

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten



Erik Friedle, Adrian Stirn , Carlos Roberto Hernandez Gomez

1. EINLEITUNG

ICLEDs sind RGB-LEDs mit integriertem Controller, die über ein PWM-Signal gedimmt werden können. Der IC versorgt die drei verschiedenen Farbchips mit Strom und eignet sich hervorragend für Farbmischlösungen. Damit lassen sich sowohl statische als auch dynamische Lichteffekte für eine Vielzahl von Anwendungen einfach realisieren. Dank des in jede ICLED integrierten Controllers gehören komplexe Schaltungen mit aufwendigen Leiterplattenlayouts der Vergangenheit an. Eine MCU sendet die Informationen einer gesamten ICLED-Kette nur an die erste ICLED in der Schaltung. Diese Informationen werden dann über eine Daisy-Chain-Verbindung an die nachfolgenden ICLEDs weitergeleitet. Daher benötigen die nachfolgenden Bauteile keine zusätzliche Verbindung zum Mikrocontroller. Somit sind ICLEDs für eine Vielzahl von Anwendungen wie Smart Lighting, Gaming-Peripheriegeräte, dekorative Beleuchtung oder industrielle Steuerungssysteme bestens geeignet. Sie werden dort als Einzelsignal-LEDs, als LED-Ketten oder als Matrizen eingesetzt.

Was zunächst einfach und attraktiv klingt, kann jedoch besondere EMV-technische Herausforderungen mit sich bringen. In dieser Application Note analysieren wir die EMV-Leistung von Einzeldraht-ICLEDs und stellen Überlegungen zum erfolgreichen Design ohne EMV-Probleme dar.

2. TESTPLATINEN UND FUNKTION VON ICLEDs

Im Folgenden werden Einzeldraht-ICLEDs (SW-ICLEDs) vorgestellt und ihre Implementierung auf den Testplatinen zum Testen des EMV-Verhaltens erläutert.

2.1 Einzeldraht-ICLEDs

ICLEDs erleichtern die Nutzung von RGB-LEDs dank ihrer schlanken Schaltung und der schnellen Datenübertragung. Das Portfolio von Würth Elektronik umfasst sechs verschiedene Modelle mit unterschiedlichen Protokollen (24 Bit oder 48 Bit, Einzeldraht- (Single Wire, SW) und Doppeldraht-LEDs (Dual Wire, DW)). 24-Bit-SW-ICLEDs

sind auf dem Markt am weitesten verbreitet, weshalb wir in dieser Application Note ICLEDs mit der Artikelnummer [1315050930002](#) betrachten. Sie bieten eine einfache und zuverlässige Möglichkeit, mehr als 16 Millionen (256^3) verschiedene Farben darzustellen, und benötigen lediglich eine einzelne Datenleitung.

Die typische Anwendungsschaltung für SW-ICLEDs ist in Abbildung 1 dargestellt.

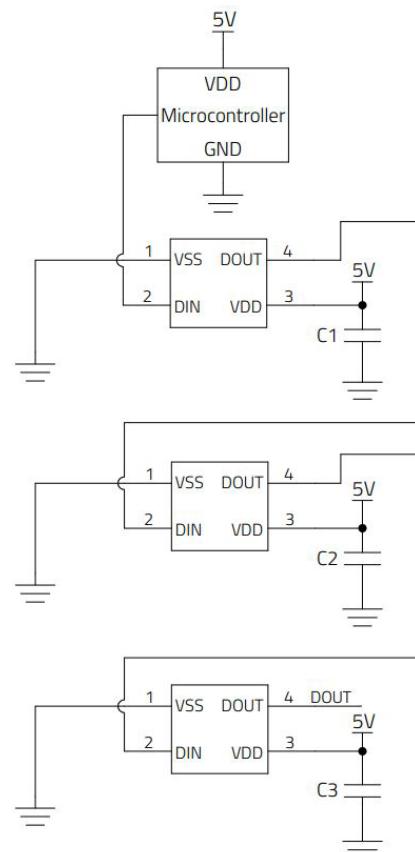


Abbildung 1: Typische Anwendungsschaltung von SW-ICLEDs.

Die ICLEDs werden parallel aus derselben Stromquelle versorgt, während die Datenleitung über alle LEDs in Reihe geschaltet ist. Dies vereinfacht den Schaltungsaufbau im Vergleich zu analogen RGB-LEDs.

In der Regel verwenden die ICLEDs eine Versorgungsspannung von $V_{DD} = 5 \text{ V}$, während der IC einen maximalen Strom von 43,5 mA (max. 13,5 mA pro Farbe und LED-Chip) verbraucht.

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

Hieraus ergibt sich eine maximale Leistungsaufnahme von 240 mW pro ICLED. Für dieses Datensignal muss ein hoher Impuls im Bereich zwischen $0,7 \cdot V_{DD}$ und V_{DD} liegen, während die niedrige Eingangsspannung kleiner als $0,3 \cdot V_{DD}$ sein muss. Weitere Informationen zu ICLEDs sowie die entsprechenden Datenblätter finden Sie in der Application Note [ANO009](#).

Datenübertragung

Die 24-Bit-Gesamtübertragung bei diesem SW-ICLED-Typ ist in acht Bits pro Farbe unterteilt, die die Intensität jedes LED-Chips bestimmen. Multipliziert mit den 256 Helligkeitsstufen für jede Farbe ergibt sich die bereits erwähnte Anzahl von 256^3 unterschiedlichen Farben. Allerdings erfordert die Kommunikation über nur eine Datenleitung ein spezielles Bitprotokoll, das durch pulsweitenmodulierte Signale (PWM-Signale) mit definierten Hoch- und Niedrigtaktzeiten realisiert wird, um eine digitale 1 bzw. eine digitale 0 darzustellen. Das bedeutet, dass die Bits 1 und 0 bei ICLEDs keine Standardbits sind; dies steht im Unterschied zur normalen SPI-Kommunikation, bei der die 1 durch einen Hoch- und die 0 durch einen Niederpegel repräsentiert wird. Ein Beispiel für die Bit-Timings bei der ICLED [1312020030000](#) ist in Tabelle 1 dargestellt. Abbildung 2 zeigt das entsprechende Spannungs-Zeit-Diagramm.

Eigenschaften	Symbol	Wert			Einheit
		Min.	Typ.	Max	
Bitperiode	T	0,9	1,2	1,5	μs
Bit-0-Hochimpuls	TOH	0,15	0,3	0,45	μs
Bit-0-Niederimpuls	TOL	0,75	0,9	1,05	μs
Bit-1-Hochimpuls	T1H	0,75	0,9	1,05	μs
Bit-1-Niederimpuls	T1L	0,15	0,3	0,45	μs
Rückstellimpuls	Treset	200			μs

Tabelle 1: Bit-Timings des Einzeldraht-Kommunikationsprotokolls für die ICLED [1312020030000](#).

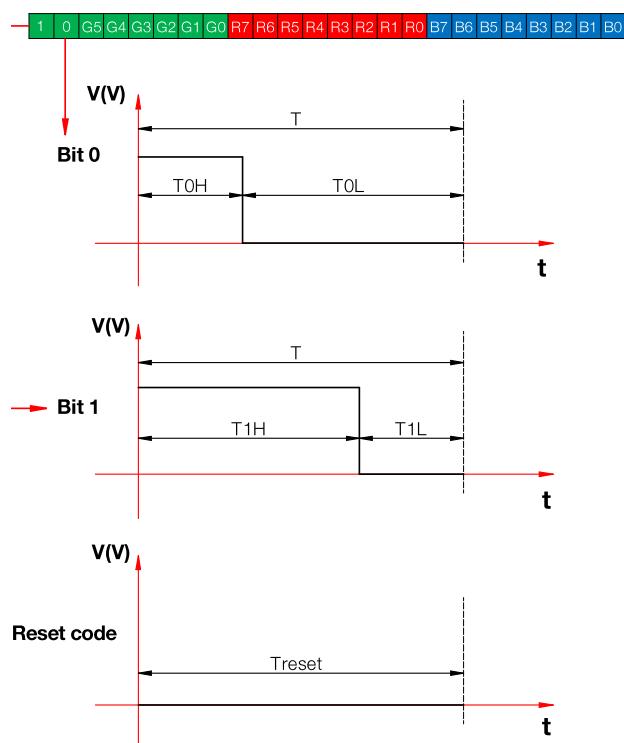


Abbildung 2: Grafische Darstellung des Einzeldraht-Kommunikationsprotokolls.

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

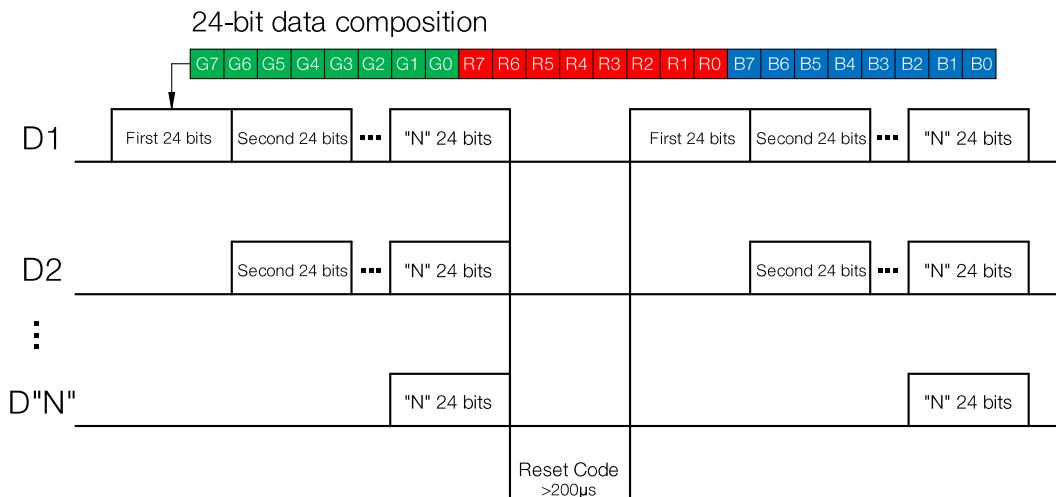


Abbildung 3: Darstellung des Datenübertragungsverfahrens bei SW-ICLEDs.

Diese Bits werden nun über eine Daisy-Chain-Verbindung als ein Paket an alle ICLEDs gesendet (Abbildung 3). Jede ICLED entnimmt dem Datenstrom 24 Bits, wodurch eine individuelle Farbansteuerung jeder einzelnen LED möglich ist.

2.2 Testplatinen

Die für die EMV-Prüfungen verwendeten Leiterplatten basieren auf einer Anwendung einer LED-Matrix. Die Messungen werden durchgeführt, indem einerseits die MCU- und ICLEDs als Einzelsystem betrachtet werden (d. h. MCU und LED-Kette auf derselben Platine) und andererseits ein geteiltes System aus MCU- und ICLEDs analysiert wird (verbunden durch ein 1 m langes Kabel zwischen beiden Platinen). Die verwendete MCU ist ein Espressif ESP-WROOM-32UE-Modul (rot). Zur Ansteuerung dieser ICLEDs wird der COPI/MOSI-Pin des SPI verwendet (Abbildung 4).

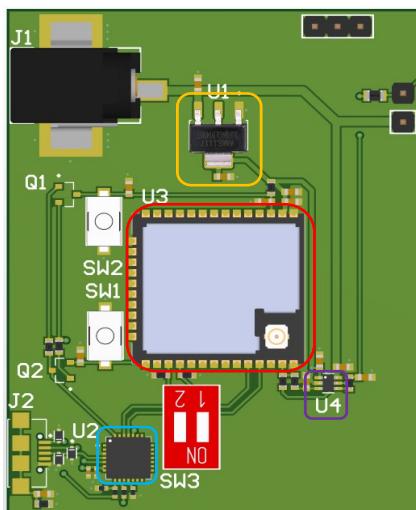


Abbildung 4: Leiterplattenlayout der MCU-Schaltung.

Die gesamte Platine wird über einen Gleichstromanschluss mit Strom versorgt. Die Versorgungsspannung für die ICLEDs beträgt 5 V. Zur Versorgung der MCU werden 3,3 V benötigt, weshalb der LDO (AMS1117-3.3, orange) verwendet wird. Zur Programmierung des Controllers wird eine Micro-USB-Verbindung eingesetzt. Die Konvertierung von USB auf UART erfolgt über den CP2102N-A02-GQFN28 (blau). Zudem kann per DIP-Schalter neben der MCU zwischen vier Programmen gewechselt werden. Bei einer Versorgungsspannung von 3,3 V kann der Mikrocontroller maximal eine dem Hochsignal entsprechende Spannung über die Datenleitung ausgeben. Wie bereits erwähnt, benötigen die ICLEDs jedoch $0,7 \cdot V_{DD} = 3,5$ V; daher ist ein Pegelumsetzer (TXS0101DCKR, violett) erforderlich, um das Datensignal auf 5 V zu konvertieren.

Als ICLEDs wurde eine 7 × 10 Elemente umfassende ICLED-Matrix mit verschiedenen Maßnahmen zur Verbesserung der EMV eingesetzt. Die ICLEDs werden mit dem empfohlenen 100-nF-Entkopplungskondensator am V_{DD} -Pin verwendet. Die gesamte Leiterplatte mit MCU und ICLED hat eine Größe von 260 mm × 136 mm. In vielen Anwendungen können solche Matrizen sogar noch größer sein (Abbildung 5).

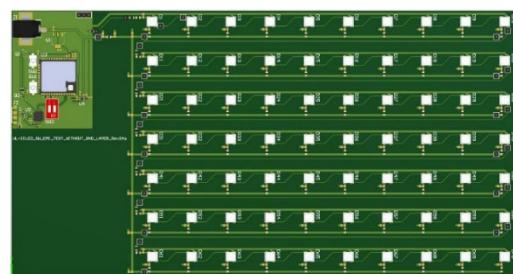


Abbildung 5: Layout der ICLED-Matrix ohne Massefläche.

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

Für die Konfiguration mit MCU und ICLEDs als Gesamtsystem wurden folgende Varianten getestet:

- Verwendung einer Leiterplatte mit einer Massefläche
- Leiterplatte ohne Massefläche
- Leiterplatte ohne Massefläche, jedoch mit Ferriten in jeder Datenleitung

Im zweiteiligen System wurde die Leiterplatte mit Massefläche als ICLED-Matrix ausgeführt. Zusätzlich wurden außerdem folgende Maßnahmen ergriffen:

- Schirmung des Kabels zwischen LED und MCU-PCBs
- Filterung des Datenkabels und der Eingangsleitung der MCU-Leiterplatte

Im ursprünglichen Layout der Leiterplatte ohne Massefläche wiesen die Entkopplungskondensatoren einen anderen Massepfad als die ICLEDs auf. Aus diesem Grund wurden die Vorteile der Entkopplung nicht genutzt, da, wie in Abbildung 6 dargestellt, der Stromkreis nicht verkürzt wird. Es ist ersichtlich, dass der von der ICLED D₉ aufgenommene Strom die gesamte Kette durchlaufen muss, um zum Entkopplungskondensator zurückzukehren, wodurch die mit dem Entkopplungskondensator beabsichtigte Reduzierung nicht erreicht wird.

Es musste daher eine Anpassung vorgenommen werden, um diesen Kreis zu verkürzen und den Vorteil des Entkopplungskondensators zu nutzen. An jeder ICLED wurde eine Leitung vom Masseanschluss des Entkopplungskondensators zur Massehauptleitung geführt, die die V_{SS}-Pins der ICLEDs verbindet (siehe Abbildung 8).

Dadurch wird der Stromkreis für D₉ wie in Abbildung 7 dargestellt verkürzt, sodass die Vorteile des Entkopplungskondensators zum Tragen kommen.

2.3 Software

Die Software für die ESP32-MCU stammt aus der Bibliothek für Espressif Systems-MCUs von Würth Elektronik, die ihrerseits auf der bereits vorhandenen Bibliothek für Adafruit Feather M0 basiert. Für den Test wurde das Programm „R = G = B = 170 out of 255 intensities“ (R = G = B = 170 von 255 Intensitäten) verwendet. Dies entspricht einem Bitstrom von 10101010 für jede Farbe und ergibt die Farbe Weiß. Hier wiederholt sich der Bitstrom für die ICLEDs alle 1 ms. Während es für Anwendungen ausreichend ist, die Informationen nur einmal an eine ICLED zu senden, empfiehlt es sich für die EMV-Prüfung, eine fortlaufende Kommunikation zu gewährleisten und somit die Emissionen und die Störfestigkeit durchgehend zu prüfen.

Zudem dient die ICLED zur Anzeige schneller Farbwechsel oder als Echtzeitignal-LED, d. h., die Daten werden kontinuierlich gesendet. Darüber hinaus lassen sich Fehler leichter erkennen, da alle ICLEDs die gleiche Farbe haben und somit keine optischen Abweichungen auftreten.

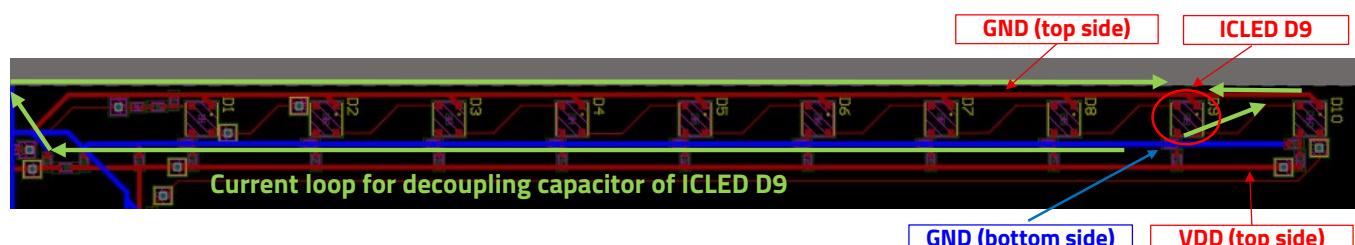


Abbildung 6: Stromkreis für den Entkopplungskondensator von ICLED D₉ (grün, oben).



Abbildung 7: Verkürzter Stromkreis für die Datenausgabe von ICLED D₉ mit einem Draht am Entkopplungskondensator; durch diese Anpassung wird der Stromkreis so kurz wie möglich gehalten.

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten



Abbildung 8: Korrektur mit einer Leitung an jedem Entkopplungskondensator.

2.4 Signalmessung im Zeitbereich und erwartete Emissionen

Datensignal

Das Rechtecksignal, das zur Steuerung der Einzeldraht-ICLEDs in der vorliegenden EMV-Analyse verwendet wird, wurde direkt über einen CMOS-Ausgang der ESP32-MCU erzeugt. Die Signale, mit denen ein digitales Bit 0 und ein digitales Bit 1 gesendet werden, um die ICLEDs anzusteuern, sind in Abbildung 9 dargestellt.

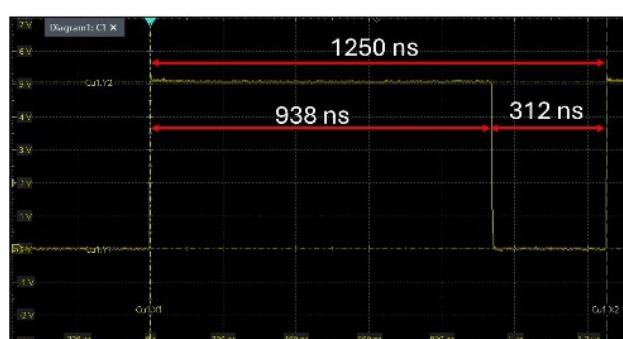
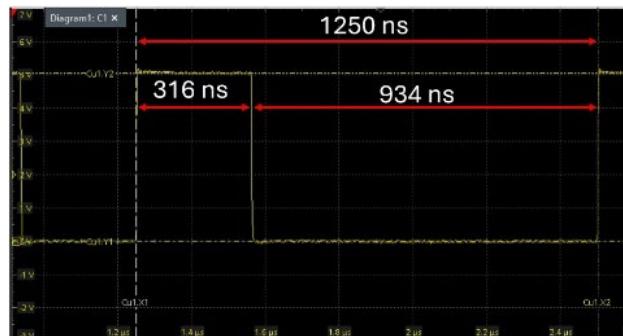


Abbildung 9: Gemessene Spannung für digitales Bit 0 (oben) und digitales Bit 1 (unten) zur Steuerung der ICLED.

Um ein Signal zu erhalten, das dem idealen Rechtecksignal nahekommt, müssen die Harmonischen gleichphasig überlagert werden bis in einen unendlichen Frequenzbereich.

Das resultierende Spektrum fällt zunächst mit etwa -20 dB pro Dekade ab. Die Anstiegs- und Abfallzeiten des Signals begrenzen den Punkt, an dem die Dämpfung auf etwa -40 dB pro Dekade ansteigt. Folglich ist das Signal in seiner Bandbreite begrenzt, wie in Abbildung 10 dargestellt.

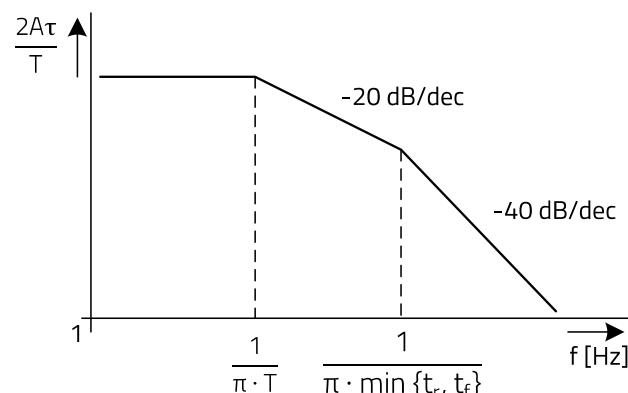


Abbildung 10: Hüllkurve der Spektralanalyse eines Rechtecksignals.

Die Harmonischen sind bei Vielfachen von

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{1250 \text{ ns}} = 800 \text{ kHz} \quad (1)$$

zu beobachten. Die Frequenzpunkte, an denen die Hüllkurve ihre Flankenänderung vollzieht, können entsprechend berechnet werden:

$$f_1 = \frac{1}{\pi \cdot \frac{1}{T}} = 255 \text{ kHz} \quad (2)$$

und

$$f_2 = \frac{1}{\pi \cdot t_r} = \frac{1}{\pi \cdot 2,1 \text{ ns}} = 152 \text{ MHz} \quad (3)$$

(dabei wird die Anstiegszeit des elektrischen Signals bei $t_r = 2,1 \text{ ns}$ und die Abfallzeit bei $t_f = 3,5 \text{ ns}$ gemessen). Trotz dieser vereinfachten Darstellung, bei der die Verschiebung der diskreten Spektralamplituden durch Kopplungsmechanismen und verschiedene Signalauf- und -abfallzeiten nicht berücksichtigt wurden, ist leicht zu erkennen, dass das über alle Datenleitungen übertragene Signal Harmonische von bis zu mehreren hundert MHz aufweist.

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

Messungen an der 5-V-Versorgungsleitung zeigen Transienten, die zeitlich mit den Datenübertragungen korrelieren und dadurch ebenfalls hochfrequente Spektralanteile erzeugen (siehe Abbildung 11).



Abbildung 11: Spannungsspitzen aufgrund eines ICLED-Digitalbits 1, gemessen auf der 5-V-Leitung.

Bei einer gemessenen Anstiegszeit der Spannungsspitzen von $t_r = 21 \text{ ns}$ beträgt die wichtige zweite Grenzfrequenz $f = 15 \text{ MHz}$, wie im Diagramm in Abbildung 12 dargestellt.

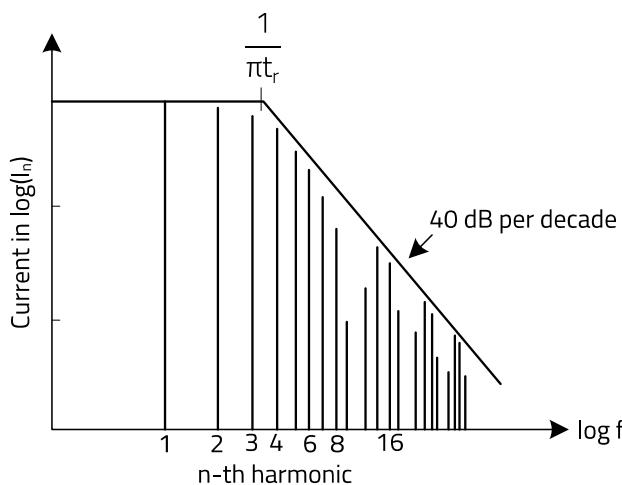


Abbildung 12: Grafische Darstellung des Spektrums für die Spannungsspitzen.

Beide beschriebenen Eigenschaften führen zu leitungsgebundenen Emissionen und Störabstrahlungen, wodurch gesetzliche Grenzwerte überschritten werden können. Daher dürfen sie nicht ignoriert werden.

3. EMV-EIGENSCHAFTEN DER TESTPLATINEN

Dieser Abschnitt vergleicht das EMV-Verhalten von Testplatinen, auf denen MCU und LEDs auf derselben Leiterplatte angeordnet sind. Der Fokus liegt auf dem Einfluss einer durchgehenden Massefläche gegenüber einer Ausführung ohne Massefläche. Weil das Fehlen der Massefläche das EMV-Verhalten erheblich beeinträchtigte, kamen zur Reduktion leitungsgebundener Störungen zusätzliche Ferritkerne in Reihe zur Datenleitung zum Einsatz.

3.1 Emissionsprüfung

Bei einer zunächst theoretischen Betrachtung kann davon ausgegangen werden, dass die EMV-Eigenschaften der Leiterplatte ohne Massefläche deutlich schlechter sind als bei einer Leiterplatte mit Massefläche. Der Grund hierfür ist die größere und somit umspannte Fläche der Datenleitung. Bei Frequenzen über 1 MHz verläuft der Rückstrom des Signals unterhalb der Datenleitung (Pfad mit der geringsten Impedanz), da der induktive Anteil der Impedanz überwiegt.

Dieses Verhalten ähnelt der Stromkompensation in einer Gleichtaktdrossel, bei der entgegengesetzte Ströme Magnetfelder aufheben und so Emissionen reduzieren. Bei der Wahl eines Designs mit einer Massefläche sind die Stromkreise der Datensignale möglichst klein, wodurch Gleichtaktstörungen minimiert werden und eine niedrige Emissionsleistung gewährleistet ist (Abbildung 13).

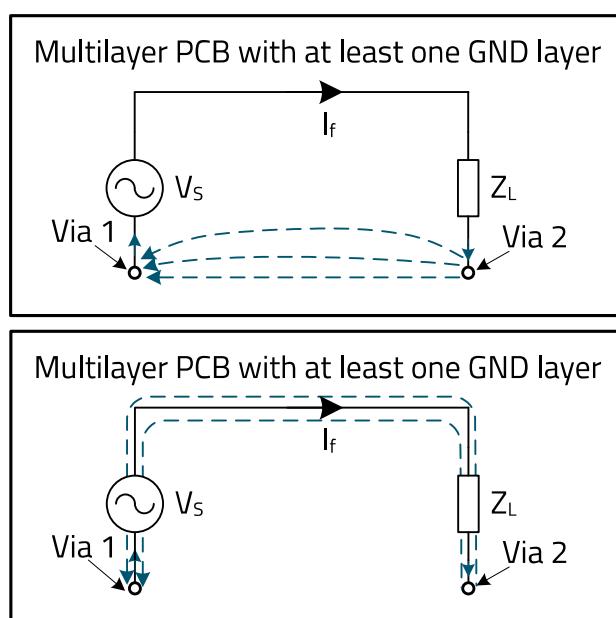


Abbildung 13: Rückstrom bei niedrigen Frequenzen (oben) und hohen Frequenzen (unten).

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

Das hochfrequente Magnetfeld der Signalstromkreise enthält die in Kapitel 2.4 aufgeführten harmonischen Frequenzanteile. Diese werden durch magnetische Einkopplung in alle der Schleife benachbarten Leiterbahnen übertragen und führen zu ausgeprägten Gleichtaktstörungen.

Das Messergebnis der Störabstrahlungsprüfung in Abbildung 14 bestätigt die theoretische Annahme: Wird die Massefläche durch eine Rückleitung mit größerer Schleifenfläche ersetzt, nimmt die Störabstrahlung deutlich zu.

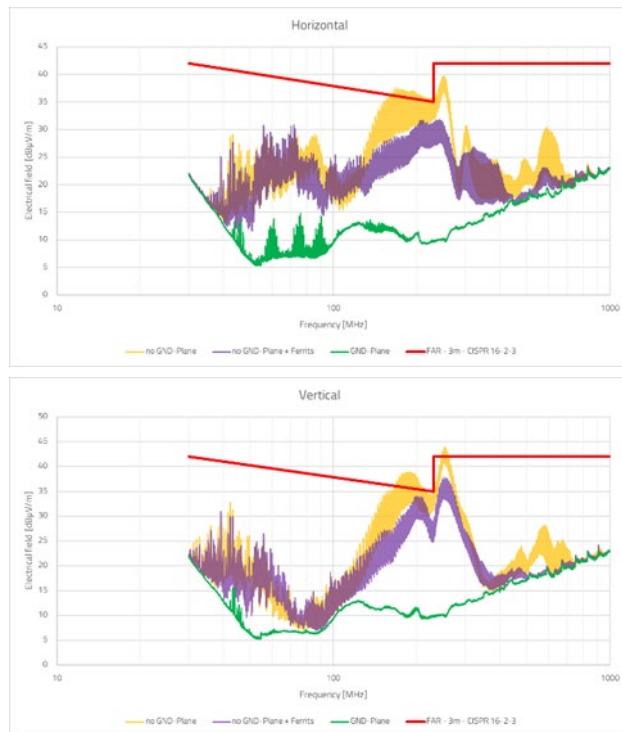


Abbildung 14: EMV-Prüfergebnisse für Störabstrahlungen: MCU und ICLEDs auf derselben Platine.

Die geringen Emissionen der Testplatine bei Verwendung einer durchgehenden Massefläche erhöht sich um 30 dB, wenn die Ebene durch Rückstromleitungen ersetzt wird. Wird das Frequenzspektrum der Datenleitungen durch Hinzufügen von SMD-Ferriten ([742792711](#)) zwischen den Datenausgangs- und -eingangspins der LEDs in der Kette reduziert, dann besteht die Testplatine zwar die Störaussendungsprüfung, aber der Abstand zur Klasse B ist nur gering.

Die leitungsgebundenen Emissionen werden am Gleichstromeingang der ICLED-Testplatine geprüft. Im Ergebnisdiagramm sind die Grenzwerte für Wechselstromnetze dargestellt. Liegen die Emissionen des Gleichstromanschlusses unter diesen Grenzwerten, so kann davon ausgegangen werden, dass eine vollständige

Konfiguration mit der Testplatine und einem EMV-konformen Wechselstrom-/Gleichstrom-Netzteil die Prüfung auch bei einer schwachen EMV-Dämpfung des Netzteils besteht.

Für diesen Test ist ein externer Elektrolytkondensator am Gleichstromeingang erforderlich, um die hohe Induktivität der Netznachbildung zu kompensieren und die in den ICLED-Controllern integrierten Regler zu stabilisieren. Da die Ergebnisse für V_{CC} und Masse identisch sind, werden nur die Ergebnisse für die V_{CC} -Leitung in Abbildung 15 gezeigt.

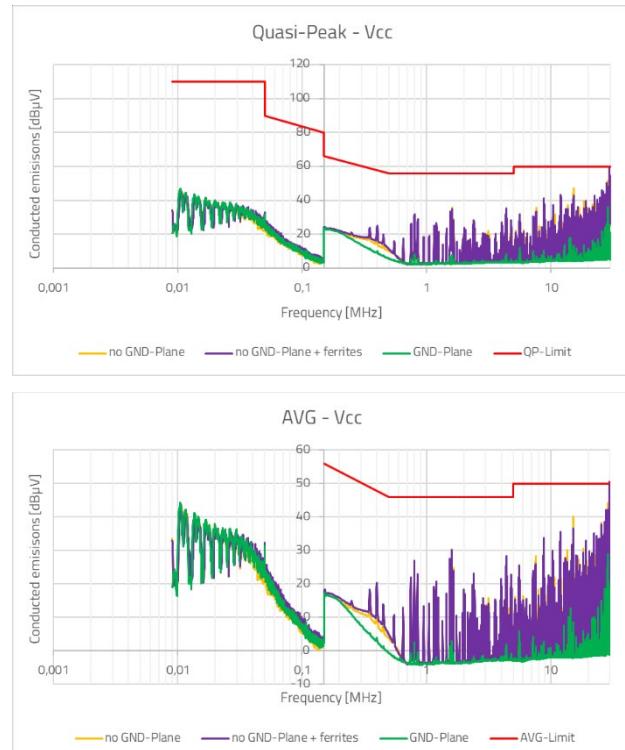


Abbildung 15: EMV-Prüfergebnisse für leitungsgebundene Emissionen: MCU und ICLEDs auf derselben Platine.

Die Ergebnisse der Prüfungen für leitungsgebundene Emission zeigen, dass nur die Platine mit einer Massefläche einen Abstand von mindestens 10 dB zum Grenzwert aufweist. Da in solchen Anwendungen normalerweise ein Wechselstrom-/Gleichstrom-Netzteil verwendet wird, sind diese Ergebnisse weniger kritisch. Je nach Dämpfung der Stromversorgung von der Sekundär- zur Primärseite und der Konfiguration einer Anwendung mit den ICLEDs kann dieses Ergebnis jedoch zu Problemen aufgrund von Störkopplungen führen, die vom LED-Feld über die Stromversorgung übertragen werden. Aus emissionstechnischer Sicht ist ein Leiterplattenlayout mit einer Massefläche vorzuziehen, um möglichst geringe leistungsbezogene Emissionen und Störabstrahlungen zu gewährleisten.

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

3.2 Störfestigkeitsprüfung

Wie im Abschnitt zur Emissionsprüfung in diesem Kapitel bereits erläutert, ist ein Design mit Massefläche vorzuziehen. Kreise, die sich negativ auf die Emissionen auswirken, können auch die Störfestigkeit der Testplatten beeinträchtigen.

Leistungskriterien

Bevor die Störfestigkeitsprüfung durchgeführt werden kann, müssen die Leistungskriterien des Prüflings definiert werden (Tabelle 2).

Leistungs-kriterien:	Prüflingsleistung
A	Die LEDs ändern während des Tests nicht ihre Farbe. Es dürfen keine Helligkeitsänderungen oder Kommunikationsprobleme auftreten.
B	Während des Tests kann es zu vorübergehenden Leistungsbeeinträchtigungen kommen, die jedoch nach dem Test ohne Eingreifen des Bedieners wieder abklingen. Die Leistungsminderung kann sich in einer Veränderung der Farbe, der Datenübertragung oder der Helligkeit äußern.

Tabelle 2: Leistungskriterien bei der Störfestigkeitsprüfung.

Die folgenden Bilder zeigen Störungen eines ICLED-Feldes während einer Störfestigkeitsprüfung:

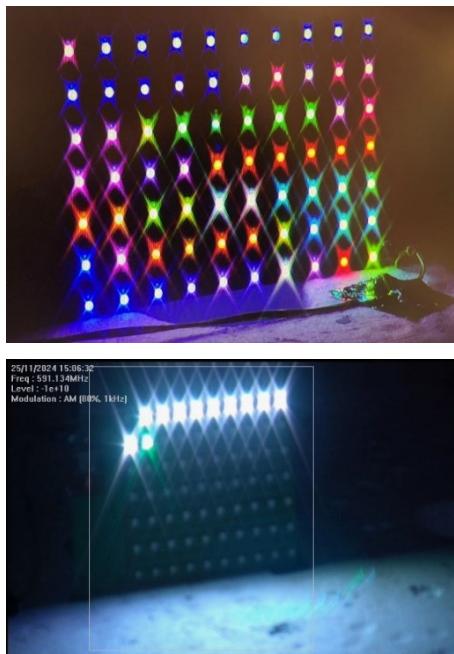


Abbildung 16: Störungen bei einem ICLED-Feld während einer Störfestigkeitsprüfung.

Abbildung 16 zeigt Störungen in der Farbe des LED-Feldes (oben) und eine Unterbrechung in der LED-Kette (unten). Bei der Störfestigkeitsprüfung wurden mitunter auch nur einzelne LEDs im mittleren Bereich der LED-Kette gestört.

Der Prüfling wurde durch eine Kamera und durch das Laborpersonal überwacht. Es wurde jedoch kein System zur optischen Analyse für die Überwachung des Prüflings verwendet. Die subjektive Wahrnehmung des Laborpersonals bei der Erkennung von Änderungen der Leuchtkraft und Farbtoleranz schränkt die Leistungsanalyse während des Tests in gewissem Maße ein. Allerdings kann aufgrund der sorgfältigen Einrichtung, der leistungsstarken Kameratechnik und der aufmerksamen Beobachtung davon ausgegangen werden, dass die für die Bewertung der Leistungskriterien relevanten Parameter ausreichend überwacht wurden, um eine zuverlässige Bewertung zu gewährleisten.

Modifizierte Störfestigkeitsprüfungen

ICLEDs werden in der Regel in einem Gehäuse verbaut, sodass direkte ESD-Entladungen in die elektronische Schaltung nicht möglich sein sollten. Aus diesem Grund werden ESD-Entladungen nur über horizontale Kopplungsfläche getestet, um die Entladung an einem Metallgehäuse in einer LED-Anwendung zu simulieren. Eine solche Entladung am Anwendungsgehäuse kann, falls das Gehäuse nur teilweise geschlossen ist, in den Anwendungskreis koppeln. Der Entwickler der LED-Anwendung muss jedoch sicherstellen, dass keine direkten Entladungen in den elektronischen Stromkreis der Anwendung gelangen.

Der Burst-Test wird mit der kapazitiven Koppelzange (CCC) am Eingang der Testplatine durchgeführt. Als Stromversorgung wird eine Batterie mit einem Gleichstromwandler verwendet. Bei einer LED-Anwendung wird der Impuls in die Wechselstromseite des Netzteils eingespeist und anschließend in den LED-Stromkreis auf der Sekundärseite gekoppelt. Eine direkte Einspeisung in die Gleichstromleitung der LED-Schaltung ist nicht zu erwarten, da die Schaltung nur an die dedizierte Stromversorgung angeschlossen ist.

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

Ergebnisse der Störfestigkeitsprüfung

Nachstehende Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Störfestigkeitsprüfungen für die Platinen mit MCU und ICLEDs auf derselben Platine.

Sowohl die Testplatine mit Massefläche als auch die Variante ohne Massefläche, jedoch mit Ferriten in den Datenleitungen, bestand die Störfestigkeitsprüfung gegen gestrahlte Störungen bis zum maximalen Prüfpegel des eingesetzten EMV-Prüfsystems.

Die Leistung nach Kriterium A wird bei Verwendung der Testplatine ohne Massefläche und ohne weitere EMV-Maßnahmen auf ein Testniveau von 20 V/m reduziert.

Der maximale Pegel für die Störfestigkeitsprüfung gegen Störabstrahlungen ist in der folgenden Abbildung 17 dargestellt:

- 80 MHz bis 180 MHz: 20 V/m
- 180 MHz bis 500 MHz: 40 V/m
- 500 MHz bis 1 GHz: 30 V/m
- 1 GHz bis 6 GHz: 10 V/m

Alle Platinen bestehen die Störfestigkeitsprüfung auf leitungsgebundene Emissionen bei 20 V/m. Während der Prüfung wurde das Störsignal im Gleichtaktmodus an den 5-V_{DC}-Eingang der Testplatinen angelegt.

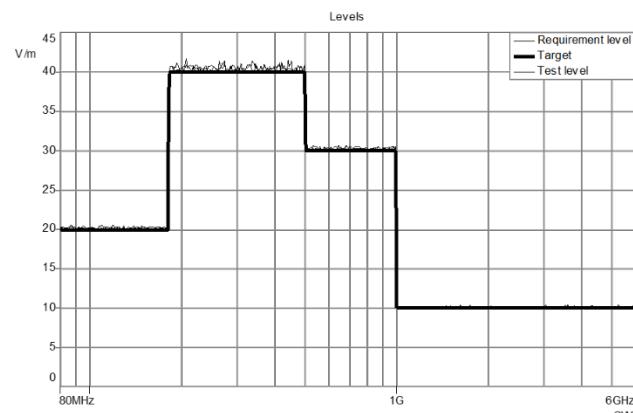


Abbildung 17: Bei der Störfestigkeitsprüfung angewandte maximale Feldstärke.

Bei schnellen Transienten und ESD-Prüfungen können unterschiedliche Leistungsniveaus beobachtet werden. Die Testplatine mit Massefläche weist die beste Leistung auf, und beim Burst-Test (5 kV) wie auch bei der ESD-Prüfung (30 kV) mit jeweils sehr hohen Prüfpegeln wurden keine Störungen festgestellt. Die Testplatine ohne Massefläche und EMV-Maßnahmen schneidet schlechter ab und besteht den Burst-Test in Kriterium A nur bei 1 kV und den ESD-Test bei 6 kV. Dies kann in einer ICLED-Anwendung zu Fehlfunktionen führen. Eine Lösung könnte eine Software-Maßnahme sein, bei der die LED-Befehle in der Anwendung periodisch gesendet werden.

Maßnahmen	Beständige Störung								Transiente Störung								
	61000-4-3				61000-4-6				61000-4-4 (CCC-geprüft)				61000-4-2				
	80 MHz bis 1 GHz		1 GHz bis 6 GHz		CDN-geprüft		Bei 5 kHz und 100 kHz geprüft		Prüfniveau [kV] HCP								
Maßnahmen	3 V/m	10 V/m	20 V/m	Pegel (max.)	3 V/m	10 V/m	3 V	10 V	20 V	200 V	500 V	1 kV	2 kV	3 kV	5 kV	Krit. A	Krit. B
Massefläche, 100 nF @ V _{IN} für jede LED, verkürzter Kreis				Grey												30 kV	Blue
Keine Massefläche, 100 nF @ V _{IN} für jede LED, verkürzter Kreis				Yellow												6 kV	Yellow
Keine Massefläche, 100 nF @ V _{IN} für jede LED, verkürzter Kreis + Ferrite in der Datenleitung				Grey												10 kV	Yellow

Tabelle 3: Störfestigkeit der Testplatine, MCU und ICLEDs auf derselben Platine. Grau: Erfüllung der Leistungskriterien A; Grün: Erfüllung der Leistungskriterien B.

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

Einzelne Störungen durch transiente Impulse können überschrieben werden, und Fehlfunktionen treten nur für die Dauer des jeweiligen transienten Ereignisses auf. Werden die Ferrite auf die Testplatine ohne Massefläche aufgebracht, dann erhöht sich die Leistung geringfügig auf eine Burst-Störfestigkeit von 2 kV und eine ESD-Störfestigkeit von 6 kV im Leistungskriterium A.

4. TRENNUNG VON LED-FELD UND MIKROPROZESSOR

Wenn das LED-Feld und die MCU bei einer Anwendung getrennt werden müssen, können zusätzliche Anforderungen entstehen. Bei manchen Anwendungen kann die LED-Matrix oder ein LED-Dekorstreifen separat von der MCU-Leiterplatte montiert werden, wobei Stromversorgung und Datenverbindung dann über ein Kabel realisiert werden.

4.1 Aufbau

Wie bereits in Kapitel 3 analysiert, ist das EMV-Verhalten bei vorhandener Massefläche am besten. Zur Prüfung eines Systems mit zwei Platinen werden beide mit einer durchgehenden Massefläche versehen. Die Verbindung von 5-V-Versorgung, Masse und Datenleitung erfolgt über ein Kabel. Das Kabel zwischen den beiden Leiterplatten ist 1 m lang (Abbildung 18).

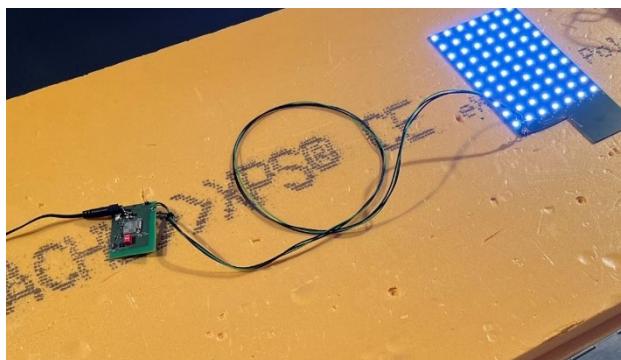


Abbildung 18: Prüfaufbau für ICLEDs mit zwei Leiterplatten während der Störfestigkeitsprüfung auf leitungsgebundene Emissionen.

Das Design der LED-Matrix und der MCU-Leiterplatte wurde gegenüber dem Design mit MCU und LED-Kette auf derselben Platine nicht verändert.

4.2 Ergebnisse der Emissionsprüfung

In Abbildung 19 werden die Störabstrahlungen des Systems mit zwei Platinen (vgl. Abbildung 18) und des Systems auf einer Platine mit und ohne Massefläche sowie ohne EMV-Maßnahmen verglichen. Die Emissionen nehmen deutlich zu, wenn sich MCU und LED-Kette nicht auf

derselben Leiterplatte befinden: Sie liegen bis zu 20 dB über dem Grenzwert und sind somit erheblich höher als bei der Leiterplatte ohne Massefläche und EMV-Maßnahmen. Dargestellt sind nur die horizontalen Emissionen, da diese stärker sind als diejenigen bei vertikaler Polarisation.

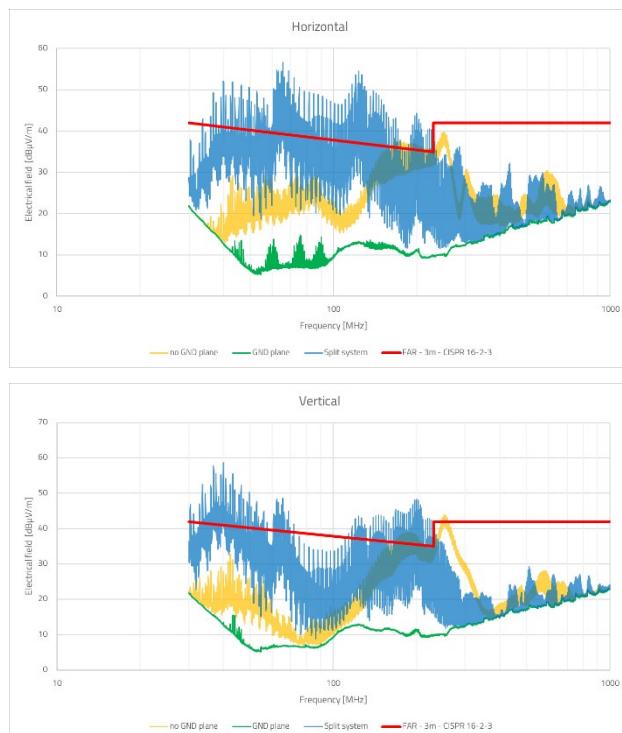


Abbildung 19: EMV-Prüfergebnisse für Störabstrahlungen: MCU und ICLEDs auf derselben Platine (grün und gelb) und Konfiguration mit zwei Platinen (blau).

Wenn sich die MCU und die LEDs nicht auf derselben Leiterplatte befinden, steigen nicht nur die Störabstrahlungen, sondern auch die leitungsgebundenen Emissionen um 10 bis 20 dB (Abbildung 20).

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

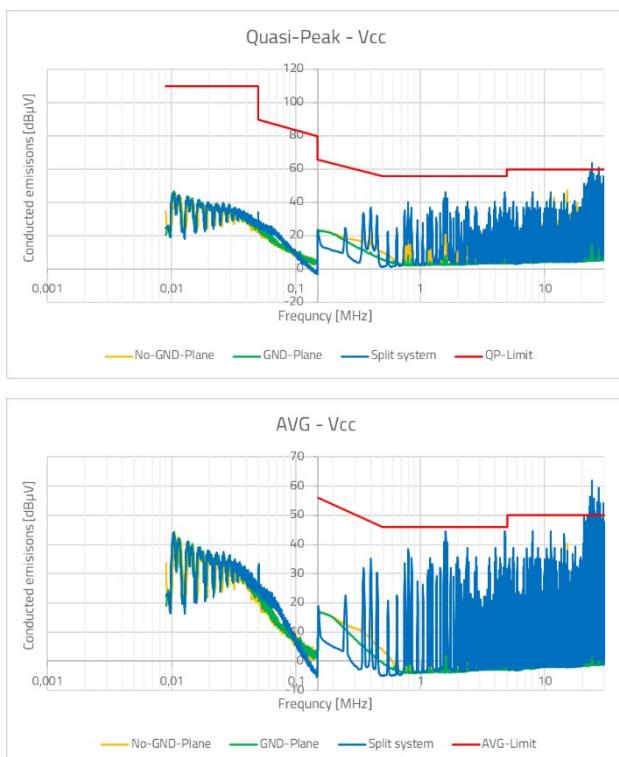


Abbildung 21: Kabel zwischen MCU-Leiterplatte und LED-Feld, geschirmt mit Aluminiumfolie.

Die Schirmung ist auf beiden Platten direkt mit der Massefläche verbunden. Die Kabelschirmung fungiert als Rückleitung für die digitalen Signale und verkürzt den Schleifenweg auf ein Minimum (siehe Abbildung 21). Die Verbindung des Schirms mit den Masseflächen sollte so flächig wie möglich sein. Pigtail-Verbindungen sind ungeeignet.

Filterimplementierung (Abbildung 22): Eine Gleichtaktdrossel mit einer breiten Impedanzkurve ([744237152](#)) sowie einem 4,7- μ F-MLCC ([885012209048](#)) auf der Kabelseite werden am Eingang der MCU-Platine angebracht.

4.3 EMV-Optimierung bei der geteilten Konstruktion
MCU und LEDs sollten möglichst nicht auf separaten Leiterplatten montiert werden. Wenn die Anwendung eine Trennung von MCU und ICLED-Matrix erforderlich macht, sind EMV-Maßnahmen zu treffen. Welche Möglichkeiten dafür verfügbar sind, wird in diesem Kapitel erläutert.

Geschirmtes Kabel: Das Kabel zwischen den beiden Geräten ist wie in Abbildung 21 geschirmt.

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten



Abbildung 22: Optimierung der MCU-Leiterplatte mit Eingangsfilter (oben) und Pi-Filter auf der Datenleitung (unten).

Der Signalausgangspin der MCU wird mit einem Pi-Filter mit einem Leiterplattenferrit ([74279265](#)) und zwei 220-pF-MLCCs ([885012006010](#)) gegen die Massefläche gefiltert. An den Dateneingangspin der Platine mit der LED-Matrix wird ein 220-pF-MLCC platziert. Die Signalintegrität des Datenbusses muss berücksichtigt werden, da das Filter auf der Datenleitung die Harmonischen im Spektrum des Rechtecksignals dämpft und damit die Anstiegs- und Abfallzeiten des Datensignals verlängert.

Um die Signalintegrität zu gewährleisten, empfiehlt es sich generell, die fünfte Harmonische des Frequenzspektrums, die dem kürzeren (d. h. schnelleren) Wert bei Anstiegs- oder Abfallzeit entspricht, zu belassen und nicht durch die Signalfilterung zu stark zu beeinflussen.

Geschirmtes Kabel: Emissionen

Abbildung 23 und Abbildung 24 zeigen, dass die Emissionen erheblich reduziert wird, wenn das Verbindungskabel zwischen der MCU- und der LED-Platine geschirmt ist.

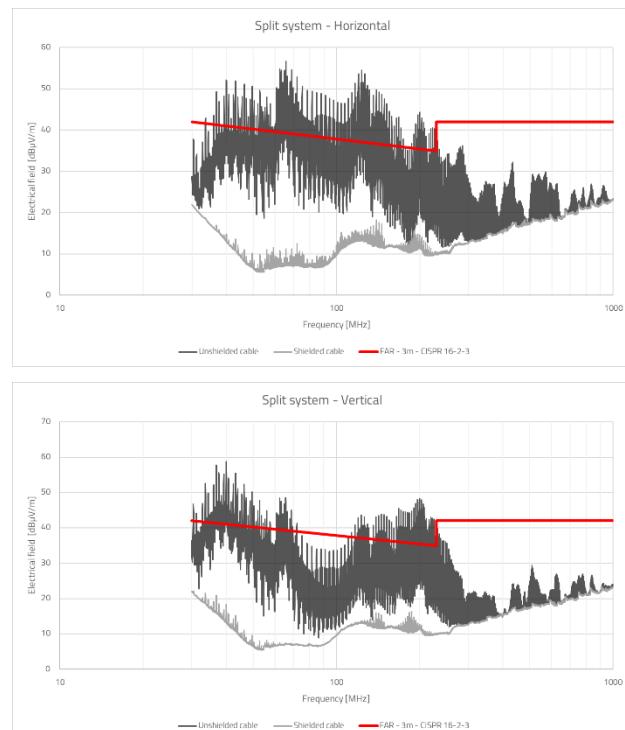


Abbildung 23: EMV-Prüfergebnisse für Störabstrahlungen: MCU und ICLEDs auf separaten Platinen, mit und ohne geschirmten Kabel.

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

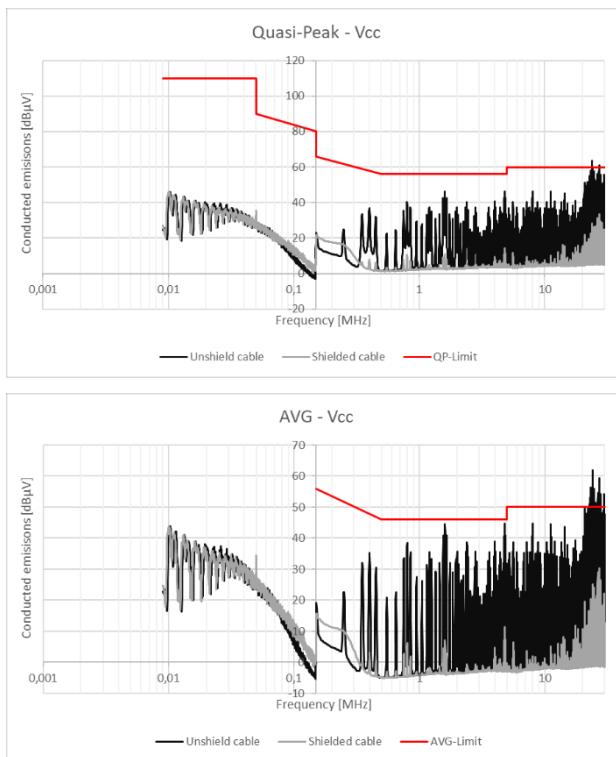


Abbildung 24: EMV-Prüfergebnisse für leitungsgebundene Emissionen: MCU und ICLEDs auf separaten Platinen, mit und ohne geschirmten Kabel.

Das EMV-Ergebnis dieser Konfiguration ist vergleichbar mit den Emissionsergebnissen, bei denen ICLEDs und MCU auf derselben Platine mit Massefläche platziert sind.

Wirkung des Filters: Emissionen

Der Filter reduziert außerdem die Störabstrahlung des geteilten Systems sehr gut. Die leitungsgebundenen Emissionen werden unter den Grenzwert für Klasse B abgesenkt, sind jedoch höher als bei der Anordnung mit geschirmten Kabeln (Abbildung 25 und Abbildung 26).

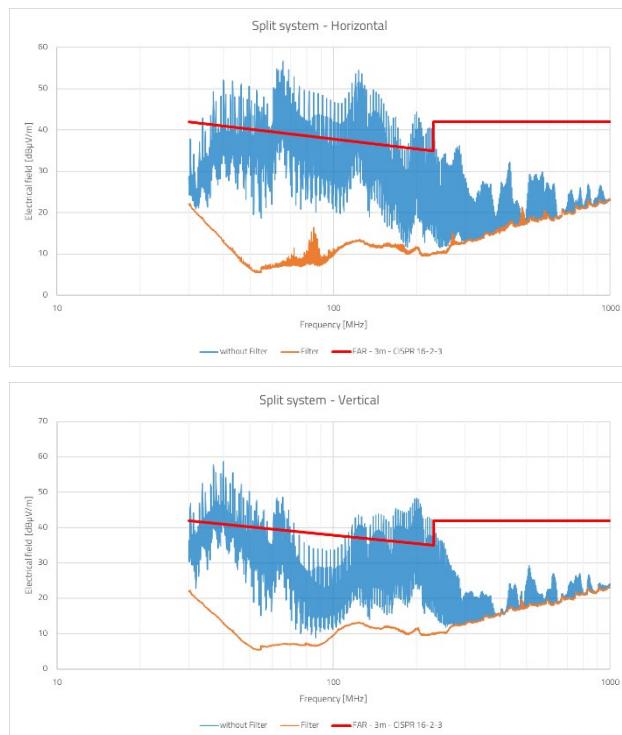


Abbildung 25: EMV-Prüfergebnisse für Störabstrahlungen: MCU und ICLEDs auf separaten Platinen, mit und ohne Filter

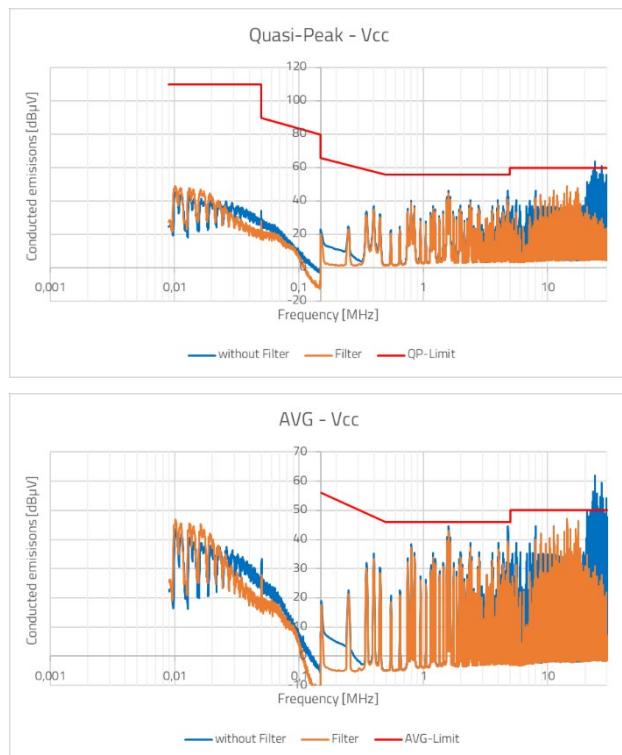


Abbildung 26: EMV-Prüfergebnisse für leitungsgebundene Emissionen: MCU und ICLEDs auf separaten Platinen, mit und ohne Filter

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

Störfestigkeit des Aufbaus mit zwei Platinen

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der Störfestigkeitsergebnisse der ICLEDs, wenn sich die MCU auf einer separaten Leiterplatte befindet. Die Burst-Störfestigkeit des ungeschirmten Geräts wie auch des gefilterten Geräts ist unzureichend, und bereits beim niedrigsten Prüfpegel von 200 V treten Störungen auf den Leiterplatten auf. Bei Verwendung eines geschirmten Kabels erhöht sich die Störfestigkeit für Kriterium A auf 2 kV. Die Störfestigkeit des ungeschirmten Kabels ist insgesamt unzureichend. Sowohl die Prüfungen auf leitungsgebundene als auch auf abgestrahlte Störungen werden nicht bestanden. Zudem liegt der ESD-Prüfpegel ohne erkennbare Funktionsbeeinträchtigung bei lediglich 1 kV, was auf eine sehr geringe Robustheit gegenüber elektrostatischen Entladungen hinweist. Mit der geschirmten Verbindung lassen sich die besten Ergebnisse bei den Störfestigkeitsprüfungen erzielen. Zwar ist die Leistung nicht so gut wie bei einer Anordnung der Bauelemente auf derselben Platine mit Massefläche, doch reicht sie aus, um alle Störfestigkeitsprüfungen in einer möglichen Anwendung mit erhöhten Prüfpegele zu bestehen. Die ungeschirmte Verbindung mit Filter besteht die Störfestigkeitsprüfung zumindest für Geräte im häuslichen Gebrauch, da hier geringere Prüfpegele gefordert werden. Während die Leistung bei der Abstrahlungsstörfestigkeit zufriedenstellend ist, besteht das Gerät bei leitungsgebundenen Emissionen nur die Prüfung für Systeme im häuslichen Gebrauch und den Burst-Test nur in Kriterium B.

5. FAZIT

Die EMV-Eigenschaften von ICLEDs wurden in den Kapiteln 3 und 4 dieser Application Note ausführlich untersucht. Auf Grundlage der Prüfergebnisse können die folgenden Konstruktionsempfehlungen gegeben werden.

5.1 Mikroprozessor und LEDs auf derselben Leiterplatte

Wenn sich die MCU und die LEDs auf derselben Leiterplatte befinden, kann unter EMV-Gesichtspunkten eine sehr gute Leistung der ICLEDs erzielt werden, sofern eine Leiterplatte mit durchgehender Massefläche verwendet wird. Die Massedurchkontaktierungen zu den Kondensatoren und Pins sollten gemäß den geltenden Gestaltungsrichtlinien platziert werden. Dieser Ansatz gewährleistet eine ausgezeichnete EMV-Leistung sowohl hinsichtlich der Emissionen als auch der Störfestigkeit.

Von einer Konstruktion ohne Massefläche raten wir ab, da die Emissionen dadurch deutlich ansteigen. Auch wenn die Störfestigkeit die Anforderungen für häusliche Anwendungen erfüllt und die Emissionen durch den Einsatz von Ferriten in der Datenleitung reduziert werden können, ist eine Ausführung mit Massefläche immer zu bevorzugen.

Messungen	Beständige Störung												Transiente Störung							
	61000-4-3				61000-4-6				61000-4-4 (CCC-geprüft)								61000-4-2			
	80 MHz bis 1 GHz		1 GHz bis 6 GHz		CDN-geprüft				Bei 5 kHz und 100 kHz geprüft				Prüfniveau [kV] HCP							
Messungen	3 V/m	10 V/m	20 V/m	Pegel (max.)	3 V/m	10 V/m	3 V	10 V	20 V	200 V	500 V	1 kV	2 kV	3 kV	5 kV	Krit. A	Krit. B			
1 m Kabel zwischen LEDs und µP		grün								grün							1 kV	2 kV		
Geschirmtes Signalkabel: V _{CC} und Signal; Schirm = GND																	15 kV	30 kV		
Filter								grün		grün							15 kV	30 kV		

Tabelle 4: Störfestigkeit der Konfiguration mit zwei Platinen. Grau: Erfüllung des Leistungskriteriums A; grün: Erfüllung des Leistungskriteriums B.

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

5.2 Mikroprozessor und LEDs auf separaten Leiterplatten

Befindet sich die MCU auf einer anderen Leiterplatte als die ICLEDs, dann sollte die Kabelverbindung zwischen den beiden Platinen in jedem Fall geschirmt sein. Zudem sollten beide Leiterplatten über eine Massefläche verfügen. Wenn kein geschirmtes Kabel verwendet werden kann, kann ein Filter eingesetzt werden, wobei jedoch die im Vergleich zur Option mit geschirmtem Kabel geringere Störfestigkeit zu berücksichtigen ist. Anstelle eines geschirmten Kabels kann auch eine flexible Leiterplatte mit V_{CC} und Signal auf der Oberseite und einer Massefläche auf der Unterseite verwendet werden. Eine Kabelverbindung zwischen MCU- und LED-Leiterplatte sollte aus EMV-Gründen nicht ohne weitere Maßnahmen verwendet werden, da die Anforderungen an Emissionen und Störfestigkeit nicht erfüllt werden.

5.3 Allgemeine Konstruktionsempfehlungen

Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen der vorgestellten EMV-Prüfungen können teilweise auf alle asymmetrischen Kommunikationsbusse auf Leiterplattenebene übertragen werden, wie z. B. I²C, SPI, UART und viele andere. Im Hinblick auf die EMV sind die beiden wichtigsten Schlussfolgerungen zur Vermeidung von Problemen die folgenden:

- Ein asymmetrischer PCB-BUS darf nicht in einem Kabel verlegt werden.
- Ein asymmetrischer PCB-BUS sollte auf einer Massefläche ohne Trennungen verlegt werden, um angemessene Rückleitungswege zu gewährleisten.

Auch wenn alle Busse ihre Besonderheiten haben: Diese beiden Grundregeln gelten immer! Wenn ein Entwurf diese Regeln nicht berücksichtigt, kommt es zu EMV-Problemen, die komplizierte (und unter Umständen kostspielige oder technisch aufwendige) Abhilfemaßnahmen erfordern.

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

A. Anhang

A.1 Literatur

- [1] H. W. Ott, Electromagnetic Compatibility Engineering. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2009
- [2] R. B. Keller, Design for Electromagnetic Compatibility - In a Nutshell: Theory and Practice. Springer Cham, 2022
- [3] D. Stotz, Elektromagnetische Verträglichkeit in der Praxis: Design-Analyse – Interpretation der Normen – Bewertung der Prüfergebnisse. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg, 2013
- [4] C. R. H. Gomez, "ANO009 | Angaben in Datenblättern von ICLEDs," 2024.
https://www.we-online.com/components/media/0782906v410%20ANO09b_Angaben%20in%20Datenblaettern%20von%20ICLEDs_DE.pdf (Stand: 28.01.2025)
- [5] Würth Elektronik, "Datenblatt der Ein-Draht ICLED mit der PN: 1315050930002."
<https://www.we-online.com/components/products/datasheet/1315050930002.pdf> (Stand: 28.01.2025)
- [6] S. C. D. Roy, Circuits, Systems and Signal Processing - A Tutorials Approach. Springer Vieweg Wiesbaden, 2018
- [7] R. Hart'anský, "Analysis of the general digital signals for emc purpose," PRZEGŁ „AD ELEKTROTECHNICZNY, vol. 92, pp. 38–40, 2016
- [8] "OVE EN IEC 55015 - Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörungen von elektrischen Beleuchtungseinrichtungen und ähnlichen Elektrogeräten (CISPR 15:2018 + ISH1:2019)," 2020
- [9] Mike Grusin, "Serial Peripheral Interface (SPI)." <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi-all> (Stand: 06.02.2025)
- [10] OSHWA, "A Resolution to Redefine SPI Signal Names." <https://oshwa.org/resources/a-resolution-to-redefine-spi-signal-names/> Stand: 09.09.2025)
- [11] Würth Elektronik. <https://www.we-online.com/de> (Stand: 28.01.2025)
- [12] D. Morgan, A Handbook for EMC Testing and Measurement. IEE electrical measurement series, Institution of Engineering and Technology, 1994
- [13] DKE - Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik, "34/1181/CD:2024-03 - IEC 61547 ED4 - Equipment for general lighting purposes - EMC immunity requirements," 2024
- [14] Bundesnetzagentur, "Elektromagnetische Verträglichkeit." https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Tel_ekommunikation/Technik/TechnischeVertraeglichkeit/EMV/artikel.html (Stand: 28.01.2025)
- [15] Bundesministerium der Justiz, "Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (Elektromagnetische-Verträglichkeit-Gesetz - EMVG)," 2016.
https://www.gesetze-im-internet.de/emvg_2016/EMVG.pdf (Stand: 28.01.2025)
- [16] [27] WE, "WE FeatherWing Libraries," 2024.
<https://github.com/WurthElektronik/FeatherWings/tree/main/ICLEDFeatherWing> (Stand: 28.01.2025)
- [17] Espressif Systems, "ESP32-WROOM-32E ESP32-WROOM-32UE Datasheet Version 1.7." https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf (Stand: 28.01.2025)
- [18] Würth Elektronik, "Datasheet Single Wire ICLED PN: 1312020030000." <https://www.we-online.com/components/products/datasheet/1312020030000.pdf> (Stand: 28.01.2025)
- [19] Espressif Systems, "SPI Master Driver." https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/peripherals/spi_master.html (Stand: 28.01.2025)

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

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 hiervom 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 Todesfälle 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/appnotes



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



Toolbox
www.we-online.com/toolbox



Produkt Katalog
www.we-online.com/products

KONTAKT INFORMATION



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



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

APPLICATION NOTE

ANO013 | Einzeldraht-IC-LEDs unter EMV-Gesichtspunkten

REVISIONSHISTORIE

Dokument Version	Veröffentlichungsdatum	Änderungen
ANO013a	2025/12/04	Ursprüngliche Version der Application Note

Hinweis: Die aktuelle Version des Dokuments und das Veröffentlichungsdatum sind in der Fußzeile jeder Seite dieses Dokuments angegeben.