

Selbsterklärung? Messen statt Rechnen! Anwendung der Feldsonden HFS1 und EFS1

Dipl.-Ing. HORST-DIETER ZANDER – DJ2EV

Kalibrierte Feldsonden sind eine Voraussetzung für die Anerkennung von Feldstärkemessungen durch die RegTP. Der Beitrag informiert über Daten, Kalibrierung, Anwendung der Feldsonden HFS1 und EFS1.

In [1] wurden das Kleinleistungsmeßgerät PWRM1 und die Magnetfeldsonde HFS1 vorgestellt. Die E-Feld-Sonde EFS1 ist inzwischen ebenfalls verfügbar. Alle Komponenten werden einzeln oder als Set in einem kleinem Koffer (Bild 1) angeboten.



Bild 1:
Meßkoffer mit
H-Feldsonde HFS1,
E-Feldsonde EFS1,
Pegelmeßgerät
PWRM1,
BNC-BNC-
Adapter und
9-V-Batterieblock

■ H-Feld-Sonde HFS1

Nach dem Erscheinen von [1] vertrat einige Leser die Meinung, daß die H-Feldsonde HFS1 keine Abschirmung gegen das elektrische Feld aufweise und daher die Meßwerte verfälscht sein können – deshalb zunächst einige klärende Worte. Offenbar wurde das von DL7AV in [2] beschriebene Grundprinzip der H-Feld-Sonde für die HFS1 übernommen und in eine preisgünstige, serienmäßig reproduzierbare Leiterplattenlösung umgesetzt. Während jedoch in [2] die elektrostatische Abschirmung des Ringleiters durch die Ver-

wendung von Koaxiakabel erfolgt, hat man für die HFS1 eine andere Lösung gewählt. Dazu zitiere ich den Hersteller:

„Die elektrostatische Abschirmung gegen das Übersprechen des Elektrischen Feldes am Ausgang der H-Feldsonde, in der

Fachliteratur als ‚Hochantenneneffekt‘ bezeichnet, wurde in den Ringkern hinein verlegt, indem der Ringleiter innerhalb einer einseitig geerdeten Abschirmhülse durch den mit der Sekundärwicklung bewickelten Ringkern geführt wird. Die erzielte Unterdrückung des Hochantenneneffekts ist der Vollschirmung des Rahmens mindestens gleichwertig.“

Gegenüber dem in [1] vorgestellten HFS1-Nullserienmuster sind die Daten und der Frequenzgang für die Serienausführung weiter verbessert worden (s. Tabelle 1). Der Nennfrequenzbereich wurde nach oben bis 175 MHz erweitert, der Frequenzgang geglättet und dem Sollwert noch besser angenähert. Bild 2 zeigt den vom Hersteller in einer kommerziellen TEM-Zelle gemessenen Frequenzgang der Kombination Referenzmuster-Sonde HFS1 mit dem PWRM1 [3], [4]. Der Verlauf stellt die Überlagerung des von der HFS1 abgegebenen Signals mit dem Frequenzgang des PWRM1 [1] dar.

■ E-Feld-Sonde EFS1

Die Feldsonde für das elektrische Feld EFS1 (Daten in Tabelle 2) besteht aus

einem Dipol mit zwei halbkeisförmigen Flächen und einem Anpassungsnetzwerk zur Begradigung des Frequenzganges und ist, wie die HFS1, auf einem stabilen Epoxydharzträger realisiert. Der Wandlerfaktor ist so ausgelegt, daß an einem nachgeschalteten Leistungsmesser mit dBm-Anzeige und 50 Ω Eingangsimpedanz einer elektrischen Feldstärke von 1 V/m = 0 dBV/m eine Anzeige von -70 dBm entspricht, d.h., der angezeigte Wert in dBm + 70 dB ergibt den Wert in dBV/m.

Mit dem PWRM1 resultiert damit ein Meßbereich von 0 dB/V bis +70 dBV/m entsprechend 3,16 kV/m. (Höhere Werte – bis + 85 dBV/m entsprechend 31,6 kV/m – fallen zwar in den theoretisch möglichen Anzeigebereich, sind aber aus verschiedenen Gründen für die Praxis auszuschließen!)

Die zur jeweiligen Anzeige gehörigen Feldstärkewerte lassen sich aus dem Nomogramm Bild 3 entnehmen. Ein vergrößert dargestellter 20-dB-Abschnitt hilft beim Ermitteln der exakten Werte. Entsprechend können damit auch die Zahlenwerte anderer 20-dB-Abschnitte genauer bestimmt werden. Die Grenzwerte der elektrischen Feldstärke nach Vfg. 306/97 bzw. VDE 0848 Teil 3-1 liegen zwischen 2,76 V/m (Herzschrittmacher 10 m) und 63,28 V/m (Personenschutz 160 m). Sie werden somit durch die Kombination EFS1 und PWRM1 voll erfaßt.

Bild 4 zeigt den vom Hersteller in einer TEM-Zelle, Rohde & Schwarz S-Line 700, gemessenen Frequenzgang der Kombination Referenzmuster-Sonde EFS1 mit dem PWRM1 [3], [4].

■ Feldstärkemessungen

Bei Feldstärkemessungen an Amateurfunkstellen, vor allem in städtischen Wohngebieten, liegen fast nie ideale Umgebungsbedingungen vor. Da ferner die unterschiedlichsten Antennenkonfigurationen benutzt werden, sind die Meßsituationen von Funkstelle zu Funkstelle differierend. Meßergebnisse können nicht von der einen auf die andere übertragen werden.

Tabelle 1: Technische Daten der HFS1

| | |
|---------------------------------|--|
| Nennfrequenzbereich: | 500 kHz ... 175 MHz |
| Arbeitsfrequenzbereich: | 250 kHz ... 250 MHz |
| erforderliche Abschlußimpedanz: | 50 Ω |
| Anschluß: | BNC-Buchse |
| Nennimpedanz: | 50 Ω |
| Wandlerfaktor: | 1 (0 dBA/m \triangleq 0 dBm) |
| Wandlerunsicherheit absolut: | -1,0 dB + 1,5 dB (bei Verwendung von PWRM1 zur Anzeige) |
| Meßbereich mit PWRM1: | -70 ... +15 dBA/m (0,32 mA/m ... 5,6 A/m) |
| Abmessungen: | \varnothing 160 mm \times 30 mm |
| Masse: | 52 g |
| Wandlerprinzip: | Rahmen mit geschirmtem Stromwandler im Kurzschlußbetrieb |

Tabelle 2: Technische Daten der EFS1

| | |
|---------------------------------|--|
| Nennfrequenzbereich: | 1 MHz ... 60 MHz |
| Arbeitsfrequenzbereich: | 500 kHz ... 80 MHz |
| erforderliche Abschlußimpedanz: | 50 Ω |
| Anschluß: | BNC-Buchse |
| Nennimpedanz: | 50 Ω |
| Wandlerfaktor: | 0,0003162 (0 dBV/m \triangleq -70 dBm) |
| Wandlerunsicherheit absolut: | -1,0 dB + 1,5 dB (bei Verwendung von PWRM1 zur Anzeige) |
| Meßbereich mit PWRM1: | 0 dBV/m ... +70 dBV/m (1 V/m ... 3,16 kV/m) |
| Abmessungen: | 152 mm \times 152 mm \times 35 mm |
| Masse: | 90 g |
| Wandlerprinzip: | kurzer Dipol, kapazitiv geschuntet, hochohmig symmetriert |

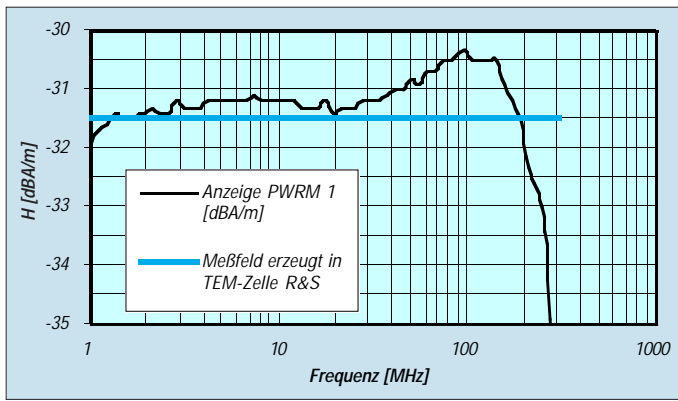


Bild 2: Magnetische Feldstärke, Referenzfrequenzgang: HFS1 mit PWRM1, Referenzpegel -31,5 dBA/m entspr. 10 V/m; Überlagerung des von der HFS1 abgegebenen Signals mit dem Frequenzgang des PWRM1; Messung in R&S-TEM-Zelle

Die Messungen sollten daher so genau und plausibel wie möglich sein, damit die Ergebnisse von der RegTP akzeptiert werden können. Erläuterungen zum Thema „Meßtechnische Betrachtung“ finden sich u.a. in den Internetseiten der RegTP zum Plausibilitätsüberprüfungsverfahren [5].

| Anzeige (dBm) | E-Feldstärke mit EFS1 (dBV/m) | (V/m) | (dBV/m) | (V/m) |
|---------------|-------------------------------|-------|---------|-------|
| +10 | | | 20 | 10 |
| 0 | 70 = 3,16 kV/m | | 18 | 7,94 |
| -10 | 60 = 1 kV/m | | 16 | 6,31 |
| -20 | 50 = 316 V/m | | 14 | 5,01 |
| -30 | 40 = 100 V/m | | 12 | 4,0 |
| -40 | 30 = 31,6 V/m | | 10 | 3,16 |
| -50 | 20 = 10 V/m | | 8 | 2,51 |
| -60 | 10 = 3,16 V/m | | 6 | 2,0 |
| -70 | 0 = 1 V/m | | 3 | 1,41 |
| | | | 0 | 1 |

Bild 3: Interpretation der Anzeige des PWRM1 mit EFS1 in dBV/m als E-Feldstärke E in V/m

Zur Erleichterung der Nachvollziehbarkeit der Meßprotokolle sollten die Vorlagen „Allgemeine Angaben zur Messung“ (Bild 5) und „Auswertblatt“ verwendet werden. Diese Formblätter nebst Erläuterungen stehen als Dateien im PDF-Format unter [5] zum Download bereit.

Plausible Meßpunkte

Die Plausibilität einer Messung hängt entscheidend von der Wahl der Meßpunkte ab. Meßpunkte sind so zu wählen, daß die Einhaltung der Grenzwerte an der Grundstücksgrenze bzw. in Bereichen, die nicht nur für den vorübergehenden Aufenthalt bestimmt sind, nachgewiesen wird. In Zweifelsfällen sind die Meßpunkte mit der RegTP zu vereinbaren.

Hinweis: Es kann nicht festgestellt werden, ob zum Zeitpunkt der Messungen sämtliche umliegenden Sendeanlagen in Betrieb sind und damit bei den Messungen geeignet erfaßt werden können. Relevante Feldstärken umliegender ortsfester Sende-

funkanlagen werden daher durch einen standortspezifischen Sicherheitsfaktor berücksichtigt. Dieser kann aufgrund der dafür erforderlichen Kenntnis nur von der RegTP individuell festgelegt werden (was sinngemäß auch für die rein rechnerische Betrachtung zur Berechnung von Sicherheitsabständen gilt).

Meßeinrichtung und Kalibrierung

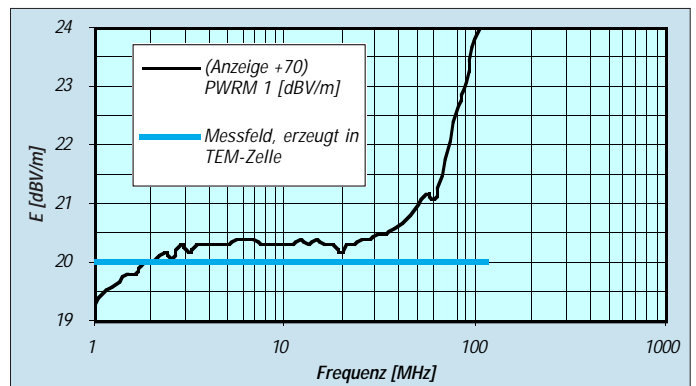
In das Formblatt „Allgemeine Angaben zur Messung“ sind die verwendeten Meßgeräte mit einer plausiblen Dokumentation zu deren Kalibrierung einzutragen. Im vorliegenden Fall kann auf Unterlagen des Herstellers verwiesen werden:

Dem Komplettsatz aus Sonden und Pegelmeßgerät bzw. den Einzelkomponenten liegt die schriftliche Beschreibung der Herstellerkalibrierung bei [4]. Ergänzend bietet der Hersteller eine turnusmäßige Überprüfung der Kalibrierung als Dienstleistung an.

Durchführung, Protokollierung und Kommentierung der Messungen

Für die Durchführung der Messungen empfiehlt es sich, z.B. ein Dreierteam zu bilden: Ein Meßverantwortlicher für die sorgfältige Ausrichtung der nichtisotropen Sonden auf Feldstärkemaximum am jeweiligen genau definierten Meßpunkt und Ableseung der Meßwerte; ein Protokollführer, der die Meßwerte im Meßprotokoll festhält sowie der dritte Mann zur Senderbedienung und Überwachung der Ausgangleistung.

Bild 4: Elektrische Feldstärke, Referenzfrequenzgang: EFS1 mit PWRM1, Referenzpegel +20 dBV/m entspr. 10 V/m; Überlagerung des von der EFS1 abgegebenen Signals mit dem Frequenzgang des PWRM1; Messung in R&S-TEM-Zelle S-Line 700), Sonde direkt mit PWRM1 verbunden



Die Messungen müssen mit definierter Leistung erfolgen. Dabei sind Erwärmungsprobleme des Senders zu beachten! Nur mit einem unmodulierten Träger (CW-Dauerstrich) ist eine leicht ablesbare ruhige Anzeige am Pegelmessgerät zu erreichen. Die jeweiligen Feldstärke-Grundpegel, ohne das Sendesignal, sollten zu jedem Meßpunkt mit protokolliert werden.

Praktische Hinweise

Die Kalibrierung der Meßkombination gilt gemäß [4] nur für den direkten Anschluß der Sonden HFS1 bzw. EFS1 über einen BNC-Adapter an den PWRM1. Die Kombination sollte daher auch so verwendet werden, da ein zwischengeschaltetes Meßkabel die Meßwerte verändern und möglicherweise sogar verfälschen würde.

Wertanzeige bei Feldstärkemessungen

Die Anzeige des PWRM1 liegt bei H- und E-Feldmessungen unter 0 dBm, es werden somit negative Werte angezeigt (s. Bild 5 in [1] bzw. Bild 3). Daraus folgt – in möglicherweise gewöhnungsbedürftiger Form: Zunahme der Feldstärke zeigt sich durch eine Verkleinerung, Abnahme der Feldstärke durch Vergrößerung des angezeigten Zahlenwertes! Infolge der konstruktiv bedingten Wandlerfaktoren ist die Wertanzeige für die H-Feld-Sonde HFS1 im Mittel etwa 20 dB höher als mit der E-Feld-Sonde EFS1.

Körpernahe oder abgesetzte Messung?

– H-Feld-Messung: Die Kombination mit der Magnetfeldsonde HFS1 wird zumindest im KW-Bereich nur sehr geringfügig von der Körpernähe beeinflusst (etwa < 0,2 dB) und kann z.B. gut mit leicht ausgestrecktem Arm geführt werden.

– E-Feld-Messung: Die Kombination mit der E-Feldsonde EFS1 zeigt dagegen in Körpernähe eine stärkere Beeinflussbarkeit. Diese hängt von der Frequenz und der näheren Umgebung ab.

Als Beispiel dafür nachfolgend einige meiner Beobachtungen:

Im Garten stehend und mit freiem Blick in Richtung auf die Sendeantenne (Strahlungs-

Allgemeine Angaben zur Messung (Blatt 1):
Standort der Sendefunkanlage(n):
 Straße, Hausnummer PLZ, Ort
Messung durchgeführt von: Messung durch den Betreiber selber ausgeführt
 Name/-mensura ggf. Anschrift/Firmenschrift
Angaben zu den Meßpunkten (MP):
 Anzahl der Meßpunkte var Meßpunkt-Nummer (MP-Nr.) bis Meßpunkt-Nummer (MP-Nr.)
 HSM relevante Meßpunkte
 Personenschutz relevante Meßpunkte
Verwendete Meßgeräte:

| UId. Nr. | Hersteller | Kurzbezeichnung | Bezeichnung Beschreibung |
|----------|------------|-----------------|--------------------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |

Beschreibung der Sendee-Antennen:

| UId. Nr. | Kurzbezeichnung | Montagehöhe der Antenne, angeschlossen Karte über Grund (in Meter) | Beschreibung ggf. Hinweis auf Zeichnungen, Abbildungen usw. | Antennengewinn (dB) |
|----------|-----------------|--|---|---------------------|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |

 weiter Sendeanlagen auf weiteren Blättern *Allgemeine Angaben zur Messung
 Hiermit bestätige ich die Richtigkeit der Angaben
 Ort Datum Unterschrift

Bild 5: Formblatt der RegTP für Allgemeine Angaben bei EMV-Messungen durch Funkamateure, s. [5]

quelle) – vgl. Bild 6 und 9 in [1] – habe ich je nach Frequenz und Körpernähe der Meßkombination eine Zunahme des angezeigten Wertes bis etwa +3 dB beobachtet.

In Gegenrichtung – Sonde in etwa unveränderter Position – trat eine Verringerung der Anzeige ein (Körper wirkt „abschattend“), jedoch konnte ich bei mir auf der Terrasse in Hauswandnähe auch den umgekehrten Effekt beobachten: Ansteigen der Feldstärke im Körperschatten um 4 dB! Bei gestrecktem Arm ist dieser Effekt allerdings geringer ausgeprägt. Insbesondere auf den unteren KW-Bändern (160 m, 80 m, 40 m) lassen sich Orientierungsmessungen auf diese Weise durchführen.

Für das Meßprotokoll [5] sollen die Meßwerte so genau wie möglich sein. Daher müssen unkritischere und genauere E-Feldmessungen durch Vergrößerung des Abstandes zwischen Meßkombination und Körper erreicht werden. Der Hersteller bietet dazu optional eine Schnapphalterung (Bild 6) an, mit der die Meßkombination zur Führung von Hand, z.B. an einer 1 m langen Glasfaser- oder Holzstange, befestigt werden kann.

Die relativ große LCD-Anzeige des PWRM1 kann auch aus größerer Entfernung noch gut abgelesen werden, so daß unter Verwendung der Schnapphalterung ein Holzstativ (für definierte Meßhöhe und größere Ableseentfernung) eingesetzt oder auch eine Über-Kopf-Messung in größerer Höhe realisiert werden kann.

Ich habe z.B. eine 1 m lange Rundholzstange (Ø 20 mm), an deren oberen Ende ein um 90° seitlich abklappbares, etwa 12 cm

langes Rundholzteil angebracht ist. An diesem wird die Schnapphalterung mit einer Schelle so befestigt, daß sich das LCD-Display des eingeklemmten und zusätzlich durch Gummibänder gesicherten PWRM1 (mit direkt daran über BNC-Adapter ange-schlossener Sonde) beim Hochhalten der Rundholzstange bequem von unten ablesen läßt.

Diese Anordnung kann natürlich auch sinngemäß in Augenhöhe gehalten werden. Da bei diesen Anordnungen kein Meßkabel zwischen Sonde(n) und Pegel-messer verwendet wird, ist die mit einem Meßkabeleinsatz verbundene Gefahr von Meßwertbeeinflussungen damit ausgeschlossen.

Orientierungsmessungen beim Autor

In [1] wurden einige Magnetfeldmessungen im Umfeld meiner erdnahen Vertikalantenne [6] erläutert. Inzwischen habe ich nun auch erste orientierende E-Feldmessungen durchgeführt. Bei meiner Antenne sind getrennte E- und H-Feldmessungen auf allen Bändern zweckmäßig, da wegen der besonderen Strahlerform und der Umgebung eine Plausibilitätsrechnung kaum darstellbar ist. Die relevanten Abstände liegen auf 160 m und 80 m im reaktiven Nahfeld, auf den anderen Bändern im strahlenden Nahfeld.



Bild 6: Kombination PWRM1 + HFS1 mit Schnapphalterung

Am kritischen Meßpunkt „A“ (Bild 6 in [1]), ca. 9 m von der Vertikalantenne entfernt, begann ich in 1,5 m Höhe mit Orientierungsmessungen. Einige Ergebnisse:

- Die E- und H-Personenschutz-Grenzwerte werden auf allen Bändern sicher eingehalten.
- E-HSM-Werte und H-HSM-Werte nach dem Gelbdruck VDE0848 Teil 3-1 werden auf allen Bändern (160 m mit 75 W; 80, 40, 20, 15 und 10 m mit 100 W Senderausgangsleistung) deutlich unterschritten.
- E-HSM-Werte und H-HSM-Werte nach Vfg. 306/97 erfordern auf 20 m eine leichte und auf 10 m eine erhebliche Leistungsreduktion (auffallend: deutlich niedrigere E- und H-Feldstärkewerte auf 15 m am Meßpunkt A). Für den Meß-

punkt A wurden die Unterschiede zwischen gemessener E-Feldstärke und aus der H-Feldmessung über die Fernfeldbeziehung $E = H \times Z_0$ errechneter E-Feldstärke ermittelt. Außer auf 14 und 21 MHz (Differenz < 0,7 dB) ergab sich dabei keine befriedigende Übereinstimmung, was die Notwendigkeit einer separaten Messung beider Komponenten des elektromagnetischen Feldes unterstreicht.

■ **Zusammenfassung**

Mit dem Meßset HFS1 + EFS1 + PWRM1 der Fa. SSS (Bezug: FA-Leserservice) lassen sich H- und E-Feldstärkemessungen zur Überprüfung der Einhaltung von Grenzwerten qualitativ und quantitativ durchführen. Die Handhabung der nichtisotropen Meßsonden ist trainierbar, fordert aber ein sehr bewußtes und kritisches Umgehen damit. (Sinngemäß gilt dieses natürlich auch bei der Benutzung von Meßeinrichtungen mit isotropen Sonden.)

Nach einem gewissen Handhabungstraining sollten zunächst Orientierungsmessungen zur Erkundung des Antennenfeldes und erst dann das gezielte Messen an den als relevant erkannten Meßpunkten erfolgen. Das elektrische Feld ist in einer amateurfunküblichen (engen) Antennen-umgebung offenbar viel komplexer als das magnetische und kann durch das Einbringen von Personen, Nähe von Metallteilen (Gartenzaun) u.ä. zum Teil stark verformt werden (lokale Feldstärkeerhöhungen oder Absenkungen).

Bei den Messungen ist daher entsprechend sorgfältig vorzugehen. Außer dem vorzeichenrichtigen dB-Denken ist eine kritische Betrachtung der Meßwerte erforderlich. Da Messungen grundsätzlich mit Toleranzen behaftet sind, muß den vorgegebenen Grenzwerten gegenüber ein gewisser Sicherheitsabstand einkalkuliert werden.

Literatur

[1] Zander, H.-D., DJ2EV: HF-Feldstärkemessungen mit Kleinleistungsmeßgerät PWRM1 und Magnet-Feld-Sonde HFS1, FUNKAMATEUR 48 (1999), H. 11, S.1302
 [2] Molière, T., DL7AV: Feldstärkemessungen leicht gemacht (1), „Frequenzunabhängige H-Feld-Sonde“, CQ-DL 70 (1999), H. 6, S. 484
 [3] Firmenschrift: Datenblätter und Meßkurven PWRM1, HFS1, EFS1, Bedienungs- und Serviceanleitung zum PWRM1, Sat-Service Schneider, SSS, Dipl.-Ing. Ulf Schneider, DL3KS, Landsberger Straße 62 a, 04736 Waldheim/Sa., Tel. (03 43 27) 9 28 09, Fax 9 03 94, e-Mail: sat-service@T-Online.de
 [4] Firmenschrift: Beschreibung der Herstellerkalibrierung PWRM1 und Feldsonden HFS1, EFS1 mit PWRM1, Stand: Oktober 1999, Sat-Service Schneider, Waldheim 1999
 [5] <http://www.regtp.de/Fachinfo/EMVU/afumesstechbetracht.htm>
 [6] Zander, H.-D., DJ2EV: Kleine Vertikalantenne für den gesamten KW-Bereich, FUNKAMATEUR 47 (1998), H. 5, S. 563