

	Messen von Funkstörungen Messen von Funkstörspannungen	DIN VDE 0877 Teil 1
Diese auch vom Vorstand des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) e.V. genehmigte Norm ist damit zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist unter obenstehender Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.		
Measurement of radio interference; Measurement of radio interference voltages Mesure des perturbations radioélectriques; mesure des tensions perturbatrice		
Ersatz für DIN 57877 Teil 1/ VDE 0877 Teil 1/11.81		
Festlegungen über das Messen von Funkstörspannungen werden international von dem Internationalen Sonderausschuß für Funkstörungen CISPR¹⁾ der IEC erstellt. Zur Zeit werden die entsprechenden Empfehlungen im CISPR, Subcommittee A, überarbeitet.		
Beginn der Gültigkeit Diese Norm (VDE-Bestimmung) gilt ab 1. März 1989. Entwurf war veröffentlicht als DIN VDE 0877 Teil 1 A1/02.85.		
¹⁾ Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques International Special Committee on Radio Interference		
Fortsetzung Seite 2 bis 27		
Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)		

		Inhalt	
		Seite	Seite
1	Anwendungsbereich	2	
2	Begriffe	2	
3	Allgemeines über das Messen von Funkstörungen	4	
3.1	Arten von Funkstörungen	4	
3.1.1	Funkstörungen mit breitbandigem Spektrum	4	
3.1.2	Funkstörungen auf diskreten Frequenzen ..	5	
3.1.3	Dauerstörungen	5	
3.1.4	Knackstörungen	5	
3.2	Ausbreitung und Messung von Funkstörungen im Frequenzbereich unter 30 MHz	5	
3.3	Meßgeräte	6	
3.4	Anzeigearten	6	
3.4.1	Spitzenwertmessung	6	
3.4.2	Bewertete Störmessung (quasi-Spitzenwertmessung)	7	
3.4.3	Mittelwertmessung	7	
3.4.4	Effektivwertmessung	7	
4	Bestimmung der Arbeits- oder Folgefrequenz eines Prüflings	7	
5	Anschluß der Meßwertaufnehmer an den Funkstörmeßempfänger	7	
6	Schutzmaßnahmen	7	
7	Meßfehler	8	
7.1	Meßgenauigkeit	8	
7.2	Übersteuerungskontrolle	8	
7.3	Fremdstörungen durch leitungsgeführte oder freie elektromagnetische Felder	8	
8	Funkstörspannungsmessungen	8	
8.1	Messungen am Aufstellungsort	8	
8.1.1	Bezugserde	8	
8.1.2	HF-Eigenschaften des Verteilungsnetzes und Eingangsimpedanz des Meßwertaufnehmers	9	
8.1.3	Messungen am Aufstellungsort	9	
8.1.3.1	Messung auf Stromversorgungsleitungen	9	
8.1.3.2	Messung auf geschirmten Leitungen	9	
8.1.3.3	Messung auf symmetrischen Leitungen ..	9	
8.2	Messungen mit Netznachbildungen	9	
8.2.1	Zweck	9	
8.2.2	Ausnahmen	10	
8.2.3	Meßanordnung und Anschluß des Prüflings	10	
8.2.4	Meßverfahren	10	
8.2.4.1	Betriebsmittel mit Erd- oder Schutzleiteranschluß	10	
8.2.4.2	Betriebsmittel ohne Erdanschluß, die nicht in der Hand gehalten werden	12	
8.2.4.3	Betriebsmittel ohne Erdanschluß, die in der Hand gehalten werden	12	
8.2.4.4	Entstörmittel außerhalb des Betriebsmittels	13	
8.2.4.5	Betriebsmittel mit symmetrischen Übertragungsleitungen	13	
8.3	Messung mit Netznachbildung und Tastkopf	13	
8.4	Messungen mit Tastköpfen ohne Netznachbildungen	13	
8.5	Messung mit HF-Stromwandlern	13	
8.6	Messung in Anlagen	14	
8.7	Messung von Dauerstörungen	14	
8.8	Messung von Knackstörungen	14	
8.8.1	Messung des Störpegels	14	
8.8.2	Messung der Dauer und des zeitlichen Abstandes	14	
8.8.3	Meßbedingungen für das Zählen	14	
8.8.4	Getrennte Messung von Dauer- und Knackstörungen	15	
8.8.4.1	Bezugspegel für die bewertete Messung von Knackstörungen	15	
8.8.4.2	Bezugspegel für den Spitzenwert von Knackstörungen am ZF-Ausgang des Funkstörmeßempfängers	15	
8.8.5	Knackstörmessungen mit Oszilloskopen ...	15	
8.9	Messung der Dämpfung an Leuchten für Leuchtstofflampen	15	

1 Anwendungsbereich

1.1 Diese Norm gilt für das Messen von Funkstörungen. Die vorliegende Norm befaßt sich mit dem Messen von Funkstörspannungen im Frequenzbereich von 10 kHz bis 30 MHz.

1.2 Für das Messen von Funkstörfeldstärken gilt DIN VDE 0877 Teil 2.

1.3 Für das Messen von Funkstörleistungen auf Leitungen gilt DIN VDE 0877 Teil 3.

2 Begriffe

2.1 Funkstörung ist eine hochfrequente Störung des Funkempfanges; sie liegt vor, wenn unerwünschte elektromagnetische Schwingungen im hochfrequenten Emp-

fangskanal einer Funk-Empfangsantennenanlage oder eines Funkempfängers zusammen mit dem Nutzsignal über die Antenne bzw. den geräteseitigen Antenneneingang aufgenommen werden und die Wiedergabe des Nutzsignals erkennbar beeinträchtigen.

2.2 Empfangskanal ist der hochfrequente Durchlaßbereich eines abgestimmten Funkempfängers. Er wird im wesentlichen durch die Mittenfrequenz, Form und Bandbreite der Selektionskurve bestimmt.

2.3 Bewertung einer Funkstörung ist die Umwandlung ihrer frequenzabhängigen elektrischen Werte in eine Anzeige, die dem psychophysikalischen Störeindruck (akustisch oder optisch) entspricht.

Anmerkung: Die Bewertung erfolgt durch den Meßgleichrichter mit Bewertungsschaltung (quasi peak detector) des Funkstörmeßempfängers.

2.4 Dauerstörung ist eine Funkstörung mit einer Dauer von mehr als 200 ms, die am Anzeigeinstrument eines Funkstörmeßempfängers einen Ausschlag hervorruft, der nicht sofort zurückgeht.

2.5 Knackstörung ist eine kurzzeitige Funkstörung von einer bestimmten, festgelegten Höchstdauer, gemessen bei festgelegten Bedingungen.

Anmerkung: Eine Knackstörung ruft am Anzeigeinstrument eines Funkstörmeßempfängers mit Bewertung nach DIN VDE 0876 Teil 1 einen ballistischen Ausschlag hervor.

Die Höchstdauer einer Knackstörung beträgt 200 ms.

Eine Knackstörung kann aus einem oder mehreren aufeinanderfolgenden Impulsen (Impulspaket) bestehen. Sie muß von vorangehenden und nachfolgenden Knackstörungen um mindestens 200 ms getrennt sein. Bei Funkstörungsmessungen werden nur solche Knackstörungen berücksichtigt, deren bewertete Anzeige den für Dauerstörungen geltenden Grenzwert überschreitet (gezählte Knackstörungen). Außerdem dürfen entsprechend den Festlegungen in DIN VDE 0875 Teil 1 nicht mehr als 2 Knackstörungen in 2 s auftreten und eine Knackrate von 30/min nicht überschritten werden. Festlegungen zur Messung von Knackstörungen sind in Abschnitt 8.8 dieser Bestimmung und weitere Festlegungen zur Beurteilung von Knackstörungen sind in DIN VDE 0875 Teil 1 enthalten.

2.6 Knackrate ist die auf eine Zeiteinheit (Minute oder Sekunde) bezogene Anzahl von Knackstörungen, wobei die Beobachtungszeit für mindestens 40 aufeinanderfolgende Knackstörungen zugrunde zu legen ist.

2.7 Folgefrequenz ist die auf eine Sekunde bezogene Anzahl periodisch aufeinanderfolgender Impulse.

2.8 Funkstörquelle ist die Bezeichnung für eine Einrichtung, in der durch elektrische Vorgänge hochfrequente elektromagnetische Schwingungen erzeugt werden, die den Funkempfang stören können.

2.9 Prüfling ist ein elektrisches Betriebsmittel oder eine elektrische Anlage, dessen Funkstörvermögen untersucht werden soll.

2.10 Funk-Entstörung ist die Maßnahme zur Minderung oder Vermeidung von Funkstörungen.

Hierzu gehören die Herabsetzung der Funkstörspannung, des Funkstörstromes, der Funkstörfeldstärke oder der Funkstörleistung, die Verringerung der Dauer und Häufigkeit von Knackstörungen oder bei HF-Generatoren die Einhaltung von zugewiesenen Frequenzen.

2.11 Typprüfung ist die Funkstörmessung an einem Seriengerät unter standardisierten Bedingungen mit reproduzierbaren Meßergebnissen.

Anmerkung: Fertigungsbedingte Streuungen der Meßergebnisse von Seriengeräten werden statistisch ausgewertet.

2.12 Funkstörspannung ist die mit einem Funkstörmeßempfänger gemessene Spannung einer Funkstörung. Es kann der Spitzenwert, Quasi-Spitzenwert, Mittelwert oder Effektivwert gemessen werden.

2.12.1 Unsymmetrische Funkstörspannung ist die hochfrequente Spannung eines elektrischen Betriebsmittels oder einer Anlage zwischen dem Bezugspotential und jeder einzelnen Anschlußstelle für ankommende und abgehende Leitungen (z. B. Stromversorgungs-, Steuer- und Lastleitungen).

2.12.2 Asymmetrische Funkstörspannung ist die nach außen wirkende Summe der unsymmetrischen Funkstörspannungen eines Leitungsbündels (Spannung einer Gleichaktwelle). Sie hat die gleiche Wirkung wie die unsymmetrische Funkstörspannung einer einzelnen Leitung am gleichen Ort.

2.12.3 Symmetrische Funkstörspannung ist die hochfrequente Spannung zwischen den Adern einer symmetrischen Leitung (Spannung einer Gegentaktwelle).

2.13 Bezugspotential für die unsymmetrische und die asymmetrische Funkstörspannung ist das Potential der ortsabhängigen Bezugserde oder einer für die Prüfung standardisierten Bezugsmasse.

2.13.1 Bezugserde ist das Erdschicht einschließlich der mit ihm in Verbindung stehenden Erdungsleitungen und Metallkonstruktionen (Struktur) im (ortsabhängigen) Ausbreitungsbereich einer Funkstörung.

2.13.2 Bezugsmasse ist die für eine Funkstörspannungsmessung verwendete Bezugserde oder bei standardisierten Messungen eine in definiertem Abstand aufgestellte Metallfläche, die bei Prüflingen mit Erdanschluß mit dessen nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden Metallteilen (Körper) verbunden wird. Die Bezugsmasse steht als Nullpotential mit der Schirmung des Meßaufbaus in leitender Verbindung.

2.14 Nachbildwiderstand ist eine für reproduzierbare Funkstörspannungsmessungen definierte Bezugsimpedanz, die Leitungsnetze entsprechend ihrer durchschnittlichen Impedanz nachbilden soll.

2.15 Funkstörstrom ist der mit einem HF-Stromwandler und einem Funkstörmeßempfänger gemessene Strom. Er kann – wie die Funkstörspannung – als Spitzenwert, Quasi-Spitzenwert, Mittelwert oder Effektivwert gemessen werden.

Anmerkung: Bei Leitungsbündeln und geschirmten Kabeln wird der nach außen wirkende asymmetrische Funkstörstrom gemessen.

2.16 Funkstörfeldstärke ist die mit einer Antenne und einem Funkstörmeßempfänger gemessene Feldstärke. Sie kann – wie die Funkstörspannung – als Spitzenwert, Quasi-Spitzenwert, Mittelwert oder Effektivwert gemessen werden.

2.17 Funkstörleistung auf Leitungen ist die mit einer Absorptions-Meßwandlerzange und einem Funkstörmeßempfänger nach DIN VDE 0876 Teil 1 ermittelte Hochfrequenzleistung. Sie kann – wie die Funkstörspannung – als Spitzenwert, Quasi-Spitzenwert, Mittelwert oder Effektivwert gemessen werden.

2.18 Pegel ist ein auf eine Bezugsgröße bezogenes logarithmiertes Größenverhältnis. Die zueinander in Beziehung gesetzten Größen können sowohl Energie- als auch Feldgrößen sein (z.B. Leistungs-, Spannungs- und Feldstärkepegel).

Leistungspegel $p = 10 \log \frac{P_x}{P_0}$ in dB (pW)

Spannungspegel $u = 20 \log \frac{U_x}{U_0}$ in dB (µV)

Strompegel $i = 20 \log \frac{I_x}{I_0}$ in dB (μA)

Feldstärkepegel $F = 20 \log \frac{E_x}{E_0}$
 $= 20 \log \frac{H_x}{H_0} + 20 \log \frac{Z_0}{\Omega}$ dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)

Hierin bedeuten:

Meßgröße an der Meßstelle x:

P_x	Leistung	in pW
U_x	Spannung	in μV
I_x	Strom	in μA
E_x	Elektrische Feldstärke	in $\mu\text{V}/\text{m}$
H_x	Magnetische Feldstärke	in $\mu\text{A}/\text{m}$

Bezugsgrößen:

P_0	= 1 pW	Bezugsleistung
U_0	= 1 μV	Bezugsspannung
I_0	= 1 μA	Bezugsstrom
E_0	= 1 $\mu\text{V}/\text{m}$	Bezugsfeldstärke
H_0	= 1 $\mu\text{A}/\text{m}$	Bezugsfeldstärke

$$Z_0 = \frac{E_x}{H_x} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$$

= 376,73 Ω Feldwellenwiderstand des freien Raumes

in Ω ($20 \log \frac{Z_0}{\Omega} = 51,5 \text{ dB}$)

Als Bezugspegel 0 dB wurden in dieser Norm die oben angegebenen Bezugsgrößen verwendet, z. B. 0 dB (μV) = 1 μV .

2.19 Dämpfung ist das logarithmierte Verhältnis oder der Pegelunterschied zweier voneinander abhängiger Energie- und Feldgrößen in einem Übertragungssystem.

Anmerkung: Bei gleichen Abschlußwiderständen am Ein- und Ausgang des betrachteten Übertragungssystems ist die Differenz der Leistungspegel gleich der Differenz der Spannungspegel.

2.20 Einfügungsdämpfung ist der Dämpfungsunterschied in einem angepaßten Übertragungssystem, der durch Einfügen eines Prüflings verursacht wird.

2.21 Übersteuerungsbereich ist der zusätzliche, für Impulsspitzen erforderliche Arbeitsbereich des Funkstörmeßempfängers, der bei äquivalenter sinusförmiger Aussteuerung über den Vollausschlag der Anzeige hinausgeht und in dem das Verstärkungsmaß bis zu 1 dB zurückgehen darf.

2.22 Intermodulation ist die Erzeugung von unerwünschten Frequenzen durch interne Mischung von starken, in den Eingangsstufen des Funkstörmeßempfängers noch nicht genügend gedämpften Signalen, deren Frequenzen außerhalb des Empfangskanals liegen. Die in den Empfangskanal umgesetzten Intermodulationsprodukte überdecken die Minima des zu untersuchenden Frequenzspektrums und verfälschen das Meßergebnis.

2.23 Impulsbandbreite eines schmalbandigen Übertragungssystems (Funkempfänger) ist das Verhältnis des Größtwertes seiner einschwingenden Impulsantwort bei zurückgerechneter Verstärkung (Spitzenwert der ZF-Ausgangsspannung bezogen auf den Effektivwert einer auf Bandmitte eingestellten sinusförmigen Eingangsspannung) zur spektralen Intensität (Amplitudendichte) des auslösenden Eingangsimpulses.

3 Allgemeines über das Messen von Funkstörungen

3.1 Arten von Funkstörungen

Funkstörungen werden unterschieden hinsichtlich ihrer spektralen Verteilung sowie ihrer Dauer und Häufigkeit. Hinsichtlich der spektralen Verteilung wird unterschieden zwischen

- Funkstörungen mit breitbandigem Spektrum und
- Funkstörungen mit diskreten Frequenzen.

Hinsichtlich der Dauer und Häufigkeit wird unterschieden zwischen

- Dauerstörung und
- Knackstörungen.

3.1.1 Funkstörungen mit breitbandigem Spektrum

3.1.1.1 Einzelne Störimpulse mit kontinuierlichem Spektrum

Ein kontinuierliches Spektrum, das sich nicht in einzelne Schwingungen (Spektrallinien) zerlegen läßt, wird durch eine stoßartig verlaufende elektrische oder magnetische Zustandsänderung, wie z. B. bei einzelnen Schalt- oder Kommutierungsvorgängen oder Funken-Entladungen, verursacht. Je schneller dieser impulsförmige Vorgang abläuft, desto weiter reicht das erzeugte Spektrum zu hohen Frequenzen. Die Störenergie ist kontinuierlich in Abhängigkeit von der Impulsform über den gesamten Frequenzbereich verteilt, von der ein Empfänger entsprechend seiner Bandbreite einen Teil herausgreift.

Da in der Praxis die Schnelligkeit der Schaltvorgänge begrenzt ist, genügt es in der Regel bei elektrischen Betriebsmitteln (ausgenommen HF-Generatoren) Funkstörungsmessungen bis 1 GHz auszuführen.

Die kurzzeitigen, durch einen Impuls in einem Funkempfänger verursachten Funkstörungen können mit Funkstörmeßempfängern bei vergleichbarer Impulsbandbreite durch die Amplitude ihrer stoßförmigen (ballistischen) Anzeige bestimmt werden (siehe auch Abschnitt 3.1.4 Knackstörungen). Der spektrale Verlauf der Meßgröße ergibt sich durch Messungen bei verschiedenen Frequenzen.

3.1.1.2 Aufeinanderfolgende Störimpulse mit diskontinuierlichem Spektrum

Ein diskontinuierliches Spektrum eng benachbarter Schwingungen (Spektrallinien) entsteht durch langsam (niederfrequent) aufeinanderfolgende, impulsförmig verlaufende Vorgänge, wie z. B. bei Gas-Entladungen, Kommutierungsvorgängen (Kollektormotoren und Stromrichter) und anderen sich wiederholenden Schalt- und Ausgleichsvorgängen.

Die Störenergie ist auf vielen Spektrallinien mit ungleichen, sich ändernden Abständen (Rauschen) oder im gleichmäßigen Abstand einer Arbeits- oder Folgefrequenz (Wechselstrom- oder Impulsreihen) verteilt. Es fallen immer mehrere benachbarte Spektrallinien in einen gestörten Empfangskanal, solange dessen Einschwingdauer (Kehrwert der Impulsbandbreite) klein ist im Vergleich zum Abstand der aufeinanderfolgenden Impulse.

Hier werden daher nur breitbandige Funkstörungen von elektrischen Betriebsmitteln betrachtet, deren Arbeits- bzw. Folgefrequenzen unter 10 kHz liegen.

Die andauernden, durch aufeinanderfolgende Impulse verursachten Funkstörungen werden mit einem Funkstörmeßempfänger nach DIN VDE 0876 Teil 1 in Abhängigkeit von der Empfangsfrequenz bei definierter Impuls-

bandbreite und Anzeigecharakteristik entsprechend ihrer Folgefrequenz bewertet gemessen.

3.1.2 Funkstörungen auf diskreten Frequenzen

Funkstörungen auf diskreten Frequenzen werden von Hochfrequenzgeneratoren durch periodisch ablaufende elektromagnetische Vorgänge verursacht. Ihr Spektrum besteht aus einzelnen harmonischen Schwingungen (Grund- und Oberschwingungen) auf diskreten Frequenzen, die in Empfangskanäle von Funkempfängern fallen können.

Die Störenergie ist nur auf diesen Frequenzen konzentriert, so daß in den betroffenen Empfangskanälen unangenehme Interferenzen (Pfeiftöne, Moirée) mit Trägerfrequenzen von Funkdiensten entstehen können. Bei gleichen Störpegeln ist daher der psychophysikalische Störeindruck im Vergleich zu breitbandigen, durch Impulse verursachte Funkstörungen stärker.

Anmerkung: Im Frequenzbereich unter 150 kHz wird aufgrund der schmalen Bandbreite von 200 Hz des Längswellen-Funkstörmeßempfängers nach DIN VDE 0876 Teil 1 auf eine Differenzierung der beiden Störungsarten verzichtet.

Der Abstand der Spektrallinien entspricht der Grundfrequenz des periodischen Vorgangs, die bei Funkstörungen auf diskreten Frequenzen immer groß ist, im Vergleich zur Bandbreite des betreffenden Empfangskanals. Zur exakten Messung einzelner Spektrallinien auf diskreten Frequenzen muß die Bandbreite des Funkstörmeßempfängers geringer sein als die niedrigste Grundfrequenz des Prüflings, damit nur eine Spektrallinie in den Empfangskanal des Funkstörmeßempfängers fällt. Da die in der Praxis erzeugten elektromagnetischen Störungen aber mehr oder weniger von niederfrequenten Rauschanteilen, Netzfrequenzen und deren Harmonischen überlagert oder mit Nutzsignalen moduliert sind, ist auch bei schmalen Bandbreiten mit weiteren kleineren Spektralkomponenten im Empfangskanal zu rechnen. Man spricht daher auch allgemein von schmalbandigen Funkstörungen, wenn der Empfangskanal im Bereich der gestörten Frequenz breiter ist als die spektrale Verteilung der Störenergie.

Für die Unterscheidung zwischen Schmalband- und Breitbandstörungen können die in DIN VDE 0876 Teil 1 für Funkstörmeßempfänger festgelegten 6-dB-Bandbreiten (9 kHz für den Bereich von 150 kHz bis 30 MHz und 120 kHz für den Bereich von 30 bis 1000 MHz) herangezogen werden. Wenn durch Verstärken des auf die Störfrequenz eingestellten Funkstörmeßempfängers um 9 bzw. 120 kHz unterhalb und oberhalb der Meßfrequenz eine Verringerung des Meßwertes um mehr als 3 dB auftritt, so handelt es sich um eine schmalbandige Funkstörung.

3.1.3 Dauerstörungen

Dauerstörungen werden von Funkmeßempfängern durch konstante oder langsam schwankende Zeigerausschläge angezeigt. Dies ist bei der bewerteten Messung der Fall, wenn die Funkstörungen länger als 200 ms andauern und der zeitliche Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Störungen geringer ist als 200 ms.

Anmerkung: Die Anzeige der Funkstörmeßempfänger nach DIN VDE 0876 Teil 1 beginnt entsprechend der Bewertung erst bei Pulsfolgen unter 5 Hz merklich zu schwanken.

Unabhängig von der Schwankung der Anzeige werden entsprechend den Festlegungen in DIN VDE 0875 Teil 1 auch Funkstörungen durch mehr als 2 Knackstörungen in 2 s (Folgefrequenz $< 0,5$ Hz bzw. Knackrate größer als 30/min) als Dauerstörung bewertet (siehe auch Abschnitt 3.4.2 Bewertete Störmessung). Im Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz müssen wegen der unterschiedlichen Beurteilung von breitbandigen und schmalbandigen Funkstörungen beide getrennt gemessen werden. Hierzu kann es erforderlich werden, die Störungen auf diskreten Frequenzen mit geringerer Bandbreite zu bestimmen. Dabei können länger dauernde Funkstörungen auf diskreten Frequenzen auch mit hochselektiven Funkstörmeßempfängern und träger Anzeigecharakteristik gemessen werden, wenn das volle Einschwingen abgewartet wird. Bei Dauerstörungen ist der höchste Anzeigewert als Meßergebnis zu werten.

3.1.4 Knackstörungen

Knackstörungen werden von Funkstörmeßempfängern bei der bewerteten Messung durch einzelne ballistische Zeigerausschläge angezeigt. Eine Amplituden- bzw. Pegelmessung von Knackstörungen ist daher nur möglich, wenn der letzte Teil des stoßförmigen Anstiegs und der sich sofort anschließende Abfall der Anzeige den engen, voreingestellten Anzeigebereich nicht überschreitet und die Messung mit den durch die Bewertung gegebenen Zeitkonstanten erfolgt.

Bei zwei mit einer Pause von 200 ms bis zu 2 s aufeinanderfolgenden Knackstörungen wird die zweite Knackstörung aufgrund der Restladung des Bewertungskreises in Abhängigkeit von der zeitlichen Folge höher als ihre eigentliche Amplitude angezeigt.

Werden in elektrischen Betriebsmitteln Wechselströme oder Induktivitäten mit mechanischen Kontakten geschaltet, entstehen Knackstörungen mit sehr unterschiedlicher Dynamik, die den Anzeige- und Übersteuerungsbereich der Funkstörmeßempfänger überschreiten können.

Für die Beurteilung der Knackstörungen von elektrischen Betriebsmitteln werden daher besondere Schwellwert-Meßverfahren angewendet, bei denen nur die Überschreitung von vorher eingestellten Grenzwerten bestimmt wird (gezählte Knackstörungen). Zusätzlich zur Bewertung der zeitlichen Folge nach DIN VDE 0876 Teil 1 gelten erhöhte Grenzwerte in Abhängigkeit von der Knackrate. Dieser bis zu 44 dB höhere Grenzwert darf nach der „Methode des oberen Viertels“ von 25 % der gezählten Knackstörungen ohne Begrenzung ihrer Amplitude überschritten werden. Die bei Knackstörungsmessungen erforderlichen Zeitbestimmungen (Dauer und Abstand der Knackstörungen) sind mit Registriergeräten (Speicheroszilloskop und automatisches Auswertgerät) am Zwischenfrequenz Ausgang (ZF-Ausgang) von Funkstörmeßempfängern oder direkt im Betriebsstromkreis auszuführen (siehe Abschnitt 8.8 Messung von Knackstörungen).

3.2 Ausbreitung und Messung von Funkstörungen im Frequenzbereich unter 30 MHz

In Wohn- und Industriegebieten werden Funkstörungen durch elektrische Betriebsmittel im Frequenzbereich unter 30 MHz vorwiegend durch Leitungsnetze fortgeleitet und durch Kopplung mit Antennen auf Funkempfangsanlagen übertragen.

Leitungsgebundene Funkstörungen können als Funkstörspannungen oder -ströme gemessen werden.

Für die Beeinflussung der Empfangsantennen (Stabantennen) ist in diesem Frequenzbereich hauptsächlich die gegen Erde auftretende Komponente der Funkstörspannung maßgebend.

Zur Beurteilung von Funkstörungen wird daher die unsymmetrische bzw. asymmetrische Funkstörspannung einer Funkstörquelle an allen Anschlußstellen für ankommende und abgehende Leitungen gegen eine für die Ausbreitung wirksame „Erde“ (Bezugsmasse) gemessen.

3.3 Meßgeräte

Die Meßgeräte (Funkstörmeßempfänger und Meßwertaufnehmer, wie Netznachbildungen, Tastköpfe, Antennenmeßköpfe, Stromwandler, Lampennachbildungen usw.) müssen DIN VDE 0876 Teil 1 entsprechen.

3.4 Anzeigearten

Ein Funkstörmeßempfänger besteht im wesentlichen aus einem abstimmbaren selektiven HF-Verstärker mit definiertem Eingangswiderstand und einer Anzeigevorrichtung am Ausgang zur Erfassung der Meßgröße.

Fällt von dem am Eingang des Funkstörmeßempfängers anliegenden Spektrum einer Funkstörung nur eine Spektrallinie in den Empfangskanal, so ist der Meßwert unabhängig von der Bandbreite des Empfängers und den Eigenschaften der Anzeige (Funkstörung auf diskreter Frequenz).

Fallen mehrere, durch aufeinanderfolgende elektrische Vorgänge oder Impulse verursachte Spektrallinien in den Empfangskanal eines Funkstörmeßempfängers, so ist die Anzeige abhängig von seiner Bandbreite und seiner Anzeigecharakteristik. Das gleiche gilt auch für die ballistische Anzeige der frequenzabhängigen Amplitudendichte des kontinuierlichen Spektrums eines Impulses. Die Funkstörspannung der durch Impulse verursachten breitbandigen Funkstörungen wird daher mit definierter Bandbreite und Anzeigecharakteristik (Kurvenformbewertung) gemessen.

Entsprechend der Kurvenformbewertung der Meßgröße durch das Meßgerät (Meßgleichrichter und Anzeigeelement) im Hochfrequenzgang (ZF-Ausgang) des Funkstörmeßempfängers unterscheidet man Spitzen-, Quasi-Spitzen-, Mittel- oder Effektivwertmessung. Der Meßwert ist jedoch unabhängig von der Anzeigecharakteristik immer auf den Effektivwert einer sinusförmigen Eingangsspannung bezogen, die bei Abstimmung auf Bandmitte den gleichen Ausschlag ergibt.

3.4.1 Spitzenwertmessung

Bei der Spitzenwertmessung wird als Meßgröße der höchste Momentanwert der Spannung am Zwischenfrequenzgang des Funkstörmeßempfängers innerhalb einer festgelegten Beobachtungszeit bestimmt.

Für Meßgeräte mit Zeigerinstrumenten sind geeignete Meßgleichrichter mit linearer Kennlinie erforderlich. Zur Erfassung des Spitzenwertes muß die Anzeige einen schnellen Anstieg (kleine Zeitkonstanten) und einen sehr langsamen Rückgang (große Entlade-Zeitkonstante des Meßgleichrichters) besitzen. Der Anzeigewert ist damit nach Erreichen des Maximalwertes nahezu konstant und unabhängig von weiteren Schwankungen oder Folgefrequenzen der Meßgröße. Der zeitraubende, langsame Rückgang der Anzeige kann bei einigen Geräten auch automatisch oder bei anderen mit einem handbetätigten

Schalter nach Ablauf der festgelegten Beobachtungszeit verkürzt werden.

Bei einem kohärenten, durch Pulse (mit konstanter Folgefrequenz) verursachten Spektrum ist der gemessene Spitzenwert der Impulsbandbreite des Funkstörmeßempfängers proportional.

Anmerkung: Das Spektrum von elektrischen Betriebsmitteln durch Schalt- und Kommutierungsvorgänge in Wechselstromnetzen verursachten Funkstörpegel (man made noise) kann im allgemeinen bis zu einer Bandbreite von 10 kHz als kohärent (gleichförmig) angesehen werden. Bei größeren Bandbreiten und bei Gleichstrom-Entladungsvorgängen (atmosphärisches Rauschen, Koronaentladungen usw.) ist die spektrale Energieverteilung ungleichförmig, so daß in diesem Fall zur Beurteilung der Funkstörungen der Effektivwert besser geeignet ist. Eine Umrechnung der Meßergebnisse für verschiedene Bandbreiten oder Anzeigearten ist daher nur unter besonderen Voraussetzungen bei Funkstörungen mit vergleichbaren Spektren möglich.

Es ist üblich, das Meßergebnis von selektiven Spannungsmessungen als „Spektraldichte“ auf die Bandbreite des Funkstörmeßempfängers zu beziehen: $S = U_s/B_i$ in $\mu\text{V/kHz}$ oder $\mu\text{V/MHz}$ oder Vs. Der auf die Impulsbandbreite des Empfangskanals entfallende Pegel der Spektraldichte der Spitzenspannung beträgt somit:

$$s = 20 \log S = u_s - 20 \log B_i \text{ in dB } (\mu\text{V/kHz}).$$

Hierin bedeuten:

- S Spektraldichte der Meßgröße in $\mu\text{V/kHz}$
- s Pegel der Spektraldichte der Meßgröße in dB ($\mu\text{V/kHz}$)
- U_s gemessene Spitzenspannung in μV bezogen auf den Effektivwert einer auf Bandmitte eingestellten sinusförmigen Eingangsspannung
- u_s gemessener Spitzenspannungspegel in dB (μV) bezogen auf den Effektivwert einer auf Bandmitte eingestellten sinusförmigen Eingangsspannung
- B_i Impulsbandbreite des Meßempfängers in kHz

Anmerkung: Die Impulsbandbreite eines Empfängers mit unterkritisch gekoppelten Bandfiltern ist nur wenig (etwa 5 %) größer als die für Funkstörmeßempfänger festgelegte 6-dB-Bandbreite.

Für die Messung der Spektraldichte von Funkstörungen muß daher die Impulsbandbreite des Funkstörmeßempfängers bekannt sein oder eine Kalibrierung mit der bekannten Spektraldichte eines Pulsgenerators vorgenommen werden.

Spitzenspannungen können auch nahezu trägheitslos durch Vergleich mit einem einzustellenden Schwellwert oder direkt mit nachleuchtenden Oszilloskopen bestimmt werden.

Anmerkung: Mit Hilfe eines an den ZF-Ausgang angeschlossenen Oszilloskops können Funkstörmeßempfänger mit bewertender Anzeige nach DIN VDE 0876 Teil 1 auch für Spitzenwertmessungen verwendet werden. Die Amplitude der auf dem Oszilloskop dargestellten Umhüllenden der ZF-Schwingung entspricht der Summe der vom Empfangskanal aufgenommenen Spektralkomponenten der Meßgröße. Zur Bestimmung des Meßwertes wird das unmodulierte Signal eines kalibrierten Meßsenders an den Meßempfängerein-

gang geschaltet und so eingestellt, daß die gleiche Amplitude am Oszilloskop erzeugt wird.

Für die Messung von Funkstörungen auf diskreten Frequenzen sind hochselektive Funkstörmeßempfänger mit Panoramadarstellung und Spektrumanalysatoren sehr geeignet. Die Amplitude ihrer Momentanwertanzeige entspricht bei ausreichender Verweilzeit des Suchfilters, unter Vermeidung von prüflingssynchronen Ablenkfrequenzen, der Spitzenspannung im Empfangskanal. Werden durch Impulse verursachte Funkstörungen mit Spektrumanalysatoren gemessen, so ist zu kontrollieren, ob keine Übersteuerung erfolgt (siehe Abschnitt 7.2 Übersteuerungskontrolle).

Die Spitzenwertmessung wird angewandt zur Beurteilung der Elektromagnetischen Verträglichkeit von elektrischen Betriebsmitteln und in Verbindung mit einem Störimpulszähler bei der Datenübertragung. Da sie aber nicht leistungsbezogen und unabhängig von Folgefrequenzen ist, hat sich für die Messung von breitbandigen Funkstörungen die Quasi-Spitzenwertanzeige mit bewertender Anzeige durchgesetzt.

3.4.2 Bewertete Störmessung (Quasi-Spitzenwertmessung)

Die Bewertung berücksichtigt den psychophysikalischen Störeindruck von Funkstörungen, die durch aufeinanderfolgende Impulse verursacht werden.

Die Bewertung erfolgt bei definierter ZF-Bandbreite durch festgelegte elektrische Lade- und Entladezeitkonstanten des Meßgleichrichters und die mechanische Zeitkonstante des Zeigerinstrumentes. Entsprechend der Bewertungskurve werden bei niedrigen Pulsfolgefrequenzen und bei einzelnen Knackstörungen im Vergleich zur Spitzenwertmessung wesentlich niedrigere Werte angezeigt. Dies bedingt hohe Anforderungen an die Linearität des Funkstörmeßempfängers über seinen Anzeigebereich hinaus und an die Vorselektion zur Vermeidung von Übersteuerung und Intermodulation. Bei sehr kurzen, langsam aufeinanderfolgenden Störimpulsen ist für eine Messung der Amplituden der von ihnen verursachten Knackstörungen eine Überprüfung auf Übersteuerung nach Abschnitt 7.2 erforderlich.

Die Spezifikationen für die Bewertung sind in DIN VDE 0876 Teil 1 festgelegt. Die bewertete Anzeige kommt allgemein für die Messung der von Impulsen verursachten Funkstörungen mit breitbandigem Spektrum zur Anwendung. Sie ist aber nur bedingt zur Messung von schmalbandigen Funkstörungen geeignet, da sie im Gegensatz zum psychophysikalischen Störeindruck nicht von Modulationsfrequenzen beeinflusst wird.

Bei Amplitudenmodulation ist sie vom augenblicklichen Modulationsgrad abhängig. Daher können Trägerfrequenzen von Nutzsignalen nur noch in Modulationspausen gemessen werden.

3.4.3 Mittelwertmessung

Die Mittelwertmessung dient zur Messung von Funkstörungen und Nutzträgern auf diskreten Frequenzen. Sie ist nicht geeignet für Messung von breitbandigen Funkstörungen und modulierten Nutzsignalen. Der Meßgleichrichter besitzt eine kleine Lade- und Entladezeitkonstante, die gerade noch den niederfrequenten Änderungen (Hüllkurve) der Spannung am ZF-Ausgang des Funkstörmeßempfängers folgen können. Die Mittelwertbildung für die Anzeige erfolgt entweder durch die Trägheit des Meßinstrumentes oder durch einen geeigneten Tiefpaß.

Die Mittelwertanzeige ist unempfindlich gegen Störimpulse und Modulationsfrequenzen. Sie eignet sich daher besonders zur selektiven Messung von Funkstörungen und Nutzträgern auf diskreten Frequenzen auch mit kleinen Pegeln mit geringem Abstand zum Rauschen und anderen unerwünschten Spektralkomponenten.

3.4.4 Effektivwertmessung

Effektivwertmesser werden im allgemeinen in der Übertragungstechnik zur Messung von Geräuschen und Nutzsignalen verwendet. Die Anzeigeschaltung erfordert einen Meßgleichrichter mit quadratischer Kennlinie. Die Anzeige ist leistungsbezogen und vom quadratischen Mittelwert der HF-Ausgangsspannung des Funkstörmeßempfängers abhängig.

Bei gleichmäßiger spektraler Energieverteilung steigt die Anzeige bei der Effektivwertmessung mit der Wurzel aus der Bandbreite des hochfrequenten Empfangskanals. Die Effektivwertanzeige stellt wegen der geringen Leistung und der extremen Spannungsschwankung von Störimpulsen hohe Anforderungen an den Übersteuerungsbereich des Meßgerätes. Bei aufeinanderfolgenden Störimpulsen stimmt die Bewertung der Quasi-Spitzenwertanzeige besser mit dem subjektiven Störungseindruck überein.

Der Effektivwert von rauschförmigen Meßgrößen oder mehreren, sich überlagernden Spektralkomponenten wird zur Erfassung des psychophysikalischen Störeindrucks über Bewertungsfilter (Geräuschwertkurven) gemessen. Die so gemessene „Geräuschspannung“ ist die frequenzabhängig bewertete geometrische Summe der Fremdspannungen in einem Empfangskanal.

4 Bestimmung der Arbeits- oder Folgefrequenz eines Prüflings

Wenn die Arbeits- bzw. Folgefrequenz mindestens doppelt so groß ist wie die Bandbreite des verwendeten Meßempfängers, so kann dieser auf die einzelnen Harmonischen abgestimmt werden und die Folgefrequenz aus dem Frequenzabstand der Harmonischen (Anzeigemaximum) mit dem Meßempfänger bestimmt werden. Die Beurteilung von Folgefrequenzen im Bereich um 10 kHz (Zuordnung zu DIN VDE 0871 bzw. DIN VDE 0875 Teil 1) kann zweckmäßig mit dem Funkstörmeßempfänger mit 200 Hz Bandbreite erfolgen.

Wenn die Arbeits- bzw. Folgefrequenz höchstens halb so groß ist wie die Bandbreite des verwendeten Funkstörmeßempfängers, so kann diese aus dem zeitlichen Abstand der aufeinanderfolgenden ZF- oder demodulierten NF-Signale ermittelt werden.

5 Anschluß der Meßwertaufnehmer an den Funkstörmeßempfänger

Die Verbindungsleitung zwischen dem Meßwertaufnehmer und dem Funkstörmeßempfänger muß geschirmt und ihr Wellenwiderstand dem Eingangswiderstand des Funkstörmeßempfängers angepaßt sein. Hierbei muß der Ausgang des Meßwertaufnehmers mit dem vorgeschriebenen Widerstand abgeschlossen sein.

6 Schutzmaßnahmen

Es sind Funkstörmeßgeräte nach DIN VDE 0876 Teil 1 zu verwenden.

Zum Schutz des Prüfers wird empfohlen, vor Beginn der Funkstörmessung den Ableitstrom des Prüflings zu messen, um diesbezügliche Gefährdungen zu erkennen. Für das Meßpersonal wird Standortisolierung nach DIN VDE 0100/05.73, § 3 h), empfohlen.

Für die Bezugsmasse sind Maßnahmen zum Schutz bei indirektem Berühren nach DIN VDE 0100/05.73, § 6, zu treffen. Die mit der Bezugsmasse in Verbindung stehenden Metallumhüllungen (Schirme) der Meßgeräte und Verbindungskabel dürfen nur an definierten Stellen mit dem Schutzleiter des Starkstromnetzes verbunden werden.

Netznachbildungen müssen mit Schutzleiteranschluß versehen sein, der über eine Schutzleiterdrossel mit der Bezugsmasse verbunden ist. Die Schutzleiterdrossel muß den Anforderungen nach DIN VDE 0550 Teil 6/04.66 entsprechen, wenn nicht eine Spannungsüberwachung, z. B. durch Spannungsschutzschalter nach DIN VDE 0100/05.73, § 12, sichergestellt ist.

Bei ortsfesten Meßeinrichtungen ist die Verbindung mit dem Schutzleiter der Stromversorgung nicht erforderlich, wenn die Erdung der Bezugsmasse den Bedingungen für Schutzleiter nach DIN VDE 0100/05.73, §§ 8 bis 13, entspricht. Werden bei Netznachbildungen und Tastköpfen durch größere Koppel- und Funk-Entstörkondensatoren die nach DIN IEC 348/VDE 0411 Teil 1 (z. Z. Entwurf) zulässigen Ableitströme überschritten, sind zusätzliche Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannungen erforderlich (z.B. Schutztrennung, Schutz-erdung). Hinweise auf die Sicherheitsbedingungen auf den Geräten bzw. in der Bedienungsanleitung sind zu beachten.

7 Meßfehler

Meßfehler können durch Fehlanpassungen, ungenügenden Störabstand und Anzeigefehler des Funkstörmeßempfängers entstehen.

7.1 Meßgenauigkeit

Die Fehlergrenze für Sinusspannungen darf ± 2 dB nicht überschreiten. Die durch das Zubehör entstehenden zusätzlichen Fehler dürfen nicht dazu führen, daß die vorgenannten Fehlergrenzen überschritten werden.

7.2 Übersteuerungskontrolle

Bei durch Impulsen verursachten Funkstörungen können Meßfehler durch Übersteuerung der Meßeinrichtung entstehen.

Die Übersteuerung äußert sich in einer zu geringen Anzeige der Meßgröße.

Übersteuerung liegt vor, wenn bei einer Veränderung des Meßbereiches durch Verringerung der Eingangsdämpfung um mindestens 10 dB und Herabsetzung der Gesamtverstärkung durch Einschalten einer gleich großen Dämpfung hinter dem ZF-Verstärker die Anzeige um mehr als 1 dB abfällt. Wird die Anzeige größer, so liegt Intermodulation oder ungenügender Rauschabstand vor. Diese Überprüfung kann entfallen bei Funkstörmeßempfängern mit automatischer Übersteuerungskontrolle.

7.3 Fremdstörungen durch leitungsgeführte oder freie elektromagnetische Felder

Der durch Fremdstörungen verursachte Meßfehler soll kleiner als 1 dB sein. Diese Forderung ist gewährleistet,

wenn Fremdstörungen, die bei abgeschaltetem Prüfling gemessen werden, 20 dB unter der zu messenden Funkstörspannung liegen oder nicht meßbar sind.

Da Fremdstörungen im allgemeinen die Anzeige erhöhen, kann eine Grenzwertbeurteilung bei Nichtüberschreitung auch mit kleineren Störabständen zugelassen werden.

Beim Messen der Fremdstörungen dürfen Bereiche höherer Empfindlichkeit, die bezüglich des Stehwellenverhältnisses und der Übersteuerungsfestigkeit nicht den Anforderungen von DIN VDE 0876 Teil 1 genügen und entsprechend gekennzeichnet sein sollen, nicht eingestellt werden. Falls in diesen Bereichen gemessen werden muß, sollte neben der Prüfung auf Übersteuerung die vom Rauschen des Funkstörmeßempfängers überlagerte Fremdstörspannung am ZF-Ausgang des Funkstörmeßempfängers bestimmt werden.

Zur Ausschaltung der auf dem Verteilungsnetz vorhandenen Fremdstörungen muß bei den Messungen am Aufstellungsort über die NF-Wiedergabe des Funkstörmeßempfängers mitgehört werden. Die meisten Funkstörquellen sind durch ihre charakteristischen Störgeräusche zu unterscheiden.

Anmerkung: Zur Vermeidung von Fremdstörungen können Funkstörspannungsmessungen in geschirmten Räumen (behelfsweise Keller) und mit zusätzlichem Netzentkoppelungsfilter (behelfsweise Trenntransformator) durchgeführt werden. Falls die Fremdstörungen (auch Rauschen des Meßempfängers) nicht auf den geforderten Störabstand von 20 dB verringert werden können, ist die Höhe der Fremdstörungen im Meßprotokoll anzugeben.

8 Funkstörspannungsmessungen

8.1 Messungen am Aufstellungsort

Zur individuellen Beurteilung von Funkstörungen am Aufstellungsort eines elektrischen Betriebsmittels oder einer Anlage muß die Funkstörspannung unter den dort vorhandenen Ausbreitungsbedingungen mit rückwirkungsfreien Meßwertaufnehmern (hochohmigen Tastköpfen) gemessen werden. Maßgebend für die Ausbreitungsbedingungen bzw. das Meßergebnis sind

- die vorhandene Bezugserde bzw. die bei der Messung verwendete Bezugsmasse,
- die HF-Eigenschaften und Belastungsverhältnisse des die Funkstörungen weiterleitenden Verteilungsnetzes und
- die Eingangsimpedanz des Meßwertaufnehmers.

8.1.1 Bezugserde

Als Bezugsmasse ist möglichst die am Aufstellungsort vorhandene Erde (Bezugserde) zu verwenden. Diese ist nach hochfrequenztechnischen Gesichtspunkten auszusuchen. Im allgemeinen können hierfür vorhandene Erden von Funkempfangsanlagen und sonstige mit dem Erdreich in Verbindung stehende, leitende Konstruktionsteile von Gebäuden und Maschinen, z.B. Wasserleitungen, Zentralheizungen, Blitzschutzanlagen, Betonarmierungen, Stahlträger und sonstige Gehäuse- und Mascheteile, verwendet werden.

Schutz- und Mittelpunktsleiter der Starkstrominstallation sind in der Regel als Bezugsmasse nicht geeignet, da sie

Fremdstörungen führen können und hochfrequent undefinierte Erdwiderstände haben.

Die Verbindungsleitung zum Anschluß der Bezugsmasse für hochohmige Tastköpfe soll so kurz wie möglich sein ($< \frac{1}{100}$ der Wellenlänge λ). Sie muß zur Vermeidung von Welligkeiten kürzer als $\frac{1}{10}$ der Wellenlänge λ der höchsten Meßfrequenz sein. Bei 30 MHz entspricht dies einer Länge von 1 m. Für Meßfrequenzen unter 30 MHz kann die zulässige Länge der Masseverbindungsleitung aus Bild 1 abgelesen werden. Zur Vermeidung von kapazitiven Einkoppelungen aus dem Starkstromnetz muß die Länge der Masseleitung klein sein gegenüber der durch das Stromversorgungsnetz und Erde gebildeten Schleife. Es wird daher empfohlen, bei Messungen im Frequenzbereich unter 3 MHz die Länge der Masseleitung auf 10 m zu begrenzen.

Falls keine geeignete Bezugsmasse in der Umgebung des Prüflings oder am Meßort zugänglich ist, kann gegen eine in unmittelbarer Nähe errichtete, hinreichend große Bezugsmasse, z. B. Metallfolien, Bleche oder Drahtnetz, gemessen werden.

8.1.2 HF-Eigenschaften des Verteilungsnetzes und Eingangsimpedanz des Meßwertaufnehmers

Die HF-Eigenschaften des Verteilungsnetzes können sich zeitlich und örtlich stark ändern. Für eine Erfassung der unter den ungünstigsten Verhältnissen auftretenden höchsten Funkstörspannung sind länger dauernde Messungen an verschiedenen Stellen erforderlich. Die Eingangsimpedanz der hierzu erforderlichen Tastköpfe soll mindestens 1,5 k Ω betragen.

Der Spannungsrückgang bei der Belastung der Meßstelle durch den Tastkopf kann qualitativ durch Funkstörspannungsmessungen mit verschiedenen großen Tastkopf-Eingangswiderständen bestimmt werden. Sind die Eingangswiderstände der Meßwertaufnehmer groß im Vergleich zum Innenwiderstand des Prüflings bzw. des angeschlossenen Netzes, dann treten bei Änderung des Tastkopf-Eingangswiderstandes (bei Berücksichtigung des geänderten Spannungsteilungsmaßes) nur kleine Differenzen bei der Messung der Störspannung auf.

Die Veränderung des Tastkopf-Eingangswiderstandes kann durch Aufstecken oder Einschalten eines eingebauten gleichgroßen Wirkwiderstandes (Toleranz $< 2,3\%$) erfolgen. Geht z.B. bei einer Verdoppelung des Tastkopf-Eingangswiderstandes die Anzeige der Störspannung auf der zu untersuchenden Frequenz um mindestens 5 dB anstatt 6 dB zurück, kann mit dem vorhandenen Tastkopf gemessen werden.

Wird bei der Verdoppelung der Eingangsimpedanz ein Anzeigerückgang von 5 dB nicht erreicht, ist eine Erhöhung der Eingangsimpedanzen über Werte von 100 k Ω nicht erforderlich.

Zur Erhaltung der Meßempfindlichkeit können Tastköpfe mit Übertragern oder Verstärkern bei Beachtung der geringeren Frequenz- und Übersteuerungsbereiche eingesetzt werden.

Bei Frequenzen unter 1,6 MHz ist die Netzimpedanz der betriebsmäßig geerdeten Stromversorgungssysteme in Wohn- und Industriegebieten bei unterirdischer Verlegung so niedrig, daß bei einer zusätzlichen Einschaltung von Verbrauchern (ohne Entstörkondensatoren) kein merklicher Spannungsrückgang an der Meßstelle auftritt. In diesen Fällen ist es zweckmäßig, auch am Aufstellungsort mit Netznachbildungen zu messen, um die sonst unvermeidlichen Beeinflussungen (Fremdstörspannun-

gen und Impedanzänderungen) des Verteilungsnetzes fernzuhalten.

8.1.3 Messungen am Aufstellungsort

Funkstörspannungsmessungen am Aufstellungsort werden an der Grenze der zusammenhängenden Betriebsräume, an der Grenze von Industriegebieten oder im Bereich einer Empfangsanlage ausgeführt.

8.1.3.1 Messung auf Stromversorgungsleitungen

In Verteilungsnetzen genügt es, an einzelnen zugänglichen Steckdosen zu messen.

8.1.3.2 Messung auf geschirmten Leitungen

Bei getrennt verlegten weiterführenden, geschirmten Kabeln mit nicht geerdetem Schirm ist auch die unsymmetrische Funkstörspannung der Abschirmung hochohmig zu messen.

Außerdem ist bei nicht mit dem Starkstromnetz verbundenen, geschirmten Leitungsbündeln mit geerdetem Schirm (Signal- und Steuerleitungen), in größerem Abstand (größer als $\lambda/10$ nach Bild 1) von Anschluß- und Erdungsstellen, die asymmetrische Funkstörspannung durch Messung des asymmetrischen Störstromes zu bestimmen.

Zur Berechnung der Störspannung ist ein fiktiver asymmetrischer Abschlußwiderstand von 150 Ω zugrunde zu legen.

8.1.3.3 Messung auf symmetrischen Leitungen

Symmetrische Fernmeldeleitungen werden asymmetrisch, hochohmig gegen den Mittenabgriff ihres symmetrischen Abschlußwiderstandes gemessen.

8.2 Messungen mit Netznachbildungen

8.2.1 Zweck

Zur allgemeinen Beurteilung der Funk-Entstörung von elektrischen Betriebsmitteln und Anlagen bei Typprüfungen muß die Funkstörspannung reproduzierbar, unabhängig vom Aufstellungsort, an definierten Nachbildwiderständen gemessen werden. Deshalb wird die Messung der Funkstörspannung an den Anschlußpunkten einer Netzanschlußleitung eines Prüflings mit einer Netznachbildung durchgeführt. Durch die Netznachbildung werden die von einer Störquelle abgehenden Leitungen für Hochfrequenz gegeneinander und gegen ihre Bezugsmasse mit definierten Nachbildwiderständen abgeschlossen und mit dem Funkstörmeßempfänger verbunden. Die Nachbildwiderstände sind durch ein Entkopplungsnetzwerk in der Netznachbildung gegen eine Belastung durch das angeschlossene Stromversorgungsnetz geschützt. Das Entkopplungsnetzwerk dämpft außerdem die Fremdstörungen aus dem Stromversorgungsnetz.

Gegebenenfalls müssen alle weiteren Netzanschlußstellen des Prüflings ebenfalls definiert (z.B. entweder jeweils mit einer eigenen oder gemeinsam mit einer Netznachbildung) abgeschlossen werden, um reproduzierbare Messungen zu gewährleisten.

Bei Betriebsmitteln, die mit betriebsmäßig geerdeten oder genullten Stromversorgungsnetzen verbunden werden, ist die **unsymmetrische** Funkstörspannung jeder einzelnen Leitung gegen die Bezugsmasse mit einer V-Netznachbildung zu messen.

Bei Betriebsmitteln, die mit symmetrischen Leitungen (z.B. bei Fernmelde- und Datenverarbeitungsanlagen) verbunden werden, ist die **asymmetrische** Funkstör-