APPLICATION NOTE

ANP122 | Die Gigabit-Power-over-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

Adrian Stirn

01. EINLEITUNG

Der „GB PoE+ -Ethernet-USB" Adapter ist auf Basis des Referenzdesigns „GB-Ethernet-USB Adapter" entwickelt worden, der ohne Power over Ethernet (PoE) arbeitet.

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

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

Das Board 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.

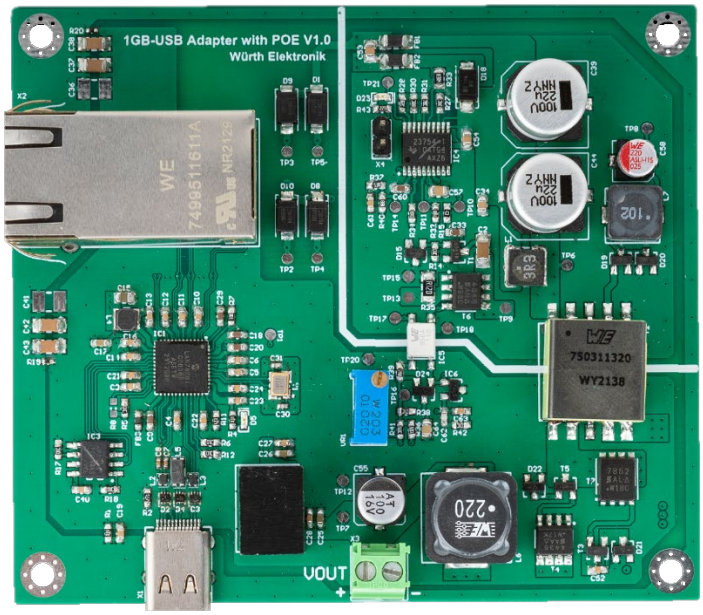


Abbildung 1: Foto des Testboards

Die EMV-Bewertung des PoE-Referenzdesigns erfolgte in zwei Schritten. Zuerst wurde das Board mit der in Abbildung 2 gezeigten Stromversorgung ohne zusätzliche Filter geprüft. Während den Prüfungen wurden Optimierungen nötig, welche in den Kapiteln 3.4 und 3.5 beschrieben sind und die im optimierten Schaltplan aus Abbildung 3 eingepflegt sind. Die Referenzdesign-Beschreibung RD022 beschreibt das optimierte Design im Detail.

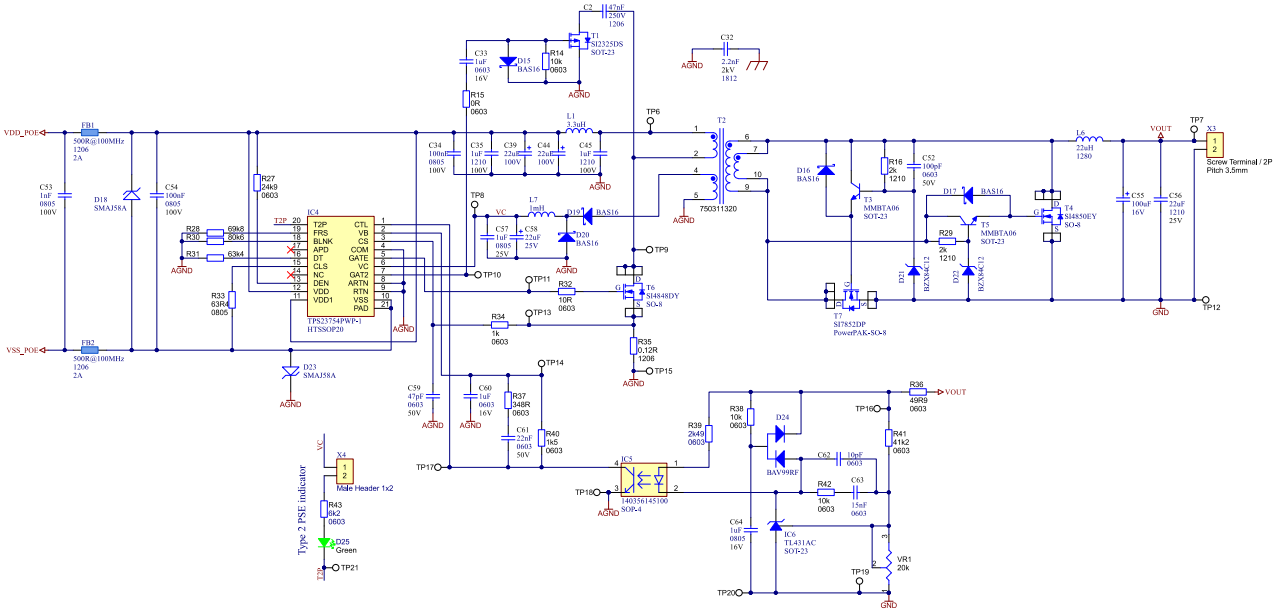


Abbildung 2: Schaltplan RD022 Stromversorgung vor der EMV-Optimierung

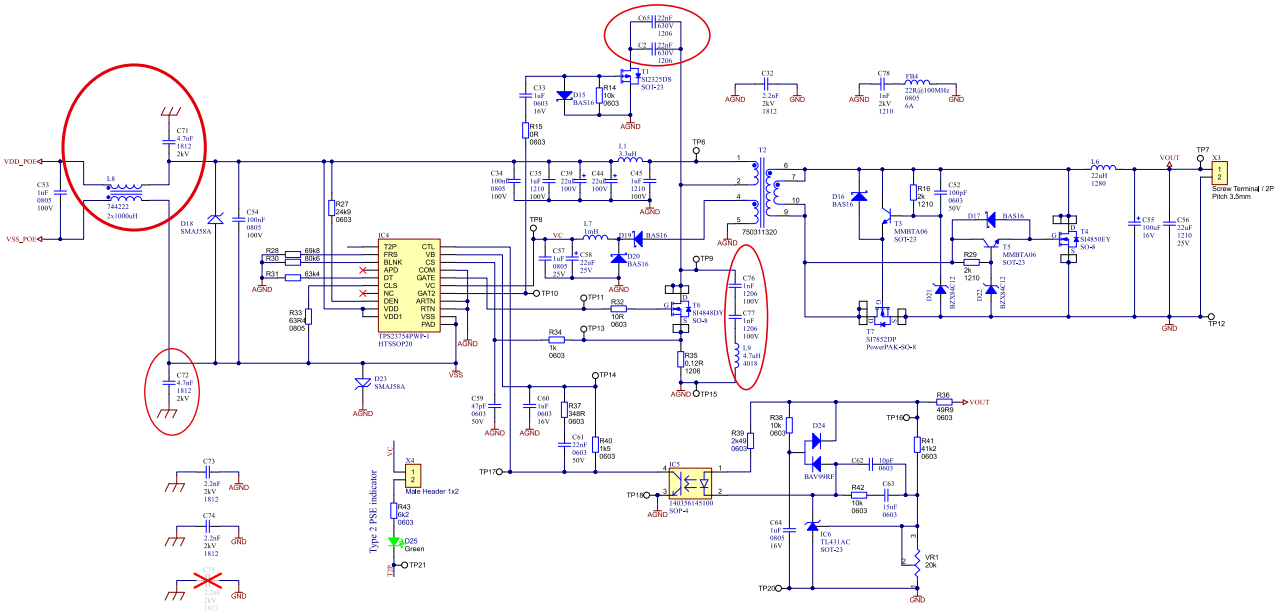


Abbildung 3: Optimierter Schaltplan RD022 Stromversorgung

02. EMV VERHALTEN DER GIGABIT-ETHERNET-SCHNITTSTELLE

Das EMV-Verhalten der Gigabit-Ethernet-Schnittstelle wurde bereits anhand der Referenzdesign-Beschreibung RD016 und Application Note ANP116 ausführlich diskutiert. Die dort gewonnenen Erkenntnisse zur Schirmanbindung, Kabelschirmung und Performance des Ethernet Front Ends sind auch für diese App Note 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 2 mal 10-nF-Kondensatoren und einem parallelen SMD-Varistor ermittelt wurde, kommt auch in dieser App Note zum Einsatz. Die Vorteile dieser Ethernet-Schirmanbindung wurden bereits hinreichend aufgezeigt.

03. GRUNDLEGENDE EMV-BETRACHTUNGEN DER POE-APPLIKATION

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
- DECT-Stationen (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)
- IP-Telefone
- Überwachungskameras
- Überwachung des Raumklimas in Lager- und Produktionsstätten

Hierbei können sich, wie in Abbildung 4 aufgezeigt, kleinere und größere Applikationen ergeben.

Abbildung 4: links eine DECT-Station als Beispiel für ein kompaktes PoE-Gerät; rechts ein IP-Telefon als Beispiel für ein größeres PoE-Gerät

Das IP-Telefon ist ein Beispiel für ein PoE-Gerät mit verhältnismäßig großen Dimensionen, da die Leitung des Telefonhörers zusammen mit der Platine im Telefon eine relativ große Struktur darstellt, welche als Antenne wirksam werden kann.

Aus den beiden Anwendungsbeispielen in Abbildung 4 ergeben sich 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.

Abbildung 5: Simulation einer kompakten Applikation links (Lastwiderstand TO-220 mit Kühlkörper) und Simulation einer großen Applikation rechts

Die Abbildung 5 zeigt die Möglichkeiten, die verschiedenen Applikationen während der EMV-Prüfung mit dem Referenzdesign zu simulieren. Der Vorteil bei Verwendung von langen Leitungen und einem Schiebewiderstand während der EMV-Prüfungen besteht darin, dass die Belastung des Schaltreglers nachgeregelt werden kann und somit immer die maximale Leistung abgerufen wird. Bei der Verwendung des kompakten TO-220-Widerstands ist die Last auf 10 Ω festgelegt.

3.1 Überblick EMV-Prüfaufbau und Betriebsparameter

Der in Abbildung 6 gezeigte schematische Prüfaufbau ähnelt dem bei der Prüfung der Gigabit-Ethernet-Schnittstelle verwendeten Prüfaufbau 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-Referenzdesigns, sowie verschiedener Lastkonfigurationen.

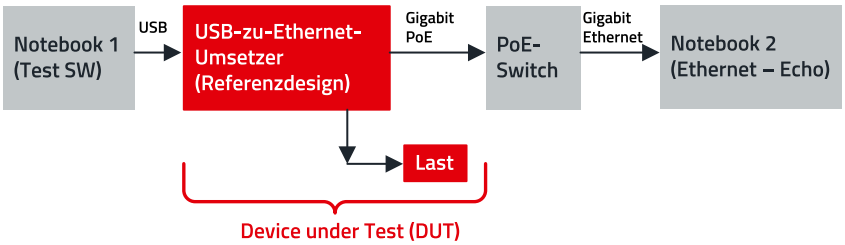


Abbildung 6: Prüfaufbau des Gigabit-PoE-Boards während den EMV-Prüfungen

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 den Störfestigkeitsprüfungen stellte sich heraus, dass bei einem 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 20 V/m über 1 GHz in einem stabilen Betriebsmodus.

Die Lastleitungen werden mit 2 bis 3 m Leitungslänge bei der gestrahlten Störaussendung und Störfestigkeit bemessen und sollen im Sinne der EMV als kurz (Leitungslänge unter 3 m) verstanden werden. Eine Burst- oder leitungsgeführte HF-Einkopplung wird auf dem Spannungsausgang des Boards nicht durchgeführt.

Die zum Betrieb des Boards benötigten Notebooks und der PoE-Switch werden in einer Schirmbox betrieben, um deren Einflüsse auf die Ergebnisse der EMV-Prüfungen möglichst auszuschließen.

3.2 Einfluss der Ausgangsspannung auf die Emission

Aus Abbildung 7 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.

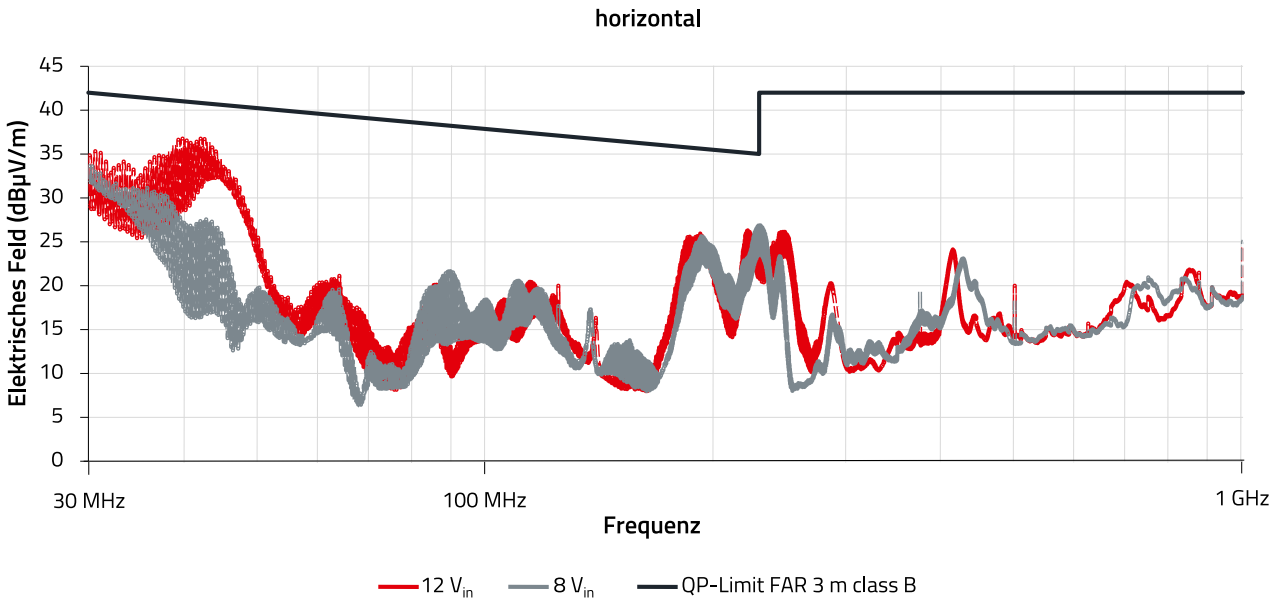
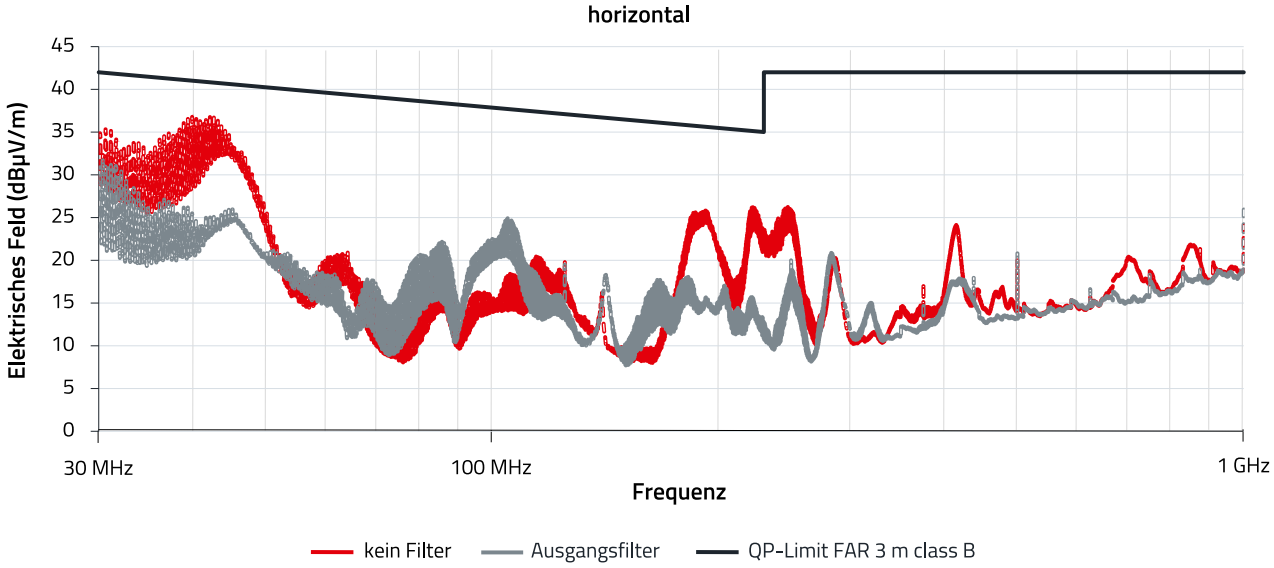


Abbildung 7: Gestrahlte Störaussendung des Gigabit-PoE-Designs beim Betrieb mit langen Lastleitungen ohne externen Filter und mit geschirmtem Ethernet-Kabel (cat5e SF/UTP)

3.3 Ausgangsfilter für lange Leitungen und der Einfluss verschiedener Lastwiderstände

Den Schaltplänen aus Abbildung 2 und Abbildung 3 ist zu entnehmen, dass der isolierte Schaltregler auf dem Board keinen Ausgangsfilter hat. Beim Anschluss von langen Leitungen und einem Lastwiderstand können die Störungen vom Ausgang des Schaltreglers direkt abgestrahlt werden, weshalb bei großen Designs oder Designs mit Kabeln ein Ausgangsfilter nötig sein kann.



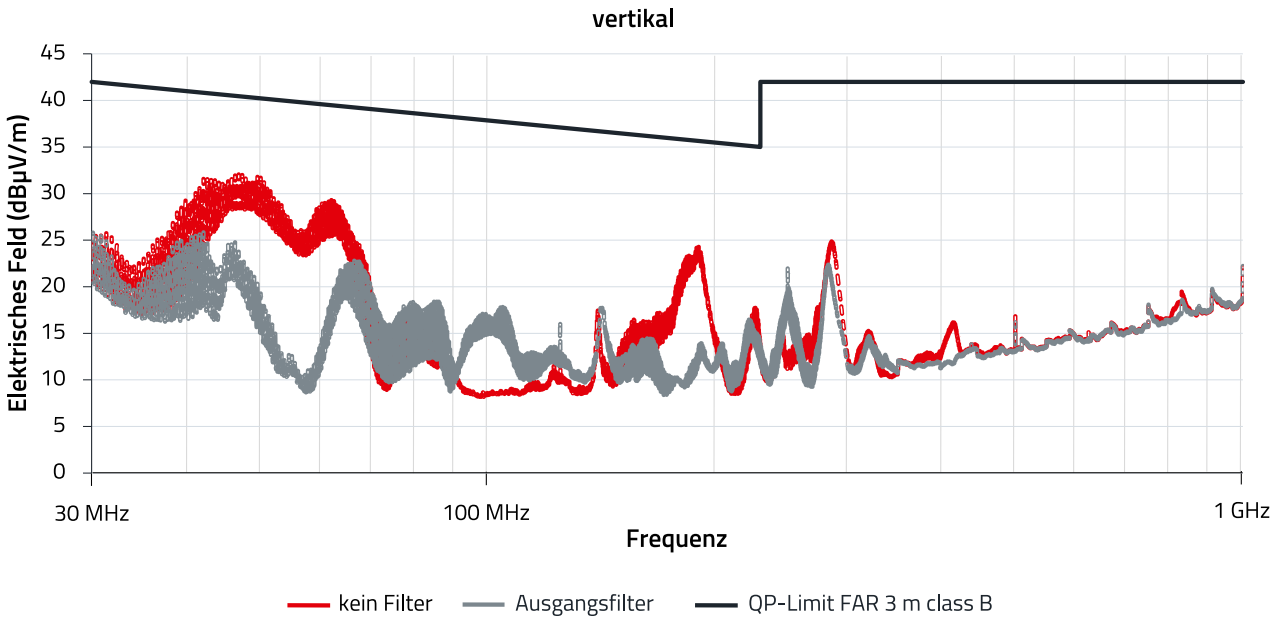


Abbildung 8: Gestrahlte Störaussendung des Gigabit-PoE-Designs beim Betrieb mit langen Lastleitungen, mit geschirmtem Ethernet-Kabel (cat5e SF/UTP) und einer Ausgangsspannung von 12 V und 2 A Laststrom

Mit dem Filter aus Abbildung 9 können wie in Abbildung 8 aufgezeigt, die abgestrahlten Störungen reduziert werden. Dies ergibt einen größeren Abstand zum Klasse B Grenzwert der CISPR 32. Für größere Geräte empfiehlt sich ein Ausgangsfilter, für den die folgenden Komponenten genutzt werden können:

- 742792515 – Ferrite Bead 1812 mit 780 Ohm bei 100 MHz.
- 885012209048 – MLCC 4,7 µF X5R 50 V.
- 744237152 - Gleichtaktdrossel für Signalleitungen mit 17 µH.

Die Kondensatoren um die Gleichtaktdrossel bilden mit deren Streuinduktivität einen differenziellen Filter. Gleichzeitig werden eventuelle Kopplungen durch magnetische Streufelder der Platine in den Filter, die zu einem differenziellen Strom führen würden, kurzgeschlossen.

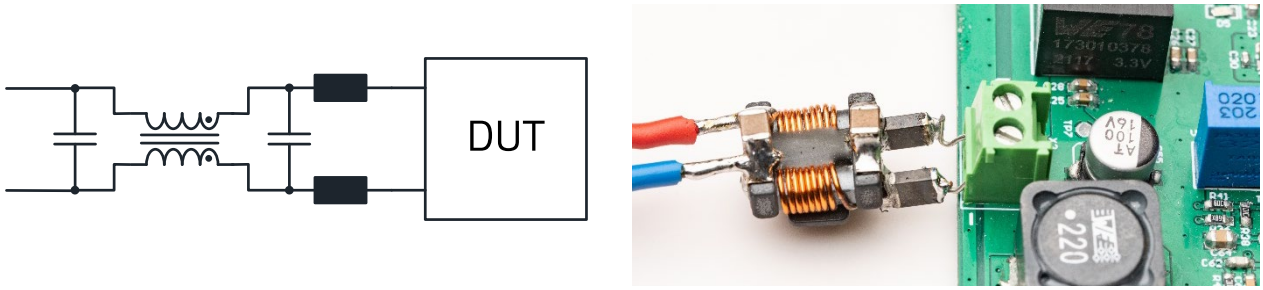


Abbildung 9: Schaltung und Foto des Ausgangsfilters für lange Lastleitungen

Verwendet man statt langer Leitungen mit Filter einen Lastwiderstand mit kurzen Leitungen oder einen TO-220-Widerstand (siehe Abbildung 10) ändert sich die Emission.

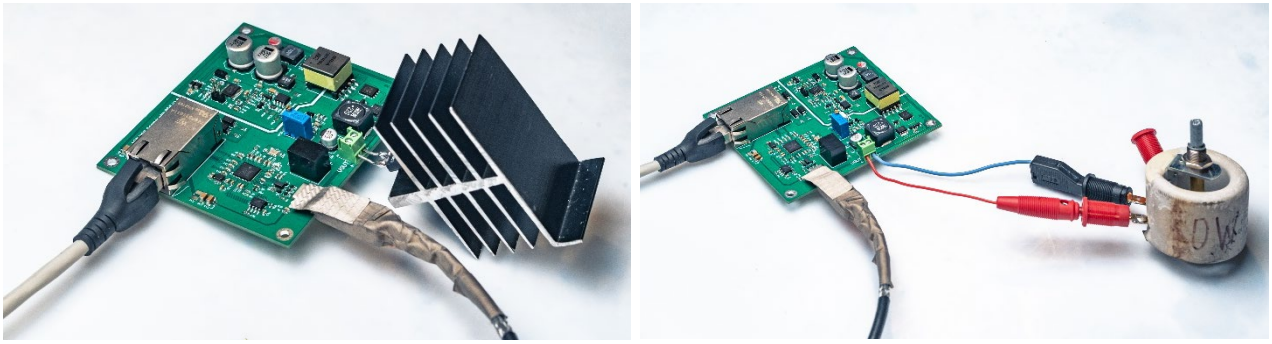


Abbildung 10: links: abgestrahlte Störaussendung mit TO-220-Widerstand 10 Ω; rechts: Lastpotentiometer mit kurzen Leitungen (jeweils ohne Ausgangsfilter)

Die Verringerung der Baugröße der Lastwiderstände führt nicht zu einer Verbesserung der Emission, wenn auf einen Ausgangsfilter verzichtet wird. Abbildung 11 zeigt auf, dass die Emission mit gefilterten langen Lastleitungen teilweise niedriger ist, als mit kompakten Lastwiderständen.

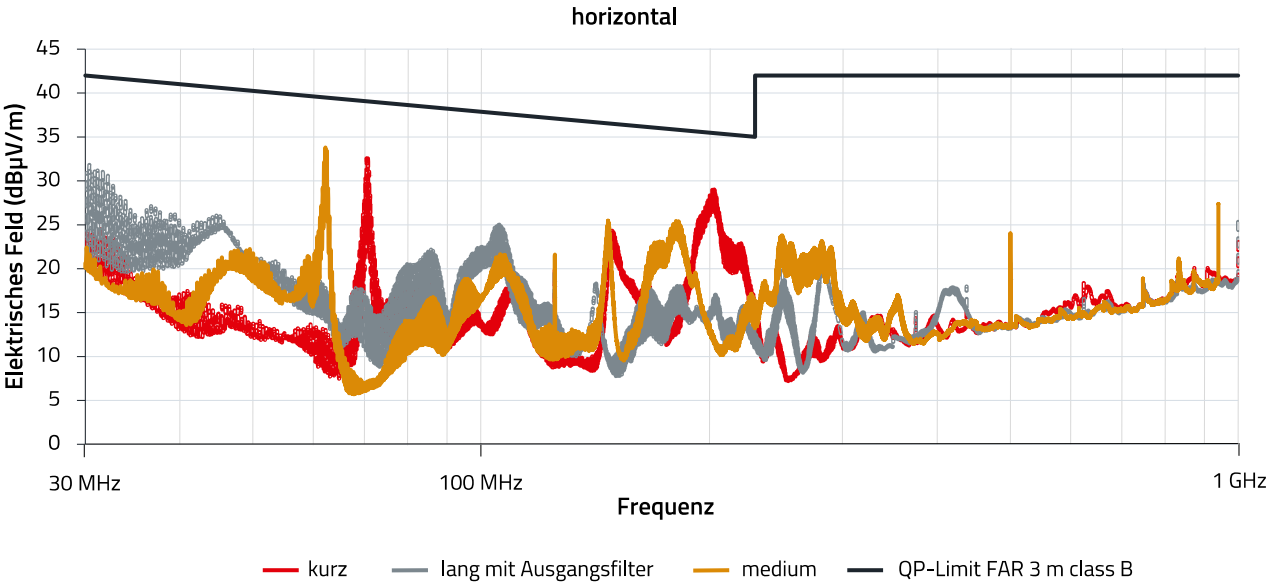


Abbildung 11: Vergleich der Emission mit verschiedenen Lasten bei 12 V Spannung und 2 A Laststrom mit geschirmten Ethernet-Leitungen (medium ist der Lastwiderstand mit kurzen Leitungen aus Abbildung 10 rechts)

3.4 Eingangsfilter und Schirmplatte - Optimierung der leitungsgeführten Störaussendung

Bei der Emissionsprüfung der leitungsgeführten Störaussendung (Abbildung 12) verhält sich das Board ohne weitere Maßnahmen mit geschirmter Ethernet-Leitung grenzwertig und der Grenzwert wird bei der Verwendung von ungeschirmten Leitungen sogar überschritten.

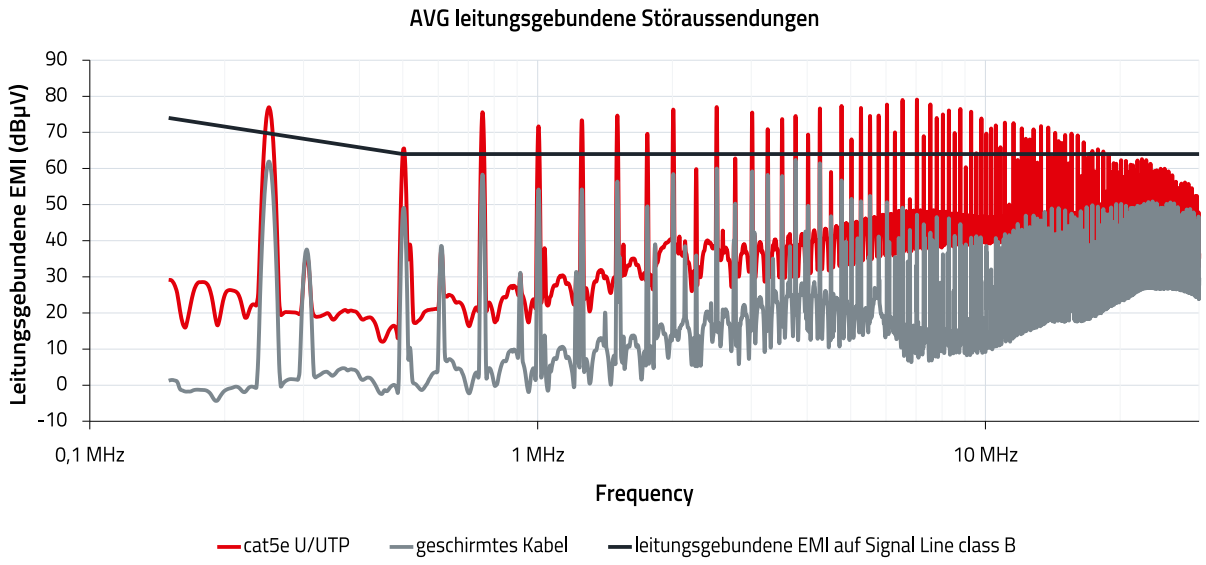


Abbildung 12: Leitungsgeführte Störaussendung bei 12 V und 2 A Ausgangsstrom mit langen gefilterten Lastleitungen

Der Grund für dieses Verhalten ergibt sich aus dem Design des isolierten Wandlers. Der isolierte DC/DC-Wandler der PoE-Platine wird ohne Ausgangsfilter mit dem Digitalteil der Schaltung verbunden. Auf dem Digital-GND wird der USB-Schirm angeschlossen. Der in Abbildung 13 dargestellte Prüfaufbau zeigt, dass vor allem die Schirmbox (im Bild rechts oben), die mit dem USB-Kabelschirm verbunden ist, die größte Dimension des Aufbaus einnimmt. Über die Streukapazität der Schirmbox zur Metallwand der Kabine ergibt sich eine Gleichtakt-Schleife, deren Störquelle die Streukapazität des Übertragers des isolierten Wandlers ist. Die Streukapazität des isolierten Wandlers 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 Gleichtakt-Impedanz). Der Spannungsabfall über dem CDN (Koppel-/Entkoppelnetzwerk) wird dann als Störspannung gemessen. Dieser Störstrompfad ist in Abbildung 14 dargestellt und beispielhaft für eine Fläche von 1 m² berechnet.

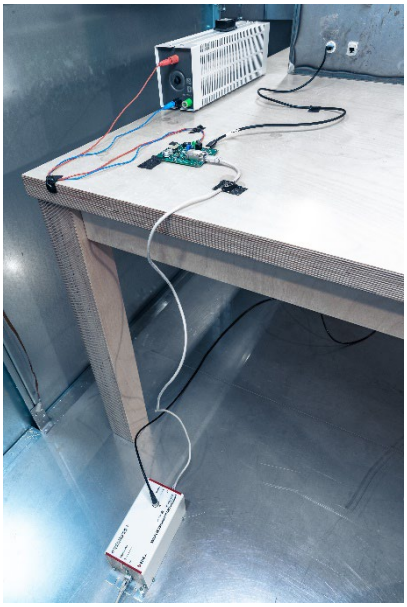


Abbildung 13: Prüfaufbau der leitungsgeführten Störaussendung

Aus der Abbildung 14 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 im Prüfaufbau kontrolliert werden. Dies kann beispielsweise durch ein „Schirmblech" erfolgen. Mit einem Schirmblech oder einer Schirmplatte ist aber nicht eine HF-Abschirmung gemeint, sondern viel mehr eine kapazitive Bezugsfläche auf die die Filter des Boards bezogen werden können. Ziel ist es den Störstromkreis zu kontrollieren und zu verhindern, dass der Störstrom über das AAN fließt.

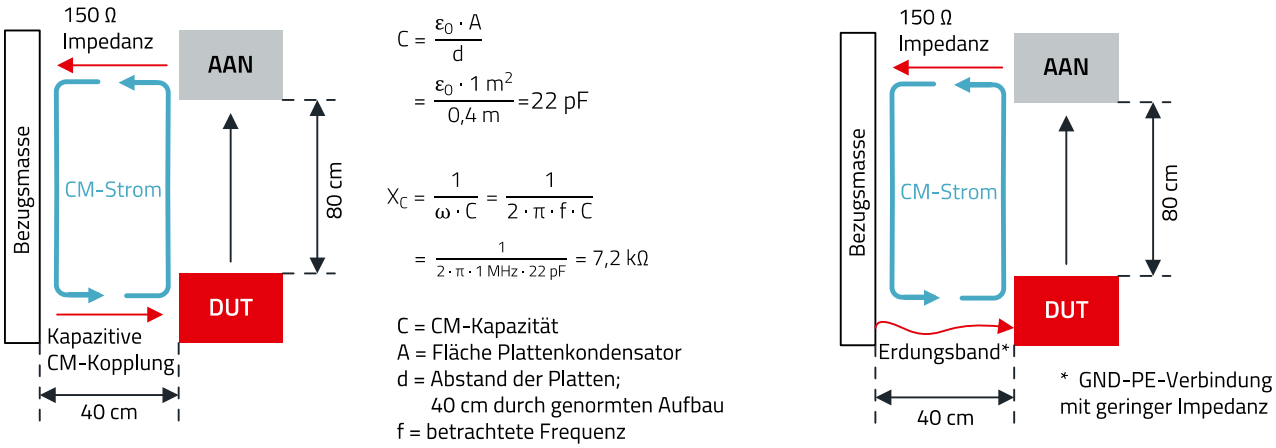


Abbildung 14: Schleife des Störstroms, der zur leitungsgeführten Störaussendung führt (CM = Gleichtakt)

Der Strom in der Schleife aus Abbildung 14 wird größer, wenn die Sekundärseite des isolierten Wandlers auf Referenzmasse gelegt wird – beispielsweise über eine Erdung des USB-Schirms. Der Störstrom steigt, wodurch auch der Spannungsabfall in dem AAN steigt. Mittels einer Erdung der Sekundärseite kann so das höchste Störpotential provoziert werden.

Der aufgezeigte Sachverhalt führt dazu, dass der in Abbildung 2 aufgezeigte Schaltplan der Stromversorgung auf dem PoE-Board mit einem Filter erweitert wird, um eine Einhaltung der leitungsgeführten Störaussendungsgrenzwerte zu ermöglichen. Mit diesen Maßnahmen ergibt sich der Aufbau des Boards nach Abbildung 15 und der Schaltplan nach Abbildung 3:

1. Ein Kupferblech wird als Bezugsmasse unter der Platine montiert und mit dem Schirm der Ethernet-Leitung verbunden.
2. Der Eingangsfilter des DC/DC-Wandlers an der Diodenbrücke des PoE-Steckverbinders wird erweitert:
   a. 744222 Gleichtaktdrossel 1 mH.
   b. 150 nF; 100 V MLCC 885012208119 zwischen V_{CCin} und GND_{in}.
   c. Ferrite werden beibehalten.
   d. 4,7 nF; 2 kV MLCC 885342211008 zur Schirmplatte.
3. Es wird ein zusätzlicher Koppelkondensator zwischen Primär- und Sekundär-GND 4,7 nF; 2 kV MLCC 885342211008 parallel zum Übertrager eingesetzt. Die Streukapazität des Übertragers ist relativ hoch und es könnte sogar noch ein Kondensator mit größerer Kapazität eingesetzt werden.
4. Der USB-Leitungsschirm wird direkt mit der GND-Lage verbunden und mittels Kondensator 4,7 nF; 2 kV MLCC 885342211008 an die Schirmplatte angebunden.

Der Kondensator zum Kurzschließen der primären und sekundären GND-Lage sollte prinzipiell deutlich, typ. Faktor 100, 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.

Die optimierten Ergebnisse der EMV-Prüfung werden ausführlich in Kapitel 4 diskutiert.

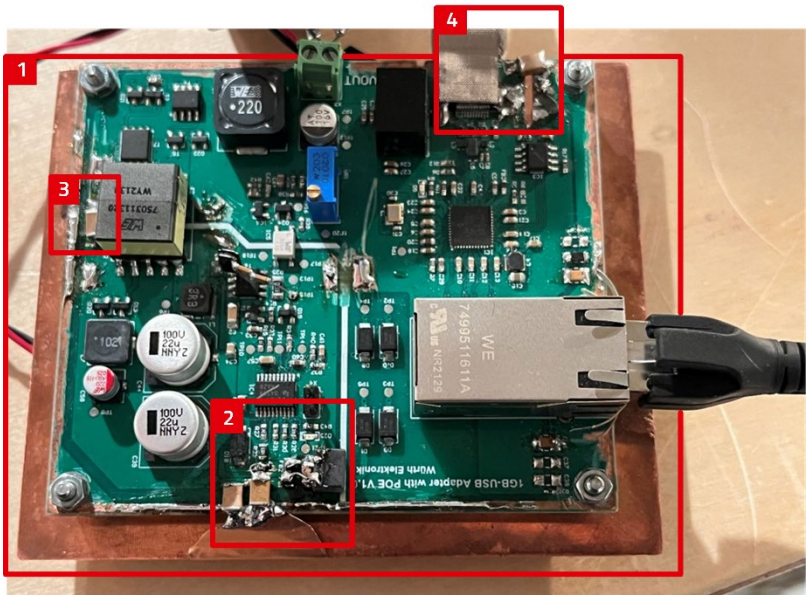


Abbildung 15: Erweiterung des Boards mit Kupferblech als Schirmplatte und Filterkomponenten

Hinweis zu diesem Abschnitt: Die eingesetzten Filtermaßnahmen sind nur aufgrund der isolierten Spannungsversorgung nötig. Anderweitige Optimierungen könnten hier auch die Reduktion der Streukapazität des Übertragers oder das Anwenden des Inselkonzepts (siehe Kapitel 05) sein. Für kompakte Geräte, ohne den Anschluss langer sekundärseitiger Schnittstellen (USB und Ausgangsspannung) ist eine aufwendige Filterung des isolierten DC/DC-Wandlers nicht unbedingt nötig, da die Sekundärseite klein ist und somit die Abstrahlung und kapazitive Auskopplung geringer sein wird.

3.5 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.

In Abbildung 16 ist die Überwachung der Fehler- und Datenrate über den Prüfzeitraum aufgezeigt. Bedingt durch die im Ethernetprotokoll genutzten Korrektur- und Steuerbits können im ungestörten Zustand bei maximaler Leistung der Notebooks circa 850 Mbit/s übertragen werden. Es ergeben sich die folgenden Bewertungskriterien aus Tabelle 1. Durch den zusätzlichen PoE-Switch ergeben sich Geschwindigkeitseinbrüche, die nicht auf äußere Störeinflüsse zurückzuführen sind. Treten diese Störungen während der Prüfung auf (rot markiert in Abbildung 16), müssen die entsprechenden Frequenzpunkte erneut geprüft werden. Nur so kann bei einer Einwirkzeit von 3 Sekunden unterschieden werden, ob die Geschwindigkeitsreduktion bedingt durch die Störgröße oder durch Effekte in der Hilfsausrüstung wie dem PoE-Switch auftritt. Zur Überprüfung des DC/DC-Wandlers werden Spannungsgrenzen von V_{out} +/- 0,5 V als akzeptabel angenommen. Die Auswahl der Einwirkzeit wird im folgenden Kapitel 3.6 beschrieben.

Abbildung 16: Monitoring der Übertragungsgeschwindigkeit und Schwankungen durch den PoE-Switch

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 Kamera, die auf das zum Monitoring angeschlossene Notebook gerichtet ist, lässt sich die Performance des Prüflings effektiv überwachen.

Messparameter	Bewertungskriterien	Funktionsbeschreibung des Bewertungskriteriums
Übertragungs-geschwindigkeit	A	850 Mbit/s (Hinweis: Windows- und Switch-basierte Geschwindigkeitsänderungen werden nicht berücksichtigt.)
	B	< 800 Mbit/s
	C	Verbindungsabbruch
Fehlerrate Übertragung	A	0% - 2%
	B	> 2%
	C	100% = Verbindungsabbruch
V_{out}	A	V_{out} +/- 0,5 V
	B	Außerhalb der Spezifikation, aber selbst erholend!

Tabelle 1: Performance-Kriterien des Prüflings während der Störfestigkeitsprüfung

3.6 Messzeit, Emissionsprüfung und Einwirkzeit bei der Störfestigkeitsprüfung

Die durch die Software LabView definierte Datenübertragung aus einem Datenstring zur Geschwindigkeits- und Fehlerratenmessung ergibt eine Betrachtungszeit von zwei Sekunden: eine Sekunde Fehlerrate, eine Sekunde Geschwindigkeit. Um beide Zustände sicher in der Emission und Störfestigkeit zu messen, wird wie auch schon beim Gigabit-Ethernet-Design eine Emissionsmesszeit und eine Einwirkzeit der kontinuierlichen Störgrößen von drei Sekunden ausgewählt.

04. EMV-VERHALTEN DES REFERENZDESIGNS

Die Aufbauten der im folgenden Kapitel gezeigten EMV-Prüfungen werden unter anderem in der Applikationsschrift ANP105 aufgezeigt und daher in dieser App Note nicht im Detail diskutiert. Im Folgenden wird die EMV-Performance des Referenzdesigns RD022 in den Emissionsprüfungen und den Störfestigkeitsprüfungen dargestellt. Im Anhang A und Anhang B werden auch Prüfergebnisse der Störaussendung mit reduzierten Filtern und ohne Optimierungsmaßnahmen diskutiert und aufgezeigt. Die Störfestigkeitsprüfungen wurden ohne das Hinzufügen der Filterkomponenten aus Kapitel 3.4 durchgeführt.

4.1 Leitungsgeführte Störaussendung – CISPR 32

In der leitungsgeführten Störaussendung wird zur besseren Übersichtlichkeit nur der mittlere Grenzwert mit den entsprechenden Messergebnissen im Mittelwertdetektor verglichen. Da der Quasipeak-Detektor auf dem Mittelwert liegt, wird der 10 dB höher liegende Quasipeak-Grenzwert somit eingehalten.

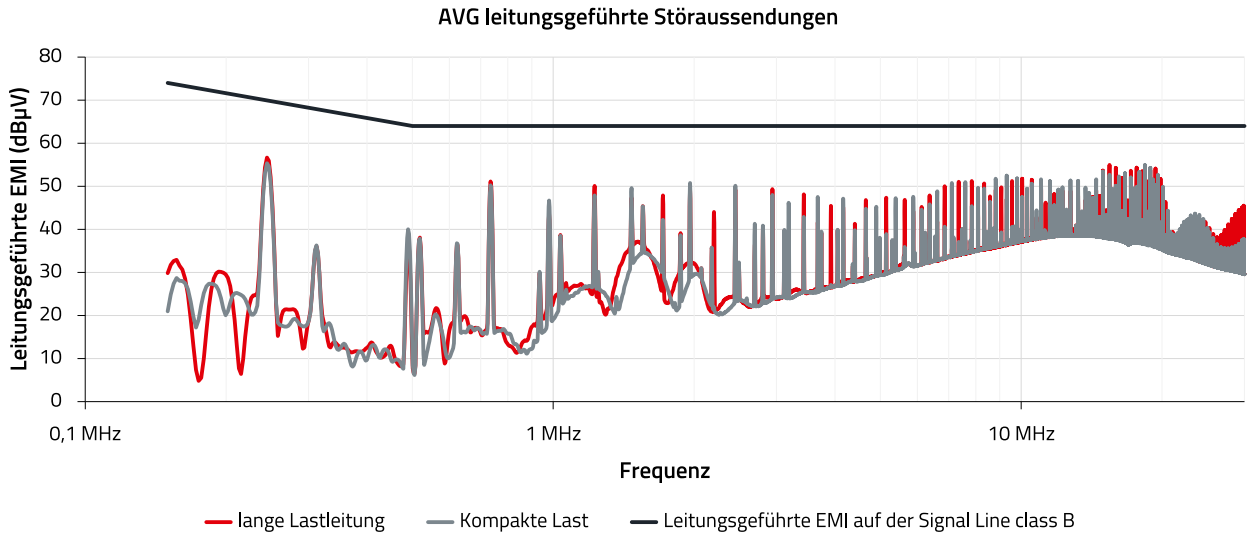


Abbildung 17: Leitungsgeführte Störaussendung, des Designs nach Abbildung 3 mit ungeschirmter Ethernet-Leitung (cat5e U/UTP) bei 12 V Ausgangsspannung

Mit den in Kapitel 3.4 vorgestellten Maßnahmen, liegt das Design in den Messungen aus Abbildung 17 und Abbildung 18 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.

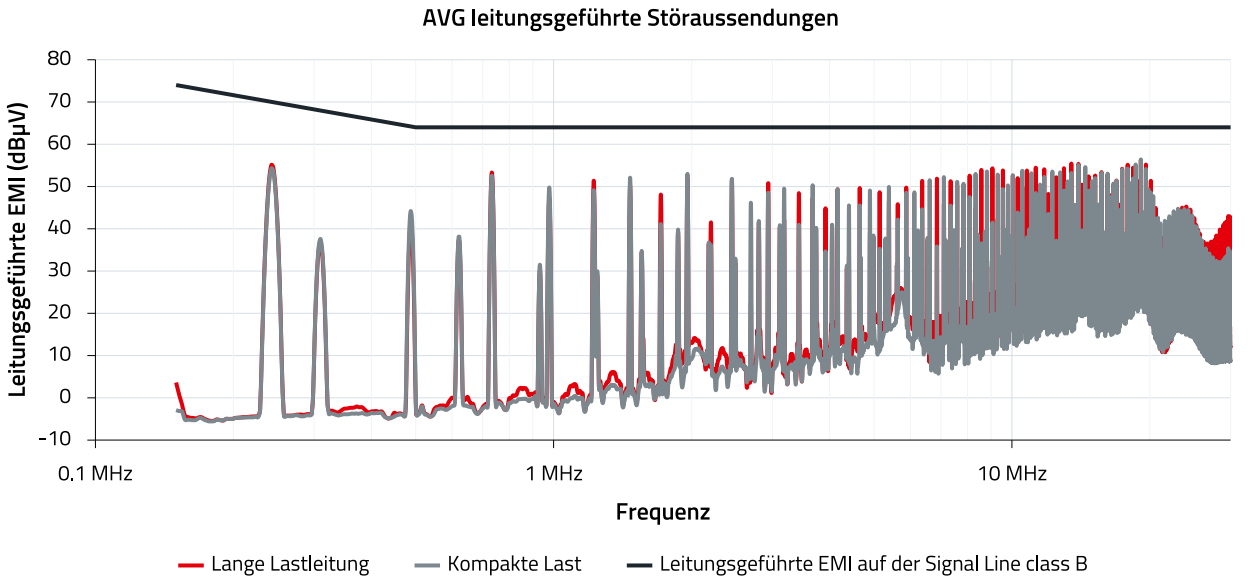


Abbildung 18: Leitungsgeführte Störaussendung des Designs nach Abbildung 3 mit geschirmter Ethernet-Leitung (cat5e SF/UTP) bei 12 V Ausgangsspannung

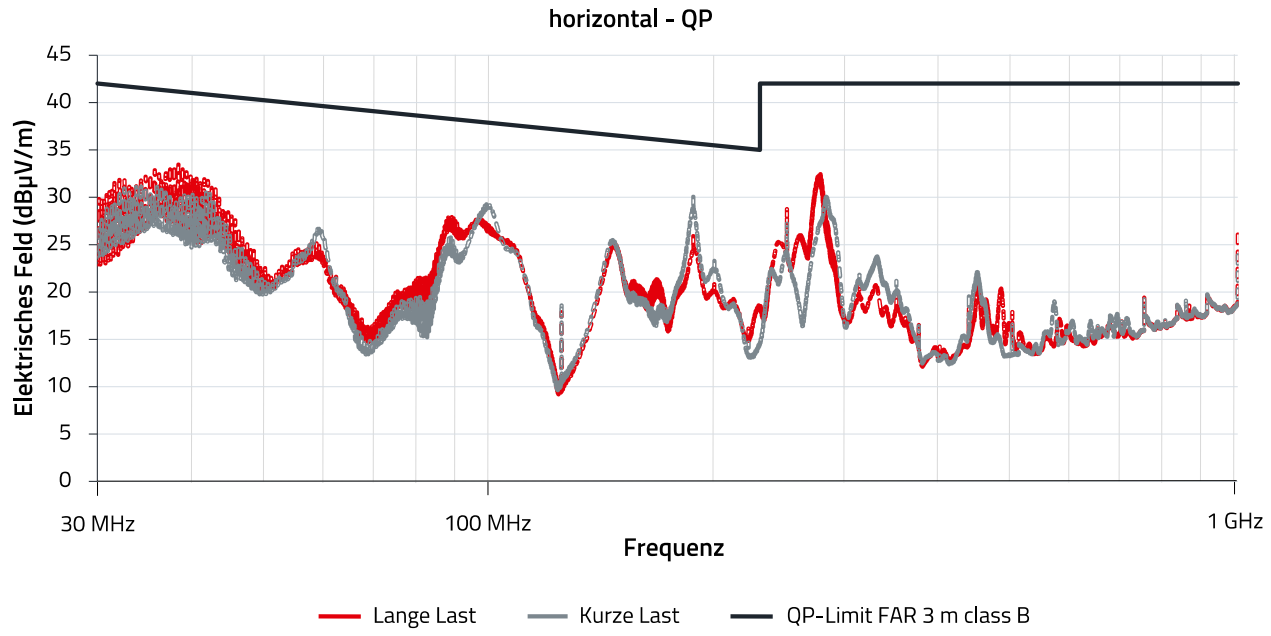
Die hier durchgeführten Messungen wurden mit einer nicht geerdeten sekundären Masselage durchgeführt. Der USB-Kabelschirm liegt direkt auf dem digitalen Platinen-GND und der Schirmbox auf. Eine Kopplung zur Referenzmasse erfolgt daher in der Hauptsache kapazitiv über die Schirmbox. Für eine reale PoE-Anwendung erscheint dieser Anwendungsfall

realistisch, da eine sekundärseitige Erdung für Applikationen wie beispielsweise durch einen Access Point nicht sinnhaft ist. Sollte das Referenzdesign mit sekundärseitiger Erdung verwendet werden, müssen, abhängig vom Gesamtsystem, ggf. weitere Filter vorgesehen werden.

4.2 Gestrahlte Störaussendung – CISPR 32

Im modifizierten Design ist die gestrahlte Störaussendung bei der Verwendung einer geschirmten Ethernet-Leitung (siehe Abbildung 20) niedriger im Vergleich zur Störaussendung mit ungeschirmter Ethernet-Leitung (Abbildung 19).

Bei der Verwendung von ungeschirmten Leitungen liegt die Emission bei der Verwendung des kompakten Lastwiderstandes 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 wie ein TO-220-Widerstand mit Kühlkörper neigen bei diesen Frequenzen schon zur Abstrahlung.



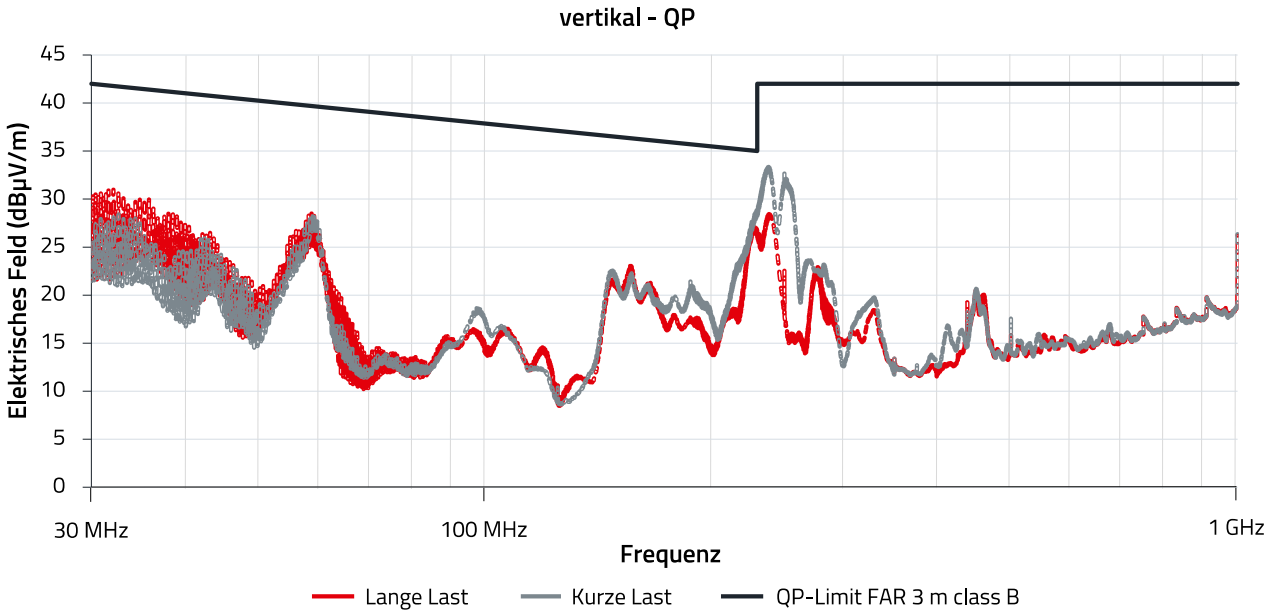


Abbildung 19: Gestrahlte Störaussendung, des Designs nach Abbildung 3 mit ungeschirmter Ethernet-Leitung (cat5e U/UTP) bei 12 V Ausgangsspannung

Bei der Verwendung von geschirmten Ethernet-Leitungen reduziert sich die Störaussendung leicht und die Pegel befinden sich 9 dB unter dem Grenzwert. Im Frequenzbereich unter 50 MHz strahlt der kompaktere TO-220-Widerstand deutlich weniger Störungen ab. Durch die bessere Performance mit geschirmter Leitung reduziert sich der Unterschied in der Emission in den höheren Frequenzen. Eine weitere Reduktion der gestrahlten Emission kann durch die Verwendung von einem geschlossenen Chassis erfolgen (siehe Abbildung 30 im Anhang).

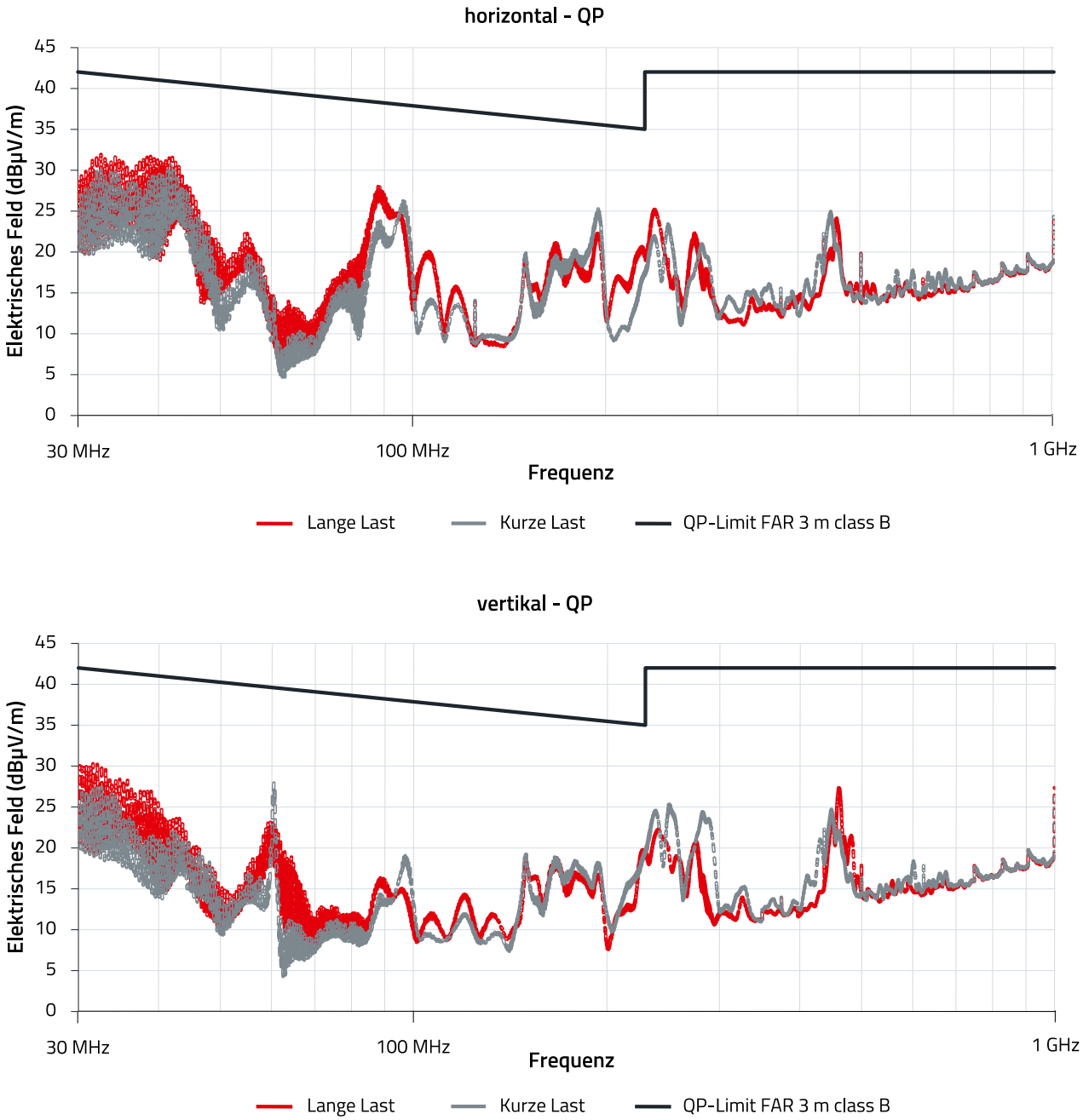


Abbildung 20: Gestrahlte Störaussendung, des Designs nach Abbildung 3 mit geschirmter Ethernet-Leitung (cat5e SF/UTP) bei 12 V Ausgangsspannung

4.3 Gestrahlte Störfestigkeit – IEC 61000-4-3

Bei der Prüfung der gestrahlten Störfestigkeit konnte bei Verwendung geschirmter Ethernet-Leitungen in verschiedenen Konfigurationen des unmodifizierten Prüfboards bereits eine Performance im Kriterium A bei maximal verfügbarer Feldstärke (siehe Abbildung 21) erreicht werden:

- Lange Leitungen mit Filter mit und ohne Schirmplatte.
- Mittel-lange Leitung (wurde nur ohne Schirmplatte geprüft).
- Point-of-Load-Konfiguration mit und ohne Schirmplatte.

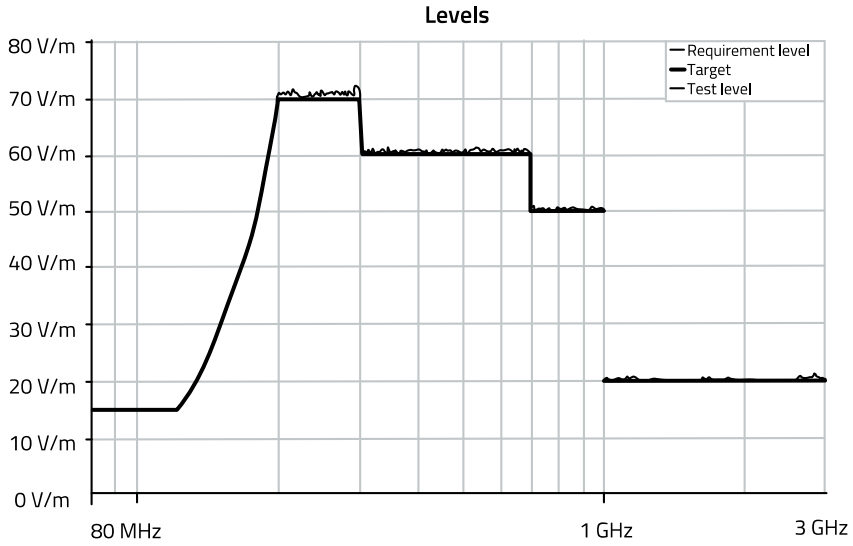


Abbildung 21: Maximal zur Verfügung stehende Feldstärke im EMV-Labor

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.

4.4 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 werden verschiedene Prüfszenarien zur Performance-Analyse durchgeführt.

1. Ungeschirmte Leitungen:
   Bei der Burstprüfung des Boards mit ungeschirmten Ethernet-Leitungen reduziert 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.
2. 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.
3. Geschirmte Leitungen ohne externe Lastleitungen und Hilfsequipment in Schirmbox:
   Auch die Lastwiderstände verkoppeln den Burst. Eine Kopplung 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 Kopplung von Kühlkörper und Platine vermieden. Die Notebooks und der Switch kommen in eine geschlossene Schirmbox, auf der der USB-Kabelschirm und der Ethernet-Kabelschirm aufgelegt sind. Der Aufbau ist Abbildung 22 zu entnehmen. Bis zu einem Prüfpegel von 3 kV wurde das Performance Kriterium A eingehalten, die Übertragungsgeschwindigkeit wurde also nicht reduziert. Im Vergleich zum integrierten Gigabit-Ethernet-Board konnte der maximale Prüfpegel im Kriterium A von ursprünglich 1 kV

auf 3 kV erhöht werden. Die eingesetzte integrierte PoE-Buchse hat ein verbessertes EMV-Design mit einem zweistufigen Gegentaktfilter, der die Symmetrie in der Übertragung erhöht und somit höhere Störfestigkeitspegel erlaubt. Über 3 kV bleibt die Verbindung mit reduzierter Geschwindigkeit aktiv und es wird das Performance Kriterium B eingehalten.

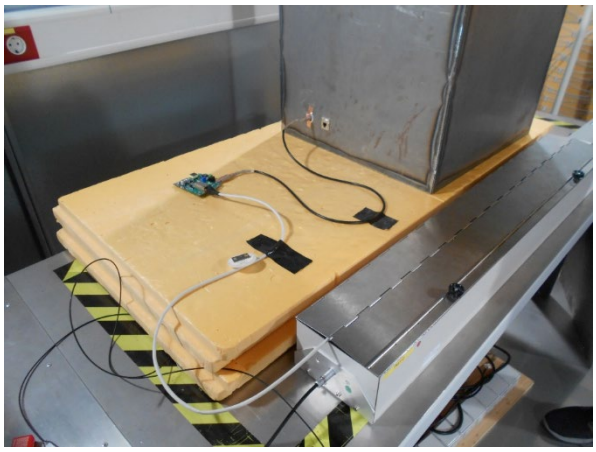


Abbildung 22: Aufbau der Burst-Prüfung zur Ermittlung des maximalen Prüfpegels

4.5 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 +/- 3 kV möglich. Bei höheren Prüfpegeln wurde die Ausgangsspannung durch die Surge-Einkopplung instabil. Das Unterschwingen der Ausgangsspannung wurde mittels differenziellem Hochspannungstastkopf gemessen und ist in Abbildung 23 dargestellt. Bei einem Prüfpegel von 5 kV wurde das Kriterium B in der Ausgangspannung erfüllt, die Datenkommunikation wurde nicht beeinflusst.

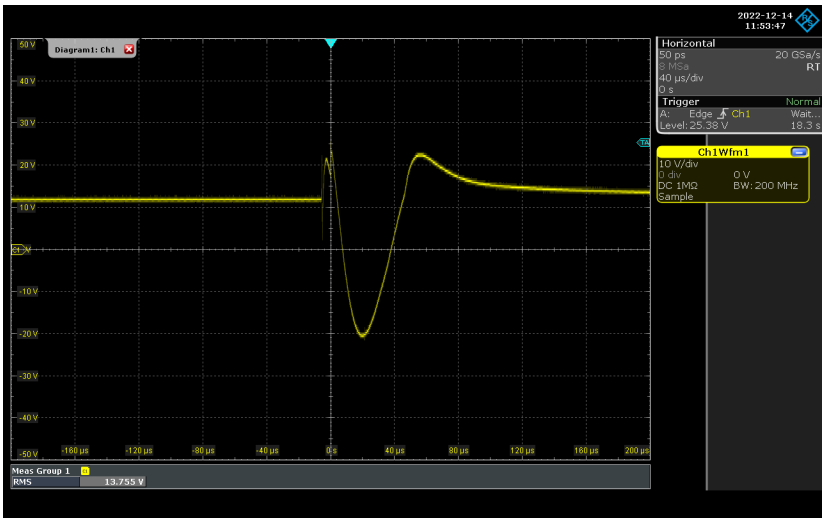


Abbildung 23: Schwingung am Spannungsausgang des Prüflings durch Surge

Durch eine Erhöhung der Ausgangskapazität an der Klemme kann dieses Verhalten vermieden werden. Der eingekoppelte Surge-Puls kann bei 4 kV, bedingt durch die Generatorimpedanz von 2 Ω zu Strömen bis 2000 A führen. Zum einen müssen die Schirm- und Erdanbindungen diese Ströme physikalisch tragen können, zum anderen kommt es dadurch zu möglichen Schwingungen in den Potentialen der Platine und Schirmplatte. Der Strom wird an der Schirmplatte entkoppelt und auf dem

Kabelschirm eingekoppelt (siehe Abbildung 24), wodurch auch das Potential der Platine durch den Spannungsabfall des geflossenen Stroms beeinflusst wird. Eine ausreichende Entkopplung wird deshalb benötigt.

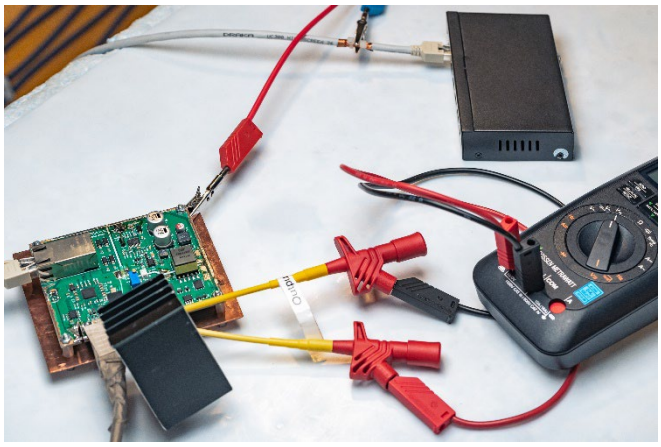


Abbildung 24: Surge-Einkopplung bei Verwendung einer Schirmplatte. Der Surge-Strom fließt quer durch die Schirmplatte

Koppelt man den Surge-Strom direkt an der Ethernet-Buchse aus, so ist dieses Verhalten nicht zu beobachten und das Performancekriterium A wird bei Spannungen bis 5 kV eingehalten. Eine mögliche Verbesserung für Anwendungen mit hohen transienten Spannungen könnte somit eine niederimpedantere Anbindung zwischen Schirm-GND der Platine und der Schirmplatte zusammen mit einer größeren Ausgangskapazität am Filter sein.

4.6 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:

- Gefilterte lange Leitungen mit und ohne Schirmplatte.
- Mittel-lange Leitung (wurde nur ohne Schirmplatte geprüft).
- Point-of-Load-Konfiguration mit und ohne Schirmplatte.

Bei der Einkopplung auf ungeschirmten Leitungen war eine Prüfung im Performance Kriterium A mit 10 V möglich.

05. MÖGLICHE WEITERE EMV-VERBESSERUNGEN

Bei den Störausendungsprüfungen wurde festgestellt, dass der Prüfling starke Gleichtakt-Störungen erzeugt, die auf den DC/DC-Wandler zurückzuführen sind. Im Anhang kann dieser Sachverhalt in weiteren Messungen eingesehen werden.

Wie in Abbildung 14 dargestellt, ergibt sich bei der leitungsgeführten Störausendungsprüfung eine Gleichtakt-Störschleife deren Kontrolle die leitungsgeführten Störungen reduziert. Als Störquelle wurde, wie oben erwähnt, der isolierte DC/DC-Wandler identifiziert. Die breitbandige Störemission erfolgt sowohl im Frequenzbereich unter 30 MHz, als auch im Frequenzbereich über 30 MHz. Der isolierte DC/DC-Spannungswandler erzeugt ein Gleichtakt-Störpotenzial auf der gesamten Referenzmasse (V_{CC}, GND) der Baugruppe und sämtliche angeschlossenen Leitungen und Kabelschirme werden zu Antennen, die diese Störungen abstrahlen.

Kann das Störpotenzial des Wandlers schaltungstechnisch nicht reduziert werden, müssen die Störungen des isolierten Wandlers lokal bleiben und eine Kopplung auf die Massefläche der Platine muss vermieden werden. Bei Störern mit einem so hohen Störpotential kann beispielsweise das Insel-Konzept ein Ansatz sein. Hierbei werden Störquellen vom Rest der Platine isoliert und nur über Signaltrennung oder Filter mit anderen Schaltungsteilen verbunden – als quasi isolierte Funktionskomponente mit definierten Schnittstellen. Das Inselkonzept führt zu einer Verwendung von Split-GNDs. Diese Art der Platinenentflechtung ist prinzipiell nicht zu empfehlen – kann jedoch in speziellen Fällen, wie beim hier verwendeten DC/DC-Wandler, sinnvoll sein. Die wichtigste Regel im Insel-Konzept ist, dass Traces niemals einen GND-Split kreuzen dürfen und sich verschiedene Inseln und GND-Flächen nicht überlappen. Die Verbindung zwischen den Inseln erfolgt mittels Übertragern (beispielsweise Optokoppler oder magnetischen Übertragern) oder mit EMV-Filtern. Hierbei werden Hin- und

Rückstrom zusammen als differenzielles Paar geführt und dann mittels EMV-Filter von der einen zur nächsten Insel verbunden. Dies bedeutet auch, dass bei der Auslegung des Konzepts Hin- und Rückstrom in der Entflechtung der Platine berücksichtigt werden müssen. Im Bereich der Inseln erfolgt das PCB-Design nach gängigen Layout-Regeln. Die folgende Abbildung 25 zeigt eine mögliche Inselaufteilung für das Gigabit-PoE Board.

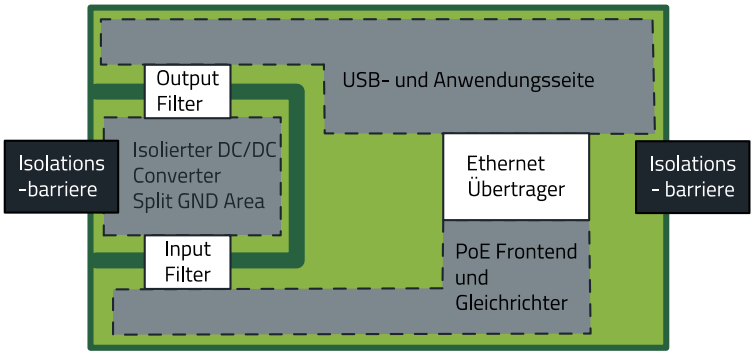


Abbildung 25: Inselkonzept für das Gigabit-PoE-Board

Aus der Abbildung 25 geht hervor, dass bei der Übertragung an der Isolationsbarriere bereits eine Signaltrennung vorgenommen wird und die Nutzsignale differenziell übertragen werden. Dies geschieht durch den Trafo im DC/DC-Wandler und die Übertrager in der Ethernet-Buchse. Als Änderung zum bereits vorliegenden Design werden lediglich die Masselagen am DC/DC-Wandler primärseitig und sekundärseitig vom Rest der Platine abgetrennt. Eingangs- und Ausgangsspannung werden mit einem EMV-Filter vom PoE-Gleichrichter (Eingangsspannung) oder dem Digital-GND (Ausgangsspannung) getrennt. Ein möglicher Filter ist für das EMV-optimierte Design aus Abbildung 3 bereits entwickelt worden. Ein ähnlicher Filter am Ausgang kann dann den Digital-GND der Platine von der stark mit Störungen behafteten Ausgangsspannung des Wandlers abtrennen.

Diese Maßnahmen führen zu einem erhöhten Filteraufwand und Platzbedarf im Design, können aber im Falle großer Geräte die Störaussendung deutlich reduzieren. Das Inselkonzept ist nicht nur für diese Schaltung gültig, sondern auch allgemein in anderen Applikationen anwendbar. Gerade für isolierte Wandler kann es Abhilfe für ansonsten nahezu unkontrollierbare Störaussendungen bringen. An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass Leitungen auf der Platine niemals unkontrolliert die Trennung der Inselbereiche kreuzen dürfen und entweder eine Übertragung mit EMV-Maßnahme differenziell oder mittels eines anderen Übertragers stattfinden muss.

Um die Gleichtaktkopplung im DC/DC-Wandler zu reduzieren, kann alternativ auch ein Trafo mit geringerer Streukapazität genutzt werden, oder die Frequenz der Störungen reduziert werden, die mit der Streukapazität zu Gleichtakt-Störungen führen.

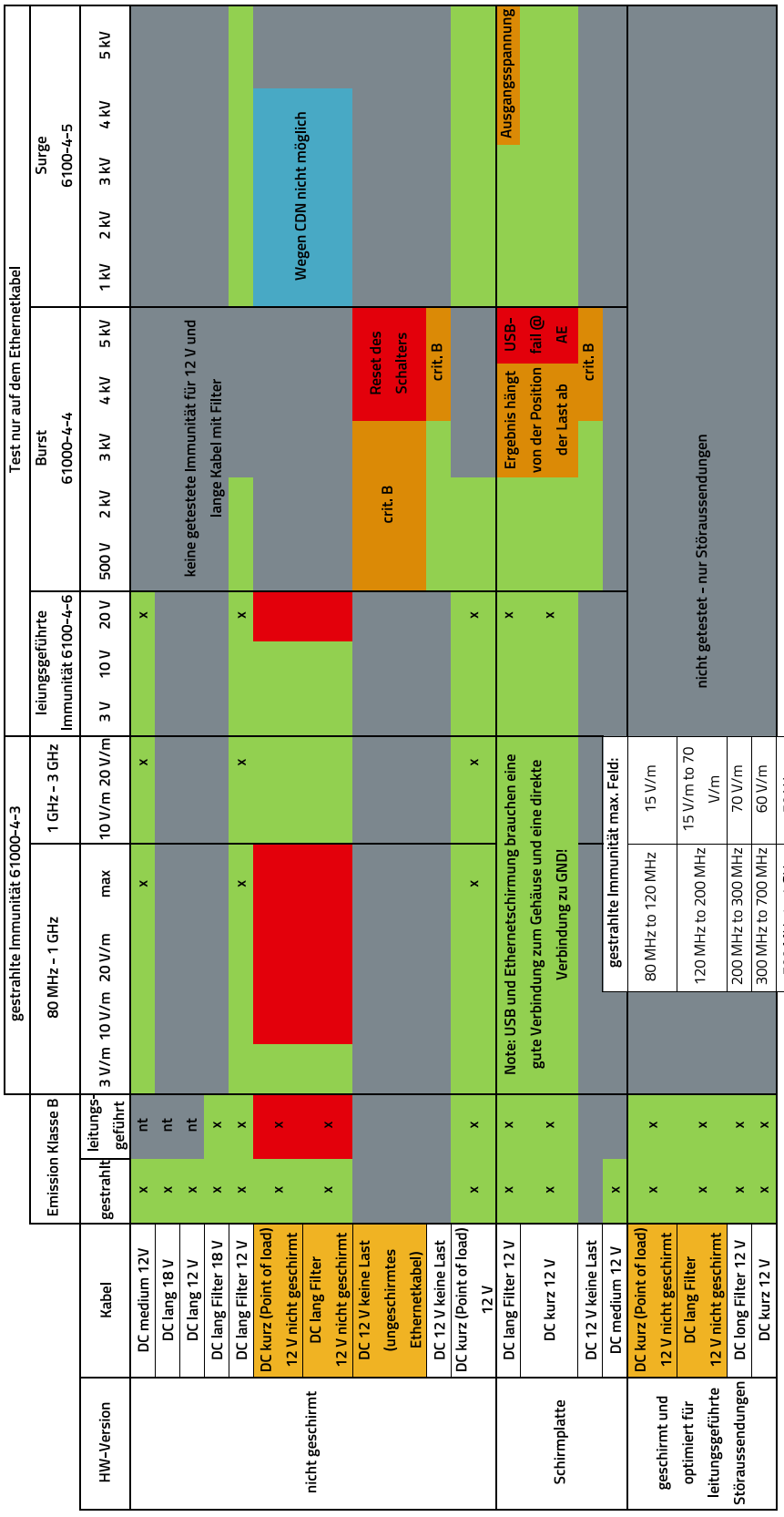
06. ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse der Emissionsmessungen für das bei WE entwickelte Design wurden vorgestellt und mit den gängigen Wohnbereichs-Grenzwerten verglichen. Wenn das später verwendete Gerät mit PoE-Schnittstelle größere Dimensionen annimmt, oder die Sekundärseite geerdet wird, wird für die leitungsgeführte Emission eine zusätzliche Filterung benötigt. Die Störaussendung wird sowohl leitungsgeführt, als auch gestrahlt, vom isolierten Wandler dominiert und die Emission des digitalen Schaltungsteils ist unbedeutend gering.

Zur Senkung der Emissionen des Wandlers kann das in Kapitel 05 vorgestellte Inselkonzept genutzt werden und somit können die Störungen des isolierten Schaltreglers besser kontrolliert werden.

Vor allem bei der Störfestigkeit gegen Bursts ist die Performance der integrierten PoE-Buchse mit HPLE (High Performance Low EMI Series) im Vergleich zu normalen integrierten Gigabit-Ethernet-Buchsen oder Ringkernübertragern verbessert. Dies ist auf das EMV-optimierte Design des Übertragers mit beidseitigen Gleichtaktdrosseln und die dadurch erhöhte Symmetrierung des differentiellen Signals zurückzuführen. Bei Verwendung ohne externe Lasten konnten mit der PoE-Schnittstelle Bursts bis 3 kV im Performancekriterium A erreicht werden.

Die Ergebnisse der durchgeführten relevanten Prüfungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.



HW-Version	Kabel	Emission Klasse B gestrahlt	Emission Klasse B leitungsgeführt	gestrahlte Immunität 61000-4-3: 80 MHz – 1 GHz 3 V/m	10 V/m	20 V/m max	gestrahlte Immunität 61000-4-3: 1 GHz - 3 GHz 10 V/m	20 V/m	leitungsgeführte Immunität 6100-4-6 3 V	10 V	20 V	Test nur auf dem Ethernetkabel: Burst 61000-4-4 500 V	2 kV	3 kV	4 kV	5 kV	Surge 6100-4-5 1 kV	2 kV	3 kV	4 kV	5 kV
nicht geschirmt	DC medium 12V	x	nt			x	x				x	keine getestete Immunität für 12 V und lange Kabel mit Filter					Wegen CDN nicht möglich				
	DC lang 18 V	x	nt																		
	DC lang 12 V	x	nt																		
	DC lang Filter 18 V	x	x																		
	DC lang Filter 12 V	x	x			x		x			x										
	DC kurz (Point of load) 12 V nicht geschirmt	x	x																		
	DC lang Filter 12 V nicht geschirmt	x	x																		
	DC 12 V keine Last (ungeschirmtes Ethernetkabel)												crit. B	Reset des Schalters	crit. B						
	DC 12 V keine Last																				
	DC kurz (Point of load) 12 V	x	x			x	x				x										
Schirmplatte	DC lang Filter 12 V	x	x	Note: USB und Ethernetschirmung brauchen eine gute Verbindung zum Gehäuse und eine direkte Verbindung zu GND!							x	Ergebnis hängt von der Position der Last ab			USB-fail @ AE	crit. B				Ausgangsspannung	
	DC kurz 12 V	x	x								x										
	DC 12 V keine Last																				
	DC medium 12 V	x																			
geschirmt und optimiert für leitungsgeführte Störaussendungen	DC kurz (Point of load) 12 V nicht geschirmt	x	x	nicht getestet – nur Störaussendungen																	
	DC lang Filter 12 V nicht geschirmt	x	x																		
	DC long Filter 12 V	x	x																		
	DC kurz 12 V	x	x																		

gestrahlte Immunität max. Feld:	
80 MHz to 120 MHz	15 V/m
120 MHz to 200 MHz	15 V/m to 70 V/m
200 MHz to 300 MHz	70 V/m
300 MHz to 700 MHz	60 V/m
700 MHz to 1 GHz	50 V/m

Tabelle 2: EMV-Prüfmatrix der Mess-Kampagne Gigabit-PoE

Während der EMV-Prüfungen zeigte sich die USB-Schnittstelle besonders bei den Störfestigkeitsprüfungen als störanfällig und eine direkte Schirmanbindung der USB-Buchse zur Massefläche der Platine war für eine gute Performance der USB 3.1 Schnittstelle zwingend erforderlich.

A Anhang:

A.1 Weitere Emissionsprüfungen, Designmodifikationen, gestrahlte Störaussendung

In diesem Anhang werden verschiedene Effekte in der gestrahlten Emission des Boards aufgezeigt, wobei das Board mit dem ursprünglichen Eingangsfilter betrieben wird. Die Erkenntnisse können auch für die Modifikation von vergleichbaren Produkten mit isolierten Wandlern genutzt werden.

Reduktion der gestrahlten Störungen auf der Ausgangsleitung mittels Ferrit

Auch kurze Ausgangsleistungen können schon eine Antennenwirkung haben und Störungen abstrahlen. Das Board wird mit kurzen Lastleitungen und einem einstellbaren Hochlastwiderstand betrieben. Mittels Klappferrit 74271222 werden die Gleichtaktströme über die Lastleitung reduziert und die Störaussendung reduziert sich wie in Abbildung 27 aufgezeigt.

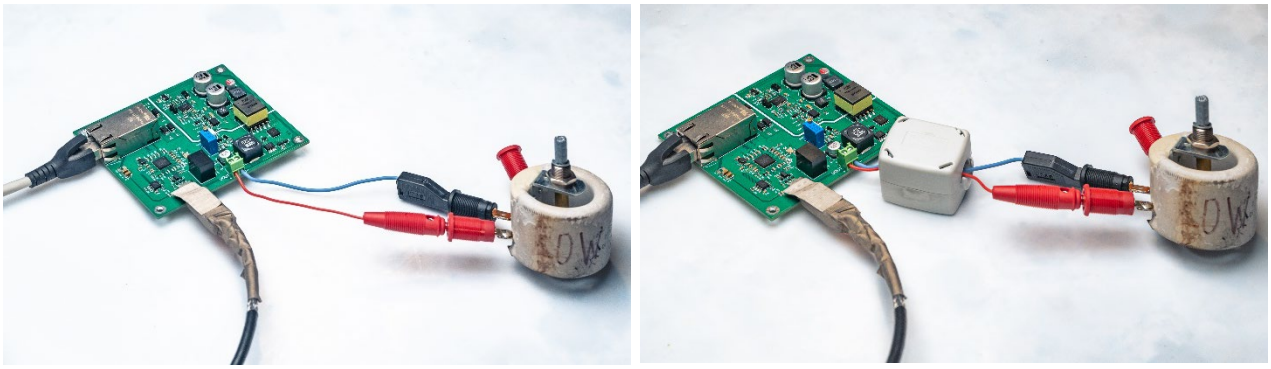


Abbildung 26: Betrieb des Boards mit mittellangen Lastleitungen und Filter mittels Ferrit

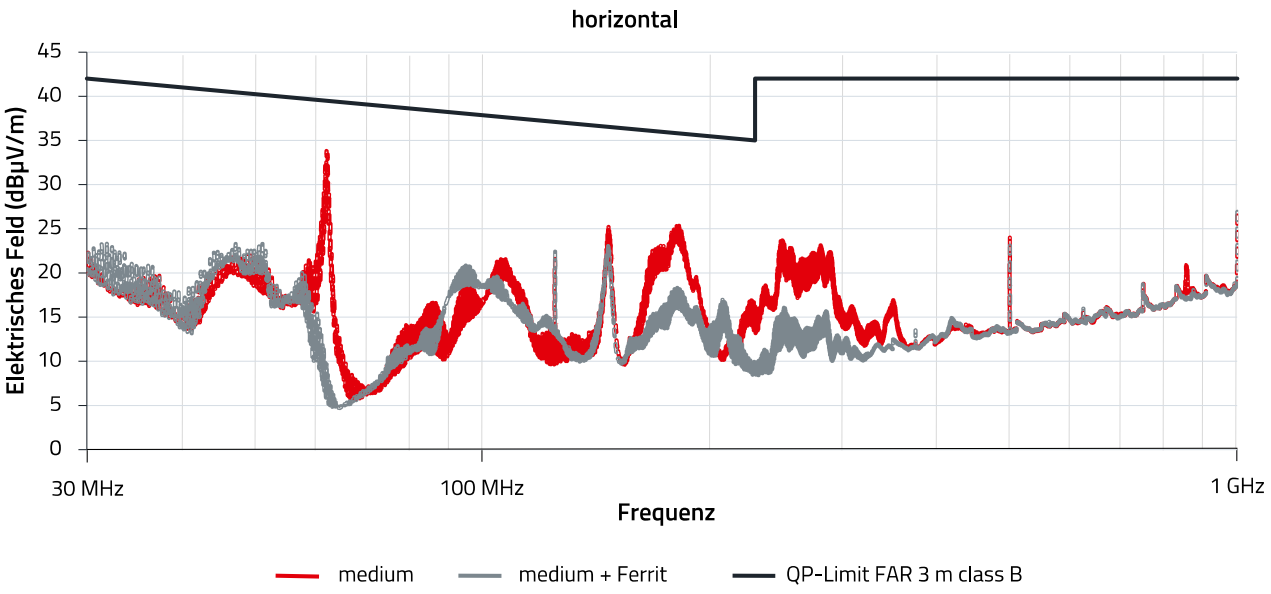


Abbildung 27: Gestrahlte Störaussendung vom ursprünglichen Design nach Abbildung 2 mit geschirmter Leitung und 12 V Ausgangsspannung

Einfluss des Ethernet-Kabelschirms

Aus Abbildung 28 geht hervor, dass die Verwendung einer ungeschirmten Ethernet-Leitung die Störaussendung deutlich erhöht.

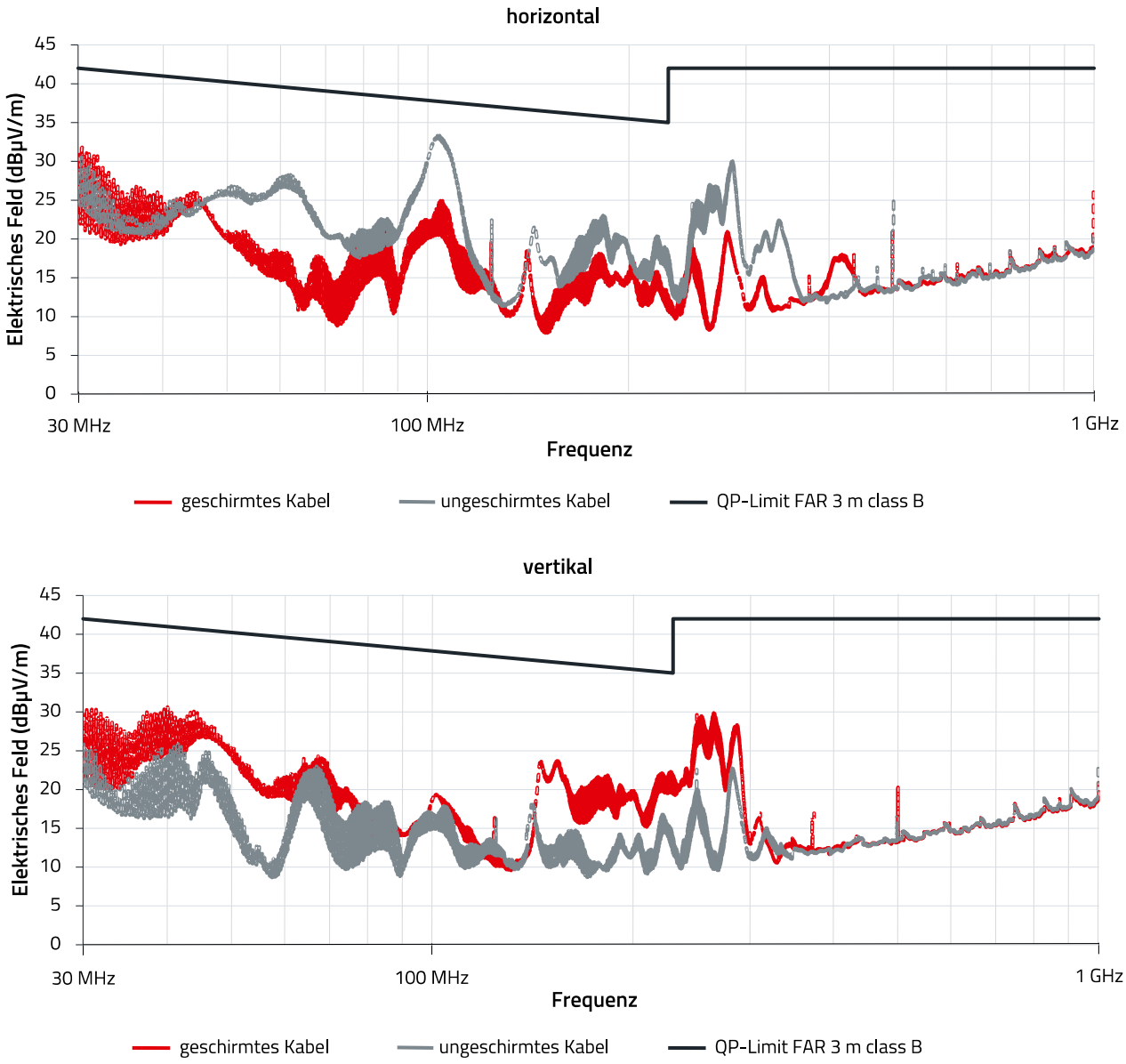


Abbildung 28: Gestrahlte Störaussendung des Designs nach Abbildung 2 mit langen Lastleitungen und Filter bei 12 V Ausgangsspannung

Wird die Last mit langen Leitungen und Filter durch einen kompakten Widerstand mit Kühlkörper getauscht, so verbessert sich die gestrahlte Störaussendung nicht. Da kein Ausgangsfilter mit der kompakten Last verwendet wird, steigt die Störaussendung sogar bei manchen Frequenzen an.

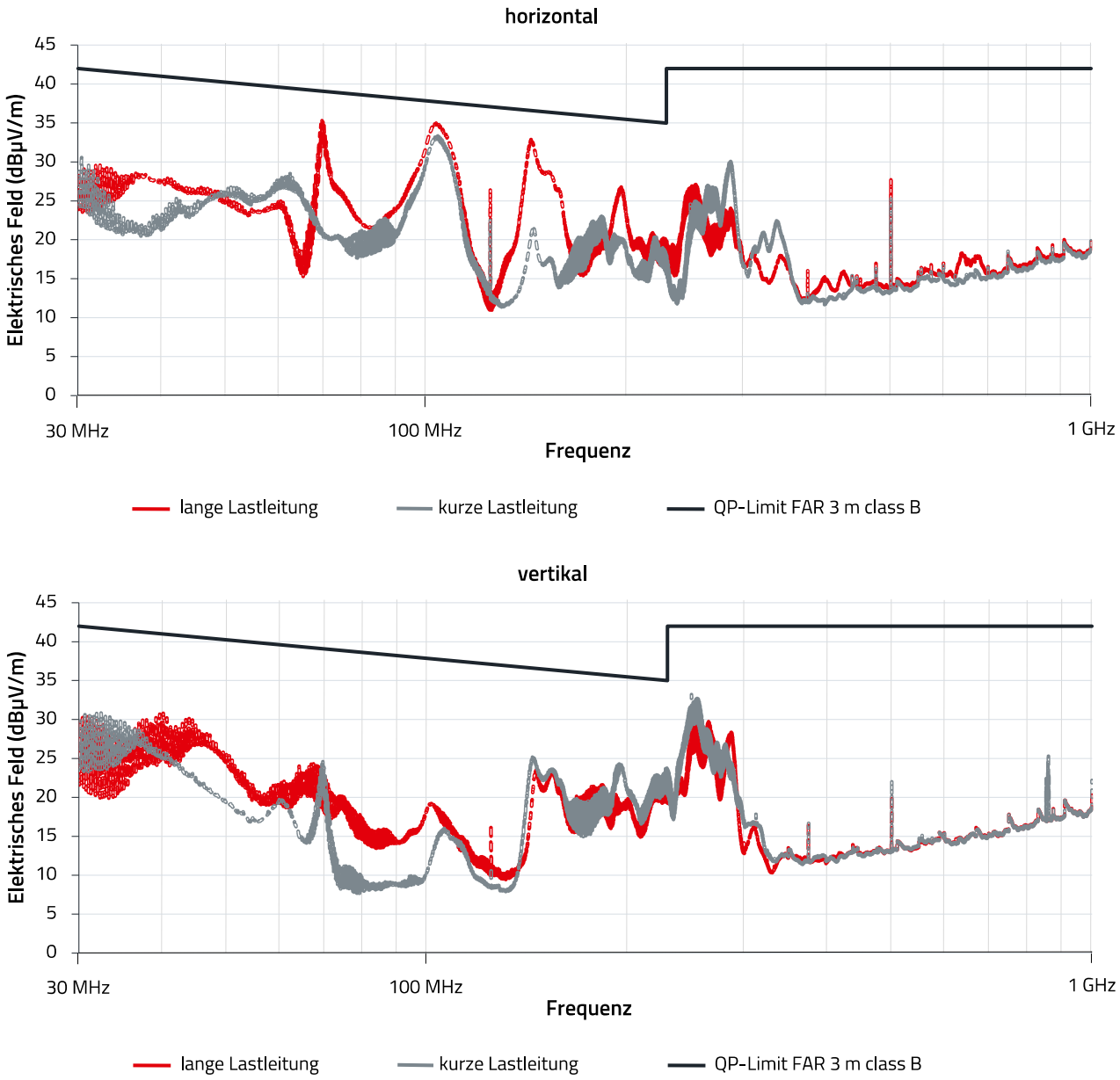


Abbildung 29: Gestrahlte Störaussendung des Designs nach Abbildung 2 mit ungeschirmter Ethernet-Leitung (cat5e U/UTP) bei 12 V Ausgangsspannung

Schirmplatte / Chassis

Aus der Abbildung 30 geht hervor, dass mit zusätzlicher Masseanbindung durch Kupferklebeband nach Abbildung 31, die Emission deutlich reduziert wird. Somit kann schon eine geringfügige Erweiterung der Schirmplatte die Emission deutlich senken. Eine Erweiterung zu einem Metallgehäuse kann also die Emissionen reduzieren.

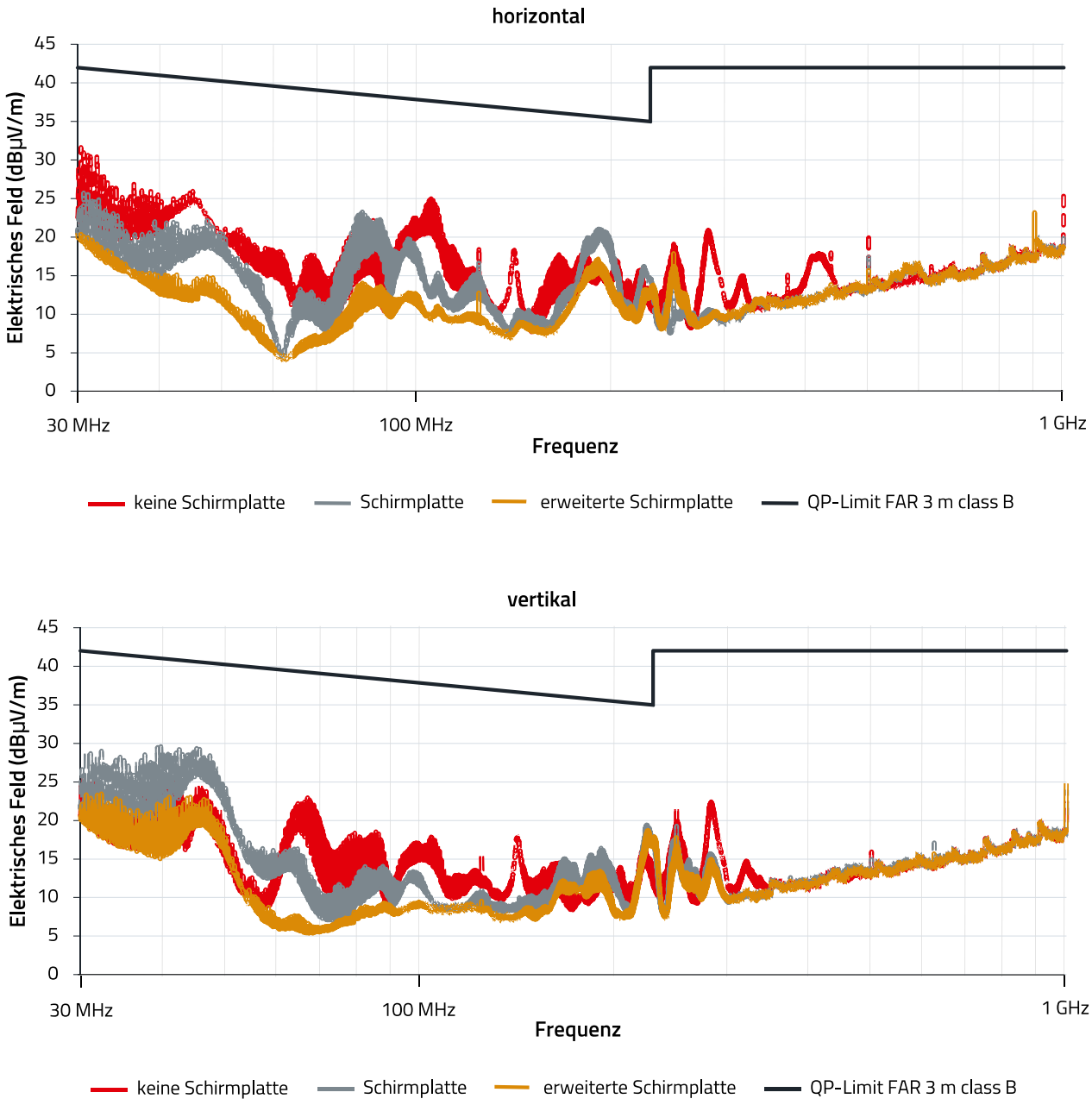


Abbildung 30: Gestrahlte Störaussendung des Designs nach Abbildung 2 mit geschirmter Leitung und 12 V Ausgangsspannung

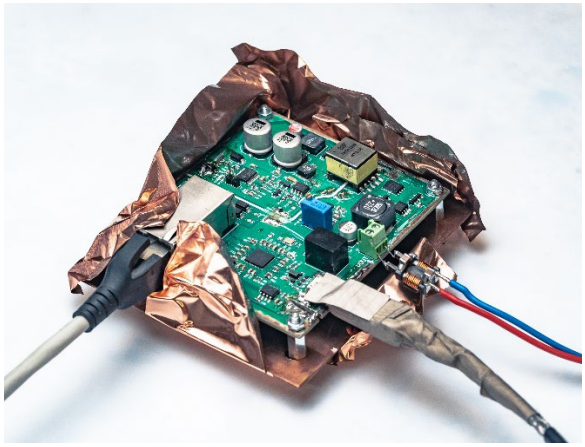


Abbildung 31: Erweiterung der Schirmplatte mit Kupferklebeband

Bei der Verwendung eines Chassis sollte auch die Last innerhalb des Schirms platziert sein, oder Leitungen, die das Chassis verlassen müssen, mit entsprechenden Filtern ausgestattet sein. In den Ergebnissen aus Abbildung 33 im Prüfaufbau aus Abbildung 32 reduziert das Chassis die Störungen, wenn die Last auf der Schirmplatte platziert ist, oder ein Filter bei langen Leitungen genutzt wird. Werden Leitungen mittlerer Länge ohne Filter genutzt steigt die Emission an.

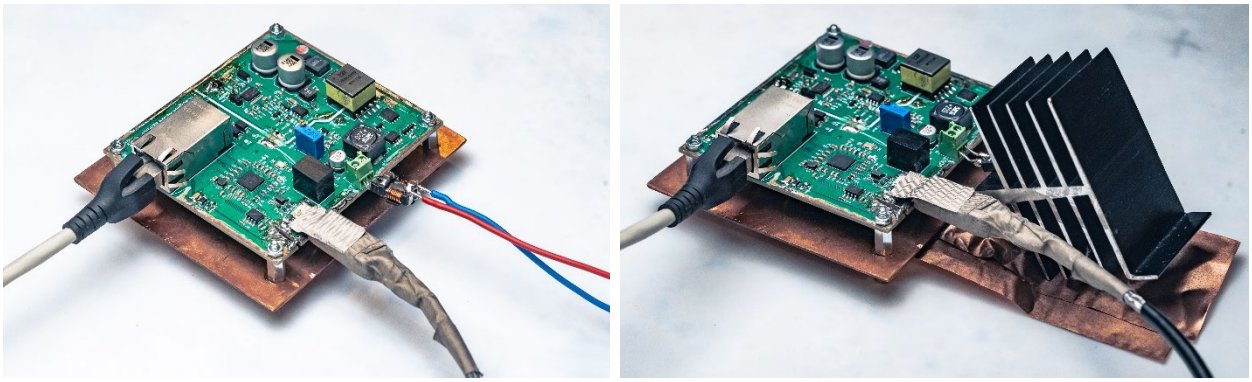


Abbildung 32: Prüfaufbau bei verschiedenen Lasten mit Chassis-Platte

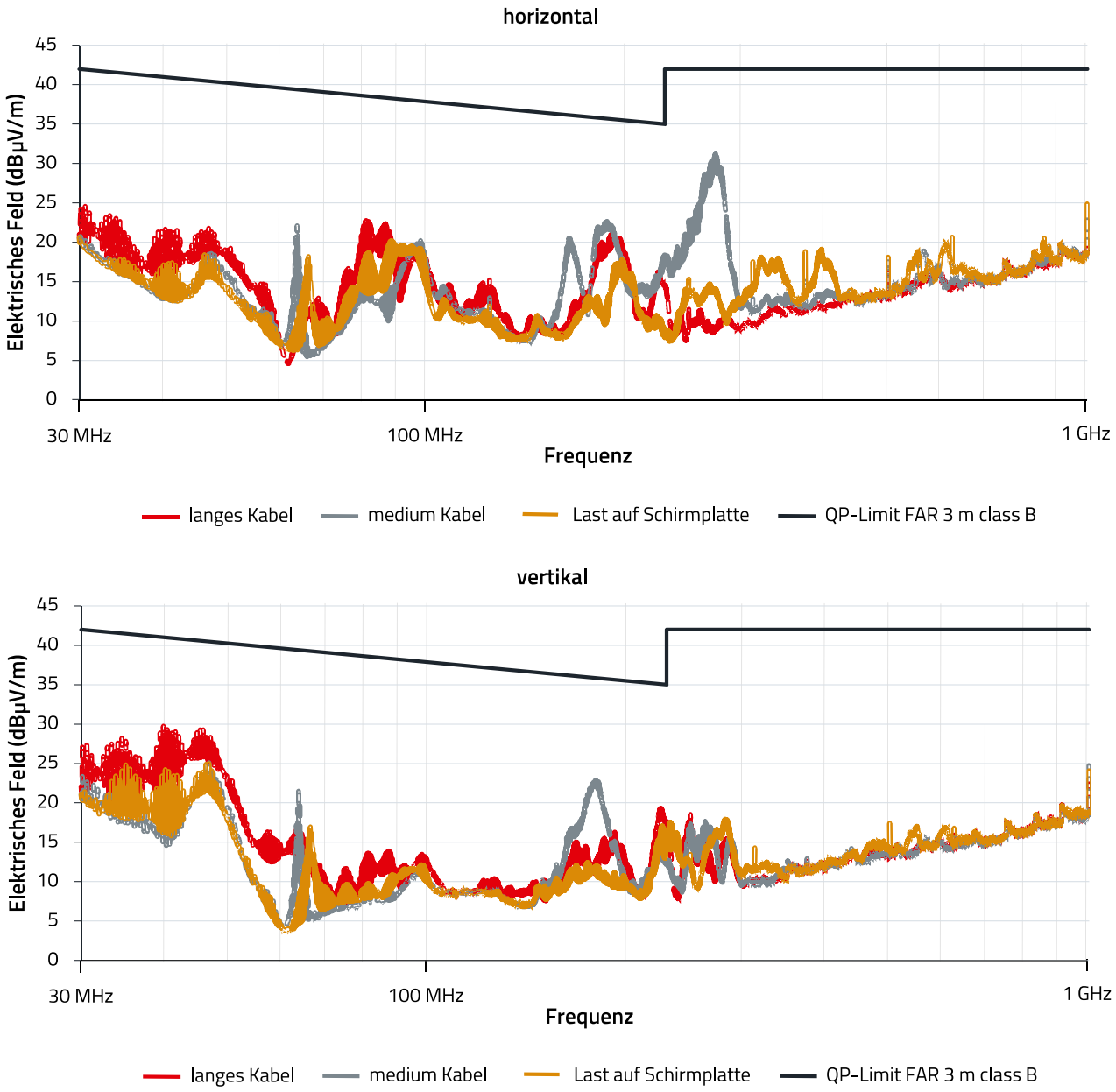


Abbildung 33: Gestrahlte Störaussendung des Designs nach Abbildung 2 mit geschirmter Ethernet-Leitung und 12 V Ausgangsspannung

A.2 Weitere Emissionsprüfungen, Designmodifikationen, leitungsgeführte Störaussendung

In diesem Anhang werden verschiedene Effekte der leitungsgeführten Emission des Boards aufgezeigt, wobei das Board mit dem ursprünglichen Eingangsfilter betrieben wird. Die Erkenntnisse können auch für vergleichbare Produkte mit isolierten Wandlern genutzt werden. Es wird im Folgenden nur der Mittelwertdetektor dargestellt, da Quasi-Peak und Mittelwert nahezu den gleichen Pegel in der Messung des vorliegenden Testboards haben. Da der Mittelwert-Grenzwert 10 dB niedriger ist, wird dieser zur besseren Übersicht für die Vergleiche genutzt.

Einfluss der Ausgangsspannung und Last auf die leitungsgeführte Störaussendung

Das Board wird mit geschirmter Ethernet-Leitung und langen Lastleitungen mit Filter betrieben. Der Einfluss der Ausgangsspannung auf die leitungsgeführten Störungen auf dem Ethernet-Kabelschirm sind der Abbildung 34 zu entnehmen. Im Frequenzbereich über 10 MHz sind die Störungen beim Betrieb mit 12 V Ausgangsspannung höher. Im Bereich unter 10 MHz ist das Störspektrum vergleichbar.

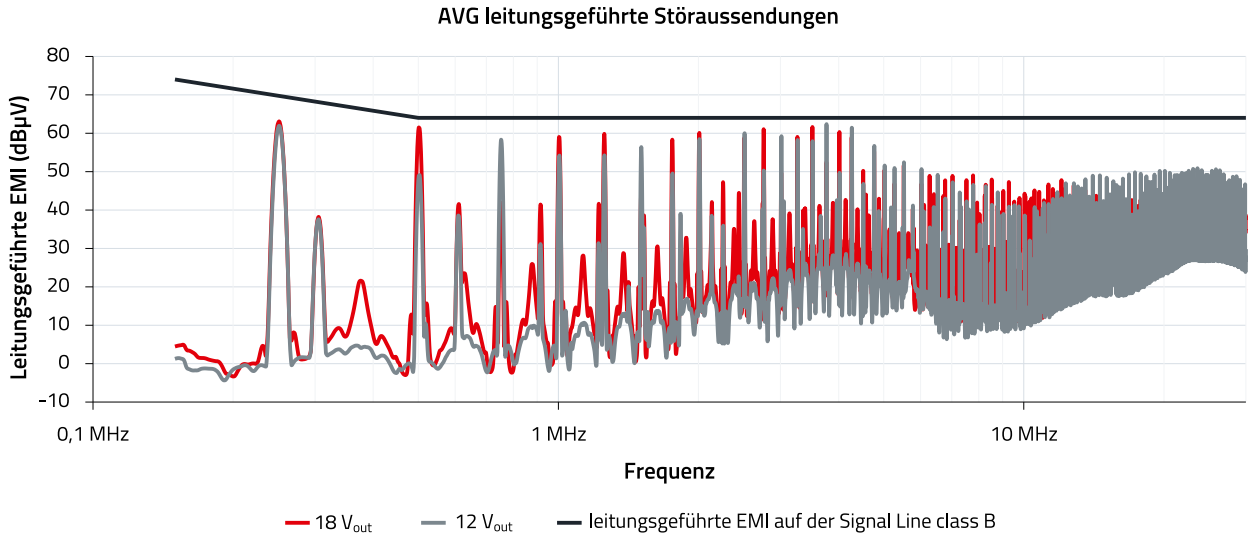


Abbildung 34: Leitungsgeführte Störaussendung des Boards nach Abbildung 2 mit geschirmter Ethernet-Leitung und langen Ausgangsleitungen mit Filter

Wird die lange Lastleitung mit Filter, die bei der Messung aus Abbildung 34 verwendet wurde, durch eine kompakte Point-of-Load (Widerstand) ersetzt, ergibt sich die Störaussendung aus Abbildung 35. Im Frequenzbereich über 15 MHz sind die Störungen im kompakten Aufbau geringfügig niedriger. Einen Großteil der Störungen koppelt jedoch über den USB-Kabelschirm und die Schirmbox aus. Die Last bildet somit nicht den relevanten Koppelpfad.

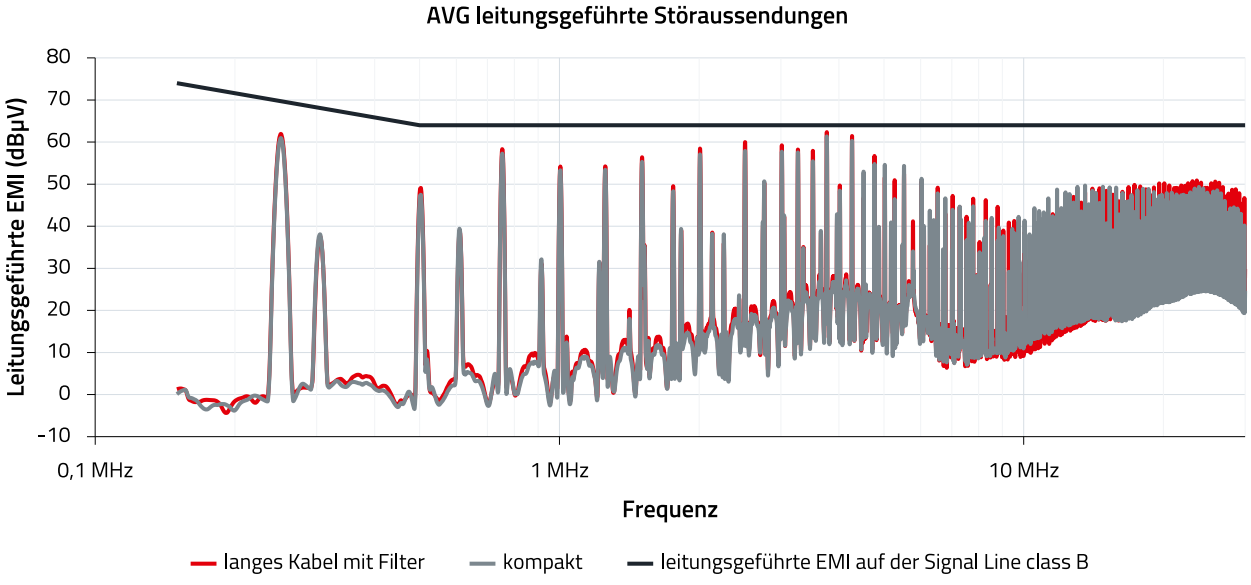


Abbildung 35: Leitungsgeführte Störaussendung des Boards nach Abbildung 2 mit geschirmter Ethernet-Leitung bei 12 V Ausgangsspannung

Leitungsgeführte Störaussendung bei Verwendung einer ungeschirmten Ethernet-Leitung

In Abbildung 12 wurde bereits gezeigt, dass die leitungsgeführten Störungen bei Verwendung einer ungeschirmten Ethernet-Leitung stark ansteigen. Der Einfluss des Koppelpfades der Last ist jedoch auch in dieser Prüfung nicht ausschlaggebend, wie die Abbildung 36 aufzeigt. Die Störungen reduzieren sich nur geringfügig beim Einsatz einer kompakten Last und der Koppelpfad über das USB-Kabel überwiegt.

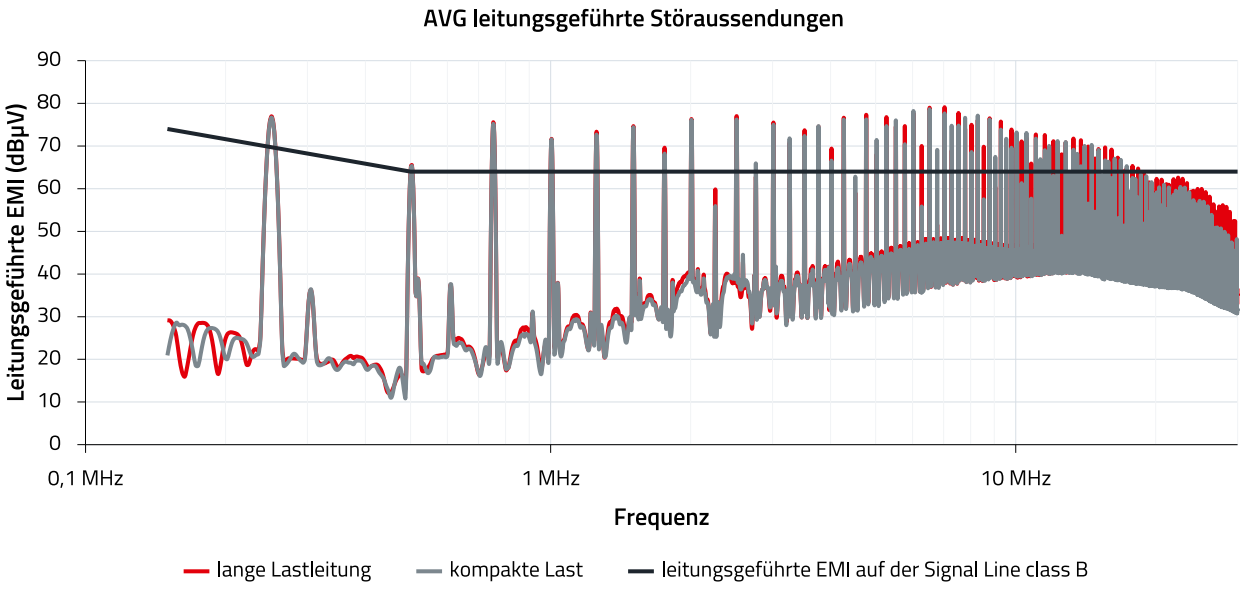


Abbildung 36: Leitungsgeführte Störaussendung des Boards nach Abbildung 2 mit ungeschirmter Ethernet-Leitung bei 12 V Ausgangsspannung

Leitungsgeführte Störausendung bei Verwendung einer geschirmten Ethernet-Leitung und einer Schirmplatte

Die leitungsgeführte Emission auf der geschirmten Ethernet-Leitung kann, wie Abbildung 37 aufzeigt, mit einer Koppelplatte deutlich gesenkt werden. Die langen Ausgangsleitungen mit Filter werden durch den Filter effektiv aus dem Störpfad entkoppelt. In Abbildung 38 wird die gefilterte Last mit langen Leitungen durch die kompakte Last mit Kühlkörper getauscht und die Störaussendung steigt an, obwohl die koppelnde Struktur kleiner geworden ist. Sobald Leitungen die Schirmplatte verlassen, steigt die Störaussendung, wenn kein geeigneter Filter verwendet wird.

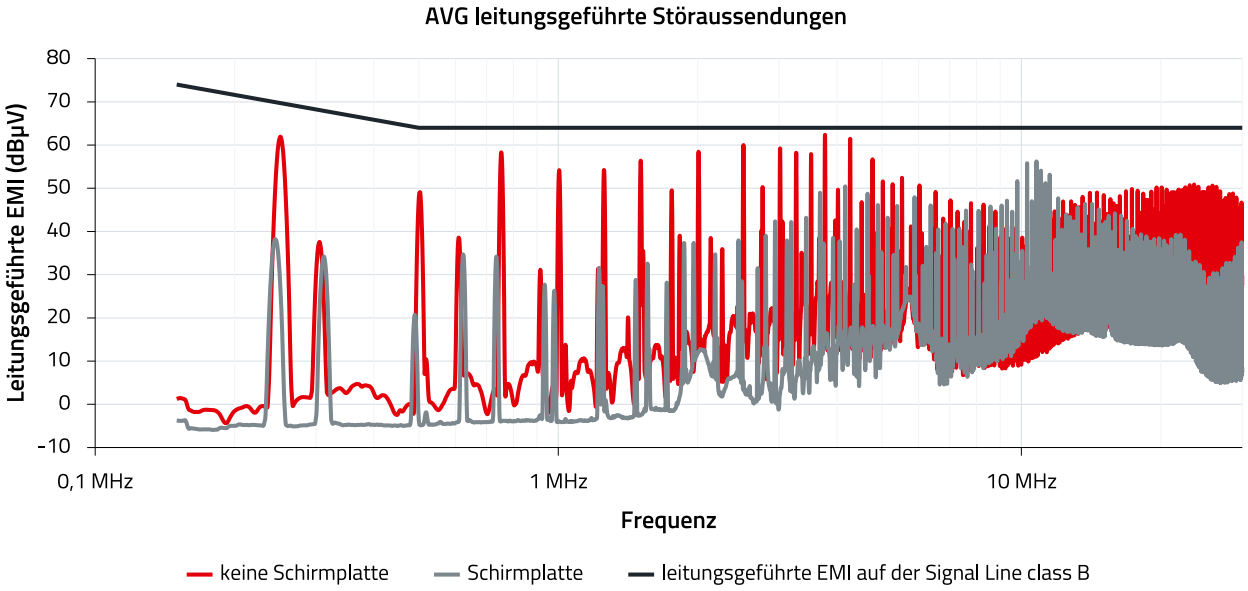


Abbildung 37: Leitungsgeführte Störaussendung des Boards nach Abbildung 2 mit geschirmter Ethernet-Leitung bei 12 V Ausgangsspannung

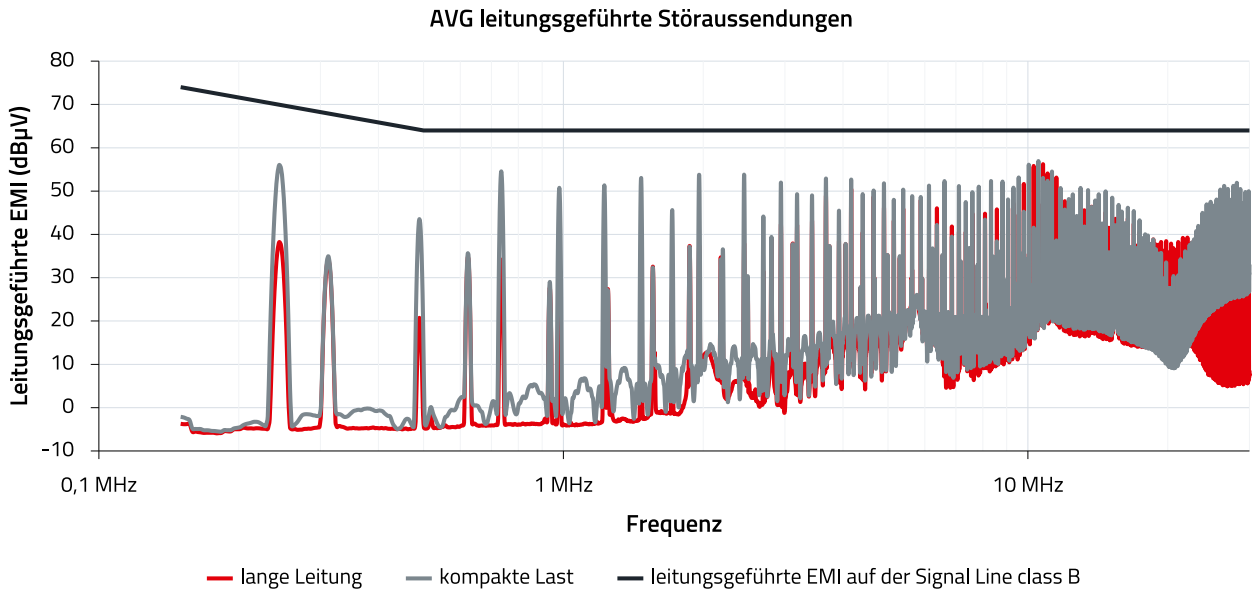


Abbildung 38: Leitungsgeführte Störaussendung des Boards nach Abbildung 2 mit geschirmter Ethernet-Leitung bei 12 V Ausgangsspannung und einer zusätzlichen Schirmplatte

WICHTIGER HINWEIS

Der Anwendungshinweis basiert auf unserem aktuellen Wissens- und Erfahrungsstand, dient als allgemeine Information und ist keine Zusicherung der Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG zur Eignung des Produktes für Kundenanwendungen. Der Anwendungshinweis kann ohne Bekanntgabe verändert werden. Dieses Dokument und Teile hiervon dürfen nicht ohne schriftliche Genehmigung vervielfältigt oder kopiert werden. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG und seine Partner- und Tochtergesellschaften (nachfolgend gemeinsam als „WE" genannt) sind für eine anwendungsbezogene Unterstützung jeglicher Art nicht haftbar. Kunden sind berechtigt, die Unterstützung und Produktempfehlungen von WE für eigene Anwendungen und Entwürfe zu nutzen. Die Verantwortung für die Anwendbarkeit und die Verwendung von WE-Produkten in einem bestimmten Entwurf trägt in jedem Fall ausschließlich der Kunde. Aufgrund dieser Tatsache ist es Aufgabe des Kunden, erforderlichenfalls Untersuchungen anzustellen und zu entscheiden, ob das Gerät mit den in der Produktspezifikation beschriebenen spezifischen Produktmerkmalen für die jeweilige Kundenanwendung zulässig und geeignet ist oder nicht.
Die technischen Daten sind im aktuellen Datenblatt zum Produkt angegeben. Aus diesem Grund muss der Kunde die Datenblätter verwenden und wird ausdrücklich auf die Tatsache hingewiesen, dass er dafür Sorge zu tragen hat, die Datenblätter auf Aktualität zu prüfen. Die aktuellen Datenblätter können von www.we-online.com heruntergeladen werden. Der Kunde muss produktspezifische Anmerkungen und Warnhinweise strikt beachten. WE behält sich das Recht vor, an seinen Produkten und Dienstleistungen Korrekturen, Modifikationen, Erweiterungen, Verbesserungen und sonstige Änderungen vorzunehmen. Lizenzen oder sonstige Rechte, gleich welcher Art, insbesondere an Patenten, Gebrauchsmustern, Marken, Urheber- oder sonstigen gewerblichen Schutzrechten werden hierdurch weder eingeräumt noch ergibt sich hieraus eine entsprechende Pflicht, derartige Rechte einzuräumen. Durch Veröffentlichung von Informationen zu Produkten oder Dienstleistungen Dritter gewährt WE weder eine Lizenz zur Verwendung solcher Produkte oder Dienstleistungen noch eine Garantie oder Billigung derselben.
Die Verwendung von WE-Produkten in sicherheitskritischen oder solchen Anwendungen, bei denen aufgrund eines Produktausfalls sich schwere Personenschäden oder Todesfällen ergeben können, sind unzulässig. Des Weiteren sind WE-Produkte für den Einsatz in Bereichen wie Militärtechnik, Luft- und Raumfahrt, Nuklearsteuerung, Marine, Verkehrswesen (Steuerung von Kfz, Zügen oder Schiffen), Verkehrssignalanlagen, Katastrophenschutz, Medizintechnik, öffentlichen Informationsnetzwerken usw. weder ausgelegt noch vorgesehen. Der Kunde muss WE über die Absicht eines solchen Einsatzes vor Beginn der Planungsphase (Design-In-Phase) informieren. Bei Kundenanwendungen, die ein Höchstmaß an Sicherheit erfordern und die bei Fehlfunktionen oder Ausfall eines elektronischen Bauteils Leib und Leben gefährden können, muss der Kunde sicherstellen, dass er über das erforderliche Fachwissen zu sicherheitstechnischen und rechtlichen Auswirkungen seiner Anwendungen verfügt. Der Kunde bestätigt und erklärt sich damit einverstanden, dass er ungeachtet aller anwendungsbezogenen Informationen und Unterstützung, die ihm durch WE gewährt wird, die Gesamtverantwortung für alle rechtlichen, gesetzlichen und sicherheitsbezogenen Anforderungen im Zusammenhang mit seinen Produkten und der Verwendung von WE-Produkten in solchen sicherheitskritischen Anwendungen trägt.
Der Kunde hält WE schad- und klaglos bei allen Schadensansprüchen, die durch derartige sicherheitskritische Kundenanwendungen entstanden sind.

NÜTZLICHE LINKS

Application Notes
www.we-online.com/app-notes

REDEXPERT Design Plattform
www.we-online.com/redexpert

Toolbox
www.we-online.com/toolbox

Produkt Katalog
www.we-online.com/produkte

KONTAKTINFORMATION

appnotes@we-online.de
Tel. +49 7942 945 - 0

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG
Max-Eyth-Str. 1 · 74638 Waldenburg
Germany
www.we-online.com