
Bericht

Numerische Untersuchung der Kenngrößen von Fahrzeugantennen im Bereich zukünftiger digitaler Funksysteme der Polizei

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

Dr.-Ing. Achim Bahr
Dr.-Ing. Sheng-Gen Pan

09. Oktober 1997

Inhaltsverzeichnis

1 GEGENSTAND DER UNTERSUCHUNG.....	3
2 SIMULATIONSVERFAHREN.....	3
3 MODELLBILDUNG.....	4
4 ERGEBNISSE BEI VERWENDUNG EINER 1/4-STABANTENNE.....	5
4.1 ELEKTROMAGNETISCHE UMWELTVERTRÄGLICHKEIT INNERHALB DES FAHRZEUGS.....	5
4.2 STRAHLUNGSDIAGRAMME.....	7
4.2.1 STRAHLUNGSDIAGRAMME DER AUF DEM LINKEN VORDEREN KOTFLÜGEL MONTIERTEN 1/4-ANTENNE FÜR DAS FAHRZEUG VW PASSAT LIMOUSINE B4.....	7
4.2.2 STRAHLUNGSDIAGRAMME DER AUF DEM DACH MONTIERTEN 1/4-ANTENNE FÜR DAS FAHRZEUG VW PASSAT LIMOUSINE B4.....	9
4.2.3 STRAHLUNGSDIAGRAMME DER AUF DEM LINKEN HINTEREN KOTFLÜGEL MONTIERTEN 1/4-ANTENNE FÜR DAS FAHRZEUG VW PASSAT LIMOUSINE B4.....	11
4.2.4 STRAHLUNGSDIAGRAMME DER AUF DEM LINKEN VORDEREN KOTFLÜGEL MONTIERTEN 1/4-ANTENNE FÜR DAS FAHRZEUG VW PASSAT VARIANT B4.....	13
4.2.5 STRAHLUNGSDIAGRAMME DER AUF DEM DACH VORNE MONTIERTEN 1/4-ANTENNE FÜR DAS FAHRZEUG VW PASSAT VARIANT B4.....	15
4.2.6 STRAHLUNGSDIAGRAMME DER AUF DEM DACH HINTEN MONTIERTEN 1/4-ANTENNE FÜR DAS FAHRZEUG VW PASSAT VARIANT B4.....	17
4.3 GEWINN DER FAHRZEUGANTENNEN.....	19
5 ERGEBNISSE BEI VERWENDUNG EINER 1/2-STABANTENNE.....	20
5.1 ELEKTROMAGNETISCHE UMWELTVERTRÄGLICHKEIT INNERHALB DES FAHRZEUGS.....	20
5.2 STRAHLUNGSDIAGRAMME.....	21
5.3 GEWINN DER FAHRZEUGANTENNE.....	23
6 BEWERTUNG.....	23
7 ANHANG.....	25
8 LITERATURVERZEICHNIS.....	26

1 Gegenstand der Untersuchung

Im Auftrag der Polizei-Führungsakademie in Münster wurden numerische Berechnungen der Kenngrößen von Fahrzeugantennen im Bereich zukünftiger digitaler Funksysteme der Polizei durchgeführt.

Das Ziel der am IMST vorgenommenen Berechnungen war die vergleichende numerische Analyse der Strahlungscharakteristik und des Antennengewinns von Fahrzeugantennen bei einer Frequenz von 380 MHz als Funktion des Fahrzeugtyps (VW Passat Limousine B4 und VW Passat Variant B4) sowie der konkreten Einbauposition. Die Bewertung erfolgte unter besonderer Berücksichtigung der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit innerhalb des Fahrzeugs.

Die untersuchten Antennen sind $\lambda/4$ -Stabantennen mit einer Länge von 21 cm sowie eine alternative $\lambda/2$ -Stabantenne mit einer Länge von 42 cm. Für die durchgeführten Simulationen wurde ein kommerziell erhältliches Momentenmethodenprogramm [Concept] verwendet.

2 Simulationsverfahren

Das eingesetzte Softwarepaket *CONCEPT II* der Technischen Universität Hamburg-Harburg basiert auf der Momentenmethode. Hierbei erfolgt eine numerische Berechnung des elektromagnetischen Feldes für beliebig geformte metallische und dielektrische Strukturen im Frequenzbereich. Ausgangspunkt für die numerische Analyse ist eine geeignete Diskretisierung der Oberfläche des interessierenden Simulationsobjektes. Für metallische Körper, die im vorliegenden Fall von besonderem Interesse sind, wird zwischen einem Drahtmodell zur Diskretisierung von Drähten und einem Oberflächenmodell zur Bestimmung der elektrischen Flächenstromdichte auf metallischen Oberflächen unterschieden.

Die Bestimmung der Unbekannten, d.h. des innerhalb von Drahtsegmenten fließenden Stroms bzw. der Flächenstromdichten, erfolgt anhand der bekannten Randbedingungen des feldtheoretischen Problems.

Nachdem die elektrischen Ströme auf den metallischen Körpern innerhalb des Simulationsgebietes bestimmt wurden, erfolgt in einem weiteren Schritt die Analyse des Fernfeldes und damit die Bestimmung der relevanten Antenneneigenschaften. Hierbei werden die einzelnen Feldanteile, die sich aus einem anregenden elektrischen Strom bzw. einer elektrischen Flächenstromdichte ergeben, superponiert und so das elektromagnetische Feld in einem beliebigen Aufpunkt im Fernfeld der untersuchten Anordnung bestimmt. Durch den Vergleich des ermittelten Fernfeldes mit dem Fernfeld eines hypothetischen verlustlosen, isotropen Kugelstrahlers kann abschließend der Gewinn der untersuchten Antennenanordnung bestimmt werden.

Für die im folgenden vorgestellten Antennenberechnungen wird der Erdboden durch eine unendlich ausgedehnte ideal leitende Ebene nachgebildet. Die untersuchten Antennenanordnungen werden ohne Berücksichtigung der im realen Fall auftretenden Verluste auf der Speiseleitung modelliert, d.h. der Antennenwirkungsgrad beträgt 100% entsprechend der Ausführungen im Anhang.

3 Modellbildung

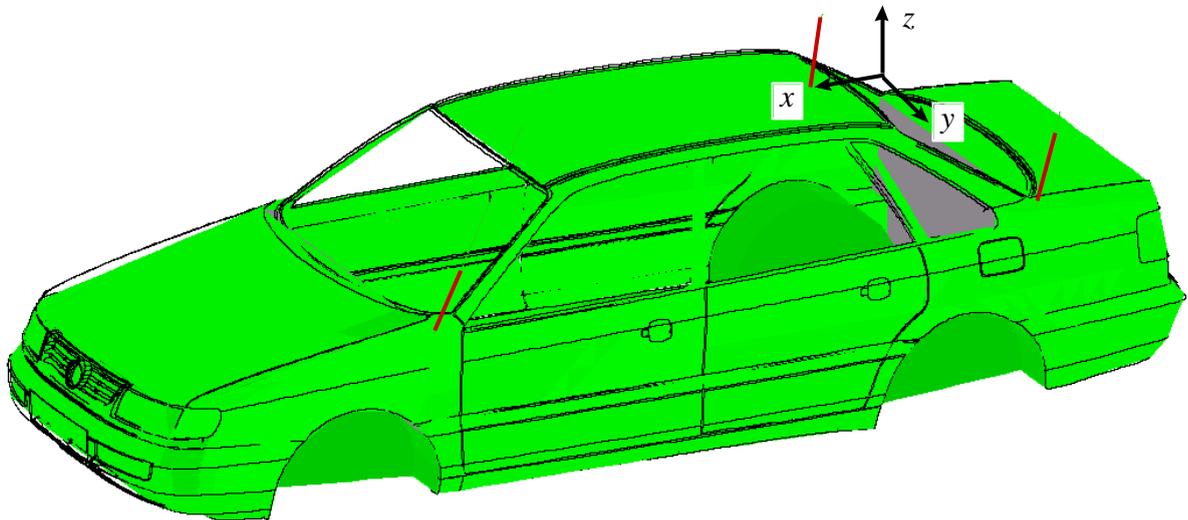


Bild 1: Darstellung des Modells für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4, der Antennenpositionen sowie des zugrundegelegten Koordinatensystems.

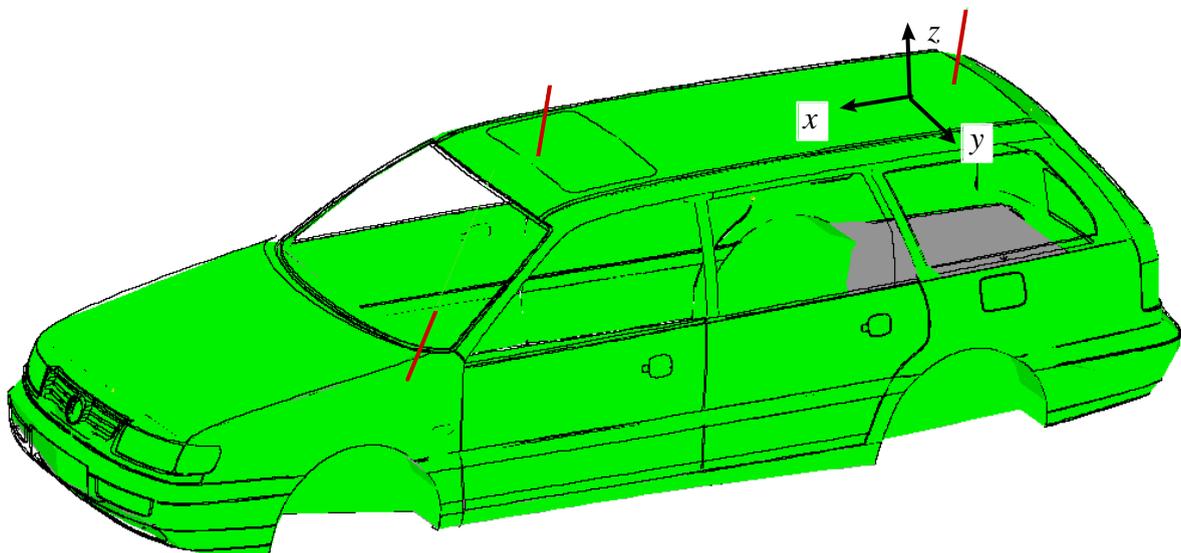


Bild 2: Darstellung des Modells für das Fahrzeug VW Passat Variant B4, der Antennenpositionen sowie des zugrundegelegten Koordinatensystems.

Bild 1 zeigt das bei der Simulation verwendete Modell des Fahrzeugs VW Passat Limousine B4, das aufgrund von Geometriedaten der Volkswagen AG [VW 1997] im Rahmen des Projekts [PFA 1997]

entstanden ist. Das bei der Untersuchung verwendete Koordinatensystem ist ebenfalls eingezeichnet. Außerdem dargestellt sind die untersuchten Antennenpositionen auf der Fahrzeugkarosserie. Die Analysefrequenz beträgt 380 MHz. Bild 2 zeigt das verwendete Modell des Fahrzeugs VW Passat Variant B4.

4 Ergebnisse bei Verwendung einer $1/4$ -Stabantenne

4.1 Elektromagnetische Umweltverträglichkeit innerhalb des Fahrzeugs

Im Rahmen des Projekts „Meßtechnische Untersuchung der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit von Funksystemen der Polizei“ [PFA 1997] wurden unter anderem Untersuchungen im Bereich des zukünftigen digitalen Funksystems der Polizei bei 380 MHz für die Fahrzeugtypen VW Passat Limousine B4 und VW Passat Variant B4 durchgeführt. Hierbei wurden die elektrische und magnetische Ersatzfeldstärke innerhalb der Fahrzeuge als Funktion des Antennenmontagepunktes bestimmt. Die wesentlichen Ergebnisse werden an dieser Stelle noch einmal zusammengefaßt.

Tabelle 1 enthält die numerisch ermittelten Maximalfeldstärken (quaderförmiger Bereich auf den Vorder- und Rücksitzen in Höhe der Kopfstützen) für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 als Funktion der Antennenposition für eine HF-Ausgangsleistung von 8 W. 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 abgeleiteten Grenzwerte gemäß der deutschen bzw. europäischen Personenschutznorm ([DIN 0848 91][ENV 50166]: $E_{\text{eff}}=61,4$ V/m, $H_{\text{eff}}=0,16$ A/m) teilweise überschritten. Für alle übrigen untersuchten Antennenpositionen wird ein deutlicher Sicherheitsabstand in bezug auf die abgeleiteten Grenzwerte eingehalten.

Antennenposition	E_{max} [V/m]	H_{max} [A/m]
Kotflügel vorne	32,09	0,0799
Dach	51,15	0,181
Kotflügel hinten	30,60	0,0938

Tabelle 1: Numerisch ermittelte Maximalfeldstärken für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 als Funktion der Antennenposition.

Die ermittelten Ersatzfeldstärken sind für den Fall der Dachantenne in den Bildern 3 und 4 in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 dargestellt.

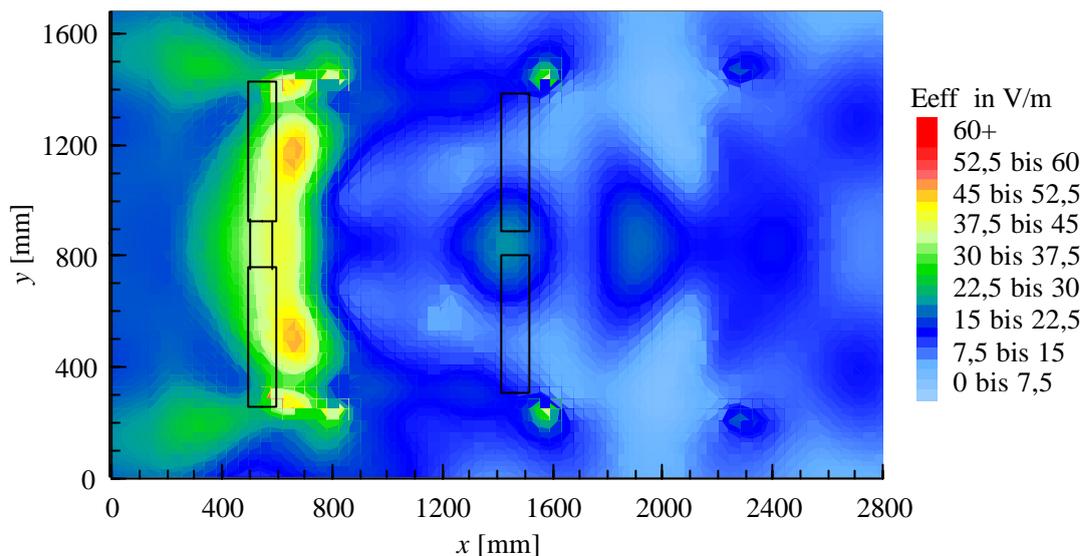


Bild 3: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4; Antennenposition: Dach.

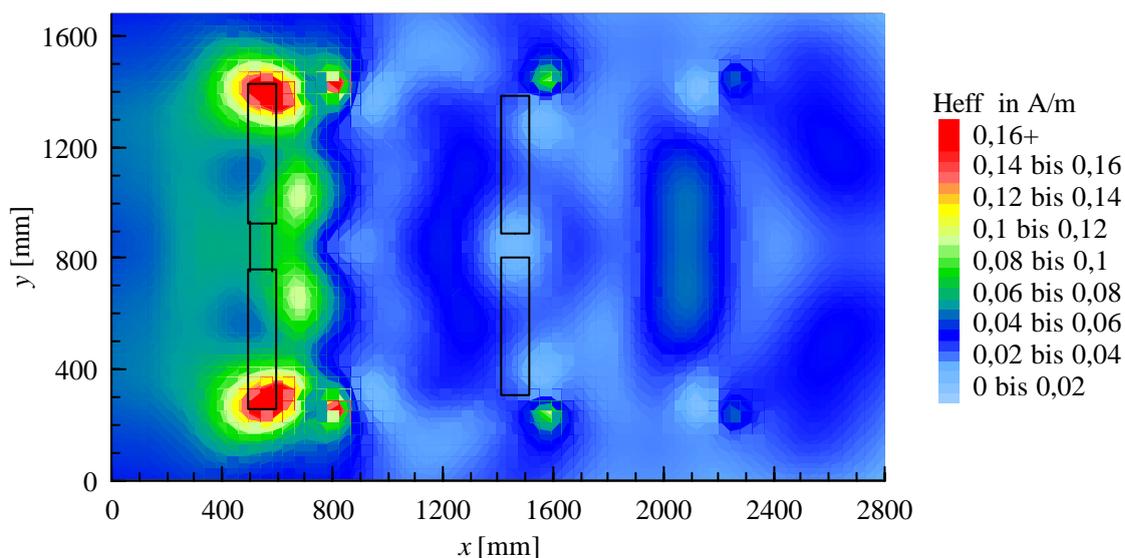


Bild 4: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4; Antennenposition: Dach.

In Tabelle 2 sind die numerisch ermittelten Maximalfeldstärken (quaderförmiger Bereich auf den Vorder- und Rücksitzen in Höhe der Kopfstützen) für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 als Funktion der Antennenposition zusammengefaßt. Es zeigt sich, daß für alle untersuchten Antennenpositionen ein deutlicher Sicherheitsabstand in bezug auf die abgeleiteten Grenzwerte eingehalten wird.

Antennenposition	E_{\max} [V/m]	H_{\max} [A/m]
Kotflügel vorne	23,32	0,0611
Dach vorne	23,61	0,0673
Dach hinten	22,76	0,0585

Tabelle 2: Numerisch ermittelte Maximalfeldstärken für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 als Funktion der Antennenposition.

4.2 Strahlungsdiagramme

4.2.1 Strahlungsdiagramme der auf dem linken vorderen Kotflügel montierten 1/4-Antenne für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4

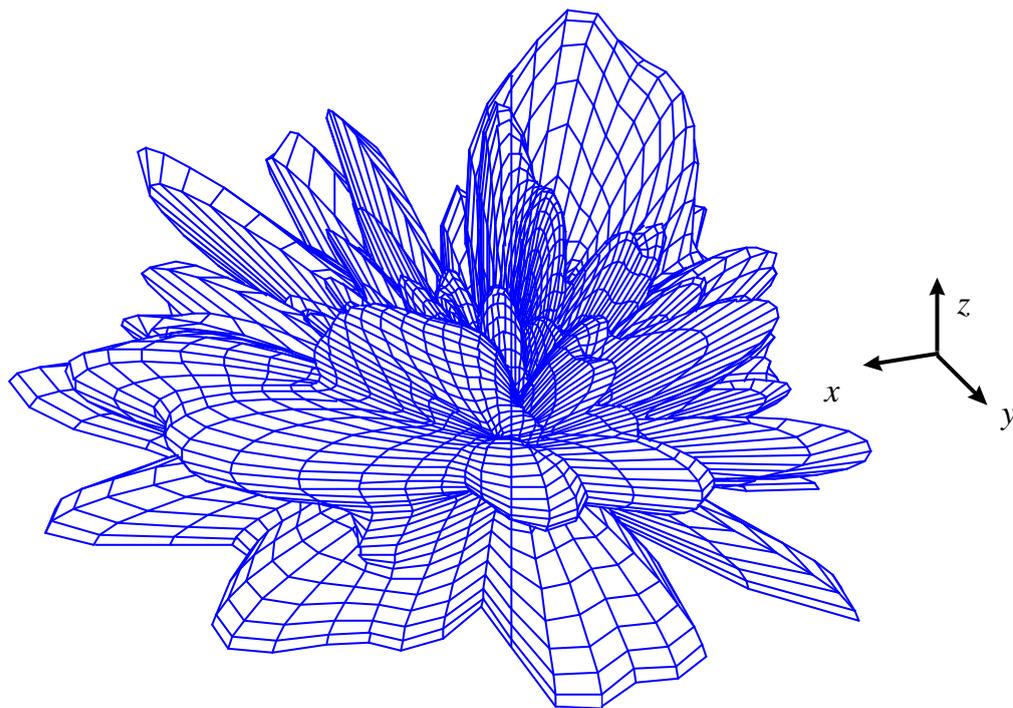
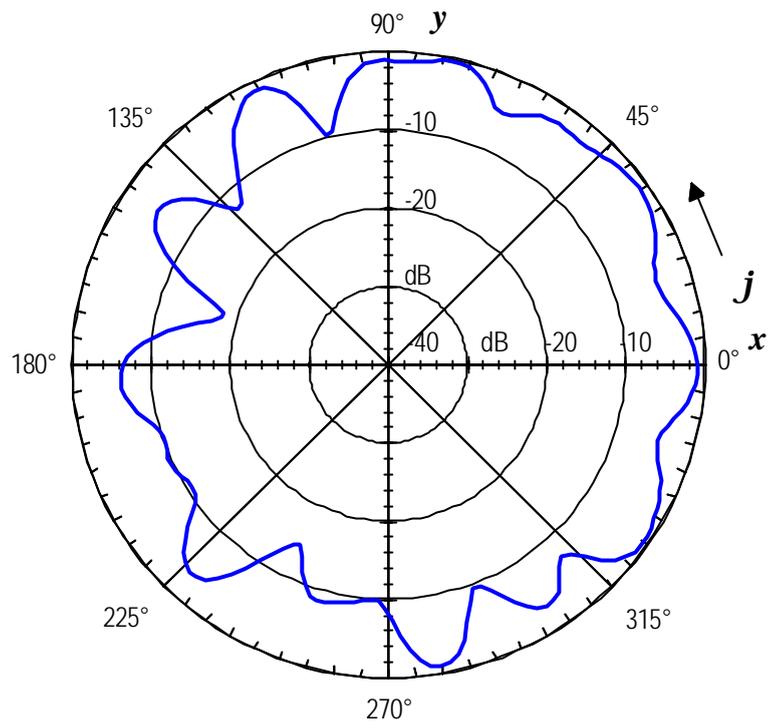
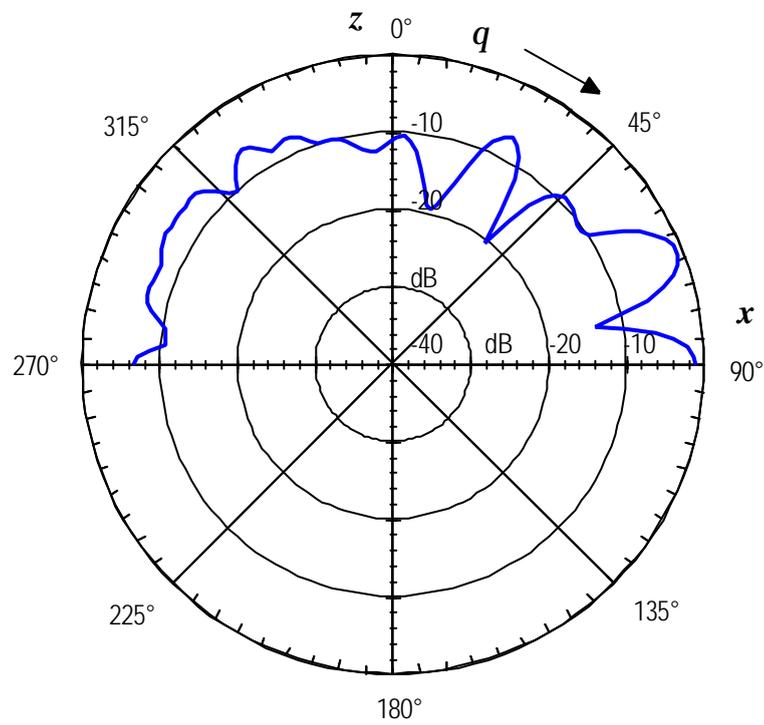


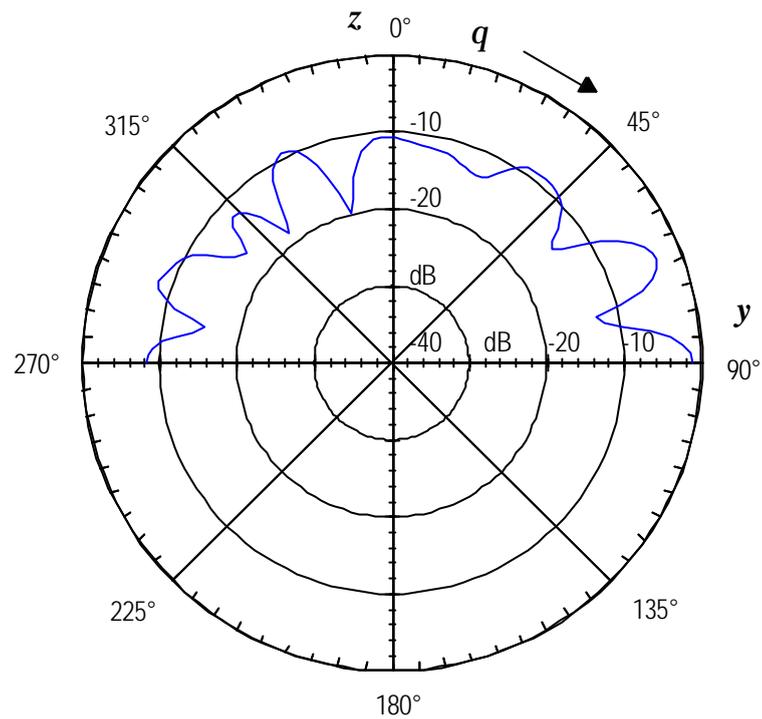
Bild 5: Dreidimensionale Darstellung des Strahlungsdiagramms für den Betrag der elektrischen Feldstärke; Antennenposition: Kotflügel vorne, VW Passat Limousine B4.



a)



b)



c)

Bild 6: Strahlungsdiagramm in den Hauptschnitten: a) xy -Ebene, b) xz -Ebene, c) yz -Ebene; Antennenposition: Kotflügel vorne, VW Passat Limousine B4.

4.2.2 Strahlungsdiagramme der auf dem Dach montierten $1/4$ -Antenne für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4

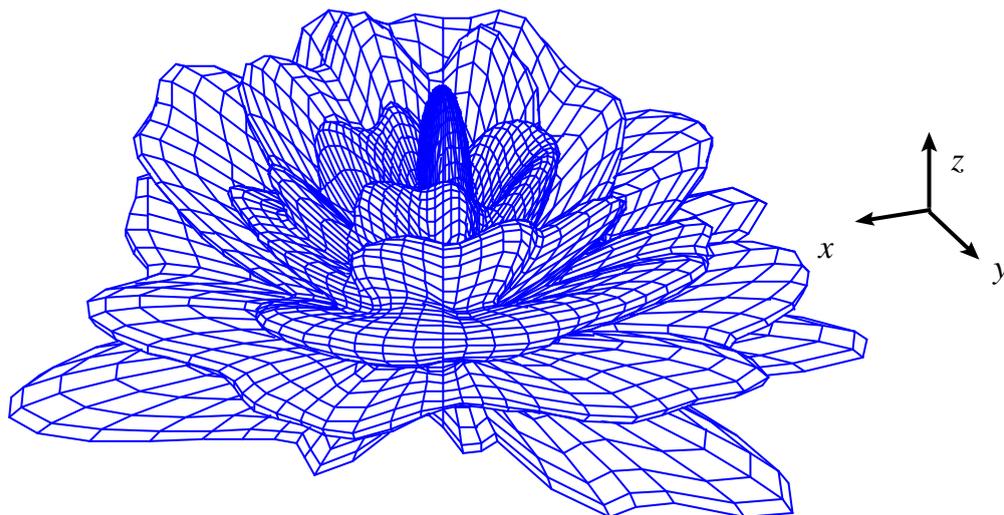
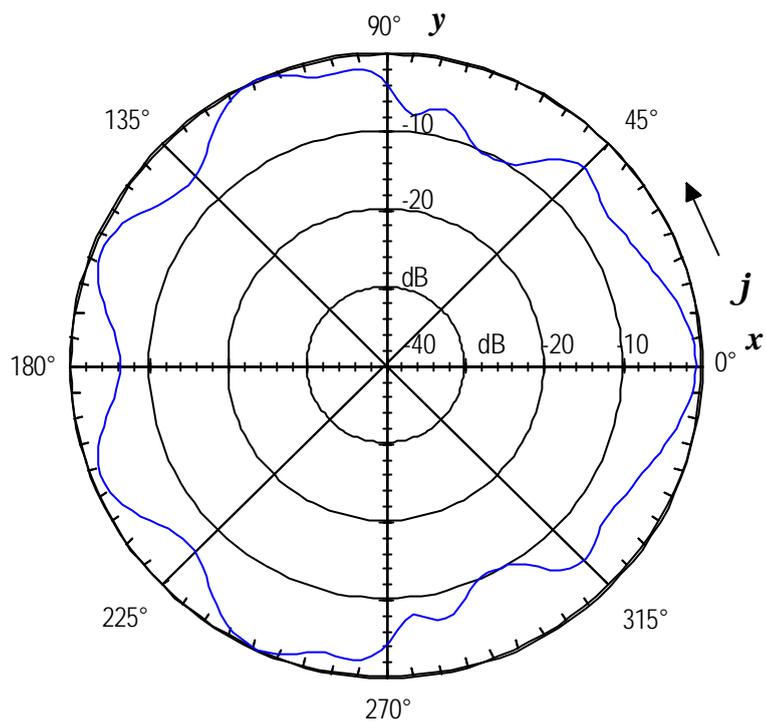
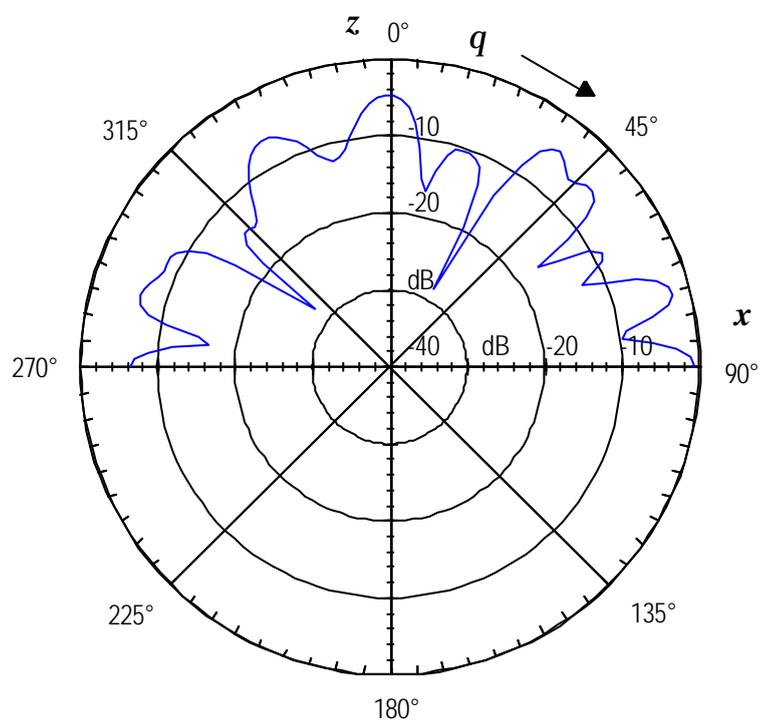


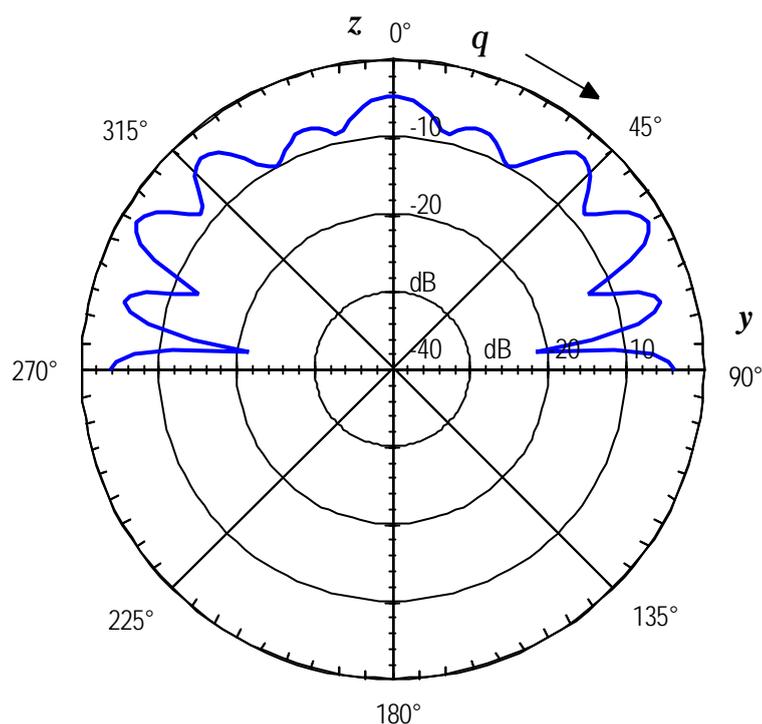
Bild 7: Dreidimensionale Darstellung des Strahlungsdiagramms für den Betrag der elektrischen Feldstärke; Antennenposition: Dach, VW Passat Limousine B4.



a)



b)



c)
 Bild 8: Strahlungsdiagramm in den Hauptschnitten: a) xy -Ebene, b) xz -Ebene, c) yz -Ebene;
 Antennenposition: Dach, VW Passat Limousine B4.

4.2.3 Strahlungsdiagramme der auf dem linken hinteren Kotflügel montierten $1/4$ -Antenne für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4

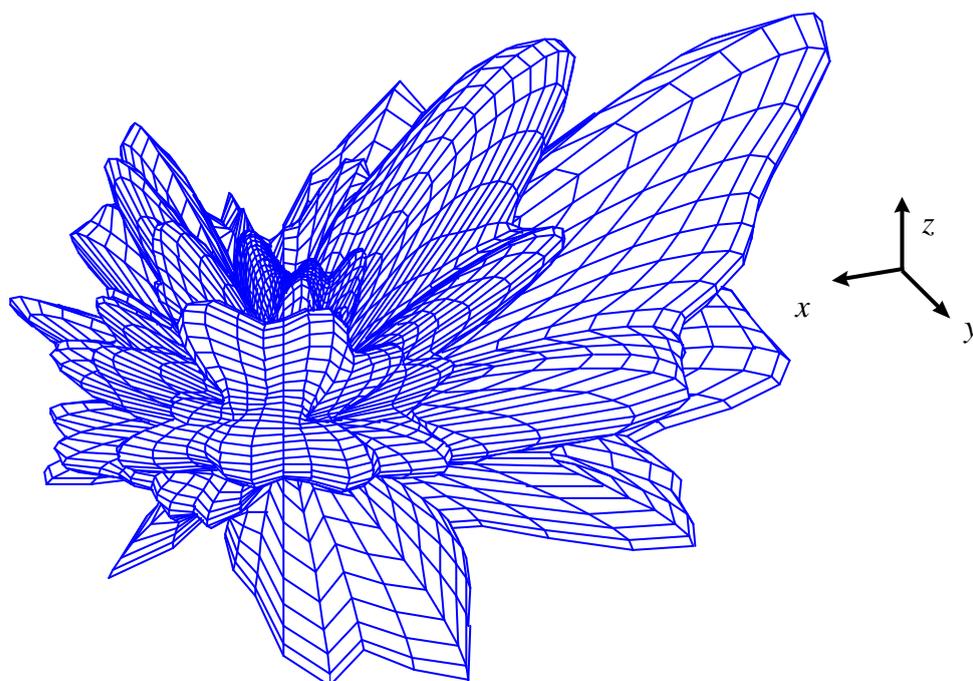
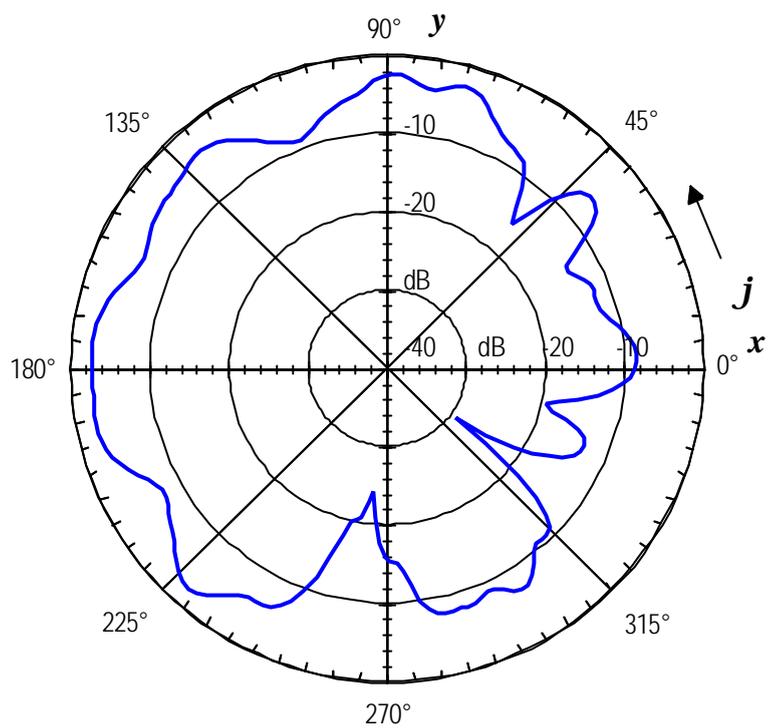
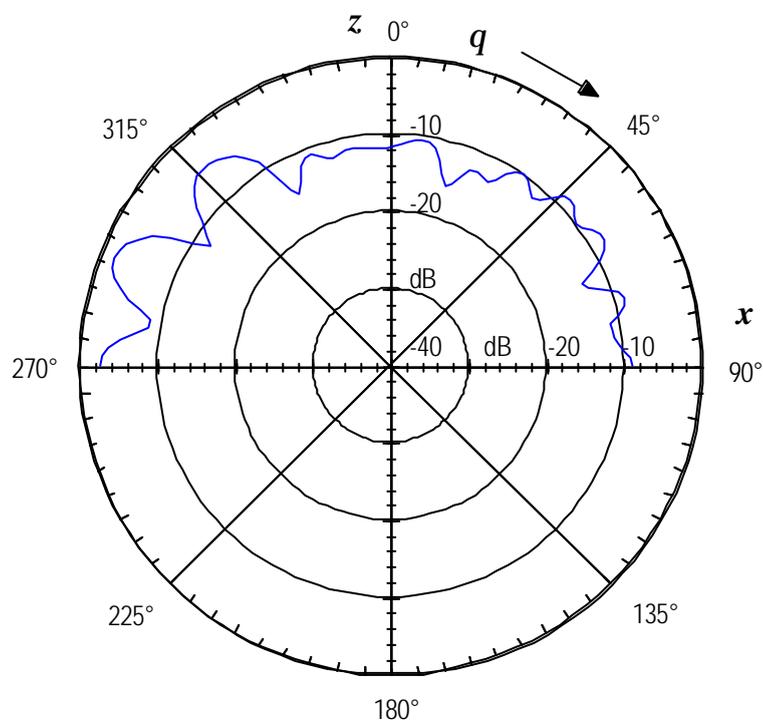


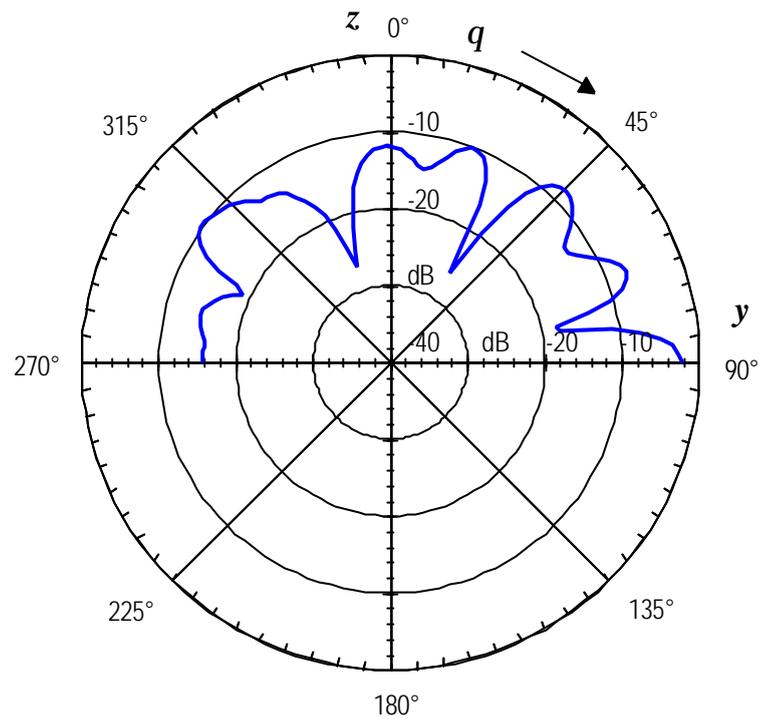
Bild 9: Dreidimensionale Darstellung des Strahlungsdiagramms für den Betrag der elektrischen Feldstärke; Antennenposition: Kotflügel hinten, VW Passat Limousine B4.



a)



b)



c)

Bild 10: Strahlungsdiagramm in den Hauptschnitten: a) xy -Ebene, b) xz -Ebene, c) yz -Ebene; Antennenposition: Kotflügel hinten, VW Passat Limousine B4.

4.2.4 Strahlungsdiagramme der auf dem linken vorderen Kotflügel montierten 1/4-Antenne für das Fahrzeug VW Passat Variant B4

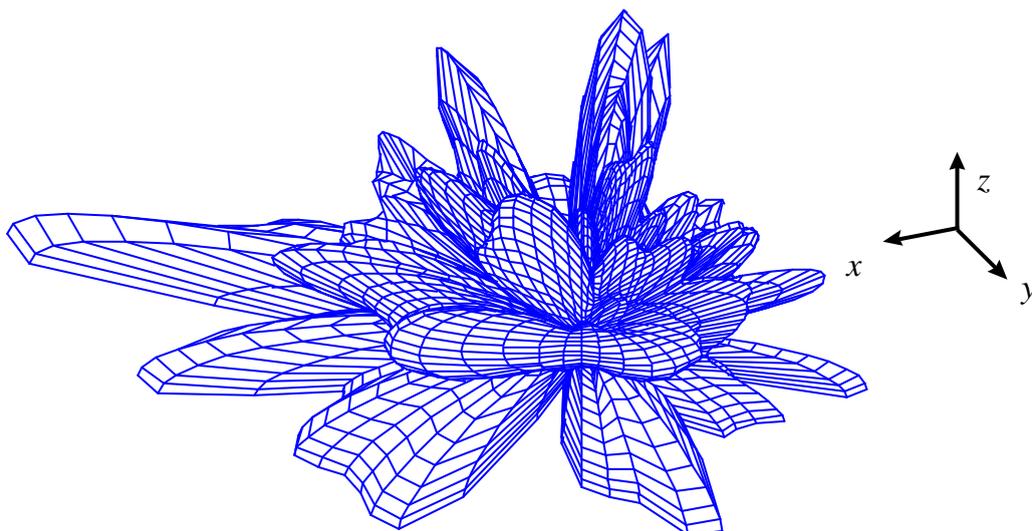
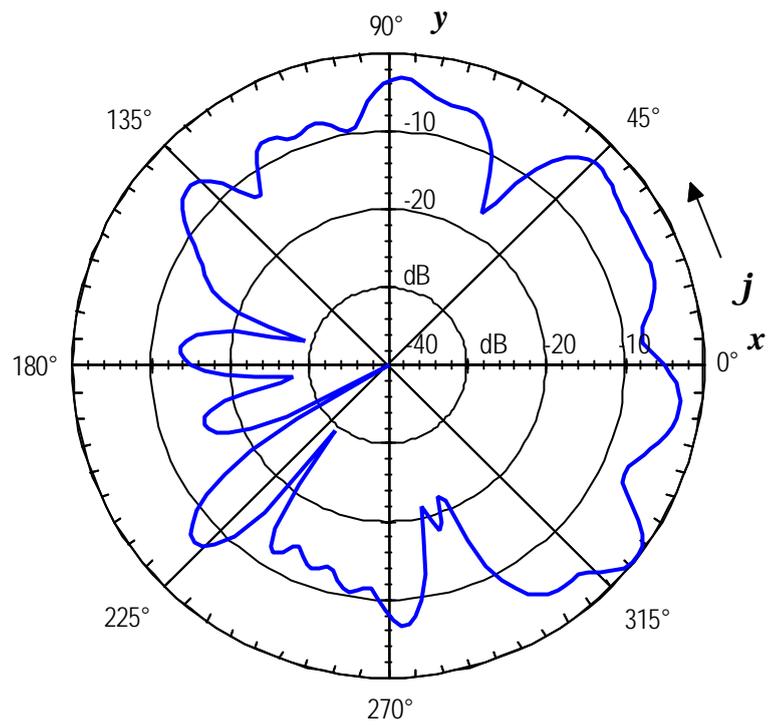
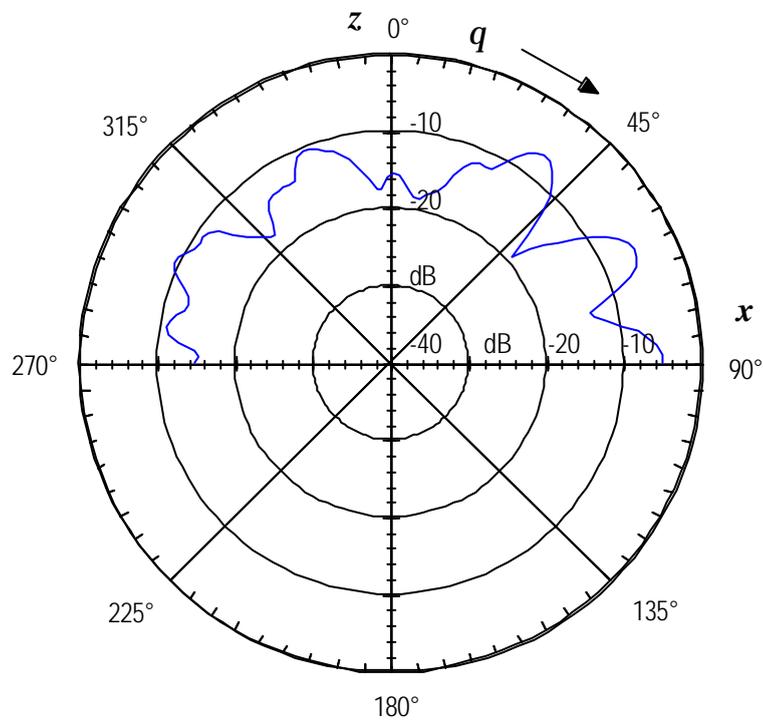


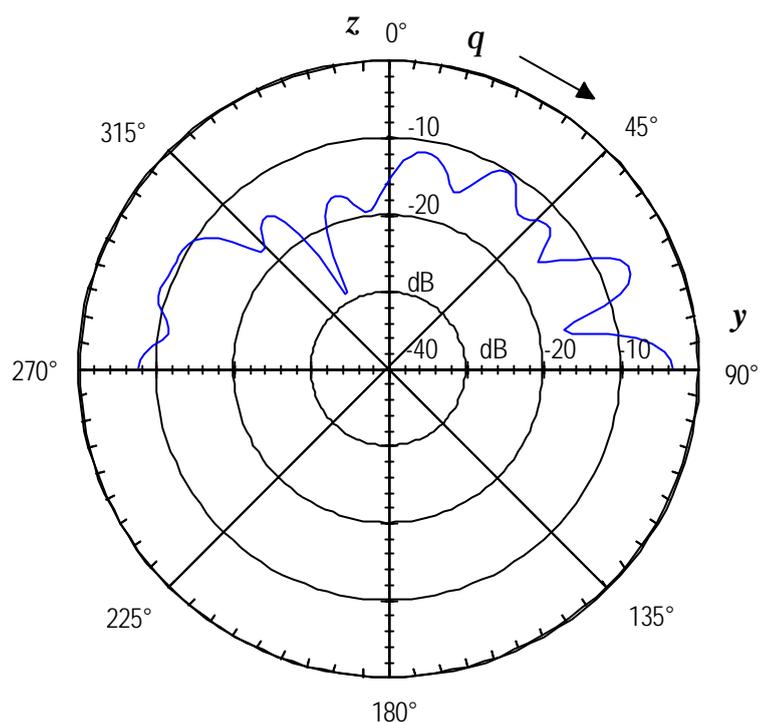
Bild 11: Dreidimensionale Darstellung des Strahlungsdiagramms für den Betrag der elektrischen Feldstärke; Antennenposition: Kotflügel vorne, VW Passat Variant B4.



a)



b)



c)

Bild 12: Strahlungsdiagramm in den Hauptschnitten: a) xy -Ebene, b) xz -Ebene, c) yz -Ebene; Antennenposition: Kotflügel vorne, VW Passat Variant B4.

4.2.5 Strahlungsdiagramme der auf dem Dach vorne montierten 1/4-Antenne für das Fahrzeug VW Passat Variant B4

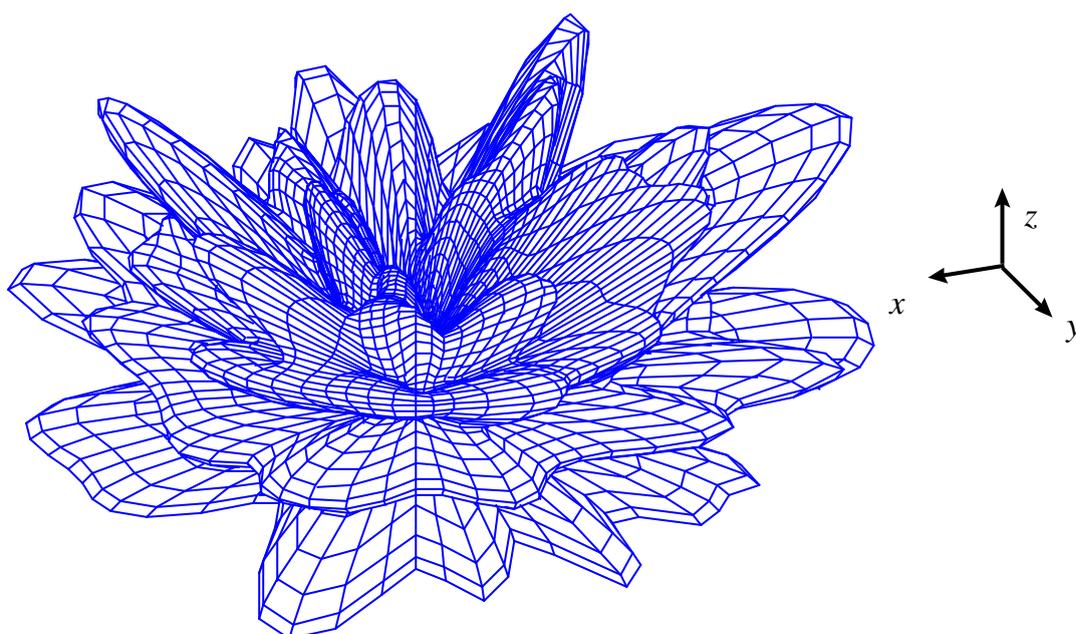
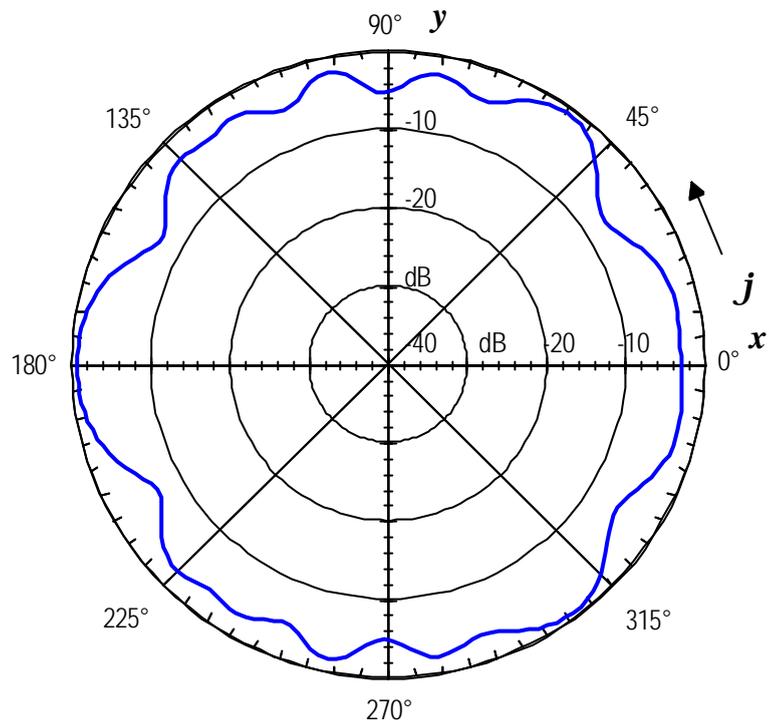
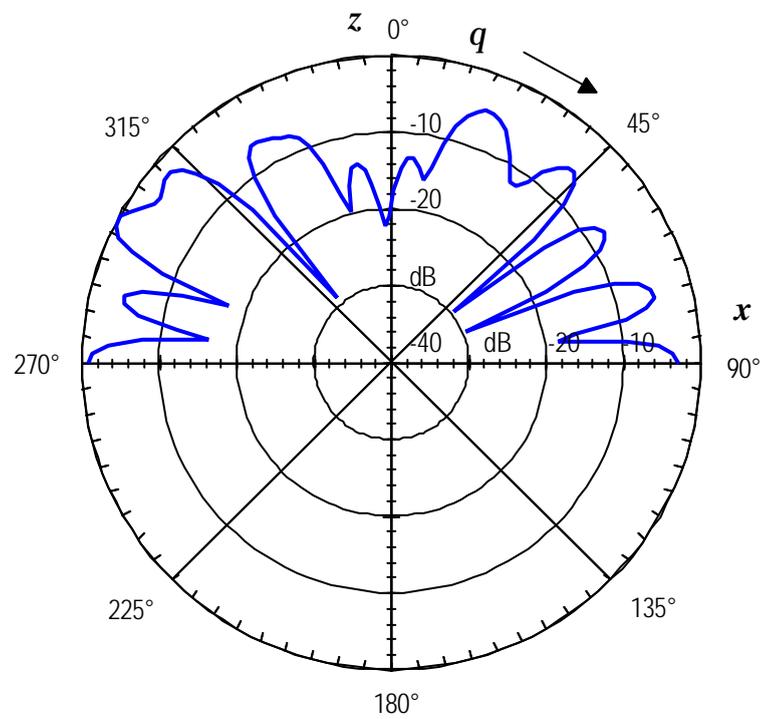


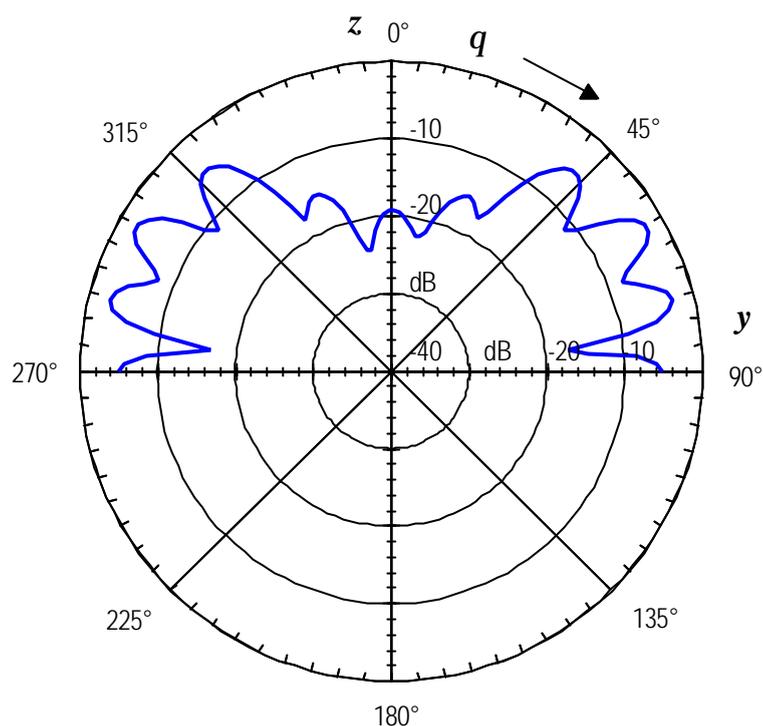
Bild 13: Dreidimensionale Darstellung des Strahlungsdiagramms für den Betrag der elektrischen Feldstärke; Antennenposition: Dach vorne, VW Passat Variant B4.



a)



b)



c)

Bild 14: Strahlungsdiagramm in den Hauptschnitten: a) xy -Ebene, b) xz -Ebene, c) yz -Ebene; Antennenposition: Dach vorne, VW Passat Variant B4.

4.2.6 Strahlungsdiagramme der auf dem Dach hinten montierten 1/4-Antenne für das Fahrzeug VW Passat Variant B4

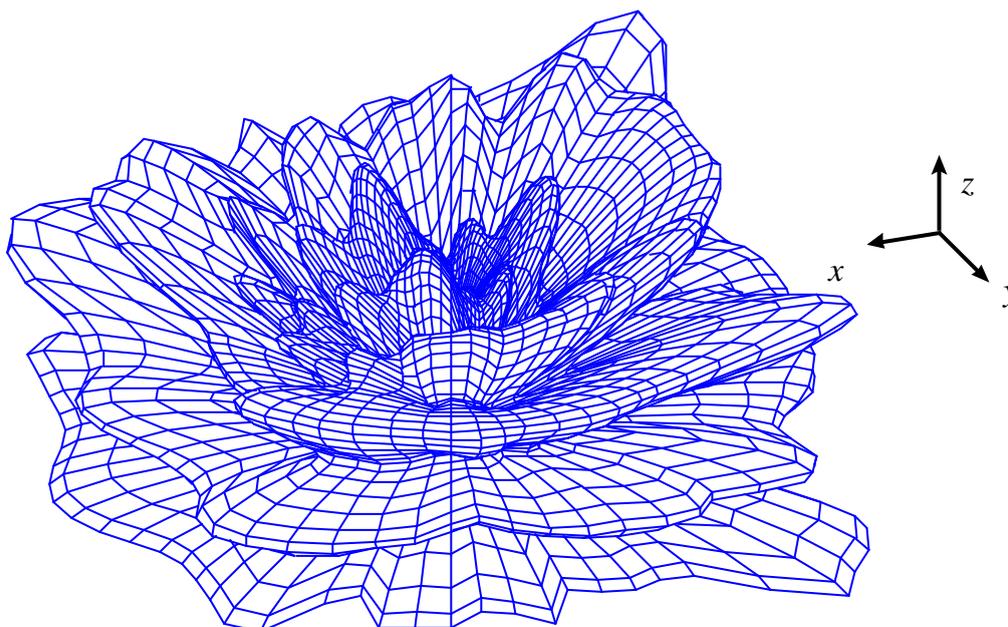
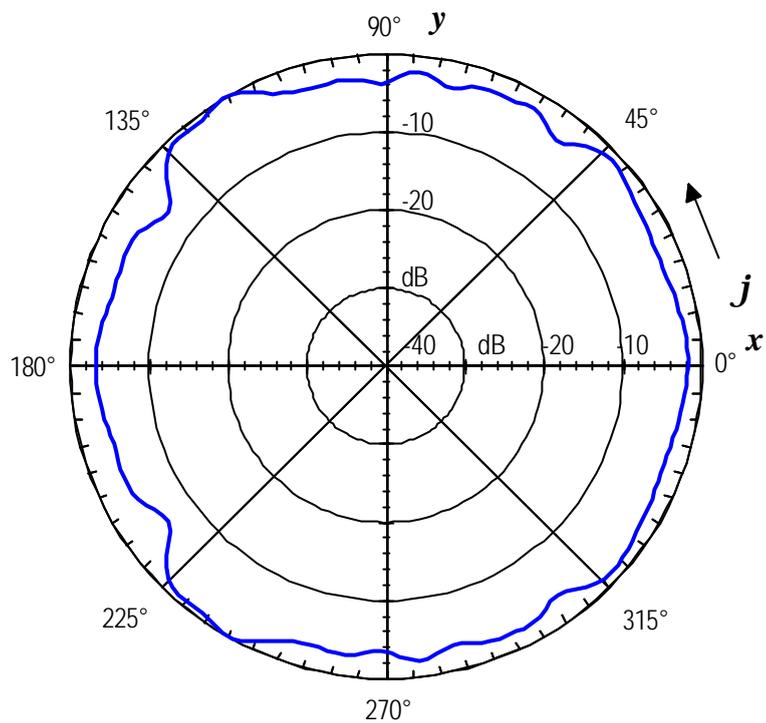
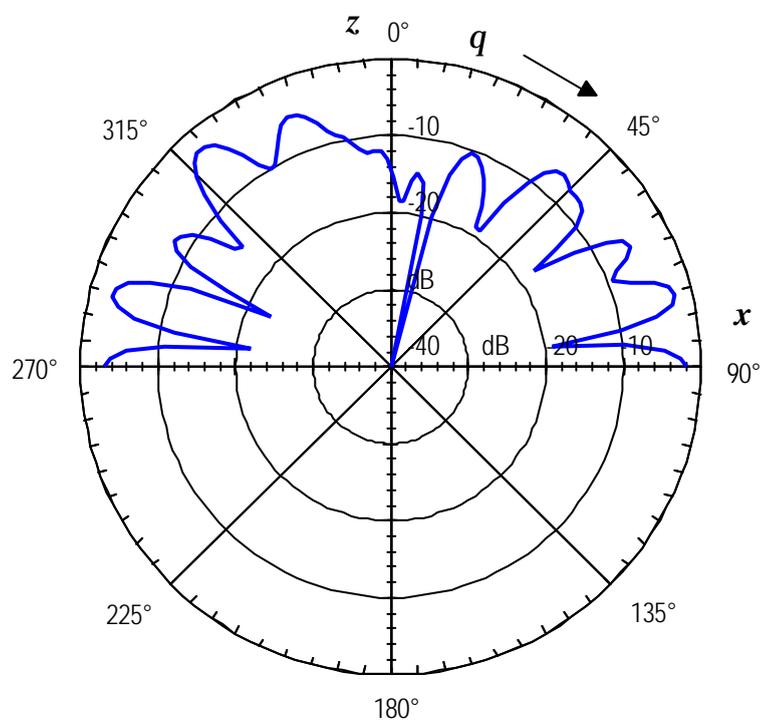


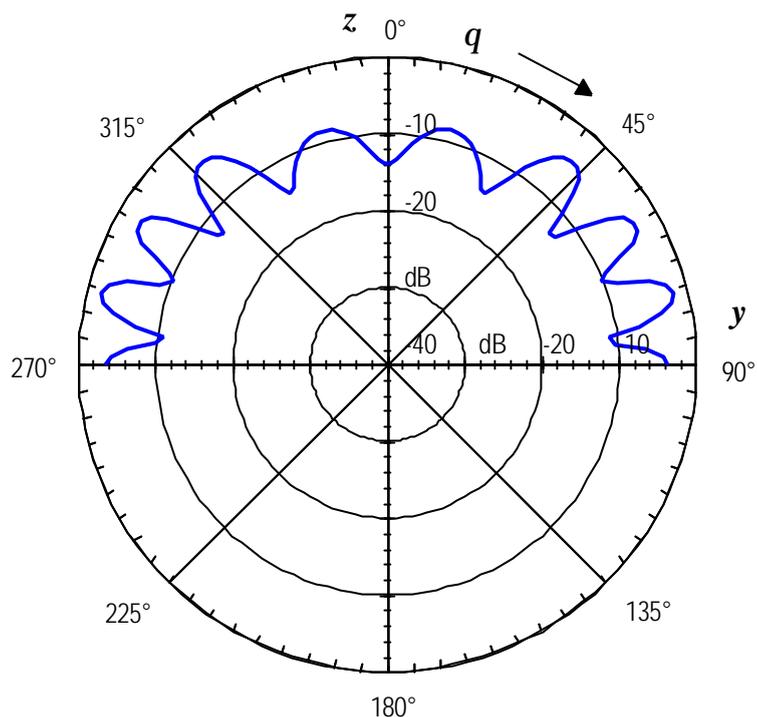
Bild 15: Dreidimensionale Darstellung des Strahlungsdiagramms für den Betrag der elektrischen Feldstärke; Antennenposition: Dach hinten, VW Passat Variant B4.



a)



b)



c)

Bild 16: Strahlungsdiagramm in den Hauptschnitten: a) xy -Ebene, b) xz -Ebene, c) yz -Ebene; Antennenposition: Dach hinten, VW Passat Variant B4.

4.3 Gewinn der Fahrzeugantennen

Antennenposition	Kotflügel vorne	Dach	Kotflügel hinten
Gewinn [dBi]	9,92	9,31	11,91

Tabelle 3: Gewinn der $\lambda/4$ -Fahrzeugantennen für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 als Funktion des Einbauortes.

Antennenposition	Kotflügel vorne	Dach vorne	Dach hinten
Gewinn [dBi]	13,35	9,21	8,47

Tabelle 4: Gewinn der $\lambda/4$ -Fahrzeugantennen für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 als Funktion des Einbauortes.

5 Ergebnisse bei Verwendung einer $\lambda/2$ -Stabantenne

Als alternative Antennenbauform wird im folgenden die $\lambda/2$ -Stabantenne für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei Dachmontage untersucht.

5.1 Elektromagnetische Umweltverträglichkeit innerhalb des Fahrzeugs

Tabelle 5 enthält die numerisch ermittelten Maximalfeldstärken (quaderförmiger Bereich auf den Vorder- und Rücksitzen in Höhe der Kopfstützen) für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 mit Dachantenne für eine HF-Ausgangsleistung von 8 W. Es zeigt sich, daß ein deutlicher Sicherheitsabstand in bezug auf die abgeleiteten Grenzwerte eingehalten wird.

Antennenposition	E_{\max} [V/m]	H_{\max} [A/m]
Dach	29,48	0,079

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

Die ermittelten Ersatzfeldstärken sind für den Fall der Dachmontage in den Bildern 3 und 4 in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 dargestellt.

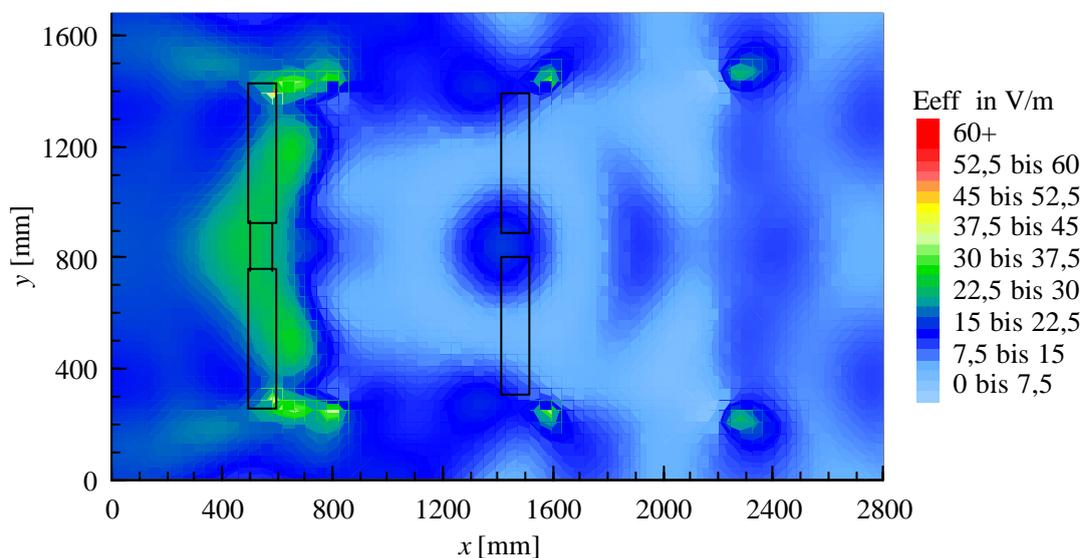


Bild 17: Numerisch bestimmte Verteilung der elektrischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4; Antennenposition: Dach.

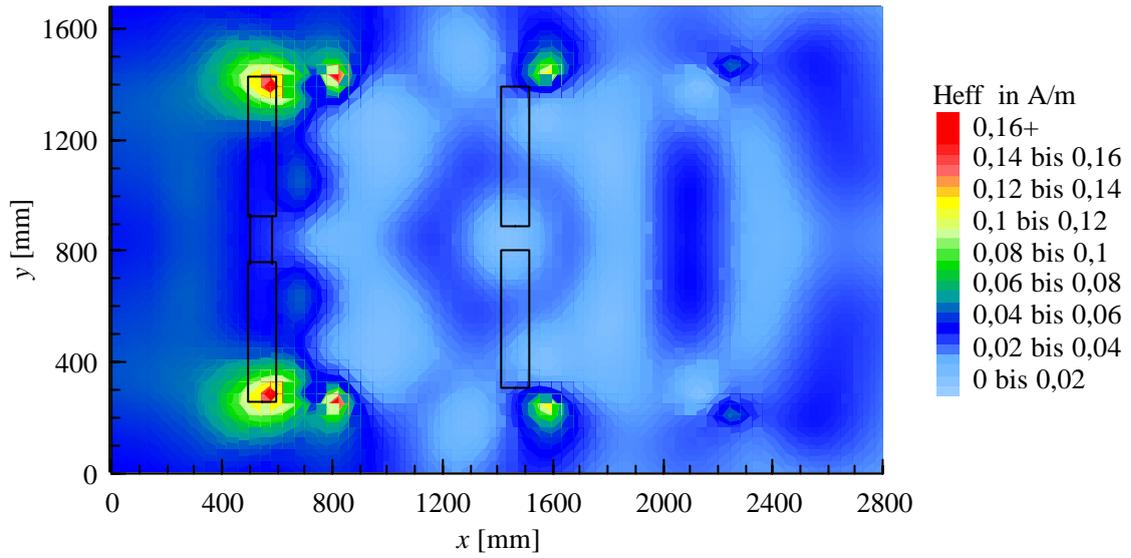


Bild 18: Numerisch bestimmte Verteilung der magnetischen Feldstärke in einer Ebene 10 cm unterhalb des Daches für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4; Antennenposition: Dach.

5.2 Strahlungsdiagramme

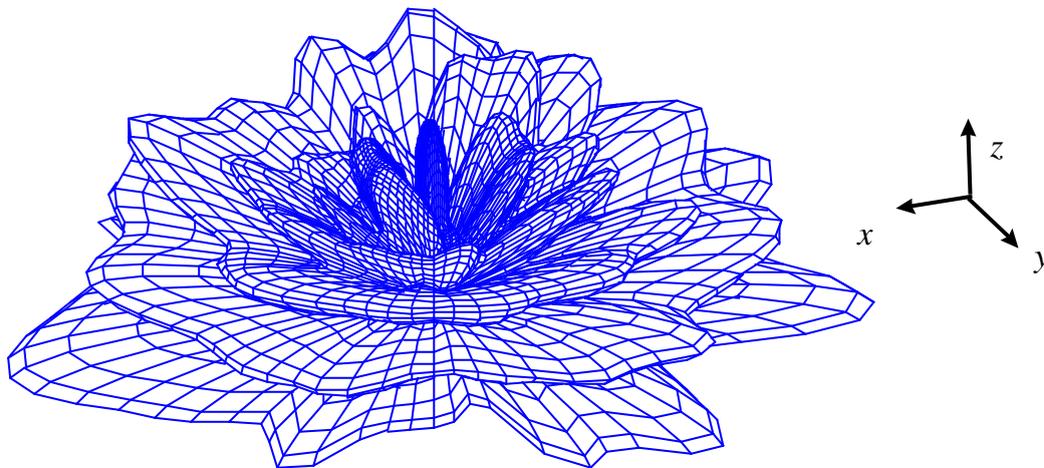
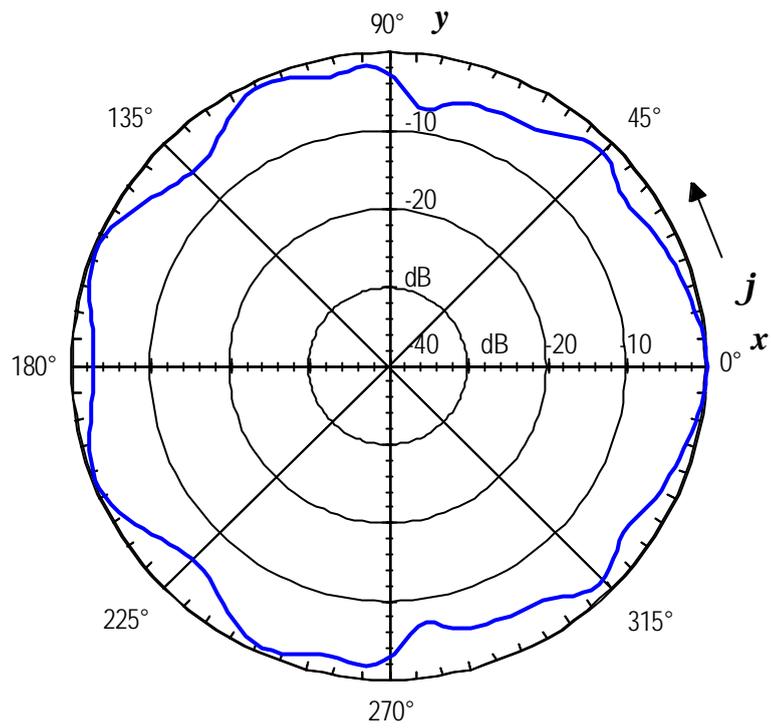
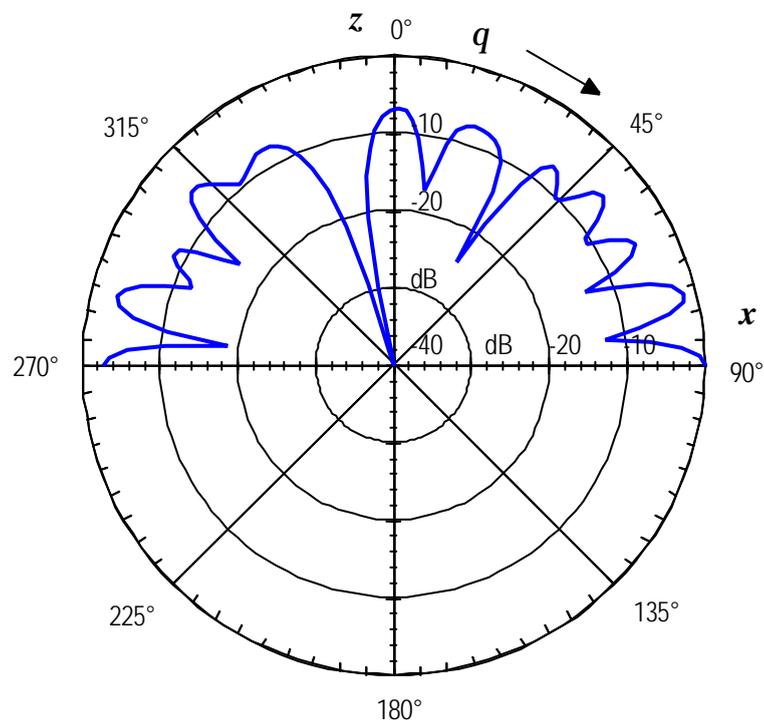


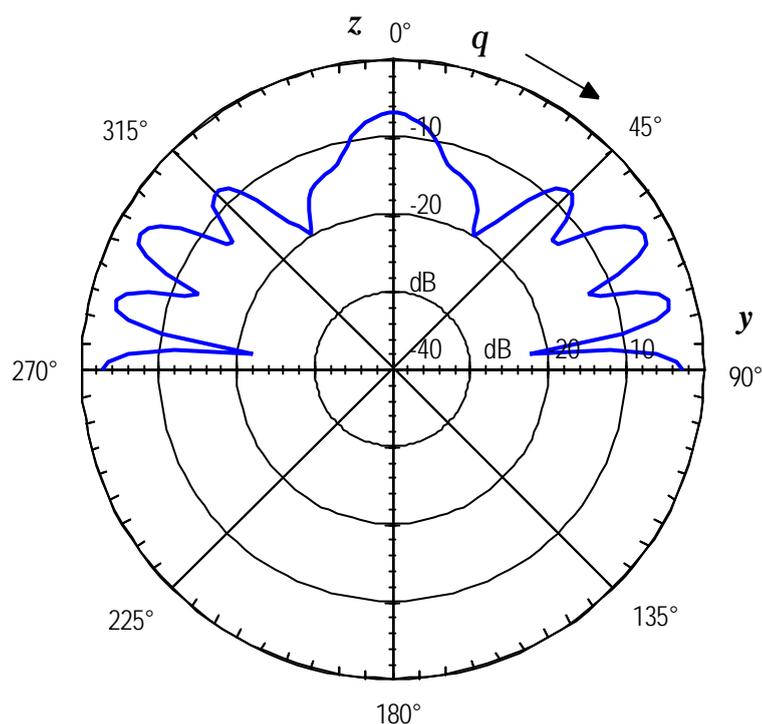
Bild 19: Dreidimensionale Darstellung des Strahlungsdiagramms für den Betrag der elektrischen Feldstärke; Antennenposition: Dach, VW Passat Limousine B4.



a)



b)



c)
 Bild 20: Strahlungsdiagramm in den Hauptschnitten: a) xy -Ebene, b) xz -Ebene, c) yz -Ebene;
 Antennenposition: Dach, VW Passat Limousine B4.

5.3 Gewinn der Fahrzeugantenne

Antennenposition	Dach
Gewinn [dBi]	9,91

Tabelle 6: Gewinn der $\lambda/2$ -Fahrzeugantenne für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 bei Dachmontage.

6 Bewertung

Im Auftrag der Polizei-Führungsakademie in Münster wurden numerische Berechnungen der Kenngrößen von Fahrzeugantennen im Bereich zukünftiger digitaler Funksysteme der Polizei durchgeführt. Hierbei wurden zwei verschiedene Fahrzeugtypen (VW Passat Limousine B4 und VW Passat Variant B4) mit jeweils drei verschiedenen Montagepunkten der Fahrzeugantennen untersucht.

Für die technische Bewertung der im Rahmen dieses Projekts bestimmten Strahlungsdiagramme sind folgende Aussagen von Bedeutung:

- Die Strahlungsdiagramme sind jeweils auf 0 dB normiert. Zur Berechnung des Gewinn diagrams ist also jeweils der ebenfalls ermittelte Gewinn zu addieren.
- Die in der Simulation berücksichtigte Leitfähigkeit des Erdbodens in Form einer unendlich ausgedehnten ideal leitenden Ebene beschränkt die Darstellung der Strahlungsdiagramme auf den Bereich $z \geq 0$.

Es zeigte sich eine starke Abhängigkeit der Strahlungscharakteristik der verwendeten Stabantennen vom Fahrzeugtyp sowie der konkreten Einbauposition. Von besonderem Interesse im Bereich des zukünftig bei der Polizei eingesetzten digitalen Funksystems ist das horizontale Strahlungsdiagramm in der xy -Ebene.

Bei der Verwendung einer $\lambda/4$ -Stabantenne ergab sich, daß die Dachmontage zu einem Horizontaldiagramm mit geringeren Einzügen führt als die übrigen Montagepunkte. Dies betrifft beide untersuchten Fahrzeugtypen. Auf der anderen Seite ist der Gewinn der auf den Kotflügeln montierten Antennen größer. Diese Gewinnerhöhung wird allerdings im wesentlichen durch ein stark unsymmetrisches horizontales Strahlungsdiagramm verursacht, ist insofern also unerwünscht.

Für das Fahrzeug VW Passat Variant B4 stellte sich heraus, daß die hintere Dachmontage zu den günstigsten Antenneneigenschaften führte. Weiterhin kann festgehalten werden, daß alle untersuchten Antennenpositionen zu Feldstärken im Fahrzeuginneren führten, die einen deutlichen Sicherheitsabstand in bezug auf die abgeleiteten Grenzwerte einhalten.

Für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 zeigte sich bei Verwendung einer $\lambda/4$ -Stabantenne, daß der ungünstigste Montagepunkt mit Einzügen im Strahlungsdiagramm von über 20 dB sich auf dem hinteren Kotflügel befindet. Der Montagepunkt mit den günstigsten Antenneneigenschaften befindet sich auf dem Dach. Die Dachmontage steht allerdings in klarem Gegensatz zu EMVU-Gesichtspunkten, da diese Antennenposition zu den höchsten Feldstärken im Fahrzeuginneren führt. Hierbei werden für eine HF-Ausgangsleistung von 8 W teilweise die abgeleiteten Grenzwerte der deutschen und europäischen Personenschutznorm [DIN 0848 91][ENV 50166] überschritten.

Deshalb wurde in einer weitergehenden Analyse für das Fahrzeug VW Passat Limousine B4 untersucht, ob bei der Verwendung einer alternativen Antennenbauform ($\lambda/2$ -Stabantenne) der Vorteil des gleichmäßigen Strahlungsdiagramms bei der Dachmontage mit der Berücksichtigung von EMVU-Gesichtspunkten im Fahrzeuginneren verknüpft werden kann. Hierbei zeigte sich, daß der Gewinn der $\lambda/2$ -Stabantenne gegenüber der $\lambda/4$ -Stabantenne noch einmal geringfügig größer ist und zusätzlich eine ausgeprägte Rundstrahlcharakteristik im Horizontaldiagramm festzustellen ist. Gleichzeitig führte die $\lambda/2$ -Stabantenne zu Ersatzfeldstärken im Fahrzeuginneren, die um etwa 5 dB unterhalb der Ersatzfeldstärken für die $\lambda/4$ -Stabantenne liegen. Es kann also zusammengefaßt werden, daß sowohl von den Antenneneigenschaften als auch vom EMVU-Standpunkt der Einsatz einer $\lambda/2$ -Stabantenne zu bevorzugen ist. Die Kosten des notwendigen Anpaßnetzwerks bei Verwendung einer $\lambda/2$ -Stabantenne sollten gegenüber den Kosten für das Gesamtsystem, insbesondere der Montage, zu vernachlässigen sein.

7 Anhang

In diesem Abschnitt erfolgt eine Zusammenfassung der wichtigsten Antennenkenngrößen entsprechend den Empfehlungen der ITG [ITG 94].

Die Richtcharakteristik

$$C(\mathbf{q}, \mathbf{j}) = \frac{|E(\mathbf{q}, \mathbf{j})|}{|E(\mathbf{q}, \mathbf{j})|_{\max}} \quad (1)$$

beschreibt die Winkelabhängigkeit des Betrags der elektrischen Feldstärke im Fernfeld der Antenne.

Aus der Strahlungsdichte $S(\mathbf{q}, \mathbf{j})$ im Fernfeld einer Antenne,

$$S(\mathbf{q}, \mathbf{j}) = \frac{1}{2} |E(\mathbf{q}, \mathbf{j})| |H(\mathbf{q}, \mathbf{j})| \quad , \quad (2)$$

läßt sich die Strahlungsleistung P_t durch Integration über die Oberfläche einer Kugel mit dem Radius r bestimmen:

$$P_t = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} S(\mathbf{q}, \mathbf{j}) r^2 \sin \mathbf{q} \, d\mathbf{q} \, d\mathbf{j} \quad . \quad (3)$$

Der Richtfaktor D stellt ein Maß für die Bündelungsfähigkeit der Antenne dar. Für einen gegebenen Abstand r ist er gegeben durch

$$D = \frac{S(\mathbf{q}, \mathbf{j})_{\max}}{\langle S(\mathbf{q}, \mathbf{j}) \rangle} \quad , \quad (4)$$

mit $\langle S(\mathbf{q}, \mathbf{j}) \rangle$ der mittleren Strahlungsdichte

$$\langle S(\mathbf{q}, \mathbf{j}) \rangle = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad . \quad (5)$$

Die mittlere Strahlungsdichte ist diejenige Strahlungsdichte, die ein hypothetischer verlustloser, isotroper Kugelstrahler mit der Strahlungsleistung P_t gleichmäßig in alle Raumrichtungen abstrahlt. Damit ergibt sich die äquivalente isotrope Strahlungsleistung (EIRP) P_{ei} , die einem verlustlosen, isotropen Kugelstrahler zugeführt werden muß, damit dieser die gleiche Strahlungsdichte liefert wie die Antenne in Hauptstrahlrichtung, aus

$$P_{ei} = P_t D \quad . \quad (6)$$

Der Antennenwirkungsgrad h ist definiert als

$$h = \frac{P_t}{P_{t0}} \quad , \quad (7)$$

mit P_t der Strahlungsleistung der Antenne und P_{t0} der Antenneneingangswirkleistung. Hieraus ergibt sich der Gewinn g durch

$$g = hD \quad . \quad (8)$$

In einem verlustlosen System ist damit der Gewinn äquivalent zum Richtfaktor einer Antenne.

Für eine Freiraumübertragungsstrecke, bei der sich die Empfangsantenne im Fernfeld der Sendeantenne befindet, gilt für den Übertragungsfaktor \mathbf{a} , der als das Verhältnis zwischen verfügbarer Wirkleistung der Empfangsantenne und der Eingangsleistung der Sendeantenne definiert ist, bei optimaler Orientierung und Polarisation der Antennen zueinander

$$\mathbf{a} = \left(\frac{1}{4pr} \right)^2 g_t g_r \quad , \quad (9)$$

mit g_t dem Gewinn der Sendeantenne und g_r dem Gewinn der Empfangsantenne.

8 Literaturverzeichnis

- [Concept] H. Singer, Technische Universität Hamburg-Harburg, *CONCEPT II*.
- [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.
- [ITG 94] Fachausschuß 2.1 „Antennen“ der ITG: Begriffe aus dem Gebiet der Antennen-Elektrische Eigenschaften und Kenngrößen, In: ITG-Fachbericht 128-Antennen, Dresden, S. 401-406, 1994.
- [PFA 1997] IMST GmbH: Meßtechnische Untersuchung der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit von Funksystemen der Polizei, 1997.
- [VW 1997] Volkswagen AG: Persönliche Mitteilungen, 1997.

**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