

18. Messtechnische Auswirkungen der neuen BG-Vorschrift “Elektromagnetische Felder”

Markus Fischer, Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln
Dr. Johannes Scholmann, Wandel & Goltermann, Eningen u. A.

Das Sachgebiet “Elektromagnetische Verträglichkeit” im Fachausschuß “Elektrotechnik” der BGZ hat der derzeitigen Situation an Arbeitsplätzen im Bezug auf elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder Rechnung getragen und eine Regelung im Arbeitsschutz für Bereiche erarbeitet, in denen elektromagnetische Felder zur Anwendung kommen. Die berufsgenossenschaftliche Vorschrift (bisher Unfallverhütungsvorschrift VBG) “Elektromagnetische Felder” liegt nunmehr seit Dezember 1998 im Fachausschußentwurf vor [1].

1 Rechtliche Einordnung der neuen BG-Vorschrift

Die BG-Vorschrift “Elektromagnetische Felder” (BGV B11) richtet sich an Unternehmer und Versicherte und gilt, soweit Versicherte elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich 0 Hz bis 300 GHz unmittelbar oder deren mittelbaren Wirkungen ausgesetzt sind.

Sie gilt nicht, wenn Anlagen des Unternehmers vom Anwendungsbereich der 26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Verordnung über elektromagnetische Felder) [2] erfaßt werden und die Allgemeinheit und Nachbarschaft von Immissionen betroffen sind. Hierfür sind die Schutz- und Vorsorgefestlegungen der 26. BImSchV heranzuziehen. Die Regelungen der BGV B11 gelten jedoch, wenn an Anlagen bestimmungsgemäß Arbeiten durchgeführt werden oder bei nur vorübergehendem Aufenthalt im Bereich von Anlagen, die von der 26. BImSchV erfaßt werden. Sie enthält aber eine klare Abgrenzung zwischen Arbeits- und Umweltschutz.

Die BGV B11 fordert vom Unternehmer, daß in Arbeitsstätten und an Arbeitsplätzen weder unzulässige Expositionen noch unzulässige mittelbare Wirkungen durch elektromagnetische Felder auftreten. Werden zulässige Werte überschritten, so sind umgehend Maßnahmen anzuwenden, die verhindern, daß unzulässige Expositionen auftreten.

Bei der Festlegung zulässiger Werte haben sich im Internationalen Vergleich zwei Betrachtungsweisen bezüglich der Exposition herauskristallisiert. Grundlage ist einerseits das Bestreben, möglichst keine unnötigen Expositionen zuzulassen, andererseits soll der Unsicherheit in der Beurteilung von Langzeitwirkungen schwacher Felder begegnet werden, da Forschungsergebnisse diesbezüglich unzureichend sind. Bei der ICNIRP [3], der Internationalen Kommission zum Schutz vor Nicht-Ionisierender Strahlung und bei einigen anderen Institutionen wird zwischen der Exposition beruflicher Art am Arbeitsplatz und der Exposition im öffentlichen und privaten Bereich (Haushalt und Freizeit) unterschieden. In den USA und in Deutschland macht man diese prinzipielle Unterscheidung auch, geht aber beim Arbeitsschutz von einem feiner unterteilenden Sicherheits- und Vorsorgekonzept aus.

Das Sicherheitskonzept folgt dem Grundsatz, Gefährdungen von Personen auszuschließen. Das Vorsorgekonzept beinhaltet die Forderung, auch wesentliche Belästigungen von Personen zu verhindern. Auf der Basis dieser Konzepte wurden zwei Einwirkungsbereiche, die sogenannten

Expositionsbereiche, definiert, wobei der Expositionsbereich 1 das Sicherheitskonzept beinhaltet und der Expositionsbereich 2 dem Vorsorgekonzept genügt; sie berücksichtigen den Aufenthaltsort für jedermann, unabhängig von der beruflichen Situation.

Der Expositionsbereich 1 erfaßt alle kontrollierten Bereiche, z.B. elektrische Betriebsstätten und vom Betreiber überprüfbare Bereiche. Er erfaßt aber auch allgemein zugängliche Bereiche, in denen aufgrund der Betriebsweise der Anlage sichergestellt ist, daß eine Exposition nur kurzzeitig erfolgt. Als Richtwert für die kurzzeitige Exposition gilt dabei eine Arbeitsschicht. Die zulässigen Werte im Expositionsbereich 1 orientieren sich an Schwellen wie unnatürliche Reizung von Sinnesrezeptoren und von Nerven und Muskelzellen, Störung der Herzaktion und Wirkungen aufgrund von Hochfrequenzstrahlung ausgelösten Temperaturerhöhungen. Um diese Wirkungen auszuschließen, werden zulässige Werte unter Berücksichtigung von Sicherheitszuschlägen im Hinblick auf die "Labordaten" berücksichtigt. Die zulässigen Werte für diesen Bereich sind also unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit konzipiert.

Die zulässigen Werte für den Expositionsbereich 2 sind unter Berücksichtigung von Vorsorgegesichtspunkten festgelegt worden. Der Expositionsbereich 2 umfaßt daher Bereiche, in denen nicht nur mit Kurzzeiteexpositionen gerechnet werden kann, z.B. Gebiete mit Wohn- und Gesellschaftsbauten, Wohngrundstücke, Anlagen und Einrichtungen für Sport, Freizeit und Erholung. Er umfaßt auch Arbeitsstätten, in denen eine Felderzeugung bestimmungsgemäß nicht erwartet werden kann oder eine unbewußte Exposition auftritt. Für diesen Bereich sind niedrigere zulässige Werte festgelegt worden, die durch einen weiteren Sicherheitszuschlag errechnet wurden.

Bei der Überprüfung der Arbeitsstätten auf mögliche Expositionen elektrischer, magnetischer oder elektromagnetischer Felder muß der Unternehmer zunächst die Expositionsbereiche festlegen, die auftretenden elektromagnetischen Felder ermitteln und eine Beurteilung einer Exposition durch Vergleich mit den zulässigen Werten vornehmen. Werden von Anlagen und Geräten die zulässigen Werte des Expositionsbereiches 2 überschritten, so hat der Unternehmer für die jeweiligen Anlagen und Geräte Betriebsanweisungen aufzustellen, die für den sicheren Betrieb notwendigen Angaben enthalten und auf die Möglichkeit der Exposition durch elektromagnetische Felder hinweisen.

Neben den Expositionsbereichen 1 und 2 gibt es einen Bereich erhöhter Exposition, in dem die zulässigen Werte des Expositionsbereichs 1 überschritten werden. Dieser Bereich erhöhter Exposition ist ein kontrollierter Bereich, in dem ein Aufenthalt aufgrund der höheren zulässigen Werte nur kurzzeitig gestattet ist. Für niederfrequente Felder (0 Hz bis 91 kHz) werden in Arbeitsbereichen Aufenthaltsbeschränkungen von 2 Stunden pro Tag (2 h/d) festgelegt. Bei hochfrequenten Feldern sind die zulässigen Werte für Expositionszeiten kleiner 6 Minuten anzuwenden.

Die gemäß BG-Vorschrift zulässigen Werte der Expositionsbereiche 1 und 2 und dem Bereich erhöhter Exposition sind am Beispiel der elektrischen Feldstärke im Bild 1 dargestellt.

Während die physiologisch relevanten Grenzwerte für die elektromagnetischen Felder – die sogenannten Basisgrenzwerte – international einheitlich sind, gibt es bei den daraus abgeleiteten Feldstärkegrenzwerten und Bewertungsvorschriften teilweise erhebliche Abweichungen. Diese Abweichungen beruhen zum einen auf den verschiedenen Randbedingungen und Klassifizierungen in den Vorschriften und zum anderen auf unterschiedlichen Berechnungsmodellen für die abgeleiteten Grenzwerte.

2 Regelungen und Messtechnik für Hochfrequenz-Felder

In der BG-Vorschrift gibt es für hochfrequente elektromagnetische Felder im Vergleich zu früher in Deutschland geltenden Regelungen keine wesentlichen Änderungen. Grenzwerte und die Summenformel für die Bewertung von Multifrequenz-Feldern sind gleich geblieben. Da die Grenzwerte über die Frequenz betrachtet sehr unterschiedlich sind, setzt eine korrekte Bewertung im Sinne des Personenschutzes die Kenntnis der Frequenz(en) der Strahlungsquelle(n) voraus. Auf diese Information kann verzichtet werden, wenn die Signale im Feldsensor vor der Detektion mit einem zum Grenzwertverlauf inversen Filter bewertet werden. Auch multifrequente Signale können auf diese Weise richtig bewertet werden. Die prinzipielle Funktionsweise solcher Sensoren sowohl für die elektrische als auch für die magnetische Feldstärke ist mehrfach beschrieben [4,5]. Bild 2 zeigt die technische Realisation am Beispiel des Standards FCC 96-326 [6] im Frequenzbereich von 300 kHz bis 40 GHz. Die Grenzwertkurven in allen aktuellen Standards weisen scharfe Kanten auf. Mit realen Entzerrungsnetzwerken, bestehend aus entkoppelten Gliedern 1. Ordnung, entsteht jedoch grundsätzlich eine weiche Formung. Der gemessene Verlauf dokumentiert eine gute Anpassung an die Grenzwertkurve. Die Abweichungen bei höheren Frequenzen sind durch parasitäre Elemente und insbesondere durch die eingeschränkte Kalibrierengenauigkeit begründet. Der Vorteil dieser Sensortechnologie ist die einfach zu handhabende und trotzdem korrekte Bewertung der elektromagnetischen Belastung im Sinne des Personenschutzes.

3 Spezielle Regelungen und Messtechnik für Niederfrequenz-Felder

Dagegen gibt es bei der Bewertung niederfrequenter elektromagnetischer Felder in der BG-Vorschrift erhebliche Änderungen im Vergleich zu früheren Regelungen. Ebenso wie in der in Vorbereitung befindlichen Norm VDE 0848 Teil 1 und 2 [7] werden drei Klassen verschiedener Vorgänge angesprochen. Diese sind stationäre, sinusförmige Felder ("Felder einer einzelnen Frequenz"), stationäre multifrequente Felder ("Felder mit mehreren Frequenzen") und "Gepulste Felder". Zur Beurteilung der Exposition durch solche Felder wird für jede Klasse eine Bewertungsrichtlinie angegeben (Tabelle). Im ersten Falle sind dies die als Effektivwerte genannten Grenzwerte der Feldstärke, die abhängig von der jeweiligen Frequenz tabellarisch angegeben werden. Multifrequente Felder werden unter Zuhilfenahme von Summen-Formeln bewertet, deren Interpretation im folgenden genauer betrachtet werden soll. Für die Klasse der Gepulsten Signale liegen einige exemplarische Kurvenformen (im Zeitbereich) vor. Für die Bewertung der Exposition durch solche Felder ist die Anwendung zugehöriger Berechnungsformeln vorgesehen.

Tabelle: Klassifizierung der Vorgänge

Benennung	Bewertung nach BG-Vorschrift (B11)
<ul style="list-style-type: none">• Felder einer einzelnen Frequenz• Felder mit mehreren Frequenzen• Gepulste Felder	<ul style="list-style-type: none">• Abgeleitete Grenzwerte (Kap. 1.2.1.1/ .2)• Summen-Formeln (Kap. 1.2.1.3)• Zeitliche Feldstärke-Änderung (Kap. 1.3.1)

Während die Messung und die Bewertung von stationären Feldern einer einzelnen Frequenz in der Regel keine besonderen Schwierigkeiten mit sich bringt, sind multifrequente Felder wesentlich schwieriger korrekt zu bewerten. Die mit dieser Methode zu bewertenden Felder haben zwei grundsätzliche Voraussetzungen zu erfüllen. Sie müssen stationär sein, d.h. sie müssen während des messtechnischen Erfassungszeitraums unverändert existieren, und ihre Frequenz-Komponenten

müssen mit einer ausreichenden Auflösung bestimmt werden können. Mit dem Erscheinen der BGV B11 wird bei der Betrachtung von Multifrequenz-Signalen erstmalig die zeitgleiche Bewertung von Leistung und Spitzenwert eingeführt. In Gleichung (1) wird die auf den Grenzwert normierte Gesamtleistung des Feldes bestimmt.

$$\sum_{k=1}^n \left(\frac{B_k}{B_{a,k}}\right)^2 \leq 1 \quad \text{Gleichung (1)}$$

Eine bei Exposition im niedrigen Frequenzbereich relevante Reizwirkung ist unmittelbar dem Feld-Spitzenwert zuzuordnen, der durch Gleichung (2) berücksichtigt wird.

$$\sum_{k=1}^n \frac{B_k}{B_{a,k}} \leq V_{\max} = 8 \quad \text{Gleichung (2)}$$

Die lineare Addition der Einzelbeiträge gemäß Gleichung (2) führt zu einem resultierenden, bereits auf die Grenzwerte normierten Spitzenwert. Als Besonderheit dieser Formel ist die Vergleichsgröße V_{\max} hervorzuheben, deren Wert deutlich von Eins verschieden festgelegt wurde. Prinzip bedingt berücksichtigt die lineare Addition der Einzel- Beiträge in Gleichung (2) deren relative Phasenlage nicht, so daß es sich im Ergebnis immer um eine Abschätzung mit einer Tendenz zu Überbewertung des Spitzenwertes handelt. Um diese Überbewertung in einem gewissen Maße zu kompensieren werden Quotienten mit einem Betrag kleiner als 30% des größten vorkommenden Betrages zur Auswertung nicht herangezogen.

$$\frac{B_{a,\max}}{B_{a,k}} \cdot \frac{B_k}{B_{\max}} \geq 0,3 \quad \text{Gleichung (3)}$$

Diese gewichtende Betrachtung der 30%-Regel ist als weitere Besonderheit der neuen BG-Vorschrift gegenüber bisher erschienenen Regelungen hervorzuheben.

Für eine große Anzahl von praktischen Anwendungsfällen ist die Messung mit Hilfe eines Breitband/ Selektiv Feldstärke- Meßgerät einfach und aussagekräftig durchzuführen. Falls bekannt ist, daß das zu untersuchende Feld ausschließlich oder im wesentlichen nur eine Frequenzkomponente (z. B. 50 Hz) hat, ist die Verwendung eines solchen Meßgerätes die beste Wahl. Zum Nachweis, daß tatsächlich nur diese Spektralkomponente für die Beurteilung relevant ist, kann ein Bandpaß- und/ oder Bandstop- (Notch-) Filter hilfreich sein. In der Regel wird der Meßwert als Effektivwert angezeigt und läßt sich unmittelbar mit dem Grenzwert vergleichen.

Zur genauen Analyse multifrequenter Felder können durch die Selektivmessung der verschiedenen (und in ihrer Frequenz als bekannt vorausgesetzten) Signale die relevanten Beiträge zur Auswertung der Summen- Formeln gewonnen werden. Es ist festzuhalten, daß solche Einzel- Messungen nur zeitlich gestaffelt durchgeführt werden können und dadurch nicht die Augenblicks- Situation widerspiegeln. Unter Umständen erfaßt man damit Signale, die zeitlich nacheinander und nicht zeitgleich vorliegen. Hierdurch ist die tatsächliche Belastungssituation nicht korrekt wiedergegeben.

Eine deutliche Arbeitserleichterung und eine schnellere Bewertung multifrequenter Felder lassen sich mittels der Spektrum-Analyse erreichen. Ein auf Spektrum-Analyse beruhendes Feldstärke-

Meßgerät wird häufig als FFT-Analysator ausgeführt. Der von der Sonde aufgenommene zeitliche Verlauf des zu untersuchenden Signals wird zwischengespeichert und mittels der mathematischen Prozedur "Fast Fourier Transformation" in den Frequenzbereich ("Spektrum") umgerechnet.

Diese Realisation läßt die zeitgleiche Analyse der während der Datenerfassung vorhandenen Spektralkomponenten des Feldes zu. Eventuell nicht zeitgleich existierende Felder werden voneinander getrennt erfaßt. Da sich jedoch der Meßwertaufnahme die Berechnung ("Transformation") anschließt kann dieses zu einer kurzzeitigen Blindheit des Analysators gegenüber schnellen Feldänderungen führen. Für den unteren Teilbereich des Frequenzspektrums läßt sich durch die Verwendung leistungsfähiger Rechner dieser Effekt eliminieren ("Überlappender Echtzeit-Betrieb"). Die Bewertung der Feld- Exposition erfolgt mittels der oben näher erläuterten Summen-Formeln. Da nur solche Beiträge berücksichtigt werden, die nach der Frequenzgang-Gewichtung einen Mindestanteil von 30% nicht unterschreiten, ist für eine erste visuelle Einschätzung der Situation die auf den jeweiligen Grenzwert normierte Darstellung des Spektrums nützlich. Es liegt nahe, die Berechnungen gemäß den Summen-Formeln direkt im Meßgerät durchzuführen. Das Ergebnis ist eine dimensionslose Zahl, die die relative Belastung bezogen auf die zulässige Belastung darstellt. Ein Wert von 100% zeigt das Erreichen der maximal zulässigen Exposition gemäß den vorgegebenen Grenzwerten an.

Grundsätzlich ist die Darstellung eines Puls-Signals im Zeitbereich ("Kurvenform") und im Frequenzbereich ("Spektrum") gleichwertig. Eine Beurteilung mit Hilfe der Summen- Formeln kann jedoch nicht durchgeführt werden, da die beiden Voraussetzungen zu deren Anwendung (Stationarität und ausreichende Frequenzauflösung) nicht erfüllt sind. Für diesen Anwendungsfall werden in der BGV B11 einige repräsentative Kurvenformen dargestellt (Bild 3). Mit Hilfe der dort genannten Gleichungen sind diese Expositionen bewertbar.

Neue Messtechnik für die BGV

Offensichtlich sind in vielen Meßsituationen detaillierte Kenntnisse des Feldes, der Meßtechnik und auch deren Randbedingungen notwendig, um aussagekräftige Ergebnisse bei der Bewertung der Exposition zu erzielen. Da in vielen Situationen die Signalform nicht bekannt ist, kann eine geeignete Meß- und Auswertemethodik häufig nur von qualifiziertem Personal ausgewählt werden. Die Anwendung einer nicht geeigneten Meßmethode führt zu falschen Bewertungsergebnissen.

Löst man sich allerdings von dem Anspruch, das zu untersuchende Signal in seine Frequenzkomponenten zu zerlegen und deren Feldstärken einzeln zu quantifizieren, so kann im Zeitbereich ein neues, nützliches Meßverfahren realisiert werden. Durch geeignete Filter ("Shaping") wird die Frequenzabhängigkeit der Grenzwerte ("Frequenzgang- Gewichtung") berücksichtigt. Für die Messung des Effektiv- und des Spitzenwertes sind passende Detektoren vorhanden.

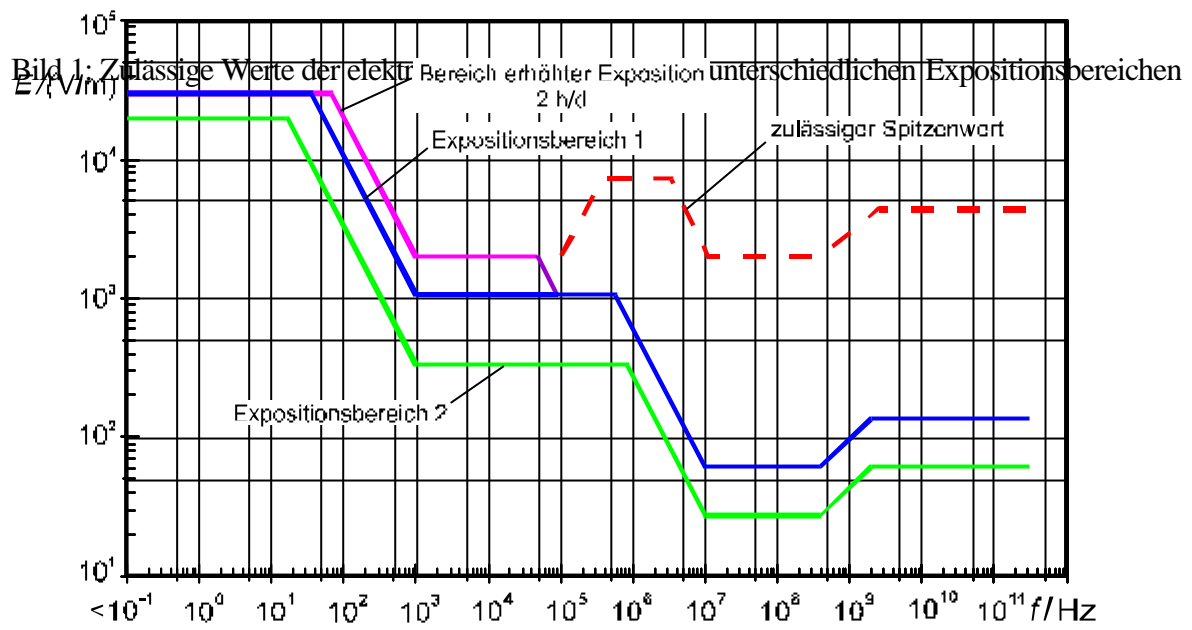
Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens ist nicht auf bestimmte Feldformen beschränkt. Felder einer oder mit mehrerer Frequenzen lassen sich ebenso bewerten wie auch Gepulste Felder. Letzteres wird möglich, da die für ausgewählte Puls- Felder angegebenen Zeitbereichs- Grenzwerte unmittelbar in die Frequenzbereichs- Grenzwerte der Summen- Formeln überführt werden können. Auch bei Kurvenformen, die von denen in der BGV B11 veröffentlichten abweichen, ist eine Verwendung dieses Verfahrens sinnvoll möglich. Für den gesamten Frequenzbereich wird die Exposition in Echtzeit ermittelt.

Mit dieser Lösung erhält man ein Meßgerät an die Hand, das die Exposition bezogen auf die zulässige Exposition unmittelbar prozentual anzeigt. Zur Anwendung des Meßverfahrens bedarf es keinerlei Bedienschritte; auch weniger geschulte Personen können ihnen unbekannte Feld-Situationen analysieren. Das Ziel der BGV B11, eine korrekte Feldebewertung im Sinne des Personenschutzes, kann damit schneller und zuverlässiger erreicht werden.

Auf der Arbeitsschutzmesse A+A 99 vom 2.-5. November 1999 in Düsseldorf kann am Stand von Wandel & Goltermann Halle 5, Stand 5 H 05 über die BG-Vorschrift "Elektromagnetische Felder" mit Experten diskutiert und die neue Generation von Messgeräten in Augenschein genommen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für die Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, BG-Vorschrift Elektromagnetische Felder, Fachausschußentwurf Dezember 1998.
- [2] Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996. Bundesgesetzblatt Jahrgang 1996 Teil I Nr. 66, Bonn am 20. Dezember 1996.
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). Health Physics, Vol. 74, No.4, pp. 494-522, April 1998.
- [4] Bitzer, R.; Keller, H.; Schallner, M.: Feldstärkemeßsystem bis 18 GHz. EMV-Symposium 12.-14. Mai 1997 an der BAKWVT in Mannheim.
- [5] Bitzer, R.; Keller, H.; Scholmann, J.: Normgerechtes Messen nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung leicht gemacht. EMV-Symposium 13.-15.9.1999 an der BAKWVT Mannheim.
- [6] Federal Communications Commission (FCC 96-326). Guidelines for Evaluating the Environmental Effects of Radiofrequency Radiation. Washington, D.C., August 1996.
- [7] DIN VDE 0848 Teil 1, Entwurf Mai 1998, Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern, Teil 1: Definitionen, Meß- und Berechnungsverfahren. DIN VDE 0848 Teil 2, Arbeitspapier, Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern, Teil 2: Grenzwerte



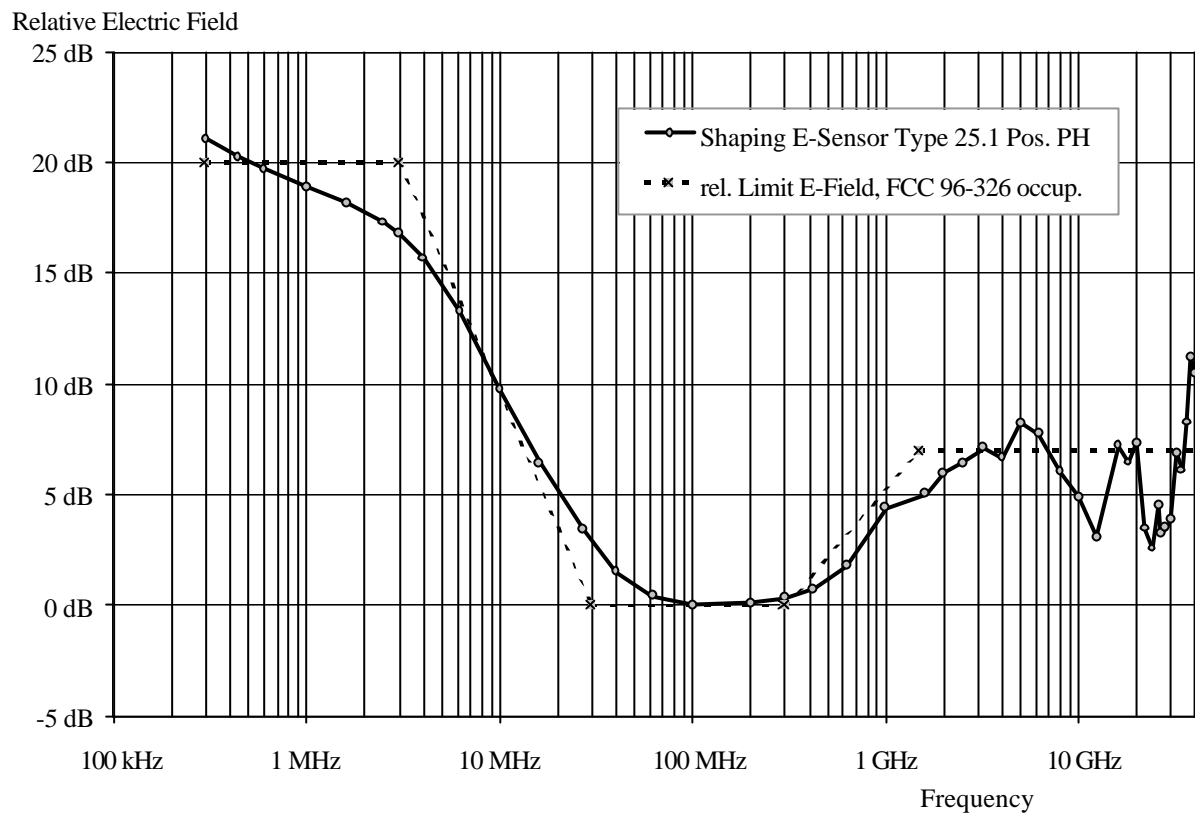


Bild 2: Typischer Frequenzgang des EMR-Meßsystems mit frequenzgangbewertender E-Feldsonde (Typ 25) für Std. FCC 96-326 occupational in Position PH

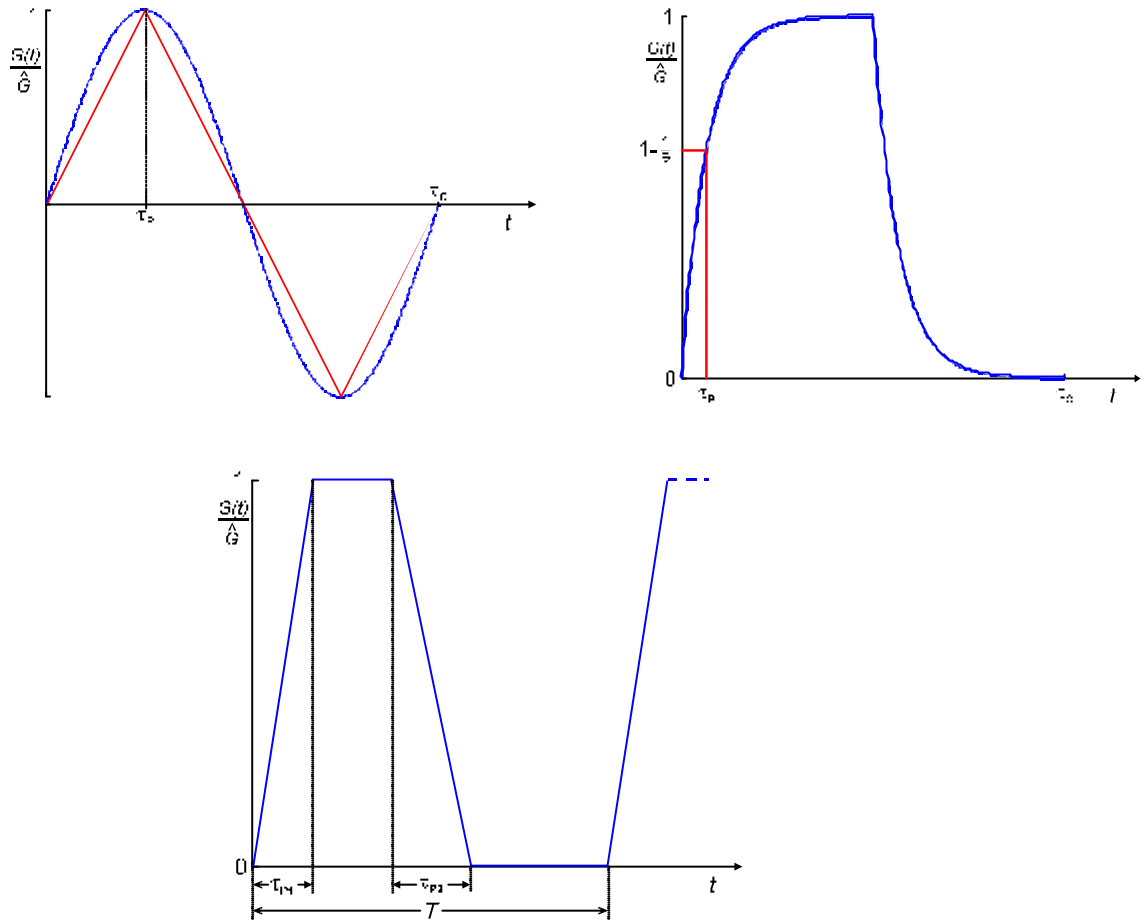


Bild 3: Repräsentative Kurvenformen zur Bewertung von Puls-Signalen