
Bericht

Meßtechnische Untersuchung der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit von Funksystemen der Polizei

Angefertigt in der
**Institut für Mobil- und
Satellitenfunktechnik GmbH**

Dr.-Ing. Achim Bahr
Dipl.-Ing. Sheng-Gen Pan
Dipl.-Ing. Bernd Rebmann

14. Juli 1997

Inhaltsverzeichnis

1 GEGENSTAND DER UNTERSUCHUNG.....	3
2 NORMUNG ZUM PERSONENSCHUTZ IN DER HOCHFREQUENZTECHNIK.....	3
2.1 NORMENGEBENDE ORGANISATIONEN.....	3
2.2 RECHTLICHE EINORDNUNG VON NORMEN.....	4
2.3 UNTERSCHIEDUNG VON BEREICHEN, EXPOSITIONSZEITEN UND FREQUENZEN.....	5
2.4 BASISGRENZWERTE UND ABGELEITETE GRENZWERTE.....	5
2.5 ÜBERSICHT ÜBER DIE RELEVANTEN GRENZWERTE.....	7
3 DAS DOSIMETRISCHE MEßSYSTEM DASY.....	8
3.1 ANPASSUNG DES SYSTEMS FÜR KRAFTFAHRZEUGMESSUNGEN.....	9
3.2 TECHNISCHE PARAMETER DES MEßSYSTEMS.....	10
4 UNTERSUCHUNG DER FELDESTÄRKEN INNERHALB VON KRAFTFAHRZEUGEN.....	11
4.1 UNTERSUCHUNG VON FELDESTÄRKEN IM FAHRZEUGINNEREN DES VW PASSAT LIMOUSINE B4.....	11
4.1.1 MAXIMALFELDESTÄRKEN IM FAHRZEUGINNEREN.....	14
4.1.2 GRAFISCHE DARSTELLUNG DER FELDESTÄRKEN IM FAHRZEUGINNEREN.....	15
4.1.2.1 FELDVERTEILUNG BEI EINER FREQUENZ VON 77,335 MHZ.....	16
4.1.2.2 FELDVERTEILUNG BEI EINER FREQUENZ VON 380 MHZ.....	25
4.2 UNTERSUCHUNG VON FELDESTÄRKEN IM FAHRZEUGINNEREN DES VW PASSAT VARIANT B4.....	31
4.2.1 MAXIMALFELDESTÄRKEN IM FAHRZEUGINNEREN.....	31
4.2.2 GRAFISCHE DARSTELLUNG DER FELDESTÄRKEN IM FAHRZEUGINNEREN.....	32
4.2.2.1 FELDVERTEILUNG BEI EINER FREQUENZ VON 77,335 MHZ.....	33
4.2.2.2 FELDVERTEILUNG BEI EINER FREQUENZ VON 380 MHZ.....	36
4.3 UNTERSUCHUNG VON FELDESTÄRKEN IM FAHRZEUGINNEREN DES FORD TRANSIT.....	39
4.3.1 MAXIMALFELDESTÄRKEN IM FAHRZEUGINNEREN.....	39
4.4 ÜBERTRAGBARKEIT DER ERGEBNISSE AUF ANDERE KRAFTFAHRZEUGE.....	40
5 DOSIMETRISCHE BEWERTUNG VON HANDFUNKGERÄTEN.....	40
6 DOSIMETRISCHE BEWERTUNG EINES VERDECKTEN FUNKGERÄTES.....	44
7 ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG.....	46
8 LITERATURVERZEICHNIS.....	47

1 Gegenstand der Untersuchung

Im Auftrag der Polizei-Führungsakademie in Münster wurden Untersuchungen zur elektromagnetischen Umweltverträglichkeit von Handfunkgeräten und von in Kraftfahrzeugen betriebenen Mobilfunkgeräten der Polizei vorgenommen.

Das Ziel der am IMST vorgenommenen Untersuchungen war die dosimetrische Vermessung bzw. numerische Analyse der Funkgeräte und der Vergleich der Ergebnisse auf der Basis von SAR-Werten sowie Ersatzfeldstärken mit entsprechenden Grenzwerten aus Normen bzw. Normenentwürfen, die sich mit dem Schutz von Personen vor den Auswirkungen elektromagnetischer Felder befassen.

Alle meßtechnisch bestimmten SAR-Werte sowie Ersatzfeldstärken wurden unter Verwendung des weiter unten näher charakterisierten dosimetrischen Meßsystems „DASY“ ermittelt.

Für die durchgeführten Simulationen wurde ein kommerziell erhältliches Momentenmethodenprogramm [Concept] verwendet.

2 Normung zum Personenschutz in der Hochfrequenztechnik

In fast jedem Land ist der Schutz der Menschen vor schädlichen Einflüssen als Aufgabe des Staates gesetzlich verankert. Es bemühen sich deshalb sowohl auf internationaler als auch zum Teil auf nationaler Ebene verschiedene Organisationen um die Ausarbeitung von Richtlinien und Normen zur Festlegung der technischen Bedingungen, um dieses politische Ziel in die Praxis umzusetzen.

2.1 Normengebende Organisationen

In Deutschland ist das Deutsche Institut für Normung (DIN) die von der Bundesregierung anerkannte Institution zur Erarbeitung von Normen. Dessen Aussagen und Normen haben auch die sich derzeit im Fluß befindliche Harmonisierung der Normen für Europa gefördert. Die Grenzwerte im Normen-Vorentwurf des Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC) [ENV 50166] sind denen im neuesten Entwurf der DIN/VDE-Norm 0848 [DIN 0848 91] sehr ähnlich. Die analog für die USA vom American National Standards Institute (ANSI) herausgegebene Richtlinie ANSI C95.1 [ANSI 1991] wird in vielen anderen Ländern (z.B. Australien) zur Bewertung herangezogen. Im Zusammenhang mit Mobiltelefonen schreibt inzwischen die Federal Communications Commission (FCC) als Bundesbehörde vor der Markteinführung neuer Geräte auf dem amerikanischen Markt die Überprüfung der ANSI-Norm durch den Hersteller verbindlich vor [FCC 1996]. Dieser Test kann anhand von Simulationen oder meßtechnisch durchgeführt werden.

Eine der wichtigsten Organisationen, die sich auf internationaler Ebene mit der Entwicklung von Normen befaßt, ist das INIRC der IRPA (INIRC: International Non-Ionizing Radiation Comitee; IRPA: International Radiation Protection Association). Die Veröffentlichungen [IRPA 1988], [IRPA 1991] nehmen eine gewisse Sonderstellung ein, weil sie eine Zusammenfassung dessen darstellen, was in der WHO (World Health Organisation der UNO) in der Reihe „Environmental Health Criteria“ veröffentlicht worden ist [WHO 1993]. Einige Länder wie z.B. Norwegen, die selbst keine nationalen Normen ausgearbeitet haben, wenden bei Bedarf direkt die IRPA-Werte an [Cenelec 1995].

In allen Grenzwertangaben sind bereits Sicherheitsfaktoren berücksichtigt worden, die zum Teil die unterschiedlichen Werte in den einzelnen Richtlinien erklären.

2.2 Rechtliche Einordnung von Normen

Da Normen, Bestimmungen und Richtlinien nicht immer von einer legitimierten Einrichtung (z.B. einer Regierung) in geltendes Recht umgesetzt werden, haben sie eine sehr unterschiedliche rechtliche Bedeutung. Wichtig für eine Einordnung ist deshalb eine Unterscheidung von

- Nationalen und internationalen Normen,
- Gesetzen (z.B. das Bundes-Immissionsschutzgesetz),
- Empfehlungen (z.B. der Strahlenschutzkommission [SSK 1993]) und
- Freiwilligen Verbraucherschutznormen (z.B. die Bildschirmarbeitsplatznorm MPR II).

Aus der Sicht des Gesetzgebers muß eine sorgfältige Trennung der Begriffe vorgenommen werden. So gilt z.B. das Bundes-Immissionsschutzgesetz nur für ortsfeste Funkanlagen; die Empfehlung der Strahlenschutzkommission hat, ihrem Namen entsprechend, ebenso wie die freiwilligen Verbraucherschutznormen keinen rechtsverbindlichen Charakter. Die DIN Normen haben eine große Bedeutung, weil von der Justiz bei Gerichtsverfahren diese Normen in der Regel als Stellungnahme von ausgewiesenen Fachleuten herangezogen werden. In jüngster Zeit hat es Bestrebungen gegeben, die Norm DIN 0848 Teil 2 zur „Sicherheit in elektromagnetischen Feldern, Schutz von Personen im Frequenzbereich von 30 kHz bis 300 GHz“ [DIN 0848 91] in geltendes Recht umzusetzen. Parallel hierzu hat die Bundesregierung am 22. Mai 1996 erstmals eine Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz zum Schutz der Bevölkerung vor den Auswirkungen elektromagnetischer Felder beschlossen [BImSchV 1996], die seit dem 1. Januar 1997 in Kraft ist.

In nahezu jedem Staat existieren normative Bestimmungen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Vielfach werden diese Bestimmungen jedoch nicht aufgrund eigener Forschungen erarbeitet, sondern sind an Normen und Empfehlungen anderer Staaten oder Organisationen angelehnt, die ihrerseits wieder auf eine Analyse international publizierter Forschungsergebnisse zurückgehen.

Aus der Sicht eines Anwenders bzw. Verbrauchers und damit auch für die Vermarktung durch den Hersteller ist jedoch der Bezug eines Systems zu allen oben genannten Normen, Gesetzen und Richtlinien wichtig. Aus diesem Grund soll im weiteren nicht explizit zwischen den einzelnen Gruppen unterschieden werden.

Die meisten der Normen basieren auf einer Auswertung der Wirkung von thermischen Effekten auf den menschlichen Körper. Diese Wirkungen beruhen also wesentlich auf der Erwärmung des Körpers durch die eingebrachte elektromagnetische Energie.

2.3 Unterscheidung von Bereichen, Expositionszeiten und Frequenzen

In nahezu allen Normen wird eine Unterscheidung von Expositionsbereichen und Expositionszeiten vorgenommen. Bei der Einteilung in Anwendungsbereiche wird im allgemeinen zwischen zwei Bereichen (mit unterschiedlichen Bezeichnungen, aber sehr ähnlicher Bedeutung) unterschieden, die in der DIN-Norm Expositionsbereich 1 und 2 heißen.

Im Expositionsbereich 1 sind die Grenzwerte unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit und nicht vorrangig unter Vorsorgegesichtspunkten konzipiert worden. Der Bereich umfaßt:

- Kontrollierte Bereiche, z. B. Betriebsstätten, vom Betreiber überprüfbare Bereiche.
- Allgemein zugängliche Bereiche, in denen aber aufgrund der Betriebsweise der Anlagen oder aufgrund der Aufenthaltszeit sichergestellt ist, daß eine Exposition nur kurzzeitig erfolgt. Kurzzeitig bedeutet dabei nach [DIN 0848 91] bis zu 6 Stunden je Tag.

Die Grenzwerte im Expositionsbereich 2 sind unter Berücksichtigung von zusätzlichen Vorsorgegesichtspunkten festgelegt worden. In diesen Bereich fallen Gebiete, in denen nicht nur mit Kurzeitexposition gerechnet werden kann:

- Gebiete mit Wohn- und Gesellschaftsbauten
- Einzelne Wohngrundstücke
- Anlagen und Einrichtungen für Sport, Freizeit und Erholung
- Arbeitsstätten, in denen eine Felderzeugung bestimmungsgemäß nicht erwartet wird.

Die Grenzwerte für den Expositionsbereich 2 sind etwa um den Faktor 5 ([DIN 0848 91]) schärfer gefaßt, als diejenigen aus dem Bereich 1.

Zusätzlich zu der Einführung von verschiedenen Expositionsbereichen wird in der Mehrzahl der Normen noch zusätzlich eine Unterscheidung hinsichtlich der Dauer der Einwirkung der elektromagnetischen Strahlung getroffen. Eine Grenze wird international bei 6 Minuten gezogen. Für kurzzeitige Einwirkungen unterhalb von 6 Minuten Dauer sind höhere Feldstärken zulässig, weil davon ausgegangen werden kann, daß es eine gewisse Zeit dauert, bis es zu einer Erwärmung des menschlichen Körpers kommt.

Aufgrund der Frequenzabhängigkeit von wichtigen Parametern, wie der Eindringtiefe der elektromagnetischen Felder in den menschlichen Körper und der Absorptionsfähigkeit verschiedener Gewebearten, hängen die Grenzwerte in der Regel von der Frequenz ab.

2.4 Basisgrenzwerte und abgeleitete Grenzwerte

In allen normativen Bestimmungen werden Basisgrenzwerte und sogenannte abgeleitete Grenzwerte unterschieden. Basisgrenzwerte wie

- die spezifische Absorption (SA, Dimension: Energie/Masse [Ws/kg]),
- die spezifische Absorptionsrate (SAR, Dimension: Leistung/Masse [W/kg]),
- die elektrische Stromdichte im Körper und
- der Körperstrom

können direkt zu thermisch basierten, biologischen Wirkungen in Bezug gesetzt werden. Im Hochfrequenzbereich hat sich herausgestellt, daß zur Beschreibung der Wirkung eines elektromagnetischen Feldes die spezifische Absorptionsrate (SAR) eine sinnvolle und eine biologisch relevante Größe darstellt. Sie ist ein Maß der je Zeiteinheit aufgenommenen Energie bezogen auf die Masse des betroffenen Ge-

bietes, d.h. sie hat die Einheit [W/kg] und berechnet sich aus dem Quadrat der elektrischen Feldstärke E_{eff} , der Leitfähigkeit σ und der Dichte ρ des Materials (z.B. biologisches Gewebe):

$$SAR = \sigma \frac{E_{\text{eff}}^2}{\rho} = c \left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{t \rightarrow 0} \quad (1)$$

Die spezifische Absorptionsrate beschreibt die zeitlichen Temperaturänderung $\partial T / \partial t$ zum Beginn der Exposition in Abhängigkeit von der spezifische Wärmekapazität c des Gewebes. Eine Begrenzung der spezifischen Absorptionsrate verhindert somit eine übermäßige Erwärmung des menschlichen Körpers durch elektromagnetische Strahlung. Deshalb wird diese Größe für eine dosimetrische Bewertung von Mobiltelefonen herangezogen.

Aus solchen Basisgrenzwerten sind zulässige Werte für sogenannte abgeleitete Größen, wie die

- elektrische und magnetische Ersatzfeldstärke,
- die Leistungsflußdichte und
- die Berührungsspannung festgelegt worden (siehe z.B. [DIN 0848 82]),

weil Basisgrenzwerte einer meßtechnischen Analyse meist nur sehr schwer zugänglich sind. Diese abgeleiteten Grenzwerte werden angegeben, um ein für die Praxis anwendbares Verfahren zur Beurteilung der Feldeinwirkung anzubieten. Ein abgeleiteter Grenzwert ist die elektrische Feldstärke E_{eff} , die als Ersatzfeldstärke bezeichnet wird, und sich aus den Effektivwerten der räumlichen Komponenten des Feldstärkevektors \mathbf{E} ohne Berücksichtigung der Phasenbeziehungen gemäß:

$$E_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{\Delta t}{t_r} (E_{x,\text{eff}}^2 + E_{y,\text{eff}}^2 + E_{z,\text{eff}}^2)} \quad (2)$$

bestimmen läßt. Bei Auftreten von gepulsten Feldern wie z.B. beim Mobilfunk unter Verwendung des GSM Standards sind die Pulsdauer Δt und der Impulsabstand t_r in der oben angegebenen Form zu berücksichtigen. Die Ersatzfeldstärke H_{eff} für das magnetische Feld wird analog berechnet. Zu beachten ist, daß für andere Impulsverfahren, z.B. für sehr kurze oder sehr seltene Impulse, spezielle Grenzwerte gelten.

Die Grenzwerte für E_{eff} , H_{eff} und für die Leistungsflußdichte $S = E_{\text{eff}} \times H_{\text{eff}}$ werden dabei so festgelegt, daß selbst unter einer Zugrundelegung der ungünstigsten Einwirkungsbedingungen der Felder die Basisgrenzwerte nicht überschritten werden. Bereits in den Basisgrenzwerten sind Vorsorgefaktoren eingebaut worden, die letztlich wegen unterschiedlicher Bewertungsmaßstäbe zu den zum Teil deutlich voneinander abweichenden Normen führen, obwohl alle normengebenden Gremien die neusten wissenschaftlichen Erkenntnisse berücksichtigen.

Als allgemeine Forderung in jeder Norm gilt: **Die Basisgrenzwerte sind einzuhalten.**

Werden die abgeleiteten Grenzwerte eingehalten, so sind auch die Basisgrenzwerte erfüllt. **Die abgeleiteten Grenzwerte dürfen im Einzelfall überschritten werden, wenn sichergestellt ist, daß unter allen auftretenden Bedingungen die Basisgrenzwerte eingehalten sind.**

2.5 Übersicht über die relevanten Grenzwerte

In einer sogenannten dosimetrischen Untersuchung erfolgt der Vergleich mit den bestehenden Normen unter Verwendung der Basisgrenzwerte für die spezifische Absorptionsrate (SAR) bzw. für die elektrische und magnetische Ersatzfeldstärke. Im Sinne einer Sicherheitsbetrachtung, die unter allen Umständen vom ungünstigsten Betriebsfall ausgeht, gelten alle nachfolgend aufgelisteten Grenzwerte für den Expositionsbereich 1, für Expositionenzeiten größer als 6 Minuten und für SAR-Werte, die im menschlichen Kopf auftreten dürfen. Dabei ist zeitlich über ein Intervall von 6 Minuten und räumlich über einen in der Tabelle 2 angegebenen Bereich zu mitteln. Im Sinne einer „worst case“ Abschätzung ist von einem dauernden Betrieb des Funkgerätes auszugehen.

Die abgeleiteten Grenzwerte sind in Tabelle 1 angegeben.

In Tabelle 2 sind die für die in diesem Bericht vorgestellte Untersuchung relevanten Basisgrenzwerte zusammengefaßt. Nicht enthalten ist die in Kraft befindliche IRPA Norm [IRPA 1991], da dort nur Absorptionsraten bezogen auf den ganzen Körper betrachtet werden.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß in Deutschland mit der Norm DIN 0848 Teil 2 „Sicherheit in elektromagnetischen Feldern, Schutz von Personen im Frequenzbereich von 30 kHz bis 300 GHz“ [DIN 0848 91] momentan lediglich ein Normenentwurf zum Personenschutz in der Hochfrequenztechnik existiert, da die Norm DIN 0848 Teil 2 zur „Gefährdung durch elektromagnetische Felder, Schutz von Personen im Frequenzbereich von 10 kHz bis 300 GHz“ [DIN 0848 84] zurückgezogen wurde.

Norm	Status	Frequenz [MHz]	E_{eff} [V/m]	H_{eff} [A/m]	S [W/m ²]	Quelle
ANSI C95.1	in Kraft	80	61,4	0,204	10	[ANSI 1991]
		160	61,4	0,163	10	
		400	70,9	0,188	13,33	
CENELEC ENV 50166-2, 1995	Entwurf	80	61,4	0,16	10	[ENV 50166]
		160	61,4	0,16	10	
		400	61,4	0,16	10	
DIN VDE 0848 Teil 2, 1991	Entwurf	80	61,4	0,16	10	[DIN 0848 91]
		160	61,4	0,16	10	
		400	61,4	0,16	10	
IRPA	in Kraft	80	61	0,16	10	[IRPA 1991]
		160	61	0,16	10	
		400	61	0,16	10	

Tabelle 1: Übersicht über die relevanten abgeleiteten Grenzwerte für den Expositionsbereich 1 für 80 MHz, 160 MHz und 400 MHz.

Norm	Status	Mittelwertbildung über:	SAR [W/kg]	Quelle
DIN VDE 0848 Teil 2, 1991	Entwurf	10 g Masse, Form: beliebig	10,0	[DIN 0848 91]
CENELEC ENV 50166-2, 1995	Entwurf	10 g Masse, Form: Würfel	10,0	[ENV 50166]
ANSI C95.1-1991	in Kraft	1 g Masse, Form: Würfel	8,0	[ANSI 1991]

Tabelle 2: Übersicht über die relevanten Basisgrenzwerte für die spezifische Absorptionsrate (SAR) für den Expositionsbereich 1, gültig für den Frequenzbereich von 30 MHz bis 6 GHz.

3 Das dosimetrische Meßsystem DASY

Das dosimetrische Meßsystem DASY (**D**osimetric **A**ssessment **S**ystem) ist auf einen Normentwurf der CENELEC zur Vermessung von Mobilfunktelefonen abgestimmt [Cenelec 1996]. Zu dem Gesamtsystem gehört ein Roboter zur genauen Positionierung von Sonden, mehrere Sonden, zwei Phantome zur Nachbildung des menschlichen Körpers und eine Software, die eine Auswertung der Meßwerte im Sinne der verschiedenen Normen erlaubt. Das Meßsystem ist ein Produkt der Schweizer SPEAG (Schmid & Partner Engineering AG) und befindet sich derzeit vornehmlich in der Geräteindustrie im Einsatz [DASY 1995].

Dieses Meßsystem eignet sich neben der Vermessung von elektromagnetischen Feldern in Flüssigkeiten auch zur Charakterisierung von Feldverteilungen in Luft im Nahfeldbereich. Möglich wird dies durch die speziellen miniaturisierten Sonden (Meßvolumen ca. $0,1 \text{ cm}^3$), deren Signal über eine hochohmige Graphitleitung zu einer Elektronik weitergeleitet wird, die eine

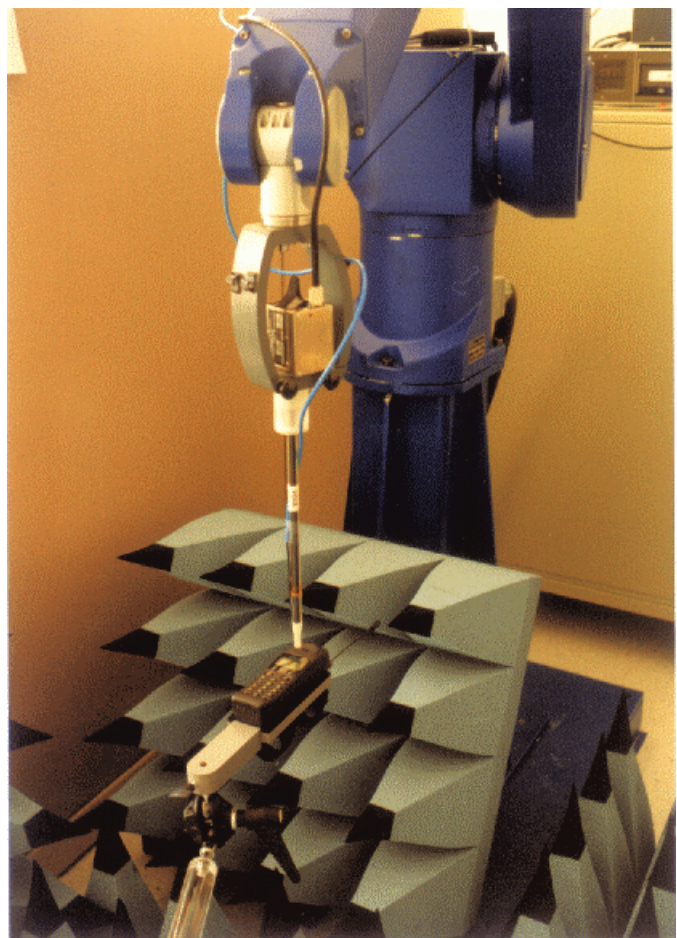


Bild 1: Die Vermessung von Feldverteilungen an einem Mobilfunktelefon mittels des DASY-Systems.

Umsetzung auf Lichtleiterkabel vornimmt. Die Sonde registriert gleichzeitig alle drei räumlichen Feldkomponenten und läßt eine direkte Messung der effektiven Ersatzfeldstärke E_{eff} nach Gl. (2) zu. Das Bild 1 zeigt das System bei der Vermessung der Feldverteilung an einem Mobilfunktelefon. Es sind zwei Lichtleiterkabel zu sehen, weil die Sonden zusätzlich über einen Abstandssensor verfügen, der eine genaue Positionierung der Sonden zur Oberfläche eines Objektes ermöglicht.

3.1 Anpassung des Systems für Kraftfahrzeugmessungen

Um auch Feldverteilungen an oder in größeren Objekten analysieren zu können, wird das Meßsystem in modifizierter Form verwendet [ZPD 1996]. Das System einschließlich der Steuerelektronik des Roboters ist beweglich gehalten, um Messungen u.a. auch im Freifeld ausführen zu können, wie dies im Bild 2 zu sehen ist. Darüber hinaus wird eine Verlängerung des Roboterarmes eingesetzt, die eine Vermessung von Feldern an oder in größeren Objekten ermöglicht. Die Verwendung einer insgesamt 3 m langen Konstruktion (2,1 m Abstand zwischen Sonde und Roboterarm) aus unbehandeltem Holz führt dazu, daß sich außer der Sonde selbst (ca. 5 mm Durchmesser) und der Sondenelektronik ($5 \times 6 \times 7$ cm) keine größeren Metallteile in der Nähe der zu vermessenden Funkgeräte befinden. Die Verbindung zwischen der Sonde und der Sondenelektronik, die für eine Weiterleitung der Meßgrößen bis zum Computer via Lichtleiterkabel sorgt, besteht aus einer ca. 30 cm langen, hochohmigen Graphitleitung, so daß die Sondenkonstruktion das zu vermessende Feld nicht stört.

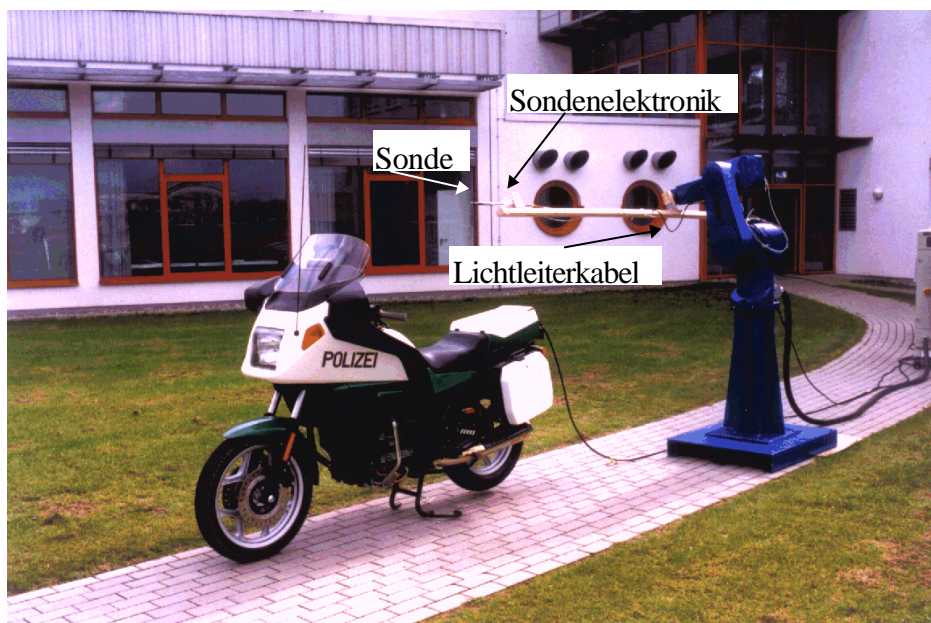


Bild 2: Die Vermessung von Feldverteilungen an einem Polizeimotorrad unter Verwendung des DA-SY-Systems mit einer Verlängerung für den Roboterarm.

3.2 Technische Parameter des Meßsystems

Parameter	maximale Abweichung
Räumliche Auflösung (Meßvolumen)	5 mm (0,125 cm ³)
Frequenzlinearität der Kalibrierung	± 0,2 dB
Abweichung von der Isotropie (Einzelkomponenten in Luft)	± 0,8 dB
Genauigkeit der Positionierung (mit 2,1 m Armverlängerung)	± 8 mm

Tabelle 3: Angaben zu den Sonden des DASY-Systems.

Parameter	Nachweisgrenze (Rauschen)
SAR Werte	0,001 W/kg
Feldstärkewerte für das elektrische Feld (Freifeld)	1,5 V/m
Feldstärkewerte für das magnetische Feld (80 MHz)	0,04 A/m

Tabelle 4: Angaben zur Empfindlichkeit von DASY.

4 Untersuchung der Feldstärken innerhalb von Kraftfahrzeugen

Bei den momentan in Kraftfahrzeugen der Polizei eingesetzten Mobilfunkgeräten im Frequenzbereich 80 MHz und 160 MHz handelt es sich um leistungsstarke HF-Sendestufen mit Ausgangsleistungen von etwa 10 W. Aufgrund der Verwendung von Monopolantennen kommt es zu nicht zu vernachlässigenden Feldstärken im Fahrzeuginneren, die im folgenden näher untersucht werden. Hierbei beschränkt sich die Untersuchung nicht nur auf bereits vorhandene Mobilfunkgeräte im 4 m-Band, sondern es werden auch die Feldstärken im Fahrzeuginneren bei Verwendung des zukünftigen digitalen Funksystems der Polizei im Bereich 380 - 400 MHz bestimmt.

Bei den untersuchten Kraftfahrzeugen handelt es sich um die Modelle VW Passat Limousine B4, VW Passat Variant B4 sowie um einen Mannschaftswagen vom Typ Ford Transit. Für alle Fahrzeuge werden verschiedene Antennenpositionen analysiert:

- VW Passat Limousine B4 - Kotflügel links vorne und hinten sowie Dachmontage,
- VW Passat Variant B4 - Kotflügel links vorne sowie Dachmontage vorne und hinten,
- Ford Transit - Dachmontage vorne und hinten.

Für die Fahrzeuge VW Passat Limousine B4 sowie Ford Transit erfolgt eine meßtechnische Untersuchung mit dem dosimetrischen Meßsystem DASY inklusive Roboterarmverlängerung. Hierbei wird die elektrische und magnetische Feldstärke innerhalb von quaderförmigen Raumbereichen auf den Vordersitzen und auf den Rücksitzen der Fahrzeuge bestimmt. Zur Felderzeugung dient eine externe unmodulierte Signalquelle. Nach entsprechender Leistungsverstärkung werden die Fahrzeugantennen anhand eines externen Koaxialkabels mit der Quelle verbunden. Die Einstellung der Ausgangsleistung erfolgt mit Hilfe eines Leistungsmessers im Fahrzeuginneren an der Verbindung zwischen Antennenkabel und Zuführungskabel.

Die Feldstärken im Fahrzeuginneren des Typs VW Passat Limousine B4 werden zusätzlich auch anhand von Simulationen mit einem kommerziell erhältlichen Momentenmethodenprogramm [Concept] bestimmt. Die Untersuchung der auftretenden Feldstärken im Inneren des Fahrzeugs VW Passat Variant B4 erfolgt ausschließlich anhand von Simulationen.

Bei allen meßtechnischen Untersuchungen wird eine HF-Ausgangsleistung von 10 W zugrunde gelegt. Für die Simulationen wird mit einer um 1 dB verringerten Ausgangsleistung (8 W) gerechnet, um die in der Realität vorhandenen Verluste des Antennenkabels und ohmsche Verluste der Antenne berücksichtigen zu können.

Die untersuchte Frequenz im 4 m-Band beträgt 77,335 MHz, die zweite Frequenz im Bereich zukünftiger digitaler Funksysteme der Polizei liegt bei 380 MHz.

4.1 Untersuchung von Feldstärken im Fahrzeuginneren des VW Passat Limousine B4

Bild 3 zeigt das bei der Simulation verwendete Modell des Fahrzeugs VW Passat Limousine B4, das aufgrund von Geometriedaten der Volkswagen AG [VW 1997] entstanden ist. Das bei der Untersuchung verwendete Koordinatensystem ist ebenfalls eingezeichnet. Außerdem dargestellt sind die untersuchten Antennenpositionen auf der Fahrzeugkarosserie. Die Antennenlänge in der Simulation beträgt 90 cm für die Frequenz 77,335 MHz bzw. 21 cm für die Untersuchungen bei 380 MHz.

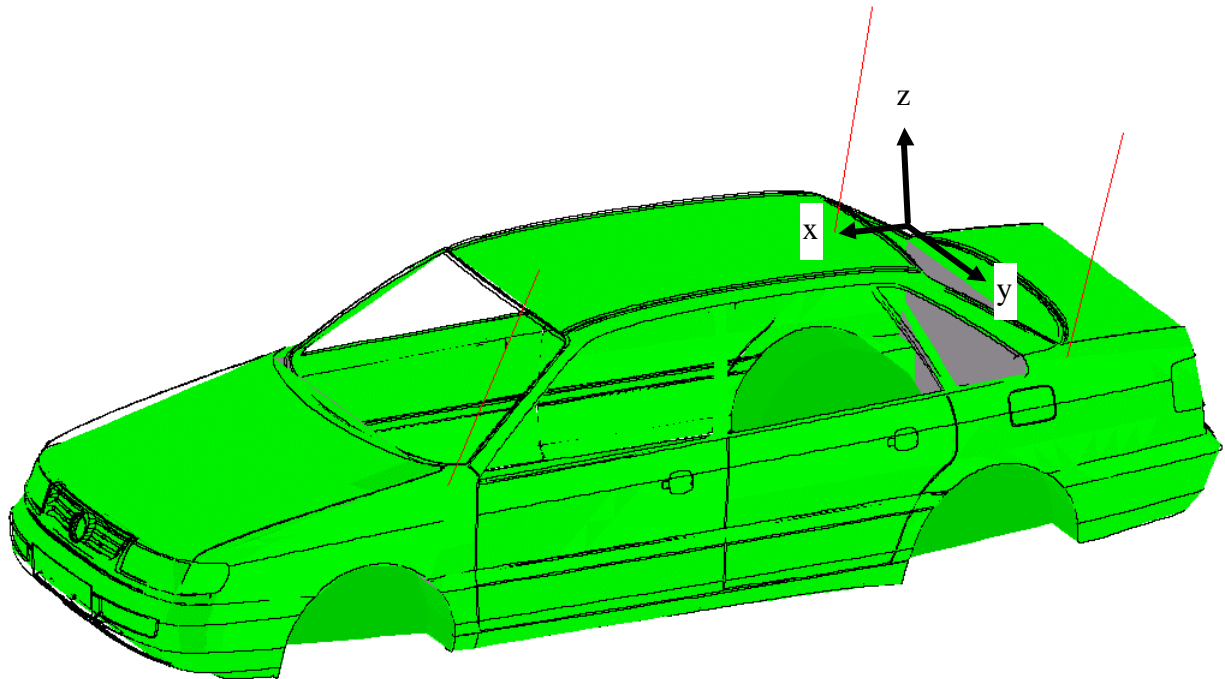


Bild 3: Flächendarstellung des bei der Simulation verwendeten Modells des Fahrzeugs VW Passat Limousine B4 inklusive Antennen für das 4 m-Band.

In Bild 4 ist die Diskretisierung des Fahrzeugmodells in der Momentenmethode sowie das erste Ergebnis der Simulation, die Oberflächenstromverteilung auf dem Fahrzeug bei Verwendung einer Dachantenne im 4 m-Band, dargestellt. Mit Hilfe der Oberflächenstromverteilung kann dann in einem weiteren Schritt die Feldstärkeverteilung innerhalb des Fahrzeugs berechnet werden.

Für die meßtechnische Untersuchung mit dem dosimetrischen Meßsystem DASY inklusive Roboterarmverlängerung wird die Feldsonde entsprechend Bild 5 für die Feldstärkebestimmung auf den Rücksitzen des Fahrzeugs bzw. Bild 6 für die Feldstärkebestimmung auf den Vordersitzen plaziert. Es werden insgesamt 4 Meßquader mit den Abmaßen 32 cm x 40 cm x 20 cm definiert. Die Auflösung beträgt 4 cm. Die Meßquader sind symmetrisch direkt vor dem Fahrer- und Beifahrersitz bzw. den hinteren Sitzen angeordnet. Die maximale Meßhöhe liegt 10 cm unterhalb des Daches.

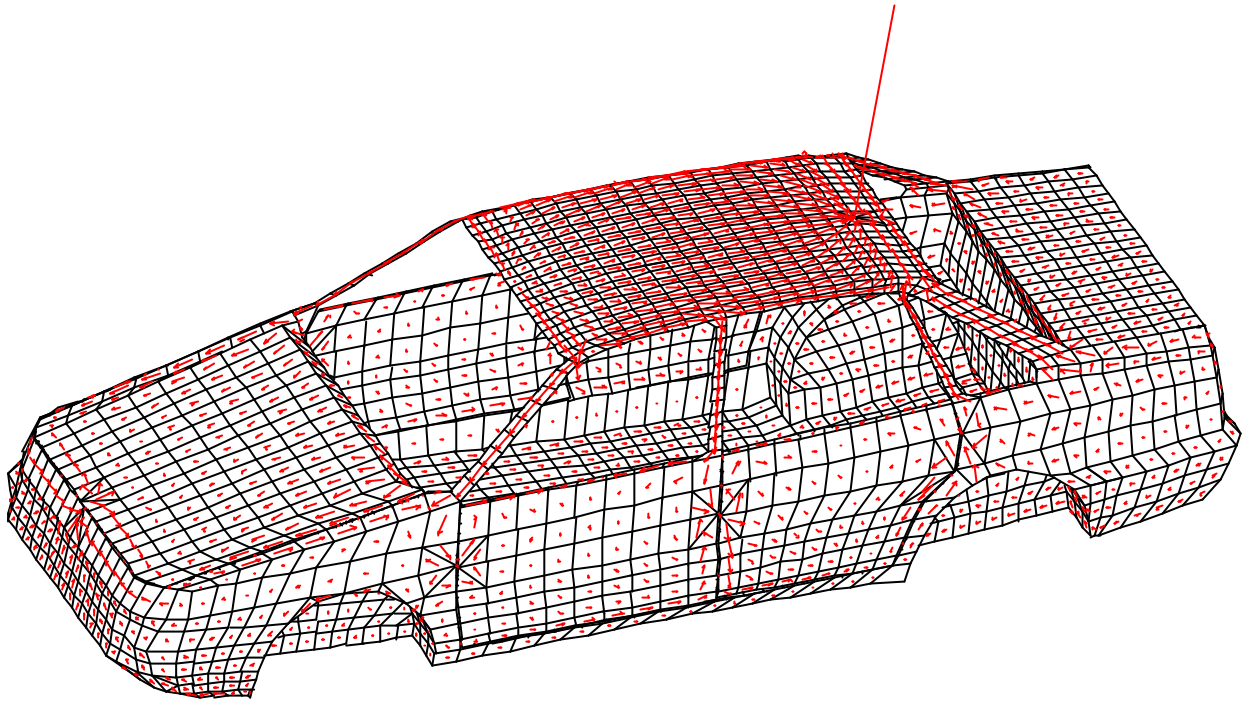


Bild 4: Diskretisierung und Darstellung der Oberflächenstromverteilung für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei Verwendung der Dachantenne im 4 m-Band.



Bild 5: Platzierung der Roboterarmverlängerung sowie der Feldsonde zur Vermessung der Feldstärke auf den Rücksitzen des Fahrzeugs VW Passat Limousine B4.



Bild 6: Platzierung der Roboterarmverlängerung sowie der Feldsonde zur Vermessung der Feldstärke auf den Vordersitzen des Fahrzeugs VW Passat Limousine B4.

Die Symmetrie als auch die Größe der Meßquader ist aufgrund des Meßsystems sowie des untersuchten Fahrzeugs gewissen Einschränkungen unterlegen.

4.1.1 Maximalfeldstärken im Fahrzeuginneren

Tabelle 5 enthält die meßtechnisch bestimmten Maximalfeldstärken, in Tabelle 6 sind die numerisch ermittelten Maximalfeldstärken innerhalb der in der Messung definierten quaderförmigen Raumbereiche für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 als Funktion der Antennenposition zusammengefaßt. Es zeigt sich, daß bei Verwendung der Dachantenne innerhalb des Fahrzeugs deutlich höhere Feldstärken auftreten als bei Verwendung der Antennen auf dem vorderen bzw. hinteren Kotflügel. Für diese Antennenposition werden die in Tabelle 1 aufgeführten abgeleiteten Grenzwerte teilweise überschritten. Dies betrifft die magnetische als auch die elektrische Ersatzfeldstärke. Für alle übrigen untersuchten Antennenpositionen und Frequenzen wird ein deutlicher Sicherheitsabstand in bezug auf die abgeleiteten Grenzwerte eingehalten.

Der Vergleich zwischen gemessenen und numerisch ermittelten Maximalfeldstärken zeigt eine gute Übereinstimmung. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß die meßtechnische Bestimmung der magnetischen Feldstärke anhand einer zweidimensionalen Feldsonde erfolgte, die zudem über eine eingeschränkte Empfindlichkeit verfügt. Im Bereich der numerisch bestimmten Ergebnisse muß bedacht werden, daß das verwendete Modell des untersuchten Fahrzeugs stark vereinfacht ist. Das Modell berücksichtigt keine Fahrzeugteile innerhalb der Fahrgastzelle. Insbesondere werden die Armaturen und Sitze nicht berücksichtigt. Die zweite starke Vereinfachung besteht in der Vernachlässigung der endlichen Dicke des Fahrzeugrahmens, in der Simulation erfolgt lediglich eine Beschreibung der metallischen Fahrzeugteile als unendlich dünne leitende Ebenen.

Antennenposition	$f=77,335$ MHz		$f=380$ MHz	
	E_{\max} [V/m]	H_{\max} [A/m]	E_{\max} [V/m]	H_{\max} [A/m]
Kotflügel vorne	26,76	< 0,04	24,40	< 0,04
Dach	63,78	0,185	57,70	0,1
Kotflügel hinten	25,62	< 0,04	32,41	0,06

Tabelle 5: Meßtechnisch ermittelte Maximalfeldstärken für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 als Funktion der Antennenposition.

Antennenposition	$f=77,335$ MHz		$f=380$ MHz	
	E_{\max} [V/m]	H_{\max} [A/m]	E_{\max} [V/m]	H_{\max} [A/m]
Kotflügel vorne	22,43	0,125	32,09	0,0799
Dach	56,91	0,305	51,15	0,181
Kotflügel hinten	20,67	0,111	30,60	0,0938

Tabelle 6: Numerisch ermittelte Maximalfeldstärken innerhalb der in der Messung definierten quaderförmigen Raumbereiche für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 als Funktion der Antennenposition.

4.1.2 Grafische Darstellung der Feldstärken im Fahrzeuginneren

In den Bildern 7-36 sind die numerisch und meßtechnisch ermittelten Ersatzfeldstärken für die beiden untersuchten Frequenzen grafisch dargestellt. Hierbei erstrecken sich die Konturplots für die Frequenz 77,335 MHz auf die beiden Meßebenen 10 cm und 30 cm unterhalb des Daches. Die Grafiken für die Frequenz 380 MHz beschränken sich auf die Meßebene, in der die maximale elektrische Ersatzfeldstärke auftritt.

4.1.2.1 Feldverteilung bei einer Frequenz von 77,335 MHz

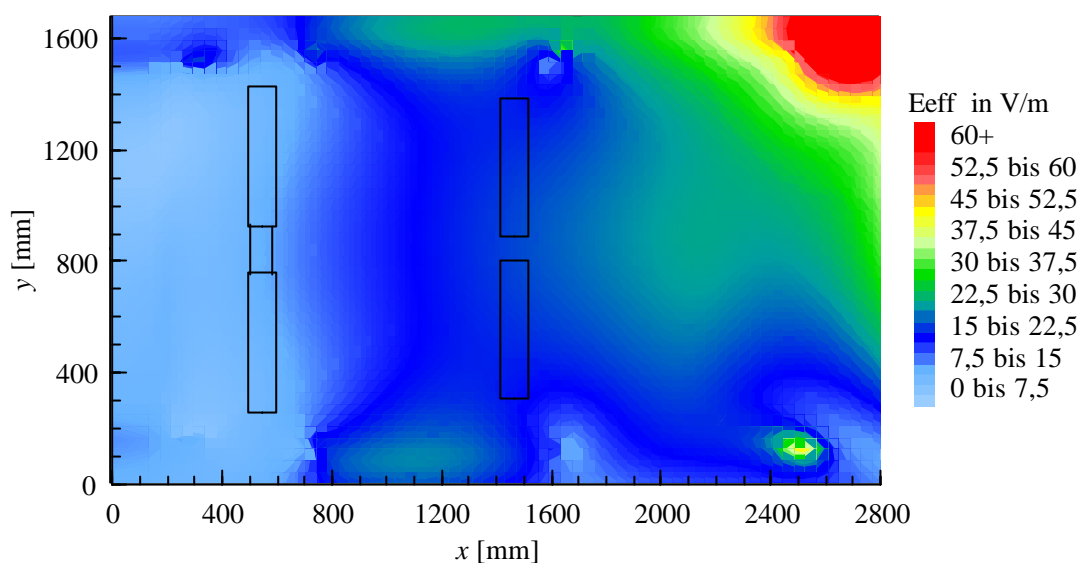


Bild 7: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

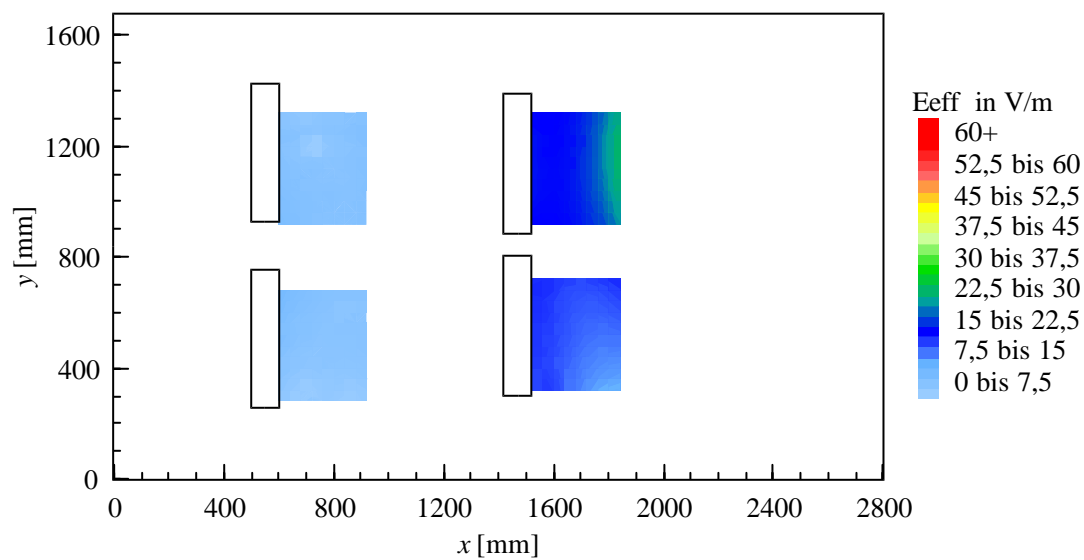


Bild 8: Gemessene Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

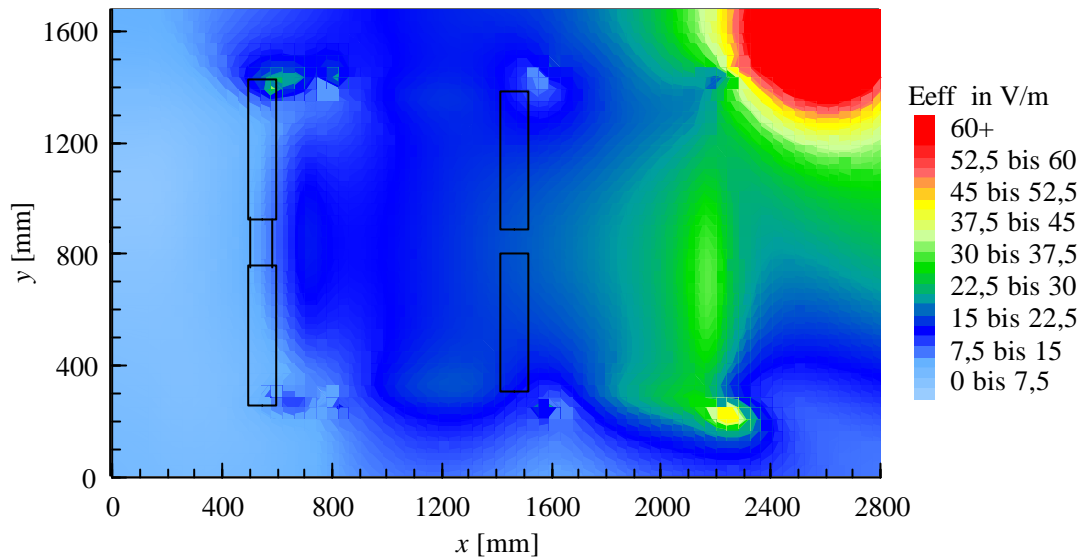


Bild 9: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

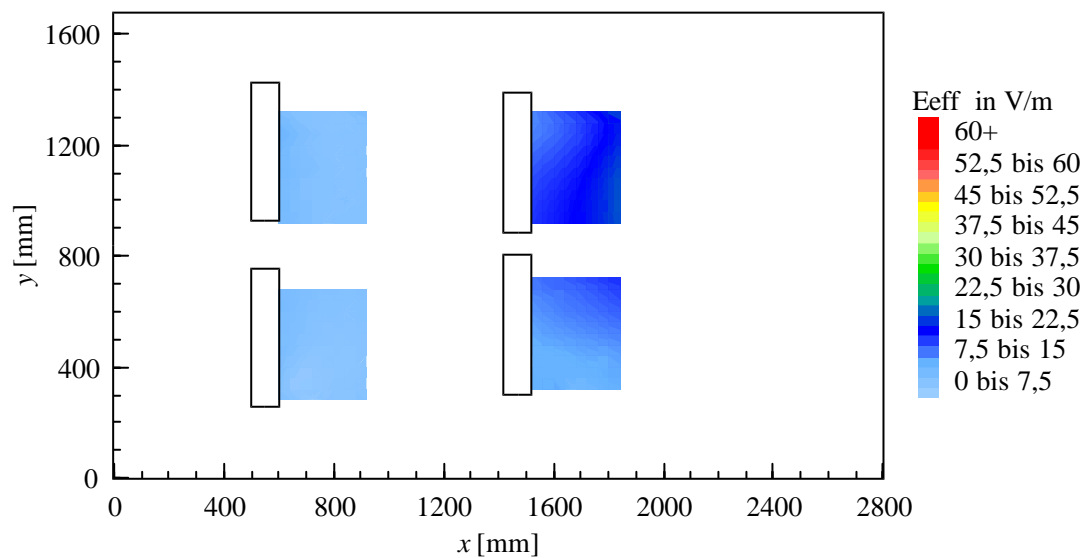


Bild 10: Gemessene Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

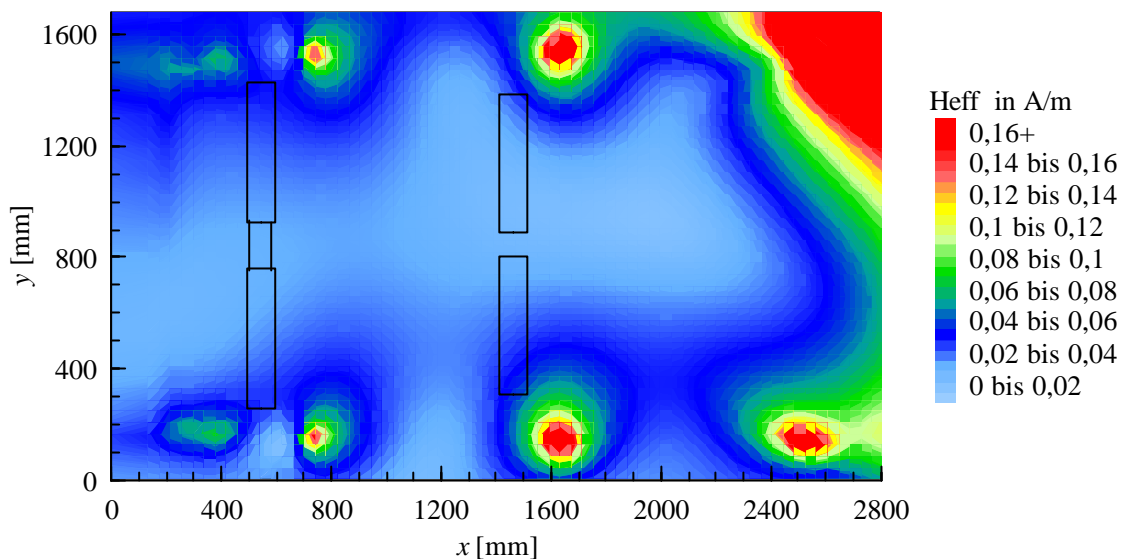


Bild 11: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

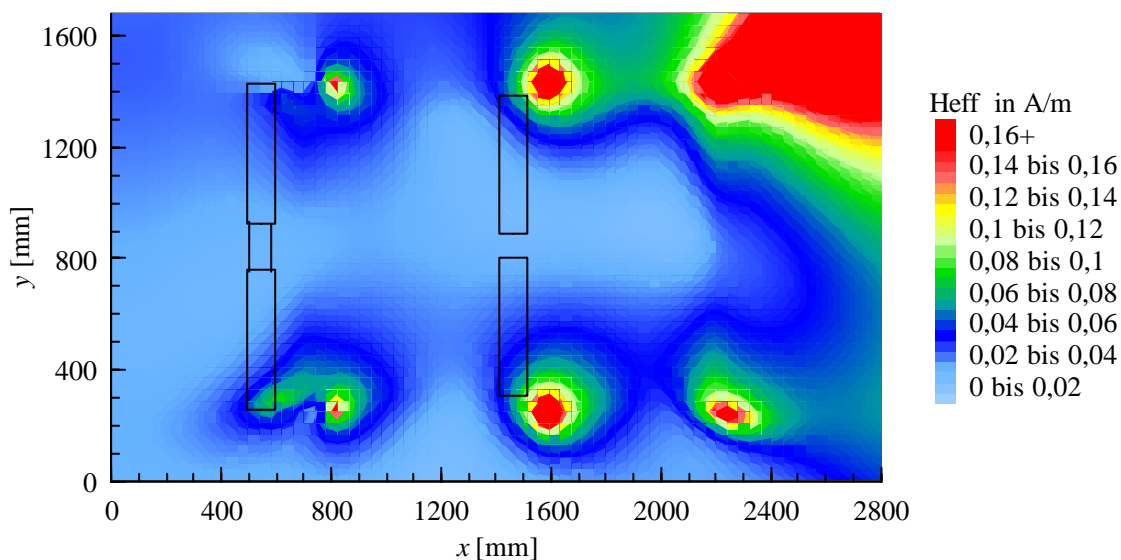


Bild 12: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

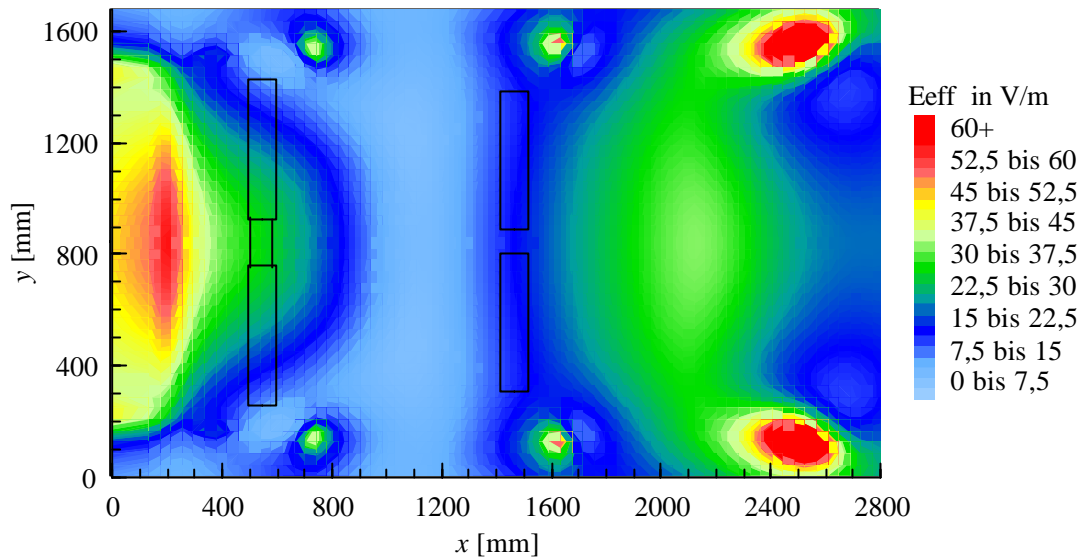


Bild 13: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Dach.

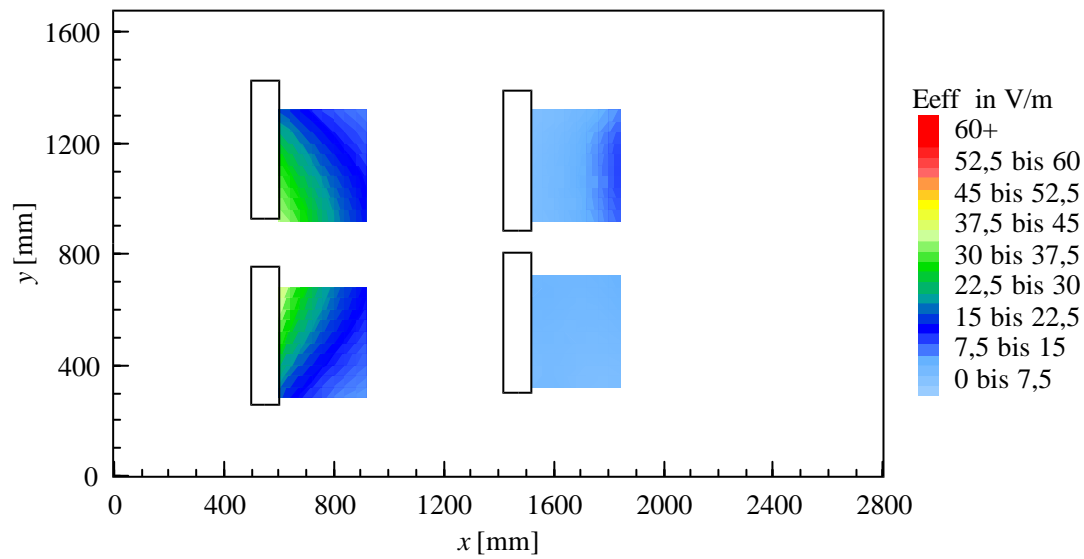


Bild 14: Gemessene Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Dach.

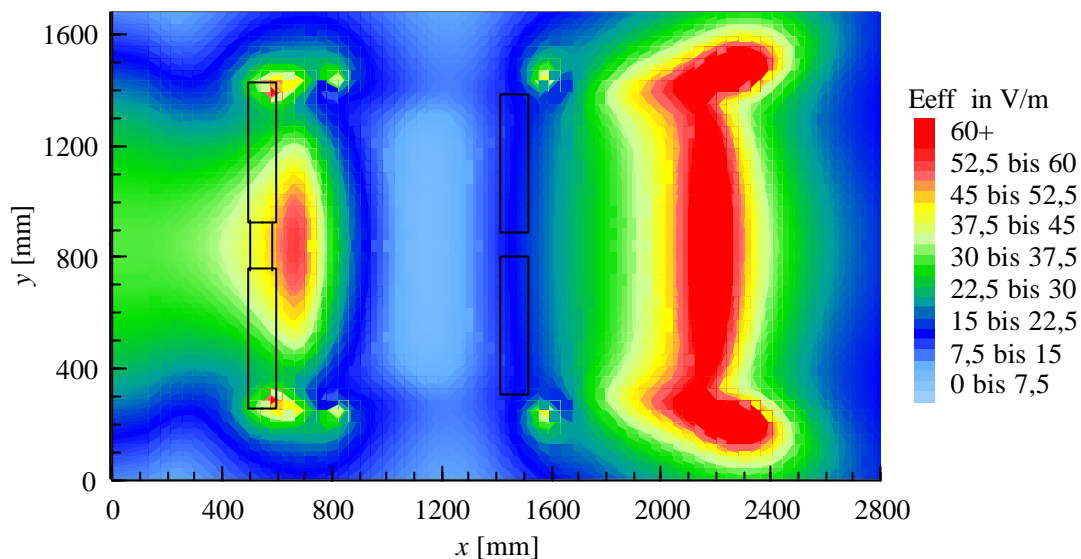


Bild 15: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Dach.

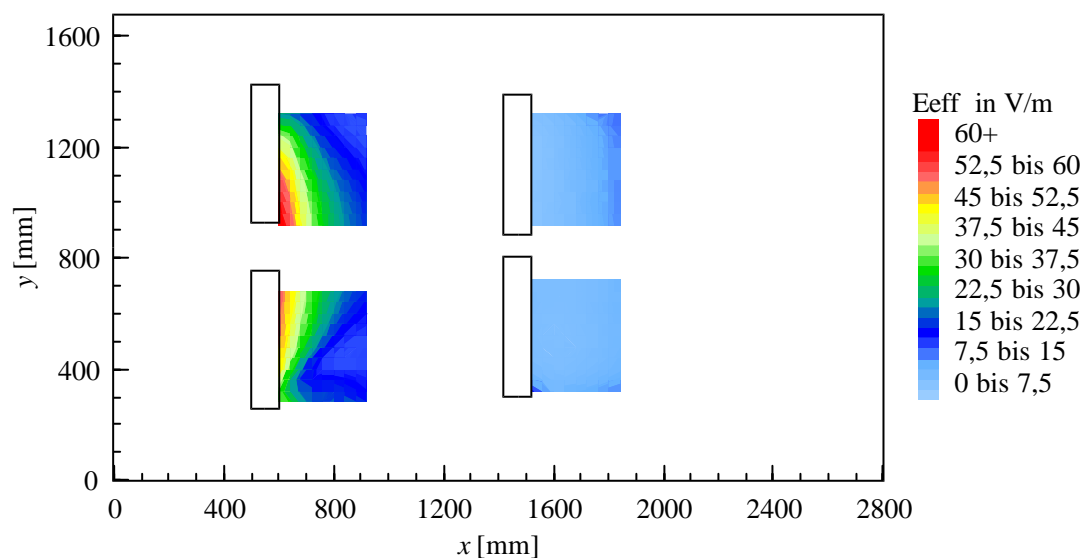


Bild 16: Gemessene Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Dach.

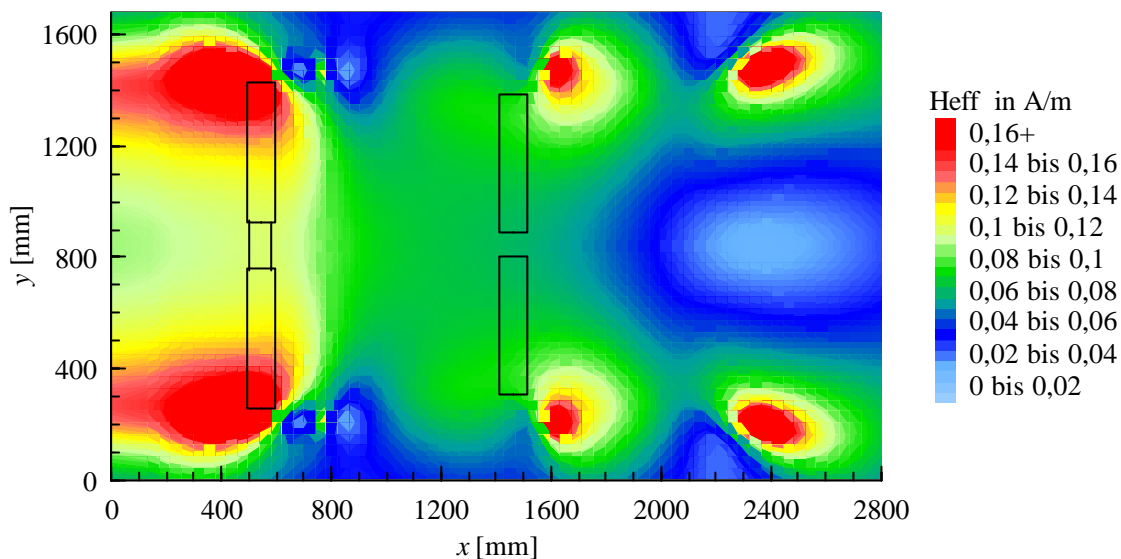


Bild 17: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Dach.

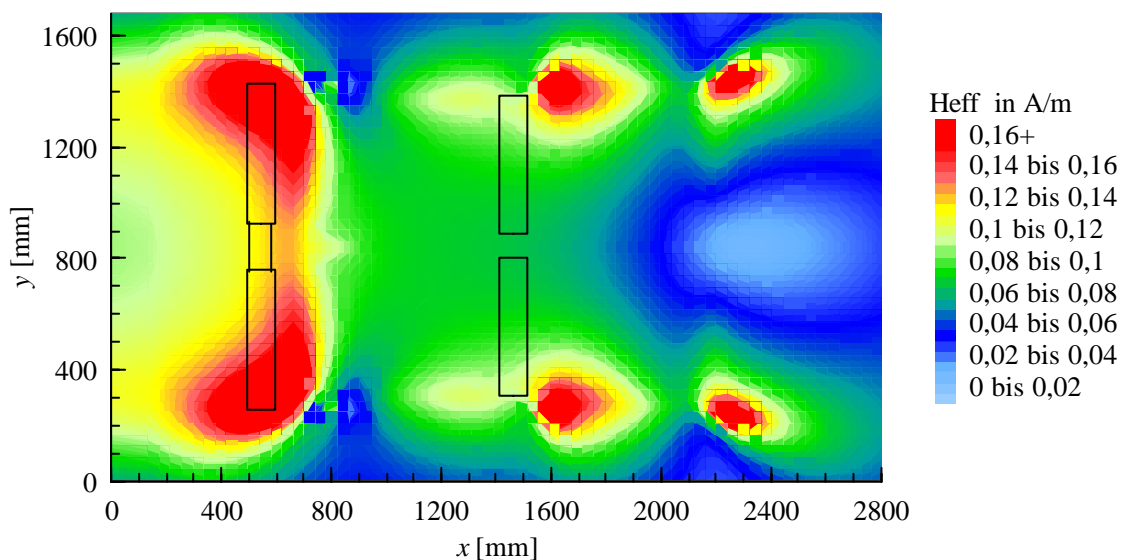


Bild 18: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Dach.

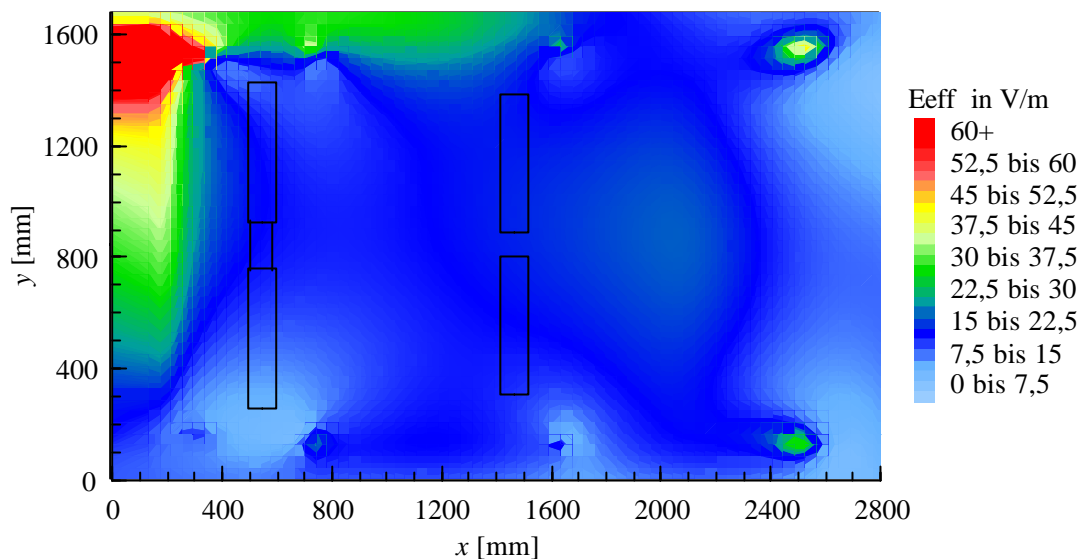


Bild 19: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel hinten.

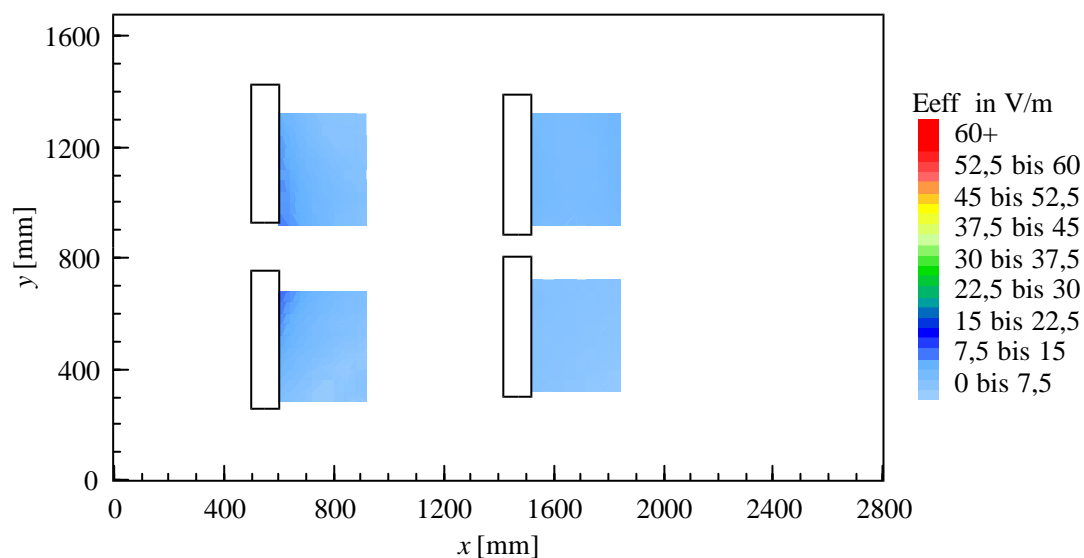


Bild 20: Gemessene Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel hinten.

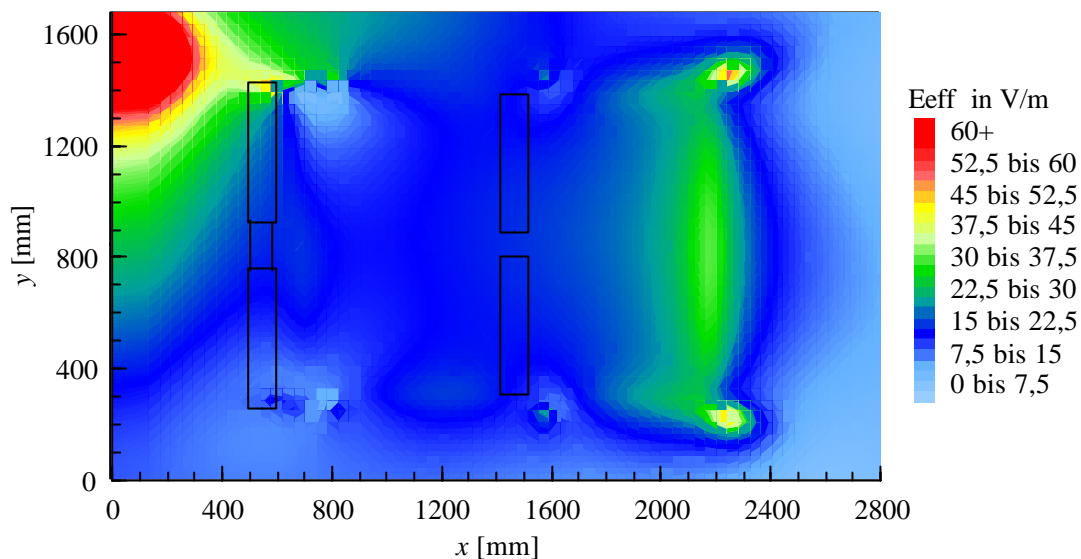


Bild 21: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel hinten.

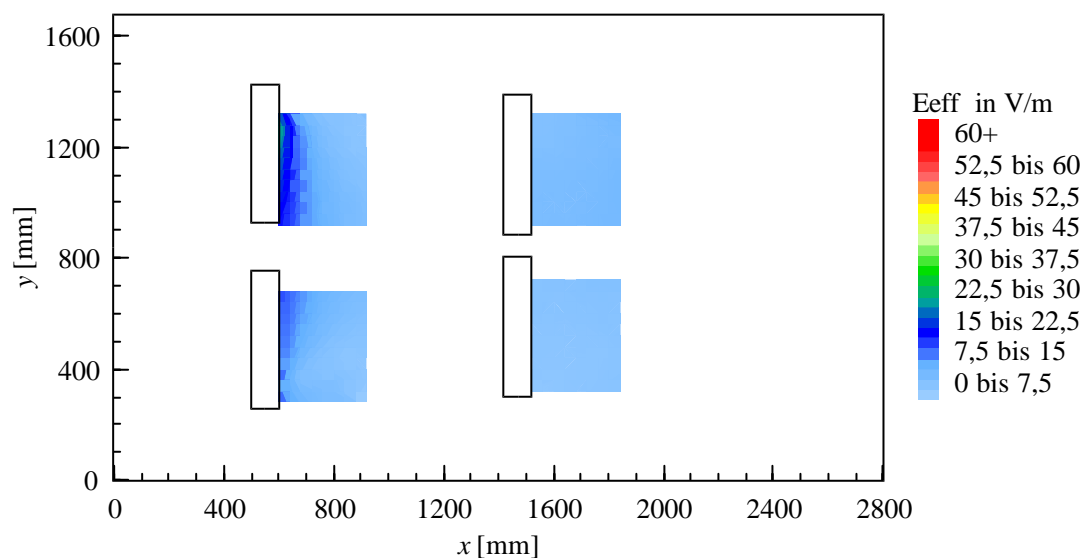


Bild 22: Gemessene Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel hinten.

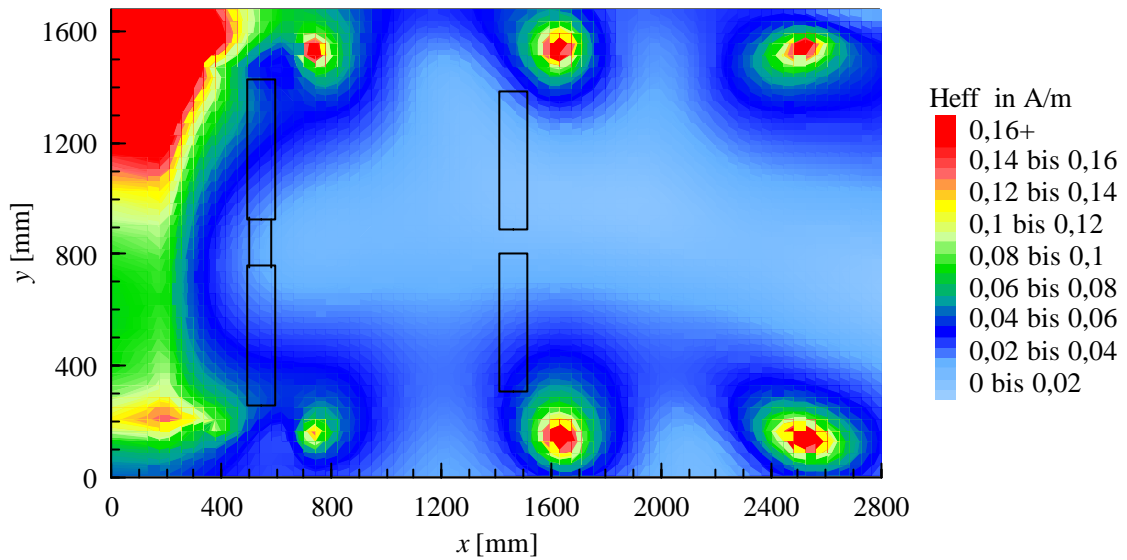


Bild 23: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel hinten.

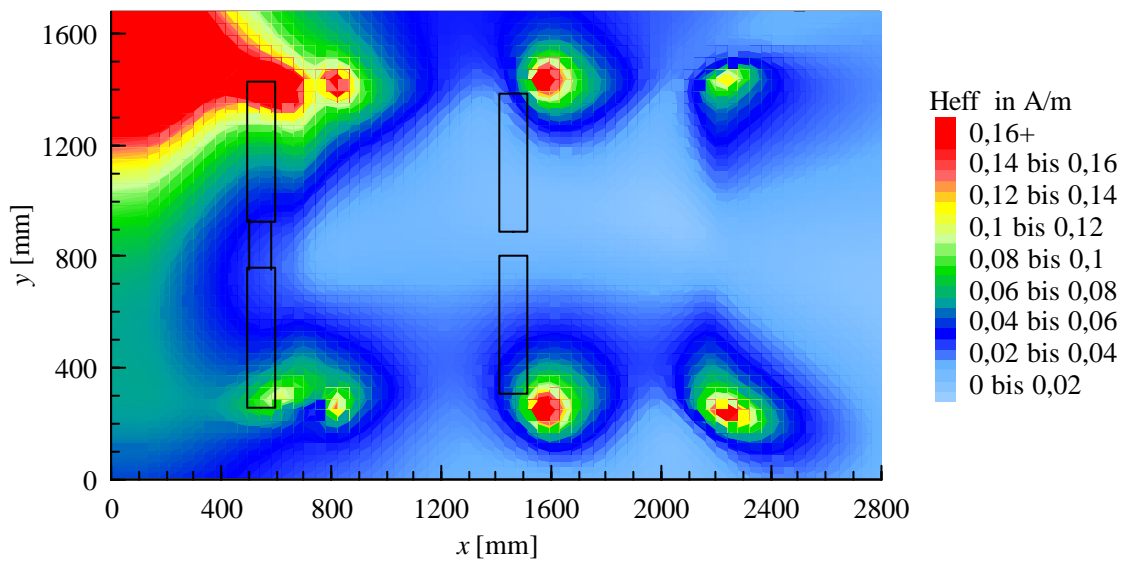


Bild 24: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel hinten.

4.1.2.2 Feldverteilung bei einer Frequenz von 380 MHz

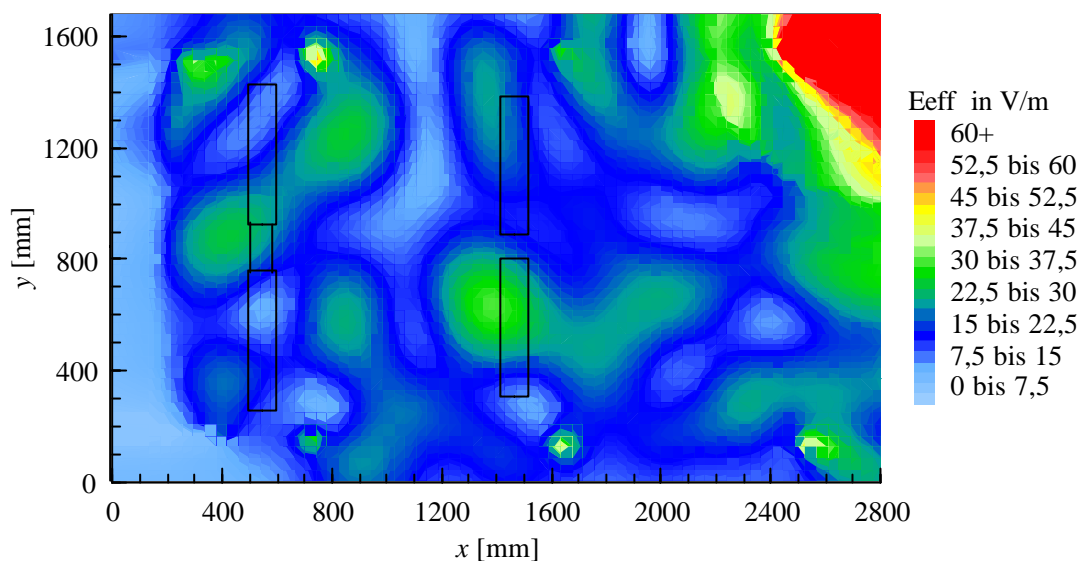


Bild 25: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

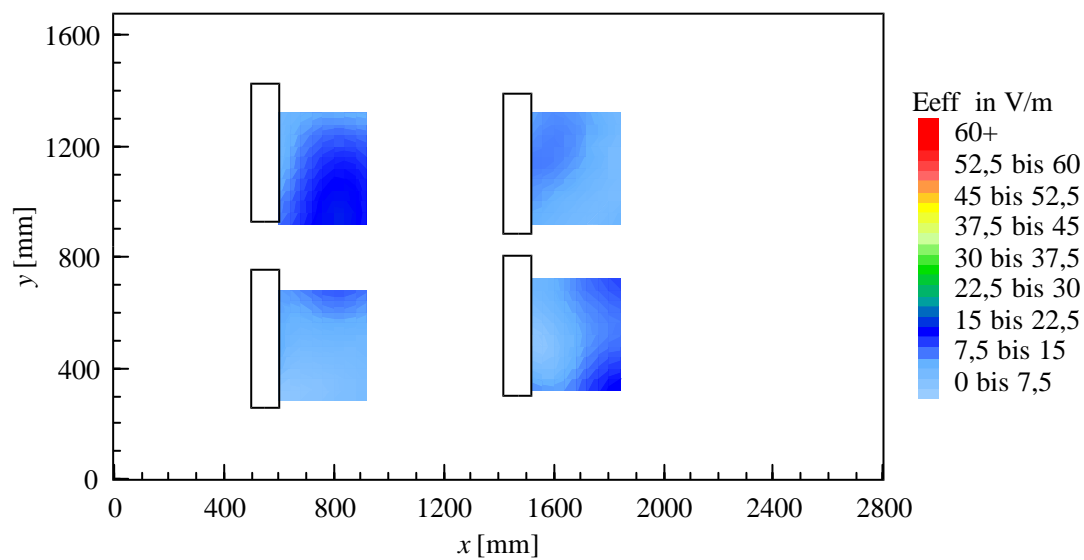


Bild 26: Gemessene Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

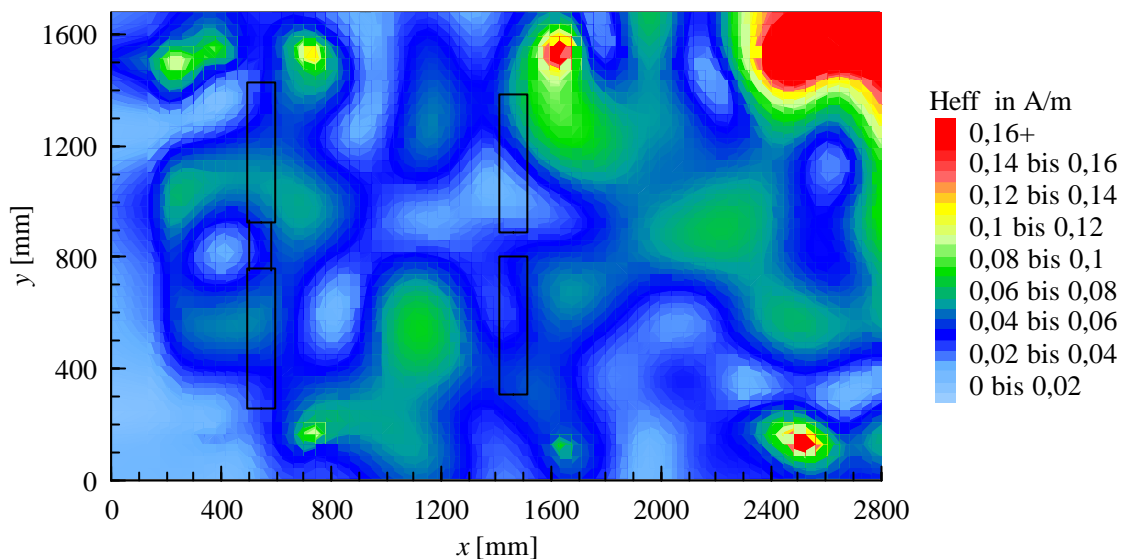


Bild 27: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

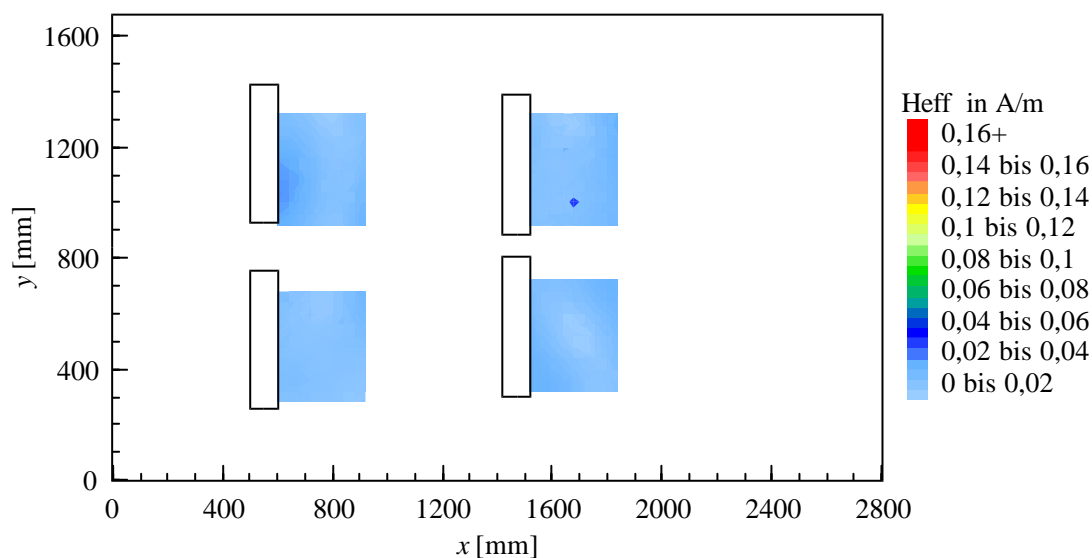


Bild 28: Gemessene Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

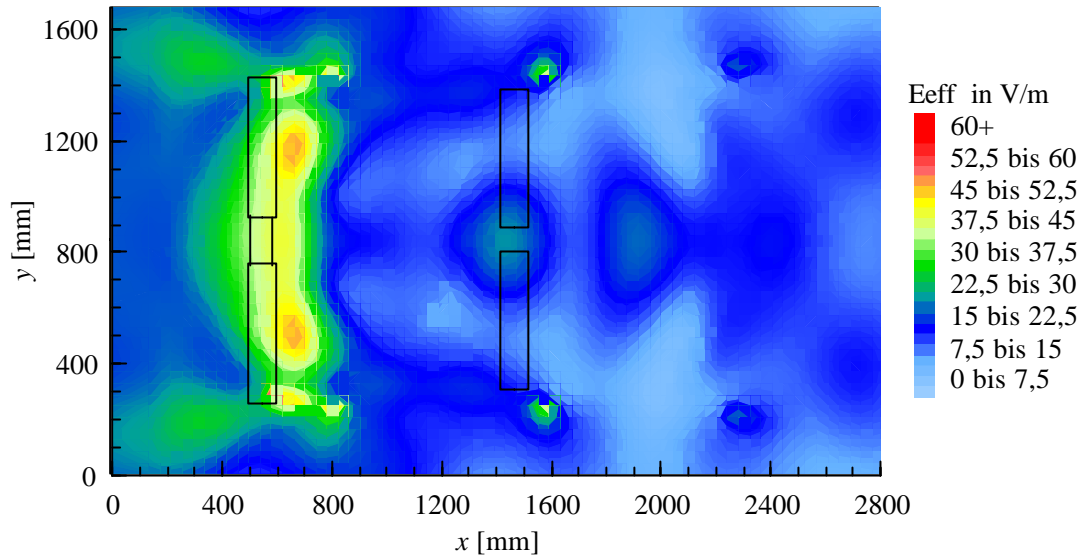


Bild 29: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Dach.

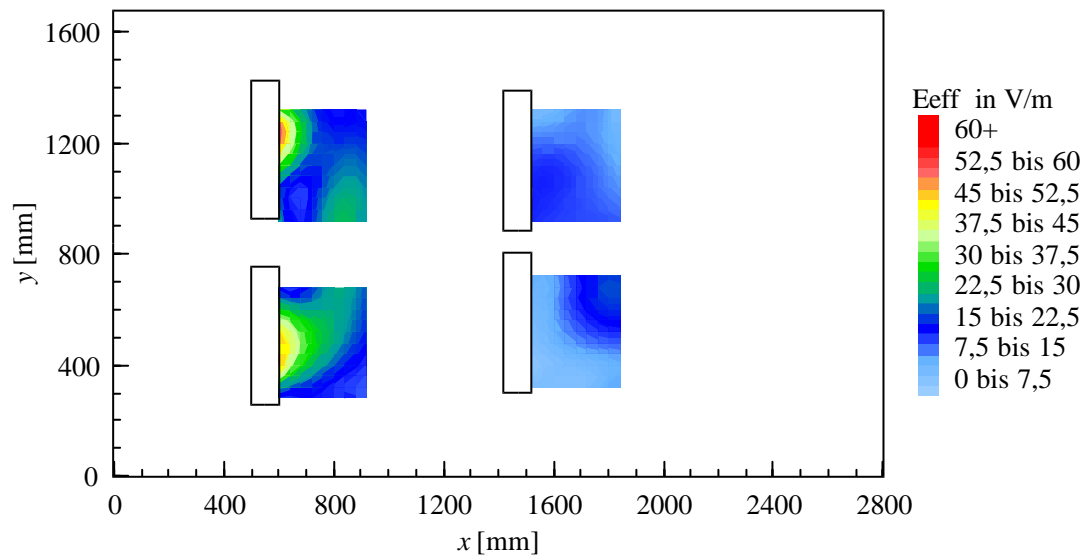


Bild 30: Gemessene Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Dach.

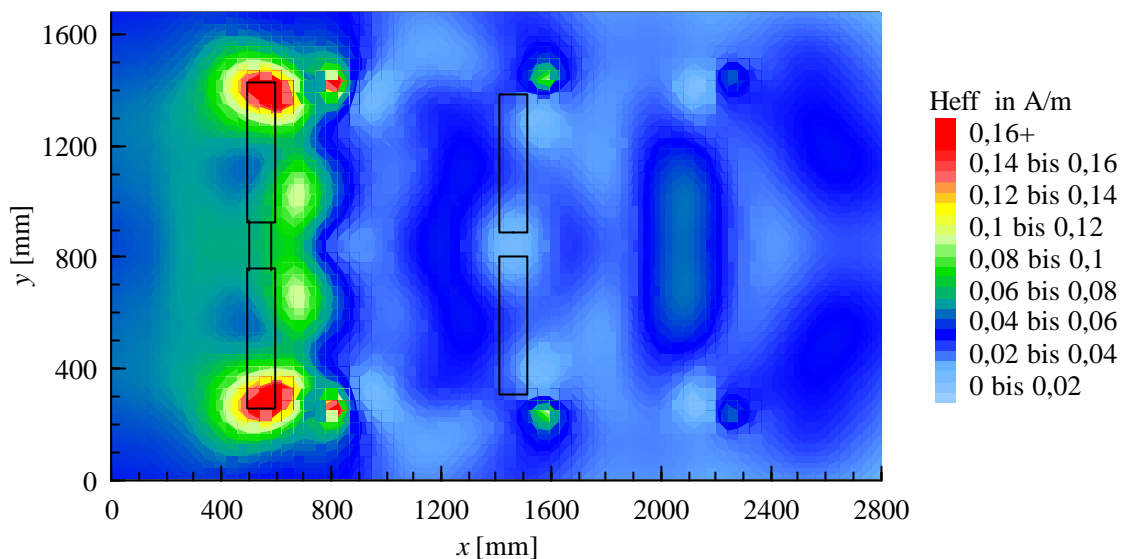


Bild 31: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Dach.

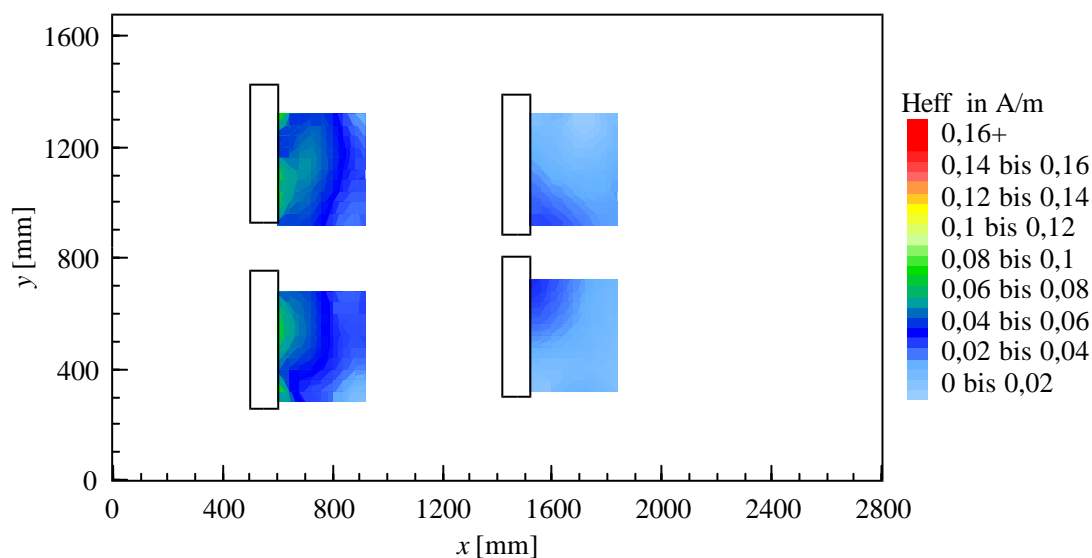


Bild 32: Gemessene Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Dach.

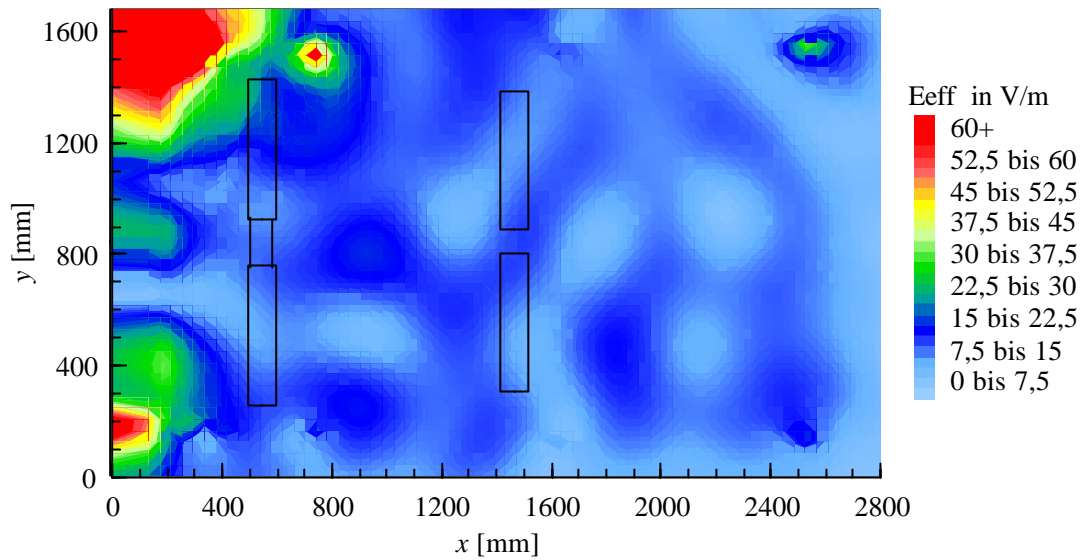


Bild 33: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Kotflügel hinten.

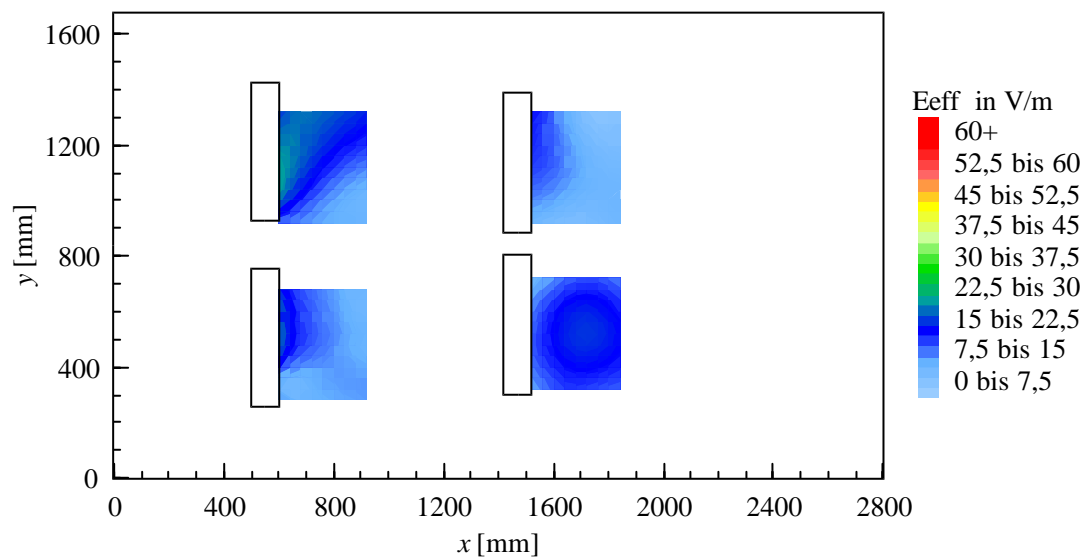


Bild 34: Gemessene Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Kotflügel hinten.

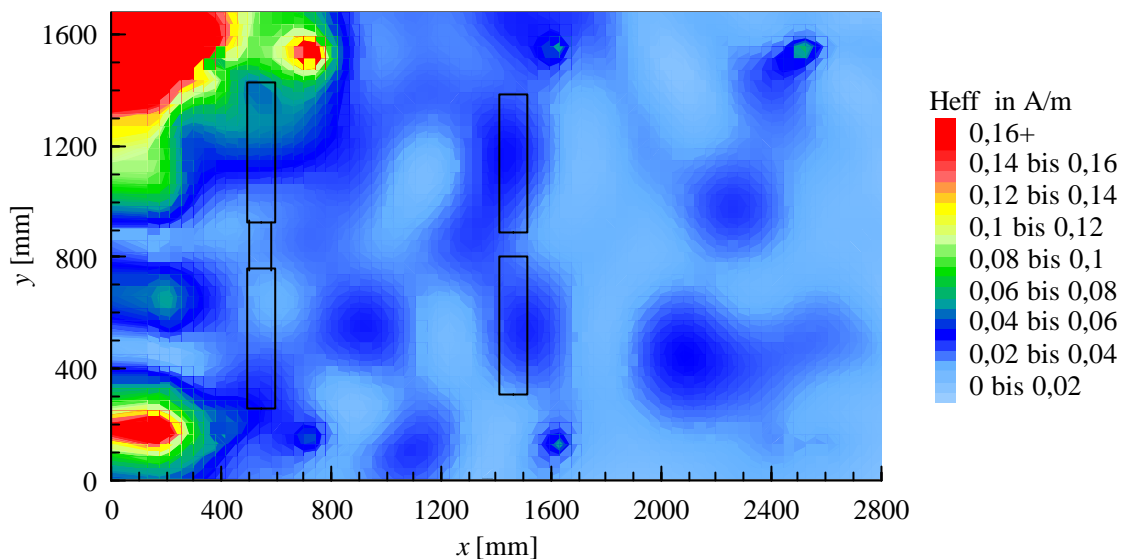


Bild 35: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Kotflügel hinten.

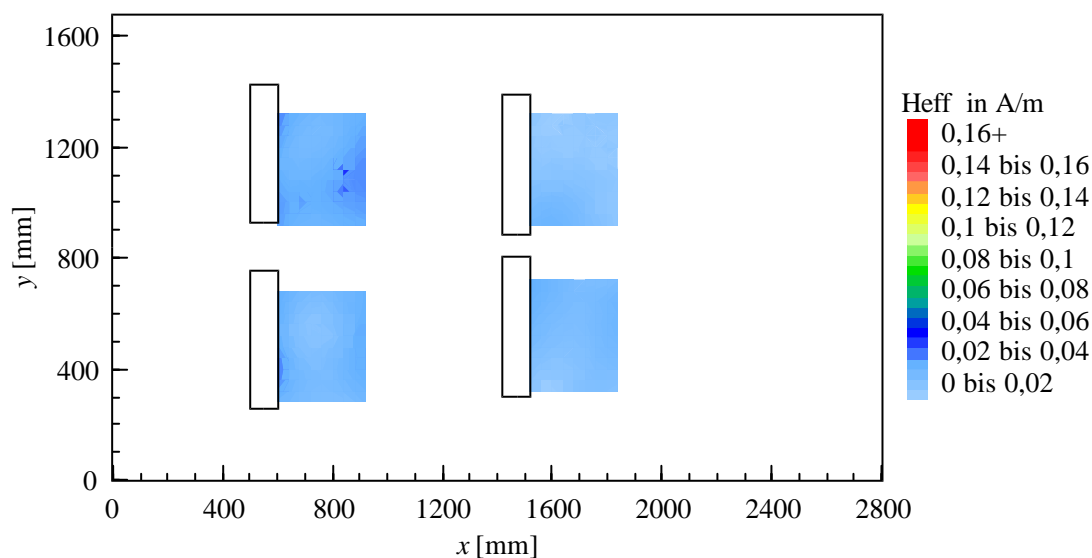


Bild 36: Gemessene Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Kotflügel hinten.

4.2 Untersuchung von Feldstärken im Fahrzeuginneren des VW Passat Variant B4

Bild 37 zeigt das bei der Simulation verwendete Modell des Fahrzeugs VW Passat Variant B4, das aufgrund von Geometriedaten der Volkswagen AG [VW 1997] entstanden ist. Ebenfalls dargestellt sind die untersuchten Antennenpositionen auf der Fahrzeugkarosserie. Die Antennenlänge in der Simulation beträgt 90 cm für die Frequenz 77,335 MHz bzw. 21 cm für die Untersuchungen bei 380 MHz.

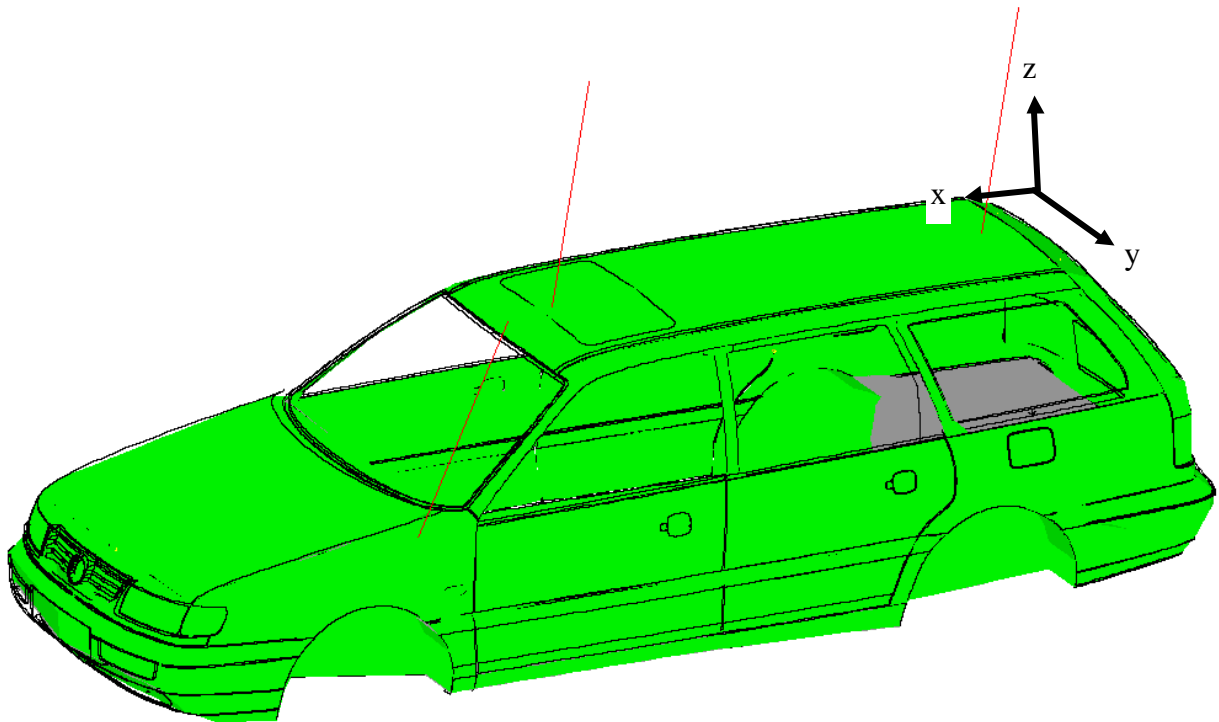


Bild 37: Flächendarstellung des bei der Simulation verwendeten Modells des Fahrzeugs VW Passat Variant B4 inklusive Antennen für das 4 m-Band.

In Bild 38 ist die Diskretisierung des Fahrzeugmodells in der Momentenmethode sowie das erste Ergebnis der Simulation, die Oberflächenstromverteilung auf dem Fahrzeug bei Verwendung einer Dachantenne im 4 m-Band, dargestellt. Mit Hilfe der Oberflächenstromverteilung kann dann in einem weiteren Schritt die Feldstärkeverteilung innerhalb des Fahrzeugs berechnet werden.

4.2.1 Maximalfeldstärken im Fahrzeuginneren

In Tabelle 7 sind die numerisch ermittelten Maximalfeldstärken innerhalb der in Abschnitt 4.1 definierten quaderförmigen Raumbereiche für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 als Funktion der Antennenposition zusammengefasst. Es zeigt sich, daß bei Verwendung der vorderen Dachantenne im 4m-Band innerhalb des Fahrzeugs deutlich höhere Feldstärken auftreten als bei Verwendung der übrigen untersuchten Antennenpositionen. Für diese Antennenposition werden die in Tabelle 1 aufgeführten abgeleiteten Grenzwerte für die magnetische Ersatzfeldstärke teilweise überschritten. Für alle übrigen untersuchten Antennenpositionen und Frequenzen wird ein deutlicher Sicherheitsabstand in bezug auf die abgeleiteten Grenzwerte eingehalten.

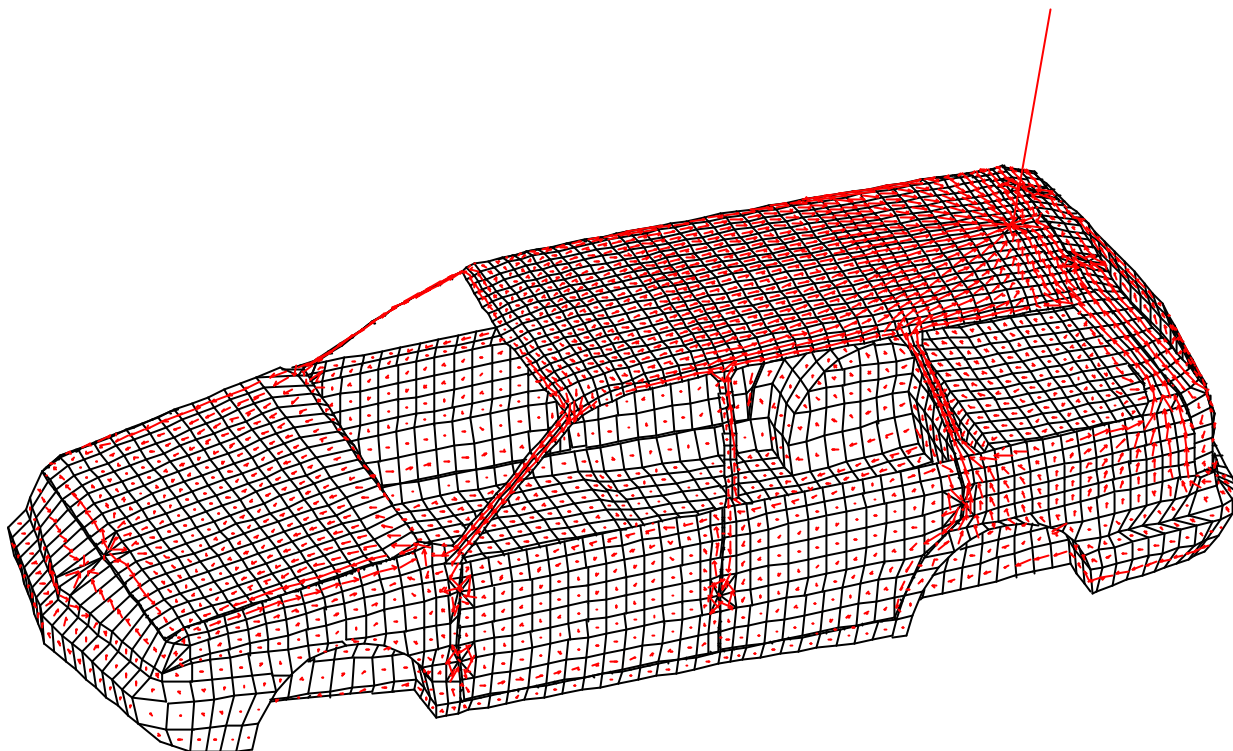


Bild 38: Diskretisierung und Darstellung der Oberflächenstromverteilung für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 bei Verwendung der hinteren Dachantenne im 4 m-Band.

Antennenposition	$f=77,335 \text{ MHz}$		$f=380 \text{ MHz}$	
	$E_{\max} [\text{V/m}]$	$H_{\max} [\text{A/m}]$	$E_{\max} [\text{V/m}]$	$H_{\max} [\text{A/m}]$
Kotflügel vorne	31,13	0,0891	23,32	0,0611
Dach vorne	59,10	0,198	23,61	0,0673
Dach hinten	21,55	0,114	22,76	0,0585

Tabelle 7: Numerisch ermittelte Maximalfeldstärken innerhalb der in Abschnitt 4.1 definierten quaderförmigen Raumbereiche für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 als Funktion der Antennenposition.

4.2.2 Grafische Darstellung der Feldstärken im Fahrzeuginneren

In den Bildern 39-50 sind die numerisch ermittelten Ersatzfeldstärken für die beiden untersuchten Frequenzen grafisch dargestellt. Hierbei erstrecken sich die Konturplots für die Frequenzen 77,335 MHz und 380 MHz auf die Meßebeane, in der die maximale elektrische Ersatzfeldstärke auftritt.

4.2.2.1 Feldverteilung bei einer Frequenz von 77,335 MHz

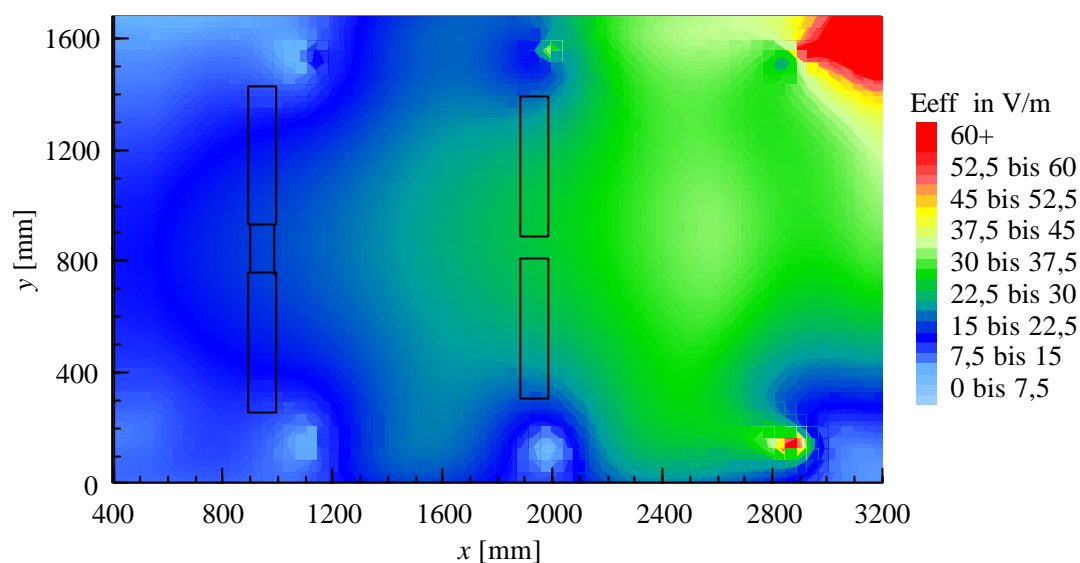


Bild 39: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

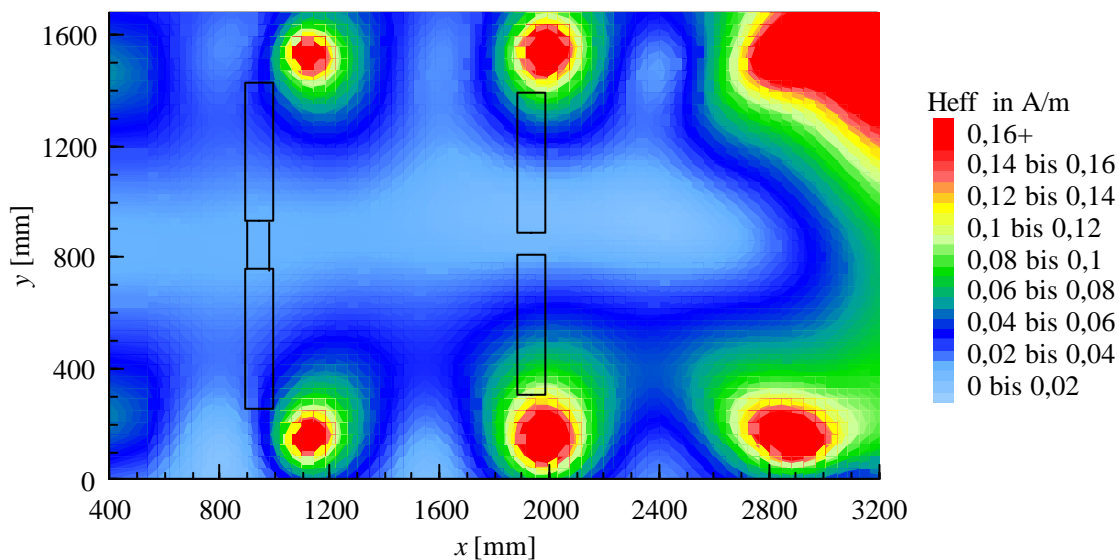


Bild 40: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

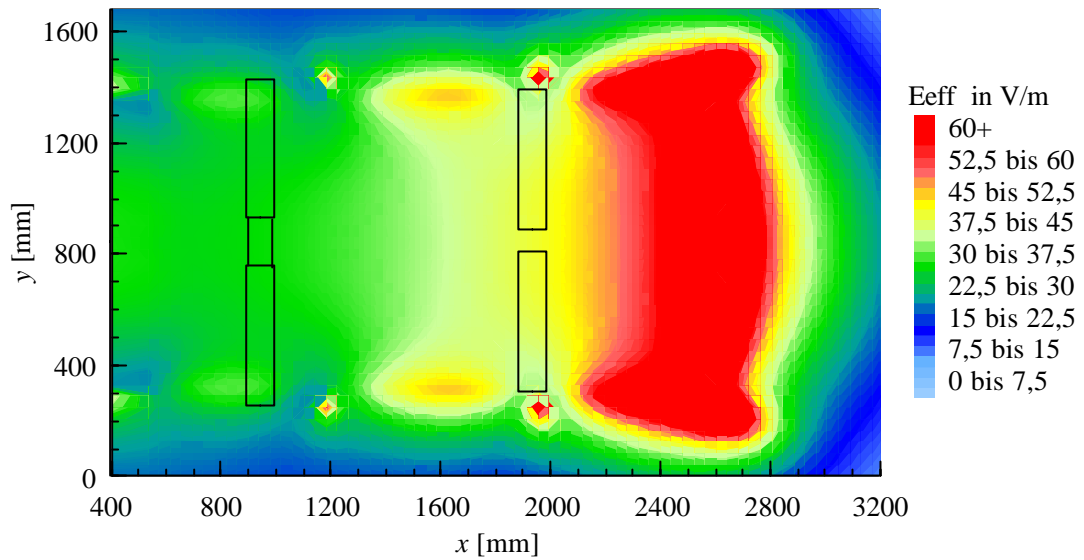


Bild 41: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Dach vorne.

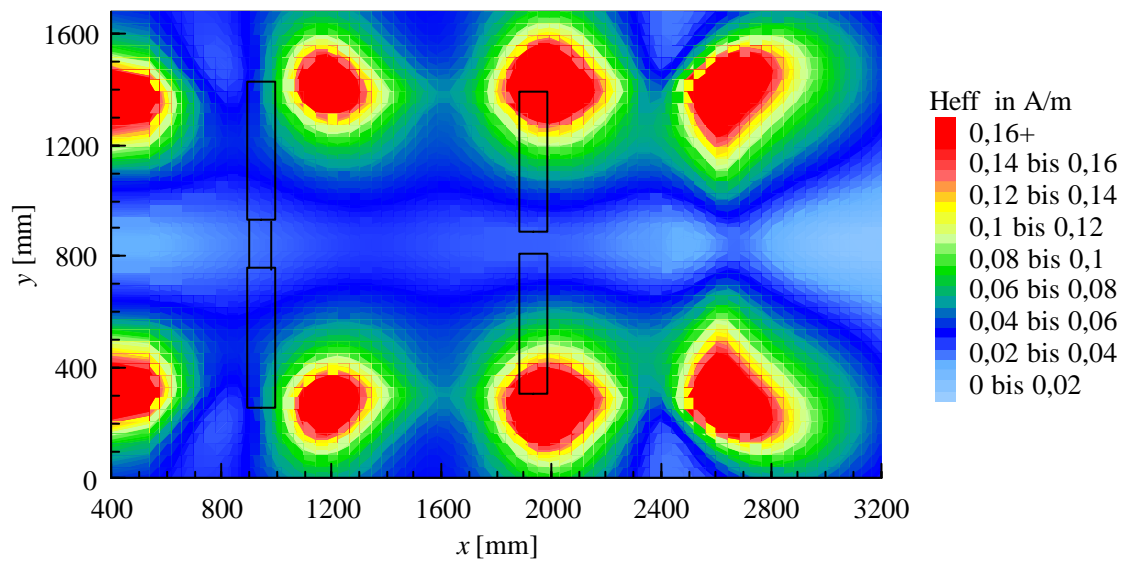


Bild 42: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Dach vorne.

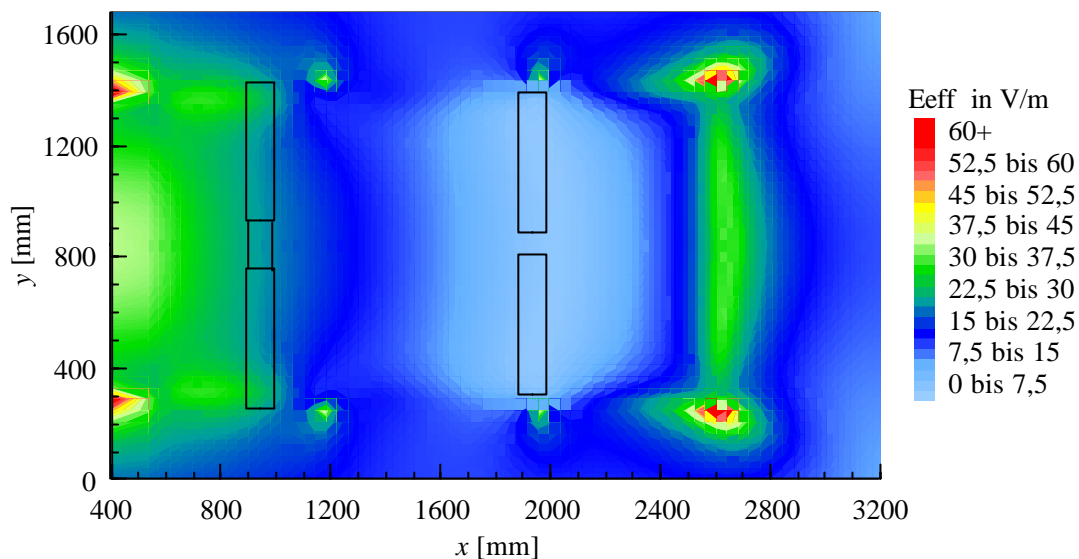


Bild 43: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Dach hinten.

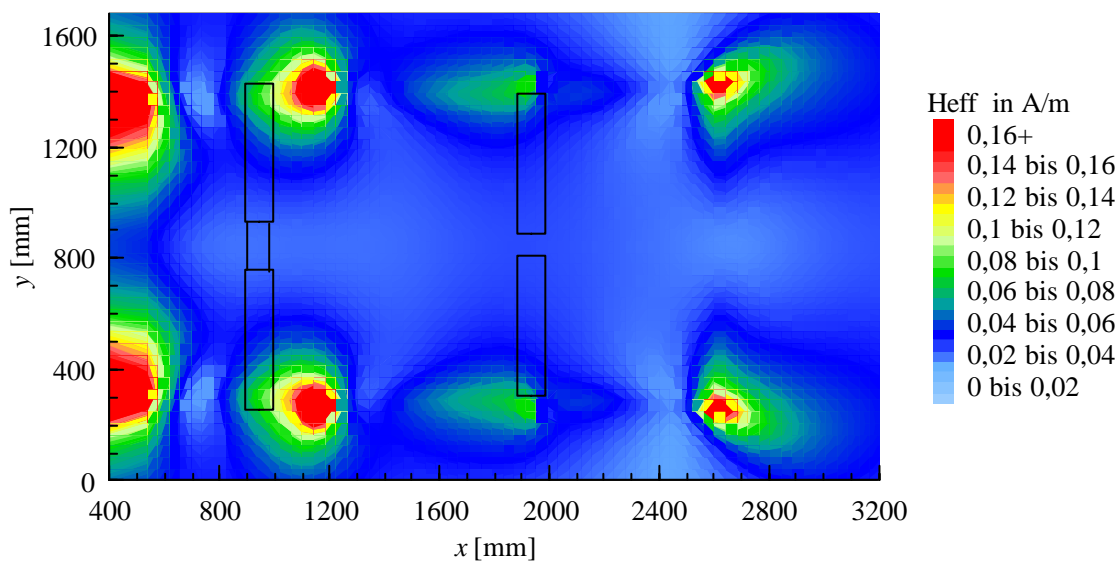


Bild 44: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 bei einer Frequenz von 77,335 MHz; Antennenposition: Dach hinten.

4.2.2.2 Feldverteilung bei einer Frequenz von 380 MHz

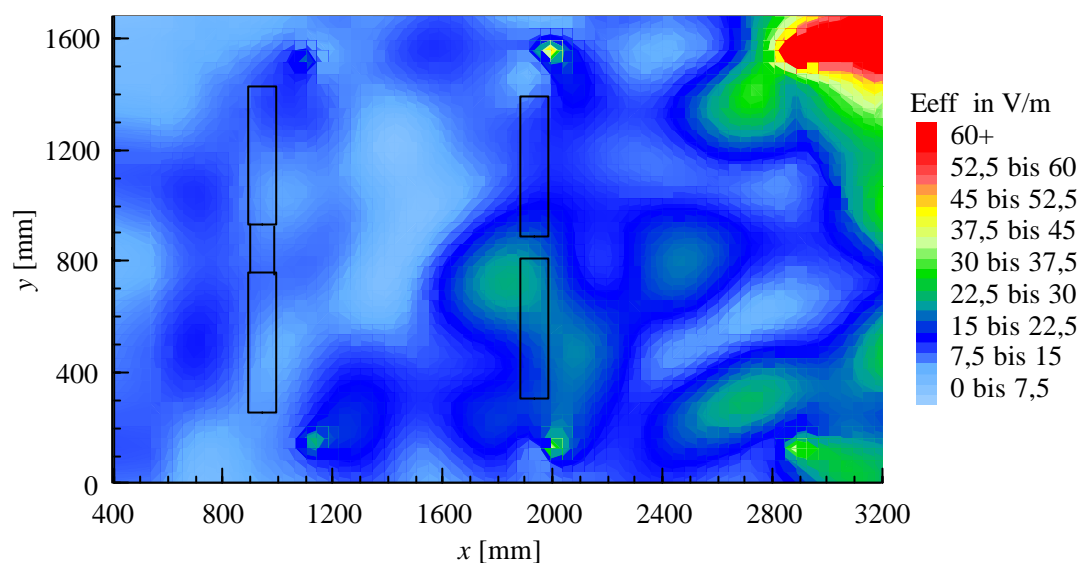


Bild 45: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

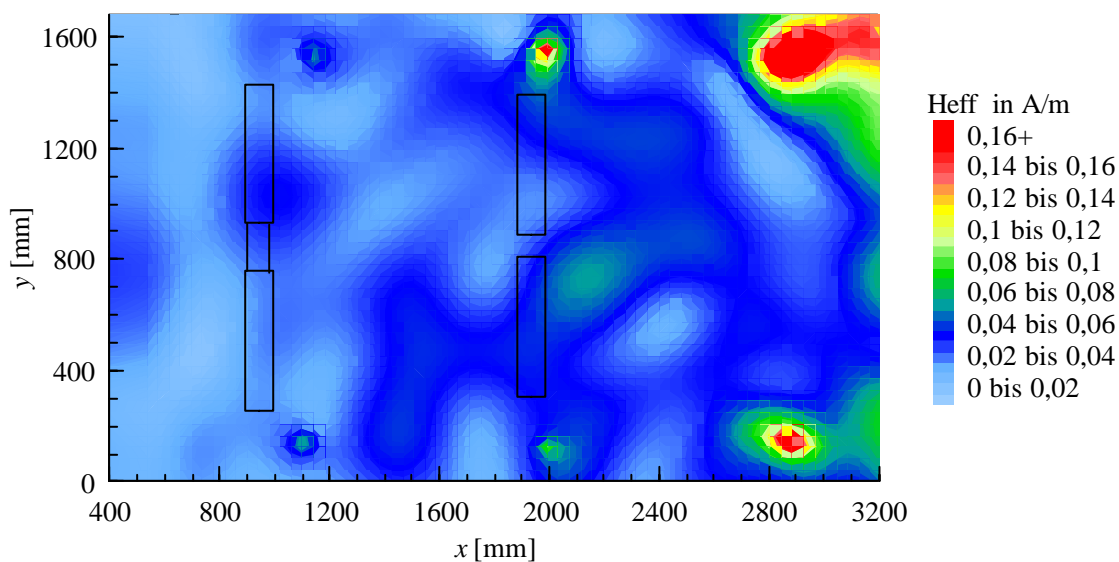


Bild 46: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 30 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Kotflügel vorne.

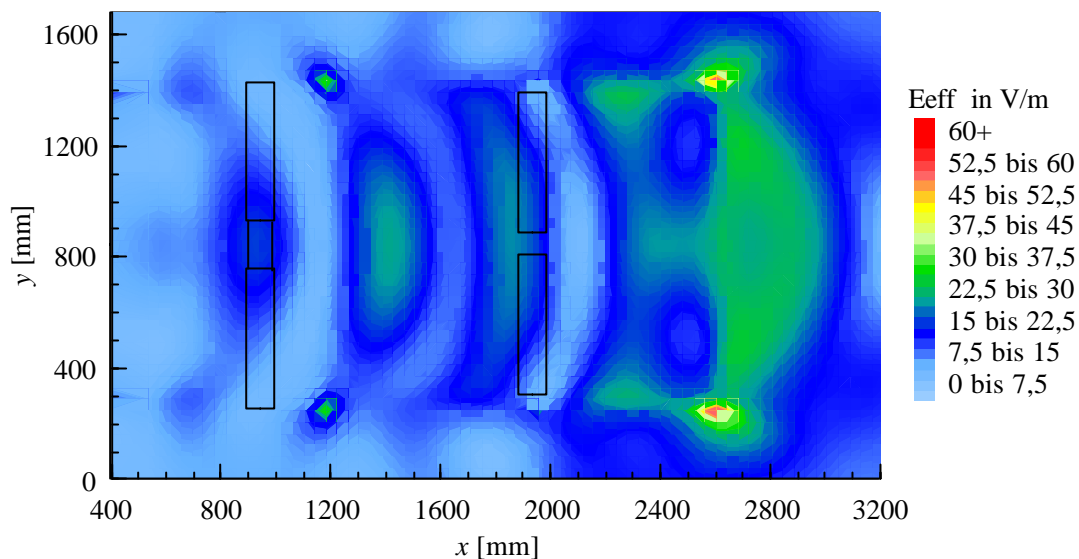


Bild 47: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Dach vorne.

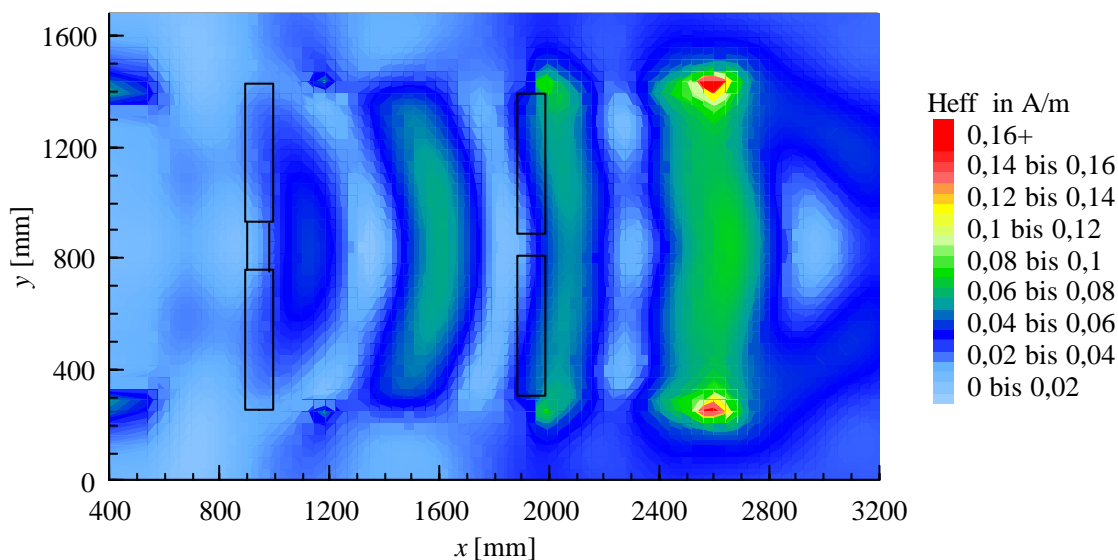


Bild 48: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Dach vorne.

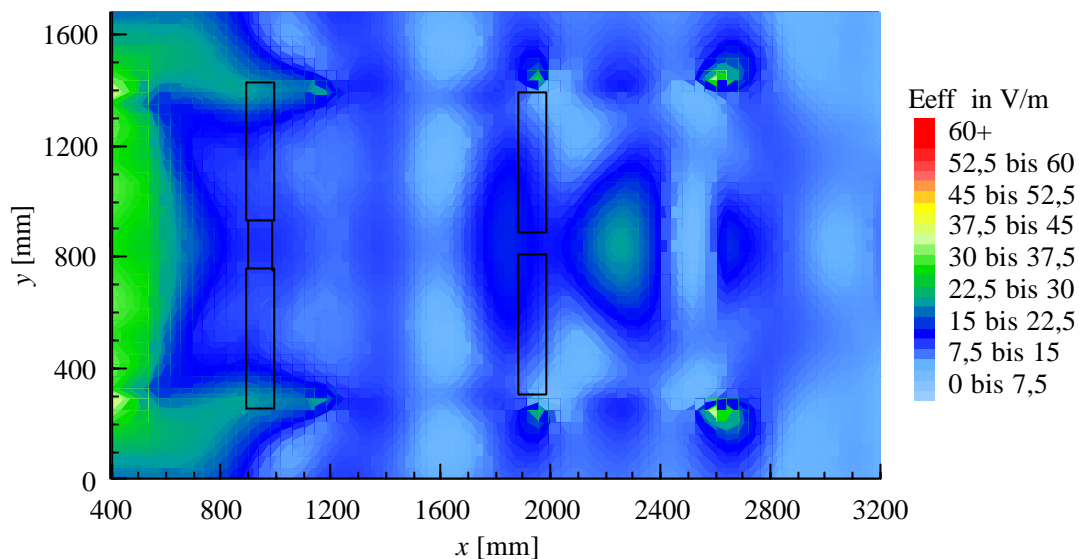


Bild 49: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Dach hinten.

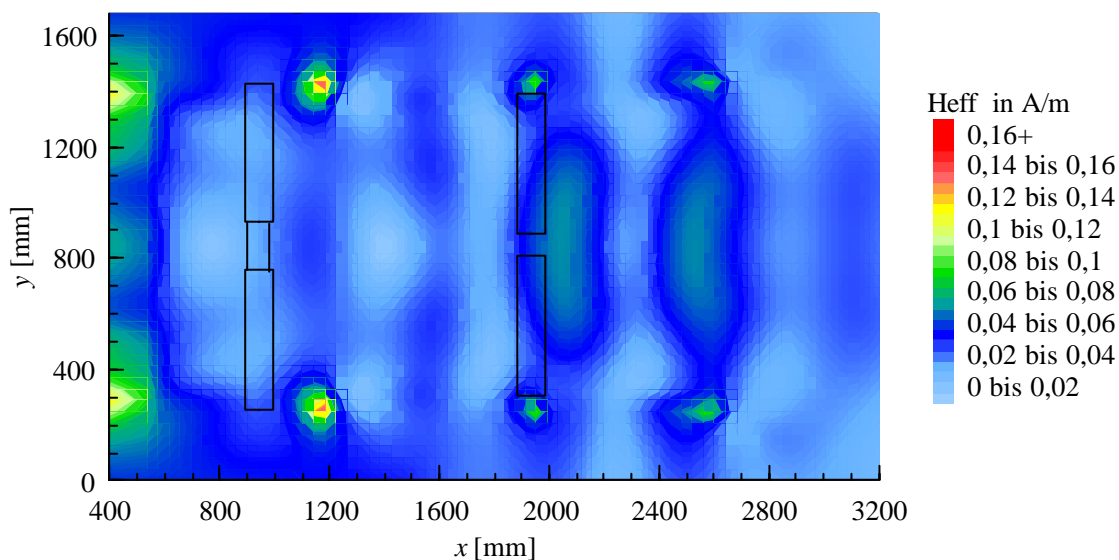


Bild 50: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 bei einer Frequenz von 380 MHz; Antennenposition: Dach hinten.

4.3 Untersuchung von Feldstärken im Fahrzeuginneren des Ford Transit

Für die meßtechnische Untersuchung mit dem dosimetrischen Meßsystem DASY inklusive Roboterarmverlängerung wird die Feldsonde entsprechend Bild 51 für die Feldstärkebestimmung auf den Vordersitzen des Fahrzeugs plaziert. Es werden insgesamt 2 Meßquader mit den Abmaßen 25 cm x 30 cm x 40 cm definiert. Die Auflösung beträgt 5 cm. Die Meßquader sind symmetrisch direkt vor dem Fahrer- und Beifahrersitz angeordnet. Die maximale Meßhöhe liegt 35 cm unterhalb des Daches.



Bild 51: Plazierung der Roboterarmverlängerung sowie der Feldsonde zur Vermessung der Feldstärke auf den Vordersitzen des Fahrzeugs Ford Transit.

4.3.1 Maximalfeldstärken im Fahrzeuginneren

Antennenposition	$f=77,335 \text{ MHz}$		$f=380 \text{ MHz}$	
	$E_{\max} [\text{V/m}]$	$H_{\max} [\text{A/m}]$	$E_{\max} [\text{V/m}]$	$H_{\max} [\text{A/m}]$
Dach vorne	18,77	< 0,04	7,54	< 0,04
Dach hinten	3,32	< 0,04	3,34	< 0,04

Tabelle 8: Meßtechnisch ermittelte Maximalfeldstärken für das Fahrzeug Ford Transit als Funktion der Antennenposition.

In Tabelle 8 sind die meßtechnisch ermittelten Maximalfeldstärken für das Fahrzeug Ford Transit als Funktion der Antennenposition zusammengefaßt. Aufgrund der Fahrzeughöhe und der Anbringung der

Antennen auf dem Fahrzeugdach wird für alle untersuchten Antennenpositionen und Frequenzen ein deutlicher Sicherheitsabstand in bezug auf die abgeleiteten Grenzwerte eingehalten. Insofern wird an dieser Stelle auf eine eingehendere grafische Darstellung der im Fahrzeuginneren auftretenden Feldstärken verzichtet.

4.4 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Kraftfahrzeuge

Die in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Meß- und Simulationsergebnisse lassen sich in gewissen Grenzen für andere Kraftfahrzeuge verallgemeinern:

- Die innerhalb des Fahrzeugs auftretenden Feldstärken hängen abgesehen vom Abstand zur Sendeantenne zusätzlich stark vom kleinsten Abstand zur Karosserie ab, da das Fahrzeug selbst als Gegenpol für die verwendeten Monopolantennen wirkt.
- Die im Fahrzeuginneren auftretenden Feldstärken erniedrigen sich bei Erhöhung der Sendefrequenz von 80 MHz auf 380 MHz.
- Die Verwendung einer Dachantenne im Bereich der Heckscheibe führt bei einer Limousine zu hohen Feldstärken auf den Rücksitzen des Fahrzeugs.
- Bei Mannschaftswagen treten in Kopfhöhe aufgrund der großen Fahrzeughöhe bei gleichzeitiger Anbringung der Sendeantenne auf dem Dach des Fahrzeugs sehr kleine Feldstärken auf.

5 Dosimetrische Bewertung von Handfunkgeräten

Die z. Zt. bei der Polizei eingesetzten analogen Betriebsfunkgeräte arbeiten im Frequenzbereich 80 MHz und 160 MHz mit Ausgangsleistungen zwischen 1 W und 6 W. Als typische Vertreter werden in dieser Untersuchung die Funkgeräte FuG 13a für den Einsatz bei 80 MHz und FuG 10a für den Einsatz bei 160 MHz analysiert. Beide Handfunkgeräte haben eine nominale Ausgangsleistung von 1 W. Für die Messungen werden die Geräte im Dauersendebetrieb eingesetzt, die vorgesehene Sendezeitbegrenzung ist aufgehoben.

Zusätzlich erfolgt die Bewertung eines Betriebsfunkgerätes, das im Frequenzbereich 450 MHz arbeitet, um Aussagen über die zukünftigen digitalen Funksysteme der Polizei im Bereich 380 - 400 MHz machen zu können. Das untersuchte Gerät AEG Teleport 10 hat eine manuell einstellbare Ausgangsleistung von 50 mW bis 5 W. Für die dosimetrische Bewertung wird das Gerät mit einer Ausgangsleistung von 500 mW betrieben, da bei höherer Ausgangsleistung die Akkukapazität nicht für die notwendige Meßzeit ausreicht.

Zur dosimetrischen Bewertung dieser Geräte existiert ein Normenentwurf der CENELEC [Cenelec 1996], in dem unter anderem die zu vermessenden Gerätepositionen definiert werden. Für den Einsatz als Betriebsfunkgerät sieht dieser Normenentwurf vor, daß das Gerät entsprechend Bild 52 vor dem Kopf des Benutzers zu positionieren ist. Der Abstand zwischen dem Mikrofon und dem Mittelpunkt des Mundes soll 5 cm betragen. Hierbei soll die vertikale Achse des Gerätes parallel zur Achse des Benutzers liegen, wobei die hierzu senkrechte Achse durch den Mittelpunkt des geschlossenen Mundes und den Mittelpunkt des Mikrophons verläuft.



Bild 52: Die Anordnung zur Messung der spezifischen Absorptionsrate innerhalb eines Ganzkörperphantoms bei Verwendung der Handfunkgeräte FuG 10a, FuG 13a und AEG Teleport 10.

Abweichend vom Normenentwurf der CENELEC werden in dieser Untersuchung 3 Besprechungsabstände ausgewertet, um die Variation der auftretenden SAR-Werte als Funktion des Besprechungsabstands erfassen zu können. Zunächst wird der Minimalabstand zwischen dem Mund des Benutzers und dem Mikrofon des Handfunkgerätes eingestellt, danach erfolgt die Auswertung des normenkonformen Besprechungsabstands von 5 cm, abschließend wird ein Besprechungsabstand von 10 cm untersucht.

Gehirn [Gandhi 1990]	Frequenz [MHz]	Ziel	gemessen
Permittivität ϵ_r	80	83	89,4
	160	65,7	67,7
	450	54	54
Leitfähigkeit σ	80	0,67 S/m	0,66 S/m
	160	0,77 S/m	0,73 S/m
	450	0,89 S/m	0,88 S/m
Dichte ρ	1,04 g/cm ³		

Tabelle 9: Die Parameter der bei der Messung verwendeten gewebesimulierenden Flüssigkeit für die untersuchten Frequenzen.

Als Nachbildung des menschlichen Körpers wird in der Messung ein Ganzkörperphantom eingesetzt, das mit einer gewebesimulierenden Flüssigkeit gefüllt ist. Die elektrischen Eigenschaften dieser Flüssigkeit entsprechen den elektrischen Parametern von Gehirngewebe [Gandhi 1990] für die Analysefrequenzen 80 MHz, 160 MHz und 450 MHz und sind in Tabelle 9 zusammengefaßt.

In den Bildern 53 - 55 sind die normenkonform gemessenen SAR-Werte für die untersuchten Funkgeräte grafisch zusammengefaßt und mit den Basisgrenzwerten aus verschiedenen Normen verglichen. Da die SAR-Verteilung im Kopf inhomogen ist, liegen die über ein kleineres Volumen gemittelten SAR-Werte entsprechend der ANSI-Norm immer über den SAR-Werten gemäß der ENV-Norm.

Die Funkgeräte halten die europäische ENV-Norm [ENV 50166] und die amerikanische ANSI-Norm [ANSI 1991] für alle untersuchten Besprechungsabstände ein. Selbst für den minimal einstellbaren Abstand zwischen dem Phantom und dem Funkgerät werden die Grenzwerte für den Expositionsbereich 1 gemäß der europäischen ENV-Norm bei allen Geräten um mehr als den Faktor 5 unterschritten. Hierbei zeigt das Funkgerät FuG 13a aufgrund der geringeren Sendefrequenz ein noch günstigeres Verhalten als das Gerät FuG 10a. Für das Gerät AEG Teleport 10 ist anzumerken, daß die maximale Ausgangsleistung um einen Faktor 10 oberhalb der in der Messung eingestellten Sendeleistung liegt.

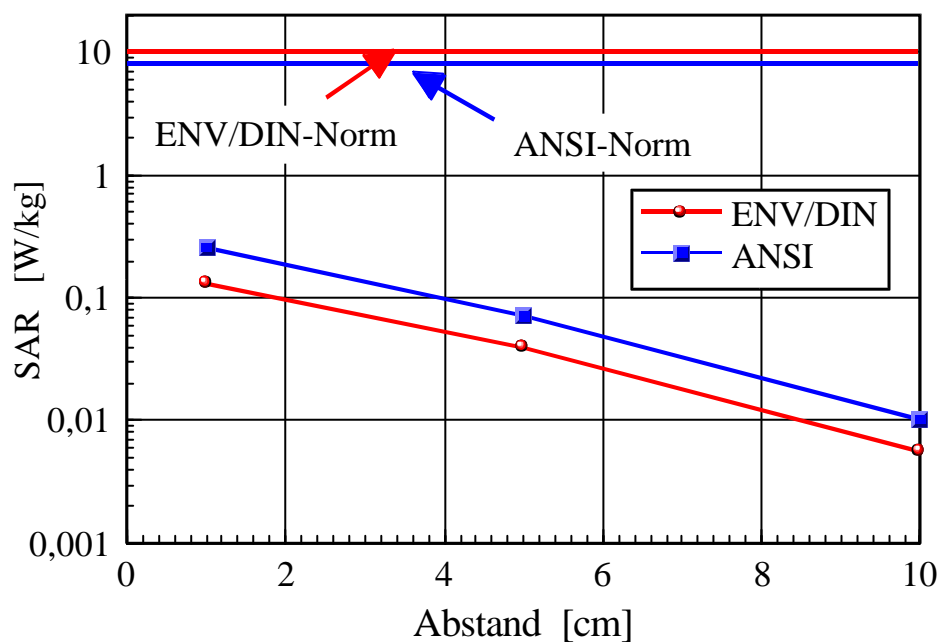


Bild 53: SAR-Werte des untersuchten Handfunkgerätes FuG 13a als Funktion des Abstands zwischen dem Mikrophon des Gerätes und dem Phantom.

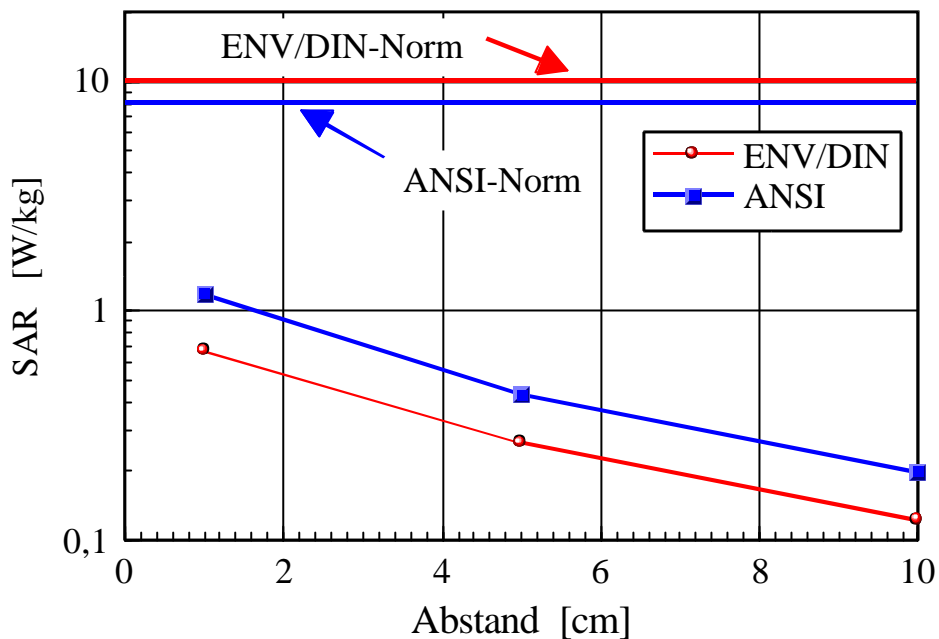


Bild 54: SAR-Werte des untersuchten Handfunkgerätes FuG 10a als Funktion des Abstands zwischen dem Mikrophon des Gerätes und dem Phantom.

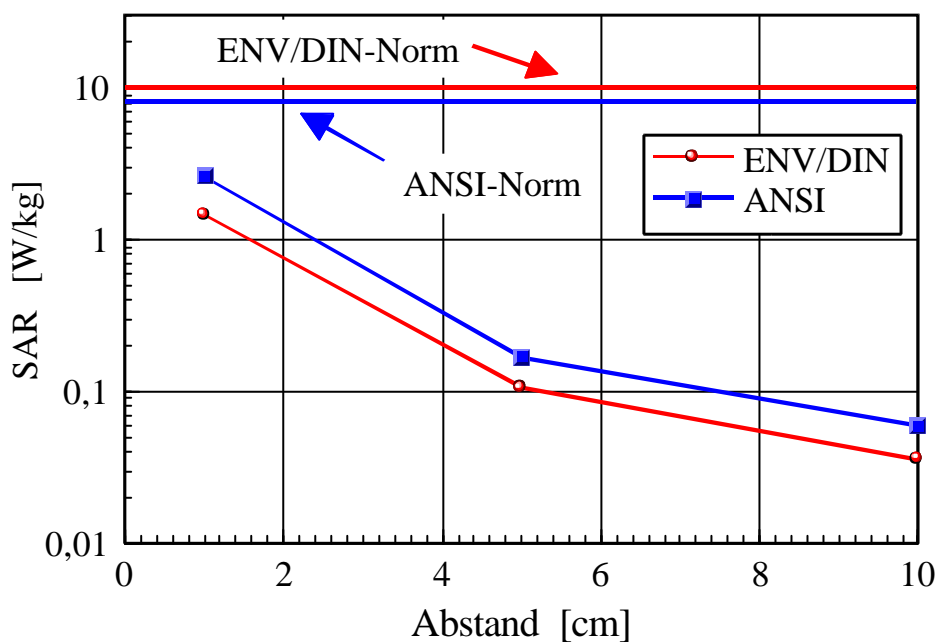


Bild 55: SAR-Werte des untersuchten Handfunkgerätes AEG Teleport 10 als Funktion des Abstands zwischen dem Mikrophon des Gerätes und dem Phantom.

6 Dosimetrische Bewertung eines verdeckten Funkgerätes

Neben Betriebsfunkgeräten kommen im Polizeibereich auch verdeckte Funkgeräte zum Einsatz, die direkt am menschlichen Körper befestigt werden. Bild 56 zeigt das untersuchte Funkgerät TX 922, das im Bereich 160 MHz auf zwei verschiedenen Kanälen betrieben wird. Zur dosimetrischen Bewertung des mit einer Ausgangsleistung von 1 W betriebenen Gerätes wird dieses auf der Unterseite des Ganzkörperphantoms nach Bild 52 angebracht. Die verwendete Wurfantenne sowie das zugehörige Mikrofonkabel wird hierbei direkt am Phantom verklebt.

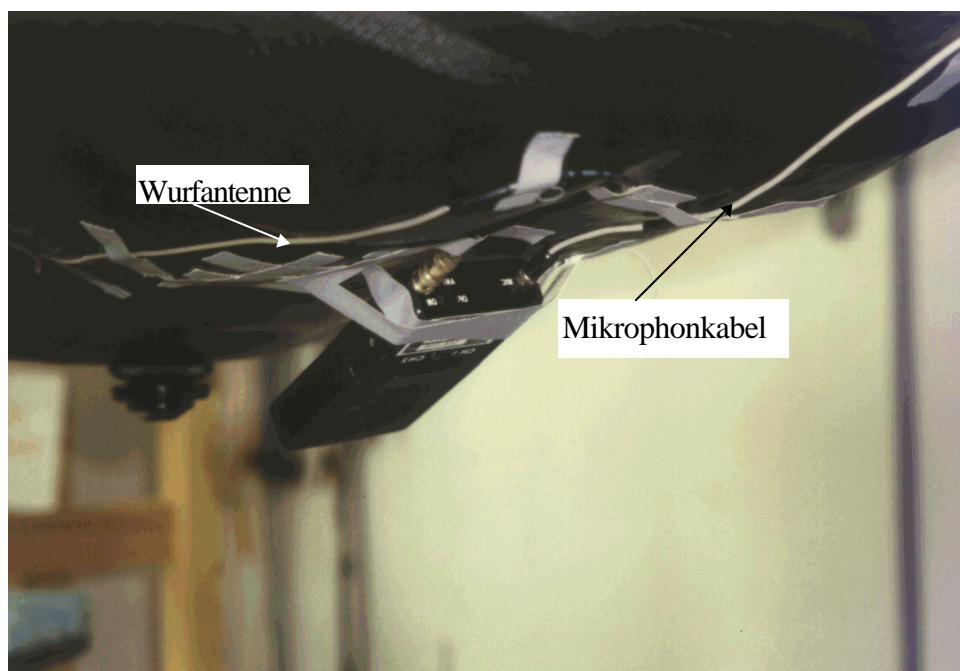


Bild 56: Die Anbringung des verdeckten Funkgerätes TX 922 auf der Unterseite des Ganzkörperphantoms nach Bild 52 zur Messung der spezifischen Absorptionsrate.

Die elektrischen Eigenschaften der gewebesimulierenden Flüssigkeit innerhalb des Ganzkörperphantoms entsprechen den elektrischen Parametern von Gehirngewebe [Gandhi 1990] für die Analysefrequenz 160 MHz und sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Gehirn [Gandhi 1990]	Ziel	gemessen
Permittivität ϵ_r	65,7	67,66
Leitfähigkeit σ	0,77 S/m	0,73 S/m
Dichte ρ	1,04 g/cm ³	

Tabelle 10: Die Parameter der bei der Messung verwendeten gewebesimulierenden Flüssigkeit für eine Frequenz von 160 MHz.

Bild 57 zeigt die meßtechnisch ermittelte Verteilung der spezifischen Absorptionsrate innerhalb des Rumpfes an der Innenseite des Ganzkörperphantoms. Wie deutlich zu erkennen ist, sind die maximalen SAR-Werte im Bereich der Wurfantenne zu finden. Das Gehäuse des Funkgerätes selbst führt zu vernachlässigbaren SAR-Werten.

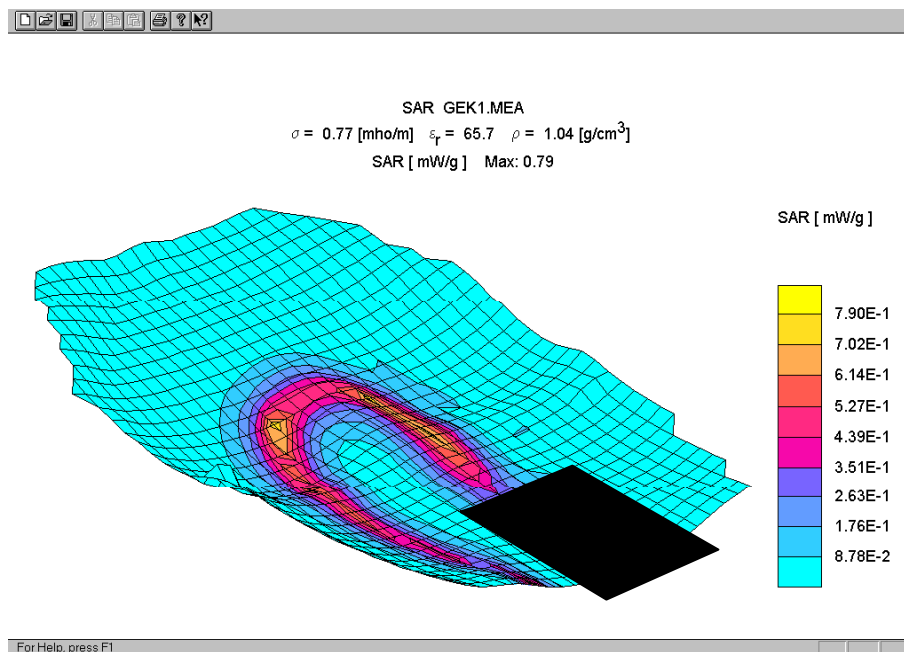


Bild 57: Verteilung der spezifischen Absorptionsrate an der Innenfläche des Phantoms bei Anbringung des Funkgerätes entsprechend Bild 56.

In Bild 58 sind die normenkonform gemessenen SAR-Werte für die beiden Kanäle des Funkgerätes grafisch zusammengefaßt und mit den Basisgrenzwerten aus verschiedenen Normen verglichen. Da die SAR-Verteilung im Ganzkörperphantom inhomogen ist, liegen die über ein kleineres Volumen gemittelten SAR-Werte entsprechend der ANSI-Norm immer über den SAR-Werten gemäß der ENV-Norm.

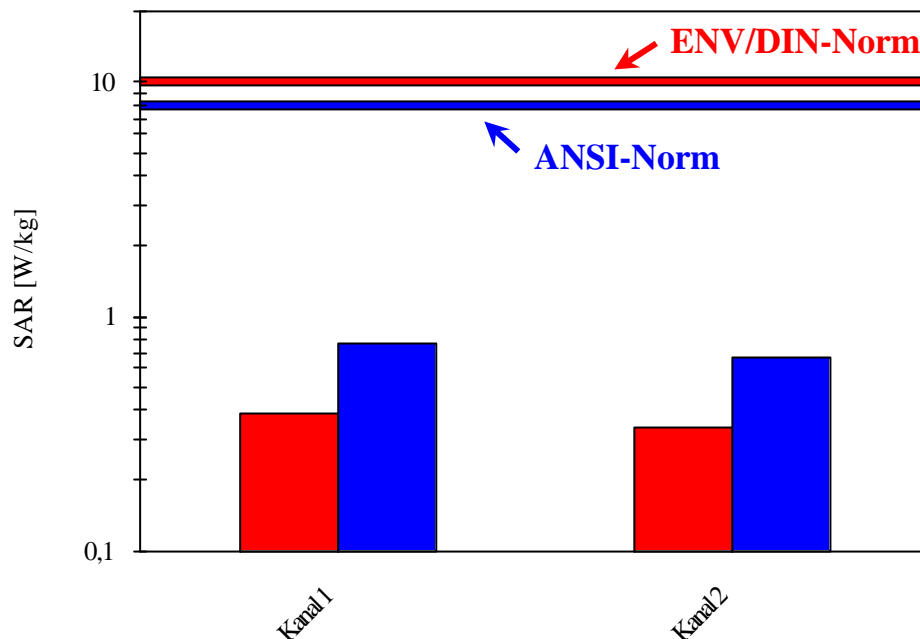


Bild 58: Die gemessenen SAR-Werte für das Gerät TX 922 im Vergleich zum Grenzwert der ENV- bzw. ANSI-Norm bei Anbringung des Funkgerätes entsprechend Bild 56.

Das Gerät TX 922 hält die europäische ENV-Norm [ENV 50166] und die amerikanische ANSI-Norm [ANSI 1991] für beide Kanäle ein. Die Grenzwerte für den Expositionsbereich 1 werden um mehr als den Faktor 10 unterschritten.

7 Zusammenfassende Bewertung

Im Auftrag der Polizei-Führungsakademie in Münster wurden Untersuchungen zur elektromagnetischen Umweltverträglichkeit von in Kraftfahrzeugen betriebenen Mobilfunkgeräten der Polizei vorgenommen. Für die drei untersuchten Fahrzeugtypen (VW Passat Limousine B4, VW Passat Variant B4, Ford Transit) zeigte sich, daß die sowohl numerisch als auch meßtechnisch bestimmten Ersatzfeldstärken im Fahrzeuginneren die abgeleiteten Grenzwerte für den Expositionsbereich 1 der verwendeten Normen überwiegend einhalten. Teilweise konnte eine geringfügige Überschreitung der abgeleiteten Grenzwerte festgestellt werden.

Die zusätzlich untersuchten Handfunkgeräte im Bereich 80 MHz (FuG 13a), 160 MHz (FuG 10a) und 450 MHz (AEG Teleport 10) sowie ein verdecktes Gerät hielten die Basisgrenzwerte der verwendeten Normen für die spezifische Absorptionsrate SAR ein. Hierbei wurde eine Standardgeräteposition entsprechend eines Normenentwurf der CENELEC [Cenelec 1996] verwendet.

Eine abschließende Wertung über eine potentielle Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit durch die Verwendung derartiger Geräte ergibt sich durch diese Untersuchung jedoch nicht. Hier muß auf die laufende biologisch/medizinische Forschung im Bereich der Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf den Menschen verwiesen werden.

8 Literaturverzeichnis

- [ANSI 1991] ANSI C95.1: IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, Inst. of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1991.
- [BImSchV 1996] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes: Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV, 1996.
- [Cenelec 1995] Comité Européen de Normalisation Electrotechnique: Survey on Data concerning Biological Effects on the Human Body (Including Implants) of Electromagnetic Waves in the Frequency Range of 80 MHz - 6 GHz, 1995.
- [Cenelec 1996] Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, SC211/B, WGMTE: Safety considerations for human exposure to EMF from MTE in the frequency range 30 MHz to 6 GHz, second draft, Rom, Feb. 1996, third draft, Zürich, April 1996.
- [Concept] H. Singer, Technische Universität Hamburg-Harburg, *CONCEPT II*.
- [DASY 95] Referenzliste des Herstellers, der Fa. Schmid & Partner Engineering AG, über installierte DASY-Systeme mit RX90 Robotern: Deutsche Telekom, Forschungs- und Technologiezentrum; Motorola Cellular - MRO; Motorola; Ericsson Mobile Communications AB; Nokia Mobile Phones LTD; Institut für Mobil- und Satellitenfunktechnik IMST, 1995.
- [DIN 0848 82] Deutsche Norm (in Kraft): Gefährdung durch elektromagnetische Felder, Meß- und Berechnungsverfahren, DIN 57 848 Teil 1 = DIN VDE 0848 Teil 1, 1982.
- [DIN 0848 84] Deutsche Norm (außer Kraft): Gefährdung durch elektromagnetische Felder, Schutz von Personen im Frequenzbereich von 10 kHz bis 300 GHz, DIN 57 848 Teil 2 = DIN VDE 0848 Teil 2, 1984.
- [DIN 0848 91] Deutsche Norm (Entwurf): Sicherheit in elektromagnetischen Feldern, Schutz von Personen im Frequenzbereich von 30 kHz bis 300 GHz, DIN VDE 0848 Teil 2, Oktober 1991.
- [ENV 50166] European Prestandard ENV 50166-2: Human exposure to electromagnetic fields - High frequency (10 kHz to 300 GHz), CENELEC, January 1995.
- [FCC 1996] Federal Communications Commission: Report and order: Guidelines for evaluating the environmental effects of radiofrequency radiation, Tech. Rep. FCC 96-326, FCC, 1996.
- [Gandhi 1990] O. P. Gandhi: Biological Effects and Medical Applications of Electromagnetic Energy, London, Prentice Hall, S 88-89, 1990.
- [IRPA 1988] IRPA Guidelines: Guidelines on Limits of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 100 kHz to 300 GHz, In: Health Physics, Bd. 54, No. 1, S. 115-123, 1988.
- [IRPA 1991] A. S. Duchene and J. R. A. Lakev: The IRPA guidelines on protection against non-ionizing radiation, In: The collected publication of the IRPA, Chapter 5, New York: Pergamon Press, S. 72-82, 1991.
- [SSK 1993] Bundesamt für Strahlenschutz: Schutz vor elektromagnetischen Feldern -Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission, SSK/6-93/EMF, 1993.
- [VW 1997] Volkswagen AG: Persönliche Mitteilungen, 1997.
- [WHO 1993] WHO/IRPA task group on electromagnetic fields: „Environmental Health Criteria 137, Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz)“, WHO, Geneva, 1992.
- [ZPD 1996] IMST GmbH: Vermessung von Feldstärken an einem Polizeimotorrad, 1996.

**IMST GmbH, Institut für Mobil- und
Satellitenfunktechnik**

Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2
D-47475 Kamp-Lintfort

Tel. 0 2842 / 981 - 370

Fax 0 2842 / 981 - 398

email: bahr@imst.de