

# Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz

**Ergänzende Analysen von Daten zur Exposition durch RFID  
Technologien aus FV 3609S80002 und Untersuchungen an  
Warensicherungsanlagen - Vorhaben 3612S80004**

**Auftragnehmer:  
Seibersdorf Labor GmbH, Österreich**

**G. Schmid  
R. Hirtl  
P. Schneeweiß  
T. Jhala  
D. Sainitzer**

**Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) 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 BMU (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-92/14**

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:  
**urn:nbn:de:0221-2014080611454**

Salzgitter, August 2014

**Verfasser:**

Dipl. Ing. Gernot Schmid  
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

Pia Schneeweiß  
Fachbereich EMV, Geschäftsfeld EMC & Optics  
Seibersdorf Labor GmbH  
A-2444 Seibersdorf

Tobias Jhala  
Fachbereich EMV, Geschäftsfeld EMC & Optics  
Seibersdorf Labor GmbH  
A-2444 Seibersdorf

David Sainitzer, 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)

## ZUSAMMENFASSUNG

Zusätzlich zu zehn bereits im einem früheren Projekt analysierten elektronischen Artikelsicherungssystemen (EAS), wurden im gegenständlichen Vorhaben zehn weitere häufig eingesetzte EAS-Geräte strahlenschutztechnisch analysiert, sowie die im genannten früheren Projekt durchgeführten numerischen Berechnungen im Hinblick auf die intrakorporal auftretenden Feldgrößen neu, bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln nach ICNIRP 2010, bewertet.

In Einklang mit den früheren Ergebnissen, zeigten auch die aktuellen Messungen, dass bei allen am Markt befindlichen EAS-Technologien in der Nähe der Antennen lokal deutliche Überschreitungen der in ICNRP 1998 und ICNIRP 2010 definierten Referenzwerte auftreten. Bei einigen der untersuchten Geräte lag sogar der in EN 62369-1 als Beurteilungsgröße vorgesehene Raummittelwert der magnetischen Feldstärke bzw. Flussdichte noch oberhalb der ICNIRP Referenzwerte. Die durchgeführten Immissionsmessungen, sowie die numerischen Berechnungen der intrakorporal induzierten Feldgrößen zeigten übereinstimmend deutliche technologiespezifische Unterschiede von EAS Systemen. Während die Ergebnisse für Radiofrequenz **RF-EAS Systeme** (Frequenzbereich typ. 8,2 MHz), selbst bei Annahme ungünstiger Expositionsbedingungen, keinerlei Hinweise auf Überschreitungen der Basiswerte gemäß ICNIRP 2010 und ICNIRP 1998 ergaben, kann bei elektromagnetischen **EM-EAS Systemen** (Arbeitsfrequenzen typ. 16 Hz, 5 kHz, 7,5 kHz), bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010, zwar eine Überschreitung der Basiswerte im Zentralnervensystem-Gewebe im Kopf unter in der Praxis üblichen Bedingungen (Annäherung an die Antennen auf nicht weniger als ca. 3 cm) ausgeschlossen werden, nicht jedoch peripheren Geweben. Die größte strahlenschutztechnische Relevanz ist, auf Basis der durchgeführten Untersuchungen, den akustomagnetischen **AM-EAS Systemen** zuzuschreiben, für die eine Überschreitung der Basiswerte im ZNS Gewebe offensichtlich nur dann ausgeschlossen werden kann, wenn ein Mindestabstand zwischen Kopf und Antennen von ca. 10 cm eingehalten wird. Für PNS Gewebe deuten die Berechnungsergebnisse darauf hin, dass eine Überschreitung der Basiswerte, insbesondere bei großen Personen, schon bei Distanzen zur Antenne von 20 cm möglich ist.

Schließlich zeigten die Berechnungsergebnisse für ein 120 kHz Zutrittskontrollsystem (Vicinity Coupling), dass bei Zugrundelegung der ICNIRP 2010 Bewertungsregeln zwar eine Überschreitung der Basiswerte im ZNS Gewebe ausgeschlossen werden kann, in PNS Geweben jedoch eine Basiswertüberschreitung bei Distanzen von weniger als ca. 10 cm zur Antenne möglich ist.

Sollte in der für RFID-Geräte geltenden Produktnorm EN 50364 bezüglich der anzuwendenden Referenz- bzw. Basiswerte eine Umstellung von den ICNIRP 1998 Empfehlungen auf die ICNIRP 2010 Empfehlungen erfolgen, müssen die Methoden der Konformitätsbewertung von RFID-Geräten in der zugehörigen Grundnorm EN 62369-1 grundlegend überarbeitet werden.

## ABSTRACT

Complementary to investigations on ten electronic article surveillance systems (EAS) carried out in an earlier research project, additional ten frequently deployed EAS devices were dosimetrically analysed in the present project. Moreover, the numerical computations of the previous project regarding the induced electric field quantities inside the tissues have been re-evaluated according to the recent ICNIRP 2010 guidelines.

In line with the earlier results, the present measurements results indicated that all EAS technologies presently on the market cause local magnetic field strengths close to the antennas which are clearly above the reference levels according to both ICNIRP 1998 and 2010. In some cases even the volume averaged field strength defined in EN 62369-1 as the relevant exposure metric exceeded the ICNIRP reference levels.

The measurements and numerical computations concerning electric field quantities induced inside the body consistently demonstrated that the relevance of EAS systems regarding personal exposure is clearly depending on the EAS technology. With respect to radiofrequency RF-EAS systems (operating frequency typically 8.2 MHz), the numerical computations did not give any indication that the basic restrictions according to ICNIRP 2010 and 1998 can be exceeded even under the assumption of unfavorable exposure conditions. In contrast, the results obtained for electromagnetic EM-EAS systems (operating frequencies typically 16 Hz, 5 kHz, 7,5 kHz), (evaluated according to ICNIRP 2010) indicated that induced electric field strengths in the central nervous system of the head (CNS tissues) are not to be expected above the corresponding basic restrictions according to ICNIRP 2010 for typical situations in practice, i.e. distances between head and antenna of at least 3 cm. However, induced electric field strengths inside peripheral tissues (PNS-tissues) above the corresponding basic restrictions cannot be excluded. The comparably highest importance regarding personal exposure could be shown for the widespread acustomagnetic AM-EAS systems, for which induced electric field strengths in CNS tissues above the basic restrictions can be excluded only in case of a minimum distance between head and antenna of approximately 10 cm and, that induced electric field strengths inside PNS tissues in excess of the basic restrictions may occur already at distances to the antenna of approximately 20 cm, particularly for large body dimensions.

Finally, the re-evaluation of the numerical computations for a 120 kHz access control system (vicinity coupling), carried out in the previous project, indicated that the induced electric field strengths inside CNS tissues are not to be expected above the ICNIRP 2010 basic restrictions, however, in PNS tissues induced electric field strength may be above the basic restrictions for distances of less than approximately 10 cm.

In case the product standard relevant for RFID devices, EN 50364, adopts the limits defined in the ICNIRP 2010 guidelines, the assessment methods defined in the corresponding basic standard EN 62369-1 need to be substantially revised.

# INHALT

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>UNTERSUCHUNGEN AN ELEKTRONISCHEN WARENSICHERUNGSANLAGEN....</b>	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>Messmethoden und Messgrößen.....</b>	<b>7</b>
2.1.1	Räumliches Messpunktgitter .....	7
2.1.2	Verwendete Messgeräte und Messunsicherheiten .....	8
2.1.3	Messverfahren .....	10
2.1.4	Begriffsdefinitionen für die Mess- und Beurteilungsgrößen .....	10
<b>2.2</b>	<b>Messergebnisse.....</b>	<b>14</b>
2.2.1	EM-EAS-System 2300 (Meto bzw. Checkpoint Systems).....	14
2.2.2	AM-EAS-System EuroMax (Sensormatic).....	18
2.2.3	AM-EAS-System Ultra Exit 1121 (Sensormatic) .....	21
2.2.4	RF-EAS-System Plaza (Checkpoint Systems).....	24
2.2.5	RF-EAS-System OID 45 (Nedap).....	27
2.2.6	RF-EAS-System Evolve P10 (Checkpoint Systems).....	30
2.2.7	RF-EAS-System Bex (AGON).....	33
2.2.8	RF-EAS-System Design (Gateway) .....	36
2.2.9	RF-EAS-System EC30 (Nedap) .....	39
2.2.10	RF-EAS-System Evolve G10 (Checkpoint Systems) .....	42
2.2.11	Zusätzliche Messungen an einem Referenzpunkt .....	45
<b>2.3</b>	<b>Strahlenschutztechnische Relevanz der elektrischen Feldkomponente von EM- und AM-EAS Systemen.....</b>	<b>46</b>
<b>2.4</b>	<b>Schlussfolgerungen aus den messtechnischen Untersuchungen .....</b>	<b>49</b>
<b>2.5</b>	<b>Numerische Berechnungen.....</b>	<b>50</b>
2.5.1	Betrachtete Expositionsszenarien .....	50
2.5.2	Berechnungsmethoden .....	51
2.5.3	Allgemeine Unsicherheitsbetrachtungen.....	52

2.5.4	EM-EAS System 2300 (Meto bzw. Checkpoint Systems).....	53
2.5.5	AM-EAS System Euromax (Sensormatic).....	57
2.5.6	RF-EAS System OID45 (Nedap).....	61
2.5.7	RF-EAS System Design (Gateway).....	65
<b>3</b>	<b>ERGÄNZENDE DATENANALYSEN ZU FV3609S80002.....</b>	<b>71</b>
<b>3.1</b>	<b>Ausgangssituation .....</b>	<b>71</b>
<b>3.2</b>	<b>Berechnungs- und Bewertungsmethoden.....</b>	<b>71</b>
<b>3.3</b>	<b>Expositionsszenarien mit EAS-Systemen .....</b>	<b>72</b>
3.3.1	Allgemeine Expositionsszenarien.....	72
3.3.2	Exposition von Personen mit metallischen Implantaten.....	73
3.3.3	AM-EAS System <i>Ultra Exit</i> .....	79
3.3.4	AM-EAS System <i>Ultra Post</i> .....	81
3.3.5	RF-EAS System PG39 – Pulse Listen Mode .....	83
3.3.6	RF-EAS System PG39 – Sweep Mode .....	86
3.3.7	RF-EAS System <i>Trend</i> .....	88
3.3.8	RF-EAS System <i>Evolve G20</i> .....	89
3.3.9	Deaktivator für AM-EAS Etiketten .....	91
3.3.10	Deaktivator für RF-EAS Etiketten.....	93
<b>3.4</b>	<b>Expositionsszenarien mit RFID-Lesegeräten .....</b>	<b>94</b>
<b>4</b>	<b>ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER MESS- UND BERECHNUNGSERGEBNISSE .....</b>	<b>99</b>
<b>4.1</b>	<b>Strahlenschutztechnische Bewertung von EAS-Anlagen.....</b>	<b>99</b>
<b>4.2</b>	<b>Strahlenschutztechnische Bewertung von 120 kHz RFID Geräten mit Vicinity Coupling ...</b>	<b>100</b>
<b>4.3</b>	<b>Vergleich der Bewertungsergebnisse nach ICNIRP 1999 und ICNIRP 2010 .....</b>	<b>100</b>
<b>4.4</b>	<b>Konsequenzen im Hinblick auf EN 62369-1 .....</b>	<b>103</b>
<b>5</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>106</b>

<b>6 ANHANG.....</b>	<b>107</b>
<b>6.1 Grundbegriffe der EAS-Technologien.....</b>	<b>107</b>
6.1.1 Radiofrequenz-Systeme .....	107
6.1.2 Elektromagnetische Systeme .....	108
6.1.3 Akustomagnetische Systeme .....	108
<b>6.2 Verwendeter Mittelungsalgorithmus zur Ermittlung der intrakorporalen Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010 .....</b>	<b>109</b>

# 1 EINLEITUNG

In [1] erfolgte eine umfassende Bestandsaufnahme bezüglich der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern, die von RFID-Anwendungen verursacht werden. Insbesondere zeigten sich dabei elektronische Artikelsicherungsanlagen (EAS-Anlagen) als strahlenschutztechnisch interessant, da die von solchen Geräten ausgehenden Immissionen im Nahbereich der Antennen, insbesondere bei der akustomagnetischen (AM-) EAS-Technologie (58 kHz), in den meisten Fällen (zumindest lokal) deutlich oberhalb der Referenzwerte nach ICNIRP 1998 [2] liegen. Zusätzlich ist diese Tatsache, bzw. überhaupt die Tatsache, dass es sich dabei um Quellen elektromagnetischer Felder handelt, den exponierten Personen (Konsumenten) in den meisten Fällen nicht bekannt. Auch wenn die in [1] durchgeführten numerischen Berechnungen Überschreitungen der Basiswerte (im Zentralnervensystem) nur bei unmittelbarer, in der Praxis jedoch nicht auszuschließender Annäherung ( $< 10$  cm) an die Antennen zeigten, bleiben derartige Systeme, insbesondere im Licht der neuen ICNIRP-Richtlinien aus 2010 [3], strahlenschutztechnisch interessant.

Im Zuge des gegenständlichen Vorhabens wurden daher, zusätzlich zu den zehn in [1] analysierten EAS-Systemen, bei zehn weiteren Anlagen die verursachten Immissionen messtechnisch erfasst (Kapitel 2). Für ausgewählte Geräte und Expositionsszenarien wurden zusätzlich numerische Berechnungen der im Körper induzierten elektrischen Feldstärken durchgeführt und strahlenschutztechnisch auf Basis der ICNIRP-Empfehlungen aus 2010 bewertet (Kapitel 3).

Weiters wurden alle im Rahmen von [1] durchgeführten numerischen Berechnungen im Frequenzbereich bis 10 MHz einer Neuauswertung gemäß der neuen ICNIRP Empfehlungen aus 2010 unterzogen und die Ergebnisse in Kapitel 4 des vorliegenden Berichts zusammengefasst.

## 2 UNTERSUCHUNGEN AN ELEKTRONISCHEN WARENSICHERUNGSANLAGEN

### 2.1 Messmethoden und Messgrößen

#### 2.1.1 Räumliches Messpunktgitter

Für alle Immissionsmessungen im Nahbereich der betrachteten EAS-Antennen wurde das in Abbildung 2.1 dargestellte Messpunktgitter verwendet, das einerseits eine Bewertung der von den Geräten emittierten elektromagnetischen Felder gemäß EN 62369-1 [4] ermöglicht (siehe Abbildung 2.2) und andererseits detailliert genug ist, um eine Validierung der in AP2 zu entwickelnden numerischen Quellenmodelle der Antennen durchführen zu können.

In einer Ebene in 10 cm Distanz zur jeweils betrachteten Antenne erfolgte dazu eine detaillierte Erfassung der Feldverteilung mit einer Gitterschrittweite von 10 cm x 10 cm. In Abständen von 20 cm, 35 cm und 50 cm wurden die Messungen in einem Messpunktgitter für den Rumpf gemäß EN 62369-1 [4] durchgeführt (Abbildung 2.2).

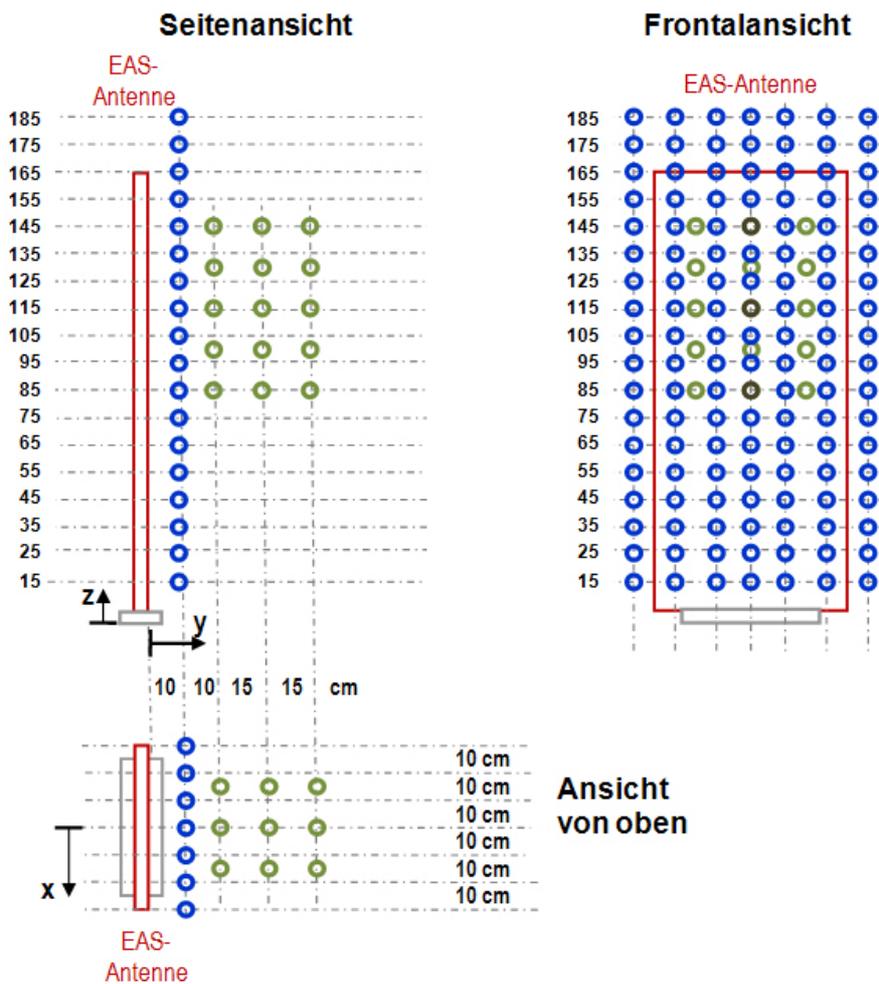


Abbildung 2.1: Verwendetes Messpunktgitter

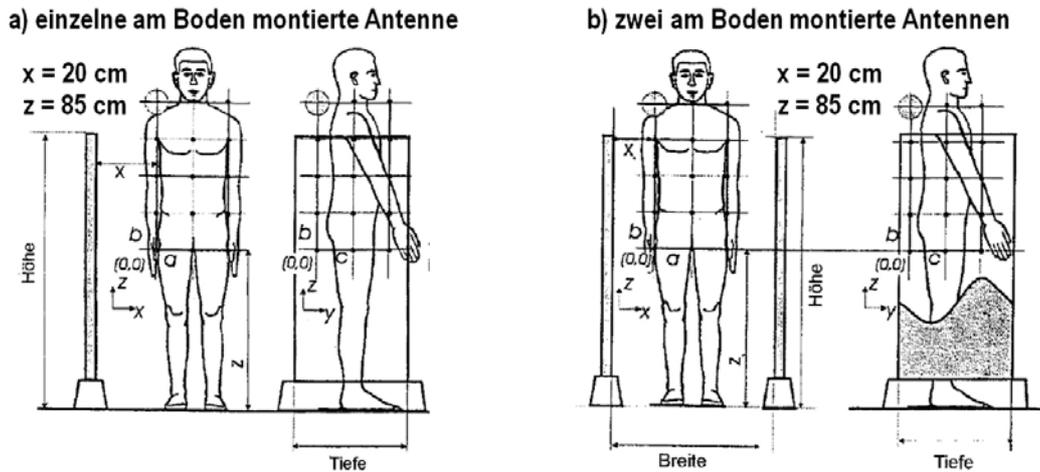


Abbildung 2.2: Definition der Lage des Messpunktgitters für den Rumpf relativ zu am Boden montierten EAS-Antennen gemäß EN 62369-1

## 2.1.2 Verwendete Messgeräte und Messunsicherheiten

Die folgenden Messgeräte kamen im Rahmen der durchgeführten Messungen zum Einsatz:

Messgerät/-system	Hersteller	Sondentyp (Feldgröße) / Frequenzbereich	Kalibrierunsicherheit (k=2)
ELT400	Narda	H-Feld (5 Hz - 400 kHz)	±15%
EMR300 mit Sonde Typ 12	Narda	H-Feld (300 kHz – 30 MHz)	±15%
NIFSPEC mit ELT400	Seibersdorf Lab.	H-Feld (5 Hz – 400 kHz)	±15%
EMR300 mit Sonde Typ 18	Narda	E-Feld (100 kHz – 3 GHz)	±20%
ESM-100	Maschek	E-Feld (5 Hz – 400 kHz)	±15%
SRM3000	Narda	H-Feld (100 kHz – 250 MHz)	±15%

Tabelle 2.1: Verwendete Messgeräte

Die für Magnetfeldmessungen im Frequenzbereich bis 30 MHz eingesetzten Messaufnehmer besitzen alle einen Standard-Messaufnehmerquerschnitt von 100 cm<sup>2</sup>. Die angegebene Kalibrierunsicherheit bezieht sich auf ein Vertrauensintervall von 95% (k=2).

Bei dem in Tabelle 2.1 angeführten System NIFSPEC handelt es sich um ein Multikanal-Signalverarbeitungssystem für beliebige analoge Messsignale bis 400 kHz. Die an den Signaleingängen anliegenden Messsignale werden mittels kommerziell erhältlicher professioneller Datenerfassungsmodule (PXI-Produktfamilie, National Instruments Corporation) digitalisiert und mittels einer entsprechenden Messsoftware, entwickelt unter LabView (National Instruments Corporation), weiterverarbeitet (Abbildung 2.3).

Die Datenerfassungsmodule sind hinsichtlich verschiedenster Parameter (Eingangsspannungsbereich, Abtastrate, Länge der einzulesenden Messsignalintervalle) über die inhouse entwickelte Messsoftware flexibel in weiten Grenzen konfigurierbar. In der gegenwärtigen Ausführung ist das System optimiert für frequenzselektive Magnetfeldmessungen

im Frequenzbereich 0 Hz – 400 kHz. Validiert und erfolgreich eingesetzt wurde dieses System bereits in früheren Projekten [1], [5], [6].

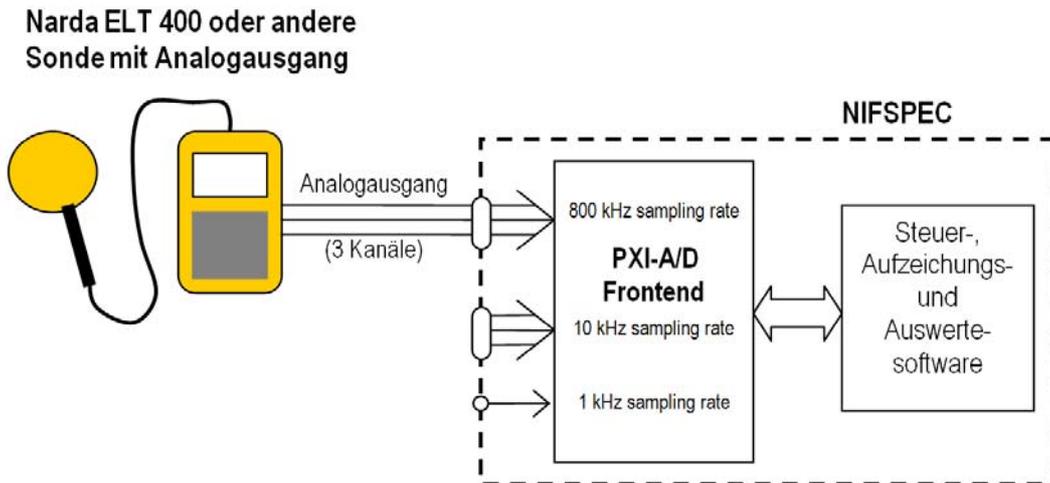


Abbildung 2.3: System NIFSPEC zur frequenzselektiven Messung niederfrequenter Magnetfelder bis 400 kHz

Die Messsoftware zur Datenerfassung (über eine schnelle digitale Schnittstelle mit dem Datenerfassungsmodulen verbunden) und Datenauswertung des NIFSPEC läuft vollständig auf einem leistungsfähigen Computer mit entsprechend großen Speicherressourcen und entsprechender Geschwindigkeit, sodass die Aufzeichnung und Speicherung einer Messsequenz von einer Sekunde Länge über den Frequenzbereich von 5 Hz- 400 kHz innerhalb von ca. 2-3 Sekunden erfolgen kann. Frequenzabhängige Kalibrierfaktoren werden bei der Messung automatisch berücksichtigt. Zusätzlich können externe Triggerquellen und Anti-Aliasing Filter definiert und bei der Messung verwendet werden.

Die Gesamtmessunsicherheit wird neben den in Tabelle 2.1 angegebenen Werten für die Kalibrierunsicherheit vor allem durch die Positionierunsicherheit der Feldsonden bestimmt. Diese kann für die Messungen vor Ort im Einzelhandel mit maximal  $\pm 2$  cm angegeben werden. Der Beitrag zur Gesamtunsicherheit zufolge der Sondenpositionierunsicherheit ist vom vorherrschenden Feldgradienten und damit auch von der Entfernung der Messposition zur Antenne abhängig. Aus den vorliegenden Messdaten und den daraus ermittelbaren Feldgradienten kann diese Unsicherheit im Bereich zwischen  $\pm 5$  und  $\pm 10\%$  abgeschätzt werden. Für die durchgeführten Messungen ergeben sich damit die in Tabelle 2.2 angeführten erweiterten Gesamtmessunsicherheiten.

Messung	Gesamtmessunsicherheit (k=2)
H-Feld bei EM- und AM-Systemen (16 Hz, 5 kHz, 58 kHz)	$\pm 18\% \dots \pm 25\%$
E-Feld bei EM- und AM-Systemen (16 Hz, 5 kHz, 58 kHz)	$\pm 18\% \dots \pm 25\%$
H-Feld bei RF-Systemen (8,2 MHz)	$\pm 22\% \dots \pm 28\%$
E-Feld bei RF-Systemen (8,2 MHz)	$\pm 22\% \dots \pm 28\%$

Tabelle 2.2: Gesamtmessunsicherheiten für die Messungen an EAS-Systemen im Einzelhandel

### 2.1.3 Messverfahren

Bei allen Messungen wurden zunächst die von den betrachteten EAS-Antennen emittierten Signale im Zeitbereich mittels einer einfachen Mess-Spule und einem Digitaloszilloskop analysiert, um später eine zuverlässige Immissionsbewertung sowohl auf Basis der Effektivwerte als auch auf Basis der Spitzenwerte durchführen zu können. Je nach festgestelltem Crestfaktor erfolgten die Detailmessungen entlang des oben beschriebenen Messpunktgitters mit den jeweils bestgeeigneten Messgeräten aus Tabelle 2.1.

Etwaige Immissionsbeiträge von anderen („fernen“) als die jeweils untersuchte EAS-Antenne lagen im untersuchten Raumbereich bei weniger als 5% (in 50 cm Distanz zur untersuchten Antenne) des Hauptbeitrages der untersuchten Antenne. Bei Verringerung der Distanz zur untersuchten Antenne verlieren die Beiträge ferner Antennen naturgemäß immer mehr an Bedeutung, da die Immissionen zunehmend von der untersuchten Antenne dominiert werden. Bei Antennen mit nicht-kontinuierlichen Aussendungen, bei denen die Immissionsspitzenwerte die strahlenschutztechnisch relevanten Immissionsgrößen darstellen, können die Immissionsbeiträge ferner Antennen einfach (zumindest aufgrund der Pulsamplitude) identifiziert und damit eine Verfälschung der Messergebnisse ausgeschlossen werden. Bei Antennen mit kontinuierlicher Aussendung und Immissionsbewertung auf Basis der Effektivwerte sind Messwertverfälschungen in der oben genannten Größenordnung (< 5%) grundsätzlich denkbar. Im Rahmen dieses Projektes war dies allerdings nicht zutreffend, da in derartigen Fällen keine gleichartigen Antennensysteme in unmittelbarer Nähe installiert waren.

### 2.1.4 Begriffsdefinitionen für die Mess- und Beurteilungsgrößen

Da die von den untersuchten Geräten und Systemen erzeugten elektromagnetischen Felder teilweise relativ komplizierte zeitliche Charakteristika besitzen, sollen im Folgenden einige Begriffe definiert werden, die in den nachfolgenden Kapiteln zur Beschreibung der Feldcharakteristika und Ergebniswerte verwendet werden.

#### 2.1.4.1 Kenngrößen für Signale im Zeitbereich

Für die strahlenschutztechnische Beurteilung von Immissionsgrößen (H, B, E) sind unterschiedliche Kenngrößen, wie z.B. Effektivwerte oder Spitzenwerte sinnvoll bzw. notwendig. Bei der Angabe von Feldgrößen ohne Index erschließt sich deren Bedeutung im vorliegenden Bericht aus dem Text bzw. aus der Bild- oder Tabellenunterschrift. Feldgrößenbezeichnungen mit Index sind wie folgt definiert:

##### „harmonisches“ oder „sinusförmiges“ Signal bzw. Trägerschwingung

Signale bzw. Feldgrößen mit harmonischem bzw. sinusförmigem Zeitverlauf werden entweder durch ihren Spitzenwert (mit Index „PEAK“) oder durch ihren Effektivwert (Index „RMS“) beschrieben, wobei bei kontinuierlicher Aussendung solcher Signale der einfache Zusammenhang gilt (sinngemäß auch für B und E):

$$H_{\text{PEAK}} = \sqrt{2} \cdot H_{\text{RMS}} \quad (2.1)$$

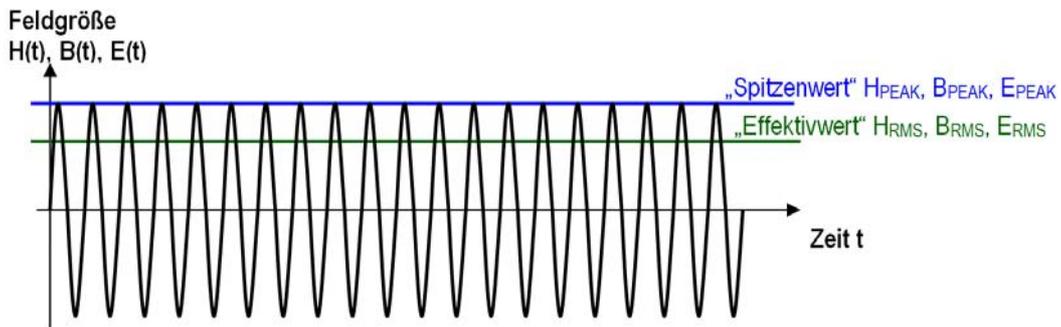


Abbildung 2.4: Begriffsdefinition für Spitzenwert (Index „PEAK“) und Effektivwert (Index „RMS“) bei sinusförmigen Signalen

„gepulste Trägerschwingung“ bzw. „gepulstes Signal“

Bei gepulsten Signalen, die aus einer periodischen Abfolge von einzelnen Trägerfrequenzpaketen (Bursts) bestehen, ist für den Zusammenhang zwischen Spitzenwert (Index „PEAK“) und Effektivwert (Index „RMS“) das Tastverhältnis („Duty Cycle“)  $T_{EIN}/T$  relevant (vgl. Abbildung 2.5). Zusätzlich zum Spitzenwert und dem Effektivwert ist bei derartigen Signalen auch die Definition des Burst-Effektivwertes (Index „Burst-RMS“ oder „RMS-Burst“) manchmal sinnvoll. Zwischen den einzelnen Größen bestehen die folgenden Zusammenhänge (sinngemäß auch für B und E)

$$H_{PEAK} = \sqrt{2} \cdot H_{Burst-RMS} \quad (2.2)$$

$$H_{RMS} = H_{PEAK} \sqrt{\frac{T_{EIN}}{2 \cdot T}} \quad (2.3)$$

wobei für die Gültigkeit von (2.3) vorausgesetzt wurde, dass jeder Burst aus einer hinreichend großen Anzahl von Perioden des Trägersignals besteht. In der Praxis ist diese Bedingung bei den hier untersuchten Geräten immer erfüllt.

Ein Index „PEAK-Burst“ (Burst-Spitzenwert) ist gemäß der Darstellung in Abbildung 2.5 gleichbedeutend mit Index „PEAK“ (Spitzenwert), d.h., z.B.,  $H_{PEAK} = H_{PEAK-Burst} = H_{Burst-PEAK}$ .

Weiters wird nicht zwischen Groß- und Kleinschreibung im Index unterschieden, d.h., z.B.,  $H_{RMS} = H_{rms}$ .

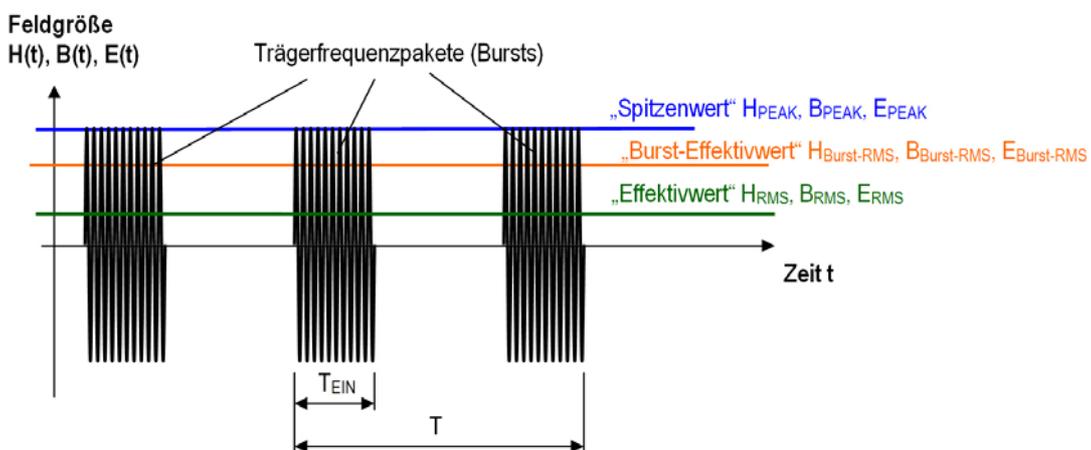


Abbildung 2.5: Begriffsdefinition für Duty Cycle, Spitzenwert (Index „PEAK“), Effektivwert (Index „RMS“) und Burst-Effektivwert (Index „Burst\_RMS“) bei gepulsten Signalen

#### 2.1.4.2 Beurteilung im Frequenzbereich 100 kHz bis 10 MHz

Im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 10 MHz wurden die Immissionen sowohl nach ICNIRP 1998 [2] als auch nach ICNIRP 2010 [3] bewertet. Im Hinblick auf die Beurteilung nach ICNIRP 1998 wurde dabei eine im Vergleich zum Original formal leicht modifizierte Bewertung vorgenommen.

Im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 10 MHz legt ICNIRP 1998 für die Referenzwerte das Verhältnis von Spitzenwerten zu Effektivwerten der Immissionen (Feldstärken) nach einer Formel fest, mit der der Übergang vom Faktor  $\sqrt{2}$  (gültig für Reizwirkungen im Bereich  $< 100$  kHz) zum Faktor 32 (gültig im Bereich  $> 10$  MHz) bewerkstelligt wird. Für diese Vorgangsweise besteht offenbar keine biophysikalische Begründung, sondern sie dürfte vielmehr, wie generell der Verlauf der Referenzwerte in diesem Frequenzbereich, von der Intention getragen sein, im Frequenzbereich stetig verlaufende Referenzwerte für die Effektivwerte und die Spitzenwerte zu definieren, anstatt separate Referenzwerte für Reizwirkungen und thermische Wirkungen festzulegen. Zudem erscheint, wie von ICNIRP selbst in [2] angemerkt, der Faktor 32 auf nur relativ schwacher wissenschaftlicher Grundlage zu stehen. Für den Basiswert in Form der im Gewebe induzierten Stromdichte sind im Frequenzbereich  $> 100$  kHz in ICNIRP 1998 hingegen nur mehr Limits für die Effektivwerte, jedoch keine Limits für die Spitzenwerte der induzierten Stromdichte festgelegt, wofür aus (bio)physikalischer Sicht ebenfalls kein Grund erkennbar ist. Zum Schutz vor Reizwirkung ist es, den grundlegenden Prinzipien von ICNIRP folgend, durchaus als sinnvoll anzusehen, auch im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 10 MHz die Umrechnung von Basis-Effektivwert auf Basis-Spitzenwert durch Multiplikation mit 1,414 durchzuführen, was im Rahmen dieses Projekts auch gemacht wurde. In der Ergebnisdarstellung wurde dies, bei Angabe des Spitzen-Basiswertes durch den Zusatz „Reizwirkung“ gekennzeichnet.

Den obigen Überlegungen folgend wurde auch bei der Beurteilung nach den Referenzwerten mit separaten Referenzwerten für Reizwirkung und thermische Wirkung (Wärmewirkungen) beurteilt. Die Effektiv-Referenzwerte im Hinblick auf thermische Wirkungen ( $H_{\text{RMS,Ref,therm}}$ ,  $E_{\text{RMS,Ref,therm}}$ ) werden dabei entsprechend den in [2] im Frequenzbereich 100 kHz bis 10 MHz angeführten Referenzwerten angenommen.

Im Hinblick auf die Effektiv-Referenzwerte für Reizwirkung wurde folgende Überlegung angestellt (erklärt am Beispiel der Basiswerte und Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998): Der Basiswert für die induzierte elektrische Stromdichte steigt im Frequenzbereich zwischen 1 kHz und 10 MHz linear mit der Frequenz, was die mit der Frequenz abnehmende Sensitivität der Nervenzellen im Hinblick auf das Auslösen von Aktionspotenzialen widerspiegelt. Da die Induktionswirkung (Übertragungsmechanismus von externen Feldern auf intrakorporale dosimetrische Größen) ebenfalls linear mit der Frequenz zunimmt ergeben sich im Hinblick auf die Reizwirkung frequenzunabhängige Referenzwerte für die äußeren Feldgrößen, was sich in den in [2] angeführten Referenzwerten zumindest bis 150 kHz (für die magnetische Feldstärke) bzw. bis 1 MHz (für die elektrische Feldstärke) abbildet. Die Tatsache, dass in [2] ab 150 kHz (für die magnetische Feldstärke) bzw. ab 1 MHz (für die elektrische Feldstärke) mit der Frequenz fallende Referenzwerte angegeben sind, ist eine Folge des aus formalen Gründen eingeführten stetigen Übergangs zwischen Reizwirkungs-relevanten Referenzwerten und Wärmewirkungs-

relevanten Referenzwerten. Letztere sind ab 10 MHz aufgrund von Ganzkörperresonanzeffekten bei Fernfeldbedingungen wesentlich geringer als die Reizwirkungs-relevanten Referenzwerte bei 10 MHz (Abbildung 2.6).

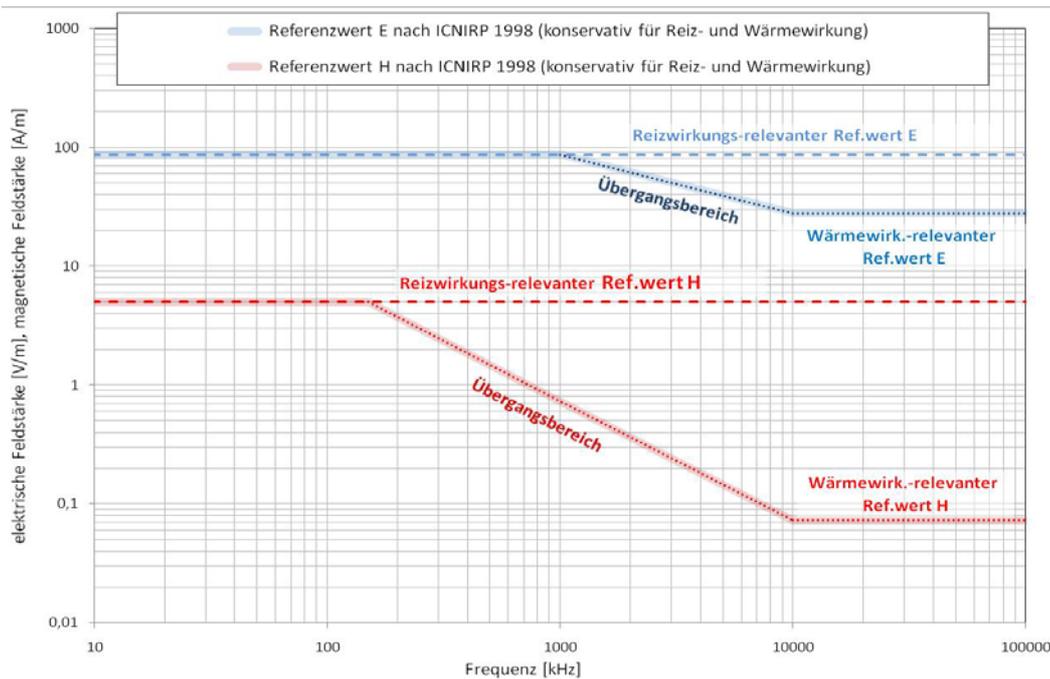


Abbildung 2.6: Zur Erklärung der Unterscheidung von Reizwirkungs-relevanten Referenzwerten und Wärmewirkungs-relevanten Referenzwerten, wie sie in diesem Bericht im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 10 MHz separat betrachtet werden.

Im Hinblick auf die Messergebnisse im Frequenzbereich zwischen 100 kHz und 10 MHz werden daher zusätzlich zu den Wärmewirkungs-relevanten Effektiv-Referenzwerten auch die Reizwirkungs-relevanten Effektiv-Referenzwerte sowie die zugehörigen Reizwirkungs-relevanten Spitzen-Referenzwerte  $H_{PEAK,Ref,Reiz}$ ,  $E_{PEAK,Ref,Reiz}$ , in Betracht gezogen, wobei die Umrechnung von Reizwirkungs-relevanten Effektiv-Referenzwerten auf Reizwirkungs-relevante Spitzen-Referenzwerte durch Multiplikation mit  $\sqrt{2}$  ( $\approx 1,414$ ) erfolgte. Für Burst-förmige Immissionen liefert die Anwendung dieses Verfahrens eine (bio)physikalisch sinnvollere Beurteilung im Hinblick auf mögliche Reizwirkungen. Bezüglich der Trennung von thermischen und Stimulationseffekten bei der Expositionsbeurteilung auf Basis der Referenzwerte gemäß ICNIRP 1998, vgl. auch Gleichungen (7) und (8) in [2].

Für die Beurteilung von Spitzenwerten der elektrischen Feldstärke ist dieses Verfahren gleichzeitig auch immer konservativ (strenger) im Vergleich zum ursprünglich in ICNIRP 1998 definierten Verfahren (stetiger Übergang vom Faktor  $\sqrt{2}$  zum Faktor 32 zwischen 100 kHz und 10 MHz, vgl. Fig.1 in [2]), weshalb bei der Beurteilung der elektrischen Immissions-Spitzenwerte ausschließlich das oben festgelegte Verfahren (Vergleich mit  $\sqrt{2}$  \* Reizwirkungs-relevanter Effektiv-Referenzwert) verwendet wird.

Für die Beurteilung von Spitzenwerten der magnetischen Feldstärke hingegen ist das oben definierte Verfahren weniger restriktiv, als das ursprüngliche in [2] definierte, weshalb bei der Beurteilung der magnetischen Immissions-Spitzenwerte sowohl der oben definierte Spitzen-Referenzwert  $H_{PEAK,Ref,Reiz}$  ( $\sqrt{2}$  \* Reizwirkungs-relevanter Effektiv-Referenzwert  $H_{RMS,Ref,Reiz}$ ), als

auch der ursprünglich in [2] definierte Spitzen-Referenzwert  $H_{PEAK,Ref,ICNIRP}$  (ermittelt auf Basis eines stetigen Übergangs vom Faktor  $\sqrt{2}$  zum Faktor 32 zwischen 100 kHz und 10 MHz, vgl. Fig.2 in [2]) verwendet wird. In den Ergebnistabellen bezieht sich der Begriff „Reizwirkung“ in Zusammenhang mit der Beurteilung nach ICNIRP 1998 demnach auf  $H_{PEAK,Ref,Reiz}$  und  $H_{RMS,Ref,Reiz}$ . Der in den Ergebnistabellen angeführte Spitzen-Referenzwert mit Bezeichnung „ICNIRP 1998“ entspricht  $H_{PEAK,Ref,ICNIRP}$ , und der angegebene Effektiv-Referenzwert mit der Bezeichnung „thermisch“ entspricht dem in den Referenzwerttabellen von [2] angegebenen Wert.

## 2.2 Messergebnisse

### 2.2.1 EM-EAS-System 2300 (Meto bzw. Checkpoint Systems)

Bei diesem EAS-System handelt es sich um ein elektromagnetisches (EM-) System, das von der Fa. Checkpoint Systems vertrieben wird. EM-EAS Systeme beruhen auf dem Prinzip der Intermodulation. Typischerweise werden dabei Panel-Paare aufgestellt, wobei jedes Panel eine Sendeantenne und drei Empfangsantennen enthält. Die Sendeantenne (Spule) des ersten Panels erzeugt Magnetfelder mit 16 Hz und 5 kHz, die Sendeantenne (Spule) des zweiten Panels erzeugt Magnetfelder mit 16 Hz und 7,5 kHz. Durch das nichtlineare Magnetisierungsverhalten der Etiketten entstehen Intermodulationsprodukte, die von den Empfangsantennen detektiert werden.

Abbildung 2.7 zeigt das untersuchte EM-EAS System.



Abbildung 2.7: EM-EAS-System Meto 2300

#### 2.2.1.1 Messtechnische Charakterisierung der emittierten Signale

Die Messungen wurden nahe der 5 kHz emittierenden Antenne durchgeführt. Abbildung 2.8 zeigt den in ca. 10 cm zur Antenne gemessenen Zeitverlauf des Magnetfeldes, sowie das zugehörige Frequenzspektrum. In den Zeitbereichsdarstellungen sind die 16 Hz (plus Oberwellen) und die 5 kHz Komponente deutlich erkennbar. Im Spektrum zeigt sich auch noch die 7,5 kHz

Komponente der fernen (in ca. 1,5 m Distanz befindlichen) Antenne (ca. einen Faktor 10 niedriger als die 5 kHz Komponente). Alle Signale werden kontinuierlich und annähernd sinusförmig ausgesendet.

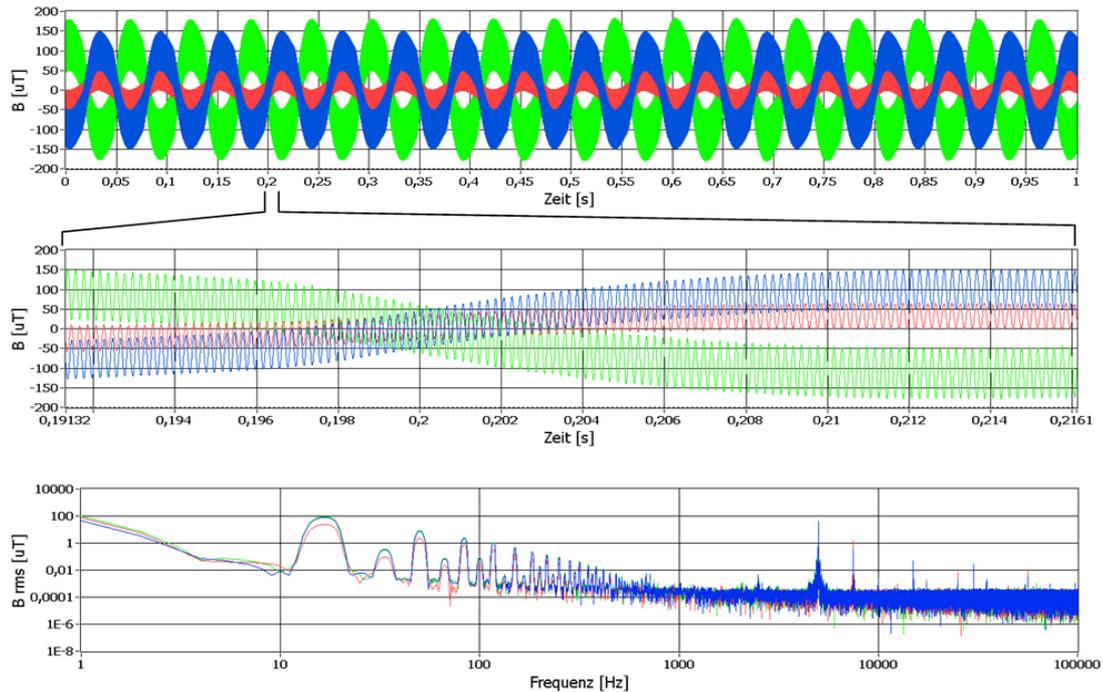


Abbildung 2.8: Zeitverlauf und Spektrum der Magnetfeldimmissionen in ca. 10 cm Distanz zur betrachteten Antenne des untersuchten EM-EAS-Systems Meto 2300. Die unterschiedlichen Farben entsprechen drei orthogonal zueinander stehenden Komponenten des gemessenen Magnetfeldvektors.

### 2.2.1.2 Ergebnisse der Immissionsmessungen und Bewertung

Überblicksmessungen an beiden Antennen des betrachteten Antennenpaares zeigten in vergleichbaren Messpositionen Flussdichteabweichungen der 5 kHz und 7,5 kHz Komponente nur innerhalb der Messunsicherheit. Da vor Ort die 5 kHz emittierende Antenne wesentlich einfacher für die Messungen zugänglich war, wurden die Messungen an dieser durchgeführt. Die Immissionsverhältnisse nahe der 7,5 kHz Antenne können als innerhalb der Messunsicherheit identisch zu jenen nahe der 5 kHz emittierenden Antenne angenommen werden.

Tabelle 2.3 fasst die Messergebnisse im Vergleich zu den Referenzwerten nach ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 zusammen.

Die 5 kHz Komponente erweist sich demnach als strahlenschutztechnisch wesentlich relevanter als die 16 Hz Komponente (zumindest im Hinblick auf die Induktionswirkung bezüglich intrakorporaler Feldgrößen<sup>1</sup>).

Die maximale in 10 cm Distanz zur Antenne lokal gemessene magnetische Flussdichte betrug bei 5 kHz mehr als das Vierfache des Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP

<sup>1</sup> Aspekte möglicher Beeinflussungen von elektronischen medizinischen Implantaten (z.B. Herzschrittmacher) waren in diesem Vorhaben nicht Gegenstand der Betrachtungen.

2010 und mehr als 18-fache des entsprechenden Referenzwertes gemäß ICNIRP 1998. Die maximale in 10 cm Distanz zur Antenne lokal gemessene 16 Hz Komponente der magnetischen Flussdichte betrug demgegenüber nur ca. 58% der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung.

Auch der Raummittelwert gemäß EN 62369-1 der 5 kHz Komponente liegt noch deutlich oberhalb des Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998 und nur knapp unterhalb des Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 2010.

		B <sub>RMS</sub> [μT]	
		16 Hz	5 kHz
ICNIRP 1998 – Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung		312,5	6,25
ICNIRP 2010 – Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung		312,5	27
lokales Maximum	Distanz zur Antenne = 10 cm	181,3	113,6
	Distanz zur Antenne = 20 cm	85,0	47,8
	Distanz zur Antenne = 35 cm	54,5	24,1
	Distanz zur Antenne = 50 cm	42,6	14,4
Raummittelwert (linear) nach EN 62369-1		53,7	26,6

Tabelle 2.3: Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse mit dem EM-EAS-System Meto 2300. Die ICNIRP 1998 - Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung entsprechen den in der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG festgesetzten Referenzwerten auf die EN 62369-1 verweist.

Abbildung 2.9 zeigt die Feldverteilungen bei 16 Hz und 5 kHz in einer Parallelebene in 10 cm Distanz zur Antenne.

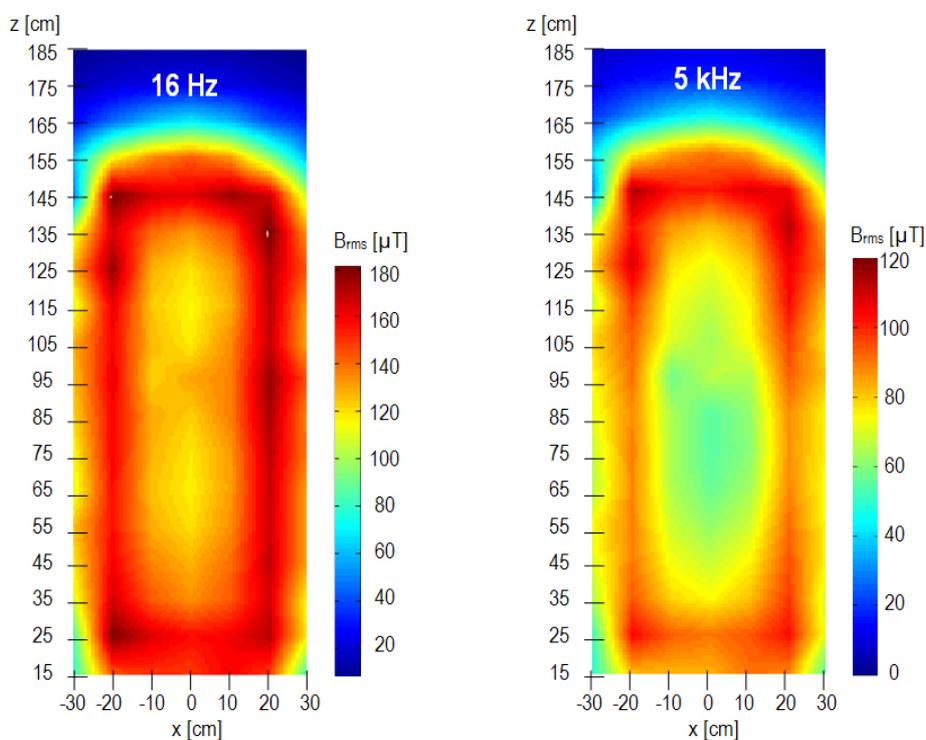
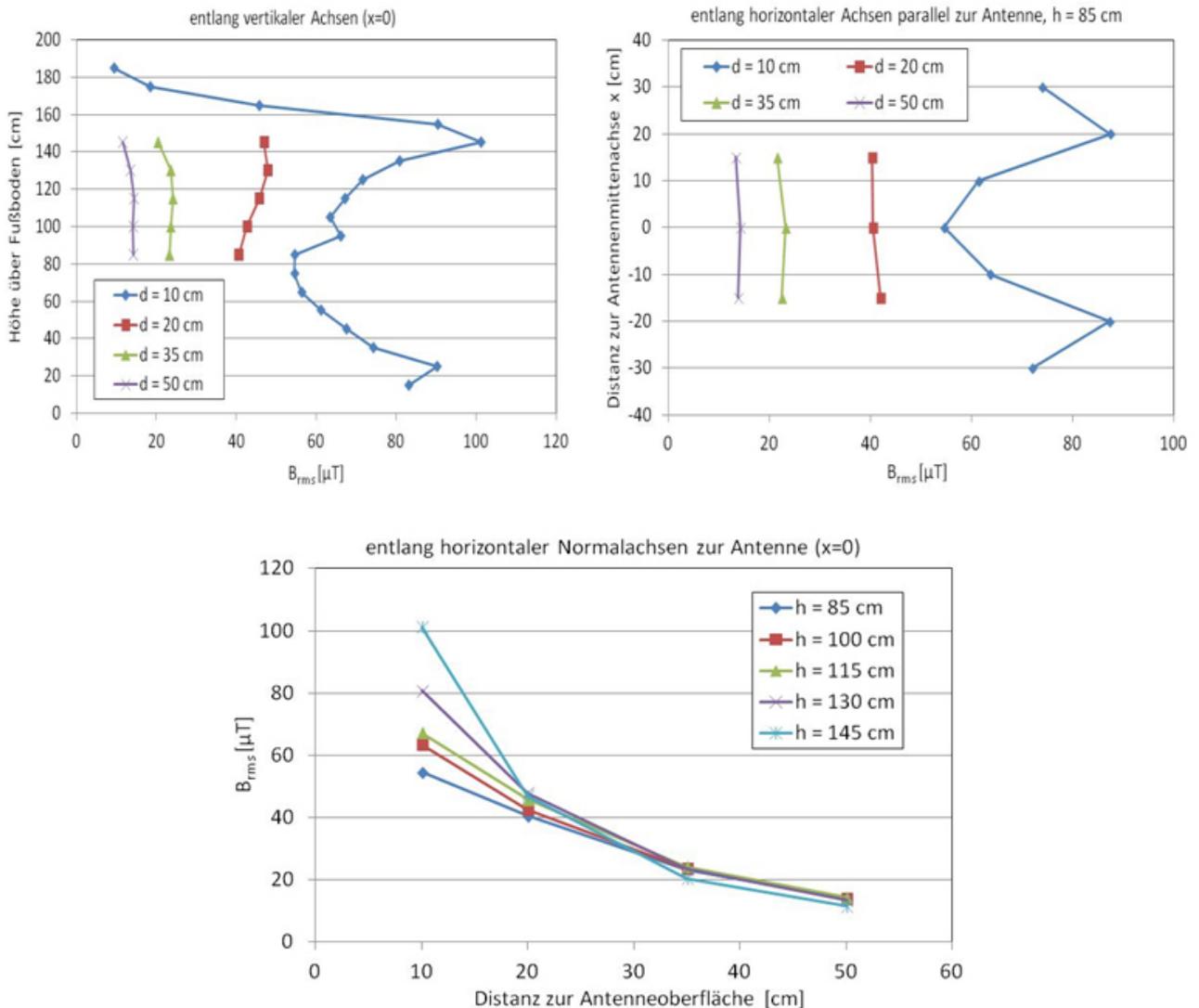


Abbildung 2.9: Verteilung der magnetischen Flussdichte (interpoliert aus Messpunktgitter) in einer Ebene in 10 cm Distanz von der Antennenoberfläche; links: 16 Hz-Komponente, rechts: 5 kHz-Komponente

Abbildung 2.10 zeigt Verläufe der magnetischen Flussdichte entlang unterschiedlicher Achsen, bei der strahlenschutztechnisch wesentlich relevanteren Frequenz von 5 kHz.



**Abbildung 2.10:** Verläufe der magnetischen Flussdichte (Effektivwerte) bei 5 kHz.

oben, links: entlang vertikaler Achsen, mittig zur Antenne in unterschiedlichen Distanzen  $d$  zur Antenne

oben, rechts: entlang horizontaler Parallelachsen zur Antenne, in 85 cm Höhe

unten: entlang horizontaler Normalachsen zur Antenne bei  $x = 0$  (Antennenmitte), in Höhen  $h$  über dem Fußboden

Die maximal in Entfernungen von 10 cm, 20 cm und 35 cm gemessenen, lokal stark eingegrenzten Effektivwerte der elektrischen Feldstärke (Frequenzbereich 5 Hz – 400 kHz) betragen 100 V/m, 48 V/m und 31 V/m. Die entsprechenden Mittelwerte in Parallelebenen zur Antenne in den genannten Distanzen betragen ca. 71 V/m, 30 V/m und 22 V/m. Die elektrischen Immissionen sind daher im Vergleich zu den magnetischen Immissionen aus strahlenschutztechnischer Sicht nur von untergeordneter Bedeutung (Referenzwert für Allgemeinbevölkerung bei 5 kHz nach ICNIRP 1998:  $E_{RMS,Ref,1998} = 87$  V/m, nach ICNIRP 2010:  $E_{RMS,Ref,2010} = 83$  V/m; bei 16 Hz nach ICNIRP 1998:  $E_{RMS,Ref,1998} = 10000$  V/m, nach ICNIRP 2010:  $E_{RMS,Ref,2010} = 5000$  V/m). Zur strahlenschutztechnischen Dominanz der magnetischen Feldkomponente, siehe auch Kapitel 2.3.

## 2.2.2 AM-EAS-System EuroMax (Sensormatic)

Bei diesem EAS-System handelt es sich um ein akustomagnetisches (AM-) System der Fa. Sensormatic mit einer Arbeitsfrequenz von 58 kHz mit Burst-artigen Magnetfeldemissionen.

Abbildung 2.11 zeigt das untersuchte AM-EAS System.



Abbildung 2.11: AM-EAS-System EuroMax

### 2.2.2.1 Messtechnische Charakterisierung der emittierten Signale

Das Gerät sendet in regelmäßigen Abständen ca. 1,5 ms lange Bursts mit der Trägerfrequenz 58 kHz und einer Burstwiederholrate von 37,5 Hz aus (Abbildung 2.12).

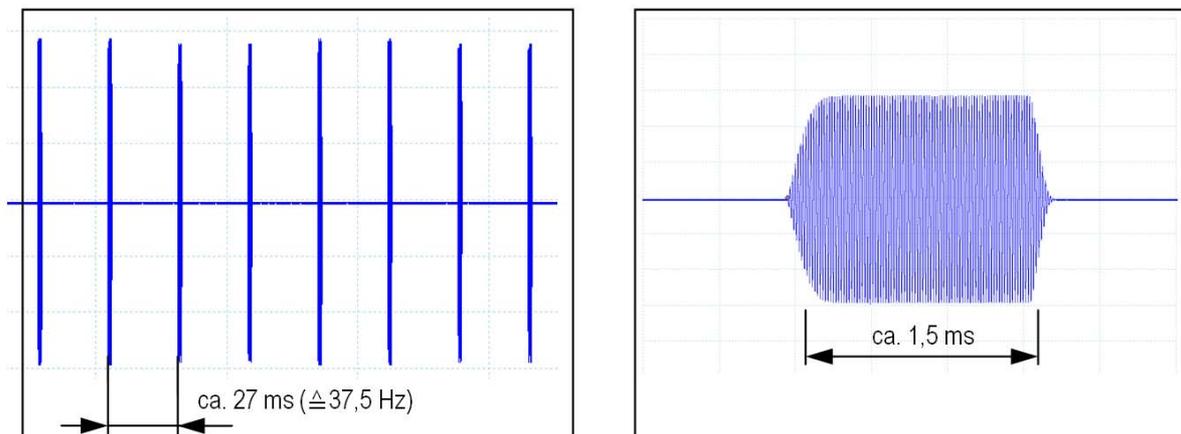


Abbildung 2.12: Zeitverlauf der Magnetfeldmissionen des untersuchten AM-EAS-Systems EuroMax

Das messtechnisch ermittelte Verhältnis von Spitzenwert zu Effektivwert der magnetischen Flussdichte in 20 cm Abstand zur Antenne lag beim untersuchten System bei ca. 6,0.

### 2.2.2.2 Ergebnisse der Immissionsmessungen und Bewertung

Tabelle 2.4 fasst die Messergebnisse im Vergleich zu den Referenzwerten nach ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 zusammen. Weil bei 58 kHz ausschließlich die Reizwirkung strahlenschutztechnisch relevant ist, sind die PEAK-Referenzwerte für die Bewertung maßgebend.

f= 58 kHz		B <sub>PEAK</sub> [μT]	B <sub>RMS</sub> [μT]
ICNIRP 1998 – Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung		8,84	6,25
ICNIRP 2010 – Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung		38,2	27
lokales Maximum	Distanz zur Antenne = 10 cm	301	50,2
	Distanz zur Antenne = 20 cm	131	21,8
	Distanz zur Antenne = 35 cm	51,2	8,5
	Distanz zur Antenne = 50 cm	24,0	4,0
Raummittelwert (linear) nach EN 62369-1		56,7	9,5

Tabelle 2.4: Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse mit dem AM-EAS-System EuroMax.

Die ICNIRP 1998 - Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung entsprechen den in der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG festgesetzten Referenzwerten auf die EN 62369-1 verweist.

Abbildung 2.13 zeigt die Feldverteilung in einer Parallelebene in 10 cm Distanz zur Antenne.

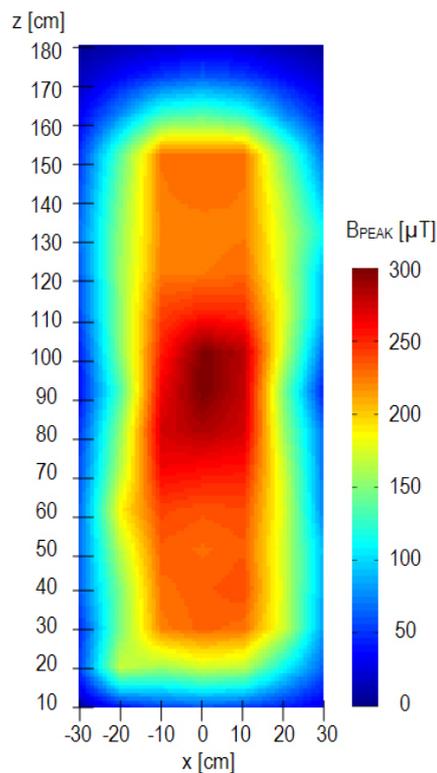


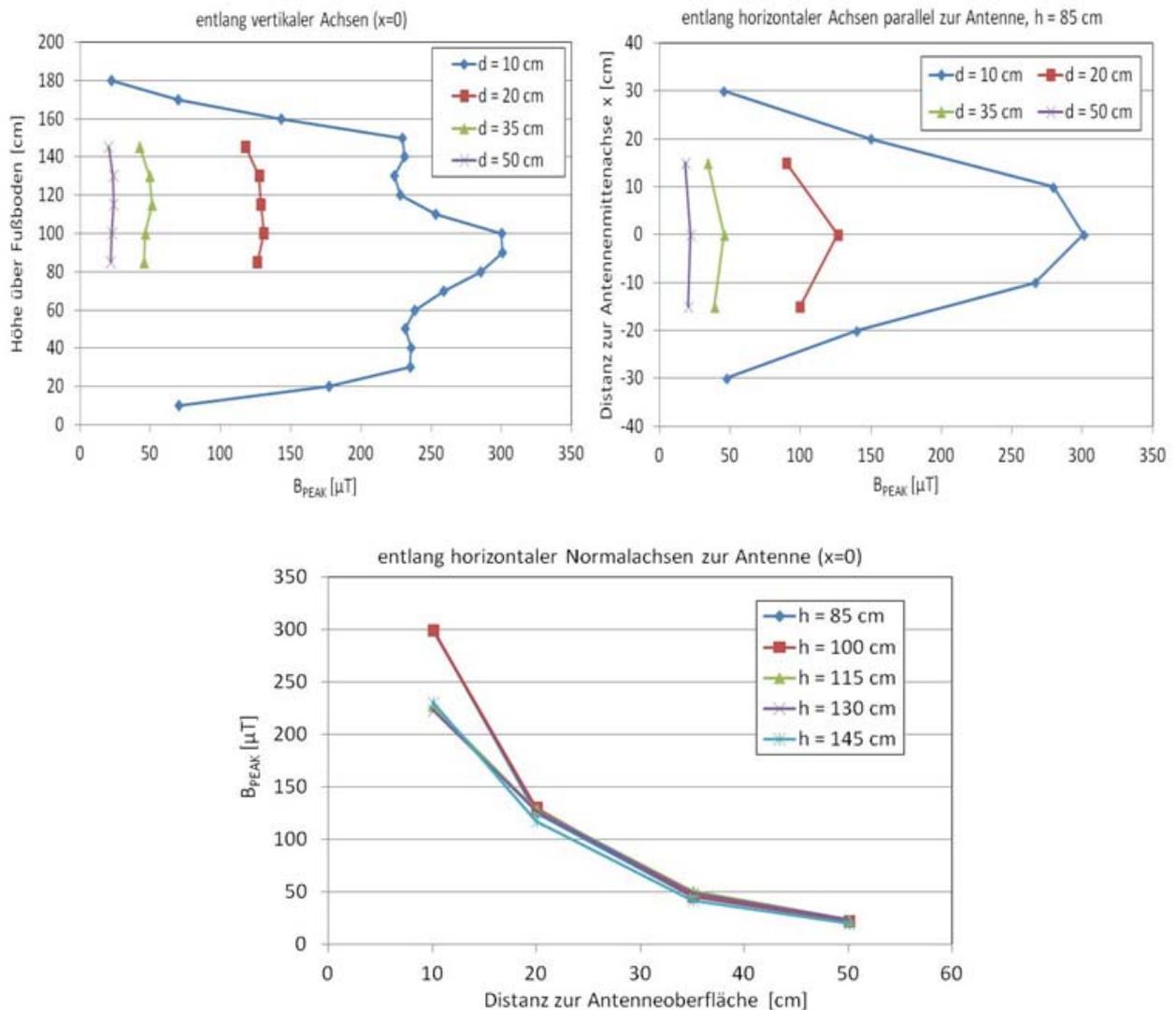
Abbildung 2.13: Verteilung der magnetischen Flussdichte (interpoliert aus Messpunktgitter) in einer Ebene in 10 cm Distanz von der Antennenoberfläche

Der maximale lokale Spitzenwert der magnetischen Flussdichte in 10 cm Distanz zur Antenne betrug demnach mehr als das 7-fache des Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung gemäß

ICNIRP 2010 und mehr als das 34-fache des entsprechenden Referenzwertes gemäß ICNIRP 1998.

Selbst der Raummittelwert der Spitzenwerte  $B_{PEAK}$  gemäß EN 62369-1 liegt deutlich oberhalb der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010.

Abbildung 2.14 zeigt Verläufe der magnetischen Flussdichte entlang unterschiedlicher Achsen.



**Abbildung 2.14:** Verläufe der magnetischen Flussdichte (Spitzenwerte).

oben, links: entlang vertikaler Achsen, mittig zur Antenne in unterschiedlichen Distanzen  $d$  zur Antenne

oben, rechts: entlang horizontaler Parallelachsen zur Antenne, in 85 cm Höhe

unten: entlang horizontaler Normalachsen zur Antenne bei  $x = 0$  (Antennenmitte), in Höhen  $h$  über dem Fußboden

Die maximal in Entfernungen von 10 cm, 20 cm und 35 cm gemessenen Spitzenwerte der elektrischen Feldstärke betragen 160 V/m, 50 V/m und 29 V/m. Die elektrischen Immissionen sind daher im Vergleich zu den magnetischen Immissionen aus strahlenschutztechnischer Sicht nur von untergeordneter Bedeutung (Referenzwert für Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998:  $E_{PEAK,Ref,1998} = 123$  V/m, nach ICNIRP 2010:  $E_{PEAK,Ref,2010} = 117$  V/m). Zur strahlenschutztechnischen Dominanz der magnetischen Feldkomponente, siehe auch Kapitel 2.3.

### 2.2.3 AM-EAS-System Ultra Exit 1121 (Sensormatic)

Bei diesem EAS-System handelt es sich wieder um ein akustomagnetisches (AM-) System der Fa. Sensormatic mit einer Arbeitsfrequenz von 58 kHz mit Burst-artigen Magnetfeldemissionen.

Abbildung 2.15 zeigt das untersuchte AM-EAS System.



Abbildung 2.15: AM-EAS-System Ultra Exit 1121

#### 2.2.3.1 Messtechnische Charakterisierung der emittierten Signale

Das Gerät sendete Sequenzen von ca. 1,5 ms langen Bursts mit der Trägerfrequenz (58 kHz) aus. Die Burstwiderholrate betrug grundsätzlich 75 Hz, wobei einzelne Bursts ausgelassen werden (Abbildung 2.16). Weiters fällt bei diesem Gerät auf, dass nicht alle Bursts mit gleicher Amplitude ausgesendet werden. In wie weit dies beabsichtigt oder durch einen technischen Defekt des EAS-Gerätes bedingt war, konnte nicht beurteilt werden, spielt im Hinblick auf die relevante Beurteilung der Spitzenwerte aber auch keine Rolle, da die Spitzenimmissionswerte zufolge der stärksten Bursts jedenfalls in einem Bereich lagen, wie sie auch bei anderen Anlagen des gleichen Typs messbar waren (vgl. Kapitel 2.2.11)

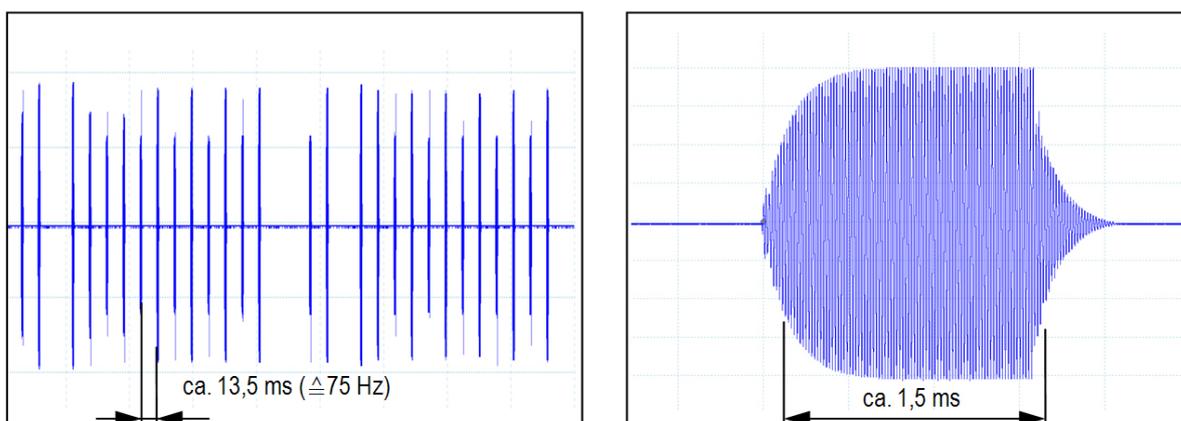


Abbildung 2.16: Zeitverlauf der Magnetfeldimmissionen des untersuchten AM-EAS-Systems Ultra Exit 1121

Das messtechnisch ermittelte Verhältnis von Spitzenwert zu Effektivwert der magnetischen Flussdichte in 20 cm Abstand zur Antenne lag beim untersuchten System bei ca. 5,95.

### 2.2.3.2 Ergebnisse der Immissionsmessungen und Bewertung

Tabelle 2.5 fasst die Messergebnisse im Vergleich zu den Referenzwerten nach ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 zusammen. Weil bei 58 kHz ausschließlich die Reizwirkung strahlenschutztechnisch relevant ist, sind die PEAK-Referenzwerte für die Bewertung maßgebend.

f= 58 kHz		B <sub>PEAK</sub> [μT]	B <sub>RMS</sub> [μT]
ICNIRP 1998 – Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung		8,84	6,25
ICNIRP 2010 – Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung		38,2	27
lokales Maximum	Distanz zur Antenne = 10 cm	322	54,1
	Distanz zur Antenne = 20 cm	148	24,9
	Distanz zur Antenne = 35 cm	71,0	11,9
	Distanz zur Antenne = 50 cm	40,6	6,82
Raummittelwert (linear) nach EN 62369-1		75,3	12,7

Tabelle 2.5: Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse mit dem AM-EAS-System Ultra Exit 1121. Die ICNIRP 1998 - Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung entsprechen den in der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG festgesetzten Referenzwerten auf die EN 62369-1 verweist.

Abbildung 2.17 zeigt die Feldverteilung in einer Parallelebene in 10 cm Distanz zur Antenne.

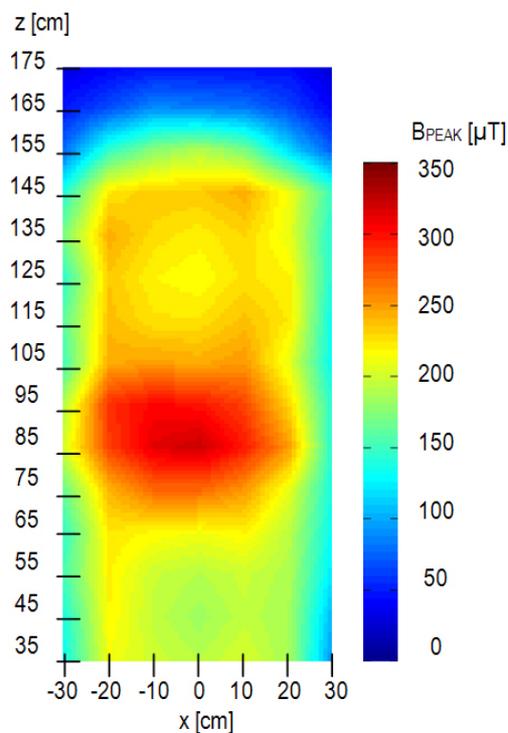
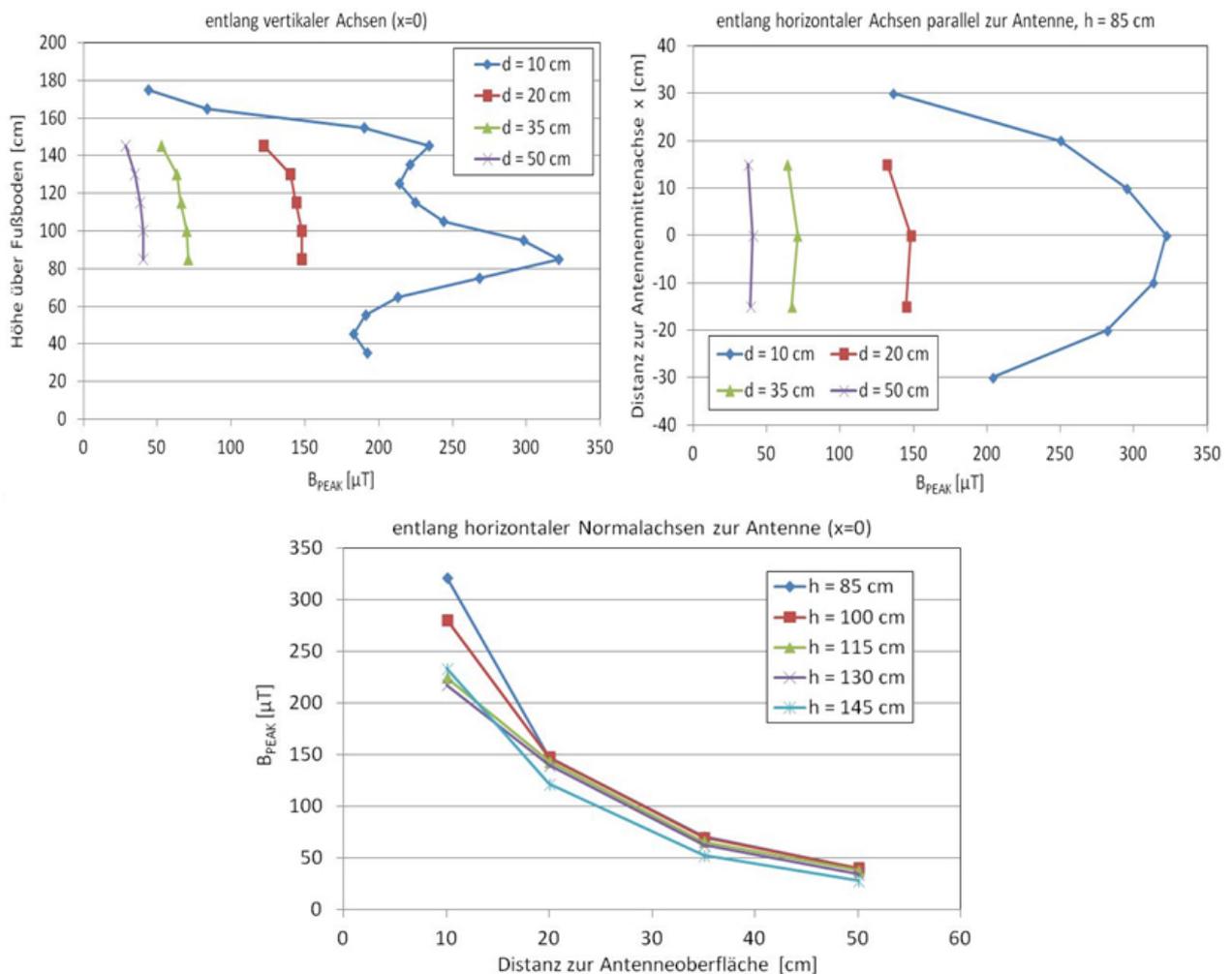


Abbildung 2.17: Verteilung der magnetischen Flussdichte (interpoliert aus Messpunktgitter) in einer Ebene in 10 cm Distanz von der Antennenoberfläche

Der maximale lokale Spitzenwert der magnetischen Flussdichte in 10 cm Distanz zur Antenne betrug demnach mehr als das 8-fache des Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung gemäß ICNIRP 2010 und mehr als das 36-fache des entsprechenden Referenzwertes gemäß ICNIRP 1998.

Auch bei diesem System liegt sogar der Raummittelwert der Spitzenwerte  $B_{PEAK}$  gemäß EN 62369-1 noch deutlich oberhalb der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010.

Abbildung 2.18 zeigt Verläufe der magnetischen Flussdichte entlang unterschiedlicher Achsen.



**Abbildung 2.18:** Verläufe der magnetischen Flussdichte (Spitzenwerte).

oben, links: entlang vertikaler Achsen, mittig zur Antenne in unterschiedlichen Distanzen  $d$  zur Antenne

oben, rechts: entlang horizontaler Parallelachsen zur Antenne, in 85 cm Höhe

unten: entlang horizontaler Normalachsen zur Antenne bei  $x = 0$  (Antennenmitte), in Höhen  $h$  über dem Fußboden

Die maximal in Entfernungen von 10 cm, 20 cm und 35 cm gemessenen Spitzenwerte der elektrischen Feldstärke betragen 155 V/m, 45 V/m und 26 V/m. Die elektrischen Immissionen sind daher im Vergleich zu den magnetischen Immissionen aus strahlenschutztechnischer Sicht nur von untergeordneter Bedeutung (Referenzwert für Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998:  $E_{PEAK,Ref,1998} = 123$  V/m, nach ICNIRP 2010:  $E_{PEAK,Ref,2010} = 117$  V/m). Zur strahlenschutztechnischen Dominanz der magnetischen Feldkomponente, siehe auch Kapitel 2.3.

## 2.2.4 RF-EAS-System Plaza (Checkpoint Systems)

Es handelt sich hierbei um ein Radiofrequenz-System der Fa. Checkpoint Systems, das nach dem Pulse-Listen Prinzip, bei einer Frequenz von ca. 8,2 MHz arbeitet.

Abbildung 2.19 zeigt das untersuchte RF-EAS System.



Abbildung 2.19: RF-EAS-System Plaza

### 2.2.4.1 Messtechnische Charakterisierung der emittierten Signale

Das Gerät emittiert Sequenzen von ca. 6  $\mu$ s langen Bursts mit der Trägerfrequenz (8,2 MHz). Die 6  $\mu$ s langen Bursts werden zunächst zu Burstpaketten zu je 32 Bursts mit jeweils 58  $\mu$ s Pause zwischen den Burts zusammengefasst (Dauer eines Burstpaketts ca. 2 ms) und diese Burstpakete werden periodisch mit jeweils 7,8 ms Pause zwischen den Burstpaketten ausgesendet (siehe Abbildung 2.20).

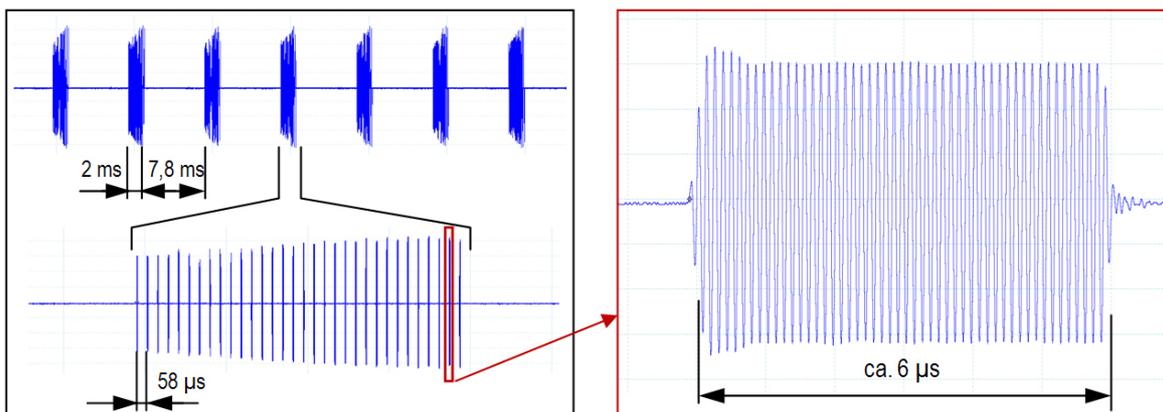


Abbildung 2.20: Zeitverlauf der Magnetfeldimmissionen des untersuchten RF-EAS-Systems Plaza

Das messtechnisch ermittelte Verhältnis von Spitzenwert zu Effektivwert der magnetischen Feldstärke in 20 cm Abstand zur Antenne lag beim untersuchten System bei ca. 10,0.

### 2.2.4.2 Ergebnisse der Immissionsmessungen und Bewertung

Tabelle 2.5 fasst die Messergebnisse im Vergleich zu den Referenzwerten nach ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 zusammen.

f = 8,2 MHz			H <sub>PEAK</sub> [A/m]	H <sub>RMS</sub> [A/m]
ICNIRP 1998 – Referenzwert für die Allg. bev.	Reizwirkung		7,07	5,0
	ICNIRP1998*	thermisch	2,36	0,089
ICNIRP 2010 – Referenzwert für die Allg. bev.	Reizwirkung		29,7	21
lokales Maximum	Distanz zur Antenne = 10 cm		1,49	0,149
	Distanz zur Antenne = 20 cm		0,89	0,089
	Distanz zur Antenne = 35 cm		0,46	0,046
	Distanz zur Antenne = 50 cm		0,23	0,023
Raummittelwert (linear) nach EN 62369-1			0,43	0,043
Raummittelwert (quadratisch) nach EN 62369-1			0,49	0,049

Tabelle 2.6: Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse mit dem RF-EAS-System Plaza.

Die ICNIRP 1998 - Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung entsprechen den in der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG festgesetzten Referenzwerten, auf die EN 62369-1 verweist. \*siehe Seite 14 oben

Abbildung 2.21 zeigt die Feldverteilung in einer Parallelebene in 10 cm Distanz zur Antenne.

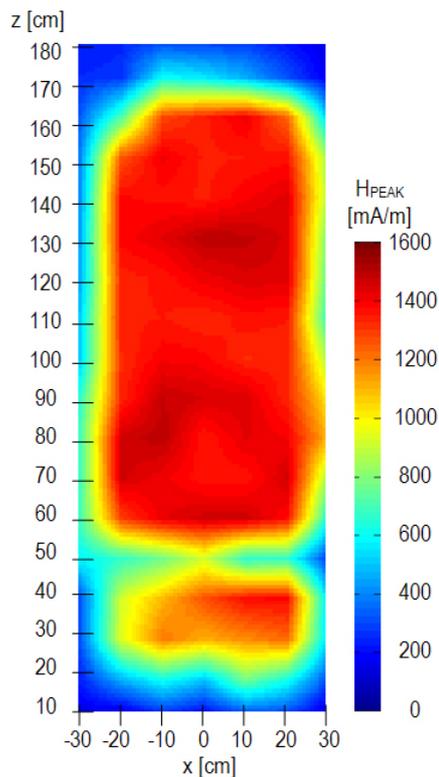
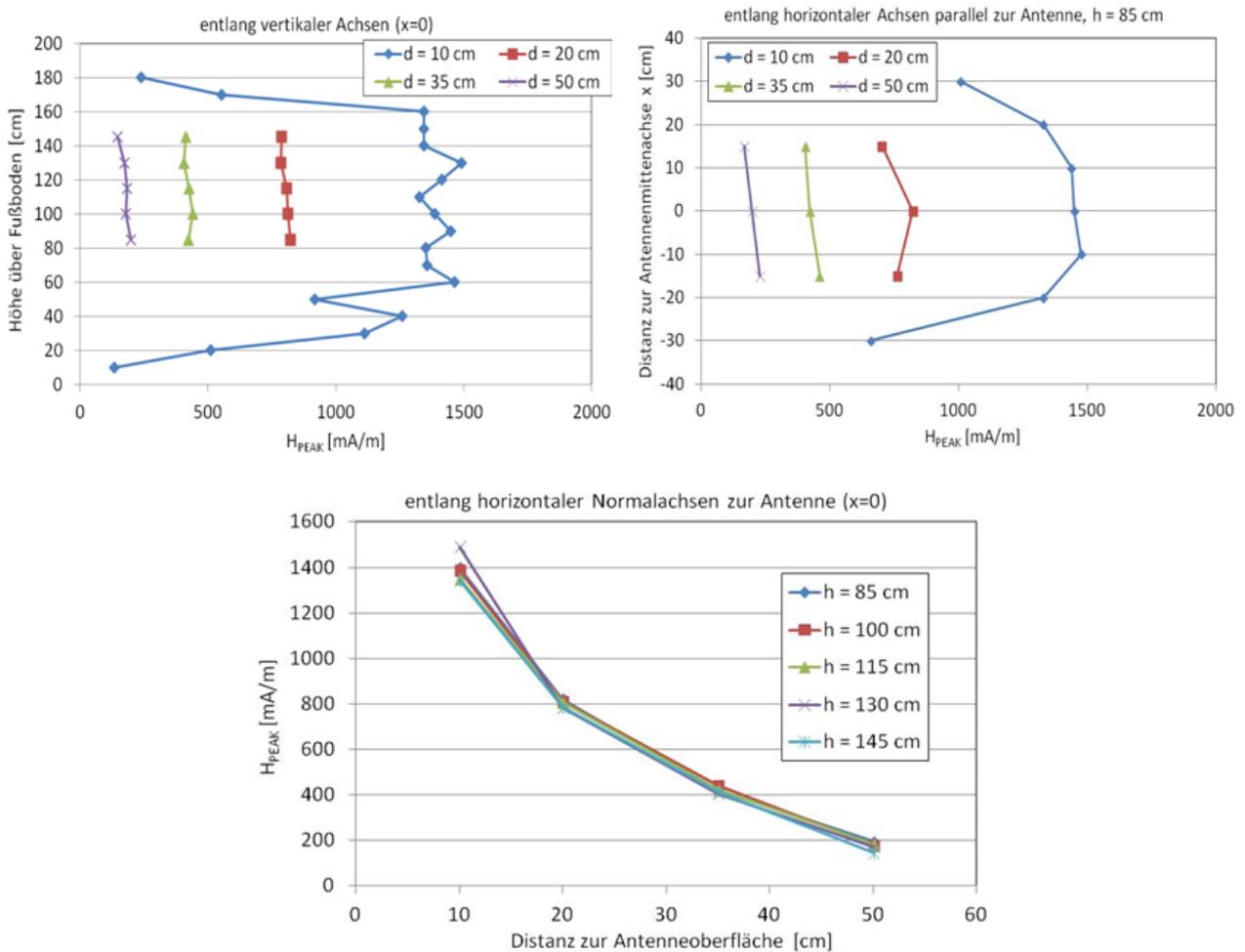


Abbildung 2.21: Verteilung der magnetischen Feldstärke (interpoliert aus Messpunktgitter) in einer Ebene in 10 cm Distanz von der Antennenoberfläche

Die gemäß EN 62369-1 zur Beurteilung heranzuziehenden Raummittelwerte liegen sowohl hinsichtlich der Spitzenwerte als auch hinsichtlich der Effektivwerte unterhalb der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung. In 10 cm Distanz treten beim untersuchten Gerät lokal Überschreitungen der auf thermischer Wirkung basierenden Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998 auf.

Abbildung 2.22 zeigt Verläufe der magnetischen Feldstärke entlang unterschiedlicher Achsen.



**Abbildung 2.22:** Verläufe der magnetischen Feldstärke (Spitzenwerte).

oben, links: entlang vertikaler Achsen, mittig zur Antenne in unterschiedlichen Distanzen  $d$  zur Antenne

oben, rechts: entlang horizontaler Parallelachsen zur Antenne, in 85 cm Höhe

unten: entlang horizontaler Normalachsen zur Antenne bei  $x = 0$  (Antennenmitte), in Höhen  $h$  über dem Fußboden

Die maximal in Entfernungen von 20 cm, 35 cm und 50 cm gemessenen lokalen Spitzenwerte der elektrischen Feldstärke betragen 36 V/m, 18 V/m und 6,8 V/m. Die elektrischen Immissionen sind daher im Vergleich zu den magnetischen Immissionen aus strahlenschutztechnischer Sicht nur von untergeordneter Bedeutung (Spitzen-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,1998} = 123$  V/m,  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,2010} = 117$  V/m). Dies gilt ebenso im Hinblick auf die zugehörigen maximalen Effektivwerte der elektrischen Feldstärke 3,6 V/m, 1,8 V/m und 0,7 V/m in 20 cm, 35 cm und 50 cm Entfernung (Effektiv-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{RMS,Ref.,Reiz,1998} = 87$  V/m,  $E_{RMS,Ref.,therm,1998} = 30,4$  V/m,  $E_{RMS,Ref.,Reiz,2010} = 83$  V/m).

## 2.2.5 RF-EAS-System OID 45 (Nedap)

Es handelt sich hierbei um ein Radiofrequenz-System der Fa. Nedap, das nach dem Pulse-Listen Prinzip, bei einer Frequenz von ca. 8,2 MHz arbeitet.

Abbildung 2.23 zeigt das untersuchte RF-EAS System.



Abbildung 2.23: RF-EAS-System OID 45

### 2.2.5.1 Messtechnische Charakterisierung der emittierten Signale

Das Gerät emittiert ca. 4  $\mu\text{s}$  langen Bursts mit der Trägerfrequenz (8,2 MHz), bei einer Burst-Wiederholrate von ca. 65  $\mu\text{s}$  (Abbildung 2.24).

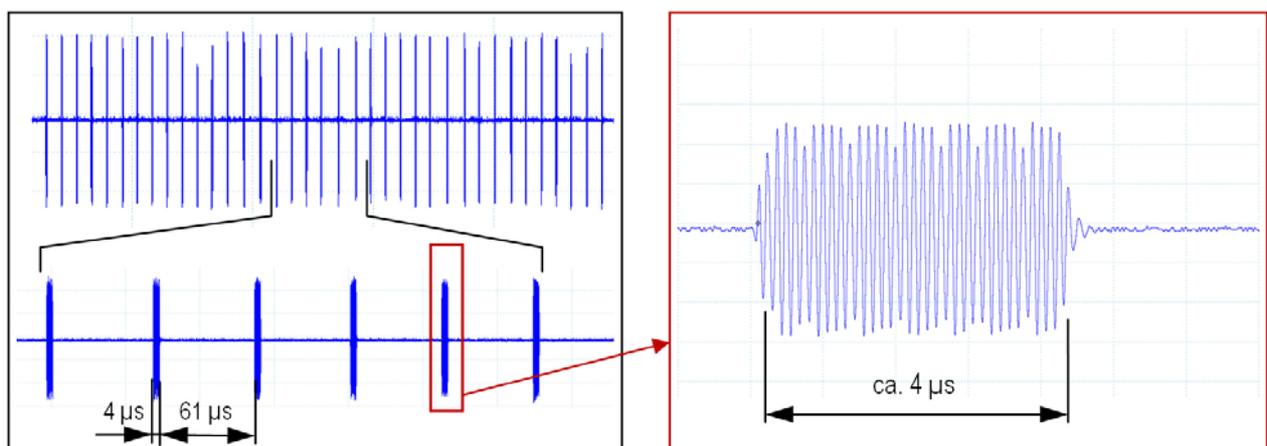


Abbildung 2.24: Zeitverlauf der Magnetfeldimmissionen des untersuchten RF-EAS-Systems OID 45

Das messtechnisch ermittelte Verhältnis von Spitzenwert zu Effektivwert der magnetischen Feldstärke in 20 cm Abstand zur Antenne lag beim untersuchten System bei ca. 4,5.

### 2.2.5.2 Ergebnisse der Immissionsmessungen und Bewertung

Tabelle 2.7 fasst die Messergebnisse im Vergleich zu den Referenzwerten nach ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 zusammen.

f = 8,2 MHz			H <sub>PEAK</sub> [A/m]	H <sub>RMS</sub> [A/m]
ICNIRP 1998 – Referenzwert für die Allg. bev.	Reizwirkung		7,07	5,0
	ICNIRP1998*	thermisch	2,36	0,089
ICNIRP 2010 – Referenzwert für die Allg. bev.	Reizwirkung		29,7	21
lokales Maximum	Distanz zur Antenne = 10 cm		3,19	0,71
	Distanz zur Antenne = 20 cm		1,08	0,24
	Distanz zur Antenne = 35 cm		0,42	0,093
	Distanz zur Antenne = 50 cm		0,22	0,049
Raummittelwert (linear) nach EN 62369-1			0,50	0,11
Raummittelwert (quadratisch) nach EN 62369-1			0,60	0,13

Tabelle 2.7: Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse mit dem RF-EAS-System OID 45. Die ICNIRP 1998 - Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung entsprechen den in der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG festgesetzten Referenzwerten, auf die EN 62369-1 verweist. \*siehe Seite 14 oben

Abbildung 2.25 zeigt die Feldverteilung in einer Parallelebene in 10 cm Distanz zur Antenne.

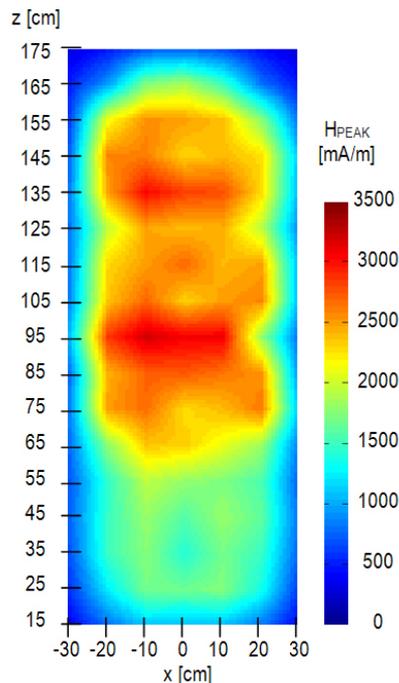
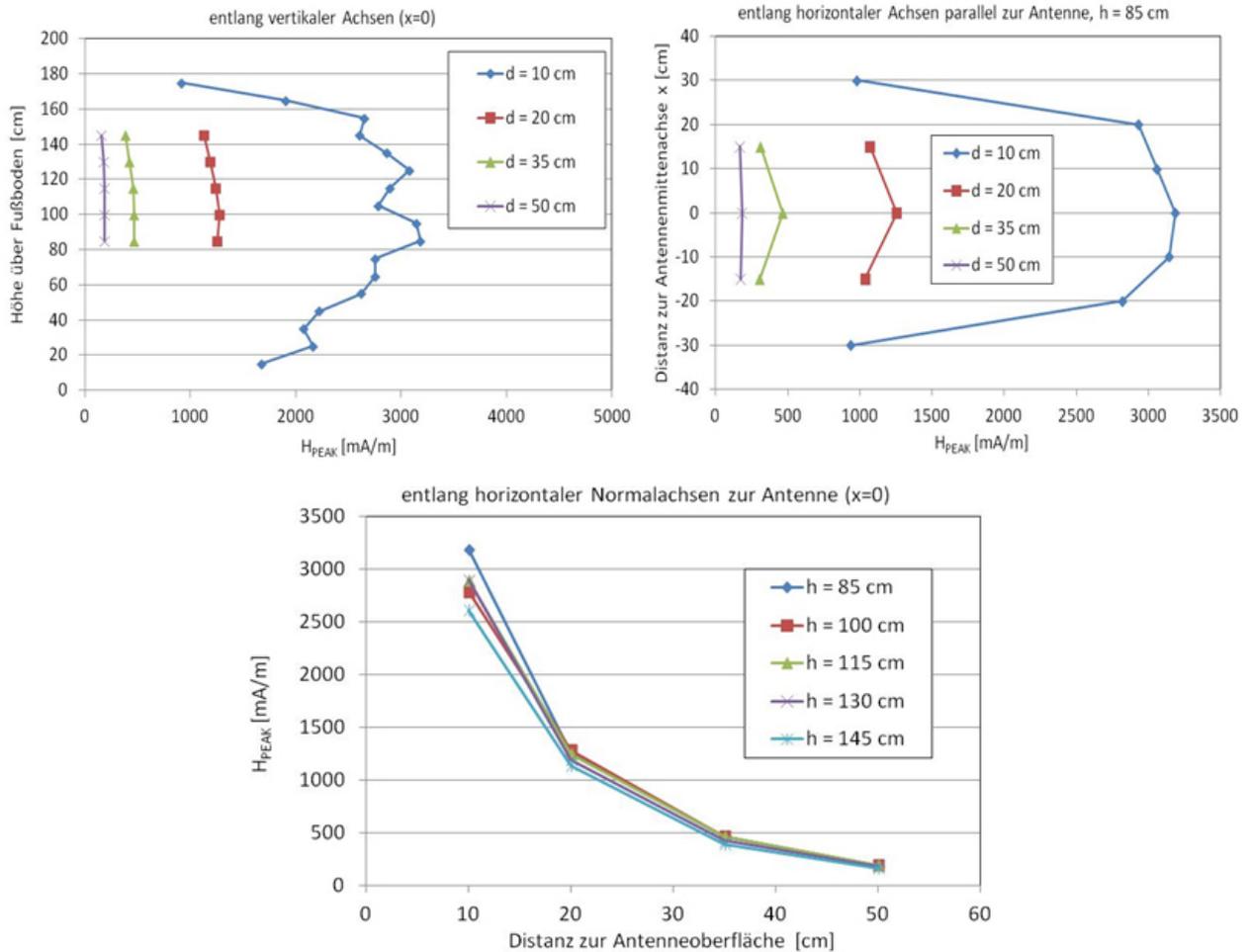


Abbildung 2.25: Verteilung der magnetischen Feldstärke (interpoliert aus Messpunktgitter) in einer Ebene in 10 cm Distanz von der Antennenoberfläche

Die gemäß EN 62369-1 zur Beurteilung heranzuziehenden Raummittelwerte liegen hinsichtlich der Spitzenwerte unterhalb der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung. In 10 cm Distanz ergibt sich lokal jedoch eine Überschreitung des in ICNIRP 1998 definierten Spitzenwertes.

Bezüglich der Effektivwerte liegen bereits die gemäß EN 62369-1 zur Beurteilung heranzuziehenden Raummittelwerte oberhalb des auf thermischen Wirkungen basierenden Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998. Lokal treten demnach erhebliche Überschreitungen dieses Wertes auf.

Abbildung 2.26 zeigt Verläufe der magnetischen Feldstärke entlang unterschiedlicher Achsen.



**Abbildung 2.26:** Verläufe der magnetischen Feldstärke (Spitzenwerte).

oben, links: entlang vertikaler Achsen, mittig zur Antenne in unterschiedlichen Distanzen d zur Antenne

oben, rechts: entlang horizontaler Parallelachsen zur Antenne, in 85 cm Höhe

unten: entlang horizontaler Normalachsen zur Antenne bei x = 0 (Antennenmitte), in Höhen h über dem Fußboden

Die maximal in Entfernungen von 20 cm und 35 cm und 50 cm gemessenen lokalen Spitzenwerte der elektrischen Feldstärke betragen 32 V/m, 16 V/m und 8,1 V/m. Die elektrischen Immissionen sind daher im Vergleich zu den magnetischen Immissionen aus strahlenschutztechnischer Sicht vernachlässigbar (Spitzen-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,1998} = 123 \text{ V/m}$ ,  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,2010} = 117 \text{ V/m}$ ). Dies gilt ebenso im Hinblick auf die zugehörigen maximalen Effektivwerte der elektrischen Feldstärke 6,9 V/m, 3,5 V/m und 1,8 V/m in 20 cm, 35 cm und 50 cm Entfernung (Effektiv-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{RMS,Ref.,Reiz,1998} = 87 \text{ V/m}$ ,  $E_{RMS,Ref.,therm,1998} = 30,4 \text{ V/m}$ ,  $E_{RMS,Ref.,Reiz,2010} = 83 \text{ V/m}$ ).

## 2.2.6 RF-EAS-System Evolve P10 (Checkpoint Systems)

Es handelt sich hierbei um ein Radiofrequenz-System der Fa. Checkpoint Systems, das nach dem Pulse-Listen Prinzip, bei einer Frequenz von ca. 8,2 MHz arbeitet.

Abbildung 2.27 zeigt das untersuchte RF-EAS System.



Abbildung 2.27: RF-EAS-System Evolve P10

### 2.2.6.1 Messtechnische Charakterisierung der emittierten Signale

Das Gerät emittiert Sequenzen von ca. 4  $\mu\text{s}$  langen Bursts mit der Trägerfrequenz (8,2 MHz). Die 4  $\mu\text{s}$  langen Bursts werden zunächst zu Burstpaketen zu je 32 Bursts mit einer durchschnittlich 108  $\mu\text{s}$  langen Pause zwischen den Bursts zusammengefasst (Dauer eines Burstpakets ca. 3,5 ms). Diese Burstpakete werden zu Burstpaket-Paaren zusammengefasst (Pause zwischen den Burstpaketen ca. 0,5 ms), welche periodisch mit einer Periodendauer von ca. 10,8 ms ausgesendet werden (Abbildung 2.28).

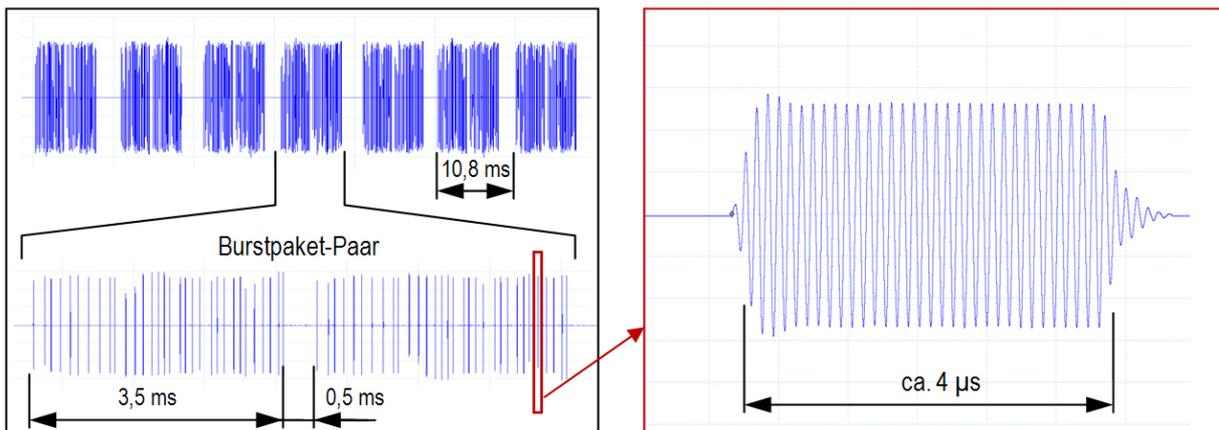


Abbildung 2.28: Zeitverlauf der Magnetfeldimmissionen des untersuchten RF-EAS-Systems Evolve P10

Das messtechnisch ermittelte Verhältnis von Spitzenwert zu Effektivwert der magnetischen Feldstärke in 20 cm Abstand zur Antenne lag beim untersuchten System bei ca. 9,2.

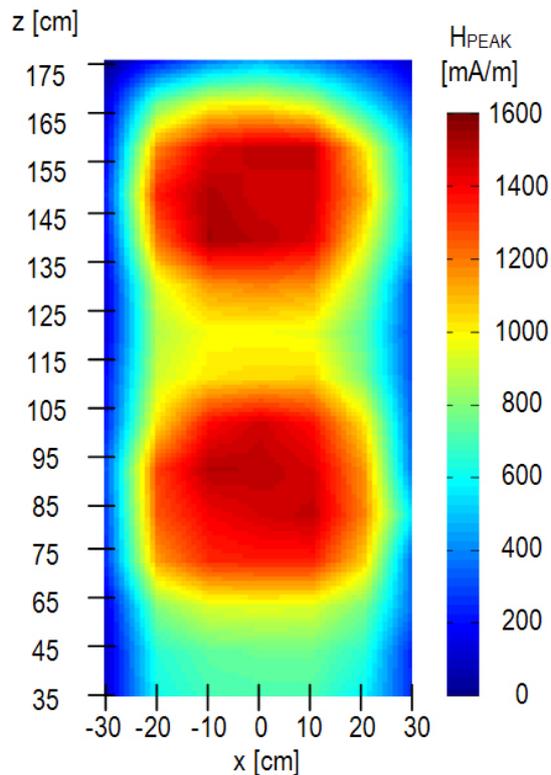
### 2.2.6.2 Ergebnisse der Immissionsmessungen und Bewertung

Tabelle 2.8 fasst die Messergebnisse im Vergleich zu den Referenzwerten nach ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 zusammen.

f = 8,2 MHz			H <sub>PEAK</sub> [A/m]	H <sub>RMS</sub> [A/m]
ICNIRP 1998 – Referenzwert für die Allg. bev.	Reizwirkung		7,07	5,0
	ICNIRP1998*	thermisch	2,36	0,089
ICNIRP 2010 – Referenzwert für die Allg. bev.	Reizwirkung		29,7	21
lokales Maximum	Distanz zur Antenne = 10 cm		1,54	0,167
	Distanz zur Antenne = 20 cm		0,71	0,077
	Distanz zur Antenne = 35 cm		0,33	0,036
	Distanz zur Antenne = 50 cm		0,18	0,020
Raummittelwert (linear) nach EN 62369-1			0,34	0,037
Raummittelwert (quadratisch) nach EN 62369-1			0,39	0,039

**Tabelle 2.8:** Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse mit dem RF-EAS-System Evolve P10. Die ICNIRP 1998 - Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung entsprechen den in der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG festgesetzten Referenzwerten, auf die EN 62369-1 verweist. \*siehe Seite 14 oben

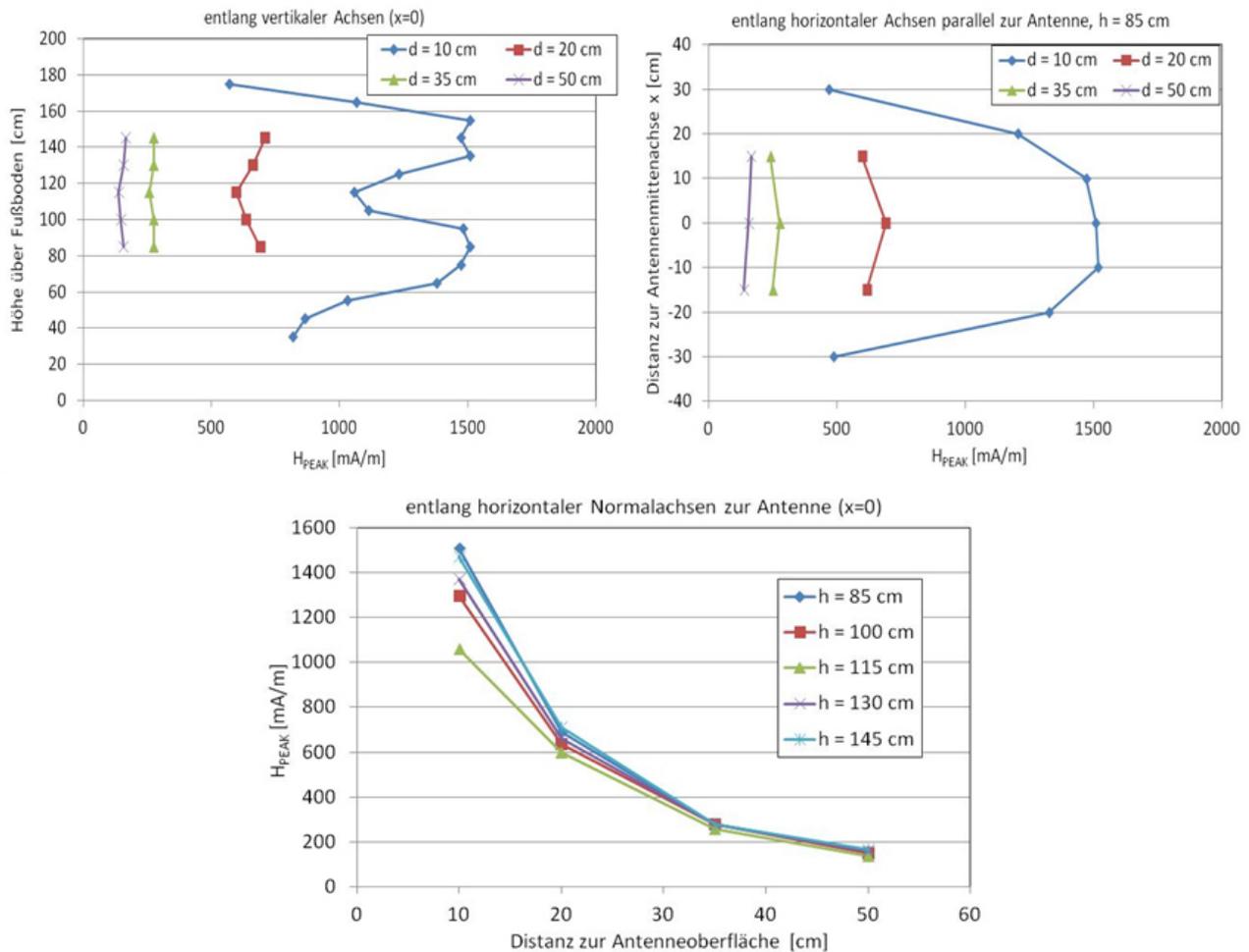
Abbildung 2.29 zeigt die Feldverteilung in einer Parallelebene in 10 cm Distanz zur Antenne.



**Abbildung 2.29:** Verteilung der magnetischen Feldstärke (interpoliert aus Messpunktgitter) in einer Ebene in 10 cm Distanz von der Antennenoberfläche

Die gemäß EN 62369-1 zur Beurteilung heranzuziehenden Raummittelwerte liegen sowohl hinsichtlich der Spitzenwerte als auch hinsichtlich der Effektivwerte unterhalb der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung. In 10 cm Distanz treten beim untersuchten Gerät lokal Überschreitungen der auf thermischer Wirkung basierenden Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998 auf.

Abbildung 2.26 zeigt Verläufe der magnetischen Feldstärke entlang unterschiedlicher Achsen.



**Abbildung 2.30:** Verläufe der magnetischen Feldstärke (Spitzenwerte).

- oben, links: entlang vertikaler Achsen, mittig zur Antenne in unterschiedlichen Distanzen d zur Antenne
- oben, rechts: entlang horizontaler Parallelachsen zur Antenne, in 85 cm Höhe
- unten: entlang horizontaler Normalachsen zur Antenne bei x = 0 (Antennenmitte), in Höhen h über dem Fußboden

Die maximal in Entfernungen von 10 cm und 20 cm und 35 cm gemessenen lokalen Spitzenwerte der elektrischen Feldstärke betragen 25,2 V/m, 14,7 V/m und 11,4 V/m. Die elektrischen Immissionen sind daher im Vergleich zu den magnetischen Immissionen aus strahlenschutztechnischer Sicht vernachlässigbar (Spitzen-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,1998} = 123 \text{ V/m}$ ,  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,2010} = 117 \text{ V/m}$ ). Dies gilt ebenso im Hinblick auf die zugehörigen maximalen Effektivwerte der elektrischen Feldstärke 2,7 V/m, 1,6 V/m und 1,2 V/m in 10 cm, 20 cm und 35 cm Entfernung (Effektiv-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{RMS,Ref.,Reiz,1998} = 87 \text{ V/m}$ ,  $E_{RMS,Ref.,therm,1998} = 30,4 \text{ V/m}$ ,  $E_{RMS,Ref.,Reiz,2010} = 83 \text{ V/m}$ ).

## 2.2.7 RF-EAS-System Bex (AGON)

Es handelt sich hierbei um ein Radiofrequenz-System der Fa. AGON, das bei einer Frequenz von ca. 8,2 MHz arbeitet.

Abbildung 2.31 zeigt das untersuchte RF-EAS System.



Abbildung 2.31: RF-EAS-System Bex

### 2.2.7.1 Messtechnische Charakterisierung der emittierten Signale

Das Gerät emittiert ein kontinuierliches amplitudenmoduliertes Signal (Trägerfrequenz 8,2 MHz), bei dem die Modulationsfrequenz mit einer Bandbreite von ca. 100 kHz und der Modulationsgrad periodisch variiert wird (Abbildung 2.32).

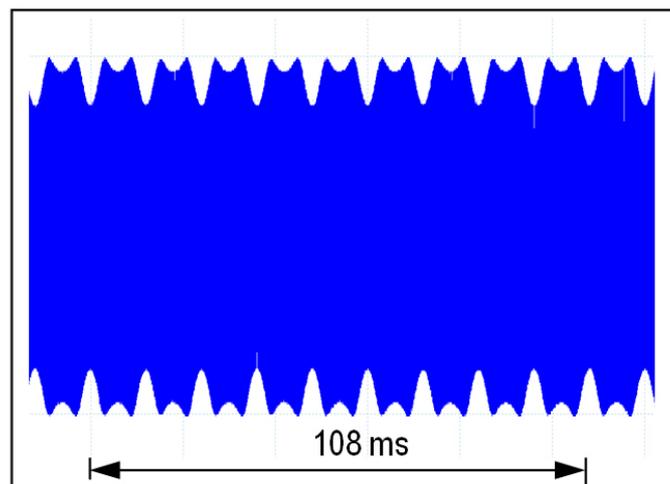


Abbildung 2.32: Zeitverlauf der Magnetfeldimmissionen des untersuchten RF-EAS-Systems Bex

Das messtechnisch ermittelte Verhältnis von Spitzenwert zu Effektivwert der magnetischen Flussdichte in 20 cm Abstand zur Antenne lag beim untersuchten System bei ca. 1,6.

### 2.2.7.2 Ergebnisse der Immissionsmessungen und Bewertung

Tabelle 2.9 fasst die Messergebnisse im Vergleich zu den Referenzwerten nach ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 zusammen.

f = 8,2 MHz			H <sub>PEAK</sub> [A/m]	H <sub>RMS</sub> [A/m]
ICNIRP 1998 – Referenzwert für die Allg. bev.	Reizwirkung		7,07	5,0
	ICNIRP1998*	thermisch	2,36	0,089
ICNIRP 2010 – Referenzwert für die Allg. bev.	Reizwirkung		29,7	21
lokales Maximum	Distanz zur Antenne = 10 cm		0,56	0,350
	Distanz zur Antenne = 20 cm		0,24	0,150
	Distanz zur Antenne = 35 cm		0,08	0,048
	Distanz zur Antenne = 50 cm		0,04	0,022
Raummittelwert (linear) nach EN 62369-1			0,09	0,056
Raummittelwert (quadratisch) nach EN 62369-1			0,11	0,069

Tabelle 2.9: Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse mit dem RF-EAS-System Bex  
Die ICNIRP 1998 - Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung entsprechen den in der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG festgesetzten Referenzwerten, auf die EN 62369-1 verweist. \*siehe Seite 14 oben

Abbildung 2.33 zeigt die Feldverteilung in einer Parallelebene in 10 cm Distanz zur Antenne.

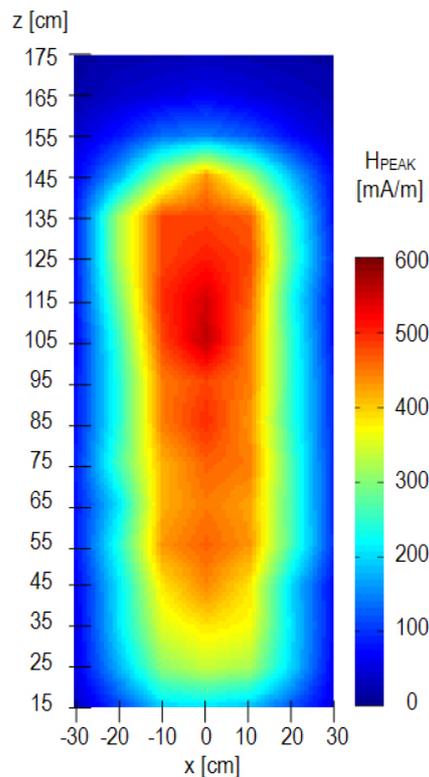


Abbildung 2.33: Verteilung der magnetischen Feldstärke (interpoliert aus Messpunktgitter) in einer Ebene in 10 cm Distanz von der Antennenoberfläche

Die gemäß EN 62369-1 zur Beurteilung heranzuziehenden Raummittelwerte liegen sowohl hinsichtlich der Spitzenwerte als auch hinsichtlich der Effektivwerte unterhalb der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung. In 10 cm und 20 cm Distanz treten beim untersuchten Gerät lokal jedoch bereits Überschreitungen der auf thermischer Wirkung basierenden Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998 auf.

Abbildung 2.34 zeigt Verläufe der magnetischen Feldstärke entlang unterschiedlicher Achsen.

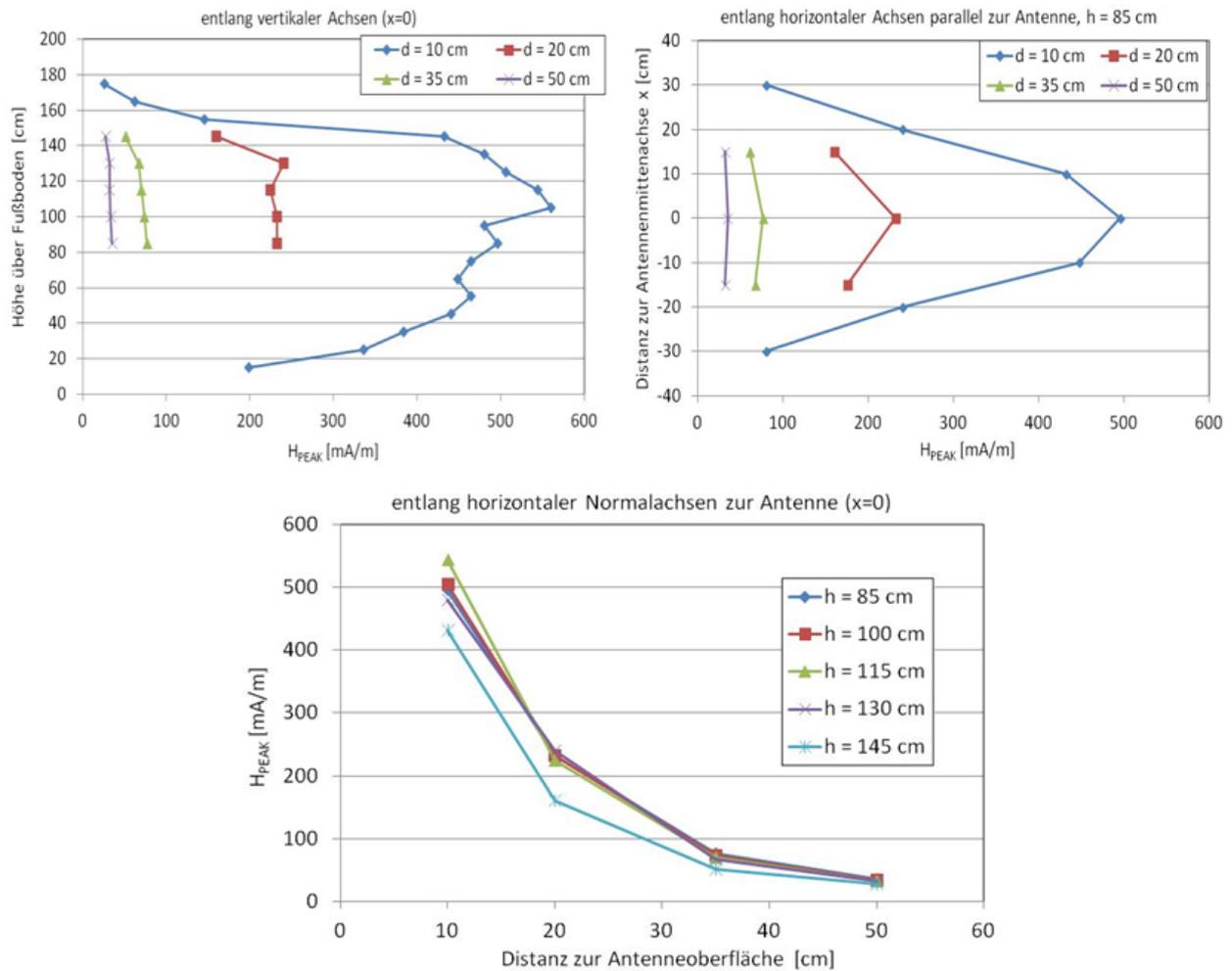


Abbildung 2.34: Verläufe der magnetischen Feldstärke (Spitzenwerte).

oben, links: entlang vertikaler Achsen, mittig zur Antenne in unterschiedlichen Distanzen d zur Antenne

oben, rechts: entlang horizontaler Parallelachsen zur Antenne, in 85 cm Höhe

unten: entlang horizontaler Normalachsen zur Antenne bei x = 0 (Antennenmitte), in Höhen h über dem Fußboden

Die maximal in Entfernungen von 10 cm, 20 cm und 35 cm gemessenen lokalen Spitzenwerte der elektrischen Feldstärke betragen 10 V/m, 5,1 V/m und 2,4 V/m. Die elektrischen Immissionen sind daher im Vergleich zu den magnetischen Immissionen aus strahlenschutztechnischer Sicht nur von untergeordneter Bedeutung (Spitzen-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,1998} = 123 \text{ V/m}$ ,  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,2010} = 117 \text{ V/m}$ ). Dies gilt ebenso im Hinblick auf die zugehörigen maximalen Effektivwerte der elektrischen Feldstärke 6,2 V/m, 3,3 V/m und 1,5 V/m in 10 cm, 20 cm und 35 cm Entfernung (Effektiv-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{RMS,Ref.,Reiz,1998} = 87 \text{ V/m}$ ,  $E_{RMS,Ref.,therm,1998} = 30,4 \text{ V/m}$ ,  $E_{RMS,Ref.,Reiz,2010} = 83 \text{ V/m}$ ).

## 2.2.8 RF-EAS-System Design (Gateway)

Es handelt sich hierbei um ein Radiofrequenz-System der Fa. Gateway, das bei einer Frequenz von ca. 8,3 MHz arbeitet.

Abbildung 2.35 zeigt das untersuchte RF-EAS System.



Abbildung 2.35: RF-EAS-System Gateway Design

### 2.2.8.1 Messtechnische Charakterisierung der emittierten Signale

Das Gerät emittiert ein kontinuierliches amplitudenmoduliertes Signal (Trägerfrequenz 8,3 MHz), bei dem die Modulationsfrequenz mit einer Bandbreite von ca. 300 kHz periodisch variiert wird. (Abbildung 2.36).

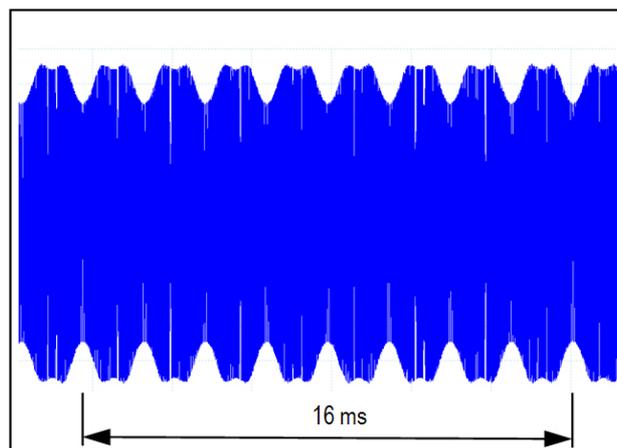


Abbildung 2.36: Zeitverlauf der Magnetfeldimmissionen des untersuchten RF-EAS-Systems Gateway Design

Das messtechnisch ermittelte Verhältnis von Spitzenwert zu Effektivwert der magnetischen Flussdichte in 20 cm Abstand zur Antenne lag beim untersuchten System bei ca. 1,5.

### 2.2.8.2 Ergebnisse der Immissionsmessungen und Bewertung

Tabelle 2.10 fasst die Messergebnisse im Vergleich zu den Referenzwerten nach ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 zusammen.

f = 8,3 MHz			H <sub>PEAK</sub> [A/m]	H <sub>RMS</sub> [A/m]
ICNIRP 1998 – Referenzwert für die Allg. bev.	Reizwirkung		7,07	5,0
	ICNIRP1998*	thermisch	2,35	0,088
ICNIRP 2010 – Referenzwert für die Allg. bev.	Reizwirkung		29,7	21
lokales Maximum	Distanz zur Antenne = 10 cm		0,79	0,526
	Distanz zur Antenne = 20 cm		0,30	0,201
	Distanz zur Antenne = 35 cm		0,13	0,085
	Distanz zur Antenne = 50 cm		0,05	0,033
Raummittelwert (linear) nach EN 62369-1			0,13	0,088
Raummittelwert (quadratisch) nach EN 62369-1			0,16	0,106

Tabelle 2.10: Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse mit dem RF-EAS-System Gateway Design  
Die ICNIRP 1998 - Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung entsprechen den in der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG festgesetzten Referenzwerten, auf die EN 62369-1 verweist. \*siehe Seite 14 oben

Abbildung 2.37 zeigt die Feldverteilung in einer Parallelebene in 10 cm Distanz zur Antenne.

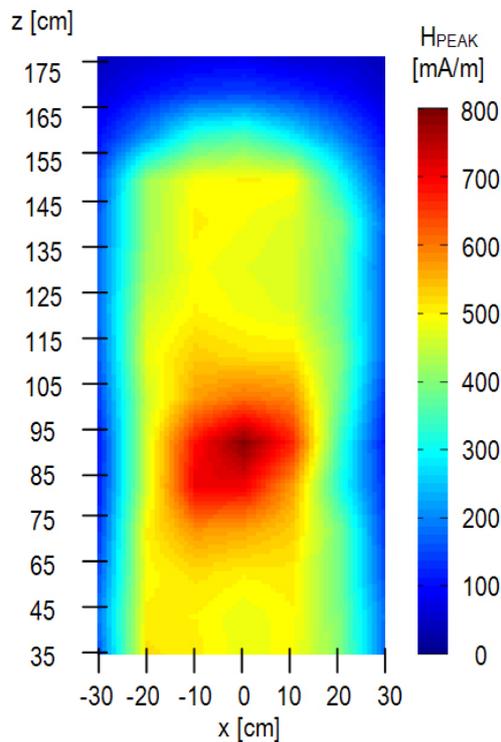
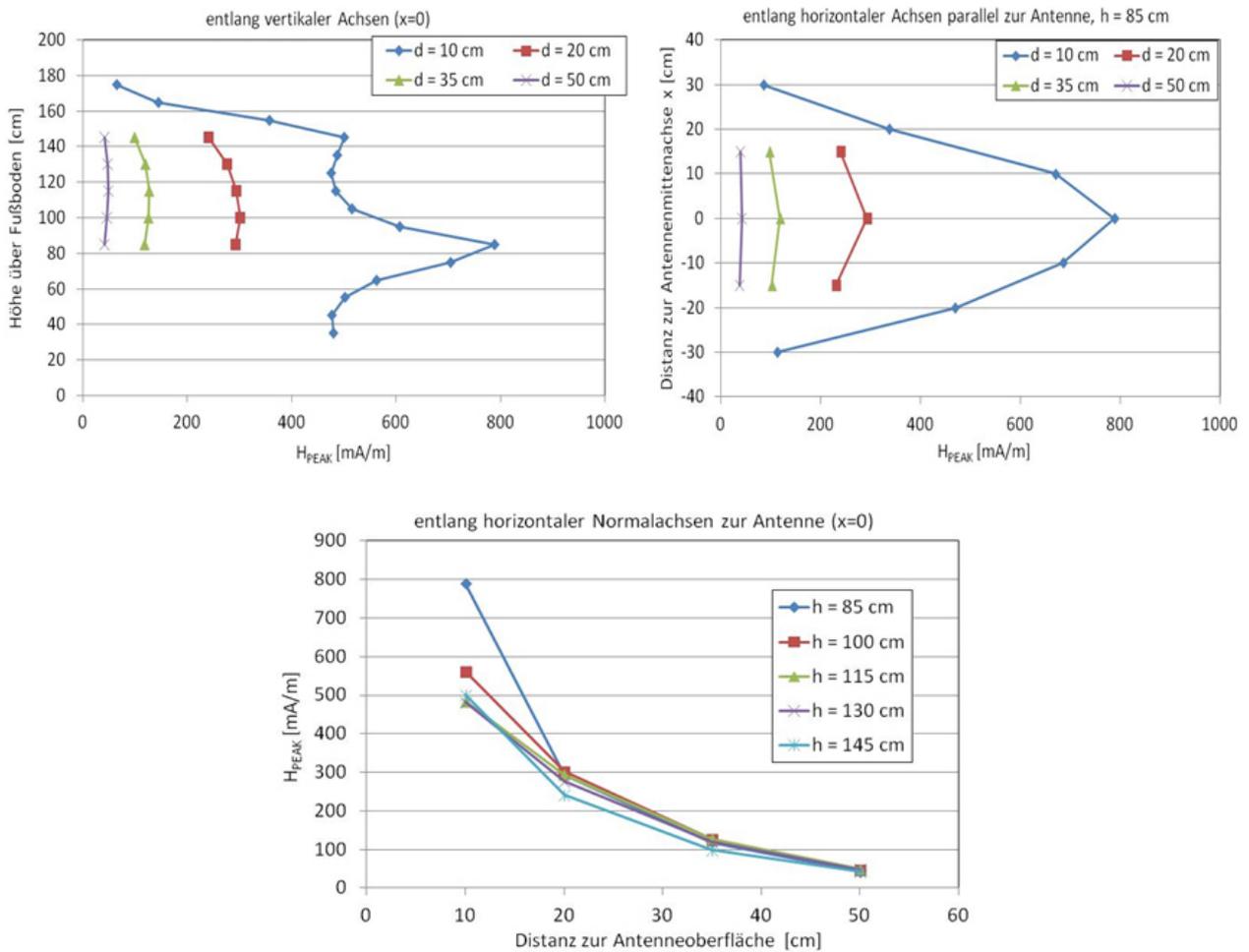


Abbildung 2.37: Verteilung der magnetischen Feldstärke (interpoliert aus Messpunktgitter) in einer Ebene in 10 cm Distanz von der Antennenoberfläche

Die gemäß EN 62369-1 zur Beurteilung heranzuziehenden Raummittelwerte liegen sowohl hinsichtlich der Spitzenwerte als auch hinsichtlich der Effektivwerte unterhalb der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung. In 10 cm und 20 cm Distanz treten beim untersuchten Gerät lokal jedoch bereits Überschreitungen der auf thermischer Wirkung basierenden Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998 auf.

Abbildung 2.38 zeigt Verläufe der magnetischen Feldstärke entlang unterschiedlicher Achsen.



**Abbildung 2.38:** Verläufe der magnetischen Feldstärke (Spitzenwerte).

oben, links: entlang vertikaler Achsen, mittig zur Antenne in unterschiedlichen Distanzen  $d$  zur Antenne

oben, rechts: entlang horizontaler Parallelachsen zur Antenne, in 85 cm Höhe

unten: entlang horizontaler Normalachsen zur Antenne bei  $x = 0$  (Antennenmitte), in Höhen  $h$  über dem Fußboden

Die maximal in Entfernungen von 10 cm und 20 cm gemessenen lokalen Spitzenwerte der elektrischen Feldstärke betragen 23,6 V/m und 7,4 V/m. Die elektrischen Immissionen sind daher im Vergleich zu den magnetischen Immissionen aus strahlenschutztechnischer Sicht nur von untergeordneter Bedeutung (Spitzen-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,1998} = 123$  V/m,  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,2010} = 117$  V/m). Dies gilt ebenso im Hinblick auf die zugehörigen maximalen Effektivwerte der elektrischen Feldstärke 15,7 V/m und 4,9 V/m in 10 cm und 20 cm Entfernung (Effektiv-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{RMS,Ref.,Reiz,1998} = 87$  V/m,  $E_{RMS,Ref.,therm,1998} = 30,4$  V/m,  $E_{RMS,Ref.,Reiz,2010} = 83$  V/m).

## 2.2.9 RF-EAS-System EC30 (Nedap)

Es handelt sich beim untersuchten System um ein Radiofrequenz-System der Fa. Nedap, das nach dem Sweep Prinzip, bei einer Frequenz von ca. 8,0 MHz arbeitet.

Abbildung 2.39 zeigt das untersuchte RF-EAS System.



Abbildung 2.39: RF-EAS-System EC 30

### 2.2.9.1 Messtechnische Charakterisierung der emittierten Signale

Das Gerät emittiert periodisch Pakete eines kombiniert frequenz- und amplitudenmodulierten Signals (Mittenfrequenz 8,0 MHz, Bandbreite 1,2 MHz), siehe Abbildung 2.40.

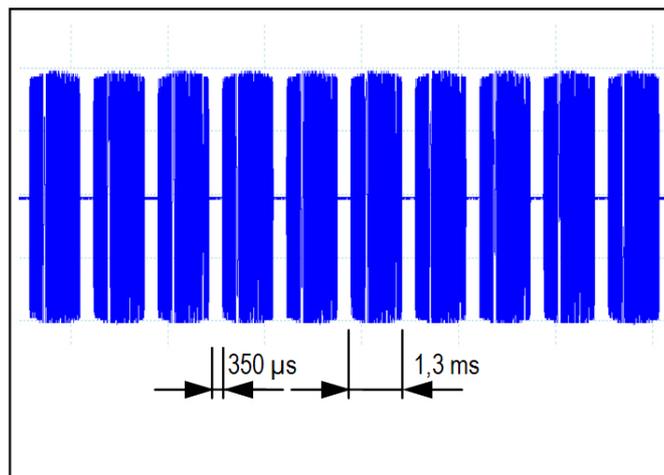


Abbildung 2.40: Zeitverlauf der Magnetfeldimmissionen des untersuchten RF-EAS-Systems EC 30

Das messtechnisch ermittelte Verhältnis von Spitzenwert zu Effektivwert der magnetischen Flussdichte in 20 cm Abstand zur Antenne lag beim untersuchten System bei ca. 1,6.

### 2.2.9.2 Ergebnisse der Immissionsmessungen und Bewertung

Tabelle 2.11 fasst die Messergebnisse im Vergleich zu den Referenzwerten nach ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 zusammen.

f = 8,0 MHz		H <sub>PEAK</sub> [A/m]	H <sub>RMS</sub> [A/m]		
ICNIRP 1998 – Referenzwert für die Allg. bev.	Reizwirkung		7,07	5,0	
	ICNIRP1998*	thermisch	2,36	0,091	
ICNIRP 2010 – Referenzwert für die Allg. bev.		Reizwirkung		29,7	21
lokales Maximum	Distanz zur Antenne = 10 cm		0,99	0,620	
	Distanz zur Antenne = 20 cm		0,46	0,285	
	Distanz zur Antenne = 35 cm		0,16	0,101	
	Distanz zur Antenne = 50 cm		0,07	0,044	
Raummittelwert (linear) nach EN 62369-1		0,18	0,110		
Raummittelwert (quadratisch) nach EN 62369-1		0,22	0,130		

Tabelle 2.11: Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse mit dem RF-EAS-System EC 30.

Die ICNIRP 1998 - Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung entsprechen den in der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG festgesetzten Referenzwerten, auf die EN 62369-1 verweist. \*siehe Seite 14 oben

Abbildung 2.41 zeigt die Feldverteilung in einer Parallelebene in 10 cm Distanz zur Antenne.

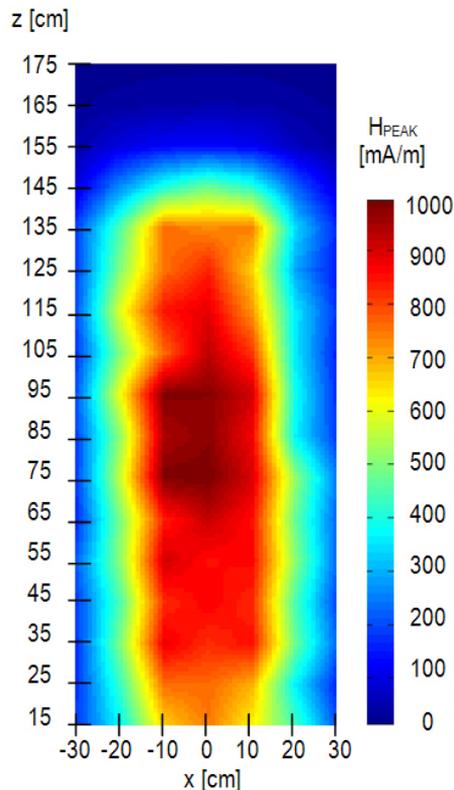
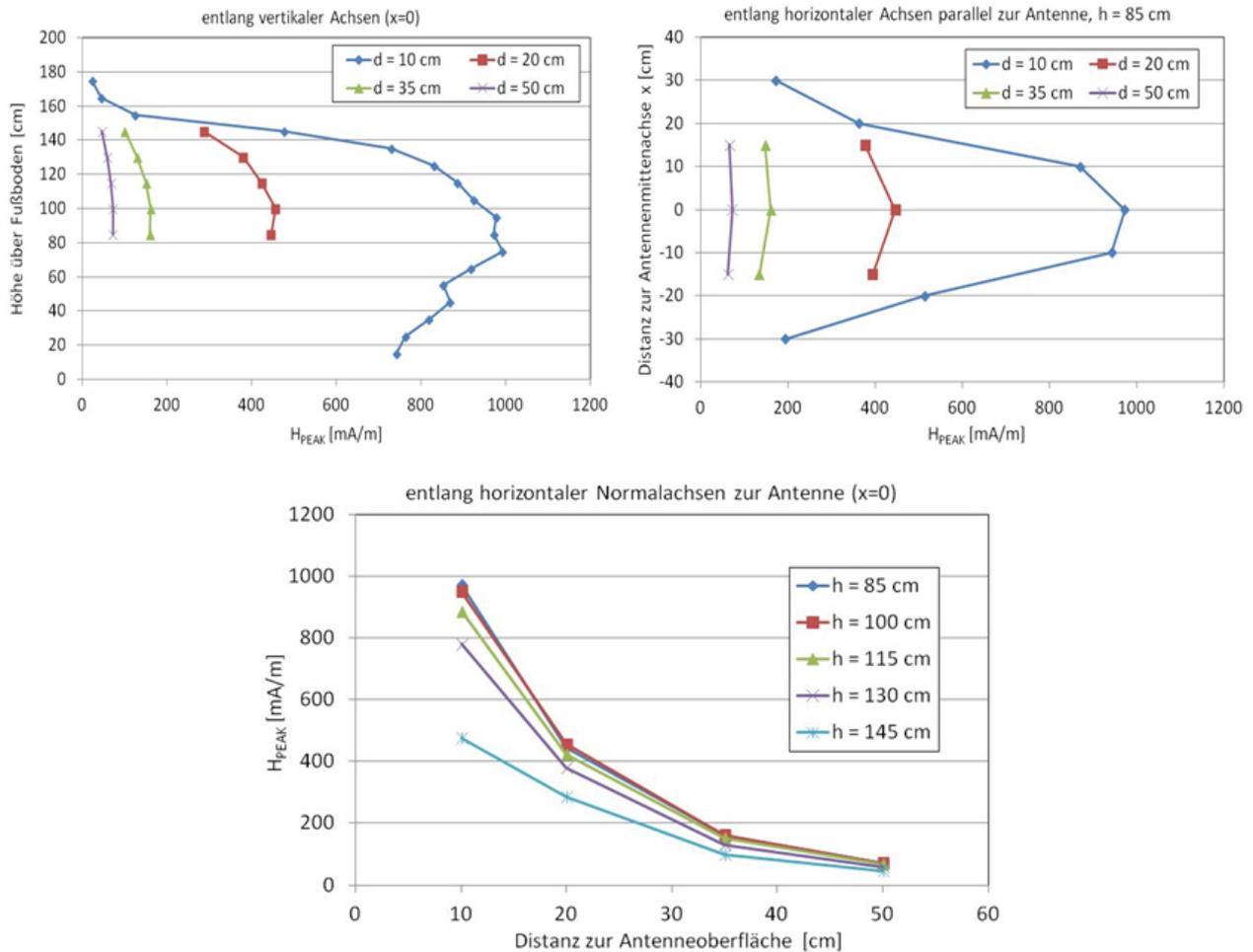


Abbildung 2.41: Verteilung der magnetischen Feldstärke (interpoliert aus Messpunktgitter) in einer Ebene in 10 cm Distanz von der Antennenoberfläche

Die in Abständen  $\geq 10$  cm von der Antenne gemessenen Magnetfeldstärken liegen hinsichtlich der Spitzenwerte unterhalb der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung. Bezüglich der Effektivwerte liegen sogar die gemäß EN 62369-1 zur Beurteilung heranzuziehenden Raummittelwerte oberhalb der auf thermischer Wirkung basierenden Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998.

Abbildung 2.42 zeigt Verläufe der magnetischen Feldstärke entlang unterschiedlicher Achsen.



**Abbildung 2.42:** Verläufe der magnetischen Feldstärke (Spitzenwerte).

oben, links: entlang vertikaler Achsen, mittig zur Antenne in unterschiedlichen Distanzen  $d$  zur Antenne

oben, rechts: entlang horizontaler Parallelachsen zur Antenne, in 85 cm Höhe

unten: entlang horizontaler Normalachsen zur Antenne bei  $x = 0$  (Antennenmitte), in Höhen  $h$  über dem Fußboden

Die maximal in Entfernungen von 10 cm, 20 cm und 35 cm gemessenen lokalen Spitzenwerte der elektrischen Feldstärke betragen 24 V/m, 10,6 V/m und 4,8 V/m. Die elektrischen Immissionen sind daher im Vergleich zu den magnetischen Immissionen aus strahlenschutztechnischer Sicht nur von untergeordneter Bedeutung (Spitzen-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,1998} = 123$  V/m,  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,2010} = 117$  V/m). Dies gilt ebenso im Hinblick auf die zugehörigen maximalen Effektivwerte der elektrischen Feldstärke 15 V/m, 6,6 V/m und 3,0 V/m in 10 cm, 20 cm und 35 cm Entfernung (Effektiv-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{RMS,Ref.,Reiz,1998} = 87$  V/m,  $E_{RMS,Ref.,therm,1998} = 30,4$  V/m,  $E_{RMS,Ref.,Reiz,2010} = 83$  V/m).

## 2.2.10 RF-EAS-System Evolve G10 (Checkpoint Systems)

Es handelt sich hierbei um ein Radiofrequenz-System der Fa. Checkpoint Systems, das nach dem Pulse-Listen Prinzip bei einer Frequenz von ca. 8,2 MHz arbeitet.

Abbildung 2.43 zeigt das untersuchte RF-EAS System.



Abbildung 2.43: RF-EAS-System Evolve G10

### 2.2.10.1 Messtechnische Charakterisierung der emittierten Signale

Das Gerät emittiert Sequenzen von ca. 4  $\mu\text{s}$  langen Bursts mit der Trägerfrequenz (8,2 MHz). Die 4  $\mu\text{s}$  langen Bursts werden zu Burstpaketen zu je 32 Bursts mit einer durchschnittlich 108  $\mu\text{s}$  langen Pause zwischen den Bursts zusammengefasst (Dauer eines Burstpakets ca. 3,5 ms). Diese Burstpakete werden periodisch mit einer mittleren Periodendauer von ca. 5,4 ms ausgesendet (Abbildung 2.44).

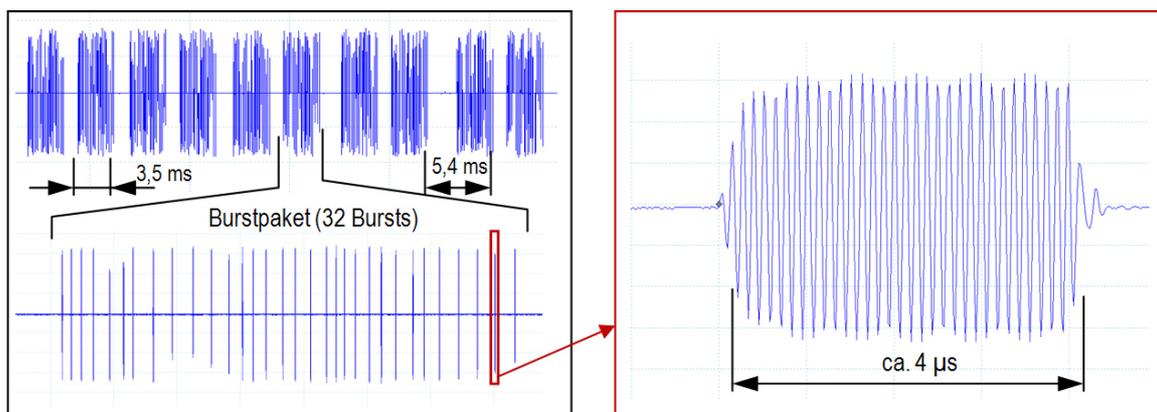


Abbildung 2.44: Zeitverlauf der Magnetfeldimmissionen des untersuchten RF-EAS-Systems Evolve G10

Das messtechnisch ermittelte Verhältnis von Spitzenwert zu Effektivwert der magnetischen Feldstärke in 20 cm Abstand zur Antenne lag beim untersuchten System bei ca. 9,1.

### 2.2.10.2 Ergebnisse der Immissionsmessungen und Bewertung

Tabelle 2.12 fasst die Messergebnisse im Vergleich zu den Referenzwerten nach ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 zusammen.

f = 8,2 MHz			H <sub>PEAK</sub> [A/m]	H <sub>RMS</sub> [A/m]
ICNIRP 1998 – Referenzwert für die Allg. bev.		Reizwirkung	7,07	5,0
		ICNIRP1998* thermisch	2,36	0,089
ICNIRP 2010 – Referenzwert für die Allg. bev.		Reizwirkung	29,7	21
lokales Maximum	Distanz zur Antenne = 10 cm		1,23	0,135
	Distanz zur Antenne = 20 cm		0,58	0,064
	Distanz zur Antenne = 35 cm		0,25	0,027
	Distanz zur Antenne = 50 cm		0,10	0,011
Raummittelwert (linear) nach EN 62369-1			0,27	0,030
Raummittelwert (quadratisch) nach EN 62369-1			0,32	0,035

Tabelle 2.12: Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse mit dem RF-EAS-System Evolve G10.

Die ICNIRP 1998 - Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung entsprechen den in der EU-Ratsempfehlung 1999/519/EG festgesetzten Referenzwerten, auf die EN 62369-1 verweist. \*siehe Seite 14 oben

Abbildung 2.45 zeigt die Feldverteilung in einer Parallelebene in 10 cm Distanz zur Antenne.

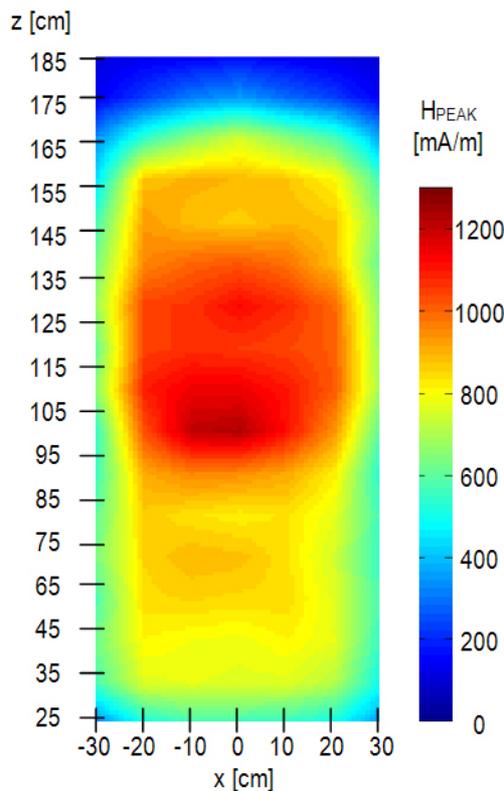
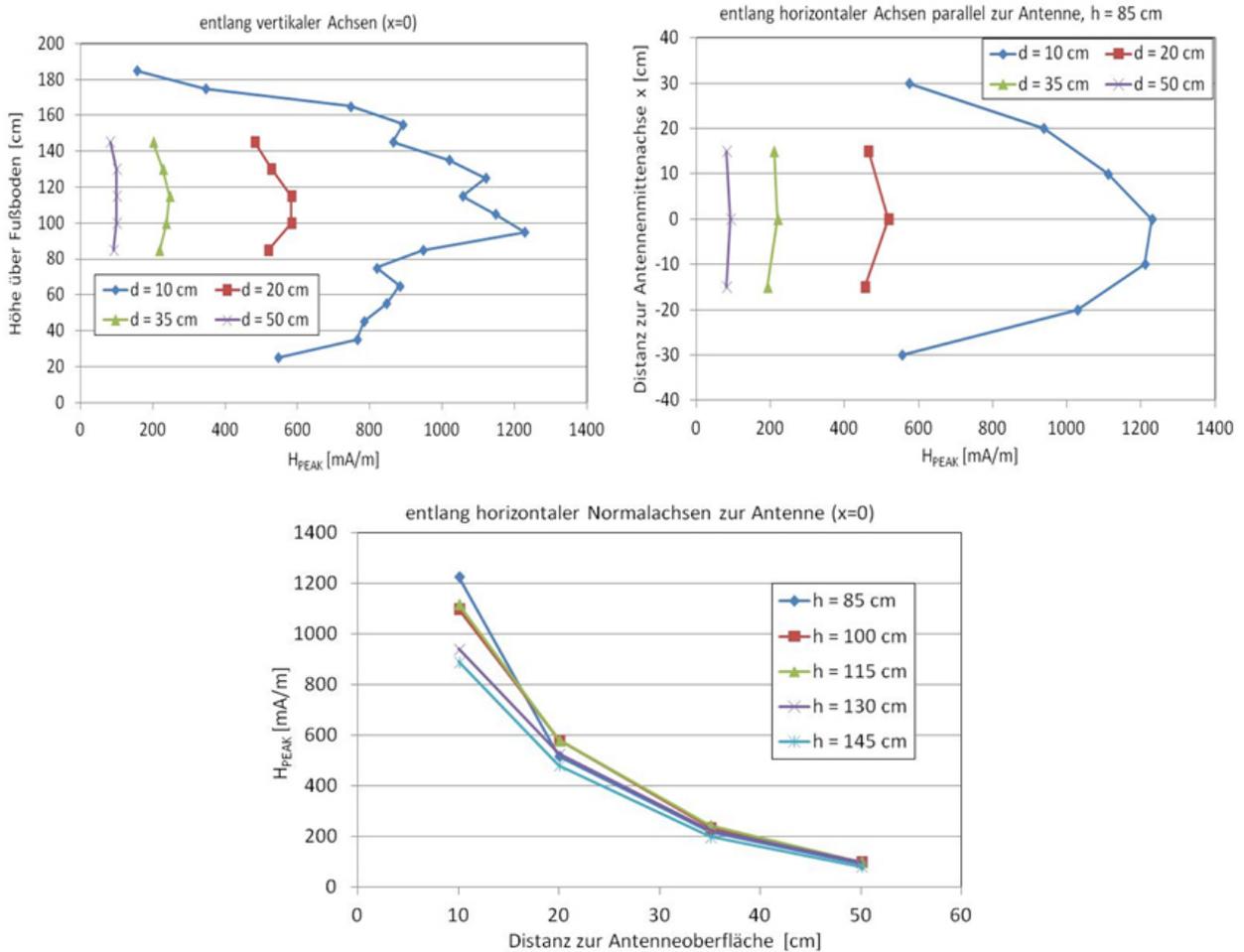


Abbildung 2.45: Verteilung der magnetischen Feldstärke (interpoliert aus Messpunktgitter) in einer Ebene in 10 cm Distanz von der Antennenoberfläche

Die gemäß EN 62369-1 zur Beurteilung heranzuziehenden Raummittelwerte liegen sowohl hinsichtlich der Spitzenwerte als auch hinsichtlich der Effektivwerte unterhalb der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung. In 10 cm Distanz treten beim untersuchten Gerät lokal Überschreitungen der auf thermischer Wirkung basierenden Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998 auf.

Abbildung 2.46 zeigt Verläufe der magnetischen Feldstärke entlang unterschiedlicher Achsen.



**Abbildung 2.46:** Verläufe der magnetischen Feldstärke (Spitzenwerte).

oben, links: entlang vertikaler Achsen, mittig zur Antenne in unterschiedlichen Distanzen  $d$  zur Antenne

oben, rechts: entlang horizontaler Parallelachsen zur Antenne, in 85 cm Höhe

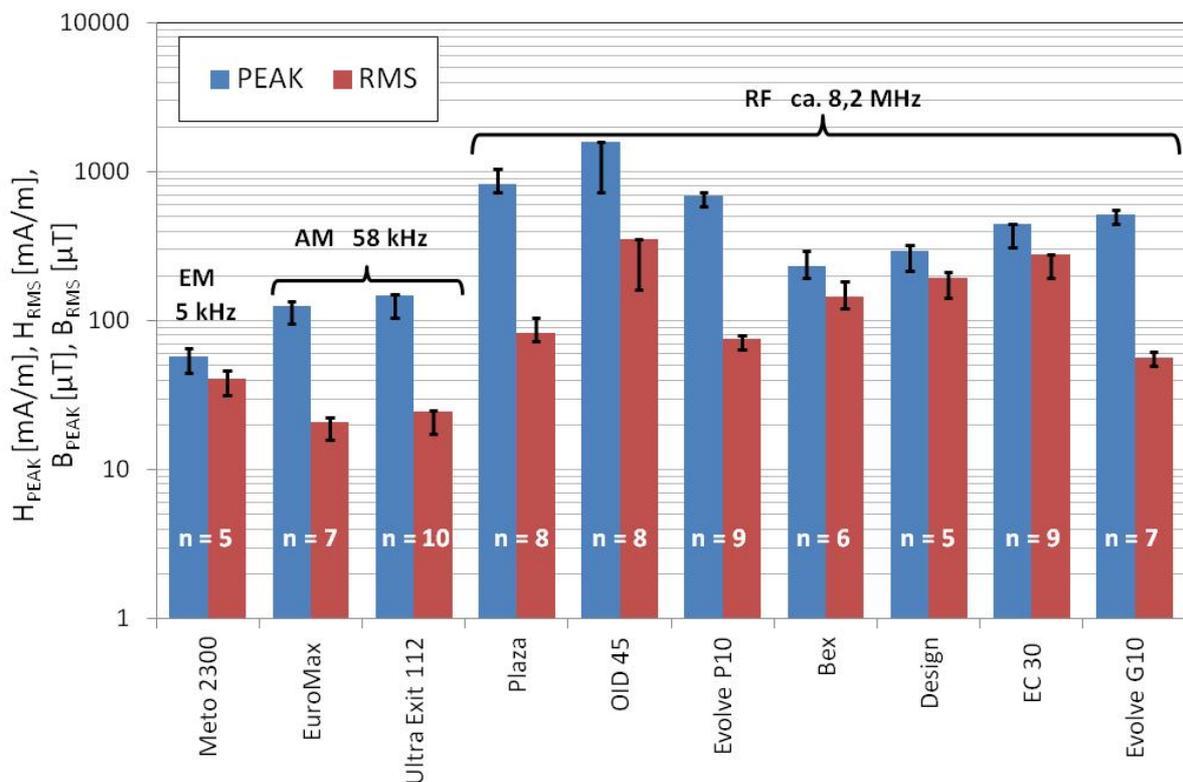
unten: entlang horizontaler Normalachsen zur Antenne bei  $x = 0$  (Antennenmitte), in Höhen  $h$  über dem Fußboden

Die maximal in Entfernungen von 20 cm und 35 cm gemessenen lokalen Spitzenwerte der elektrischen Feldstärke betragen 10,7 V/m und 5,6 V/m. Die elektrischen Immissionen sind daher im Vergleich zu den magnetischen Immissionen aus strahlenschutztechnischer Sicht nur von untergeordneter Bedeutung (Spitzen-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,1998} = 123$  V/m,  $E_{PEAK,Ref.,Reiz,2010} = 117$  V/m). Dies gilt ebenso im Hinblick auf die zugehörigen maximalen Effektivwerte der elektrischen Feldstärke 1,2 V/m und 0,7 V/m in 20 cm und 35 cm Entfernung (Effektiv-Referenzwerte für Allgemeinbevölkerung  $E_{RMS,Ref.,Reiz,1998} = 87$  V/m,  $E_{RMS,Ref.,therm,1998} = 30,4$  V/m,  $E_{RMS,Ref.,Reiz,2010} = 83$  V/m).

## 2.2.11 Zusätzliche Messungen an einem Referenzpunkt

Ergänzend zu den in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen detaillierten Messungen im Einzelhandel an zehn unterschiedlichen EAS-Anlagen wurden stichprobenhaft eine Reihe weiterer Messungen an einem Referenzpunkt (mittig zur Antenne, 85 cm über dem Boden, in 20 cm Entfernung zur Antenne) durchgeführt. Diese Messungen dienen dazu, um den Variationsbereich der von unterschiedlichen EAS-Systemen des gleichen Typs in der Praxis hervorgerufenen magnetischen Immissionen abschätzen zu können. Abbildung 2.47 illustriert die dabei gefundenen Streuungen der Immissionen. Die Balkenhöhe entspricht jeweils dem Wert, der an dem detailliert analysierten Gerät ermittelt wurde (vgl. Kapitel 2.2.1-2.2.10), die Fehlerbalken markieren die Spannweite der untersuchten Stichprobe. Die Spannweite lag dabei von Systemtyp zu Systemtyp unterschiedlich zwischen ca.  $\pm 10\%$  und ca.  $\pm 20\%$  vom Mittelwert der Stichprobe.

Die Repräsentativität von Messungen an einem konkreten System vor Ort kann daher nur innerhalb dieser Grenzen angenommen werden.



**Abbildung 2.47:** Variationen der magnetischen Flussdichte bzw. magnetischen Feldstärke (Spitzenwerte und Effektivwerte) nahe den Antennen der untersuchten EAS-Anlagenmodelle des gleichen Typs, gemessen in einem Referenzpunkt (20 cm Distanz zur Antenne, 85 cm Höhe über dem Boden, mittig zur Antenne). Balkenhöhe = am detailliert untersuchten System ermittelter Messwert, Fehlerindikator = Spannweite aller Daten.

## 2.3 Strahlenschutztechnische Relevanz der elektrischen Feldkomponente von EM- und AM-EAS Systemen

Wenngleich allein aufgrund des Funktionsprinzips und der Antennen davon auszugehen ist, dass die betrachteten EAS-Systeme dominant magnetische Immissionen verursachen, so treten naturgemäß auch messbare elektrische Feldkomponenten in unmittelbarer Nähe zu den Antennen auf. Diese elektrischen Feldstärkekomponenten zeigen typischerweise lokale Maxima entlang der Antennenleiter bzw. in unmittelbarer Nähe zur Abdeckung der System-Elektronik (üblicherweise bodennah im Antennen-Sockel integriert) und klingen rasch mit zunehmender Entfernung zu den Antennen ab.

Die daher räumlich stark eingegrenzten lokalen Maxima der elektrischen Feldstärke können in unmittelbarer Nähe zu den Antennen durchaus in der Größenordnung der jeweiligen Referenzwerte oder auch darüber liegen. Die Referenzwerte für die elektrische Feldstärke sind jedoch unter der Annahme homogener elektrischer Befeldung der gesamten Körpers abgeleitet worden, sodass sie für lokal begrenzte elektrische Felder als überkonservativ angesehen werden müssen.

Demgegenüber liegen die magnetischen Feldkomponenten von EAS-Systemen nahe den Antennen über relativ große Raumbereiche (Antennenfläche) deutlich oberhalb der Referenzwerte für die magnetische Feldstärke (ebenfalls abgeleitet unter der Annahme, homogener Ganzkörperbefeldung).

Aus der Kombination der Tatsachen, dass

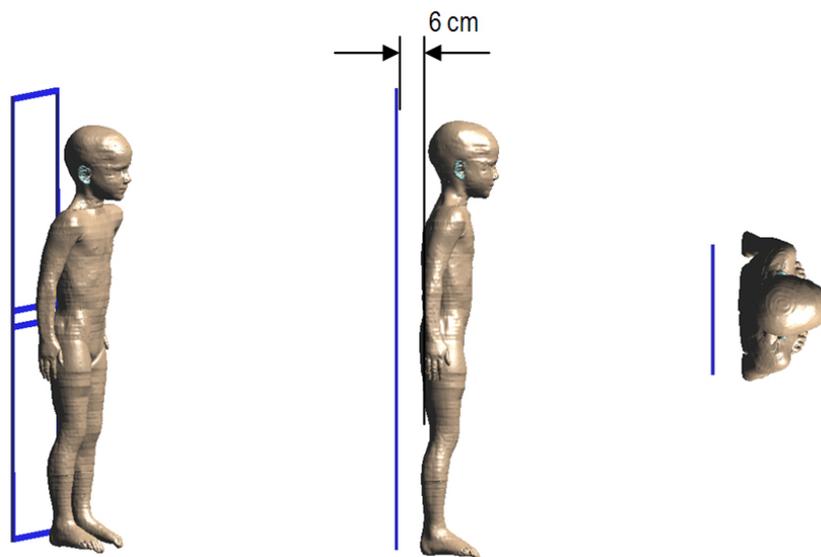
1. die elektrische Feldstärke nahe den EAS-Antennen lokal stark eingegrenzt ist,
2. die lokalen Maximalwerte der elektrischen Feldstärke unmittelbar an den Antennen zwar oberhalb der Referenzwerte liegen können, jedoch nicht um Größenordnungen oberhalb (z.B. weniger als Faktor 2 oberhalb der Referenzwerte in 10 cm Distanz zur Antenne)
3. die magnetische Feldstärke nahe den EAS-Antennen innerhalb relativ großer Raumbereiche deutlich oberhalb der Referenzwerte liegen kann (z.B. teilweise größer Faktor 10 in 10 cm Distanz)

ist daher bereits abzuleiten, dass die elektrischen Immissionen von EAS-Anlagen im Allgemeinen gegenüber den magnetischen Immissionen, zumindest für übliche, hier betrachtete Expositionssituationen (kein direkter Kontakt zu metallischen Teilen der Antennen), nur von sehr untergeordneter Bedeutung, bzw. vernachlässigbar sind.

Die Überkonservativität der Referenzwerte für die elektrische Feldstärke bei lokal eingeschränkter elektrischer Befeldung konnte bereits in [7] auf Basis numerischer Berechnungen für die Situation der Exposition einer Person unterhalb einer Energiesparlampe bestätigt werden. Die im Kopfbereich lokal angenommene elektrische Feldstärke von 433 V/m bei 50 kHz (entspricht ca. Faktor 5 oberhalb des Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung) führte zu einer maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten intrakorporalen elektrischen Feldstärke von 0,4 V/m im Zentralnervensystem und ca. 3 V/m in der Haut, wenn ein physiologisch sinnvoller Hautleitfähigkeitswert von 0,1 S/m angenommen wird. Diese Ergebnisse liegen daher

einen Faktor 19,5 bzw. 2,6 unterhalb des Basiswertes für die Allgemeinbevölkerung von 7,8 V/m. D.h., die Bewertung des lokalen Maximalwertes der äußeren ungestörten elektrischen Feldstärke auf Basis des Referenzwertes überschätzt die tatsächliche Exposition in Relation zu den Basiswerten um einen Faktor 13. Die Quelle (Energiesparlampe) wurde dabei als leitfähige Kugel auf konstantem Potenzial ca. 2 m über leitfähigem Grund (Potenzial 0 V) modelliert, was bezogen auf das Körpermodell zu einer wesentlich homogeneren und großräumigeren Feldverteilung als im Fall der betrachteten EAS-Anlagen führt.

Um die oben geschilderten Sachverhalte konkret für die beobachteten elektrischen Immissionsverhältnisse bei den untersuchten EM- und AM-EAS Anlagen zu demonstrieren, wurden zwei vereinfachte Expositionssituationen auf Basis numerischer Berechnungen betrachtet (Abbildung 2.48).



**Abbildung 2.48:** Auf Basis numerischer Berechnungen betrachtete Expositionssituation zur Abschätzung der induzierten intrakorporalen elektrischen Feldstärken zufolge der Exposition in den von EM- und AM-Anlagen verursachten elektrischen Feldern

Das Körpermodell eines 5-jährigen Kindes befindet sich dabei mit dem Rücken einer typischen EAS-Antennenstruktur zugewandt (Distanz zur Antenne ca. 6 cm). Die Berechnungen erfolgten für 5 kHz (EM-EAS-Anlage) und 58 kHz (AM-EAS-Anlage) mittels der Simulationsplattform SEMCAD X unter Annahme quasi-elektrostatistischer Feldverhältnisse. Die metallische Antennenstruktur wurde dazu auf konstantes elektrisches Potenzial gelegt, so dass jeweils in 10 cm Distanz zur Antenne das lokale (ungestörte) Feldstärkemaximum dem Referenzwert für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 2010 entsprach (83 V/m). In 6 cm Distanz zur Antenne (nächster Punkt des Körpermodells) ergab sich daraus ein lokaler Maximalwert der elektrischen Feldstärke von ca. 180 V/m, d.h., mehr als das Doppelte des Referenzwertes (Abbildung 2.49).

Die Ergebnisse der Berechnungen in Form der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten im peripheren Gewebe (Haut mit Leitfähigkeit von 0,1 S/m) induzierten elektrischen Feldstärke lagen bei 4 mV/m (5 kHz) bzw. 45 mV/m (58 kHz) und demnach einen Faktor 168 bzw. 174 unterhalb der entsprechenden Basiswerte.

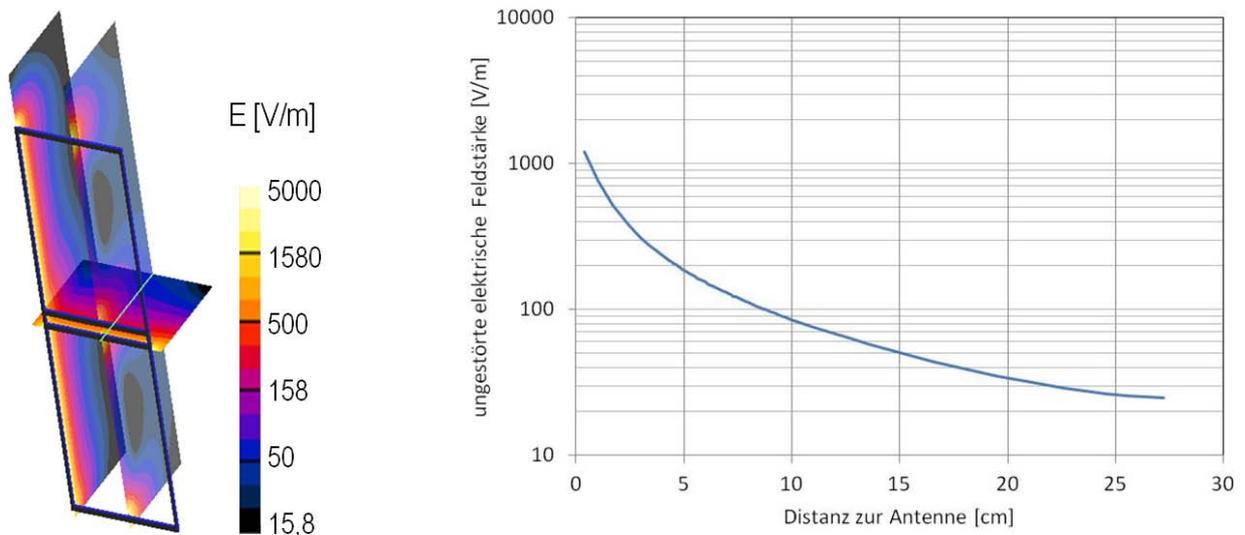


Abbildung 2.49: Ungestörte Feldverteilung in unmittelbarer Nähe der modellierten Quelle. Links: dreidimensionale Darstellung in unterschiedlichen Ebenen. Rechts: Verlauf der elektrischen Feldstärke entlang der Mittelachse normal zur Quelle (grüne Linie im linken Teilbild)

Abbildung 2.50 zeigt die (ungemittelte) Verteilung der induzierten elektrischen Feldstärke (Voxelgröße konstant  $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$ ), jeweils in der Ebene des Maximums für die beiden betrachteten Frequenzen.

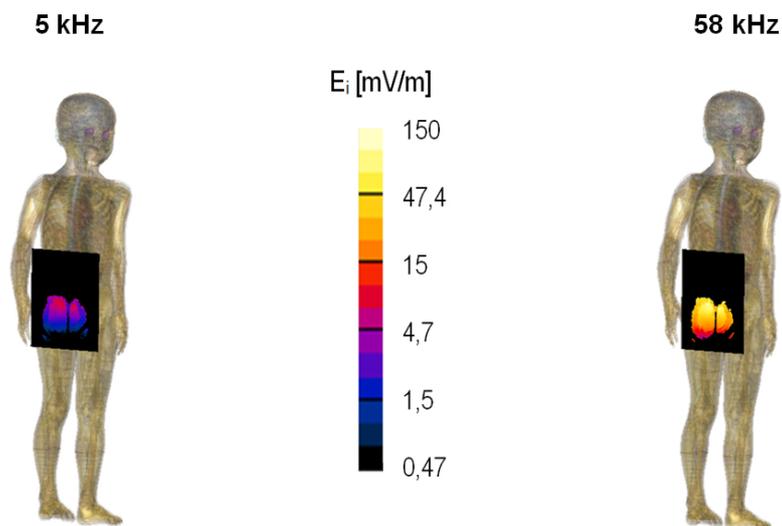


Abbildung 2.50: Das Maximum der induzierten elektrischen Feldstärke in der Haut trat nahe des lokalen Maximums der ungestörten Feldstärke im Bereich des Gesäßes auf. Dargestellt ist die ungemittelte induzierte elektrische Feldstärke.

Es zeigt sich somit klar, dass ein Vergleich der lokalen Feldstärkemaximalwerte mit den Referenzwerten zu einer überkonservativen Bewertung führt. Gemeinsam mit den aus [1] bekannten Ergebnissen, die zeigen, dass für die Referenzwerte der magnetischen Flussdichte im Fall der Exposition in der Nähe von EAS-Anlagen eine derartige Überkonservativität nicht gegeben ist, kann daher gefolgert werden, dass die elektrischen Feldkomponenten der

betrachteten EAS-Anlagen im Vergleich zu den magnetischen Feldkomponenten, für die hier betrachteten Expositionssituationen, aus strahlenschutztechnischer Sicht vernachlässigbar sind.

Es sind jedoch natürlich auch Expositionssituationen denkbar, in denen der elektrischen Feldkomponente im Verhältnis zur magnetischen Feldkomponente mehr Relevanz zukommt, bzw. in denen die elektrische Feldkomponente sogar dominant für die gesamte resultierende induzierte elektrische Feldstärke sein kann. Beispielsweise könnte sich eine Person bei ausgestrecktem Arm mit den Fingerspitzen einer EAS-Antenne unmittelbar annähern (auch ohne direkte Berührung). In diesem Fall könnte, aufgrund der (für die Einkopplung des elektrischen Feldes relevanten) „Spitzenwirkung“ einerseits und des (für die magnetische Einkopplung relevanten) geringen Einkoppelquerschnitts andererseits, die insgesamt in den Fingern induzierte elektrische Feldstärke sogar von der äußeren ungestörten elektrischen Feldkomponente dominiert sein. Um derartige Expositionssituationen im Hinblick auf die induzierten intrakorporalen elektrischen Feldstärken detailliert und für konkrete EAS-Systeme numerisch untersuchen zu können, wären jedoch wesentlich detailliertere Analysen der elektrischen Feldverhältnisse in unmittelbarer Nähe zu den Antennen (frequenzselektive Messung mit Miniaturfeldsonden) bzw. Detailinformationen über den Aufbau der Antennen notwendig, die im Zuge von Messungen vor Ort im Einzelhandel nicht möglich bzw. verfügbar sind, weshalb die numerische Analyse derartiger Expositionssituationen über den Rahmen des gegenständlichen Projekts deutlich hinausgehen würden. Zudem muss davon ausgegangen werden, dass in solchen Fällen der konkreten numerischen Modellierung der Haut große Bedeutung im Hinblick auf das Bewertungsergebnis zukommt. Gerade in diesem Zusammenhang wurde kürzlich auf wesentliche noch bestehende wissenschaftliche Unsicherheiten hingewiesen [7]-[8], sodass zuerst eine Klärung dieser noch bestehenden Fragen als sinnvoll erscheint, bevor man sich einer strahlenschutztechnischen Analyse von (relativ selten anzunehmenden) Expositionssituationen der oben genannten Art widmet.

## 2.4 Schlussfolgerungen aus den messtechnischen Untersuchungen

Technologiespezifisch können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Beim untersuchten elektromagnetischen (EM-) System *Meto 2300*, das mit kontinuierlichen harmonischen Magnetfeldern bei 16 Hz und 5 kHz arbeitete, zeigte der gemäß EN 62369-1 zur Bewertung heranzuziehende Raummittelwert der magnetischen Immissionen der 5 kHz Komponente eine deutliche Überschreitung des Referenzwertes für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998. Der (weniger strenge) Referenzwert nach ICNIRP 2010 wurde knapp unterschritten. In 10 cm Distanz zur untersuchten Antenne wurde lokal jedoch auch der Referenzwert gemäß ICNIRP 2010 um mehr als das Vierfache überschritten. Für dieses System wurden daher weitere detaillierte Analyse auf Basis numerischer Berechnungen durchgeführt.

Die untersuchten Geräte der akustomagnetischen (AM-)Technologie *EuroMax* und *Ultra Exit 1121* (beide von Sensormatic, arbeiten mit gepulsten 58 kHz Magnetfeldern), zeigten deutliche Überschreitungen der Referenz-Spitzenwerte für die Allgemeinbevölkerung, sowohl nach ICNIRP 1998 als auch nach ICNIRP 2010. Dies betrifft sowohl die Raummittelwerte nach EN 62369-1, als auch lokale Immissionswerte in bis zu 50 cm Distanz zu den Antennen. Im Zuge von [1] wurden bereits numerische Berechnungen für das Sensormatic System *Ultra Exit 1120* durchgeführt, das

eine sehr ähnliche räumliche Verteilung des emittierten Magnetfeldes zeigte wie das System *Ultra Exit 1121*. Das System *EuroMax* weist hingegen aufgrund einer leicht unterschiedlichen Antennenanordnung eine etwas andere Magnetfeldverteilung auf. Insbesondere zeigt sich beim Modell *EuroMax* ein etwas weniger stark lokal eingegrenztes Maximum im Bereich von ca. 70 cm bis 110 cm über dem Fußboden (vgl. Abbildung 2.13 bzw. Abbildung 2.14 mit Abbildung 2.17 bzw. Abbildung 2.18), was bei Kindern zu einer stärkeren Exposition des Kopfes führen könnte. Aus diesem Grund erfolgten weitere Analysen auf Basis von numerischen Simulationen für das Modell *EuroMax*.

Bei den untersuchten Radiofrequenz (RF-)Systemen, zeigten sich Überschreitungen von Referenzwerten zum Schutz vor Reizwirkung nur bei einem der untersuchten Systeme, lokal in ca. 10 cm zur Antenne (Nedap *OID 45*). Die Raummittelwerte nach EN 62369-1 lagen bei allen untersuchten Systemen unterhalb der Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung zum Schutz vor Reizwirkung, gemäß ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010. Bezüglich der Effektivwerte zum Schutz vor thermischen Effekten nach ICNIRP 1998 zeigten alle untersuchten RF-Systeme zumindest vereinzelte lokale Überschreitungen in den untersuchten Messpositionen. Bei drei der untersuchten Geräte (Nedap *OID 45*, Nedap *EC 30* und *Gateway Design*) zeigten sogar die Raummittelwerte nach EN 62369-1 noch Überschreitungen der thermisch relevanten Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung nach ICNIRP 1998. Aufgrund der relativ weiten Verbreitung des Systems *OID 45* wurden weiterführende numerische Analysen mit diesem System durchgeführt. Außerdem erfolgten weiterführende numerische Berechnungen mit dem System *Gateway Design*, da es eine für RF-Systeme eher untypische, bisher noch nicht numerisch untersuchte Feldverteilung mit einem ausgeprägten lokalen Maximum in ca. 85 cm Höhe zeigt.

## 2.5 Numerische Berechnungen

### 2.5.1 Betrachtete Expositionsszenarien

Auf Basis der in Kapitel 2.4 angestellten Überlegungen wurden für die numerischen Berechnungen die folgenden vier EAS-Systeme ausgewählt und die in Abbildung 2.51 dargestellten Expositionsszenarien betrachtet. Die „lateral, d = 20 cm“-Szenarien entsprechen dabei den Expositionssituationen, die für die Zulassungsprüfungen gemäß EN 62369-1 zugrunde gelegt wurden. Die „dorsal“-Szenarien, wurden gewählt, da sie als repräsentativ für ungünstige, in der Praxis nicht auszuschließende Expositionssituationen angesehen werden.

- Meto 2300 (EM)
- Sensormatic EuroMax (AM)
- Nedap 45 OID (RF)
- Gateway Design (RF)

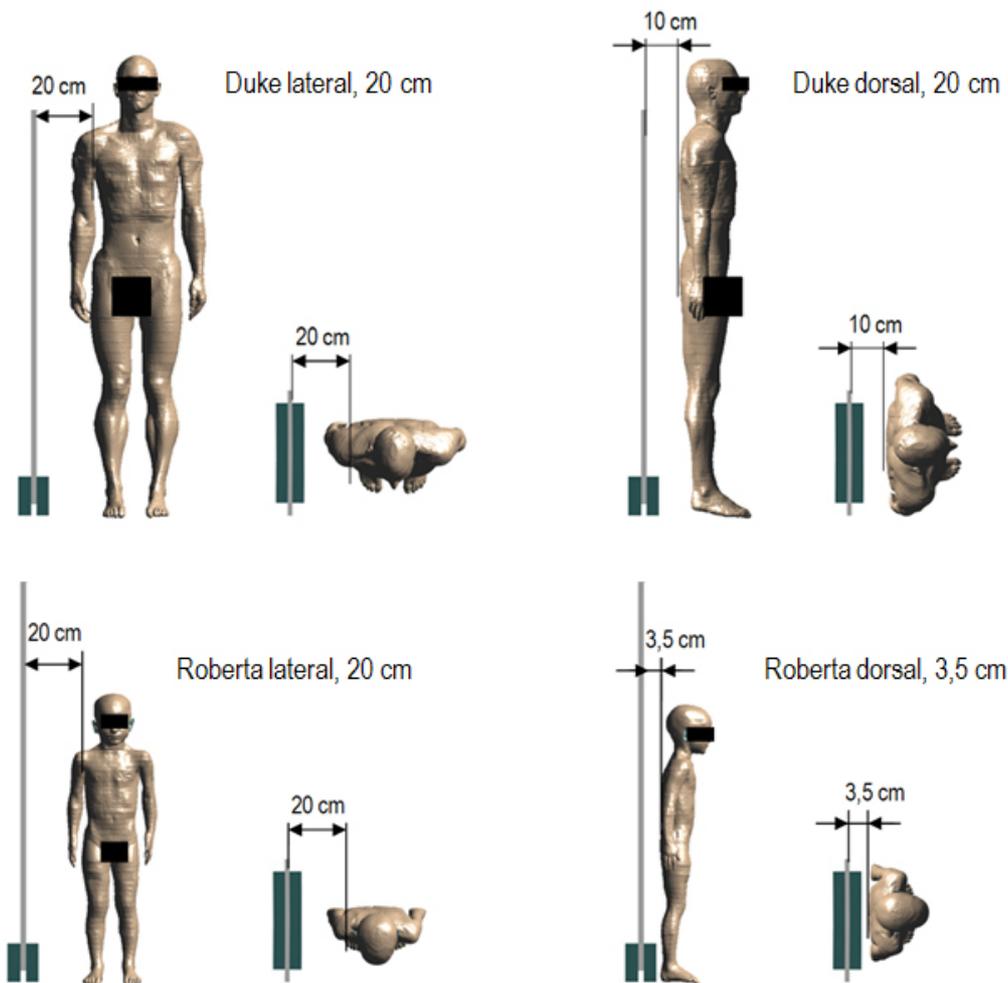


Abbildung 2.51: Expositionsszenarien für die numerischen Berechnungen

## 2.5.2 Berechnungsmethoden

Bei Arbeitsfrequenzen der EAS-Geräte unterhalb von 1 MHz erfolgten die Berechnungen auf Basis der frequenzskalierten FDTD-Methode (Berechnungsfrequenz 1 MHz bzw. 2 MHz), für Arbeitsfrequenzen oberhalb von 1 MHz erfolgten die Berechnungen direkt mit der FDTD-Methode.

Die dielektrischen Gewebeparameter in den Körpermodellen wurden, konsistent zu [1], gemäß [9] zugeordnet.

Die Bewertung der intrakorporalen Feldgrößen wurde dabei gemäß ICNIRP 2010 auf Basis des Maximalwertes der im Gewebe auftretenden, über ein Volumen von  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten Verteilung der elektrischen Feldstärke vorgenommen. Die Mittelwertbildung erfolgte dabei unter Verwendung eines einfachen Mittelungsalgorithmus unter Nichtberücksichtigung von grenschichtnahen Volumenelementen, deren zugeordnete Feldstärkekomponenten nicht gänzlich im betrachteten Zielgewebe liegen (siehe Anhang). Diese Methode konnte im Zuge von ausführlichen Analysen in [7] als die bestgeeignete identifiziert werden, sofern die Rechengitterschrittweite im interessierenden Bereich nicht größer als 1 mm gewählt wird.

### 2.5.3 Allgemeine Unsicherheitsbetrachtungen

Bei der Prüfung der Einhaltung der Basiswerte sind bei numerischen Berechnungen 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 Auflösung)
- Unsicherheiten der relevanten elektrischen bzw. dielektrischen Gewebeparameter
- Unsicherheiten der Quellenmodellierung
- Unsicherheiten bezüglich Repräsentativität der anatomischen Körpermodelle hinsichtlich Größe, Statur, Körperhaltung, etc.
- Unsicherheiten des Mittelungsverfahrens der Zielgröße

Bei der konkreten Durchführung von Berechnungen zu bestimmten Fragestellungen unter Verwendung einer aus Aufwandsgründen stark eingeschränkten Anzahl unterschiedlicher Körpermodelle, können die Unsicherheiten zufolge der begrenzten anatomischen Auflösung der Körpermodelle und zufolge der beschränkten Repräsentativität der Körpermodelle nicht fundiert quantifiziert werden. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass diese Unsicherheiten ausreichend durch die bei der Festsetzung der Basiswerte eingeführten Sicherheitsfaktoren bzw. Reduktionsfaktoren abgedeckt sind.

Die Unsicherheiten der eingesetzten Löser-Algorithmen können typischer Weise mit  $\leq \pm 5\%$  angesetzt werden und können daher im Allgemeinen gegenüber anderen Unsicherheitsbeiträgen vernachlässigt werden

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  $\max E_{i,avg}$  können basierend auf den in [7] dokumentierten Ergebnissen gemeinsam zu maximal ca.  $\pm 20\%$  abgeschätzt werden (bei Gitterschrittweiten  $\leq 1 \text{ mm}$ ).

Bezüglich der Unsicherheiten der elektrischen bzw. dielektrischen Gewebeparameter ist zunächst festzuhalten, dass diese im Bereich niedriger Frequenzen in der Literatur generell mit bis zu einem Faktor 2 beschrieben sind [10]. 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 bei Vernachlässigung der Anisotropie für die Zielgröße  $\max E_{i,avg}$  in PNS- und CNS-Geweben ergaben ca.  $\pm 20\%$  bis  $30\%$  [7]. Ganz allgemein zeigen die Berechnungsergebnisse, dass sich die Unsicherheiten der Gewebeparameter nur in abgeschwächter Form auf die Berechnungsergebnisse für  $\max E_{i,avg}$  übertragen, oder anders ausgedrückt, dass nur eine relativ geringe Sensitivität der Berechnungsergebnisse bezüglich der Gewebeparameterunsicherheiten besteht. D.h., bei einer angenommenen Unsicherheit der Gewebeparameter von einem Faktor 2 (entsprechend  $\pm 33\%$ ) wird von einer Unsicherheit der Berechnungsergebnisse für  $\max E_{i,avg}$  von maximal ca.  $\pm 20\%$  auszugehen sein [7]. Insgesamt (einschließlich Anisotropie) wird die maximale Unsicherheit bezüglich  $\max E_{i,avg}$  zufolge Gewebeparameterunsicherheiten daher mit maximal ca.  $\pm 35\%$  angesetzt. Die Frage, ob für die

Haut ein Leitfähigkeitswert entsprechend Hornhaut (trocken bei 50 Hz 0,002 S/m) anzusetzen ist, oder ein signifikant höherer Wert entsprechend tiefer liegender, Nervenendigungen enthaltender Hautschichten ist nicht Bestandteil dieser Unsicherheitsbetrachtungen (vgl. dazu [7] und [8]). Um den sich in Zusammenhang mit der Leitfähigkeit der Haut ergebenden Unsicherheitsbereich der Ergebnisse im Hinblick auf die Expositionsbeurteilung in peripheren Geweben (PNS) zumindest grob (ohne Verdopplung des Rechenaufwandes) abschätzen zu können, erfolgte bei der Auswertungen für PNS Gewebe einmal die Mittelung über alle Gewebe und einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe.

Die Unsicherheit der Quellenmodellierung ist naturgemäß für jede der im Folgenden betrachteten Feldquelle separat zu ermitteln.

## 2.5.4 EM-EAS System 2300 (Meto bzw. Checkpoint Systems)

Eine Kurzbeschreibung des Systems, sowie die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen sind in Kapitel 2.2.1 dokumentiert.

### 2.5.4.1 Validierung des Quellenmodells

Auf Basis von detaillierten Messungen der Feldverteilung in unterschiedlichen Entfernungen zur Oberfläche der Antenne wurde ein numerisches Quellenmodell für die 5 kHz Sendeantenne des EAS-Gerätes erstellt. Abbildung 2.52 zeigt einen Vergleich der magnetischen Flussdichte (Effektivwerte) entlang unterschiedlicher Achsen im Raumbereich von 10 cm bis 35 cm vor der Antenne. Abbildung 2.53 zeigt einen Vergleich der gemessenen Feldverteilung und der mit dem numerischen Quellenmodell erzielten Feldverteilung in einer Vertikalebene in 10 cm Parallelabstand zur Antenne.

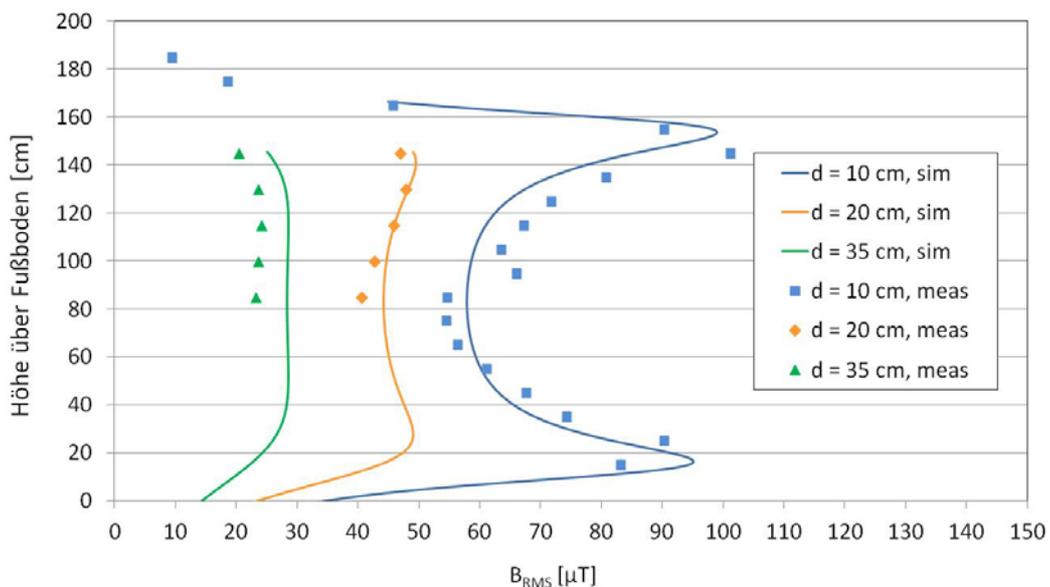


Abbildung 2.52: Vergleich des Feldverlaufs (Effektivwerte) zwischen Messung und Simulation entlang vertikaler Achsen mittig vor der Antenne in unterschiedlichen Abständen zur 5 kHz Sendeantenne

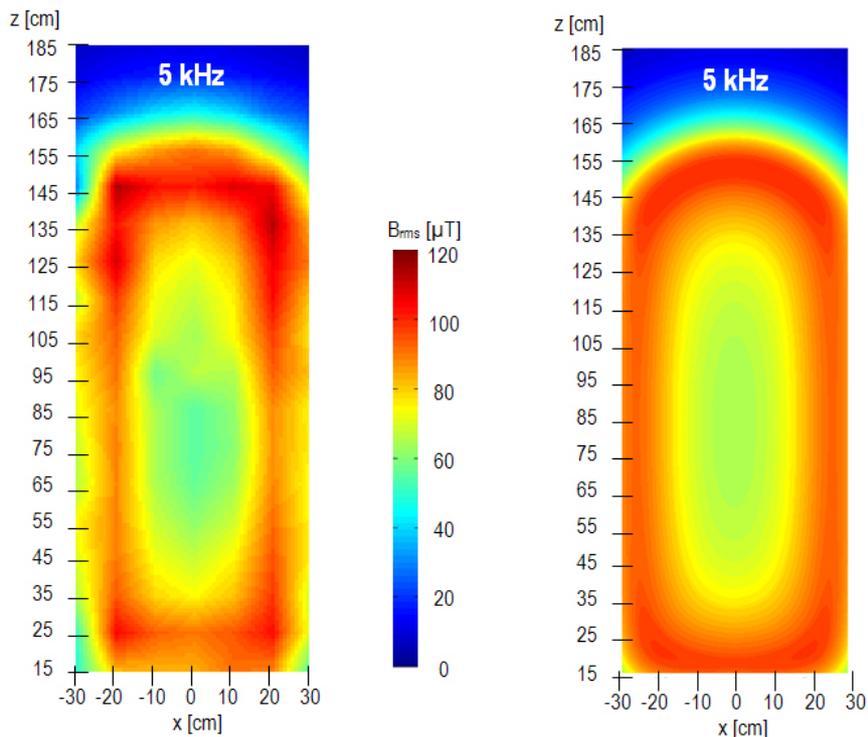


Abbildung 2.53: Vergleich von Messung (links) und Simulation (rechts) anhand der Feldverteilung (Effektivwerte) der magnetischen Flussdichte in einer Vertikalebene im Parallelabstand von 10 cm zur 5 kHz Sendeantenne.

Die Vergleiche der mit dem numerischen Quellenmodell erzielten Simulationsergebnisse mit den Messergebnissen zeigen gute Übereinstimmung im interessierenden Feldbereich mit Abweichungen von weniger als ca. 20%.

#### 2.5.4.2 Berechnungsergebnisse

Abbildung 2.54 zeigt die Verteilung der ungemittelten induzierten elektrischen Feldstärke (Effektivwerte) in unterschiedlichen Vertikalschnitten durch das Feldstärkemaximum für die vier betrachteten Expositionsszenarien mit der 5 kHz Sendeantenne. Die Maximalwerte sowohl der ungemittelten als auch der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten intrakorporal induzierten elektrischen Feldstärke in der Haut treten bei den „lateral“-Szenarien, jeweils in einer Zehenspitze des der Antenne zugewandten Fußes auf. Im Szenario „Duke dorsal,  $d = 10 \text{ cm}$ “ liegt das Maximum im Bereich des rechten Daumens (der sich in unmittelbarer Nähe des Oberschenkels befindet), und im Szenario „Roberta dorsal,  $d = 3,5 \text{ cm}$ “ tritt das Maximum der induzierten elektrischen Feldstärke in der Haut im Bereich der Unterschenkel auf. Abbildung 2.55 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,avg}$  zusammen. Dargestellt sind die (für zeitkontinuierliche Befeldung direkt mit den in ICNIRP 2010 definierten Basiswerten vergleichbaren) Effektivwerte von  $\max E_{i,avg}$  einerseits im Zentralnervensystemgewebe im Kopf (ZNS) und andererseits in peripheren Geweben (PNS), wobei bei PNS aufgrund der in [7] und [8] ausführlich diskutierten Problematik bezüglich der Hautleitfähigkeit einmal die Mittelung über alle Gewebe erfolgte und einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe.

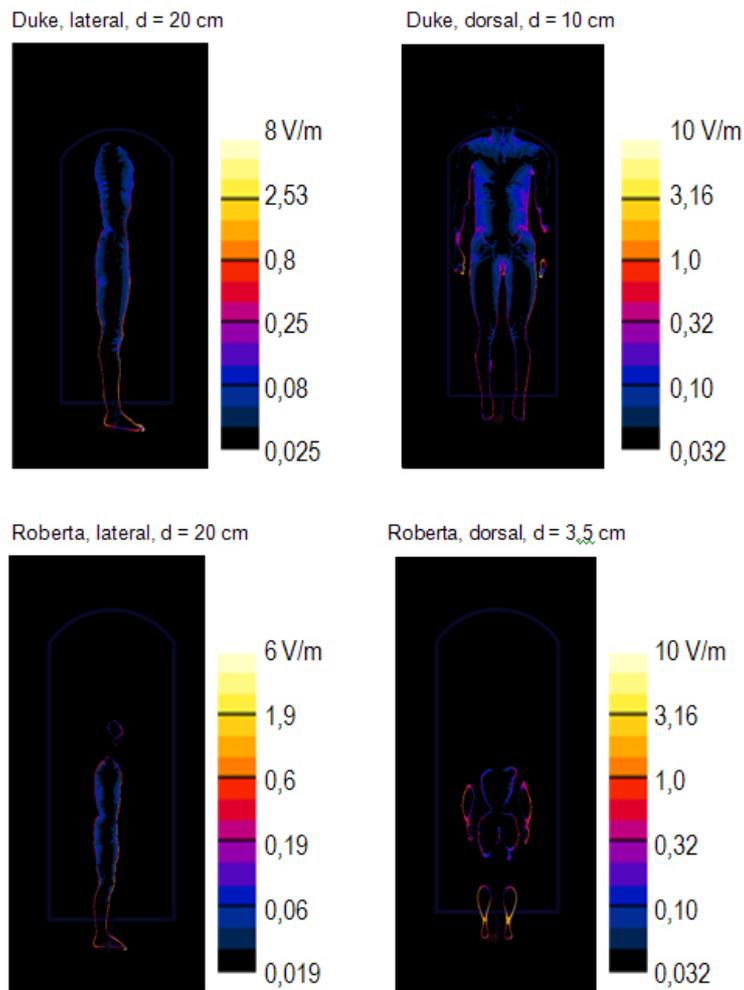


Abbildung 2.54: Verteilung der lokalen (ungemittelten) in den untersuchten Expositionsszenarien induzierten elektrischen Feldstärke (Effektivwerte), jeweils in einem Vertikalschnitt durch das Maximum.

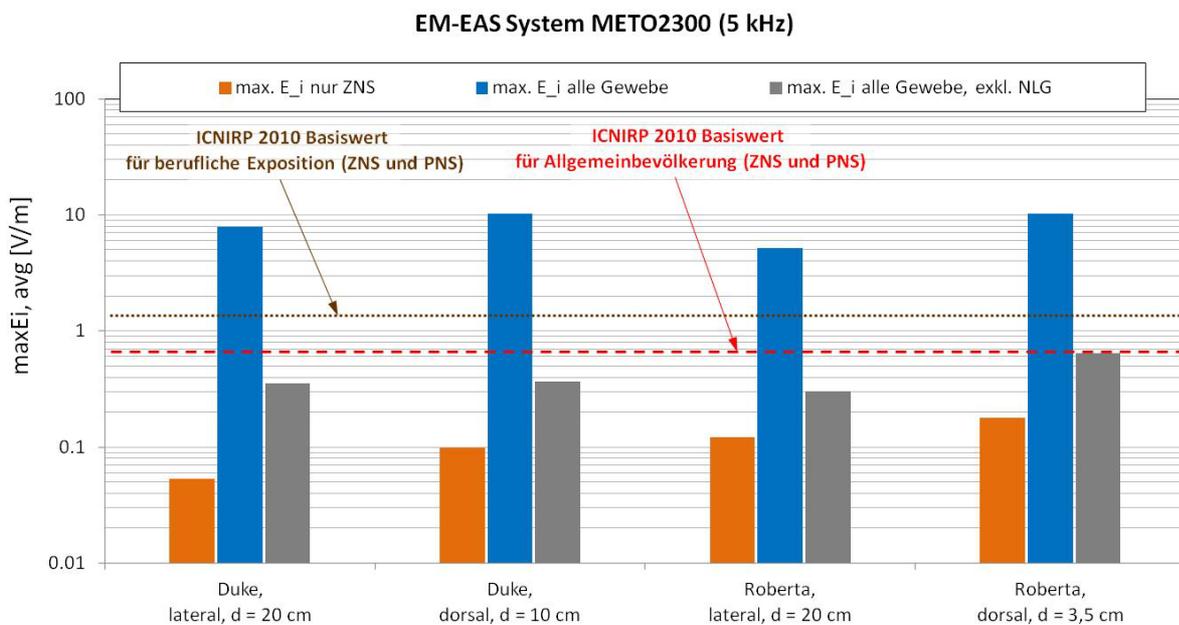


Abbildung 2.55: Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Effektivwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

Abbildung 2.56 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 1998, der maximalen über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelten, induzierten Stromdichte  $\max J_{\text{avg}}$  zusammen. Dargestellt sind die (für zeitkontinuierliche Befeldung direkt mit den in ICNIRP 1998 definierten Basiswerten vergleichbaren) Effektivwerte von  $\max J_{\text{avg}}$  im Zentralnervensystemgewebe (Gehirn und Rückenmark) unter Ausschluss von Zerebrospinalflüssigkeit.

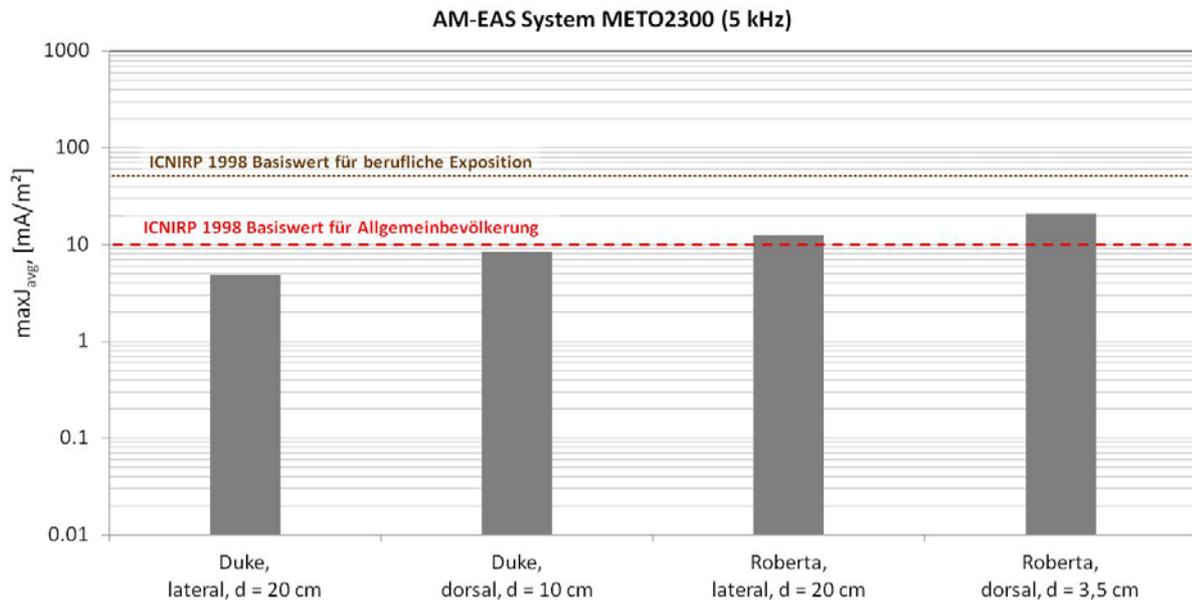


Abbildung 2.56: Maximale über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelte induzierte Stromdichte im Zentralnervensystem (Effektivwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 1998.

#### 2.5.4.3 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse

Auf Basis der in Kapitel 2.5.3 angestellten Überlegungen ergibt sich für ZNS Gewebe unter Vernachlässigung der Anisotropie und unter Berücksichtigung einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von 20% eine maximale Standard-Gesamtunsicherheit von ca.  $\pm 35\%$ .

Der maximale Unsicherheitsbereich für die Berechnungsergebnisse in peripheren Geweben bzw. der Haut kann ohne aufwändige gezielte Variationsanalyse näherungsweise aus der Differenz der Ergebnisse bei Berücksichtigung aller Gewebe und bei Nichtberücksichtigung von NLG in konservativer Weise abgeschätzt werden.

Zu berücksichtigen ist weiters, dass EAS-Systeme des gleichen Typs in der Praxis offensichtlich auch erhebliche Variationsbreiten im Hinblick auf die Spitzenimmissionen aufweisen können (vgl. Kapitel 2.2.11).

#### 2.5.4.4 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010, zeigt sich zunächst, dass eine Überschreitung der Basiswerte im ZNS Gewebe unter den betrachteten Bedingungen für das konkret untersuchte EAS-Gerät ausgeschlossen werden kann. Dies gilt selbst dann, wenn man den Berechnungsergebnissen in konservativer Weise einen zusätzlichen Expositionsanteil von

ca. 5-10% zufolge der (bei den numerischen Berechnungen nicht berücksichtigten) 16 Hz Magnetfeldkomponente aufschlägt.

In PNS Geweben kann eine Überschreitung der Basiswerte in den betrachteten Szenarien nicht ausgeschlossen werden. Unter Beachtung der Erkenntnisse in [7] gilt dies insbesondere für Körperhaltungen bzw. Situationen, 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 das vom EAS Gerät erzeugte Magnetfeld effektiv einkoppeln kann.

Die Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 1998 führt jedoch auf ein anderes Bewertungsergebnis. Für beide mit dem Kindermodell betrachteten Szenarien liegen die Berechnungsergebnisse der im Zentralnervensystem induzierten Effektivwerte der über 1 cm<sup>2</sup> quer zur Stromflussrichtung gemittelten, induzierten Stromdichte oberhalb der ICNIRP 1998 Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung.

## 2.5.5 AM-EAS System Euromax (Sensormatic)

Eine Kurzbeschreibung des Systems, sowie die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen sind in Kapitel 2.2.2 dokumentiert.

### 2.5.5.1 Validierung des Quellenmodells

Auf Basis detaillierter Messungen der Feldverteilung in unterschiedlichen Entfernungen zur Oberfläche der Antenne wurde ein numerisches Quellenmodell für die Sendeantenne des EAS-Gerätes (58 kHz) erstellt. Abbildung 2.57 zeigt einen Vergleich der magnetischen Flussdichte (Spitzenwerte) entlang unterschiedlicher Achsen im Raumbereich von 10 cm bis 35 cm vor der Antenne. Abbildung 2.58 zeigt einen Vergleich der gemessenen Feldverteilung und der mit dem numerischen Quellenmodell erzielten Feldverteilung in einer Vertikalebene in 10 cm Parallelabstand zur Antenne.

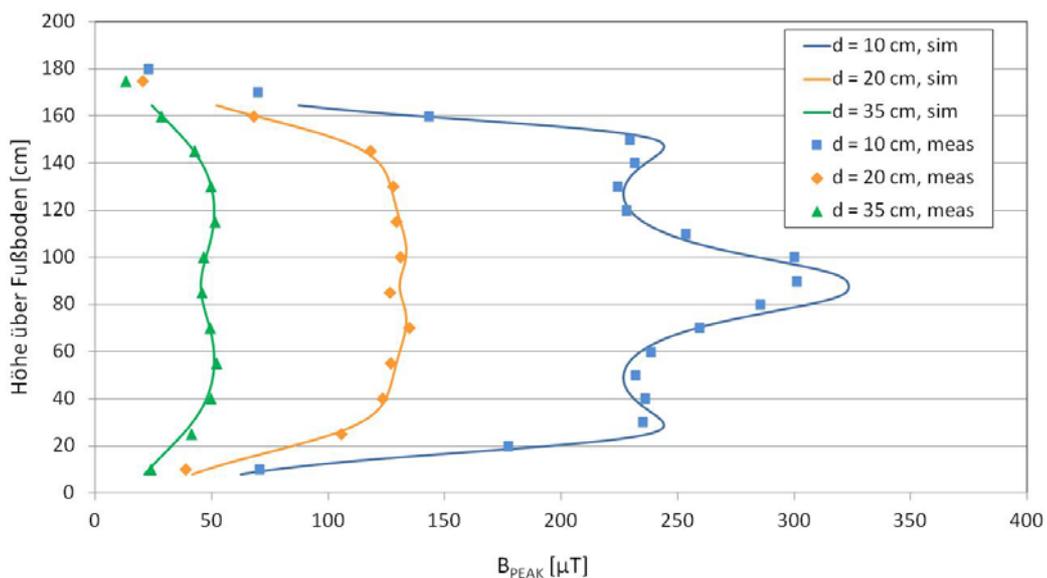


Abbildung 2.57: Vergleich des Feldverlaufs (Spitzenwerte) zwischen Messung und Simulation entlang vertikaler Achsen mittig vor der Antenne in unterschiedlichen Abständen zur Sendeantenne

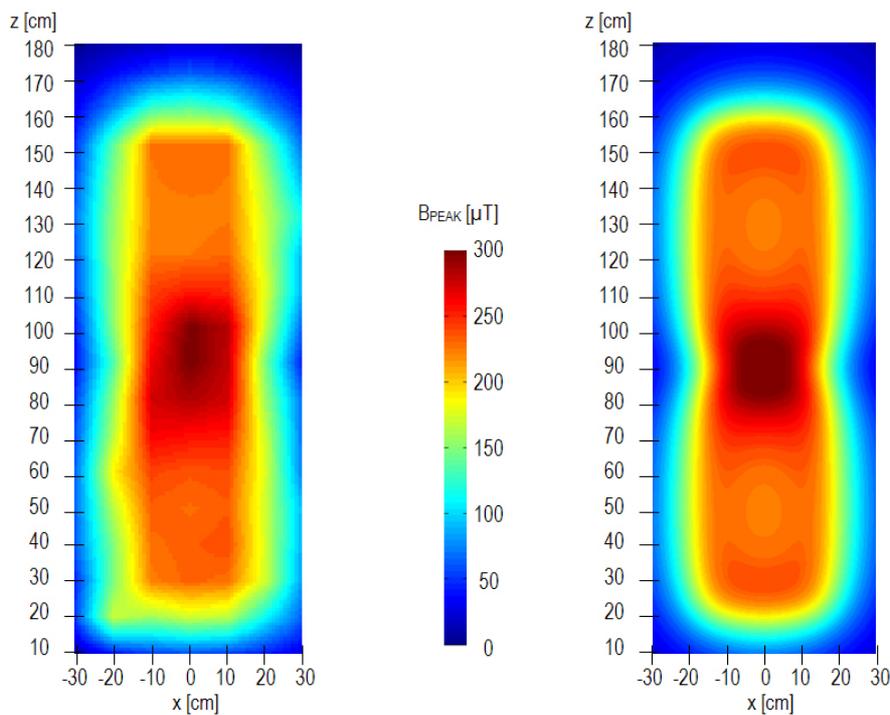


Abbildung 2.58: Vergleich von Messung (links) und Simulation (rechts) anhand der Feldverteilung (Spitzenwerte) der magnetischen Flussdichte in einer Vertikalebene im Parallelabstand von 10 cm zur Sendeantenne.

Die Vergleiche der mit dem numerischen Quellenmodell erzielten Simulationsergebnisse mit den Messergebnissen zeigen gute Übereinstimmung im interessierenden Feldbereich mit Abweichungen von weniger als ca. 10%.

### 2.5.5.2 Berechnungsergebnisse

Abbildung 2.59 zeigt grafisch die Verteilung der ungemittelten induzierten elektrischen Feldstärke (Spitzenwerte) in unterschiedlichen Vertikalschnitten durch das Feldstärkemaximum für die vier betrachteten Expositionsszenarien. Die Maximalwerte sowohl der ungemittelten als auch der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten intrakorporal induzierten elektrischen Feldstärke in der Haut traten bei den „lateral“-Szenarien, jeweils in einer Fingerspitze der der Antenne zugewandten Hand auf. Im Szenario „Duke dorsal,  $d = 10 \text{ cm}$ “ liegt das Maximum sowohl der ungemittelten als auch der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten intrakorporal induzierten elektrischen Feldstärke im Bereich des rechten Daumens (der sich in unmittelbarer Nähe des Oberschenkels befindet), und im Szenario „Roberta dorsal,  $d = 3,5 \text{ cm}$ “ tritt das Maximum der ungemittelten induzierten elektrischen Feldstärke in der Haut im Bereich der Unterschenkel auf, nach Mittelung über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ , jedoch ebenfalls in einer Oberschenkelnahen Fingerspitze. Abbildung 2.60 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i, \text{avg}}$  zusammen. Dargestellt sind die (für gepulste Befeldung relevanten) Spitzenwerte von  $\max E_{i, \text{avg}}$  einerseits im Zentralnervensystemgewebe im Kopf (ZNS) und andererseits in peripheren Geweben (PNS), wobei bei PNS einmal die Mittelung über alle Gewebe erfolgte und einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe.

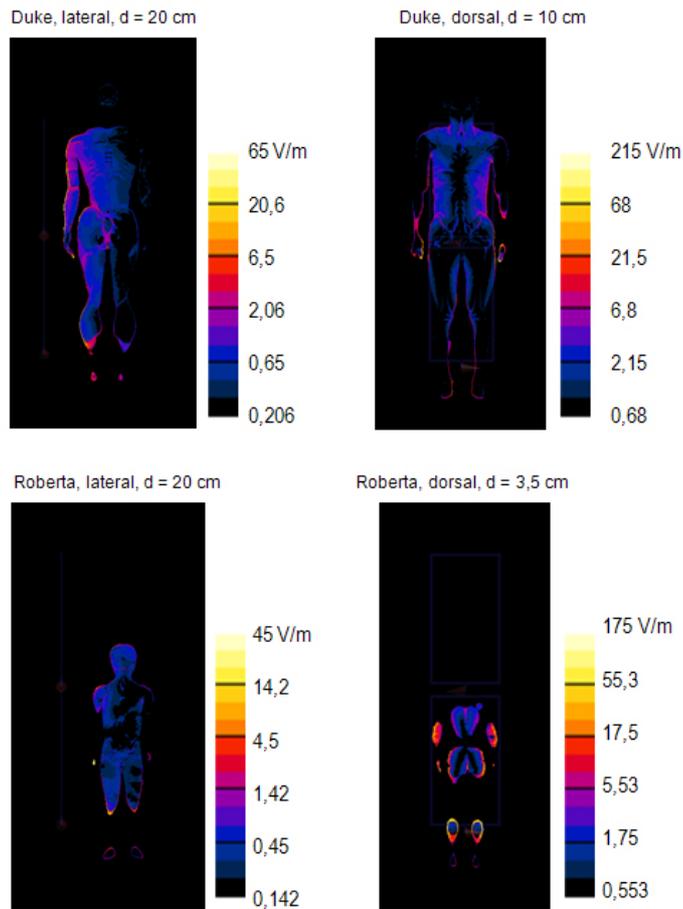


Abbildung 2.59: Verteilung der lokalen (ungemittelten) in den untersuchten Expositionsszenarien induzierten elektrischen Feldstärke (Spitzenwerte), jeweils in einem Vertikalschnitt durch das Maximum

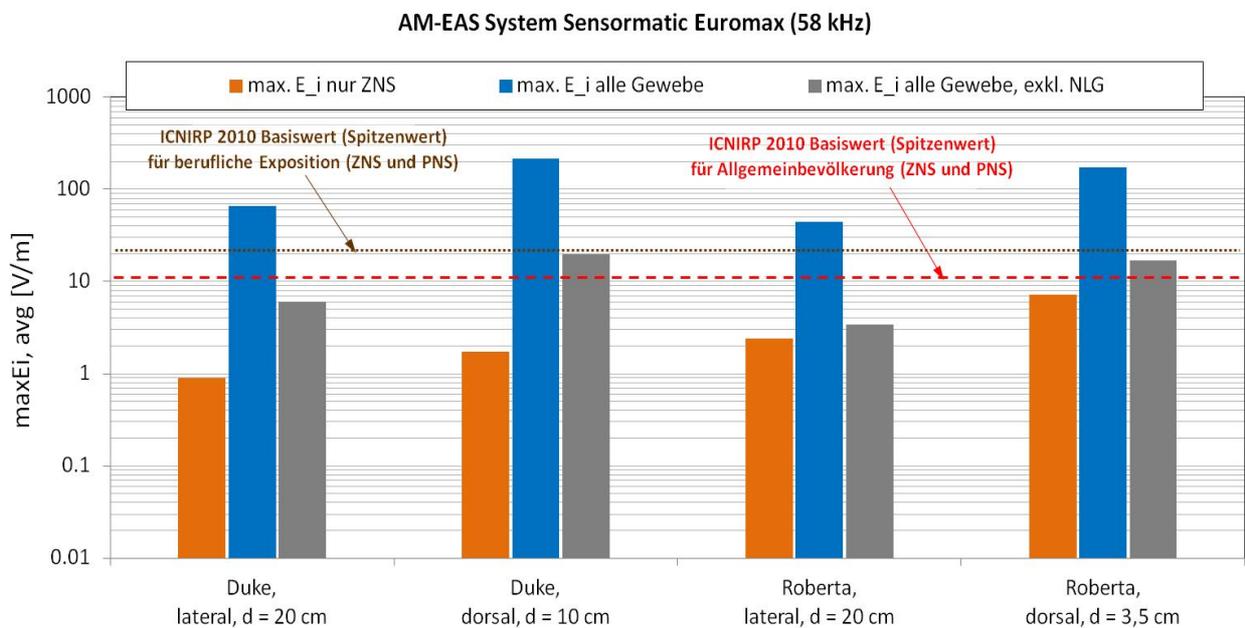


Abbildung 2.60: Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

Abbildung 2.61 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 1998, der maximalen über  $1\text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelten, induzierten Stromdichte  $\max J_{\text{avg}}$  zusammen. Dargestellt sind die (für gepulste Befeldung relevanten) Spitzenwerte von  $\max J_{\text{avg}}$  im Zentralnervensystemgewebe (Gehirn und Rückenmark) unter Ausschluss von Zerebrospinalflüssigkeit.

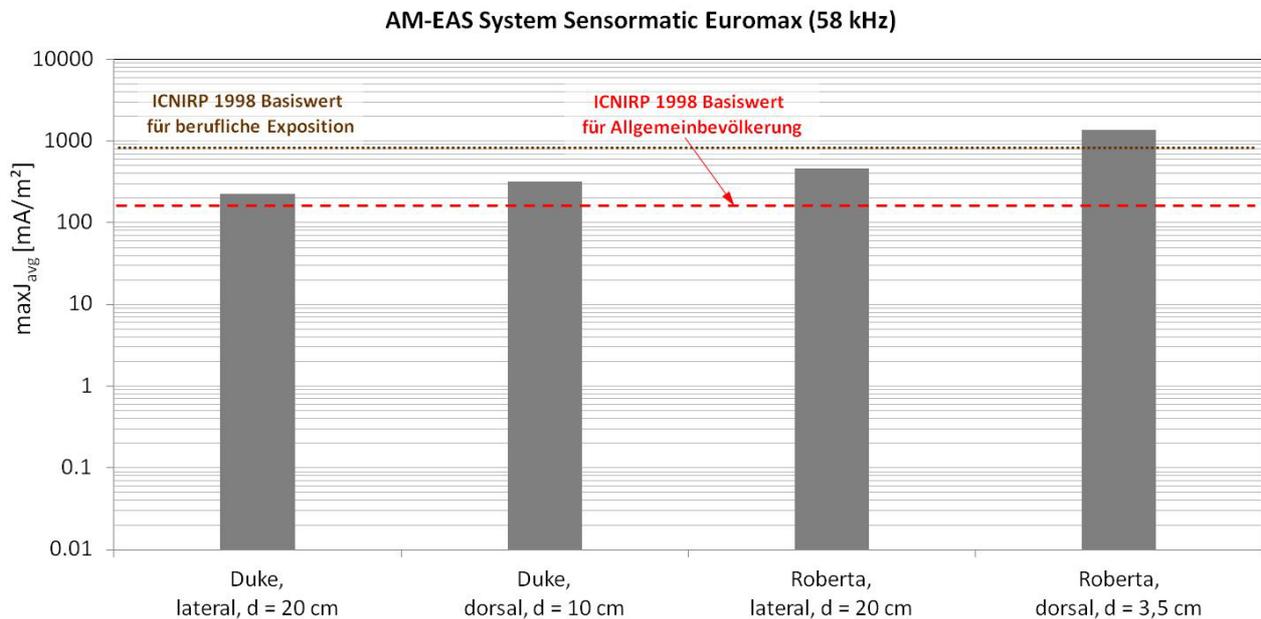


Abbildung 2.61: Maximale über  $1\text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelte induzierte Stromdichte im Zentralnervensystem (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 1998.

### 2.5.5.3 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse

Auf Basis der in Kapitel 2.5.3 angestellten Überlegungen ergibt sich für ZNS Gewebe unter Vernachlässigung der Anisotropie und unter Berücksichtigung einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von 10% eine maximale Standard-Gesamtunsicherheit von ca.  $\pm 30\%$ .

Der maximale Unsicherheitsbereich für die Berechnungsergebnisse in peripheren Geweben bzw. der Haut kann ohne aufwändige gezielte Variationsanalyse näherungsweise aus der Differenz der Ergebnisse bei Berücksichtigung aller Gewebe und bei Nichtberücksichtigung von NLG in konservativer Weise abgeschätzt werden.

Zu berücksichtigen ist weiters, dass EAS-Systeme des gleichen Typs in der Praxis offensichtlich auch erhebliche Variationsbreiten im Hinblick auf die Spitzenimmissionen aufweisen können (vgl. Kapitel 2.2.11).

### 2.5.5.4 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010, zeigt sich zunächst, dass eine Überschreitung der Basiswerte im ZNS Gewebe offensichtlich nur dann ausgeschlossen werden kann, wenn ein Mindestabstand zwischen Kopf und Antennen eingehalten wird. Bei Berücksichtigung einer Unsicherheit von ca.  $\pm 30\%$  und kleinen Personen, insbesondere Kinder, deren Kopf sich in Höhe des Feldstärkemaximums befindet, deuten die Berechnungsergebnisse

darauf hin, dass bei Distanzen zwischen Kopf und Antenne von weniger als ca. 10 cm eine Basiswertüberschreitung im ZNS nicht mehr ausgeschlossen werden kann.

In PNS Geweben kann eine Überschreitung der Basiswerte in den betrachteten Szenarien nicht ausgeschlossen werden, bzw. ist diese, insbesondere bei großen Personen schon bei Distanzen zur Antenne von 20 cm zu erwarten.

Die Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 1998 führt wieder auf ein anderes Bewertungsergebnis. Für alle betrachteten Szenarien liegen die Berechnungsergebnisse der im Zentralnervensystem induzierten Spitzenwerte der über  $1\text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelten, induzierten Stromdichte oberhalb der ICNIRP 1998 Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung.

## 2.5.6 RF-EAS System OID45 (Nedap)

Eine Kurzbeschreibung des Systems, sowie die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen sind in Kapitel 2.2.5 dokumentiert.

### 2.5.6.1 Validierung des Quellenmodells

Auf Basis detaillierter Messungen der Feldverteilung in unterschiedlichen Entfernungen zur Oberfläche der Antenne wurde ein numerisches Quellenmodell für die Sendeantenne des EAS-Gerätes (8,2 MHz) erstellt. Abbildung 2.62 zeigt einen Vergleich der magnetischen Flussdichte (Spitzenwerte) entlang unterschiedlicher Achsen im Raumbereich von 10 cm bis 35 cm vor der Antenne. Abbildung 2.63 zeigt einen Vergleich der gemessenen Feldverteilung und der mit dem numerischen Quellenmodell erzielten Feldverteilung in einer Vertikalebene in 10 cm Parallelabstand zur Antenne.

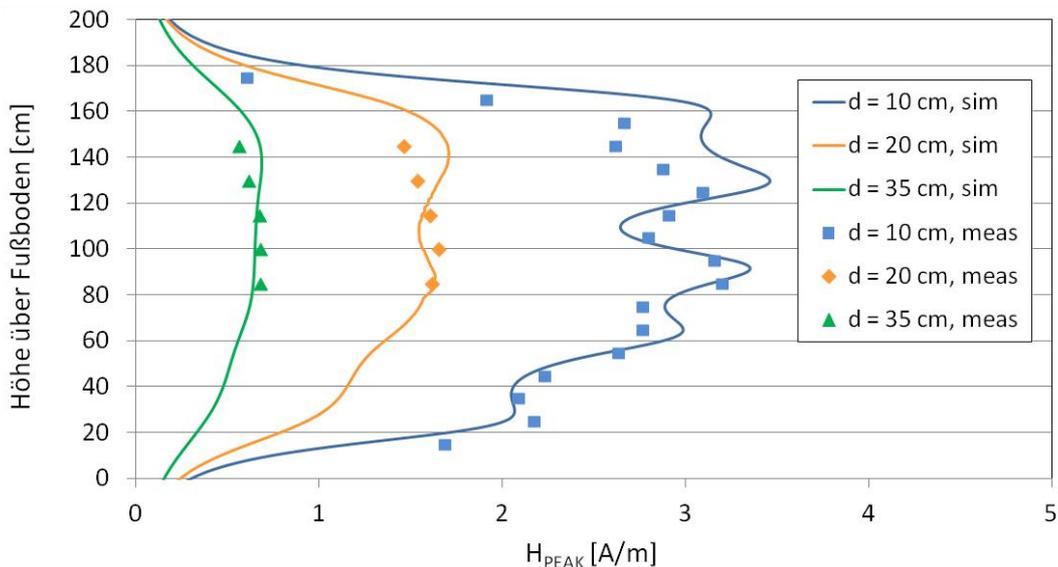


Abbildung 2.62: Vergleich des Feldverlaufs (Spitzenwerte) zwischen Messung und Simulation entlang vertikaler Achsen mittig vor der Antenne in unterschiedlichen Abständen zur Sendeantenne

Die Vergleiche der mit dem numerischen Quellenmodell erzielten Simulationsergebnisse mit den Messergebnissen zeigen gute Übereinstimmung im interessierenden Feldbereich mit Abweichungen von weniger als ca. 20%.

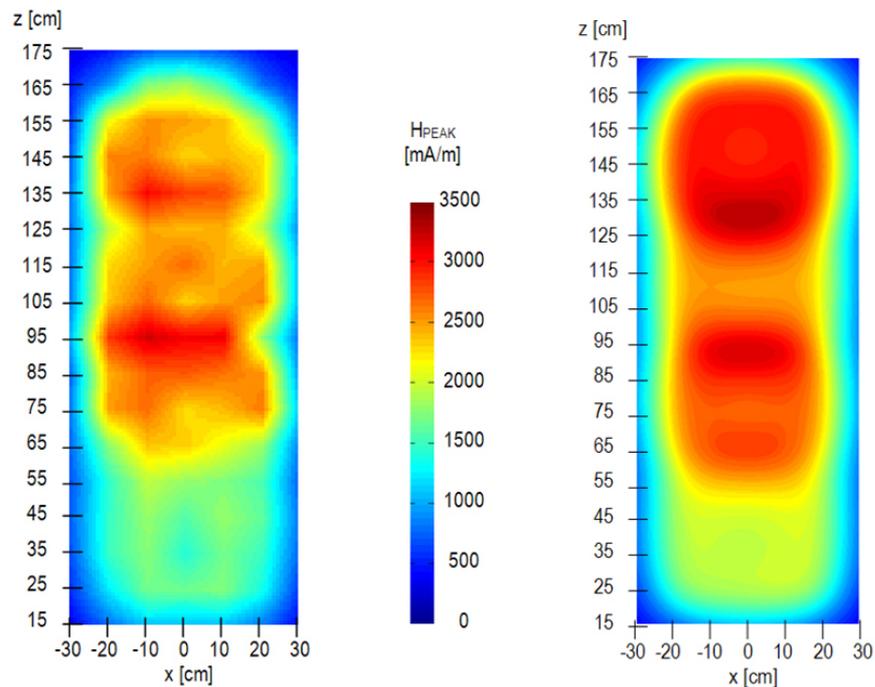


Abbildung 2.63: Vergleich von Messung (links) und Simulation (rechts) anhand der Feldverteilung (Spitzenwerte) der magnetischen Feldstärke in einer Vertikalebene im Parallelabstand von 10 cm zur Sendeantenne.

### 2.5.6.2 Berechnungsergebnisse

Abbildung 2.64 zeigt grafisch die Verteilung der ungemittelten induzierten elektrischen Feldstärke (Spitzenwerte) in unterschiedlichen Vertikalschnitten durch das Feldstärkemaximum für die vier betrachteten Expositionsszenarien. Die Maximalwerte sowohl der gemittelten als auch der ungemittelten intrakorporal induzierten elektrischen Feldstärke in PNS Geweben treten beim Szenario „Duke, lateral, d = 20 cm“ im Unterhaut-Fettgewebe im Schulterbereich, beim Szenario „Roberta, lateral, d = 20 cm“, sowie beim Szenario „Duke, dorsal, d = 10 cm“ im Knochen im Bereich der Wirbelsäule auf. Beim Szenario „Roberta, dorsal, d = 3,5 cm“ treten diese Maxima im Fettgewebe bzw. der Haut im Bereich der Oberschenkel (zwischen den Oberschenkeln, nahe Genitalbereich) auf. Abbildung 2.65 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,\text{avg}}$  zusammen. Dargestellt sind die (für gepulste Befeldung relevanten) Spitzenwerte von  $\max E_{i,\text{avg}}$  einerseits im Zentralnervensystemgewebe im Kopf (ZNS) und andererseits in peripheren Geweben (PNS), wobei bei PNS einmal die Mittelung über alle Gewebe erfolgte und einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe.

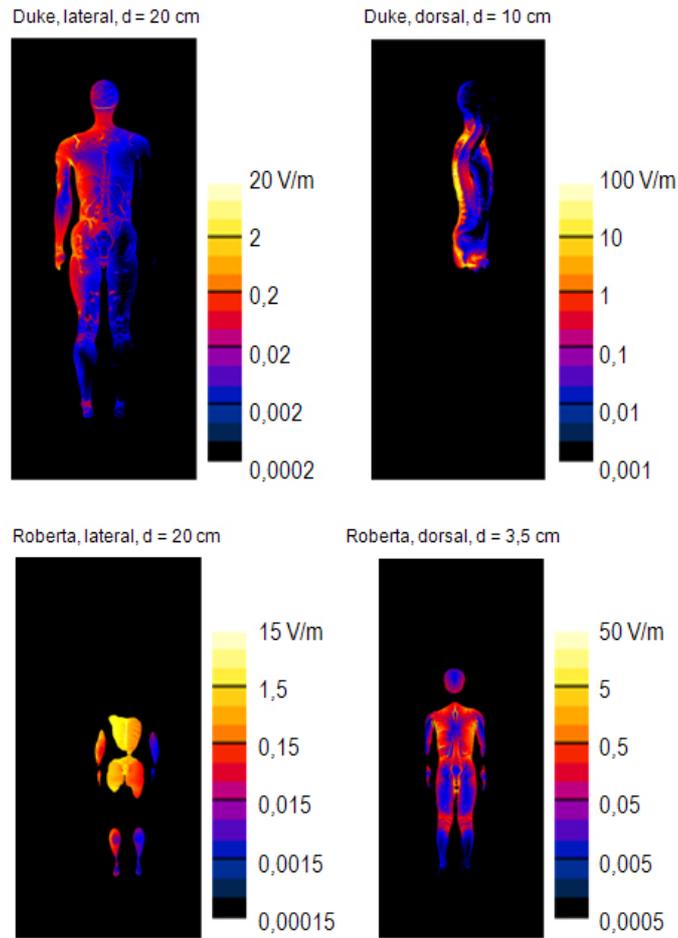


Abbildung 2.64: Verteilung der lokalen (ungemittelten) in den untersuchten Expositionsszenarien induzierten elektrischen Feldstärke (Spitzenwerte), jeweils in einem Vertikalschnitt durch das Maximum

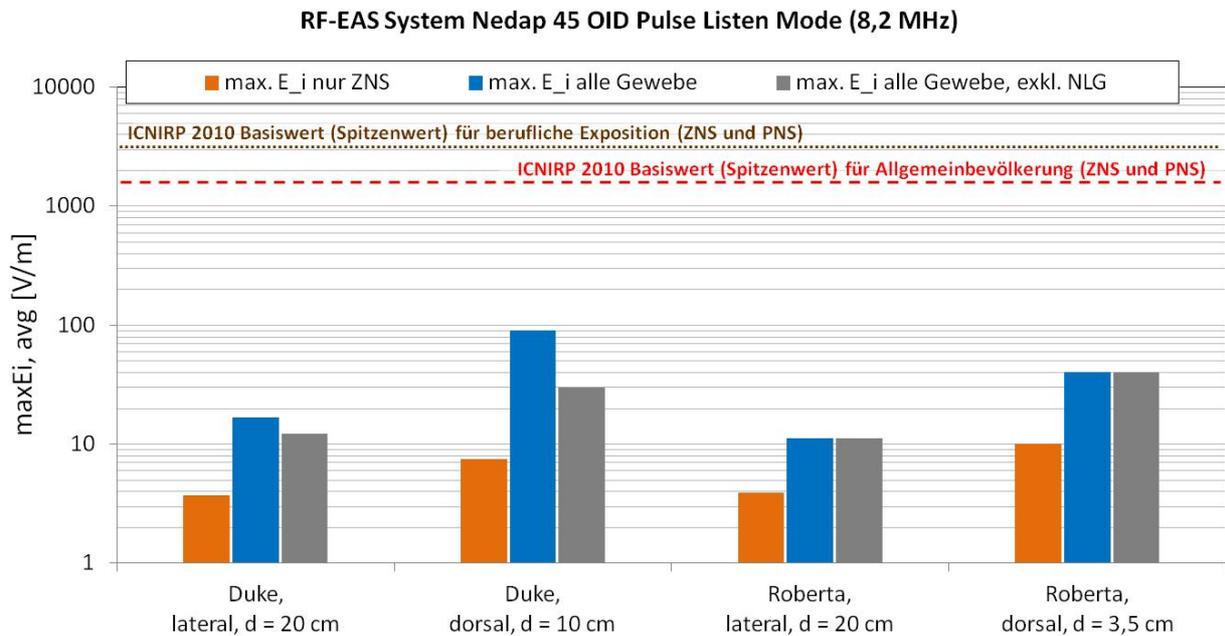


Abbildung 2.65: Maximale über 2 x 2 x 2 mm<sup>3</sup> gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

Abbildung 2.66 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 1998, der maximalen über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelten, induzierten Stromdichte  $\max J_{\text{avg}}$  zusammen. Dargestellt sind die (für gepulste Befeldung relevanten) Spitzenwerte von  $\max J_{\text{avg}}$  im Zentralnervensystemgewebe (Gehirn und Rückenmark) unter Ausschluss von Zerebrospinalflüssigkeit.

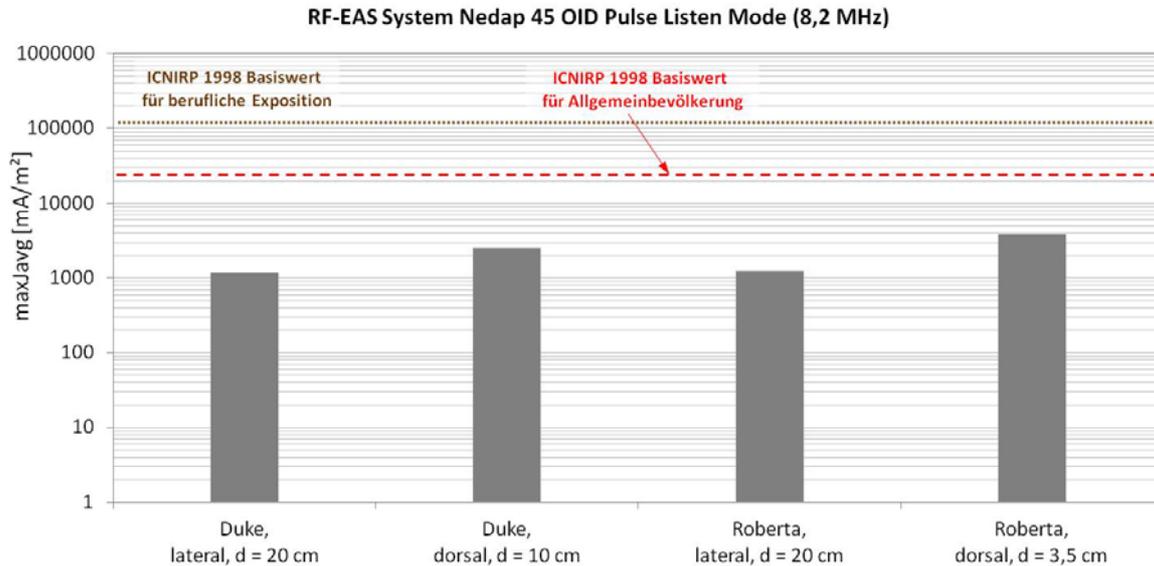


Abbildung 2.66: Maximale über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelte induzierte Stromdichte im Zentralnervensystem (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 1998.

Abbildung 2.67 fasst die Berechnungsergebnisse bezüglich der Ganzkörper-SAR und der maximalen über  $10 \text{ g}$  Gewebe gemittelten SAR, unter der Annahme einer Dauereexposition ( $> 6$  Minuten) zusammen.

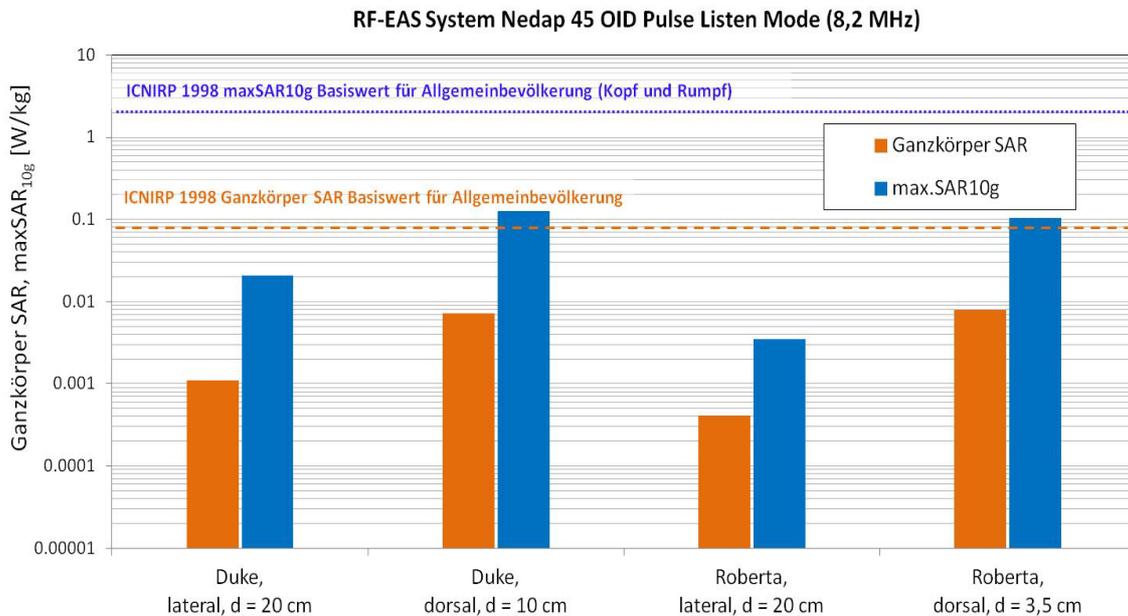


Abbildung 2.67: Maximale Ganzkörper-SAR und lokale  $\max \text{SAR}_{10\text{g}}$  in vier untersuchten Expositionsszenarien mit dem RF-EAS System *OID45* (8,2 MHz) im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 1998, bei Annahme einer Dauereexposition  $> 6$  Minuten

Für eine kürzere Aufenthaltsdauer, wie sie zumindest für die Allgemeinbevölkerung in der Praxis anzunehmen ist, sind die dargestellten SAR Werte über 6-Minuten-Intervalle zu mitteln.

### **2.5.6.3 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse**

Auf Basis der in Kapitel 2.5.3 angestellten Überlegungen ergibt sich für ZNS Gewebe unter Vernachlässigung der Anisotropie und unter Berücksichtigung einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von 20% eine maximale Standard-Gesamtunsicherheit von ca.  $\pm 35\%$ .

Der maximale Unsicherheitsbereich für die Berechnungsergebnisse in peripheren Geweben bzw. der Haut kann ohne aufwändige gezielte Variationsanalyse näherungsweise aus der Differenz der Ergebnisse bei Berücksichtigung aller Gewebe und bei Nichtberücksichtigung von NLG in konservativer Weise abgeschätzt werden. Gegenüber den Berechnungen bei niedrigeren Frequenzen ist hier ein deutlich geringerer Einfluss der Haut bei der Mittelung erkennbar, was durch den deutlich geringeren Leitfähigkeitskontrast zwischen Haut und anderen peripheren Geweben bei den Betriebsfrequenzen (8,2 MHz) der RF-EAS Geräte begründet ist. Bei den Expositionsszenarien mit Roberta liegen die Maximalwerte der gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke im Knochen. Die Haut bzw. die NLG Gewebe haben daher keinen Einfluss mehr auf das Bewertungsergebnis.

Zu berücksichtigen ist weiters, dass EAS-Systeme des gleichen Typs in der Praxis offensichtlich auch erhebliche Variationsbreiten im Hinblick auf die Spitzenimmissionen aufweisen können (vgl. Kapitel 2.2.11).

### **2.5.6.4 Bewertung der Berechnungsergebnisse**

Bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010, zeigt sich, dass für das betrachtete RF-EAS System in den untersuchten Expositionsszenarien eine Überschreitung der Basiswerte, sowohl für ZNS- als auch für PNS-Gewebe ausgeschlossen werden kann. Aufgrund der im Vergleich zu den Basiswerten kleinen induzierten elektrischen Feldstärken in den untersuchten Szenarien ist ganz allgemein davon auszugehen, dass mit dem betrachteten EAS-Gerät in der Praxis, selbst bei ungünstigen Expositionssituationen die Basiswerte gemäß ICNIRP 2010 (für Reizwirkung) nicht überschritten werden.

Ebenso zeigt sich bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 1998 für das betrachtete RF-EAS System in den untersuchten Expositionsszenarien kein Konflikt mit den Basiswerten.

Wie aus Abbildung 2.67 ersichtlich, kann beim betrachteten EAS-Gerät sowohl eine Überschreitung der Teilkörper SAR als auch der Ganzkörper SAR Basiswerte gemäß ICNIRP 1998 auch unter ungünstigen Expositionssituationen ausgeschlossen werden.

## **2.5.7 RF-EAS System Design (Gateway)**

Eine Kurzbeschreibung des Systems, sowie die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen sind in Kapitel 2.2.8 dokumentiert.

### 2.5.7.1 Validierung des Quellenmodells

Auf Basis detaillierter Messungen der Feldverteilung in unterschiedlichen Entfernungen zur Oberfläche der Antenne wurde ein numerisches Quellenmodell für die Sendeantenne des EAS-Gerätes (8,3 MHz) erstellt. Abbildung 2.68 zeigt einen Vergleich der magnetischen Flussdichte (Spitzenwerte) entlang unterschiedlicher Achsen im Raumbereich von 10 cm bis 35 cm vor der Antenne. Abbildung 2.69 zeigt einen Vergleich der gemessenen Feldverteilung und der mit dem numerischen Quellenmodell erzielten Feldverteilung in einer Vertikalebene in 10 cm Parallelabstand zur Antenne.

Die Vergleiche der mit dem numerischen Quellenmodell erzielten Simulationsergebnisse mit den Messergebnissen zeigen gute Übereinstimmung im interessierenden Feldbereich mit Abweichungen von weniger als ca. 10%.

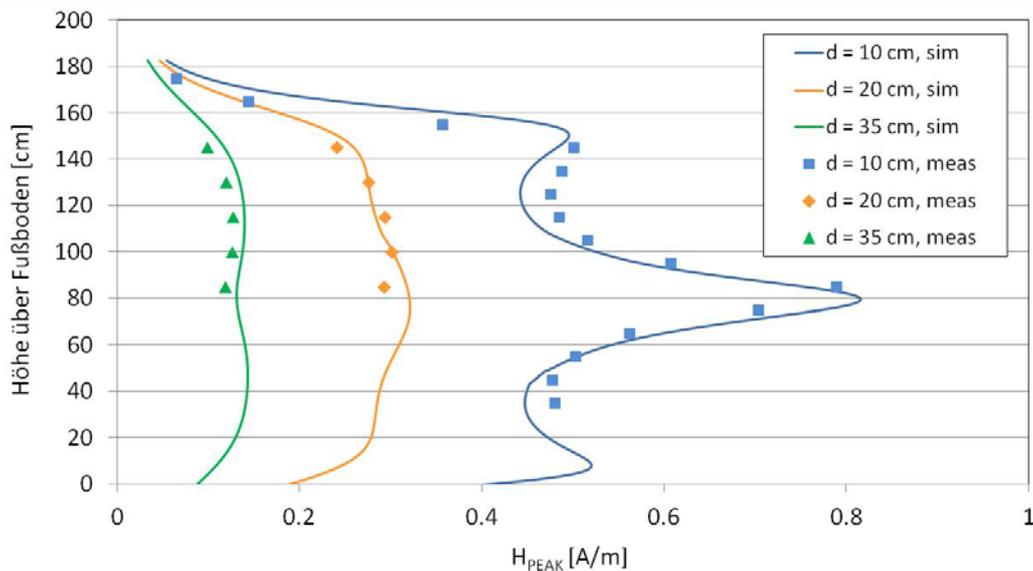


Abbildung 2.68: Vergleich des Feldverlaufs (Spitzenwerte) zwischen Messung und Simulation entlang vertikaler Achsen mittig vor der Antenne in unterschiedlichen Abständen zur Sendeantenne

### 2.5.7.2 Berechnungsergebnisse

Abbildung 2.70 zeigt grafisch die Verteilung der ungemittelten induzierten elektrischen Feldstärke (Spitzenwerte) in unterschiedlichen Vertikalschnitten durch das Feldstärkemaximum für die vier betrachteten Expositionsszenarien. Die Maximalwerte sowohl der gemittelten als auch der ungemittelten intrakorporal induzierten elektrischen Feldstärke in PNS Geweben treten beim Szenario „Duke, lateral, d = 20 cm“, im Fettgewebe Bereich des der Antenne zugewandten Oberschenkels auf. In den anderen betrachteten Szenarien liegen diese Maximalwerte im Knochen im Bereich der Wirbelsäule.

Abbildung 2.71 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,avg}$  zusammen. Dargestellt sind die Spitzenwerte von  $\max E_{i,avg}$  einerseits im Zentralnervensystemgewebe im Kopf (ZNS) und andererseits in peripheren Geweben (PNS), wobei bei PNS einmal die Mittelung über alle Gewebe erfolgte und einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe.

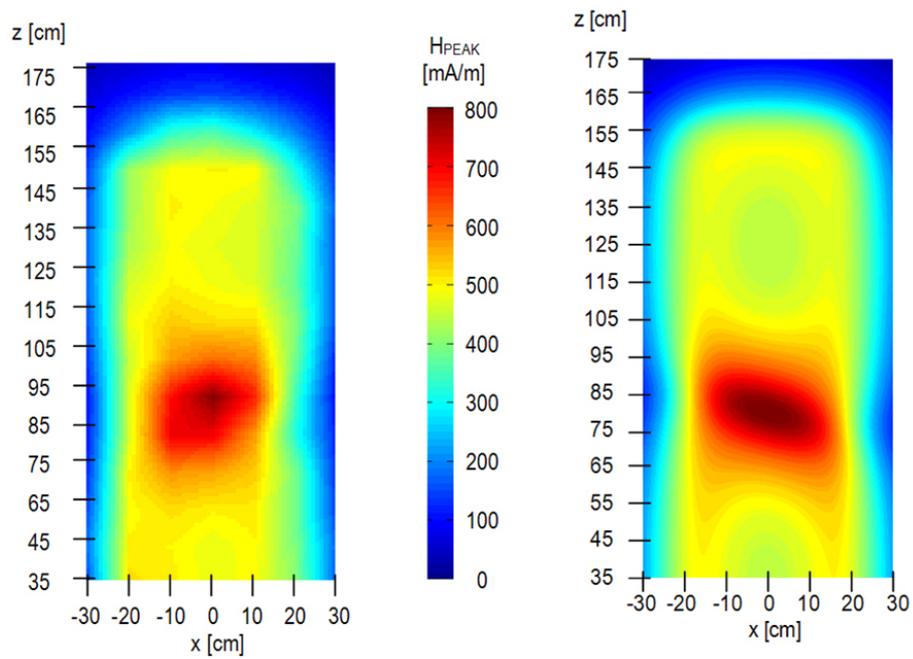


Abbildung 2.69: Vergleich von Messung (links) und Simulation (rechts) anhand der Feldverteilung (Spitzenwerte) der magnetischen Feldstärke in einer Vertikalebene im Parallelabstand von 10 cm zur Sendeantenne.

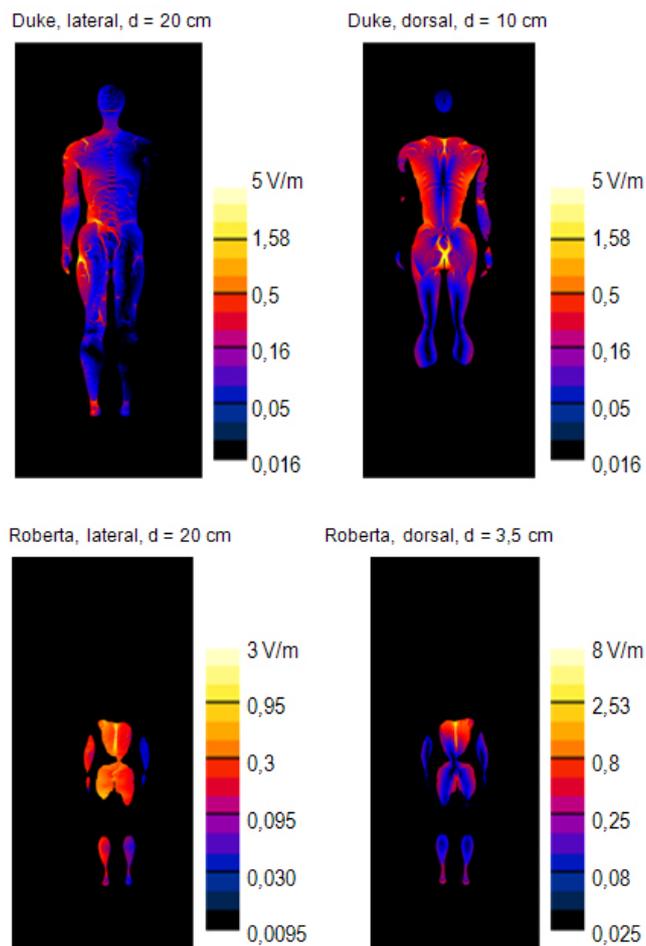
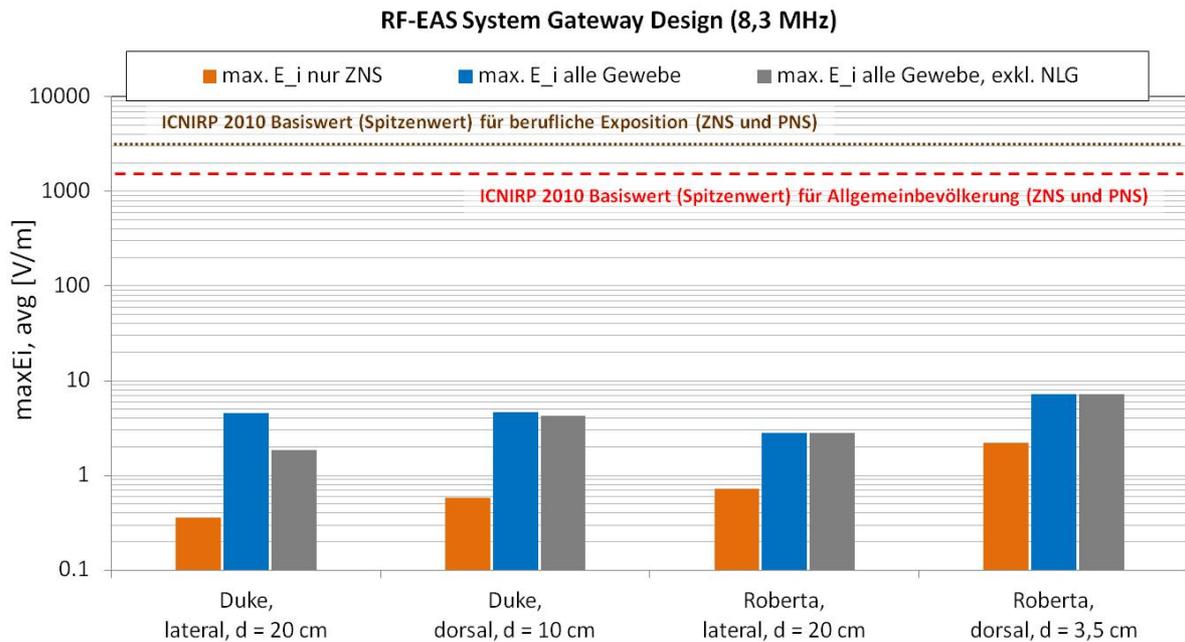
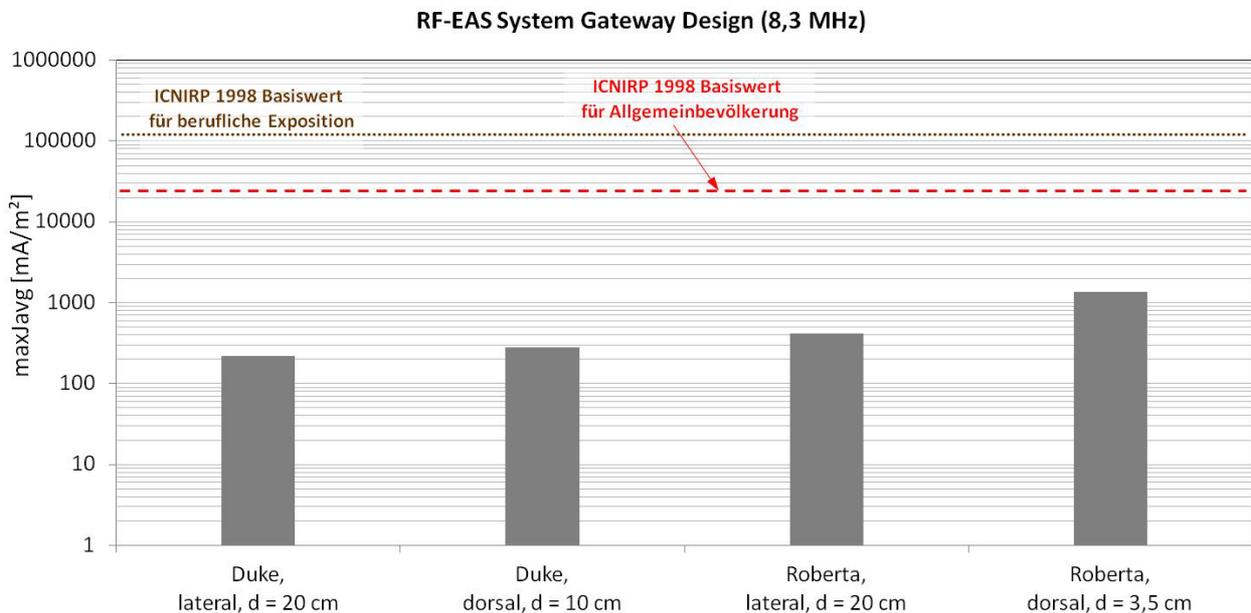


Abbildung 2.70: Verteilung der lokalen (ungemittelten) in den untersuchten Expositionsszenarien induzierten elektrischen Feldstärke (Spitzenwerte), jeweils in einem Vertikalschnitt durch das Maximum



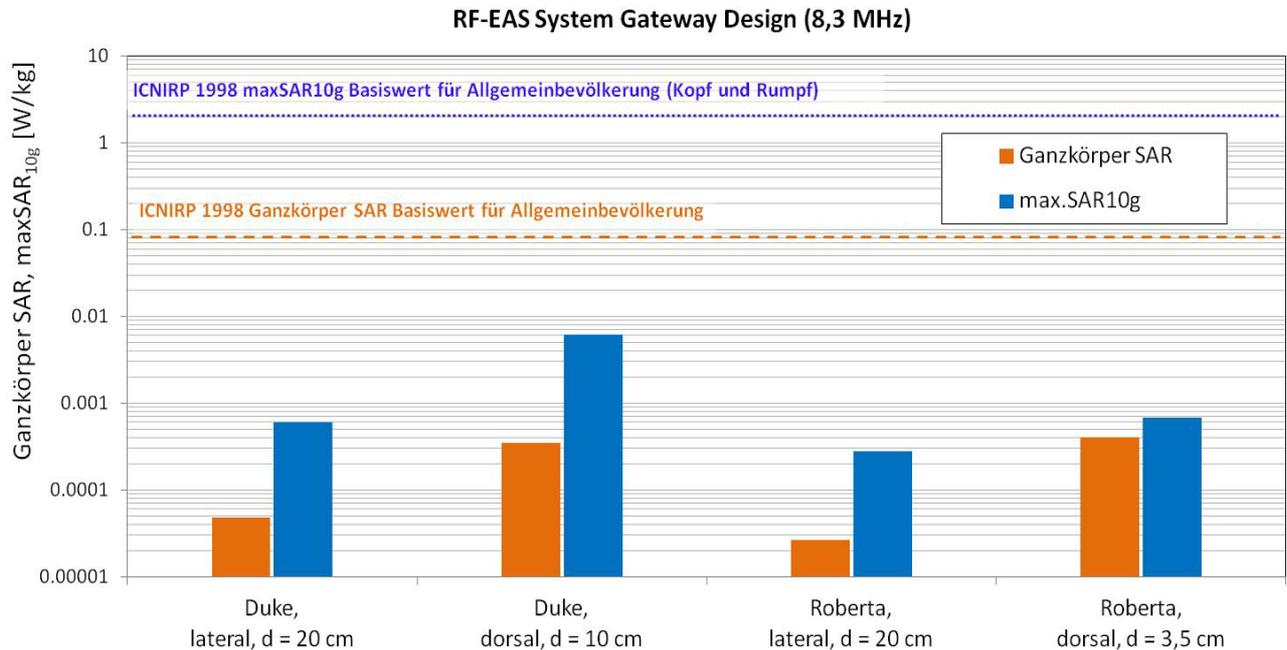
**Abbildung 2.71:** Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

Abbildung 2.72 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 1998, der maximalen über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelten, induzierten Stromdichte  $\text{max}J_{\text{avg}}$  zusammen. Dargestellt sind die (für gepulste Befeldung relevanten) Spitzenwerte von  $\text{max}J_{\text{avg}}$  im Zentralnervensystemgewebe (Gehirn und Rückenmark) unter Ausschluss von Zerebrospinalflüssigkeit.



**Abbildung 2.72:** Maximale über  $1 \text{ cm}^2$  quer zur Stromflussrichtung gemittelte induzierte Stromdichte im Zentralnervensystem (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 1998.

Abbildung 2.73 zeigt die Berechnungsergebnisse bezüglich der Ganzkörper-SAR und der maximalen über 10g Gewebe gemittelten SAR, unter der Annahme einer Dauerexposition (> 6 Minuten) zusammen. Für eine kürzere Aufenthaltsdauer, wie sie zumindest für die Allgemeinbevölkerung in der Praxis anzunehmen ist, sind die dargestellten SAR Werte über 6-Minuten-Intervalle zu mitteln.



**Abbildung 2.73:** Maximale Ganzkörper-SAR und lokale maxSAR10g in vier untersuchten Expositionsszenarien mit dem RF-EAS System *Design* (8,3 MHz) im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 1998

### 2.5.7.3 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse

Auf Basis der in Kapitel 2.5.3 angestellten Überlegungen ergibt sich für ZNS Gewebe unter Vernachlässigung der Anisotropie und unter Berücksichtigung einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von 10% eine maximale Standard-Gesamtunsicherheit von ca.  $\pm 30\%$ .

Der maximale Unsicherheitsbereich für die Berechnungsergebnisse in peripheren Geweben bzw. der Haut kann ohne aufwändige gezielte Variationsanalyse näherungsweise aus der Differenz der Ergebnisse bei Berücksichtigung aller Gewebe und bei Nichtberücksichtigung von NLG in konservativer Weise abgeschätzt werden. Gegenüber den Berechnungen bei niedrigeren Frequenzen ist hier ein deutlich geringerer Einfluss der Haut bei der Mittelung erkennbar, was durch den deutlich geringeren Leitfähigkeitskontrast zwischen Haut und anderen peripheren Geweben bei den Betriebsfrequenzen (8,3 MHz) der RF-EAS Geräte begründet ist. Bei den Expositionsszenarien mit Roberta liegen die Maximalwerte der gemittelten induzierten elektrischen Feldstärke im Knochen. Die Haut bzw. die NLG Gewebe haben daher keinen Einfluss mehr auf das Bewertungsergebnis.

Zu berücksichtigen ist weiters, dass EAS-Systeme des gleichen Typs in der Praxis offensichtlich auch erhebliche Variationsbreiten im Hinblick auf die Spitzenimmissionen aufweisen können (vgl. Kapitel 2.2.11).

#### **2.5.7.4 Bewertung der Berechnungsergebnisse**

Bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010 zeigt sich auch für dieses RF-EAS System, dass in den untersuchten Expositionsszenarien eine Überschreitung der Basiswerte, sowohl für ZNS- als auch für PNS-Gewebe ausgeschlossen werden kann. Aufgrund der im Vergleich zu den Basiswerten kleinen induzierten elektrischen Feldstärken in den untersuchten Szenarien ist ganz allgemein davon auszugehen, dass mit dem betrachteten EAS-Gerät in der Praxis, selbst bei ungünstigen Expositionssituationen die Basiswerte gemäß ICNIRP 2010 (für Reizwirkung) nicht überschritten werden.

Ebenso zeigt sich auch bei diesem RF-EAS System bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 1998, dass es in den untersuchten Expositionsszenarien zu keinerlei Konflikten mit den Basiswerten kommt.

Weiters kann, wie aus Abbildung 2.73 ersichtlich, beim betrachteten EAS-Gerät sowohl eine Überschreitung der Teilkörper SAR als auch der Ganzkörper SAR Basiswerte gemäß ICNIRP 1998 auch unter ungünstigen Expositionssituationen ausgeschlossen werden.

## **3 ERGÄNZENDE DATENANALYSEN ZU FV3609S80002**

### **3.1 Ausgangssituation**

In [1] erfolgten eingehende Analysen der von Geräten der RFID Technologie verursachten Exposition von Personen, sowohl auf Basis von Immissionsmessungen in der Nähe ausgewählter Geräte, als auch im Hinblick auf die durch die Geräte verursachten intrakorporalen Feldgrößen auf Basis von numerischen Berechnungen unter Verwendung unterschiedlicher anatomischer Körpermodelle. Die numerischen Berechnungen im Frequenzbereich unterhalb von 10 MHz wurden, gemäß ICNIRP 1998 [2], im Hinblick auf die im Gewebe induzierte elektrische Stromdichte durchgeführt. Kurz nach Abschluss der Datenauswertungen erfolgte jedoch die Publikation der ICNIRP 2010 Empfehlungen [3], die sich bezüglich der Bewertung der intrakorporal auftretenden Feldgrößen in grundlegender Weise von ICNIRP 1998 unterscheidet (vgl. [7]). Daraus ergab sich die unbefriedigende Situation, dass nach Abschluss von [1] die darin ermittelten Expositionsdaten der gegenwärtig sehr aktuellen RFID-Technologie ausschließlich nach einem zumindest bereits teilweise überholten Schema bewertet vorlagen. Aus diesem Grund wurden im Rahmen des gegenständlichen Projekts alle numerischen Berechnungen von RFID-Geräten mit Arbeitsfrequenzen bis 10 MHz neu, auf Basis der ICNIRP 2010 Empfehlungen ausgewertet.

### **3.2 Berechnungs- und Bewertungsmethoden**

Die Bewertung der intrakorporalen Feldgrößen wurde dabei gemäß ICNIRP 2010 auf Basis des Maximalwertes der im Gewebe auftretenden, über ein Volumen von  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten Verteilung der elektrischen Feldstärke vorgenommen. Die Mittelwertbildung erfolgte dabei unter Verwendung eines einfachen Mittelungsalgorithmus unter Nichtberücksichtigung von grenzschichtnahen Volumenelementen, deren zugeordnete Feldstärkekomponenten nicht gänzlich im betrachteten Zielgewebe liegen (siehe Anhang). Diese Methode konnte im Zuge von ausführlichen Analysen in [7] als die bestgeeignete identifiziert werden, sofern die Rechengitterschrittweite im interessierenden Bereich nicht größer als 1 mm gewählt wird. Sofern die ursprünglichen im Rahmen von [1] durchgeführten Berechnungen diese Anforderung nicht erfüllten, wurden sie im Rahmen dieses Vorhabens nochmals mit einer entsprechend verringerten Rechengitterschrittweite analysiert.

Für die neuerlich durchgeführten Berechnungen wurden, sofern nicht explizit anders angegeben, die gleichen Methoden, wie in [1] verwendet, d.h., für Szenarien mit Arbeitsfrequenzen unterhalb von 1 MHz erfolgten die Berechnungen auf Basis der frequenzskalierten FDTD-Methode (Berechnungsfrequenzen im Bereich 1-3 MHz), für Arbeitsfrequenzen oberhalb von 1 MHz erfolgten die Berechnungen direkt mit der FDTD-Methode.

Die dielektrischen Gewebeparameter in den Körpermodellen wurden, konsistent zu [1], gemäß [9] zugeordnet.

Bei den im Folgenden zusammengefassten Beschreibungen der betrachteten Expositionsszenarien und der Bewertungsergebnisse wird jeweils unterhalb der Kapitelüberschrift das korrespondierende Kapitel des Projektberichts von [1] angegeben, wo weitere Details

bezüglich der Modellbildung, der gemessenen Immissionen der betrachteten Geräte, der Quellvalidierung und der Begründung für die jeweils betrachteten Expositionssituationen nachgelesen werden können.

### 3.3 Expositionsszenarien mit EAS-Systemen

#### 3.3.1 Allgemeine Expositionsszenarien

*Korrespondierendes Kapitel im Projektbericht zu [1]: 9.4.2*

Abbildung 3.1 zeigt die in Zusammenhang mit EAS-Systemen in [1] betrachteten Expositionsszenarien. Neben dem Szenario „Duke, lateral, 20 cm“ (entsprechend EN 62369-1) wurde die Situation eines mit dem Rücken parallel in 10 cm Abstand zur Antenne stehenden erwachsenen Mannes („Duke, dorsal, 10 cm“), sowie die Situation eines fünfjährigen Kindes mit dem Rücken parallel in geringem Abstand  $x$  zur Antenne betrachtet („Roberta, dorsal,  $x$  cm“). In letztgenanntem Szenario wurde der Abstand  $x$ , je nach betrachtetem EAS-System teilweise unterschiedlich angenommen. Details dazu finden sich in den jeweiligen Kapiteln mit den Berechnungsergebnissen.

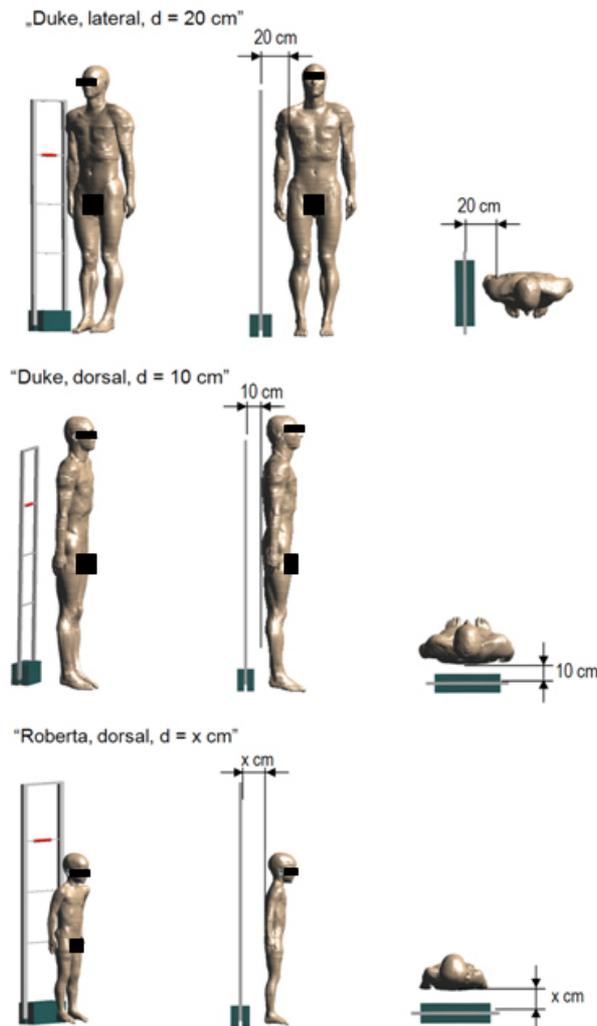
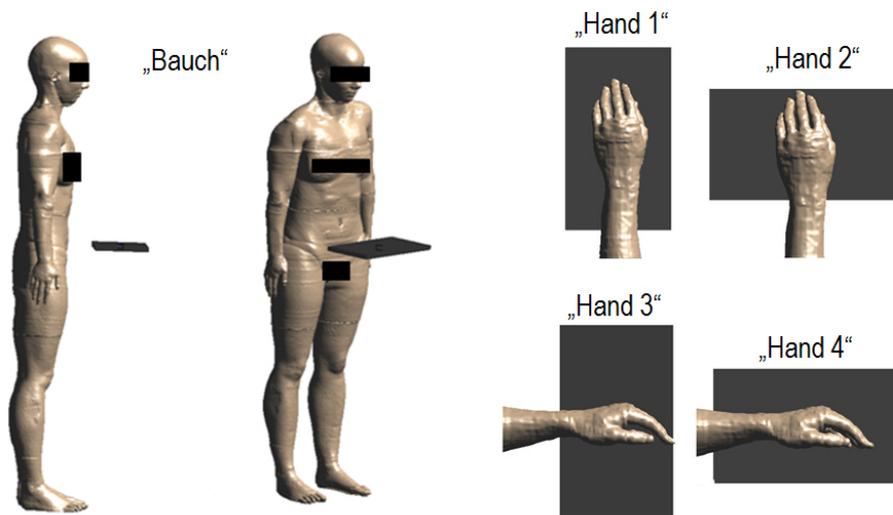


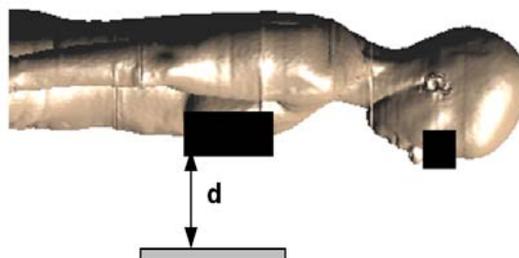
Abbildung 3.1: Definition der betrachteten allgemeinen Expositionsszenarien mit EAS-Geräten

Abbildung 3.2 fasst die betrachteten Expositionsszenarien mit Deaktivatoren für AM- und RF-EAS-Etiketten zusammen, die sowohl hinsichtlich der Exposition im Standby-Modus der Deaktivatoren als auch während der Deaktivierung eines Transponders analysiert wurden.



**Abbildung 3.2:** Betrachtete Expositionsszenarien mit den EAS-Etiketten-Deaktivatoren im Standby und während der Deaktivierung. Distanz von Deaktivatorcke zum Bauch ca. 10 cm. Hand jeweils das Deaktivatorgehäuse berührend (entspricht ca. 7 mm zur Oberfläche der Deaktivatorantenne)

Die in Abbildung 3.3 gezeigten Szenarien (mit  $d=0$  cm und  $d=25$  cm) wurden nur für den Standby-Modus analysiert.



**Abbildung 3.3:** Betrachtete Expositionsszenarien mit den EAS-Etiketten-Deaktivatoren im Standby, entsprechend der Situation bei Überbeugen für  $d = 0$  cm und  $d = 25$  cm

### 3.3.2 Exposition von Personen mit metallischen Implantaten

*Korrespondierendes Kapitel im Projektbericht zu [1]: 9.4.3*

Die folgenden Implantate wurden betrachtet:

- Deep Brain Stimulator
- Rückenmarkstimulator
- Herzschrittmacher
- Cochlea Implantat
- Hüftgelenkprothese
- Fixierung der Lendenwirbelsäule

### 3.3.2.1 Expositionsszenarien mit Deep Brain Stimulator

Abbildung 3.4 zeigt das entwickelte numerische Modell des DBS implantiert ins anatomische Körpermodell. Es wurde eine beidseitige Stimulation nachgestellt, da dies aufgrund physikalischer Überlegungen bei Exposition gegenüber einem äußeren Magnetfeld höhere zwischen den Elektrodenspitzen auftretende Stromdichten erwarten lässt (worst case Betrachtung). Die zusätzlich modellierten Schleifen im Elektrodenverlauf entsprechen ebenfalls der Praxis (wurden auf der Grundlage von Röntgenbildern nachgestellt), da die Überlänge der Elektroden vom Chirurgen üblicher Weise einfach in solchen Schleifen unter die Haut geschoben wird.

Abbildung 3.5 zeigt die untersuchten Expositionsszenarien für eine Person mit Deep Brain Stimulator. Um realistische worst case Situationen abzudecken, wurden die Höhenverhältnisse zwischen EAS-Antenne und Körpermodell, bei unverändertem Antennenmodell, teilweise unterschiedlich angenommen. Beispielsweise wurde bei den Berechnungen mit dem Deep Brain Stimulator die Antennenoberkante auf Scheitelhöhe verschoben, um die Situation einer kleinen Person zu erfassen, die in der Praxis mit dem Kopf in einen Höhenbereich kommen kann, wo die Antenne beträchtliche Feldstärken erzeugt. Würde man das verwendete Körpermodell „Duke“ (1,74 m Körperlänge) mit den Fußsohlen auf unterkante der Antenne modellieren, würde der Kopf (und das Implantat) immer deutlich über die Antennenoberkante hinausragen und damit im Bereich nur relativ geringer Feldstärken liegen, was als nicht repräsentativ für kleine Personen angesehen werden müsste. Die Ergebnisse der Berechnungen mit dem Deep Brain Stimulator finden sich in den Kapiteln 3.3.4 und 3.3.5.

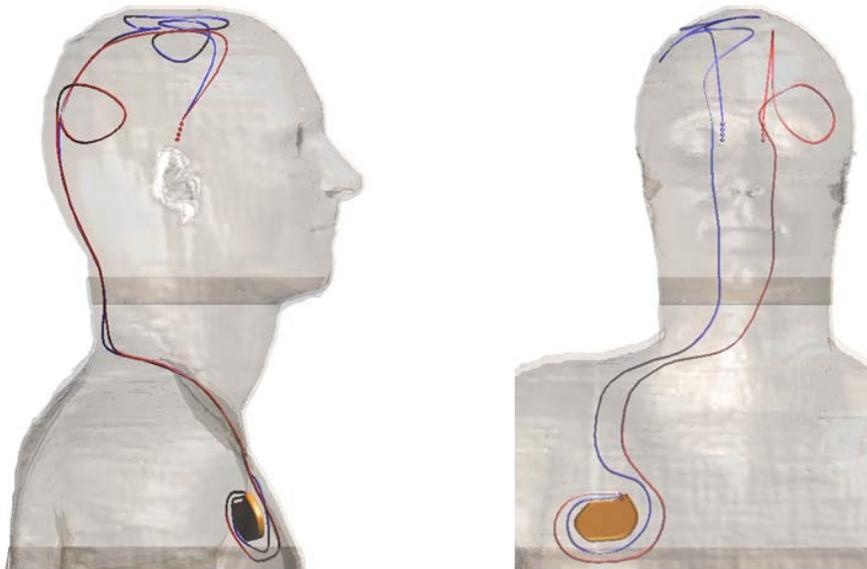
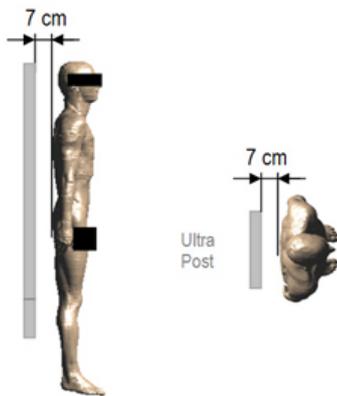
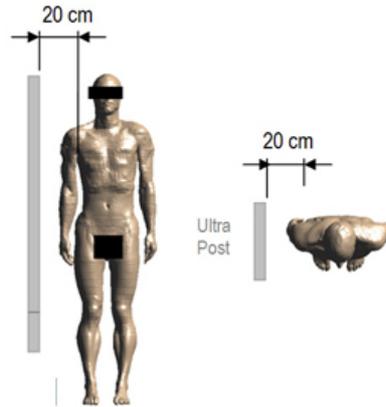


Abbildung 3.4: Numerisches Modell des Deep Brain Stimulators (DBS) im anatomischen Körpermodell Duke

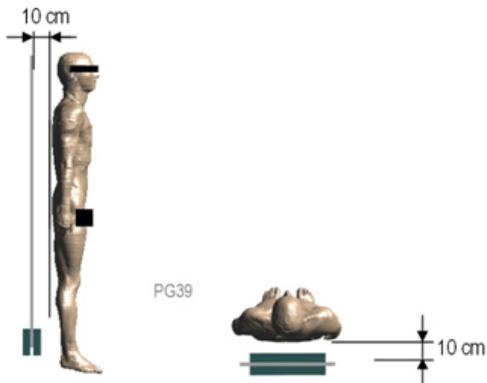
„Deep Brain Stimulator, d = 7 cm, dorsal“



„Deep Brain Stimulator, d = 20 cm, lateral“



„Deep Brain Stimulator, d = 10 cm, dorsal“



„Deep Brain Stimulator, d = 20 cm, lateral“

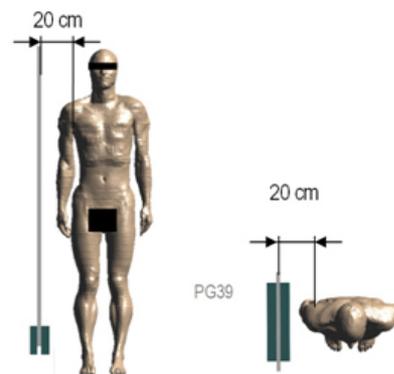


Abbildung 3.5: Untersuchte Expositionsszenarien mit dem AM-EAS System Ultra Post (oben) und dem RF-EAS System PG39 (unten) mit dem Körpermodell Duke mit implantiertem Deep Brain Stimulator

### 3.3.2.2 Expositionsszenarien mit Rückenmarkstimulator

Abbildung 3.6 zeigt das entwickelte numerische Modell des Rückenmarkstimulators, implantiert ins anatomische Körpermodell. Die Implantationsart wurde auch hier anhand von verfügbaren Röntgenbildern nachgestellt.

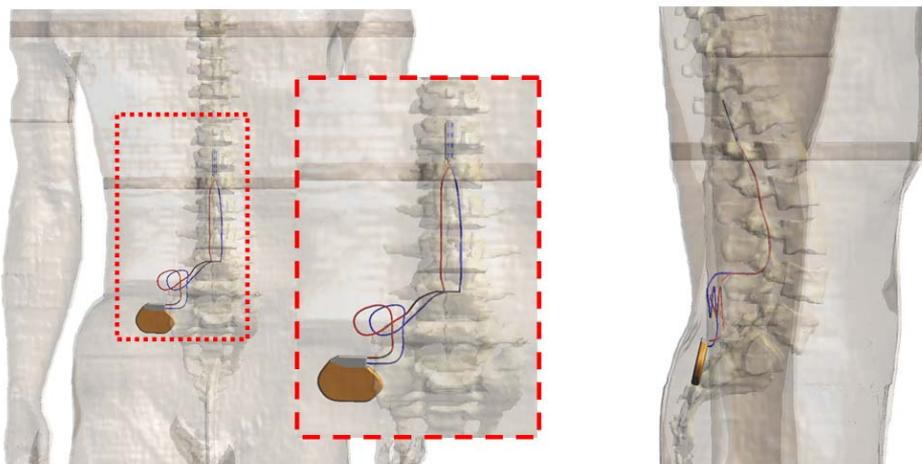


Abbildung 3.6: Numerisches Modell des Rückenmarkstimulators im anatomischen Körpermodell Duke

Abbildung 3.7 illustriert die mit dem Rückenmarkstimulator untersuchten Expositionsszenarien, die in gleicher Weise auch für das Modell mit Hüftprothese (Kapitel 3.3.2.3) und Fixierung der Lendenwirbelsäule (Kapitel 3.3.2.4) zur Anwendung kamen. Die Ergebnisse der Berechnungen mit dem Rückenmarkstimulator finden sich in den Kapiteln 3.3.4 und 3.3.5.

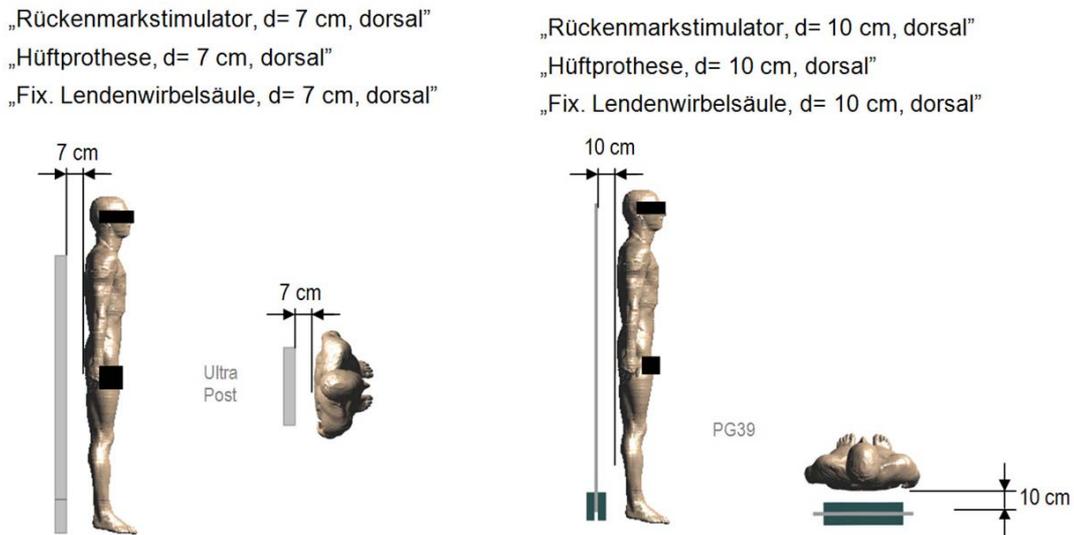


Abbildung 3.7: Untersuchte Expositionsszenarien mit dem AM-EAS System Ultra Post (links) und dem RF-EAS System PG39 (rechts) mit dem Körpermodell Duke mit implantiertem Rückenmarkstimulator bzw. Hüftprothese bzw. Fixierung der Lendenwirbelsäule

### 3.3.2.3 Hüftprothese

Abbildung 3.8 zeigt das numerische Modell der Hüftgelenksprothese, im anatomischen Körpermodell.



Abbildung 3.8: Numerisches Modell der Hüftgelenksprothese im anatomischen Körpermodell Duke

Bezüglich der Ausrichtung des Körpermodells zu den EAS-Systemen, siehe Abbildung 3.7. Die Ergebnisse der Berechnungen mit dem Rückenmarkstimulator finden sich in den Kapiteln 3.3.4 und 3.3.5.

### 3.3.2.4 Fixierung der Lendenwirbelsäule

Nach Frakturen im Bereich der Lendenwirbelsäule werden oftmals Fixierungen des betroffenen Wirbelsäulenbereichs mittels eines metallischen Gestänges, das mit den Wirbelkörpern verschraubt wird, vorgenommen. Die Implantationsart wurde wieder auf Basis von Röntgenbildern nachgestellt.

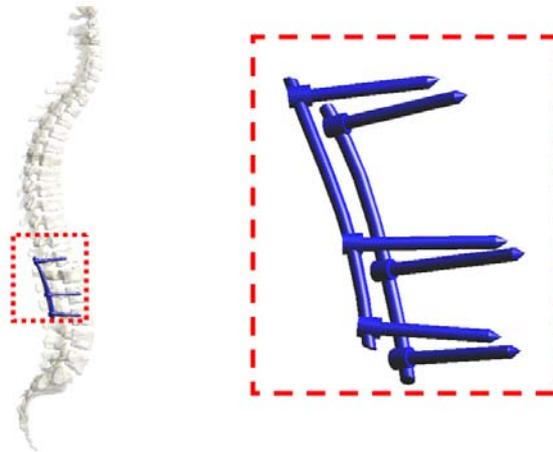


Abbildung 3.9: Numerisches Modell der Fixierung der Lendenwirbelsäule eingebettet in das Körpermodell Duke

Bezüglich der Ausrichtung des Körpermodells zu den EAS-Systemen, siehe Abbildung 3.7. Die Ergebnisse der Berechnungen mit der Fixierung der Lendenwirbelsäule finden sich in den Kapiteln 3.3.4 und 3.3.5.

### 3.3.2.5 Herzschrittmacher

Ein numerisches Modell eines typischen modernen Herzschrittmachers (das Modell Philos II von Biotronik diente als Vorlage) wurde realitätsgetreu im CAD Modul von SEMCAD X entwickelt. Für die hier beschriebenen Berechnungen wurde ein Modell mit rechts-pektoral implantiertem, unipolarem Herzschrittmacher modelliert (Abbildung 3.10). Abbildung 3.11 zeigt die untersuchten Expositionsszenarien für eine Person mit rechts-pektoral implantiertem Herzschrittmacher.

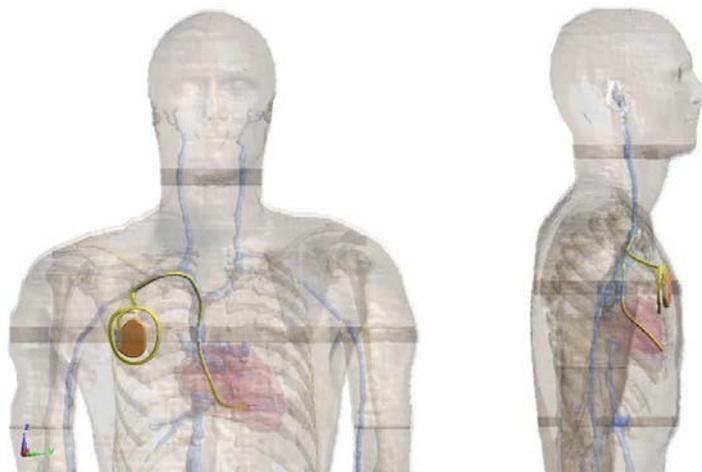
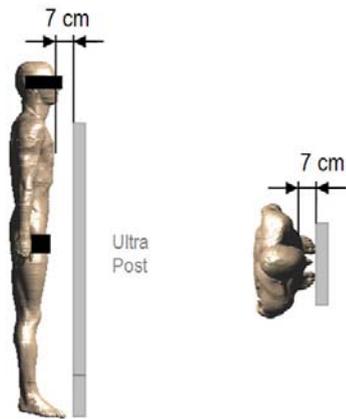


Abbildung 3.10: Numerisches Modell des Herzschrittmachers (unipolar, rechts-pektoral implantiert) im anatomischen Körpermodell Duke

„Herzschrittmacher, d= 7 cm, frontal“



„Herzschrittmacher, d= 10 cm, frontal“

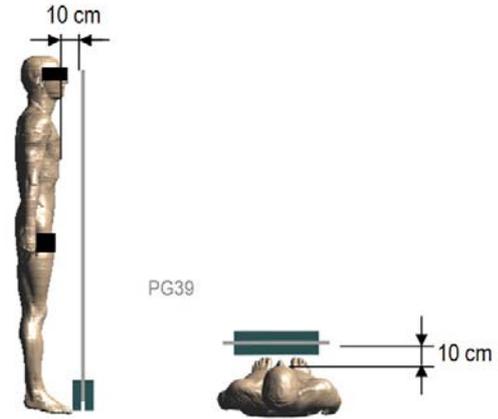


Abbildung 3.11: Untersuchte Expositionsszenarien mit dem AM-EAS System Ultra Post (links) und dem RF-EAS System PG39 (rechts) mit dem Körpermodell Duke mit implantiertem Herzschrittmacher

Die Ergebnisse der Berechnungen mit dem Herzschrittmacher finden sich in den Kapiteln 3.3.4 und 3.3.5.

### 3.3.2.6 Cochlea Implantat

Abbildung 3.12 zeigt das entwickelte numerische Modell des Cochlea Implantats, implantiert in das anatomische Modell eines fünfjährigen Mädchens (Modell „Roberta“ aus dem Virtual Classroom), wobei zuvor ein hochaufgelöstes Innenohrmodell [11] in das anatomische Körpermodell integriert wurde.

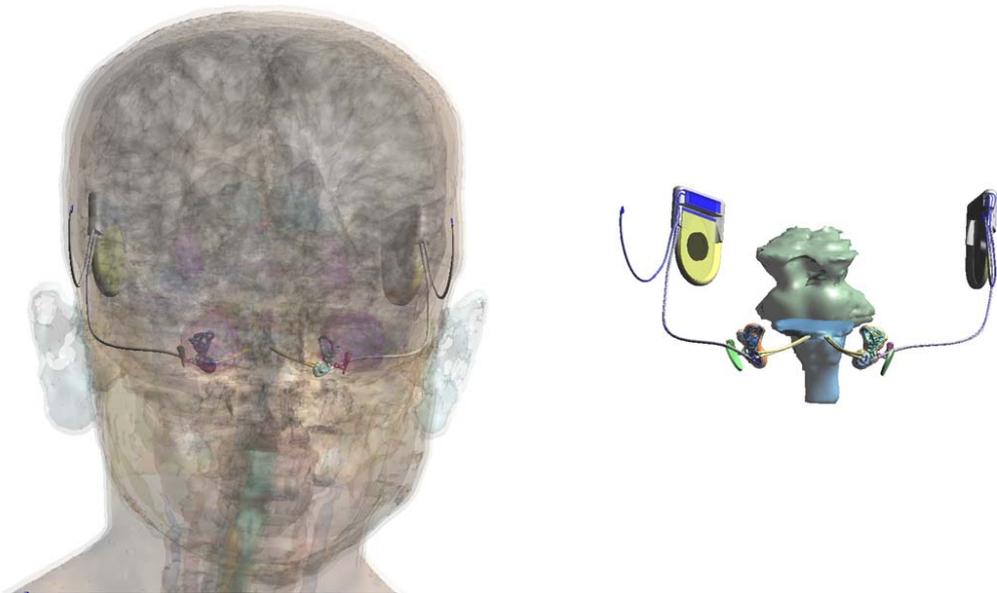


Abbildung 3.12: Numerisches Modell des Cochlea Implantats (CI)

Abbildung 3.13 zeigt die untersuchten Expositionsszenarien für das Kind mit beidseitigen Cochlea Implantat. Die Ergebnisse der Berechnungen mit dem Cochlea Implantat finden sich in den Kapiteln 3.3.3 und 3.3.5.

“Cochleaimplantat, d = 3,5 cm, dorsal”

“Cochleaimplantat, d = 3,5 cm, dorsal”

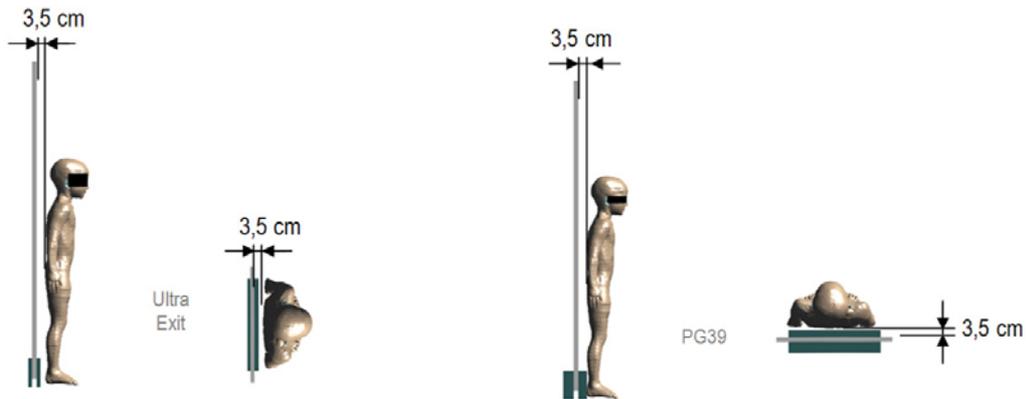


Abbildung 3.13: Untersuchte Expositionsszenarien mit dem AM-EAS System Ultra Exit (links) und dem RF-EAS System PG39 (rechts) mit einem Modell mit implantiertem Cochlea Implantat

### 3.3.3 AM-EAS System *Ultra Exit*

*Korrespondierendes Kapitel im Projektbericht zu [1]: 9.4.4*

#### 3.3.3.1 Berechnungsergebnisse

Abbildung 3.14 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,avg}$  zusammen. Dargestellt sind die Spitzenwerte von  $\max E_{i,avg}$  einerseits im Zentralnervensystemgewebe im Kopf (ZNS) und andererseits in peripheren Geweben (PNS), wobei bei PNS einmal die Mittelung über alle Gewebe erfolgte und einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe. Aufgrund des großen Verhältnisses von Spitzenwert zu Effektivwert bei diesem Gerät (ca. 7,1) sind die Spitzenwerte aus strahlenschutztechnischer Sicht die relevanteren Bewertungsgrößen. Die Umrechnung des Basis-Effektivwertes zum Basis-Spitzenwert erfolgte durch Multiplikation mit 1,414.

Die Maximalwerte der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten intrakorporal induzierten elektrischen Feldstärke in der Haut traten bei den „lateral“-Szenarien, jeweils in einer Fingerspitze der der Antenne zugewandten Hand auf und in den „dorsal“-Szenarien im Bereich jenes Fingers der sich in unmittelbarer Nähe des Oberschenkels befindet (Abbildung 3.15).

#### 3.3.3.2 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse

Auf Basis der in Kapitel 2.5.3 angestellten Überlegungen ergibt sich für ZNS Gewebe unter Vernachlässigung der Anisotropie und unter Berücksichtigung einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von 15% eine maximale Standard-Gesamtunsicherheit von ca.  $\pm 32\%$ .

Der maximale Unsicherheitsbereich für die Berechnungsergebnisse in peripheren Geweben bzw. der Haut kann ohne aufwändige gezielte Variationsanalyse näherungsweise aus der Differenz der Ergebnisse bei Berücksichtigung aller Gewebe und bei Nichtberücksichtigung von NLG in konservativer Weise abgeschätzt werden.

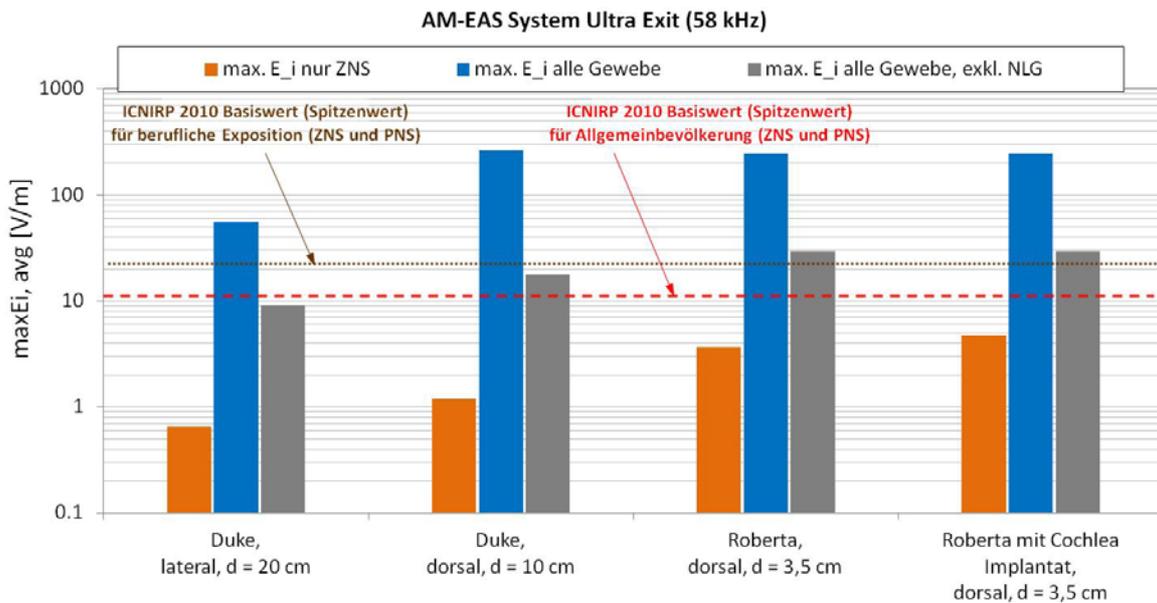


Abbildung 3.14: Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

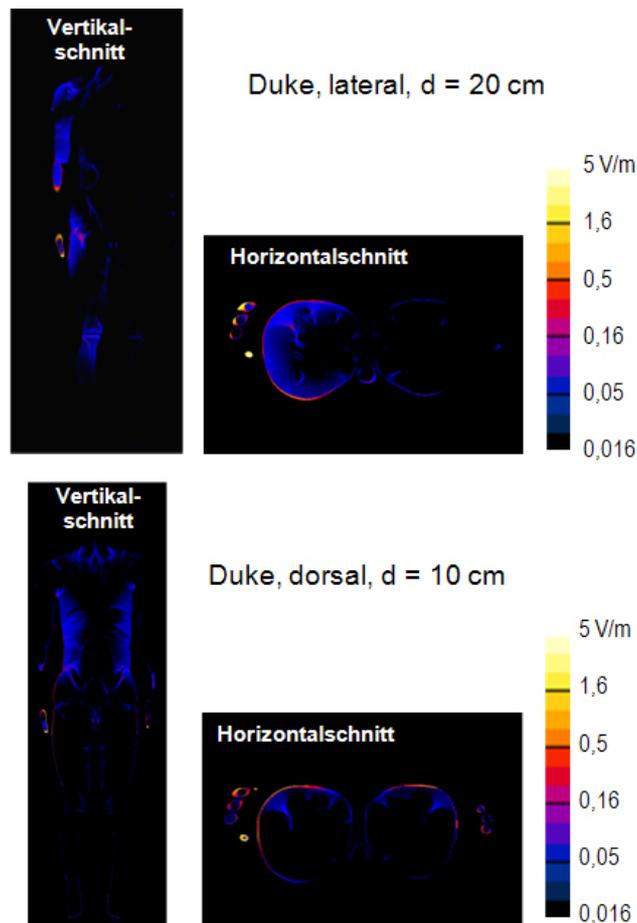


Abbildung 3.15: Verteilung der ungemittelten im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke in unterschiedlichen Schnitten durch das Feldstärkemaximum am Beispiel der Szenarien „Duke, lateral, d = 20 cm“ (oben) und „Duke, dorsal, d = 10 cm“ (unten). Aufgrund des großen Leitfähigkeitskontrastes der Haut zu den übrigen Geweben liegt das Feldstärkemaximum immer in der Haut.

Zu berücksichtigen ist weiters, dass EAS-Systeme des gleichen Typs in der Praxis offensichtlich auch erhebliche Variationsbreiten im Hinblick auf die Spitzenimmissionen aufweisen können.

### 3.3.3.3 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010 zeigt sich zunächst, dass für sehr geringe Distanzen zwischen Kopf und Antenne eine Überschreitung der Basiswerte im ZNS Gewebe nicht ausgeschlossen werden kann, vor allem wenn den hier konkret dargestellten Berechnungsergebnissen die oben abgeschätzte Berechnungsunsicherheit von 32% und zusätzlich die Unsicherheit bezüglich der Emissions-Streubreite unterschiedlicher Systeme in der Praxis (vgl. Abbildung 9.33 in [1]) zugeschlagen werden. Im Vergleich zur Bewertung gemäß ICNIRP 1998 zeigen die Ergebnisse bei Bewertung nach ICNIRP 2010 im Hinblick auf ZNS Gewebe weniger potenzielle Konflikte mit den Basiswerten, was allerdings hauptsächlich darauf zurückzuführen ist, dass bei Bewertung nach ICNIRP 1998 (im Gegensatz zu ICNIRP 2010) das Rückenmark (Bereich relativ großer induzierter Stromdichten) dem ZNS zugerechnet wurde.

In PNS Geweben kann eine Überschreitung der Basiswerte in den betrachteten Szenarien nicht ausgeschlossen werden, bzw. ist diese, insbesondere bei großen Personen schon bei Distanzen zur Antenne von 20 cm möglich.

Bezüglich der Auswirkung eines Cochleaimplantats auf die resultierende Exposition zeigt die aktuelle Bewertung gemäß ICNIRP 2010, in Einklang mit der Bewertung nach ICNIRP 1998, einen nur geringfügigen Einfluss des Implantats (<1% in PNS Geweben, ca. 30% Erhöhung von  $\max E_{i,avg}$  in CNS-Geweben).

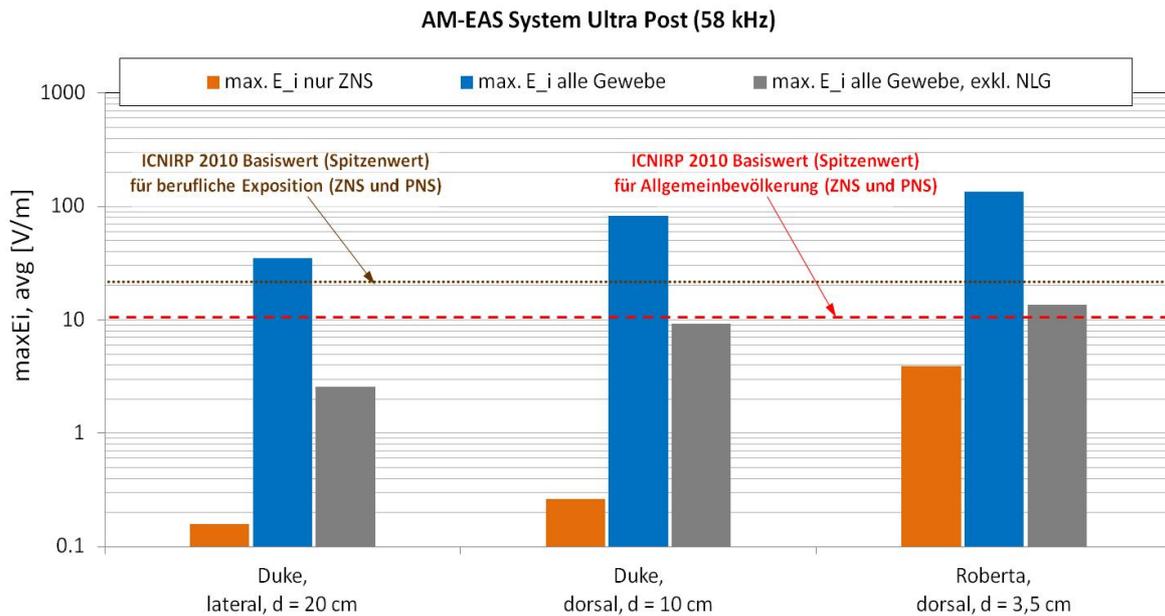
## 3.3.4 AM-EAS System *Ultra Post*

*Korrespondierendes Kapitel im Projektbericht zu [1]: 9.4.5*

### 3.3.4.1 Berechnungsergebnisse

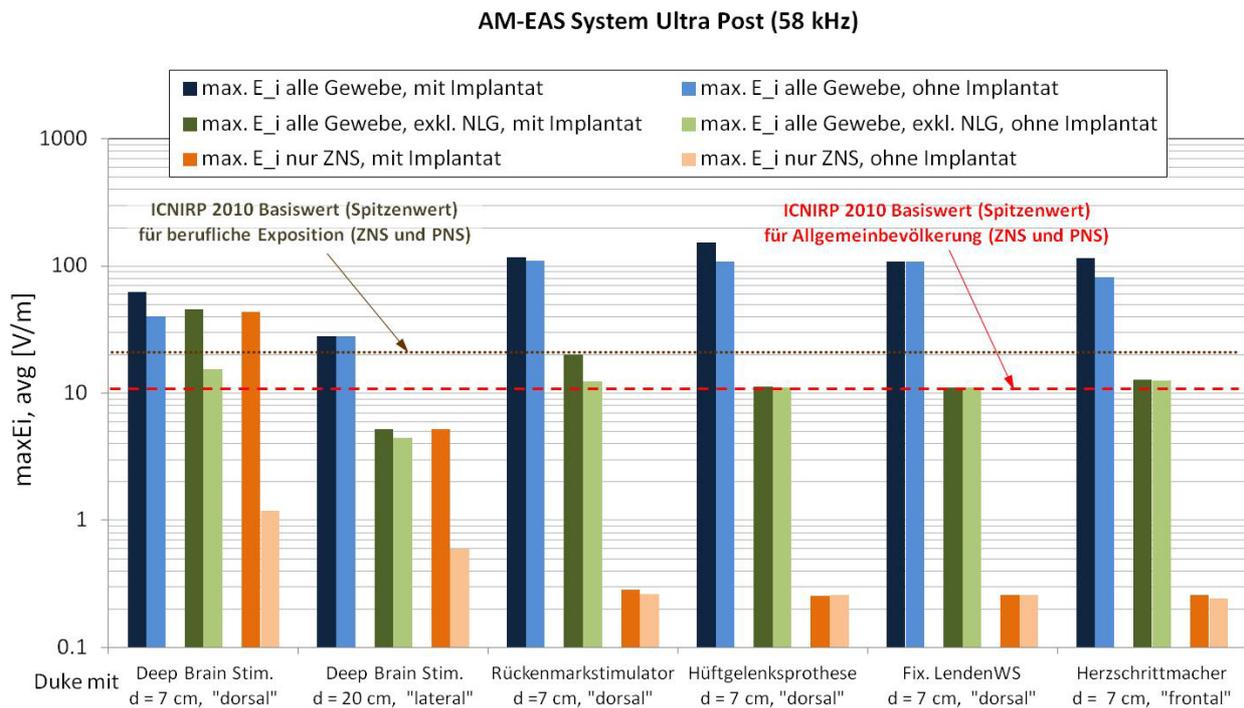
Abbildung 3.16 fasst zunächst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,avg}$ , für die betrachteten Szenarien mit Körpermodellen ohne Implantate zusammen. Dargestellt sind wieder die Spitzenwerte von  $\max E_{i,avg}$ , einerseits im Zentralnervensystemgewebe im Kopf (ZNS) und andererseits in peripheren Geweben (PNS), wobei bei PNS einmal die Mittelung über alle Gewebe erfolgte und einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe. Aufgrund des großen Verhältnisses von Spitzenwert zu Effektivwert bei diesem Gerät (ca. 6,3) sind die Spitzenwerte aus strahlenschutztechnischer Sicht die relevanteren Bewertungsgrößen. Die Umrechnung des Basis-Effektivwertes zum Basis-Spitzenwert erfolgte durch Multiplikation mit 1,414.

Aufgrund der Ähnlichkeit der Feldverteilung im Vergleich zum im vorigen Kapitel beschriebenen EAS System traten die Maximalwerte der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten intrakorporal induzierten elektrischen Feldstärke in der Haut auch bei diesem Gerät bei den „lateral“-Szenarien jeweils in einer Fingerspitze der der Antenne zugewandten Hand auf und in den „dorsal“-Szenarien im Bereich jenes Fingers der sich in unmittelbarer Nähe des Oberschenkels befindet.



**Abbildung 3.16:** Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien mit Körpermodellen ohne Implantate im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

In gleicher Weise wie Abbildung 3.16 fasst Abbildung 3.17 die Berechnungsergebnisse für die betrachteten Szenarien mit Körpermodellen mit unterschiedlichen Implantaten zusammen.



**Abbildung 3.17:** Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien mit Körpermodellen mit unterschiedlichen Implantaten im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

#### **3.3.4.2 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse**

Auf Basis der in Kapitel 2.5.3 angestellten Überlegungen ergibt sich für ZNS Gewebe unter Vernachlässigung der Anisotropie und unter Berücksichtigung einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von 15% eine maximale Standard-Gesamtunsicherheit von ca.  $\pm 32\%$ .

Der maximale Unsicherheitsbereich für die Berechnungsergebnisse in peripheren Geweben bzw. der Haut kann ohne aufwändige gezielte Variationsanalyse näherungsweise aus der Differenz der Ergebnisse bei Berücksichtigung der Hornhaut und bei Nichtberücksichtigung von NLG in konservativer Weise abgeschätzt werden.

Zu berücksichtigen ist weiters, dass EAS-Systeme des gleichen Typs in der Praxis offensichtlich auch erhebliche Variationsbreiten im Hinblick auf die Spitzenimmissionen aufweisen können.

#### **3.3.4.3 Bewertung der Berechnungsergebnisse**

Wie auch bei dem in Kapitel 3.3.3 beschriebenen, konzeptionell sehr ähnlichen Gerät *Ultra Exit* zeigt sich auch beim Gerät *Ultra Post*, bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010, dass für sehr geringe Distanzen zwischen Kopf und Antenne eine Überschreitung der Basiswerte im ZNS Gewebe nicht ausgeschlossen werden kann, wenn den hier konkret dargestellten Berechnungsergebnissen die oben abgeschätzte Berechnungsunsicherheit von 32% und zusätzlich die Unsicherheit bezüglich der Emissions-Streubreite unterschiedlicher Systeme in der Praxis (vgl. Abbildung 9.33 in [1]) zugeschlagen werden.

In PNS Geweben kann eine Überschreitung der Basiswerte in den betrachteten Szenarien, insbesondere bei großen Personen und Annäherung an die Antennen auf weniger als 20 cm nicht ausgeschlossen werden.

Implantate die nicht in unmittelbarem elektrischen Kontakt mit ZNS-Geweben bzw. mit der Haut stehen haben offensichtlich nur vernachlässigbaren Einfluss auf die gemäß ICNIRP 2010 relevanten Bewertungsgrößen.

Im speziellen Fall des Deep Brain Stimulators führt der Effekt der Stromdichtekonzentration im Bereich der Elektrodenspitzen im Gehirn naturgemäß auch zu einer entsprechend großen lokalen elektrischen Feldstärke im Gewebe, was in ungünstigen Expositionssituationen zu Überschreitungen der ICNIRP 2010 Basiswerte im ZNS führen kann (wie in [1] auch bei Bewertung nach ICNIRP 1998 bereits dokumentiert).

### **3.3.5 RF-EAS System PG39 – Pulse Listen Mode**

*Korrespondierendes Kapitel im Projektbericht zu [1]: 9.4.6*

#### **3.3.5.1 Berechnungsergebnisse**

Abbildung 3.18 fasst zunächst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,avg}$ , für die betrachteten Szenarien mit Körpermodellen ohne Implantate zusammen. Dargestellt sind wieder die Spitzenwerte von  $\max E_{i,avg}$ , einerseits im Zentralnervensystemgewebe im Kopf (ZNS) und andererseits in peripheren Geweben (PNS), wobei bei PNS einmal die Mittelung über alle Gewebe erfolgte und

einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe. Aufgrund des großen Verhältnisses von Spitzenwert zu Effektivwert bei diesem Gerät (ca. 6,9) sind, für die ausschließliche Bewertung im Hinblick auf Stimulationseffekte, die Spitzenwerte aus strahlenschutztechnischer Sicht die relevanteren Bewertungsgrößen. Die Umrechnung des Basis-Effektivwertes zum Basis-Spitzenwert erfolgte durch Multiplikation mit 1,414.

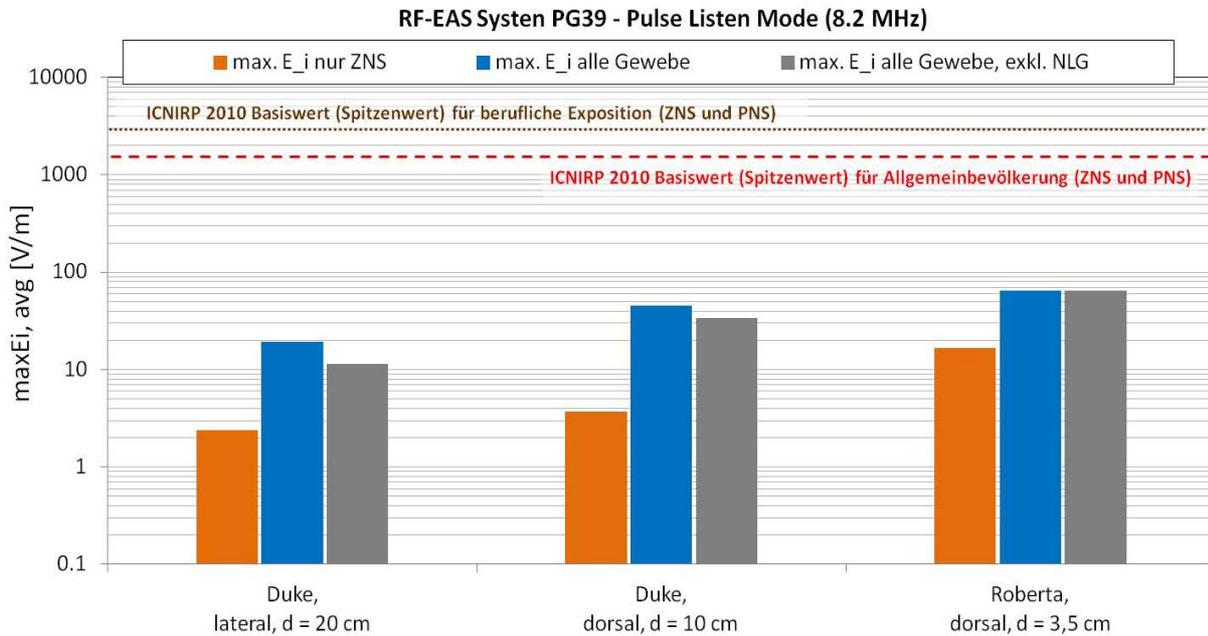
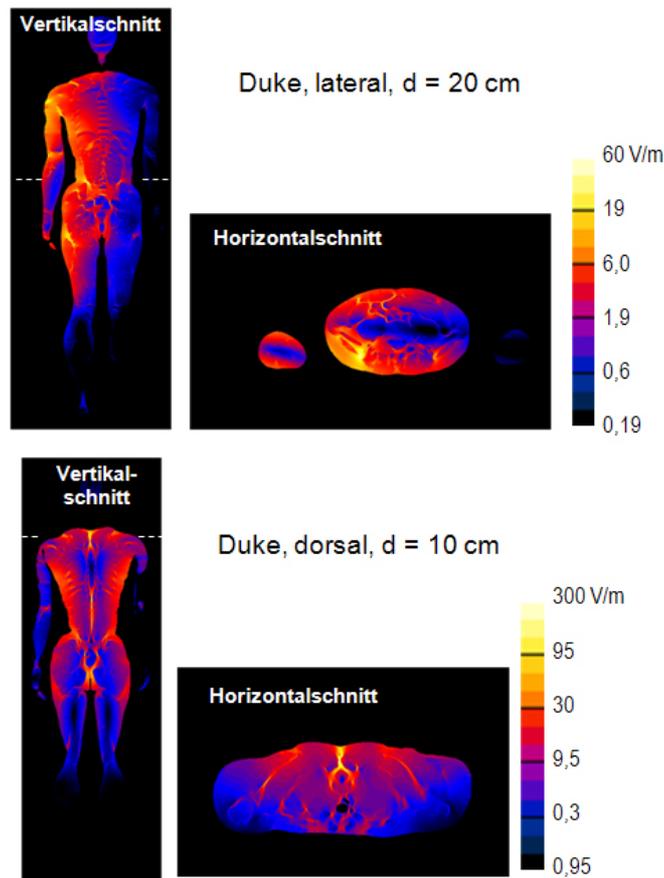


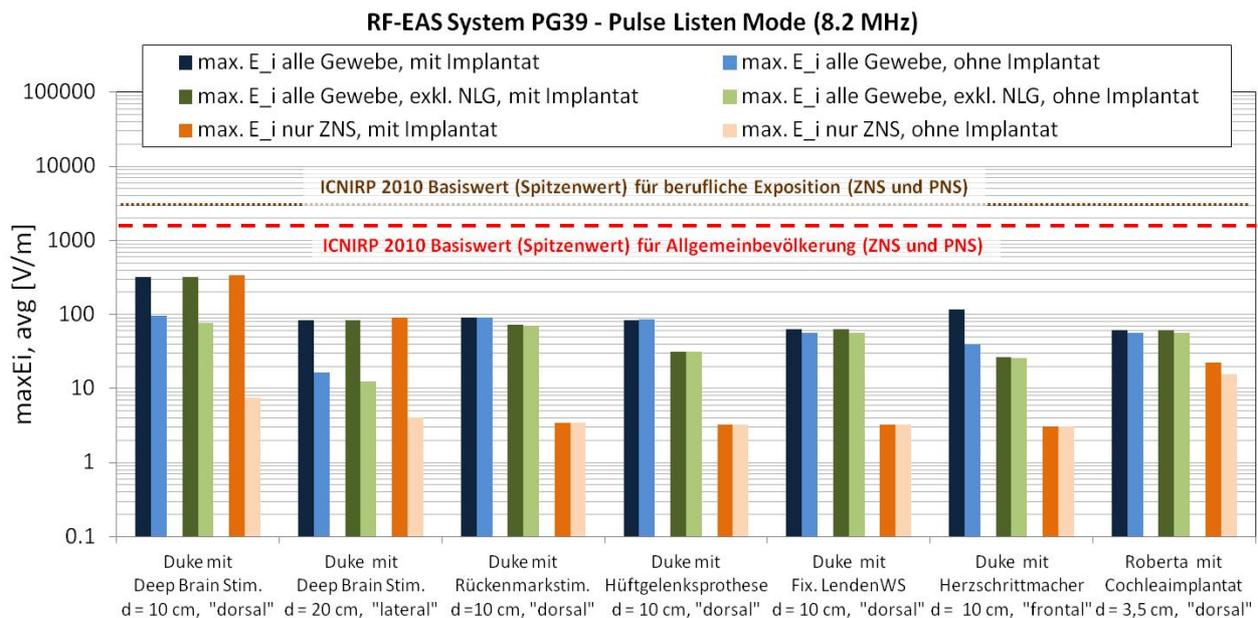
Abbildung 3.18: Maximale über 2 x 2 x 2 mm<sup>3</sup> gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien mit Körpermodellen ohne Implantate im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

Die Maximalwerte der induzierten elektrischen Feldstärke in PNS-Gewebe treten bei der hier betrachteten Arbeitsfrequenz von 8,2 MHz nicht mehr konzentriert in der Haut auf, sondern im Unterhautfettgewebe bzw. in Knochengewebe. Grund dafür ist, dass in diesem Frequenzbereich die Haut schon eine deutlich größere elektrische Leitfähigkeit aufweist als Fett und Knochen. Abbildung 3.19 zeigt als Beispiel die räumlichen Verteilungen der ungemittelten im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke in unterschiedlichen Schnitten durch das Feldstärkemaximum für die Szenarien „Duke, lateral, d = 20 cm“ und „Duke, dorsal, d = 10 cm“. In den „lateral“-Szenarien tritt das Maximum der induzierten elektrischen Feldstärke demnach typischer Weise im Fettgewebe im Bereich der Taillie auf der der Antenne zugewandten Seite auf. In den „dorsal“-Szenarien dagegen in den Wirbelfortsätzen der Brustwirbel bzw. im Fettgewebe im Bereich des Gesäß-Spaltes.

In gleicher Weise wie Abbildung 3.18 fasst Abbildung 3.20 die Berechnungsergebnisse für die betrachteten Szenarien mit Körpermodellen mit unterschiedlichen Implantaten zusammen.



**Abbildung 3.19:** Verteilung der ungemittelten im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke in unterschiedlichen Schnitten durch das Feldstärkemaximum am Beispiel der Szenarien „Duke, lateral, d = 20 cm“ (oben) und „Duke, dorsal, d = 10 cm“ (unten). Aufgrund der Tatsache, dass bei den Arbeitsfrequenzen der RF-EAS Systeme die elektrische Leitfähigkeit der Haut bereits deutlich größer ist als jene von Fett und Knochen, treten die Feldstärkemaxima typischer Weise im Unterhaut-Fettgewebe oder in oberflächennahen Knochen auf.



**Abbildung 3.20:** Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Spitzenwerte) in den untersuchten Szenarien mit Körpermodellen mit unterschiedlichen Implantaten im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

### 3.3.5.2 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse

Auf Basis der in Kapitel 2.5.3 angestellten Überlegungen ergibt sich für ZNS Gewebe unter Vernachlässigung der Anisotropie und unter Berücksichtigung einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von 18% eine maximale Standard-Gesamtunsicherheit von ca.  $\pm 34\%$ .

Der maximale Unsicherheitsbereich für die Berechnungsergebnisse in peripheren Geweben bzw. der Haut kann ohne aufwändige gezielte Variationsanalyse näherungsweise aus der Differenz der Ergebnisse bei Berücksichtigung aller Gewebe und bei Nichtberücksichtigung von NLG in konservativer Weise abgeschätzt werden.

### 3.3.5.3 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010 zeigt sich auch für dieses RF-EAS System, dass in den untersuchten Expositionsszenarien eine Überschreitung der Basiswerte, sowohl für ZNS- als auch für PNS-Gewebe ausgeschlossen werden kann.

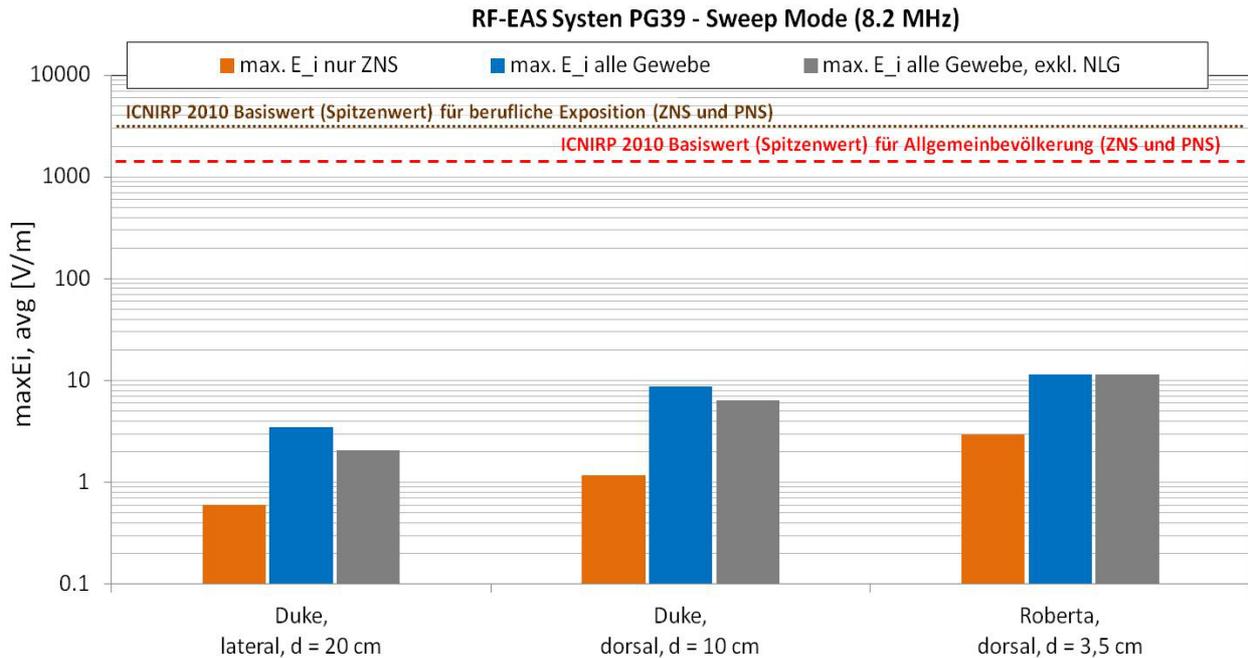
Implantate im Kopf, die nicht in unmittelbarem elektrischen Kontakt mit der Haut stehen, können dabei zwar zu deutlichen Erhöhungen der lokal induzierten elektrischen Feldstärke führen, die durchgeführten Berechnungen deuten aber darauf hin, dass die Maximalwerte der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,\text{avg}}$ , auch in solchen Fällen, selbst unter ungünstigen Voraussetzungen, die ICNIRP 2010 Basiswerte nicht überschreiten.

## 3.3.6 RF-EAS System PG39 – Sweep Mode

*Korrespondierendes Kapitel im Projektbericht zu [1]: 9.4.7*

### 3.3.6.1 Berechnungsergebnisse

Abbildung 3.21 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,\text{avg}}$ , für die betrachteten Szenarien zusammen. Dargestellt sind wieder die Spitzenwerte von  $\max E_{i,\text{avg}}$ , einerseits im Zentralnervensystemgewebe im Kopf (ZNS) und andererseits in peripheren Geweben (PNS), wobei bei PNS einmal die Mittelung über alle Gewebe erfolgte und einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe. Aufgrund des großen Verhältnisses von Spitzenwert zu Effektivwert bei diesem Gerät (ca. 4) sind, für die ausschließliche Bewertung im Hinblick auf Stimulationseffekte, die Spitzenwerte aus strahlenschutztechnischer Sicht die relevanteren Bewertungsgrößen. Die Umrechnung des Basis-Effektivwertes zum Basis-Spitzenwert erfolgte durch Multiplikation mit 1,414. Die räumliche Verteilung der induzierten elektrischen Feldstärke im Gewebe entspricht aufgrund der baugleichen Antenne, jener im vorigen Kapitel beschriebenen (Feldstärkemaxima in PNS-Gewebe im Unterhautfettgewebe bzw. in Knochengewebe, d.h., im Fettgewebe im Bereich der Taillie bei den „lateral“-Szenarien und in den Wirbelfortsätzen der Brustwirbel bzw. im Fettgewebe im Bereich des Gesäß-Spaltens in den „dorsal“-Szenarien).



**Abbildung 3.21:** Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

### 3.3.6.2 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse

Auf Basis der in Kapitel 2.5.3 angestellten Überlegungen ergibt sich für ZNS Gewebe unter Vernachlässigung der Anisotropie und unter Berücksichtigung einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von 15% eine maximale Standard-Gesamtunsicherheit von ca.  $\pm 32\%$ .

Der maximale Unsicherheitsbereich für die Berechnungsergebnisse in peripheren Geweben bzw. der Haut kann ohne aufwändige gezielte Variationsanalyse näherungsweise aus der Differenz der Ergebnisse bei Berücksichtigung der Hornhaut und bei Nichtberücksichtigung von NLG in konservativer Weise abgeschätzt werden.

Zu berücksichtigen ist weiters, dass EAS-Systeme des gleichen Typs in der Praxis offensichtlich auch erhebliche Variationsbreiten im Hinblick auf die Spitzenimmissionen aufweisen können.

### 3.3.6.3 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010 zeigt sich auch für dieses RF-EAS System, dass in den untersuchten Expositionsszenarien eine Überschreitung der Basiswerte, sowohl für ZNS- als auch für PNS-Gewebe ausgeschlossen werden kann.

### 3.3.7 RF-EAS System Trend

Korrespondierendes Kapitel im Projektbericht zu [1]: 9.4.8

#### 3.3.7.1 Berechnungsergebnisse

Abbildung 3.22 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i, \text{avg}}$ , für die betrachteten Szenarien zusammen. Dargestellt sind wieder die Spitzenwerte von  $\max E_{i, \text{avg}}$ , einerseits im Zentralnervensystemgewebe im Kopf (ZNS) und andererseits in peripheren Geweben (PNS), wobei bei PNS einmal die Mittelung über alle Gewebe erfolgte und einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe. Aufgrund des großen Verhältnisses von Spitzenwert zu Effektivwert bei diesem Gerät (ca. 7,1) sind, für die ausschließliche Bewertung im Hinblick auf Stimulationseffekte, die Spitzenwerte aus strahlenschutztechnischer Sicht die relevanteren Bewertungsgrößen. Die Umrechnung des Basis-Effektivwertes zum Basis-Spitzenwert erfolgte durch Multiplikation mit 1,414. Die räumliche Verteilung der induzierten elektrischen Feldstärke im Gewebe entspricht aufgrund der sehr ähnlichen Antenne, jener im Kapitel 3.3.5 beschriebenen (Feldstärkemaxima in PNS-Gewebe im Unterhautfettgewebe bzw. in Knochengewebe, d.h., im Fettgewebe im Bereich der Taillie bei den „lateral“-Szenarien und in den Wirbelfortsätzen der Brustwirbel bzw. im Fettgewebe im Bereich des Gesäß-Spaltes in den „dorsal“-Szenarien).

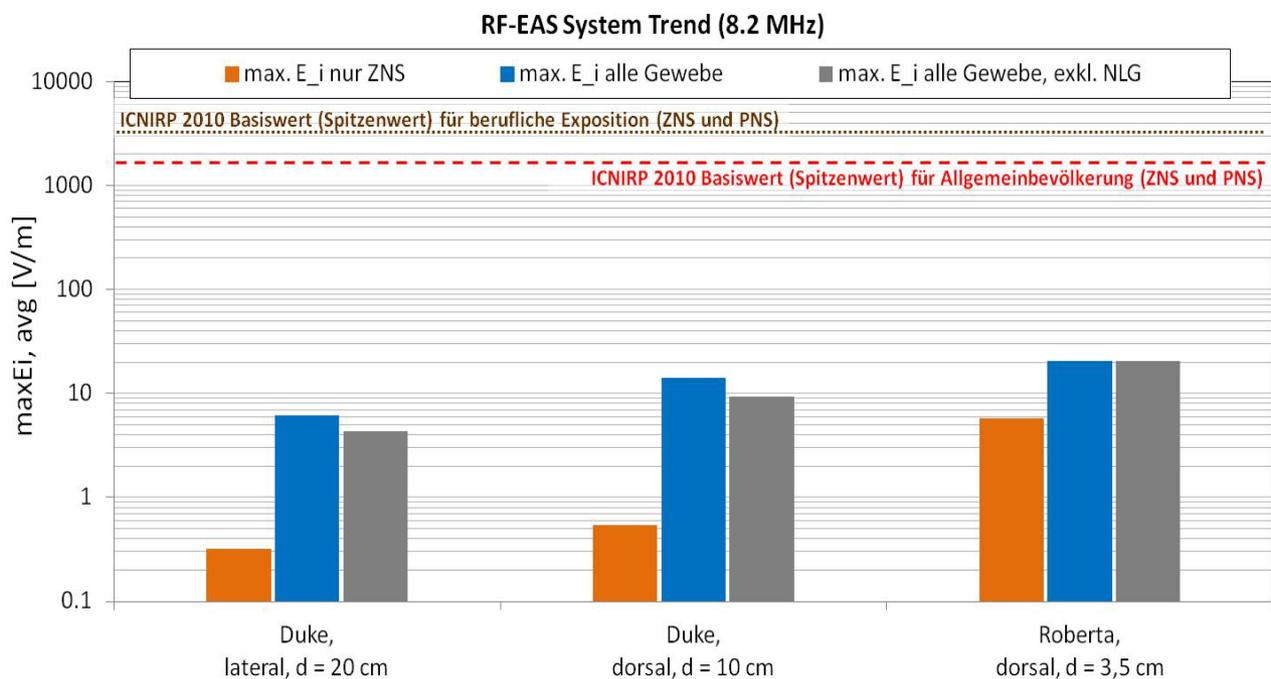


Abbildung 3.22: Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

### 3.3.7.2 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse

Auf Basis der in Kapitel 2.5.3 angestellten Überlegungen ergibt sich für ZNS Gewebe unter Vernachlässigung der Anisotropie und unter Berücksichtigung einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von 20% eine maximale Standard-Gesamtunsicherheit von ca.  $\pm 35\%$ .

Der maximale Unsicherheitsbereich für die Berechnungsergebnisse in peripheren Geweben bzw. der Haut kann ohne aufwändige gezielte Variationsanalyse näherungsweise aus der Differenz der Ergebnisse bei Berücksichtigung der Hornhaut und bei Nichtberücksichtigung von NLG in konservativer Weise abgeschätzt werden.

Zu berücksichtigen ist weiters, dass EAS-Systeme des gleichen Typs in der Praxis offensichtlich auch erhebliche Variationsbreiten im Hinblick auf die Spitzenimmissionen aufweisen können.

### 3.3.7.3 Bewertung der Berechnungsergebnisse

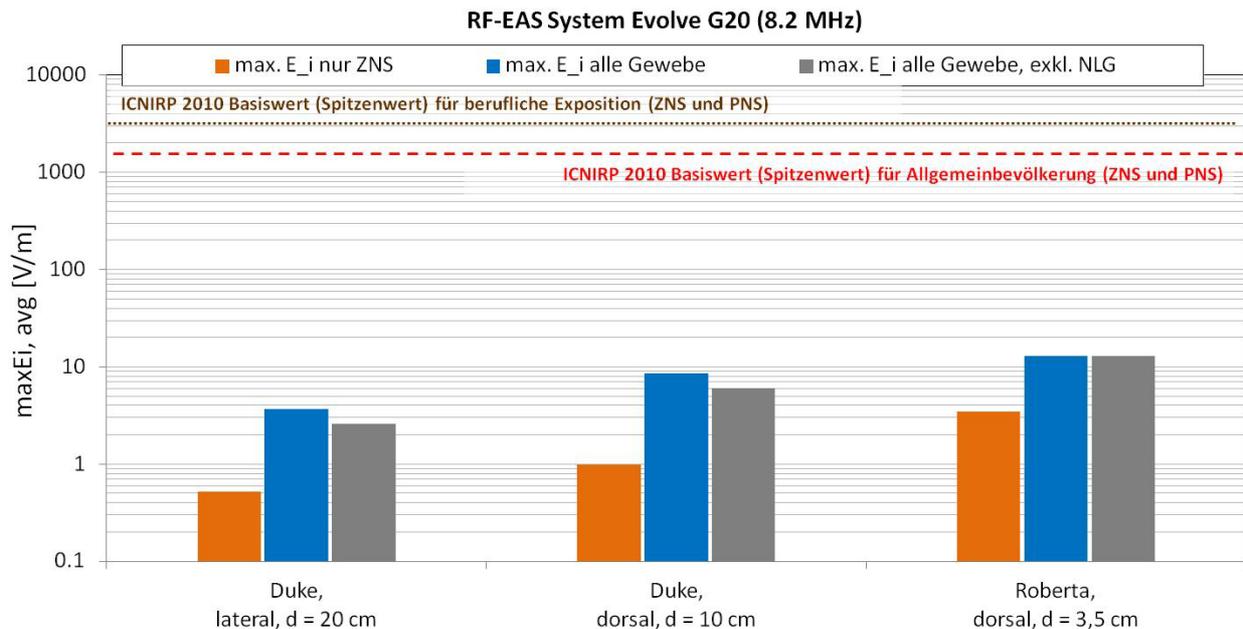
Bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010, zeigt sich auch für dieses RF-EAS System, dass in den untersuchten Expositionsszenarien eine Überschreitung der Basiswerte, sowohl für ZNS- als auch für PNS-Gewebe ausgeschlossen werden kann.

## 3.3.8 RF-EAS System *Evolve G20*

*Korrespondierendes Kapitel im Projektbericht zu [1]: 9.4.9*

### 3.3.8.1 Berechnungsergebnisse

Abbildung 3.23 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,avg}$ , für die betrachteten Szenarien zusammen. Dargestellt sind wieder die Spitzenwerte von  $\max E_{i,avg}$ , einerseits im Zentralnervensystemgewebe im Kopf (ZNS) und andererseits in peripheren Geweben (PNS), wobei bei PNS einmal die Mittelung über alle Gewebe erfolgte und einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe. Aufgrund des großen Verhältnisses von Spitzenwert zu Effektivwert bei diesem Gerät (ca. 8,8) sind, für die ausschließliche Bewertung im Hinblick auf Stimulationseffekte, die Spitzenwerte aus strahlenschutztechnischer Sicht die relevanteren Bewertungsgrößen. Die Umrechnung des Basis-Effektivwertes zum Basis-Spitzenwert erfolgte durch Multiplikation mit 1,414. Aufgrund der gegenüber den in den voranstehenden Kapiteln beschriebenen etwas anderen Antennengeometrie treten die PNS-Feldstärkemaxima in diesem Fall im Szenario „Duke, lateral,  $d = 20 \text{ cm}$ “ im Fettgewebe im Bereich des Oberschenkels (Falte der Antenne zugewandten Gesäßhälfte), im Szenario „Duke dorsal,  $d = 20 \text{ cm}$ “ im Bereich der Taillie und Im Szenario „Roberta, dorsal,  $d = 3,5 \text{ cm}$ “ im Bereich der Wirbelfortsätze (oberes Drittel der Brustwirbelsäule) auf (Abbildung 3.24).



**Abbildung 3.23:** Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

### 3.3.8.2 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse

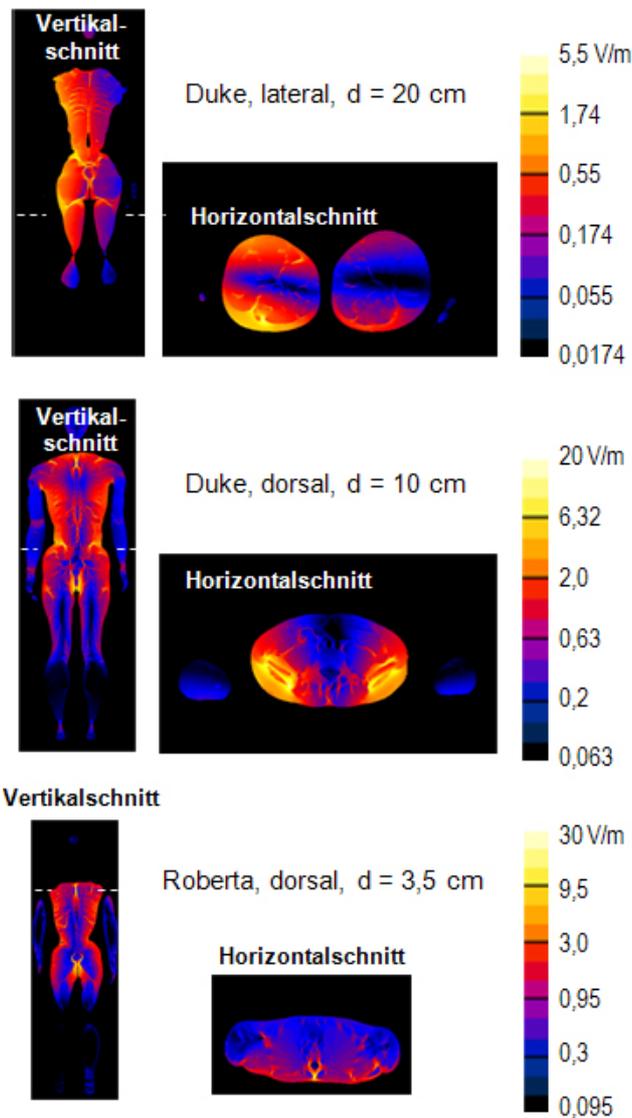
Auf Basis der in Kapitel 2.5.3 angestellten Überlegungen ergibt sich für ZNS Gewebe unter Vernachlässigung der Anisotropie und unter Berücksichtigung einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von 15% eine maximale Standard-Gesamtunsicherheit von ca.  $\pm 32\%$ .

Der maximale Unsicherheitsbereich für die Berechnungsergebnisse in peripheren Geweben bzw. der Haut kann ohne aufwändige gezielte Variationsanalyse näherungsweise aus der Differenz der Ergebnisse bei Berücksichtigung der Hornhaut und bei Nichtberücksichtigung von NLG in konservativer Weise abgeschätzt werden.

Zu berücksichtigen ist weiters, dass EAS-Systeme des gleichen Typs in der Praxis offensichtlich auch erhebliche Variationsbreiten im Hinblick auf die Spitzenimmissionen aufweisen können.

### 3.3.8.3 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010 zeigt sich auch für dieses RF-EAS System, dass in den untersuchten Expositionsszenarien eine Überschreitung der Basiswerte, sowohl für ZNS- als auch für PNS-Gewebe ausgeschlossen werden kann.



**Abbildung 3.24:** Verteilung der ungemittelten im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke in unterschiedlichen Schnitten durch das Feldstärkemaximum für die betrachteten Szenarien. Aufgrund der Tatsache, dass bei den Arbeitsfrequenzen der RF-EAS Systeme die elektrische Leitfähigkeit der Haut bereits deutlich größer ist als jene von Fett und Knochen, treten die Feldstärkemaxima typischer Weise im Unterhaut-Fettgewebe oder in oberflächennahen Knochen auf.

### 3.3.9 Deaktivator für AM-EAS Etiketten

*Korrespondierendes Kapitel im Projektbericht zu [1]: 9.4.10*

#### 3.3.9.1 Berechnungsergebnisse

Abbildung 3.25 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\max E_{i,avg}$ , für die betrachteten Szenarien (vgl. Abbildung 3.2) zusammen. Dargestellt sind die Spitzenwerte von  $\max E_{i,avg}$  in peripheren Geweben (PNS), wobei einmal die Mittelung über alle Gewebe erfolgte und einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe. Aufgrund des großen

Verhältnisses von Spitzenwert zu Effektivwert im Standby (ca. 4) und der Tatsache, dass ein Entmagnetisierungsimpuls nur bei Erkennung einer Etikette in unmittelbarer Nähe des Gerätes abgegeben wird, ist die strahlenschutztechnische Bewertung auf Basis der Immissions- bzw. Expositionsspitzenwerte vorzunehmen. Die Umrechnung des Basis-Effektivwertes zum Basis-Spitzenwert erfolgte durch Multiplikation mit 1,414.

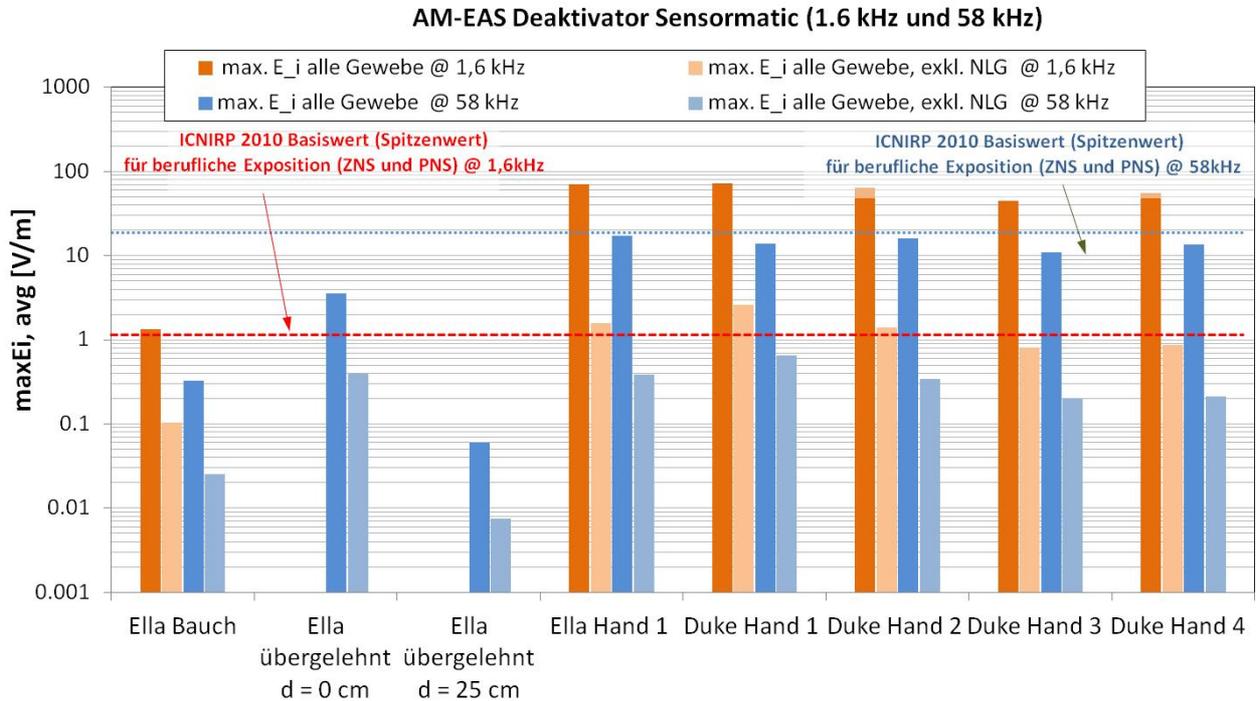


Abbildung 3.25: Maximale über 2 x 2 x 2 mm<sup>3</sup> gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

Im Szenario „Ella Bauch“ traten die Maxima sowohl der ungemittelten, als auch der über 2 x 2 x 2 mm<sup>3</sup> gemittelten im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke in der Haut im Bauchbereich auf Höhe des Deaktivators auf, in den „übergelehnt“-Szenarien im Brustbereich und in den „Hand“-Szenarien, jeweils in den Fingern in unmittelbarer Nähe der Deaktivatoroberfläche.

### 3.3.9.2 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse

Der maximale Unsicherheitsbereich für die Berechnungsergebnisse in peripheren Geweben bzw. der Haut kann näherungsweise aus der Differenz der Ergebnisse bei Berücksichtigung aller Gewebe und bei Nichtberücksichtigung von NLG in konservativer Weise abgeschätzt werden.

### 3.3.9.3 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010 zeigt sich eindeutig, dass es bei Verwendung des untersuchten Gerätes zumindest während des Deaktivierungsimpulses (1,6 kHz) sehr wahrscheinlich zu Basiswertüberschreitungen in der Hand kommen kann. Für das im Standby Modus erzeugte 58 kHz Magnetfeld ergeben sich Basiswertüberschreitungen in der Haut nur bei Zuschlag der Berechnungsunsicherheit und der Annahme einer sehr niedrigen Hautleitfähigkeit (entsprechend Hornhaut).

### 3.3.10 Deaktivator für RF-EAS Etiketten

Korrespondierendes Kapitel im Projektbericht zu [1]: 9.4.11

#### 3.3.10.1 Berechnungsergebnisse

Abbildung 3.26 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\text{maxE}_{i,\text{avg}}$ , für die betrachteten Szenarien (vgl. Abbildung 3.2) zusammen. Dargestellt sind die Spitzenwerte von  $\text{maxE}_{i,\text{avg}}$  in peripheren Geweben (PNS), wobei einmal die Mittelung über alle Gewebe erfolgte und einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe. Aufgrund des großen Verhältnisses von Spitzenwert zu Effektivwert im Standby (ca. 22) und der Tatsache, dass ein Entmagnetisierungsimpuls nur bei Erkennung einer Etikette in unmittelbarer Nähe des Gerätes abgegeben wird, ist die strahlenschutztechnische Bewertung auf Basis der Immissions- bzw. Expositionsspitzenwerte vorzunehmen. Die Umrechnung des Basis-Effektivwertes zum Basis-Spitzenwert erfolgte durch Multiplikation mit 1,414.

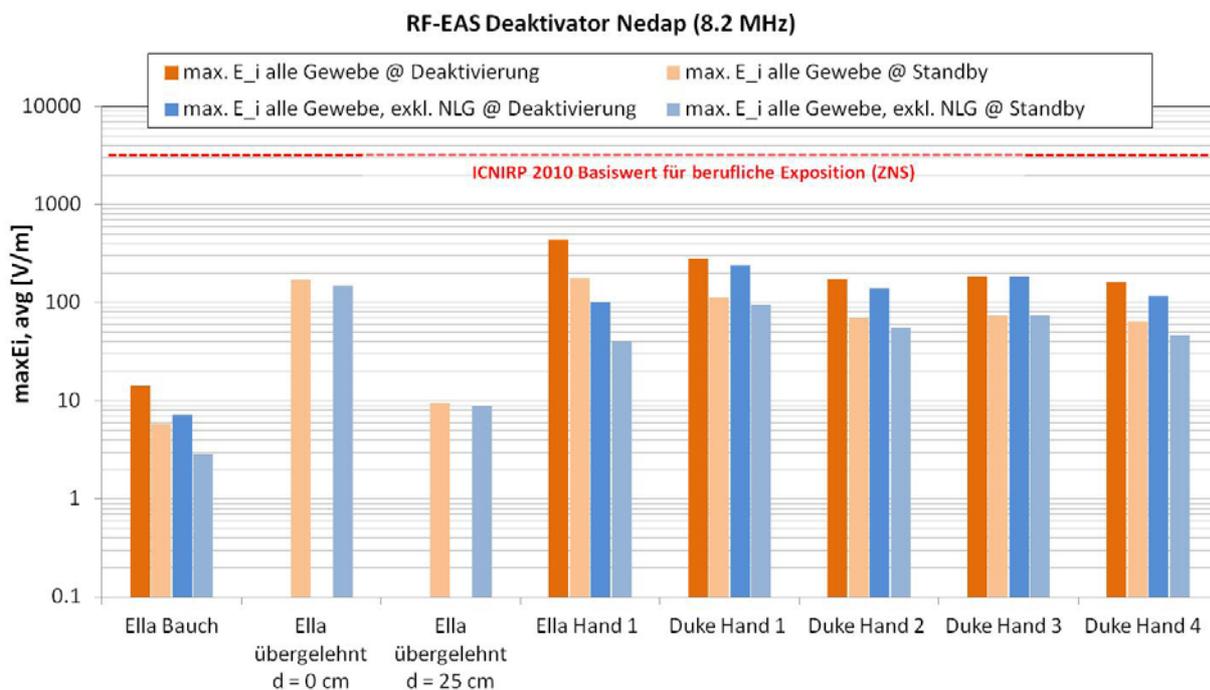


Abbildung 3.26: Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Spitzenwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

Im Szenario „Ella Bauch“ traten die Maxima sowohl der ungemittelten, als auch der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke im Fettgewebe im Genitalbereich auf, in den „übergelehnt“-Szenarien im Brustbereich und in den „Hand“-Szenarien, jeweils in den Fingern bzw. Hand bzw. Unterarm in unmittelbarer Nähe der Deaktivatoroberfläche (Abbildung 3.27).

### 3.3.10.2 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse

Der maximale Unsicherheitsbereich für die Berechnungsergebnisse in peripheren Geweben bzw. der Haut kann näherungsweise aus der Differenz der Ergebnisse bei Berücksichtigung der Hornhaut und bei Nichtberücksichtigung von NLG in konservativer Weise abgeschätzt werden.

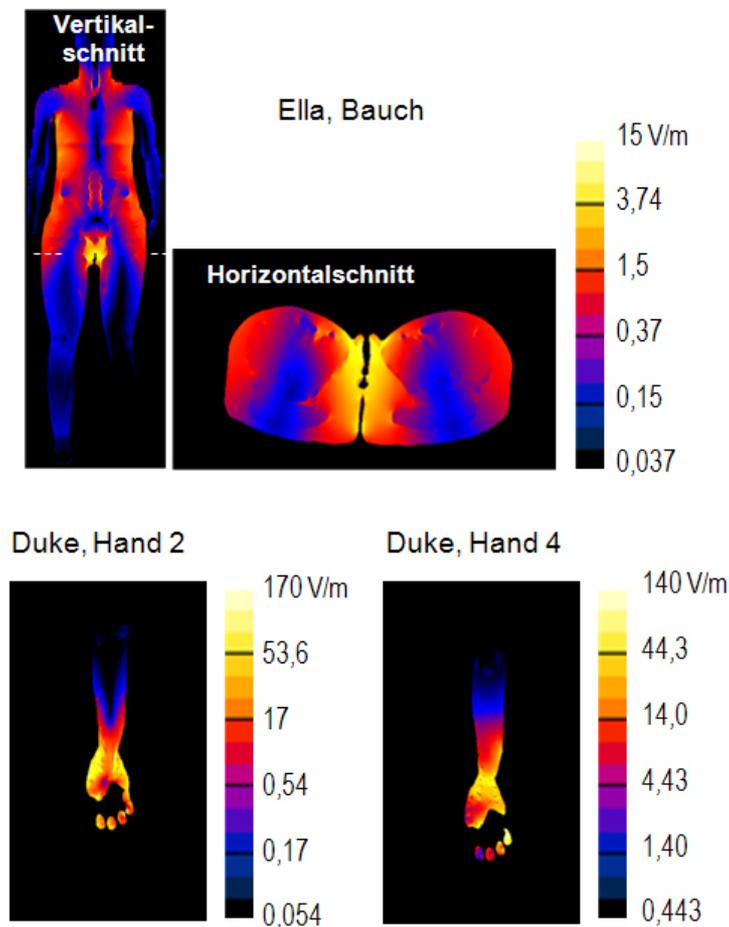


Abbildung 3.27: Verteilungen der ungemittelten im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke in unterschiedlichen Schnitten durch das Feldstärkemaximum für ausgewählte Szenarien. Aufgrund der Tatsache, dass bei den Arbeitsfrequenzen der RF-EAS Systeme die elektrische Leitfähigkeit der Haut bereits deutlich größer ist als jene von Fett und Knochen, treten die Feldstärkemaxima typischer Weise im Unterhaut-Fettgewebe oder in oberflächennahen Knochen auf.

### 3.3.10.3 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010 zeigt sich für den betrachteten RF-EAS-Etikettendeaktivator, dass in den untersuchten Expositionsszenarien eine Überschreitung der Basiswerte ausgeschlossen werden kann.

## 3.4 Expositionsszenarien mit RFID-Lesegeräten

*Korrespondierendes Kapitel im Projektbericht zu [1]: 10.4*

Im Frequenzbereich unterhalb von 10 MHz wurden in [1] ausschließlich Berechnungen mit den anatomischen Körpermodellen („Duke“, „Ella“, „Luis“, „Roberta“) ohne metallische Implantate bei

Exposition mit einem LF-Zutrittskontrollsystem (120 kHz) durchgeführt. Abbildung 3.28 und Abbildung 3.29 zeigen die mittels numerischer Berechnungen analysierten Expositionsszenarien.

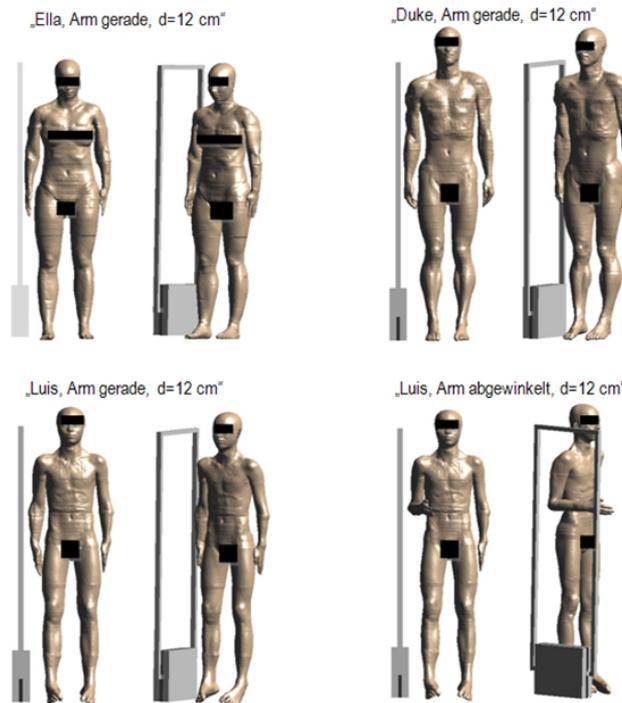


Abbildung 3.28: Betrachtete Expositionsszenarien mit dem LF-Zutrittskontrollsystem mit stark lokaler Exposition des Armes

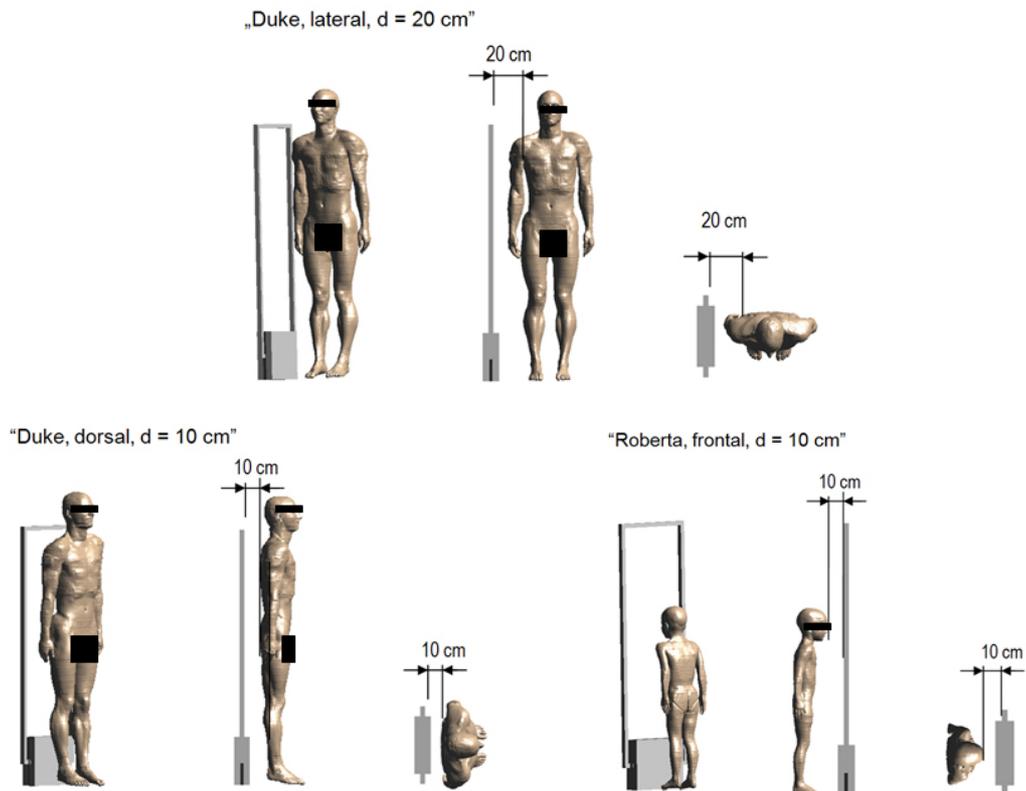
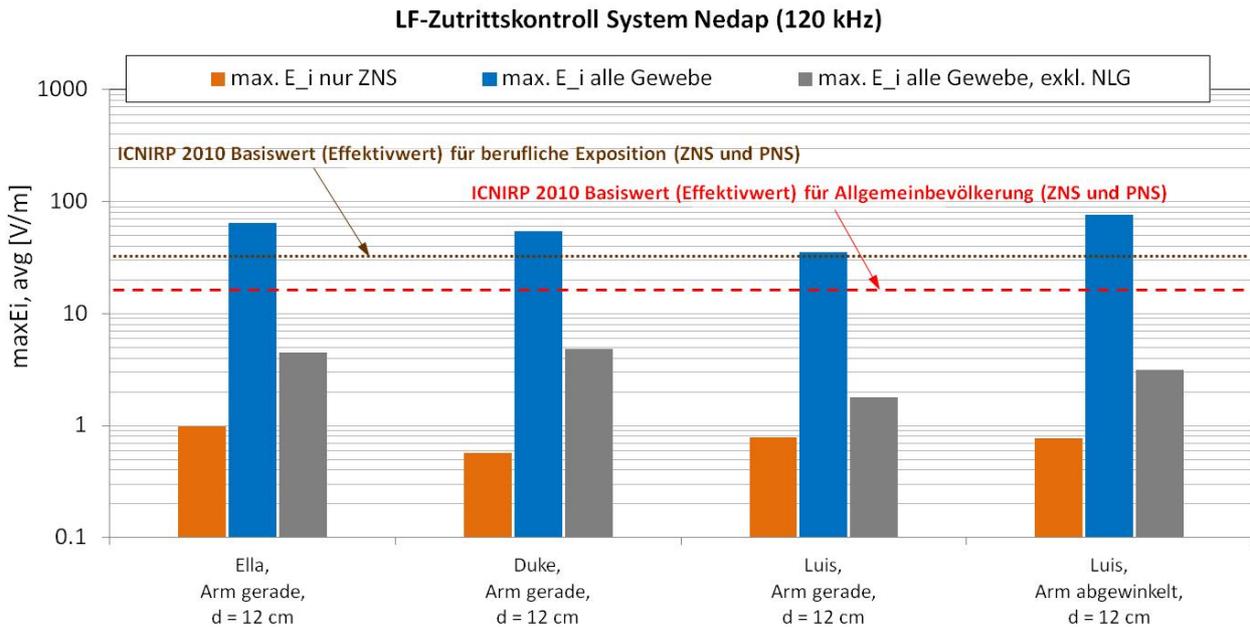


Abbildung 3.29: Betrachtete Ganzkörper-Expositionsszenarien mit dem LF-Zutrittskontrollsystem

### 3.4.1.1 Berechnungsergebnisse

Abbildung 3.30 und Abbildung 3.31 fasst die Berechnungsergebnisse anhand der relevanten Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten, im Körper induzierten elektrischen Feldstärke  $\text{max}E_{i,\text{avg}}$  für die betrachteten Szenarien zusammen. Dargestellt sind die (bei zeitkontinuierlicher Befeldung direkt mit den in ICNIRP 2010 angegebenen Basiswerten vergleichbaren) Effektivwerte von  $\text{max}E_{i,\text{avg}}$  einerseits im Zentralnervensystemgewebe im Kopf (ZNS) und andererseits in peripheren Geweben (PNS), wobei bei PNS einmal die Mittelung über alle Gewebe erfolgte und einmal unter Ausschluss der niedrig leitfähigen Gewebe (NLG) Haut, Fett, Knorpel, Unterhaut-Fettgewebe und Bindegewebe.



**Abbildung 3.30:** Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Effektivwerte) in den numerisch untersuchten Szenarien mit stark lokaler Exposition des Armes im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

In den Szenarien mit stark lokaler Exposition des Armes traten die Maxima der ungemittelten und der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten der intrakorporal induzierten elektrischen Feldstärke in peripheren Geweben entweder im der Antenne zugewandten Fuß oder in der der Antenne zugewandten Hand auf.

Bei Ganzkörperexposition lagen die Maximalwerte sowohl der ungemittelten, als auch der über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten intrakorporal induzierten elektrischen Feldstärke in peripheren Geweben im Szenario „Duke, lateral, d = 20 cm“ im Außenrist des der Antenne zugewandten Fußes, beim Szenario „Duke, dorsal, d = 10 cm“ im Daumen der rechten Hand (unmittelbar neben dem Oberschenkel) und beim Szenario „Roberta, frontal, d = 10 cm“ in einer Zehenspitze (Abbildung 3.32).

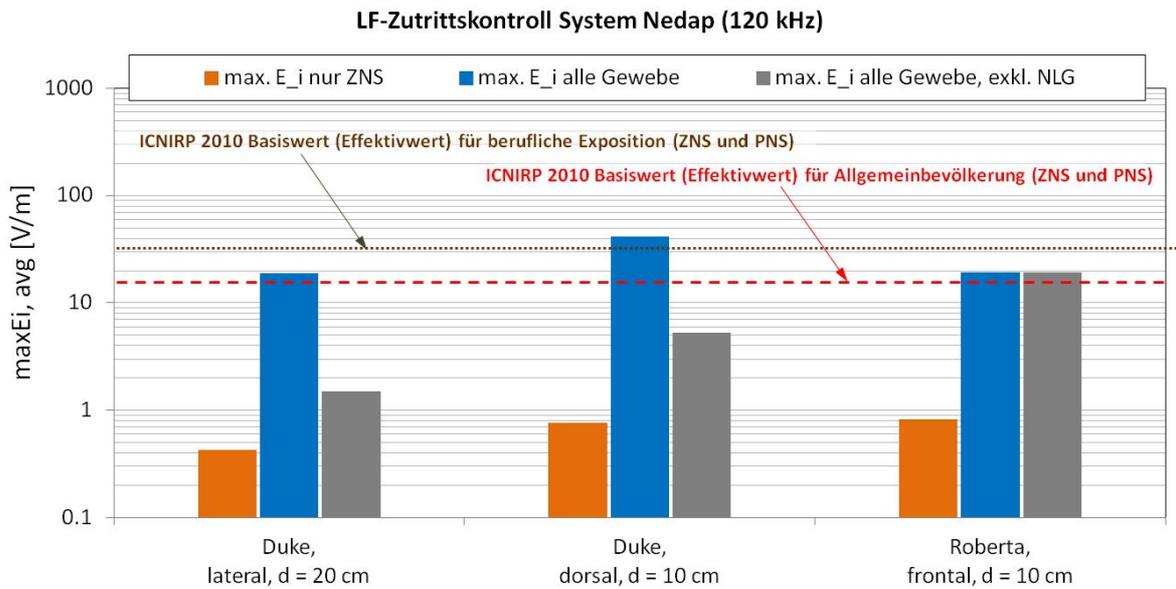


Abbildung 3.31: Maximale über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte induzierte elektrische Feldstärke (Effektivwerte) in den numerisch untersuchten Ganzkörperexpositionsszenarien im Vergleich zu den Basiswerten nach ICNIRP 2010.

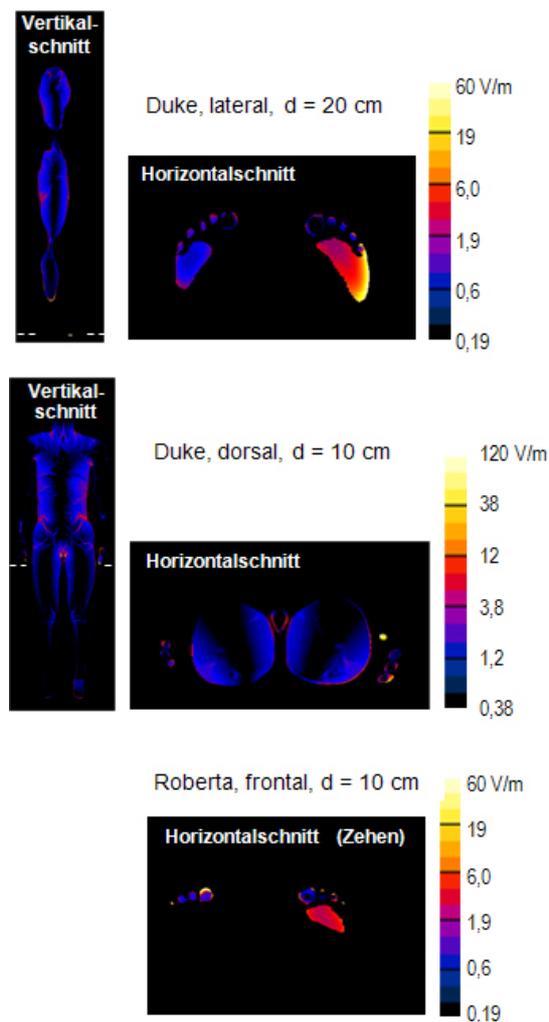


Abbildung 3.32: Verteilung der ungemittelten im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke in unterschiedlichen Schnitten durch das Feldstärkemaximum

#### **3.4.1.2 Unsicherheiten der Berechnungsergebnisse**

Auf Basis der in Kapitel 2.5.3 angestellten Überlegungen ergibt sich für ZNS Gewebe unter Vernachlässigung der Anisotropie und unter Berücksichtigung einer Unsicherheit der Quellenmodellierung von 15% eine maximale Standard-Gesamtunsicherheit von ca.  $\pm 32\%$ .

Der maximale Unsicherheitsbereich für die Berechnungsergebnisse in peripheren Geweben bzw. der Haut kann ohne aufwändige gezielte Variationsanalyse näherungsweise aus der Differenz der Ergebnisse bei Berücksichtigung aller Gewebe und bei Nichtberücksichtigung von NLG in konservativer Weise abgeschätzt werden.

#### **3.4.1.3 Bewertung der Berechnungsergebnisse**

Bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010 zeigt sich zunächst, dass eine Überschreitung der Basiswerte im ZNS Gewebe ausgeschlossen werden kann, selbst wenn den hier konkret dargestellten Berechnungsergebnissen die oben abgeschätzte Berechnungsunsicherheit von 32% zugeschlagen wird. Die Tatsache, dass, im Gegensatz zur Bewertung nach ICNIRP 1998 in [1], bei Bewertung nach ICNIRP 2010 die Ergebnisse keine Konflikte mit den Basiswerten zeigen, ist hauptsächlich darauf zurückzuführen ist, dass bei Bewertung nach ICNIRP 1998 (im Gegensatz zu ICNIRP 2010) das Rückenmark (Bereich relativ großer induzierter Stromdichten) dem ZNS zugerechnet wurde.

In PNS Geweben kann eine Überschreitung der Basiswerte in den betrachteten Szenarien bei Distanzen von weniger als ca. 10 cm zur Antenne nicht ausgeschlossen werden.

## 4 ZUSAMMENFASSENDER BEWERTUNG DER MESS- UND BERECHNUNGSERGEBNISSE

### 4.1 Strahlenschutztechnische Bewertung von EAS-Anlagen

Die zusätzlich durchgeführten Analysen an elektronischen Artikelsicherungsanlagen (EAS) bestätigen die bereits in [1] dokumentierten Ergebnisse. Bei allen gegenwärtig am Markt befindlichen EAS-Technologien treten in der Nähe der Antennen lokal deutliche Überschreitungen der ICNIRP Referenzwerte auf (sowohl der ICNIRP 1998-, als auch der ICNIRP 2010-Referenzwerte). Bei manchen Anlagentypen können derartige lokale Referenzwertüberschreitungen auch noch in Distanzen über 50 cm auftreten. Selbst der in EN 62369-1 als Beurteilungsgröße definierte Raummittelwert der magnetischen Feldstärke bzw. Flussdichte kann bei einigen EAS-Systemen noch oberhalb sowohl der ICNIRP 1998, als auch der ICNIRP 2010 Referenzwerte liegen.

Eine technologiespezifische Betrachtung auf Basis der gemessenen Immissionswerte zeigt klar, dass akustomagnetischen (AM-) Systemen strahlenschutztechnisch die größte Relevanz zukommt, gefolgt von elektromagnetischen (EM-) Systemen und Radiofrequenz (RF-) Systemen (vgl. Abbildung 4.6). Die durchgeführten Analysen im Hinblick auf die von unterschiedlichen EAS-Systemen im Körper induzierten elektrischen Feldstärken bestätigen diese Rangreihung bezüglich der strahlenschutztechnischen Relevanz.

Die durchgeführten numerischen Berechnungen mit **RF-EAS Systemen** (Frequenzbereich typ. 8,2 MHz), sowie die Neuauswertungen der in [1] dokumentierten Berechnungen ergaben keinen Hinweis darauf, dass in der Praxis, selbst bei Annahme ungünstiger Expositionsbedingungen, Überschreitungen der ICNIRP 2010 Basiswerte (im Hinblick auf Reizwirkung) oder der ICNIRP 1998 Basiswerte (im Hinblick auf thermische Wirkungen) zufolge der von den RF-EAS-Systemen erzeugten Magnetfelder zu erwarten sind.

Für die in der Praxis vergleichsweise selten anzutreffenden und auf Basis nur eines konkreten Systems analysierten **EM-EAS Systeme** deuten die durchgeführten numerischen Berechnungen darauf hin, dass bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln gemäß ICNIRP 2010, eine Überschreitung der Basiswerte im ZNS Gewebe unter in der Praxis üblichen Bedingungen (Annäherung an die Antennen auf nicht weniger als ca. 3 cm) ausgeschlossen werden kann. In PNS Geweben kann eine Überschreitung der Basiswerte jedoch nicht ausgeschlossen werden. Dies gilt insbesondere für Körperhaltungen bzw. Situationen, bei denen direkter Hautkontakt zwischen den Endpunkten „schleifenbildender“ Körperteile (z.B. Haut-Haut Kontakt zwischen Fingern der linken und rechten Hand) oder direkter Hautkontakt zu leitfähigen Objekten besteht, die gemeinsam mit Körperteilen große Schleifenstrukturen bilden (z.B. Berührung eines metallischen Gegenstandes mit beiden Händen), in die das vom EAS Gerät erzeugte Magnetfeld effektiv einkoppeln kann.

Die gegenwärtig mit ca. 50% Marktanteil sehr weit verbreiteten Systeme der **AM-EAS Technologie** besitzen auf Basis der durchgeführten Analysen die größte strahlenschutztechnische Relevanz. Sowohl die aktuellen Berechnungen, als auch die Neuauswertungen der in [1] dokumentierten Berechnungen deuten klar darauf hin, dass eine

Überschreitung der Basiswerte im ZNS Gewebe durch die betrachteten Geräte offensichtlich nur dann ausgeschlossen werden kann, wenn ein Mindestabstand zwischen Kopf und Antennen von ca. 10 cm eingehalten wird. In PNS Geweben kann eine Überschreitung der Basiswerte, insbesondere bei großen Personen, schon bei Distanzen zur Antenne von 20 cm nicht mehr ausgeschlossen werden. Wie auch schon bei den EM-EAS Geräten angemerkt, gilt dies auch hier insbesondere für Körperhaltungen bzw. Situationen, bei denen direkter Hautkontakt zwischen den Endpunkten „schleifenbildender“ Körperteile oder direkter Hautkontakt zu leitfähigen Objekten besteht, die gemeinsam mit Körperteilen große Schleifenstrukturen bilden.

## **4.2 Strahlenschutztechnische Bewertung von 120 kHz RFID Geräten mit Vicinity Coupling**

Die Neuauswertung der im Rahmen von [1] durchgeführten Berechnungen mit einem 120 kHz Zutrittskontrollsystem (Vicinity Coupling) ergab, dass bei Zugrundelegung der ICNIRP 2010 Bewertungsregeln zwar eine Überschreitung der Basiswerte im ZNS Gewebe ausgeschlossen werden kann, in PNS Geweben jedoch eine Basiswertüberschreitung bei Distanzen von weniger als ca. 10 cm zur Antenne möglich ist. Auch hier gilt dies wieder insbesondere für Körperhaltungen bzw. Situationen, bei denen direkter Hautkontakt zwischen den Endpunkten „schleifenbildender“ Körperteile oder direkter Hautkontakt zu leitfähigen Objekten besteht, die gemeinsam mit Körperteilen große Schleifenstrukturen bilden, in die das vom Zutrittskontrollsystem erzeugte Magnetfeld effektiv einkoppeln kann.

## **4.3 Vergleich der Bewertungsergebnisse nach ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010**

Abbildung 4.1 bis Abbildung 4.3 zeigen einen Vergleich der Expositionsbewertung für die auf Basis numerischer Berechnungen analysierten EAS-Geräte für die Expositionsszenarien „Duke, lateral, d = 20 cm“, „Duke, dorsal, d = 10 cm“ und „Roberta, dorsal, d = 3,5 cm“ auf der Grundlage der Basiswerte gemäß ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010. Es zeigt sich dabei, dass für die betrachteten Expositionsszenarien zumindest im Hinblick auf das Zentralnervensystem im Kopf die intrakorporalen Bewertungsgrößen bei Bewertung nach ICNIRP 1998 in Relation zu den zugehörigen Basiswerten größer sind als bei Bewertung nach ICNIRP 2010. Im Hinblick auf das Zentralnervensystem im Kopf stellt die Bewertung nach ICNIRP 1998 demnach das strengere Kriterium dar. Die Einhaltung der ICNIRP 1998 Basiswerte schützt in den betrachteten Szenarien mit den RF-EAS Geräten offensichtlich sogar vor Basiswertüberschreitungen in peripheren Geweben gemäß ICNIRP 2010. Für Geräte der EM- und AM-Technologie, sowie auch für das in den Abbildungen nicht dargestellte 120 kHz LF-RFID Zutrittskontrollsystem, d.h., für niedrigere Frequenzen, gilt dies allerdings nicht mehr für alle betrachteten Geräte bzw. Szenarien. Zusätzlich ist anzumerken, dass unter Annahme ungünstiger Expositionsbedingungen, vor allem in den niedrigeren Frequenzbereichen, die in peripheren Geweben (insbesondere der Haut) induzierten elektrischen Feldstärken deutlich größer sein können, als unter den hier betrachteten Expositionsbedingungen (vgl. Anmerkungen zu „schleifenbildenden Körperhaltungen“ in Kapitel 4.1).

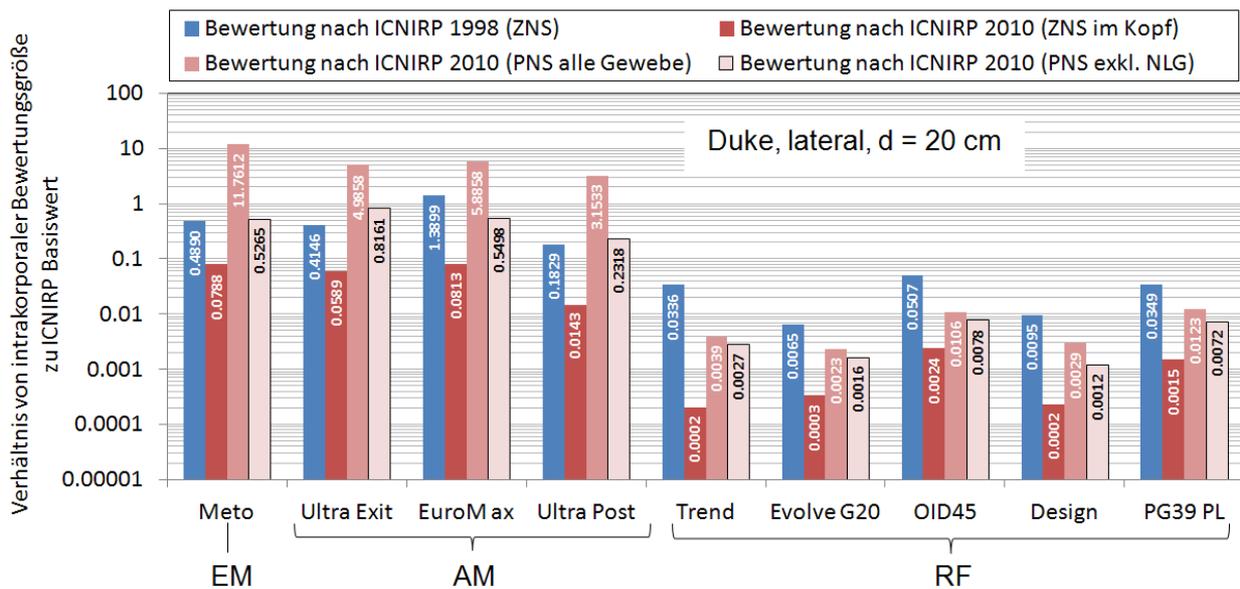


Abbildung 4.1: Vergleich der Bewertungsergebnisse für die auf Basis numerischer Berechnungen analysierten EAS-Anlagen anhand der in ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 definierten Reizwirkungs-relevanten Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung für das Szenario „Duke, lateral, d = 20 cm“.

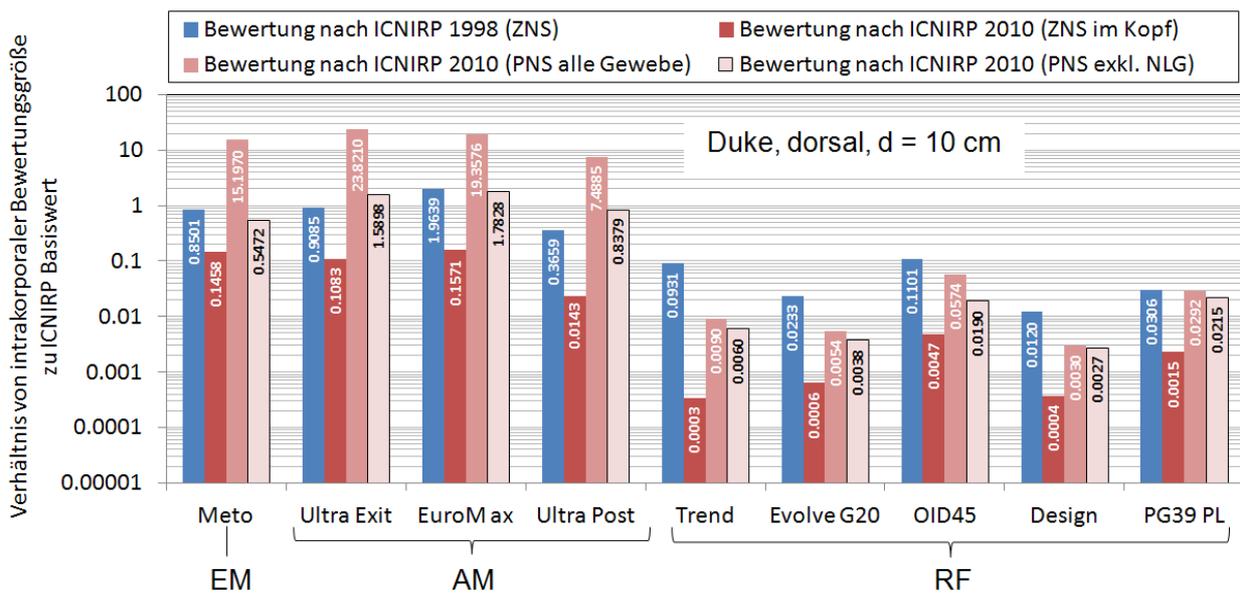


Abbildung 4.2: Vergleich der Bewertungsergebnisse für die auf Basis numerischer Berechnungen analysierten EAS-Anlagen anhand der in ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 definierten Reizwirkungs-relevanten Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung für das Szenario „Duke, dorsal, d = 10 cm“.

Bezüglich der Situationen von Personen mit Implantaten (Abbildung 4.4 und Abbildung 4.5) gilt im Hinblick auf das Zentralnervensystem ebenfalls das oben Gesagte, d.h., dass eine Bewertung auf der Grundlage der Basiswerte nach ICNIRP 1998 restriktiver ist, als eine Bewertung nach ICNIRP 2010. Für die gemäß ICNIRP 2010 ebenfalls vor zu hohen intrakorporalen Feldstärken zu schützenden peripheren Geweben, stellt das Bewertungsverfahren nach ICNIRP 1998 in diesen Fällen allerdings keinen ausreichenden Schutz dar.

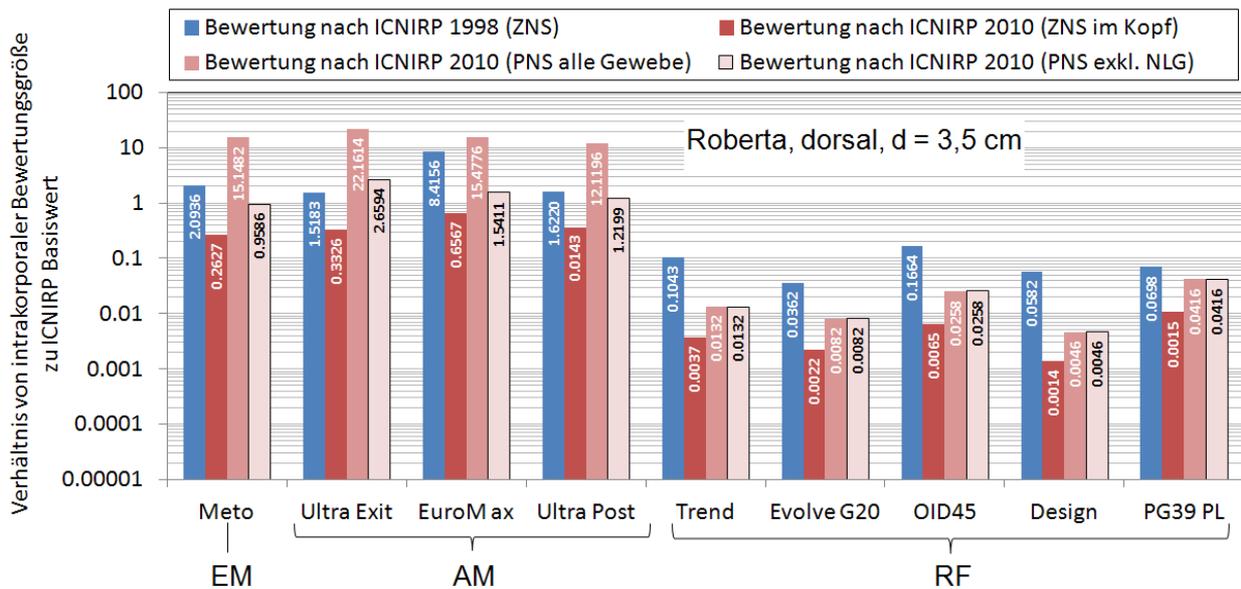


Abbildung 4.3: Vergleich der Bewertungsergebnisse für die auf Basis numerischer Berechnungen analysierten EAS-Anlagen anhand der in ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 definierten Reizwirkungs-relevanten Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung für das Szenario „Roberta, dorsal, d = 3,5 cm“.

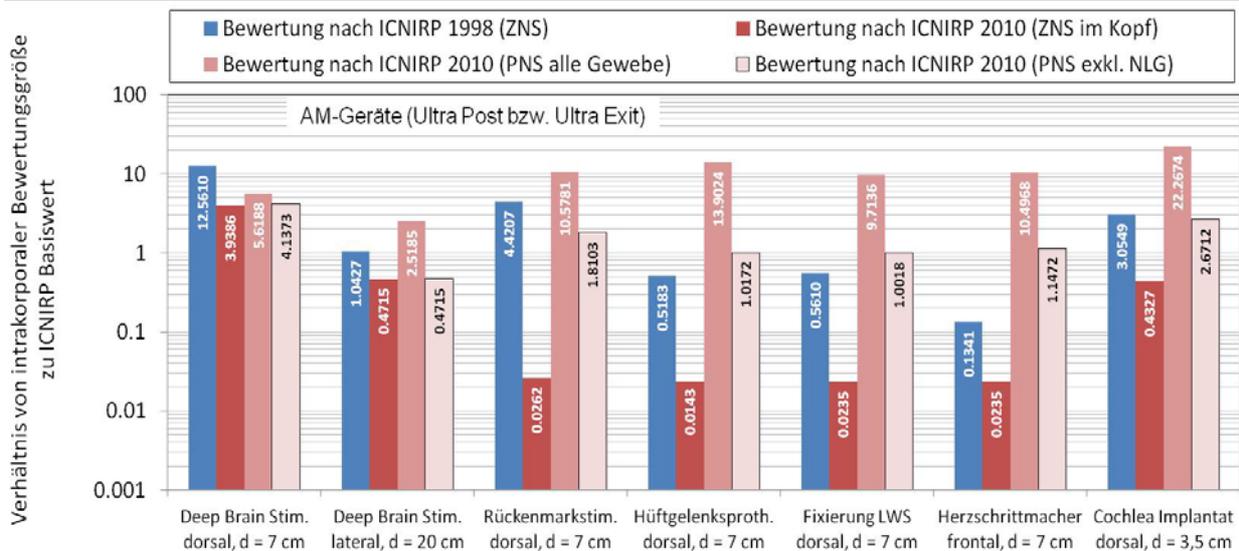
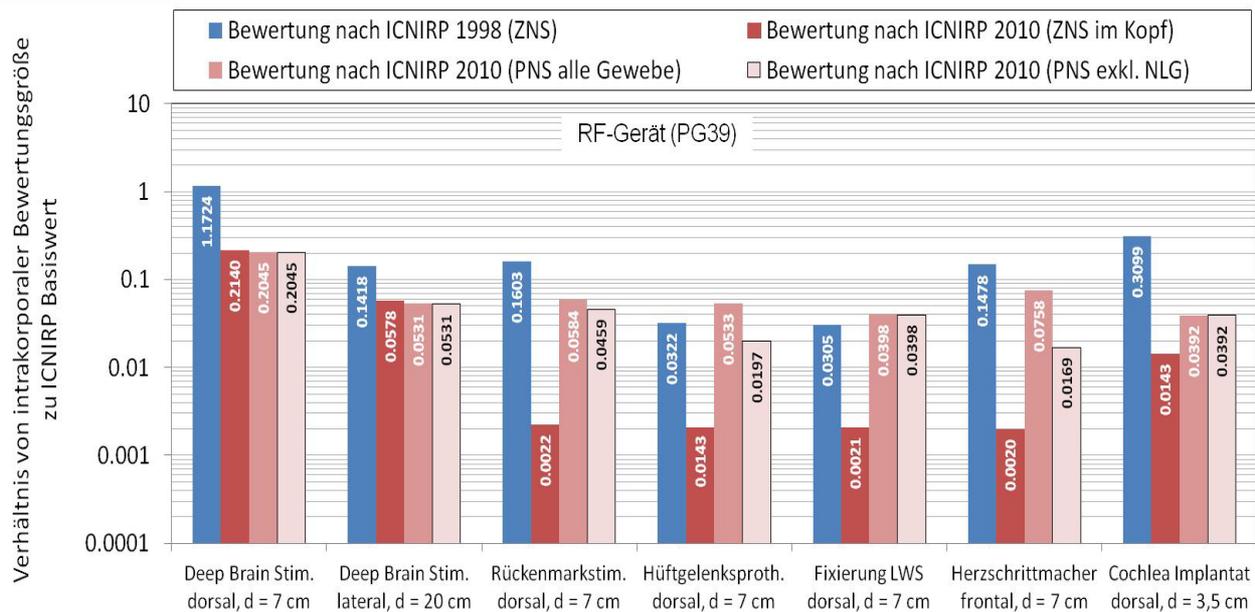


Abbildung 4.4: Vergleich der Bewertungsergebnisse für die auf Basis numerischer Berechnungen in [1] analysierten AM-EAS-Anlagen für die Situation von Personen mit Implantaten anhand der in ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 definierten Reizwirkungs-relevanten Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung.



**Abbildung 4.5:** Vergleich der Bewertungsergebnisse für die auf Basis numerischer Berechnungen in [1] analysierten RF-EAS-Anlagen für die Situation von Personen mit Implantaten anhand der in ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 definierten Reizwirkungsrelevanten Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung.

#### 4.4 Konsequenzen im Hinblick auf EN 62369-1

Bezüglich des in EN 62369-1 als Beurteilungsgröße definierten Raummittelwertes der Immissionen ist festzustellen, dass dieser im Hinblick auf den Schutz des Zentralnervensystems im Kopf offensichtlich ein konservatives Beurteilungsmaß darstellt, sofern man einen seitlichen Axillarabstand von 20 cm zu den Antennen einhält (vgl. Abbildung 4.6 mit Abbildung 4.1 bzw. Abbildung 4.7). Sowohl bei Bewertung nach ICNIRP 1998 als auch nach ICNIRP 2010 ist das Verhältnis des gemäß EN 62369-1 als Beurteilungsgröße festgelegten Raummittelwertes der Immissionen zu den jeweiligen Referenzwerten deutlich größer als das Verhältnis der intrakorporalen Bewertungsgrößen zu den jeweiligen Basiswerten. Dies gilt selbst unter den betrachteten Annahmen für Personen mit Implantaten, wie z.B. Deep Brain Stimulatoren. In ungünstigeren, in der Praxis jedoch nicht auszuschließenden Expositionssituationen, mit geringeren Entfernungen, insbesondere bei Ausrichtung des Körpers parallel zur Antennenebene, können diese Aussagen für EM- und AM-EAS Systeme, sowie das in den Abbildungen nicht dargestellte LF-RFID Zutrittskontrollsystem nicht mehr für alle untersuchten Szenarien aufrechterhalten werden. Insbesondere für Personen mit Implantaten in der Nähe bzw. direkt in Kontakt mit dem Zentralnervensystem können in derartigen Situationen, trotz Konformität des betrachteten Gerätes zu EN 62369-1, Basiswertüberschreitungen auftreten.

Bezüglich der gemäß ICNIRP 2010 ebenfalls vor zu hohen intrakorporalen elektrischen Feldstärken zu schützenden peripheren Gewebe erscheint die Konformitätsbewertung auf Basis des in EN 62369-1 definierten Raummittelwertes der Immissionen unzulänglich.

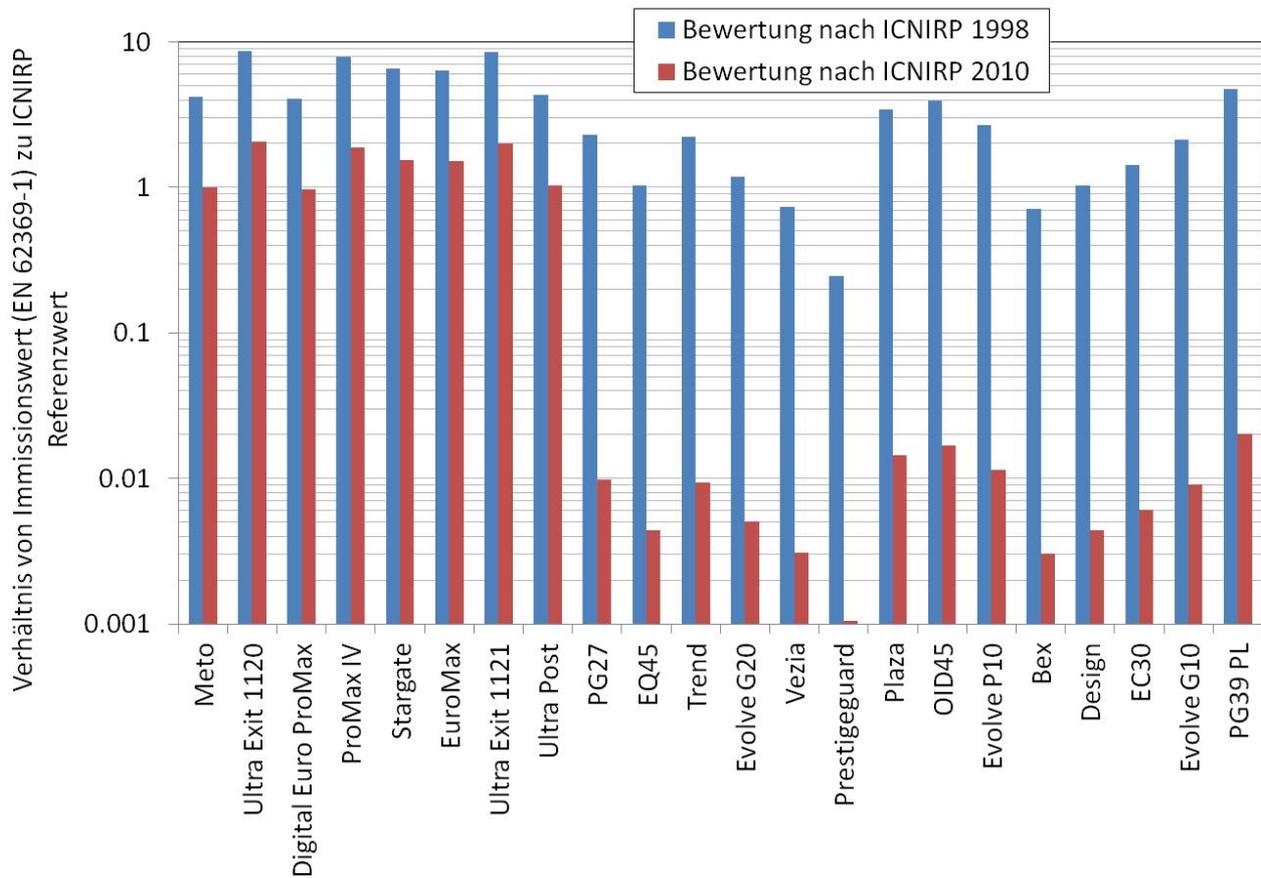


Abbildung 4.6: Vergleich der Bewertungsergebnisse für alle messtechnisch untersuchten EAS-Geräte anhand der in EN 62369-1 definierten Bewertungsgröße (Raummittelwert der Immissionen) bei Zugrundelegung der ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 Referenzwerte für die Allgemeinbevölkerung

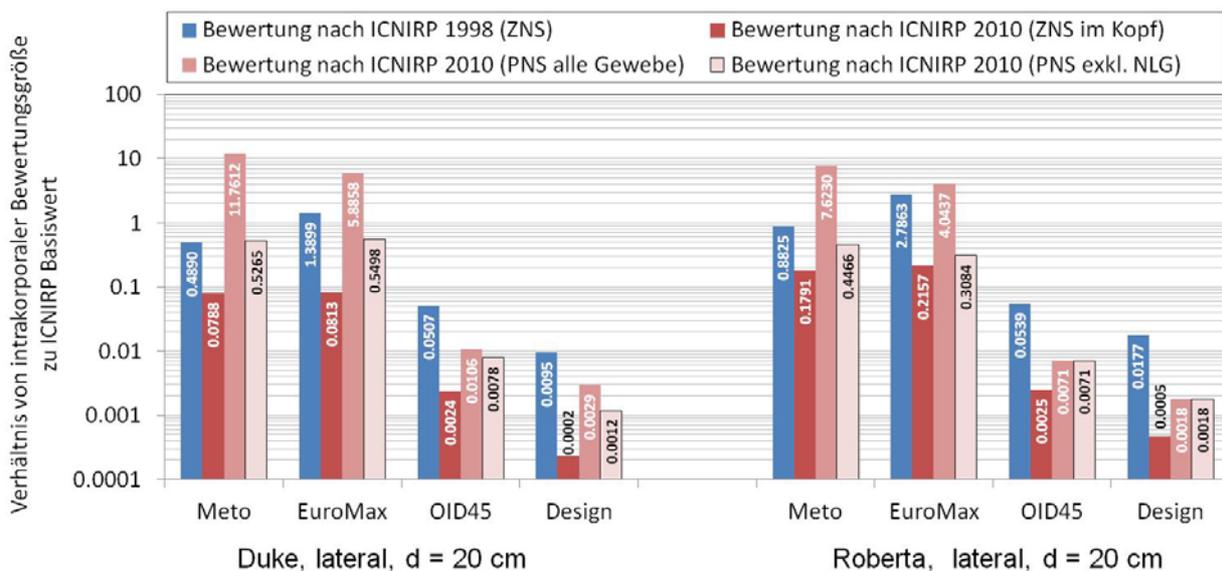


Abbildung 4.7: Vergleich der Bewertungsergebnisse für die auf Basis numerischer Berechnungen in [1] analysierten RF-EAS-Anlagen für die Situation von Personen mit Implantaten anhand der in ICNIRP 1998 und ICNIRP 2010 definierten Reizwirkungsrelevanten Basiswerte für die Allgemeinbevölkerung.

Bereits die bei einem seitlichen Axillarabstand von 20 cm sich einstellende maximale, über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelte elektrische Feldstärke in peripherem Gewebe kann oberhalb der jeweiligen ICNIRP 2010 Basiswerte liegen. Dies trifft insbesondere auf niederfrequente Geräte, wie EM- und AM-EAS Systeme, sowie auf LF-RFID Zutrittskontrollsysteme mit Vicinity Coupling zu (vgl. Abbildung 4.6 mit Abbildung 4.1 bzw. Abbildung 4.7). Aufgrund der Tatsache, dass die ICNIRP 1998 Referenzwerte im Arbeitsfrequenzbereich der hier betrachteten Systeme deutlich geringer sind als jene in ICNIRP 2010, stellt eine Konformitätsbewertung dieser Systeme auf Basis der ICNIRP 1998 Referenzwerte (wie dies gegenwärtig auf Grundlage der anwendbaren Produktnorm EN 50364 gefordert ist) in diesem Zusammenhang ein wesentlich restriktiveres Verfahren dar, als eine mögliche zukünftige Bewertung auf Basis der ICNIRP 2010 Referenzwerte. D.h., für ein nach der gegenwärtigen Produktnorm EN 50364 (d.h. unter Anwendung der ICNIRP 1998 Referenzwerte) konformes Gerät sind im Hinblick auf die ICNIRP 2010 Basiswerte für periphere Gewebe weniger Konflikte zu erwarten, als für ein, unter Beibehaltung des in EN 62369-1 definierten Bewertungsverfahrens, auf Grundlage der ICNIRP 2010 Referenzwerte beurteiltes Gerät. Verbindliche und valide quantitative Aussagen zu diesem Themenkreis sind vor allem aufgrund der großen Unsicherheit in Zusammenhang mit der Modellierung bzw. Leitfähigkeit der Haut (vgl. [7], [8]) gegenwärtig nicht möglich.

Dennoch kann aber festgehalten werden, dass im Falle einer Umstellung der für RFID-Geräte relevanten Produktnorm EN 50364 bezüglich der anzuwendenden Referenz- bzw. Basiswerte von den ICNIRP 1998 Empfehlungen auf die ICNIRP 2010 Empfehlungen, eine Überarbeitung der zugehörigen Grundnorm EN 62369-1 zwingend notwendig sein wird. Zusätzlich stellt sich die Grundsatzfrage, ob ein seitlicher Axillarabstand von 20 cm zu den Antennen als sinnvolle und konservative Annahme für in der Praxis auftretende ungünstige Expositionssituationen gesehen werden kann. Speziell die Situation von Kindern, die sich den Antennen unbedarft unmittelbar annähern können und deren Kopfhöhe bei vielen EAS-Geräten im Bereich des Immissionsmaximums liegen kann, sollte in diesem Zusammenhang bedacht werden. Die Berechnungsergebnisse zeigen jedenfalls, dass EAS-Geräte, die bei Zugrundelegung der Bewertungsregeln der aktuellen Ausgaben von EN 62369-1 und EN 50364 als konform einzustufen sind, in ungünstigen, in der Praxis jedoch nicht auszuschließenden Expositionssituationen zu Basiswertüberschreitungen, sowohl im Zentralnervensystem, als auch in peripheren Geweben führen können.

## 5 LITERATUR

- [1] Schmid G, Überbacher R, Cecil S, Escorihuela-Navarro A, Sainitzer D, Weinfurter A. 2012. Bestimmung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, die durch den Einsatz von Radio Frequenz Identifikation (RFID) Technologien entstehen. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 3609S80002 im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz. <http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-201208089216>
- [2] ICNIRP. 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics, Vol. 74:494-522
- [3] ICNIRP. 2010. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). Health Physics, Vol. 99:818-836
- [4] CENELEC 2009. EN 62369-1 Evaluation of human exposure to electromagnetic fields from short range devices (SRDs) in various applications over the frequency range 0 GHz to 300 GHz. Fields produced by devices used for electronic article surveillance, radio frequency identification and similar systems
- [5] Schmid G, Überbacher R, Cecil S, Petric B, Göth P. 2009. Bestimmung der Exposition durch Magnetfelder alternativer Antriebskonzepte. Abschlussbericht zum Forschungsauftrag 3608S4574 des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz, ARC-Report SL-LE-0004/09, August 2009. <http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2009082182>
- [6] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Österreich. 2008. Band 46: Belastung von Schweißern durch elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz. [http://www.auva.at/mediaDB/529369\\_R46.pdf](http://www.auva.at/mediaDB/529369_R46.pdf)
- [7] Schmid G, Cecil S, Überbacher R. 2013. 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 zu Vorhaben 3611S70017 im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz.
- [8] 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
- [9] 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>
- [10] 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.
- [11] Schmid G, Überbacher R, Samaras T, Jappel A, Baumgartner WD, Tschabitscher M, Mazal PR. High resolution numerical model of the middle and inner ear for a detailed analysis of radio frequency absorption, Physics in Medicine and Biology Vol. 52, pp. 1771-1781, 2007

## 6 ANHANG

### 6.1 Grundbegriffe der EAS-Technologien

Elektronische Artikelsicherungssysteme (EAS-Systeme) sind RFID-Systeme, die bereits sehr lange erfolgreich eingesetzt und vermarktet werden. Sie gehören mittlerweile seit deutlich mehr als einem Jahrzehnt zur Ausstattung fast aller Ein-/Ausgangsbereiche von Warenhäusern und Geschäftslokalen. Das Grundprinzip von EAS-Systemen besteht darin, dass auf der bzw. in der gegen Diebstahl zu sichernden Ware ein aktivierter Transponder („Tag“ oder manchmal auch „Label“ genannt) angebracht bzw. untergebracht ist. Bei rechtmäßiger Bezahlung der Ware wird dieser Transponder an der Kasse deaktiviert. Im Ausgangsbereich (nach den Kassen) sind Sende-/Empfangsantennen montiert, deren Feldbereich vom Kunden beim Verlassen des Kaufhauses durchschritten werden muss. Wird ein aktivierter Transponder (z.B. auf nicht bezahlter Ware) in diesen Feldbereich gebracht, so tritt er in Wechselwirkung mit dem Feld, was vom Empfänger des Systems detektiert werden kann und im Allgemeinen mit einer akustischen und/oder visuellen Alarmauslösung gekoppelt ist. Aufgrund der Tatsache, dass der durch den Transponder von EAS-Systemen vermittelbare Informationsgehalt entweder auf „aktivierter Transponder im Feld anwesend“ oder „Kein aktivierter Transponder im Feld“ eingeschränkt ist, werden EAS-Systeme auch als „Ein-Bit-RFID-Systeme“ bezeichnet.

Je nach genutztem physikalischem Prinzip der Wechselwirkung zwischen Transponder und dem ausgesendeten Feld können verschiedene EAS-Systemtechnologien unterschieden werden. Gegenwärtig wird der Markt von den drei im Folgenden kurz beschriebenen EAS-Technologien dominiert.

#### 6.1.1 Radiofrequenz-Systeme

Radiofrequenz-EAS-Systeme (RF-Systeme) arbeiten typischerweise im Frequenzbereich zwischen ca. 1,8 MHz und 8,7 MHz, wobei gegenwärtige kommerziell vertriebene Anlagen in Europa fast ausschließlich den Frequenzbereich um ca. 8,2 MHz nutzen.

Das Funktionsprinzip beruht auf einem im Transponder untergebrachten, auf die System-Mittenfrequenz abgestimmten, LC-Schwingkreis. Man unterscheidet bei RF-EAS Systemen sogenannte „Sweep“ Systeme und „Puls-Listen“ Systeme.

Bei „**Sweep**“-Systemen senden die im Ausgangsbereich des Kaufhauses befindlichen Sendeantennen ein elektromagnetisches Feld, dessen Frequenz in einem engen Frequenzbereich um die Resonanzfrequenz des Tags (z.B.  $8,2 \text{ MHz} \pm 10\%$ ) durchgewobbelt wird. Wird der Transponder in dieses Feld gebracht, so gerät er periodisch mit der Wobelfrequenz in Resonanz und wirkt im Sinne einer geringen (periodischen) Feldschwächung auf das Gesamtfeld zurück. Diese Änderung des Gesamtfeldes kann entweder in der Sendespule selbst oder auch in einer eigenen Empfängerspule detektiert werden.

Bei „**Puls-Listen**“-Systemen wird von den Sendeantennen eine Folge von Trägerfrequenzpaketen (HF-Bursts) mit einer Trägerfrequenz entsprechend der System-Resonanzfrequenz ausgesendet. Bei jedem dieser Bursts wird der Transponderschwingkreis angeregt und schwingt über die HF-Burstdauer hinausgehend aus. Dieses Ausschwingen kann von den Empfangsantennen detektiert werden.

Im Zuge der Bezahlung wird der Transponder entweder von der Ware entfernt (bei qualitativ hochwertigen und teuren Transpondern) oder seine Resonanzfrequenz dauerhaft aus dem Systemfrequenzbereich „verschoben“ (billigere, auf der Ware verbleibende Transponder). Letzteres wird in der Praxis dadurch erreicht, dass der Kondensator des LC-Schwingkreises zerstört wird. Dazu wird die Ware mitsamt dem Transponder in ein ausreichend starkes Magnetfeld (typ.  $>1,5 \text{ A/m}$ ) eines eigenen Deaktivierungsgerätes (im Bereich der Kassa untergebracht) gebracht, wodurch es im Kondensator zum Durchschlag entlang eigens eingebauter Sollkurzschlussstellen und damit zu seiner Zerstörung kommt.

### **6.1.2 Elektromagnetische Systeme**

Elektromagnetische EAS Systeme (EM-Systeme) arbeiten mit Magnetfeldern bei sehr niedrigen Frequenzen im Bereich von einigen zehn Hertz bis zu ca. 20 kHz. Der Transponder besteht im Wesentlichen aus einem Streifen weichmagnetischen Materials, der ganz oder teilweise von einem Streifen oder Plättchen hartmagnetischen Materials umgeben ist. Im aktivierten Zustand ist das hartmagnetische Material im Transponder entmagnetisiert (geringe Remanenzfeldstärke). Wird ein aktivierter Transponder in das von den Sendeantennen erzeugte Magnetfeld gebracht, so wird der weichmagnetische Metallstreifen im Transponder im Takt der Sendefrequenz ummagnetisiert und dadurch in die Sättigung getrieben. Zwischen der von der Sendeantenne erzeugten Feldstärke und der resultierenden, auf das Feld zurückwirkenden und damit in den Empfangsantennen detektierbaren Magnetisierung des Materials besteht daher ein stark nicht-linearer Zusammenhang. Diese Nichtlinearität führt einerseits zum Entstehen von Oberwellen des Sendesignals und andererseits zum Entstehen von Summen und Differenzfrequenzen, wenn das ursprüngliche Sendesignal nicht nur eine Frequenz enthält, sondern mehrere Frequenzanteile. Letztgenannter Effekt wird zumeist von praktisch eingesetzten EM-Systemen ausgenutzt.

Beim Bezahlen wird das Tag durch einen starken Permanentmagneten deaktiviert. Das starke Gleichfeld des Magneten führt zu einer bleibenden Magnetisierung des hartmagnetischen Materials im Transponder, dessen Remanenzfeldstärke ausreicht, um den weichmagnetischen Metallstreifen in der Sättigung zu halten. Diese ist damit nicht mehr durch das Feld der Sendeantenne ummagnetisierbar und das Tag dadurch deaktiviert. Durch Entmagnetisierung der Transponder ist auch deren Wiederverwendung möglich.

### **6.1.3 Akustomagnetische Systeme**

Akustomagnetische EAS-Systeme (AM-Systeme) nutzen das Prinzip der Magnetostriktion. Im Transponder ist ein hinsichtlich seiner geometrischen Länge auf die Systemfrequenz (typ. 58 kHz) abgestimmter amorpher (weichmagnetischer) Metallstreifen derart untergebracht, dass er frei schwingen kann. Zusätzlich befindet sich auch ein fest mit dem (Kunststoff-) Gehäuse verbundener hartmagnetischer Metallstreifen im Transponder. Erst durch eine ausreichend starke Magnetisierung des Hartmetallstreifens (Aktivierung) liegt die mechanische Eigenfrequenz des amorphen Metallstreifens bei der Systemfrequenz. Die Sendeantennen des Systems erzeugen im Detektionsbereich ein periodisch gepulstes Magnetfeld mit einer Trägerfrequenz entsprechend der mechanischen Resonanzfrequenz der Transponder. Befindet sich ein aktivierter Transponder in diesem Feld, so wird er durch jeden Impuls des Feldes aufgrund der Magnetostriktion zu mechanischen Schwingungen angeregt, die über die Impulsdauer hinaus anhalten, genauer

gesagt, nach der fallenden Flanke des Anregungsimpulses exponentiell abklingen. Diese abklingende Schwingung des amorphen Metallstreifens kann durch die Empfängerspule des Systems detektiert werden (Umkehrung des magnetostriktiven Effekts). Ein wesentlicher Vorteil von AM-Systemen ist, dass Anregung und Detektion der Tags zeitlich getrennt stattfinden können, was sich hinsichtlich der erreichbaren Detektionsempfindlichkeit positiv auswirkt.

Zur Deaktivierung wird das Tag (d.h. der hartmagnetische Metallstreifen im Tag) entmagnetisiert, was zur Verstimmung der mechanischen Resonanzfrequenz des amorphen Metallstreifens führt.

## **6.2 Verwendeter Mittelungsalgorithmus zur Ermittlung der intrakorporalen Bewertungsgröße gemäß ICNIRP 2010**

Der im Zuge der Auswertungen der numerischen Berechnungen im Hinblick auf die gemäß ICNIRP 2010 definierte Bewertungsgröße, der maximalen über  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  gemittelten im Gewebe induzierten elektrischen Feldstärke verwendete Mittelungsalgorithmus wurde im Zuge eines eigenen Forschungsvorhabens [7] entwickelt und validiert. Details und Hintergründe dazu können in [7] nachgelesen werden. Die wesentlichen Fakten der dabei angewendeten Mittelungsstrategie sind:

1. Für jedes Gewebevolumentelement wird ein, das Gewebevolumentelement umgebende Mittelungsvolumen von  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$  betrachtet und der Vektormittelwert der elektrischen Feldstärke aus allen dem Mittelungsvolumen zugeordneten Feldstärkekomponenten gebildet.
2. Bei Einzelgewebe-spezifischer Bewertung wird für ein Gewebevolumentelement nur dann ein Feldstärkemittelwert gebildet, wenn alle Feldstärkekomponenten (Voxelkanten) des betrachteten Mittelungsvolumens vollständig im betrachteten Zielgewebe liegen, d.h., existieren im Mittelungsvolumen Voxel, die zumindest mit einer Kante Teil einer Gewebegrenzschicht sind, wird kein Mittelwert berechnet.
3. Bei Gewebegruppen-spezifischer Auswertung wird über Grenzschichten zwischen Geweben, die der betrachteten Gewebegruppe angehören, hinweg gemittelt. D.h., an Grenzen zwischen Geweben, die der betrachteten Gewebegruppe angehören, kommt das in Punkt 2 Beschriebene nicht zur Anwendung.
4. Die größte Gitterschrittweite darf nicht mehr als 1 mm betragen
5. Für den Vergleich mit den ICNIRP 2010 Basiswerten wird grundsätzlich das Maximum des jeweiligen (Einzelgewebe-spezifischen bzw. Gewebegruppen-spezifischen) Feldstärkemittelwertes verwendet. Es erfolgt grundsätzlich keine Perzentilbildung.



# | 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**