



# REDUZIERUNG DER STÜCKLISTE UND VERBESSERUNG DER GLEICHTAKT RAUSCHUNTERDRÜCKUNG

Timur Uludag

WÜRTH ELEKTRONIK MORE THAN YOU EXPECT



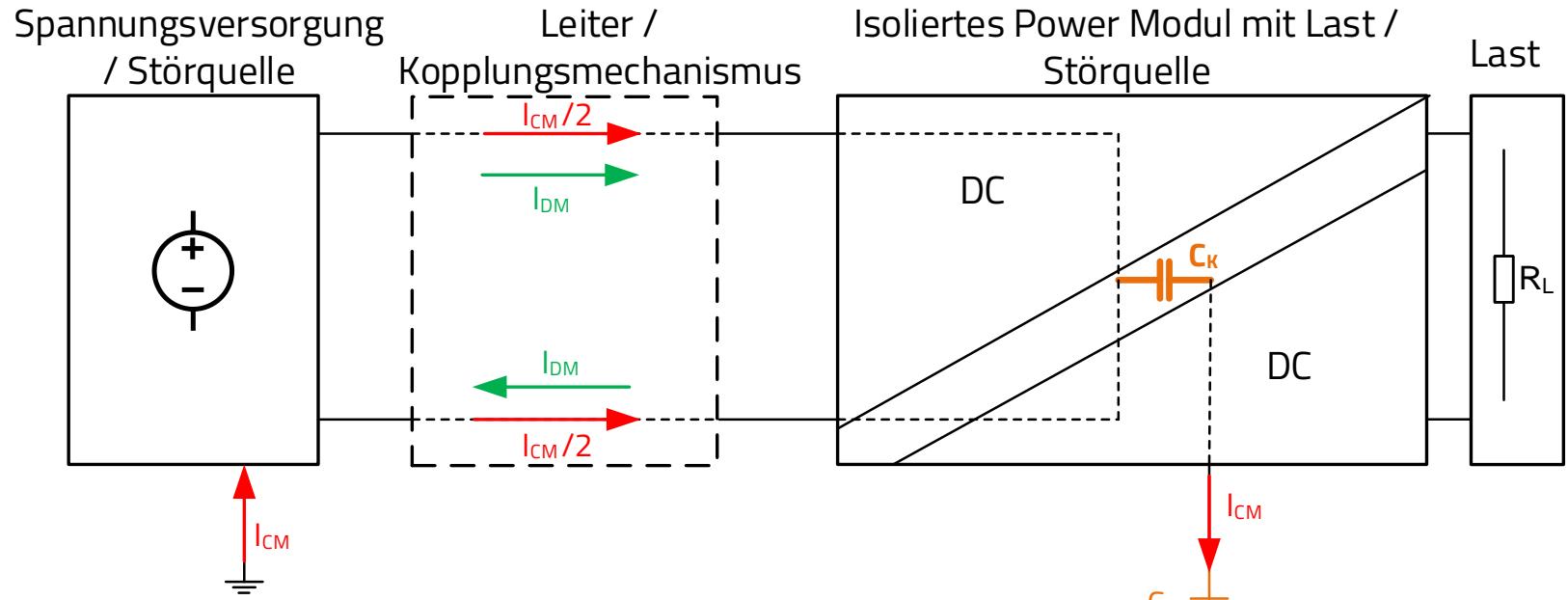
# EMV- GRUNDLAGEN

# EMV-Grundlagen

## Gegentakt & Gleichtakt Störungen

### Gegentakt Störungen

- Strom in den Versorgungsleitungen in entgegengesetzter Richtung
- Eingangsstrom vom Power Modul
- Dominant bei nicht isolierten Power Modulen



### Gleichtakt Störungen

- Strom in den Versorgungsleitungen in gleicher Richtung
- Hauptsächlich aufgrund eines hohen  $du/dt$  der Schaltelemente
- Tritt vor allem bei isolierten Power Modulen auf

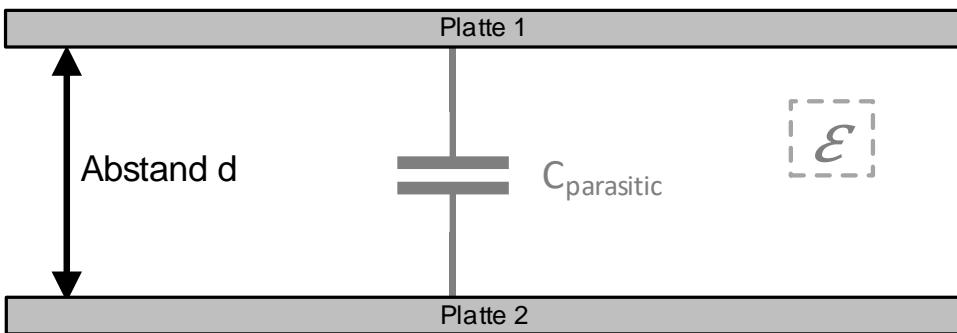
# EMV-Grundlagen

Parasitäre Elemente, Parasitäre Elemente

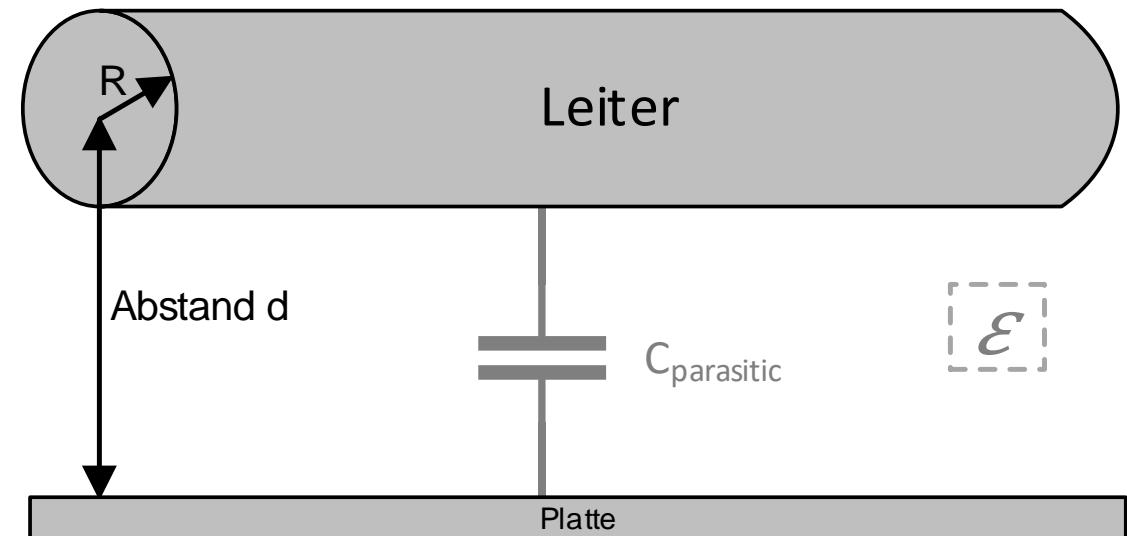
## Denken Sie daran:

In jeder Schaltung gibt es parasitäre Kapazitäten zwischen verschiedenen Elementen mit unterschiedlichen Potenzialen.

Beispiel 1: Zwei parallele Platten



Beispiel 2: Ein Leiter parallel über einer ebenen Platte



# EMV-Grundlagen

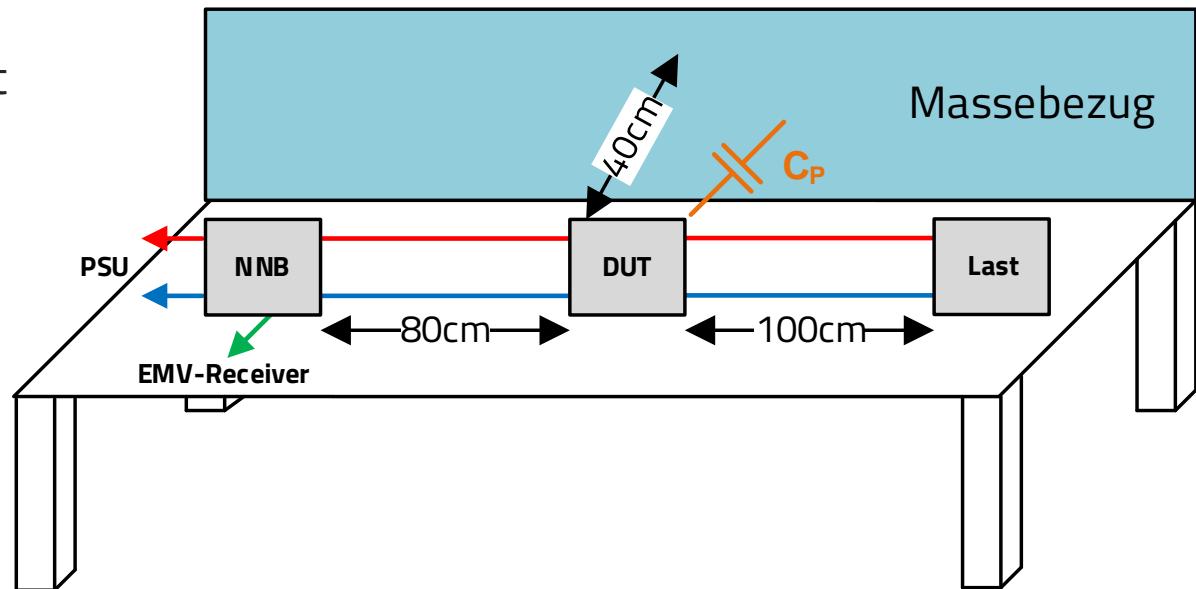
## Definierter EMV-Testaufbau

## **Grundlegende Überlegungen:**

- Jede Anwendung mischt die Gleichtaktkarten neu
  - Deshalb kann kein allgemeines Rezept funktionieren
  - Betrachtung muss vorerst von der Anwendung entkoppelt werden
  - Aufbau nach CISPR16-2-1 ist ein guter Kompromiss für folgende Überlegungen

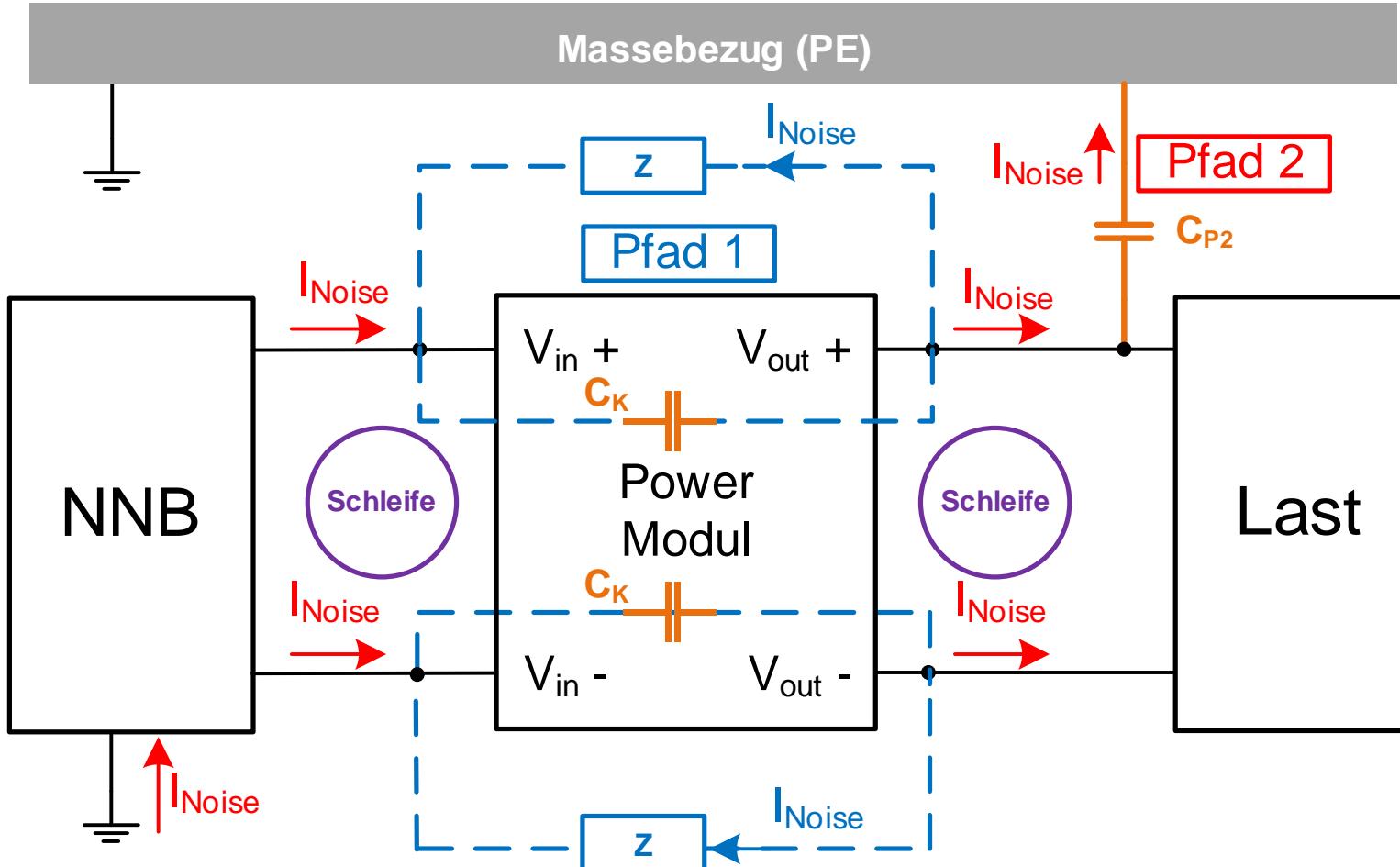
## **EMV-Prüfaufbau auf der Grundlage von CISPR16-2-1:**

- Stromversorgungseinheit (PSU)
  - EMV-Empfänger
  - Power Modul (DUT)
  - Elektrische Last
  - Netznachbildung (NNB)



# EMV-Grundlagen

Absicht - Lass die Störungen nicht die NNB erreichen

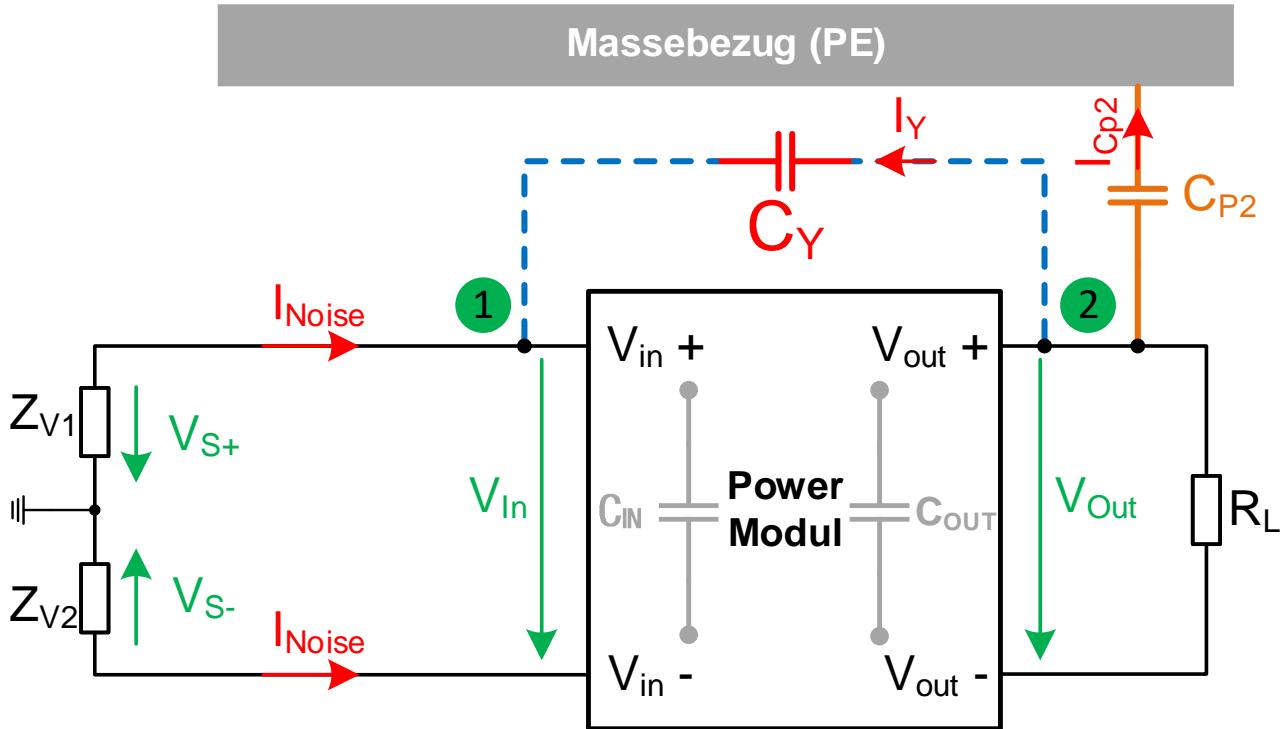


1 Gleichtaktstrom mit Abzweigung

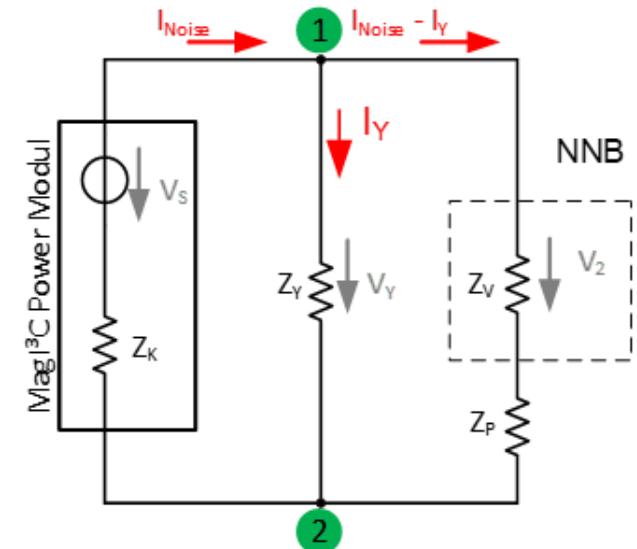
2 Gleichtaktstrom ohne Abzweigung

# EMV trifft auf Kirchhoff

Elektrisches Äquivalenzschaltbild - vereinfacht



Zwischen 1 und 2 zusätzlicher Brückenkondensator!



# EMV-Grundlagen

Kirchhoffsche Gleichungen - Daumenregel

## Spannungsabfall ohne Y-Kondensator:

$$V_1 = V_S \cdot \frac{Z_V}{Z_K + Z_P + Z_V}$$

$V_1, V_2$  – Spannungsabfall an der NNB

$Z_K$  – Impedanz der Wickelkapazität

$Z_P$  – Impedanz der parasitären Koppelkapazität

$Z_V$  – Impedanz der NNB

$V_Y$  – Spannungsabfall am Y-Kondensator

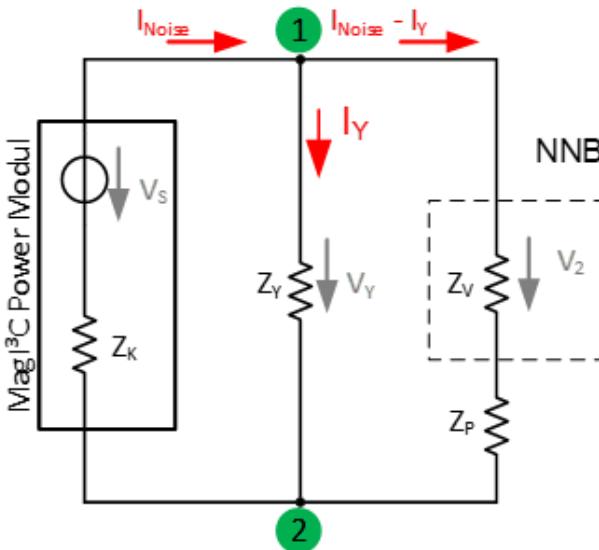
$Z_Y$  – Impedanz des Y-Kondensators

## Spannungsabfall mit Y-Kondensator:

$$V_2 = V_S \cdot \frac{Z_Y}{Z_K + Z_Y II(Z_V + Z_P)} \cdot \frac{Z_V}{Z_P + Z_V}$$

→ Gleichung für die Dämpfung

$$d = \frac{Z_Y \cdot (Z_K + Z_P + Z_V)}{(Z_K + Z_Y II(Z_V + Z_P)) \cdot (Z_V + Z_P)}$$



# EMV-Grundlagen

Gap Overlap Stitching - effektiven Kapazität basierend auf der überlappenden Fläche

**Gleichung für die Kapazität C:**

$$C = \frac{A \cdot \epsilon}{d} = \frac{l \cdot w \cdot \epsilon}{d} \quad \epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

C ist die totale "Stitching" Kapazität

d ist die Dicke der Isolierschicht in der Leiterplatte

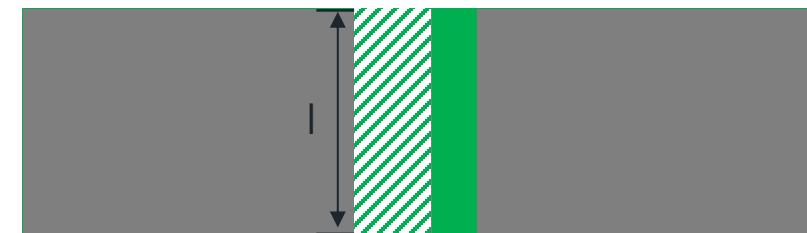
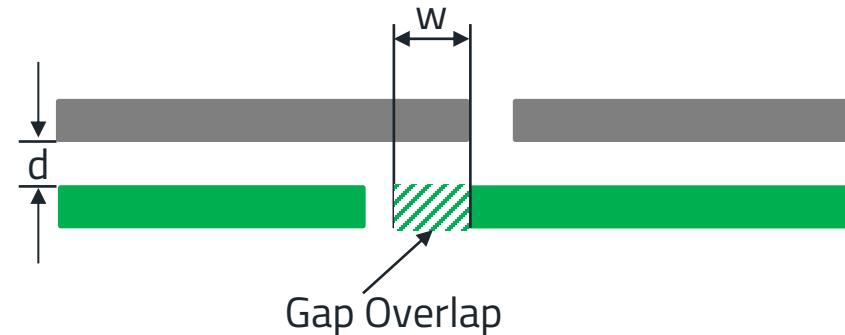
$\epsilon_0$  ist die Dielektrizitätskonstante des freien Raums

$\epsilon_r$  ist die relative Dielektrizitätskonstante des Isolermaterials der Leiterplatte

w Weite der Überlappenden Fläche

l Länge der Überlappenden Fläche

**Geometrisches Prinzip**



# EMV-Grundlagen

Design Grundlage – umgesetzte Layouts

**Basierend auf einer Evaluation Board PCB Größe von 80x80mm wird mit einem 2- und 4-Layer Design versucht die max. Kapazität zu erzielen.**

Es werden somit folgende Varianten gegenübergestellt:

- Zwei Lagen „ohne“ Y-Kondensator.
- Zwei Lagen mit integriertem Y-Kondensator unter Beibehaltung der Kriechstrecken gleich der Modul Kriechstrecken.
- Vier lagen mit getrennter primärer GND-Fläche auf TOP und BOTTOM Lage.
- Vier Lagen mit max. Kapazität.

**→ Mehr als 4 Lagen wird nicht betrachtet !!**



# REALISIERTE DESIGNS POWER MODULE

# Realisierte Designs-Power Module

Power Modul für die Auslegung

## Kurz Spezifikation:

- Typ. 8pF parasitäre Kopplungskapazität
- Kleine Bauform (9 x 7 x 3.1mm)
- keine externe Beschaltung ( $C_{in}$  und  $C_{out}$  sind integriert)
- Funktionale Isolation
- Kurzschlussfest
- UL62368 Zulassung

FIMM MagI<sup>3</sup>C Power Module



EN55032  
Class B



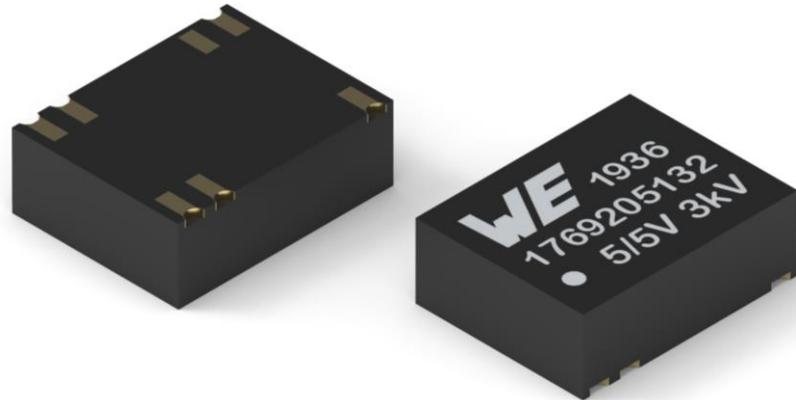
FIX FREQ.



SCP



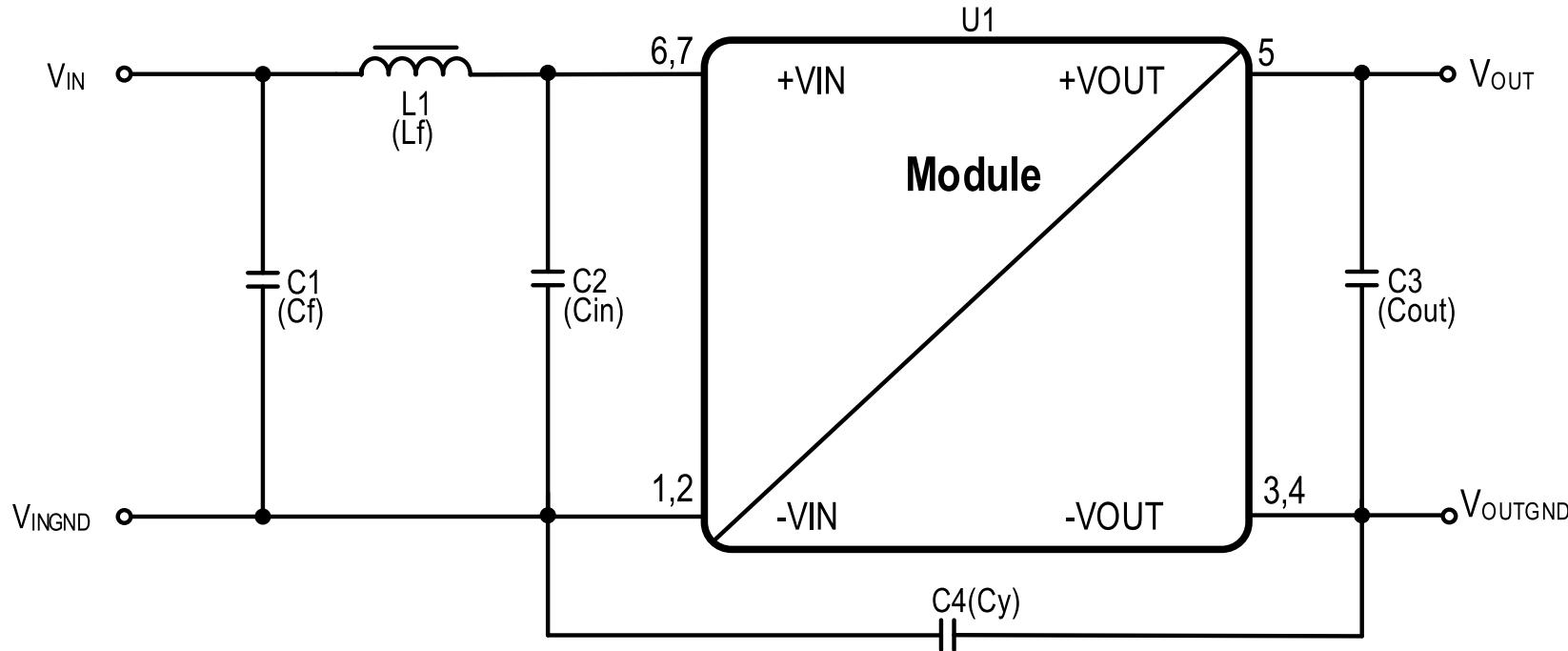
$T_a 105^\circ\text{C}$



**FIMM LGA-7 (1769205132)**

# Realisierte Designs-Power Module

## EMV-Test Setup

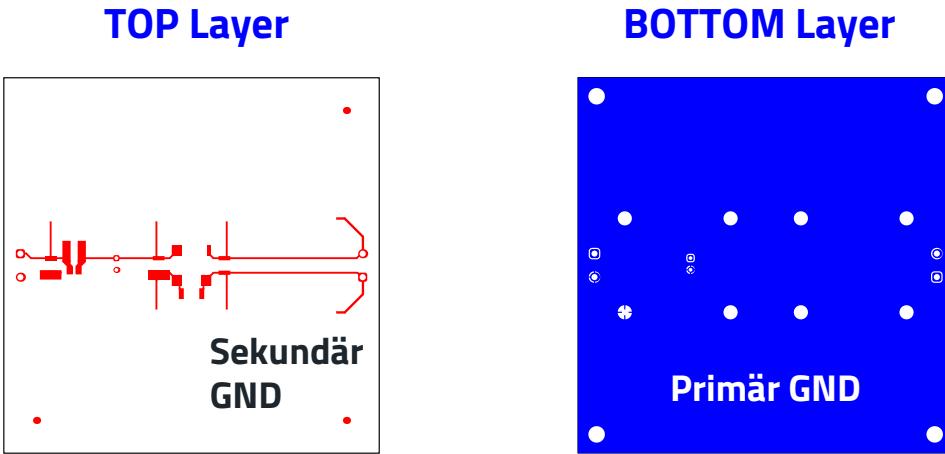


### **Beschreibung:**

- Gegentaktfilter bestückt
- Ausgangskondensator bestückt

# Realisierte Designs-Power Module

Layout Version 1 – 2 Lagen ohne Y-Kondensator



Schematischer Aufbau:

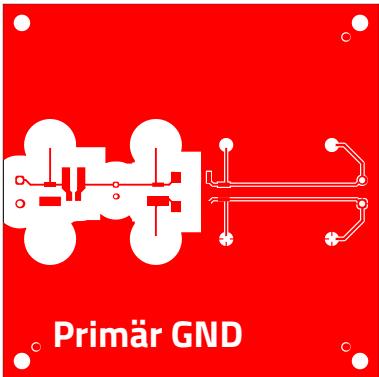


Effektive Kapazität  
→  $C_{\text{PCB}}$ : ca. 14pF = Y-Cap

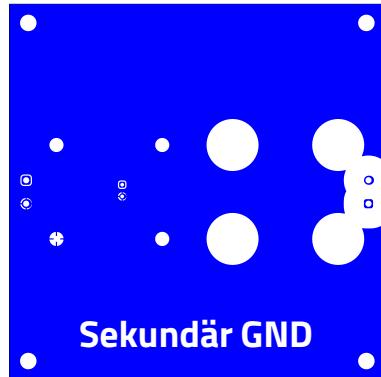
# Realisierte Designs-Power Module

Layout Version 2 – 2 Lagen mit ca. 130pF integriertem Y-Kondensator

**TOP Layer**



**BOTTOM Layer**



Schematischer Aufbau:

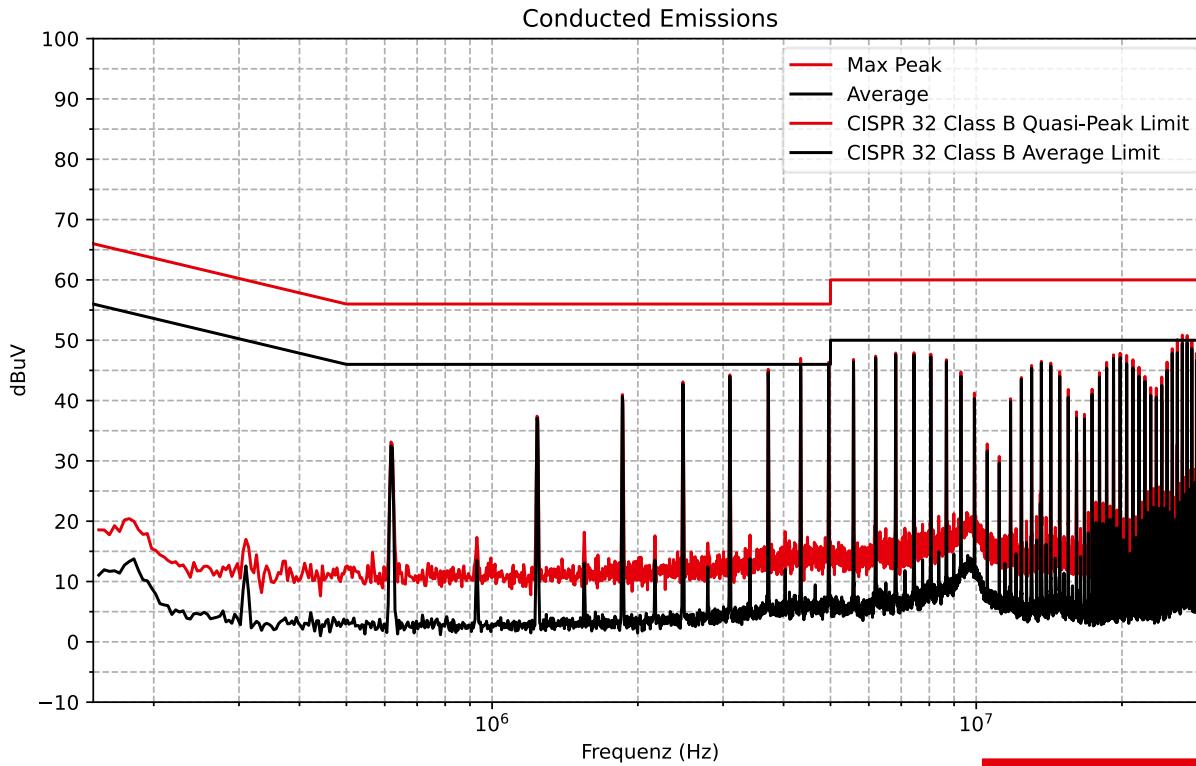


Effektive Kapazität  
→  $C_{\text{PCB}}$ : ca. 130pF = Y-Cap

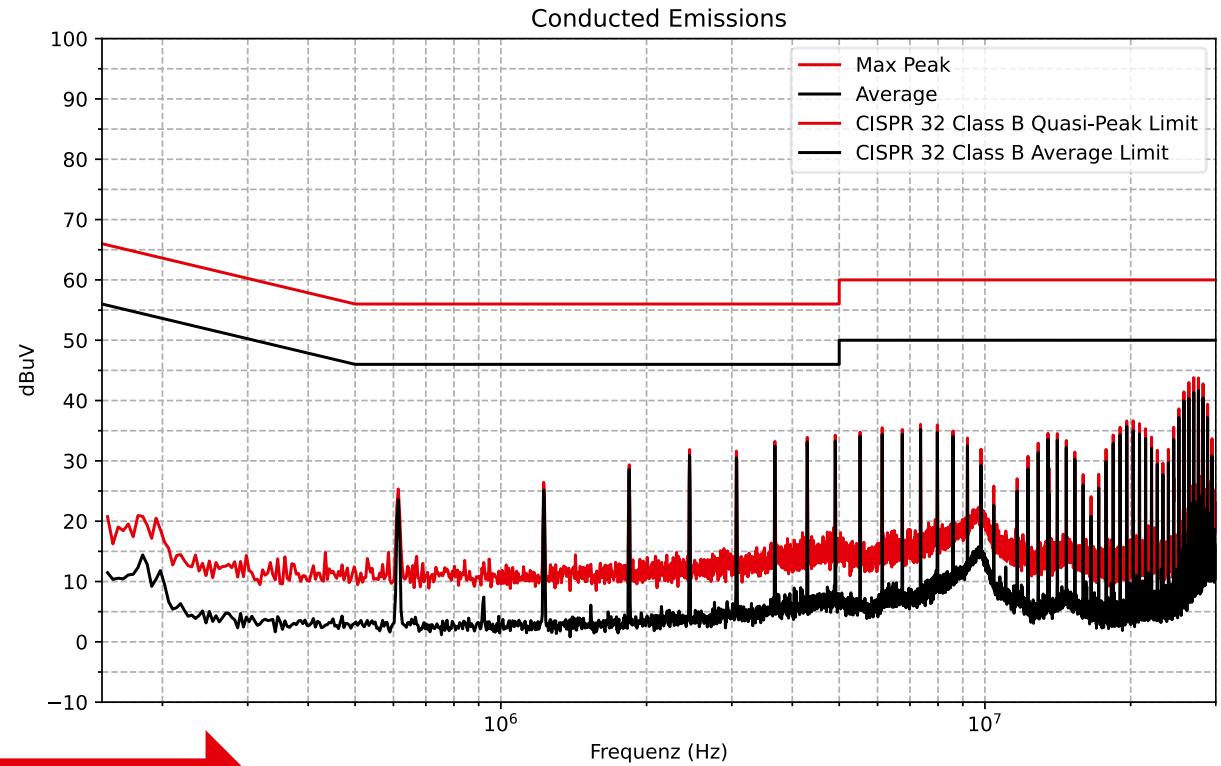
# Realisierte Designs-Power Module

2 Lagen Layout ohne Y-Kondensator / mit integriertem Y-Kondensator

**2 Lagen ohne Y-Kondensator**



**2 Lagen mit integriertem 130pF Y-Kondensator**



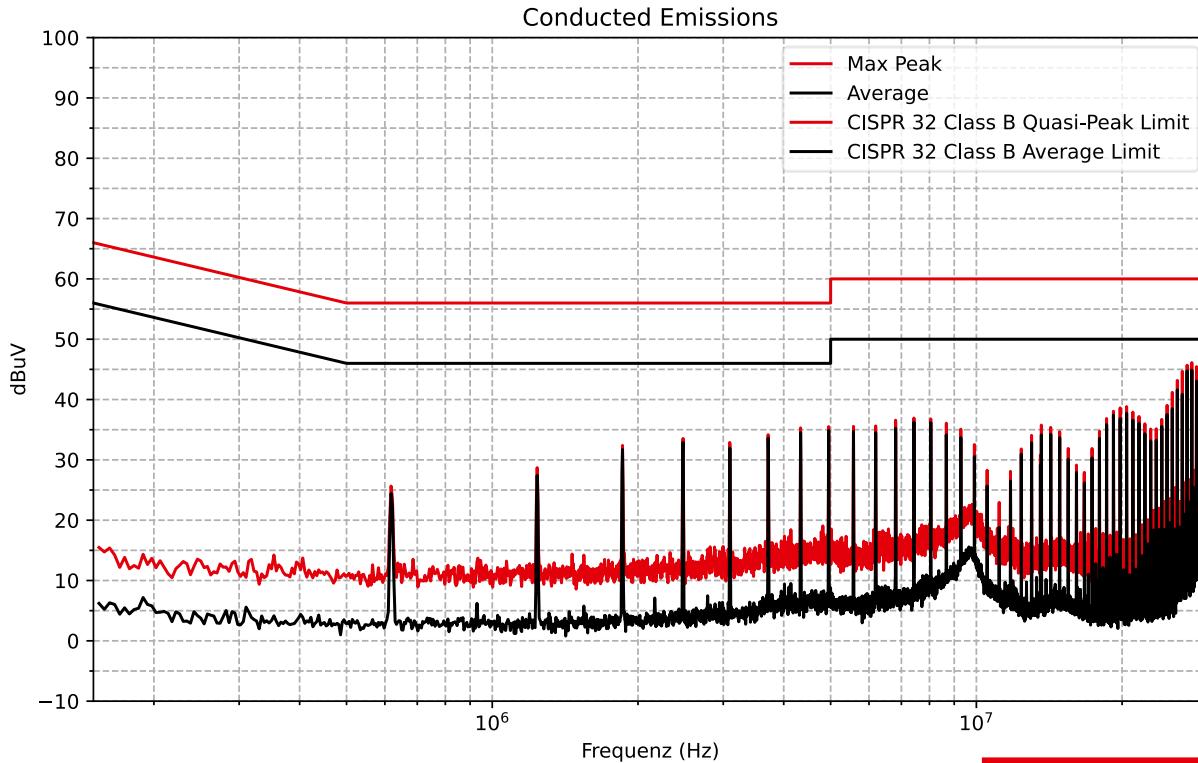
$\approx 10\text{dB}$

Basierend auf der Berechnung für  $d$  bekommt man ca. 12dB Dämpfung bei 130pF Y Kondensator

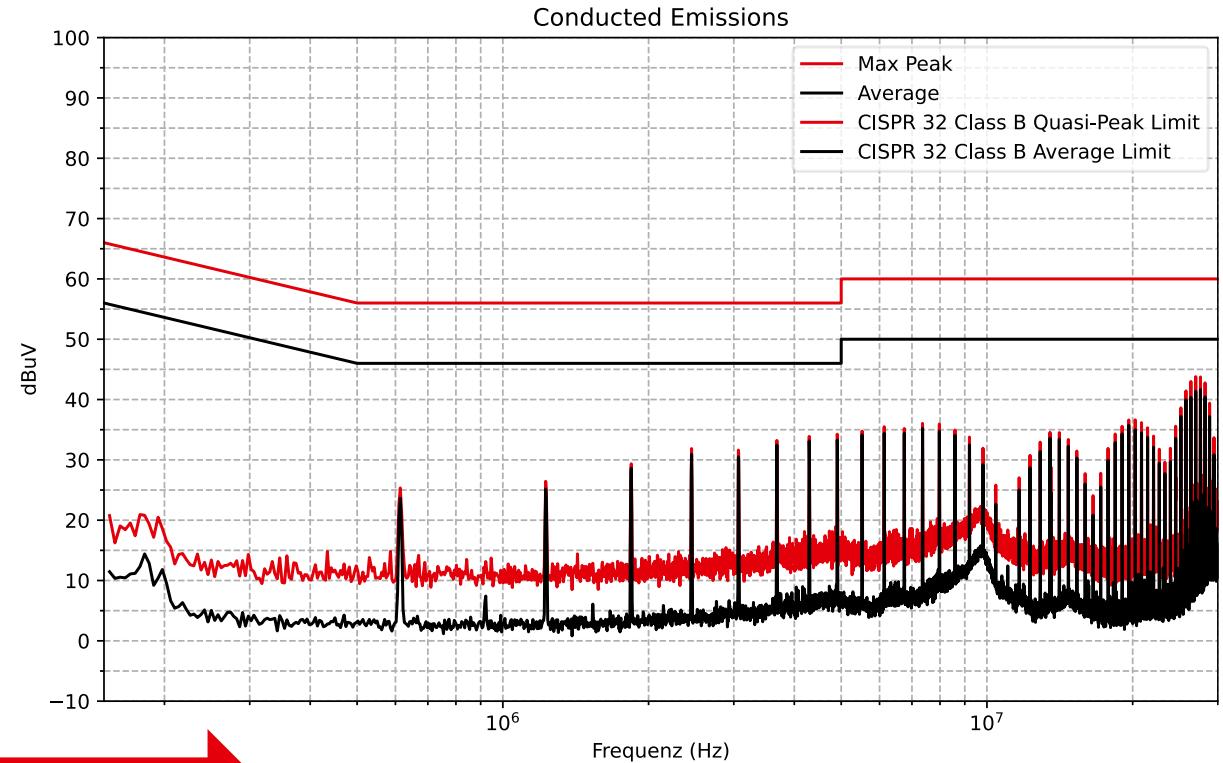
# Realisierte Designs-Power Module

2 Lagen mit diskretem Y-Kondensator / mit integriertem Y-Kondensator

**2 Lagen mit 100pF diskreten Y-Kondensator**



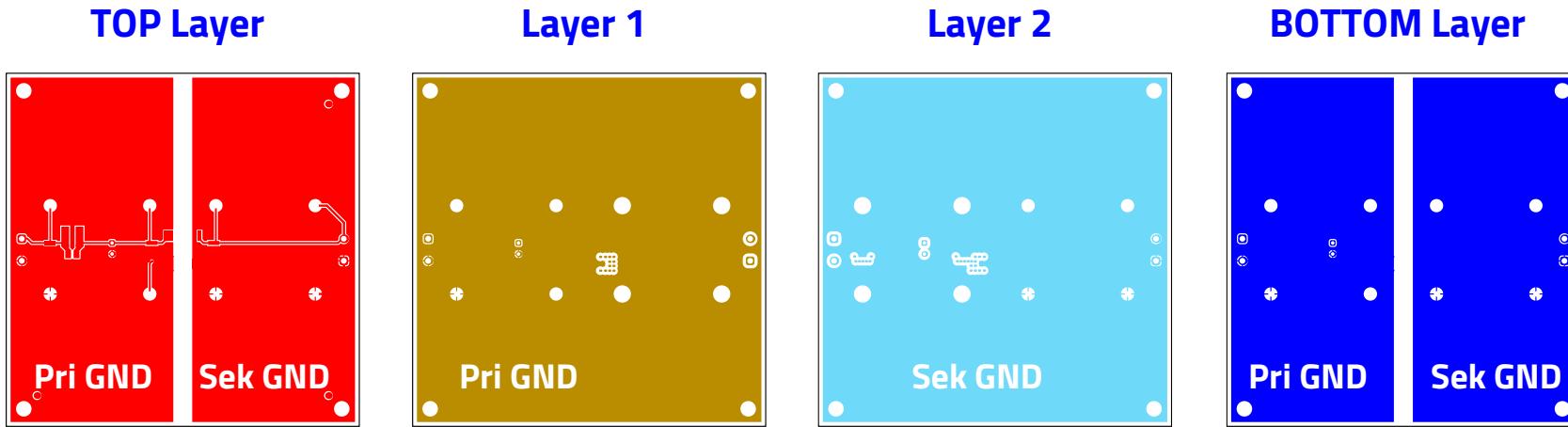
**2 Lagen mit integriertem 130pF Y-Kondensator**



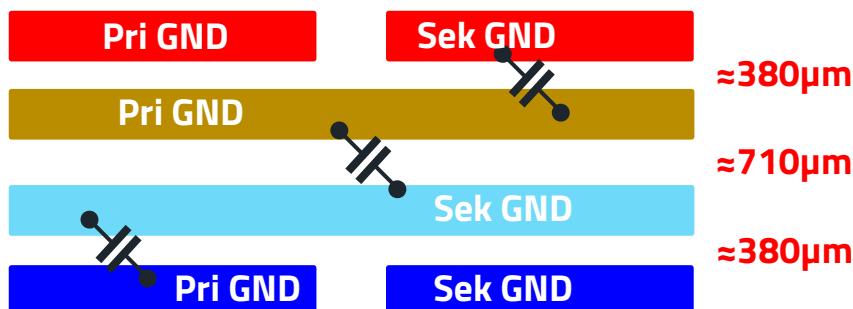
$\approx 0\text{dB}$

# Realisierte Designs-Power Module

Layout Version 3 – 4 Lagen mit ca. 920pF integriertem Y-Kondensator



Schematischer Aufbau:

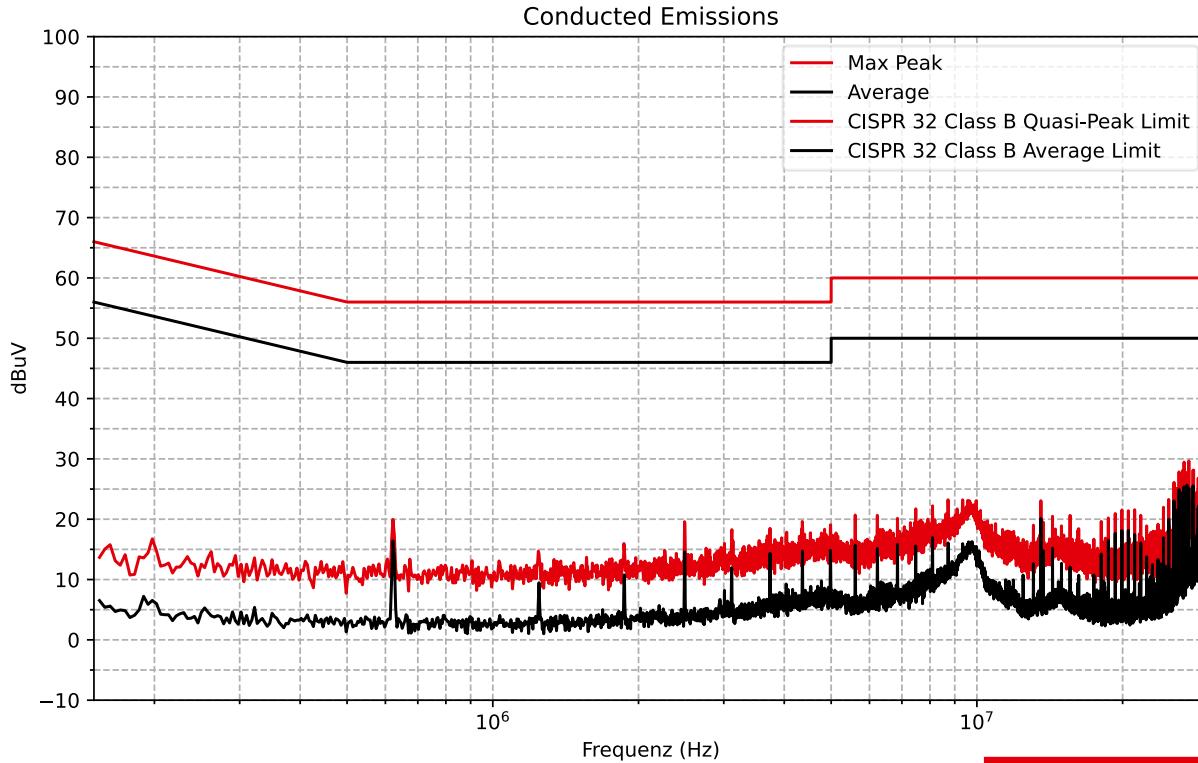


Effektive Kapazität  
→  $C_{\text{PCB}}$ : ca. 920pF = Y-Cap

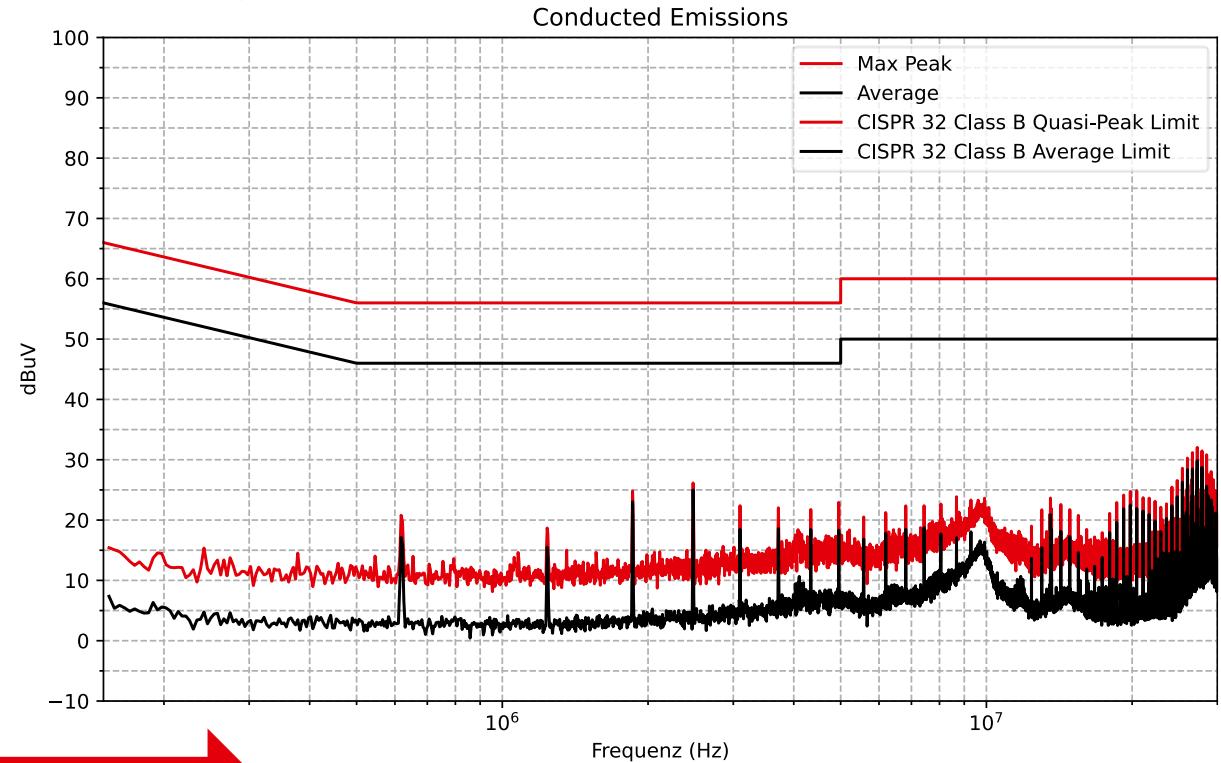
# Realisierte Designs-Power Module

4 Lagen mit integriertem Y-Kondensator / 2 Lagen mit diskretem Y-Kondensator

## 4 Lagen mit integriertem 920pF Y-Kondensator



## 2 Lagen mit 1000pF diskreten Y-Kondensator

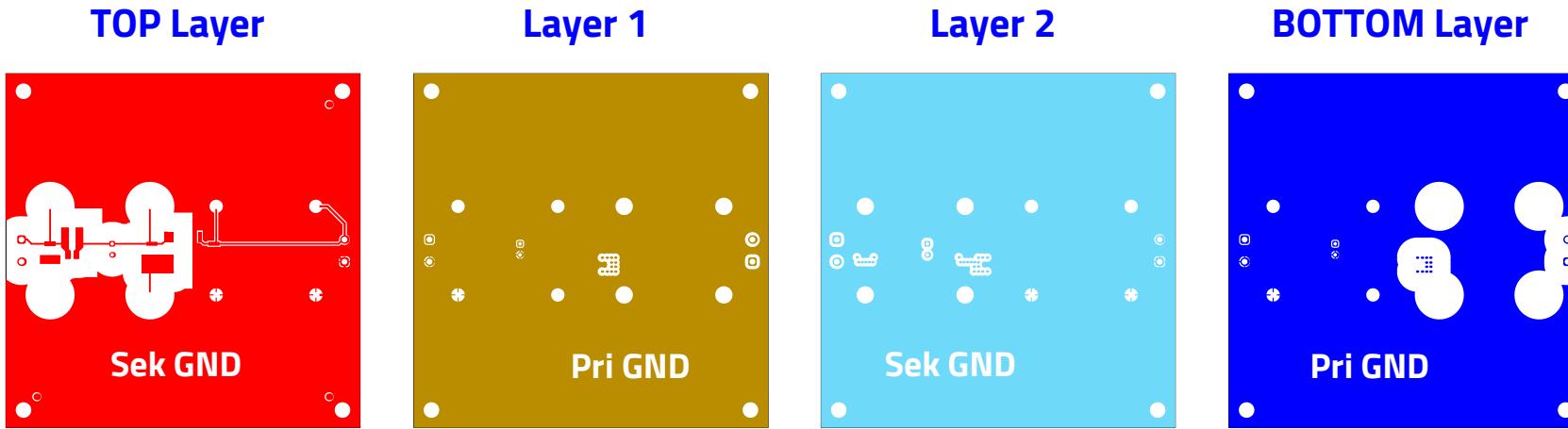


Basierend auf der Rechnung bekommt man  
ca. 28dB Dämpfung bei 1000pF Y Kondensator

≈ 0dB

# Realisierte Designs-Power Module

Layout Version 4 – 4 Lagen mit ca. 1400pF integriertem Y-Kondensator



Schematischer Aufbau:

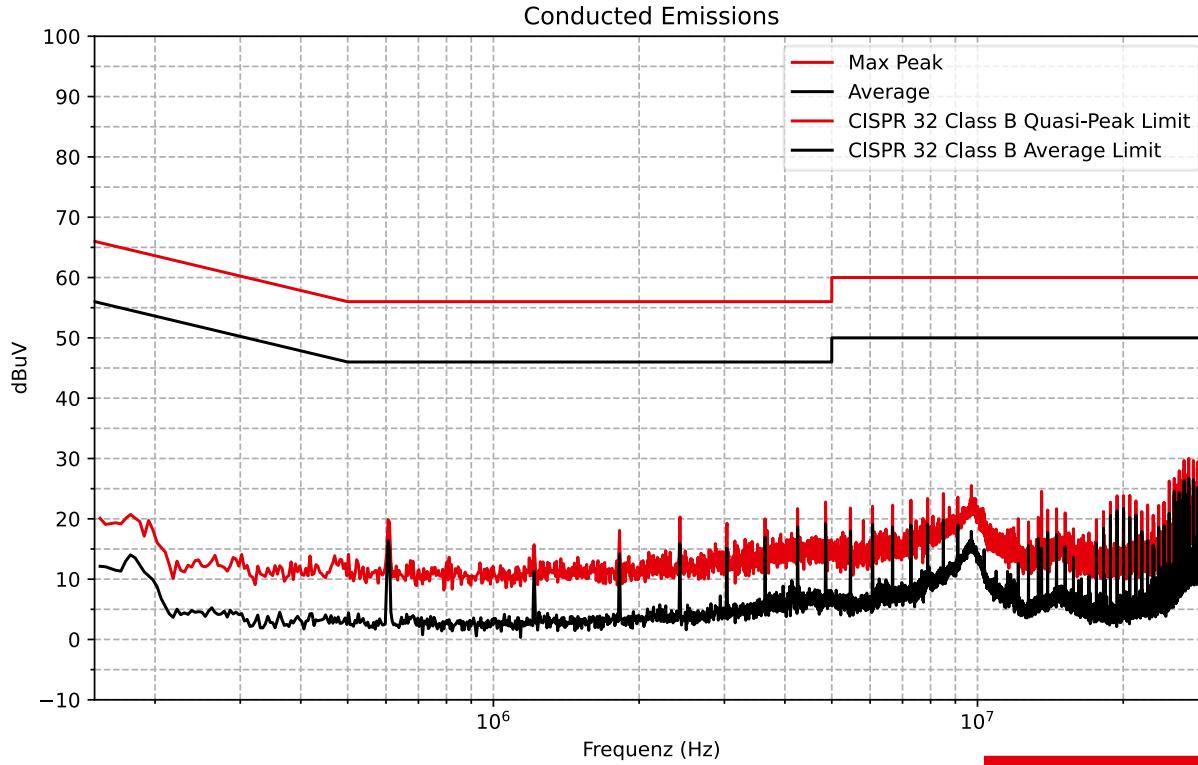


Effektive Kapazität  
→  $C_{\text{PCB}}: \text{ca. } 1400\text{pF} = \text{Y-Cap}$

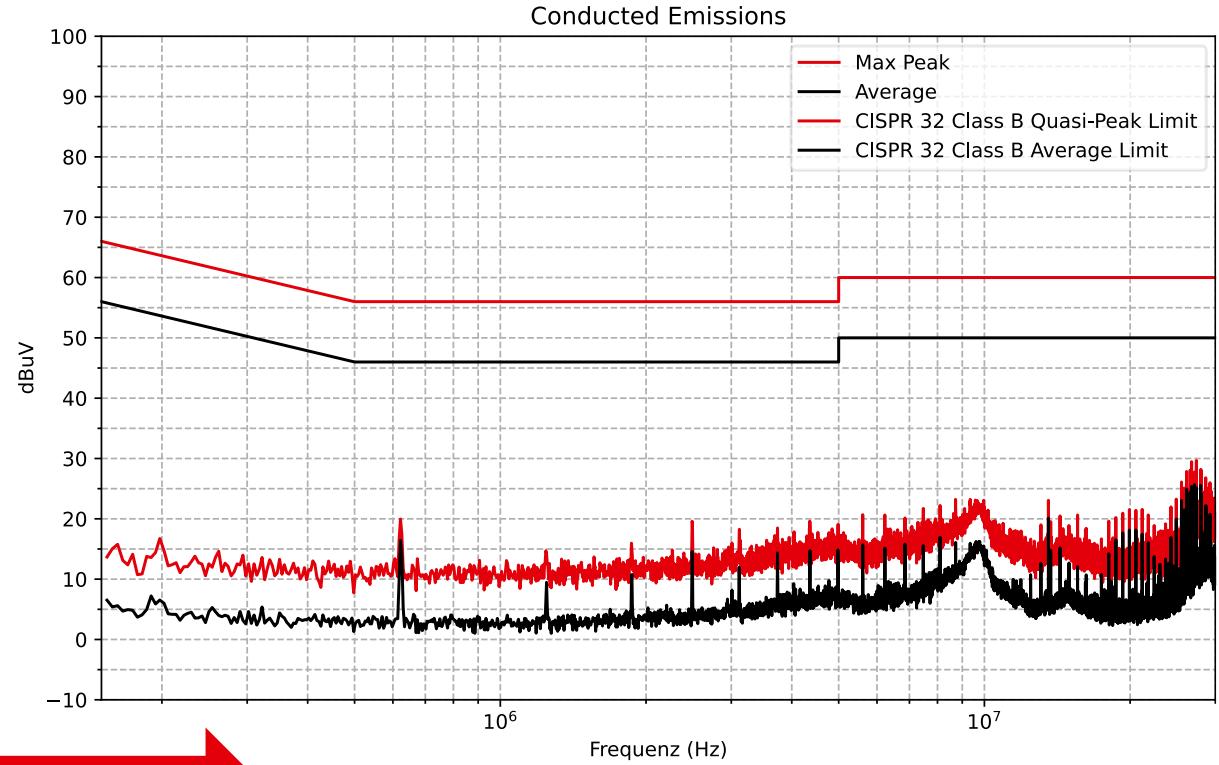
# Realisierte Designs-Power Module

4 Lagen mit integriertem Y-Kondensator

## 4 Lagen mit integriertem 1400pF Y-Kondensator



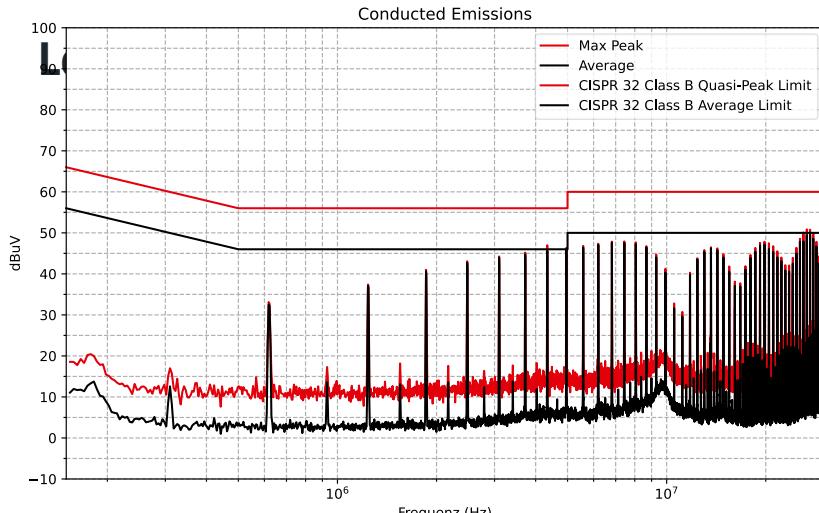
## 4 Lagen mit integriertem 920pF Y-Kondensator



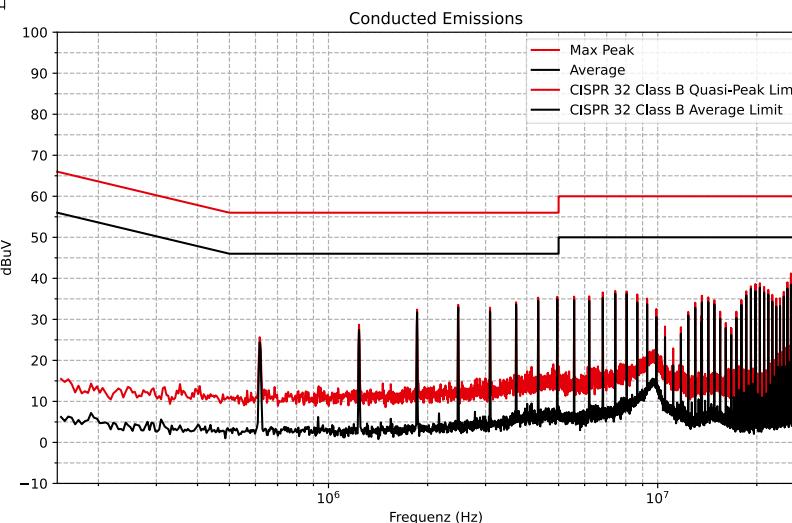
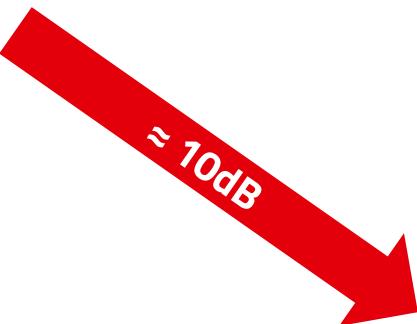
≈ 0dB

# Realisierte Designs-Power Module

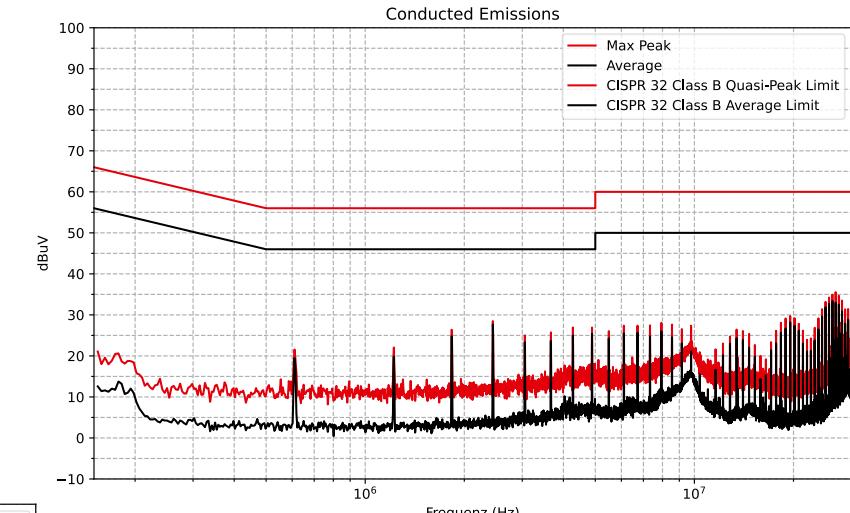
Leitungsbundene EMV - 2 Lagen ohne Y-Kondensator → mit diskretem Y-Kondensator → Evaluation Board



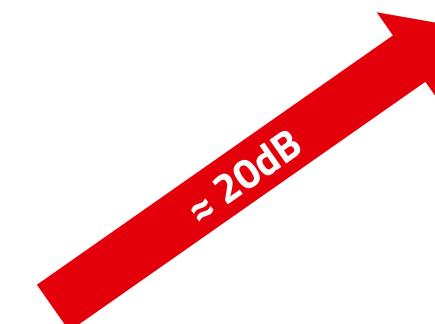
→  $C_Y = \text{ca. } 14\text{pF}$



→  $C_Y = \text{ca. } 100\text{pF}$



→  $C_Y = \text{ca. } 470\text{pF}$



# Realisierte Designs-Power Module

Zusammenfassung: EMV-Verhalten Stitching Y-Kondensator

Version	Beschreibung	Kapazität	EMV-Bewertung
1	Zwei Lagen ohne Y-Kondensator	≈14 pF	Zu knapp
2	Zwei Lagen mit integriertem Y-Kondensator unter Beibehaltung der Kriechstrecken gleich der Modul Kriechstrecken	≈130 pF	Gut
3	Vier lagen mit getrennter primärer GND-Fläche auf TOP und BOTTOM Lage	≈920 pF	Besser
4	Vier Lagen mit max. Kapazität	≈1400 pF	Besser, kaum Unterschied zu 3

# Realisierte Designs-Power Module

Zusammenfassung: Diskret oder Stitching Y-Kondensator

## Y-Kondensator: diskret im Vergleich zum Stitching Kondensator?

→ Stitching Kondensator kann immer verwendet werden.

### Vorteile:

- **Die BOM reduziert sich.**
- **Ist immer verfügbar da integraler Bestandteil des Layouts.**
- **Keine extra Kosten.**
- **Die Isolationsabstände können definierter eingehalten werden.**
- **Isolationstypen wie „verstärkte Isolation“ können leicht realisiert werden.**

### Nachteile:

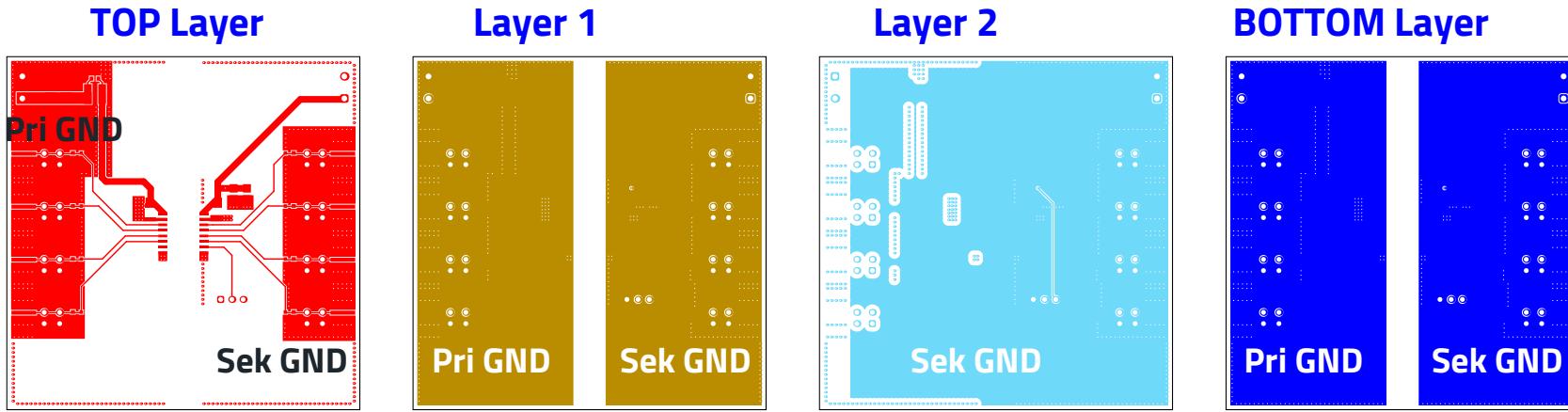
- **Muss von Anfang an im Layout beachtet werden.**
- **Ein Austausch ist nur durch ein neues Layout möglich.**
- **Je nach Layout mehr oder weniger leicht zu realisieren.**
- **Leiterplatte und nicht nur in der BOM.**

# REALISIERTE DESIGNS DIGITALE ISOLATOREN



# Realisierte Designs-Digitale Isolatoren

Layout Version 1 – 4 Lagen mit ca. 600pF integriertem Y-Kondensator



Schematischer Aufbau:

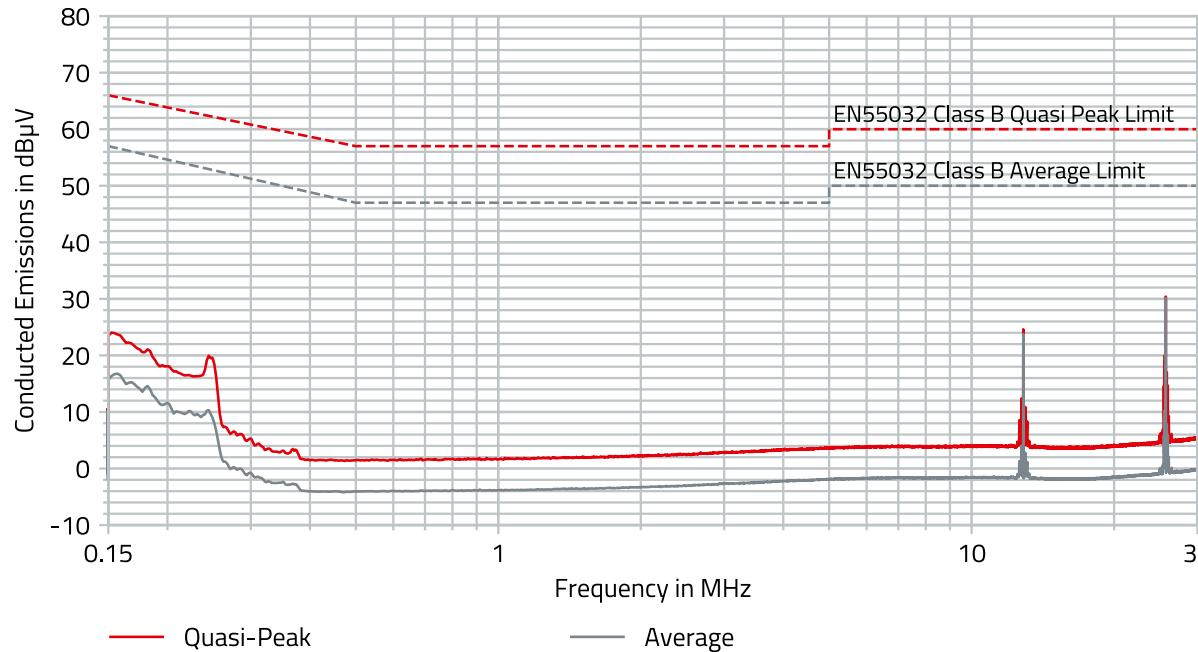


Effektive Kapazität  
→  $C_{PCB}$ : ca. 600pF = Y-Cap

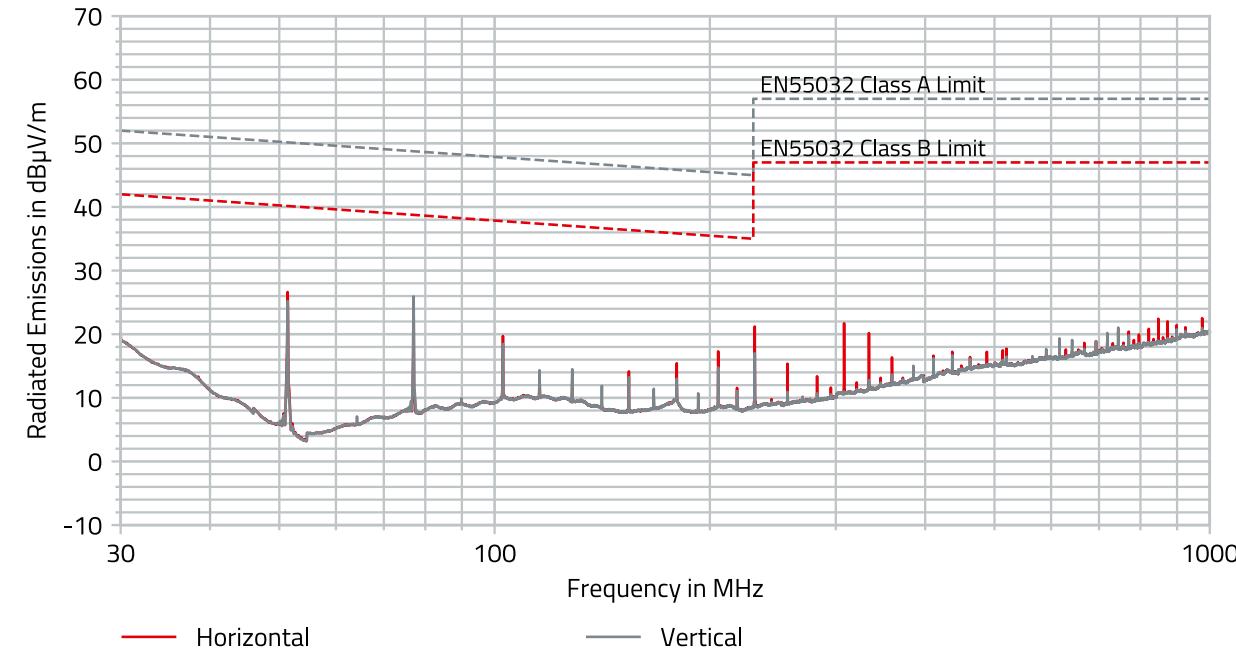
# Realisierte Designs-Digitale Isolatoren

4 Lagen mit ca. 600pF integriertem Y-Kondensator

**Conducted emissions**

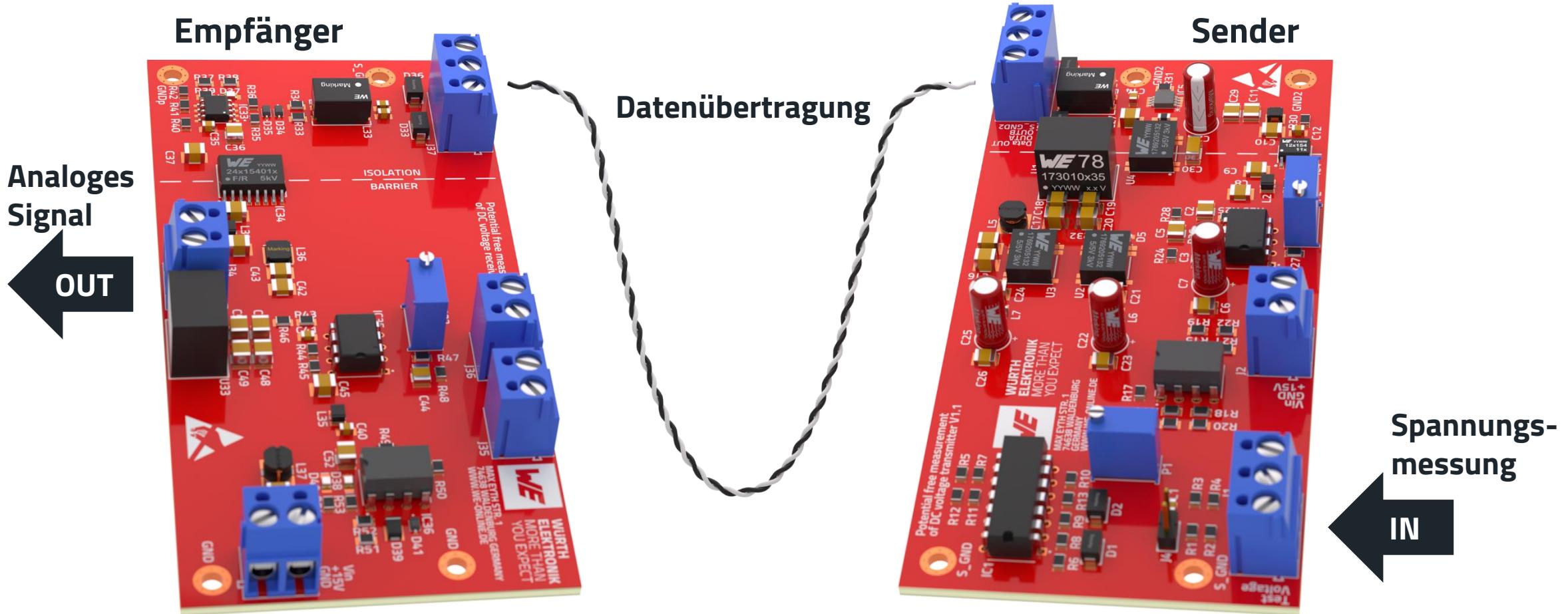


**Radiated emissions**



## Realisierte Designs-Digitale Isolatoren

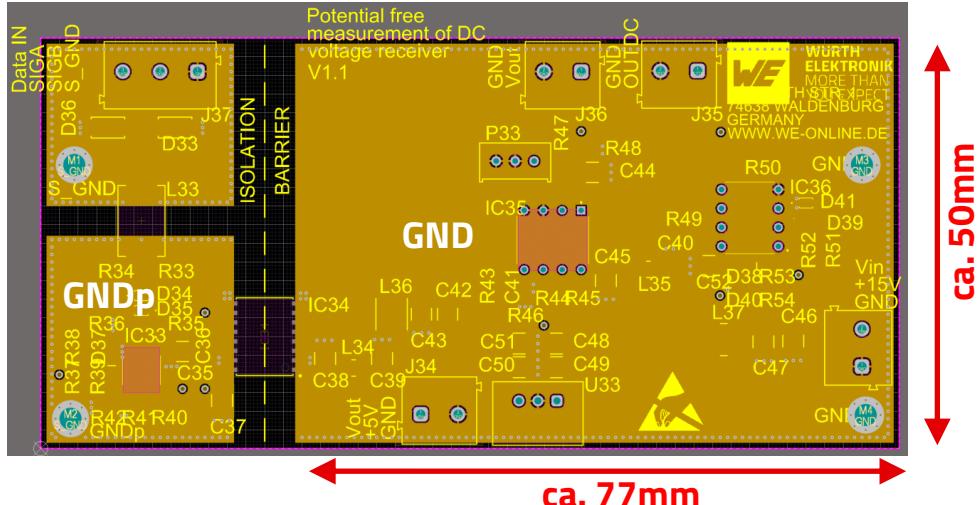
# Potentialfreie Spannungsmessung – Sender und Empfänger Schaltung



# Realisierte Designs-Digitale Isolatoren

Layout Version 2 – 4 Lagen mit ca. 1000pF integriertem Y-Kondensator - Empfänger

## Internal 1 Layer



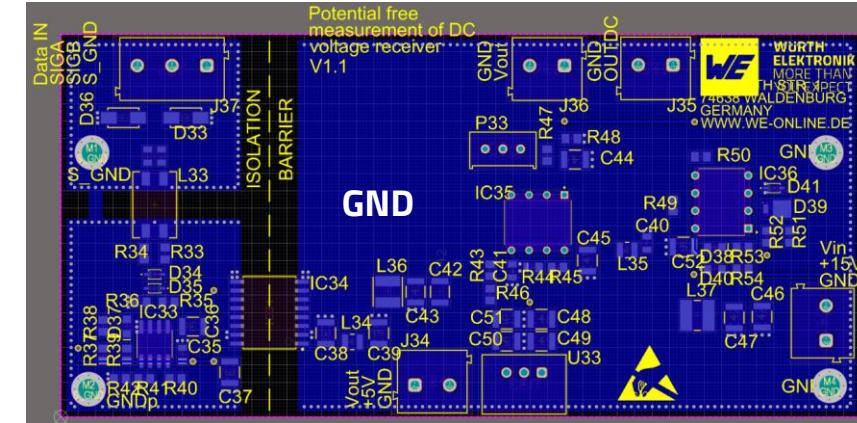
ca. 77mm

1200 $\mu$ m  
140 $\mu$ m

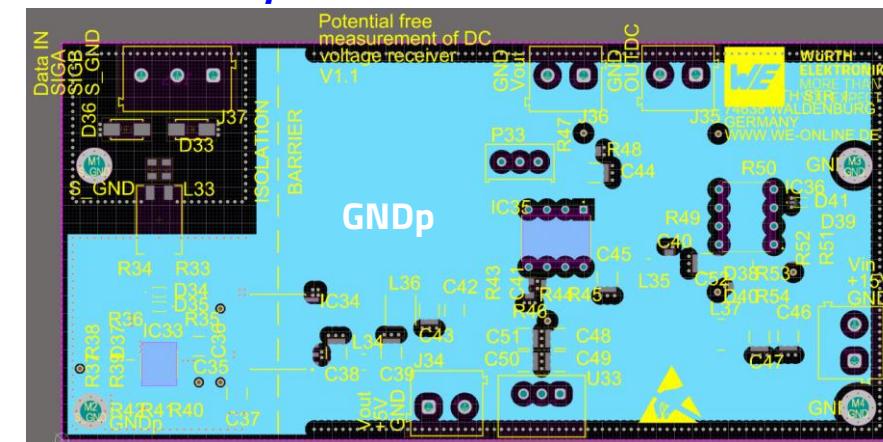
## Effektive Kapazität

→  $C_{PCB}$ : ca. 1nF = Y-Cap

## **BOTTOM Layer**



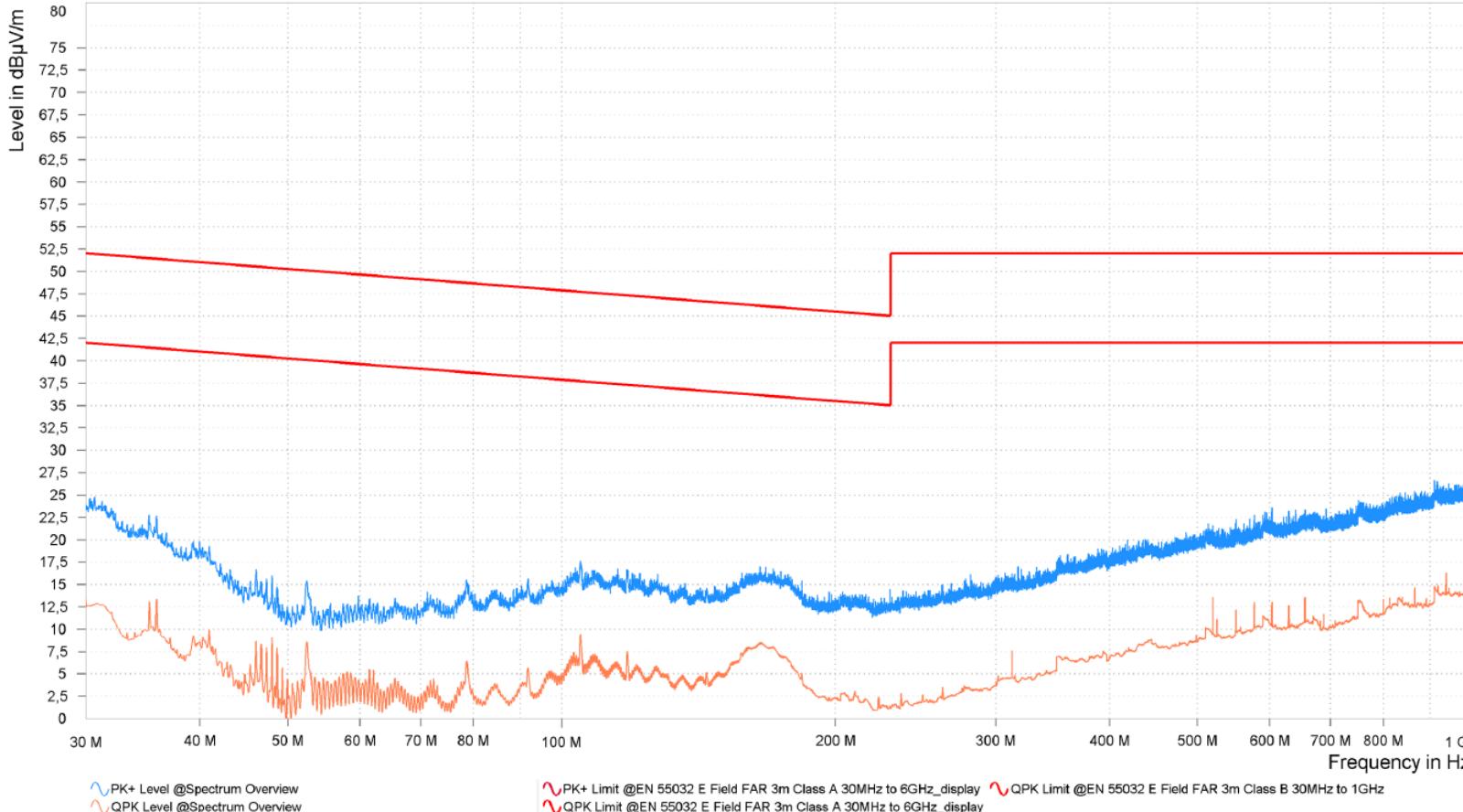
## Internal 2 Layer



# Realisierte Designs-Digitale Isolatoren

Ergebnisse EMV Messung (Abgestrahlt) 4-Lagen mit PCB-Koppelkapazität als Y-Kapazität

## Empfänger

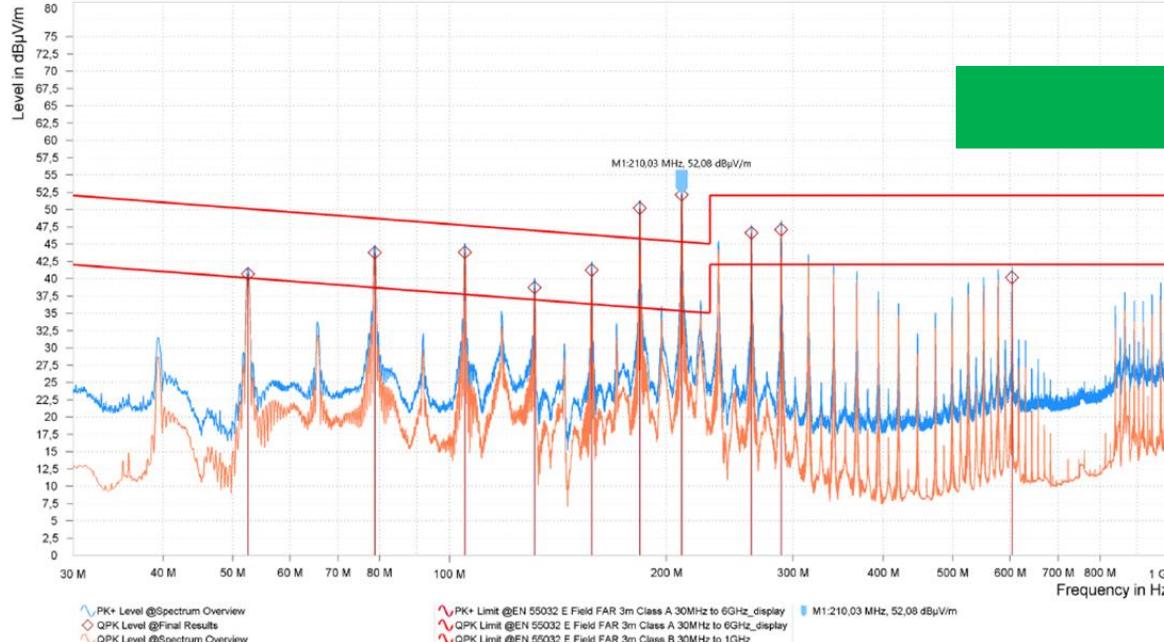


- 4-Lagen PCB
- Y-Cap ca. 1nF durch Überlagerung der Lagen

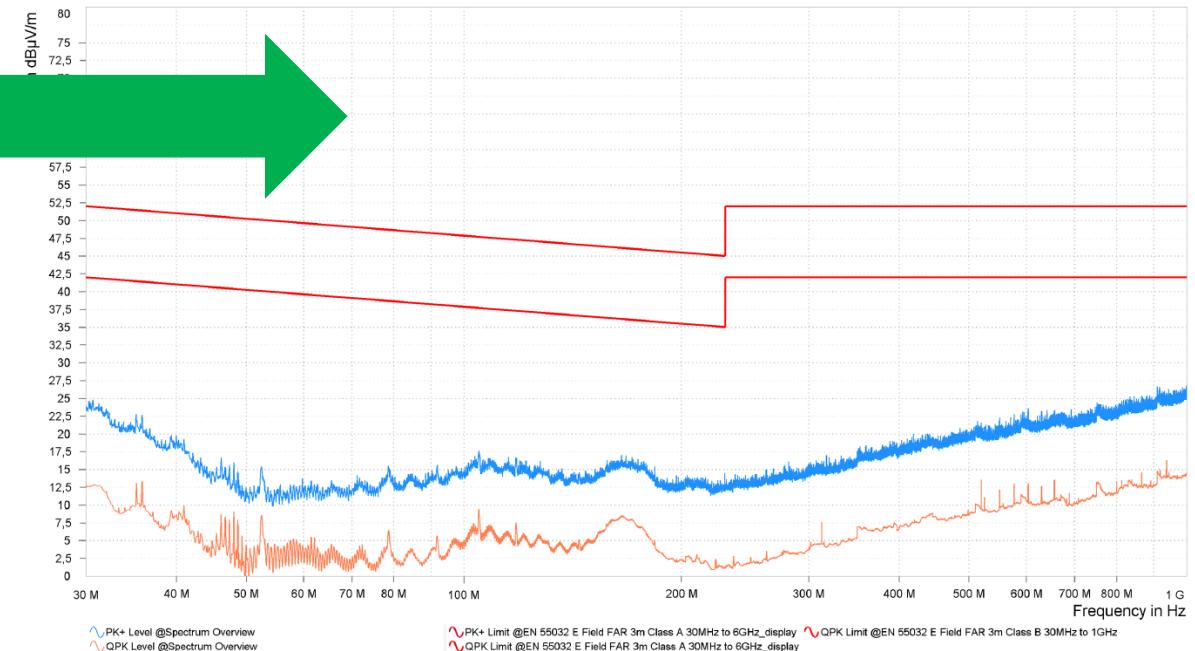
# Realisierte Designs-Digitale Isolatoren

Ergebnisse EMV Messung 4-Lagen mit PCB-Koppelkapazität als Y-Kapazität

## Empfänger



## Empfänger



- Batterie gespeist
- Sender außerhalb der Kammer
- 2-Lagen PCB

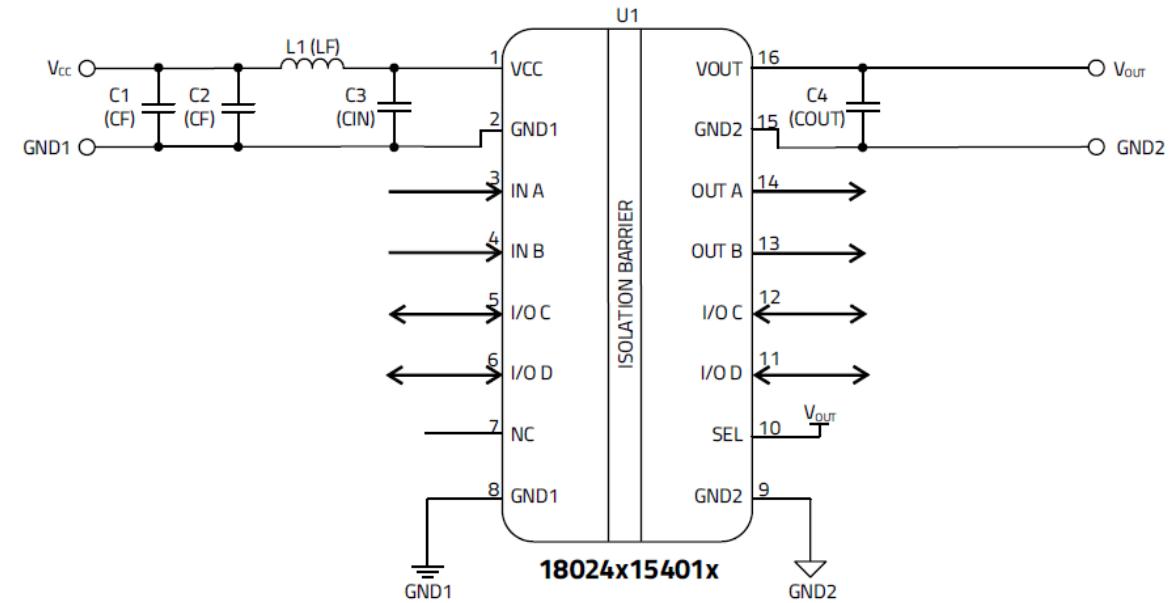
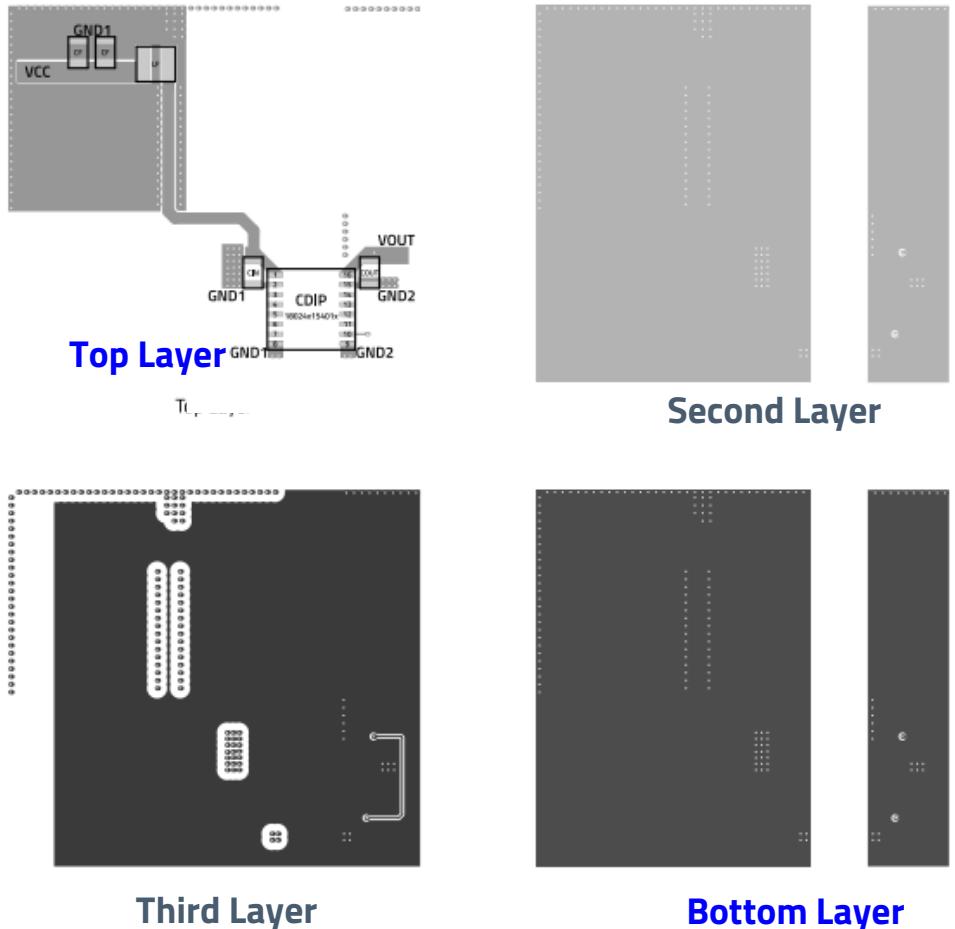
- 4-Lagen PCB
- Y-Cap ca. 1nF durch Überlagerung der Lagen

# DESIGN-IN SUPPORT



# Service & Support

Design Example - Layoutempfehlung aus dem Datenblatt



DESIGNATOR	DESCRIPTION	FUNCTION
U1	Digital Isolator	Digital Isolator
L1	Filter inductor, 4.7µH, PD2 family, $I_{SAT} = 2.46A$ , $I_R = 1.82A$	Input Filter
C1, C2, C3, C4	Ceramic chip capacitor 10µF/15V X7R, 1210	Input and Output Filter

# Service & Support

## Contacts Support Hotline



Roland Kratz



Alexander Zeller



Martin Sittner

## Contacts BDM



[Steffen.Wolf@we-online.de](mailto:Steffen.Wolf@we-online.de) [Dimitri.Kozlov@we-online.de](mailto:Dimitri.Kozlov@we-online.de)



[Kaveri.Onkar@we-online.de](mailto:Kaveri.Onkar@we-online.de) [Arndt.Schmidt@we-online.de](mailto:Arndt.Schmidt@we-online.de)



## Services

[powermodules@we-online.de](mailto:powermodules@we-online.de)



Design-In Support



EMC Filter Design Support



Layout Review Support



Thermal Design Support

## Services

- ADM trainings
- ADM basic technical support
- ADM pricing and lead time support
- Customer trainings/seminars
- Visit focus customers
- Business tracking / reports
- Sales app (define and provide content)
- Sales tools (Product Overview, Show Boards)

**Vielen Dank für  
Ihre  
Aufmerksamkeit!**



**REDUZIERUNG DER STÜCKLISTE UND  
VERBESSERUNG DER GLEICHTAKT  
RAUSCHUNTERDRÜCKUNG**

Timur Uludag

WÜRTH ELEKTRONIK MORE THAN YOU EXPECT