51	3.22	11.6	4.05	2.9	13.1	3.44	2.71	12.2	4.28	3.06
Trachea	15.4	7.17	5.25	14.3	6.81	5.18	13.4	6.82	5.57	15	7.02	5.19
Ureter_Urethra	23.8	15.5	11.8	23.6	15.4	11.6	23.4	15.1	11.1	23.8	15.5	11.7
Vein	210	84.4	13.4	198	86.4	12.3	248	108	13.5	209	84.1	13.4
Vertebrae	42	37.1	13.2	42.1	37.1	13	42.6	37.2	13.1	42.1	37.2	13.1

PNS Gewebe Duke, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	1 MHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	209	46.6	30.6	189	42.3	27.8	103	39.8	32.4	197	44	28.8
Artery	2207	636	122	2024	584	112	1309	484	119	2105	607	116
Bladder	158	99.4	48.9	146	92.6	47	205	115	52.9	150	94.9	47.7
Blood_vessel	258	163	55.7	235	149	53.9	299	145	51.6	245	155	53.7
Bone	2763	1920	1138	2534	1761	1043	2578	2012	1076	2635	1831	1085
Brain_grey_matter	263	108	53.7	241	99	50.3	271	106	49.3	247	101	51.2
Brain_white_matter	69.9	65.2	46.1	66.5	60.8	42.9	86.3	63.2	43.3	66.5	61.9	43.7
Bronchi	128	51.8	36.7	117	47.6	34.5	63.7	47	29.7	122	49.1	35
Cartilage	401	347	140	365	314	129	650	390	136	383	329	134
Cerebellum	122	89.9	48.7	112	83.7	45.1	93	58.3	41	115	85.4	46
Cerebrospinal_fluid	282	107	27.2	258	97.9	26.2	283	74.4	24.9	265	100	26.4
Commissura_anterior	32.1	25.4	25.4	32.3	25.6	25.6	32.9	26.3	26.3	32.3	25.6	25.6
Connective_tissue	1279	591	208	1174	542	196	1123	491	202	1221	564	199
Cornea	50.9	9.31	9.27	46.4	8.59	8.54	39.2	9.22	8.96	47.7	8.78	8.74
Diaphragm	213	103	66.1	201	96.4	62.8	187	100	69.8	206	98.6	63.8
Ear_cartilage	453	192	76.9	428	187	73.6	438	174	72.7	438	189	74.9
Ear_skin	453	327	264	428	309	270	458	355	280	438	316	270
Epididymis	26.1	6.65	5.88	23.1	6.9	5.82	22.3	7.93	6.34	26	7.09	5.87
Esophagus	170	96.5	47.6	162	91.1	45.1	129	64.9	36.7	164	92.9	45.9
Eye_Sclera	11.8	11	10.9	12.1	10.2	10.1	20.6	10.7	10.5	11.5	10.4	10.3
Eye_lens	77.4	32.9	31.6	71.8	30.5	29.3	66	24.9	21.5	73.3	31.1	29.9
Eye_vitreous_humor	31.3	19.5	12.1	29.1	18.1	11.3	27.6	12.8	10.9	29.7	18.5	11.5
Fat	2768	2415	813	2539	2215	757	2784	2183	798	2640	2303	779
Gallbladder	116	56.9	29.4	147	70.3	37.2	233	109	58.3	137	66.1	34.8
Heart_lumen	91.1	68.3	39.6	84.4	63.4	36.7	50.2	37.7	22.4	86.9	65.2	37.8
Heart_muscle	176	130	76.3	164	121	70.7	154	74.4	43.1	169	124	72.8
Hippocampus	42.8	35.9	29.7	39.1	32.8	27.2	52.9	41.9	32.5	40.1	33.7	27.9
Hypophysis	31.7	15.2	14.3	30.4	14.7	14	26.2	14.4	13.8	30.8	14.9	14.1
Hypothalamus	32	18.5	18.2	30.7	17.5	17.2	29.9	18.5	18.3	31.1	17.8	17.5
Intervertebral_disc	152	102	49.6	147	98	48.2	143	80.4	46.7	149	99.3	48.7
Kidney_cortex	208	116	72.5	192	107	67.7	288	165	77.7	198	111	69.4
Kidney_medulla	76.9	70.2	61.3	71.2	64.9	56.9	76.8	73.9	67.6	73.3	66.8	58.5
Large_intestine	447	237	109	415	219	102	372	214	94.7	427	226	105
Large_intestine_lumen	145	99.7	78.6	132	92.7	73.6	114	99.3	79	137	95.3	75.4
Larynx	78.3	61.1	49.5	71.9	56.1	47.5	97.9	52.9	47.2	73.8	57.6	48.1
Liver	156	110	67.9	179	123	76.6	251	173	106	171	119	73.7
Lung	225	186	102	212	175	95.8	257	179	89.9	216	179	98
Mandible	199	154	110	185	143	101	153	113	95.4	189	146	104
Marrow_red	1845	850	448	1688	779	412	1655	986	394	1757	810	427
Medulla_oblongata	24.4	21.9	18.2	22.5	20.2	16.8	30.6	25.3	20	23	20.7	17.2
Meniscus	261	193	155	236	185	141	247	208	151	247	183	147
Midbrain	40.1	35.5	21.9	38.3	34.3	20.3	40.6	36.2	19.3	38.2	34.2	20.7
Mucosa	171	99.8	56.7	160	93.7	54.9	162	82.2	55.8	163	95.8	55.4
Muscle	2456	1060	145	2252	971	147	2389	1070	144	2342	1010	147
Nerve	274	133	62	263	120	60	289	179	66.2	268	126	60.6
Pancreas	275	128	73.3	255	120	67.8	156	74	39.7	263	123	69.8
Patella	276	196	131	251	179	120	231	164	125	263	187	126
Penis	460	246	129	449	243	129	406	231	128	453	244	129
Pinealbody	16.5	14.6	14.5	15.8	14	13.9	14.6	11.9	11.9	16	14.1	14.1
Pons	70.8	55.1	33.4	64.5	50.3	30.5	67.4	53.4	30.7	66.3	51.6	31.3
Prostate	234	104	68	218	100	67.3	193	95.2	71.8	224	102	67.6
SAT	4363	2835	720	3995	2595	728	4444	3004	704	4156	2700	720
Skin	7310	5763	2093	6695	5278	2228	5434	4818	2112	6963	5490	2108
Skull	338	261	151	317	239	140	293	241	141	323	245	143
Small_intestine	242	143	76.6	226	134	71.2	287	127	49.1	232	138	73.2
Small_intestine_lumen	162	96	74.8	151	89.7	69.6	98.5	63.1	47	155	92	71.5
Spinal_cord	78.1	59.9	32.2	72.7	55.9	31.4	83.6	46.6	33.3	74.3	57.1	31.7
Spleen	319	180	104	301	169	98.5	211	118	70.3	307	173	101
Stomach	251	165	76.6	233	154	71.8	149	99.8	48.6	240	158	73.5
Stomach_lumen	79.4	76.4	64.8	74.5	71.9	60.9	52	50	41.7	76.2	73.5	62.3
Teeth	85.7	75.4	58.9	86.2	73.6	56.2	91.9	74.2	55.1	86.2	74.2	57
Tendon_Ligament	2460	1241	823	2254	1139	754	2189	1262	761	2345	1184	785
Testis	61.9	13.3	6.97	59.1	12.8	6.82	41	9.44	6.19	58.6	12.6	6.76
Thalamus	32.3	21.7	20.3	30.4	21.1	19.2	30.2	24.9	21.7	30.9	21.3	19.6
Thymus	51.4	24.2	19	48.7	24.1	18.1	48.9	25.1	20.3	50.4	24.4	18.4
Thyroid_gland	105	54.5	48.2	96.7	50.1	44.4	92.4	61.2	51.1	99.4	51.4	45.6
Tongue	113	41.1	27.7	103	37.5	25.3	116	30.6	23	106	38.5	26
Trachea	168	69.6	56.5	159	67.3	56.7	136	66.3	59.4	162	68.1	56.7
Ureter_Urethra	246	160	121	246	160	120	247	159	117	246	160	121
Vein	2712	988	132	2488	906	122	2784	1220	126	2586	942	127
Vertebrae	519	444	141	520	445	140	525	446	141	520	445	140

PNS Gewebe Duke, geerdet frontales B-Feld vertikales E-Feld	E <sub>i</sub> [V/m] bei E <sub>vert</sub> =1kV/m und B <sub>front</sub> =100 uT											
	10 MHz											
	H front + E vert, phi=0°			H front + E vert, phi=45°			H front + E vert, phi=90°			H front + E vert, phi=180°		
	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99	E <sub>i,max</sub>	Ws_p100	Ws_p99
Adrenal_gland	1835	346	239	1528	286	216	1036	349	308	1906	359	246
Artery	11434	3973	945	8816	3059	796	8751	3599	1032	12311	4282	1030
Bladder	1141	760	402	1106	692	386	1532	902	462	1149	767	409
Blood_vessel	1900	1305	450	1800	1007	450	2557	1183	484	2046	1407	463
Bone	11750	8220	5173	9068	6625	4152	12291	9481	5539	12644	8846	5577
Brain_grey_matter	1940	781	403	1675	672	376	2113	822	396	1982	799	411
Brain_white_matter	568	527	376	538	476	350	614	533	382	581	540	386
Bronchi	1197	572	339	1052	556	326	805	553	313	1241	581	343
Cartilage	2511	2192	1003	2239	1806	924	3104	2497	1103	2749	2363	1094
Cerebellum	866	518	335	755	463	295	787	407	314	882	532	344
Cerebrospinal_fluid	2159	869	256	1862	748	253	2182	686	253	2192	884	257
Commissura_anterior	139	120	120	138	120	120	143	126	126	141	121	121
Connective_tissue	6770	3614	1611	5215	2785	1669	7226	3543	1746	7294	3893	1738
Cornea	438	93.4	93.2	365	81.6	81.5	339	99.8	98	452	95.2	95.1
Diaphragm	2757	1163	679	2577	1088	661	2175	971	719	2788	1175	686
Ear_cartilage	850	474	419	825	418	381	824	504	449	878	487	431
Ear_skin	1162	643	485	1149	599	439	1198	777	503	1194	666	503
Epididymis	855	276	192	870	272	191	888	256	189	845	273	188
Esophagus	1923	1058	500	1808	987	472	1699	824	420	1943	1070	506
Eye_Sclera	146	112	111	175	97.4	97	227	116	115	142	114	114
Eye_lens	648	275	266	577	244	236	601	223	211	662	281	271
Eye_vitreous_humor	271	175	122	243	157	110	253	135	118	276	178	123
Fat	13569	11660	4397	10968	9636	3806	15625	13730	4854	14633	12573	4734
Gallbladder	1543	765	427	1803	879	496	2246	1077	614	1501	746	416
Heart_lumen	693	553	356	625	500	322	479	383	244	709	565	364
Heart_muscle	1497	1059	616	1356	963	555	1611	752	428	1529	1081	629
Hippocampus	267	232	200	260	200	175	363	284	236	276	240	208
Hypophysis	182	84.3	79.4	171	78.1	73.4	150	79.7	74.5	178	87.1	80.7
Hypothalamus	164	105	104	144	89.9	89.4	171	114	113	169	109	108
Intervertebral_disc	1764	1136	525	1735	1088	509	1816	983	507	1770	1143	529
Kidney_cortex	2889	1521	705	3056	1580	669	3767	1947	709	2933	1545	715
Kidney_medulla	725	689	561	660	626	511	682	646	582	738	701	573
Large_intestine	4535	2309	922	4087	2068	861	3304	2003	907	4633	2358	938
Large_intestine_lumen	1470	907	739	1276	822	684	1099	917	797	1514	924	750
Larynx	744	537	428	829	490	415	1073	487	424	751	544	431
Liver	1987	1235	732	2240	1389	805	2689	1665	939	1948	1213	721
Lung	2318	1469	869	2144	1372	811	2152	1518	823	2339	1486	881
Mandible	1497	1193	852	1331	1065	746	1328	936	803	1528	1217	868
Marrow_red	6975	4561	2718	5362	3531	2262	7048	5033	2759	7526	4929	2931
Medulla_oblongata	176	157	131	146	132	110	200	165	135	181	160	134
Meniscus	2007	1430	1124	1565	1170	939	1872	1616	1215	2170	1537	1218
Midbrain	221	196	131	179	159	108	215	157	127	230	205	136
Mucosa	1869	1022	563	1744	976	546	2014	876	557	1890	1033	565
Muscle	11900	5864	1104	9328	4817	1049	13287	6862	1158	12833	6333	1169
Nerve	2250	1024	561	2151	1104	556	2520	1506	607	2278	1098	570
Pancreas	2431	1292	707	2201	1174	635	1679	911	473	2477	1316	722
Patella	1322	1121	970	1014	891	776	1390	1197	1037	1471	1224	1057
Penis	3775	2021	1201	3647	2008	1202	3629	2062	1212	3800	2032	1200
Pinealbody	114	103	103	102	93.7	93.5	100	81.1	81	117	105	104
Pons	432	330	218	355	271	178	434	338	212	449	343	227
Prostate	1841	825	544	1670	784	546	1596	777	581	1853	832	545
SAT	12644	9629	3696	10415	7420	3701	14921	10398	3879	13615	10373	3966
Skin	14277	10795	3269	11011	8325	3157	12807	10712	3719	15371	11624	3510
Skull	2732	2136	1189	2379	1860	1108	2559	2044	1198	2777	2171	1211
Small_intestine	2370	1386	702	2320	1271	638	3061	1245	510	2407	1408	715
Small_intestine_lumen	1618	972	707	1481	888	642	1174	700	506	1644	988	720
Spinal_cord	485	376	241	568	317	236	747	321	250	491	384	243
Spleen	4272	1753	794	3972	1626	742	3303	1345	627	4326	1777	803
Stomach	2201	1429	710	1995	1292	654	1559	1029	537	2243	1457	720
Stomach_lumen	757	734	630	702	681	583	583	565	480	767	744	640
Teeth	630	552	426	539	471	363	722	528	390	645	565	438
Tendon_Ligament	10244	7047	4698	7867	5556	3772	9800	7880	5007	11064	7593	5065
Testis	1247	270	158	1144	281	155	898	297	145	1262	268	157
Thalamus	179	143	135	146	122	118	177	158	148	190	149	140
Thymus	275	159	125	207	125	102	332	163	130	309	170	133
Thyroid_gland	997	532	450	874	468	407	912	597	507	1014	541	458
Tongue	709	321	212	607	273	181	771	256	191	723	329	216
Trachea	1806	750	644	1699	739	651	1491	768	678	1834	757	644
Ureter_Urethra	2068	1383	1074	2065	1377	1065	2066	1367	1071	2070	1385	1076
Vein	11806	5091	1026	10415	4571	844	14921	6537	1095	12698	5488	1099
Vertebrae	4847	4185	1286	4857	4187	1285	4906	4215	1294	4858	4193	1289



## A.5 Einfluss der Hautleitfähigkeit (Körpermodell Roberta), 50 Hz

frontales B-Feld (100  $\mu\text{T}$ ), CNS-Gewebe

CNS Roberta, geerdet frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 $\mu\text{T}$ ]								
	Hautleitfähigkeit, 50 Hz								
	0,0002 S/m			0,0004 S/m			0,1 S/m		
	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,006	0,004	0,002	0,006	0,004	0,002	0,006	0,004	0,002
Brain_white_matter	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002
Cerebellum	0,009	0,003	0,001	0,009	0,003	0,001	0,009	0,003	0,001
Hippocampus	0,001	0,001	0,0008	0,001	0,001	0,0008	0,001	0,001	0,0008
Hypophysis	0,001	0,0006	0,0006	0,001	0,0006	0,0006	0,001	0,0006	0,0006
Hypothalamus	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003
Medulla_oblongata	0,002	0,001	0,0006	0,002	0,001	0,0006	0,002	0,001	0,0006
Midbrain	0,001	0,0008	0,0006	0,001	0,0008	0,0006	0,001	0,0007	0,0006
Pinealbody	0,0003	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002
Thalamus	0,001	0,0009	0,0006	0,001	0,0009	0,0006	0,001	0,0009	0,0006

vertikales E-Feld (1 kV/m), CNS-Gewebe

CNS Roberta, geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]								
	Hautleitfähigkeit, 50 Hz								
	0,0002 S/m			0,0004 S/m			0,1 S/m		
	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99
Brain_grey_matter	0,007	0,004	0,001	0,007	0,004	0,001	0,007	0,004	0,001
Brain_white_matter	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001
Cerebellum	0,012	0,005	0,002	0,012	0,005	0,002	0,012	0,005	0,002
Hippocampus	0,001	0,0009	0,0008	0,001	0,001	0,0009	0,001	0,001	0,0009
Hypophysis	0,001	0,0003	0,0003	0,002	0,0003	0,0003	0,002	0,0003	0,0003
Hypothalamus	0,0009	0,0004	0,0004	0,0009	0,0004	0,0004	0,0009	0,0004	0,0004
Medulla_oblongata	0,012	0,006	0,004	0,012	0,006	0,004	0,012	0,006	0,004
Midbrain	0,005	0,003	0,002	0,005	0,003	0,002	0,005	0,003	0,002
Pinealbody	0,0006	0,0004	0,0004	0,0006	0,0004	0,0004	0,0006	0,0004	0,0004
Thalamus	0,002	0,001	0,0009	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001

frontales B-Feld (100  $\mu$ T), PNS-Gewebe

PNS Roberta, geerdet frontales B-Feld	Ei [V/m pro 100 uT]								
	Hautleitfähigkeit, 50 Hz								
	0,0002 S/m			0,0004 S/m			0,1 S/m		
	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99
Artery	0.01	0.005	0.002	0.01	0.005	0.002	0.006	0.003	0.002
Bladder	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.0008
Bone	0.151	0.023	0.004	0.086	0.024	0.004	0.011	0.009	0.006
Brain grey matter	0.006	0.004	0.002	0.006	0.004	0.002	0.006	0.004	0.002
Brain white matter	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002
Cartilage	0.002	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.006	0.001	0.001
Cerebellum	0.009	0.004	0.002	0.009	0.004	0.002	0.009	0.004	0.002
Cerebrospinal fluid	0.011	0.003	0.001	0.011	0.003	0.001	0.011	0.003	0.001
Connective tissue	0.309	0.04	0.003	0.201	0.028	0.003	0.009	0.006	0.004
Ear cartilage	0.011	0.002	0.002	0.011	0.002	0.002	0.01	0.002	0.002
Ear skin	0.017	0.007	0.007	0.017	0.007	0.007	0.016	0.007	0.006
Esophagus	0.0008	0.0004	0.0004	0.0008	0.0004	0.0004	0.0008	0.0005	0.0005
Eye Sclera	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002
Eye vitreous humor	0.0009	0.0004	0.0003	0.0009	0.0004	0.0003	0.0009	0.0004	0.0003
Fat	0.015	0.007	0.003	0.013	0.007	0.004	0.009	0.009	0.004
Gallbladder	0.005	0.002	0.002	0.005	0.002	0.002	0.005	0.002	0.002
Heart lumen	0.003	0.002	0.0008	0.003	0.002	0.0008	0.003	0.002	0.0008
Heart muscle	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003
Hippocampus	0.001	0.001	0.0009	0.001	0.001	0.0009	0.001	0.001	0.0009
Hypophysis	0.001	0.0008	0.0008	0.001	0.0008	0.0008	0.001	0.0008	0.0008
Hypothalamus	0.0004	0.0003	0.0003	0.0004	0.0003	0.0003	0.0004	0.0003	0.0003
Intervertebral disc	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001
Kidney cortex	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002
Kidney medulla	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Large intestine	0.047	0.01	0.004	0.041	0.009	0.004	0.006	0.005	0.004
Large intestine lumen	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002
Liver	0.008	0.005	0.004	0.008	0.005	0.004	0.008	0.005	0.003
Lung	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002
Mandible	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002
Marrow red	0.005	0.002	0.002	0.006	0.003	0.002	0.01	0.005	0.004
Medulla oblongata	0.002	0.001	0.0008	0.002	0.001	0.0008	0.002	0.001	0.0008
Meniscus	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001	0.004	0.003	0.002
Midbrain	0.001	0.001	0.0006	0.001	0.001	0.0006	0.001	0.001	0.0006
Muscle	0.023	0.011	0.002	0.018	0.009	0.003	0.011	0.007	0.003
Nerve	0.006	0.004	0.002	0.006	0.004	0.002	0.006	0.004	0.002
Ovary	0.002	0.001	0.0009	0.002	0.001	0.0009	0.002	0.001	0.0008
Pancreas	0.001	0.0008	0.0006	0.001	0.0008	0.0006	0.001	0.0008	0.0006
Patella	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
Pinealbody	0.0003	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002
SAT	0.596	0.195	0.01	0.382	0.129	0.008	0.014	0.012	0.005
Skin	0.696	0.382	0.261	0.449	0.289	0.202	0.018	0.013	0.005
Skull	0.012	0.01	0.004	0.012	0.01	0.004	0.012	0.01	0.004
Small intestine	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002
Small intestine lumen	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
Spinal cord	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001
Spleen	0.005	0.004	0.003	0.005	0.004	0.003	0.005	0.004	0.003
Stomach	0.004	0.002	0.001	0.004	0.002	0.001	0.004	0.002	0.001
Stomach lumen	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Teeth	0.001	0.001	0.0009	0.001	0.001	0.0009	0.001	0.001	0.0009
Tendon Ligament	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002	0.007	0.004	0.003
Thalamus	0.001	0.0009	0.0006	0.001	0.0009	0.0006	0.001	0.0009	0.0006
Thymus	0.001	0.001	0.0007	0.001	0.001	0.0007	0.002	0.001	0.0007
Tongue	0.002	0.0008	0.0005	0.002	0.0008	0.0005	0.002	0.0008	0.0005
Trachea	0.0006	0.0004	0.0004	0.0006	0.0004	0.0004	0.0007	0.0005	0.0005
Ureter Urethra	0.01	0.004	0.004	0.009	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002
Uterus	0.001	0.0007	0.0006	0.001	0.0006	0.0006	0.001	0.0006	0.0005
Vagina	0.016	0.008	0.006	0.015	0.007	0.006	0.004	0.004	0.004
Vein	0.009	0.004	0.002	0.009	0.004	0.002	0.008	0.004	0.002
Vertebrae	0.006	0.004	0.003	0.006	0.004	0.003	0.006	0.005	0.003

vertikales E-Feld (1 kV/m), PNS-Gewebe

PNS Roberta, geerdet vertikales E-Feld	Ei [V/m pro 1 kV/m]								
	Hautleitfähigkeit, 50 Hz								
	0,0002 S/m			0,0004 S/m			0,1 S/m		
	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99	Ei,max	Ws_p100	Ws_p99
Artery	0.024	0.01	0.006	0.025	0.011	0.006	0.023	0.01	0.006
Bladder	0.006	0.004	0.003	0.006	0.004	0.003	0.006	0.004	0.003
Bone	1.27	0.195	0.026	0.618	0.17	0.027	0.04	0.032	0.023
Brain grey matter	0.007	0.006	0.001	0.007	0.006	0.001	0.007	0.006	0.001
Brain white matter	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001
Cartilage	0.099	0.012	0.002	0.052	0.006	0.002	0.024	0.003	0.002
Cerebellum	0.012	0.006	0.002	0.012	0.006	0.002	0.012	0.006	0.002
Cerebrospinal fluid	0.013	0.004	0.002	0.013	0.004	0.002	0.013	0.004	0.002
Connective tissue	2.59	0.335	0.018	1.43	0.199	0.017	0.034	0.022	0.014
Ear cartilage	0.532	0.111	0.037	0.538	0.112	0.038	0.549	0.114	0.039
Ear skin	0.532	0.424	0.381	0.538	0.428	0.385	0.549	0.437	0.393
Esophagus	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
Eye Sclera	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002
Eye vitreous humor	0.035	0.0003	0.0002	0.018	0.0003	0.0002	0.001	0.0003	0.0002
Fat	0.129	0.04	0.016	0.1	0.041	0.017	0.037	0.034	0.016
Gallbladder	0.006	0.002	0.002	0.006	0.002	0.002	0.006	0.002	0.002
Heart lumen	0.007	0.004	0.001	0.007	0.004	0.001	0.007	0.004	0.001
Heart muscle	0.008	0.008	0.006	0.008	0.008	0.006	0.008	0.008	0.006
Hippocampus	0.001	0.0009	0.0008	0.001	0.001	0.0009	0.001	0.001	0.0009
Hypophysis	0.001	0.0006	0.0006	0.002	0.0006	0.0006	0.002	0.0007	0.0006
Hypothalamus	0.0009	0.0004	0.0004	0.0009	0.0004	0.0004	0.0009	0.0004	0.0004
Intervertebral disc	0.006	0.003	0.002	0.006	0.003	0.002	0.006	0.003	0.002
Kidney cortex	0.005	0.004	0.002	0.005	0.004	0.002	0.005	0.004	0.002
Kidney medulla	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Large intestine	0.02	0.005	0.004	0.019	0.005	0.004	0.006	0.005	0.004
Large intestine lumen	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002
Liver	0.007	0.006	0.004	0.008	0.006	0.004	0.007	0.006	0.004
Lung	0.006	0.005	0.003	0.006	0.005	0.003	0.006	0.005	0.003
Mandible	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003
Marrow red	0.04	0.021	0.015	0.042	0.022	0.015	0.038	0.02	0.014
Medulla oblongata	0.012	0.007	0.005	0.012	0.007	0.005	0.012	0.007	0.005
Meniscus	0.015	0.008	0.007	0.016	0.009	0.007	0.015	0.008	0.007
Midbrain	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002
Muscle	0.201	0.094	0.012	0.136	0.065	0.012	0.032	0.023	0.01
Nerve	0.012	0.007	0.005	0.013	0.007	0.005	0.013	0.007	0.005
Ovary	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002
Pancreas	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002
Patella	0.008	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007
Pinealbody	0.0006	0.0004	0.0004	0.0006	0.0004	0.0004	0.0006	0.0004	0.0004
SAT	5	1.65	0.081	2.72	0.933	0.059	0.107	0.042	0.019
Skin	5.84	3.21	2.19	3.21	2.06	1.44	0.115	0.055	0.019
Skull	0.138	0.01	0.006	0.07	0.011	0.006	0.013	0.011	0.006
Small intestine	0.006	0.003	0.002	0.006	0.003	0.002	0.006	0.003	0.002
Small intestine lumen	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002
Spinal cord	0.012	0.009	0.007	0.013	0.009	0.007	0.013	0.009	0.007
Spleen	0.004	0.003	0.002	0.004	0.003	0.002	0.004	0.003	0.002
Stomach	0.007	0.003	0.002	0.007	0.003	0.002	0.007	0.003	0.002
Stomach lumen	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Teeth	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002
Tendon Ligament	0.045	0.025	0.012	0.038	0.022	0.012	0.024	0.015	0.012
Thalamus	0.002	0.001	0.0009	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
Thymus	0.005	0.002	0.002	0.006	0.002	0.002	0.005	0.002	0.002
Tongue	0.009	0.002	0.001	0.009	0.002	0.001	0.009	0.002	0.001
Trachea	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003
Ureter Urethra	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003
Uterus	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002
Vagina	0.006	0.003	0.003	0.006	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003
Vein	0.03	0.017	0.007	0.031	0.017	0.007	0.027	0.016	0.007
Vertebrae	0.012	0.01	0.005	0.013	0.01	0.005	0.013	0.01	0.005

# | Verantwortung für Mensch und Umwelt |

**Kontakt:**

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)

E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



**Bundesamt für Strahlenschutz**