

ICS 33.100.20

Ersatz für  
VG 95376-4 Bbl 1:2007-01Supersedes  
VG 95376-4 Bbl 1:2007-01

Dieses Beiblatt enthält Informationen zu VG 95375-40,  
jedoch keine zusätzlich genormten Festlegungen.  
This supplement provides information relating to  
VG 95375-40, but does not contain any additional  
specifications.

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

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

Compatibilité électromagnétique —  
Principes et mesures pour la développement et la construction de systèmes et  
appareils —  
Partie 40: Blindage; principes pour la détermination de valeurs d'efficacité d'écran;  
Texte en allemand et anglais

Gesamtumfang 45 Seiten  
Total extent 45 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      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Vorwort</b>                                                                                                                                                                                                                                     | <b>4</b>  | <b>Foreword</b>                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>4</b>  |
| <b>1 Schirmdämpfung geschlossener, homogener Schirmhüllen</b>                                                                                                                                                                                      | <b>5</b>  | <b>1 Shielding attenuation of closed homogeneous shielding envelopes</b>                                                                                                                                                                                           | <b>5</b>  |
| <b>1.1 Allgemein gültige Formel zur Berechnung der Schirmdämpfungsmaßes <math>a_{SH}</math></b>                                                                                                                                                    | <b>5</b>  | <b>1.1 General equation for the determination of shielding attenuation <math>a_{SH}</math></b>                                                                                                                                                                     | <b>5</b>  |
| <b>1.2 Vereinfachte Formeln zur Berechnung der Schirmdämpfungsmaßes <math>a_{SH}</math></b>                                                                                                                                                        | <b>13</b> | <b>1.2 Simplified equations for the determination of shielding attenuation <math>a_{SH}</math></b>                                                                                                                                                                 | <b>13</b> |
| <b>2 Kopplungswiderstand geschlossener, homogener Schirmhüllen</b>                                                                                                                                                                                 | <b>18</b> | <b>2 Transfer impedance of closed homogeneous shielding envelopes</b>                                                                                                                                                                                              | <b>18</b> |
| <b>3 Einfluss von leitenden Verbindungen eines Schirmgehäuses auf die Schirmdämpfung</b>                                                                                                                                                           | <b>21</b> | <b>3 Effect of conductive joints of a shielding enclosure on shielding attenuation</b>                                                                                                                                                                             | <b>21</b> |
| <b>4 Einfluss von Öffnungen in einem Schirmgehäuse auf die Schirmdämpfung</b>                                                                                                                                                                      | <b>23</b> | <b>4 Effect of openings in a shielding enclosure on shielding attenuation</b>                                                                                                                                                                                      | <b>23</b> |
| <b>5 Schirmdämpfung von Kaminen</b>                                                                                                                                                                                                                | <b>27</b> | <b>5 Shielding attenuation of waveguides</b>                                                                                                                                                                                                                       | <b>27</b> |
| <b>6 Einfluss von Raumresonanzen auf die Schirmdämpfung</b>                                                                                                                                                                                        | <b>31</b> | <b>6 Effect of enclosure resonances on shielding attenuation</b>                                                                                                                                                                                                   | <b>31</b> |
| <b>7 Schirmdämpfung von Schirmgehäuses aus Maschendraht</b>                                                                                                                                                                                        | <b>33</b> | <b>7 Shielding attenuation of mesh wire shielding enclosures</b>                                                                                                                                                                                                   | <b>33</b> |
| <b>8 Schirmdämpfung von Mehrschichtenschirmen</b>                                                                                                                                                                                                  | <b>37</b> | <b>8 Shielding attenuation of multilayer shields</b>                                                                                                                                                                                                               | <b>37</b> |
| <b>8.1 Allgemeines</b>                                                                                                                                                                                                                             | <b>37</b> | <b>8.1 General</b>                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>37</b> |
| <b>8.2 Formeln zur Berechnung der Schirmdämpfung</b>                                                                                                                                                                                               | <b>37</b> | <b>8.2 Equations for the determination of shielding attenuation</b>                                                                                                                                                                                                | <b>37</b> |
| <b>8.3 Beispiele für die Berechnung von Kugelschirmen</b>                                                                                                                                                                                          | <b>40</b> | <b>8.3 Examples of the calculation for spheric shields</b>                                                                                                                                                                                                         | <b>40</b> |
| <b>Literaturhinweise</b>                                                                                                                                                                                                                           | <b>45</b> | <b>Bibliography</b>                                                                                                                                                                                                                                                | <b>45</b> |
| <b>Bilder</b>                                                                                                                                                                                                                                      |           | <b>Figures</b>                                                                                                                                                                                                                                                     |           |
| <b>Bild 1 — Schirmgehäuse mit eingeschriebenem Zylinder</b>                                                                                                                                                                                        | <b>8</b>  | <b>Figure 1 — Shielding enclosure with cylinder inscribed</b>                                                                                                                                                                                                      | <b>8</b>  |
| <b>Bild 2 — Diagramm zur Ermittlung der Schirmdämpfungswerte <math>a_{SH}</math> von geschlossenen, homogenen, zylindrischen Schirmgehäusen für <math>Y \geq 1</math> (Hilfsgröße <math>Y = f(X)</math> mit dem Parameter <math>a_{SH}</math>)</b> | <b>10</b> | <b>Figure 2 — Diagram for determination of shielding attenuation values <math>a_{SH}</math> of closed, homogeneous, cylindric shielding enclosures for <math>Y \geq 1</math> (auxiliary quantity <math>Y = f(X)</math> with the parameter <math>a_{SH}</math>)</b> | <b>10</b> |

|                                                                                                                                                                                    |    |                                                                                                                                                                                                 |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 3 — Diagramm der Schirmdämpfungswerte $a_{SH}$ von geschlossenen, homogenen, zylindrischen Schirmgehäusen für $Y \leq 1$ (Hilfsgrößen $Y = f(X)$ mit dem Parameter $a_{SH}$ ) | 11 | Figure 3 — Diagram of shielding attenuation values $a_{SH}$ for closed, homogeneous, cylindric shielding enclosures for $Y \leq 1$ (auxiliary quantity $Y = f(X)$ with the parameter $a_{SH}$ ) | 11 |
| Bild 4 — Frequenzlineal Teile 1 und 2 als Hilfsmittel zur Bestimmung von Schirmdämpfungswerten anhand der Diagramme in Bild 2 und Bild 3                                           | 12 | Figure 4 — Frequency slide, parts 1 and 2 used as an aid for the determination of shielding Attenuation values from the diagrams in Figures 2 and 3                                             | 12 |
| Bild 5 — Verlauf des Kopplungswiderstandes $R_k$ im Verhältnis zum Gleichstromwiderstand $R_0$ als Funktion von $d/\delta$ für eine geschlossene, homogene Schirmhülle             | 19 | Figure 5 — Diagram of transfer impedance $R_k$ relative to direct current resistance $R_0$ as a function of $d/\delta$ for a closed homogenous shielding envelope                               | 19 |
| Bild 6 — Homogenes Schirmgehäuse in einem Magnetfeld                                                                                                                               | 20 | Figure 6 — Homogeneous shielding enclosure exposed to a magnetic field                                                                                                                          | 20 |
| Bild 7 — Schirmgehäuse mit leitenden Verbindungen bei unterschiedlicher Orientierung des Magnetfeldes                                                                              | 23 | Figure 7 — Shielding enclosure with conductive joints exposed to magnetic fields from different directions                                                                                      | 23 |
| Bild 8 — Schirmdämpfungsmaß $a_{SHp}$ bei Felddurchgriff durch Öffnungen im Schirmgehäuse als Funktion von $r/r_0$                                                                 | 24 | Figure 8 — Shielding attenuation $a_{SHp}$ for field penetration through openings in a shielding envelope as a function of $r/r_0$                                                              | 24 |
| Bild 9 — Felddurchgriff durch eine Gehäuseöffnung für ein äußeres elektrisches Feld (schematische Darstellung)                                                                     | 25 | Figure 9 — Field penetration through an enclosure opening in case of an external electric field (schematic representation)                                                                      | 25 |
| Bild 10 — Felddurchgriff durch eine Gehäuseöffnung für ein äußeres magnetisches Feld (schematische Darstellung)                                                                    | 26 | Figure 10 — Field penetration through an enclosure opening in case of an external magnetic field (schematic representation)                                                                     | 26 |
| Bild 11 — Relative Abnahme der Hohlleiterdämpfung von Kaminen in der Nähe der Grenzfrequenz $f_g$                                                                                  | 30 | Figure 11 — Relative decrease of waveguide attenuation near cut-off frequency $f_g$                                                                                                             | 30 |
| Bild 12 — Grenzwertfrequenz $f_g$ von Kaminen als Funktion der Kaminmaße                                                                                                           | 30 | Figure 12 — Cut-off frequency $f_g$ of waveguides as a function of waveguide dimensions                                                                                                         | 30 |
| Bild 13 — Schirmgehäuse mit den Kantenlängen $a, b, c$                                                                                                                             | 31 | Figure 13 — Shielding envelope with edge lengths $a, b, c$                                                                                                                                      | 31 |
| Bild 14 — Diagramm zur Bestimmung der niedrigsten Resonanzfrequenz $f_R$ eines Schirmgehäuses                                                                                      | 32 | Figure 14 — Diagram for determining the lowest resonant frequency $f_R$ of a shielding enclosure                                                                                                | 32 |
| Bild 15 — Schirmgehäuse aus Maschendraht                                                                                                                                           | 33 | Figure 15 — Mesh wire shielding enclosure                                                                                                                                                       | 33 |
| Bild 16 — Schirmdämpfungsmaß $a_{SH}$ von Schirmgehäusen aus Maschendraht als Funktion von $X = r/\delta$                                                                          | 35 | Figure 16 — Shielding attenuation $a_{SH}$ of mesh wire shielding enclosures as a function of $X = r/\delta$                                                                                    | 35 |
| Bild 17 — Schirmdämpfungsmaß $a_{SH}$ von Schirmgehäusen aus Maschendraht als Funktion von $X = r/\delta$                                                                          | 36 | Figure 17 — Shielding attenuation $a_{SH}$ of mesh wire shielding enclosures as a function of $X = r/\delta$                                                                                    | 36 |
| Bild 18 — Schirmdämpfungsmaß $a_{SH}$ von Schirmgehäusen aus Maschendraht als Funktion von $X = r/\delta$                                                                          | 36 | Figure 18 — Shielding attenuation $a_{SH}$ of mesh wire shielding enclosures as a function of $X = r/\delta$                                                                                    | 36 |

|                                                                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Bild 19 — Zylinderschirm aus zwei nicht voneinander isolierten Metallschichten (Zweifachschirm)</b>                           | <b>37</b> |
| <b>Bild 20 — Zylinderschirm aus drei Schichten</b>                                                                               | <b>39</b> |
| <b>Bild 21 — Schirmdämpfung <math>a_{SH}</math> eines zweischichtigen Kugelschirmes als Funktion der Frequenz <math>f</math></b> | <b>42</b> |
| <b>Bild 22 — Schirmdämpfung <math>a_{SH}</math> eines zweischichtigen Kugelschirmes als Funktion der Frequenz <math>f</math></b> | <b>43</b> |
| <b>Bild 23 — Schirmdämpfung <math>a_{SH}</math> eines dreischichtigen Kugelschirmes als Funktion der Frequenz <math>f</math></b> | <b>44</b> |

## Tabellen

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabelle 1 — Schirmdämpfungswerte für das Schirmgehäuse nach Bild 1</b>                                 | <b>9</b>  |
| <b>Tabelle 2 — Eigenschaften einiger Werkstoffe</b>                                                       | <b>16</b> |
| <b>Tabelle 3 — Kopplungswiderstand in Abhängigkeit von der Frequenz für das Schirmgehäuse nach Bild 6</b> | <b>21</b> |

## Vorwort

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

Eine Übersicht über weitere Normen der Reihe VG 95375 und über die VG-Normen für EMV und zum Schutz gegen den NEMP und Blitz ist in VG 95372 enthalten.

Das vorliegende Beiblatt behandelt die Grundlagen zur Ermittlung von Schirmdämpfungswerten.

|                                                                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figure 19 — Cylindric shield consisting of two non-insulated metal layers (two layer shield)</b>                                    | <b>37</b> |
| <b>Figure 20 — Cylindric shield consisting of three layers</b>                                                                         | <b>39</b> |
| <b>Figure 21 — Shielding attenuation <math>a_{SH}</math> of a two-layer spheric shield as a function of frequency <math>f</math></b>   | <b>42</b> |
| <b>Figure 22 — Shielding attenuation <math>a_{SH}</math> of a two-layer spheric shield as a function of frequency <math>f</math></b>   | <b>43</b> |
| <b>Figure 23 — Shielding attenuation <math>a_{SH}</math> of a three-layer spheric shield as a function of frequency <math>f</math></b> | <b>44</b> |

## Tables

|                                                                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Table 1 — Shielding attenuation values for the shielding envelope according to Figure 1</b>                        | <b>9</b>  |
| <b>Table 2 — Properties of selected materials</b>                                                                     | <b>16</b> |
| <b>Table 3 — Transfer impedance values of the shielding envelope according to Figure 6 as a function of frequency</b> | <b>21</b> |

## Foreword

This supplement was prepared by the Normenstelle Elektrotechnik (NE) im DIN, committee NA 140-00-20 AA, Electromagnetic compatibility.

A survey of further standards of the series VG 95375 and of the VG-standards for EMC and NEMP/lightning protection is included in VG 95372.

The presented supplement addresses the basics for evaluating shielding attenuation values.

**Änderungen**

Gegenüber VG 95376-4 Bbl 1:2007-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Beiblatt der überarbeiteten Schirmungsnorm VG 95375-40 zugeordnet;
- b) Beiblatt redaktionell überarbeitet.

**Frühere Ausgaben**

VG 95376-4 Bbl 1: 1985-10, 2007-01

**Amendments**

Compared with VG 95376-4 supplement 1:2007-01 the following amendments have been adopted:

- a) supplement allocated to the revised shielding standard VG 95375-40;
- b) supplement revised editorially.

**Superseded editions**

## 1 Schirmdämpfung geschlossener, homogener Schirmhüllen

### 1.1 Allgemeingültige Formel zur Berechnung des Schirmdämpfungsmaßes $a_{SH}$

Grundlage für die Berechnung der Schirmdämpfungsmaßes einer geschlossenen, metallischen Schirmhülle bilden die Maxwell'schen Gleichungen für die Ausbreitung elektromagnetischer Felder. In der Literatur sind Lösungen dieser Gleichungen für folgende Schirmhüllen, die aufgrund ihrer Geometrie mathematisch einfach zu behandeln sind, angegeben:

- Schirm als Hohlzylinder;
- Schirm als Hohlkugel.

Das Schirmdämpfungsmaß  $a_{SH}$  wird in Abhängigkeit von Werkstoff und Formgebung berechnet.

Unter der Voraussetzung, dass die Wanddicke  $d$  des betrachteten Zylinders (der betrachteten Kugel) sehr viel kleiner als sein/ihr innerer Radius  $R$  ist, kann das Schirmdämpfungsmaß  $a_{SH}$  nach Gleichung 1 berechnet werden.

Die mit Gleichung 1 ermittelten Schirmdämpfungswerte gelten nur für geschlossene, homogene Schirmhüllen. Bei technischen Schirmgehäusen sind zusätzlich die Einflüsse von Nahtverbindungen und Öffnungen zu berücksichtigen.

## 1 Shielding attenuation of closed homogeneous shielding envelopes

### 1.1 General equation for the determination of shielding attenuation $a_{SH}$

Maxwell's differential equations for the propagation of electromagnetic fields are the basis for determining the shielding attenuation of a closed metallic shielding envelope. Pertinent technical literature gives solutions of these equations for the following shielding envelopes which, due to their geometric shape, permit a simple mathematical approach:

- hollow cylinder shield;
- hollow sphere shield.

The shielding attenuation  $a_{SH}$  is calculated as a function of material and shape parameters.

Provided that the wall thickness  $d$  of the cylinder (sphere) considered is much smaller than its inner radius  $R$  the shielding attenuation  $a_{SH}$  can be calculated according to Equation 1.

The shielding attenuation values determined according to Equation 1 apply to closed homogeneous shielding envelopes only. In case of practical shielding enclosures the effects of joints and openings shall also be considered.

$$a_{SH} = 10 \times \left[ \left( \frac{X \times Y}{3-m} \right)^2 \times (\cosh 2X - \cos 2X) + \frac{X \times Y}{3-m} (\sinh 2X - \sin 2X) + \frac{1}{2} (\cosh 2X + \cos 2X) \right. \\ \left. + \left( \frac{1}{(3+m) \times X \times Y} \right)^2 \times (\cosh 2X - \cos 2X) + \frac{1}{(3+m) \times X \times Y} \times (\sinh 2X - \sin 2X) \right] \quad (1)$$

dabei ist

$a_{SH}$  Schirmdämpfungsmaß in dB

where

$a_{SH}$  shielding attenuation in dB

$$Y = \frac{R}{d \times \mu_r} \quad (2)$$

$$X = \frac{d}{\delta} = d \times \sqrt{\frac{\omega \mu \kappa}{2}} \quad (3)$$

$R$  innerer Radius des Zylinders bzw. der Kugel;

$d$  Wanddicke des Zylinders bzw. der Kugel;

$\delta$  äquivalente Leitschichtdicke;

$\omega$  Kreisfrequenz;

$\mu = \mu_0 \times \mu_r$  Permeabilität des Werkstoffes;

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  Vs/Am Permeabilitätskonstante;

$\mu_r$  relative Permeabilität des Werkstoffes;

$\kappa$  elektrische Leitfähigkeit des Werkstoffes;

$m$  Formfaktor, für einen Zylinder ist  $m = 1$  und für eine Kugel  $m = 2$ .

$R$  inner radius of cylinder or sphere;

$d$  wall thickness of cylinder or sphere;

$\delta$  equivalent conducting layer thickness;

$\omega$  angular frequency;

$\mu = \mu_0 \times \mu_r$  permeability of material;

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  Vs/Am induction constant;

$\mu_r$  relative permeability of material;

$\kappa$  electric conductivity of material;

$m$  shape factor, for a cylinder is  $m = 1$  and for a sphere  $m = 2$ .

Die ersten drei Terme in Gleichung 1 sind bestimmend für die Schirmdämpfung bei Verwendung von amagnetischen Werkstoffen ( $\mu_r = 1$ ), die beiden letzten Terme sind maßgebend bei Werkstoffen mit hoher Permeabilität, also für den Bereich der magnetostatischen Schirmwirkung. Bei Verwendung von ferromagnetischem Werkstoff weist nach Gleichung 1 die Kugel eine um maximal 2 dB höhere Schirmdämpfung als der Zylinder mit gleichem Radius auf. Bei Verwendung von amagnetischem Werkstoff ist die Schirmdämpfung der Kugel um maximal 3,5 dB geringer als die des Zylinders. Im Rahmen der Genauigkeit, mit der die Schirmdämpfung von technischen Schirmgehäusen berechnet werden kann, sind diese Abweichungen unbedeutend. Man kann also folgenden Schluss ziehen:

- Bezüglich der Formgebung werden Schirmdämpfungswerte von praktisch ausgeführten, geschlossenen Schirmgehäusen nur unwesentlich von den Werten abweichen, die mit Hilfe von idealisierten Schirmhüllen bestimmt werden.
- Die graphische Darstellung der Gleichung 1 in Hinblick auf eine rasche Ermittlung von Schirmdämpfungswerten ist daher nur für eine der beiden idealisierten Schirmhüllen erforderlich.

If nonmagnetic materials ( $\mu_r = 1$ ) are used the first three terms of Equation 1 are decisive for shielding attenuation, and for materials with high permeability, that is for magnetostatic shieldings, the two last terms are determinant. If ferromagnetic materials are used, the equation 1 shows that the shielding attenuation of the sphere is max. 2 dB higher than that of a cylinder of the same radius. If nonmagnetic materials are used the shielding attenuation of the sphere is max. 3,5 dB lower than that of the cylinder. Considering the calculation accuracy for the shielding attenuation of practical shielding enclosures, these deviations are insignificant. Thus, the following conclusion can be drawn:

- Concerning shape, the shielding attenuation values of practical closed shielding enclosures will deviate only insignificantly from those determined on the basis of ideal shielding envelopes.
- Therefore, a graphical representation of Equation 1 for quickly determining shielding attenuation values is required for only one of the two ideal shielding envelopes.

Praktisch ausgeführte Schirmgehäuse weichen im Regelfall von der Kugel- oder Zylinderform ab. Für ein Schirmgehäuse mit annähernd gleichen Maßen in den drei Dimensionen (Würfel) ist dazu die Kugel ein brauchbarer Ersatz. Für die große Zahl von Schirmgehäusen mit größeren Maßen in einer Dimension (längliche Formgebung) stellt der Zylinder einen brauchbaren Ersatz dar. Im Allgemeinen wird der idealisierte Schirm in die Maße des praktischen Schirmes einbeschrieben, so dass die Maße des idealisierten Schirmes die des praktischen Schirmes nicht übersteigen (siehe Bild 1).

Bei sehr schmalen, rechteckigen Schirmgehäusen (z.B. Baugruppen-Schirm) sind die Volumina des idealisierten und des praktischen Schirmes sehr unterschiedlich; für diesen Extremfall ist die Schirmdämpfung des idealisierten Zylinderschirmes jedoch nur 6 dB höher als die des praktischen Schirmes.

Um eine rasche Ermittlung der Schirmdämpfungsmaße  $a_{SH}$  bei vorgegebenen Schirmmaßen und -werkstoffen zu ermöglichen, wurde Gleichung 1 numerisch ausgewertet. Die in den Bildern 2 und 3 dargestellten Diagramme in der Form  $Y = f(X)$  mit dem Parameter  $a_{SH}$  gelten für den idealisierten Zylinderschirm. Für Schirme aus amagnetischen Werkstoffen liegen die Werte von  $Y$  allgemein zwischen 10 und 1000 (siehe Bild 2), bei ferromagnetischen Werkstoffen etwa zwischen 1 und 0,001 (siehe Bild 3). Die Größe  $X$  ist auf der Abszisse im Bereich 0,1 bis 10 aufgetragen. Der Zusammenhang zwischen  $X$  und der interessierenden Frequenz  $f$  ist gegeben durch die Gleichung 3, die auch als zugeschnittene Größengleichung geschrieben werden kann in der Form:

$$X = \sqrt{\frac{f}{\text{kHz}}} \times 0,474 \frac{d}{\text{mm}} \times \sqrt{\mu_r \times \kappa_r} \quad (4)$$

dabei ist

$\kappa_r$  relative Leitfähigkeit des Materials  
bezogen auf Kupfer,  $\kappa_r = \frac{\kappa}{\kappa_{Cu}}$  mit  
 $\kappa_{Cu} = 57 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$

Für die Anwendung der Diagramme wird das in Bild 4 dargestellte Frequenzlineal definiert an die Abszisse angelegt, nachdem der Zusammenhang zwischen  $X$  und  $f$  für einen Punkt berechnet wurde. Definiert man für diese Berechnung eine Frequenz  $f_1$ , für die der Ausdruck  $X = 1$  wird, so ergibt sich mit Gleichung 4:

In most cases, the practical shielding enclosure deviates from the spherical or cylindric shape. A shielding enclosure with approximately equal dimensions along the three axes (cube) can effectively be substituted by a sphere. The cylinder is a useful substitute for the large number of shielding enclosures having larger dimensions along one axis (oblong shape). Generally, the ideal shield is inscribed in the dimensions of the practical shield so that the dimensions of the ideal do not exceed those of the practical shield; see Figure 1.

For very small rectangular shielding enclosures (e.g. assembly or module shields) the volumes of the ideal and the practical shields are very different; in this extreme case the shielding attenuation of the ideal cylindric shield is only 6 dB higher than that of the practical shield.

Numeric values have been calculated from Equation 1 and evaluated to permit a quick determination of the shielding attenuation  $a_{SH}$  for given shielding dimensions and materials. The diagrams of Figures 2 and 3 which are derived from the auxiliary quantity  $Y = f(X)$  with parameter  $a_{SH}$  are applicable to the ideal cylindric shield. Generally, shieldings made of nonmagnetic materials have  $Y$  values between 10 and 1000 (see Figure 2) and those made of ferromagnetic materials between 1 and 0,001; see Figure 3. The quantity  $X$  is plotted along the abscissa in the range between 0,1 to 10. The relation between  $X$  and the frequency of interest  $f$  is given by Equation 3 which can be rewritten to obtain an adapted dimensional equation:

where

$\kappa_r$  relative conductive of material referenced  
to copper  $\kappa_r = \frac{\kappa}{\kappa_{Cu}}$  with  $\kappa_{Cu} = 57 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$

To use the diagram, the frequency slide of Figure 4 is set in a defined manner to the abscissa after having determined the relation between  $X$  and  $f$  for one single point. If a frequency  $f_1$  is defined in this calculation to which the term  $X = 1$  applies, the following result will be obtained from Equation 4:

$$X = \sqrt{\frac{f_1}{\text{kHz}}} \times 0,474 \times \frac{d}{\text{mm}} \sqrt{\mu_r \times \kappa_r} = 1 \quad (5)$$

$$\frac{f_1}{\text{kHz}} = \frac{k_1}{\left(\frac{d}{\text{mm}}\right)^2} \quad \text{mit} \quad k_1 = \frac{1}{0,474^2 \times \mu_r \times \kappa_r} = \frac{4,444}{\mu_r \times \kappa_r} \quad (6)$$

Der Faktor  $k_1$  wird nur von den Eigenschaften des Schirmwerkstoffes bestimmt, er ist in der Tabelle 1 für verschiedene Werkstoffe angegeben.

Nach der Berechnung von  $f_1$  bei einer vorgegebenen Wanddicke  $d$  der Schirmhülle wird das Frequenzlineal so an die Diagrammabszisse gelegt, dass der Wert von  $f_1$  mit dem Wert  $X = 1$  übereinstimmt. Weiterhin ist das Frequenzlineal in Richtung der Ordinate bis zu dem Wert  $Y$  zu verschieben, der mit Hilfe der Gleichung 2 aus Schirmmaßen ( $R$ ,  $d$ ) und den Werkstoffeigenschaften ( $\mu_r$ ) berechnet wird. In dieser Stellung des Frequenzlineals ( $f_1$  bei  $X = 1$  in der Abszisse, in der Ordinate auf dem Wert  $Y$ ) können die Schirmdämpfungsmaße bei den verschiedenen Frequenzen direkt abgelesen werden.

#### Beispiel für die Ermittlung von Schirmdämpfungs- werten mit Hilfe der Bilder 2 bis 4:

Es sind die Schirmdämpfungsmaße für ein geschlossenes, kastenförmiges Schirmgehäuse aus Kupferblech zu bestimmen (siehe Bild 1).

Maße: 100 mm x 150 mm x 300 mm,  
Wanddicke  $d = 2$  mm

Werkstoffeigenschaften:  $\mu_r$  (Kupfer) = 1  
 $\kappa_r$  (Kupfer) = 1  
 $k_1 = 4,444$  (nach Tabelle 1)

Maße in Millimeter

The factor  $k_1$  only depends on the properties of the shielding material; the factors for different materials are given in Table 1.

Having determined  $f_1$  for a given wall thickness  $d$  of the shielding envelope, the frequency slide is set to the diagram abscissa so that the value of  $f_1$  equals that of  $X = 1$ . Then the frequency slide has to be shifted along the ordinate to the value  $Y$  which is determined from shielding dimensions ( $R$ ,  $d$ ) and material properties ( $\mu_r$ ) using Equation 2. In this position of the frequency slide (set to  $f_1$  at  $X = 1$  along the abscissa and to  $Y$  along the ordinate) the shielding attenuation values for the various frequencies can be read directly.

#### Typical example for the determination of shielding attenuation values according to Figures 2 to 4:

The shielding attenuation values for a closed box-type shielding enclosure made of sheet copper (refer to Figure 1) shall be determined:

Dimensions: 100 mm x 150 mm x 300 mm,  
wall thickness  $d = 2$  mm

Material properties:  $\mu_r$  (copper) = 1  
 $\kappa_r$  (copper) = 1  
 $k_1 = 4,444$  (according to Table 1)

Dimensions in millimetres

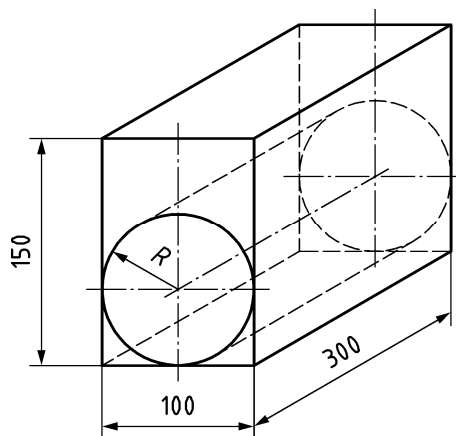


**Bild 1 — Schirmgehäuse mit einbeschriebenem Zylinder**  
**Figure 1 — Shielding enclosure with cylinder inscribed**

Berechnung von  $Y$ :

In Bild 1 ist der Zylinder mit dem Radius  $R$  so in das Schirmgehäuse einbeschrieben, dass er dessen Maße nicht übersteigt. Der Zylinderradius der idealisierten Schirmhülle beträgt:

$$R = \frac{100 \text{ mm}}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{R}{d \times \mu_r} = \frac{50 \text{ mm}}{2 \text{ mm} \times 1} = 25$$

Berechnung von  $f_1$ :

$$\frac{f_1}{\text{kHz}} = \frac{k_1}{\left(\frac{d}{\text{mm}}\right)^2} = \frac{4,444}{4} = 1,111$$

## Ablesen der Schirmdämpfungsmaße:

Bei  $Y = 25$  wird das Diagramm in Bild 2 in Verbindung mit dem Frequenzlineal Teil 1 in Bild 4 benutzt. Das Lineal wird in Höhe des Wertes  $Y = 25$  so auf das Diagramm gelegt, dass  $f_1 = 1,11 \text{ kHz}$  auf dem Frequenzlineal mit dem Wert  $X = 1$  in Bild 2 zur Deckung kommt. In dieser Stellung können die folgenden Schirmdämpfungswerte für verschiedene Frequenzen abgelesen werden:

Determination of  $Y$ :

Figure 1 shows the cylinder with radius  $R$  inscribed in the shielding enclosure so that it does not exceed the dimensions of the enclosure. The cylinder radius of the ideal shielding envelope is:

$$R = \frac{100 \text{ mm}}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{R}{d \times \mu_r} = \frac{50 \text{ mm}}{2 \text{ mm} \times 1} = 25$$

Determination of  $f_1$ :

$$\frac{f_1}{\text{kHz}} = \frac{k_1}{\left(\frac{d}{\text{mm}}\right)^2} = \frac{4,444}{4} = 1,111$$

## Reading shielding attenuation values:

For  $Y = 25$  the diagram of Figure 2 is used together with the frequency slide, part 1 of Figure 4. The slide is set to the diagram at  $Y = 25$  so that  $f_1 = 1,11 \text{ kHz}$  on the frequency slide coincides with the value  $X = 1$  of Figure 2. In this position the following shielding attenuation values can be read for various frequencies:

**Tabelle 1 — Schirmdämpfungswerte für das Schirmgehäuse nach Bild 1**  
**Table 1 — Shielding attenuation values for the shielding envelope according to Figure 1**

|                | Frequenz $f$<br>Frequency $f$ |    |    |     |     |     |     |     |    |    |     |
|----------------|-------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|
|                | Hz                            |    |    |     |     | kHz |     |     |    |    |     |
|                | 20                            | 30 | 62 | 130 | 450 | 1,4 | 3,6 | 7,5 | 14 | 23 | 60  |
| $a_{SH}$<br>dB | 1                             | 2  | 5  | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60 | 70 | 100 |

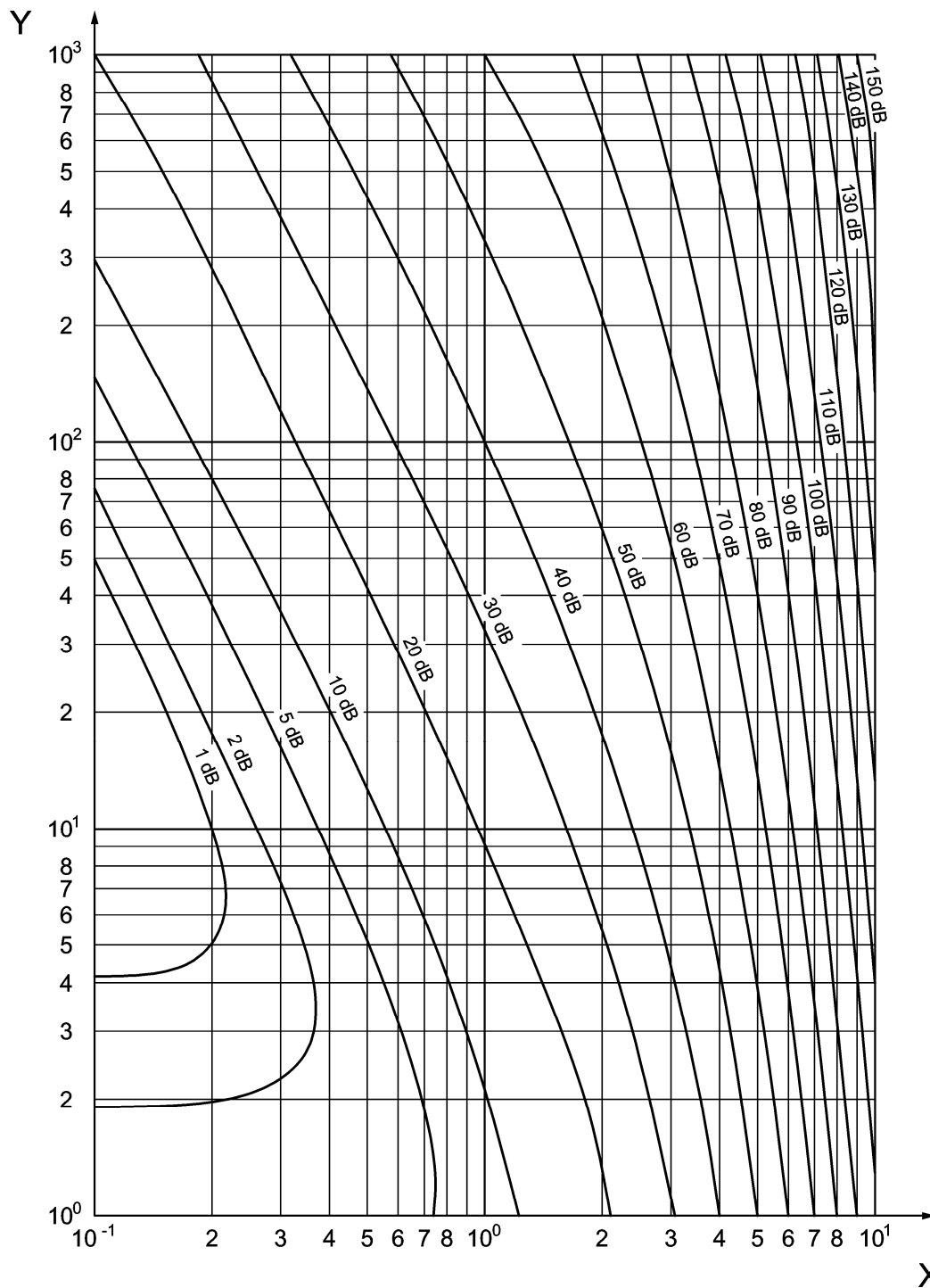


**Bild 2 — Diagramm zur Ermittlung der Schirmdämpfungswerte  $a_{SH}$  von geschlossenen, homogenen, zylindrischen Schirmgehäusen für  $Y \geq 1$  (Hilfsgröße  $Y = f(X)$  mit dem Parameter  $a_{SH}$ )**

**Figure 2 — Diagram for determination of shielding attenuation values  $a_{SH}$  of closed, homogeneous, cylindric shielding enclosures for  $Y \geq 1$  (auxiliary quantity  $Y = f(X)$  with the parameter  $a_{SH}$ )**

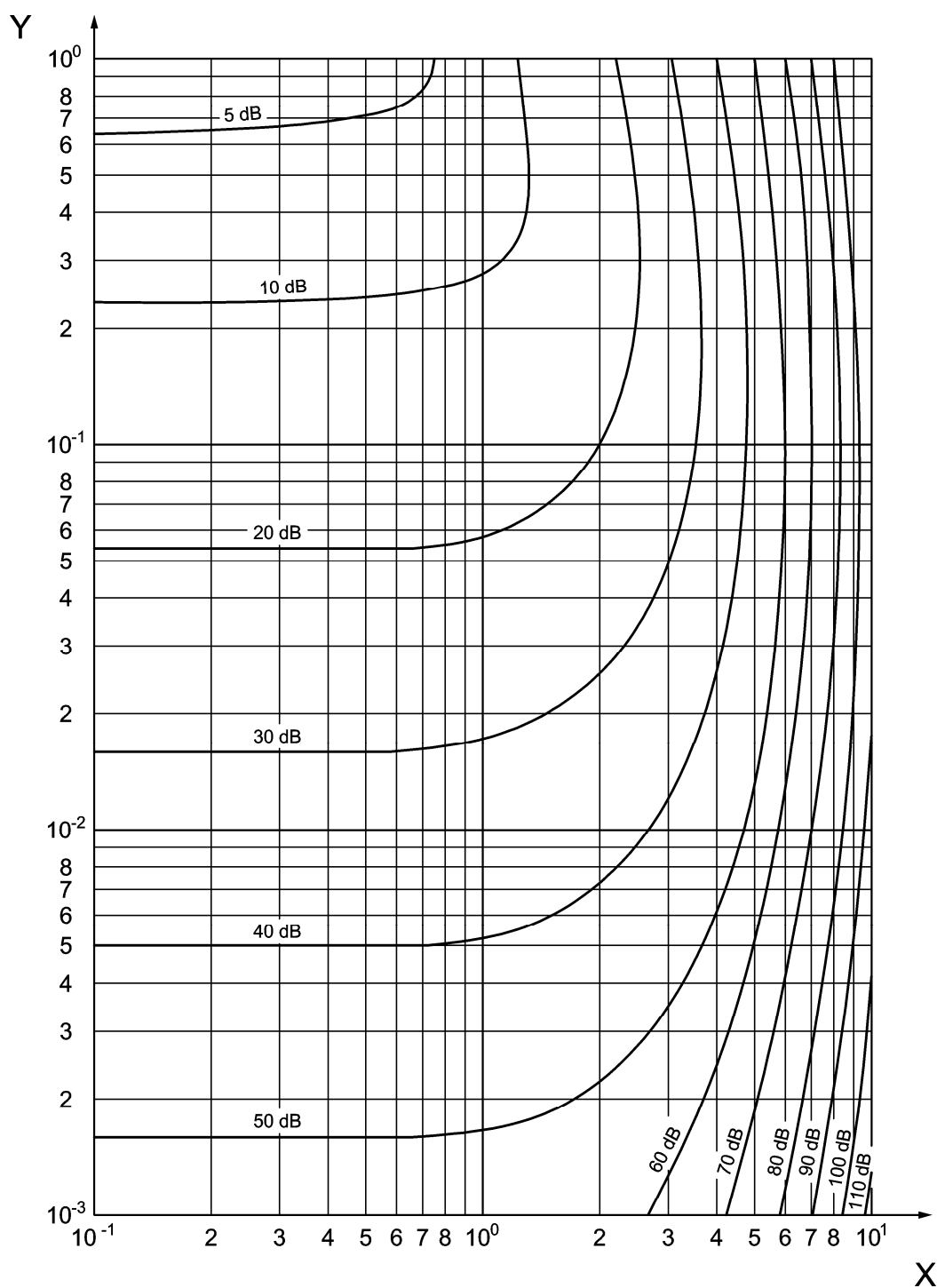
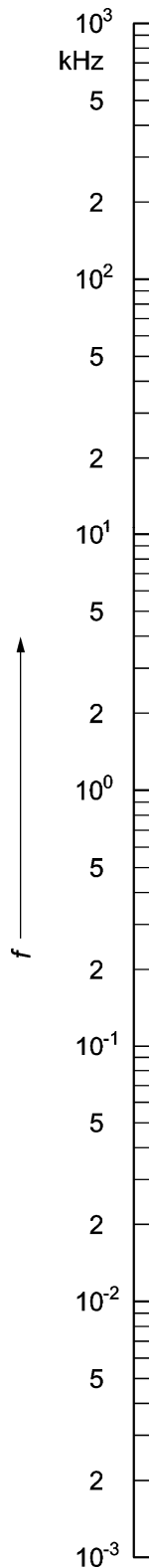


**Bild 3 — Diagramm der Schirmdämpfungswerte  $a_{SH}$  von geschlossenen, homogenen, zylindrischen Schirmgehäusen für  $Y \leq 1$  (Hilfsgrößen  $Y = f(X)$  mit dem Parameter  $a_{SH}$ )**

**Figure 3 — Diagram of shielding attenuation values  $a_{SH}$  for closed, homogeneous, cylindric shielding enclosures for  $Y \leq 1$  (auxiliary quantity  $Y = f(X)$  with the parameter  $a_{SH}$ )**

Frequenzlineal Teil 1  
Frequency slide, part 1



Frequenzlineal Teil 2  
Frequency slide, part 2

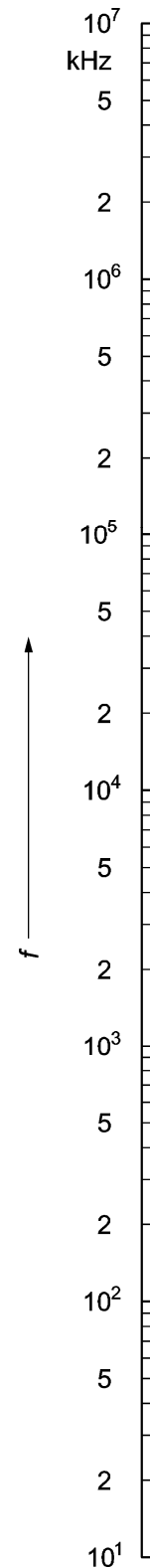


**Bild 4 — Frequenzlineal Teile 1 und 2 als Hilfsmittel zur Bestimmung von Schirmdämpfungswerten  
anhand der Diagramme in Bild 2 und Bild 3**

**Figure 4 — Frequency slide, parts 1 and 2 used as an aid for the determination of shielding  
attenuation values from the diagrams in Figures 2 and 3**

## 1.2 Vereinfachte Formeln zur Berechnung des Schirmdämpfungsmaßes $a_{SH}$

### 1.2.1 Allgemeines

Stark vereinfachte Formeln mit eingeschränktem Anwendungsbereich haben den Vorteil, dass der Zusammenhang zwischen den maßgebenden Größen und der Schirmdämpfung leicht erkennbar ist. Außerdem sind in manchen Fällen Ergebnisse schneller zu erzielen. Im Folgenden werden daher in Ergänzung zu Gleichung 1 einige vereinfachte Gleichungen angegeben. Weitere Gleichungen zur Berechnung einfacher Anordnungen sind in VG 95374-4 Bbl 1 enthalten.

### 1.2.2 Zylinder- oder Kugelschirm aus nicht-magnetischem Werkstoff, Wanddicke $d$ kleiner als äquivalente Leitschichtdicke $\delta$ (trifft meist bei tiefen Frequenzen zu)

$$a_{SH} = 10 \times \lg \left[ 1 + \left( \frac{2 \times R \times d}{m \times \delta^2} \right)^2 \right] \quad (7)$$

dabei ist

$a_{SH}$  Schirmdämpfungsmaß in dB;  
 $R$  Radius des Zylinders bzw. der Kugel;  
 $d$  Wanddicke;  
 $m = 2$  für Zylinderschirme bzw.  
 $m = 3$  für Kugelschirme;  
 $\delta$  äquivalenten Leitschichtdicke,  

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \times \mu \times \kappa}}$$

Als zugeschnittene Größengleichung für  $\delta$  gilt:

$$\frac{\delta}{\text{mm}} = 66,67 \times \sqrt{\frac{1}{f/\text{Hz} \times \mu_r \times \kappa_r}} \quad (8)$$

## 1.2 Simplified equations for the determination of shielding attenuation $a_{SH}$

### 1.2.1 General

Very simplified equations with a limited range of application offer the advantage of easy recognition of the relation between the essential quantities and the shielding attenuation. Besides, results will be obtained much faster in some cases. Supplementary to Equation 1 some simplified equations are given in the following. Further equations for calculating the shielding attenuation of simple arrangements are included in VG 95374-4 Supplement 1.

### 1.2.2 Cylindric and spheric shields of nonmagnetic material and for $d < \delta$ (mostly applies to lower frequencies)

where

$a_{SH}$  shielding attenuation in dB;  
 $R$  Radius of cylinder or sphere;  
 $d$  wall thickness;  
 $m = 2$  for cylindric shields;  
 $m = 3$  for spheric shields;  
 $\delta$  equivalent conducting layer thickness,  

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \times \mu \times \kappa}}$$

The equation for  $\delta$  can be rewritten to obtain an adapted dimensional equation:

**1.2.3 Zylinder- oder Kugelschirm aus nicht-magnetischem Werkstoff, Wanddicke  $d$  größer als äquivalente Leitschichtdicke  $\delta$  (trifft meist bei höheren Frequenzen zu)**

**1.2.3 Cylindric and spheric shields of nonmagnetic material and for  $d > \delta$  (mostly applies to higher frequencies)**

$$a_{SH} = 8,686 \frac{d}{\delta} + 20 \times \lg \left[ \frac{R}{m \times \sqrt{2} \times \delta} \right] \quad (9)$$

dabei ist

$a_{SH}$  Schirmdämpfungsmaß in dB;  
 $R$  Radius des Zylinders bzw. der Kugel;  
 $d$  Wanddicke;  
 $m = 2$  für Zylinderschirme;  
 $m = 3$  für Kugelschirme;  
 $\delta$  äquivalenten Leitschichtdicke,  

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \times \mu \times \kappa}}.$$

where

$a_{SH}$  shielding attenuation in dB;  
 $R$  Radius of cylinder or sphere;  
 $d$  wall thickness;  
 $m = 2$  for cylindric shields;  
 $m = 3$  for spheric shields;  
 $\delta$  equivalent conducting layer thickness,  

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \times \mu \times \kappa}}.$$

**1.2.4 Magnetostatische Schirmdämpfung ( $f \approx 0$  Hz) eines dickwandigen Kugelschirmes,  $\mu_r \gg 1$**

**1.2.4 Magnetostatic shielding attenuation ( $f \approx 0$  Hz) of a thick-walled spheric shield,  $\mu_r \gg 1$**

$$a_{SH} = 20 \times \lg \left[ \frac{2}{9} \times \mu_r \times \left( 1 - \frac{R_i^3}{R_a^3} \right) + 1 \right] \quad (10)$$

dabei ist

$a_{SH}$  Schirmdämpfungsmaß in dB;  
 $R_i$  Innenradius des Kugelschirmes;  
 $R_a$  Außenradius des Kugelschirmes.

where

$a_{SH}$  shielding attenuation in dB;  
 $R_i$  inside radius of spheric shield;  
 $R_a$  outside radius of spheric shield.

**1.2.5 Magnetostatische Schirmdämpfung ( $f \approx 0$  Hz) eines dünnwandigen Kugelschirmes**

**1.2.5 Magnetostatic shielding attenuation ( $f \approx 0$  Hz) of a thin-walled spheric shield**

$$a_{SH} = 20 \times \lg \left[ \frac{2 \times \mu_r \times d}{3 \times R_i} + 1 \right] \quad (11)$$

dabei ist

$a_{SH}$  Schirmdämpfungsmaß in dB;  
 $R_i$  Innenradius des Kugelschirmes;  
 $d$  Wanddicke.

where

$a_{SH}$  shielding attenuation in dB;  
 $R_i$  inside radius of spheric shield;  
 $d$  wall thickness.