

# Schirmdämpfung verstehen und optimieren

## Planung der thermischen wie EMV-gerechten Auslegung von Gehäusen

**I**m Rahmen jeder Anlagen- und Geräteplanung sind verschiedene Störschutzmaßnahmen genau aufeinander abzustimmen, um die EMV-Ziele zu erreichen. Eine besondere Herausforderung besteht darin, eine optimale Entwärmung der elektronischen Komponenten zu erreichen und gleichzeitig ein vorgegebenes Mindestmaß an elektromagnetischer Schirmdämpfung sicher zu stellen. Dieser Beitrag verrät, worauf dabei zu achten ist.

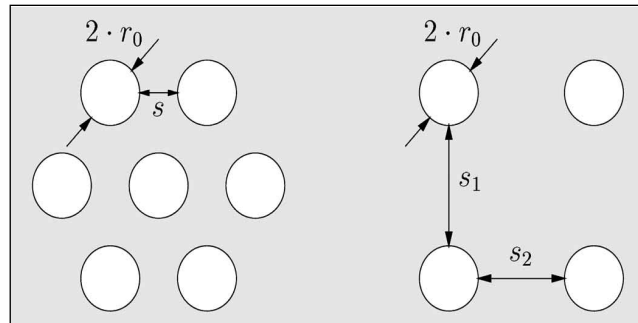


Abb. 1:  
Übliche Lochkonfigurationen zur Belüftung von Gehäusen [2]

Trotz aller Bestrebungen, die EMV bereits vollständig auf der Ebene von Leiterplatten und Komponenten zu gewährleisten, spielt die elektromagnetische Schirmdämpfung unverändert eine entscheidende Rolle. Sie kann durch eine geeignete Auslegung des Gehäuses erzielt werden. Zur Bestimmung des Schirm-

dämpfungsmaßes einer Schirmhülle existieren eine Vielzahl genormter Prüfmethode. Als Beispiele seien hier die an Störfestigkeitsprüfungen angelehnte deutsche Norm DIN EN 61000-5-7 und die sich an Störabstrahlungsprüfungen orientierende technische Spezifikation IEC TS 61587-3 genannt [1]. Diese experimentellen Methoden werden durch analytische Verfahren sinnvoll ergänzt, die bereits in der Konzeptionsphase eines neuen Produkts die Abschätzung des erzielbaren Schirmdämpfungsmaßes erlauben.

### Aufgabenstellung

Die Schirmdämpfung eines Gehäuses wird durch eine Vielzahl von Einzelfaktoren festgelegt. Der Grad der elektromagnetischen Entkopplung ist immer begrenzt, sei es durch die Materialauswahl, die Art der Abdichtungen an Schlitzen oder die Charakteristik von Filtern an zugeführten Leitungen. Es ist eine wichtige Aufgabe der EMV zu erkennen, welche Eigenschaft eines Gehäuses das erzielbare Schirmdämpfungsmaß begrenzt. Die Übersicht wird

#### Autoren

Dr.-Ing. SVEN HELMERS ist Entwicklungsingenieur für Schirmdämpfungsanalyse/-messtechnik und EMV-Simulation.

Siemens AG, ICN TQM QE 11;  
Hofmannstr. 51, D-81359 München  
Fon: +49/89/722-46304

E-Mail: sven.helmers@siemens.com

DETLEF HOFFMANN ist Abteilungsleiter Electromagnetic Compatibility, Product Safety.

Siemens AG, ICN TQM QE 1;  
Hofmannstr. 51, D-81359 München  
Fon: +49/89/722-48384

E-Mail: detlef.hoffmann@siemens.com

Tabelle 1: Parameter der Berechnung

Formelzeichen	Beschreibung
$B_M$	optischer Bedeckungsgrad des Lochblechs aus metallisch bedeckter Fläche / Gesamtfläche
$r_0$	Radius eines Einzelochs
$\lambda_0$	Freiraumwellenlänge
$c_0$	Vakuumlichtgeschwindigkeit
$f$	Frequenz
$b$	Dicke des Lochblechs
$\lambda_k$	Grenzwellenlänge der $H_{11}$ -Grundwelle eines zylindrischen Hohlleiters

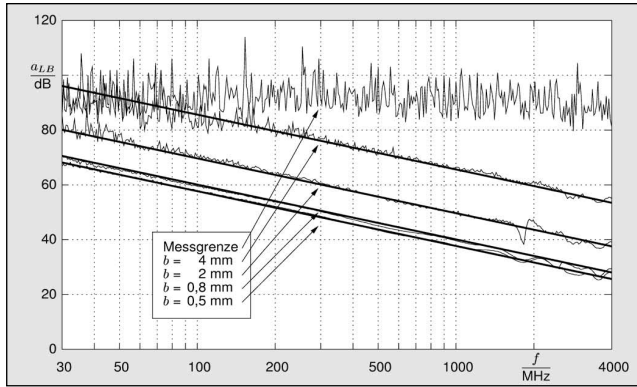


Abb. 2: Berechnung und Messung der Schirmdämpfung im Frequenzbereich von 30 MHz bis 4 GHz für Lochblechproben verschiedener Dicke [2]

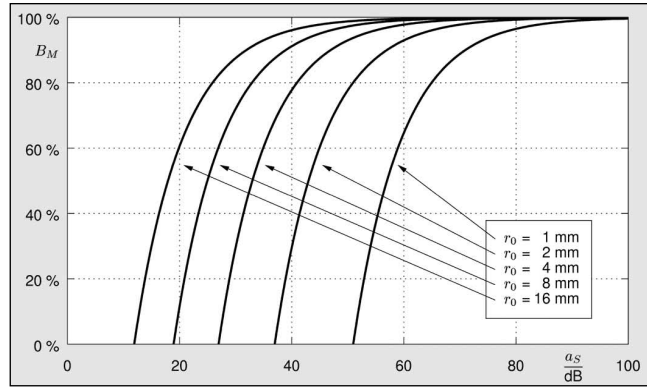


Abb. 3: Berechnete optische Bedeckung  $B_M$  für Mindest-Schirmdämpfung  $a_S$  bei 1 GHz, Blechdicke  $b = 1$  mm [2]

B.03

dadurch erschwert, dass in Abhängigkeit von der Größe des Gehäuses, der Art der vorwiegend vorhandenen Feldkomponenten und dem betrachteten Frequenzbereich unterschiedliche physikalische Wirkmechanismen zum Tragen kommen. Die Erfahrung zeigt, dass gerade bei den technisch besonders bedeutsamen Frequenzen von mehreren hundert Megahertz die oft unvermeidlichen Öffnungen in der Schirmhülle die integrale Schirmwirkung des Gesamtgehäuses limitieren. Darum soll die Analyse des dabei wirksamen Kopplungsmechanismus an dieser Stelle vertieft werden.

### Feldeinkopplung durch Löcher

Unter der Annahme, die Schirmdämpfung des gesamten Gehäuses sei im Wesentlichen von der Ausführung des Lochblechs bestimmt, ist es ausreichend, die Analyse auf die Feldeinkopplung durch das Lochblech hindurch zu beschränken [2]. Das Schirmdämpfungsmaß  $a_{LB}$  eines ideal leitenden, metallischen Schirmblechs mit Löchern setzt sich aus zwei Anteilen zusammen:

- a) der erste Beitrag  $a_{MF}$  wird vom Durchgriff des Magnetfelds durch die Öffnungen des Blechs bestimmt, und
- b) der zweite Beitrag  $a_{HL}$  geht darauf zurück, dass die Löcher auf Grund ihrer endlichen Dicke wie Hohlleiter unterhalb der Grenzfrequenz wirken.

Insgesamt gilt also:

$$a_{LB} / dB = a_{MF} / dB + a_{HL} / dB. \quad (1)$$

An dieser Stelle seien die Ausdrücke zur Berechnung der Anteile  $a_{MF}$  und  $a_{HL}$  ohne Ableitung angegeben [2]:

$$\frac{a_{MF}}{dB} = -20 \cdot \log_{10} \left( \frac{16}{3} \cdot (1 - B_r) \cdot \frac{r_0}{\lambda_0} \right) \approx \lambda_0 = \frac{c_0}{f} \quad (2)$$

$$\frac{a_{HL}}{dB} = 20 \cdot \log_{10} \left( \exp \left( 2\pi \cdot \frac{b}{\lambda_c} \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{\lambda_c}{\lambda_0} \right)^2} \right) \right) \approx \lambda_c \approx 342 r_0 \quad (3)$$

Tabelle 1 zeigt und definiert die Parameter, die in die Berechnung eingehen.

Bemerkenswert ist, dass der Ausdruck für  $a_{MF}$  unabhängig von der Blechdicke  $b$  ist, da diese allein in den Anteil  $a_{HL}$  nach Gleichung (2) eingeht. Wesentlich für den Felddurchgriff ist neben dem Verhältnis des Lochradius  $r_0$  zur Wellenlänge  $\lambda_0$  der optische Bedeckungsgrad  $B_M$  des Lochblechs, welcher beschreibt, wie viel der Fläche von Metall bedeckt ist. Typische Anordnungen von Lochkonfigurationen zeigt Abb. 1. Als Kenngrößen können neben dem Lochradius  $r_0$  die Stegbreiten  $s$  bzw.  $s_1$  und  $s_2$  verwendet werden.

### Experimentelle Überprüfung

Die Gleichungen (1) bis (3) beruhen allein auf theoretischen Überlegungen, es war darum zu prüfen, ob sie sich auch experimentell belegen lassen. Dazu wurde auf das standardisierte Messverfahren ASTM D 4935-89 [3] zurückgegriffen, welches es erlaubt, die Schirmdämpfung planarer Proben in einer speziellen koaxialen Messzelle zu bestimmen. Der Frequenzbereich, in dem die Prüfung durchgeführt werden kann, ist groß; er reicht von 30 MHz bis 1,5 GHz, bei diskreten Frequenzen sind auch Messungen jenseits von 1,5 GHz möglich. Zudem lassen sich die Prüfergebnisse weitaus einfacher reproduzieren als dieses bei Schirmdämpfungsmessungen an kompletten Gehäusen der Fall ist.

In Abbildung 2 ist zu erkennen, wie gut die Übereinstimmung zwischen berechneter und gemessener Schirmdämpfung an verschiedenen Lochblechproben aus Kupfer ist. Der Lochradius der untersuchten Prüflinge ist  $r_0 = 2$  mm, die Stegbreite zwischen den Löchern ist  $s = 1$  mm, und ihre Anordnung entspricht dem in Abb. 1 auf der linken Seite gezeigten Fall.

### Luftströmungen durch Löcher

Bis zu dieser Stelle wurde der Einfluss ausgeklammert, der von der Ausgestaltung des Lochblechs auf den Grad der Gehäusebelüf-



tung ausgeht. Die wesentlichen Grundzüge sollen hier aufgezeigt werden:

- ▶ Durch die innerhalb des Gehäuses betriebenen elektrischen Komponenten ist die abzuführende Wärmeleistung bestimmt
- ▶ Unter zusätzlicher Berücksichtigung der klimatischen Umgebung kann so ein Luft-Volumenstrom berechnet werden, der durch das Gehäuse zu führen ist
- ▶ Diesem Luftstrom aber setzen die Lochbleche einen Widerstand entgegen, ein Druckabfall ist die Folge
- ▶ Die Druckdifferenz schließlich ist es, die letztlich die minimale Leistung der Lüfter bestimmt, um den Luftstrom aufrecht zu erhalten

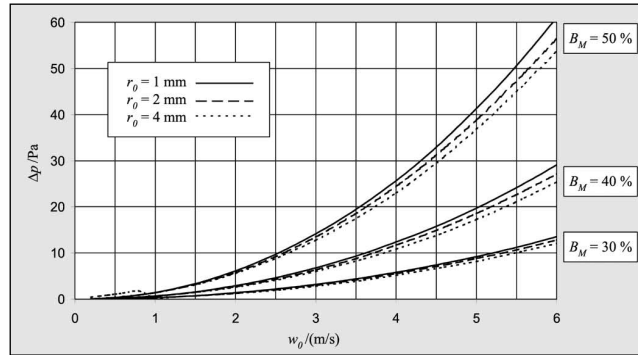
Es wird damit deutlich, dass der Kompromiss vor allem zwischen der einzusetzenden Lüfterleistung einerseits und der elektromagnetischen Schirmwirkung andererseits zu suchen ist. Der Druckabfall  $\Delta p$  über einem Lochblech ist näherungsweise durch die folgende Gleichung bestimmt:

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_0^2 \quad (4)$$

Dabei bezeichnet  $\rho$  die Dichte der mit einer Durchflussgeschwindigkeit  $w_0$  strömenden Luft und  $\zeta$  ist ein dimensionsloser Strömungswiderstands-Beiwert, der für verschiedene Ausführungen von Lochblechen mit semi-analytischen Berechnungsformeln nach Idelchik [4] bestimmbar ist.

### Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse

Aus Sicht der EMV-Planung wird eine gewisse Schirmdämpfung bei einer bestimmten Frequenz als Mindestwert gefordert. Diese ist von dem Schutzgrad abhängig, der für die Komponenten im betreffenden Gehäuse sicher zu stellen ist. Abbildung 3 zeigt beispielhaft den optischen Bedeckungsgrad  $B_M$  als Funktion einer gegebenen Mindest-Schirmdämpfung  $a_S$  bei der Frequenz 1 GHz für verschiedene Lochradien  $r_0$ , die Blechdicke  $b$  beträgt 1 mm.



**Abb. 4:** Druckabfall über einem Lochblech von 1 mm Dicke, Lufttemperatur 20 °C

Mit den Gleichungen (1) bis (3) können die entsprechenden Kurvenscharen für andere Vorgaben leicht erzeugt werden.

Es zeigt sich, dass vor allem die Wahl des Lochradius  $r_0$  die Schirmdämpfung bestimmt, während der Feinabstimmung durch Variation des optischen Bedeckungsgrads  $B_M$  vergleichsweise enge Grenzen gesetzt sind. Ähnliches gilt für die Festlegung der Blechdicke  $b$ , das Optimierungspotential ist auch hier verhältnismäßig gering.

Andere Bedingungen ergeben sich bezüglich der Entwärmung. Abbildung 4 zeigt den Druckabfall  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit  $w_0$  mit dem Lochradius  $r_0$  und dem optischen Bedeckungsgrad  $B_M$  als Parametern. Die erforderliche Lüfterleistung ist hier vor allem durch den optischen Bedeckungsgrad  $B_M$  bestimmt, eine Abhängigkeit vom Lochradius  $r_0$  ist weniger gegeben.

Es gibt aber dennoch eine beste Lösung des Problems: sie folgt aus der Wahl eines kleinen Lochradius  $r_0$  bei zugleich möglichst geringen Stegbreiten  $s$  bzw.  $s_1$  und  $s_2$  zwischen den Löchern in Abb. 1, denn so wird auch der optische Bedeckungsgrad  $B_M$  maximal. Die Grenzen dieses Ansatzes liegen unter anderem in den fertigungstechnischen Gegebenheiten, den Anforderungen an die mechanische Stabilität und zusätzlichen Umgebungsbedingungen, wenn z. B. dafür zu sorgen ist, dass sich die Löcher nicht mit Staub zusetzen.

### Zusammenfassung

Die Ergebnisse zeigen, dass die elektromagnetische Schirmdämpfung eines Gehäuses ziel-

gerichtet auf die zu erreichenden EMV-Eigenschaften hin optimiert werden kann. Die zunächst widersprüchlichen Anforderungen einer weitgehend geschlossenen Schirmhülle einerseits und eines möglichst großen Lüftungsquerschnitts andererseits lassen sich mit einfachen, kostengünstigen Messverfahren und etwas physikalisch-technischem Grundlagenwissen zur Deckung bringen. Auch wenn am Schluss die umfassende EMV-Prüfung des Geräts im Endzustand steht, wird es doch möglich, die Zahl der Voruntersuchungen auf dem Weg dorthin deutlich zu reduzieren.

### Literatur

- [1] J. Bauer, G. Keßler und D. Hoffmann, „Schirmdämpfungsmessung von Gehäusen auf der Drehscheibe“, in: A. Schwab (Hrsg.), „EMV 2000“, Tagungsband zur 8. Internationalen Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit, Berlin, Offenbach: VDE-Verlag, 2000
- [2] S. Helmers und D. Hoffmann, „Optimierte Schirmdämpfung von Gerätegehäusen“, in: A. Schwab (Hrsg.), „EMV 2002“, Tagungsband zur 10. Internationalen Fachmesse und Kongress für Elektromagnetische Verträglichkeit, Berlin, Offenbach: VDE-Verlag, 2002
- [3] ASTM Standard Test Method D 4935–89: „Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials“, American Society for Testing & Materials (ASTM), Philadelphia (USA): 1989
- [4] I. E. Idelchik, „Handbook of Hydraulic Resistance“, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1986

Beitrag als PDF im Internet:

www.publish-industry.net  
more @ click EK3B0301