

ICS 33.100.20

Ersatz für
VG 95375-4:2005-04
und
VG 95376-4:2005-08Supersedes
VG 95375-4:2005-04
and
VG 95376-4:2005-08

**Elektromagnetische Verträglichkeit —
Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung und Konstruktion
von Systemen und Geräten —
Teil 40: Schirmung;
Text Deutsch und Englisch**

Electromagnetic compatibility —
Fundamentals and measures for the development and design
of systems and equipment —
Part 40: Shielding;
Text in German and English

Compatibilité électromagnétique (CEM) —
Principes et mesures pour le développement et la construction
de systèmes et appareils —
Partie 40: Blindage;
Texte en allemand et anglais

Gesamtumfang 43 Seiten
Total extent 43 pages

Normenstelle Elektrotechnik (NE) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
Normenstelle Schiffs- und Meerestechnik (NSMT) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

The English version is a translation. In case of dispute the German original will govern.

Inhalt

Contents

	Seite		Page
Vorwort	4	Foreword	4
1 Anwendungsbereich	5	1 Scope	5
2 Normative Verweisungen	5	2 Normative references	5
3 Begriffe	7	3 Terms and definitions	7
4 Grundlagen	7	4 Fundamentals	7
4.1 Allgemeines	7	4.1 General	7
4.2 Schirmdämpfungsmaß	8	4.2 Shielding attenuation	8
4.3 Grundlagen zur Abschätzung der Schirmdämpfung	8	4.3 Fundamentals for the assessment of shielding attenuation	8
4.4 Typische Schirmdämpfungs-werte von Schirmräumen	18	4.4 Typical shielding attenuation values of shielding rooms	18
5 Konstruktive Ausführung von Schirmhüllen	19	5 Structural design of shielding envelopes	19
5.1 Allgemeines	19	5.1 General	19
5.2 Leitende Verbindungen	19	5.2 Conductive joints	19
5.3 Öffnungen in der Schirmwand	30	5.3 Shielding openings	30
5.4 Durchführungen durch Schirmwände	37	5.4 Feedthroughs	37
5.5 Oberflächenbehandlung und Korrosion	43	5.5 Surface treatment and corrosion	43
Bilder		Figures	
Bild 1 — Prinzipieller Verlauf der Schirmdämpfung a_s	10	Figure 1 — Typical diagram of shielding attenuation a_s	10
Bild 2 — Vergleich der berechneten Schirmdämpfung verschiedener Werkstoffe	12	Figure 2 — Comparison of shielding attenuation calculated for various materials	12
Bild 3 — Felddurchgriff durch eine Öffnung in einer Schirmhülle für ein äußeres elektrisches Feld (schematische Darstellung)	15	Figure 3 — Field penetration through an opening in a shielding envelope in case of an external electric field (schematic representation)	15
Bild 4 — Felddurchgriff durch eine Öffnung in einer Schirmhülle für ein äußeres magnetisches Feld (schematische Darstellung)	16	Figure 4 — Field penetration through an opening in a shielding envelope in case of an external magnetic field (schematic presentation)	16
Bild 5 — Typische Schirmdämpfungs-werte von Schirmräumen (Beispiele)	18	Figure 5 — Typical shielding attenuation values of shielded enclosures (examples)	18
Bild 6 — Ausführung von Bördel-verbindingen	21	Figure 6 — Examples of some typical crimped joints	21
Bild 7 — Prinzip einer Schraub-verbinding	22	Figure 7 — Example of a bolted joint	22
Bild 8 — Schirmdämpfung als Funktion des Schraubenabstandes bei einem Gehäuse mit geschraubtem Deckel	23	Figure 8 — Shielding attenuation as a function of bolt spacing at a shielding enclosure with bolted cover	23

Bild 9 — Schirmdämpfung als Funktion des Schraubenabstandes bei 2,5 mm dickem Aluminium-Blech mit 12,7 mm breiter metallischer Auflage	23	Figure 9 — Shielding attenuation as a function of bolt spacing for a 2,5 mm aluminium sheet with 12,7 mm wide metallic deposit	23
Bild 10 — Beispiel für die Ausführung einer Schraubverbindung ohne Dichtung	24	Figure 10 — Example of the structural design of a bolted joint without conductive gasket	24
Bild 11 — Beispiele für elektrisch leitende Dichtungen (Querschnitt)	26	Figure 11 — Examples of conductive gaskets (cross-sections)	26
Bild 12 — Beispiel für eine Schraubverbindung eines Deckels mit leitender Dichtung	26	Figure 12 — Example of a bolted joint for a cover with a conductive gasket	26
Bild 13 — Beispiel für Ausführungsformen von Kontaktfedern	28	Figure 13 — Examples of design shapes of practical contact springs	28
Bild 14 — Beispiel für eine Schraubverbindung mit Kontaktfedern	29	Figure 14 — Example of a bolted joint with contact springs	29
Bild 15 — Beispiel für eine Schraubverbindung mit Doppelkontaktfedern	29	Figure 15 — Example of a bolted joint with dual contact springs	29
Bild 16 — Beispiel für Querschnittsformen handelsüblicher Wabenkamme	31	Figure 16 — Examples of cross-sections of commercial honeycombs	31
Bild 17 — Beispiel für eine mit Drahtgewebe abgedeckte Öffnung	32	Figure 17 — Example of an opening covered by mesh wire fabric	32
Bild 18 — Beispiel für eine Lüftungsöffnung, abgedeckt durch ein geschlitztes Blech	33	Figure 18 — Example of an air vent opening covered by a slotted sheet	33
Bild 19 — Typische Schirmdämpfung von Fenstern mit Metallgewebe bei Einbau in entsprechende Schirmräume (ermittelt mit IEEE 299-1997)	35	Figure 19 — Typical shielding attenuation of windows with wire fabric installed in appropriate shielding enclosures (values determined according to IEEE 299-1997)	35
Bild 20 — Beispiel für eine mit Kontaktfedern ausgerüstete Tür	36	Figure 20 — Example of a door equipped with contact springs	36
Bild 21 — Beispiel für die Durchführung einer Welle	37	Figure 21 — Typical feedthrough of a shaft	37
Bild 22 — Beispiel für eine gas- und flüssigkeitsdichte Durchführung	38	Figure 22 — Typical example of a feedthrough with tightness against gases and liquids	38
Bild 23 — Prinzip für die Durchführung eines Rohres durch eine Schirmhülle	40	Figure 23 — Typical feedthrough of a metallic line into shielding envelope	40
Bild 24 — Prinzip für die Durchführung von ungeschirmten elektrischen Kabeln/Leitungen durch eine Schirmhülle	40	Figure 24 — Typical feedthrough of unshielded electrical cables/lines into a shielding envelope	40
Bild 25 — Prinzip für die Durchführung ungeschirmter Kabel durch unterschiedliche EMV-Bereiche	41	Figure 25 — Typical feedthrough of unshielded cables through different EMC zones	41
Bild 26 — Prinzip für die Durchführung von geschirmten Kabeln/Leitungen durch eine Schirmhülle	42	Figure 26 — Typical feedthrough of shielded cables/lines into a shielding envelope	42
Bild 27 — Prinzip für die Durchführung von geschirmten Kabeln/Leitungen durch eine Schirmhülle mittels Steckverbindern	43	Figure 27 — Typical feedthrough of shielded cables/lines into a shielding envelope using connectors	43
Tabellen		Tables	
Tabelle 1 — Typische Schirmdämpfungswerte	9	Table 1 — Typical shielding attenuation values	9

Vorwort

Diese Norm wurde von der Normenstelle Elektrotechnik (NE) im DIN, Arbeitsausschuss NA 140-00-20 AA "Elektromagnetische Verträglichkeit" erarbeitet.

Bei der vorliegenden Norm handelt es sich um eine Grundnorm für den Bereich Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).

Eine Übersicht über die VG-Normen für EMV und zum Schutz gegen NEMP und Blitz ist in VG 95372 enthalten.

VG 95375, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung von Systemen*

und

VG 95376, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung und Konstruktion von Geräten* besteht aus:

siehe VG 95372, *Übersicht*

Änderungen

Gegenüber VG 95375-4:2005-04 und VG 95376-4:2005-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anforderungen für Systeme und Geräte zusammengefasst;
- b) technische Anforderungen aktualisiert;
- c) englische Übersetzung eingearbeitet;
- d) Norm redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

VG 95375-4: 1982-11, 1991-11, 2005-04
VG 95376-4: 1984-12, 1998-05, 2005-08

Foreword

This standard has been prepared by the Normenstelle Elektrotechnik (NE) im DIN, committee NA 140-00-20 AA "Electromagnetic compatibility".

The presented standard is a basic standard for Electromagnetic compatibility (EMC).

VG 95372 provides an overview of all VG-standards for EMC and NEMP/lightning protection.

VG 95375, *Electromagnetic compatibility — Fundamentals and measures for the development of systems*

and

VG 95376, *Electromagnetic compatibility — Fundamentals and measures for the development and design of equipment* consists of:

see VG 95372, *Survey*

Amendments

Compared with VG 95375-4:2005-04 and VG 95376-4:2005-08 the following amendments have been adopted:

- a) requirements for systems and equipment combined;
- b) technical requirements updated;
- c) english version added;
- d) standard revised editorially.

Superseded editions

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für neu zu entwickelnde und neu zu beschaffende Systeme und Geräte für die Bundeswehr.

Die in dieser Norm angegebenen Grundlagen und Hinweise sollen dem Entwickler helfen, die Schirmungseigenschaften zu beurteilen und durch konstruktive Maßnahmen eine optimale Schirmdämpfung zu erreichen.

Für die Erstellung von EMV-Unterlagen gelten die Schaltzeichen nach VG 95371-1 und die Einheiten nach VG 95371-3.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEEE Std 299-1997, *Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures*

VG 88773, *Einführungen für Kabel — Zusammenstellung und Anwendung bei Kabeln mit Schirm*

VG 95371-1, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) einschließlich Schutz gegen den Elektromagnetischen Impuls (EMP) und Blitz — Allgemeine Grundlagen — Teil 1: Schaltzeichen, Auswahl*

VG 95371-2, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) einschließlich Schutz gegen den Elektromagnetischen Impuls (EMP) und Blitz — Allgemeine Grundlagen — Teil 2: Begriffe*

VG 95371-3, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) einschließlich Schutz gegen den Elektromagnetischen Impuls (EMP) und Blitz — Allgemeine Grundlagen — Teil 3: Einheiten*

VG 95375-3, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung von Systemen — Teil 3: Verkabelung*

1 Scope

This standard shall apply to systems and equipment to be newly developed or to be newly procured for the German Armed Forces (Bundeswehr).

The fundamentals and information given in this standard shall assist the developer with assessing the shielding effectiveness of an enclosure and achieving optimum shielding attenuation by means of structural measures.

When EMC documents are to be established, the symbols according to VG 95371-1 and the units according to VG 95371-3 shall apply.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEEE Std 299-1997, *Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures*

VG 88773, *Glands for cables — Assembly and application for cables with screen*

VG 95371-1, *Electromagnetic compatibility including electromagnetic pulse (EMP) and lightning protection — Fundamentals — Part 1: Circuit symbols, selection*

VG 95371-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) including electromagnetic pulse (EMP) and lightning protection — Fundamentals — Terms*

VG 95371-3, *Electromagnetic compatibility including electromagnetic pulse (EMP) and lightning protection — Fundamentals — Units*

VG 95375-3, *Electromagnetic compatibility — Fundamentals and measures for the development of systems — Part 3: Cabling*

VG 95375-4, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung von Systemen — Teil 4: Schirmung*

VG 95375-6, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung von Systemen — Teil 6: Massung*

VG 95376-3, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung und Konstruktion von Geräten — Teil 3: Verkabelung und Verdrahtung*

VG 95376-4 Bbl 1, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung und Konstruktion von Geräten — Teil 4: Schirmung, Grundlagen zur Ermittlung von Schirmdämpfungswerten*

VG 95376-4 Bbl 2, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung und Konstruktion von Geräten — Teil 4: Schirmung, Vergleich der Schirmdämpfung von Gerätegehäusen (in 482,6-mm-(19 Zoll)-Bauweise)*

VG 95376-5, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung und Konstruktion von Geräten — Teil 5: Filterung und Überspannungsschutz*

VG 95376-6, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung und Konstruktion von Geräten — Teil 6: Massung*

VG 96907-1, *Schutz gegen Nuklear-Elektromagnetischen Impuls (NEMP) und Blitzschlag — Konstruktionsmaßnahmen und Schutzeinrichtungen — Teil 1: Allgemeines*

VG 96907-2, *Schutz gegen Nuklear-Elektromagnetischen Impuls (NEMP) und Blitzschlag — Konstruktionsmaßnahmen und Schutzeinrichtungen — Teil 2: Besonderheiten für verschiedene Anwendungen*

VG 95375-4, *Electromagnetic Compatibility — Fundamentals and measures for the development of systems — Part 4: Shielding*

VG 95375-6, *Electromagnetic Compatibility — Fundamentals and Measures for the Development of Systems — Part 6: Bonding*

VG 95376-3, *Electromagnetic compatibility — Fundamentals and measures for development and design of equipment — Part 3: Cabling and wiring*

VG 95376-4 Bbl 1, *Electromagnetic compatibility — Fundamentals and measures for the development and design of equipment — Part 4: Shielding; Fundamentals for the determination of shielding attenuation values*

VG 95376-4 Bbl 2, *Electromagnetic compatibility — Fundamentals and measures for the development and design of equipment — Part 4: Shielding, comparison of shielding effectiveness of equipment housings of the 482,6 mm (19 in) series*

VG 95376-5, *Electromagnetic compatibility — Fundamentals and measures for development and design of equipment — Part 5: Filtering and overvoltage protection*

VG 95376-6, *Electromagnetic Compatibility — Fundamentals and Measures for Development and Design of Equipment — Part 6: Bonding*

VG 96907-1, *Nuclear electromagnetic pulse (NEMP) and lightning protection — Design guidelines and protective devices — Part 1: Fundamentals*

VG 96907-2, *Nuclear Electromagnetic Pulse (NEMP) and lightning protection — Design guidelines and protective devices — Part 2: Peculiarities for different applications*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach VG 95371-2 und die folgenden Begriffe.

3.1

Kontaktblank

Oberflächenbeschaffenheit für eine einwandfreie elektrische Verbindung

4 Grundlagen

4.1 Allgemeines

Aus den in der EMV-Analyse ermittelten Daten geht hervor, wie hoch die Schirmdämpfungswerte elektromagnetischer Schirme sein müssen.

Die Auslegung erstreckt sich, soweit möglich, von der Wahl des Schirmmaterials über die Bestimmung der Wanddicke des Gehäuses bis hin zur Gestaltung von Nähten, Öffnungen für Kabeleinführungen bzw. -durchführungen und Dichtungen mit dem Ziel, die an eine Schirmhülle gestellten Dämpfungsanforderungen zu erreichen.

Die Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung von Schirmdämpfungswerten geschlossener, homogener Schirme sind in VG 95376-4 Bbl 1 enthalten. In diesem Beiblatt sind auch die Grundlagen zur Abschätzung der Schirmdämpfungswerte für die in der Praxis am häufigsten vorkommenden nicht geschlossenen, inhomogenen Schirme sowie der Einfluss verschiedener Werkstoffe behandelt.

VG 95376-4 Bbl 2 behandelt den Einfluss von verschiedenen konstruktiven Ausführungen auf die Schirmdämpfung eines Gerätegehäuses am Beispiel von kleinen Gerätegehäusen.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions according to VG 95371-2 and the following apply.

3.1

Bright area for Contacts

Surface condition necessary to achieve acceptable electrical contact

4 Fundamentals

4.1 General

The data determined by the EMC analysis indicate the required attenuation values of electromagnetic shields.

The design covers, if possible, the selection of the shielding material, the determination of the wall thickness of the enclosure, the design of joints, openings for cable entries and sealings, with the objective of finding an optimal solution which fulfils the shielding requirements for a shielding enclosure.

The fundamentals for the calculation of shielding attenuation values of closed homogeneous shields are included in VG 95376-4 supplement 1. This supplement also provides fundamentals for the assessment of shielding attenuation values of non-closed inhomogeneous shields most common in practice. Moreover, it addresses the influence of various materials on the shielding attenuation.

VG 95376-4 supplement 2 covers the influence of different constructional design measures on the shielding attenuation of an equipment enclosure considering as example small equipment enclosures.

4.2 Schirmdämpfungsmaß

Die Schirmwirkung einer schirmenden Struktur lässt sich beschreiben durch das Schirmdämpfungsmaß a_S . Dieses ist definiert:

für magnetische Felder

$$a_{SH} = 20 \left(\lg \frac{H_0}{H} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

und für elektrische Felder

$$a_{SE} = 20 \left(\lg \frac{E_0}{E} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

dabei ist

H_0 magnetische Feldstärke ohne schirmende Struktur;
 H magnetische Feldstärke mit schirmender Struktur;
 E_0 elektrische Feldstärke ohne schirmende Struktur;
 E elektrische Feldstärke mit schirmender Struktur.

4.3 Grundlagen zur Abschätzung der Schirmdämpfung

4.3.1 Allgemeine Grundlagen

Die in der Praxis verwendeten schirmenden Strukturen haben bei tiefen Frequenzen hohe Schirmdämpfungen gegen elektrische Felder und geringere Schirmdämpfungen gegen magnetische Felder. Problematisch ist die Abschwächung des magnetischen Gleich- und Wechselfeldanteils.

In Bild 1 ist der prinzipielle Verlauf der Schirmdämpfung a_S als Funktion der Frequenz für eine geschlossene, homogene Schirmhülle und für eine reale Schirmhülle (mit Nahtverbindungen und Öffnungen) dargestellt.

Die magnetische Schirmdämpfung einer geschlossenen, homogenen Schirmhülle nimmt mit steigender Frequenz zu. Die magnetische Schirmdämpfung einer realen Schirmhülle zeigt nur bei tiefen Frequenzen einen Verlauf, der etwa dem der geschlossenen, homogenen Schirmhülle entspricht. Dabei sind die Werte der erreichbaren Schirmdämpfung bei idealer Kontaktierung der Nahtverbindungen durch die Kurve 1 in Bild 1 gegeben.

4.2 Shielding attenuation

The shielding effect of a shielding structure can be described by the shielding attenuation a_S . The shielding attenuation is defined:

for magnetic fields

$$a_{SH} = 20 \left(\lg \frac{H_0}{H} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

and for electrical fields

$$a_{SE} = 20 \left(\lg \frac{E_0}{E} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

where

H_0 magnetic field strength without shielding structure;
 H magnetic field strength with shielding structure;
 E_0 electrical field strength without shielding structure;
 E electrical field strength with shielding structure.

4.3 Fundamentals for the assessment of shielding attenuation

4.3.1 General

At low frequencies the shielding structures commonly used in practice have a high shielding attenuation against electric fields and a lower attenuation against magnetic fields. The reduction of direct and alternating magnetic field portions is a critical problem.

Figure 1 shows the typical diagram of the shielding attenuation a_S as a function of frequency for a closed homogeneous shielding envelope and for a practical shielding envelope (including joints and openings).

The magnetic shielding attenuation of a closed, homogenous shielding envelope increases with rising frequency. Only at low frequencies does the diagram for the magnetic shielding attenuation of a practical envelope approximate that of the closed homogeneous shielding envelope. The shielding attenuation values obtainable with ideal bonding of joints are given by curve 1 of Figure 1.

Bei mittleren Frequenzen erreicht die magnetische Schirmdämpfung technischer Schirmhüllen einen Grenzwert, der durch den Einfluss der Werkstoffeigenschaften, der Übergangswiderstände bei Nahtverbindungen und durch Öffnungen im Schirmgehäuse bestimmt wird (siehe Kurve 2 in Bild 1).

Bei Frequenzen, bei denen die Schirmabmessungen in die Größenordnung der Wellenlänge kommen, treten Raumresonanzen auf, die mehr oder weniger tiefe Einbrüche der Schirmdämpfungswerte hervorrufen (siehe Kurve 2 in Bild 1).

Innerhalb eines realen Schirmgehäuses ist das verbleibende Reststörfeld nicht homogen. Die Feldstärke steigt mit der Annäherung an die Kanten und Flächen stetig an. Es ist daher ungünstig, zu schirmende Störsenken und Störquellen in der Nähe von Kanten und Flächen einer Schirmhülle anzuordnen.

Die elektrische Schirmdämpfung technischer Schirmhüllen ist durch Kurve 3 in Bild 1 dargestellt.

Aus der Praxis ergibt sich die grobe Einteilung nach Tabelle 1:

At medium frequencies, the magnetic shielding attenuation of practical shielding envelopes reaches a limit value which depends on material properties, contact resistances of joints and openings in the shielding enclosure; see curve 2 of Figure 1.

At frequencies, where shield dimensions are in the order of magnitude of the wavelength, structural (enclosure) resonances will occur and cause a more or less strong decrease of shielding attenuation values; see curve 2 of Figure 1.

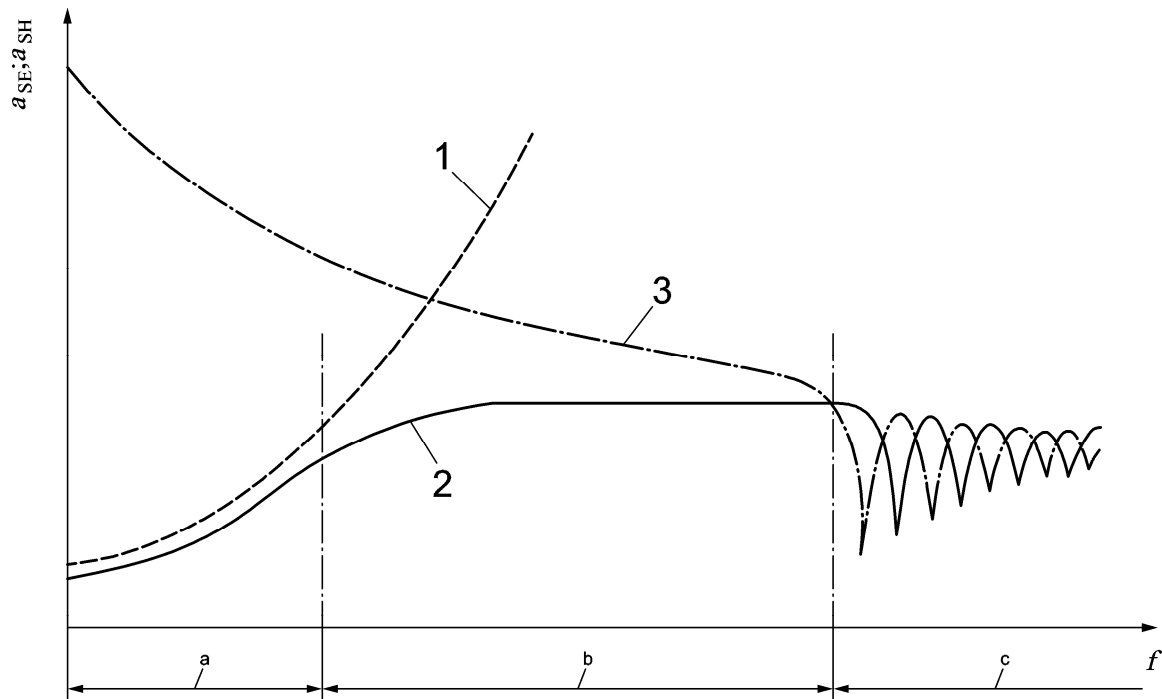
Inside practical shielding envelopes the remaining residual field is not homogeneous. The field strength rises towards the edges and inner surfaces. Therefore, it is no good practice to arrange sinks and sources of disturbance to be shielded near the edges and inner surfaces of a shielding envelope.

The electrical shielding attenuation of practical shielding envelopes is shown by curve 3 of Figure 1.

The rough classification according to Table 1 results from practice:

Tabelle 1 — Typische Schirmdämpfungswerte
Table 1 — Typical shielding attenuation values

Schirmdämpfung Shielding attenuation	Dämpfungswerte im Bereich 10 kHz bis 30 MHz Attenuation values in the frequency range from about 10 kHz to 30 MHz a_{SH} in dB	Dämpfungswerte im Bereich ≈ 10 MHz bis 1 GHz Attenuation values in the frequency range from about ≈ 10 MHz to 1 GHz a_{SE} in dB
hoch high	über over 60	über over 60
mittel medium	30 bis to 60	20 bis to 60
gering low	unter below 30	unter below 20
ANMERKUNG Typische Werte sind von der Messmethode und der Frequenz abhängig. NOTE Typical values depend on the measurement method and the frequency.		



Legende

- 1 Magnetische Schirmdämpfung einer geschlossenen homogenen Schirmhülle
- 2 Magnetische Schirmdämpfung einer realen Schirmhülle
- 3 Elektrische Schirmdämpfung einer realen Schirmhülle

- a Bereich tiefer Frequenzen
 b Bereich mittlerer Frequenzen
 c Bereich höherer Frequenzen

Key

- 1 Magnetic shielding attenuation of a closed homogeneous shielding envelope
- 2 Magnetic shielding attenuation of a practical shielding envelope
- 3 Electric shielding attenuation of a practical shielding envelope

- a low frequency range
 b medium frequency range
 c high frequency range

Bild 1 — Prinzipieller Verlauf der Schirmdämpfung a_s
Figure 1 — Typical diagram of shielding attenuation a_s

4.3.2 Einfluss der Werkstoffeigenschaften auf die Schirmdämpfung

Neben der Wanddicke und der Frequenz bestimmen die Eigenschaften des zu verwendenden Schirmwerkstoffs (elektrische Leitfähigkeit, Permeabilität) wesentlich die Schirmdämpfungswerte geschlossener, homogener Schirmhüllen. Um diese Zusammenhänge deutlich herauszustellen, sind in Bild 2 die berechneten Schirmdämpfungswerte für Zylinder aus fünf verschiedenen Werkstoffen eingetragen. Bei den nicht-magnetisierbaren Werkstoffen (z.B. Kupfer, Aluminium, amagnetischer Stahl mit $\mu_r \approx 1$) ist ein typischer Verlauf der Schirmdämpfung als Funktion der Frequenz festzustellen, die Kurven sind entsprechend einer abnehmenden elektrischen Leitfähigkeit des Werkstoffes auf der Frequenzachse nach rechts verschoben (Kurven 1, 2 und 3 in Bild 2).

Die Schirmdämpfung wird mit zunehmender Frequenz höher; bereits im kHz-Bereich ist der Anstieg der Schirmdämpfung überproportional (Einfluss des Skineffektes).

Bei Verwendung von unlegiertem Stahl sind wesentlich höhere Schirmdämpfungswerte erreichbar als mit Kupfer oder Aluminium mit bekanntlich guter elektrischer Leitfähigkeit (siehe Kurve 4 in Bild 2).

Mit ferromagnetischen Werkstoffen werden bereits bei tiefsten Frequenzen nutzbare Schirmdämpfungswerte erreicht (Einfluss der Permeabilität, siehe Kurve 5 in Bild 2). Es ist jedoch zu beachten, dass die Permeabilitätszahl (relative Permeabilität) hochpermeabler Werkstoffe mit höheren Frequenzen kleiner wird, der Abfall beginnt bei etwa 100 kHz.

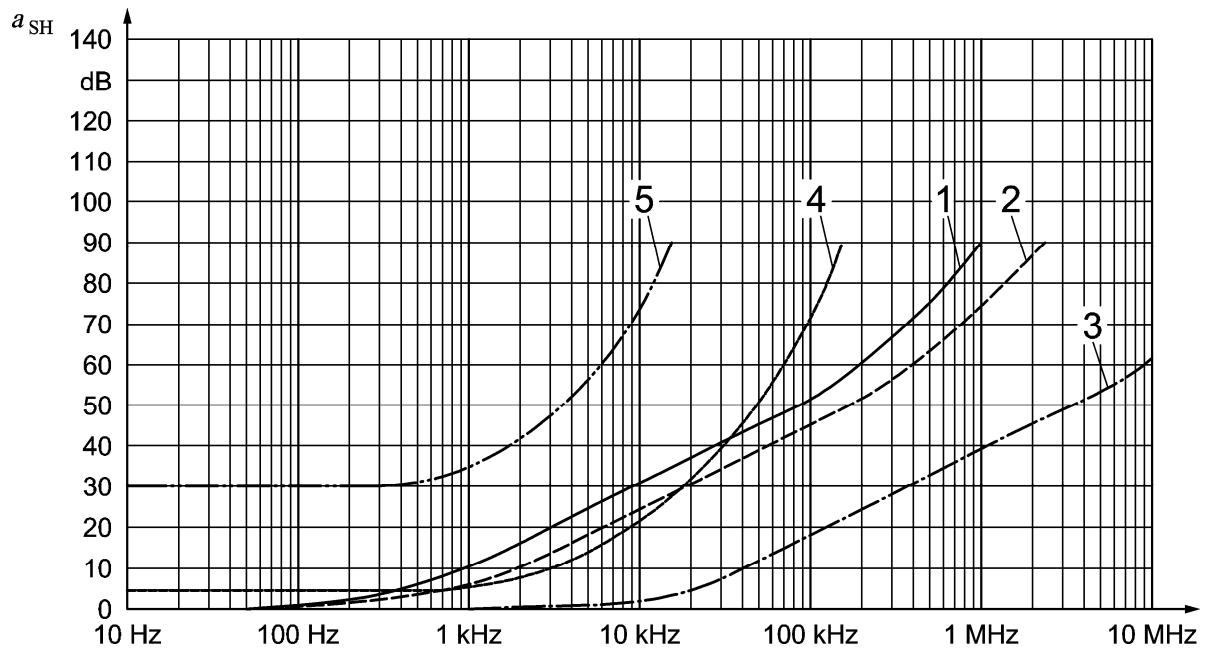
4.3.2 Effects of material properties on shielding attenuation

Besides wall thickness and frequency the shielding attenuation values of closed homogeneous shielding envelopes will essentially be determined by the properties of the shielding material to be used, i.e. by electric conductivity, permeability. In order to illustrate these relations, Figure 2 shows the calculated shielding attenuation values for cylinders of five different materials. The nonmagnetic materials (e.g. copper, aluminium, nonmagnetic steel where $\mu_r \approx 1$) yield a typical diagram of shielding attenuation as a function of frequency; corresponding to the decreasing electric conductivity of the material the curves are shifted to the right along the frequency axis (curves 1, 2 and 3 of Figure 2).

The shielding attenuation increases with frequency; even in the kHz range the shielding attenuation increase will be over-proportional (skin effect).

In some frequency ranges, carbon steel will provide shielding attenuation values which are essentially higher than those of copper or aluminium known for their good electric conductivity; see curve 4 of Figure 2.

Usable shielding attenuation values can be obtained even at the lowest frequencies with ferromagnetic materials (effect of permeability see curve 5 of Figure 2). It should be noted, however, that the relative permeability of high-permeability materials tends to decrease at higher frequencies; this decrease begins at about 100 kHz.



Legende

- 1 Kupfer
- 2 Aluminium (Al Mg Si 1 F 28)
- 3 amagnetischer Stahl (X5 Cr Ni 189)
- 4 unlegierter Stahl (ST 12)
- 5 Hochpermeabler Werkstoff (gerechnet mit $\mu_r = 10\,000$)

Key

- 1 copper
- 2 aluminum (Al Mg Si 1 F 28)
- 3 non-magnetic steel (X5 Cr Ni 189)
- 4 non-alloyed steel (ST 12)
- 5 highly permeable material (calculated with $\mu_r = 10\,000$)

Beispiel Schirmdämpfung einer geschlossenen, homogenen Schirmhülle (Zylinder mit dem Radius $R = 50$ mm und der Wanddicke $d = 0,3$ mm)

Example Shielding attenuation of a closed homogeneous shielding envelope (cylinder with radius $R = 50$ mm and wall thickness $d = 0,3$ mm)

Bild 2 — Vergleich der berechneten Schirmdämpfung verschiedener Werkstoffe
Figure 2 — Comparison of shielding attenuation calculated for various materials

4.3.3 Schirme aus Drahtgeflecht

Schirme aus Drahtgeflecht besitzen geringere Dämpfungswerte als geschlossene homogene Schirme.

Ähnlich wie bei geschlossenen Schirmhüllen ist die Schirmwirkung bei Schirmhüllen aus Drahtgeflecht gegen magnetische Felder geringer als gegen elektrische Felder.

Optimale Dämpfungswerte sind in der Praxis nur dann erreichbar, wenn die einzelnen Drähte jeweils miteinander gut leitend verbunden sind (durch Schweißen oder Löten). Diese Verbindungen müssen sowohl an den Drahtkreuzungen als auch an den Kanten des Drahtgeflechts entsprechend ausgeführt sein.

Drahtgeflecht wird zur Schirmung von Geräten nur selten verwendet. Dagegen wird Drahtgeflecht zur Abdeckung von Öffnungen (z.B. für Lüftung) eingesetzt. In solchen Fällen ist der Einfluss auf die Schirmwirkung gering, wenn die abgedeckten Öffnungen klein im Vergleich zur Schirmoberfläche sind. Bei großen Öffnungen (ab etwa 20 % der Schirmoberfläche) kann sich die Schirmdämpfung auf Werte verringern, die einem Gehäuse aus Drahtgeflecht entsprechen.

4.3.4 Einfluss von leitenden Verbindungen einer Schirmhülle

Ideale homogene Schirmhüllen kommen in der Praxis kaum vor. Konstruktive Belange zwingen dazu, die Gehäuse aus mehreren Teilen wie Wände, Deckel, Böden, Türen usw. zusammenzusetzen.

Die Schirmdämpfungswerte sind von der Größe des in den Schirmwänden fließenden Wirbelstromes abhängig. Dieser wird durch die vom magnetischen Störfeld induzierte Spannung und den Widerständen im Stromkreis bestimmt.

Bei realen Schirmhüllen stellen die Verbindungen der Bestandteile zusätzliche, zum Widerstand des Schirmwerkstoffs in Serie geschaltete Widerstände dar. Diese Zusatzwiderstände verringern den Wirbelstrom und damit auch die Schirmdämpfungswerte gegenüber homogenen Schirmhüllen bereits bei mittleren Frequenzen, wenn an den Verbindungen auch induktive Anteile wirksam werden (siehe Kurve 2 in Bild 1).

4.3.3 Shields of mesh wire fabric

The shielding attenuation values of mesh wire shields are lower than those of closed homogeneous shields.

Similar to closed shielding envelopes, the shielding effectiveness of mesh wire shielding envelopes to magnetic fields is lower than to electric fields.

In practice, optimal attenuation values can only be obtained if good conduction at all wire joints is provided (welding or soldering). Proper joints are required both at the wire crossings and the edges of the mesh wire fabric.

Mesh wire fabric is seldom used for equipment shielding, but it is used to cover openings (e.g. ventilation). In such cases the influence on shielding effectiveness is minimal, if the covered openings are small as compared with the shield surface. The shielding attenuation may be reduced to values corresponding to those of a mesh wire enclosure if larger openings (about 20 % or more of the shield surface) are involved.

4.3.4 Effects of conductive joints of a shielding envelope

Ideal homogeneous shielding envelopes are very rare in practice. Structural reasons require enclosures to be assembled from several parts such as walls, covers, floor plates, doors, etc.

The shielding attenuation values depend on the magnitude of the eddy current flowing in the walls of the shielding enclosure. This current is a function of the voltage induced by the magnetic disturbing field and of the resistances in the circuit.

The conductive joints of practical shielding envelopes act as additional resistors which are in series with the resistance of the shielding material. These additional resistances reduce the eddy current and consequently the shielding attenuation values as compared to homogeneous shielding envelopes, already at medium frequencies when inductive components become effective at the conductive joints; see curve 2 of Figure 1.