

EMV in der Automobiltechnik

- ▶ Einführung
(Bosch – ein Unternehmen stellt sich vor)
- ▶ 1 Grundlagen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) in der Automobiltechnik
- ▶ 2 EMV-Anforderungsanalyse und Design
- ▶ 3 EMV-Integration
- ▶ 4 EMV-Prüfverfahren in der Automobiltechnik
- ▶ 5 EMV-Simulation
- ▶ Literatur

Dr.-Ing. Wolfgang Pfaff



3. EMV Integration

3. EMV Integration

Übersicht

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

Typische EMV-Maßnahmen

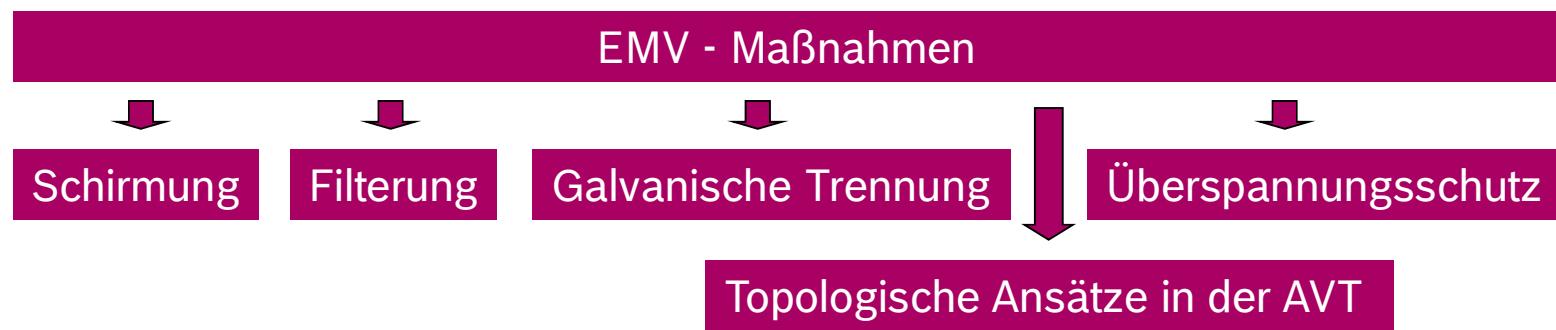
- ▶ **Definition:**
Modifikationen eines Produktes, die zur Verbesserung des EMV-Verhaltens führen, bezeichnen wir als EMV-Maßnahmen
- ▶ **EMV - Maßnahmen allgemein:**
 - Vermeidung / Reduktion der Störaussendung einer Störquelle
 - Verbesserung der Störfestigkeit einer Störsenke
 - Unterbrechung / Reduzierung der Verkoppelung eines Störfades



3 EMV Integration

► Klassifikation

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“



► Schirmung

- Vermeidung / Reduktion feldgebundener Beeinflussungen
- Anwendung in der Kfz-Technik - nur wenn nicht vermeidbar (Kosten, Gewicht, Bauraum)
- Schirmungskonzept: ggf. eines der wichtigsten Elemente im EMV - Konzept

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

▶ Filterung

- Vermeidung / Reduktion leitungsgebundener Beeinflussungen auf der Schaltungsebene
- Verbreitete Anwendung in der Kfz-Technik
- Eingangsfilter vor einer Störsenke
- Ausgangsfilter nach einer Störquelle
- Filterungskonzept: eines der wichtigsten Elemente im EMV-Konzept

▶ Galvanische Trennung

- Vermeidung leitungsgebundener Beeinflussungen
- Trenntransformatoren
- Optokoppler und Glasfaserverbindungen
- Relativ kostenintensive Maßnahmen
- Anwendung in der Kfz-Technik nur in ausgewählten Fällen

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

► Überspannungsschutz

- Nichtlineare Überspannungsschutzelemente
- Selten angewendet in der Kfz-Technik
- Detaillierte Behandlung: siehe Vorlesung „Grundlagen EMV“

Schutzdioden
Varistoren
Funkenstrecken
...

► Topologische Ansätze in der AVT

- Da die AVT sehr unterschiedliche Eigenschaften in Abhängigkeit von ihrer Geometrie besonders bei höheren Frequenzen zeigt, kann man durch die optimale Wahl der Geometrie (Layout, Stanzgitter, Position, Abstände und Orientierung der Module, usw.) das Störverhalten teilweise erheblich verbessern
- „Low-cost-Ansatz“ keine / kaum Zusatzkosten wegen EMV
- Genaue Betrachtung erforderlich → Bedarf an 3D-Simulation

3 EMV Integration

- ▶ **EMV-gerechtes Design \Leftrightarrow Kosten**
 - Sind alle EMV-Maßnahmen anwendbar? Leider nicht...
 - Gründe: EMV-gerechtes Design ist eine sekundäre Anforderung
Die primären Anforderungen (Funktionsverhalten, Kosten, Gewicht, Volumen) führen zu einigen anderen Randbedingungen
- ▶ **3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen**
- ▶ **3.2 EMV-Schirmung**
- ▶ **3.3 EMV-Filterung**
- ▶ **3.4 Topologische Ansätze**
- ▶ **3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“**
- ▶ **Beispiel: Kabelbäume im Kfz stellen die Hauptstörpfade dar**
 - ➔ **Idee:** Warum schirmen wir nicht alle Kabelbäume? Dann hätten wir vermutlich gar keine EMV-Probleme mehr ?!
 - ➔ **Nachteile:** Gesamte Kabelbaumlänge im Kfz: 2-5 km
Gewichtszunahme > 500 kg, Massiv höhere Kosten
 - ➔ **Fazit:** Nur ausgewählte Kabelbäume werden geschirmt ausgeführt (z.B. Zündung bei Sonderfahrzeugen, empfindliche Sensorleitungen, Hochvoltleitungen)

sonst



„P-Klasse“ - Kfz

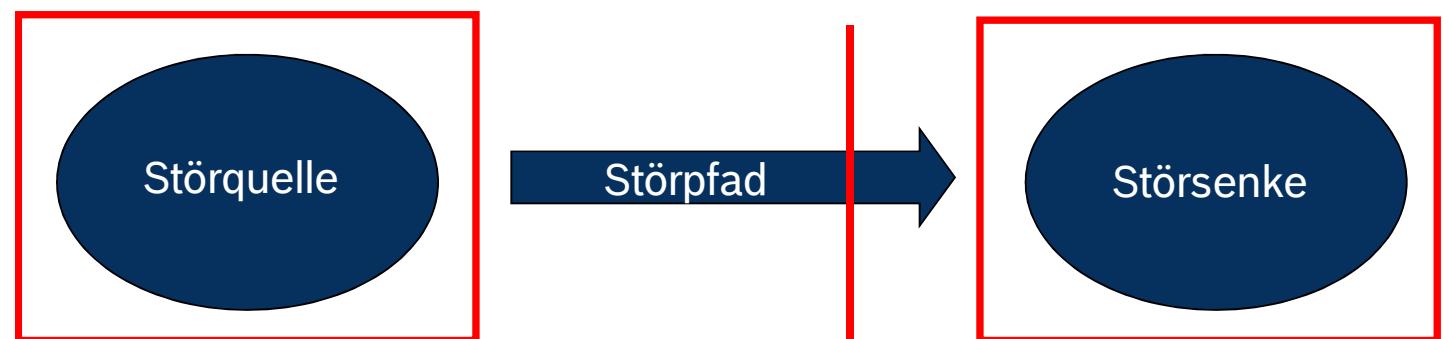
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

EMV - Schirmung

→ Prinzipielle Anwendungen

- Beschränkung der Störfelder auf ein abgeschlossenes Volumen (z.B.: im Motorraum)
- Schutz der empfindlichen Module oder Komponenten (z.B.: Steuergeräte- / Sensorgehäuse, Tunerbox in einem Kommunikationsgerät)
- Vermeidung des Störpfades (z.B.: Schirmblech zwischen einem Leistungsteil und einem Signalverarbeitungsteil / logischen Schaltungen)



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

Physikalische Grundlagen

→ Detailliert: Siehe Vorlesungsskript „Grundlagen EMV“

→ Überblick

- **Definition**

$$SE = 20 \log_{10} \left| \frac{E_{inc}}{E_{tr}} \right| \quad SH = 20 \log_{10} \left| \frac{H_{inc}}{H_{tr}} \right|$$

S_E : Schirmwirkung für das elektrische Feld

E_{inc} : einfallendes E-Feld

E_{tr} : E-Feld im geschirmten Raum

S_H : Schirmwirkung für das magnetische Feld

H_{inc} : einfallendes H-Feld

H_{tr} : H-Feld im geschirmten Raum

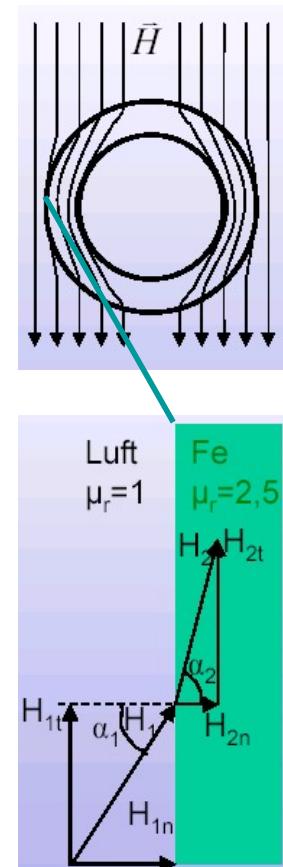
Schirmwirkung ist generell frequenzabhängig

- **Elektrostatische und quasistatische Felder**

Das E-Feld innerhalb eines ideal leitfähigen Schirmes ist Null → perfekte Schirmung.

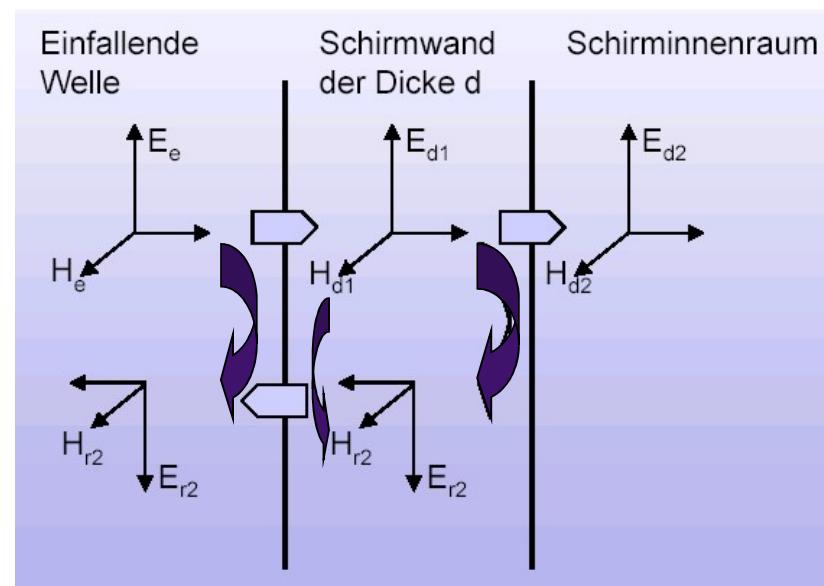
- **Magnetostatische Felder**

Schirmung mittels hoch permeabler Materialien



3 EMV Integration

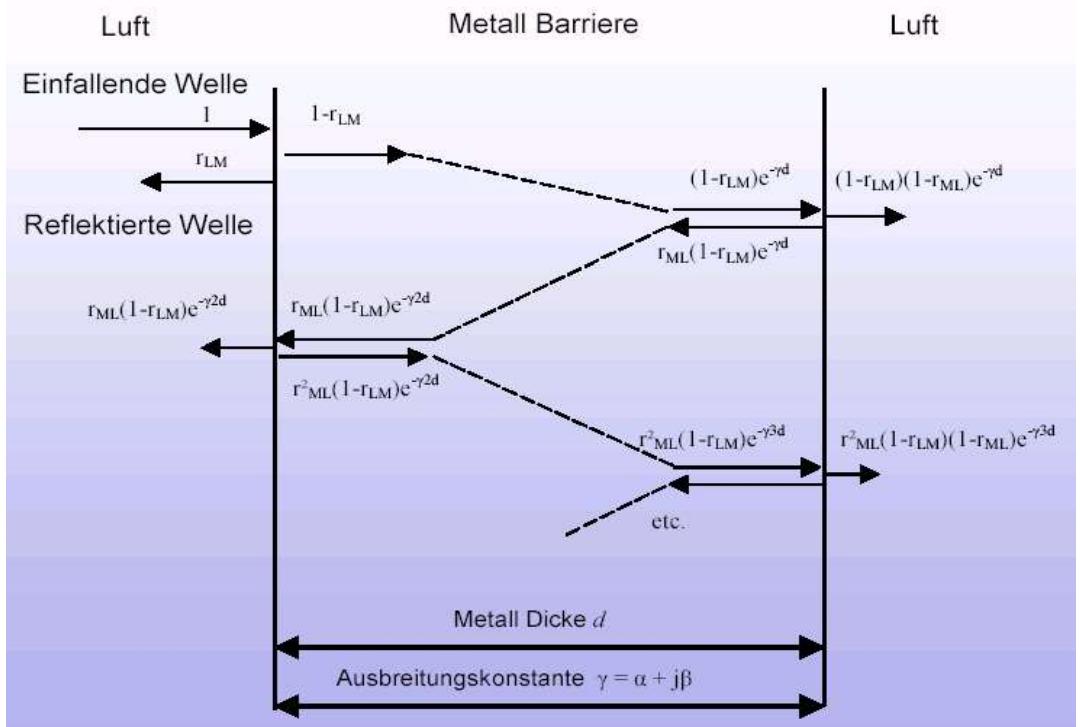
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
 - ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
 - ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - ▶ 3.4 Topologische Ansätze
 - ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
- Schirmung der elektromagnetischen Felder (relevant im EMV-Bereich)
- Schirmwirkung hat drei Anteile:
- Reflexionsdämpfung an den Grenzflächen
 - Absorptionsdämpfung durch die Abschwächung in der Schirmwand
 - Korrekturterm wegen der Mehrfachreflexion innerhalb der Schirmwand



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Wellenausbreitung in einer Schirmwand



→ Reflexionsdämpfung und Mehrfachreflexionsdämpfung dominieren bei niedrigen Frequenzen

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Durchlassfaktor für elektrische Feldstärke (Ebene Welle)

$$\rho = \frac{2Z_{w2}}{Z_{w1} + Z_{w2}}$$

$$Z_{w1} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \Omega \quad : \text{Wellenwiderstand des Vakuums}$$

$$Z_{w2} = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}} \quad : \text{Wellenwiderstand der Schirmwand}$$

Reflexionsdämpfung (ebene Welle): $a_1 = 20 \log_{10} \frac{E_2}{E_1} = 20 \log_{10} \frac{Z_{w1} + Z_{w2}}{2Z_{w2}}$

→ Verhalten: schwache Abnahme mit der Frequenz

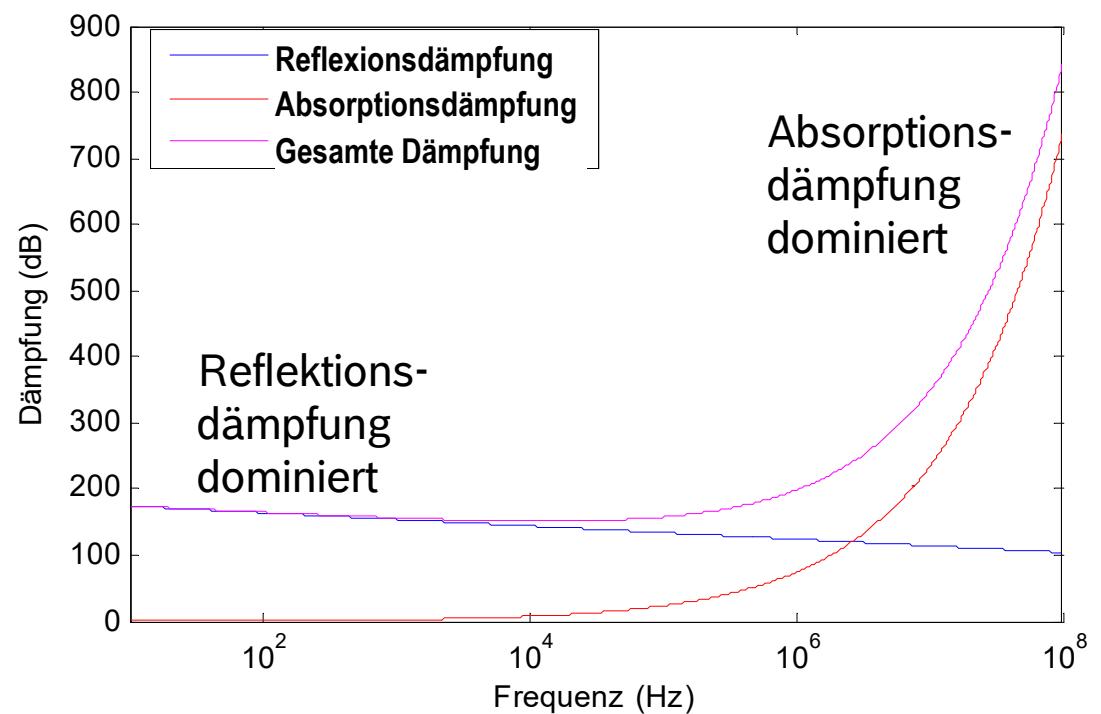
→ Absorptionsdämpfung dominiert bei höheren Frequenzen
(Ursache: Skineffekt)

$$a_2 = 20 \log_{10} e^{\frac{d}{\delta}} \quad \text{wobei} \quad \delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \gamma \mu}}$$

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Schirmdämpfung einer Kupferwand mit 0,5 mm Dicke (ebene Wellen)



→ Realität: mehrere Reflektionen, Hohlraumresonanzen und Öffnungen

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

Feldeinkopplung durch Öffnungen

- Idealer elektromagnetischer Schirm: geschlossene, perfekt leitende Hülle
- Realität → Schirm muss mehrere Funktionen erfüllen
 - Geometrie → Gehäuse, Karosserie
 - Kosten & Gewicht → Gehäuse kann teilweise aus Kunststoff bestehen
 - Thermik → Lüftungsöffnungen
 - Karosserie → Türen, Fenster
 - Gerätegehäuse → Knöpfe, Schalter (Kunststoff), Display, Lampen
 - Gehäuse besteht aus mehreren Teilen → Spalte zwischen leitenden Teilen
- Fazit:
 - Meistens mehrere Öffnungen → Beeinflussung der Schirmdämpfung

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Schirmwand mit einer Öffnung

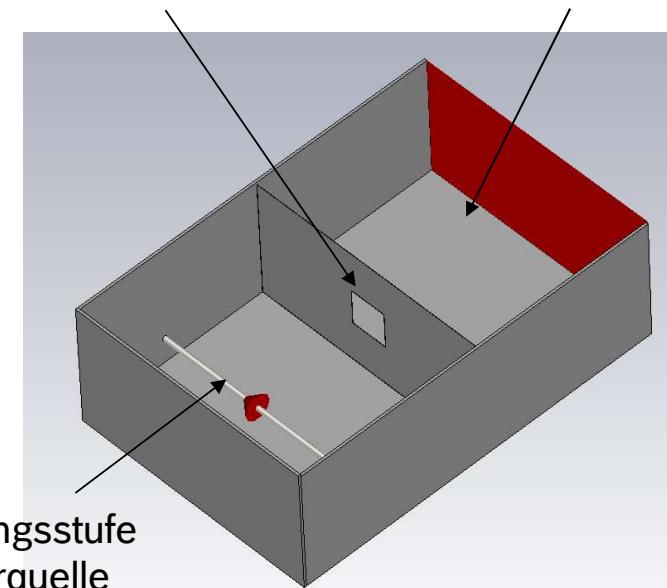
- Modell → Superposition: Wand + elektrische und magnetische Dipolantennen

→ Grundprinzip:

- bei niedrigen Frequenzen: elektrisch kleine Strahler → wenig Einfluss auf Schirmdämpfung
- Bei höheren Frequenzen elektrisch große Strahler → die Öffnungen definieren vollständig die Schirmdämpfung

Quadratischer Öffnung:
Seitenlänge: $a = 5 \text{ mm o. } 15 \text{ mm}$

Logikschaltung:
→ Störsenke



→ Beispiel: Geschirmtes Gehäuse (siehe Kapitel 2) mit einer Schirmwand zwischen der Leistungsstufe und der Logikschaltung

Leistungsstufe
→ Störquelle

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Simulation bei 4,5 GHz, Seitenlänge der Öffnung: $a = 5 \text{ mm}$

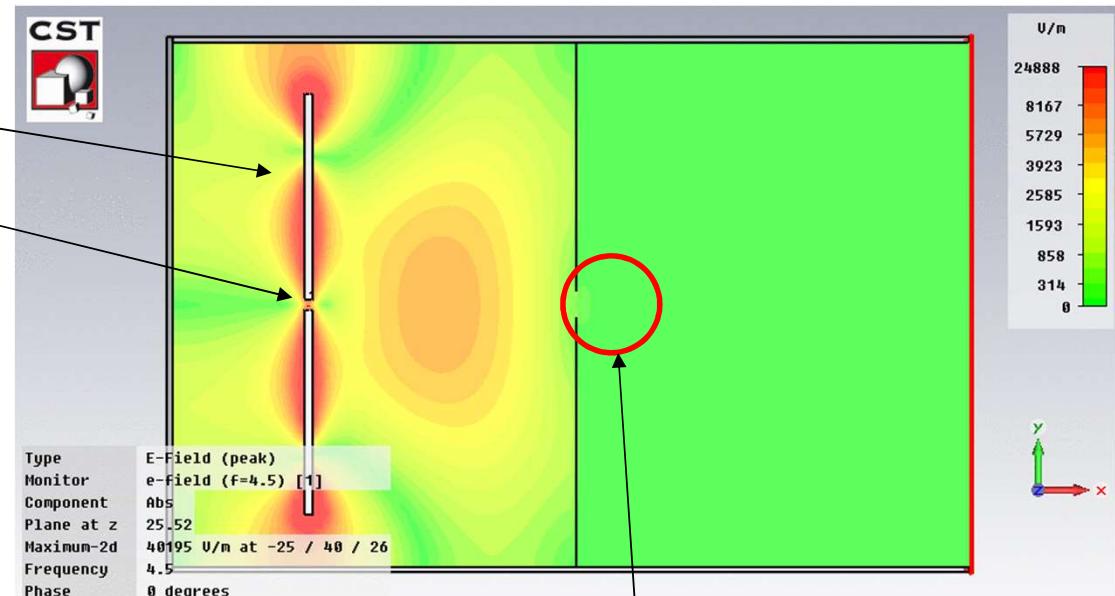
Dipolantenne:
Modell des Störquelle

Ideale Stromquelle

Wellenlänge: 67 mm

$$\lambda/a \approx 13$$

Öffnung ist
elektrisch klein



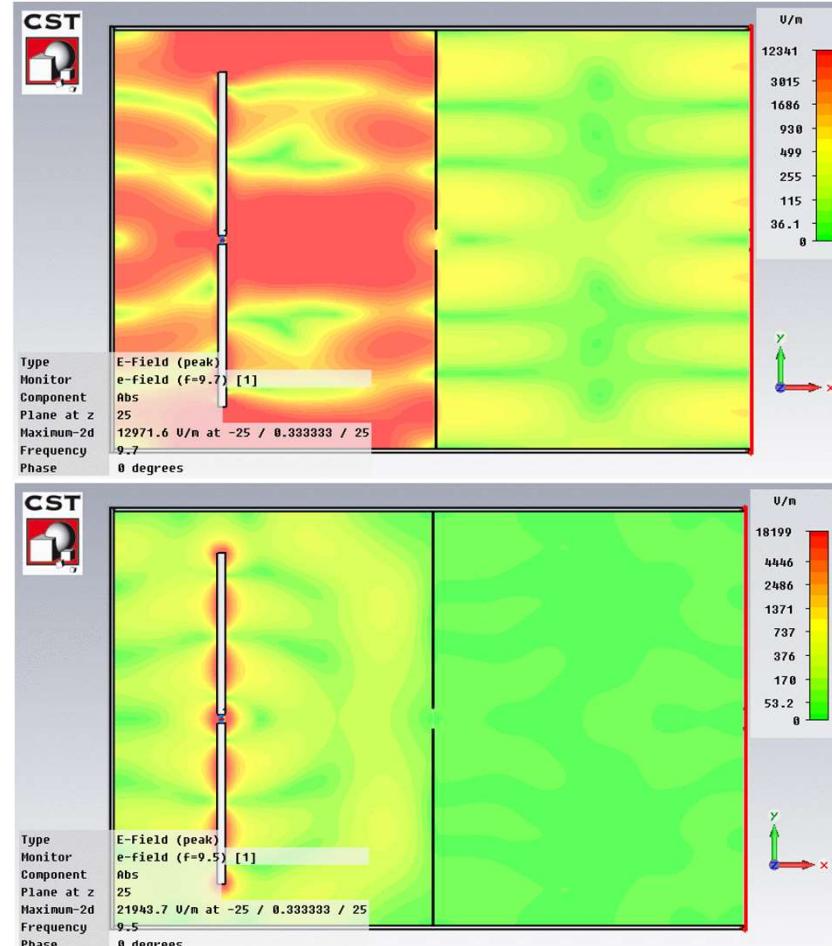
Nahfeld der elektrisch kleinen Antenne

→ Fazit: Beeinflussung der Schirmdämpfung ist gering

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

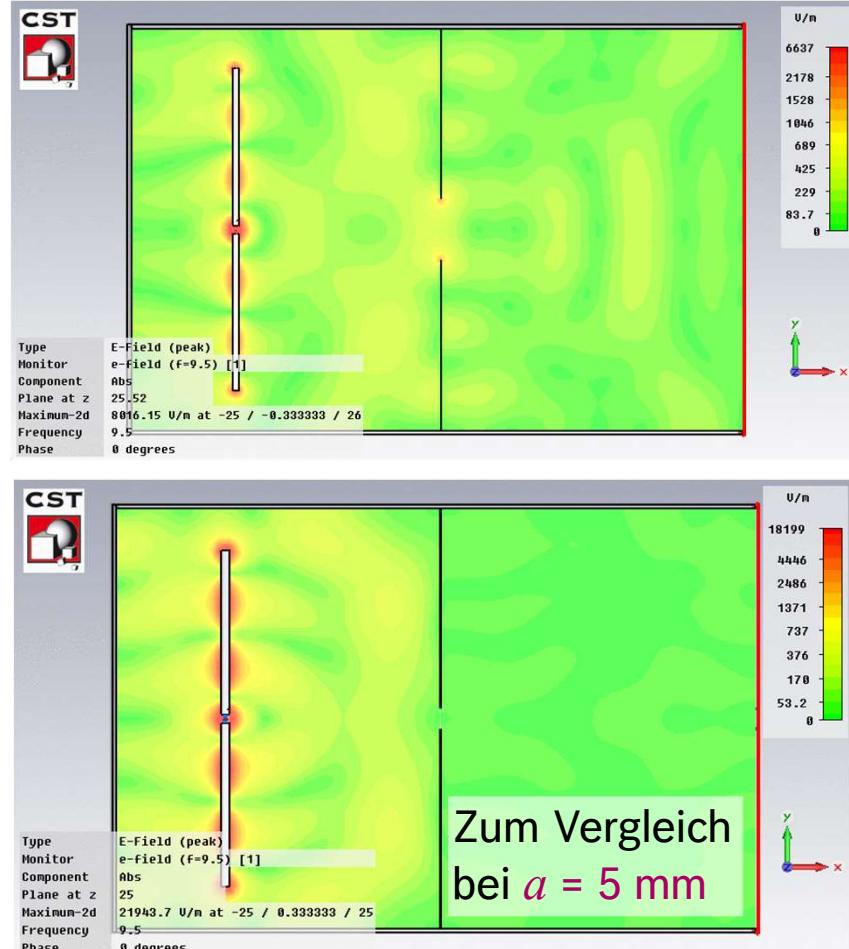
- ➔ Simulation bei 9,7 GHz,
Seitenlänge: $a = 5 \text{ mm}$
 - Hohlraumresonanz
 - $\lambda/a \approx 7$
 - Feld dringt hindurch
 - Anregung der Resonanzschwingungen
- ➔ Simulation bei 9,5 GHz,
Seitenlänge: $a = 5 \text{ mm}$
 - keine Hohlraumresonanz
 - $\lambda/a \approx 7$
 - Feld dringt nur wenig hindurch
- ➔ **Fazit:** Hohlraumresonanzen → Beeinflussung möglich



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

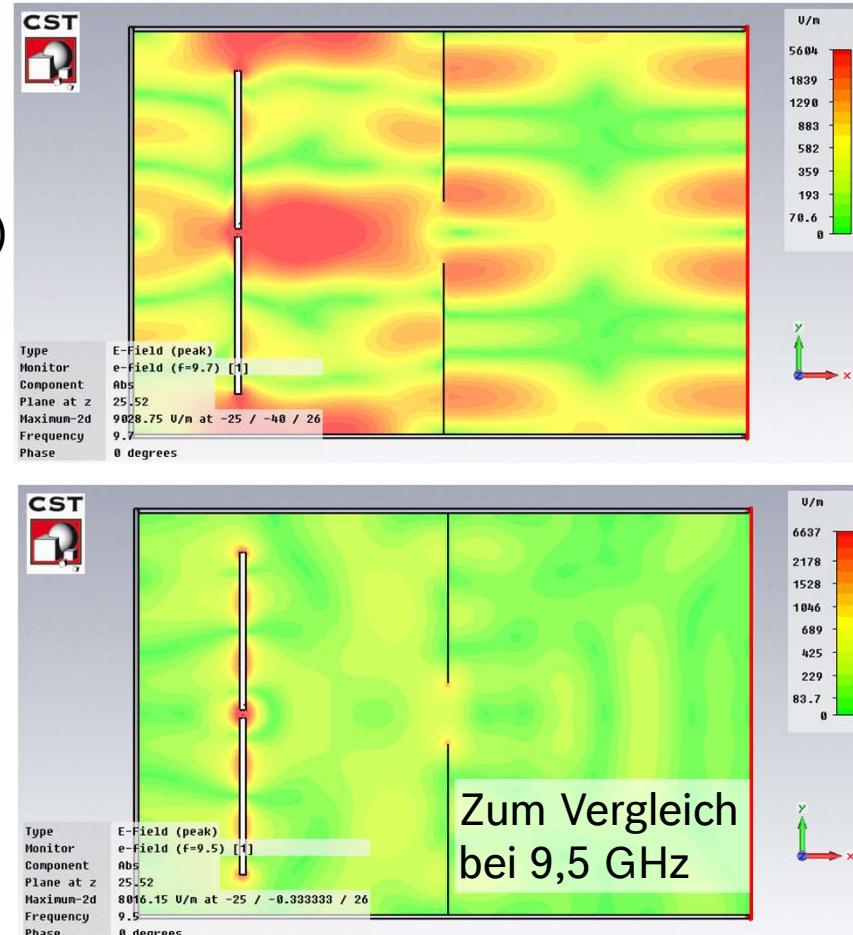
- ➔ Simulation bei 9,5 GHz,
Seitenlänge: $a = 15$ mm
 - $a = \lambda/2,1$
 - keine Hohlraumresonanz
 - EM-Wellen dringen durch die Öffnung hindurch
- ➔ Fazit:
Beeinflussung der Schirmdämpfung durch das Verhältnis zwischen Wellenlänge und Größe der Öffnung ist hoch



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

- Simulation bei 9,7 GHz,
Seitenlänge: $a = 15$ mm
 - **Worst case !**
 - $a = \lambda/2$ (Öffnung $-\lambda/2$ -Antenne)
 - Hohlraumresonanz
 - EM-Wellen dringen durch die Öffnungen am besten hindurch
 - Schirm ist „transparent“ →
 - Man sieht die gemeinsamen Hohlraumresonanzmoden in beiden Halbräumen
- Fazit:
 - Extrem starker Einfluss
 - Schirmdämpfung sehr gering



3 EMV Integration

► 3.1 Typische EMV-

Maßnahmen:
Klassifikation und
Anwendungen

► 3.2 EMV-Schirmung

3.2.1 Physikalische
Grundlagen

3.2.2 Feldeinkopplung
durch Öffnungen

3.2.3 Kabelschirmung:
Überblick

3.2.4 Schirmung auf
Leiterplattenebene

3.2.5 Praxis bei Bosch
Design Rules

3.2.6 Beispiel: Schirmung
elektrischer Motoren

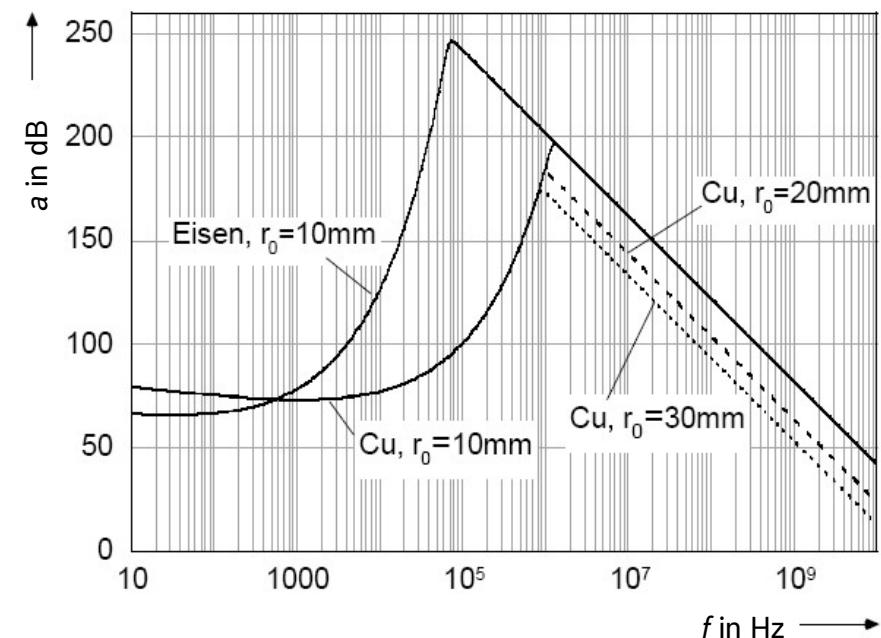
► 3.3 EMV-Filterung

► 3.4 Topologische Ansätze

► 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Beispiel: Schirmdämpfung einer metallischen Wand mit einer runden Öffnung (Radius r_0), berechnet im Abstand 1 m hinter der Wand

- Bei niedrigen Frequenzen:
Absorptions- und Reflektionsdämpfung
- Im MHz-Bereich starke Beeinflussung
- Schirmdämpfung hat ein Maximum



Quelle: [Wolfsperger 2006]

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

Kabelschirmung: Überblick

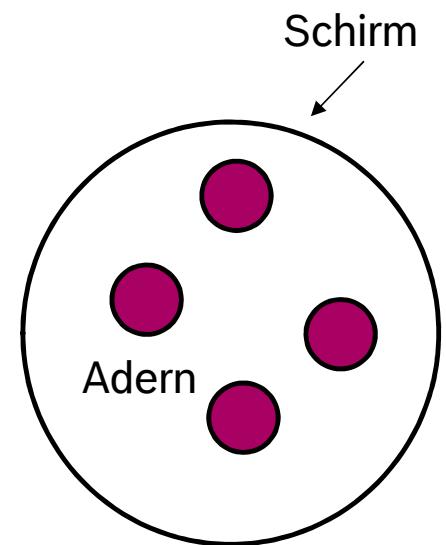
- Leitfähige Kabelhülle wirkt als Schirm, keine prinzipiellen Unterschiede zur allgemeinen Schirmung
- Schirmeffektivität eines Kabels definiert man durch die längsbezogene Koppelimpedanz (engl.: *transfer impedance*):

$$Z_{t,i} = \frac{V_{s,i}}{I_s}$$

I_s : Störstrom in der Kabelhülle

$V_{s,i}$: induzierte Störspannung in der Ader i

- Je höher Koppelimpedanz ist, desto schwächer ist die Schirmwirkung

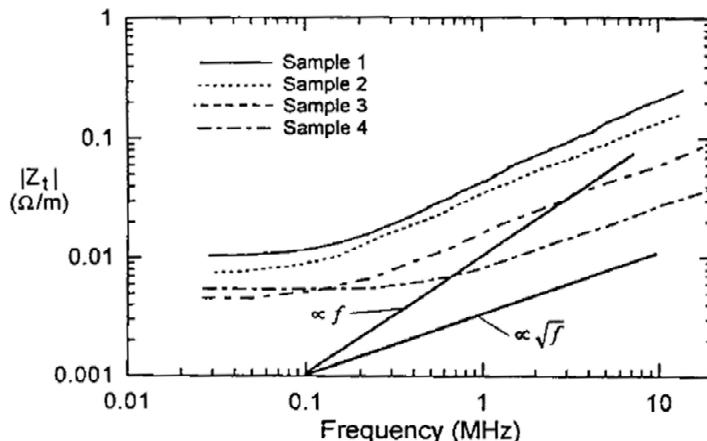


3 EMV Integration

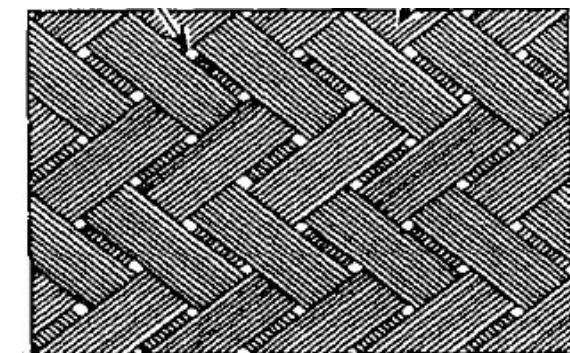
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Koppelimpedanz

- Mehrere unterschiedliche Modelle
(an diesem Thema wird auch heute noch geforscht)
Vance, Tyni, Sali, siehe [Tesche 1997]
- Relevante Effekte:
Skineffekt, Proximity-Effekt und
Feldeinkopplung durch Aperturen
- Typisches Verhalten:



Kabelschirm



Fazit: Schirmwirkung sinkt bei höheren Frequenzen (Ursache: Öffnungen)
Verbesserungen: Mehrlagenschirm, Festmantelkabel, etc.

Quelle: [Tesche 1997]



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

Schirmung auf Leiterplattenebene

→ Ziele

- Schirmung der empfindlichen Leiterzüge gegen Übersprechen
- Schirmung der empfindlichen Module (z.B. IC-Schaltungen) gegenüber Feldstörungen

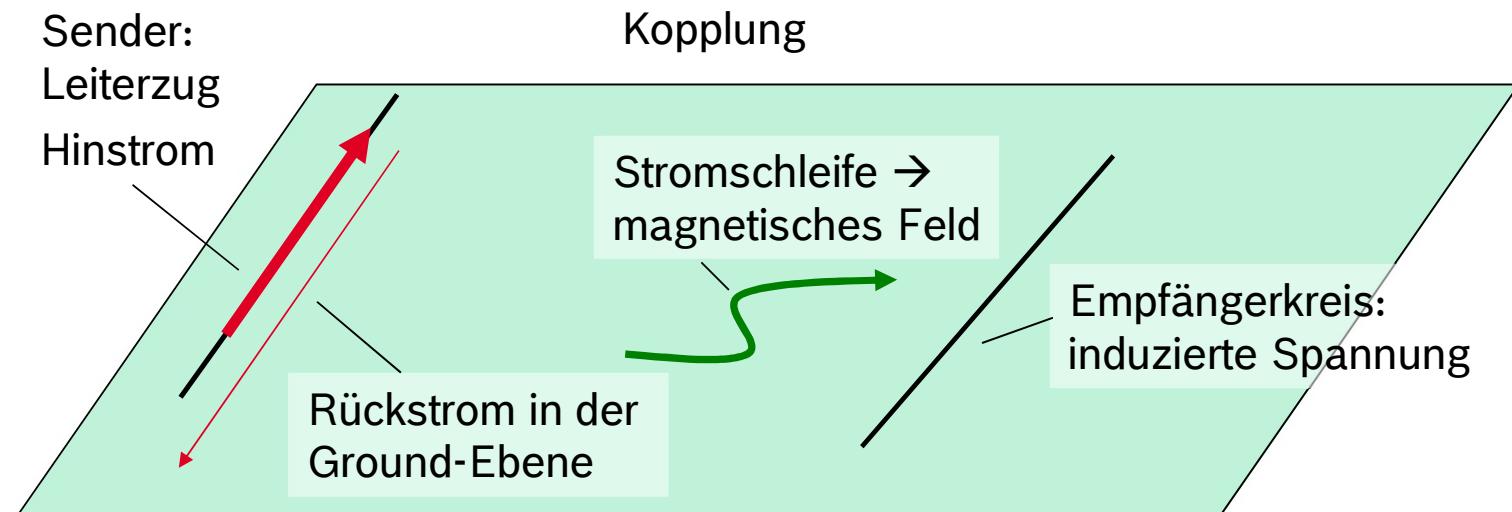
→ Maßnahmen

- Schirmblech oder Schirmbox für empfindliche Module (z.B. Tunerbox für Empfänger und Senderschaltungen)
- Ground-Ebene (z.B. möglichst durchgehende Massefläche im Lagenaufbau)
 - Verminderung des Nebensprechens
 - Schirmung gegenüber äußeren Störungen
- „Guard Traces“: parallel verlaufende, mehrfach zur Massefläche hin kontaktierte Schirmleitungen (Anwendung: meist nur bei Leiterzügen, die Störungen von Störquellen führen → Aufwandsminimierung)

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

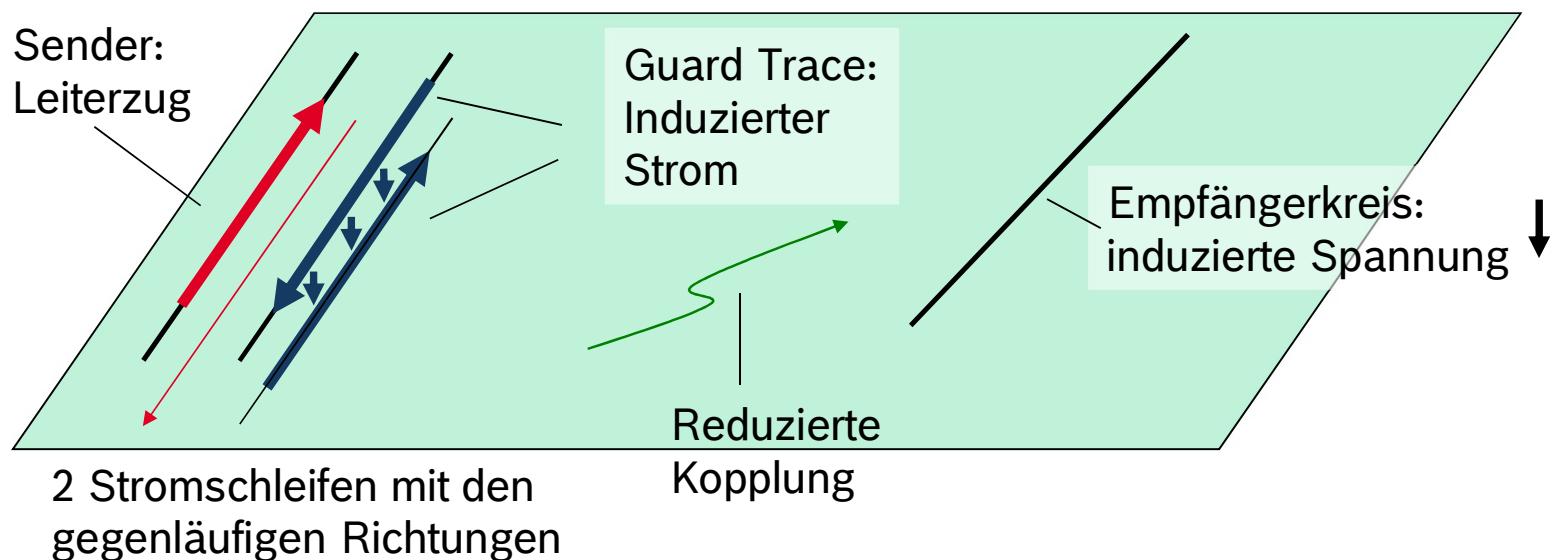
- **Schirmleiterzüge (Guard Traces)**
 - Kostengünstig
 - Keine spezielle Technologien notwendig
 - Nachteil: ggf. zusätzliche Resonanzen
- **Magnetische Kopplung ohne den Schirmleiterzug: Grundlagen**



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Magnetische Kopplung mit dem Schirmleiterzug: Grundlagen



→ Fazit

Die magnetische Felder des Signal- und Schirmleiterzuges gleichen sich aus (Kompenstation) → Schirmwirkung

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Beispiel: Simulation eines Schirmleiterzuges

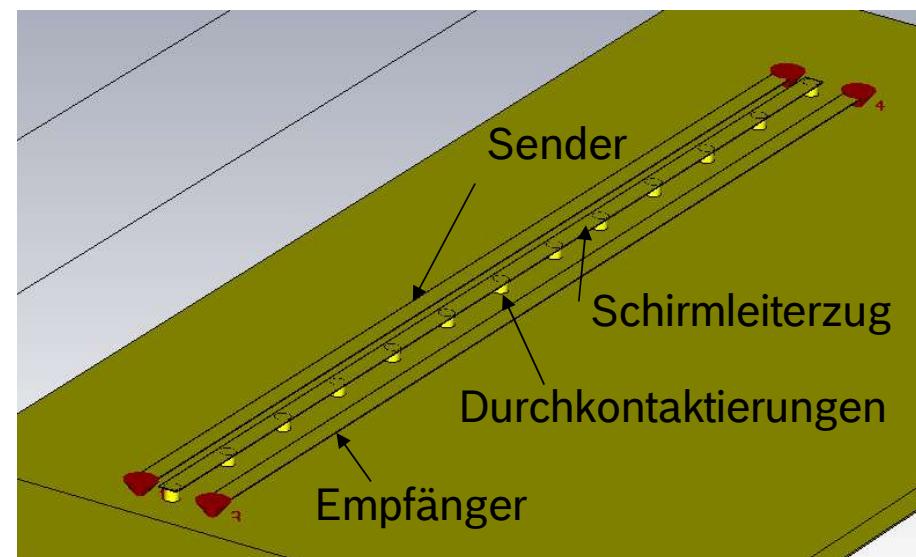
- 2-lagige Leiterplatte (Lage 1: Signalleiterzüge, Lage 2: Ground)
- Substrat: 0,6 mm, FR-4 (Leiterplatte - Materialbezeichnung)
- Leiterzüge: Breite 1 mm, Länge 60 mm
- Rechnerische Experimente:

1) ohne Schirmleitung

2) mit Schirmleitung,
Vias alle 10 mm

3) mit der Schirmleitung,
Vias alle 5 mm

Vias: Durchkontaktierungen

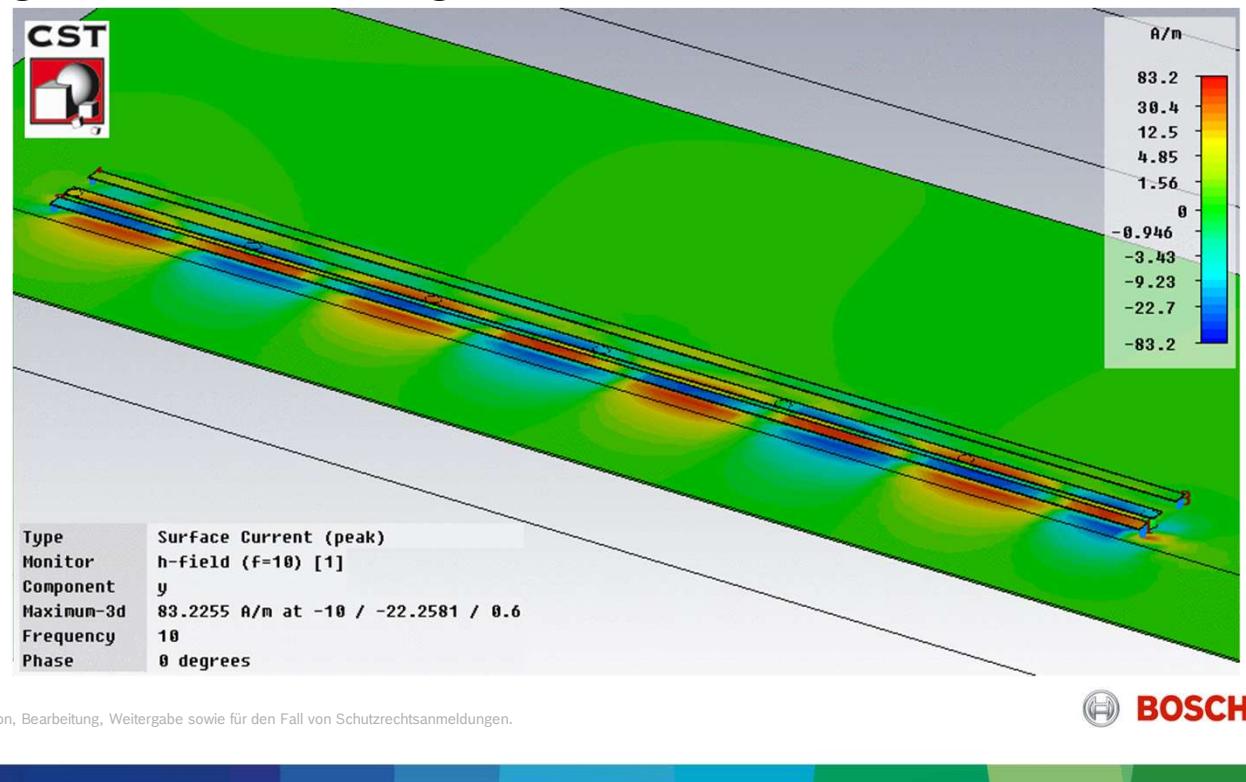


3 EMV Integration

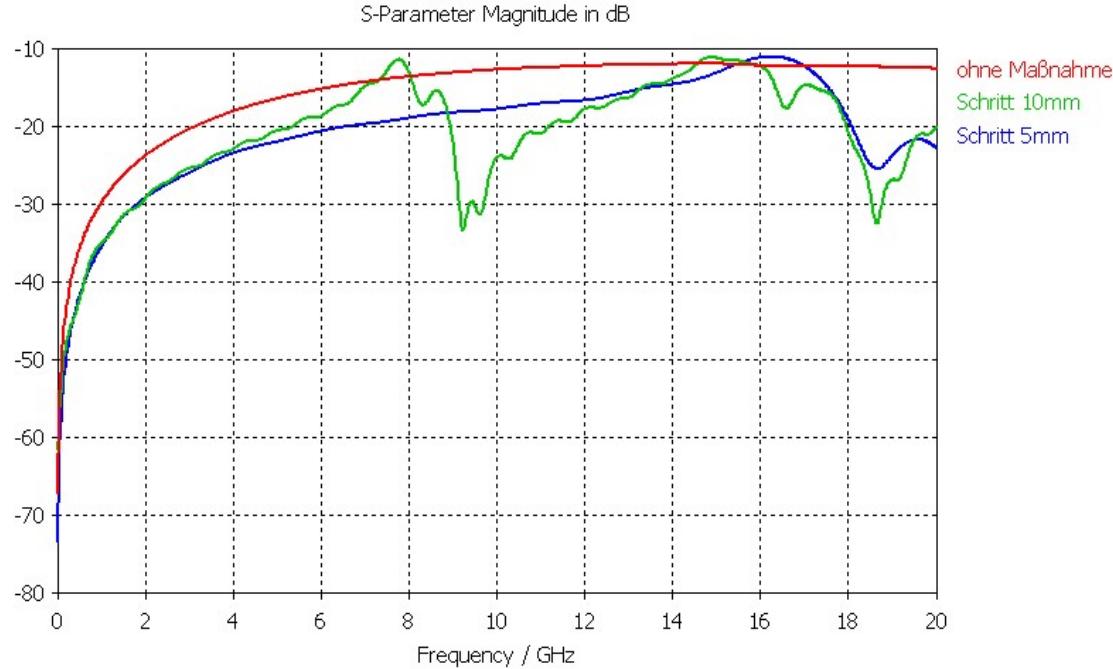
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ 3D-Stromverteilung

- TEM - Wellen laufen entlang der Senderleitung
- Die Schirmleitung trägt die induzierte Wellen mit ca. 180° Phasenverschiebung
- Ergebnis: Schirmwirkung



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
 - ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
 - ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - ▶ 3.4 Topologische Ansätze
 - ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
- Simulationsergebnis: Transmissionsfaktor $S_{31}(w)$ [Quelle-Senke]
- Ohne Schirmleitung: mit der Frequenz zunehmende Verkopplung mit konstantem Endwert für den Transmissionsfaktor (ca. 12 dB Dämpfung)
 - Schirmleitung: unterschiedliche Abstände zwischen den Durchkontaktierungen
- Abstand: 10 mm
→ erste Resonanzfrequenz entspricht der doppelten Laufzeit $T = v_c \cdot 20 \text{ mm}$
→ $f \approx 7,8 \text{ GHz}$
- Abstand: 5 mm
→ Resonanz bei $f \approx 16 \text{ GHz}$
- 

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung:
Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Schirmleiterzüge: Zusammenfassung

- Relativ geringe Schirmdämpfung
- Maßnahme: unwesentliche Layout-Änderung
- Keine Kostenerhöhung
- Der Abstand zwischen Durchkontaktierungen muss klein genug gewählt werden
- Das Kriterium für die Wahl des Abstandes zwischen Durchkontaktierungen:

$$S_{vias} \ll \frac{\epsilon_{eff}}{f_m c_0}$$

mit ϵ_{eff} : effektive Permittivitätszahl des Substrates
 c_0 : Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
 f_m : Grenzfrequenz der Störgröße

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

Praxis von Bosch - AE/EMC: Design Rules

Design Rules : Anwendung bei der EMV-Integration:

- Design Rules sind zu beachtende Regeln
- Design Rules sind eine Sammlung von Design-Hinweisen
- Es gibt Design Rules in allen Bereiche der EMV-Integration
[Quellen: Erfahrung (z.B. bei Bosch - AE/EMC und Literatur)]
- EMV-Integration nach Design Rules – Vorteile:
 - EMV-Entwickler kann umfangreiche Untersuchungen (Entwicklungsmessungen oder Simulationen) vermeiden → Kosten ↓
 - Iterationszahl kann vermindert werden → Zeit und Kosten ↓
- Auf Basis Design Rules entwickeltes EMV-Konzept muss messtechnisch oder durch Simulation validiert werden. Design Rules geben nur die „Richtung im Prozess der EMV-Integration“ vor, zeigen aber keine endgültigen Lösungen

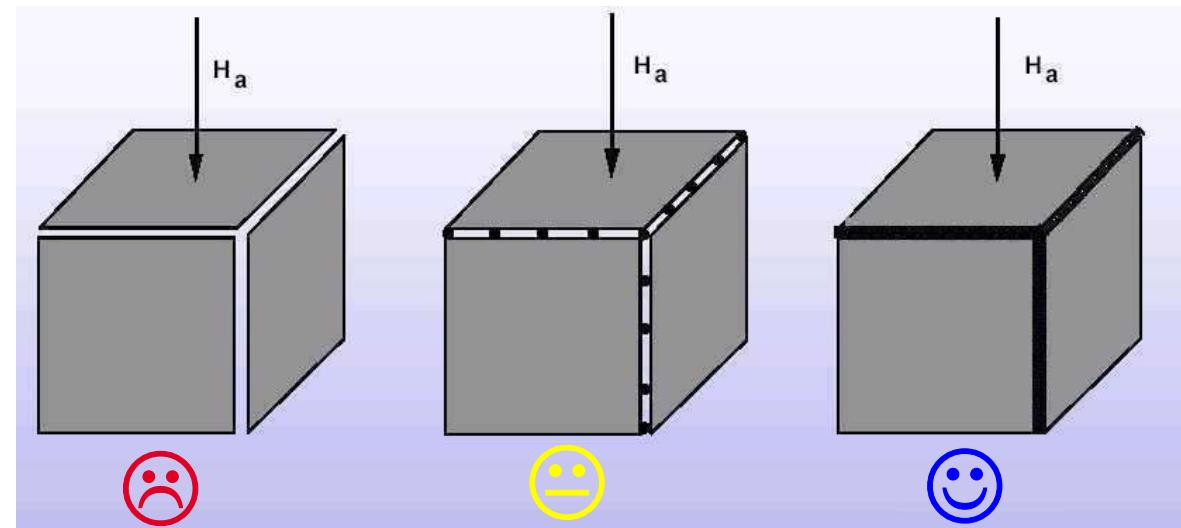
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

Ausgewählte Design Rules am Beispiel Schirmung

→ Verbindungsform

DR 3.1 Die Schirmwände sollen so gut wie möglich miteinander leitend verbunden sein.

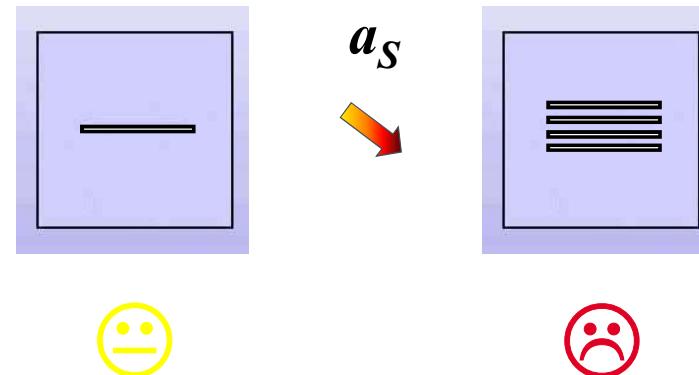


3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Gehäuse mit Schlitzen

DR 3.2 Möglichst wenig Schlitze, mehrere (gleich große) parallele Schlitze (Anzahl n) verringern die Schirmdämpfung gegenüber einem einzigen Schlitz um **$10 \times \log n$**

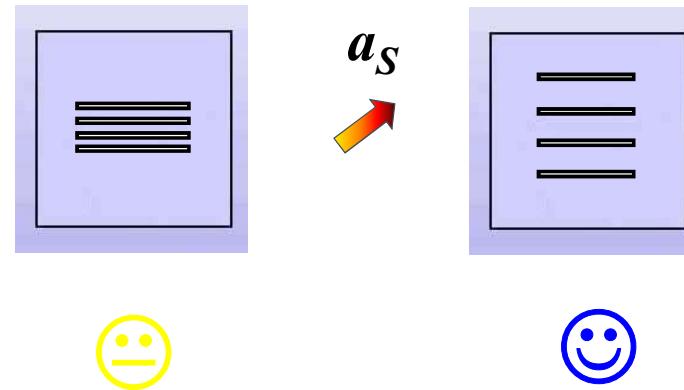


3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Mehrere Öffnungen

DR 3.3 Mehrere Öffnungen in einem Gerätegehäuse sind, wenn technisch möglich und sinnvoll, auf die Gehäusewände verteilt anzutragen.

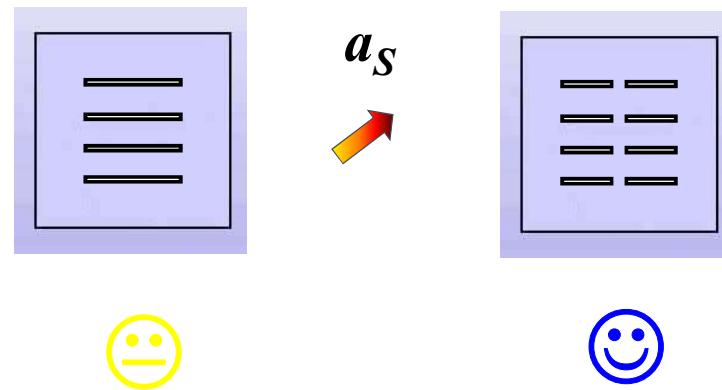


3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung:
Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Halbierung der Schlitzlänge

DR 3.4 Die Halbierung der Schlitzlänge durch Unterteilung von Schlitzen erhöht die Schirmdämpfung um **ca. 6 dB** bei gleichbleibendem Lüftungsquerschnitt.



3 EMV Integration

► 3.1 Typische EMV-

Maßnahmen:
Klassifikation und
Anwendungen

► 3.2 EMV-Schirmung

- 3.2.1 Physikalische Grundlagen
- 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
- 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
- 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
- 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
- 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren

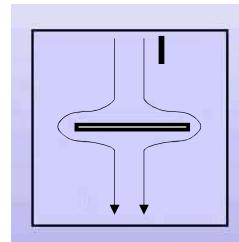
► 3.3 EMV-Filterung

► 3.4 Topologische Ansätze

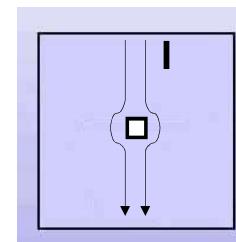
► 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Gehäuse mit Schlitz vs. Gehäuse mit runden Öffnungen

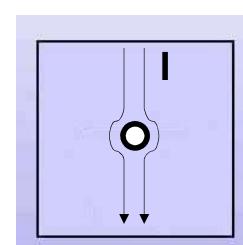
DR 3.5 Da das Ausmaß der Leckstrahlung hauptsächlich durch die maximale Längsausdehnung einer Öffnung bestimmt wird, sind die Geometrien Quadrat bzw. Kreis für Öffnungen in Gerätegehäusen bezüglich der Schirmdämpfung besser geeignet als Schlitzes (Größe / Durchmesser möglichst klein).



a_S



a_S

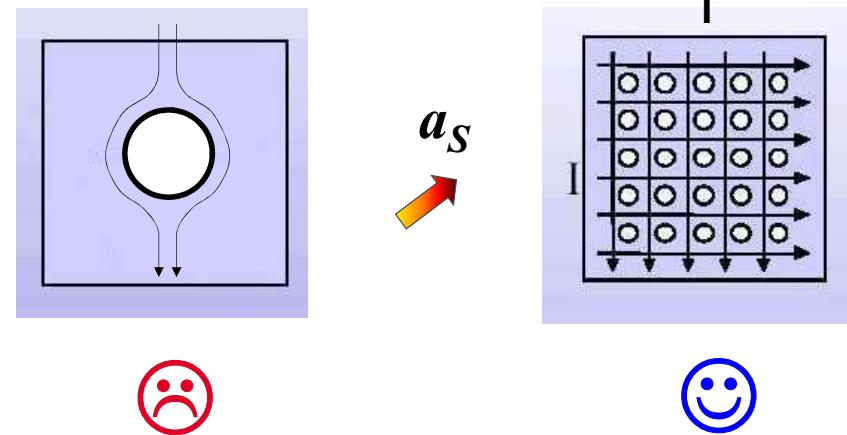


3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Viele kleine vs. wenige große Löcher

DR 3.6 Viele kleine Öffnungen stellen eine günstigere Ausführungsform der Gehäusebelüftung und -entlüftung dar, als eine große Öffnung.



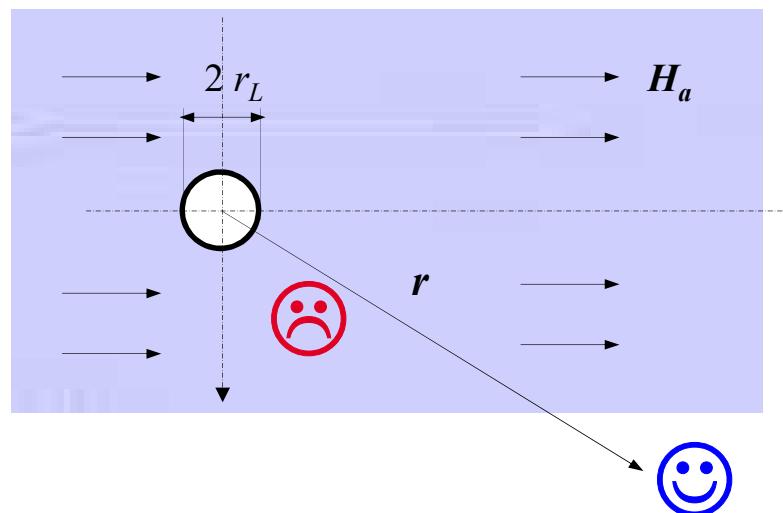
Die Schirmströme können fast ungehindert fließen, was höchst mögliche Schirmdämpfungswirkung ergibt.

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Abstand von elektrisch kleinen Löchern

DR 3.7 Bei Abständen, die größer als der **30-fache** Lochradius sind, kann die Lochwirkung vernachlässigt werden.



3 EMV Integration

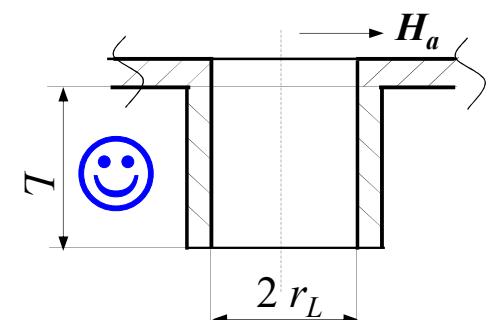
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Loch mit einem Kamin

DR 3.8 Ist die Lochwirkung nicht tolerierbar, aber eine Öffnung unverzichtbar, kann ein Kamin weiterhelfen.
Für eine Feldreduktion um den **Faktor 10** ist eine Kaminlänge $L = 1,25 \cdot r_L$ (Lochradius der Öffnung) notwendig.

Ein Kamin ist ein Hohlleiter, der eine Wellenausbreitung verhindert bzw. stark dämpft, wenn die Rohrweite klein gegenüber der Wellenlänge ist.

Anwendungsbeispiel Schirmkabine:
Wabenkamin für Belüftung
(Kombination von DR 3.6 und 3.8,
Durchführungen für Lichtleiter)



3 EMV Integration

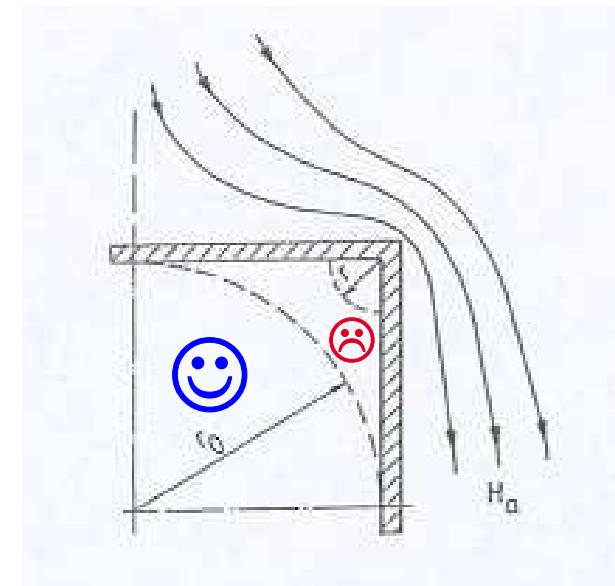
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Eckeneffekt

DR 3.9 Die Schirmdämpfung wird kleiner und zwar um so mehr, je dichter der Aufpunkt an die Ecke heranrückt.
Die Ortskoordinate r sollte nicht kleiner als der **0,36 fache** Wert des Eckeninnenradius r_0 sein

Starke Feldverdrängung durch die Ecke

- Außenfeldstärke steigt deutlich an
- Schirmdämpfung (gegenüber homogenem Feld) wird kleiner

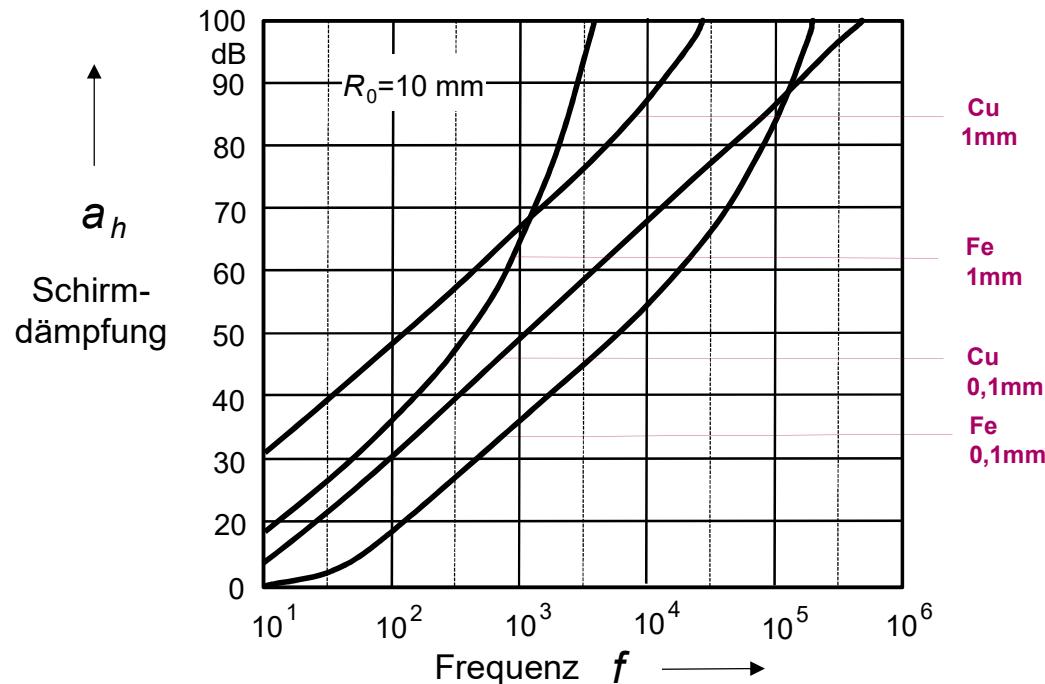


3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Schirmmaterialien (hochleitfähig, ggf. hochpermeabel)

DR 3.12 Kombination der Eigenschaften von permeablen und elektrisch leitenden Werkstoffen als geschichteter Fe-Cu-Schirm für Schirmung quasistatischer magnetischer Felder bei hohen Ansprüchen.



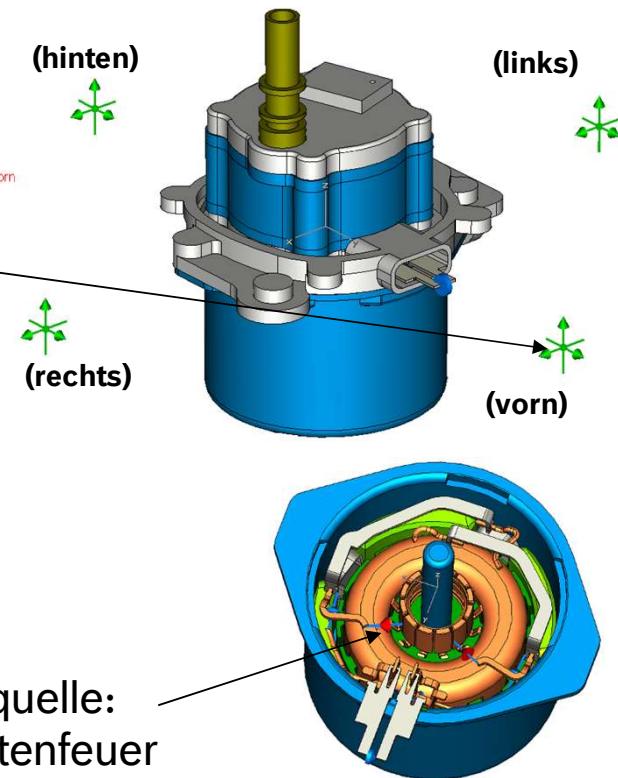
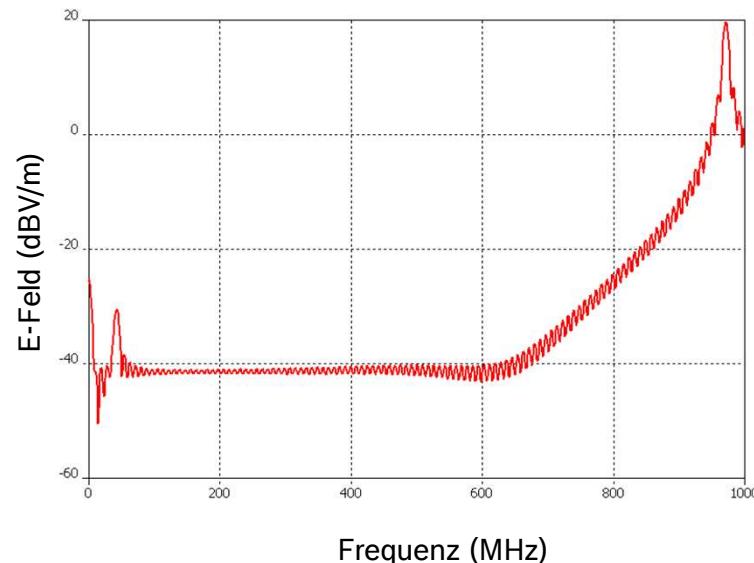
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren

→ Elektrische Vakuumpumpe

E-Feld vor dem Motorgehäuse



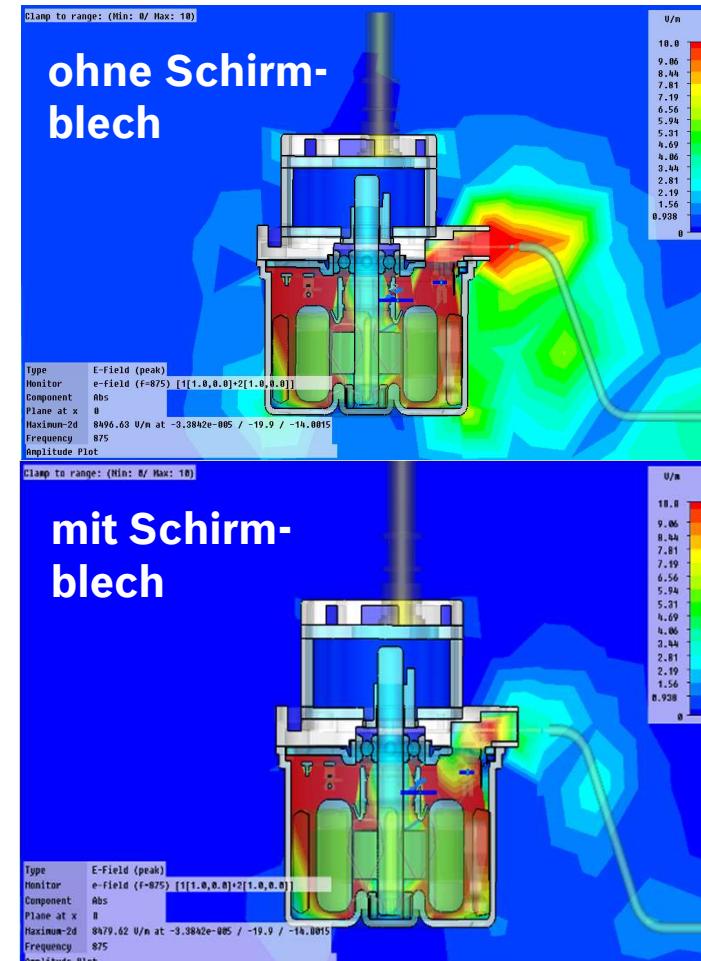
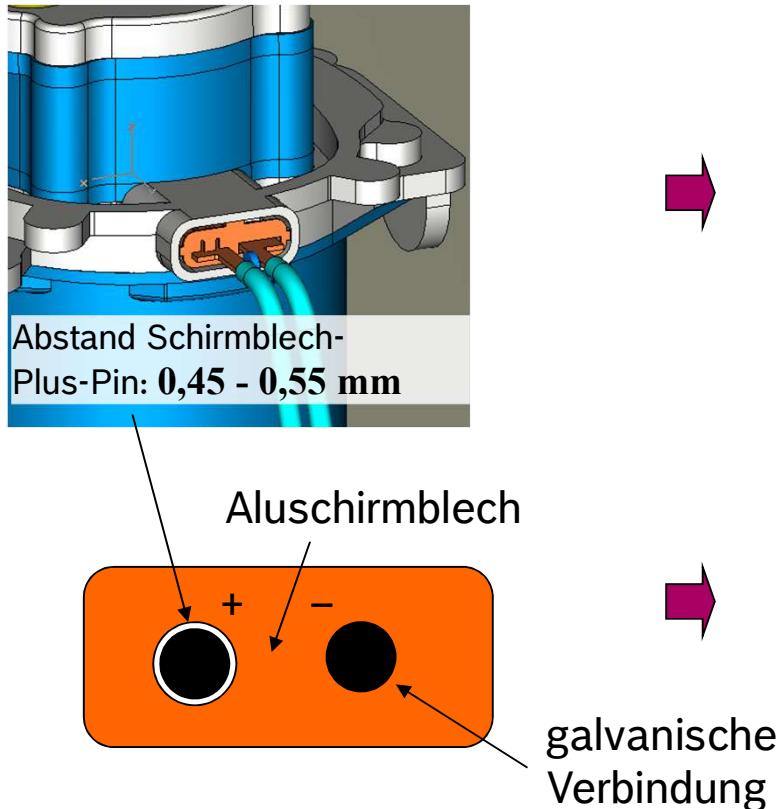
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
 - ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
 - ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - ▶ 3.4 Topologische Ansätze
 - ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
- Simulationsergebnisse zeigen, dass der Steckerbereich, wie erwartet, „undicht“ ist!
- H-Feld im Querschnitt bei $f = 975 \text{ MHz}$, Draufsicht (unten) Seitenansicht (rechts)
-
- | | |
|----------------|--|
| Type | H-Field (peak) |
| Monitor | h-field ($f=975$) [$1[1.0,0.0]+2[1.0,0.0]$] |
| Component | Abs |
| Plane at z | 0 |
| Maximum-2d | 23.9734 A/m at -3.3842e-005 / 31.0201 / -8.30148 |
| Frequency | 975 |
| Amplitude Plot | |

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - 3.2.1 Physikalische Grundlagen
 - 3.2.2 Feldeinkopplung durch Öffnungen
 - 3.2.3 Kabelschirmung: Überblick
 - 3.2.4 Schirmung auf Leiterplattenebene
 - 3.2.5 Praxis bei Bosch Design Rules
 - 3.2.6 Beispiel: Schirmung elektrischer Motoren
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Maßnahme: Schirmung des Steckers



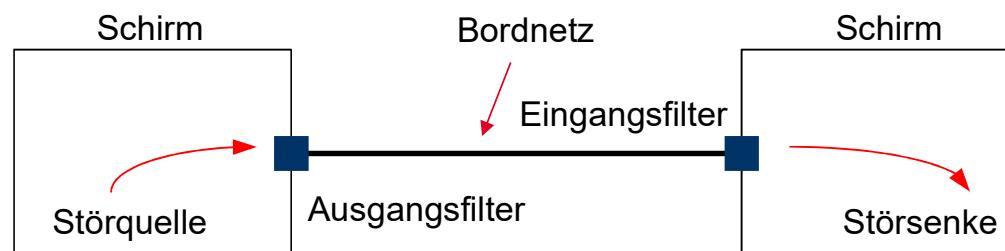
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

EMV – Filterung - Übersicht

Allgemein

- Maßnahme, die **nur** zur Unterdrückung von leitungsgebundenen Störungen (galvanische Kopplung) wirksam ist !
- Filterung verhindert nicht die feldgebundenen Störungen → Filterung ist geeignet, wenn kein paralleler feldgebundener Störpfad vorhanden ist bzw. wenn die feldgebundenen Störungen anders behandelt werden
- Typischerweise filtern wir die Störquellen (z.B. mit Glättungskondensatoren), die störempfindlichen Komponenten (z.B. mit Entstörkondensatoren) und die Pfade zwischen Modulen oder Systemen (z.B. mit Ein- bzw. Ausgangsfilter), wenn parallel ein Schirmgehäuse die feldgebundenen Störungen bedämpft

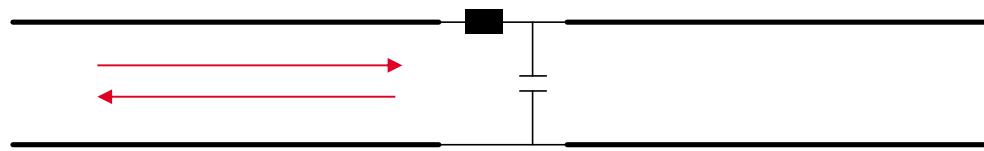


3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

Allgemeine Information

- Filterung: zwei prinzipielle Mechanismen
- Reflektion, z.B. Tiefpass in einer 50Ω -Doppelleitung



- Reflektionsfaktor: $\rho(\omega=0) = 0, \rho(\omega=\infty) = 1$
- Vorteile: niedrige Kosten, hohe Filterdämpfung
- Nachteil: Kein Energieverlust → Erhöhte Störung vor dem Filter (z.B. eventuell Leitungsresonanzen)

- Dissipation, z.B. durch Ferrite
 - Immer kombiniert mit der Reflektion
 - Benötigt Wirkleistungsabsorber (Wirkwiderstände oder absorbierende Medien)
 - Vorteil: Entnahme elektrische Störenergie
 - Nachteil: Kostenerhöhung

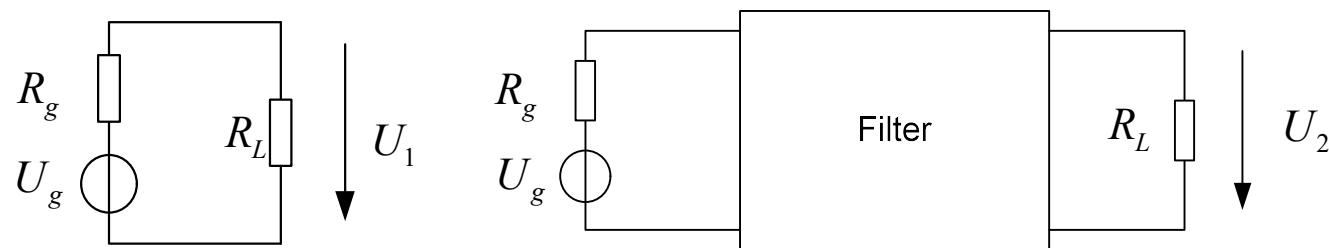


3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

Allgemeine Information

- Charakterisierung der Filtereffektivität:
Filterdämpfung oder Einfügedämpfung (*Engl: insertion loss*)
- Schaltung zur Messung der Filterdämpfung (Vergleich):



- $R_g = R_L = 50 \Omega$
- Kleinsignalmessungen → nichtlineare Effekte sind nicht beachtet
- Filterdämpfung:

$$a = 20 \log_{10} \frac{|U_2|}{|U_1|}$$

3 EMV Integration

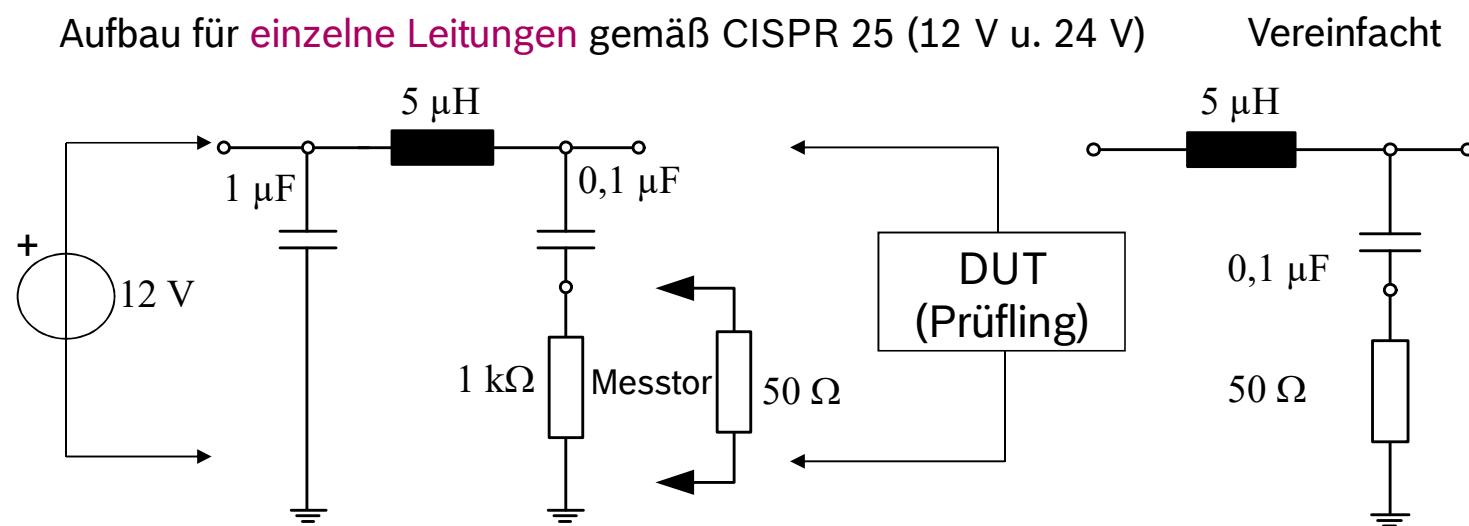
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
 - ▶ 3.4 Topologische Ansätze
 - ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
- **Bordnetz**
 - Leistungs-/Signalnetzwerke: ungeschirmte Drähte, Rückleiter über die Karosserie oder Stromversorgung über Zweidrahtanschluss im Kabelbaum
 - CAN-Bus, FlexRay, usw.: physikalischer Träger der Leitungsverbindungen sind verdrillte, ungeschirmte Drahtpaare
 - Geräte: entweder galvanisch oder kapazitiv mit der Karosserie verbunden
- Leistungs- und Signalleitungen wirken als Pfade für DM- und CM-Störungen
- EMV - Filter muss möglichst beide Störmoden effektiv bedämpfen
- Messung der leitungsgebundenen Störungen im Kfz-Bereich:
Bordnetznachbildung
- Die Messgröße „Störspannung“ ist in der Praxis das Maß für die Beurteilung der Filterdämpfung

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
 - ▶ 3.4 Topologische Ansätze
 - ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

Bordnetznachbildung

- Angewendet bei Prüfungen der leitungsgebundenen Störungen in der Kfz-Technik: Erfassung der Störspannung und Nachbildung langer Leitungen im Bordnetz („Doppelfunktion“) → Messung der Filterdämpfung
 - Bordnetznachbildung (engl: „*artificial network*“) ist in CISPR 25 bzw. CISPR 16 definiert
- Aufbau für **einzelne Leitungen** gemäß CISPR 25 (12 V u. 24 V)

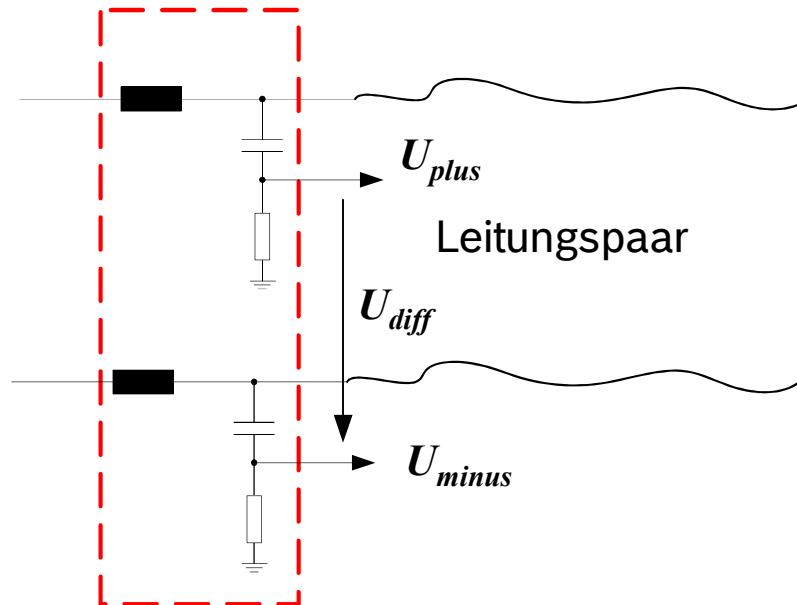


3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

Bordnetznachbildung

→ Für ein **Leitungspaar** wendet man zwei Bordnetznachbildungen an:



→ U_{diff} :

→ U_{plus} u. U_{minus} :

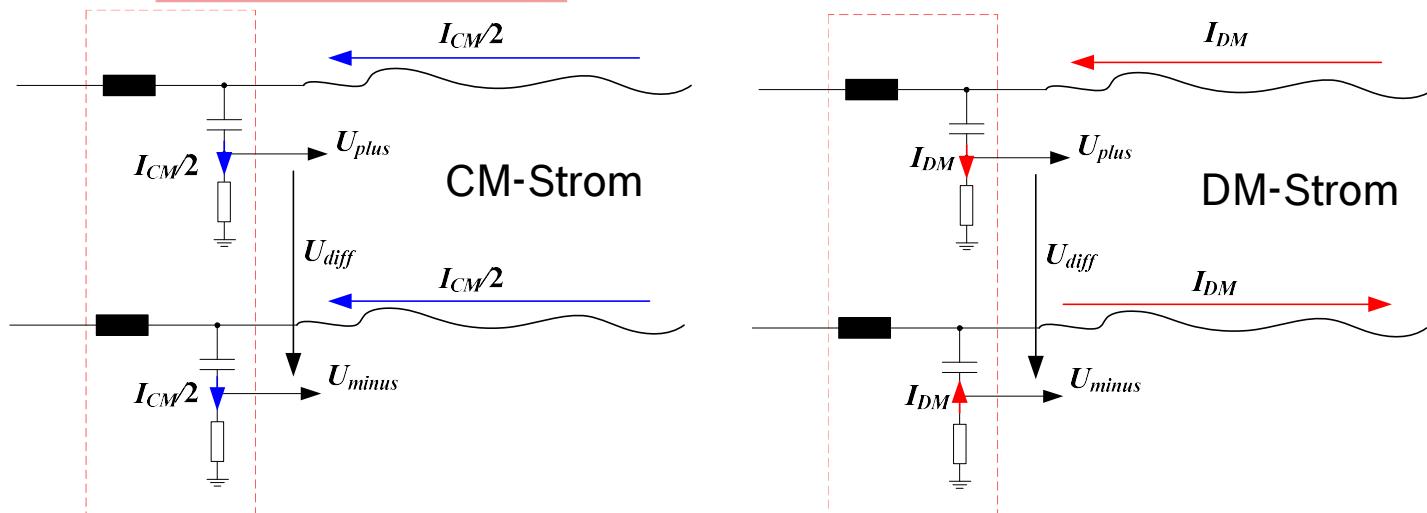
differenzielle Spannung (DM-Spannung)

nodale Spannungen

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

- Messung der CM- und DM-Störungen
- CM-Strom ist der Gesamtstrom zur Masse
 - jede der beiden Bordnetznachbildungen führt anteilig die „Hälfte“ des CM-Stromes
 - Parallel - Schaltung
 - DM-Strom fließt durch beide Bordnetznachbildungen
 - Reihen - Schaltung



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

→ Messung der DM-Störung: Ersatzschaltung

- Reihen - Schaltung der Messwiderstände
- Effektiv: Messwiderstand 100Ω

→ Messung der CM-Störung: Ersatzschaltung

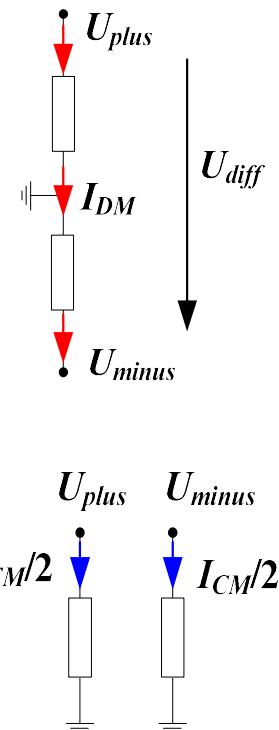
- Parallel - Schaltung der Messwiderstände
- Effektiv: Messwiderstand 25Ω

→ EMV-Normen: Bewertung der nodalen Störspannungen (U_{plus} und U_{minus}) → Grenzwerte

$$U_{plus} = 50 \Omega \left(\frac{I_{CM}}{2} + I_{DM} \right) \quad U_{minus} = 50 \Omega \left(\frac{I_{CM}}{2} - I_{DM} \right)$$

50 Ω Eingangsimpedanz Messgerät

→ Fazit: Beide Anteile beeinflussen die gemessene Störspannungen

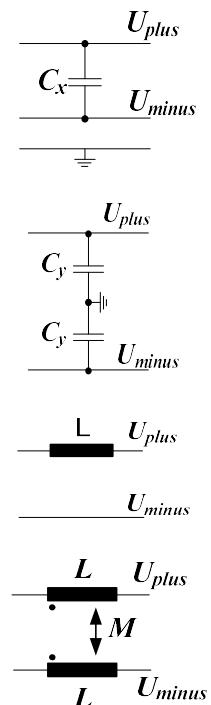


3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

Grundelemente des EMV - Filters

- Typische EMV-Filter sind passiv und bestehen aus vier Grundelementen, die die Dämpfung der CM- und DM-Störungen unterschiedlich beeinflussen
- Grundlegende Filterelemente:
 - X – Kondensator: Schaltung zwischen Kl. 30 und Kl. 31
(bzw. zwischen „Plus“ und „Minus“)
 - Y – Kondensatoren: Schaltung zwischen Leitung und Anbindung mit der Masse
 - Längsdrossel: Reihenschaltung im Strompfad
 - Gleichtaktdrossel, CM-Drossel
(Engl: Common-Mode Choke)



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

Grundelemente des EMV - Filters

→ Anwendung der Filtergrundelemente: Konsequenzen

	DM	DM>CM	CM	CM>DM
	X			
	X	X	X	X
	X		X	
			X	

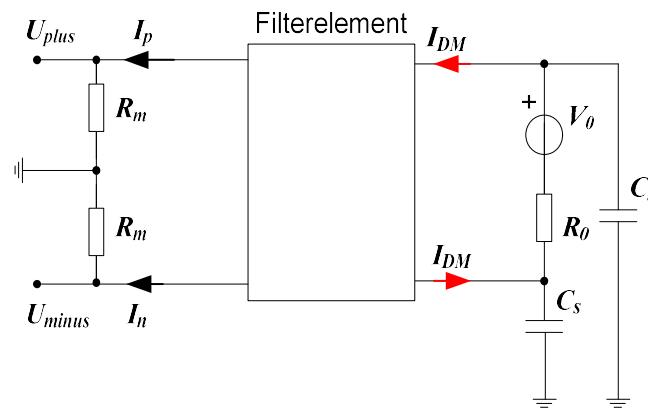
- DM: DM-Bedämpfung
- CM: CM-Bedämpfung
- DM>CM: DM-CM-Transformation
- CM>DM: CM-DM-Transformation

3 EMV Integration

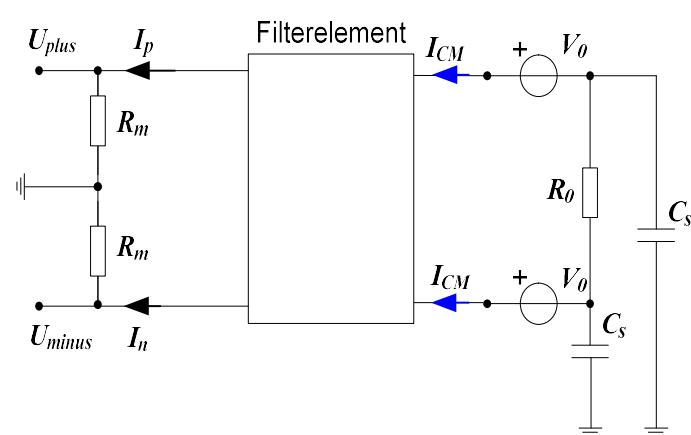
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Untersuchung der Filterdämpfung bei CM- und DM-Störungen mittels eines vereinfachten Modells

Modell für DM-Störung



Modell für CM-Störung



$R_m = 50 \Omega$: Messwiderstand

$V_0 = 1 \text{ V (CM)}$ und $V_0 = 3 \text{ V (DM)}$: Störspannung

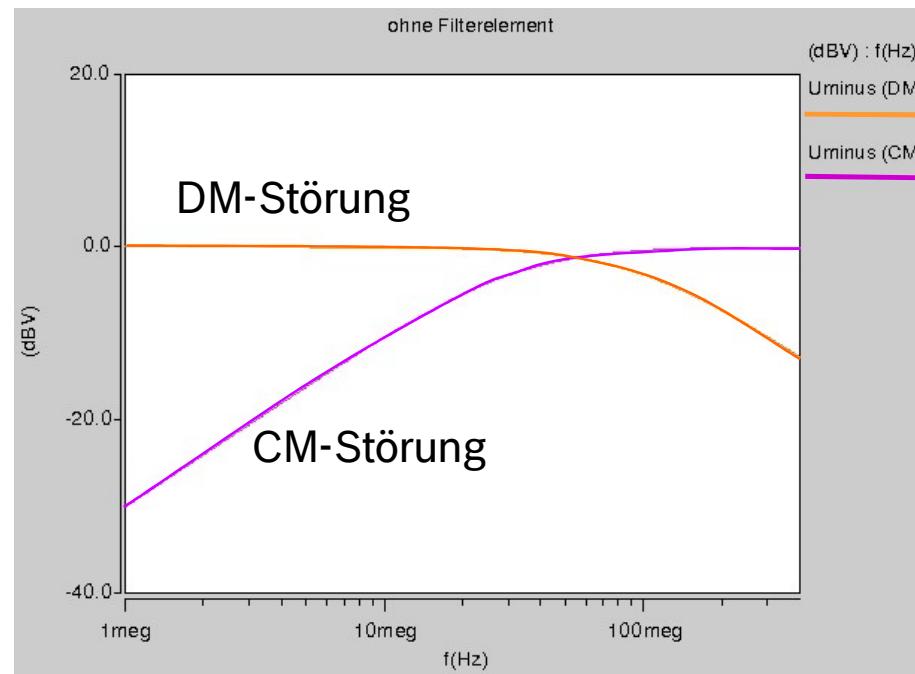
$R_0 = 50 \Omega$: DUT-Widerstand (Eingangswiderstand des Prüflings)

$C_s = 100 \text{ pF}$: Streukapazität gegen Masse

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

- Referenz: Störspannungen ohne die Filterelemente
- Frequenzabhängigkeit
 - CM-Störung ist dominant bei höheren Frequenzen
 - DM-Störung ist dominant bei niedrigeren Frequenzen



- Ursache: kapazitive Verbindung mit der Masse
- Entspricht der Realität

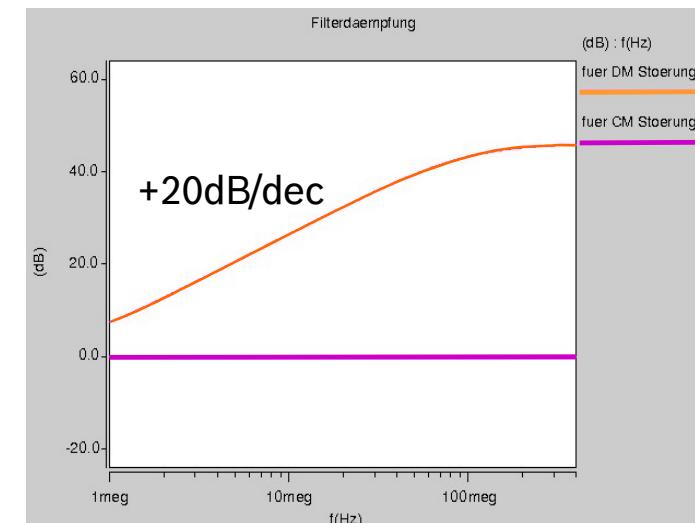
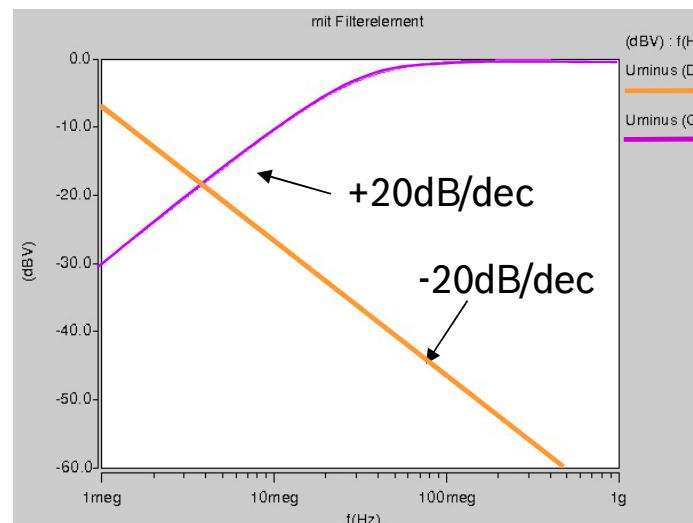
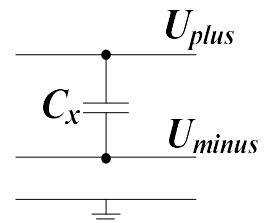
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

C_x - Kondensatoren

→ Ideales Verhalten

- Bedämpfung der DM-Störungen
- CM-Störung: kein Einfluss
- CM-DM und DM-CM Umwandlungen: kein Einfluss
- Beispiel: $C_x = 10 \text{ nF}$

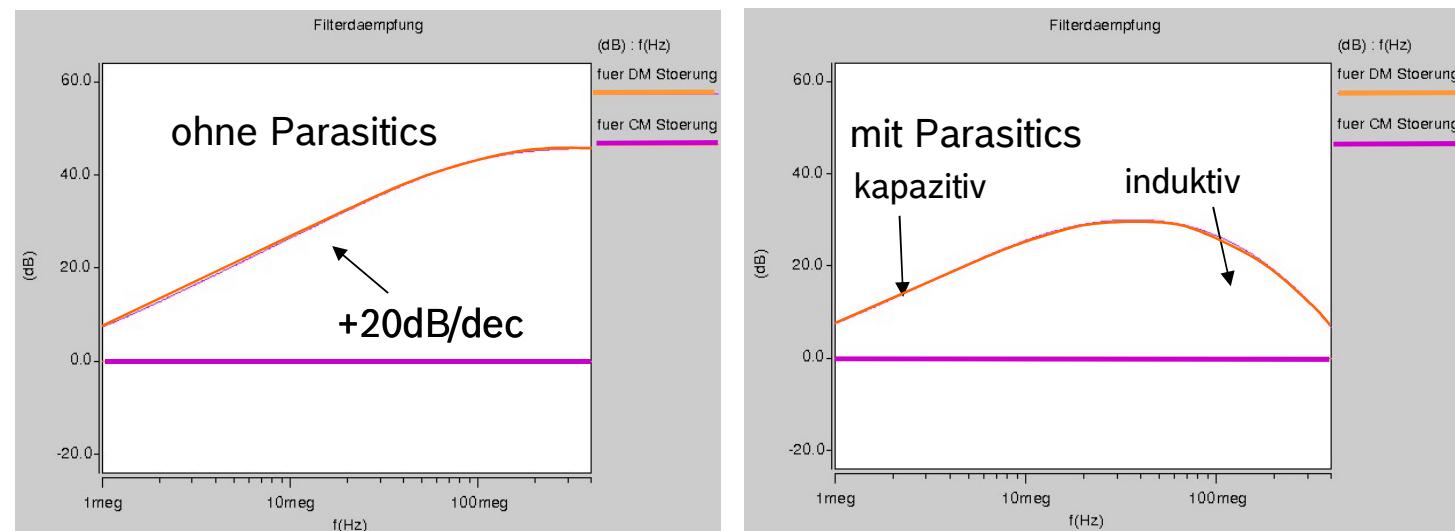
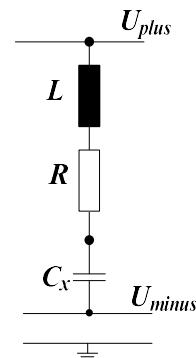


3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ C_x – Kondensator: Reales Verhalten mit Parasitics

- Parasitäre Effekte:
 - Reihenwiderstand
 - Parasitäre Induktivität
 - Induktive Beeinflussungen mit anderen Bauelementen (siehe Kapitel 3.3.7)
- Beispiel: $L = 1 \text{ nH}$, $R = 1 \Omega$



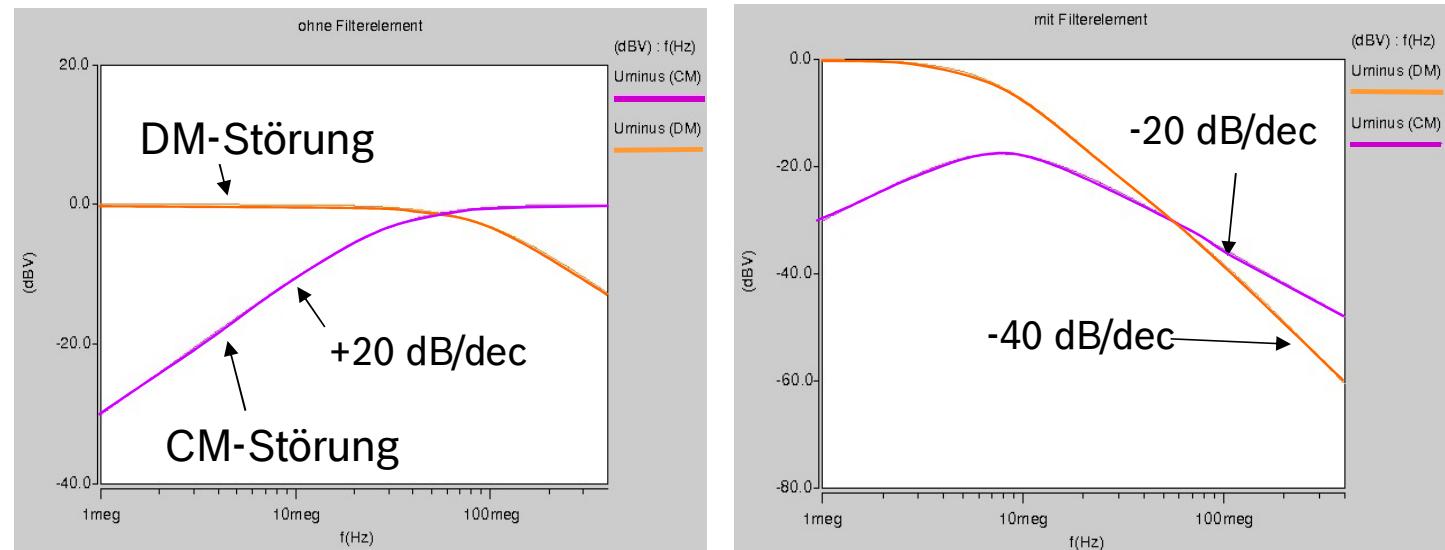
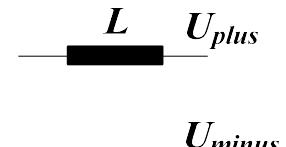
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

Längsdrossel

→ Ideales Verhalten

- Bedämpfung der CM- und DM-Störungen
- $CM \rightarrow DM$ und $DM \rightarrow CM$ Umwandlung
- Beispiel: $L = 5 \text{ mH}$



3 EMV Integration

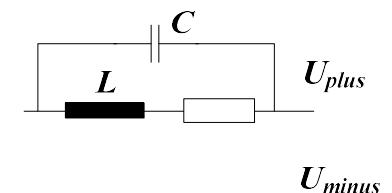
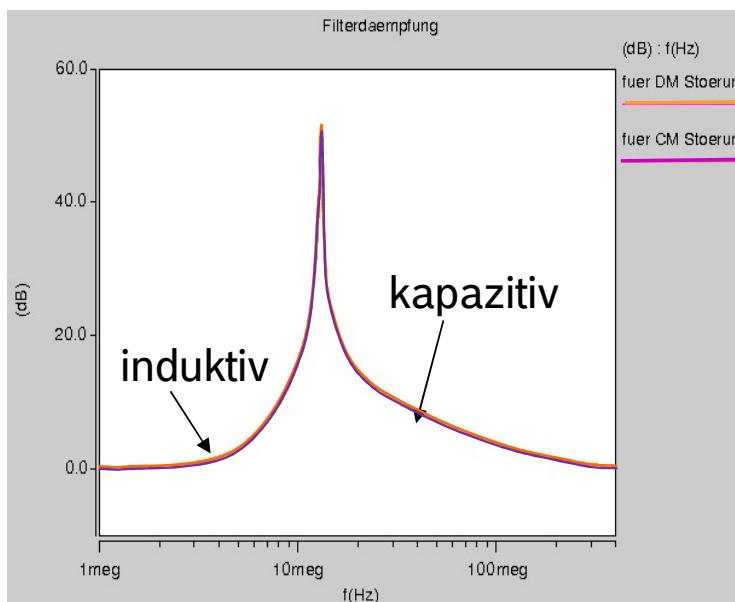
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
 - ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
 - ▶ 3.4 Topologische Ansätze
 - ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
- Ideales Verhalten: CM → DM und DM → CM Umwandlung
- Maß für CM-Störspannung bei DM-Anregung: $U_{plus} + U_{minus}$
 - Maß für DM-Störspannung bei CM-Anregung: $U_{plus} - U_{minus}$
 - Fazit: die beiden Transformationen werden von Längsdrossel verursacht
-

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Längsdrossel: Verhalten mit Parasitics

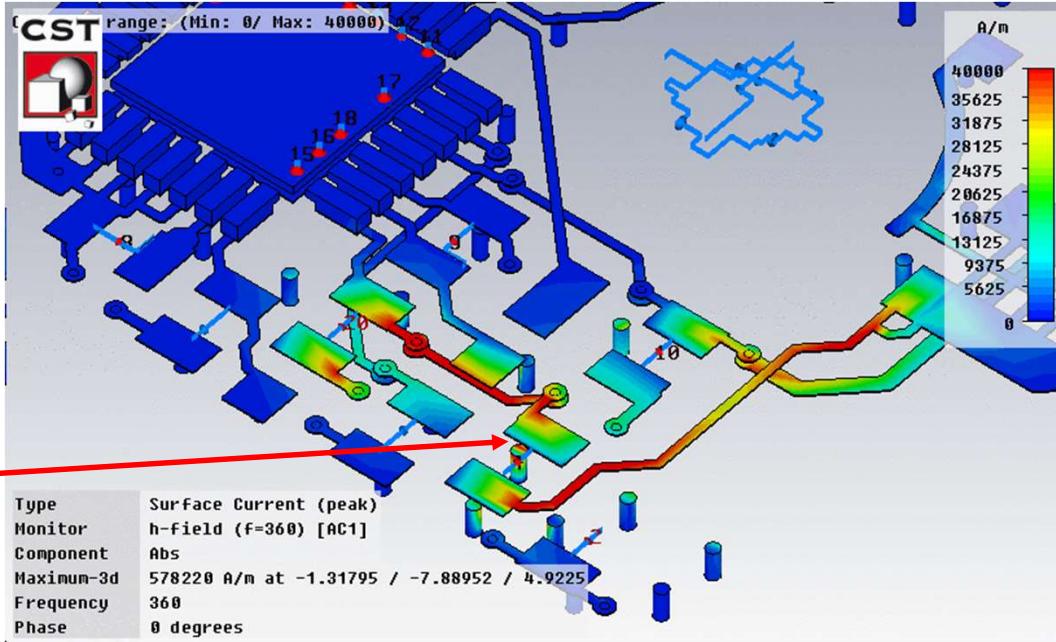
- Parasitäre Effekte:
 - Reihenwiderstand
 - Parasitäre Kapazität



- Filterdämpfung des Filterelements hat eine Resonanzstelle
- Ursache: parasitäre Kapazität
- Mögliche Schlussfolgerungen:
 - Keine Filterwirkung bei höheren Frequenzen
 - **Resonanz wegen parasitärer Kapazität** (siehe Beispiel auf der nächsten Seite)

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
 - ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
 - ▶ 3.4 Topologische Ansätze
 - ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
- Beispiel: Einfluss der parasitären Kapazität der Längsdrossel
- Sensorprojekt
 - BCI - Prüfung: Systemausfall bei ca. 360 MHz
 - Simulation der Stromdichte auf der Sensorleiterplatte bei 360 MHz
- EMI-Filter
(SMD Längs-drossel)**



Type	Surface Current (peak)
Monitor	h-field (F=360) [AC1]
Component	Abs
Maximum-3d	578220 A/m at -1.31795 / -7.88952 / 4.9225
Frequency	360
Phase	0 degrees



3 EMV Integration

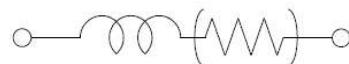
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ EMI-Filter BLM18AG102SH1 (Hersteller MuRata Manufacturing Co. Ltd.)

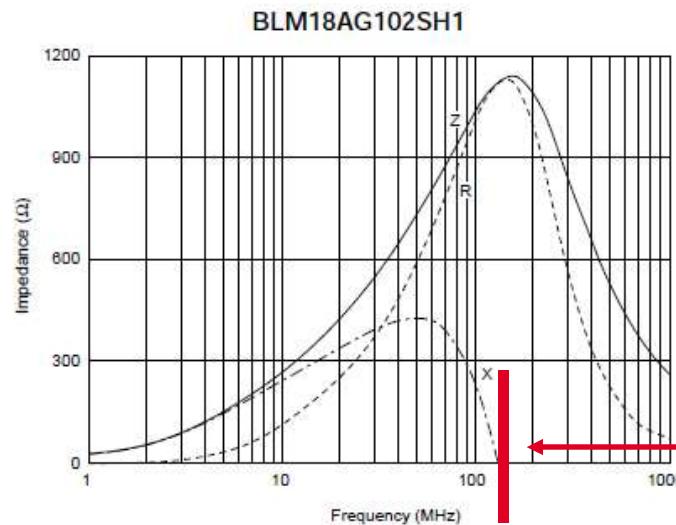
- vom Datenblatt:



Ersatzschaltung \Leftrightarrow Messdaten für Impedanz => Widerspruch!!!



(Resistance element becomes dominant at high frequencies.)

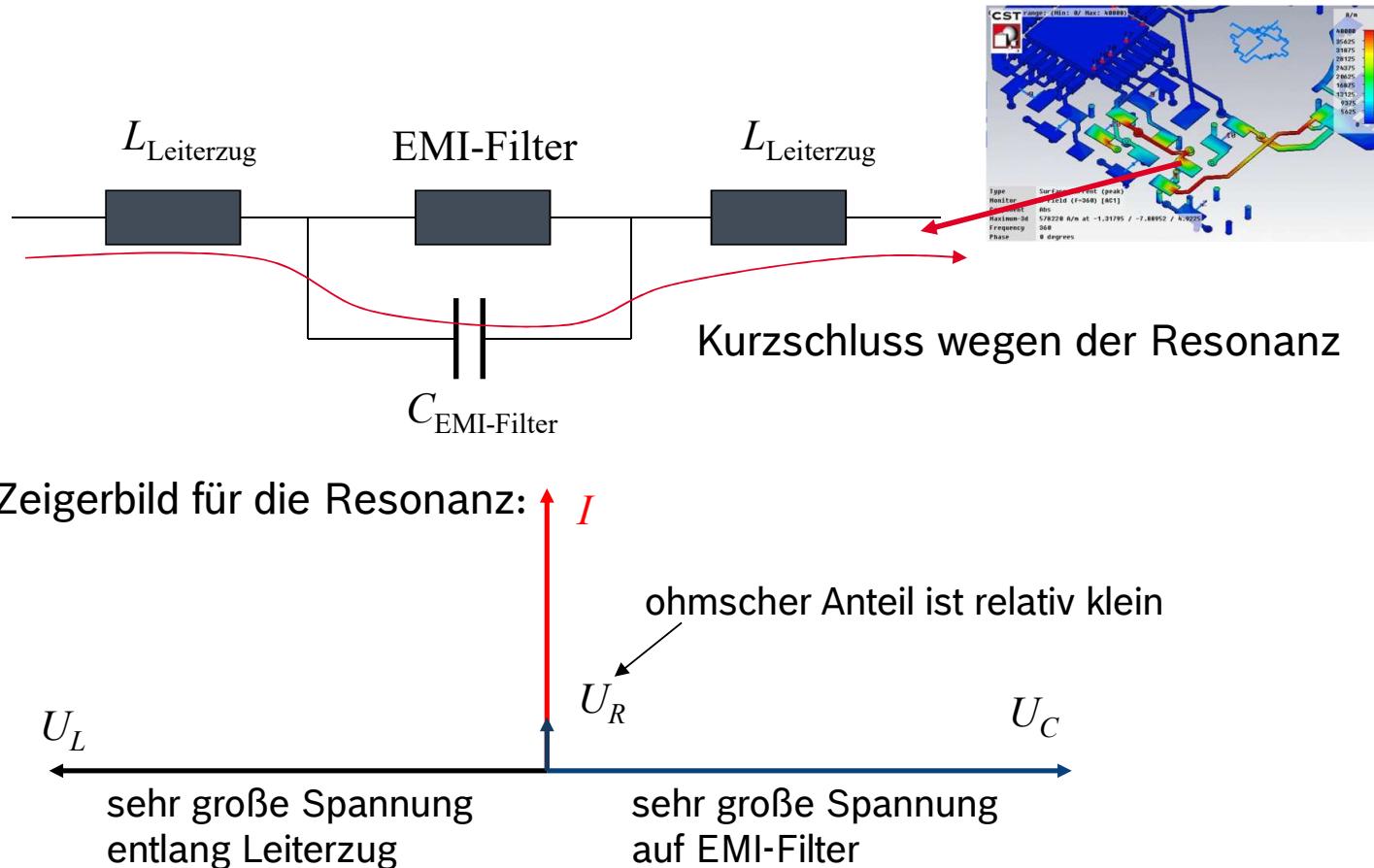


ab ca. 150 MHz
ist kapazitiver
Anteil dominant

→ Man muss die parallel geschaltete parasitäre Kapazität zum ESB ergänzen!!!

3 EMV Integration

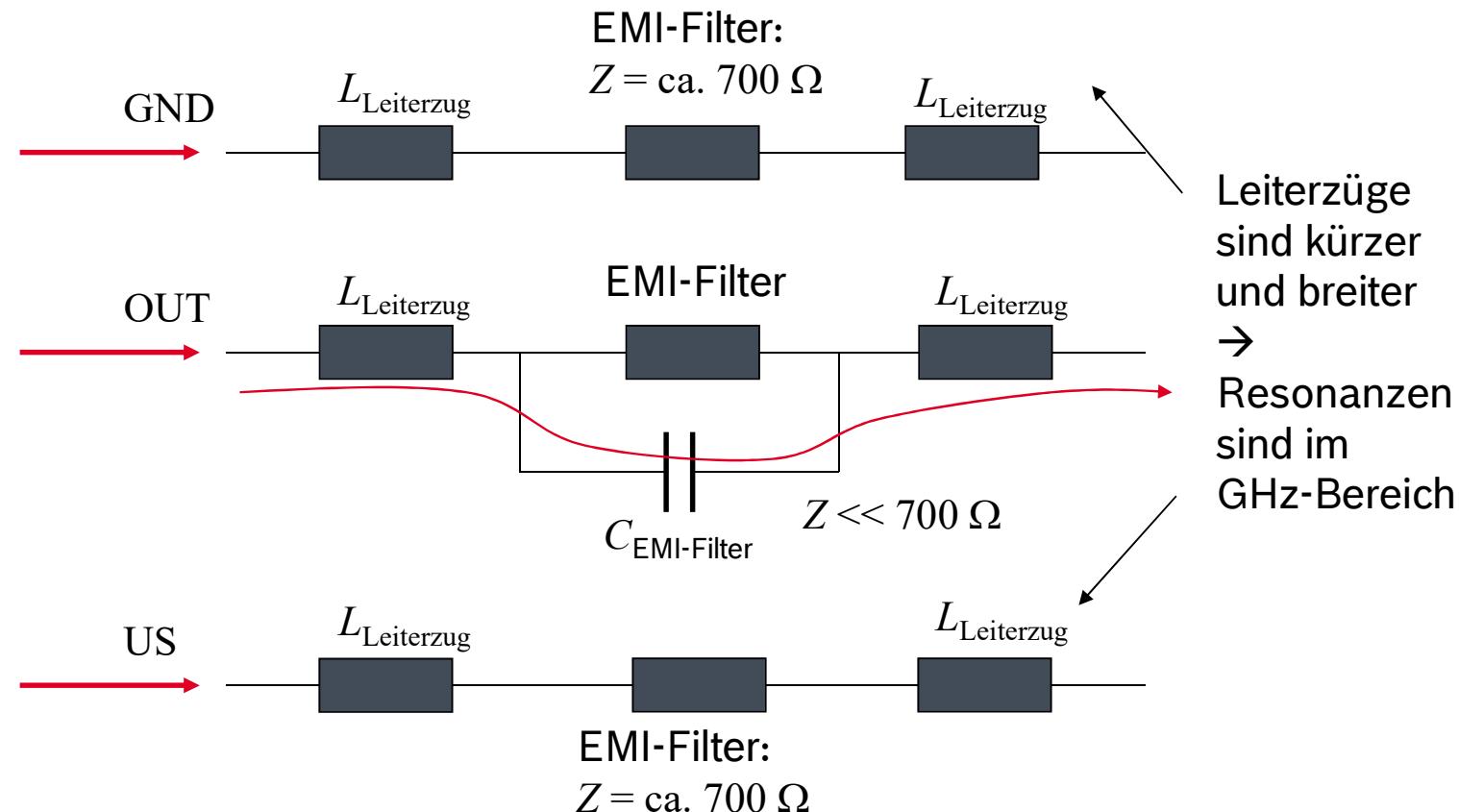
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

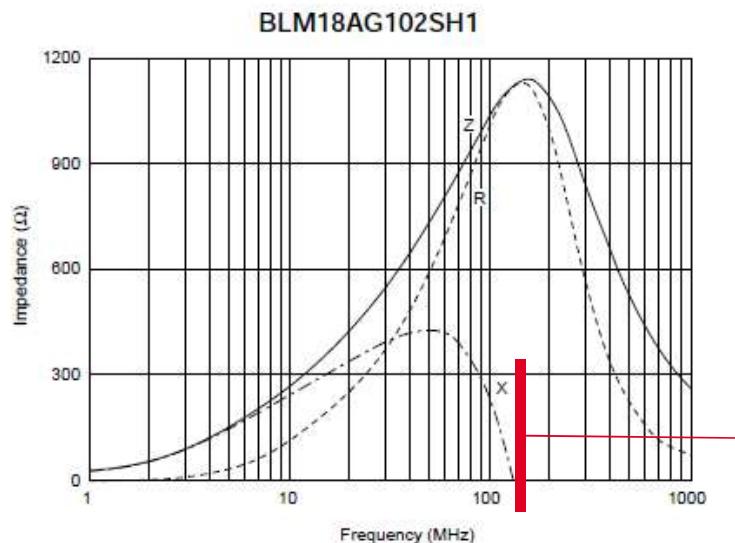
→ Im Endeffekt: Asymmetrie, d.h., CM → DM Umwandlung



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Vorschlag zur Problemlösung:
EMV – Filter durch besser geeignetes Filter ersetzen



Maßnahme:
Finden eines Bauteiles mit kleinerer parasitärer Kapazität

→ Fazit

- Die Längsdrosseln dienen allgemein zur Störfestigkeitsverbesserung
- Da das parasitäre Verhalten der Drossel nicht betrachtet wurde, ist eine scharfe Resonanz bei einer Frequenz aufgetreten!!!

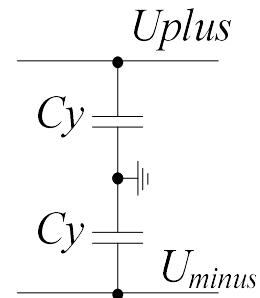
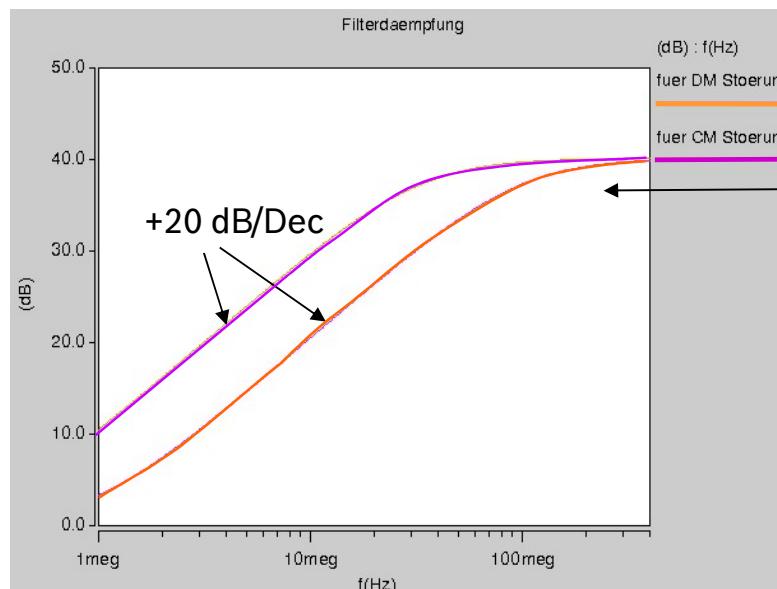
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_X -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_Y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

C_Y - Kondensatoren

→ Ideales Verhalten

- Bedämpfung der CM- und DM-Störungen
- keine Umwandlung zwischen CM- und DM-Moden
- Beispiel: $C = 10 \text{ nF}$



Sättigung bei 40 dB?

Ursache:
Verhältnis zwischen
Streukapazitäten
gegen Masse (100 pF) und
Filterkapazitäten (10 nF)

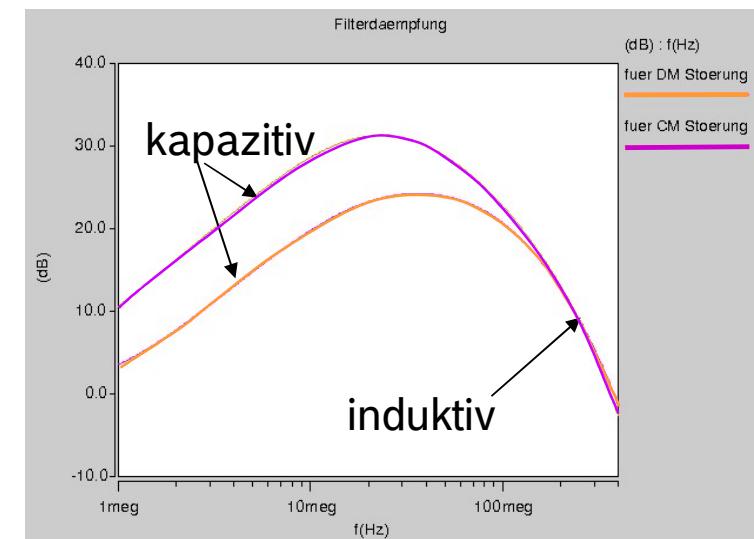
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ C_y – Kondensator: Verhalten mit Parasitics

- Parasitäre Effekte:
 - Reihenwiderstand (ESR)
 - Parasitäre Induktivität (ESL)
 - Induktive Beeinflussungen mit anderen Bauelementen (siehe Kapitel 3.3.7)
- Beispiel: $L_{ESL} = 1 \text{ nH}$
 $R_{ESR} = 1 \Omega$

- Filterdämpfung für CM- und DM-Störungen hat einen Knickpunkt (Reduktion der Dämpfung)
- Ursache: LC-Resonanz



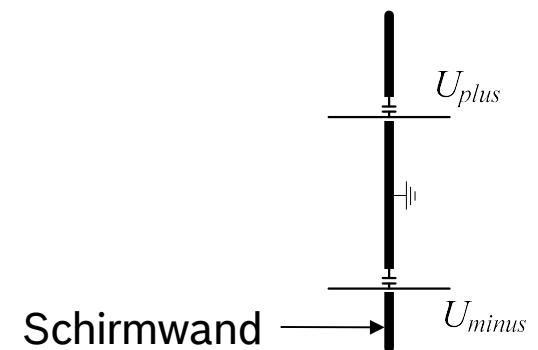
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Spezielle Realisierung: Durchführungskondensatoren (DUKOs)

- Anwendung: Kapazitive Anbindung mit einer leitenden Wand (Gehäuse, Schirm...)
- Zwei Effekte
 - Filterung: C_y Kondensator
 - Schirmwirkung:
die Öffnung im Schirm ist bedeckt
- Anbindung an die Schirmwand durch eine Schraubverbindung
- Relativ teuer !
- Typische Anwendungsbereiche generell: z.B. Filter in einer Messbox bei Bosch: Motorgehäuse

z.B.: DUKOs von EPCOS AG



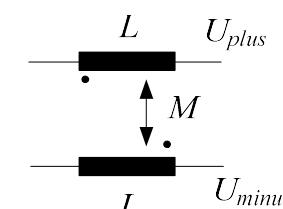
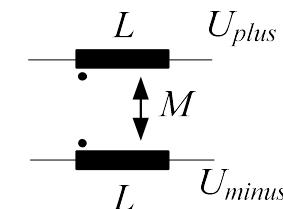
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
 - ▶ 3.4 Topologische Ansätze
 - ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

Gleichtaktdrossel

→ Ideales Verhalten

- Bedämpfung der CM- und DM-Störungen
- keine Umwandlung zwischen CM- und DM-Moden (im symmetrischen Fall)
- Gleichsinnig gewickelt (Gleichtaktdrossel): Haupteffekt
 - hohe result. Induktivität für CM-Störung $L_{CM} = L + M$
 - kleine result. Induktivität für DM-Störung $L_{DM} = L - M$
- Gegensinnig gewickelt (Gegentaktdrossel): Haupteffekt
 - hohe result. Induktivität für DM-Störung $L_{DM} = L + M$
 - kleine result. Induktivität für CM-Störung $L_{CM} = L - M$

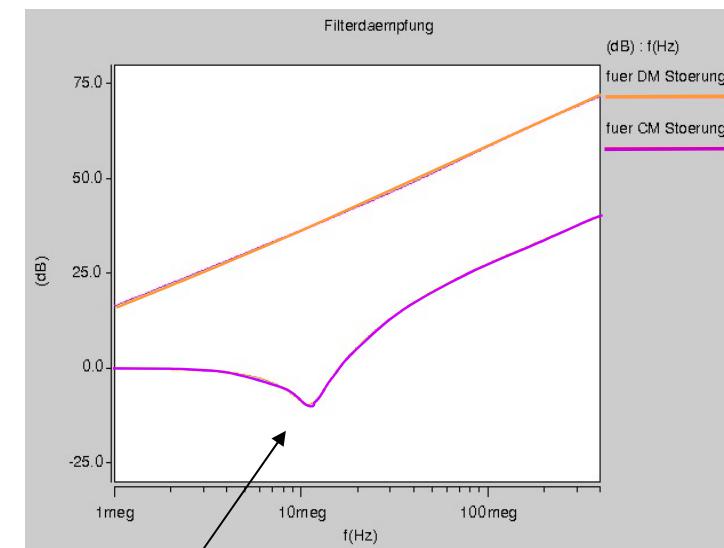
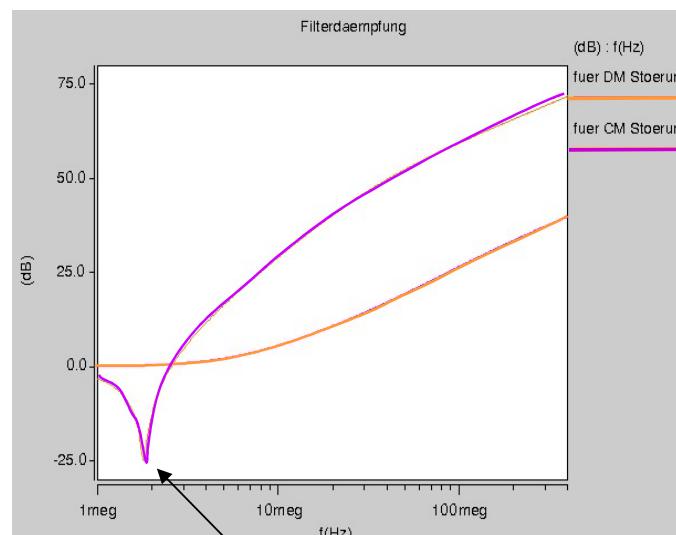
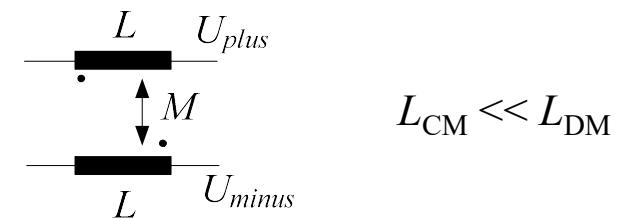
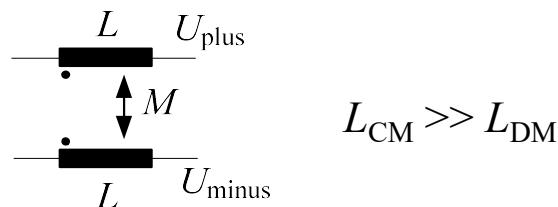


Wichtigste Anwendung CM-Bedämpfung: Gleichtaktdrossel

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_X -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_Y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

→ Beispiel: $L = 40 \text{ mH}$, $k = 0,95$



Kapazitive Verbindung mit der Masse: LC-Resonanz

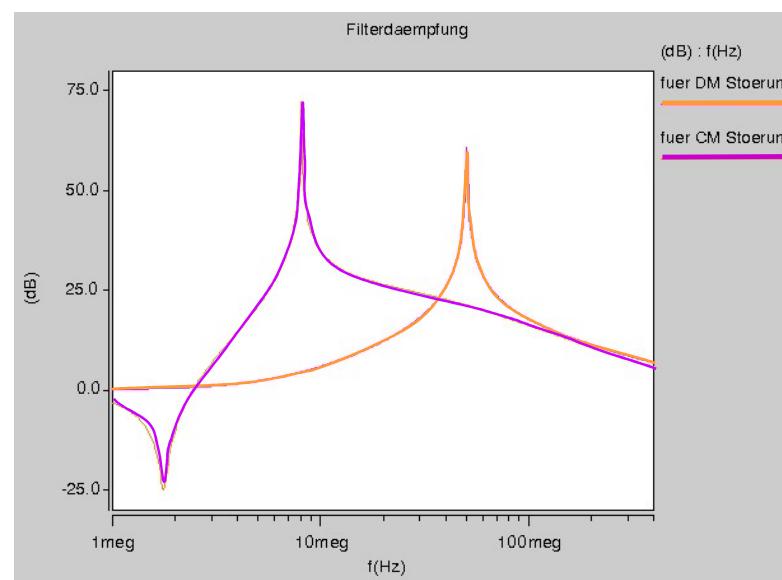
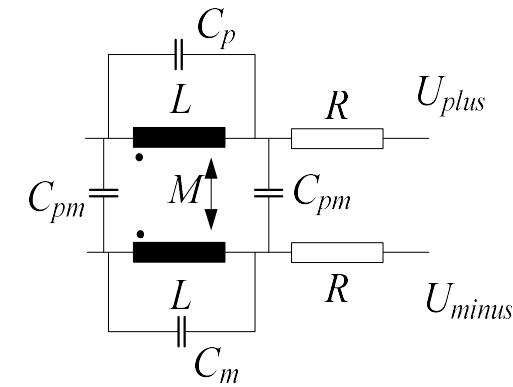
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Gleichtaktdrossel: Verhalten mit Berücksichtigung der „Parasitics“

- Parasitäre Effekte:

- Reihenwiderstand R
- Parasitäre Kapazitäten C_p , C_m , C_{pm}
- Beispiel: $C_p = C_m = 5 \text{ pF}$, $C_{pm} = 1 \text{ pF}$, $R = 1 \Omega$



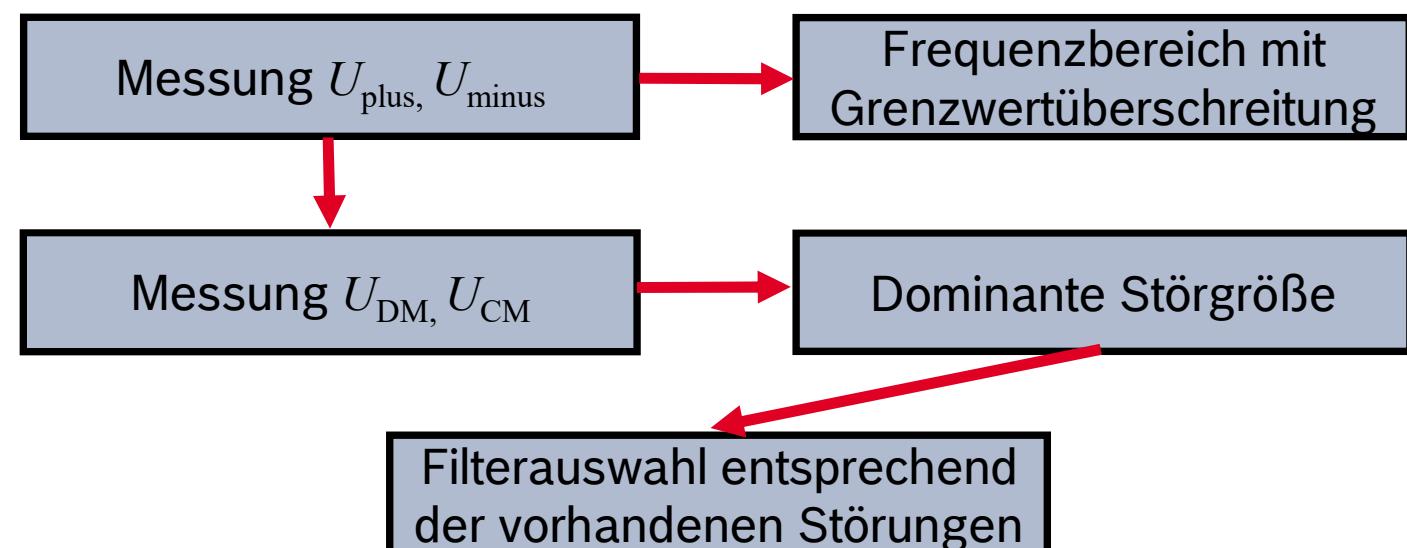
- L-C-Parallel-Resonanz
- Filter ist nicht effektiv bei höheren Frequenzen

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung

- Zerlegung der Störgröße in CM- und DM-Mode zeigt einen Pfad, um eine effektive und möglichst minimale Filterauslegung abzuleiten
- Allgemeiner Ablauf ohne Iterationen:



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Tabelle: Filterelementauswirkungen C_x und C_y

Grundstörung \ Maßnahme/ Ergebnis	Filtertyp	Gleichtakt dämpfung	Gegentakt- dämpfung	Dämpfung U_{plus}	Dämpfung U_{minus}
$U_{\text{DM}} > U_{\text{CM}}$		—	Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} > Z_{\text{filter}}$	Entsprechend Gegentaktdämpfung	Entsprechend Gegentaktdämpfung
$U_{\text{CM}} > U_{\text{DM}}$		—	Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} > Z_{\text{filter}}$	—	—
$U_{\text{DM}} > U_{\text{CM}}$		Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} > Z_{\text{filter}}$	Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} > Z_{\text{filter}}$	Entsprechend Gegentaktdämpfung	Entsprechend Gegentaktdämpfung
$U_{\text{CM}} > U_{\text{DM}}$		Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} > Z_{\text{filter}}$	Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} > Z_{\text{filter}}$	Entsprechend Gegentaktdämpfung	Entsprechend Gegentaktdämpfung

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen: Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

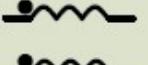
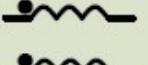
→ Tabelle: Filterelementauswirkungen Längsinduktivität

Grundstörung \ Maßnahme/ Ergebnis	Filtertyp	Gleichtakt dämpfung	Gegentakt- dämpfung	Dämpfung U_{plus}	Dämpfung U_{minus}
$U_{\text{DM}} > U_{\text{CM}}$		Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} < Z_{\text{Filter}}$	Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} < Z_{\text{Filter}}$	Entsprechend Gegentaktdämpfung	Entsprechend Gegentaktdämpfung
$U_{\text{CM}} > U_{\text{DM}}$		Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} < Z_{\text{Filter}}$	Keine Dämpfung, Verstärkung der Störspannung	Dämpfung entsprechend Impedanzverhältnisse	—
$U_{\text{DM}} > U_{\text{CM}}$		Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} < Z_{\text{Filter}}$	Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} < Z_{\text{Filter}}$	Entsprechend Gegentaktdämpfung	Entsprechend Gegentaktdämpfung
$U_{\text{CM}} > U_{\text{DM}}$		Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} < Z_{\text{Filter}}$	Keine Dämpfung, Verstärkung der Störspannung	—	Dämpfung entsprechend Impedanzverhältnisse

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Tabelle: Filterelementauswirkungen CMC (common mode choke) und allgemeine unsymmetrische Filterstruktur

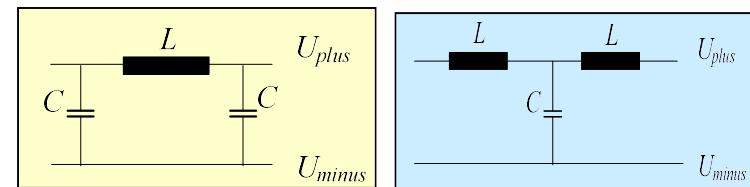
Grundstörung \ Maßnahme/ Ergebnis	Filtertyp	Gleichtakt dämpfung	Gegentakt- dämpfung	Dämpfung U_{plus}	Dämpfung U_{minus}
$U_{\text{DM}} > U_{\text{CM}}$	 Ideale CMC	Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} < Z_{\text{Filter}}$	—	—	—
$U_{\text{CM}} > U_{\text{DM}}$	 Ideale CMC	Hohe Dämpfung für $Z_{\text{Last}} < Z_{\text{Filter}}$	—	Entsprechend Gleichtaktdämpfung	Entsprechend Gleichtaktdämpfung
$U_{\text{DM}} > U_{\text{CM}}$	Allgemeiner unsymmetrischer Filter	Entsprechend Topologie und Elementen	Entsprechend Topologie und Elementen	Entsprechend Gegentaktdämpfung	Entsprechend Gegentaktdämpfung
$U_{\text{CM}} > U_{\text{DM}}$	Allgemeiner unsymmetrischer Filter	Entsprechend Topologie und Elementen	Keine Dämpfung, evtl. Verstärkung entsprechend Modenwandlung	Abhängig von Symmetrie des DUT	Abhängig von Symmetrie des DUT

3 EMV Integration

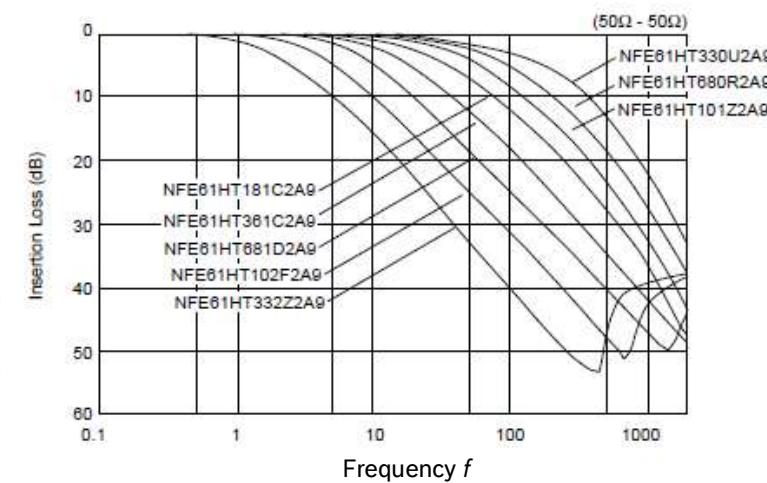
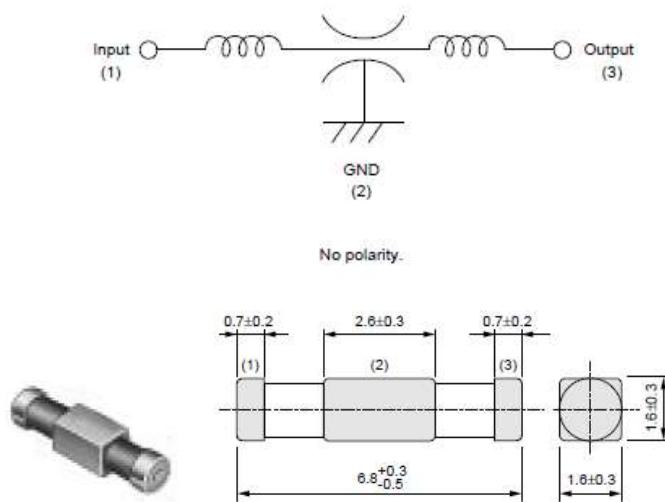
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_X -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_Y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
 - ▶ 3.4 Topologische Ansätze
 - ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Oft angewendete Filter/Bauelemente: Π – Filter oder T-Filter

- Starke DM-Bedämpfung
- Geringe CM-Bedämpfung



• Beispiel: SMD-Bauelement (Hersteller MuRata Manufacturing Co. Ltd.)



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Spezifische Realisierung: Durchführungsfilter (DUF)

- Anwendung: Kapazitive Anbindung (C_y) mit einer leitenden Wand (Gehäuse, Schirm...)
- Zwei Effekte
 - Schirmwirkung:
die Öffnung im Schirm ist bedeckt
 - Filterung:
 Π -Filter mit hoher Dämpfung $f \uparrow$
- Anbindung mit der Wand durch eine Schraube

TYPICAL INSERTION LOSS (50Ω):

f	10 KHz	100 KHz	1 MHz	10 MHz	100 MHz	1 GHz
dB	12	30	60	>100	>100	>100



Hersteller (EPCOS AG)

B85321A4205B101

Circuit Diagram:



 **BOSCH**

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - Übersicht
 - 3.3.1 Bordnetznachbildung
 - 3.3.2 Grundelemente des EMV-Filters
 - 3.3.3 C_x -Kondensatoren
 - 3.3.4 Längsdrossel
 - 3.3.5 C_y -Kondensatoren
 - 3.3.6 Gleichtaktdrossel
 - 3.3.7 Allgemeiner Ablauf der Filterauslegung
 - ▶ 3.4 Topologische Ansätze
 - ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Auswahl der Filterelemente: Randbedingung

- Beschränkte Anzahl der Filterelemente
- Bauraumbeschränkung
- Maximale Belastung (Temperatur, Überspannungen)
- Anbindung an die Umgebung (Stanzgitter, Layout)

→ Zusätzliche Faktoren

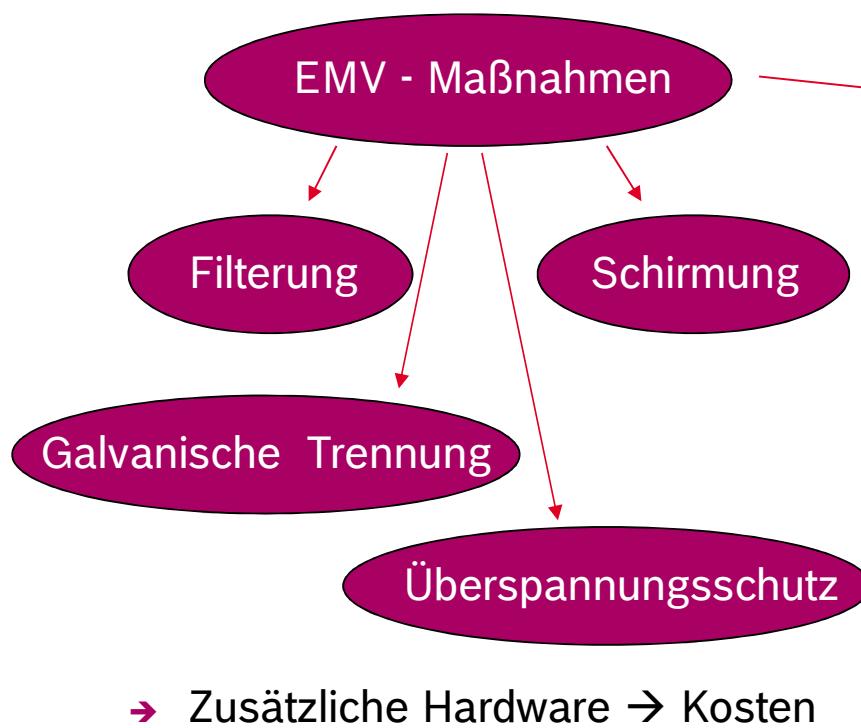
- Beeinflussungen zwischen Bauelementen
- Beeinflussungen in der AVT (Stanzgitter, Layout)
- CM-DM-Modenumwandlung
- Eingangsimpedanz des Gerätes / der Schaltungskomponenten

→ Ziel: keine Grenzwertüberschreitungen

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

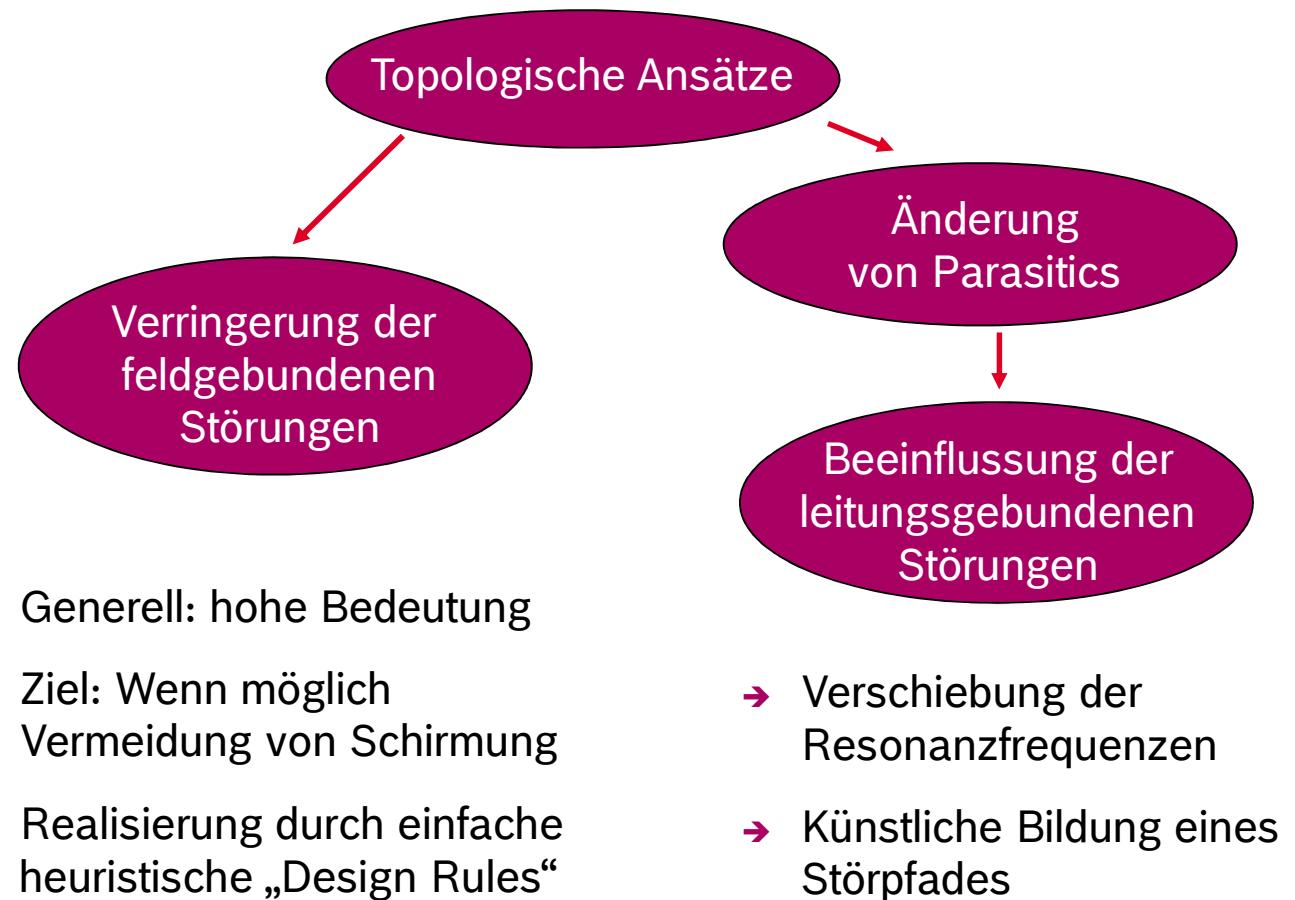
Topologische Ansätze



- Keine zusätzliche Hardware
- Unwesentliche Änderungen in der AVT
- Keine oder geringe zusätzliche Fertigungskosten
- Eventuell etwas mehr Entwicklungskosten

3 EMV Integration

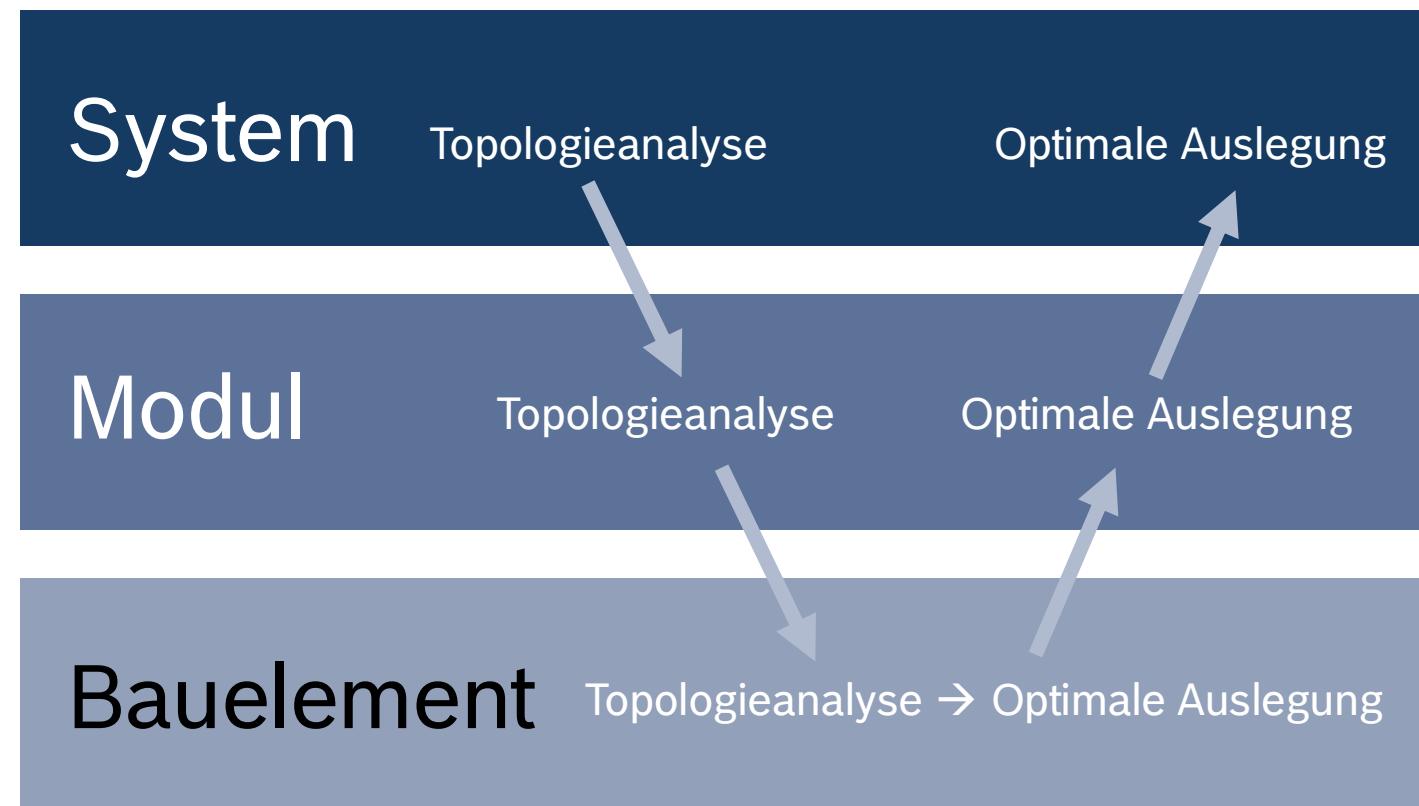
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“



3 EMV Integration

→ Hierarchie in der Topologieoptimierung

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Räumliche Trennung

- Abhängigkeit der feldgebundenen Störungen vom Abstand:
 - Nahfeld $\propto 1/r^3$
 - Fernfeld $\propto 1/r$
 - Induktive und kapazitive Kopplungen im Freiraum $\propto 1/r$
 - Induktive und kapazitive Kopplungen auf einer Leiterplatte $\propto e^{-r}$
 - Allgemein: Beeinflussungen sinken schnell mit dem Abstand
- Folge: Räumliche Trennung der Störsenke und Störquelle wirkt positiv auf das EMV-Verhalten
- Frage: Was ist mit den Randbedingungen (vorgegebener Bauraum)?
- Antwort: beim heuristischen Ansatz zur räumlichen Trennung wird der Bauraum nicht geändert.

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Räumliche Trennung

- Der Entwickler berücksichtigt das „Störaussendungspotential“ bei der Systemzerlegung, ggf. frequenzabhängige Betrachtung
- Beispiel:
 - Signalleiterplatte ist eher Störsenke als Störquelle
 - Endstufe ist eine starke Störquelle
 - Stanzgitter mit den Leistungsströmen ist eine starke Störquelle
- Der Entwickler stellt sicher, dass die störempfindlichen Module möglichst räumlich weit entfernt von den Störquellen angeordnet sind
- In der Regel ändert solch eine Auslegung den Bauraum nicht

→ Beispiel: Elektrische Servolenkung ESL3

- Endstufe: DBC – Block → HV (high voltage) - Zone
- Ansteuerung: LTCC → LV (low voltage) - Zone
- Stanzgitter mit Leistungsströmen → HV - Zone
- Stanzgitter mit Kleinsignalleitungen → LV - Zone

3 EMV Integration

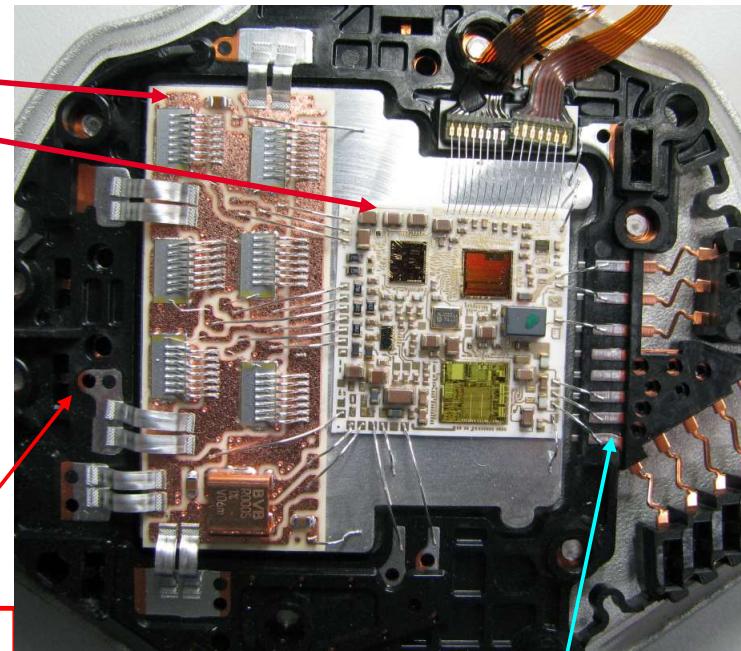
→ Beispiel: Elektrische Servolenkung ESL3

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

- Man sieht, dass die angewendete Raumtrennung keinen zusätzlichen Bauraum erzeugt hat
- Raumtrennung ist gleichzeitig eine systematische Modultrennung

Powerleitungen werden in diesem Bereich geführt
→ dadurch räumliche Trennung zu den Kleinsignal-Anschlüssen gegeben

DBC
LTCC



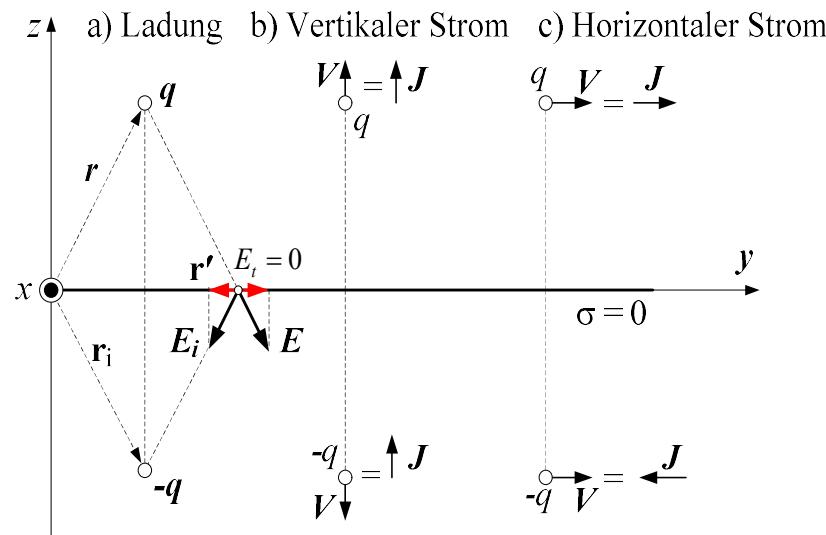
Nur an einer Seite
Abgang für Kleinsignal-Leitungen

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Reduzierung der Kopplungen durch Nähe einer leitenden Fläche

- Imageprinzip gilt für elementare Ströme und Punktladungen in der Nähe einer unendlichen perfekt leitenden Fläche
- Näherungsweise gilt Imageprinzip auch bei höheren Frequenzen für endliche leitende Flächen (z.B.: Kühlkörper, Gehäusewand, Schirm, Leiterplattenmasselage, usw.)



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

→ Reduzierung der Kopplungen durch Nähe einer leitenden Fläche

- Im Fall, wenn die Störquelle und Störsenke in der Nähe einer leitenden Fläche angeordnet sind:
 - Reduzierung der kapazitiven Kopplungen
 - Reduzierung der induktiven Kopplungen zwischen den Leitern, die zu der Fläche parallel sind
 - Verstärkung der induktiven Kopplungen zwischen den Leitern, die zur Fläche senkrecht sind
- **Beispiel:** Berechnung einer partiellen Induktivität zwischen zwei Leitern, die parallel zu einer leitenden Ebene angeordnet sind:

$$L_{mk} = \frac{\mu_0}{4\pi a_k a_m} \left[\iint_{V_m V'_k} \frac{dV dV'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} - \iint_{V_m V'_k} \frac{dV dV'}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}' - 2h \hat{\mathbf{z}}|} \right]$$

z : Normal zu der Ebene

h : Abstand zwischen dem Leiter k und der Ebene

V_k, V_m : Volumen der Leiter k und m

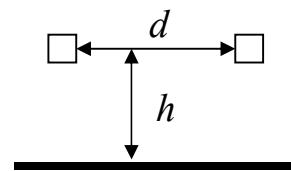
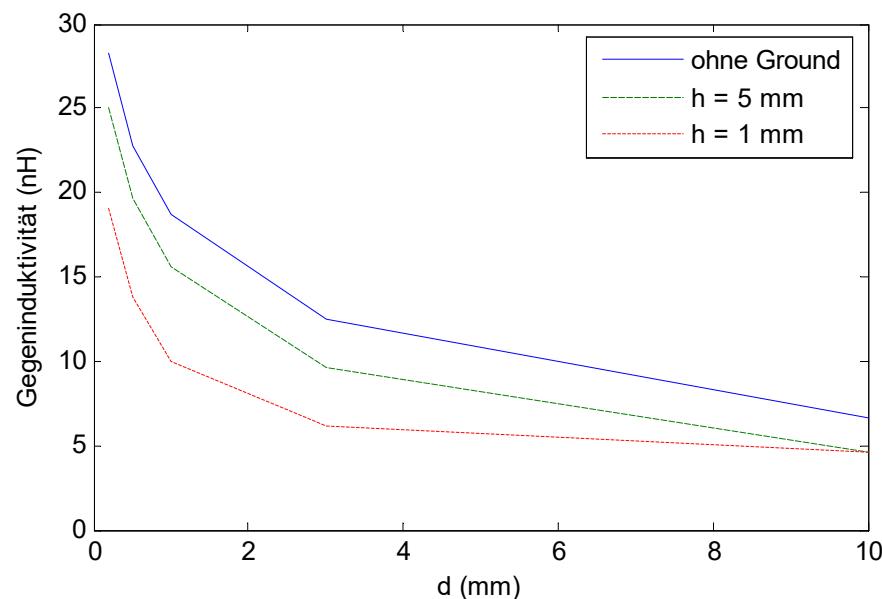
a_k, a_m : Querschnittsflächen der Leiter k und m

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Beispiel: Reduzierung der induktiven Kopplung

- Zwei rechteckige $100 \times 100 \mu\text{m}$ Leiter
- d : Abstand zwischen den Leitern
- h : Abstand zu der leitenden Ebene (Ground)



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Beispiel: Elektrische Servolenkung ESL3

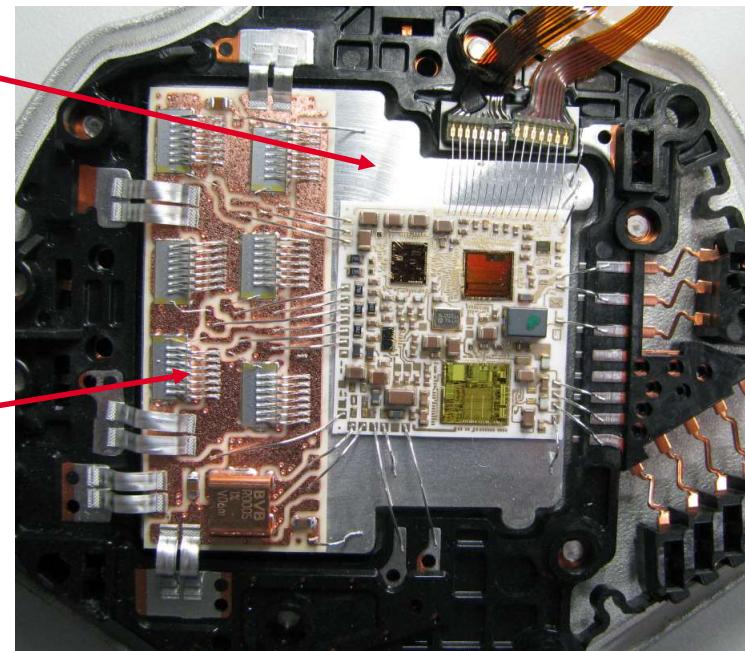
1. Kühlkörper

hat eine zusätzliche Funktion als Bezugsebene :
Reduktion der Beeinflussungen Zwischen LV- und HV-Zonen

Vorteil: keine Kostenerhöhung für EMV-Maßnahme

2. Bonds

So flach wie möglich =>
Kopplungsreduktion



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Anpassung der Stromrichtungen

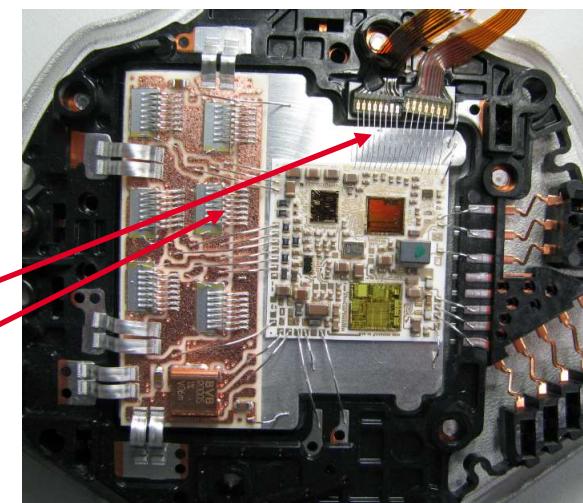
- Grundgesetz für die magnetische Kopplung:
 $M \propto \cos \phi$, ϕ : Winkel zwischen den Strömen in den Leitern
- Ausnahmen: inhomogene Medien, anisotrope Medien bei HF

→ Faustregel

Potenzielle stromführende Störquellen (z.B. Stanzgitter) mit hohen Strömen müssen möglichst senkrecht zu anderen Verbindungsstrukturen angeordnet werden

→ Beispiel: elektrische Servolenkung ESL3

- Signalleitungen
- Leistungsströme



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

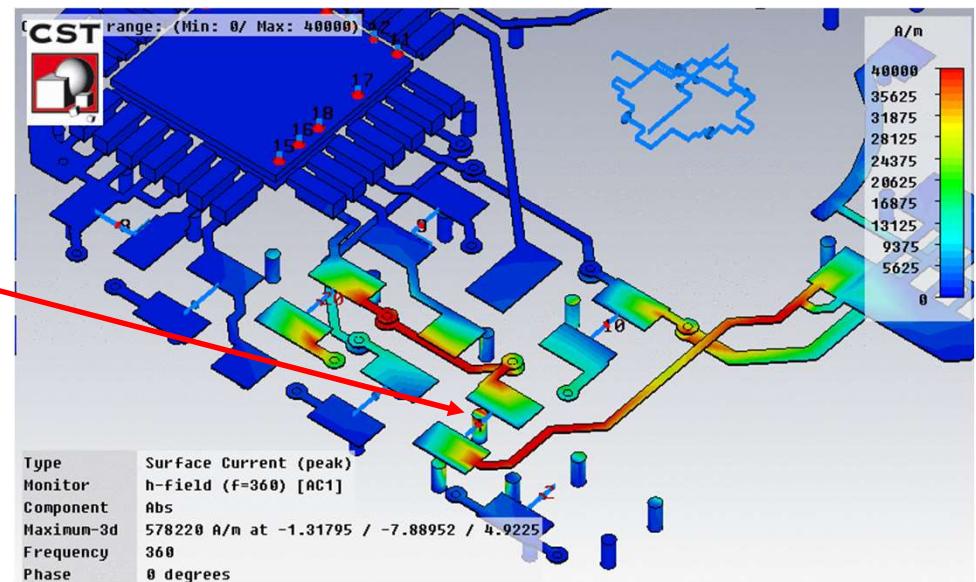
→ Einfluss der Topologie auf die parasitären Elemente **Parasitäre Induktivitäten**

- Parasitäre Induktivitäten (Stanzgitter, Leiterzüge, ...)
- Nähe der anderen leitenden Struktur (insbesondere der AVT mit größeren Flächen, z.B.: Kühlkörper, Gehäusewand) reduziert die parasitären Induktivitäten
- Eigeninduktivitäten: $\propto 1/\text{Querschnittsdimension des Leiters}$
- Parasitäre Induktivitäten: $\propto \text{Länge des Leiters}$
- Fazit:
 - 1) Änderung der AVT - Geometrie beeinflusst die leitungsgbundenen Störungen (Leitungslänge, Geometrie)
 - 2) Steuerung der parasitären Induktivitäten ist in relativ engen Grenzen möglich
(Randbedingungen: Bauraum, Gewicht, technologische Grenzen)

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
 - ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - ▶ 3.4 Topologische Ansätze
 - ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
- Beispiel: Einfluss der parasitären Induktivitäten der Leiterzüge
- Sensorprojekt (siehe Abschnitt 3.3.4)
 - BCI - Prüfung: Systemausfall bei ca. 360 MHz
 - Simulation der Stromdichte auf der Sensorleiterplatte bei 360 MHz

EMI-Filter
(SMD Längsdrossel)



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Beispiel: Einfluss der parasitären Induktivitäten der Leiterzüge

- Frage: Warum tritt die Resonanz **nur** im „mittleren Netzwerk“ auf?
- Antwort: Weil dieser Leiterzug in diesem Netzwerk die größte Länge und den kleinsten Querschnitt hat! Somit ist die Resonanzfrequenz des „mittleren Netzwerk“ die niedrigste:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- Die beiden benachbarten Netzwerke haben kürzere und breitere Leiterzüge. Folglich sind die parasitären Induktivitäten dort kleiner. Die Resonanzfrequenzen liegen daher $> 1 \text{ GHz}$
- Entstöridee:
Falls alle drei Leiterzüge angepasste parasitäre Induktivitäten hätten, hätte der Sensor eine symmetrische Last für CM-Stromwelle

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Einfluss der Topologie auf die parasitären Elemente **Parasitäre Kapazitäten**

- Flächenhafte AVT
- Parasitäre Kapazitäten: \propto Oberfläche des Leiters
- Parasitäre Kapazitäten: \propto Permittivitätszahl des Mediums
- Fazit:
 - 1) Starker Einfluss auf die leitungsgebundenen Störungen
 - 2) Man kann die parasitären Kapazitäten bewusst in relativ engen Grenzen steuern
- Beispiel: Änderung einer Streukapazität führt ggf. zu einer Änderung des CM-Stromkreises durch den veränderten Reihenblindwiderstand → Einfluss auf Messgröße

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Masse: Topologische Konzepte

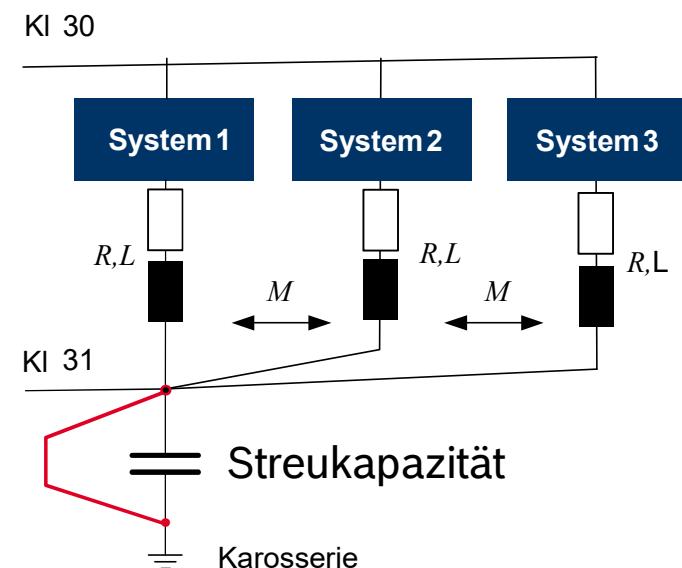
- Masse: ist eine Verbindungsstruktur
- Modellierung (siehe Kapitel 2):
 - parasitäre Induktivitäten
 - ohmsche Widerstände
 - parasitäre Kapazitäten
- Man unterscheidet zwei wesentliche grundsätzliche Massekonzepte:
 - Sternförmige Masse
(Eng.: Single-point Grounding)
 - Multipunktmassung bzw. Masseflächen
(Eng.: Multi-point Grounding)

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Sternförmige Masse: idealisierte Darstellung (Fahrzeugebene)

- Masseverbindung (galvanisch oder kapazitiv) mit der Karosserie über einen einzelnen Sternpunkt
- Verbindung zwischen den Subsystemen und dem Sternpunkt durch relativ lange Verbindungsstrukturen (=>parasitäre Induktivitäten, Kopplungen und Widerstände)

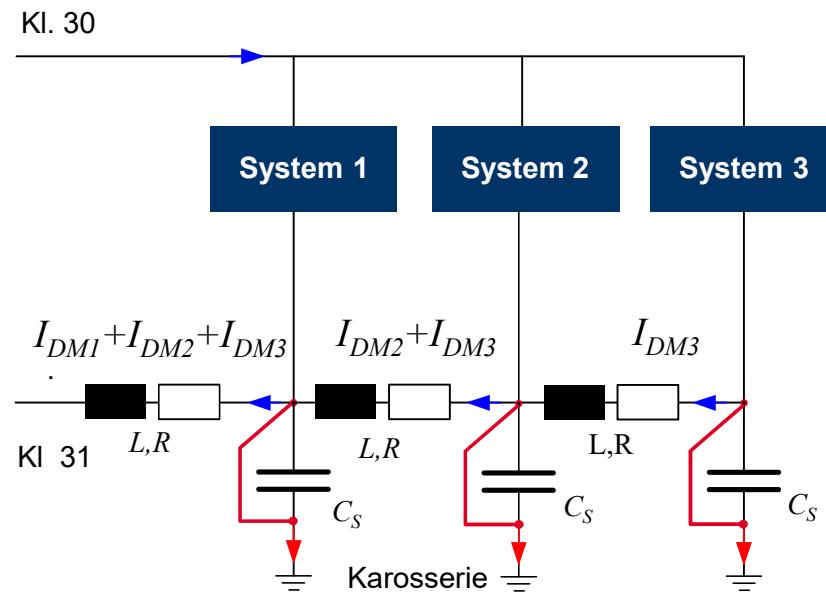


3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Multipunktmassung: idealisierte Darstellung (Fahrzeugebene)

- Getrennte Massung der Subsysteme
- Gemeinsamer Masseleiter
(praktisch üblich Masseebene oder Masselage)
- Parasitics im Masseleiter bilden die Reihenimpedanzen vor den Störströmen
→ Beeinflussungen zwischen den Subsystemen durch die „Impedanzkopplungen“, die schon bei DC wirken



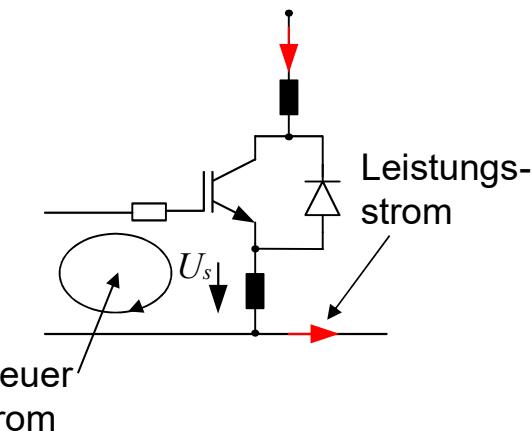
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

→ Masse: Vergleich zwischen den topologischen Konzepten

→ Bei niedrigen Frequenzen

- Sternkopplung besser geeignet, da die Feldkopplungen zwischen den Leitern vernachlässigbar sind und die galvanischen Kopplungen minimiert werden
- Multipunktmassung erzeugt eine Impedanzkopplung auch bei niederen Frequenzen
- Besondere Bedeutung, wenn die Impedanzkopplung zwischen einem hohen Strom (große Spannungsabfälle) und einer empfindlichen Schleife möglich ist (Beispiel: Lautsprecherkreise)
- Beispiel: Impedanzeinkopplung in den IGBT – Steuerkreis vom Leistungsstrom



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

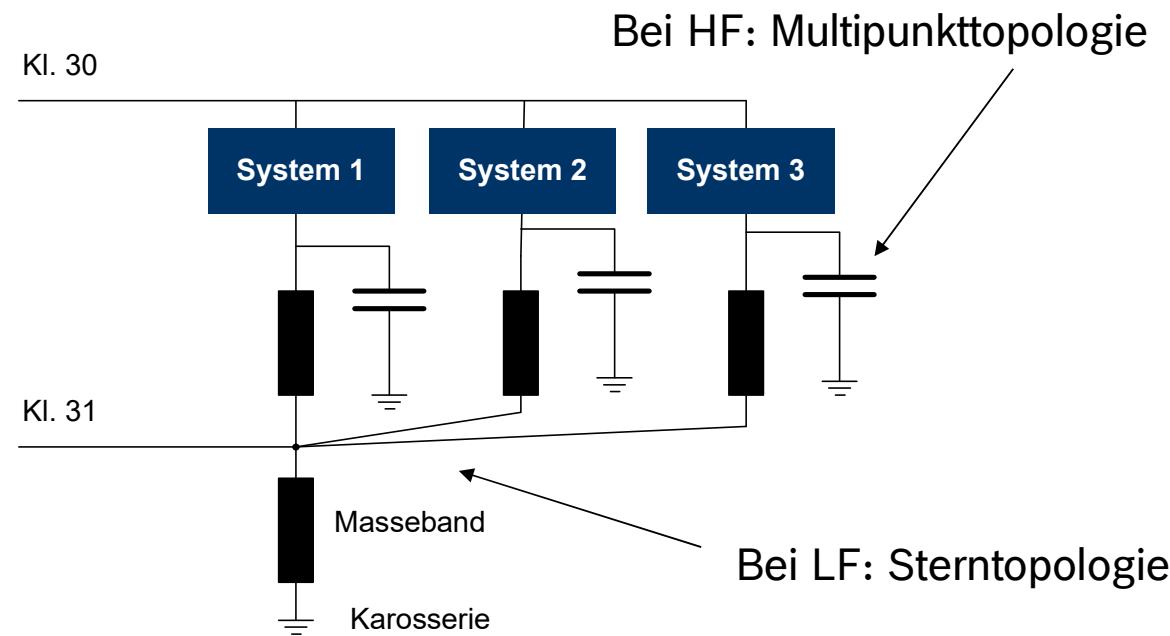
- **Masse: Vergleich zwischen den topologischen Konzepten**
- Bei höheren Frequenzen
 - Multipunktmassung ist besser geeignet, da sie die feldgebundenen Beeinflussungen reduziert / vermeidet
 - Jedoch wendet man auch häufig die Sterntopologie an, wenn die leitungsgebundenen Koppelpfade dominant sind
- **Bester Ansatz: hybride Topologien**
 - Teile des Masseleiters haben Multipunktttopologie
 - Andere Teile haben Sterntopologie
 - Hierarchische Topologieauswahl, z.B.:
 - Signalleiterplatte: Massefläche (Multipunktansatz)
 - Treiberschaltung: Massefläche (Multipunktansatz)
 - Endstufe: teilweise Sterntopologie + Massefläche
 - Verbindung zwischen den drei Grounds: sternförmig

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

→ Masse: Vergleich zwischen den topologischen Konzepten

- Hybride Topologien mit frequenzabhängigen Eigenschaften



3 EMV Integration

→ Topologische Ansätze: Zusammenfassung

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“

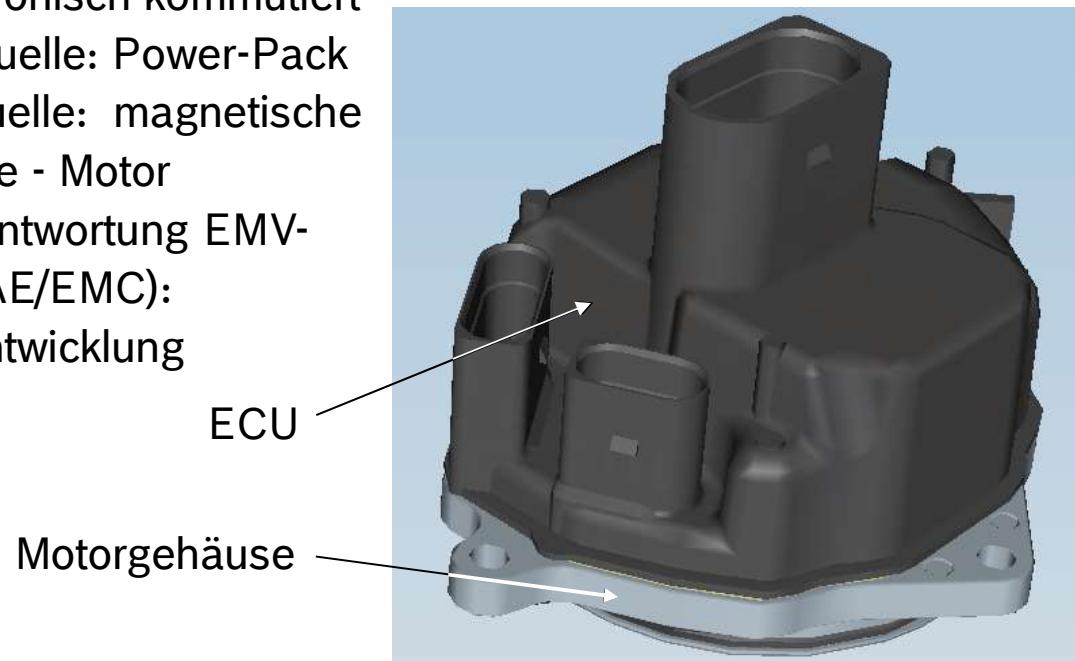
- Es gibt eine Vielfalt von Maßnahmen durch deren Anwendung die AVT - Topologie die Störgrößen beeinflusst
- Oberflächlich betrachtet sehen manche Maßnahmen wie „Tricks“ aus. In Wirklichkeit beruhen diese Maßnahmen auf der Anwendung der Kenntnisse der elektromagnetischen Theorie (Feldtheorie)
- Allgemeine Leitregeln
 - AVT besteht u.a. aus vielen, zunächst unbeabsichtigten, „Bauelementen“
 - Diese parasitären „Bauelemente“ wirken sich in den Störpfaden aus
 - In der EMV-Entwicklung können diese „parasitären Bauelemente“ im Entstörkonzept anstelle von realen Bauelementen angewendet werden
- Vorteil: keine zusätzlichen Kosten für Hardware
- Nachteil: detaillierte Kenntnisse über die Störmechanismen notwendig, in der Regel keine direkte quantitative Aussagen möglich
→ „Notwendigkeit“ zur Simulation → höhere Entwicklungskosten

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

- Der Motor ist elektronisch kommutiert
 - ➡ HF-Störquelle: Power-Pack
 - LV-Störquelle: magnetische Feldquelle - Motor
- Betrachtung / Verantwortung EMV-Entwicklung (RB: AE/EMC):
EMV - gerechte Entwicklung des Power-Packs



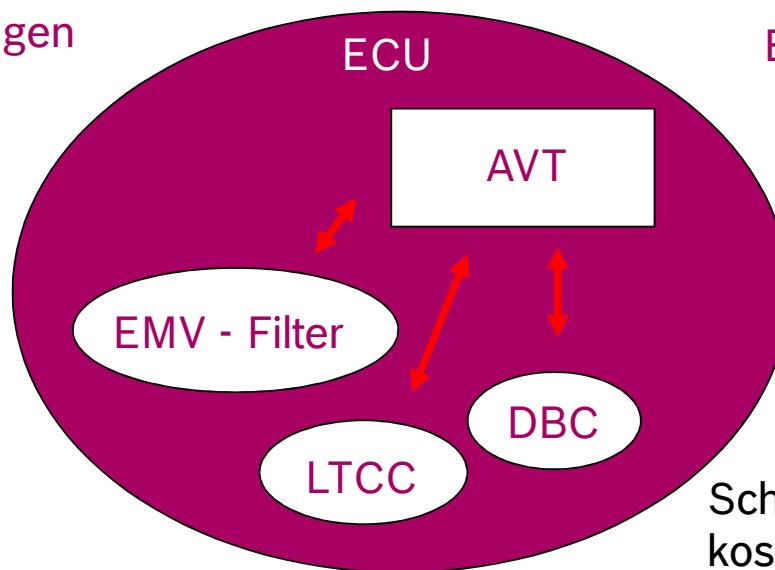
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“

- ➔ EMV-Integration aufgrund des EMV-Konzeptes (siehe Kapitel 2)
- ➔ EMV-Integration => EMV-Maßnahmen
- ➔ Systemzerlegung, EMV-Maßnahmen und Randbedingungen:

Randbedingungen

- Bauraum ➔
- Gewicht ➔
- Kosten ➔
- Thermik ➔



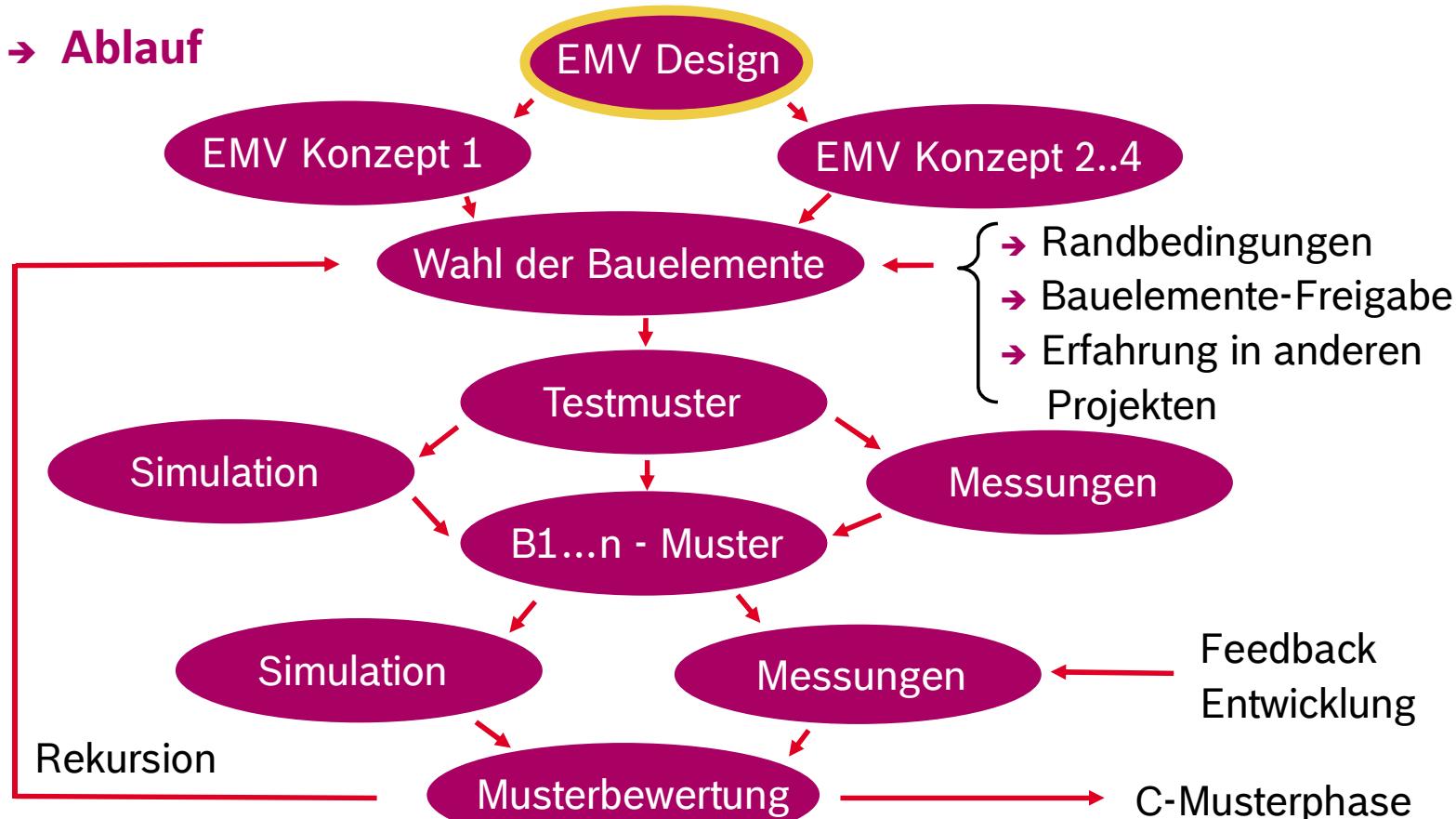
EMV – Maßnahmen

- Filterung ➔
- Schirmung ➔
- Topologie ➔

Schirmung wird meist kosten- und bauraumbedingt nicht angewendet

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
 - ▶ 3.2 EMV-Schirmung
 - ▶ 3.3 EMV-Filterung
 - ▶ 3.4 Topologische Ansätze
 - ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

Eingangsfilter im Projekt ESL3

- Filterungsmaßnahmen
 - Eingangsfilter für das Steuergerät
 - DBC
 - LTCC
- Eingangsfilter
 - Schnelle Umschaltung von MOSFETs in der DBC-Schaltung
→ starke CM- und DM-Störungen
 - Höhe der Anforderungen nach dem Lastenheft
 - **Eingangsfilter ist notwendig**
 - Betrachtung im Folgenden:
Endmuster (ohne Iterationen)

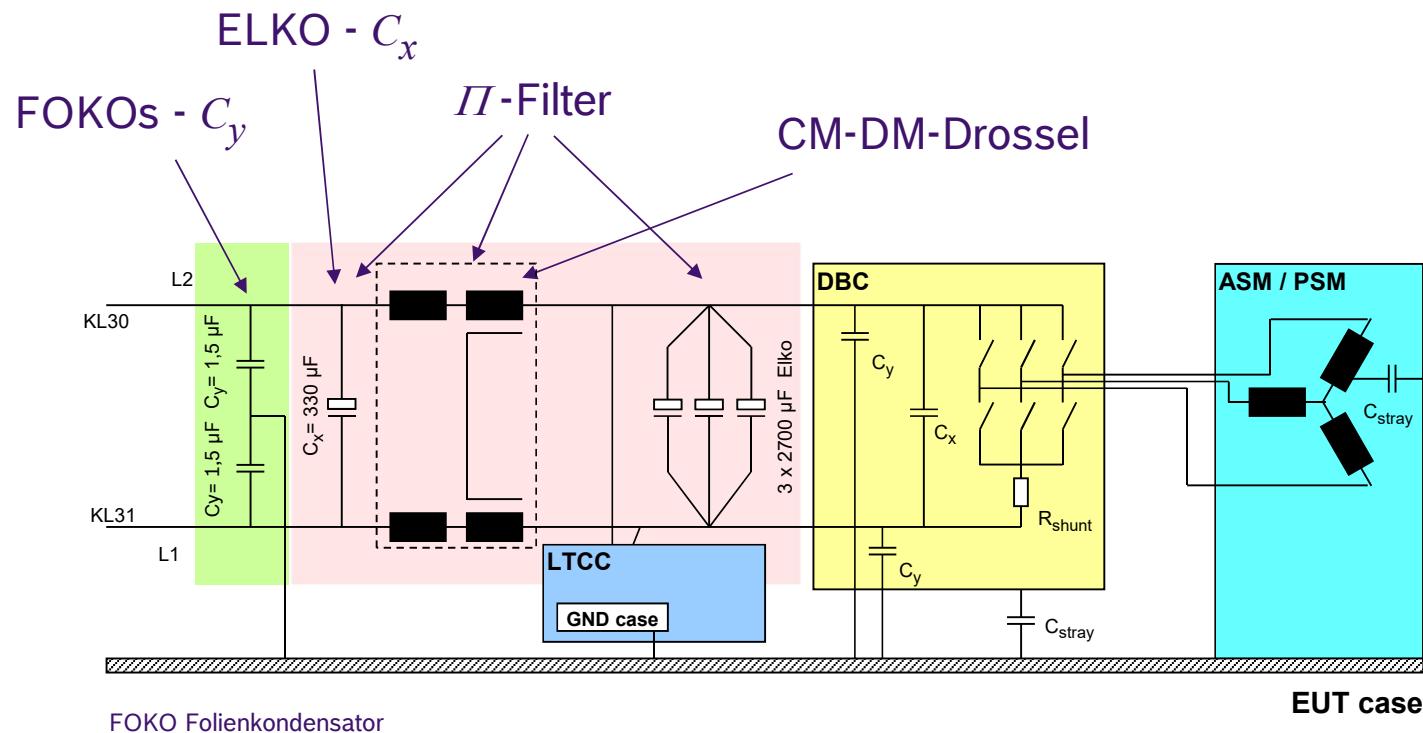
Anforderungen

Funkdienst	Frequenzbereich (MHz)	Messverfahren Bordnetznachbildung			
		PK (dBµV)	QP (dBµV)	AV (dBµV)	Messbandbreite (kHz)
125 kHz	0,1 - 0,15	73	-	-	9
LW	0,15 - 0,3	70	57	50	9
MW	0,52 - 1,73	54	41	34	9
KW	3,85 - 26,1	53	40	33	9
CB-Funk	26,5 - 29,7	63	-	43	9
TV 1 - DVBT	47 - 88	48	-	33	1000
4m-BOS	84,015 - 87,255	41	-	8	120/-/9
UKW	76 - 108	32	19	12	120
TV 2	90 - 108	43	-	28	1000

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

→ Eingangsfilter: prinzipielle Schaltung



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
3.5.1 Eingangsfilter
3.5.2 Massekonzept

→ C_y FOKOs am Eingang

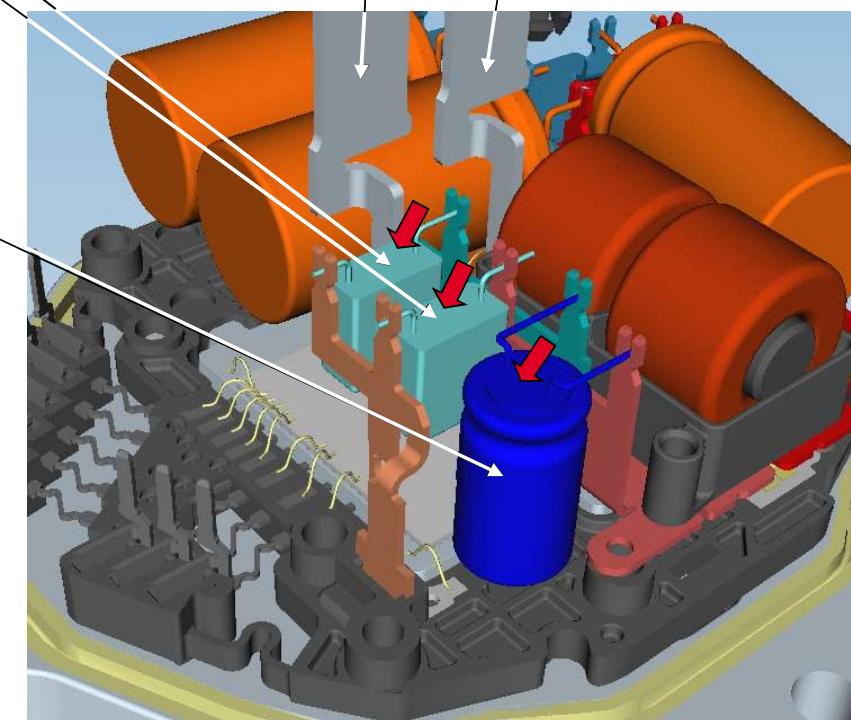
Hersteller: EPCOS
B32520-C0155-K
 $C = 1,5 \mu\text{F}$

→ C_x ELKO am Eingang

Hersteller: NCC
EGXE250ETD471MJ20S
 $C = 470 \mu\text{F}$

Geometrie mit Stanzgitter

Kl. 30 Kl. 31



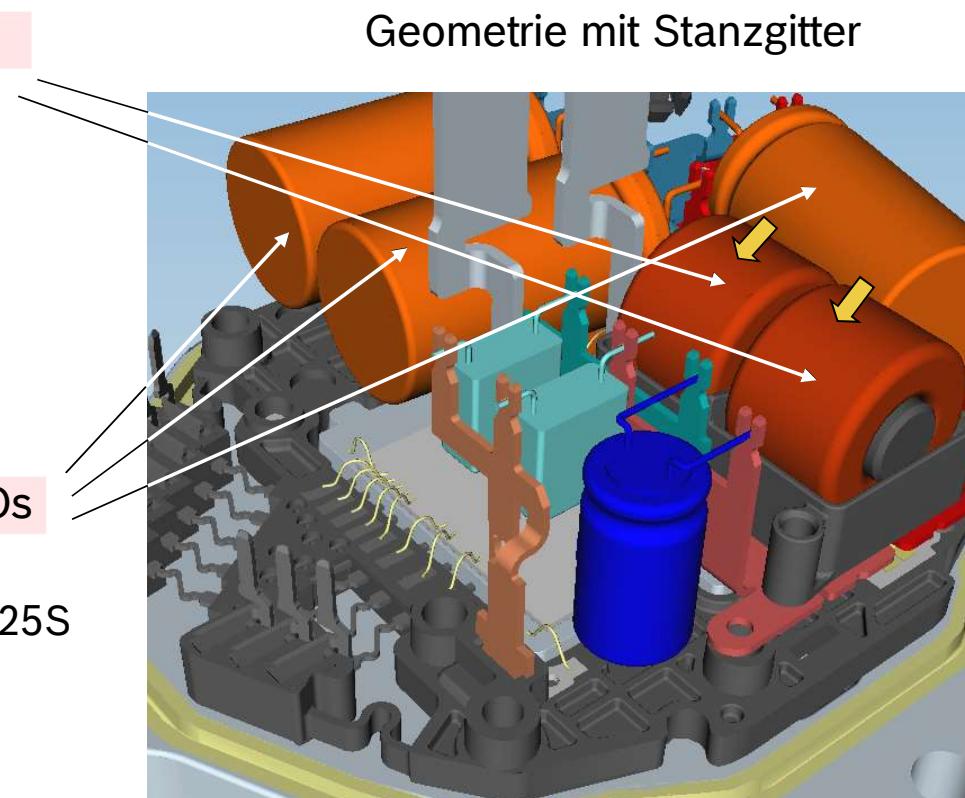
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

→ CM-DM-Drossel
Hersteller: EPCOS
B82116S382951

CM-DM-Drossel:
Drossel mit höherer Streuinduktivität

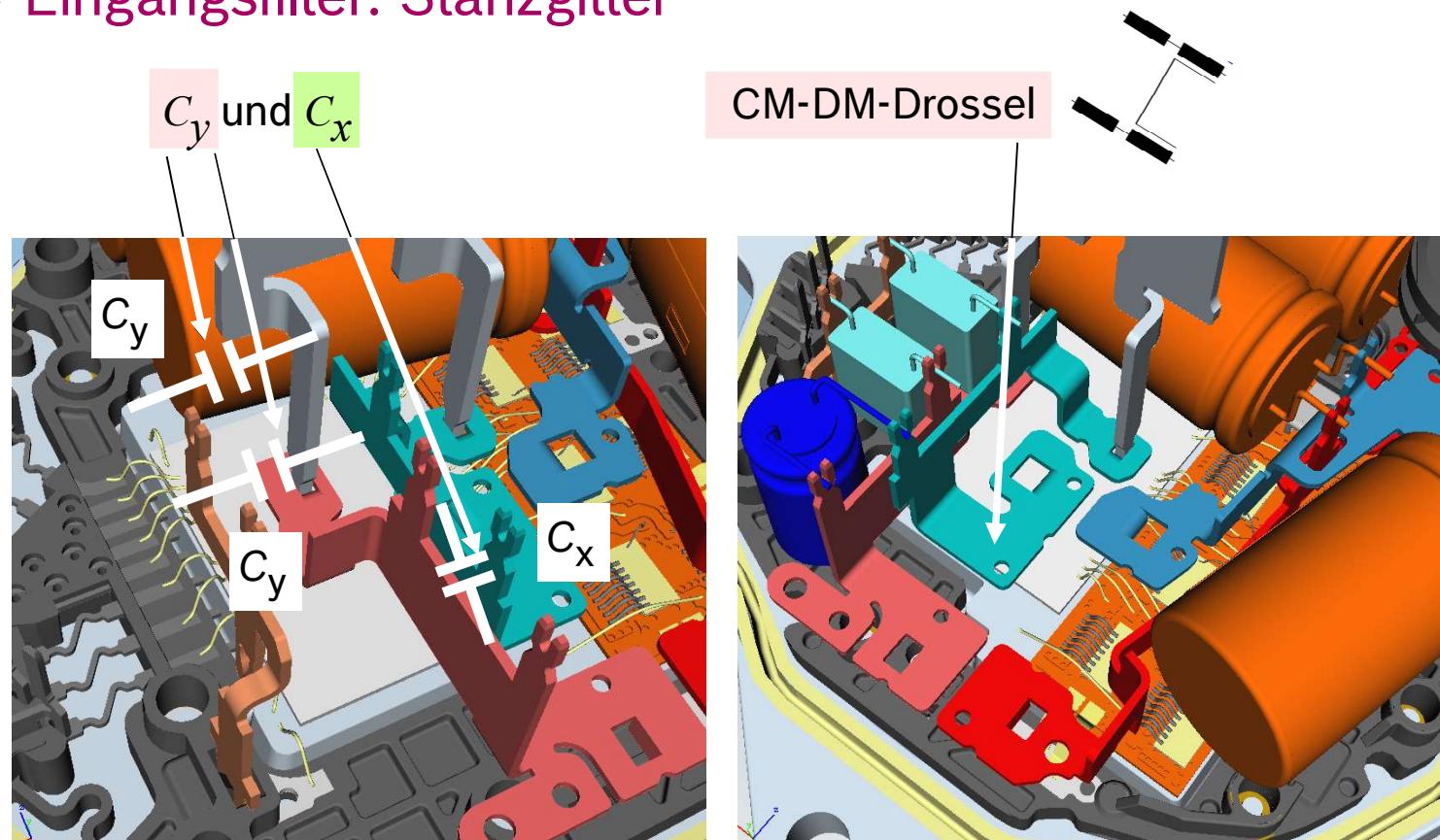
→ Zwischenkreis-ELKOs
Hersteller: NCC
EGPA250ELL392MM25S



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
3.5.1 Eingangsfilter
3.5.2 Massekonzept

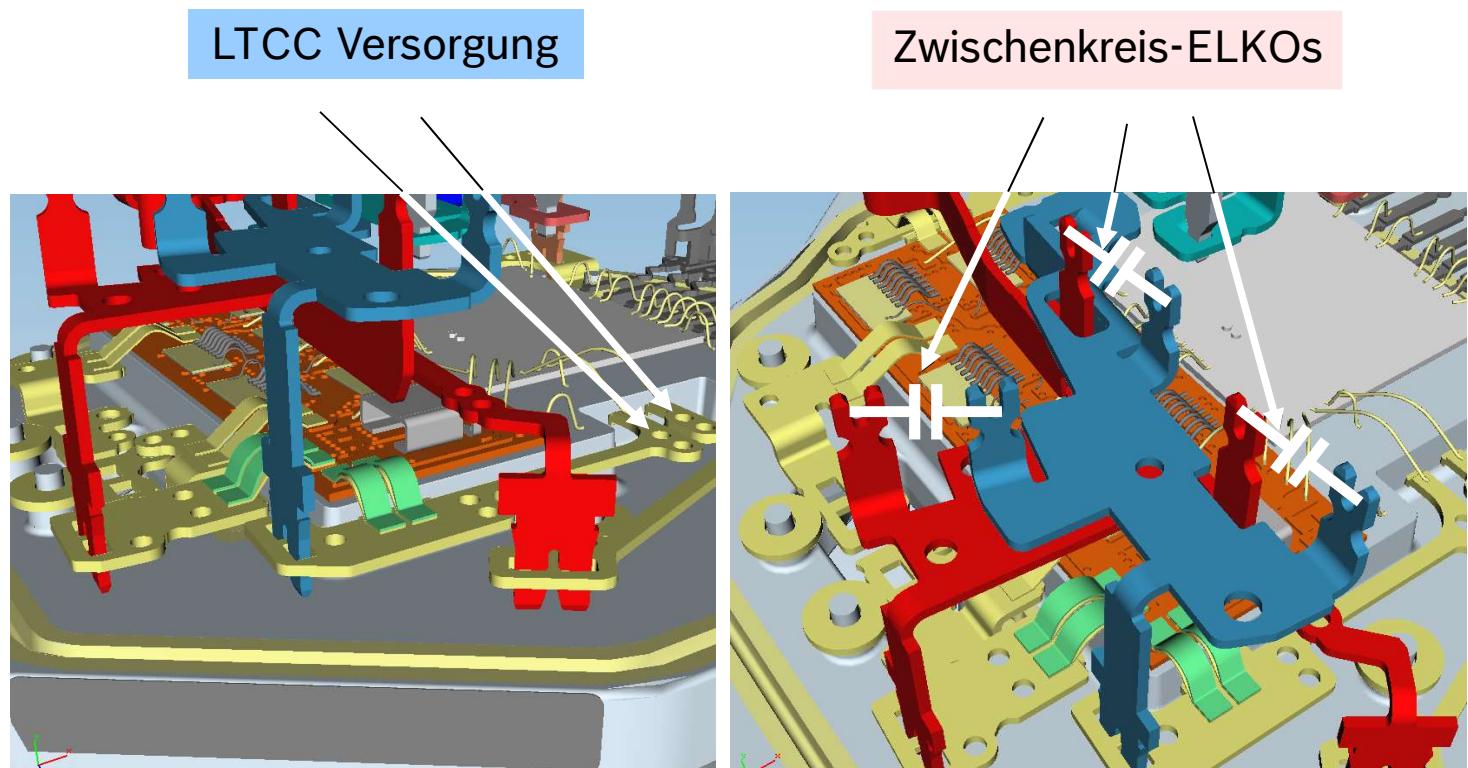
→ Eingangsfilter: Stanzgitter



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

→ Eingangsfilter: Stanzgitter

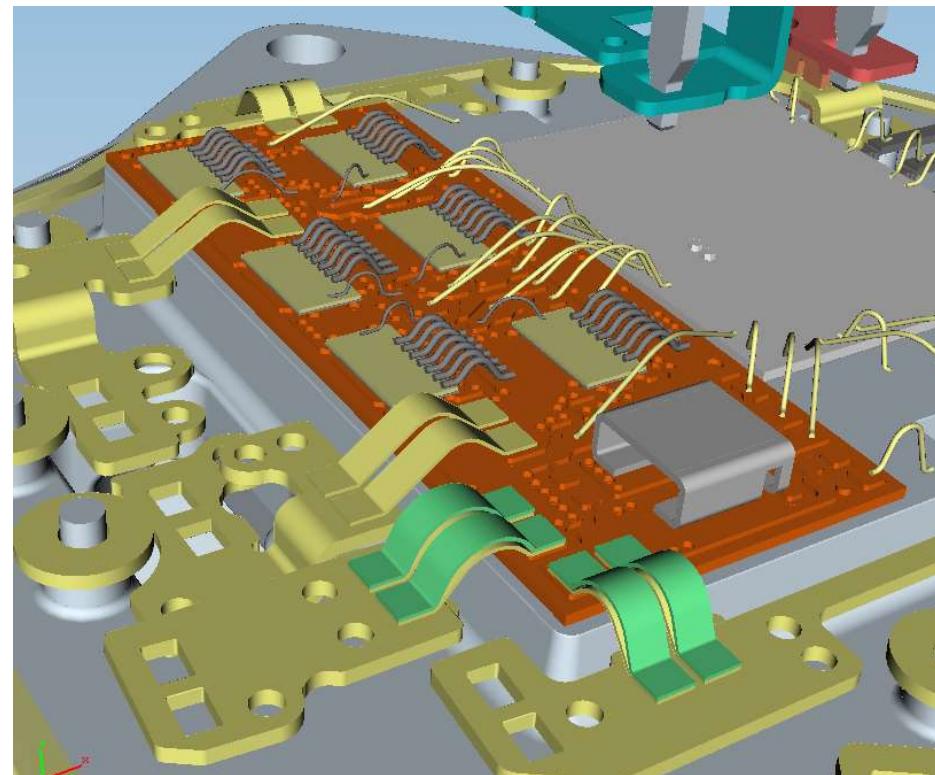


3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“ Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

→ Eingangsfilter: Stanzgitter

Zwischen dem Zwischenkreiskondensator und DBC

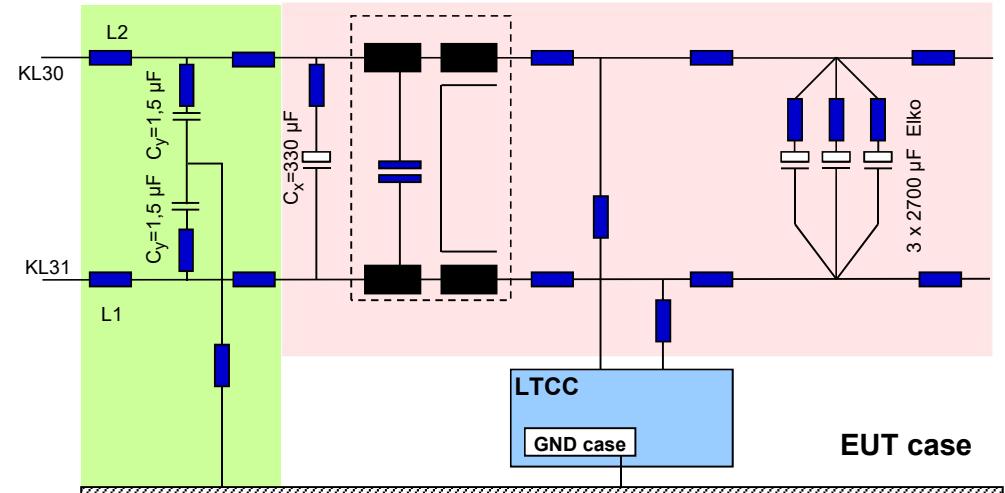


3 EMV Integration

→ Eingangsfiltermodell mit dem Stanzgitter

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“ Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

- parasitäre Induktivitäten (magnetisch gekoppelt)
- ||| parasitäre Kapazitäten



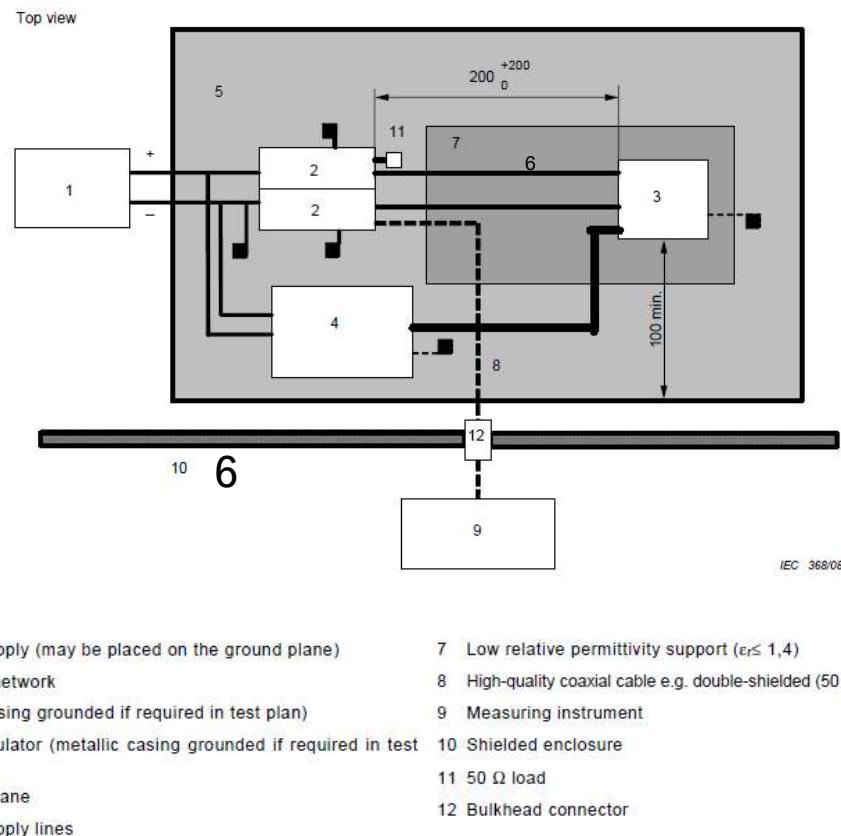
- Starker Einfluss von Parasitics
- Messtechnische Untersuchung

3 EMV Integration

→ Einfluss der Filterelemente auf die Störaussendung

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

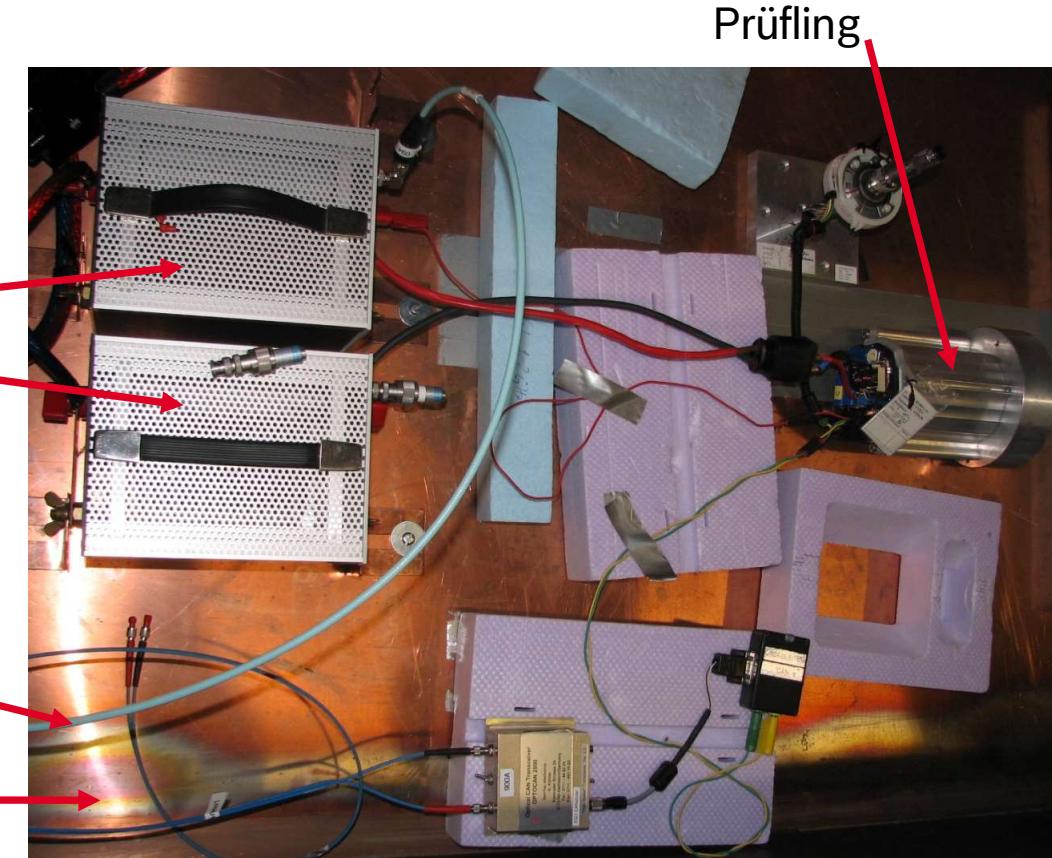
- Lastenheft: Prüfung an der Bordnetznachbildung gemäß CISPR 25 (3. Edition, Absatz 6.2)
- Im folgenden wird die Störspannung bei An- und Abwesenheit der Filterelemente betrachtet



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

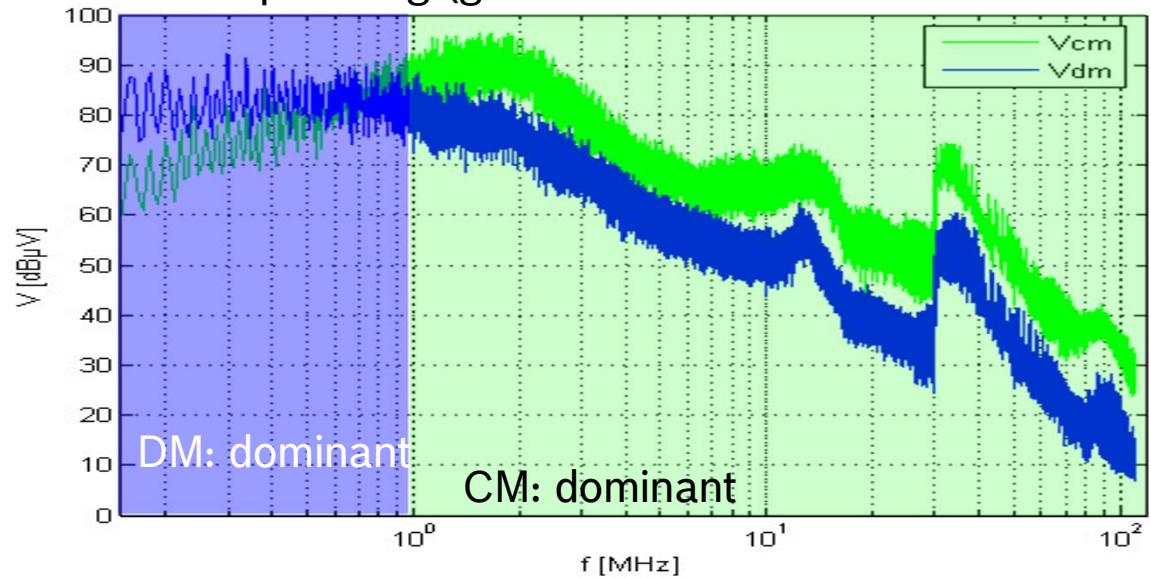
→ Einfluss der Filterelemente auf die Störaussendung: Messanordnung



3 EMV Integration

→ Messergebnis ohne den Eingangsfilter

CM- und DM-Störspannung (gemessen mittels der Bordnetznachbildung)



- $f < 1 \text{ MHz}$: DM-Störung ist dominant
- $f > 1 \text{ MHz}$: CM-Störung ist dominant
- Das Messergebnis entspricht dem allgemeinen Modell (siehe 3.3.2)
- Störspannung liegt außerhalb der im Lastenheft gegebenen Grenzen

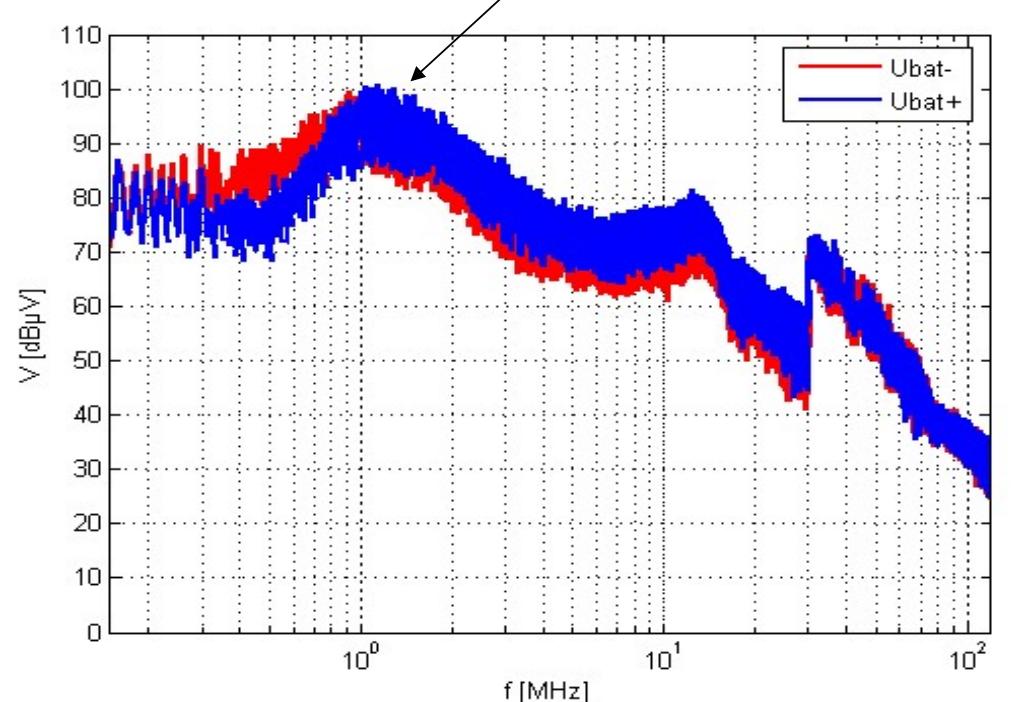
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“ Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

→ Messergebnis ohne den Eingangsfilter: gesamte Störspannung

- Klemme 31: $U_{bat^-} = U_{minus}$
- Klemme 30: $U_{bat^+} = U_{plus}$

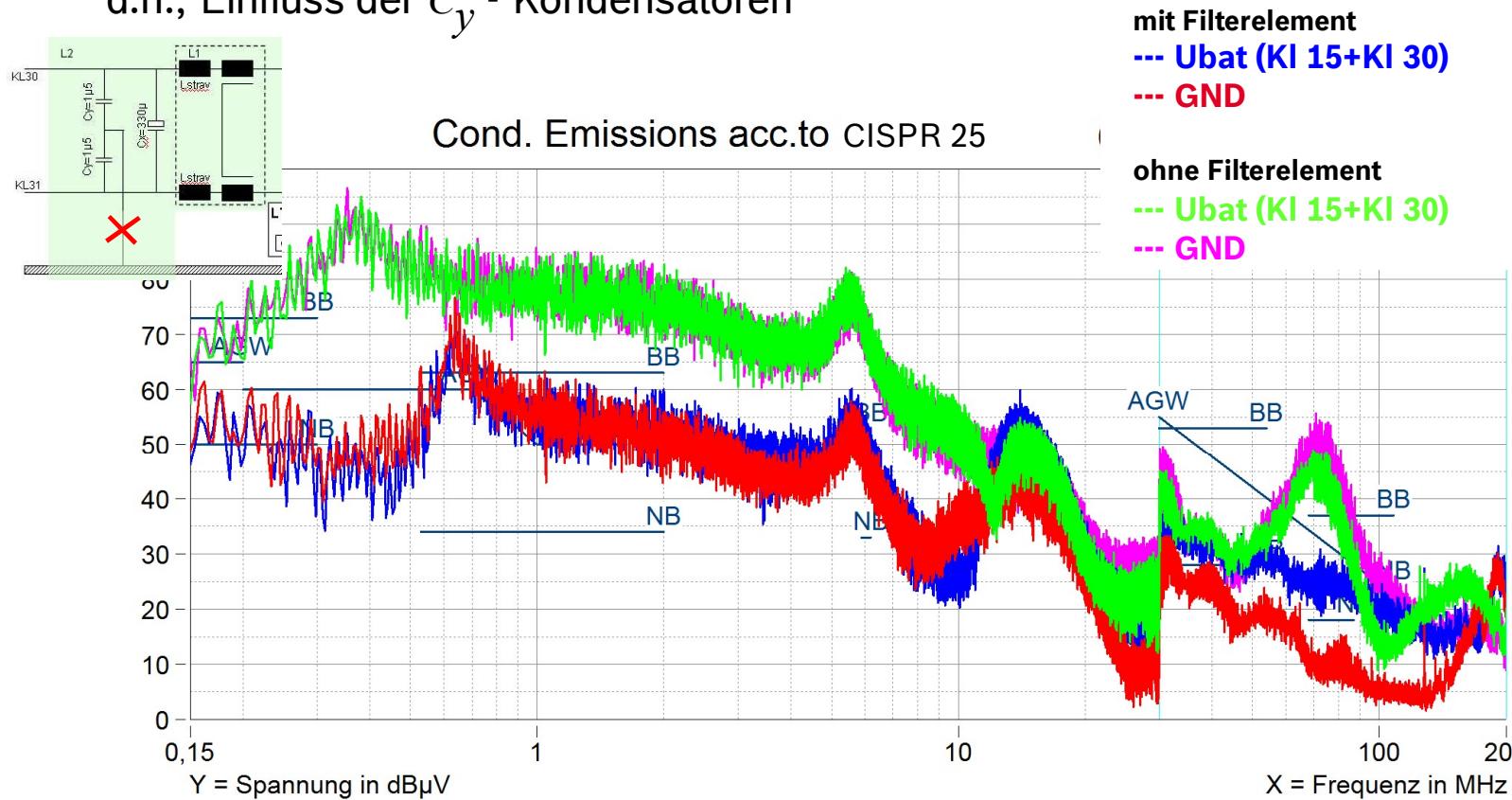
Höchste Störung, wenn beide Moden vorhanden sind



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
3.5.1 Eingangsfilter
3.5.2 Massekonzept

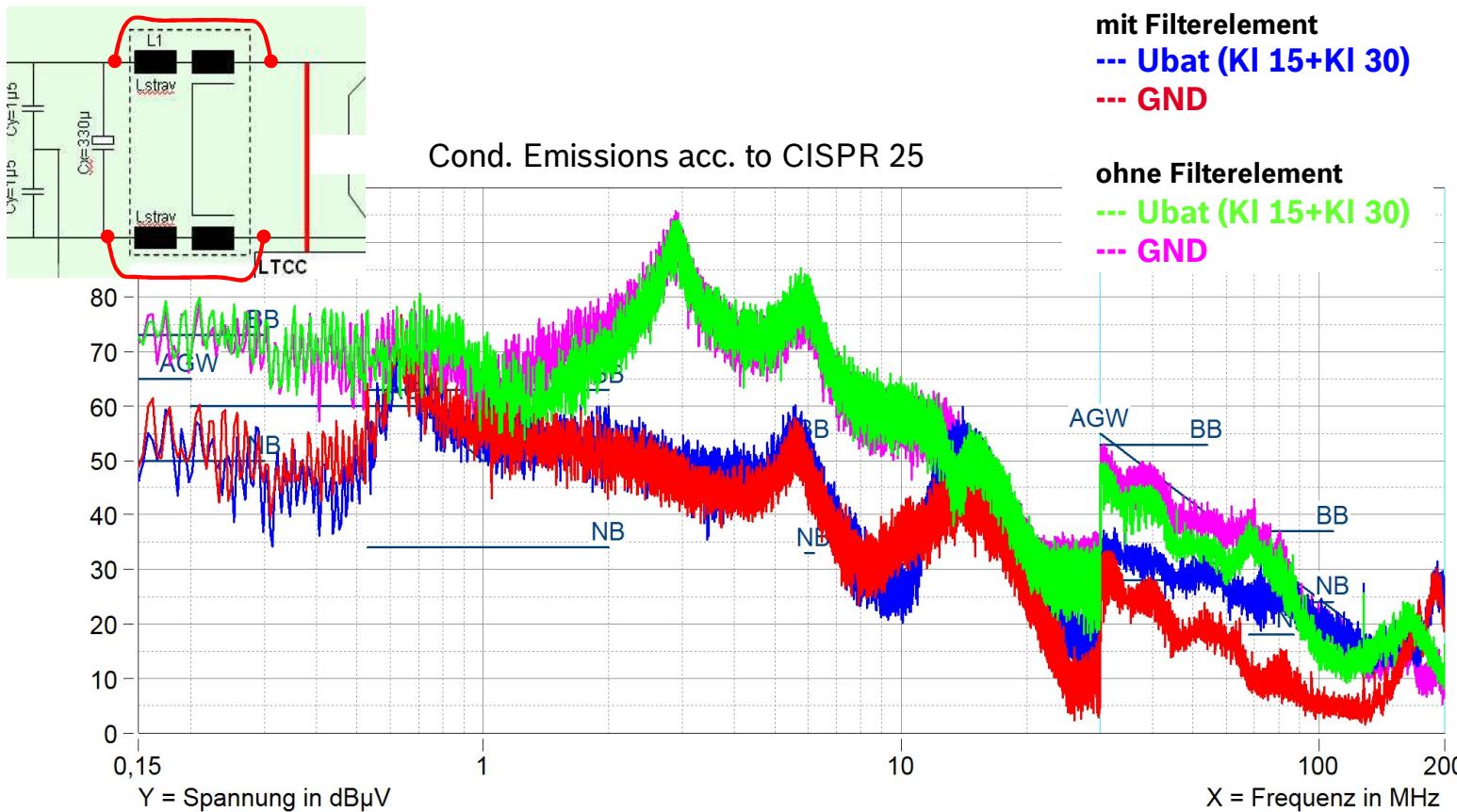
→ Entfall Gehäuseanbindung von Fokus (C_y -Cs) in ECU Deckel
d.h., Einfluss der C_y - Kondensatoren



3 EMV Integration

→ Entfall CM-DM-Drossel (Kontakte im Deckel kurzgeschlossen)

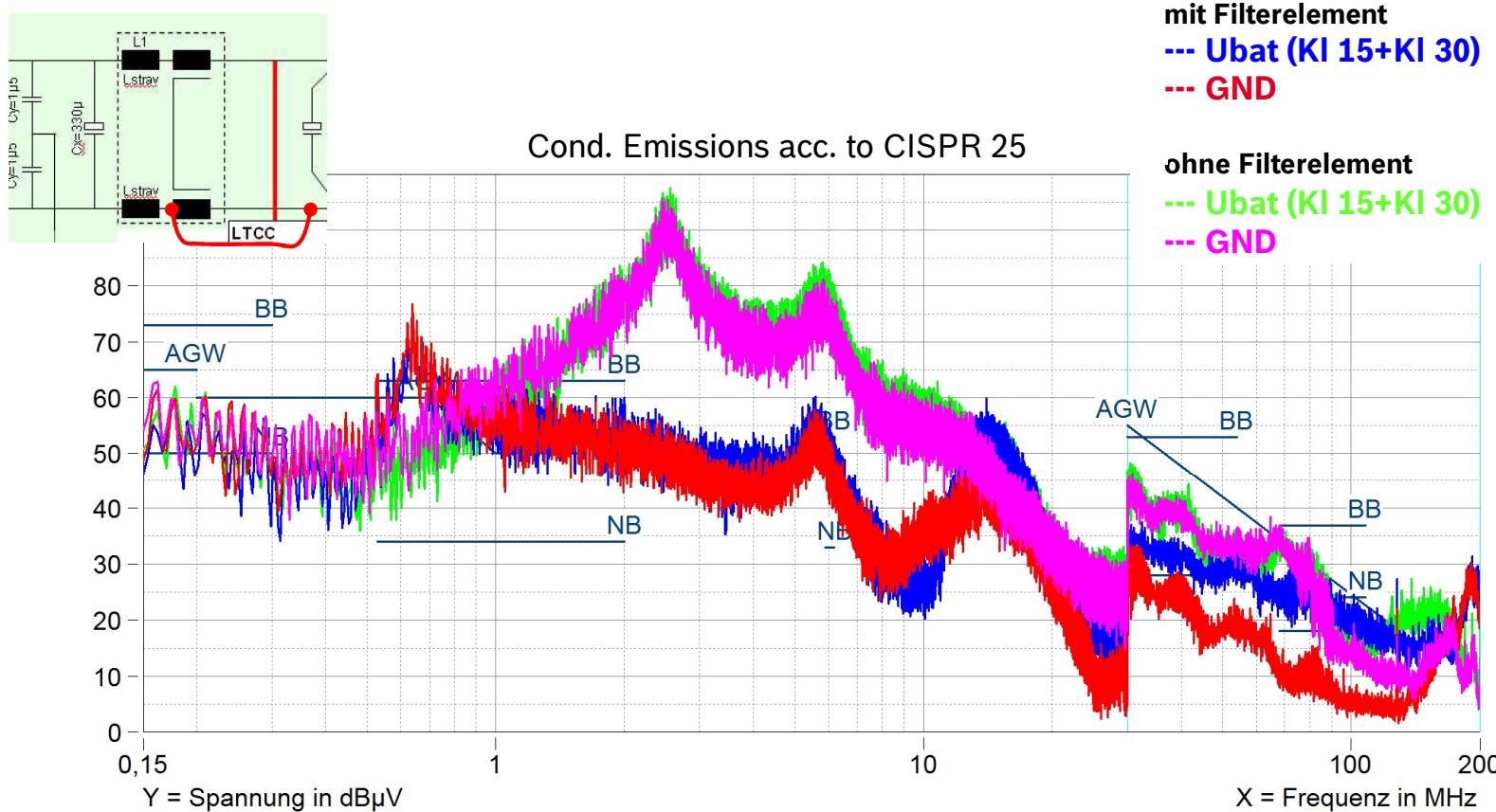
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept



3 EMV Integration

→ Einfluss CM-DM-Drossel GND – seitig kurzgeschlossen

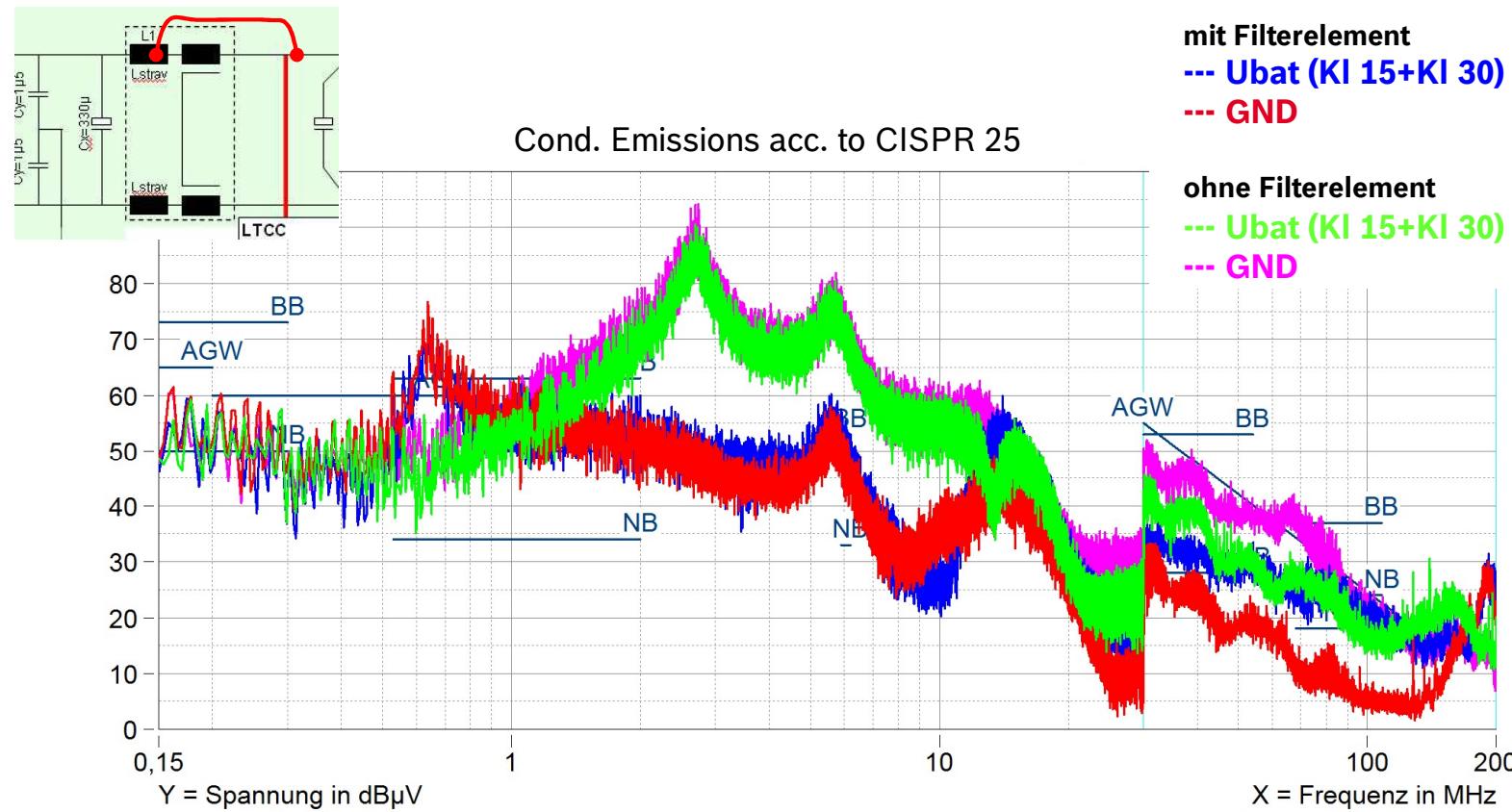
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept



3 EMV Integration

→ Einfluss CM-DM-Drossel BAT – seitig kurzgeschlossen

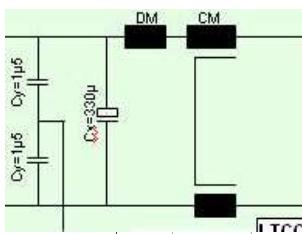
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept



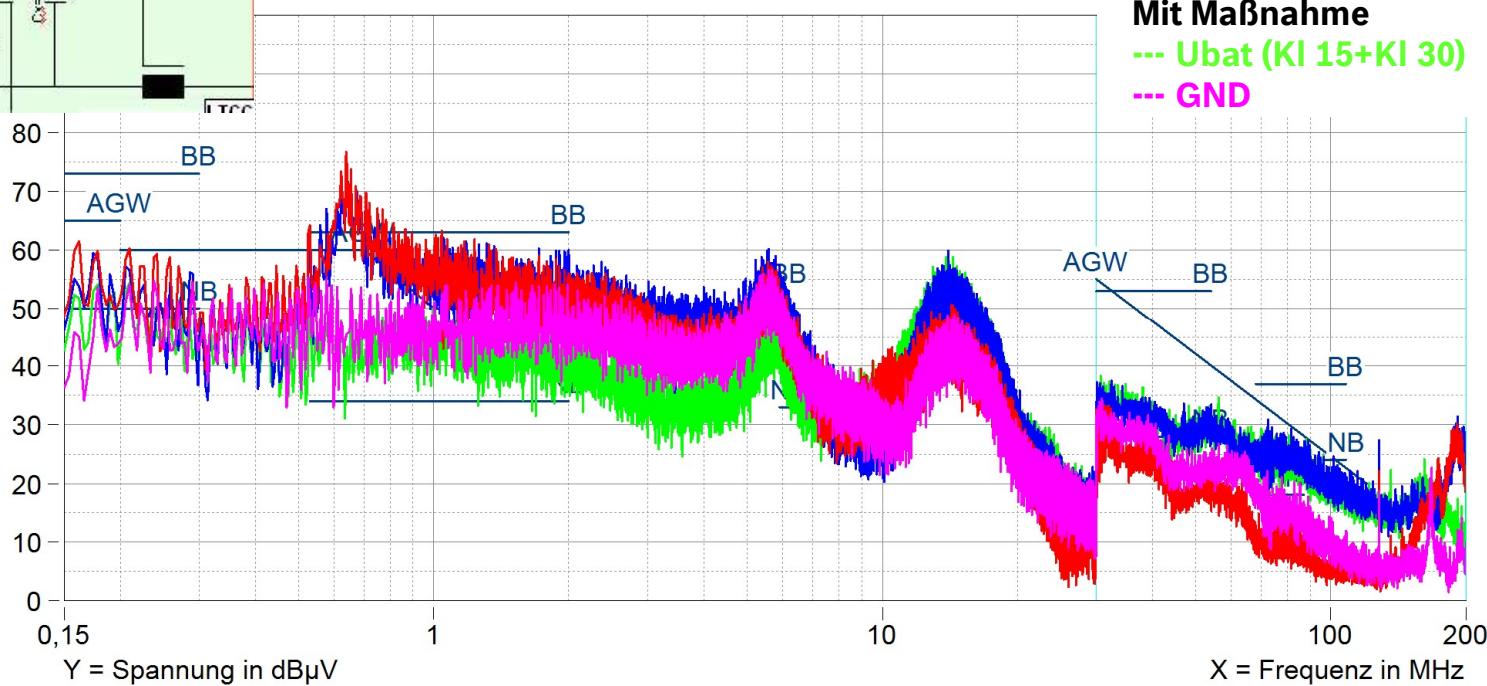
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

→ Ersatz der CM-DM-Drossel durch CM-Drossel (137 μ H) plus DM-Drossel (ca. 3,3 μ H) in Serie



Cond. Emissions acc. to CISPR 25



Ohne Maßnahme
--- Ubat (KI 15+KI 30)
--- GND

Mit Maßnahme
--- Ubat (KI 15+KI 30)
--- GND

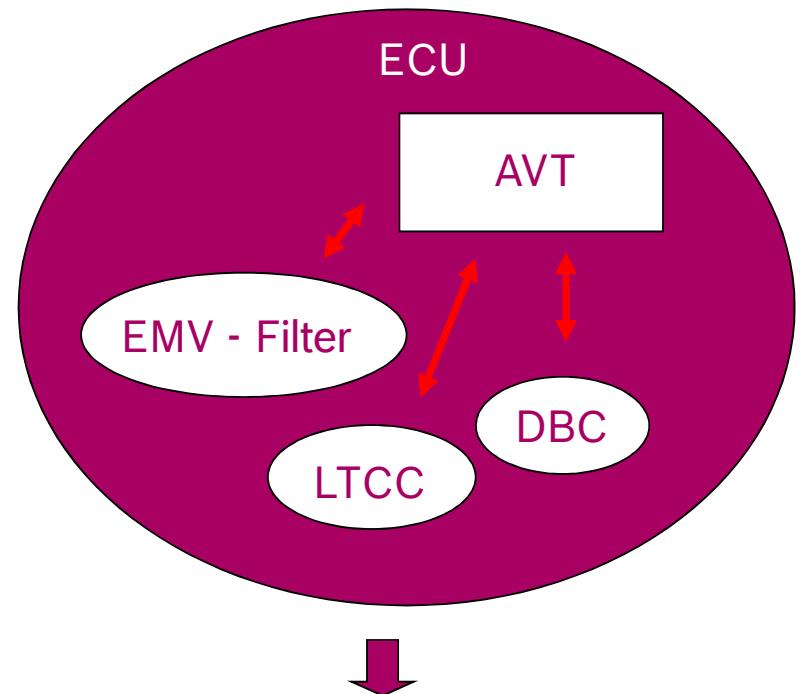
3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

Massekonzept

Randbedienungen

- Bauraum →
- Gewicht →
- Kosten →
- Thermik →



Modulebene – Systemebene - Fahrzeugebene

3 EMV Integration

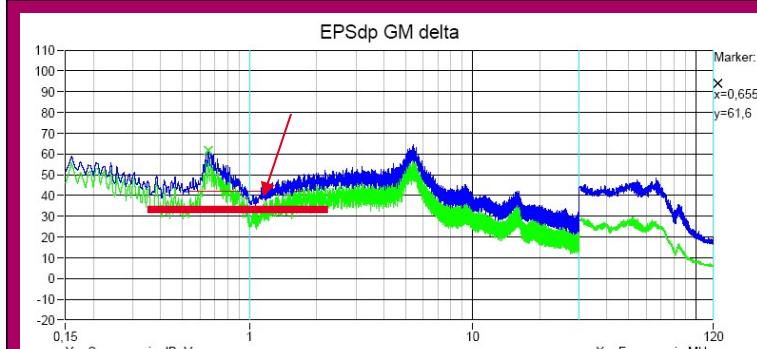
- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
3.5.1 Eingangsfilter
3.5.2 Massekonzept

→ Massekonzept: Fahrzeugebene

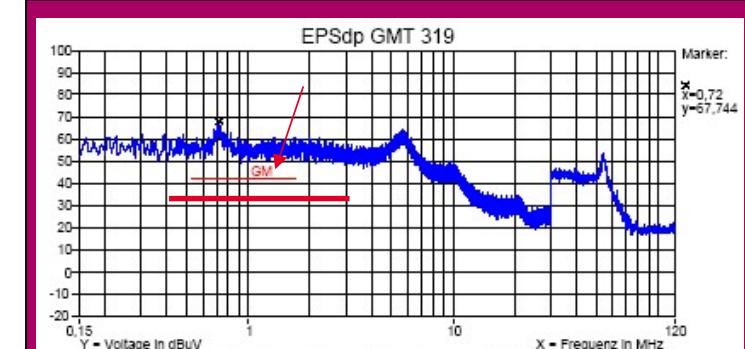
- Zwei Konzepte:
 - Motorgehäuse ist von der Karosserie isoliert
 - Motorgehäuse ist mit der Karosserie galvanisch verbunden (Masseband)



→ Messergebnisse → Unterschied Faktor ca. 10 dB!



Lenkhilfsträger auf Karosseriemasse



Lenkhilfsträger isoliert

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen: Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“ Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

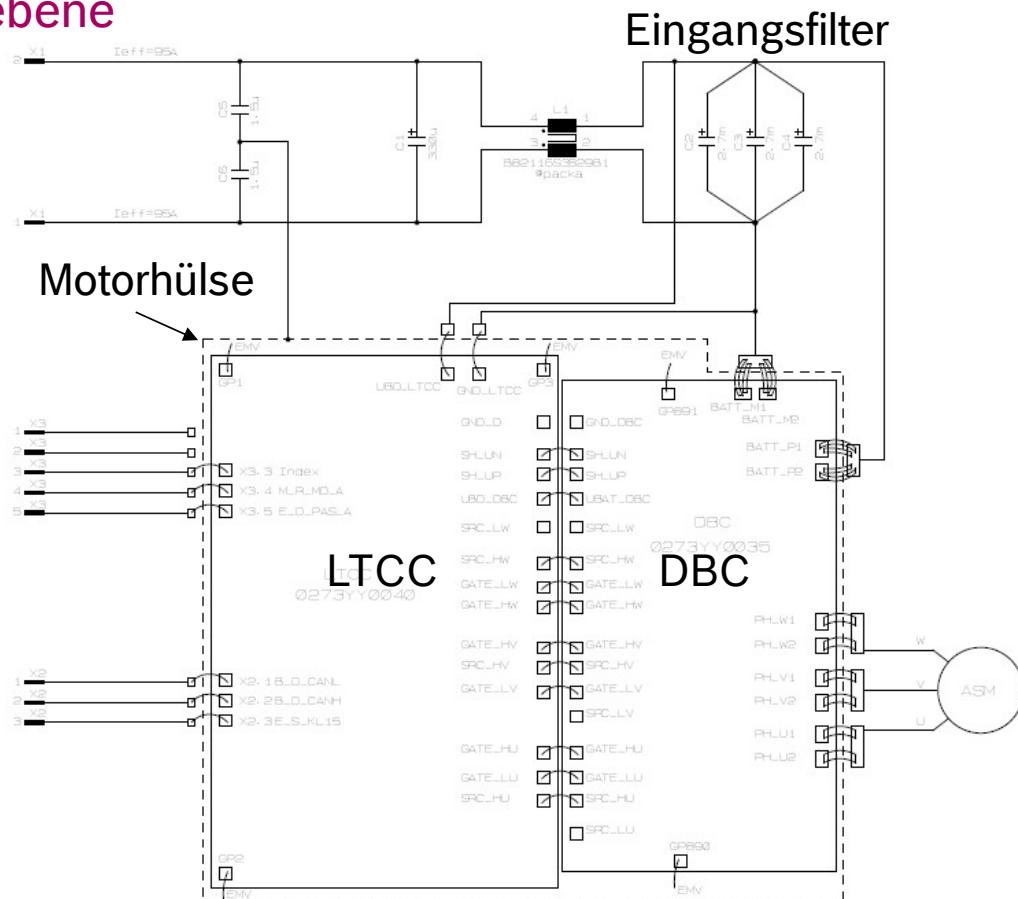
→ Massekonzept: Systemebene

1. Kühlkörper

Bezug: Thermik
Kühlkörper = Motorhülse

Grundfläche von DBC und LTCC sind mit der Motorhülse mittels Wärmeleitpaste verbunden
→ Kapazitive Anbindung
→ noch beabsichtigte galvanische Verbindung

2. Eingangsfilter: Verbindung durch C_y

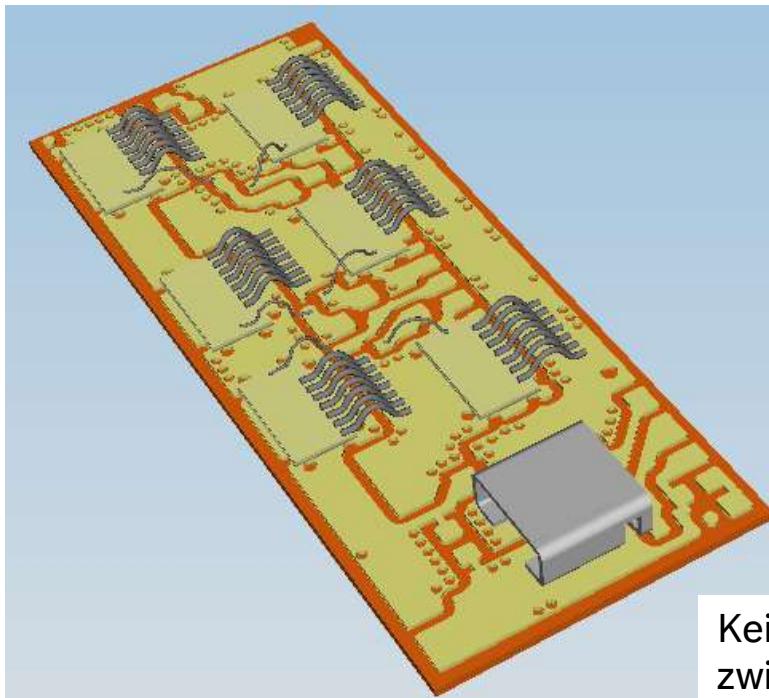


3 EMV Integration

→ Massekonzept: DBC

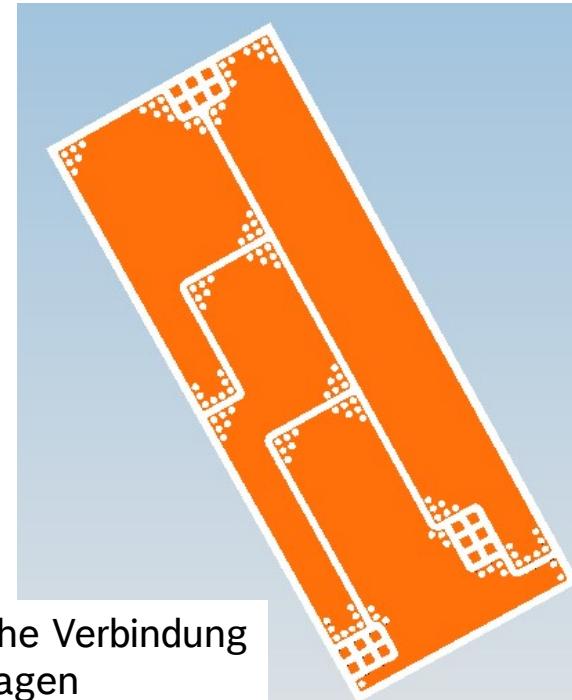
- Layout: keine durchgehende Masselage

Lage 1: Signallage



Keine galvanische Verbindung
zwischen den Lagen

Lage 2: Metallisierung hat nur
mechanische Funktion (Vermeidung
der Leiterplattendeformation)

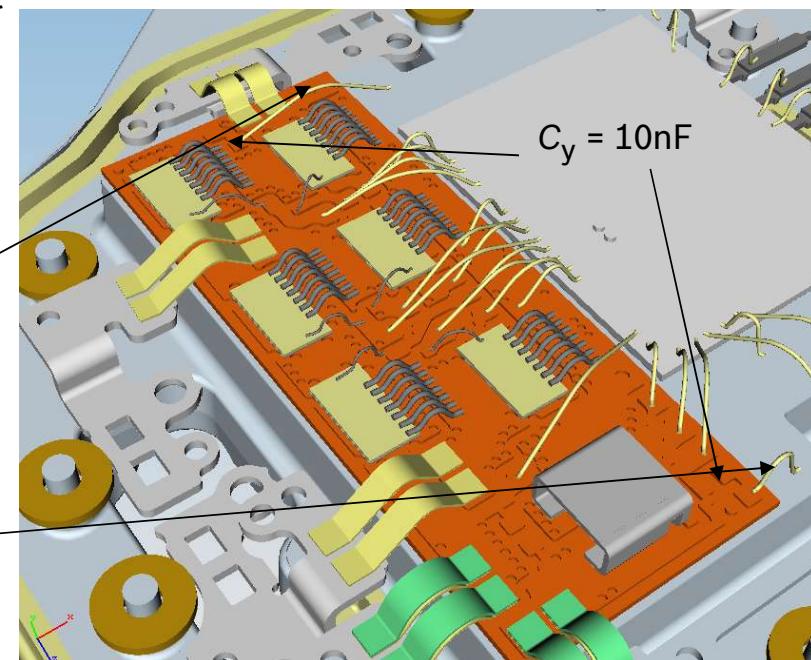
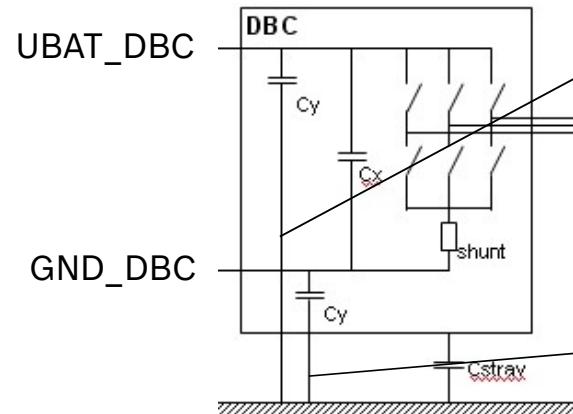


3 EMV Integration

→ Massekonzept: DBC

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
3.5.1 Eingangsfilter
3.5.2 Massekonzept

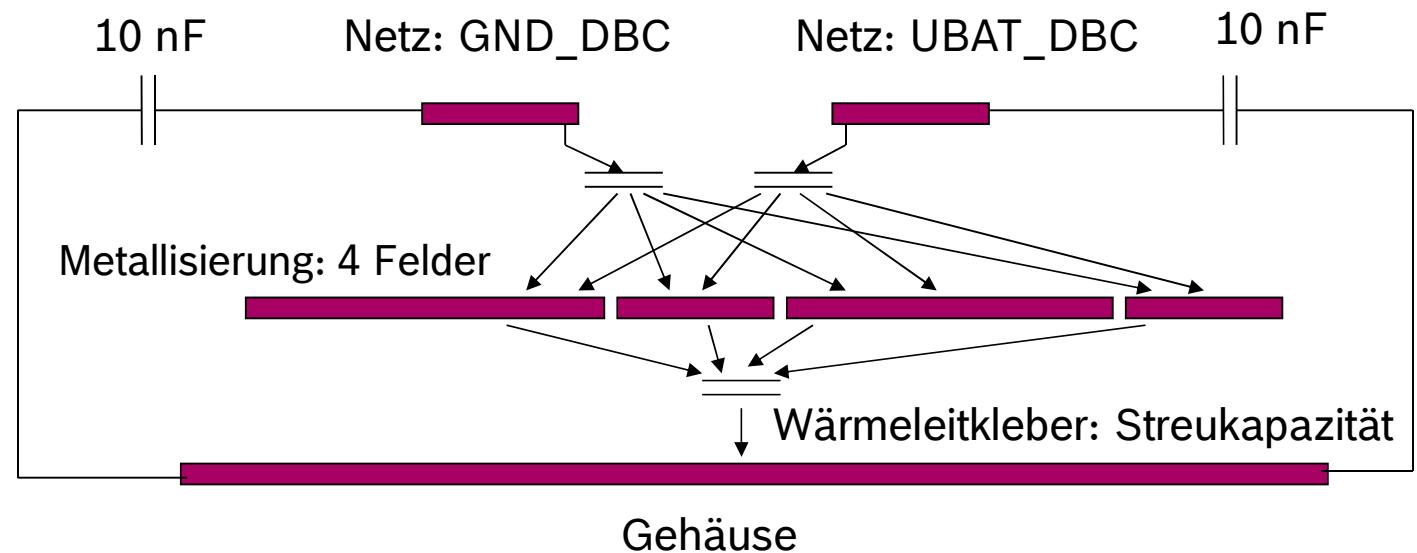
- Entstörkondensatoren verbinden HF-mäßig GND_DBC- und UBAT_DBC- Netze mit dem Motorgehäuse
- Verbindung durch die Streukapazität
- Untere Metallisierung: schwebend



3 EMV Integration

→ Massekonzeptskizze: DBC

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“ Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept



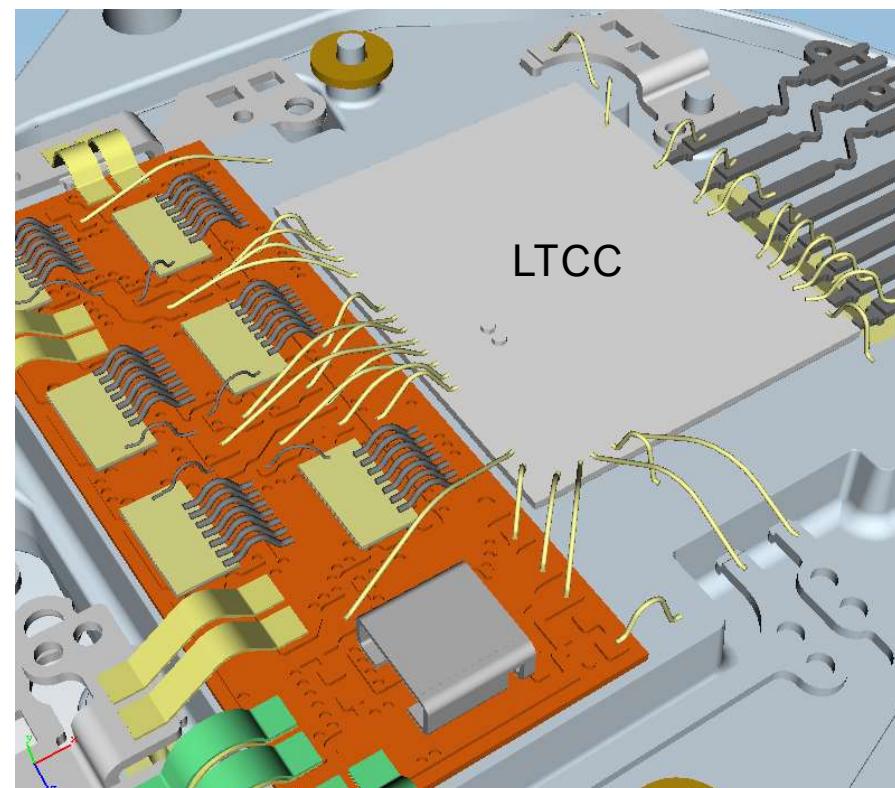
- Bei HF:
 - Gute Masseverbindung → Ausleitung der Störstrome durch C_y
 - LC-Resonanzen sind zu erwarten
- Bei LF: DBC ist schwebend

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“ Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

→ Massekonzept: LTCC

- 6-lagige Leiterplatte
- Durchgehende Masselage
- 3 Bondverbindungen mit dem Gehäuse
- Hybridmassekonzept
- Sternpunkt
- Multipunktmasse
- Motivation:
Beeinflussungen von DBC



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

→ Massekonzept: LTCC

- Es gibt insgesamt 6 Groundnetzwerke
- GND: Durchgehende Masselage (Multipunktmasse)
- GNDA: Analog Ground
- GNDA_S: Ground für den Rotorlagesensor
- GNDA_ADC: Ground für ADC µC
- GND_PAS: Ground für PAS4 (Lenkmomentsensor)
- GND_PE: Motorgehäuse

→ Schwerpunkte

- Vermeidung der Beeinflussungen vom DBC-Modul
- Störquellen
 - Feldkopplungen
 - Gemeinsame Stanzgitter in der Versorgung → DM-Leitungsgebundene Störungen
 - CM-Störungen

3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“ Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept

→ Massekonzept: LTCC

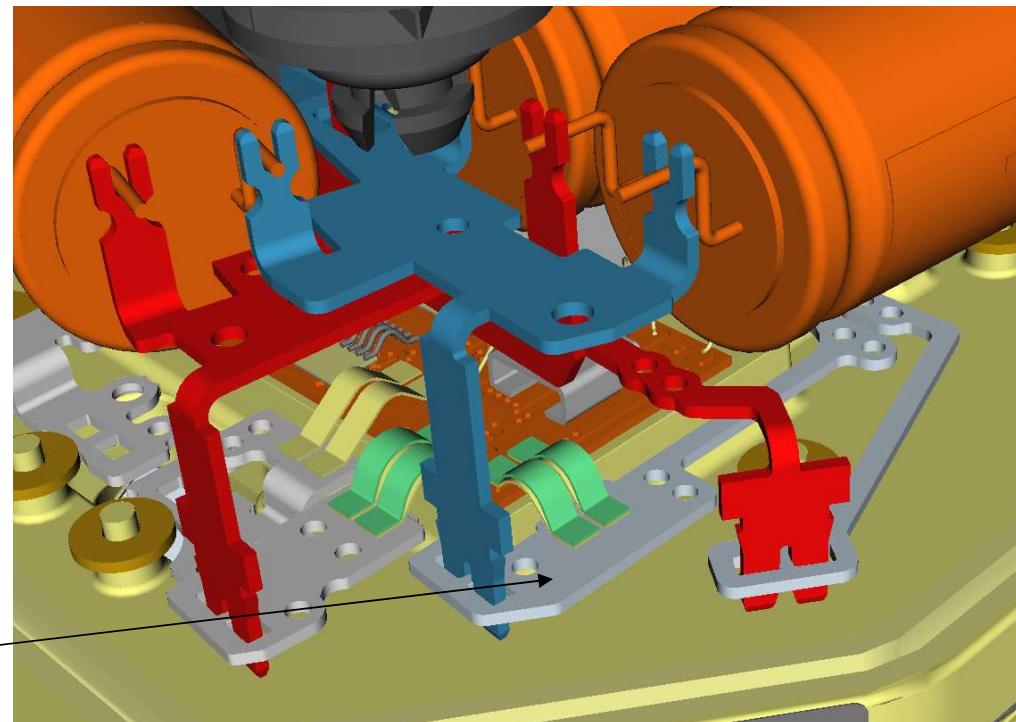
Stanzgitter hat
eine
Sternstruktur

Beeinflussungen:

Feldeinkopplung
Bonds

Feldeinkopplung
im Stanzgitter

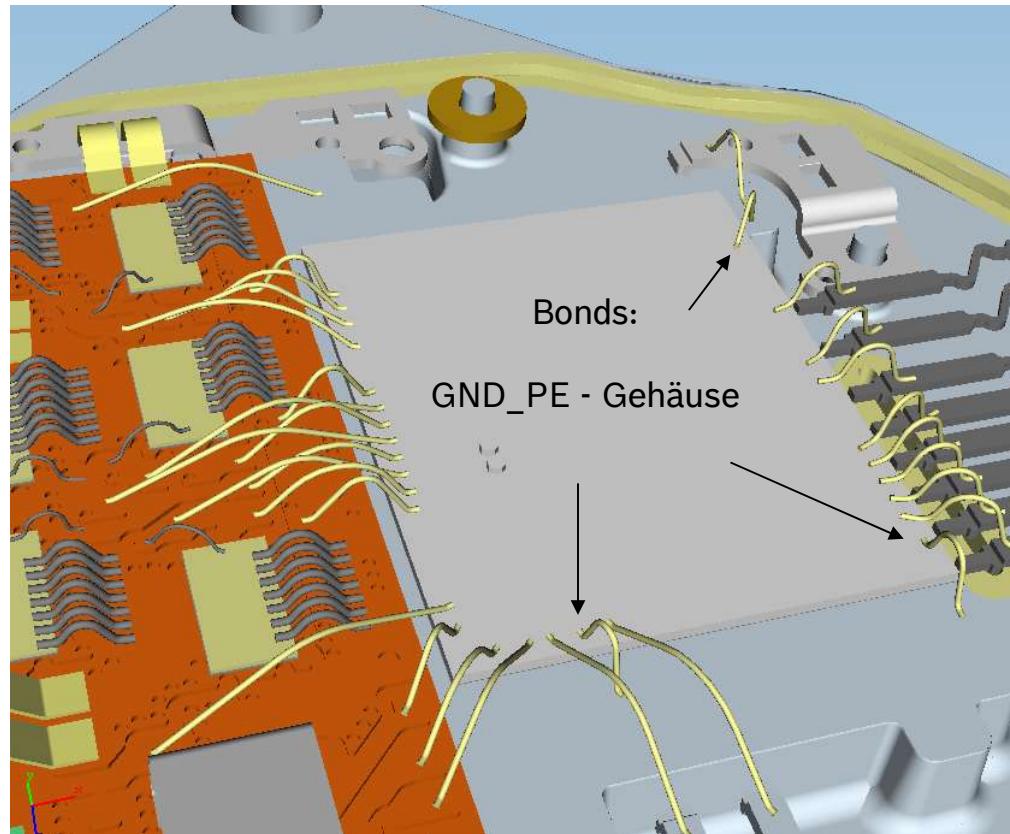
Gemeinsames
Stanzgitter



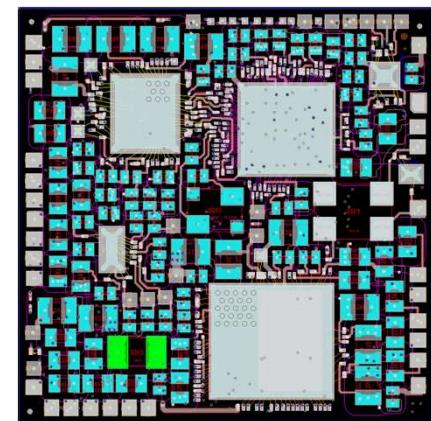
3 EMV Integration

→ Massekonzept: LTCC

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“ Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept



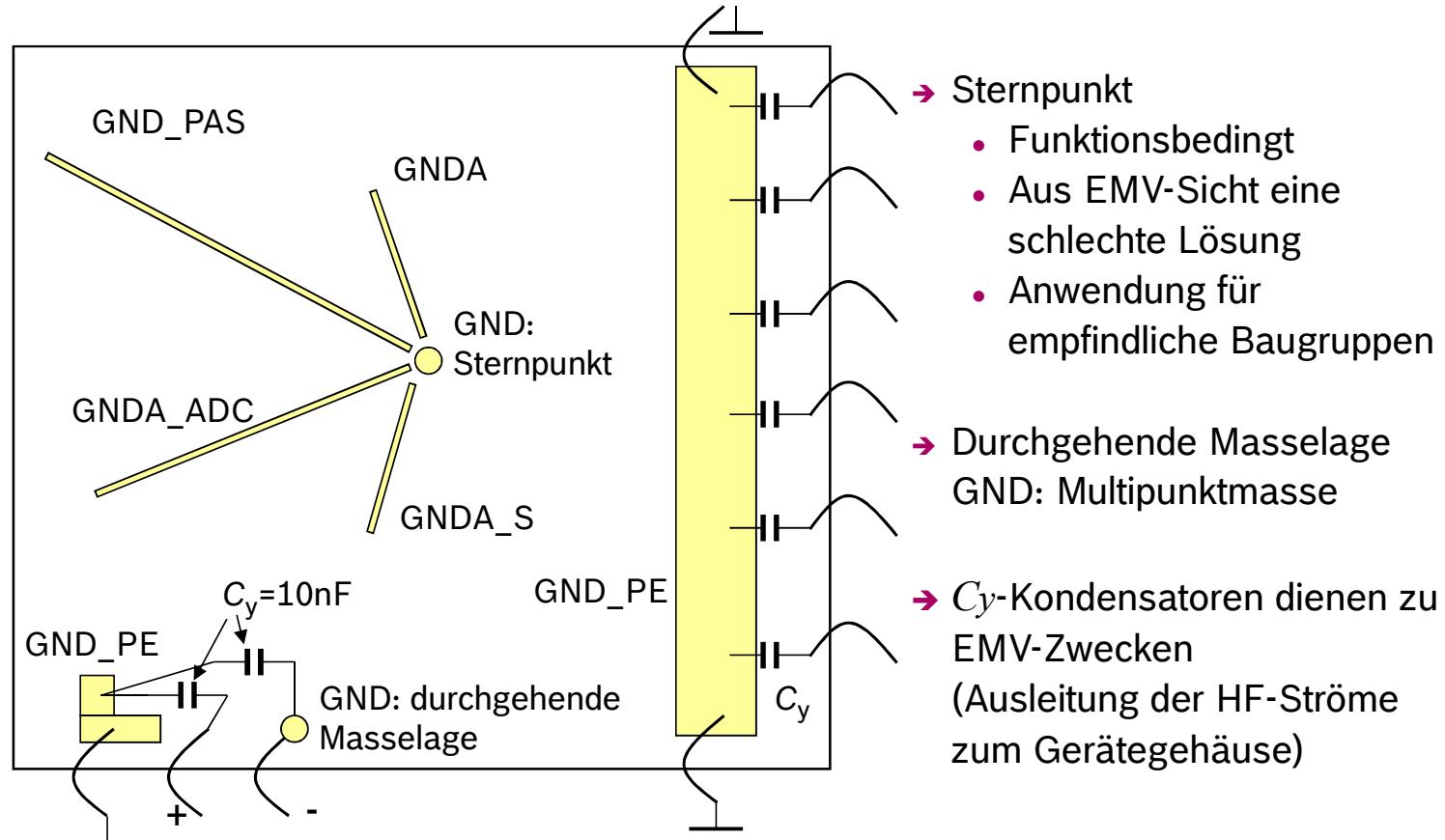
LTCC-Layout



3 EMV Integration

→ Grobe Massekonzeptskizze: LTCC

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel „Elektrische Servolenkung“
Übersicht
3.5.1 Eingangsfilter
3.5.2 Massekonzept



3 EMV Integration

- ▶ 3.1 Typische EMV-Maßnahmen:
Klassifikation und Anwendungen
- ▶ 3.2 EMV-Schirmung
- ▶ 3.3 EMV-Filterung
- ▶ 3.4 Topologische Ansätze
- ▶ 3.5 EMV Integration am Produktbeispiel
„Elektrische Servolenkung“
Übersicht
 - 3.5.1 Eingangsfilter
 - 3.5.2 Massekonzept
- ▶ Zusammenfassung

Zusammenfassung

- ➔ EMV-Integration ist die wichtigste Phase im EMV-Prozess
 - Auslegung der AVT
 - Integration von den während der Designphase konzipierten EMV- Maßnahmen
 - Musterprüfungen
 - Untersuchung der in der Designphase unbeachteten Faktoren
 - Entwicklungsmessungen
 - EMV-Simulationen
 - EMV-Analyse
- ➔ Ausblick: Werkzeuge/Domänen der EMV- Integration
 - Kapitel 4: EMV-Prüfungen
 - Kapitel 5: EMV-Simulation