

Schirmdämpfungsmessungen an Gebäuden im blitzfrequenten Bereich – Messergebnisse und Unterschiede zu Berechnungsergebnissen nach VDE V 0185 Teil 4

Dr. Ralf Frentzel, TÜV Süd, München
Prof. Dr. Alexander Kern, FH Aachen, Jülich
Dipl.-Ing. Manfred Seevers, HEW AG, Hamburg

Kurzfassung

Zur 4. VDE/ABB-Blitzschutztagung 2001 wurde ein Messverfahren zur Bestimmung der magnetischen Schirmdämpfung an realen Bauwerksstrukturen im Frequenzbereich der natürlichen Blitzentladung vorgestellt, welches aus einer aktiven und einer passiven Komponente besteht. Mit diesem Messverfahren wurden seither an Bauwerken in industriellen Anlagen in einer Vielzahl von Einzelmessungen Werte der Schirmdämpfung aufgenommen. Eine Auswertung dieser Messungen wird in diesem Beitrag vorgestellt.

In einigen Fällen wurden Gebäude vermessen, deren Schirmdämpfung ansatzweise mit den Formeln nach VDE V 0185 Teil 4 bestimmt werden kann. Hierbei treten zwischen den Messergebnissen und den berechneten Werten sowohl gute Übereinstimmungen als auch Differenzen von teilweise mehr als 10 dB auf. Eine erste Interpretation dieser Differenzen wird im vorliegenden Beitrag vorgenommen.

1 Einleitung

Bei Bauwerken, die verfügbarkeits- und/oder sicherheitsrelevante Elektroniksysteme beinhalten, besteht Bedarf an einer quantitativen Erfassung der Wirksamkeit der magnetischen Schirmdämpfung der Gebäudestrukturen. Blitzschutz ist hierbei eine wesentliche Maßnahme der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) zur Koordination zwischen der „Störquelle“ Blitzentladung und der „Störsenke“ Elektroniksystem. Diese Koordination gelingt nur, wenn quantitative Angaben über den Kopplungsweg vorliegen. Die quantitativen Angaben können in sehr einfachen Fällen und bei homogenen Schirmstrukturen durch rechnerische Abschätzungen ermittelt werden [1]. Im Falle realer Gebäudestrukturen, die sich meistens durch Inhomogenität des elektromagnetischen Schirms auszeichnen, bieten sich Messungen der Schirmdämpfung an. Grundsätzliche Überlegungen zur magnetischen Schirmdämpfung von Gebäudestrukturen, die Beschreibung der Messprozedur mit aktivem und passivem Verfahren sowie die Aufbereitung der Messdaten zur Bewertung wurden zur 4. VDE/ABB-Blitzschutztagung vorgestellt [2].

Der vorliegende Beitrag befasst sich zum einen mit der Auswertung der seitdem mit dieser Messprozedur an Bauwerken in industriellen Anlagen erzielten Ergebnisse. Die Ergebnisse wurden in Form eines Katasters zusammengefasst, wobei die Randbedingungen jeder Einzelmessung festgehalten wurden. Das Hauptaugenmerk des Beitrages liegt jedoch nicht auf den Einzelmessungen, sondern auf der Zuordnung der Messergebnisse des aktiven Verfahrens zu typischen Wandstrukturen, bspw. von Skelettbauten mit Fertigteilwänden.

Zum anderen werden in diesem Beitrag die Differenzen diskutiert, die zwischen gemessenen und berechneten Werten von Stahlbetonbauten auftraten. Die berechneten Werte wurden dabei mit den Formeln nach VDE V 0185 Teil 4 [1] bestimmt.

2 Zuordnung zu typischen Wandkonfigurationen

2.1 Einteilung

Prinzipiell lassen sich die schirmenden Strukturen der untersuchten Gebäude in die Gruppen „Skelettbauten mit Fertigteilstrukturen“, „Stahlbetonstrukturen“ und „Wandstrukturen mit Metallfassaden“ einteilen. Um für diese Gruppen eine Aussage über erreichbare Schirmdämpfungen treffen zu können, werden im Folgenden die zutreffenden Einzelmessungen zusammengefasst. Hierzu werden nur Messungen herangezogen, die an weitgehend

homogenen Wandstrukturen ohne sichtbare Öffnungen bzw. Durchführungen ausgeführt wurden. Bei der Nennung von Schirmdämpfungswerten wird in diesem Abschnitt als Referenzfrequenz 1 MHz herangezogen, da sich bei dieser Frequenz die höchsten induktiven Einkopplungen in Leiterschleifen (Verkabelung im Inneren der geschirmten Gebäude) ergeben. Für die ermittelten Schirmdämpfungswerte werden fiktive Maschenweiten angegeben, die unter Nutzung der in der Norm VDE V 0185 Teil 4 [1] angegebenen Formel für die Schirmdämpfung blitzfrequenter Magnetfelder aus Blitznaheinschlägen berechnet werden. Fiktiv sind diese Maschenweiten deshalb zu nennen, da sie am Baukörper in der angegebenen Größe nicht zu finden sind. Sie ergeben sich unter Berücksichtigung aller schirmenden Elemente in der Wandstruktur, bspw. durch „Hintereinanderschaltung“ mehrerer Bewehrungslagen oder durch Schlitzbildung zwischen Fertigteil- bzw. Fassadenelementen.

2.2 Skelettbauten mit Fertigteilstrukturen

Wie in **Bild 2.2** zu sehen ist, liegen die Schirmdämpfungswerte der untersuchten Gebäude mit Außenwänden aus Stahlbeton-Fertigteilen dicht beieinander. Bei $f=1$ MHz ergeben sich Schirmdämpfungswerte zwischen 10 und 20 dB. Dies entspricht einer fiktiven Maschenweite des gitterförmigen Schirms zwischen 2,69 m und 0,85 m. Die Schirmdämpfung dürfte hierbei maßgeblich durch die Größe der Fertigteile und damit durch die Längen der horizontalen und vertikalen Schlitzte zwischen den einzelnen Fertigteilen bzw. zwischen Fertigteilen und Stützen beeinflusst sein. Ein weiterer Einflussparameter ist die Zahl elektrisch leitfähiger Verbindungen zwischen den genannten Einzelteilen, die in den meisten Fällen allein durch die mechanischen Anforderungen (Einhängepunkte der Fertigteile) bestimmt sein dürfte.

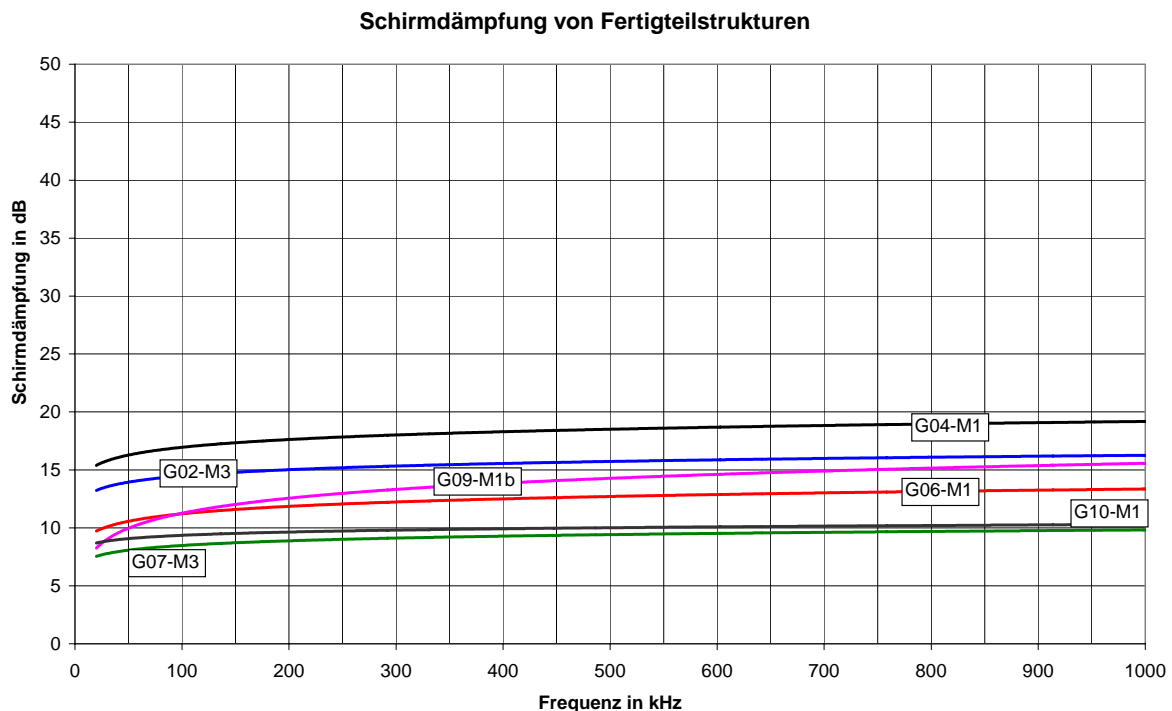


Bild 2.2: Schirmdämpfungswerte von Skelettbauten mit Fertigteilstrukturen

2.3 Stahlbetonstrukturen

Einen wesentlich größeren Bereich der erzielbaren Schirmdämpfung ab 25 dB aufwärts bis über 40 dB überstreichen durchgängige Strukturen aus Stahlbeton, vgl. **Bild 2.3**. **Tabelle 2.3** gibt einen Überblick über die vermessenen Strukturen und die Schirmdämpfungswerte sowie die fiktiven Maschenweiten bei $f=1$ MHz (in der Reihenfolge des Auftretens in Bild 2.3 von oben nach unten).

Bei den in Bild 2.3 und Tabelle 2.3 angegebenen Messwerten sind einige Sonderkonfigurationen aus mehreren Wänden angegeben, die zu einer großen Bandbreite bei den erhaltenen Schirmdämpfungswerten führen. Aber auch beim Vergleich homogener Stahlbetonwände, vgl. G08-M1 mit G01-M1, werden Unterschiede in der

Schirmdämpfung von über 10 dB erkennbar. Eine Interpretation ist hierbei schwierig, da über den Aufbau dieser Wandstrukturen, bspw. über die Anzahl der Bewehrungslagen, keine Daten vorliegen.

Schirmdämpfung von Stahlbetonstrukturen

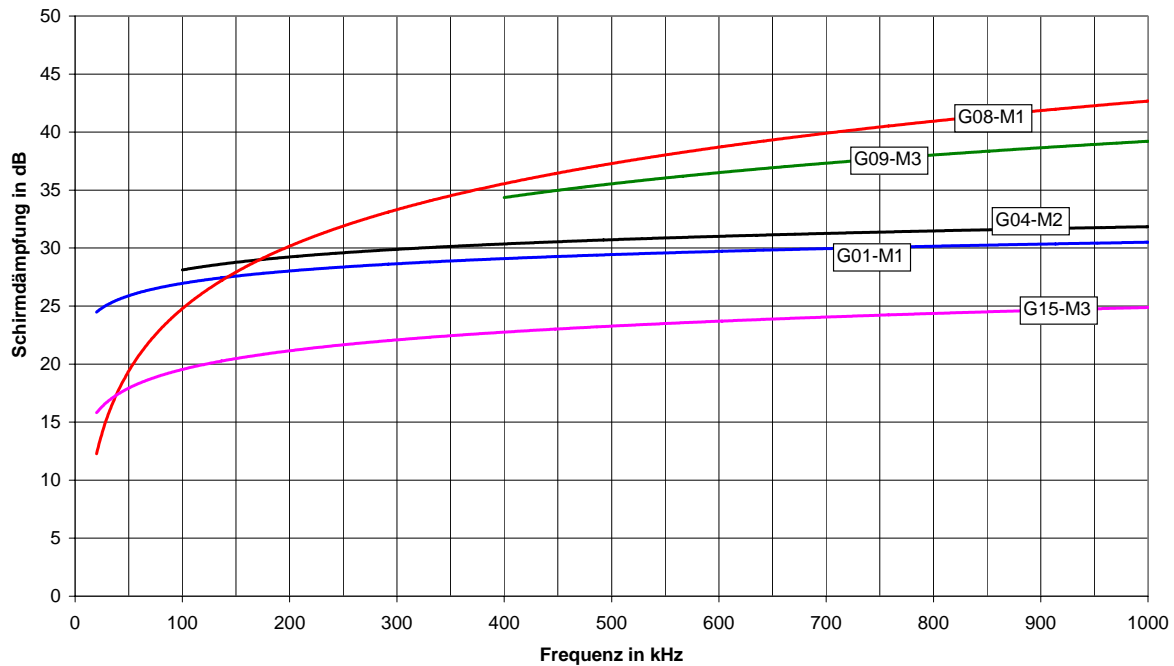


Bild 2.3: Schirmdämpfungswerte von Stahlbetonstrukturen

Tabelle 2.3: Beschreibung der Stahlbetonstrukturen nach Bild 2.3

Mes- sung Nr.	Kurzbeschreibung der Struktur	Schirmdämp- fung in dB (bei $f=1$ MHz)	Fiktive Maschen- weite in mm
G08- M1	Außenwand aus Stahlbeton (Dicke: 400 mm) mit durchgehender Bewehrung; oberhalb Erdgleiche ist teilweise ein Erdwall an die Außenwand angeschüttet	42,5	64
G09- M3	Messung im Innenbereich; dabei befanden sich zwei Innenwände aus Stahlbeton in der Messstrecke, wobei der Abstand zwischen beiden Wänden 2 m und die Wanddicke jeweils 250 mm betrug; die anderen Wände der Räume, in denen sich dabei die Sende- und Empfangsantennen befanden, sind nicht durchgängig aus Stahlbeton	39	95
G04- M2	Messung an einer Kombination aus einer Außenwand aus einzelnen Betonplatten-Fertigteilen (Dicke: 180 mm) und einer dahinter befindlichen Innenwand aus Stahlbeton (Dicke: 270 mm; Abstand zwischen Außen- und Innenwand: 1,27 m)	32	213
G01- M1	Außenwand aus Stahlbeton (Dicke: 320 mm) mit durchgehender Bewehrung	30	269
G15- M3	Stahlbeton im Dachbereich, aufgebaut mit Betonstabstahl; die obere Schicht (Aufbeton) ist einlagig bewehrt mit Betonstahl-Lagermatten, die nicht gezielt elektrisch leitend miteinander verbunden sind	25	478

2.4 Wandstrukturen mit Metallfassaden

In **Bild 2.4** sind die Ergebnisse für Außenwände, die mit einer Metallfassade bedeckt sind, aufgetragen. Auch hier wird ein großer Bereich möglicher Schirmdämpfungswerte ab etwa 20 dB bis nahe 50 dB überstrichen.

Einen maßgeblichen Einfluss hat hierbei zum einen die Wandstruktur, die sich hinter der Metallfassade befindet. Noch stärker geht jedoch die elektromagnetische „Dichtheit“ der Metallfassade selbst ein, also die umlaufende, elektrisch leitfähige und hochfrequenztechnisch geeignete Verbindung der Fassadenteile untereinander und zu anderen Schirmungselementen in Bodennähe und am Dach. Insbesondere umlaufende Öffnungen zur Hinterlüftung der Fassade können die Schirmdämpfung stark reduzieren. **Tabelle 2.4** gibt einen Überblick über die vermessenen Strukturen und die Schirmdämpfungswerte sowie die fiktiven Maschenweiten bei $f=1$ MHz (in der Reihenfolge des Auftretens in Bild 2.4 von oben nach unten).

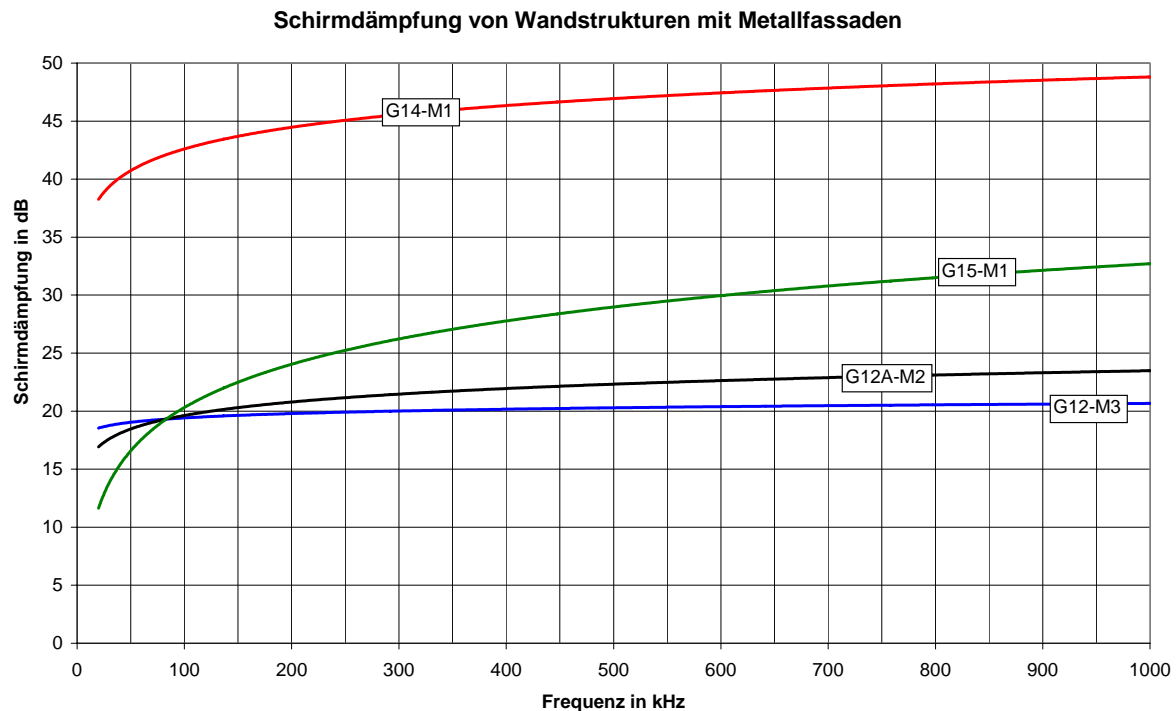


Bild 2.4: Schirmdämpfungswerte von Wandstrukturen mit Metallfassaden

Tabelle 2.4: Beschreibung der Wandstrukturen mit Metallfassaden nach Bild 2.4

Mes- sung Nr.	Kurzbeschreibung der Struktur	Schirmdämp- fung in dB (bei $f=1$ MHz)	Fiktive Maschen- weite in mm
G14- M1	Stahlbeton mit durchgehender Bewehrung und vorgehängter Metallfassade	48	34
G15- M1	Stahlbeton mit durchgehender Bewehrung und vorgehängter Metallfassade	32,5	202
G12A- M2	unterhalb Erdgleiche und bis ca. 0,6 m oberhalb Erdgleiche: Stahlbeton mit durchgehender Bewehrung; oberhalb Stahlbetonsockel: Skelettbauweise mit eingehängten Fertigteilen und vorgehängter Metallfassade; zwischen Stahlbetonsockel und Metallfassade umlaufender Schlitz, der die Schirmdämpfung massiv beeinflusst	23	602
G12- M3	unterhalb Erdgleiche und bis ca. 0,6 m oberhalb Erdgleiche: Stahlbeton mit durchgehender Bewehrung; oberhalb Stahlbetonsockel: Skelettbauweise mit eingehängten Fertigteilen und vorgehängter Metallfassade; zwischen Stahlbetonsockel und Metallfassade umlaufender Schlitz, der die Schirmdämpfung massiv beeinflusst	21	758

2.5 Einfluss von Leitungseinführungen, Einbauten und Öffnungen

Der Einfluss von Leitungseinführungen auf die Schirmdämpfung wurde mit aktiven Messungen nicht gezielt untersucht. Die massierte Einführung metallener elektrischer und nichtelektrischer Leitungen in ein Gebäude hat jedoch, neben dem Einfluss größerer Öffnungen in der Schirmstruktur, eine reduzierende Wirkung auf die Schirmdämpfung, auch wenn bei den untersuchten Gebäuden davon ausgegangen werden kann, dass alle eintretenden Leitungen im Rahmen des Blitzschutz-Potentialausgleiches behandelt sind. Dieser Einfluss von Leitungseinführungen auf die Schirmdämpfung ist in den Ergebnissen der passiven Messungen enthalten, aber nicht direkt quantifizierbar.

Ebenfalls einen nicht direkt quantifizierbaren Einfluss auf die Schirmdämpfung haben metallene Einbauteile im Gebäude, wie Lüftungskanäle, Rohrleitungen, Kabeltragsysteme, Behälter, Schaltschränke, die in das Potentialausgleichssystem einbezogen sind. In dieses vermaschte metallene System werden durch das blitzfrequente Magnetfeld Wirbelströme induziert, die mit ihrem Magnetfeld wiederum das einfallende blitzfrequente Magnetfeld schwächen (Lenz'sche Regel). Dieser Effekt kann die Schirmdämpfung im Inneren des Gebäudes um 6 dB und mehr erhöhen, vgl. auch [1].

Hinsichtlich des Einflusses größerer Öffnungen in der Schirmstruktur, wie Türen, Tore, Fenster, Fensterbänder, Transportöffnungen, auf die Schirmdämpfung wurden aktive Messungen durchgeführt und ausgewertet. Auf die Darstellung dieser Ergebnisse muss hier aus Platzgründen verzichtet werden, vgl. jedoch „Zusammenfassung“.

3 Berechnung der magnetischen Schirmdämpfung nach VDE V 0185 Teil 4

In VDE V 0185 Teil 4 [1] werden sehr detailliert Berechnungsverfahren für magnetische Feldstärken sowie für induzierte Spannungen und Ströme in baulichen Anlagen bei direkten und nahen Blitzeinschlägen dargestellt. Diese Verfahren beruhen auf umfangreichen numerischen Rechnungen und einigen ergänzenden Messungen an sehr einfachen Gebäudestrukturen [3]. Dabei wurde insbesondere ein Schwerpunkt auf die Berechnung der Schirmwirkung gitterförmiger Schirme gelegt.

Aus den in diesem Beitrag dargestellten und diskutierten Ergebnissen können daher insbesondere die Messungen an Stahlbetonstrukturen (Abschnitt 2.3) mit Berechnungen für nahe Blitzeinschläge verglichen werden. Der magnetische Schirmungsfaktor SF wird nach **Tabelle 3** berechnet.

Tabelle 3: Magnetische Dämpfung von gitterförmigen räumlichen Schirmen gegen ebene Wellen, bedingt durch nahe Blitzeinschläge, entnommen aus [1].

Werkstoff	SF (dB) (siehe Anmerkungen 1 und 2)	
	25 kHz (gültig für den ersten Teilblitz)	1 MHz (gültig für Folgeblitze)
Kupfer oder Aluminium	$20 \cdot \log(8,5/M)$	$20 \cdot \log(8,5/M)$
Stahl (siehe Anmerkung 3)	$20 \cdot \log \left[\frac{8,5/M}{\sqrt{1 + 18 \cdot 10^{-6}/r^2}} \right]$	$20 \cdot \log(8,5/M)$
M	Maschenweite des gitterförmigen Schirmes in m	
r	Radius eines Stabes des gitterförmigen Schirmes in m	
Anmerkung 1	$SF = 0$, wenn das Ergebnis der Formeln negativ wird.	
Anmerkung 2	SF erhöht sich um 6 dB, wenn ein vermaschtes Potentialausgleich-Netzwerk installiert ist.	
Anmerkung 3	Permeabilität $\mu_t \approx 200$	

Geht man bei einer Bewehrung (Werkstoff Stahl) zunächst von nur einer Lage mit einer Maschenweite $M = 0,15$ m und einem Radius der Stäbe $r = 4$ mm aus, ergeben sich die magnetischen Schirmungsfaktoren zu:

- $SF = 31,8$ dB bei 25 kHz und $SF = 35,1$ dB bei 1 MHz.

Würde man bei sonst unveränderten Parametern eine zweilagige Bewehrung annehmen, und diese stark vereinfacht durch eine Halbierung der Maschenweite M berücksichtigen, ändern sich die Werte:

- $SF = 37,8$ dB bei 25 kHz und $SF = 41,1$ dB bei 1 MHz.

Vergleicht man die Ergebnisse der Berechnungen mit den Kennlinien aus Bild 2.3 so zeigt sich, dass für die höheren Frequenzen (z. B. 1 MHz) die berechneten Werte der Schirmungsfaktoren in der Bandbreite der Messungen liegen. Bei sehr massiv bewehrten Wänden (Messung G08-M1: Dicke 400 mm) können sogar noch höhere Werte auftreten (d. h. die fiktive Maschenweite ist noch geringer). Bei den niedrigeren Frequenzen (z. B. 25 kHz) liegen die Messergebnisse der magnetischen Schirmdämpfung aber deutlich unterhalb der berechneten Werte, auch für sehr massiv bewehrte Wände. Offensichtlich macht sich die „Unvollkommenheit“ des magnetischen Schirms, d. h. die fehlende oder nicht optimale Anbindung von Türen, Toren, Fenstern, Transportöffnungen, Kabel- und Rohreinführungen, bei niedrigeren Frequenzen stärker bemerkbar. Die kapazitiven Verkopplungen, die diese fehlenden oder nicht optimalen Anbindungen teilweise kompensieren können, sind frequenzabhängig und bei niedrigeren Frequenzen nicht so stark ausgeprägt.

Einkopplungen von Spannung und Strom in Kabelschleifen oder durch das magnetische Feld direkt in Geräte sind frequenzabhängig ($u, i \sim dH/dt$), d. h. der Folgeblitz mit seiner höheren Stromsteilheit führt im Allgemeinen zu wesentlich höheren Einkopplungen als der erste Teilblitz. Insofern ist daher vor allem von Bedeutung, dass für höhere Frequenzen (1 MHz) eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse von Messungen und Berechnungen vorliegt.

4 Zusammenfassung

Es werden an Bauwerken durchgeführte und ausgewertete Schirmdämpfungsmessungen im blitzfrequenten Bereich nach Merkmalen typischer Außenwandstrukturen zusammengefasst. Hierbei werden zum Teil erhebliche Bandbreiten in der Schirmdämpfung sichtbar, die durch bautechnische Besonderheiten auftreten. Da die überwiegende Zahl der vermessenen Gebäude sich hinsichtlich ihrer Schirmdämpfung einer Bewertung nach VDE V 0185 Teil 4 [1] entzieht, können die Messwerte des Katasters wertvolle Bewertungshilfen für ähnlich aufgebaute Gebäude bieten.

Vergleicht man die Ergebnisse der Schirmdämpfungsmessungen an Stahlbetonstrukturen mit denen aus Berechnungen nach [1], ergeben sich für die höheren Frequenzbereiche eines Folgeblitzes, die im Allgemeinen für die höchsten induktiven Einkopplungen in Leiterschleifen verantwortlich sind, gute Übereinstimmungen. Dünnere Wände können dabei durch eine einlagige Bewehrung, dickere Wände durch eine zweilagige Bewehrung dargestellt werden. Im Bereich niedrigerer Frequenzen liegen die berechneten Werte der magnetischen Schirmdämpfungen zum Teil deutlich über den gemessenen. Für rechnerische Nachweise maximal eingekoppelter Spannungen und Ströme ist dies jedoch weniger relevant, da diese Nachweise im Allgemeinen für die höheren Frequenzen geführt werden.

Die Zusammenstellung der Schirmdämpfungsmessungen in Form eines Katasters und die Auswertung nach den genannten Gesichtspunkten wurden im Auftrag der VGB PowerTech Service GmbH durchgeführt. Die Autoren bedanken sich für die Möglichkeit, die Ergebnisse an dieser Stelle veröffentlichen zu können. Darüber hinaus liegt die Zustimmung des Auftraggebers vor, dass der komplette Bericht Interessenten zur Verfügung gestellt werden kann (Bezug über Autorenadresse).

5 Literatur

- [1] DIN V VDE V 0185-4 * VDE V 0185 Teil 4 (11/2002): Blitzschutz; Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen.
- [2] Frentzel, R.; Steiger, B.: Bestimmung der magnetischen Schirmdämpfung realer Gebäudestrukturen im blitzfrequenten Bereich. 4. VDE/ABB-Blitzschutztagung, 2001, Neu-Ulm.
- [3] König, M.; Steinbigler, H.: Magnetic field distribution inside a gridlike spatial shield in the case of a direct lightning strike. ICLP 1998, 24th International Conference on Lightning Protection, Birmingham, UK.

Autorenadresse

Dr. Ralf Frentzel
TÜV Industrie Service GmbH TÜV SÜD Gruppe
IS-ETL 1-MUC
80686 München
Fax: 089/5791-2902
E-mail: ralf.frentzel@tuev-sued.de