

Feldstärkebestimmung an Amateurfunksendeanlagen

Von Nils Eulig

Dieser Beitrag beschreibt die Hintergründe und die Durchführung der messtechnischen Bestimmung von gestrahlten hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Nähe von Amateurfunksendeanlagen. Zunächst erfolgt eine Erläuterung der geltenden Vorschriften und Grenzwerte. Der hieraus begründeten Verpflichtung, die Einhaltung der Grenzwerte nachzuweisen, kann durch verschiedene Maßnahmen nachgekommen werden. Welche angewendet werden muss, ist von der jeweiligen Frequenz und den geografischen Gegebenheiten abhängig. In einigen Fällen ist ein messtechnischer Nachweis erforderlich. Anschließend wird die Durchführung der Messungen erläutert und beispielhafte Messergebnisse werden vorgestellt.

Vorschriften

Im August 2002 trat die „Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV)“ in Kraft. Diese Verordnung regelt das Nachweisverfahren zur Gewährleistung des Schutzes von Personen in den durch den Betrieb von ortsfesten Funkanlagen entstehenden elektromagnetischen Feldern. Generell betrifft dies alle ortsfesten Sendeanlagen. In der Verordnung ist festgelegt, dass eine ortsfeste Funkanlage mit einer äquivalenten isotropen Strahlungsleistung (EIRP) von 10 Watt und mehr nur betrieben werden darf, wenn für diesen Standort eine gültige Standortbescheinigung vorliegt. Eine Standortbescheinigung muss vom Betreiber der Sendeanlage bei der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) vor der Inbetriebnahme beantragt werden. Diese wird erteilt, sofern der Sicherheitsabstand innerhalb des „kontrollierbaren Bereiches“ liegt. So wird sichergestellt, dass sich innerhalb des Sicherheitsabstandes keine Personen aufhalten können.

Die Erteilung einer Standortbescheinigung bringt erhebliche Kosten von einigen hundert Euro mit sich. Weiterhin ist nach einer Modifikation der Sendeanlage ein neuer Antrag erforderlich. Aufgrund der für Einzelpersonen kaum aufzubringenden Kosten für eine Standortbescheinigung ist für Funkamateure eine Sonderregelung getroffen worden. Dieser Personengruppe wird zugestanden, den Nachweis, dass ihre Anlage die Grenzwerte einhält, selber zu erbringen und diese Tatsache der Regulierungsbehörde unter Vorlage von entsprechenden Berechnungs- und Messprotokollen anzuzeigen. Diese Methode ermöglicht so den Fortbestand des Amateurfunks in Deutschland für eine große Nutzergruppe bei gleichzeitiger Einhaltung der geltenden Grenzwerte. Ausgenommen hiervon sind Amateurfunkanlagen, die mit kommerziellen Sendeanlagen an einem Standort betrieben werden. Für diese ist in den meisten Fällen eine Standortbescheinigung erforderlich.

Grenzwerte

Die für Sendeanlagen geltenden Grenzwerte verlangen eine Betrachtung in zweierlei Hinsicht. Zum einen müssen die für den Personenschutz (PS) geltenden Grenzwerte, die von der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) definiert und in die 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26.BImSchV) übernommen wurden, eingehalten werden, siehe Tabelle 1. Diese Grenzwerte basieren auf der thermischen Wirkung von HF-Energie auf den menschlichen Körper. Außerdem sind für den Frequenzbereich 9 kHz bis 50 MHz zusätzlich die zulässigen Werte für aktive Körperhilfen nach Entwurf DIN VDE 0848-3-1/A1 (Ausgabe Februar 2001) einzuhalten. Diese richten sich nach der von den Feldern induzierten Störspannung, die abhängig von der verwendeten Modulationsart, von der Frequenz und vom Verhältnis von elektrischer zu magnetischer Feldkomponente ist. Die einzelnen Grenzwerte für die Feldstärken von E- und H-Feld können mit Hilfe der in der Norm angegebenen Gleichungen berechnet werden. Unterhalb von 16,9 MHz ist die Darstellung von Grenzwerten nicht einfach möglich, da hier keine eindeutige Zuordnung zwischen der Störspannung und dem jeweiligen E- bzw. H-Feld gegeben ist. Stattdessen dürfen die Werte von E- und H-Feld paarweise einen bestimmten Störspannungswert nicht überschreiten. Die Darstellung der Grenzwerte erfolgt exemplarisch nur für diejenigen Paare von E- und H-Feld, die miteinander über den Feldwellenwiderstand Z_0 von ca. 377 Ohm in Zusammenhang stehen. Unterhalb von 16,9 MHz sind für die Einhaltung der Grenzwerte folglich auch andere Verhältnisse von E- und H-Feld möglich. So kann der Grenzwert z.B. auch bei höheren als den für das elektrische Feld angeführten Werten eingehalten werden, wenn die Werte für das magnetische Feld entsprechend geringer sind oder umgekehrt. Als betrachtete Modulationsart kommt hier Morsetelegrafie (CW) zur Anwendung, da bei dieser, abgesehen von inzwischen ungebräuchlicher Amplitudenmodulation (AM), die kleinsten zulässigen Feldstärkewerte auftreten und somit eine „worst-case-Abschätzung“ erreicht wird, siehe Tabelle 2. Die zugehörigen Grenzwerte für das magnetische Feld errechnen sich über den Feldwellenwiderstand. Die im Amateurfunk gebräuchlichen Frequenzbereiche sind in der Tabelle aufgeführt.

Frequenz (f) in Megahertz (MHz)	Effektivwert der Feldstärke, quadratisch gemittelt Über 6-Minuten-Intervalle	
	Elektrische Feldstärke in Volt pro Meter (V/m)	Magnetische Feldstärke in Ampere pro Meter (A/m)
0,15 – 1	87	0,73 / f
1 – 10	$87 / \sqrt{f}$	0,73 / f
10 - 400	27,5	0,073
400 - 2 000	$1,375 \sqrt{f}$	$0,0037 \sqrt{f}$
2 000 - 300 000	61	0,16

Tabelle 1: Personenschutz-Grenzwerte nach 26.BImSchV / ICNIRP

Frequenz / MHz	Grenzwert der elektrischen Feldstärke / (V/m) - Spitzenwert
1,89	158,2
3,8	151,8
7,1	146,2
10,15	123,3
14,35	60,4
18,168	30,6
21,45	26,1
24,99	22,6
29,7	19,6

Tabelle 2: Grenzwerte für aktive Körperhilfen bei CW-Modulation

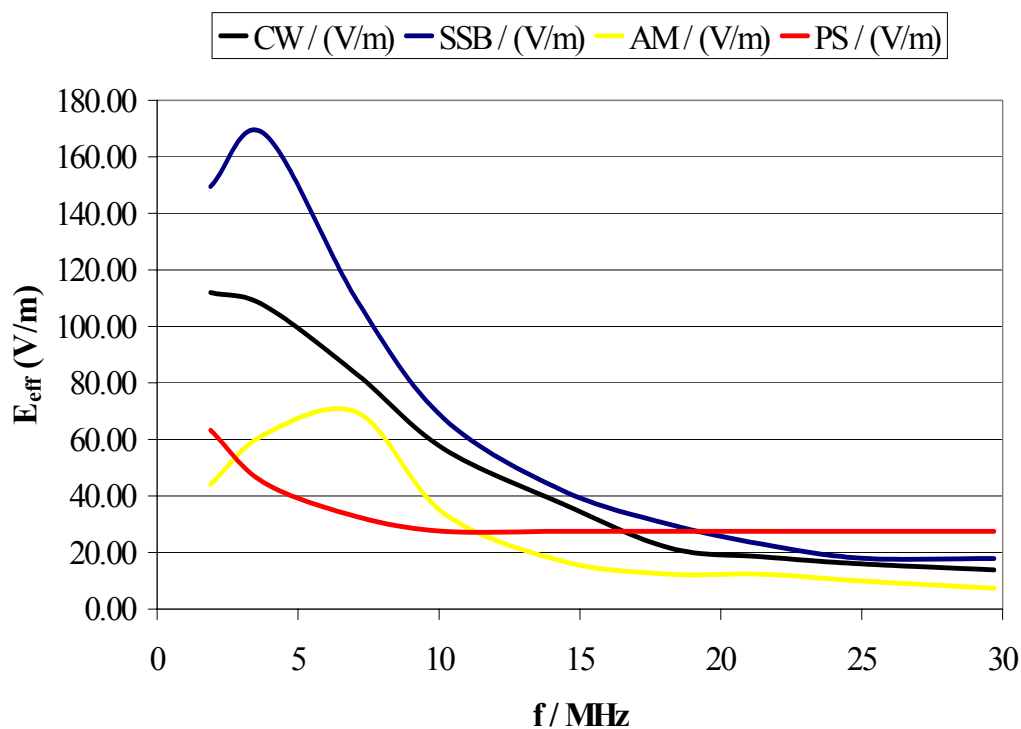


Bild 1: Grenzwerte für das elektrische Feld als Effektivwert. Dargestellt sind die Personenschutzgrenzwerte (PS) sowie Grenzwerte für aktive Körperhilfen bei verschiedenen Modulationsarten unter der Annahme $E/H=Z_0 = 377 \text{ Ohm}$

In Bild 1 sind verschiedene Grenzwertverläufe grafisch dargestellt. Enthalten sind neben dem Verlauf der Personenschutzgrenzwerte auch die Grenzwerte für aktive Körperhilfen bei verschiedenen Modulationsarten. Hierbei ist angenommen, dass die E- und H-Feldstärken im Verhältnis von Z_0 zueinander stehen. Der dargestellte Verlauf bezieht sich bei allen Kurven auf Effektivwerte.

Zu erkennen ist, dass ab ca. 18 MHz die Grenzwerte für aktive Körperhilfen maßgebend sind (CW bzw. SSB), während unterhalb davon die Personenschutzgrenzwerte schärfere Bedingungen an die maximalen Feldstärken stellen.

Wann muss gemessen werden?

Eine Berechnung der Felder kann mit einfachen Mitteln nur in dem Bereich durchgeführt werden, in dem die Vektoren der elektrischen Feldstärke, der magnetischen Feldstärke sowie der Ausbreitungsrichtung senkrecht aufeinander stehen, keine Phasendifferenzen aufweisen und der Feldwellenwiderstand des Freiraumes gilt. Durch diesen Zusammenhang ist eine Berechnung der in einem bestimmten Abstand von der Sendeantenne herrschenden Feldstärken aus der Sendeleistung unter Berücksichtigung des Antennengewinns und der Leitungsverluste durchführbar.

Innerhalb des reaktiven Nahfeldes, d.h. im Bereich, wo der Abstand zur Antenne kleiner als $\frac{\lambda}{2\pi}$ ist, kann es lokal zu starken Überhöhungen des elektrischen und des magnetischen Feldes kommen. Diese beiden Feldkomponenten können hier mit der Fernfeldberechnung nicht bestimmt werden. Es kommt meist nur eine messtechnische Bestimmung der Felder in Frage. Die Ausdehnung des reaktiven Nahfeldes ist bei Frequenzen mit großen Wellenlängen ebenfalls groß. Der kontrollierbare Bereich endet dann meist innerhalb des Bereiches des reaktiven Nahfeldes, weil die Grundstücksgrenzen nicht den gesamten Bereich des Nahfeldes umschließen. Für die im Amateurfunk benutzten Frequenzen folgt daraus, dass - je nach den örtlichen Verhältnissen - etwa unterhalb von ca. 30 MHz die messtechnische Bestimmung der Feldstärken von E- und H-Feld durchgeführt werden muss.

Messgeräte

Die für die Messungen benötigten Geräte müssen in der Lage sein, sowohl Magnetfelder als auch elektrische Felder messen zu können. Die Berechnung von z.B. dem H-Feld aus dem E-Feld ist wegen der o.g. Gründe nicht zulässig. Daher sind zwei getrennte Sonden notwendig, so dass beide Komponenten des Feldes durch Messungen bestimmt werden können.

Die Feldmessgeräte des Typs EMR von Narda-STS bieten die Möglichkeit, die Sonden auszuwechseln. Durch dieses Feature ist es möglich, mit einem Grundgerät, an dem die Feldstärke angezeigt wird, beide Feldanteile zu messen. Bedingung ist das Vorhandensein passender Sonden. Für den Frequenzbereich bis 30 MHz stehen die E-Feld-Sonde Typ 8 und die H-Felds-Sonde Typ 12 zur Verfügung. Ein weiterer Vorteil dieses Messsystems ist die Speicherung der Sondendaten im Grundgerät, so dass eine

manuelle Umrechnung der Messergebnisse bei Verwendung unterschiedlicher Sonden nicht notwendig ist. Ebenfalls besitzt das Grundgerät einen automatischen Nullabgleich, der auch bei vorhandenem Feld in regelmäßigen Zeitintervallen automatisch durchgeführt wird. Alle Sonden messen das Feld isotrop, so dass die Ausrichtung der Feldsonde im Feld nicht relevant ist.

Durchführung der Messungen

Die Plausibilität einer Messung hängt entscheidend von der Wahl der Messpunkte ab. Die Messpunkte sind so zu wählen, dass die Grenzwerte in den relevanten Bereichen, wie z.B. Grundstücksgrenzen, eingehalten werden. Dazu ist eine ausreichende Anzahl von Messpunkten notwendig. Aufgrund der Inhomogenität des Feldes im Nahfeld einer Antenne sollten bei der Festlegung der Messpunkte zunächst theoretische Überlegungen über den vermuteten Ort maximaler elektrischer und magnetischer Feldstärken vorangehen. Eine orientierende Messung kann die Orte mit den höchsten Feldstärken ermitteln. Alle Messpunkte müssen in einer Skizze gekennzeichnet werden. Diese Skizze gehört zum Messprotokoll, das bei der RegTP einzureichen ist.

In der überwiegenden Anzahl der Fälle wird zu einem Zeitpunkt nur bei einer Frequenz gesendet. Bei zeitgleicher Sendetätigkeit auf mehreren Frequenzen muss der einzuhaltende Sicherheitsabstand aus einer Kombination der Sicherheitsabstände der einzelnen Antennen berechnet werden. Für die Personenschutzgrenzwerte gelten hierbei vier Bedingungen in Abhängigkeit von der Frequenz, die allesamt einzuhalten sind. Die Betrachtung der Herzschrittmachergrenzwerte verlangt diesbezüglich eine lineare Addition der einzelnen Sicherheitsabstände. Das genaue Vorgehen der Berechnung ist in [2] anhand von Beispielen erläutert. Die Quelle steht auf der Internetseite der RegTP zum Download zur Verfügung.



Bild 2: EMR-300 während der Messung des elektrischen Feldes unter einer Richtantenne für 144 MHz.

Messergebnisse

Die messbaren Feldstärken sind abhängig von unterschiedlichen Parametern. Neben der Sendeleistung und Antennencharakteristik spielen Nahfeldeffekte eine entscheidende Rolle. Die Ergebnisse aus einer beispielhaften Messung sind in Tabelle 3 für typische, im Amateurfunk gebräuchliche Sendeleistungen aufgeführt. Die Messorte sind Bild 3 zu entnehmen.

Messort	Frequenz / MHz	Antennenart	Höhe über Grund / m	Sendeleistung / W	E-Feld / V/m	H-Feld / mA/m
1	7,0	Vertikalstrahler	0	100	22,9	76,8
2	14,0	Richtantenne 1	12,5	100	4,1	18,4
2	21,0	Richtantenne 1	12,5	100	5,2	12,8
2	28,0	Richtantenne 1	12,5	100	6,3	13,5
2	144,0	Richtantenne 2	15	100	1,2	entfällt
2	432,0	Richtantenne 3	16,5	50	0,4	entfällt
3	1,8	Langdraht	12	75	11,4	15,0
3	3,5	Langdraht	12	100	2,1	13,5

Tabelle 3: Messwerte für E- und H-Feld bei unterschiedlichen Antennenkonfigurationen und Frequenzen. Die Messorte sind Bild X zu entnehmen.

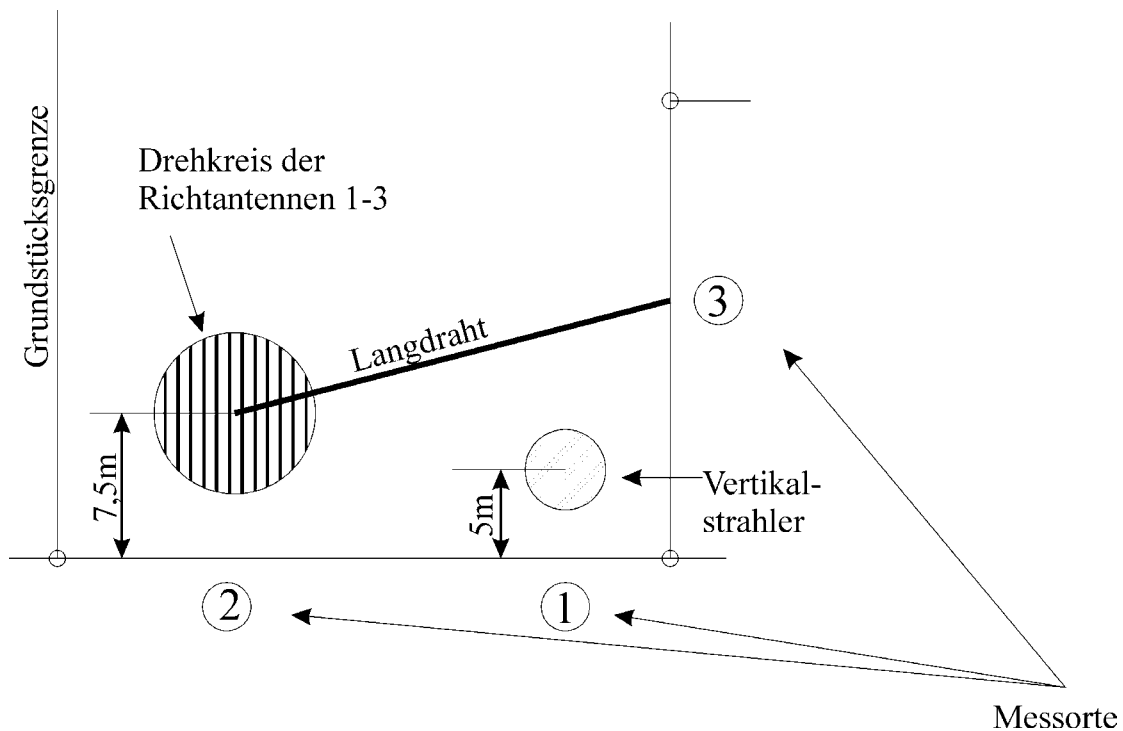


Bild 3: Skizze zur Lage der Antennen. Die schraffierten Kreise kennzeichnen den Drehkreis bzw. den Umkreis der Antennenelemente. Die Messorte zur Ermittlung der Messwerte sind durch die eingekreisten Zahlen 1 bis 3 gekennzeichnet.

Fazit

Die Feldmessgeräte der EMR-Serie eignen sich sehr gut zur Bestimmung von E- und H-Feldern in der Nähe von (Amateurfunk-) Sendeanlagen. Durch die Möglichkeit, unterschiedliche Sonden mit einem einzigen Grundgerät zu kombinieren, kann sowohl die magnetische als auch die elektrische Feldstärke gemessen werden. Häufiger Anwendungsfall ist die Bestimmung beider Größen in den unteren Frequenzbereichen, da dort die Ausdehnung des Nahfeldes groß und eine Abschätzung der Feldstärke mit Fernfeldformeln deshalb nicht möglich ist. Auch für höhere Frequenzbereiche bis hin zu mehreren GHz sind Feldsonden verfügbar. Dieses ermöglicht die Anwendung des EMR-Messgerätes auch in vielen anderen Anwendungsfällen.

Quellen

<http://www.bmwi.de/Homepage/Politikfelder/Telekommunikation%20%26%20Post/Telekommunikationspolitik/Rechtsgrundlagen.jsp>

<http://www.regtp.de>

<http://www.darc.de>

<http://www.agz-ev.de>

[1] DIN VDE 0848, Teil 1, Sicherheit in elektromagnetischen Feldern, Mess- und Berechnungsverfahren. Beuth-Verlag, Berlin.

[2] RegTP: „Anleitung zur Durchführung der Anzeige ortsfester Amateurfunkanlagen nach §9 der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder (BEMFV)“