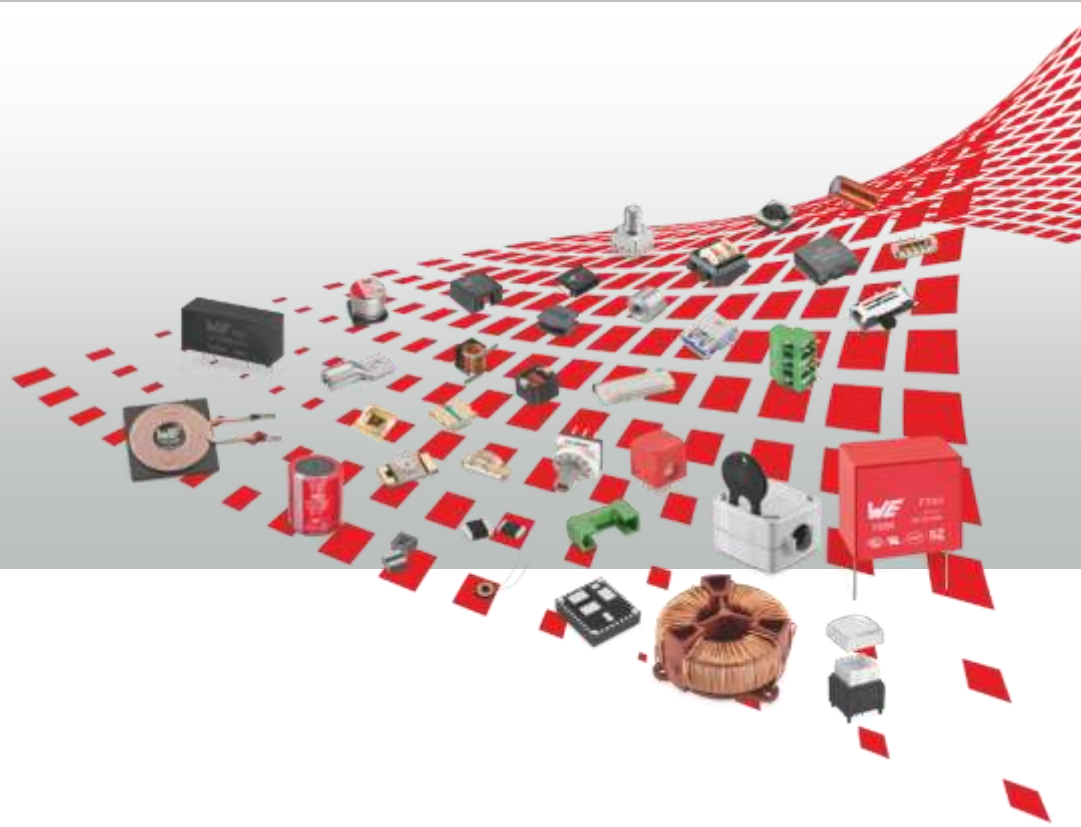


Einmaleins der Schirmung: Der Ansatz eines Designers

more
than you
expect



Steffen Schulze
FAE Key Account



Inhalt

- Einleitung
- Grundlagen
- Schirmöffnungen
- Schirmungslösungen



Einleitung



Was bedeutet „elektromagnetische Schirmung“?



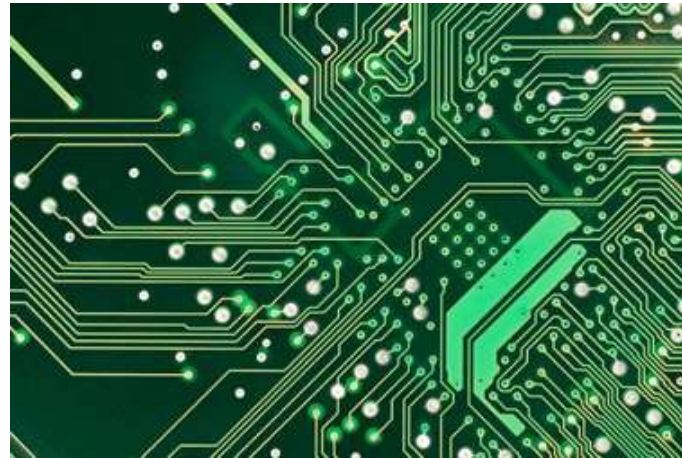
Grundlagen



- Elektromagnetische Felder werden von elektrisch leitfähigen Strukturen abgestrahlt bzw. aufgenommen.
- Antennen können sein:



Kabel, Schnittstellen,
Gehäuseöffnungen

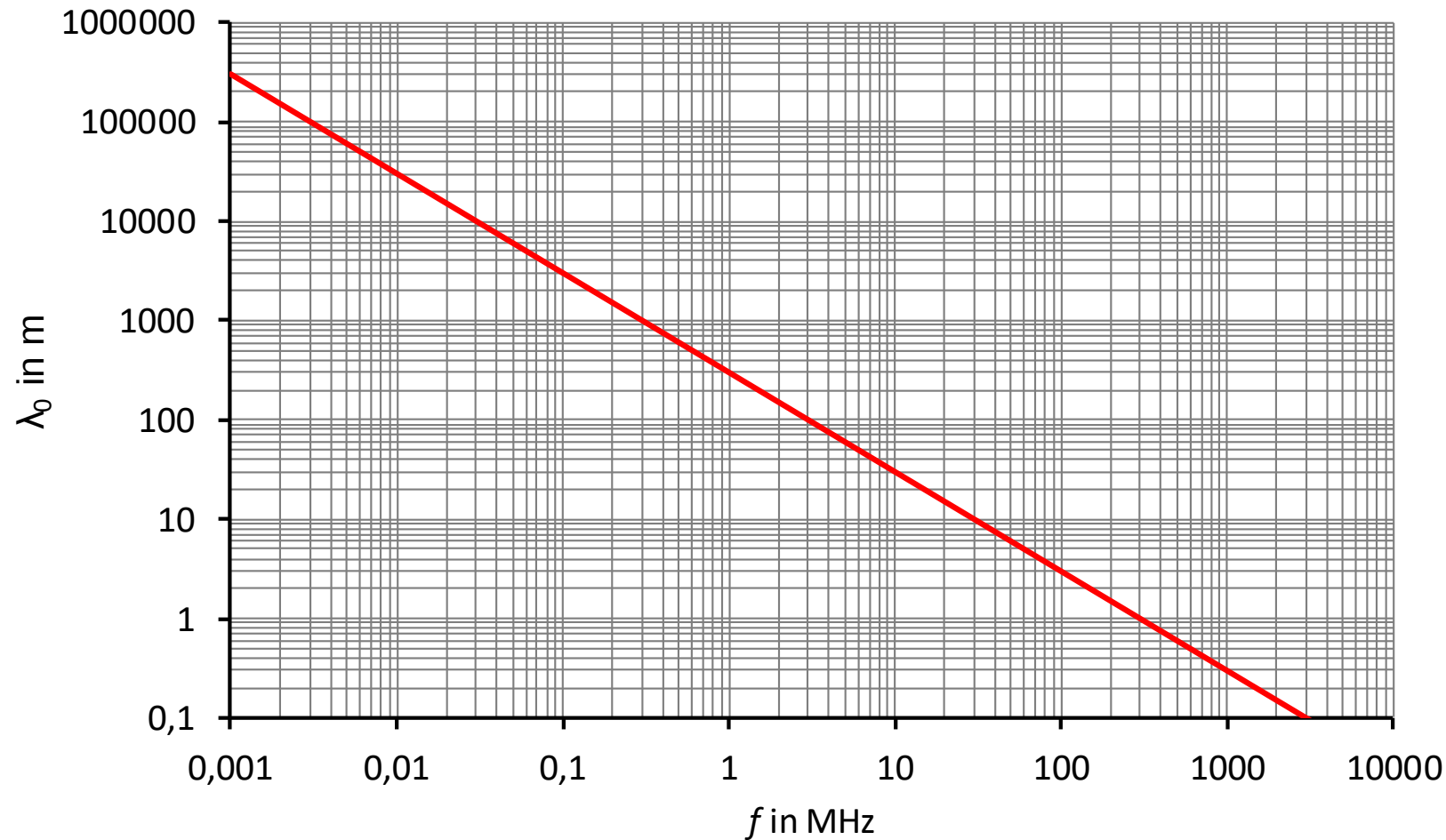


Leiterbahnen, Masseflächen,
Vias, Schlitze



Bauteile, Kühlkörper,
integr. Schaltkreise

Grundlagen – Wellenlänge



- Zusammenhang Frequenz – Wellenlänge:

$$\lambda_0 = \frac{c_0}{f}$$

- Beispiele:

$$f = 500\text{kHz} \rightarrow \lambda_0 = 600\text{m}$$

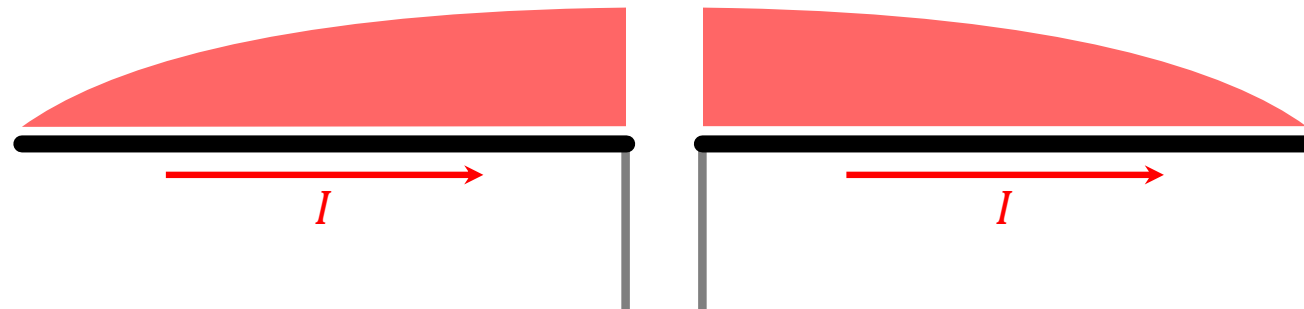
$$f = 8\text{MHz} \rightarrow \lambda_0 = 37,5\text{m}$$

$$f = 100\text{MHz} \rightarrow \lambda_0 = 3\text{m}$$

$$f = 2,45\text{GHz} \rightarrow \lambda_0 = 12,5\text{cm}$$

Grundlagen – Halbwellendipol

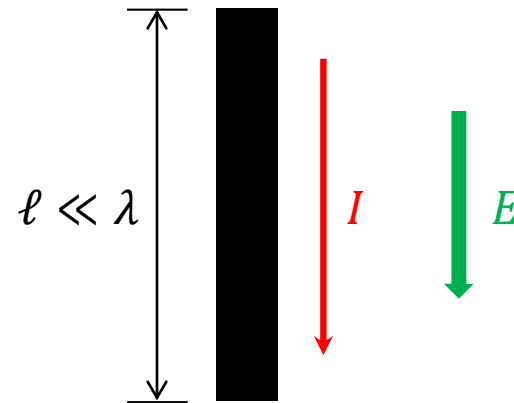
- Eine leitfähige Struktur ist nicht für jede Frequenz eine **gute Antenne**.
- Das **Verhältnis** der Strukturlänge zur Wellenlänge ist entscheidend.
- Entspricht die Länge der **halben Wellenlänge**, ist das Verhältnis **optimal** (Halbwellendipol).
- Signifikante Antennenwirkung tritt bei einer Länge von bis zu einem **Zwanzigstel** der Wellenlänge auf.



Grundlagen – Elementardipol

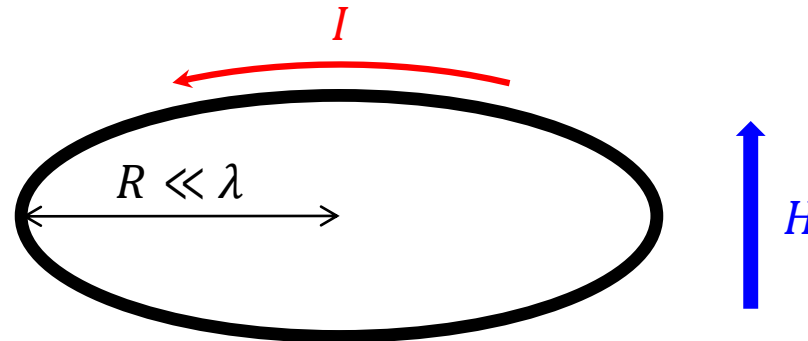


- Die einfachste Antenne ist ein **elektrischer** (Hertzscher) **Dipol**. Seine Länge ℓ ist klein gegenüber der betrachteten **Wellenlänge**.
- Über seine Länge fließt ein örtlich konstanter, zeitlich sich ändernder Strom I . An den Enden sammeln sich Ladungen.
- Der elektrische Dipol erzeugt ein **elektrisches Feld**.

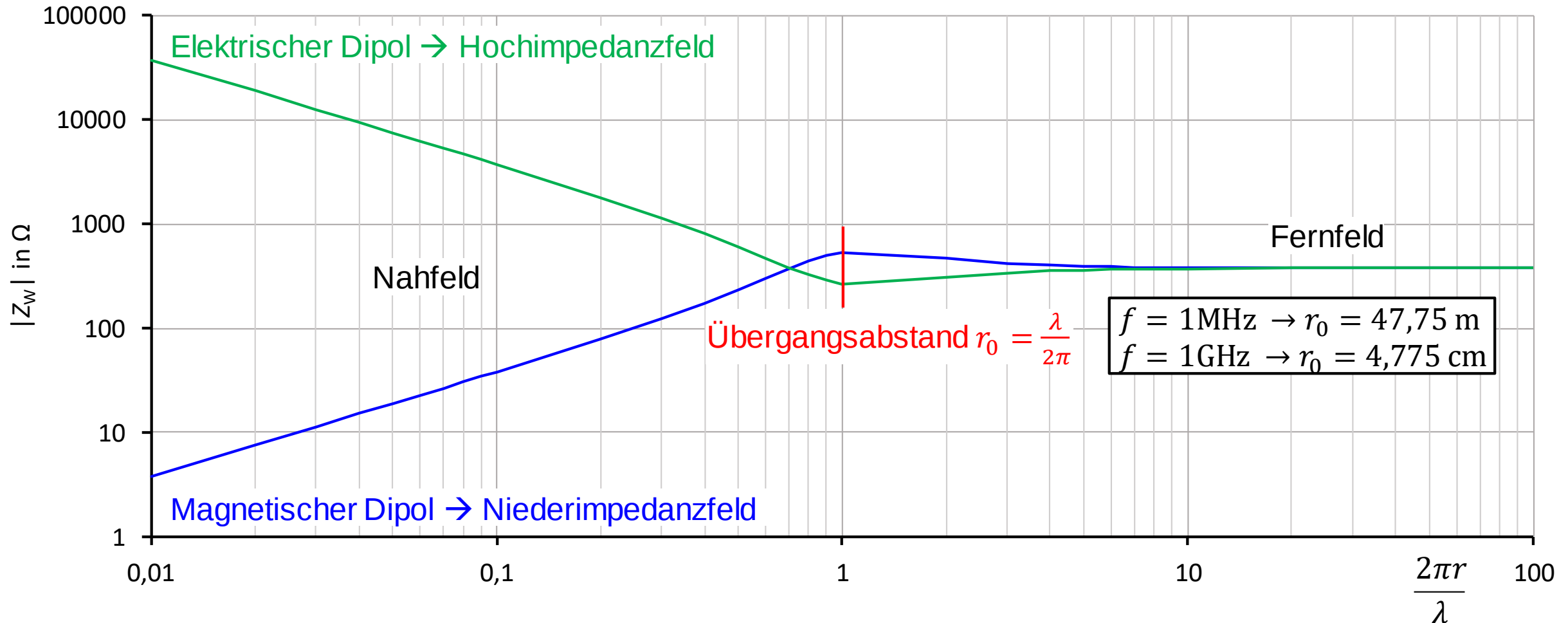


Grundlagen – Elementardipol

- Eine weitere Elementarantenne ist die **Stromschleife** oder der **magnetische Dipol**. Ihr Radius R ist klein gegenüber der betrachteten **Wellenlänge**.
- Über ihren Umfang fließt ein örtlich konstanter, zeitlich sich ändernder Strom I .
- Der magnetische Dipol erzeugt ein **magnetisches Feld**.

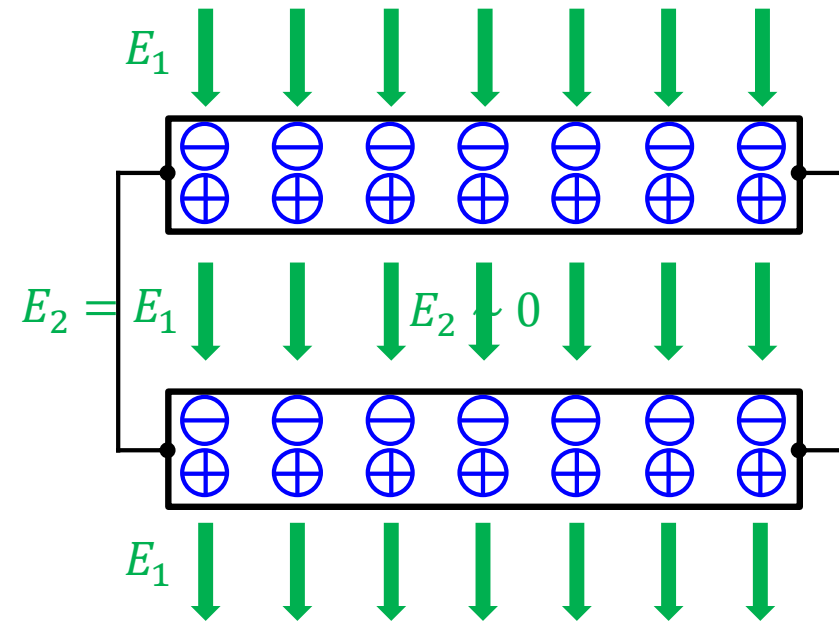


Grundlagen – Feldwellenwiderstand



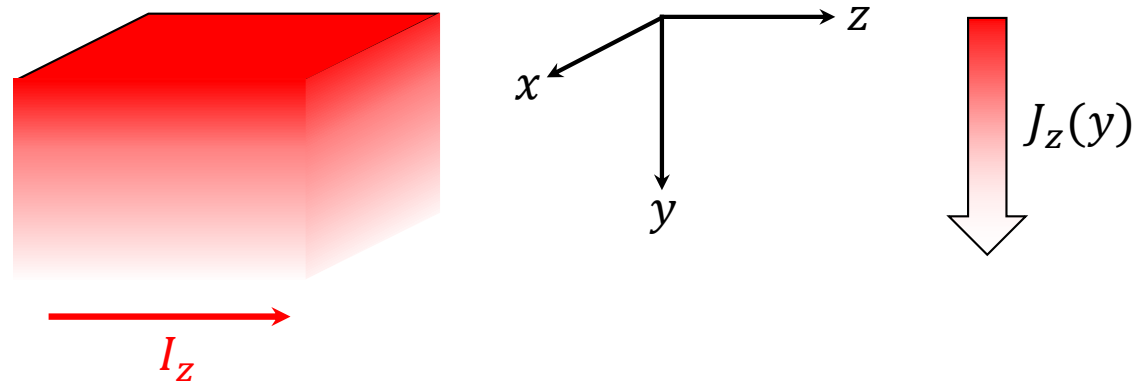
Grundlagen – Schirmung elektr. Felder

- Elektrische Felder lassen sich **leicht abschirmen**.
- Elektrische Feldlinien gehen von Ladungen aus und enden auf Ladungen.
- Es muss nur sichergestellt werden, dass sich die freien Ladungen **ausgleichen** können.
- Schirmwirkung **elektrisch leitfähig verbundener Platten** auf ein statisches elektrisches Feld:



Grundlagen – Schirmung magnet. Felder

- Magnetische Felder lassen sich nur **schwer abschirmen**, besonders Gleichfelder und niederfrequente Felder.
- Kategorisierung der Schirmungsmaßnahmen:
 - Gegen Gleichfelder und niederfrequente Felder → **Hochpermeable** Materialien
 - Gegen mittelfrequente Felder → Ausnutzen des **Skineffekts**
 - Gegen hochfrequente Felder → **Reflexion** und **Absorption**



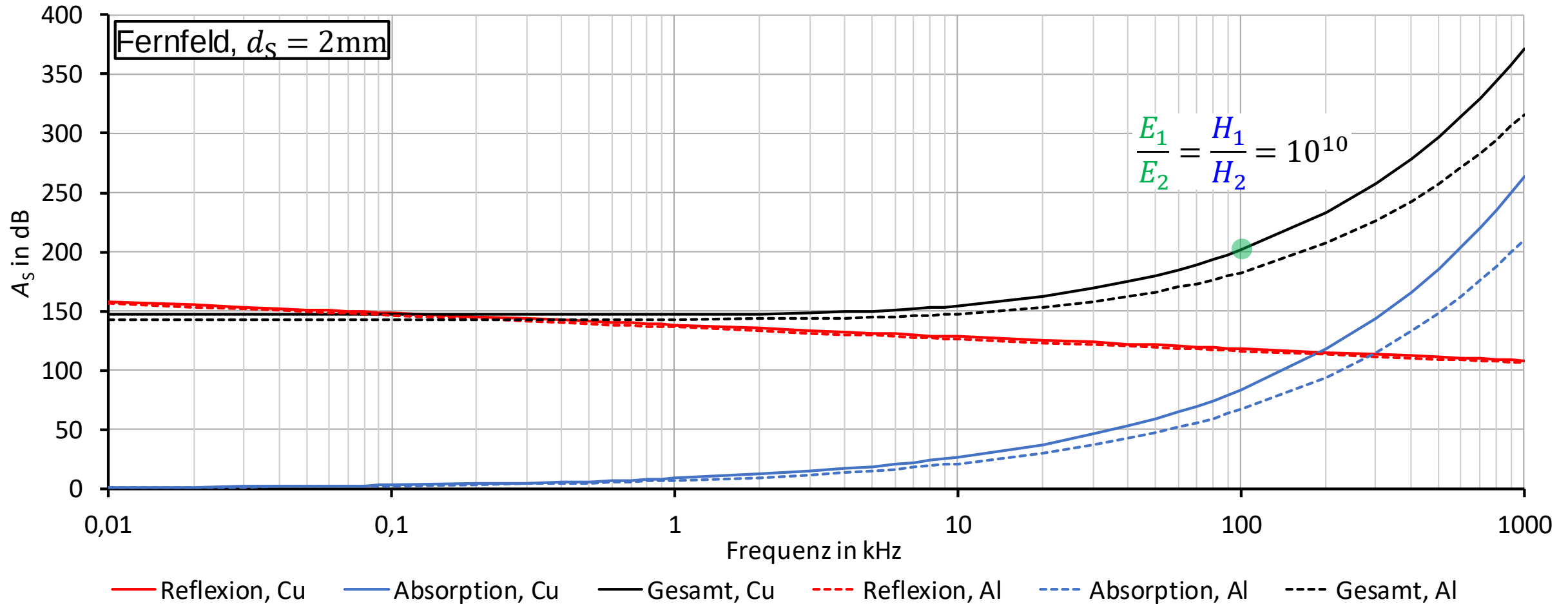
Grundlagen – Schirmung magnet. Felder

- Zur Schirmung von Gleichfeldern und niederfrequenten Feldern (16 $\frac{2}{3}$ Hz, 50 Hz) nutzt man **hochpermeable** Materialien.
- Die Schirmwirkung ist umso effektiver,
 - je höher die Permeabilität ist,
 - je dicker der Schirm ist,
 - je kleiner das zu schützende Volumen ist.

Material	Relative Permeabilität μ_r
Nickel	100
Stahl	1000
Rostfreier Stahl	500
Mumetall	25000



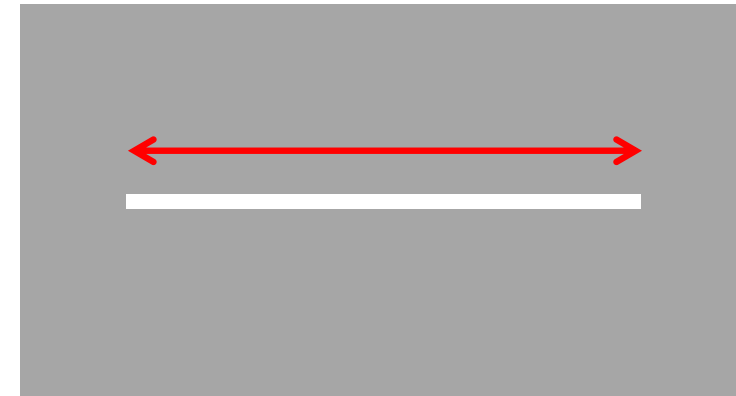
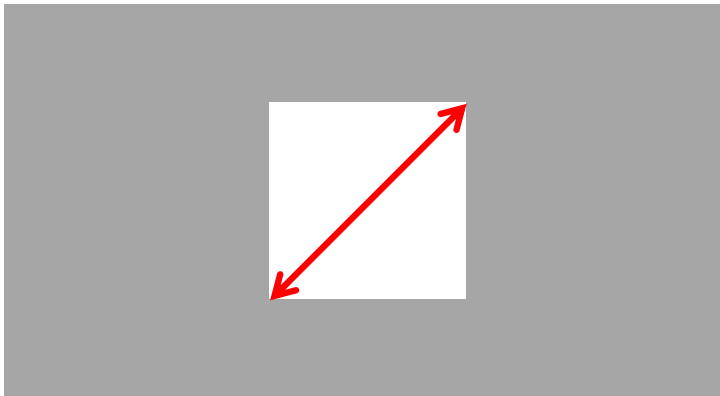
Grundlagen – Theor. Schirmdämpfung



Schirmöffnungen



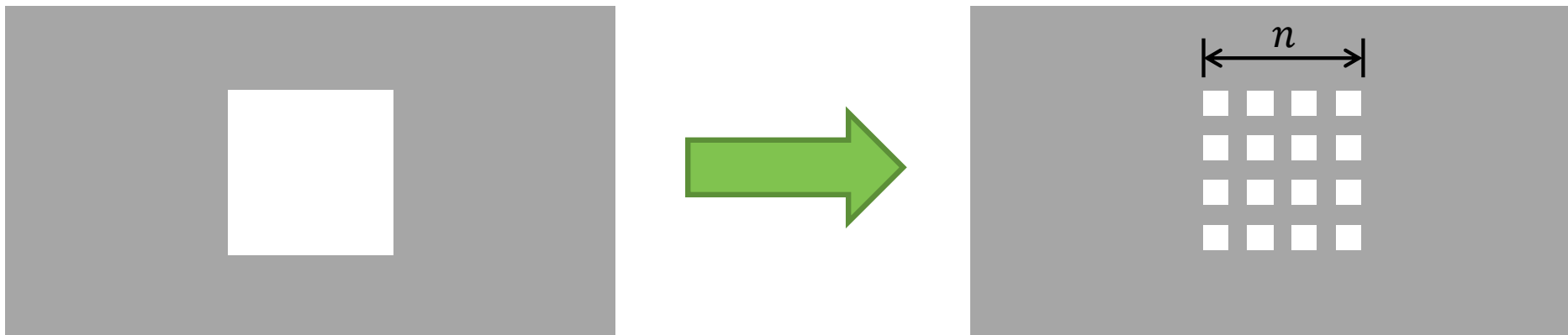
- Die Grenze der **messtechnischen Bestimmung** der Schirmdämpfung liegt bei ca. 120 dB.
- Kein realer Schirm ist perfekt, d.h. vollständig geschlossen.
- **Öffnungen** im Schirm wirken sich stärker auf die magnetische als auf die elektrische Schirmdämpfung aus.
- Die **maximale lineare Dimension** einer Öffnung ist entscheidend, nicht deren Fläche.



Schirmöffnungen



- Eine Öffnung der Länge $\ell = \lambda/2$ hat die gleiche Wirkung wie ein **Halbwellendipol**.
- Ist der **elektrische** Feldvektor **senkrecht** oder der **magnetische** Feldvektor **parallel** zum Schlitz orientiert, ist die Schirmdämpfung bei der zugehörigen Frequenz 0 dB.
- Wird eine größere Öffnung benötigt, z.B. zur Belüftung des Gehäuses, sollte die Fläche auf viele kleinere Öffnungen verteilt werden.



Schirmöffnungen



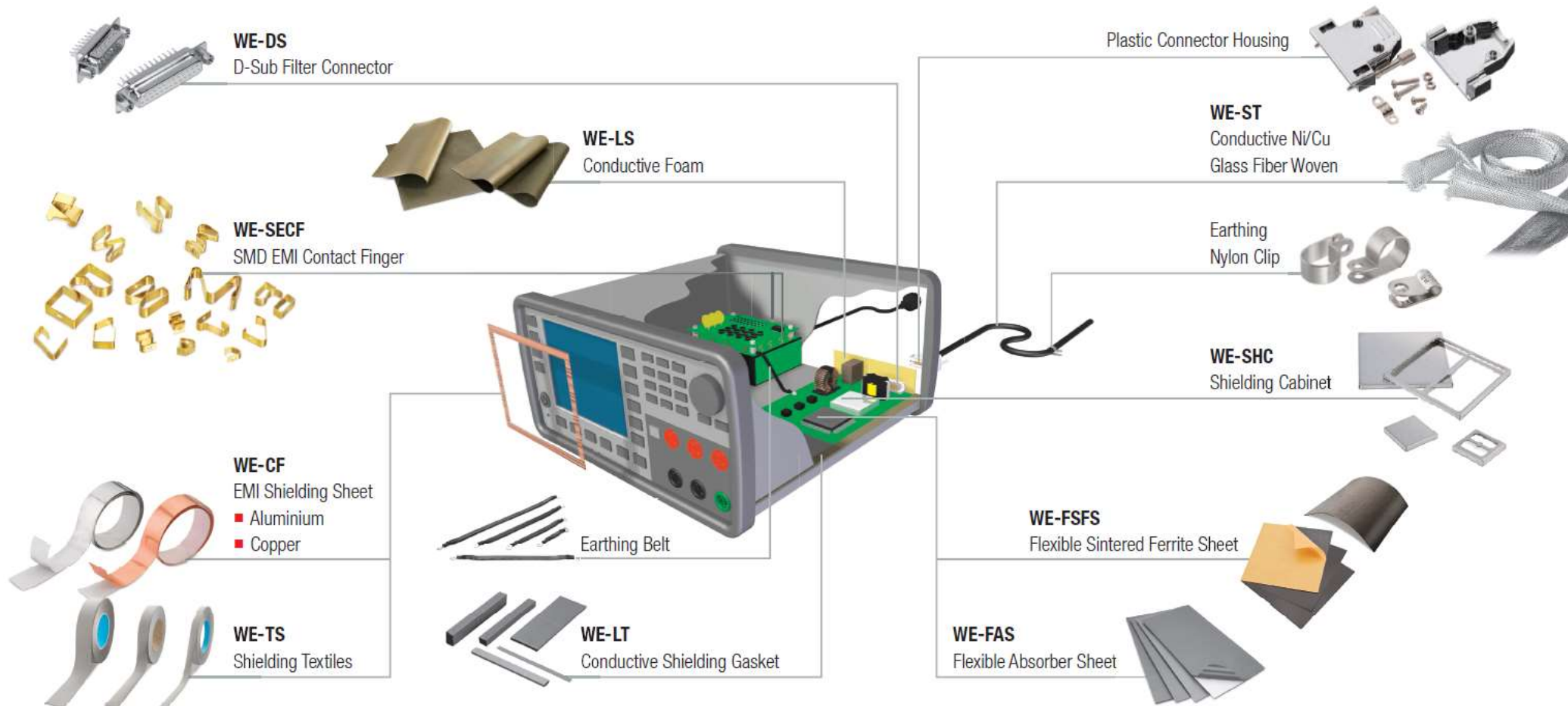
- Maximale Schlitzlänge für 20 dB Schirmdämpfung:

Frequenz in MHz	Länge in cm
30	50
50	30
100	15
300	5
500	3
1000	1,5
3000	0,5
5000	0,3

- Reduktion der Schirmdämpfung bei $n > 1$:

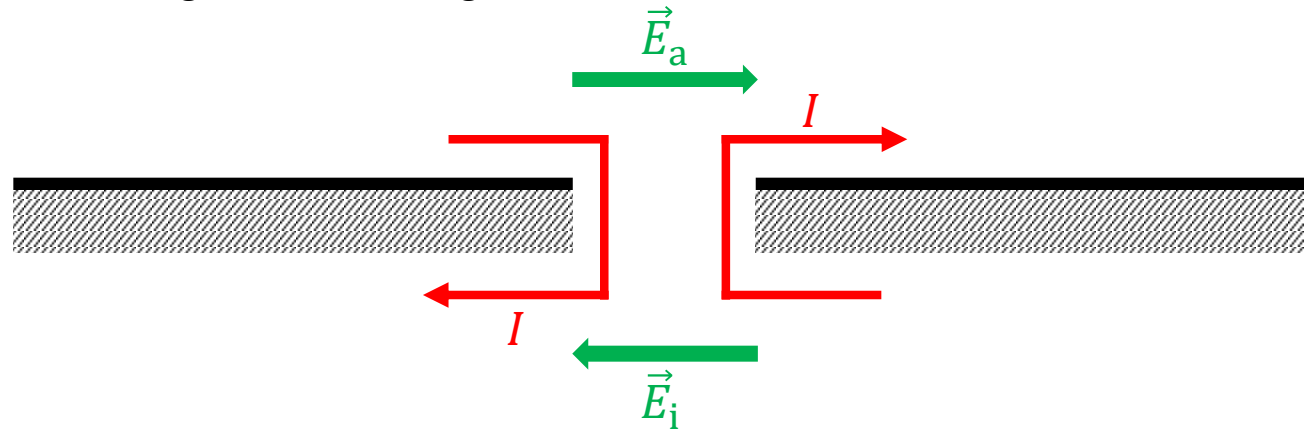
n	ΔA_s in dB
2	-3
4	-6
6	-8
10	-10
20	-13
40	-16
80	-19
100	-20

Schirmungslösungen – Übersicht



Schirmungslösungen – Gehäuseübergang

- An Gehäuseübergängen (Gehäusekanten, Deckelkanten, Türkanten) ist darauf zu achten, dass möglichst eine **großflächige leitfähige Verbindung** gewährleistet ist.
- Gehäuseübergang ohne leitfähige Verbindung:



- Herstellen einer leitfähigen Verbindung:

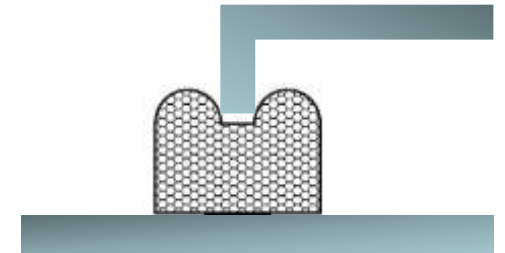
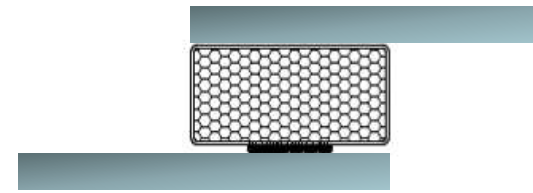
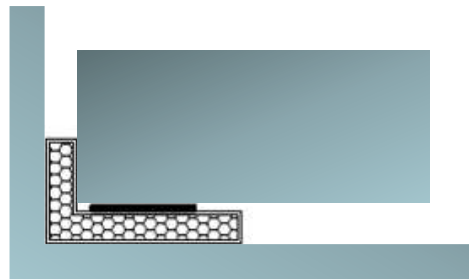
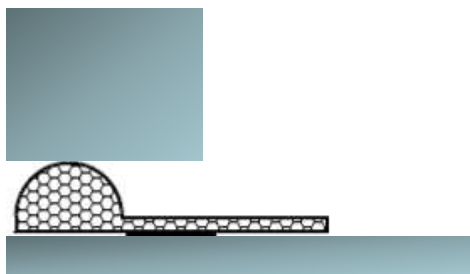
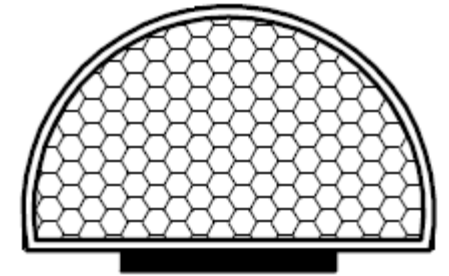
- Leitfähige Textildichtung
- Leitfähige Elastomerdichtung
- Kontaktfederstreifen



Schirmungslösungen – Gehäuseübergang



- Leitende Textildichtung besteht aus einem **Schaumstoff**, der von einem **Nickel-Kupfer-Gewebe** umschlossen ist. An einer Seite befindet sich ein doppelseitiges Klebeband.
- Maximal erzielbarer Schutzgrad: IP54
- Brandschutz in Bahnanwendungen → EN 45545-2:2013+A1:2015 → R22/R23
- Anwendungsbeispiele:



Schirmungslösungen – Gehäuseübergang

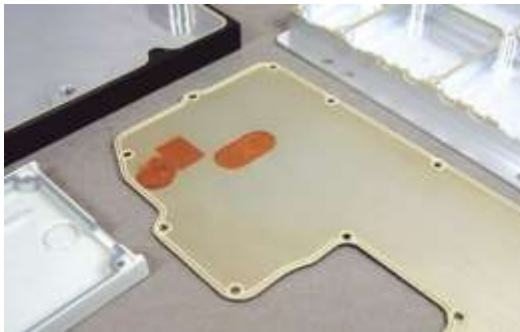
- Eignung von Materialpaarungen:

Grundmaterial	Nickel-Kupfer	Aluminium
Zink	--	++
Aluminium	--	++
Kupfer	+	-
Zinn	+	-
Nickel-Silber	+	-
Blei	+	-
Nickel	++	--
Silber	++	--
Nickel-Kupfer	++	--
Gold	++	--

Schirmungslösungen – Gehäuseübergang



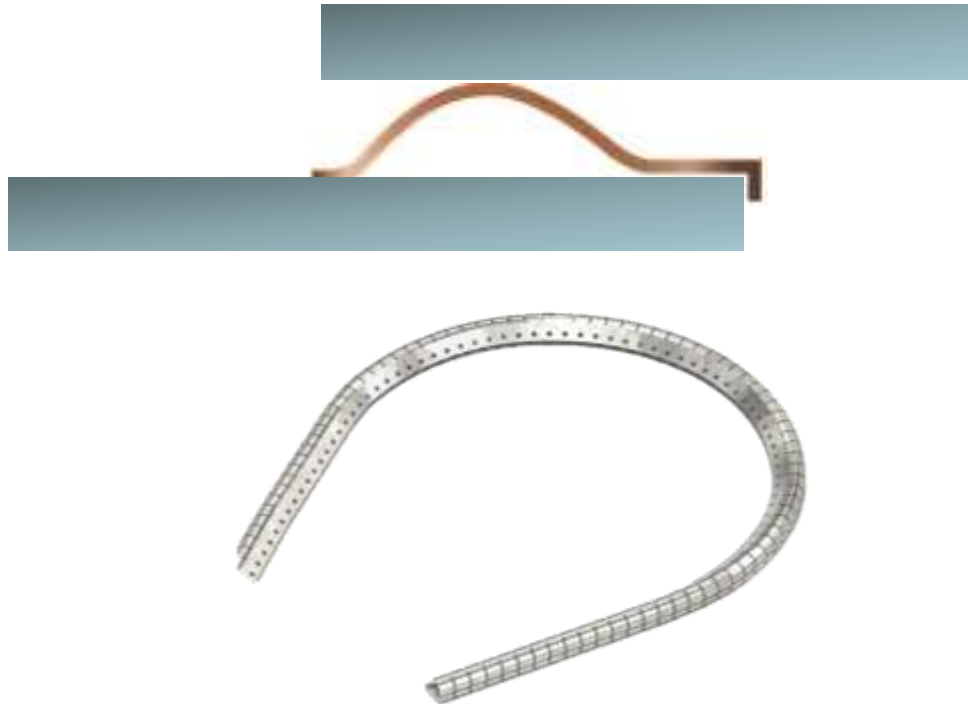
- Leitfähige **Elastomerdichtungen** werden verwendet, wenn ein höherer Schutzgrad erforderlich ist.



Schirmungslösungen – Gehäuseübergang



- **Kontaktfederstreifen** bestehen aus Kupfer-Beryllium oder aus Edelstahl.
- Anwendungsbeispiel:



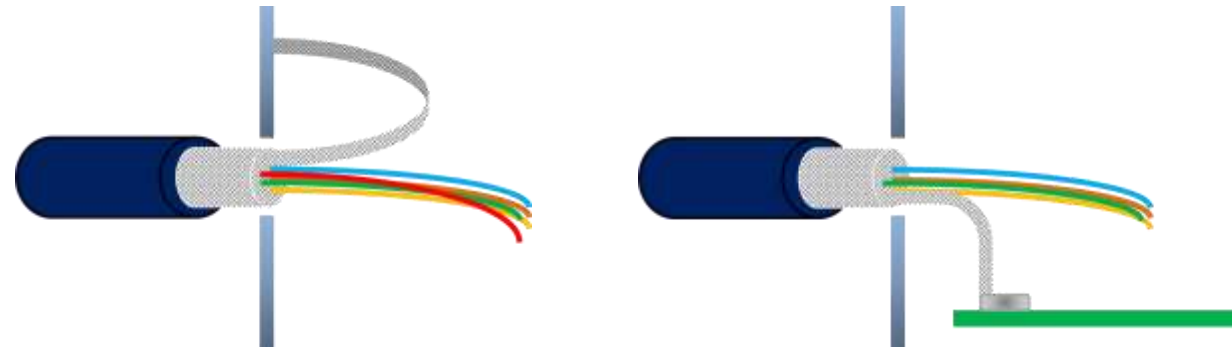
Schirmungslösungen – Kabel



- Schirmung von Kabeln und Kabelbündeln:



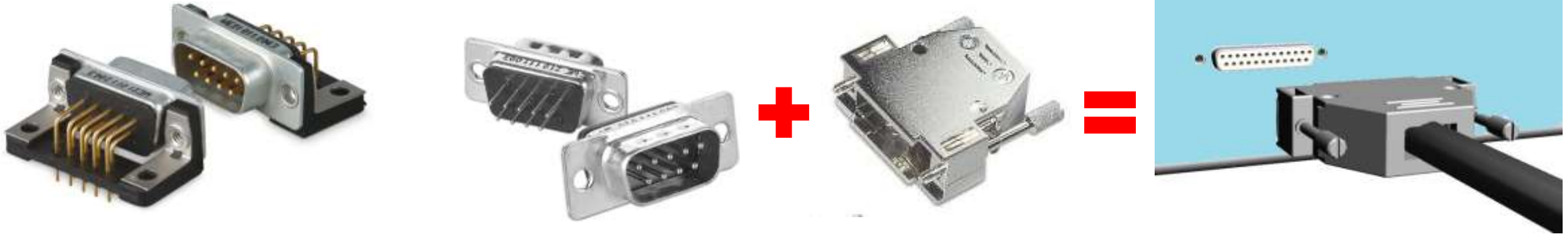
- Vermeidung folgender Anbindungsarten:



Schirmungslösungen – Schnittstelle



- Gefilterte **D-SUB Schnittstelle** für RS-232, RS-485 oder Spannungsversorgung (max. 5 A @ 100 V_{DC}):



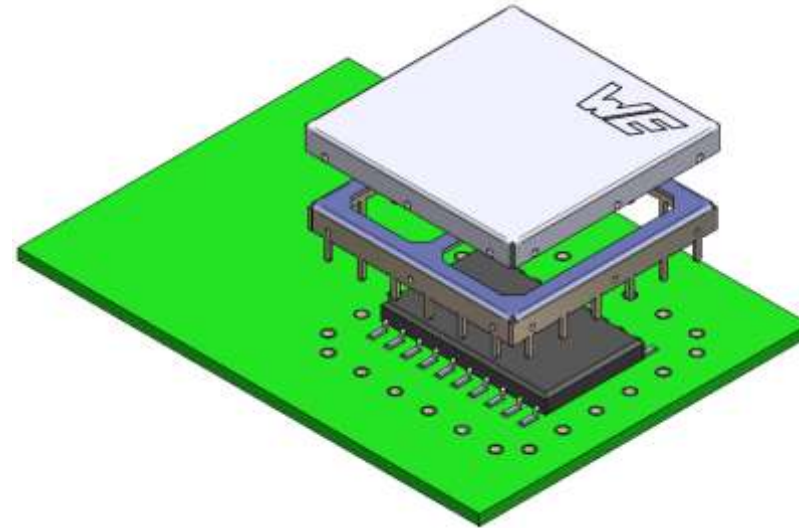
- D-SUB Filteradapter:



Schirmungslösungen – Platine



- **Masseflächen** aus Kupfer schirmen das elektrische Feld.
- Störbehaftete oder empfindliche Bau-/Schaltungsteile können **lokal** elektrisch geschirmt werden.

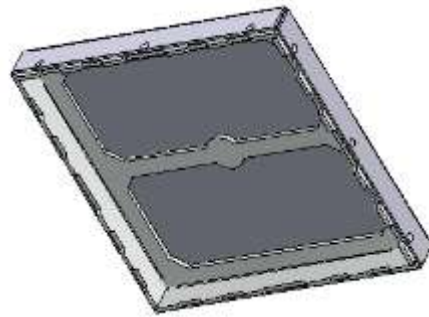
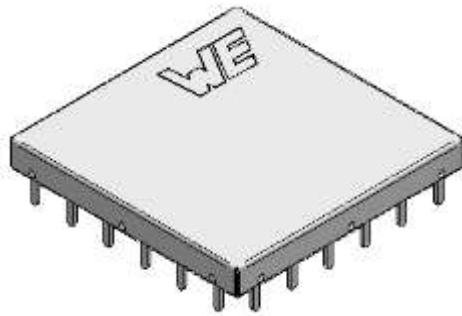


- Wichtig: Niederimpedante Anbindung an die lokale Schaltungsmasse

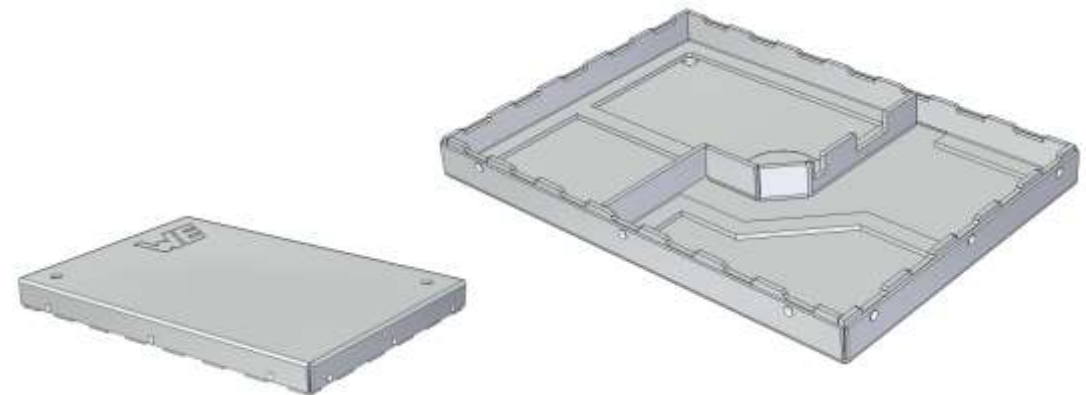
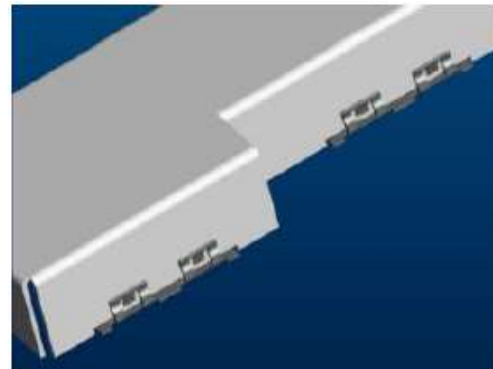
Schirmungslösungen – Platine



- Ein- oder zweiteiliges Gehäuse:



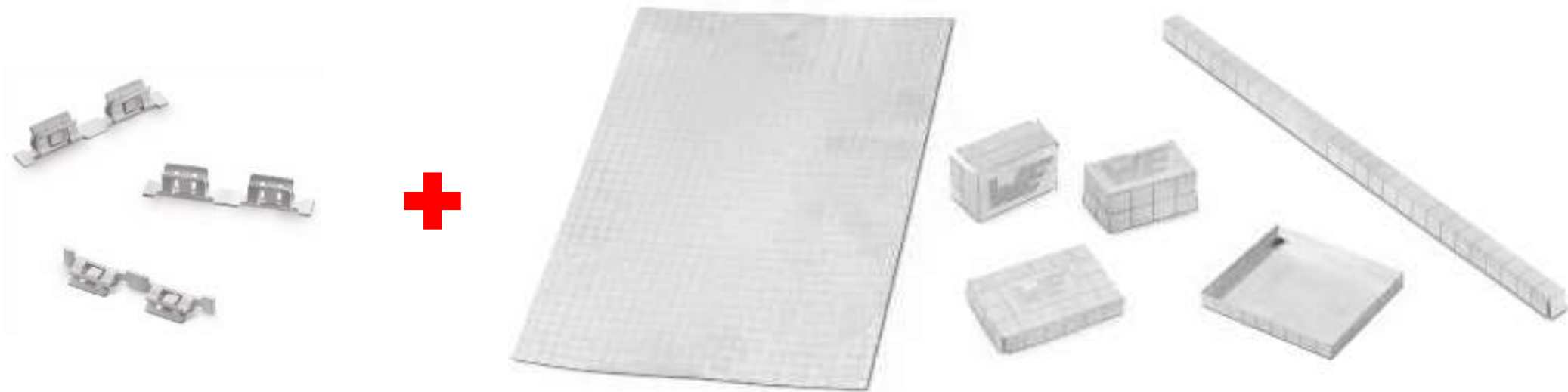
- SMT Klammern:



Schirmungslösungen – Platine

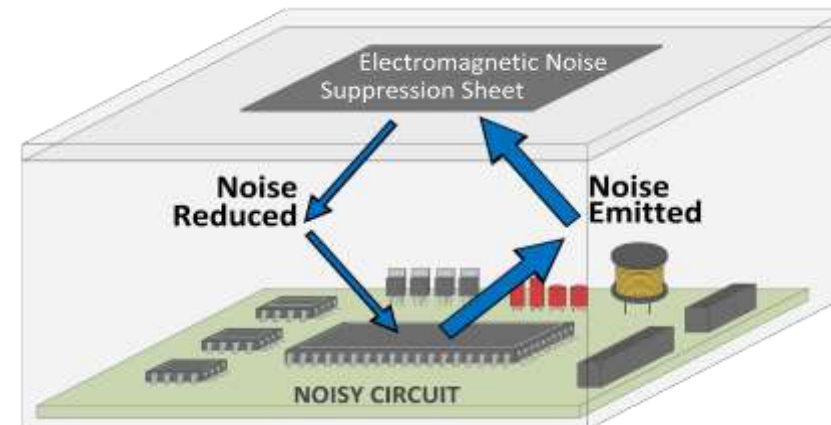
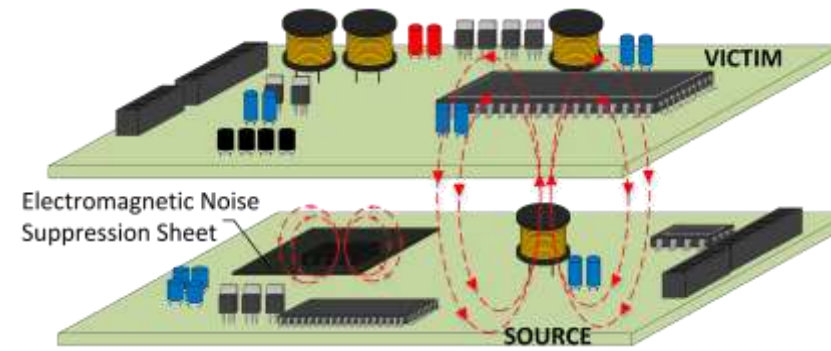
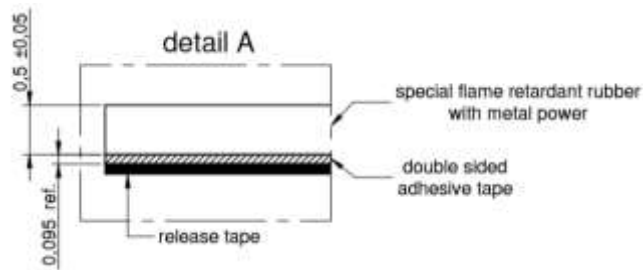


- Do-it-yourself Schirmgehäuse:
 - Verzinnte Stahlplatte (0,2 mm)
 - Quadratisches Raster (5 mm)



Schirmungslösungen – Platine/Gehäuse

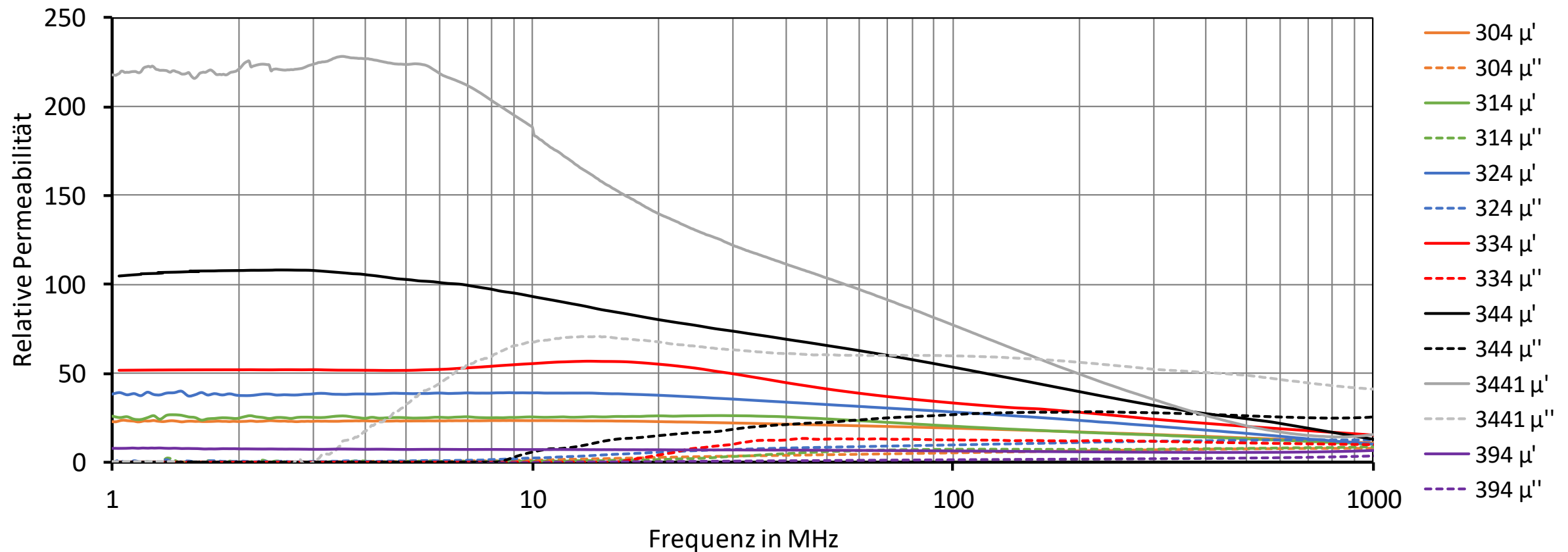
- **Flexible Absorberfolie** mit Klebefläche zur Anbringung auf der Platine oder am Gehäuse
- Wirkungsweise → **Reflexion** und **Absorption** im Nah- und Fernfeld



Schirmungslösungen – Platine/Gehäuse

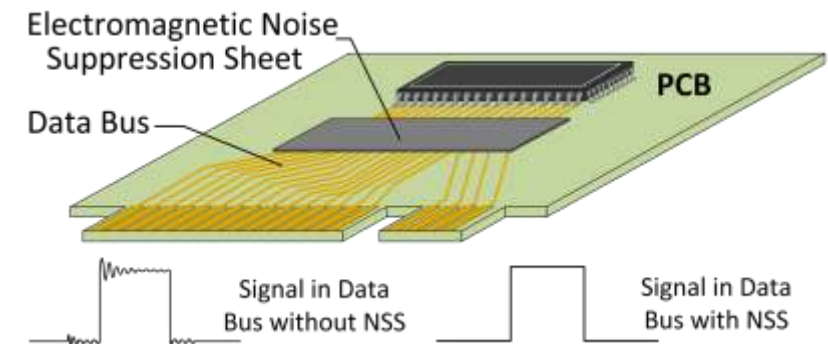
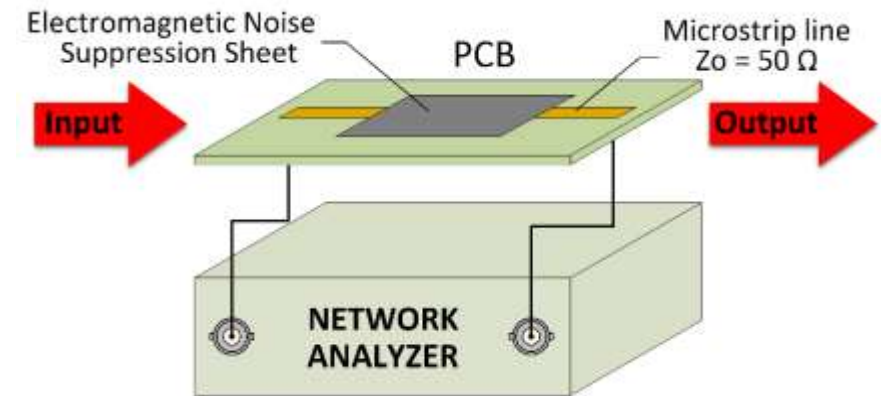
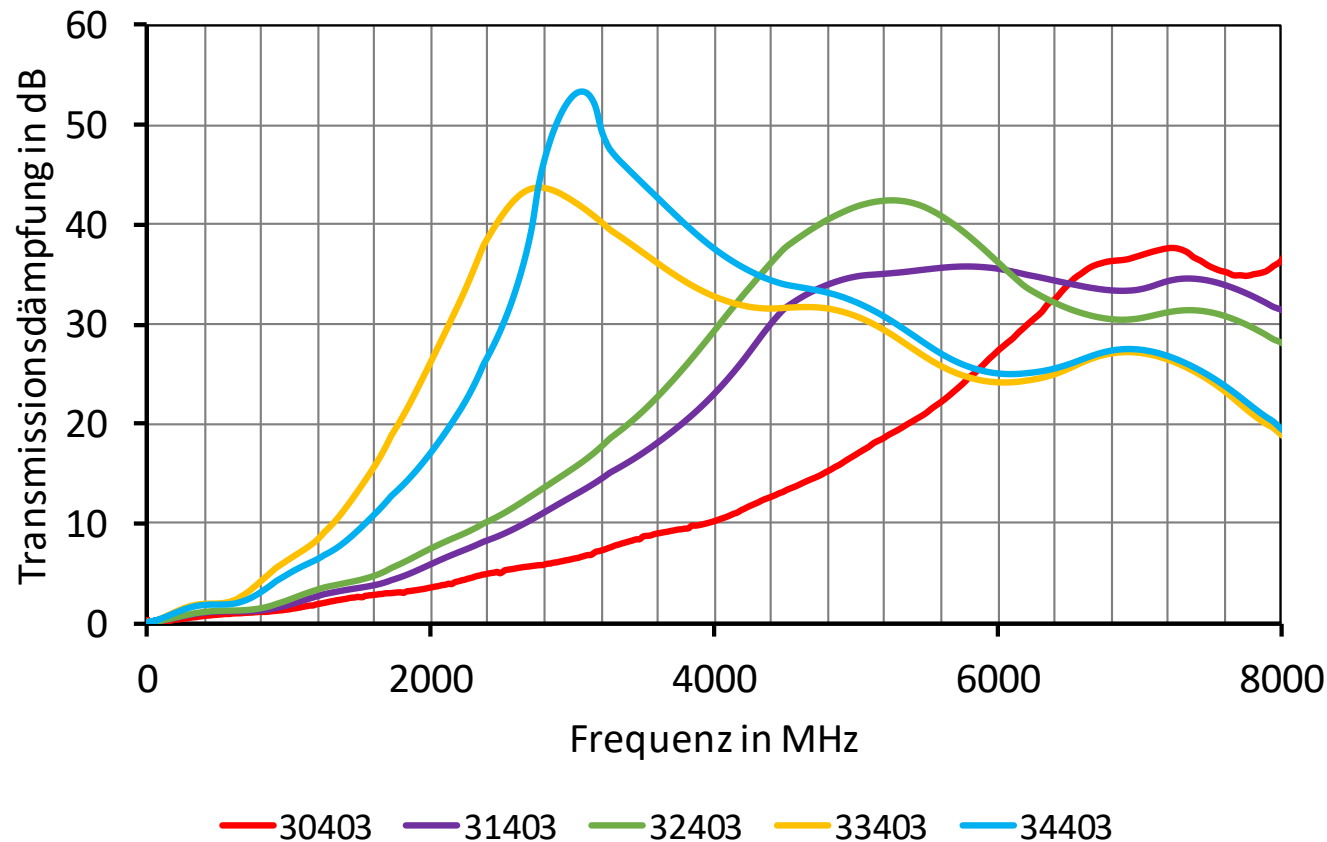


- Komplexe Permeabilität der **WE-FAS** Materialien:



Schirmungslösungen – Platine/Gehäuse

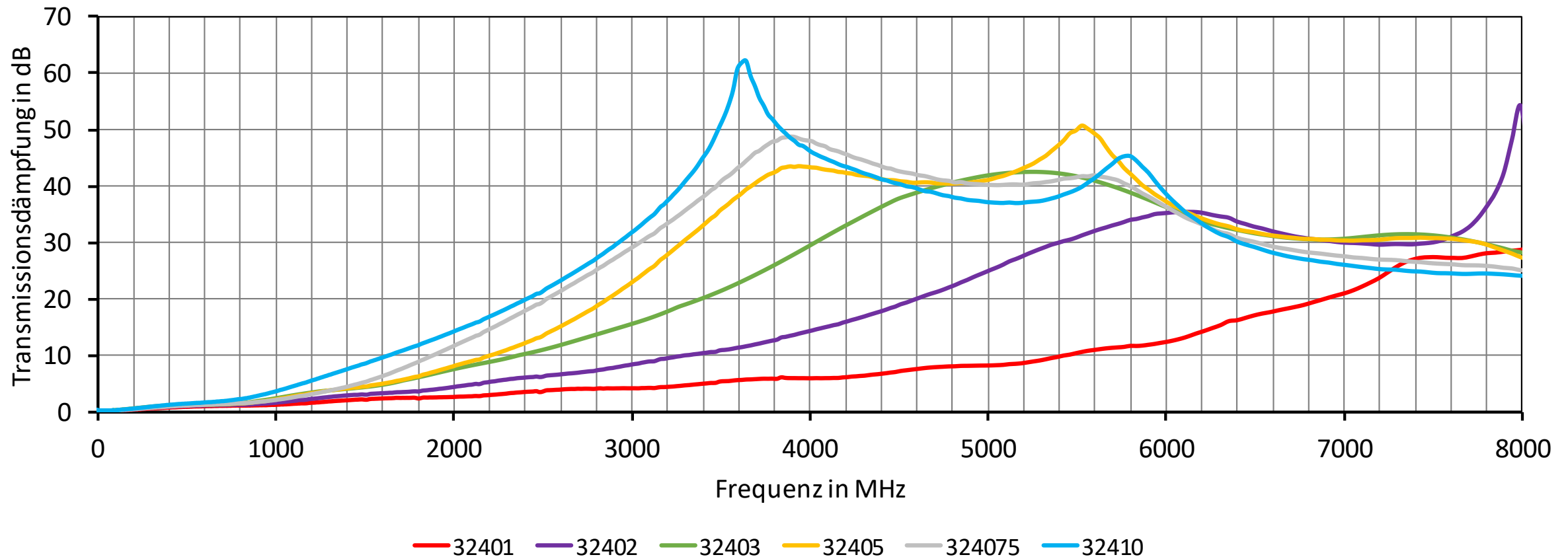
- Transmissionsdämpfung abhängig vom **Material** (Dicke: 0,3 mm):



Schirmungslösungen – Platine/Gehäuse

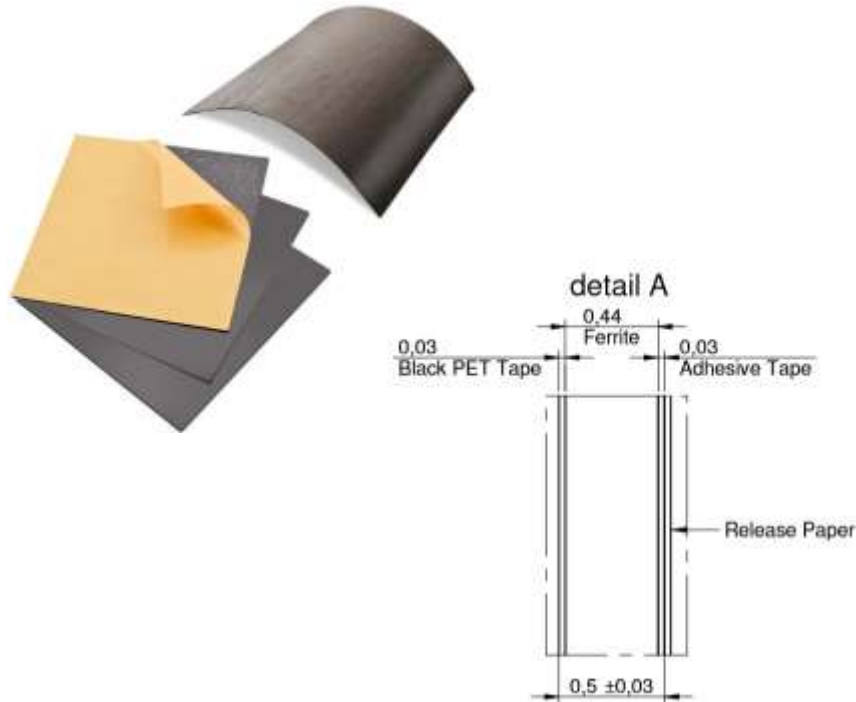


- Transmissionsdämpfung abhängig von der **Materialdicke** (Material 324; 0,1...1 mm):



Schirmungslösungen – Kommunikationsstandards

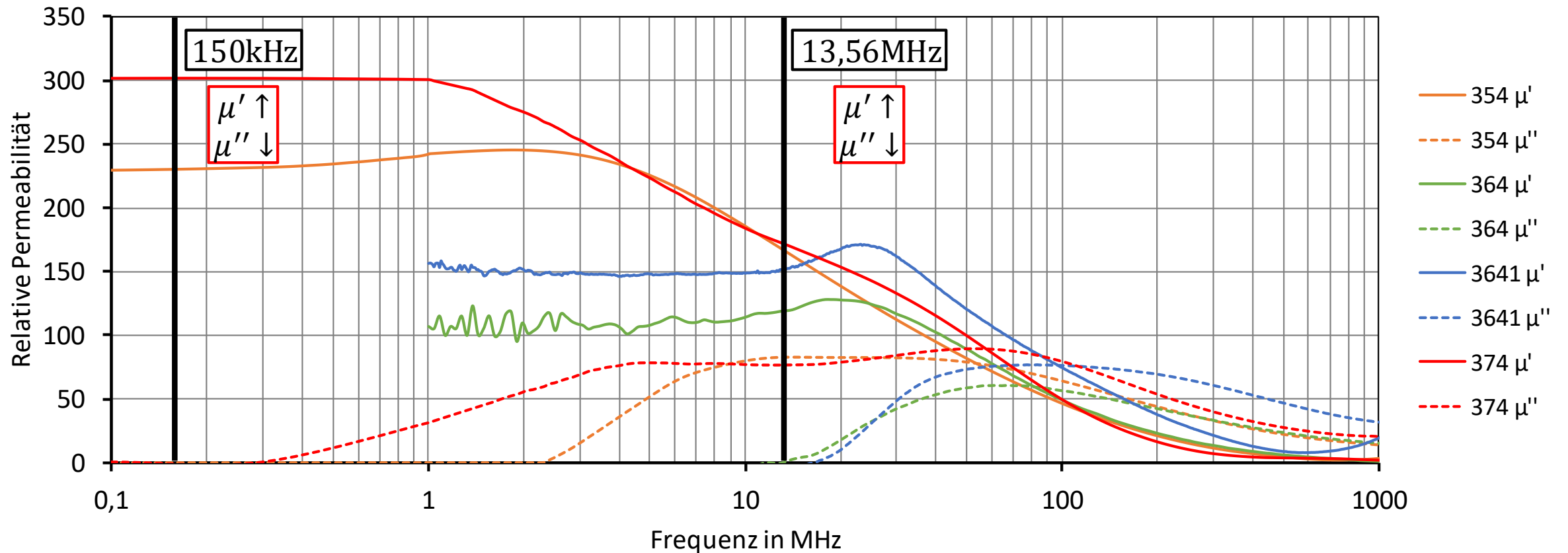
- **Flexible Ferritplatte** mit Klebefläche zur Anbringung auf der Platine oder am Gehäuse
- Wirkungsweise → **Reflexion** im Nahfeld, **Umlenkung** der magnetischen Feldlinien
- Anwendungen → Nahfeldschirmung, NFC, RFID, Drahtlosladetechnik (WPT)



Schirmungslösungen – Kommunikationsstandards

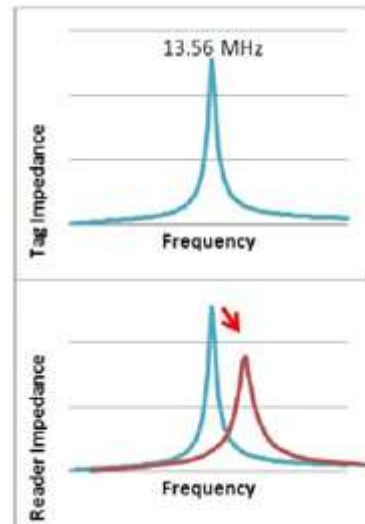
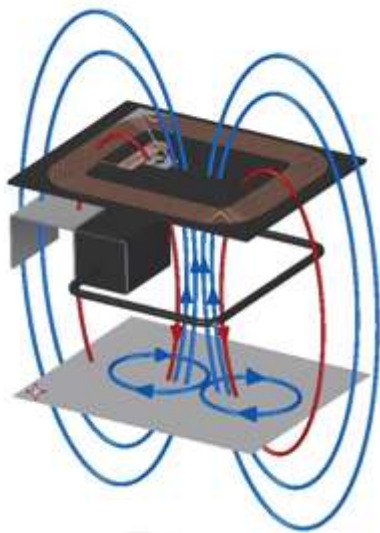


- Komplexe Permeabilität der **WE-FSFS** Materialien:

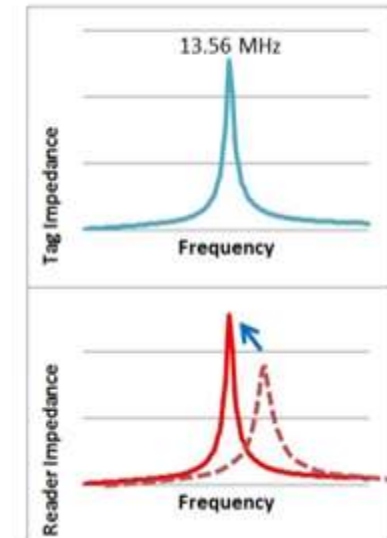
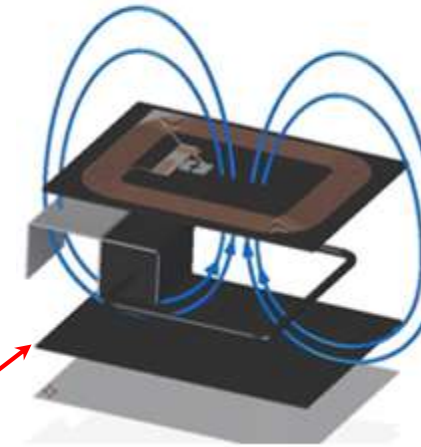


Schirmungslösungen – Kommunikationsstandards

- **Metallflächen** in der Nähe der Kommunikationsspulen verändern deren Induktivität und verstimmen dadurch die **Resonanz**.
- Magnetisch wirkende Folie im Zwischenraum minimiert den Einfluss von **Wirbelströmen** im Metall.

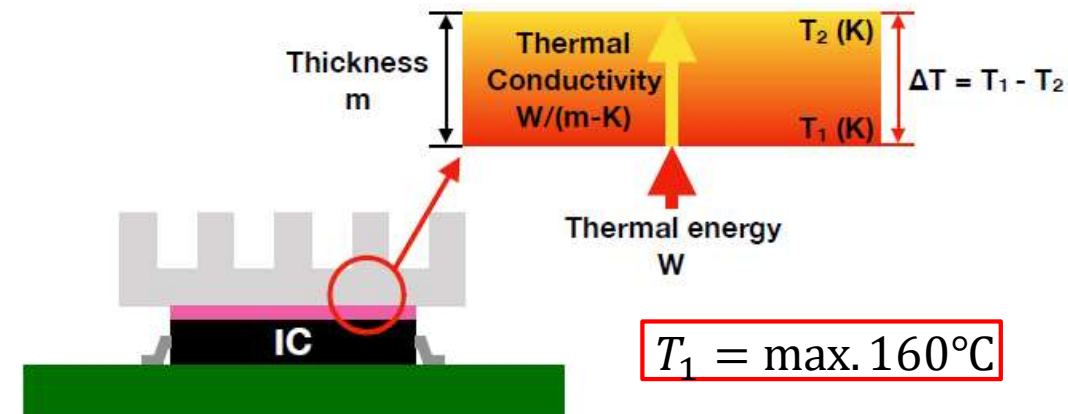
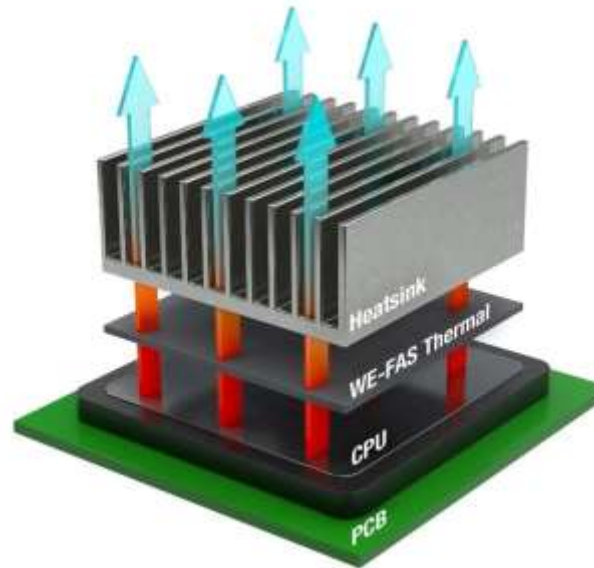
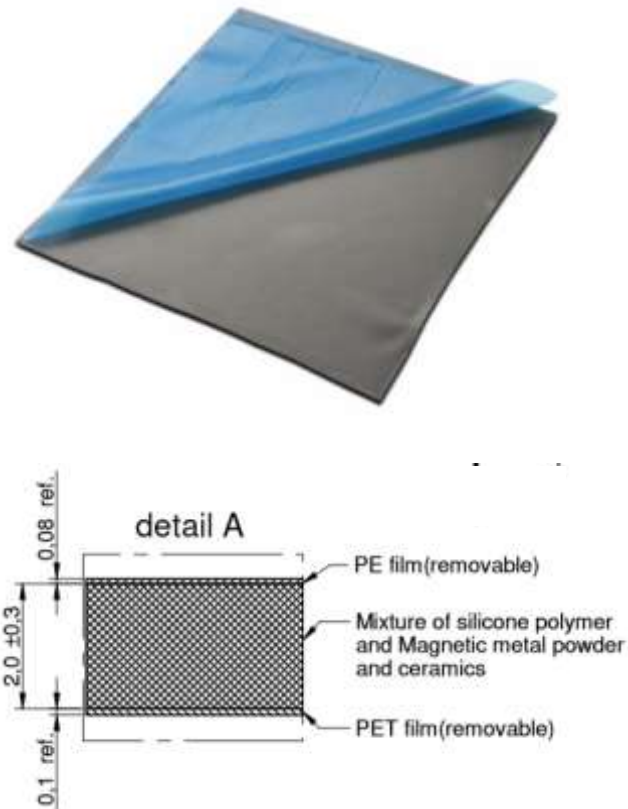


Schirmung



Schirmungslösungen – Kühlkörper

- Flexible Ferritfolie mit Keramikpartikeln zur **Wärmeleitung** ($\kappa = 1,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)



Schirmungslösungen – Masseanbindung



- Leitfähige Gehäuseteile und Masseflächen einzelner Platinen sollten **niederimpedant** miteinander verbunden werden.
- **Mechanische** Varianten der Verbindung:



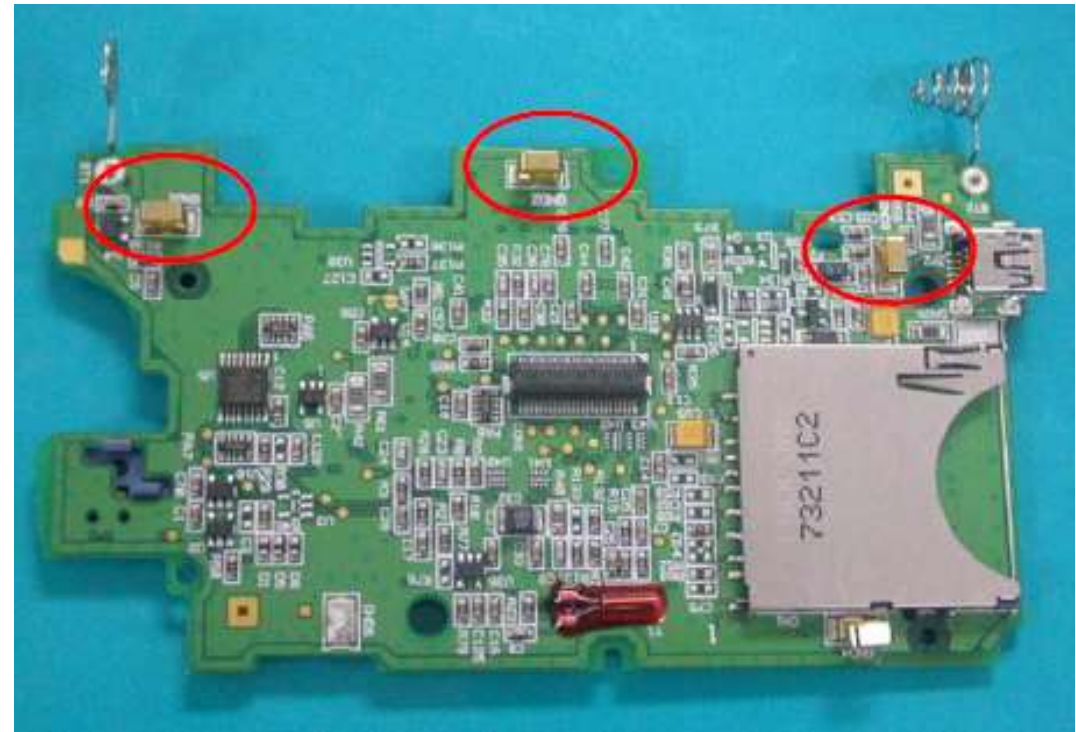
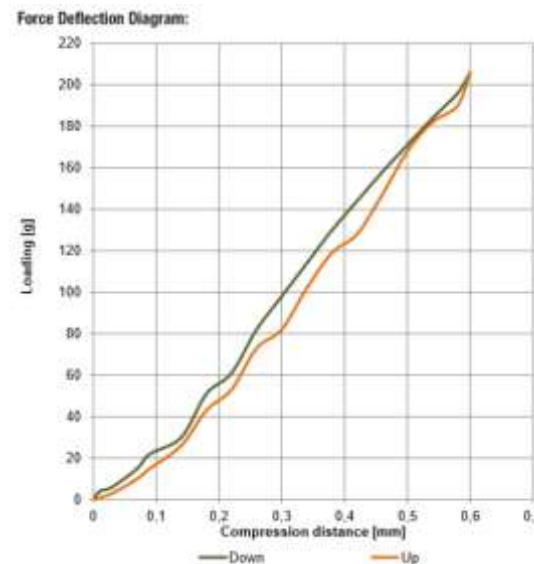
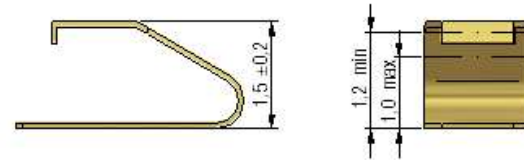
Abstandsbolzen



Erdungsband

Schirmungslösungen – Platine/Masseanbindung

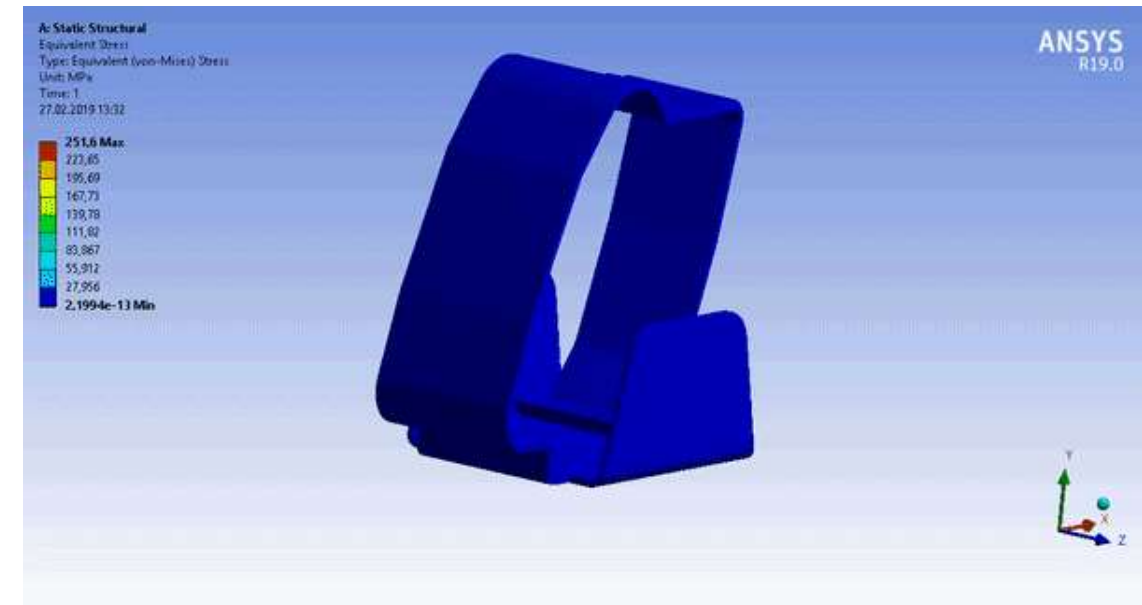
- Oberflächenverlötbare **Kontaktfedern** aus Kupfer-Beryllium oder Phosphor-Bronze
- Beschichtung:
 - Au: 38 nm
 - Ni: 0,1...0,5 μm
 - Sn: 0,8...2 μm
- Phosphor-Bronze ist geeignet für Ströme in **Leistungsschaltkreisen**.



Schirmungslösungen – Platine/Masseanbindung



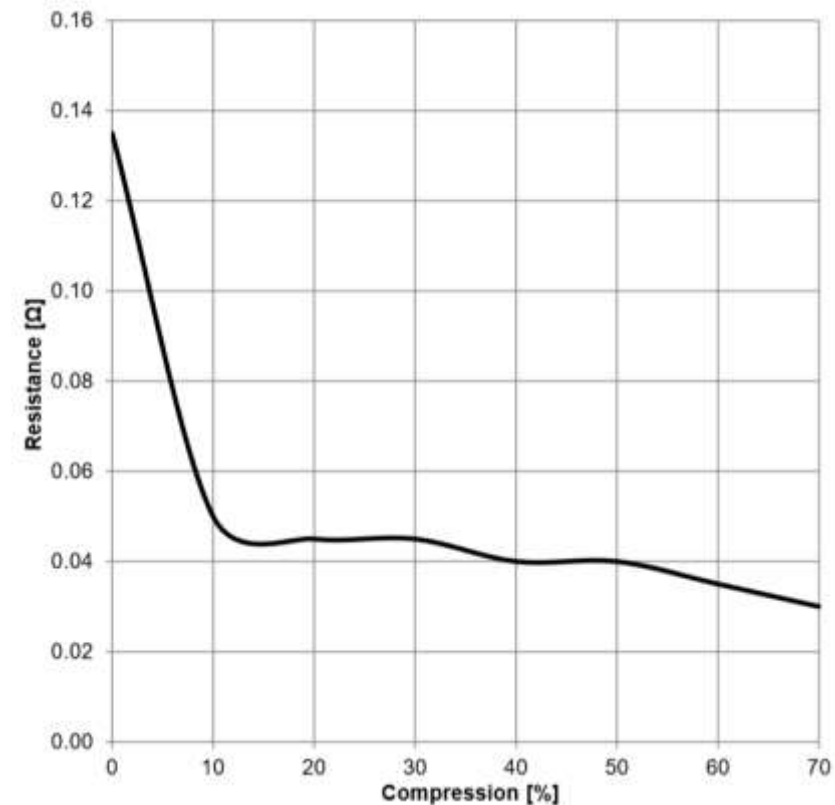
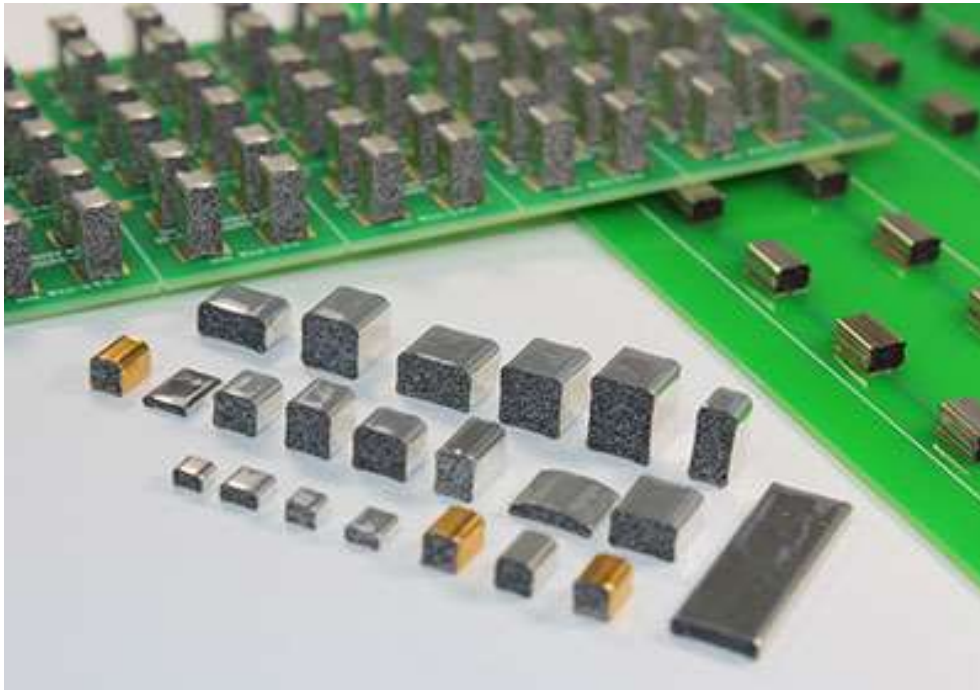
- Kontaktfedern verlieren bei **Überkompression** ihre Rückstellfähigkeit.
- Spezielle Designs verhindern Überkompression.



Schirmungslösungen – Platine/Masseanbindung



- Oberflächenverlötbare **Schaumstoffblock** mit **Beschichtung**
- Kann wie eine Kontaktfeder eingesetzt werden
- Optimale Kompression: 20...70%





**Wir sind jetzt für Sie da. Fragen Sie uns direkt
im Chat oder schreiben Sie uns eine E-Mail.**



eiSos-webinar@we-online.com
Steffen.Schulze@we-online.de