



Bericht

Vermessung von Feldstärken an einem Polizeimotorrad

Angefertigt am
**Institut für Mobil- und
Satellitenfunktechnik**
im Oktober 1996

Berichtersteller:
Dr. P. Nevermann

Inhaltsverzeichnis

1 GEGENSTAND DER UNTERSUCHUNG.....	3
2 NORMUNG ZUM PERSONENSCHUTZ IN DER HOCHFREQUENZTECHNIK.....	3
2.1 <i>NORMENGEBENDE ORGANISATIONEN.....</i>	3
2.2 <i>RECHTLICHE EINORDNUNG VON NORMEN.....</i>	4
2.3 <i>UNTERSCHIEDUNG VON BEREICHEN, EXPOSITIONSZEITEN UND FREQUENZEN.....</i>	4
2.4 <i>BASISGRENZWERTE UND ABGELEITETE GRENZWERTE.....</i>	5
2.5 <i>ÜBERSICHT ÜBER DIE RELEVANTEN GRENZWERTE.....</i>	6
3 DAS DOSIMETRISCHE MEßSYSTEM DASY.....	7
3.1 <i>ANPASSUNG DES SYSTEMS ZUR VERMESSUNG VON FELDERN AN EINEM MOTORRAD.....</i>	8
3.2 <i>TECHNISCHE PARAMETER DES MEßSYSTEMS.....</i>	9
4 MEßERGEBNISSE.....	9
4.1 <i>MEßPOSITIONEN.....</i>	9
4.2 <i>MEßUMGEBUNG.....</i>	11
4.3 <i>VERTEILUNGEN DES E-FELDES.....</i>	12
4.4 <i>VERTEILUNGEN DES H-FELDES.....</i>	19
5 BEWERTUNG.....	25
6 LITERATURVERZEICHNIS.....	26
7 MESSPROTOKOLL.....	27

1 Gegenstand der Untersuchung

Im Auftrag des Zentralen Polizeitechnischen Dienstes (ZPD) des Landes Nordrhein-Westfalen wurden die magnetischen und elektrischen Felder vermessen, die bei der Benutzung des an einem Motorrad vom Typ BMW K75 eingebauten Funksystems am Platz des Fahrers auftreten. Betrieben wird das Funkgerät im 4 m Band mit einer Leistung von 10 W, wobei die Antenne an der Vorderseite der Motorradverkleidung angebracht ist. Ziel der am IMST vorgenommenen Untersuchung war die meßtechnische Bestimmung der elektrischen und magnetischen Feldstärkeverteilung und ein Vergleich der Ergebnisse mit den Grenzwerten aus nationalen und europäischen Normen zum Schutze des Menschen vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch elektromagnetische Felder.

Gemessen wurde in zwei unterschiedlichen Volumina, die in Absprache mit dem ZPD festgelegt worden waren. Es handelte sich dabei um einen Bereich mit der Kantenlänge von 60 cm im Bereich des Motorradfahrers und um einen zweiten Bereich von 30 cm bzw. 35 cm Ausdehnung vor dem Mikrofon, der deshalb von besonderem Interesse ist, weil bei Benutzung des Sprechfunks das eingebaute Mikrofon am Lenker den Fahrer zu einer Haltung provoziert, bei der sich dessen Kopf in einem solchen Bereich vor dem Mikrofon befindet.

Alle Untersuchungen wurden unter Verwendung des weiter unten näher charakterisierten Meßsystems „DASY“ ausgeführt.

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 1995] 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.

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 [SKK 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 Funkanlagen; die Empfehlung der Strahlenschutzkommission hat, ihrem Namen entsprechend, ebenso wie die freiwilligen Verbraucherschutznormen keinen rechtsverbindlichen Charakter. In jüngster Zeit hat es Bestrebungen gegeben, die Norm DIN 0848 Teil 2 zur "Gefährdung durch elektromagnetische Felder, Schutz von Personen im Frequenzbereich von 10 kHz bis 300 GHz" [DIN 0848 91] in geltendes Recht umzusetzen. So hat die Bundesregierung am 22. Mai 1996 erstmals eine Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz zum Schutz der Bevölkerung vor den Auswirkungen elektromagnetischer Felder beschlossen. Diese hat aber bisher noch nicht den Bundesrat passiert (Stand Oktober 1996). Die DIN Normen hatten bereits seit längerer Zeit eine große Bedeutung, weil von der Justiz bei entsprechenden Gerichtsverfahren diese Normen in der Regel als Meinungs- und Stellungnahme von ausgewiesenen Fachleuten herangezogen wird.

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.

Am IMST existiert eine, während langjähriger eigener Forschungen erarbeitete Datenbank zum Thema „Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder“. Fast alle Normen basieren auf einer Auswertung der Wirkung von ausschließlich thermischen Effekten auf den menschlichen Körper. Zusätzlich sind auch andere (athermische) Effekte in der Diskussion, die aber in der vorliegenden Untersuchung keine Berücksichtigung finden.

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 1991] 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 Kurzzeitexposition 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 1991] 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 biologischen Wirkungen in Bezug gesetzt werden. Eine Begrenzung der spezifische Absorptionsrate für Felder mit Frequenzen größer als 100 kHz [DIN 0848 1991] verhindert eine übermäßige Erwärmung des menschlichen Körpers, während für tiefere Frequenzen eine gesundheitliche Beeinträchtigung durch induzierte Körperströme vermieden werden soll und deshalb die Stromdichte als biologisch relevante Größe begrenzt wird.

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

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

festgelegt worden, 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. Die dazu verwendete elektrische Feldstärke E_{eff} wird als Ersatzfeldstärke bezeichnet und läßt sich aus den Effektivwerten der räumlichen Komponenten des Feldstärkevektors \mathbf{E} ohne Berücksichtigung der Phasenbeziehungen gemäß:

$$E_{\text{eff}} = \sqrt{E_{x,\text{eff}}^2 + E_{y,\text{eff}}^2 + E_{z,\text{eff}}^2} \quad (1)$$

bestimmen (*rms-value*). Die Ersatzfeldstärke H_{eff} für das magnetische Feld wird analog berechnet.

Die Grenzwerte für E_{eff} , H_{eff} und für die Leistungsflußdichte $S = E_{\text{eff}} \times H_{\text{eff}}$ werden in den Normen so festgelegt, daß selbst unter einer Zugrundelegung der ungünstigsten Einwirkungsbedingungen der Felder die Basisgrenzwerte nicht überschritten werden. Bei Auftreten von gepulsten Feldern bzw. Sendern, die kürzer als 6 Minuten in Betrieb sind, kann dies bei einem Vergleich mit den Grenzwerten berücksichtigt werden. Zu beachten ist dann allerdings, daß für besonders kurze Impulse eventuell die zusätzlichen Grenzwerte für die Spitzenwerte in den Impulsen berücksichtigt werden müssen.

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 neuesten 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

Norm	Status	E_{eff} [V/m]	H_{eff} [A/m]	S [W/m ²]	Quelle
ANSI C95.1	in Kraft	61,4	0,20	10	[ANSI 1991]
CENELEC ENV 50166-2, 1995	Entwurf	61,4	0,16	10	[ENV 50166 1995]
DIN VDE 0848 Teil 2, 1984	in Kraft	100	0,25	25	[DIN 0848 1984]
DIN VDE 0848 Teil 2, 1991	Entwurf	61,4	0,16	10	[DIN 0848 1991]
IRPA	in Kraft	61	0,16	10	[IRPA 1991]

Tabelle 1: Übersicht über die relevanten Grenzwerte für den Expositionsbereich 1 (kontrollierte Bereiche, bzw. berufsbedingte Exposition (*workers*)) für 80 MHz.

In Tabelle 1 sind die Grenzwerte angegeben, die für Personen beachtet werden müssen, die sich im beruflichen Einsatz befinden und länger als 6 Minuten einem elektromagnetischen Feld ausgesetzt sein

könnten. Für kürzere Expositionszeiten sind im aktuellen Normentwurf des DIN folgende Beziehungen zur Bestimmung der Grenzwerte angegeben [DIN 0848 91]:

$$E_{\text{eff}} < \sqrt{\frac{22,6 \times 10^3}{t / \text{min}}} \quad \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad (2)$$

und

$$H_{\text{eff}} < \sqrt{\frac{0,16}{t / \text{min}}} \quad \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad (3)$$

Darüber hinaus sind in dieser Norm noch Spitzengrenzwerte aufgeführt, die unter allen Umständen, also auch während eines Impulses, eingehalten werden müssen: $E_{\text{eff,Spitze}} = 2000 \text{ V/m}$ und $H_{\text{eff,Spitze}} = 5 \text{ A/m}$.

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, ein Phantom zur Nachbildung des menschlichen Kopfes 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 Umsetzung auf Lichtleiterkabel vornimmt. Die Sonde registriert gleichzeitig alle drei räumlichen Feldkomponenten und läßt eine direkte Messung der effektiven Ersatzfeldstärke E_{eff} nach Gl. (1) zu. Das Bild 1 zeigt das System bei der Vermessung der Feldverteilung an einem Mobil-

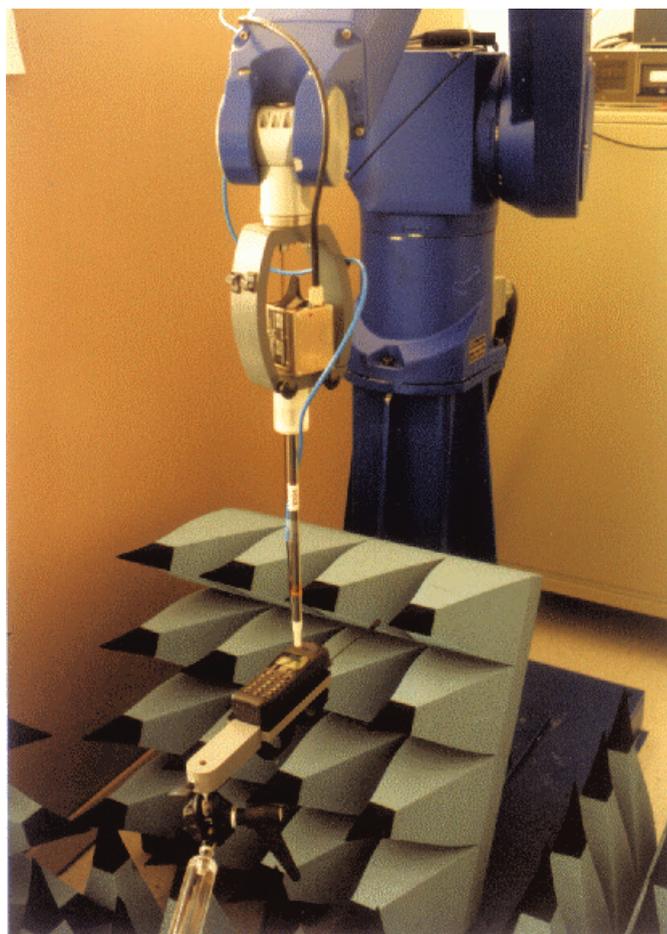


Bild 1: Die Vermessung von Feldverteilungen an einem Mobilfunktelefon mittels des DASY-Systems.

funktelefon. 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 zur Vermessung von Feldern an einem Motorrad

Um auch Feldverteilungen an oder in größeren Objekten vornehmen zu können, mußte das Meßsystem modifizierter Form verwendet werden. Zunächst ist das System einschließlich der Steuerelektronik des Roboters beweglich gehalten, um Messungen u.a. auch im Freifeld ausführen zu können, wie dies im Bild 2 zu sehen ist. Darüber hinaus wurde eine Verlängerung des Roboterarmes eingesetzt, die eine Vermessung von Feldern an oder in größeren Objekten ermöglichte. Die Verwendung einer insgesamt 3 m langen Konstruktion (2,1 m Abstand zwischen Sonde und „Roboterhand“) aus unbehandeltem Holz führte dazu, daß sich außer der Sonde selbst mit ca. 5 mm Durchmesser des Meßvolumens und der Sondenelektronik ($5 \times 6 \times 7$ cm) keine größeren Metallteile in der Nähe der zu vermessenden Sendeanlage befanden. Die Verbindung zwischen der Sonde und der Sondenelektronik, die für eine Weiterleitung der Meßgrößen bis zum Computer via Lichtleiterkabel sorgte, bestand aus einer ca. 30 cm langen, hochohmigen Graphitleitung, so daß die Sondenkonstruktion das zu vermessende Feld nicht störte.

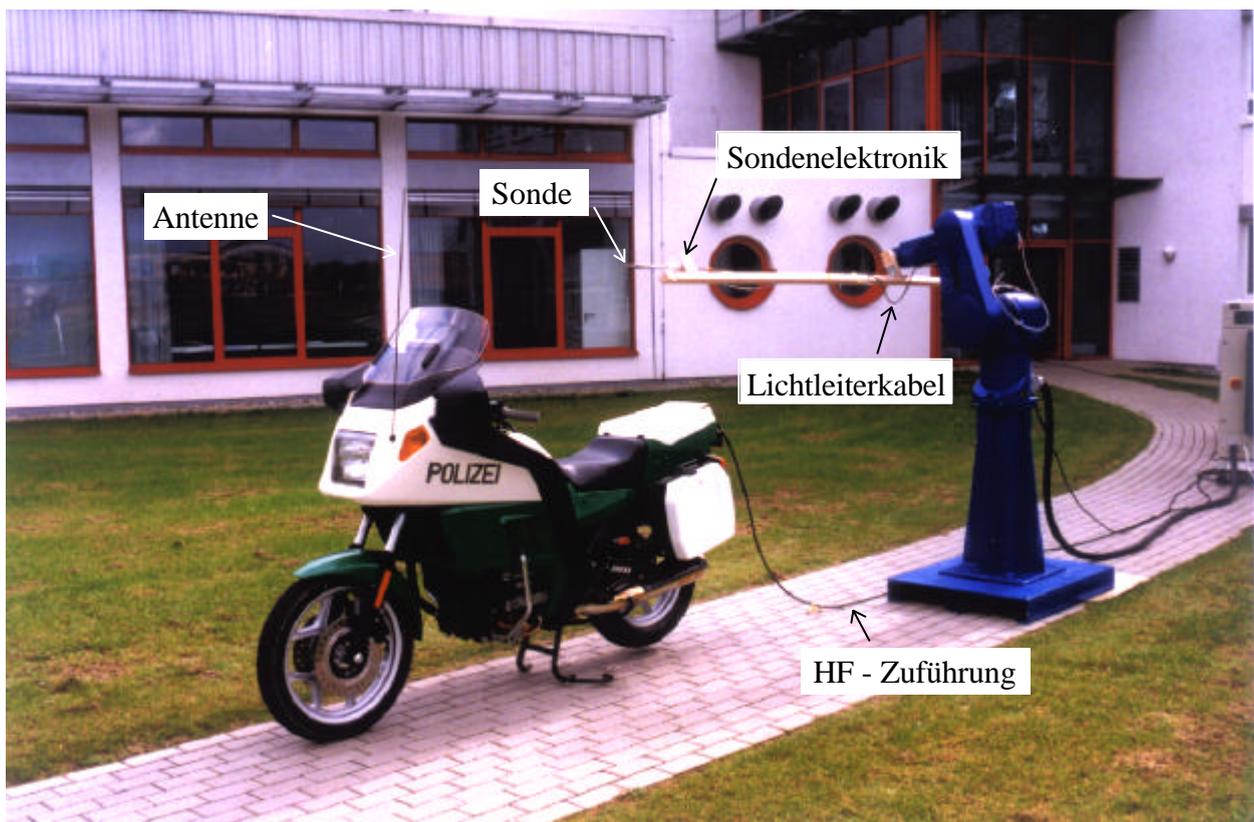


Bild 2: Die Vermessung von Feldverteilungen an einem Polizeimotorrad unter Verwendung des DASY-Systems mit einer Verlängerung für den Roboterarm.

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 2: Angaben zu den Sonden des DASY-Systems.

Parameter	Nachweisgrenze (Rauschen)
Feldstärkewerte für das elektrische Feld (Freifeld)	1,5 V/m
Feldstärkewerte für das magnetische Feld (80 MHz)	0,017 A/m

Tabelle 3: Angaben zur Empfindlichkeit von DASY.

4 Meßergebnisse

4.1 Meßpositionen

Es sind Messungen in zwei unterschiedlichen Raumbereichen und entlang zweier Linien ausgeführt worden. Zur Beschreibung der einzelnen Meßpositionen wurde ein Koordinatensystem eingeführt, dessen Ursprung in der Mitte des Fahrzeuges, in Höhe des Starterknopfes und ca. 15 cm über der Mitte der Lenkergriffe liegt. Die Orientierung des kartesischen System zeigt die Skizze im Bild 3. Bei Ausrichtung des Mikrophons in Richtung des Kopfes eines virtuellen Fahrers liegt die Mikrophonspitze an dem Punkt ($x = -10$ cm, $y = -0,5$ cm und $z = 0$). Die zwei untersuchten Raumbereiche, die in Bild 4 skizziert sind, haben eine Größe von 60 cm bzw. 30 und 35 cm Kantenlänge. Alle Positionen und Meßbereiche sind in Abstimmung mit dem Auftraggeber festgelegt worden. Der große Raumbereich umfaßt das Gebiet -30 cm $\leq x \leq 30$ cm, $0 \leq y \leq 60$ cm und $0 \leq z \leq +60$ cm. Die Position des kleinen Bereiches soll den räumlichen Bereich des Kopfes eines Fahrers beschreiben, der das Mikrophon benutzt und sich nach vorn beugt. Die Lage des kleinen Quaders wurde mit -30 cm $\leq x \leq 0$, -5 cm $\leq y \leq 25$ cm und $-5 \leq z \leq +30$ cm bzw. für die H -Feld Messungen mit $0 \leq z \leq +30$ cm festgelegt.

Bei der Messung im kleineren Raumbereich ist das Mikrophon entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers senkrecht gestellt worden, während bei allen anderen Messungen das Mikrophon in Richtung des Motorradfahrer Kopfes ausgerichtet war.

Beide Raumbereiche sind in Ebenen mit konstanter y -Position unterteilt worden. Die Ebenen hatten einen Abstand von 10 cm beim großen Würfel und 5 cm beim kleinen Quader. In den Ebenen wurde

grundsätzlich mit einer räumlichen Auflösung von 5 cm gemessen. Dies liefert 1183 Meßpunkte für den großen Würfel und 392 Punkte für den kleinen Bereich (pro Frequenz und Feldtyp). Alle folgenden Ergebnisse sind in Form von effektiven Ersatzfeldstärken E_{eff} und H_{eff} entsprechend Gl. (1) angegeben, die einen direkten Vergleich mit den Grenzwerten zulassen. Alle andere Angaben zur experimentellen Ausführung sind im Kapitel 7 zusammengefaßt.

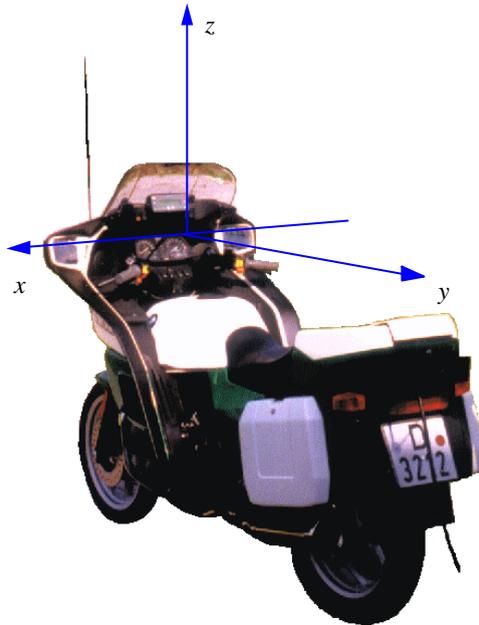


Bild 3: Das Koordinatensystem zur Beschreibung der Meßpositionen.

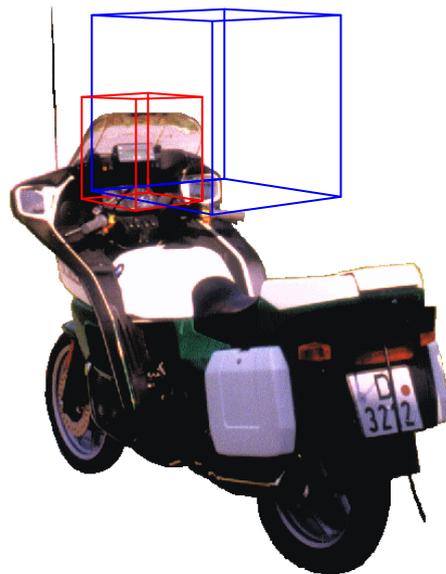


Bild 4: Die zwei Meßbereiche: Ein kleiner Quader mit 30 cm bzw. 35 cm Kantenlänge und ein großer Würfel und 60 cm Kantenlänge. Bei Messungen im größeren Bereich wurde das Mikrophon in Richtung des Fahrer Kopfes und für die Messungen im kleineren Bereich senkrecht ausgerichtet.

4.2 Meßumgebung

Zusätzlich zu den Messungen in den beiden Raumbereichen aus Bild 4 sind Messungen entlang zweier Linien in Abhängigkeit von der Meßumgebung ausgeführt worden, die in Bild 5 skizziert sind. Das Ergebnis ist in Bild 6 dargestellt und zeigt bei Berücksichtigung der erreichbaren Genauigkeit der Feldstärkemessungen gemäß den Angaben in den Tabellen 2 und 3, daß die Messung in einem Raum (ungeschirmte Halle, keine Absorber) mit einer Größe von ca. 8×8 m und einer Höhe von ca. 5 m mit den Messungen im Freifeld (auf einem Weg, siehe Bild 2) äquivalent sind. Alle weiter unten aufgeführten Meßergebnisse sind in der Halle erzielt worden.

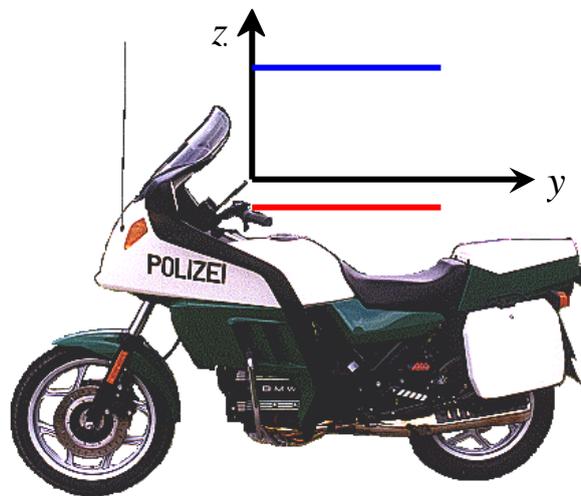


Bild 5: Die Position der beiden Meßlinien ($x = 0$, $z = -10$ cm und $z = +40$ cm) für einen Vergleich zwischen Freifeldmessung und Messung in einer Halle.

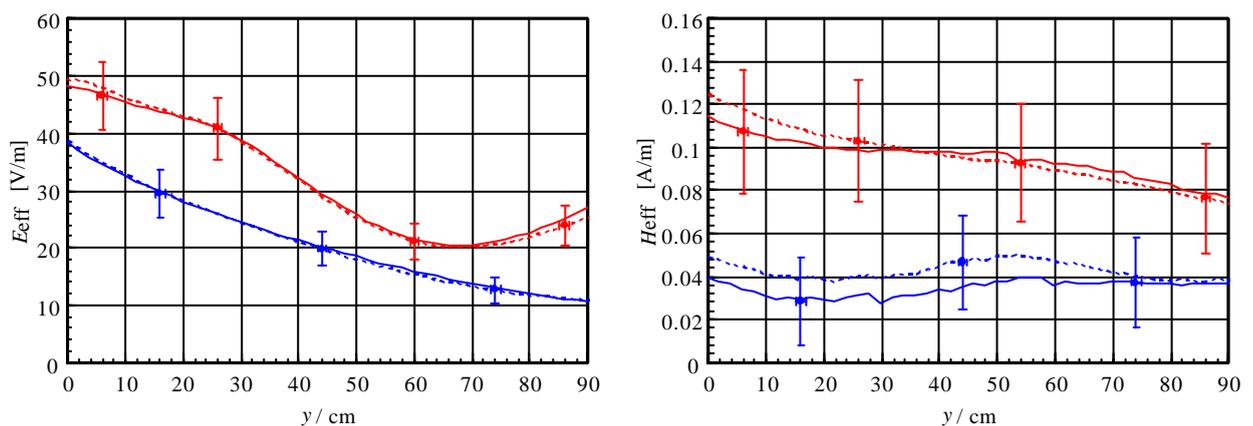


Bild 6: Der Verlauf der Feldstärke E_{eff} und H_{eff} entlang der beiden Linien aus Bild 5 für den Fall der Vermessung im Freien (unterbrochene Linien) bzw. in einer Halle (durchgezogene Linien), gültig für 10 W bei 80 MHz.

4.3 Verteilungen des E -Feldes

Die Bilder 7 bis 11 zeigen grafische Darstellungen der Verteilungen der elektrischen Feldstärke E_{eff} in verschiedenen Meßebenen. Die gefundenen Maximalwerte pro Ebene sind in den Tabellen 4 bis 7 und für eine erweiterte Meßebene in der Tabelle 8 zusammengefaßt.

Maximalwert	Ebene (y-Position)	Seitliche Position (x)	Höhe (z-Position)
(179 ± 21) V/m	0 (y = 0 cm)	+10 cm	0 cm
(82 ± 11) V/m	1 (y = 10 cm)	-30 cm	0 cm
(56 ± 8) V/m	2 (y = 20 cm)	-30 cm	0 cm
(40 ± 6) V/m	3 (y = 30 cm)	-25 cm	0 cm
(31 ± 5) V/m	4 (y = 40 cm)	-15 cm	0 cm
(24 ± 4) V/m	5 (y = 50 cm)	-10 cm	0 cm
(19 ± 3) V/m	6 (y = 60 cm)	-5 cm	0 cm

Tabelle 4: Maximale Feldstärkewerte des elektrischen Feldes E_{eff} für die einzelnen Meßebenen des großen Meßbereiches mit 60 cm Kantenlänge für 10 W bei 80 MHz. Das absolute Maximum liegt vor dem Mikrofon, das in Richtung des Kopfes des Motorradfahrers ausgerichtet ist.

Maximalwert	Ebene (y-Position)	Seitliche Position (x)	Höhe (z-Position)
(147 ± 18) V/m	0 (y = 0 cm)	+10 cm	0 cm
(62 ± 8) V/m	1 (y = 10 cm)	-30 cm	0 cm
(41 ± 6) V/m	2 (y = 20 cm)	+30 cm	0 cm
(30 ± 5) V/m	3 (y = 30 cm)	+25 cm	0 cm
(24 ± 4) V/m	4 (y = 40 cm)	+10 cm	5 cm
(21 ± 4) V/m	5 (y = 50 cm)	+15 cm	0 cm
(20 ± 4) V/m	6 (y = 60 cm)	+10 cm	0 cm

Tabelle 5: Maximale Feldstärkewerte des elektrischen Feldes E_{eff} für die einzelnen Meßebenen des großen Meßbereiches mit 60 cm Kantenlänge für 10 W bei 74 MHz. Das absolute Maximum liegt vor dem Mikrofon, das in Richtung des Kopfes des Motorradfahrers ausgerichtet ist.

Maximalwert	Ebene (y-Position)	Seitliche Position (x)	Höhe (z-Position)
(107 ± 13) V/m	-5 cm	+25 cm	-5 cm
(123 ± 15) V/m	0 cm	+25 cm	-5 cm
(98 ± 12) V/m	+5 cm	+25 cm	-5 cm
(78 ± 10) V/m	+10 cm	+30 cm	-5 cm
(61 ± 8) V/m	+15 cm	+30 cm	-5 cm
(50 ± 7) V/m	+20 cm	+30 cm	-5 cm
(42 ± 6) V/m	+25 cm	+25 cm	-5 cm

Tabelle 6: Maximale Feldstärkewerte des elektrischen Feldes E_{eff} für die einzelnen Meßebenen des kleinen Meßbereiches für 10 W bei 80 MHz. Das absolute Maximum liegt in der Nähe des linken Griffes am Lenker.

Maximalwert	Ebene (y-Position)	Seitliche Position (x)	Höhe (z-Position)
(127 ± 15) V/m	+5 cm	+5 cm	+10 cm
(106 ± 13) V/m	0 cm	+30 cm	-5 cm
(90 ± 11) V/m	+5 cm	+30 cm	-5 cm
(74 ± 10) V/m	+10 cm	+30 cm	-5 cm
(58 ± 8) V/m	+15 cm	+30 cm	-5 cm
(46 ± 6) V/m	+20 cm	+30 cm	-5 cm
(38 ± 6) V/m	+25 cm	+30 cm	-5 cm

Tabelle 7: Maximale Feldstärkewerte des elektrischen Feldes E_{eff} für die einzelnen Meßebenen des kleinen Meßbereiches für 10 W bei 74 MHz. Das absolute Maximum liegt vor dem Mikrophon, das senkrecht nach oben zeigt.

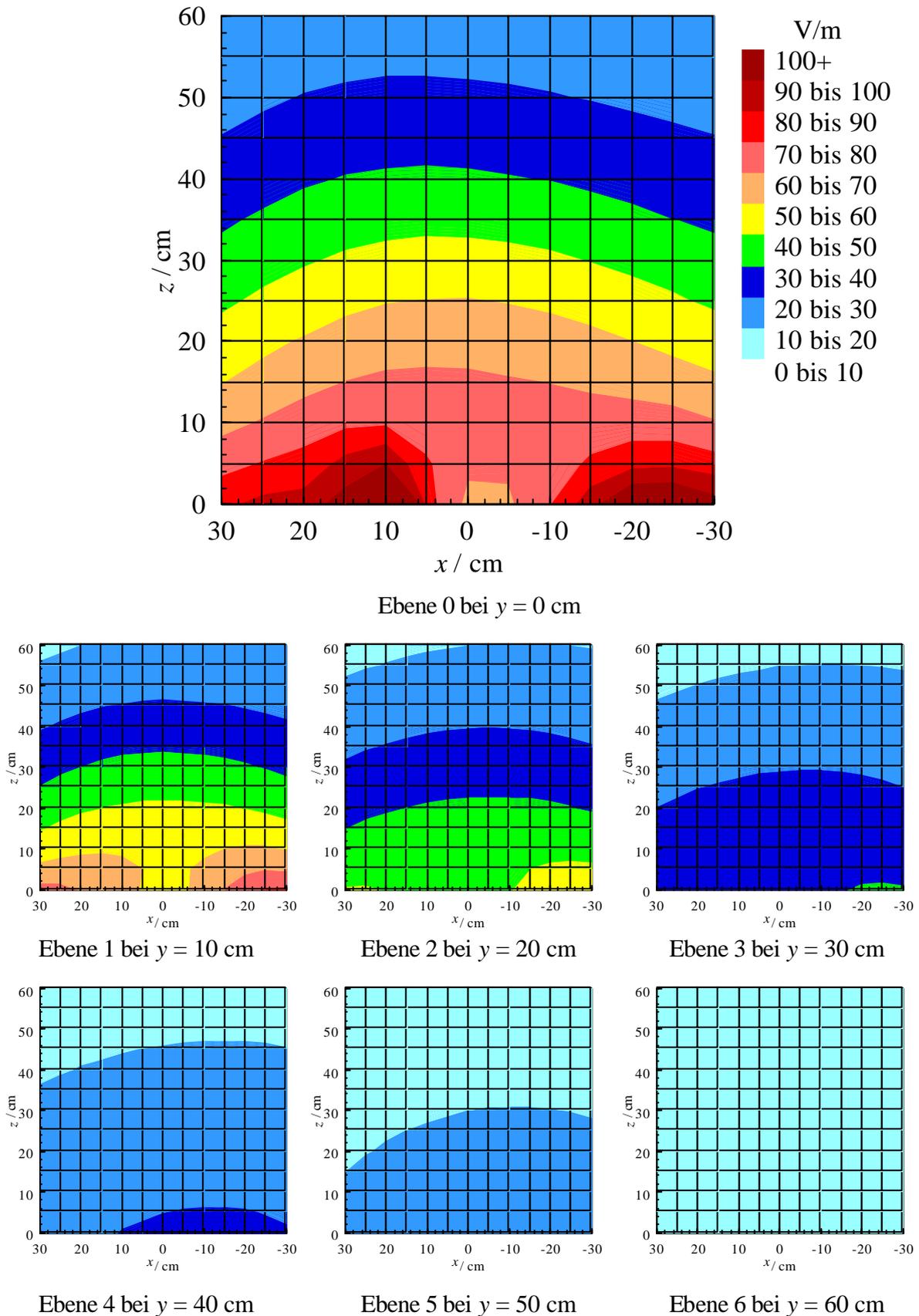
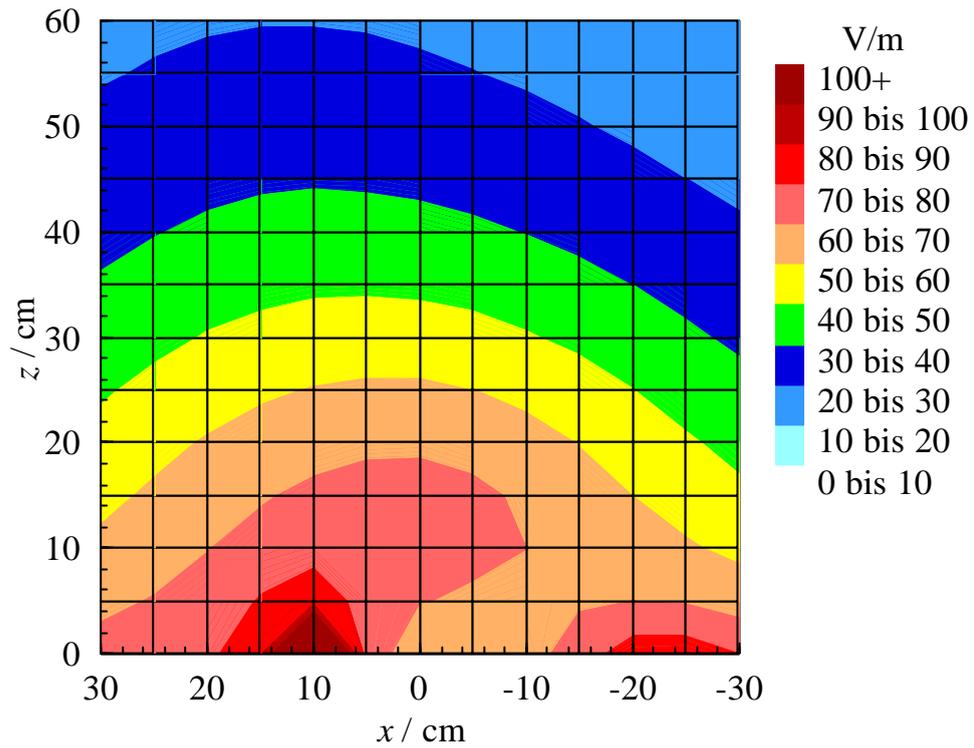
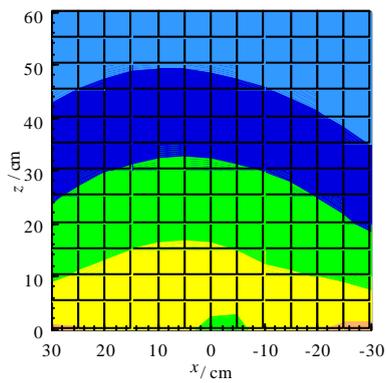


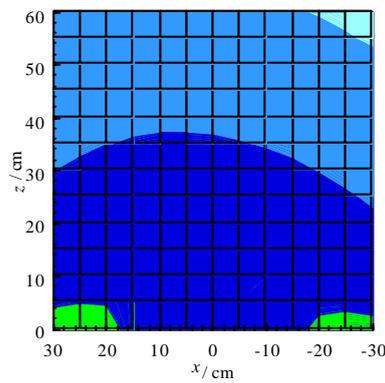
Bild 7: Die Verteilung der elektrischen Feldstärke E_{eff} in einem würfelförmigen Raumbereich über dem Sitz eines Polizeimotorrades (blauer Bereich aus Bild 4) für 10 W bei 80 MHz.



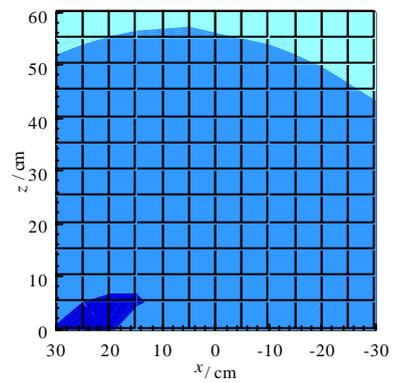
Ebene 0 bei $y = 0$ cm



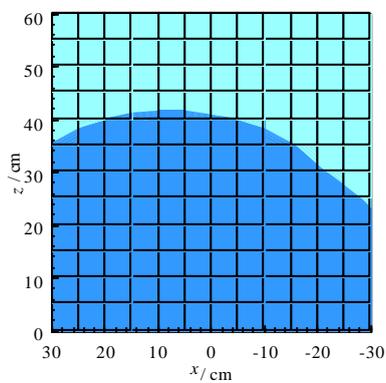
Ebene 1 bei $y = 10$ cm



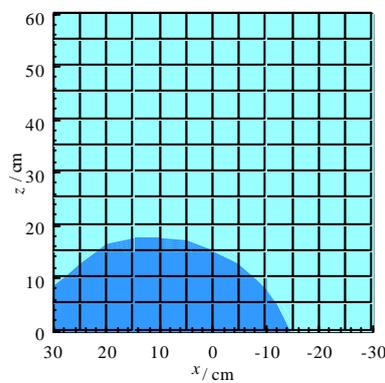
Ebene 2 bei $y = 20$ cm



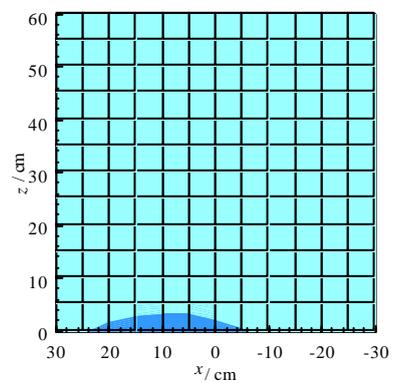
Ebene 3 bei $y = 30$ cm



Ebene 4 bei $y = 40$ cm



Ebene 5 bei $y = 50$ cm



Ebene 6 bei $y = 60$ cm

Bild 8: Die Verteilung der elektrischen Feldstärke E_{eff} in einem würfelförmigen Raumbereich über dem Sitz eines Polizeimotorrades (blauer Bereich aus Bild 4) für 10 W bei 74 MHz.

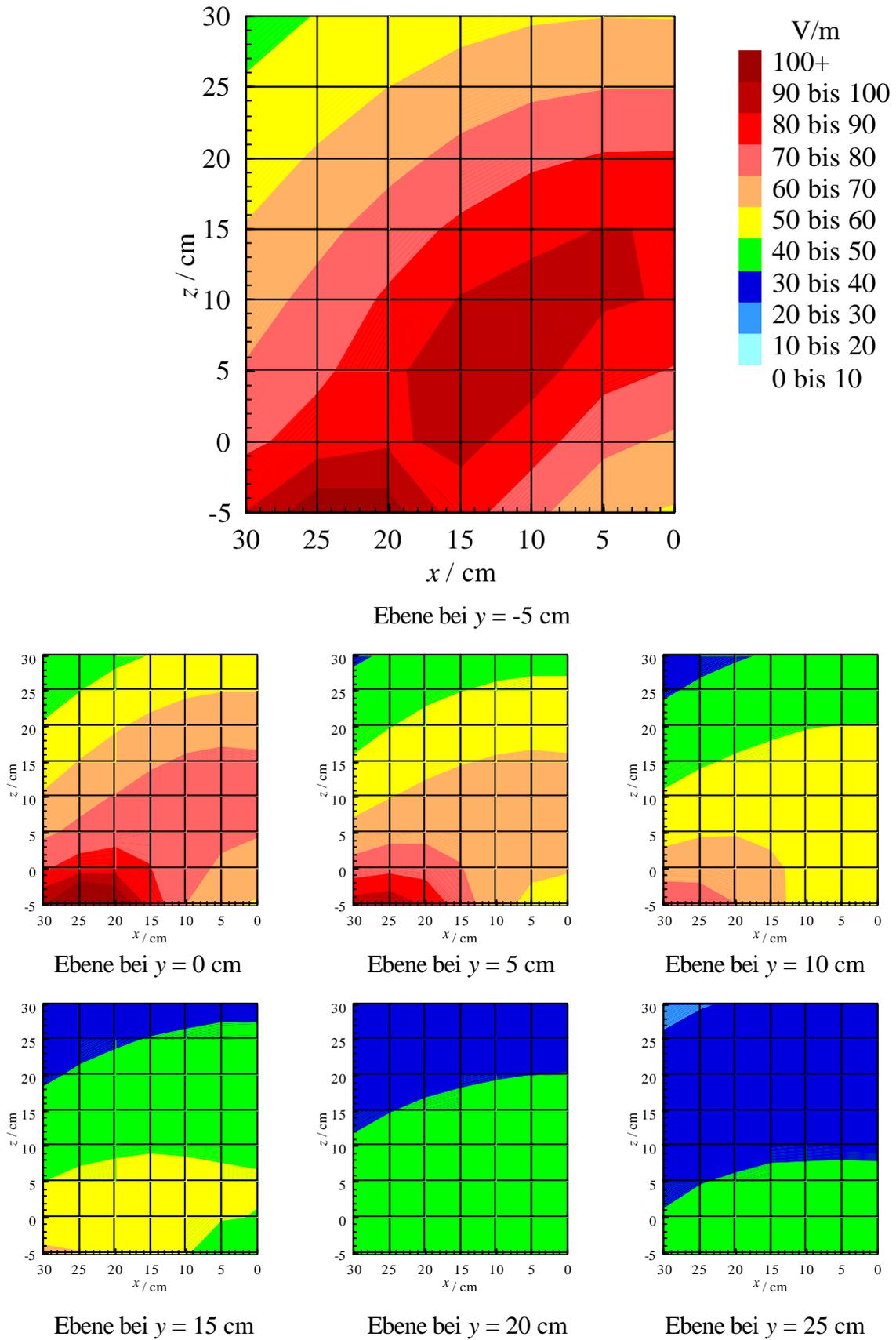


Bild 9: Die Verteilung der elektrischen Feldstärke E_{eff} im kleinen Meßbereich (roter Bereich in Bild 4) an einem Polizeimotorrad für 10 W bei 80 MHz.

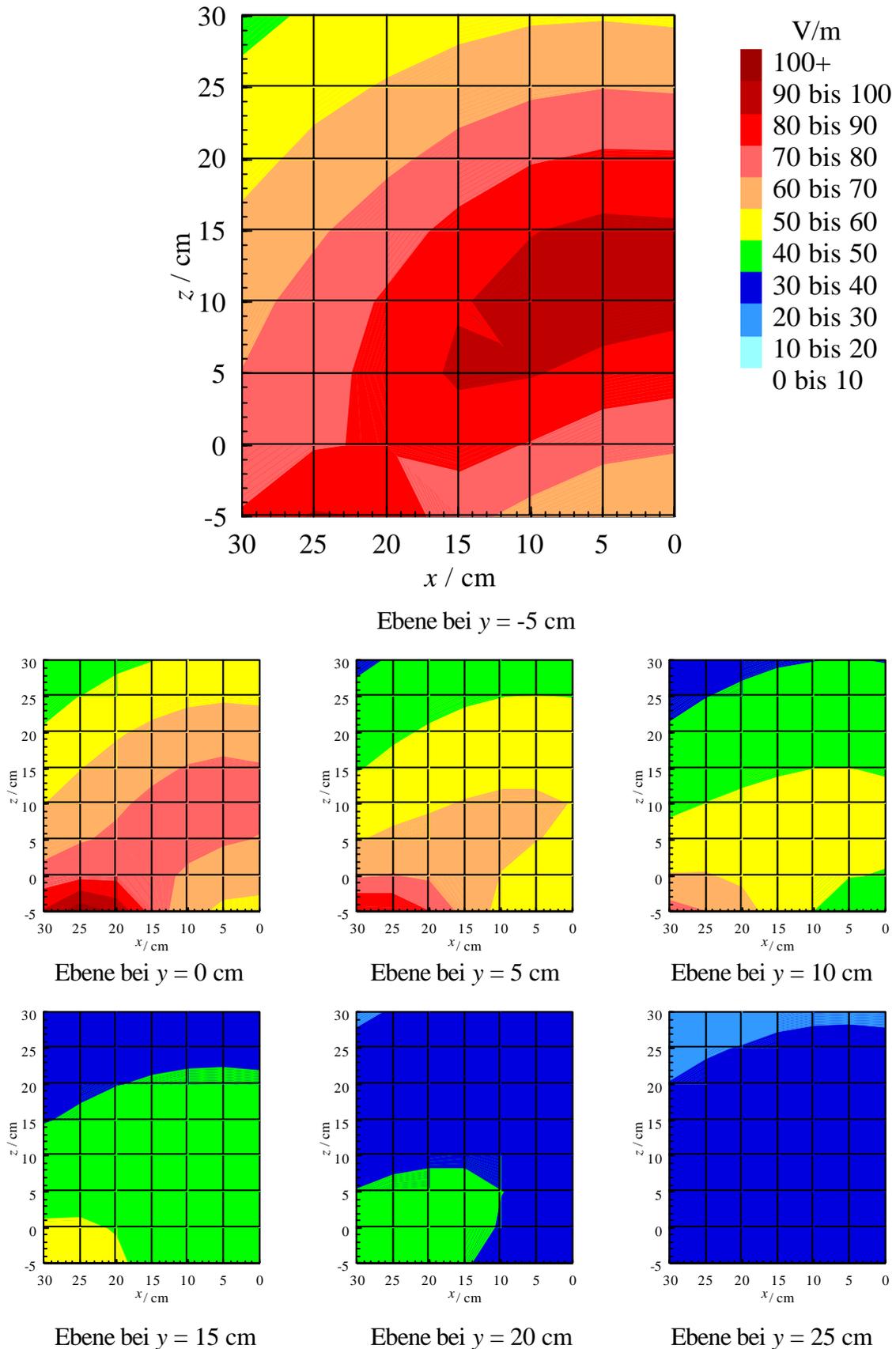


Bild 10: Die Verteilung der elektrischen Feldstärke E_{eff} im kleinen Meßbereich (roter Bereich in Bild 4) an einem Polizeimotorrad für 10 W bei 74 MHz.

In Anbetracht der Tatsache, daß in den bisher gezeigten Feldverteilungen die Maximalwerte am unteren Ende des Meßbereiches auftraten, ist eine zusätzliche Messung in der Ebene „0“ ausgeführt worden, wobei der Meßbereich soweit nach unten ausgedehnt wurde, wie das mit den Sonden möglich war. Das Ergebnis ist im Bild 11 dargestellt und die gefundenen Maximalwerte in Tabelle 8 angegeben.

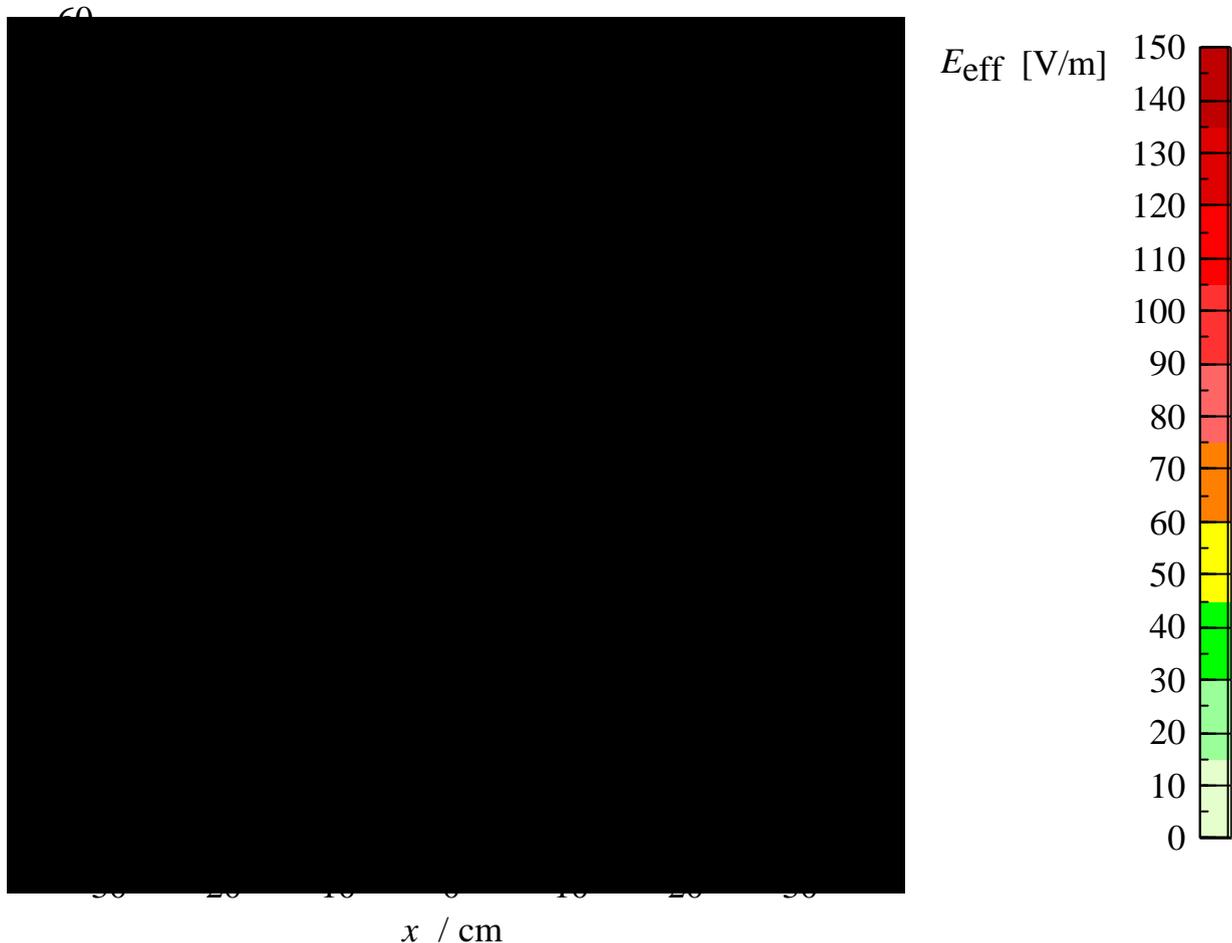


Bild 11: Die Verteilung der elektrischen Feldstärke E_{eff} in einer erweiterten Meßebeine bei $y = 0$. Die Skizze der Konturen des Motorrades aus der Sicht des Fahrers verdeutlicht die Quellen hoher Feldstärken am Mikrophon und an den Lenkergriffen bzw. den Aufbauten am Lenker (10 W bei 80 MHz).

Maximalwert	Seitliche Position (x)	Höhe (z -Position)
(271 ± 31) V/m	-25 cm	-10 cm
(213 ± 25) V/m	+30 cm	-10 cm

Tabelle 8: Die beiden Feldstärkemaxima des elektrischen Feldes E_{eff} in der erweiterten Meßebeine für 10 W bei 80 MHz.

4.4 Verteilungen des H -Feldes

Die Bilder 12 bis 15 zeigen grafische Darstellungen der Verteilungen der magnetischen Feldstärke H_{eff} in verschiedenen Meßebenen. Die gefundenen Maximalwerte pro Ebene sind in den Tabellen 9 bis 12 zusammengefaßt.

Maximalwert	Ebene (y-Position)	Seitliche Position (x)	Höhe (z-Position)
(0,083 ± 0,026) A/m	0 (y = 0 cm)	-5 cm	0 cm
(0,084 ± 0,026) A/m	1 (y = 10 cm)	-5 cm	0 cm
(0,085 ± 0,026) A/m	2 (y = 20 cm)	-5 cm	0 cm
(0,085 ± 0,026) A/m	3 (y = 30 cm)	-5 cm	0 cm
(0,084 ± 0,026) A/m	4 (y = 40 cm)	-5 cm	0 cm
(0,085 ± 0,026) A/m	5 (y = 50 cm)	-5 cm	0 cm
(0,085 ± 0,026) A/m	6 (y = 60 cm)	-5 cm	0 cm

Tabelle 9: Maximale Feldstärkewerte des magnetischen Feldes H_{eff} für die einzelnen Meßebenen des großen Meßbereiches mit 60 cm Kantenlänge für 10 W bei 80 MHz. Das absolute Maximum liegt in der Nähe des Tanks.

Maximalwert	Ebene (y-Position)	Seitliche Position (x)	Höhe (z-Position)
(0,109 ± 0,028) A/m	0 (y = 0 cm)	5 cm	0 cm
(0,099 ± 0,028) A/m	1 (y = 10 cm)	5 cm	0 cm
(0,093 ± 0,027) A/m	2 (y = 20 cm)	0 cm	0 cm
(0,087 ± 0,027) A/m	3 (y = 30 cm)	0 cm	0 cm
(0,099 ± 0,028) A/m	4 (y = 40 cm)	5 cm	0 cm
(0,093 ± 0,027) A/m	5 (y = 50 cm)	0 cm	0 cm
(0,087 ± 0,027) A/m	6 (y = 60 cm)	0 cm	0 cm

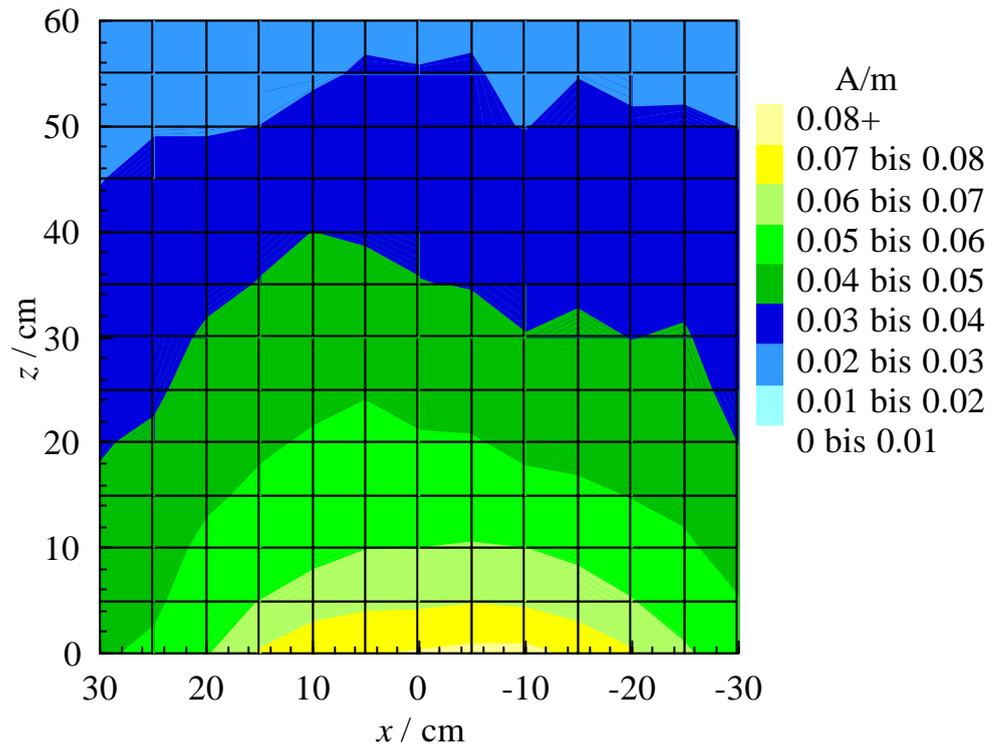
Tabelle 10: Maximale Feldstärkewerte des magnetischen Feldes H_{eff} für die einzelnen Meßebenen des großen Meßbereiches mit 60 cm Kantenlänge für 10 W bei 74 MHz. Das absolute Maximum liegt in der Nähe des Tanks.

Maximalwert	Ebene (y-Position)	Seitliche Position (x)	Höhe (z-Position)
$(0,075 \pm 0,025)$ A/m	-5 cm	0 cm	0 cm
$(0,073 \pm 0,025)$ A/m	0 cm	0 cm	0 cm
$(0,075 \pm 0,025)$ A/m	+5 cm	0 cm	0 cm
$(0,075 \pm 0,025)$ A/m	+10 cm	0 cm	0 cm
$(0,076 \pm 0,025)$ A/m	+15 cm	0 cm	0 cm
$(0,076 \pm 0,025)$ A/m	+20 cm	0 cm	0 cm
$(0,077 \pm 0,025)$ A/m	+25 cm	0 cm	0 cm

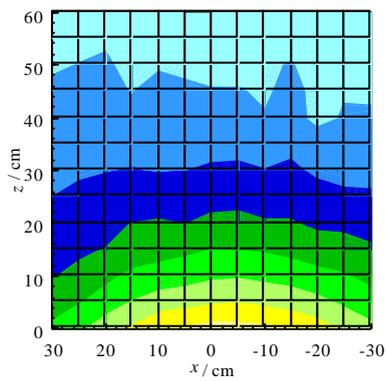
Tabelle 11: Maximale Feldstärkewerte des magnetischen Feldes H_{eff} für die einzelnen Meßebenen des kleinen Meßbereiches für 10 W bei 80 MHz. Das absolute Maximum liegt in der Nähe des Tanks.

Maximalwert	Ebene (y-Position)	Seitliche Position (x)	Höhe (z-Position)
$(0,111 \pm 0,03)$ A/m	+ -5 cm	5 cm	0 cm
$(0,107 \pm 0,03)$ A/m	0 cm	0 cm	0 cm
$(0,105 \pm 0,03)$ A/m	+5 cm	0 cm	0 cm
$(0,103 \pm 0,03)$ A/m	+10 cm	0 cm	0 cm
$(0,101 \pm 0,03)$ A/m	+15 cm	0 cm	0 cm
$(0,101 \pm 0,03)$ A/m	+20 cm	0 cm	0 cm
$(0,099 \pm 0,03)$ A/m	+25 cm	0 cm	0 cm

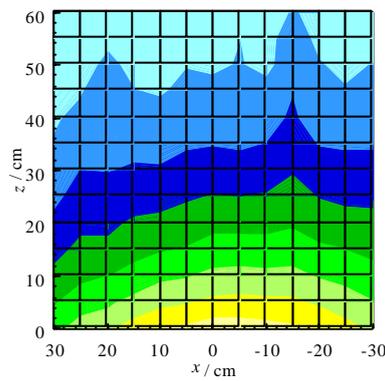
Tabelle 12: Maximale Feldstärkewerte des magnetischen Feldes H_{eff} für die einzelnen Meßebenen des kleinen Meßbereiches für 10 W bei 74 MHz. Das absolute Maximum liegt in der Nähe des Tanks.



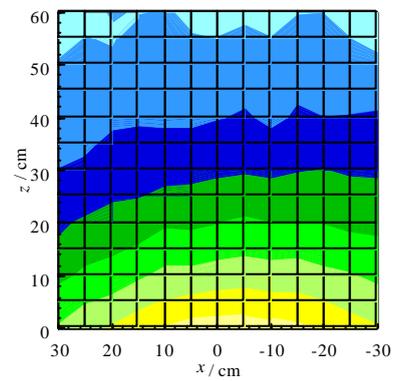
Ebene 0 bei $y = 0$ cm



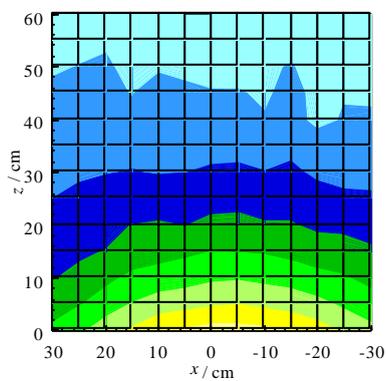
Ebene 1 bei $y = 10$ cm



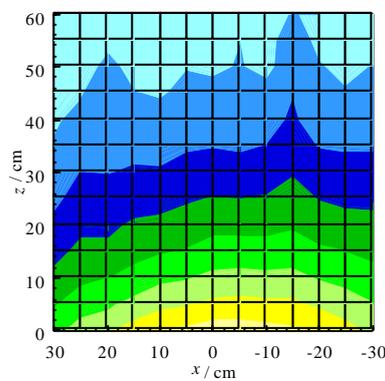
Ebene 2 bei $y = 20$ cm



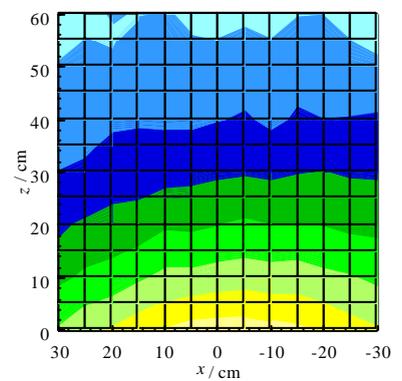
Ebene 3 bei $y = 30$ cm



Ebene 4 bei $y = 40$ cm



Ebene 5 bei $y = 50$ cm



Ebene 6 bei $y = 60$ cm

Bild 12: Die Verteilung der magnetischen Feldstärke H_{eff} in einem würfelförmigen Raumbereich über dem Sitz eines Polizeimotorrades (siehe Bild 4) für 10 W bei 80 MHz.

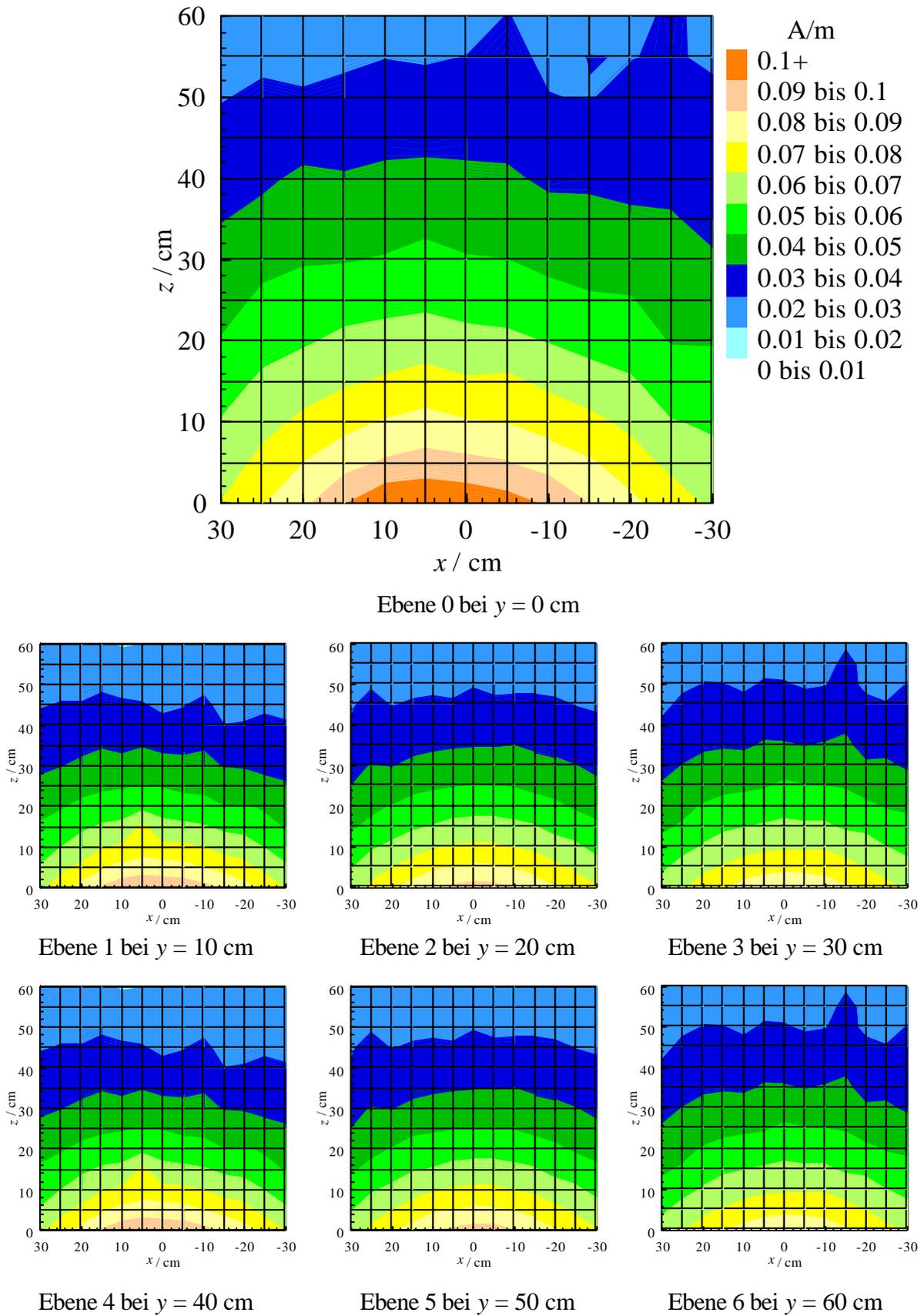


Bild 13: Die Verteilung der magnetischen Feldstärke H_{eff} in einem würfelförmigen Raumbereich über dem Sitz eines Polizeimotorrades (siehe Bild 4) für 10 W bei 74 MHz.

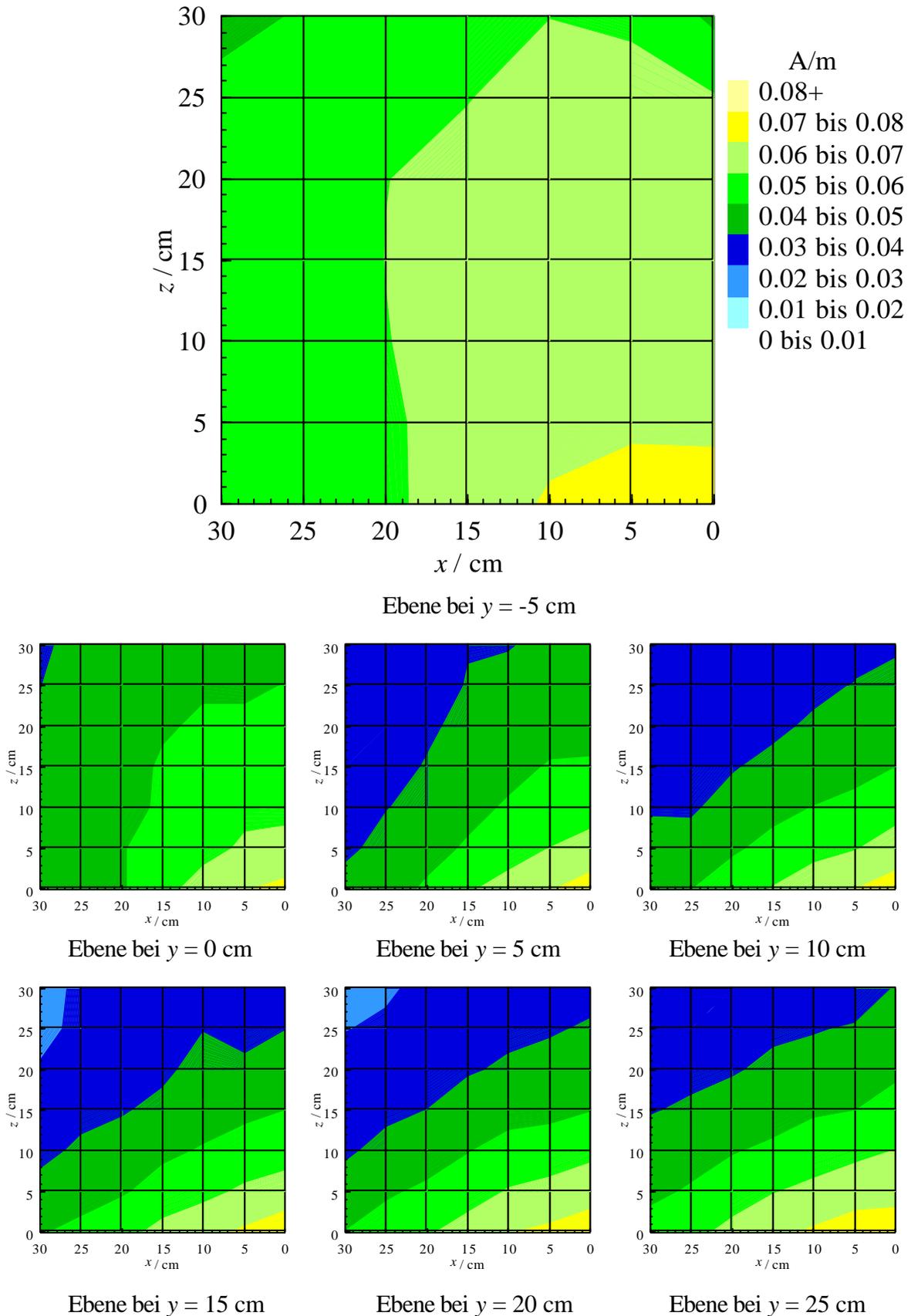


Bild 14: Die Verteilung der magnetischen Feldstärke H_{eff} in einem kleinen Meßbereich mit 30 cm Kantenlänge (siehe Bild 4) an einem Polizeimotorrad für 10 W bei 80 MHz.

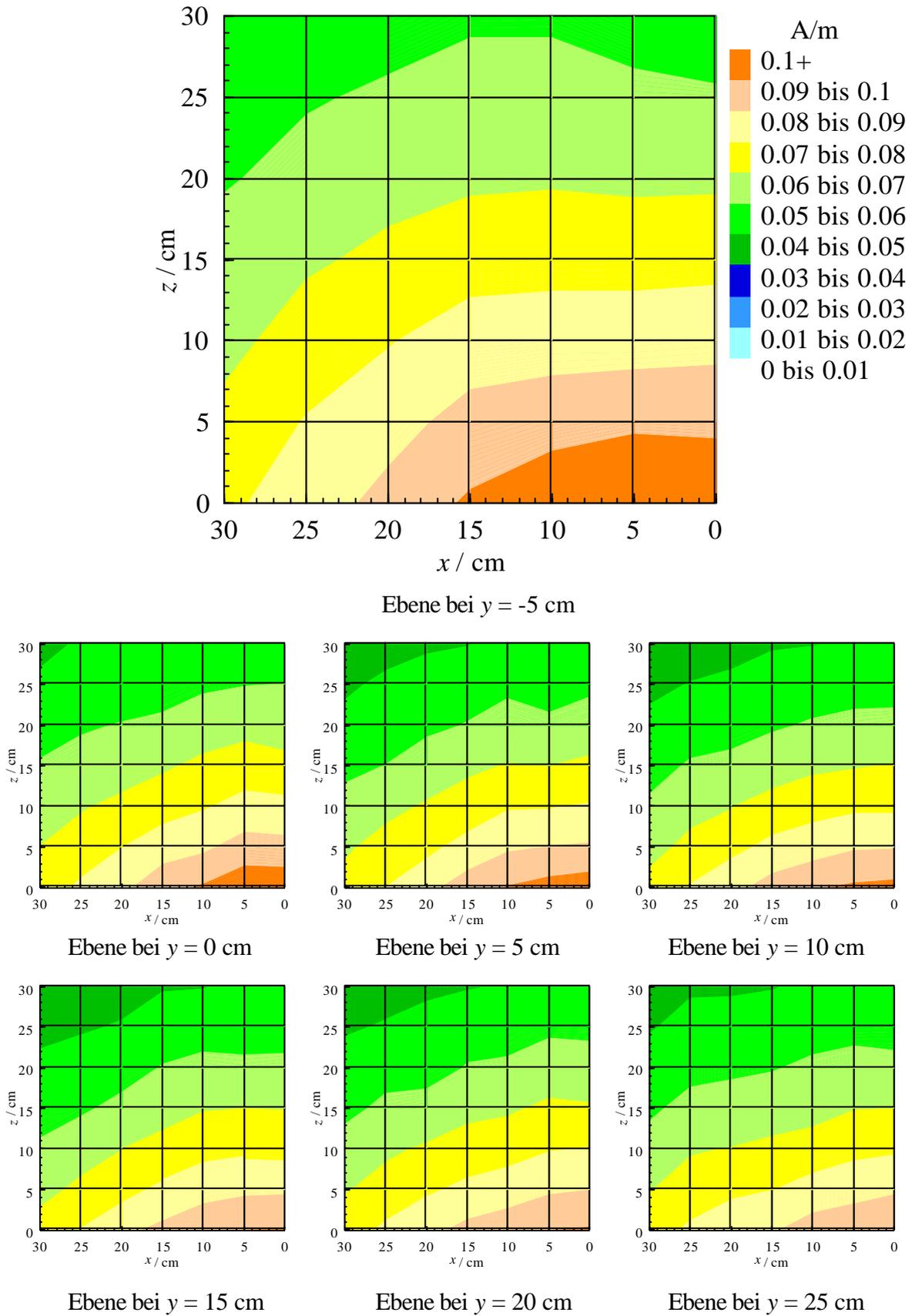


Bild 15: Die Verteilung der magnetischen Feldstärke H_{eff} in einem kleinen Meßbereich mit 30 cm Kantenlänge (siehe Bild 4) an einem Polizeimotorrad für 10 W bei 74 MHz.

5 Bewertung

Zur Bewertung der gemessenen Feldstärkewerte sind die Angaben zu den Grenzwerten aus der Tabelle 1 (Seite 6) mit den gemessenen Maximalwerten zu vergleichen. Alle meßtechnisch erfaßten magnetischen Feldstärkewerte liegen ausnahmslos deutlich unter dem Grenzwert von 0,16 A/m. Die geringe Variation des H -Feldes mit dem Abstand zur Antenne liegt darin, daß im Nahfeld einer Monopolantenne das E -Feld dominiert und stärker mit wachsendem Abstand abfällt, so daß erst in größerer Distanz (Fernfeld) das Verhältnis $E/H \approx 377 \Omega$ beobachtet werden kann.

Die gemessenen elektrischen Feldstärkewerte sind sehr hoch. **Es wurden Werte gefunden, die um den Faktor 4 über dem zulässigen Grenzwert von 61 V/m liegen** (Tabelle 8, Seite 18). Die Ursache für die hohen lokalen E -Felder liegt darin, daß die Antenne andere Metallteile des Motorrades zur Aussendung von elektromagnetischen Wellen anregt, d.h. Sekundärstrahler verursacht. Dazu geeignete Konstruktionen sind antennenähnliche Gebilde, weshalb z.B. am Mikrofon und den Enden des Lenkers besonders hohe Feldstärkewerte registriert werden können. Die sich ergebende Feldstärkeverteilung hängt demzufolge auch von der Einstellung des Mikrofons ab. So sind Unterschiede bei den Messungen in der Ebene bei $y = 0$ z.B. in den Bildern 7, 11 und 9 zu sehen. Für den Fall, daß das Mikrofon in Richtung des Fahrers ausgerichtet wurde, kann ein ausgeprägtes Maximum vor der Spitze des Mikrofons beobachtet werden ($x = 10$ cm, $z = 0$ in Bild 11 auf Seite 18), während das Senkrechtstellen des Mikrofons zu einem weniger deutlichen Maximum an dieser Position im Bild 9 führt.

Neben konstruktiven Änderungen am Funksystem, insbesondere an der Antenne, könnte möglicherweise eine Einhaltung der Norm auch durch eine Begrenzung der Dauer einzelner Funksprüche realisiert werden. Zu diesem Thema sind Angaben und u.a. zwei Gleichungen im Kapitel 2.5 dieses Berichts enthalten.

6 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.
- [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.
- [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 (in 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.
- [EN 55014] Deutsche Norm (in Kraft), Deutsche Fassung der EN 55014:1993: Funk-Entstörung von elektrischen Betriebsmitteln und Anlagen: Grenzwerte und Meßverfahren für Funkstörungen von Geräten mit elektromotorischem Antrieb und Elektrowärmegegeräten für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke, Elektrowerkzeugen und ähnlichen Elektrogeräten. DIN-EN 55014 = DIN VDE 0875, Teil 14, Dezember 1993.
- [EN 55022] Deutsche Norm (in Kraft), Deutsche Fassung der EN 55022:1994: Grenzwerte und Meßverfahren für Funkstörungen von Einrichtungen der Informationstechnik. DIN-EN 55022 = IEC CISPR 22 = DIN VDE 0878, Teil 22, Mai 1995.
- [Foster 1979] K. R. Foster, J. L. Schepps, R. D. Stoy, and H. P. Schwan: Dielectric Properties of Brain Tissue between 0.001 and 10 GHz. In: *Phys. Med. Biol.*, Bd. 24, No. 6, S. 1177-1187, 1979.
- [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.
- [Holmes 1982] J.K. Holmes: *Coherent Spread Spectrum Systems*, Wiley & Sons, New York, 1982.
- [SSK 1993] Bundesamt für Strahlenschutz: Schutz vor elektromagnetischen Feldern -Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission, SSK/6-93/EMF, 1993.
- [Stuchly 1987] M. A. Stuchly, A. Kraszewski, S. S. Stuchly, G. W. Hartgrove and R. J. Spiegel: RF Energy Deposition in a Heterogeneous Model of Man: Near-Field Exposures. In: *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, Bd. BME-34, No. 12, S. 944-950, 1987.
- [WHO 1993] WHO/IRPA task group on electromagnetic fields: „Environmental Health Criteria 137, Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz)”, WHO, Geneva, 1992.

7 Meßprotokoll

Organisatorisches

Messung ausgeführt am: 26.08.96 - 07.10.96 von: Dr. P. Nevermann
Protokoll angefertigt am: 06.11.96 von: Dr. P. Nevermann
Daten-Dateien gesichert: Disketten: 10/96_1

Gegenstand und Betriebsbedingungen

Gegenstand: Motorrad BMW K75 mit Sendeeinrichtung
HF-Quelle: Rohde & Schwarz SMGL 9 kHz - 1 GHz (1020.2005.52)
50 W Verstärker amplifier research (ar)
HF-Zuführung: extern über Kabel,
Signalparameter: 80,107 MHz und 74,2 MHz,
FM Modulation: 2,8 kHz, Signalton (AF): 1 kHz
Ausgangsleistung: Abgestrahlte Leistung (Reflexion an der Antenne ist berücksichtigt): $(10 \pm 0,2)$ W für *E*-Feld Messungen,
 $(30 \pm 0,6)$ W für *H*-Feld Messungen, wobei alle Ergebnisse auf
10 W skaliert wurden (Faktor $1/\sqrt{3}$)
Leistungsmessung: Rohde & Schwarz Power Reflection Meter NAP (392.4017.02)

DASY Optionen

Softwareversion: DASY V2.3c
Sonden: *E*-Feld: ER3DV4 SN:2003
H-Feld: H2DV4 SN:8104

**IMST, Institut für Mobil- und
Satellitenfunktechnik**
Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2
D-47475 Kamp-Lintfort

Tel. 0 2842 / 981 - 380
Fax 0 2842 / 981 - 398
email: Nevermann@imst.uni-uisburg.de

