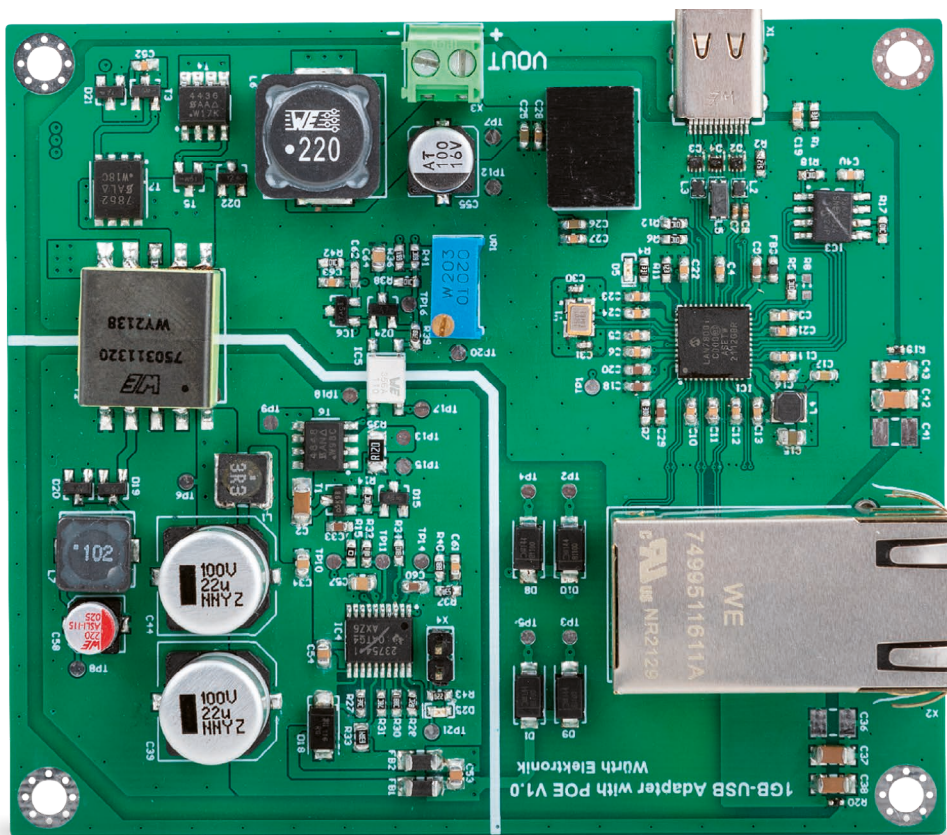


# Die Gigabit-PoE-Schnittstelle unter EMV-Gesichtspunkten

Der GB PoE+ Ethernet-USB Adapter ist auf Basis des Referenz-Designs „GB-Ethernet-USB-Adapter“ entwickelt worden, das ohne PoE arbeitet.



Der Adapter GB PoE+ Ethernet-USB hat drei Schnittstellen:

- eine vom USB-Type-C (USB 3.1)
- eine RJ45/Ethernet-1-Gigabit-Schnittstelle mit integrierter PoE-Versorgung (PoE+)
- eine Klemme zum DC/DC-Wandler mit einer einstellbaren Ausgangsspannung von 6 bis 18 V und einer maximalen Ausgangsleistung von 25 W

Das Board (Aufmacherfoto) wurde entwickelt, um den Anwender mit der PoE-Technologie vertraut zu machen. Wie schon beim Design ohne PoE, können auch bei diesem Design die Bitfehlerrate und die Übertragungsgeschwindigkeit mittels einer Windows-Applikation überprüft werden.

Die EMV-Bewertung des PoE-Referenz-Designs erfolgte in zwei Schritten. Zuerst wurde das Board mit einer Stromversorgung ohne zusätzliche Filter geprüft. Dabei wurden EMV-Optimierungen nötig, s. Referenz-Design-Beschreibung [www.we-online.de/RD022](http://www.we-online.de/RD022).

## EMV-Verhalten der Gigabit-Ethernet-Schnittstelle

Dieses wurde bereits anhand der Referenz-Design-Beschreibung [www.we-online.de/RD016](http://www.we-online.de/RD016) und der Application Note [www.we-online.de/ANP116](http://www.we-online.de/ANP116) ausführlich diskutiert. Die dort gewonnenen Erkenntnisse zur Schirmanbindung, Kabelschirmung und Performance des Ethernet-Frontends sind auch im hier besprochenen Fall gültig. Das

Gigabit-Ethernet-Design wurde lediglich um die PoE-Komponenten erweitert, der Signalteil wurde aus dem Gigabit-Ethernet-Design abgeleitet.

Die ideale Schirmanbindung, die in der ANP116 mit zwei 10-nF-Kondensatoren und einem parallelen SMD-Varistor ermittelt wurde, kommt auch hier zum Einsatz. Die Vorteile dieser Ethernet-Schirmanbindung wurden bereits hinreichend aufgezeigt.

## Grundlegende EMV-Betrachtungen der PoE-Applikationen

PoE-Applikationen sind normalerweise kompakte elektronische Geräte, deren Energieversorgung mit der Datenkommunikation auf einer Ethernet-Schnittstelle gekoppelt ist. Daher handelt es sich meist um Multimedia-Geräte, die in der EMV-Normung durch CISPR 32 (Emission) und CISPR 35 (Störfestigkeit) betrachtet werden. Die Geräte sind eher kompakt und haben außer dem Ethernet-Kabel kurze Leitungen. Beispielgeräte sind WiFi Access Points, IP-Telefone, Überwachungskameras oder Geräte zur Überwachung des Raumklimas in Lager- und Produktionsstätten. Hierbei können sich kleinere (Bild 1) und größere Applikationen ergeben (Bild 2). Daraus resultieren zwei mögliche Betrachtungen des Referenz-Designs während der EMV-Prüfungen:

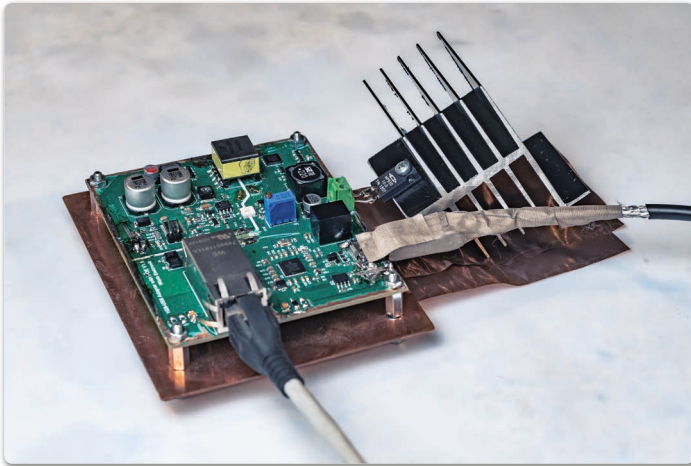
- kurze Ausgangsleitung oder kompakter Lastwiderstand (Point of Load) – kompakte Applikation
- lange Ausgangsleitungen am Lastausgang – entspricht einer größeren PoE-Applikation

Der Vorteil bei Verwendung von langen Leitungen und einem

Autor:  
Adrian Stirn

Würth Elektronik eiSos  
GmbH & Co. KG  
[www.we-online.com](http://www.we-online.com)

Quelle:  
ANP122a: Gigabit-PoE-  
Schnittstelle unter  
EMV-Gesichtspunkten  
redaktionell stark gekürzt



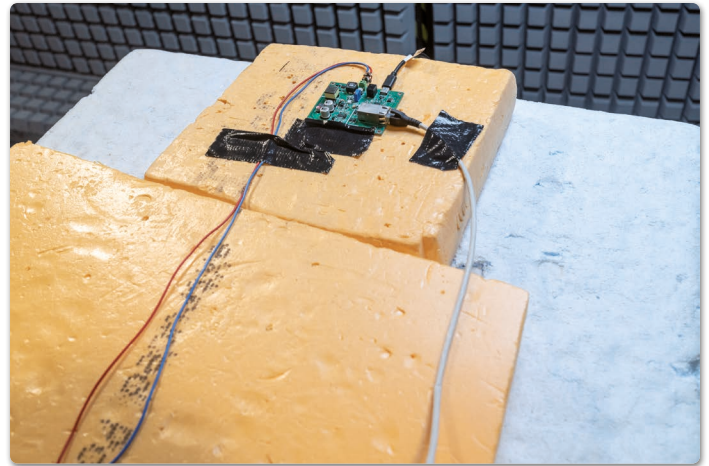
**Bild 1: Simulation einer kompakten Applikation (Lastwiderstand TO-220 mit Kühlkörper)**

Schiebewiderstand während der EMV-Prüfungen besteht darin, dass die Belastung des Schaltreglers nachgeregt werden kann und somit immer die maximale Leistung abgerufen wird. Bei der Verwendung des kompakten TO-220-Widerstands ist die Last auf 10 Ohm festgelegt.

### Überblick EMV-Prüfaufbau und Betriebsparameter

Der in Bild 3 gezeigte schematische Prüfaufbau ähnelt dem bei der Prüfung der Gigabit-Ethernet-Schnittstelle verwendeten und wurde lediglich um den PoE-Switch und die Last erweitert. Der Fokus während der EMV-Prüfungen liegt auf der Ethernet-Schnittstelle, dem Board des PoE-Referenz-Designs sowie verschiedenen Lastkonfigurationen.

Die USB-Schnittstelle wird als kurze Leitung betrachtet, der Fokus liegt während den Prüfungen auf dem Ethernet-Frontend. Da die USB-Schnittstelle zum Betrieb des Boards benötigt wird, wird sie in vielen Prüfungen mitbewertet. Während der Störfestigkeitsprüfungen stellte sich heraus, dass beim Betrieb mit hohen Störfestigkeitspegeln eine direkte Verbindung zwischen dem USB-Kabelschirm und der Platinen-GND-Lage benötigt wird. Nur mit einer direkten Schirmanbindung bleibt die Schnittstelle auch bei hohen Prüfpegeln wie



**Bild 2: Simulation einer großen Applikation**

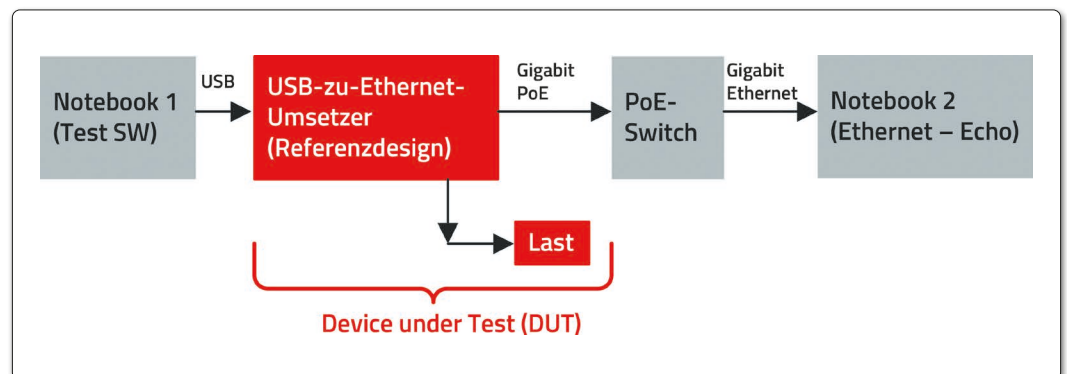
20 V/m über 1 GHz in einem stabilen Betriebsmodus.

Die Lastleitungen werden mit 2 bis 3 m Länge bei der gestrahlten Störaussendung und Störfe-

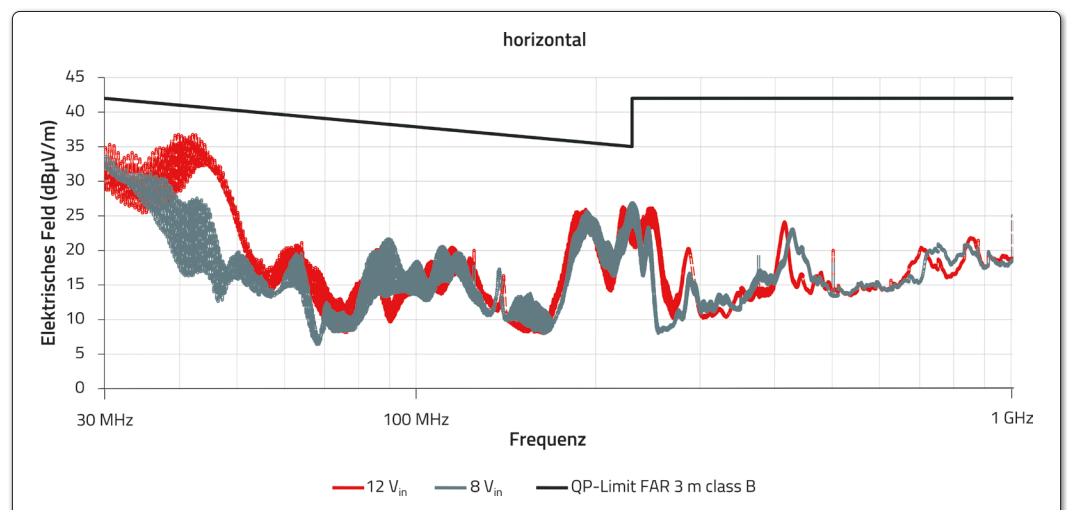
stigkeit bemessen und sollen im Sinne der EMV als elektrisch kurz (Leitungslänge unter 3 m) verstanden werden. Eine Burst- oder leitungsgeführte HF-Einkopplung wird auf dem Span-

nungsausgang des Boards nicht durchgeführt.

Die zum Betrieb des Boards benötigten Notebooks und der PoE-Switch werden in einer

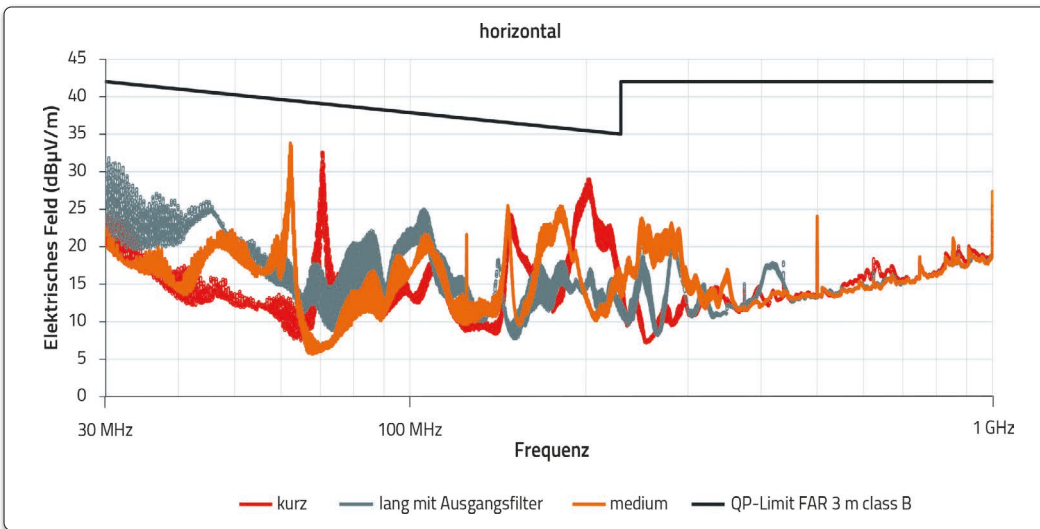


**Bild 3: Prüfaufbau des Gigabit-PoE-Boards während den EMV-Prüfungen**

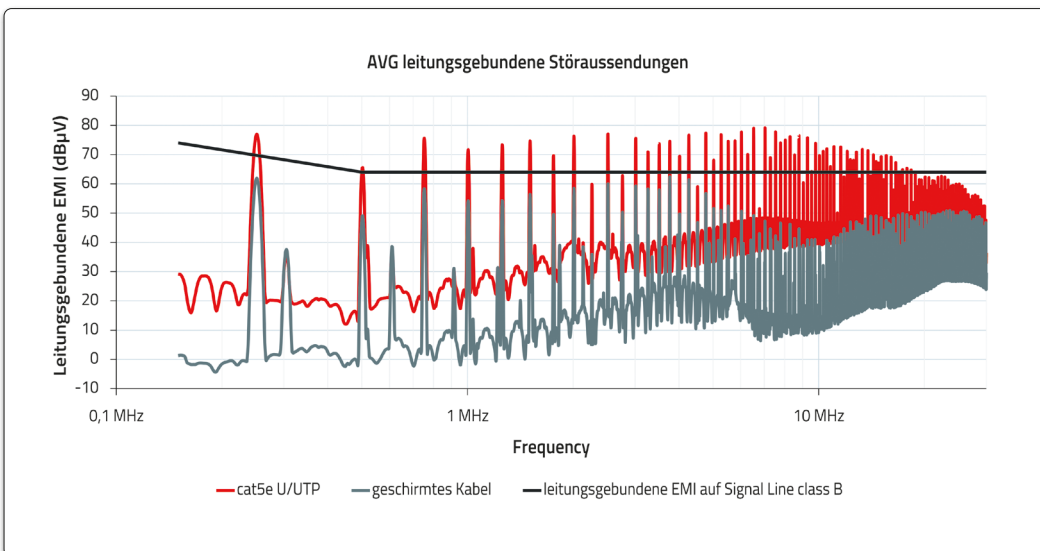


**Bild 4: Gestrahlte Störaussendung des Gigabit-PoE-Designs beim Betrieb mit langen Lastleitungen ohne externe Filter und mit geschirmtem Ethernet-Kabel (cat5e SF/UTP)**





**Bild 5: Vergleich der Emission mit verschiedenen Lasten bei 12 V Spannung und 2 A Laststrom mit geschirmten Ethernet-Leitungen (medium ist der Lastwiderstand mit kurzen Leitungen)**



**Bild 6: Leitungsgeführte Störaussendung bei 12 V und 2 A Ausgangsstrom mit langen gefilterten Lastleitungen**

Schirmbox betrieben, um deren Einflüsse auf die Ergebnisse der EMV-Prüfungen möglichst auszuschließen.

### Einfluss der Ausgangsspannung auf die Emission

Aus Bild 4 geht hervor, dass die gestrahlte Störaussendung des Boards bei 12 V und 2 A Ausgangsstrom höher ist als bei 18 V und 1,3 A Ausgangsstrom. Aus diesem Grund werden einige Betrachtungen, wie beispielsweise ein Filterdesign, bei 12 V und nicht bei 18 V durchgeführt.

### Ausgangsfilter für lange Leitungen und der Einfluss verschiedener Lastwiderstände

Ohne Ausgangsfilter werden beim Anschluss von langen Leitungen und einem Lastwiderstand die Störungen vom Ausgang des Schaltreglers direkt abgestrahlt, weshalb bei großen Designs oder Designs mit Kabeln ein Ausgangsfilter nötig sein kann. Mit einem passenden Filter können die abgestrahlten Störungen reduziert werden. Dies ergibt einen größeren Abstand zum Klasse-B-Grenzwert der CISPR 32. Für größere Geräte empfiehlt sich

ein Ausgangsfilter mit folgenden Komponenten:

- Ferrite Bead 1812 mit 780 Ohm bei 100 MHz
- MLCC 4,7 µF X5R 50 V
- Gleichtaktdrossel für Signalleitungen mit 17 µH

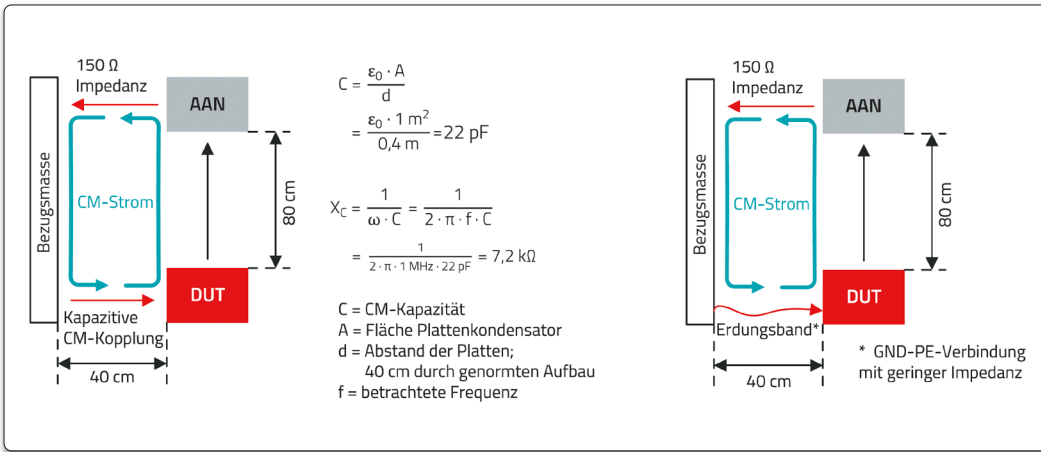
Die Kondensatoren um die Gleichtaktdrossel bilden mit deren Streuinduktivität ein differenzielles Filter. Gleichzeitig werden eventuelle Kopplungen in ihrer Wirkung reduziert.

Die Verringerung der Baugröße der Lastwiderstände führt nicht zu einer Verbesserung der Emission ohne Ausgangsfilter. Bild

5 zeigt, dass die Emission mit gefilterten langen Lastleitungen teilweise niedriger ist als mit kompakten Lastwiderständen.

### Eingangsfiler und Schirmplatte: Optimierung der leitungsgeführten Störaussendung

Bei der Emissionsprüfung der leitungsgeführten Störaussendung (Bild 6) verhält sich das Board ohne weitere Maßnahmen mit geschirmter Ethernet-Leitung grenzwertig, und der Grenzwert wird bei der Verwendung von ungeschirmten Leitungen sogar überschritten. Der Grund ergibt sich aus dem Design des isolierten DC/DC-Wandlers. Dieser wird ohne Ausgangsfilter mit dem Digitalteil der Schaltung verbunden. An Digital-GND wird der USB-Schirm angeschlossen. Im Prüfaufbau hat die Schirmbox, die mit dem USB-Kabelschirm verbunden ist, die größte Dimension. Über die Streukapazität der Schirmbox zur Metallwand der Kabine ergibt sich eine Gleichtaktschleife, deren Störquelle die Streukapazität des Übertragers des isolierten Wandlers ist. Dies ist der Koppelpfad der Störung, von der der Störstrom vom Schalttransistor auf den sekundärseitigen Schaltungsteil des Wandlers fließt (Digitalteil) und dann über den USB-Kabelschirm und die Schirmbox auf die Referenzmasse (Schirmraum) koppelt. Der Rückstrompfad zur Quelle ergibt sich aus dem Ethernet-Kabel und dessen Abschluss mittels AAN (Asymmetric Artificial Network – 150 Ohm Gleichtaktimpedanz). Der Spannungsabfall über dem CDN (Koppel-/Entkoppelnetzwerk) wird dann als Störspannung gemessen. Dieser Störstrompfad ist in Bild 7 dargestellt und beispielhaft für eine Fläche von 1 m<sup>2</sup> berechnet. Daraus geht hervor, dass die Impedanz der Streukapazität zwischen Schirmbox und Referenzmasse (Wand des Schirmraums) bei 1 MHz relativ groß ist. Eine Filterung mit induktiven Komponenten wird keine ausreichende Lösung bringen. Vielmehr muss die Streukapazität



**Bild 7: Schleife des Störstroms, der zur leitungsgeführten Störaussendung führt (CM = Gleichtakt)**

im Prüfaufbau kontrolliert werden. Dies kann beispielsweise durch ein „Schirmblech“ erfolgen. Damit ist aber nicht eine HF-Abschirmung gemeint, sondern viel mehr eine kapazitive Bezugsfläche für die Filter des Boards. Ziel ist es, den Störstromkreis zu kontrollieren und zu verhindern, dass der Störstrom über das AAN fließt.

Der Strom in der Schleife und der Spannungsabfall in dem AAN wird größer, wenn man die Sekundärseite des isolierten Wandlers auf Referenzmasse legt, beispielsweise über eine Erdung des USB-Schirms. Dies führt dazu, dass die Stromversorgung auf dem PoE-Board mit einem Filter erweitert wird, um eine Einhaltung der leitungsgeführten Störaussendungsgrenzwerte zu ermöglichen. Somit ergibt sich der Aufbau des Boards nach Bild 7:

1. Ein Kupferblech wird als Bezugsfläche unter der Platine montiert und mit dem Schirm der Ethernet-Leitung verbunden.
2. Das Eingangfilter des DC/DC-Wandlers an der Diodenbrücke des PoE-Steckverbinders wird erweitert per Gleichakttdrossel 1 mH, Kondensatoren 150 nF zwischen VCCin und GNDin und 4,7 nF zur Schirmplatte
3. Es wird ein zusätzlicher Koppelkondensator zwischen Primär- und Sekundär-GND von 4,7 nF parallel zum Übertrager eingesetzt.

4. Der USB-Leitungsschirm wird direkt mit der GND-Lage verbunden und mittels Kondensator 4,7 nF an die Schirmplatte angebunden.

Der Kondensator zum Kurzschließen der primären und sekundären GND-Lage sollte wesentlich größer sein als die Streukapazität eines Übertragers. Bei einer Isolationsspannung von 2 kV wird dies bei größeren Streukapazitäten schwierig, weshalb generell bei isolierten Netzteilen und Wandlern auf niedrige Streukapazitäten des Übertragers zwischen Primär- und Sekundärseite geachtet werden sollte.

**Performance-Kriterien für die Prüfung der Störfestigkeit**

Die Performance-Kriterien der Gigabit-Ethernet-Schnittstelle können für dieses Board übernommen werden und müssen lediglich noch um die Stabilität der Spannungsversorgung erweitert werden. Bedingt durch die im Ethernet-Protokoll genutzten Korrektur- und Steuerbits lassen sich im ungestörten Zustand bei maximaler Leistung der Notebooks ca. 850 Mbit/s übertragen. Durch den zusätzlichen PoE-Switch ergeben sich Geschwindigkeitseinbrüche, die nicht auf äußere Störeinflüsse zurückzuführen sind. Zur Überprüfung des DC/DC-Wandlers werden Spannungsgrenzen von Vout ±0,5 V als akzeptabel angenommen.

Während den Störfestigkeitsprüfungen hat sich gezeigt, dass die Ethernet-Schnittstelle entweder mit voller Leistung läuft oder bei Beeinflussung direkt auf einen Wert zwischen 20 und 50 Mbit/s abfällt bzw. die Kommunikation komplett abbricht. Die Ursache ist hier die im Ethernet-Protokoll sehr effektive, in verschiedenen Layern arbeitende Fehlerkorrektur, die Mehrfachfehler bis nahezu 100% erkennt und korrigiert. Mittels auf das zum Monitoring angeschlossene Notebook gerichteter Kamera lässt sich die Performance des Prüflings effektiv überwachen.

Die Aufbauten der EMV-Prüfungen werden u.a. in der Applikationsschrift ANP105 aufgezeigt. Im Folgenden wird die

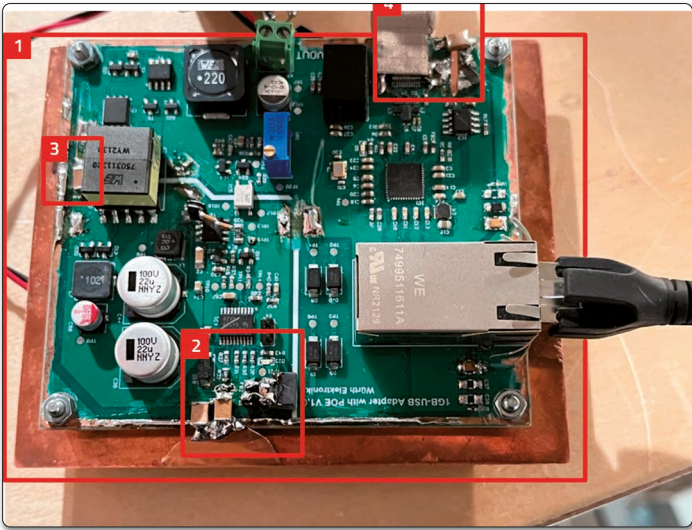
EMV-Performance des Referenzdesigns RD022 in den Emissionsprüfungen und den Störfestigkeitsprüfungen dargestellt.

**Leitungsgeführte Störaussendung – CISPR 32**

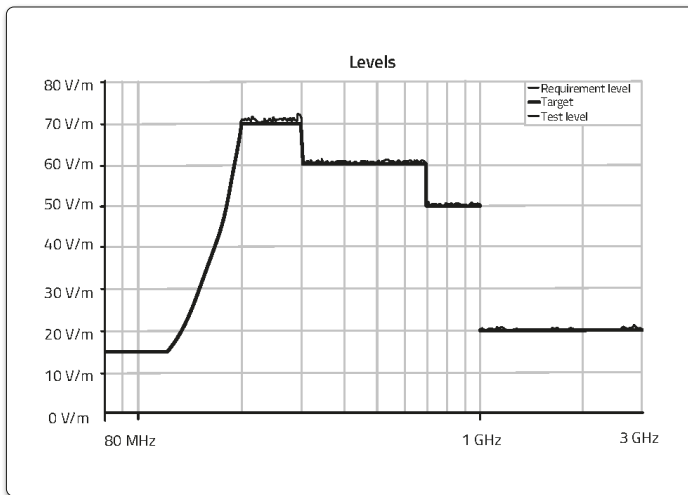
In der leitungsgeführten Störaussendung wird zur besseren Übersichtlichkeit nur der Mittelwert-Grenzwert mit den entsprechenden Messergebnissen im Mittelwert-Detektor verglichen. Da der Quasipeak-Detektor auf dem Mittelwert liegt, wird der 10 dB höher liegende Quasipeak-Grenzwert somit eingehalten. Mit den vorgestellten Maßnahmen liegt das Design in Messungen 9 dB unter dem Mittelwert-Grenzwert und mehr als 15 dB unter dem Quasipeak-Grenzwert der CISPR 32 Klasse B für Netzwerkleitungen. Die Störaussendung der geschirmten und ungeschirmten Leitungen sind vergleichbar und ein Tauschen der Last von langer Leitung mit Filter auf eine kompakte Last hat nur einen geringen Einfluss auf die Emission im Frequenzbereich über 10 MHz.

**Gestrahlte Störaussendung – CISPR 32**

Im modifizierten Design ist die gestrahlte Störaussendung bei der Verwendung einer geschirmten Ethernet-Leitung niedriger im Vergleich zur Störaussendung



**Bild 8: Erweiterung des Boards mit Kupferblech als Schirmplatte und Filterkomponenten**



**Bild 9: Maximal zur Verfügung stehende Feldstärke im EMV-Labor**

mit ungeschirmter Ethernet-Leitung. Bei ungeschirmten Leitungen liegt die Emission mit dem kompakten Lastwiderstand 5 dB unter dem Grenzwert, während die Störungen durch den Ausgangsfilter und lange Ausgangsleitungen vor allem im Bereich über 100 MHz eine niedrigere Störaussendung haben. Auch vergleichsweise kleine leitende Strukturen neigen bei diesen Frequenzen schon zur Abstrahlung.

Mit geschirmten Ethernet-Leitungen reduziert sich die Störaussendung leicht, und die Pegel liegen 9 dB unter dem Grenzwert. Unter 50 MHz strahlt der kompaktere TO-220-Widerstand deutlich weniger. Durch die bessere Performance mit geschirmter Leitung reduziert sich der Unterschied in der Emission in den höheren Frequenzen. Eine weitere Reduktion der gestrahlten Emission bringt ein geschlossenes Chassis.

#### **Gestrahlte Störfestigkeit – IEC 61000-4-3**

Bei der Prüfung der gestrahlten Störfestigkeit konnte mit geschirmten Ethernet-Leitungen in verschiedenen Konfigurationen des unmodifizierten Prüfboards bereits eine Performance im Kriterium A bei maximal verfügbarer Feldstärke (Bild 8) erreicht werden:

- lange Leitungen mit Filter mit und ohne Schirmplatte

- mittellange Leitung (wurde nur ohne Schirmplatte geprüft)
- Point-of-Load-Konfiguration mit und ohne Schirmplatte

Für ungeschirmte Leitungen konnte das Kriterium A bei 3 V/m erreicht werden. Somit eignen sich geschirmte Ethernet-Leitungen für hohe Störfeldstärken, während die Performance bei der Verwendung ungeschirmter Leitungen nicht für das industrielle Umfeld ausreichend ist.

#### **Störfestigkeit gegen Burst – IEC 61000-4-4**

Bedingt durch einige Änderungen bei den verwendeten Notebooks und der Verwendung eines PoE-Switches gestaltet sich die Ergebnisbewertung der Burstprüfung im Vergleich zur Gigabit-Ethernet-Messreihe schwieriger. Da Notebooks und Switch teilweise mitgetestet werden, beeinflussen diese Geräte auch das Ergebnis der Prüfung.

Der PoE-Switch führt bei Prüfpegeln über 3 kV bei der Verwendung von ungeschirmten Ethernet-Leitungen einen Reset durch, was daran zu erkennen ist, dass alle LEDs des Switches blinken. Da hier eine Schirmung und ein Filtern dieser Störgrößen nahezu unmöglich sind, wird der maximale Prüfpegel auf 3 kV beschränkt. Die USB-Schnittstelle des Notebooks geht bei einem Prüfpegel über 3 kV in einen Reset. Dies ist daran zu

erkennen, dass alle USB-Geräte im Geräte-Manager während der Prüfung mit höheren Prüfpegeln verschwinden. Die Ethernet-Schnittstelle der Notebooks verliert bei 4 kV die Verbindung. Bedingt durch diese Ausfälle wurden verschiedene Prüfscenarien zur Performance-Analyse durchgeführt.

- ungeschirmte Leitungen

Hier reduzierte sich die Übertragungsgeschwindigkeit sofort bei schon sehr niedrigen Pegeln. Bei über 3 kV fällt der Switch aus. Aus den Untersuchungen mit dem Gigabit-Ethernet-Board kann aber abgeleitet werden, dass auch das PoE-Board bei höherem Prüfpegel im Performance Kriterium B mit geeignetem Switch betrieben werden kann.

- geschirmte Leitungen mit Last

Notebook, Switch und Last werden offen im Prüfaufbau mit dem Prüfling aufgebaut. Bei Prüfung mit geschirmten Leitungen wird bis zu einem Prüfpegel von 2 kV das Performance Kriterium A erreicht. Für einen fliegenden Aufbau läuft der Prüfling bei vergleichsweise hohem Pegel sehr stabil.

- geschirmte Leitungen ohne externe Lastleitungen und Hilfs-Equipment in Schirmbox

Auch die Lastwiderstände verkoppeln den Burst. Eine Koppelung kann direkt vom Lastwiderstand zurück auf die Platine erfolgen und so die Datenübertragungen stören. Um die Performance der Schnittstelle bei maximalen Prüfpegeln zu prüfen, wird auf einen Lastwiderstand im Betrieb verzichtet. Somit wird auch eine Koppelung von Kühlkörper und Platine vermieden. Bis zu einem Prüfpegel von 3 kV wurde das Performance-Kriterium A eingehalten. Über 3 kV bleibt die Verbindung mit reduzierter Geschwindigkeit aktiv und es wird das Performance-Kriterium B eingehalten.

#### **Störfestigkeit gegen Surge – IEC 61000-4-5**

Eine Einkopplung eines Surge auf ungeschirmte Ethernet-

Leitungen war auf Grund der PoE-Applikation mit der zur Verfügung stehenden Surge-Highspeed-CDN nicht möglich. Wegen der internen Verschaltung der CDN sollte ein Betrieb mit PoE prinzipiell möglich sein und auch das Datenblatt der CDN verspricht einen Betrieb mit PoE+, allerdings war ein Starten des Prüflings mit der Surge-CDN nicht möglich. Bei der Einkopplung eines Surge auf den Ethernet-Leitungsschirm und der Verwendung einer Schirmplatte war ein Betrieb im Performance-Kriterium A bis zu einem Prüfpegel von  $\pm 3$  kV möglich. Bei höheren Prüfpegeln wurde die Ausgangsspannung durch die Surge-Einkopplung instabil. Bei einem Prüfpegel von 5 kV wurde das Kriterium B in der Ausgangsspannung erfüllt, die Datenkommunikation wurde nicht beeinflusst.

#### **Störfestigkeit gegen kontinuierliche leitungsgeführte Störgrößen – IEC 61000-4-6**

Bei der Prüfung der leitungsgeführten Störfestigkeit konnte bei Verwendung geschirmter Ethernet-Leitungen in verschiedenen Konfigurationen des unmodifizierten Prüfboards bereits eine Performance im Kriterium A bei einer Einkopplung mit einem Prüfpegel von 20 V erreicht werden, s. Gestrahlte Störfestigkeit – IEC 61000-4-3. Bei der Einkopplung auf ungeschirmten Leitungen war eine Prüfung im Performance Kriterium A mit 10 V möglich.

#### **Nützliche Links:**

Application Notes:  
[www.we-online.com/app-notes](http://www.we-online.com/app-notes)

REDEXPERT Design Plattform:  
[www.we-online.com/redexpert](http://www.we-online.com/redexpert)

Toolbox:  
[www.we-online.com/toolbox](http://www.we-online.com/toolbox)

Produktkatalog:  
[www.we-online.com/produkte](http://www.we-online.com/produkte) ◀