Application Note

Effektive USB 3.1 Filterung und Schutz

ANP007 // ROBERT SCHILLINGER // DR. RICHARD BLAKEY

1 Einleitung

Der USB-Anschluss und -Standard sind eine der am weitesten verbreiteten und erfolgreichsten Schnittstellen, die jemals verwendet wurden. Die Anwendungen sind kommerziell und industriell und beide haben die Entwicklung des Standards beschleunigt. Der USB-Standard wurde auf Version 3.1 aktualisiert. Dieser Standard erhöht die Datenübertragungsgeschwindigkeiten auf 5 GBit/s (Gen 1) und 10 GBit/s (Gen 2). Aufgrund der immer höheren Auflösung von Medien- und Netzwerkdatenraten sind höhere Datenübertragungsgeschwindigkeiten erforderlich.

Die Erhöhung der Datenübertragungsgeschwindigkeit bedeutet, dass wichtige Parameter berücksichtigt werden müssen, da dies Auswirkungen auf die Datenübertragungsleitungen hat. Die Dämpfung unerwünschter Signale bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Geschwindigkeit und Integrität des Datentransfers ist von größter Wichtigkeit für die EMI-Kompatibilität. Für High-Speed-Datenleitungen verfügt Würth Elektronik über Gleichtaktdrosseln für die EMI-Unterdrückung und TVS-Dioden für den ESD-Schutz. Die WE-CNSW HF Serie wurde entwickelt, um Gleichtakt-Rauschsignale zu dämpfen und gleichzeitig die Signalintegrität von bis zu 10 GBit/s zu erhalten. Mit der WE-TVS Serie steht eine Diodenserie für den ESD-Schutz mit sehr geringen Kapazitäten (< 0,6 pF) zur Verfügung und ist die ideale Wahl für höhere Frequenzen. Diese Komponenten eignen sich auch gut für andere Schnittstellen mit hohen Datenraten wie HDMI 4K, DisplayPort oder GBit LAN.

In dieser Application Note werden die Komponenten beschrieben, die zum Schutz von USB 3.1-Geräten und zur Dämpfung von EMI erforderlich sind, welche dazu führen können, dass das Gerät die EMV-Prüfung nicht besteht. Dies wird am USB Type-C Dongle (Abbildung 1) demonstriert, um die Effektivität der Komponenten zu charakterisieren. Informationen und Komponenten, die für den USB 2.0 Standard geeignet sind, finden Sie in folgenden Application Notes:

- **ANP002 – Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen**
- **ANP024 – Das USB Interface aus EMV Sicht**

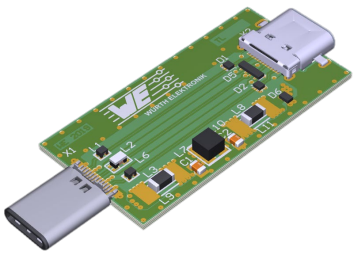

Abbildung 1: USB-C-Dongle zur Demonstration der Filterung und des Schutzes von USB 3.1

2 EMV-Überlegungen bei symmetrischen Datenleitungen

Die USB-Schnittstelle ist eine bidirektionale, symmetrische Schnittstelle (Abbildung 2).

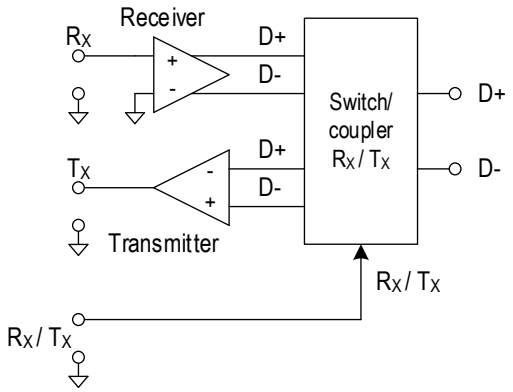

Abbildung 2: Die USB-Schnittstelle ist symmetrisch und bidirektional

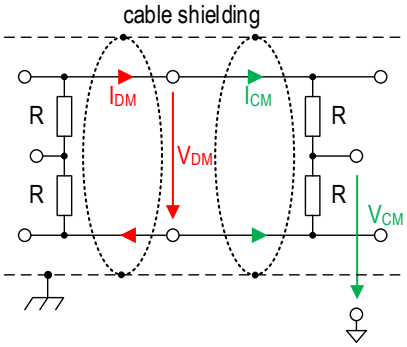

Abbildung 3: Die symmetrische Schnittstelle mit ihren messbaren Störspannungen

V_{DM}, (engl. Voltage Differential Mode) Störspannung zwischen den Signalleitungen und V_{CM}, (engl. Voltage Common Mode) Störspannung zwischen dem Spannungsmittelpunkt und der Referenzspannung (Masse, Kabelschirm) sind beide messbar. Dies bedeutet, dass sowohl Gegentakt- als auch Gleichtaktstörspannungen den USB-Übertragungsweg beeinflussen können. Dies kann eine Störung von der Schnittstelle selbst oder eine elektromagnetische Wirkung von der Umgebung in Form einer induktiven, kapazitiven oder Wellenkopplung sein.

2.1. Störabstrahlung

Im Fall der USB-Übertragung wird die Gegentaktinterferenz hauptsächlich durch nichtlineare Signaloberwellen aufgrund von Impedanz-fehlanpassungen und unzureichendem Schaltungsdesign erzeugt. Asymmetrie des Übertragungspfades (z.B. Sender, Platinenbahnen, Leiterbahnen, Filter oder Kabel) kann zu Störausstrahlung und Beeinträchtigung der Signalqualität führen.

Application Note

Effektive USB 3.1 Filterung und Schutz

Gleichtaktstörung entsteht durch parasitäre Kopplung in der Schaltungsumgebung des USB-Controllers. Dies liegt in der Regel an der kapazitiven Kopplung des USB-Signals mit steigender Störfrequenz und zunehmender Amplitude. Diese Interferenztypen sind jedoch auf beiden USB-Leitungen in Phase und mit gleicher Amplitude vorhanden und daher wird die Auswirkung auf das Nutzsignal verringert. Asymmetrien im Kabel oder am Empfänger wandeln jedoch häufig den ursprünglichen Gleichtakt in ein Gegentaktstörsignal um, das dann zur Signalbeeinträchtigung beitragen kann (Abbildung 4).

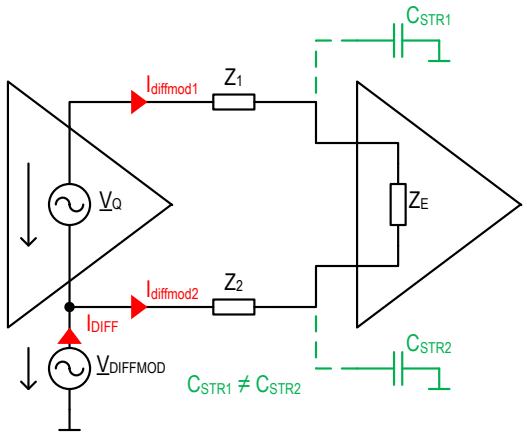

Abbildung 4: Umwandlung der Gegentaktstörung in eine Gleichtaktstörung aufgrund von parasitären Kopplungskapazitäten in dem einen Kanal eines differenziellen Paars

2.2. Störfestigkeit

Gegentaktdatenübertragung bietet einen signifikanten Vorteil gegenüber einem einfachen Koaxialkabel, wenn es zu Interferenzen auf dem USB kommt. Abhängig von der Schirmwirkung eines Koaxialkabels koppelt eine Spannungsspitze, beispielsweise von einem parallelen Netzkabel, in die Datenleitung ein und interferiert mit dem Datensignal (Abbildung 5). Dies führt zu Daten- oder Kommunikationsfehlern, die von der Störsignallänge und -amplitude abhängen.

Symmetrische Übertragungstechniken haben zahlreiche Vorteile, darunter geringere Störemission und höhere Störfestigkeit (Abbildung 3).

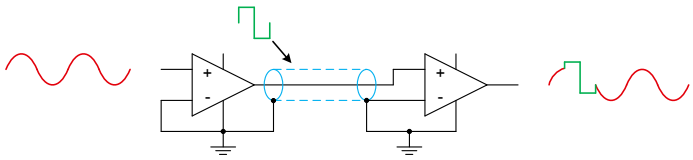

Abbildung 5: Einfluss von Störungen auf einen koaxialen Datenübertragungsweg

Abbildung 6 stellt den Fall der Gegentakt-Datenübertragung mit verdrillten Doppelleitungen dar. Die Polarität des Nutzsignals wird umgekehrt, so dass sich gleiche, aber entgegengesetzte Signale ausbreiten. Die Signaldifferenz wird am Eingang des Empfängers ausgewertet. Das Störsignal wirkt sich auf beide Leitungen in der gleichen Phase aus, so dass es sich beim Empfänger nicht als Störsignal auswirken kann.

Außerdem wird bei einem induktiven Störeffekt (Magnetfeld) durch die Verdrillung der Drähte eine Kompensation erreicht. Aufgrund der Symmetrie der Teilinduktivitäten des jeweiligen verdrillten Leiters kompensieren sich die Störeinflüsse gegenseitig.

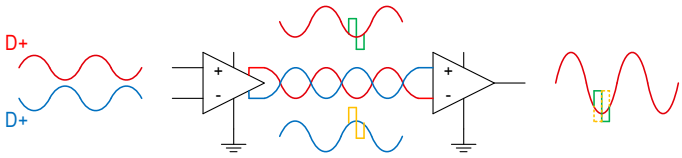

Abbildung 6: Kompensation der elektrischen Störkopplung des differentiellen Mode-Signaleingangs und verdrillter Adernpaare.

2.3. Möglichkeiten der Emissionsminderung und Erhöhung der Störfestigkeit

Es ist in der Praxis offensichtlich, dass Interferenzemissionen nicht vollständig verhindert werden können und daher die Störfestigkeit hohe Anforderungen stellt. Der Grund liegt in vielen Details, von denen diese am wichtigsten sind:

- Die Ein-/Ausgänge des USB-Controllers sind nicht ausreichend symmetrisch; Das USB-Signal zeigt eine Gleichtaktstörung an.
- Das Layout ist nicht HF / EMV-kompatibel, parasitäre Kapazitäten und das Fehlen der Wellenimpedanzanpassung erzeugen Gleichtaktstörungen.
- Das Schaltungsdesign (USB-Filter) ist unzureichend, die Filter beeinflussen die Signalqualität und / oder die Einfügedämpfung ist zu gering.
- Das Interface-Design (Buchse, Gehäuse) ist unzureichend, eine schlechte Masse reduziert die Schirmdämpfung des Kabels, Filter haben eine schlechte Erdungsreferenz.
- Das USB-Kabel ist asymmetrisch, schlecht abgeschirmt, hat unzureichende Masseverbindung. Das Kabel verschlechtert die Signalqualität, strahlt Signaloberwellen aus und hat eine unzureichende Schirmdämpfung gegenüber externen Störquellen.

Application Note

Effektive USB 3.1 Filterung und Schutz

2.4. Methoden zur Reduzierung von Störabstrahlungen und Verbesserung der Störfestigkeit

Gleicktaktdrosseln (engl: Common Mode Chokes/CMC) sind die wichtigsten Bauteile für die Dämpfung von Störungen. Mit USB 3.1 werden extrem niedrige Kapazitäten zwischen Datenleitung und Masse benötigt. Die Werte hängen stark von den Eigenschaften der CMC ab; sie muss einen hohen Grad an Symmetrie und eine niedrige Streukapazität zwischen den zwei Wicklungen aufweisen. Darüber hinaus muss die Ferritpermeabilität im Frequenzbereich des Datensignals einen niedrigen Realteil aufweisen, um unerwünschte Reflexionen an der CMC zu reduzieren. Der Imaginärteil der Permeabilität sollte innerhalb des zu filternden Frequenzbereichs den Höchstwert aufweisen. Transiente Störsignale wie ESD und Bursts können generell mit Varistoren begrenzt werden, zum Beispiel SMD-Multilayer-Varistoren, die besonders schnell sind und ein hohes Maß an Energie aushalten. Ihre Kapazität ist jedoch im Allgemeinen zu hoch, was möglicherweise das Signal verfälscht wodurch sie wiederum ungeeignet werden um Transienten in USB 3.1-Datenleitungen zu begrenzen. Die transiente Begrenzung mit Dioden ist in Abbildung 7 dargestellt. Die Transienten sind gegen Erde begrenzt, sowohl auf D+ als auch auf D- bis zur Durchlassspannung UF der Dioden. Diese Spannung beträgt etwa 0,7 V für Siliziumdioden. Hier tritt nun eine Problematik auf, weshalb das Diodenpaar unten mit zwei rote Blitzen gekennzeichnet ist: Die Signalspannung des "Mid-Speed" -Signals beträgt bis zu 2,8 V (D+ bis D-), also 1,4 V gegen Masse. Der positive Zweig muss daher mit einem "Offset" versehen werden, um die höhere Signalspannung nicht zu beeinträchtigen.

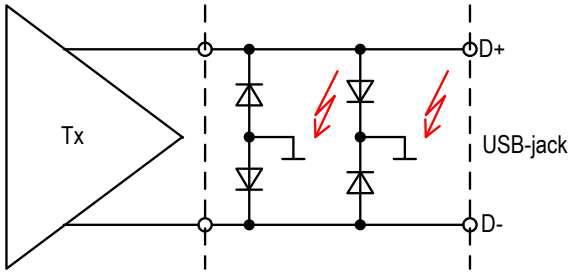

Abbildung 7: Dioden-Array zur Reduzierung gekoppelter Transienten (Burst, ESD) an der USB-Schnittstelle

Eine zusätzliche TVS-Diode mit einer Begrenzungsspannung von 6 V setzt den Schwellwert auf ca. 6,7 V. Dies ist ein ausreichender Schutz, da TVS-Dioden mit niedrigeren Begrenzungsspannungen zu langsam sind, um ESD zu begrenzen. Die Spannungspegel sind in Abbildung 9 dargestellt. Über die zusätzliche Diode D_5 in Abbildung 8 kann gleichzeitig eine transiente Begrenzung beim Anschluss der Versorgungsspannung erreicht werden! Obwohl die Kapazität der TVS-Diode mit 5 pF niedrig ist, wäre sie für USB 3.1 zu hoch. Da V_{R1} in Reihe mit D_3 und D_4 liegt, reduziert jedoch die Kapazität von V_{R1} die Gesamtkapazität, die das Signal beeinflusst, da D_3 und D_4 Kapazitäten von ungefähr 2 pF aufweisen. Die Kondensatoren sind in Bezug auf das Signal in Reihe mit D_3 und D_4 angeordnet, es gibt eine kapazitive Gesamtsignal-zu-Signal-Last von 2 pF und ein Signal gegen Erde von ungefähr 3 pF.

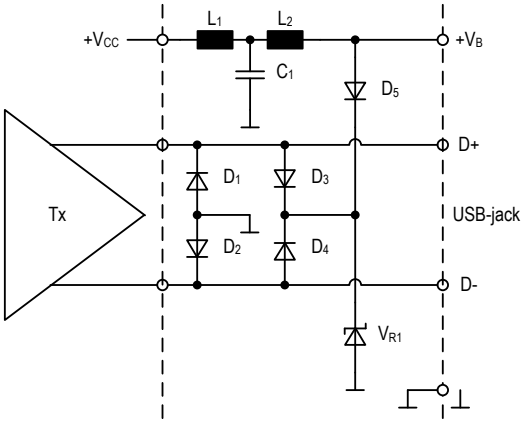

Abbildung 8: Diodenarray zur Reduzierung von gekoppelten Transienten (Burst, ESD) an der USB-Schnittstelle mit "Offset" für höhere Signalpegel

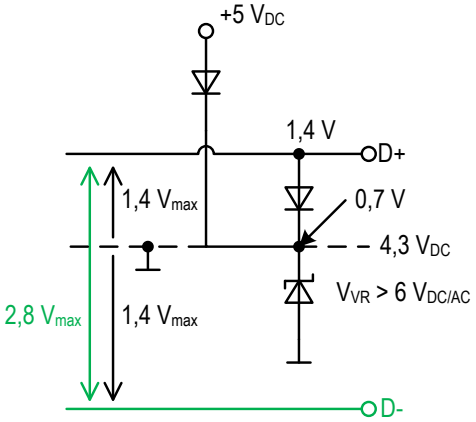

Abbildung 9: Spannungspegel der positiven Diodenstrecke

Für die Versorgungsspannung kann ein Tiefpass-π-Filter mit zwei Keramikkondensatoren und einer Induktivität verwendet werden (Abbildung 10). Die Stromtragfähigkeit ist ein wichtiger Parameter, der in den Datenblättern angegeben ist. Die Komponenten sollten so gewählt werden, dass sie für die jeweilige Leistungsabgabe geeignet sind.

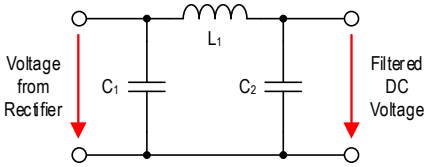

Abbildung 10: π-Filter-Topologie

Application Note

Effektive USB 3.1 Filterung und Schutz

WÜRTH ELEKTRONIK

3 Hochfrequenz-Gleichtaktdrosseln

Gleichtaktdrosseln sind Induktivitäten mit zwei oder mehreren isolierten Wicklungen. Durchläuft ein Gleichtaktsignal das Bauteil, entsteht ein Magnetfluss im Kern, der bei bestimmten Frequenzen zu einer hohen Impedanz führt. Da Gegentaktsignale den magnetischen Fluss im Kern aufheben, ist die Impedanz niedrig, so dass das Signal nahezu ungedämpft passieren kann.

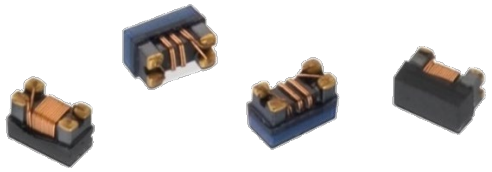

Abbildung 11: WE-CNSW HF

Das Augendiagramm in Abbildung 12 vergleicht die **WE-CNSW** (linke Seite) und die **WE-CNSW HF** (rechte Seite) mit 5 GBit/s. Beide Komponenten haben im Gleichtakt nahezu die gleiche Impedanz (Abbildung 15). Der Hauptunterschied liegt in der Gegentaktimpedanz. Der Unterschied ist groß genug, um zu sehen, dass das Auge mit der Standardversion kleiner ist.

Bei 2,5 GBit/s ist der Unterschied geringer (Abbildung 13). Die Oberwellen des Signals werden nicht durch die Hochfrequenzkomponente oder die Standardkomponente gefiltert.

Der Unterschied zwischen der WE-CNSW und WE-CNSW HF ist für diese Datenrate nicht signifikant. Weder bewirkt das Signal, dass die beiden WE-CNSW-Serien in diesem Frequenzbereich eine niedrige differentielle Impedanz aufweisen. Mit steigender Frequenz des Signals erhöht sich jedoch die Relevanz der differentiellen Impedanz. Bei der WE-CNSW beträgt die Grenzfrequenz etwa 2 GHz, während bei der WE-CNSW HF die Grenzfrequenz viel höher ist, während sie im Gleichtakt immer noch die gleiche Impedanz aufweist. Bei einer Datenrate von 7 GBit/s dämpft die WE-CNSW auch die Grundfrequenz des Signals, während die WE-CNSW HF nur die hochfrequenten Oberwellen dämpft, was zu dem bestandenen Augendiagramm führt (Abbildung 14).

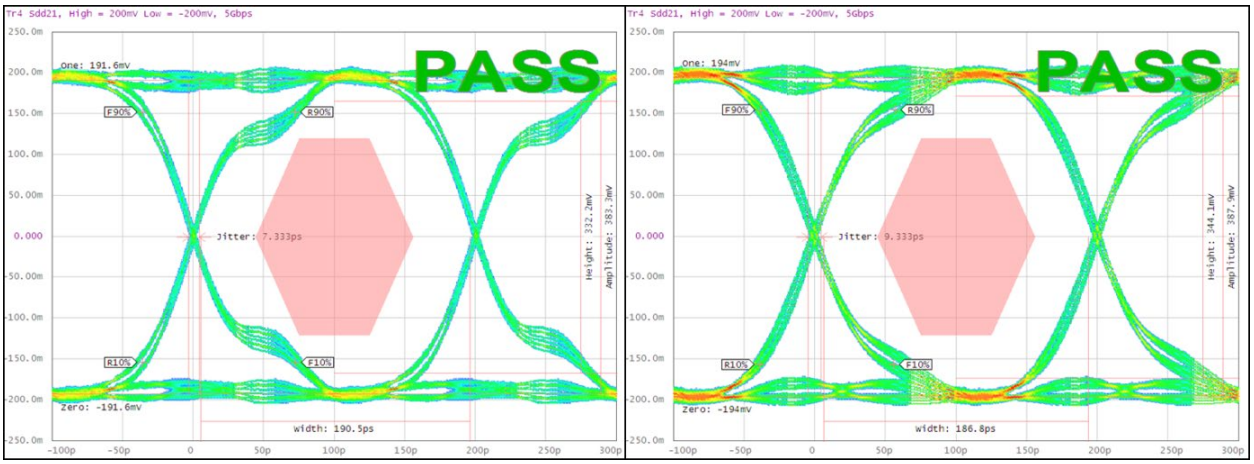

Abbildung 12: Augendiagramm mit dem WE-CNSW Filter (links) und dem WE-CNSW HF Filter (rechts) bei 5 GBit/s

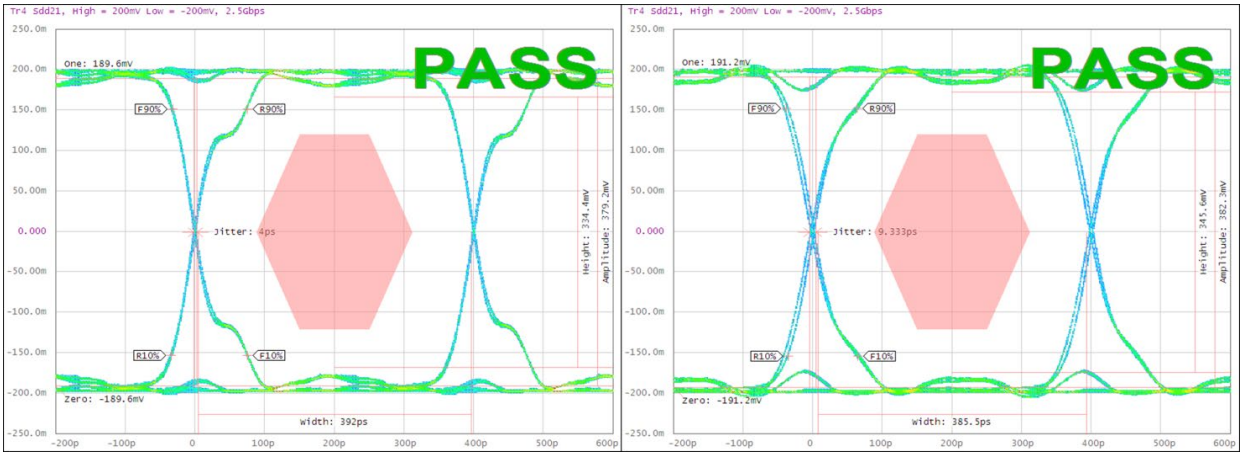

Abbildung 13: Augendiagramm mit dem WE-CNSW-Filter (links) und dem WE-CNSW HF-Filter (rechts) mit 2,5 GBit/s

Application Note

Effektive USB 3.1 Filterung und Schutz

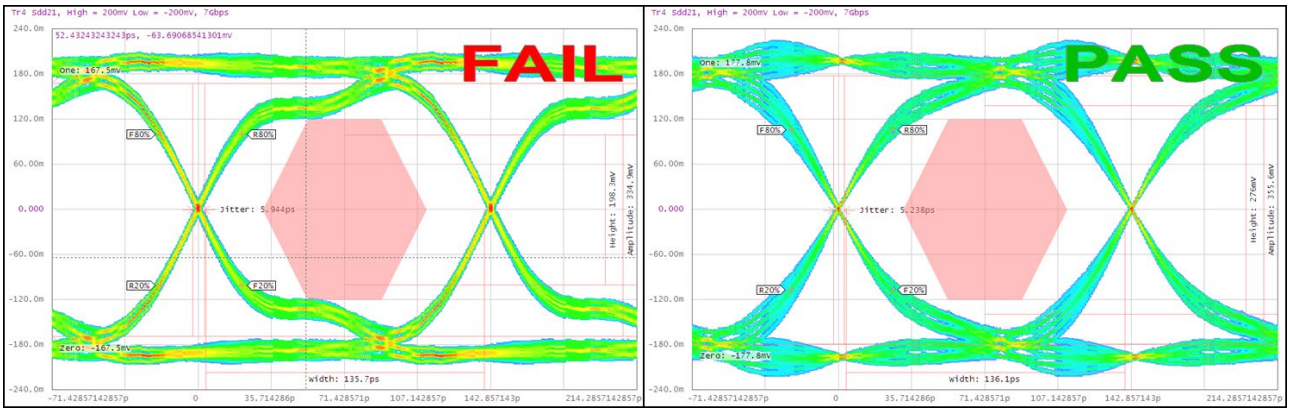

Abbildung 14: Augendiagramm mit dem WE-CNSW-Filter (links) und dem WE-CNSW HF-Filter (rechts) mit 7 GBit/s

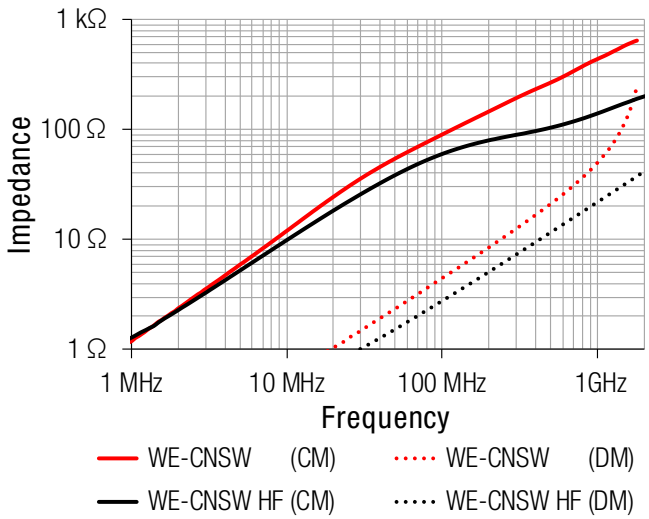

Abbildung 15: Vergleich zwischen der Gleichtakt- und der Gegentaktimpedanz der WE-CNSW (744 231 091) und der WE-CNSW HF (744 233 56 00)

4 TVS-Dioden (Transient Voltage Suppression)

Aufgrund ihrer Konstruktion werden moderne Halbleiter mit einer extrem kleinen Toleranz gegenüber hohen Spannungen hergestellt. Der integrierte ESD-Schutz funktioniert normalerweise bis zu 500 V, aber in den meisten Anwendungen ist ein höherer Schutz erforderlich, um eine stabile und langlebige Funktionalität zu gewährleisten.

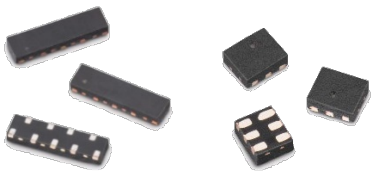

Abbildung 16: WE-TVS Super Speed Series

Würth Elektronik führt die Hochfrequenz-TVS-Dioden-Array-Serie mit dem Namen **WE-TVS Super Speed Series**. Diese TVS-Diodenarrays schützen gegen ESD-Impulse gemäß EN 61000-4-2. Aufgrund ihrer extrem niedrigen Kapazität (< 0,6 pF) sind sie für Daten mit hoher Bitrate wie USB 2.0, VGA und Ethernet nahezu unsichtbar.

Darüber hinaus sind die **WE-TVS High-Speed-Serie** Hochleistungs-TVS-Dioden-Arrays mit Überspannungsschutzdioden. Sie sind eine ausgezeichnete Wahl zum Schutz von Hochgeschwindigkeits-Datenleitungen wie USB 3.1, HDMI 2.0 und Gbit Ethernet. Die WE-TVS High-Speed Series übertrifft die Anforderungen der EN 61000-4-2. Aufgrund ihrer extrem niedrigen Kapazität (< 2,0 pF) sind sie auf den Signalleitungen nahezu unsichtbar.

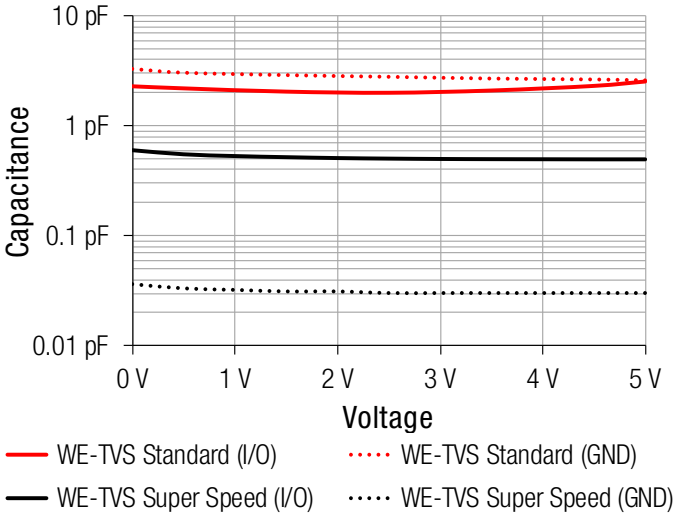

Abbildung 17: Vergleich der Pin-Kapazität zwischen der WE-TVS High Speed Serie (824 001 52) und der WE-TVS Super Speed Serie (824 014 885)

Application Note

Effektive USB 3.1 Filterung und Schutz

WÜRTH ELEKTRONIK

5 USB-Typ-C-Dongle

Moderne Anforderungen drängen darauf, dass ein Universalbus (USB) kleiner, dünner und leichter wird. Der USB-Typ-C-Stecker wurde parallel zum USB 3.1-Standard (SuperSpeed +, USB 3.1 Gen 2) entwickelt, der den aktualisierten Standard von USB 3.0 (jetzt USB 3.1 Gen 1) darstellt. Der Anschluss umfasst jetzt 24 Pins (Abbildung 18), die vier Power / Ground-Paare, zwei Differentialpaare (nicht SuperSpeed +) und vier SuperSpeed + -Paare (zwei für USB 3.1). USB Type-C hat Datenraten von bis zu 10 Gbit/s durch Verwendung der zwei zusätzlichen Leitungspaare (von USB 3.0) und kann mindestens 3 A (bis zu 60 W) tragen, maximal bis zu 5 A (100 W). Um die Signalintegrität bei diesen Geschwindigkeiten aufrechtzuerhalten, muss die Kapazität von ESD-Bauteilen noch niedriger sein als die für USB 2.0, während CMCs ebenfalls bei höheren Frequenzen eine Impedanz gegenüber Gleichtaktrauschen darstellen müssen.

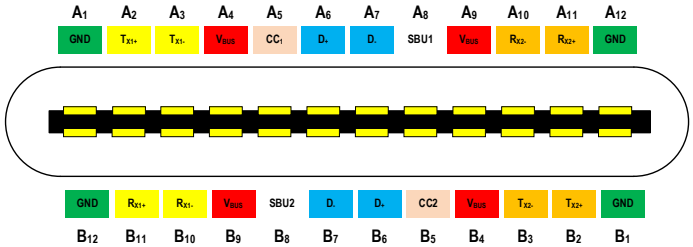

Abbildung 18: USB-Typ-C-Pin-Layout

Aus dem obigen Pin-Layout sind die Versorgungspaare A_1/A_4, A_9/A_{12}, B_1/B_4 und B_9/B_{12}, die SuperSpeed + -Paare $A_2/A_3/B_{10}/B_{11}$ und $A_{10}/A_{11}/B_2/B_3$ und die Nicht-SuperSpeed + A_6/A_7 und B_6/B_7. Diese drei Funktionen können separat behandelt werden, und der erforderliche Schutz und die Filterung sind nachfolgend zu sehen (Abbildung 19).

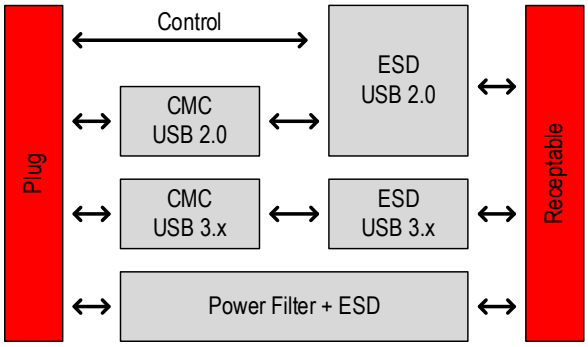

Abbildung 19: Blockdiagramm des USB-Dongle Typ-C

Zusätzlich wird mit A_5/B_5 die Verbindung erkannt und die Schnittstelle konfiguriert. A_8/B_8 kann für Audio oder zusätzliche Funktionen verwendet werden, die noch nicht festgelegt wurden. Die nominale differentielle Impedanz von USB 3.1-Datenleitungen beträgt 90 Ω, die im differenziellen Microstrip des Dongles eingehalten werden müssen. Z_0 wird unter Verwendung der Standard-Mikrostreifenformel (1) berechnet. Um eine Impedanzanpassung zu erreichen, müssen die Leiterbahnbreite w und die Höhe t, der Leiterbahnabstand s der differentiellen Datenleiterbahnen zusätzlich zu der PCB-Permittivität und der Dicke h berücksichtigt werden (Gleichung 2).

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\varepsilon_r + 1.41}} \ln\left[\frac{5.98\,h}{(0.8\,w + t)}\right] \qquad (1)$$

$$Z_{diff} = 2 \cdot Z_0 \cdot \left[1 - 0{,}48 \cdot e^{\left(-0{,}96 \cdot \frac{s}{h}\right)}\right] \qquad (2)$$

Die berechneten Parameter wurden wie folgt implementiert (Abbildung 20).

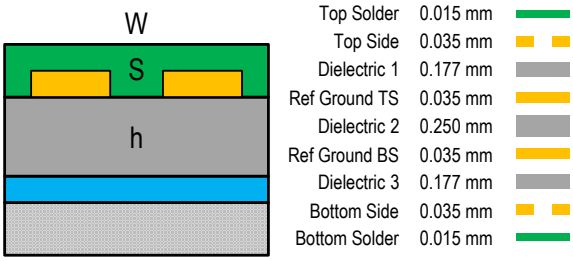

Abbildung 20: Leiterbahnengröße und PCB-Layer-Stack zur Erzielung einer Leitungsimpedanz von 90 Ω. (w = 220 µm, s = 150 µm, h = 177 µm).

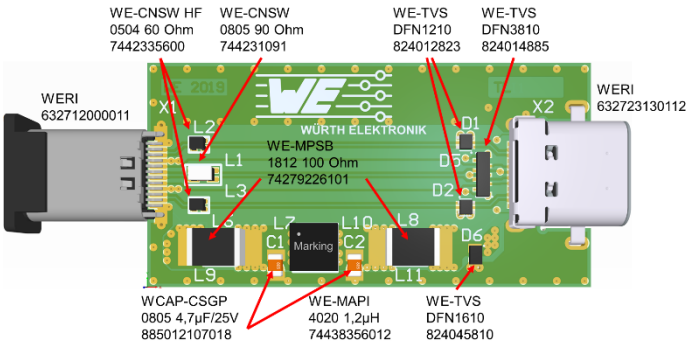

Abbildung 21: Visualisierung des USB-Dongles

5.1. USB 3.1 Stromversorgung

Wie bereits erwähnt, können die Leistungskanäle des USB-Typ-C-Steckers bis zu 100 W (20 V / 5 A) verarbeiten, wenn das Kabel für diese Leistung ausgelegt ist. Die meisten Anwendungen verwenden diese hohe Leistungsfähigkeit jedoch nicht. Daher kann der Filter so ausgelegt sein, dass er die von der Anwendung benötigte Leistung toleriert. Der USB 3.1 Standard gibt eine Datenrate von 5 GBit/s (Gen.1) und 10 GBit/s (Gen. 2) an. Um jegliche hochfrequente Rauschkopplung zu der Stromleitung zu dämpfen, kann ein Tiefpassfilter mit einer Grenzfrequenz von ungefähr 1/10 der Datenrate verwendet werden.

Application Note

Effektive USB 3.1 Filterung und Schutz

5.2. 100 W (20 V / 5 A) Anwendungen

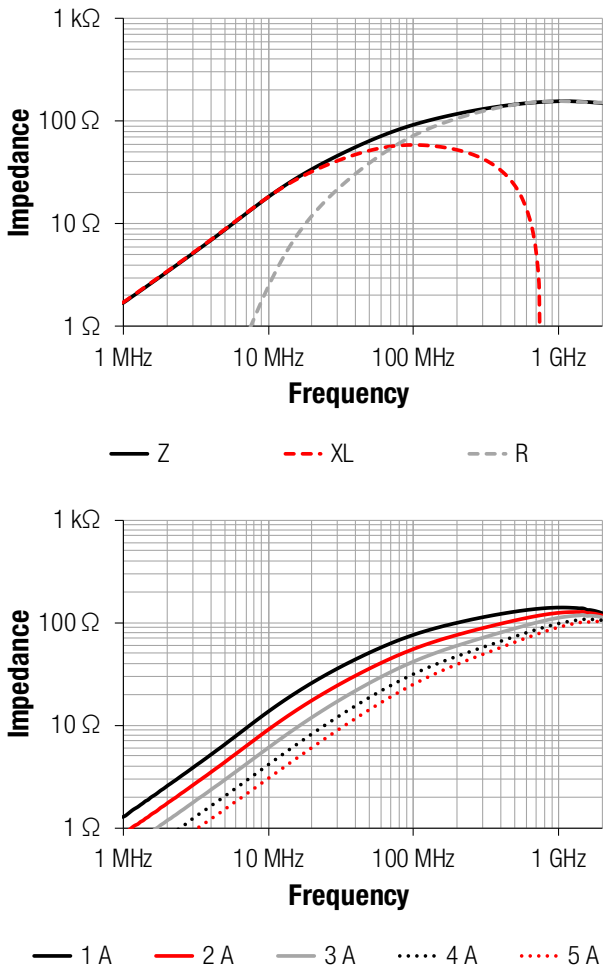

Abbildung 22: Komplexe Impedanzkurve und der Einfluss von Gleichstrom auf die Impedanz des WE-MPSB SMD Ferrits (742 792 261 01)

Der **WE-MSPB** (**742 792 261 01**) Ferrit hat seine maximale Impedanz im Bereich von ca. 100 MHz bis 1000 MHz, in der bei der USB-Datenübertragung das höchste Interferenzniveau zu erwarten ist. Bei 750 MHz wirkt der Ferrit wie ein ohmscher Widerstand ohne reaktive Komponenten. Oberhalb dieser Resonanzfrequenz dominiert das kapazitive Verhalten die Impedanz. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Parameter, die Impedanzkurve ist in Abbildung 22 dargestellt.

Merkmal	Test Bedingungen	Wert	Toleranz
Z	100 MHz	100 Ω	± 25 %
Z_{max}	1100 MHz	160 Ω	Typ.
I_R	ΔT = 40 K	8 A	Max.
R_{DC}		4.5 Ω	Max.

Tabelle 1: Elektrische Daten des WE-MPSB SMD-Ferrit (742 792 261 01)

Merkmal	Test Bedingungen	Wert	Toleranz
C	1±0.2 V_{RMS}; 1 kHz ± 10 %	4.7 µF	± 20 %
U_R		25 V	Max.
DF	1±0.2 V_{RMS}; 1 kHz ± 10 %	≤ 10 %	Typ.
R_{ISO}	Apply U_R for 120 s max	≥ 0.02 GΩ	

Tabelle 2: WCAP-CSGP (885 012 107 018) elektrische Eigenschaften

Zusätzlich wird ein Filter benötigt, um zusätzliches Hochfrequenzrauschen zu umgehen. Ein π-Filter wurde gewählt, da sie eine hohe Einfügungsdämpfung aufweisen, da sowohl die Source als auch die Senke in der Stromversorgung eine niedrige Impedanz aufweisen. Dies führt zu einer optimalen Fehlanpassung und daher zu einer maximalen Unterdrückung. Der folgende Filter wurde unter Verwendung bekannter Filtergleichungen implementiert.

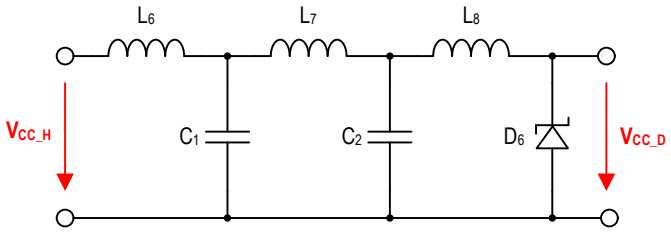

Abbildung 23: Implementierte SMD-Ferrite, π-Filter und TVS-Diodentopologie für 100 W Leistung

Index	Serie	Artikel Nummer	Wert
L_6	WE-MPSB 1812	**742 792 261 01**	100 Ω
L_7	WE-MAPI 4020	**744 383 560 12**	1,2 µH
L_8	WE-MPSB 1812	**742 792 261 01**	100 Ω
C_1	WCAP-CSGP 0805	**885 012 107 018**	4,7 µF / 25 V
C_2	WCAP-CSGP 0805	**885 012 107 018**	4,7 µF / 25 V
D_6	WE-TVS	**824 045 810**	20 V

Tabelle 3: Ausgewählte Bauteile für den 100 W Aufbau

5.3. 60 W (20 V / 3 A) Anwendungen

Da ein Spezialkabel für 100 W Leistung benötigt wird, verwenden die meisten Anwendungen 60 W oder weniger, was die höchste Nennleistung eines "normalen" Kabels ist. Daher ist es nicht zwingend notwendig, einen Filter zu implementieren, der 100 W verarbeiten kann. Der folgende Filter ist in ähnlicher Weise wie der 100 W-Filter implementiert, verwendet jedoch Komponenten mit niedrigerer Stromtragfähigkeit und hat daher einen kompakteren Aufbau.

Application Note

Effektive USB 3.1 Filterung und Schutz

Index	Serie	Artikel Nummer	Wert
L_6	WE-MPSB 1206	742 792 211 11	110 Ω
L_7	WE-MAPI 3020	744 383 360 12	1,2 µH
L_8	WE-MPSB 1206	742 792 211 11	110 Ω
C_1	WCAP-CSGP 0805	885 012 107 018	4,7 µF / 25 V
C_2	WCAP-CSGP 0805	885 012 107 018	4,7 µF / 25 V
D_6	WE-TVS	824 045 810	20 V

Tabelle 4: Ausgewählte Bauteile für den 60 W Aufbau

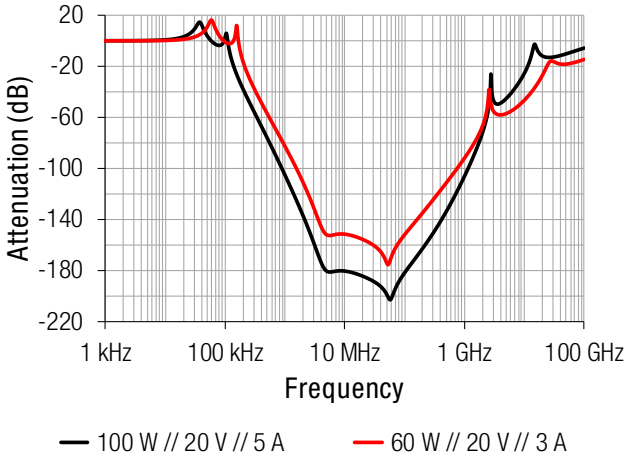

Abbildung 24: Simulierte Dämpfung des Netzfilters für 60 W und 100 W im Vergleich

5.4. 5.2 USB 3.1 SuperSpeed + Kanäle

Die WE-CNSW HF (744 233 56 00) ist das Herz des Datenleitungsfilters. Aufgrund ihrer Wickeltechnologie weist die WE-CNSW HF eine hohe Symmetrie und geringe parasitäre Kapazitäten auf. Die Struktur ist in Abbildung 25 gezeigt und die wichtigsten Parameter sind in Tabelle 5 angegeben.

Merkmal	Test Bedingungen	Wert	Toleranz
Z	100 MHz	60 Ω	± 25 %
U_R		20 V	Typ.
I_R	ΔT = 20 K	600 mA	Max.
R_{DC}	T = 20 °C	220 mΩ	Max.

Tabelle 5: Elektrische Eigenschaften der stromkompensierten Drossel (744 233 56 00)

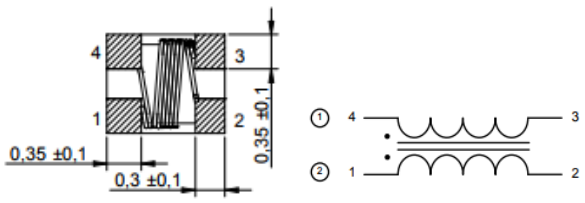

Abbildung 25: WE-CNSW HF (744 233 56 00) für den Datenleitungsfilter.

Die Impedanzkurve und die Einfügungsdämpfung der CMC im Gleich- und Gegentakt-Modus sind in Abbildung 26 dargestellt. Gleichtaktrauschen tritt auf, wenn sich die gleichen Interferenzkomponenten in der gleichen Richtung auf den positiven und negativen Leitungen in Bezug auf Masse ausbreiten. Dies ist immer der Fall bei kapazitiver oder induktiver Kopplung an der Schaltung oder deren Leiterbahnen. Daher muss diese Impedanzkomponente so hoch wie möglich sein. Bei 100 MHz hat die CMC etwa 60 Ω. Die Gegentaktimpedanz tritt aufgrund der Streuinduktivität der Wicklungsstruktur auf. Diese Impedanz muss bei der Datenfrequenz so klein wie möglich sein.

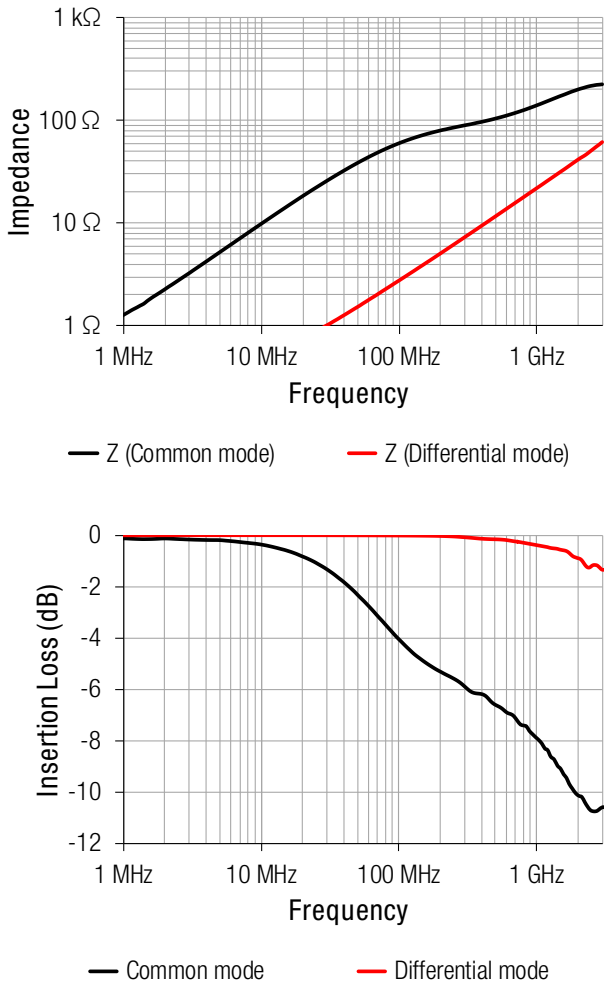

Abbildung 26: Impedanzkurve und Einfügedämpfung von WE-CNSW HF bei 50 Ω (744 233 56 00)

Das Einschließen der Kapazität in den Filter bildet einen Tiefpassfilter zweiter Ordnung. Ein Diodenarray wird hier anstelle von Kondensatoren verwendet. Die integrierten Dioden haben auch eine parasitäre Kapazität, die effektiv genutzt werden kann. Außerdem ist die parasitäre Induktivität der TVS-Dioden in der Anordnung sehr niedrig. Dies ist notwendig, um eine kurze Ansprechzeit für die Überspannungstransienten zu erreichen. Daher wird ein nahezu idealer

Application Note

Effektive USB 3.1 Filterung und Schutz

Kondensator mit einem effektiven Überspannungsschutz kombiniert. Die wichtigsten elektrischen Eigenschaften und die Struktur des Arrays sind in Tabelle 6 und Abbildung 27 dargestellt.

Merkmal	Test Bedingungen	Wert
C_{Ch}	V_{GND} = 0 V; $V_{I/O}$ = 1.65 V; f = 1 MHz; I/O to GND	0.18 $pF_{typ.}$ 0.27 $pF_{max.}$
C_X	V_{GND} = 0 V; $V_{I/O}$ = 1.65 V; f = 1 MHz; I/O to I/O	0.04 $pF_{typ.}$ 0.08 $pF_{max.}$

Tabelle 6: Elektrische Eigenschaften der WE-TVS Super Speed Serie(824 012 823)

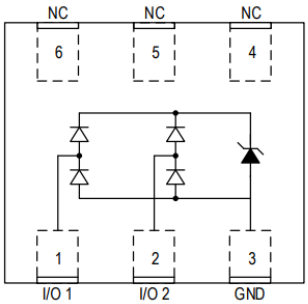

Abbildung 27: Elektrischer Schaltplan und Aufbau des Dioden-Array WE-TVS (824 012 823)

5.5. Layout

Die Leiterplatte mit ihren Leiterbahnen ist eine Anordnung von Bauteilen mit Kapazitäten und Induktivitäten. Das Layout muss daher entsprechend den Anforderungen der Schaltung ausgelegt werden. Ein einfacher LC-Tiefpassfilter kann durch ein ungünstiges Layout in seiner Effektivität erheblich beeinträchtigt werden (Abbildung 28).

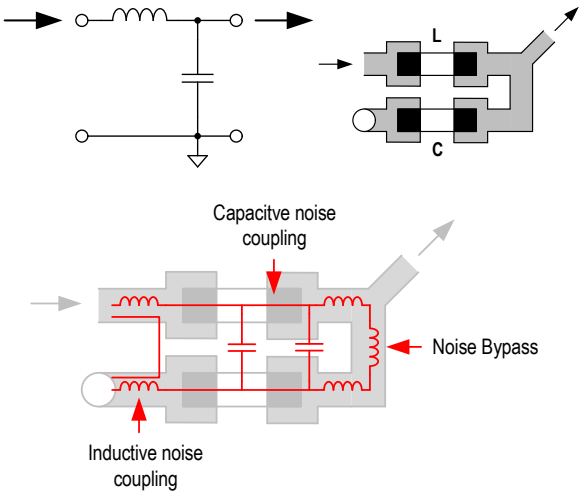

Abbildung 28: Beispiel eines Tiefpassfilters für hohe Frequenzen mit ungünstigem Layout

Es gibt eine Reihe von Problemen mit dem obigen Layout:

- Die Masseverbindung zum Kondensator ist zu lang. 1 cm Leitung entspricht ca. 6-10 nH Induktivität.
- Die Erdungsverbindung sollte direkt zum Gehäuse führen, da die Erdungsreferenz der Kabelabschirmung und die Erdungsreferenz des Filters auf demselben HF-Potential liegen müssen.
- Eine Stichleitung zum Kondensator verläuft zwischen der Spule und dem Kondensator. Diese Stichleitung ist eine zusätzliche Induktivität in Reihe mit dem Kondensator und macht den Kondensator als Ergebnis der höheren Reaktanz der Induktivität mit zunehmender Frequenz unwirksam.
- Der Filtereingang und der Filterausgang koppeln induktiv miteinander. Der Filter ist mit zunehmender Frequenz kurzgeschlossen.
- Die Komponenten koppeln kapazitiv, da sie parallel zueinander liegen. Auch hier ist die Kopplung mit zunehmender Frequenz größer.

Das korrigierte Layout mit der zugehörigen HF-kompatiblen Anordnung ist in Abbildung 29 dargestellt.

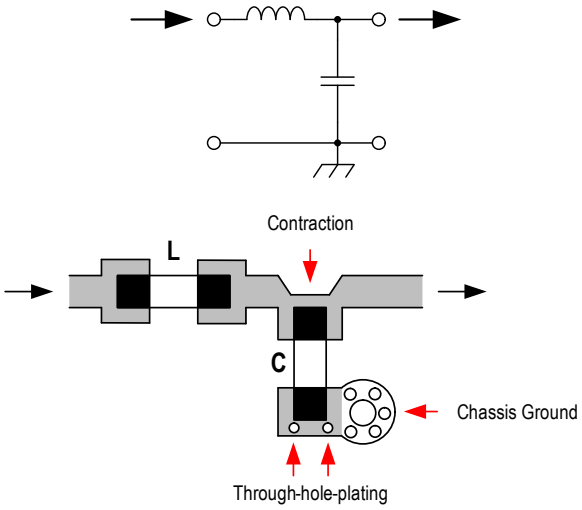

Abbildung 29: HF-optimiertes Layout des LC Filter

Dieses Layout ist besser:

- Die Einschnürung verhindert, dass Störungsstrom am Kondensator vorbeigeleitet wird. Der Kondensator "liegt" im Signalpfad.
- Die senkrechte Anordnung der Bauteile verhindert eine gegenseitige Kopplung.
- Die kurze Masseverbindung am Kondensator, die durch zwei Durchkontaktierungen niederimpedant ist, bietet einen idealen Hochfrequenzbezugspunkt für den Kondensator

Application Note

Effektive USB 3.1 Filterung und Schutz

5.6. Messung

Der Messaufbau wurde mit 1 m Kabel und dem Typ C-Dongle über ein Messfixture mit dem Analyser verbunden. Die jeweiligen Augendiagramme wurden bei 5GBit/s (USB 3.1 Gen1) aufgenommen. Abbildung 31 zeigt den Verlauf der differentiellen Impedanz Z_{diff} in einer Zeitbereichsdarstellung (TDR). Hier erkennt man auch gut die etwas zu hohe Leiterplattenimpedanz, die durch eine Poolleiterplatte ohne impedanzkontrollierte Fertigung entstanden ist. Wenn Komponenten zur Leiterplatte hinzugefügt werden (Abbildung 32), kann der Effekt auf das Signal beobachtet werden. Die graue Line entspricht der Messung einer unbestückten PCB aus Abbildung 31. Die Erste Messung enthält die CMC, die Zweite die TVS-Dioden und die Dritte zeigt den Effekt mit geschlossener Lötstoppmaske. Als Basis für die Messung bei 10GBit/s dient der Adapter mit allen Komponenten und Lötstopplack (Abbildung 30). Der Empfänger kann das Auge mit den USB-Equalizer-Einstellungen basierend auf der USB 3.1 r1.0-Spezifikation sauber öffnen. Damit ist eine Übertragung mit allen Schutzkomponenten und Steckverbindern gut möglich. Mit optimierten Komponenten können Sie im Voraus bessere Ergebnisse erzielen und somit die Reichweite erhöhen. Der Augendiagrammtest zeigt, dass die **WE-TVS** und **WE-CNSW HF** das USB 3.1-Signal nicht stören.

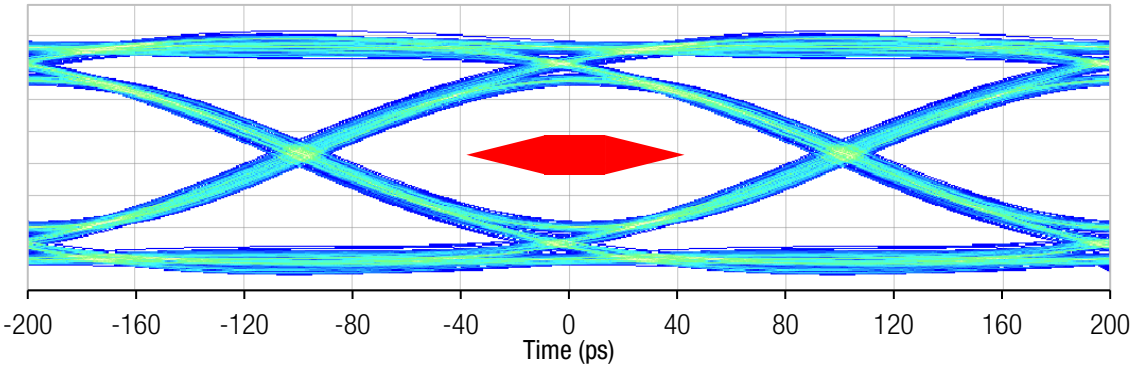

Abbildung 30: Augendiagramm des Dongles mit aktiviertem USB-Equalizer (@ 10 GBit/s).

6 Schnittstellen-Design-Kit

Um das Design von Schnittstellen zu erleichtern, hat Würth Elektronik ein dediziertes Interface Design Kit (**744 999**) auf den Markt gebracht. Dieses Design-Kit enthält eine Designanleitung für USB 2.0 zu USB 3.1, HDMI, CAN, Ethernet (100 und 1000 Base-T), VGA-, DVI-, RS232-, RS485-Schnittstellen und alle verwendeten Komponenten. Dies sind ESD-Suppressoren, SMD-Gleichtaktdrosseln, Chip Bead Ferrite, LAN-Übertrager und die entsprechenden Steckverbinder. Das Farbschema erleichtert das Auffinden der für Ihre Anwendung geeigneten Teile. Folgen Sie einfach der spezifischen Anwendungsfarbe und wählen Sie die geeigneten Teile aus. Für jede Anwendung gibt es einen **einfachen** Blockschaltplan, der zeigt, wie die verschiedenen Komponenten platziert werden, um das beste Ergebnis zu erzielen.

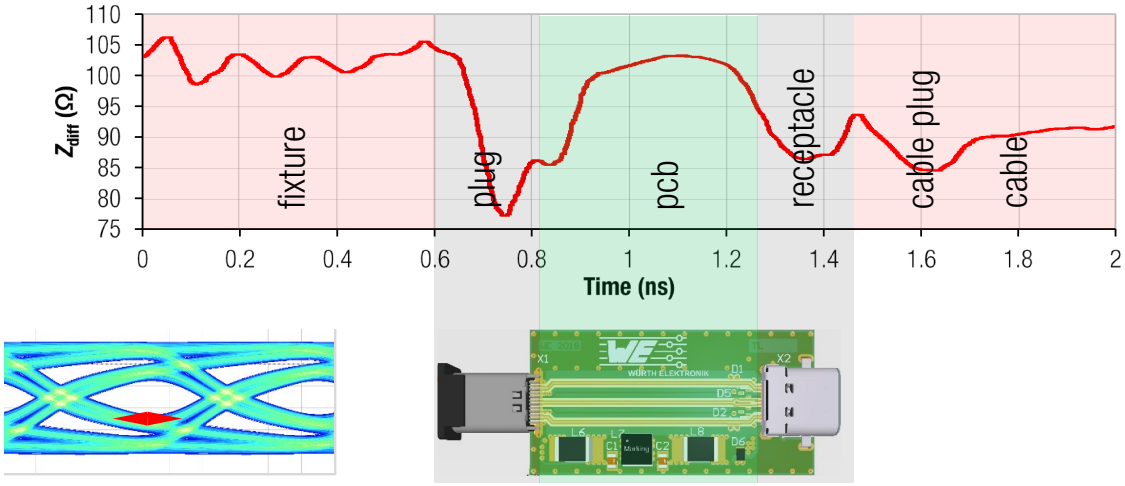

Abbildung 31: Zeitbereichsmessungen und Augendiagramm des USB-Typ-C-Dongles

Application Note

Effektive USB 3.1 Filterung und Schutz

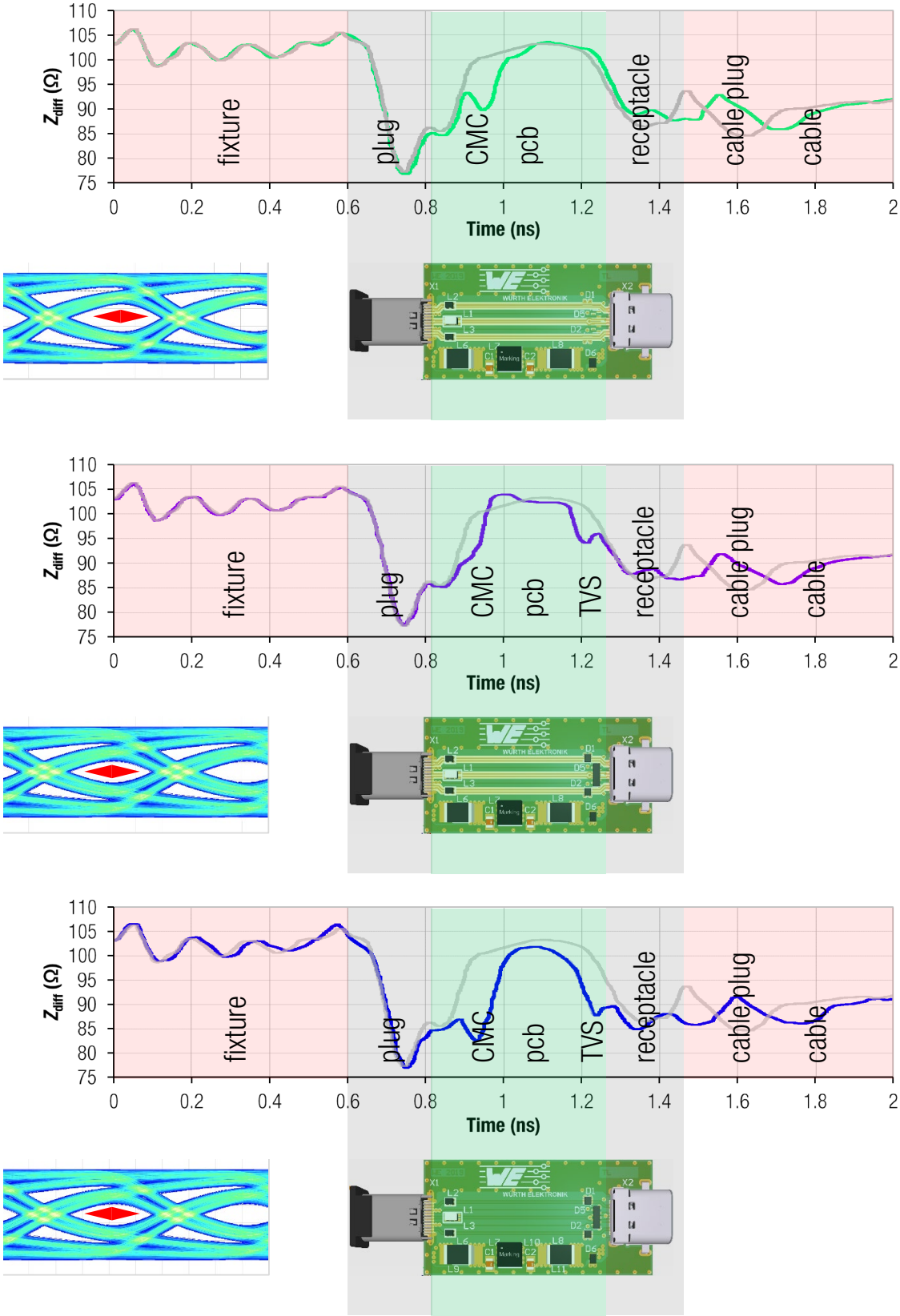

Abbildung 32: Zeitbereichsmessungen und Augendiagramm des USB-Typ-C-Dongles

Application Note

Effektive USB 3.1 Filterung und Schutz

WÜRTH ELEKTRONIK

A. Anhang

A.1. Stückliste/BOM

Index	Beschreibung	Wert	Baugröße	Artikelnummer
C_1 / C_2	WCAP-CSGP Keramik Kondensator, X5R	C = 4.7 µF (25 V)	0805	885 012 107 018
D_1 / D_2 / D_3 / D_4	WE-TVS Super Speed TVS Diode Array, 2 channel ESD Protection,	V_{DC} = 3,3 V; I_{Peak} = 3 A; $V_{ESD,Contact/Air}$ = 8/15 kV	DFN1210-6L	824 012 823
D_5	WE-TVS Super Speed TVS Diode Array, 8 channel ESD Protection	V_{DC} = 5 V; I_{Peak} = 5 A; $V_{ESD,Contact/Air}$ = 15/15 kV	DFN3810-9L	824 014 885
D_6	WE-TVS Standard Speed TVS Diode, Unidir, ESD Protection	V_{DC} = 20 V; I_{Peak} = 24 A; $V_{ESD,Contact/Air}$ = 30/30 kV	DFN1610-2L	824 045 810
L_1	WE-CNSW Stromkompensierter SMT Line Filter	L = 90 Ω @ 100 MHz	0805	744 231 091
L_2 / L_3 / L_3 / L_4	WE-CNSW HF Stromkompensierter SMT Line Filter	L = 60 Ω @ 100 MHz	0504	744 233 56 00
L_6 / L_8 (60 W Aufbau)	WE-MPSB Multilayer Power Suppression Bead	L = 100 Ω @ 100 MHz, I_R = 8 A, ESR = 6 mΩ	1812	742 792 261 01
L_6 / L_8 (100 W Aufbau)	WE-MPSB Multilayer Power Suppression Bead	L = 110 Ω @ 100 MHz, I_R = 5,4 A, ESR = 9,5 mΩ	1206	742 792 211 11
L_7	WE-MAPI SMD Speicherdrossel	L = 1.2 µH, I_R = 5.8 A	4020	744 383 560 12
X_1	WR-COM; Male USB 3.1 Type C 24 pins 90° THT & SMT LP 0.8			632 712 000 011
X_2	WR-COM Female USB 3.1 Type C 24 pins 90° THR & SMT LP mid mount 1.6			632 723 130 112

Application Note

Effektive USB 3.1 Filterung und Schutz

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.de/app-notes

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

Toolbox
www.we-online.de/toolbox

Produkt Katalog
www.we-online.de/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.de