

## APPLICATION NOTE

### ANE016 | Koaxialkabel and Kabelkonfektionen



Jason Chang

#### 01. EINLEITUNG

Die Funktion eines Koaxialkabels ist es, ein HF-Signal von Punkt A nach Punkt B über verschiedene Steckverbinderschnittstellen zu übertragen. Würth Elektronik bietet eine große Auswahl an hochwertigen Kabelkonfektionen an. Diese Application Note basiert auf Würth Elektronik Standardkabel-Typen und hilft zu verstehen, welche Punkte bei der Auswahl eines Kabels für maßgeschneiderte Kabelkonfektionen zu beachten sind.

#### 02. ERKENNEN EINES KOAXIALKABELS

Koaxialkabel sind eine Form der Übertragungsleitungen, die dazu dienen, elektrische Hochfrequenzsignale mit geringen Verlusten zu übertragen. Das Koaxialkabel unterscheidet sich von elektrischen Drähten und anderen abgeschirmten Kabeln dadurch, dass die Abmessungen, Materialeigenschaften und der Stecker des Kabels so spezifiziert werden, dass eine effiziente Übertragung von hochfrequenten Signalen gewährleistet ist.



Abbildung 1: Beispiel verschiedener Koaxialkabel.

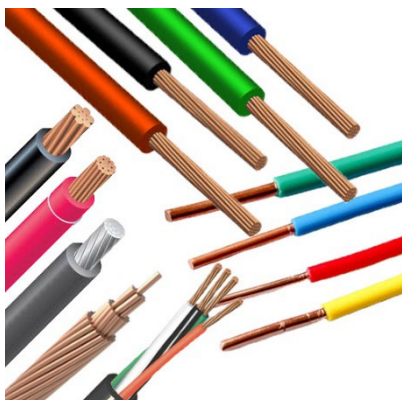


Abbildung 2: Beispiel verschiedener elektrischer Leitungen.

Koaxialkabel leiten das elektrische Signal mit Hilfe eines Innenleiters [1], der von einer dielektrischen Schicht [2] umgeben und von einer Abschirmung [3] umschlossen ist (in der Regel eine bis vier Lagen eines Metallgeflechts oder -bandes). Die meisten Koaxialkabel sind durch einen nichtleitenden Außenmantel geschützt [4].

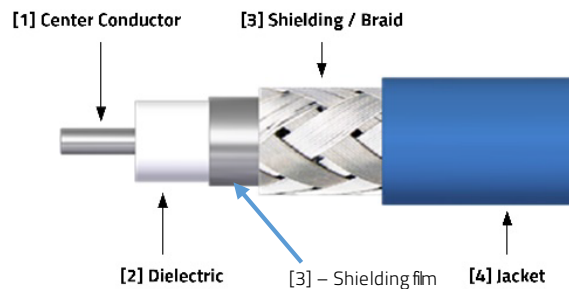


Abbildung 3: Prinzipieller Aufbau eines Koaxialkabels.

Standardmaterialien, die für die einzelnen Komponenten verwendet werden:

- |                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| ▪ Innenleiter          | Massiv oder Litze, Cu |
| ▪ Dielektrikum         | PTFE, FEP             |
| ▪ Schirmung / Geflecht | Ein- oder zweilagig   |
| ▪ Außenmantel          | PVC, PE, FEP          |

#### 03. ÜBERSICHT ÜBER DIE KOAXIALKABELTYPEN UND AUSWAHLKRITERIEN

Ziel dieses Abschnittes ist es, dem Anwender zu helfen, den geeigneten Koaxialkabeltyp für eine Applikation anhand der Merkmale des jeweiligen Kabels zu bestimmen. Um dieses Ziel zu erreichen, gibt Tabelle 1 einen Überblick über die gängigen Kabel und ihre Eigenschaften. Anhand der Tabelle können wir die Auswahl von Koaxialkabeln Schritt für Schritt durchführen.

Das Koaxialkabelportfolio von Würth Elektronik umfasst zwei Hauptkabeltypen:

1. 50 Ω Flexible Kabel
2. 50 Ω Handformbare Kabel

# APPLICATION NOTE

## ANE016 | Koaxialkabel and Kabelkonfektionen

Kabel	Typ	AD	UL	Mantel	Ansicht
RG58 RG174	Flexibel	4.95mm 2.8mm	1354	PVC	
1.13 mm 1.32 mm 1.37 mm	Flexibel	1.13mm 1.32mm 1.37mm		FEP	
Low Loss 195	Flexibel	4.95mm	-	PE	
RG178 RG316	Flexibel	1.8mm 2.48mm	1971	FEP	
RG142 RG316DB	Flexibel (Doppel- geflecht)	4.95mm 2.9mm	1971	FEP	
RG402 (.141") RG405 (.085")	Hand- formbar	3.58mm 2.15mm	1375	-	
RG405 (.085") RG047 (.047")	Flexibel	2.64mm 1.42mm	1971 1354	FEP	

Tabelle 1: WE Standard-Koaxialkabel Typenübersicht

Die meisten Koaxialkabel sind durch eine RG-Nummer (**R**adio **G**uide) gekennzeichnet, die in einer militärischen Spezifikation festgelegt ist. Die Kabel unterscheiden sich nach Innen- und Außendurchmesser, Gestaltung des Innenleiters, Art des Dielektrikums, Abschirmungsart und Mantelmaterial. Die verschiedenen RG-Nummern für jeden Koaxialkabeltyp sind hilfreich, um ihre einzigartigen Eigenschaften und Spezifikationen zu unterscheiden, obwohl die Nummern selbst keine spezifische Bedeutung haben.

Underwriters Laboratory (UL) vergibt für jede zugelassene AWM-Konstruktion (Appliance Wiring Material) eine andere "Style"-Nummer und listet einige Spezifikationen auf, wie z. B. den Messbereich, das Isoliermaterial, die Temperatur- und die Spannungsbelastbarkeit. Benutzer können auf der UL-Website Informationen über AWM-Drähte abrufen. Im Folgenden sind die sechs wichtigsten Auswahlkriterien aufgeführt, die dabei helfen, das geeignete Koaxialkabel für eine bestimmte Anwendung zu finden.

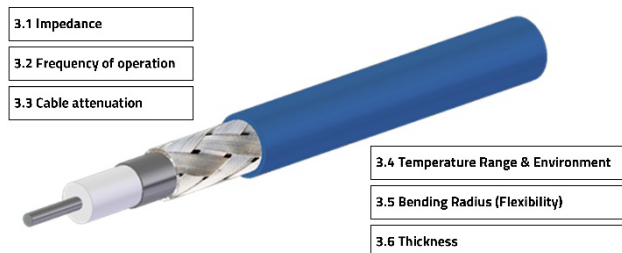


Abbildung 4: Sechs Kriterien für die Kabelauswahl nach UL.

### 3.1 Impedanz überprüfen

Die beiden wichtigsten Kabelimpedanzen auf dem Markt sind  $50 \Omega$  und  $75 \Omega$ , die Kabelkonfektionsprodukte von Würth Elektronik haben alle eine Impedanz von  $50 \Omega$ .

Die Anwendung und das Gerät bestimmen die erforderliche Kabelimpedanz.

### 3.2 Signalfrequenz

Es ist wichtig, die Bandbreite des zu übertragenden Signals zu berücksichtigen, da jedes Kabel unterschiedliche Leistungsparameter aufweist. Bei Signalen mit höheren Frequenzen kommt es aufgrund des Skin-Effekts zu größeren Verlusten, was zu einer stärkeren Dämpfung des Nutzsignals führen kann.

Außerdem sind Kabel aufgrund ihrer physischen Größe im Verhältnis zur Signalwellenlänge auf eine bestimmte Grenzfrequenz beschränkt.

DC ~ 1 GHz	DC ~ 3 GHz	DC ~ 6 GHz	DC ~ 18 GHz
RG 58 RG 174	RG 178	RG 142	RG402(.141") RG405(.085") Flexibel .047"
		RG 316	
		RG 316 DB	
		1.13	
		1.32	
		1.37	
Low Loss 195			

Tabelle 2: Nutzfrequenzbereich verschiedener Kabel

Beispiel:

Nehmen wir als Beispiel eine Wi-Fi-Anwendung. Wenn das System nur einen 2,4-GHz-Kanal benötigt, kann ein RG178-Kabel verwendet werden.

Wenn das System sowohl das 2,4-GHz- als auch das 5,8-GHz-Band nutzt, muss ein Kabel der Kategorie DC~6 GHz mit höherer Nutzbandbreite verwendet werden.

### 3.3 Kabeldämpfung

Die Kabeldämpfung stellt die Signalverringering über eine bestimmte Entfernung dar und wird in dB/m angegeben. Ein Kabel mit geringem Verlust, das in der Regel auch teurer ist, kann sich als wirtschaftlichere Lösung erweisen als ein Kabel mit höherer Dämpfung, für das ein zusätzlicher Signalverstärker erforderlich ist.

Beispiel:

Wenn man die FM-Frequenz von 108 MHz nutzen möchte, kann man zwischen RG58 und RG174 wählen. Vergleicht man die Dämpfung bei 1 GHz, so liegt das RG58-Kabel bei

# APPLICATION NOTE

## ANE016 | Koaxialkabel and Kabelkonfektionen

0,56 dB/m das RG174 bei 1,09 dB/m. Bezüglich der Signal-dämpfung wäre das RG58-Kabel eine gute Wahl, es müssen bei der Auswahl jedoch auch andere Eigenschaften wie z. B. der Biegeradius des Kabels, die Kabeldicke und weitere Parameter berücksichtigt werden. Folgend werden die wichtigsten Parameter erläutert.

### 3.4 Temperaturbereich und Umgebung

Je nach verwendetem Material können die Kabel in unterschiedlichen Umgebungen eingesetzt werden. Die meisten Kabel mit PE- oder PVC-Mantel können bis zu einer Temperatur von 80 °C und Kabel mit FEP-Mantel bis zu 200 °C verwendet werden.

- PVC ist ein robustes und langlebiges Material, das häufig für günstige Kabel verwendet wird.
- PE ist vorteilhaft gegenüber Feuchtigkeit, Witterung und UV-Beständigkeit und ist damit für Außenanwendungen geeignet.
- FEP bietet zusätzlichen Schutz gegen Öl und Chemikalien.

Mantel	Temperaturbereich	Kabeltypen
PVC	-20 ~ +80 °C	RG58, RG174
PE	-40 ~ +85 °C	Low Loss 195
FEP	-55 ~ +125 °C	1.13, 1.32, 1.37
	-55 ~ +165 °C	RG142, RG178, RG316,
	-55 ~ +165 °C	RG316 Doppel-Geflecht,
	-55 ~ +165 °C	Flexibel .047",
	-55 ~ +200 °C	Flexibel .085"
-	-65 ~ +180 °C	Handformbar .141",
	-65 ~ +180 °C	Handformbar .085"
		* Handverformbarer Außenleiter aus verzinnem Geflecht *

Tabelle 3: Temperaturbereiche verschiedener Koaxialkabel in Abhängigkeit des Mantelmaterials.

Beispiel:

Wenn ein Telekommunikationssystem ein geringes Gewicht erfordert und bei höheren Frequenzen arbeitet, sind .085", .047" und .141" Kabel eine gute Wahl. Handverformbare Kabel mit einem Außenleiter aus verzinnem Geflecht werden oft für eine einfache Installation bevorzugt, bei der sie im Inneren eines Gehäuses geschützt werden können. Flexible .047" und .085" – Kabel mit einer FEP-Kabelbuchse bieten erweiterten Schutz gegen Öl und Chemikalien. Die Spezifikationen definieren, dass diese Kabel eine Tempe-

ratur bis zu +200°C erreichen können. Aus Sicht der Produktmontage sind Kabel mit einer maximalen Umgebungstemperatur von +165°C besser geeignet, wenn es um den Lötprozess geht.

### 3.5 Biegeradius (Flexibilität)

Der Biegeradius stellt die stärkste Biegung dar, die das Kabel ohne potenzielle Schäden und Leistungseinbußen verkraften kann. Eine zu starke Biegung des Kabels beschädigt seine innere Struktur und führt direkt zu einer schlechteren Übertragungsleistung.

Der Biegeradius eines Kabels hängt nicht direkt von der Kabeldicke ab, sondern wird von der Kabelstruktur beeinflusst. Parameter sind hier:

- Struktur des Innenleiters: Massiv, hohl, Litze,
- Ausführung der Schirmung: Geflecht, Folie, Anzahl und Stärke der Schirmlagen
- Material und Stärke des Außenmantels

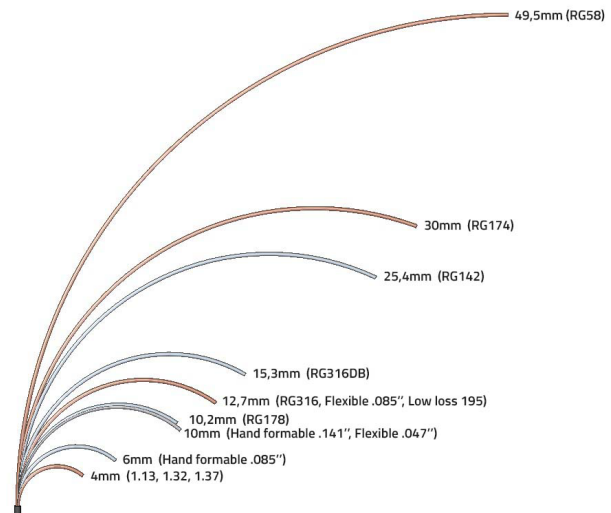


Abbildung 5: Minimaler Biegeradius verschiedener Koaxialkabel.

### 3.6 Kabeldurchmesser

Die Information über den Außendurchmesser des Kabels ist oft hilfreich für die Montage des Kabels.



Abbildung 6: Definition des Kabelaußendurchmessers

# APPLICATION NOTE

## ANE016 | Koaxialkabel and Kabelkonfektionen

Übersicht der Kabelaußendurchmesser für verschiedene Koaxialkabel:

Kabeltyp	Außendurchmesser [mm]
1.13	1.13
1.32	1.32
1.37	1.37
Flexibel .047"	1.42
RG178	1.80
RG405(.085")	2.15
RG316	2.48
Flexibel .085"	2.64
RG174	2.80
RG316 Doppel-Geflecht	2.90
RG402(.141")	3.58
RG58, RG142, Low Loss 195	4,95

Tabelle 4: Kabelaußendurchmesser verschiedener Koaxialkabel

### 04. MANAGEMENT EINER KUNDEN-SPEZIFISCHEN KABELKONFEKTION

Würth Elektronik bietet einen Kabelkonfektionsservice nach Maß an, der den Arbeitsaufwand des Anwenders bei der Konfektionierung reduziert und die Anforderungen an eine zuverlässige Signalübertragung erfüllt. Folgend finden Sie eine Liste der zu beachtenden Punkte und der erforderlichen Informationen, die für die Kabelkonfektion erforderlich sind.

#### 4.1 Prüfung der Punkte einer Kabelkonfektion

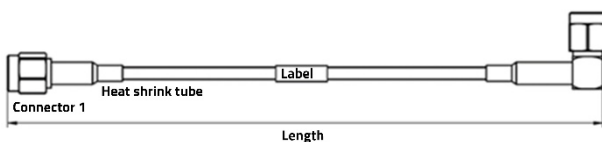


Abbildung 7: Nennmaß, bzw. Länge des Kabels

- Stecker 1 & Stecker 2:  
Steckerart, Steckerausrichtung, IP Schutzklasse
- Schrumpfschlauch:  
Länge, Farbe, ggf. kundenspezifischer Text.

- Label:  
Standard WE-Artikelnummer oder Etikett mit individuellem Aufdruck.
- Länge:  
Definition der Gesamtlänge.

Längentoleranz:

Tolerance table [mm]
< 50 = ± 1%
50 ~ 499 = ± 2%
500 ~ 999 = ± 3.5%
1000 ~ 1999 = ± 5%
2000 ~ 2999 = ± 10%
3000 ~ 4999 = ± 20%
> 5000 = ± 0.5%

Tabelle 5: Längentoleranz in Abhängigkeit der Kabellänge

#### 4.2 Prüfung der Punkte eines abisolierten Kabels

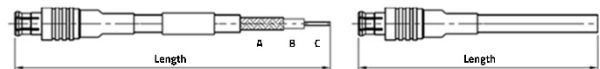


Abbildung 8: Abisoliertes Kabelende & Geschnittenes Kabelende

Abisolierte Kabelenden können Assemblierungen für den Anwender leichter machen. Folgende Angaben sind dazu nötig:

- Maße der Abisolierungen A, B, C mit Toleranzangaben
- Verzinnetes Geflecht oder loses Kabelende  
Diese Konfektionierungen ermöglichen es dem Anwender, schnell Kabel ohne Stecker oder eine geeignete Abschirmung zu verwenden. Das verzinnete Geflecht vermeidet ein aufsplissen oder eine Beschädigung während des Transports und ist einfacher zu montieren.
- Verzinnete Mittelleiter  
ein verzinnter Mittelleiter ist hilfreich, um Beschädigungen während des Transports zu vermeiden und erleichtert die Montage. Ein offenes, freiliegendes Ende einer Konfektionierung schützt vor der Gefahr des Quetschens oder vor Vibrationen.
- Geschnittenes Kabelende  
Beim geschnittenen Kabelende erfolgt ein Abisolieren durch den Anwender oder die Montage nach einer anderen, anwenderspezifischen Methode

### 05. IDENTIFIZIERUNG DER DÄMPFUNG UND EIGENSCHAFTEN VON KOAXIALKABELN

#### 5.1 Eigenschaften kennen und auswählen

Eine schnelle Methode zur Auswahl eines Kabeltyps ist der nominale Arbeitsfrequenzbereich. Wie in Tabelle 2 dargestellt, gibt es bei Würth Elektronik vier Frequenzbereiche für Standard-Koaxialkabeltypen: DC bis 1 GHz, bis 3 GHz, bis 6 GHz und bis 18 GHz.

Beispiel:

Wenn man ein Kabel für den GSM-Bereich auswählt, liegt die Arbeitsfrequenz hauptsächlich bei 800~900 MHz, die Option könnte sein: RG58, RG174 oder RG178.

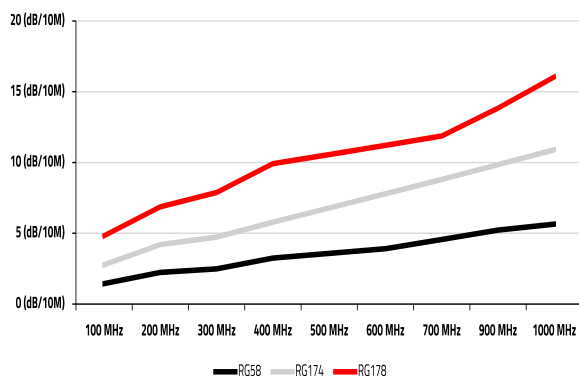


Abbildung 9: Vergleich der Dämpfung über der Frequenz der Kabel RG58, RG174 und RG178.

Wenn der Anwender das Kabel nur nach der Dämpfungsspezifikation auswählt, ist RG58 die ideale Wahl, da es über der Frequenz die niedrigste Dämpfung aufweist.

Es gibt jedoch noch andere Eigenschaften, die bei der Auswahl zu berücksichtigen sind:

- **Kabeldurchmesser:**  
RG58 (4.95mm) > RG174 (2.7mm) > RG178 (1.8mm)
- **Biegeradius (Flexibilität):**  
RG58 > RG 174 > RG178
- **Gewicht:**  
RG58 > RG 174 > RG178

RG178 könnte die ideale Option sein, da es den Frequenzbereich (bis zu 3 GHz) abdeckt. Die höheren Verluste, d.h. die höhere Dämpfung hängt jedoch mit dem geringeren Kabeldurchmesser zusammen. Vorteile sind das geringere Gewicht und der FEP-Kabelmantel.

#### 5.2 Kabeldämpfung und Kabellänge

In den Datenblättern von Würth Elektronik sind typische Kabeldämpfungsdiagramme zu finden, mit denen die Dämpfung bei unterschiedlichen Kabellängen leicht berechnet werden können. So kann der Benutzer schnell feststellen, wie sich ein bestimmter Frequenzpunkt bei einer Änderung der Kabellänge verhält, und er kann die erforderliche Kabelführung mit anderen Faktoren abgleichen.

Beispiel:

Wenn man wissen will, wie sich bei einem RG316-Doppelgeflechtkabel (SMA-Stecker) die Dämpfung bei einer Frequenz von 5,8-GHz ändert, wenn man die Kabellänge zwischen 3 Fuß und 5 Fuß variiert, findet man in der Spezifikation die erforderliche Dämpfungstabelle und die Formel zur Unterstützung:

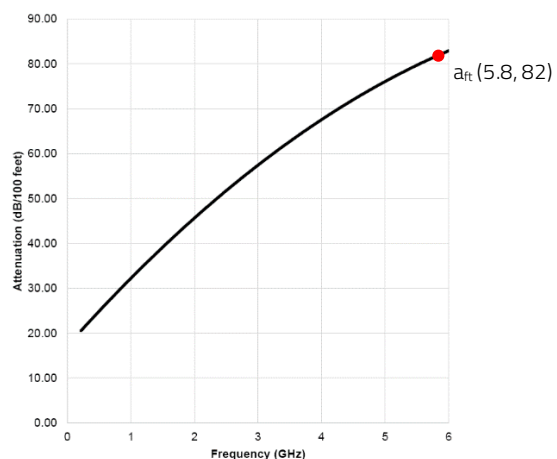


Abbildung 10: Dämpfungsbeispiel für RG316DB mit SMA-Stecker

Berechnungsformel für die Dämpfung:

$$a_{ix} = \frac{a_{100ft}}{100} l_x \text{ [dB]}$$

- $a_{ix}$ : Dämpfung bei der gewünschten Kabellänge
- $a_{100ft}$ : Länge pro 100 ft, Wert aus dem Diagramm
- 100: Teiler in ft für die Normierung auf 1 ft
- $l_x$ : Gewünschte Länge
- ft: feet (Fuß), 1 ft = 0,3048 m

## **APPLICATION NOTE**

### ANE016 | Koaxialkabel and Kabelkonfektionen

Berechnung der Dämpfung von 3 Fuß:

$$\text{Dämpfung} = \frac{82}{100} \cdot 3 = 2.46 \text{ dB}$$

Berechnung der Dämpfung von 5 Fuß:

$$\text{Dämpfung} = \frac{82}{100} \cdot 5 = 4.1 \text{ dB}$$

In diesem Beispiel beträgt die Dämpfung bei 5,8 GHz durch zusätzliche 2 Fuß 1,64 dB. Der Dämpfungsunterschied wird größer in Bezug auf:

1. Höhere Übertragungsfrequenz
2. Größere Kabellänge

## **06. ZUSAMMENFASSUNG**

Koaxialkabel werden häufig als Übertragungsleitungen für Hochfrequenzsignale verwendet. Die Qualität eines montierten Koaxialkabels hängt von vielen Produktions- und Montagedetails ab. Es ist umfangreich und komplex, alle Details bei der Systemintegration eines konfektionierten Koaxialkabels zu berücksichtigen. Diese Application-Note hat die wichtigsten Parameter von Koaxialkabeln aufgezeigt und Vorschläge zur Anwendung erläutert, um den Benutzer zu sensibilisieren. Der Anwender kann somit eine Vorauswahl der richtigen Kabel treffen.

## APPLICATION NOTE

### ANE016 | Koaxialkabel and Kabelkonfektionen

#### 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](http://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 ein-

geräumt 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](http://www.we-online.de/app-notes)



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



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



Produkt Katalog  
[www.we-online.de/produkte](http://www.we-online.de/produkte)

#### KONTAKTINFORMATION

[appnotes@we-online.de](mailto: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](http://www.we-online.de)