

SUPPORT NOTE

SN011 | Warum ändert sich die Kapazität von MLCCs? Alterung



Frank Puhane

1. WAS SIND KLASSE 1 UND KLASSE 2 MLCCS?

Grundlegend können zwei Arten von MLCCs unterschieden werden: Kondensatoren die aus Klasse 1 oder Klasse 2 Keramiken aufgebaut sind. Diese unterscheiden sich in verschiedenen Punkten wie in Tabelle 1 zu sehen ist. Die Eigenschaften bzw. Toleranzen der verschiedenen Keramikklassen wird über eine IEC oder EIA Codierung definiert (weitere Information hierzu in der AppNote [ANP062](#)). Je nachdem welche Applikation aufgebaut wird, muss eine gewisse Kapazität vorhanden sein, um die gewünschte Performance wie z.B. den Filtereigenschaften zu erzielen. Daher gilt es die Eigenschaften der einzelnen Komponenten genau zu vergleichen, um beim Einsatz in der Applikation das gewünschte Verhalten sicherzustellen. Es sei noch erwähnt, dass bei hochkapazitiven MLCCs die hohe Kapazität mit einer erhöhten Alterung und dadurch einem stärkeren Kapazitätsverlust durch Temperatur und Spannung erkauft werden.

2. BESCHREIBUNG UND DEFINITION VON ALTERUNG

Alterung beschreibt einen Vorgang bei dem sich bestimmte Eigenschaften über die Zeit ändern. Diesem Vorgang unterliegen auch die ferroelektrisch Materialien wie z.B.

Bariumtitanat. Die Kristallstruktur des Dielektrikums (in diesem Fall Bariumtitanat) ändert sich mit Temperatur und eben auch mit der Zeit. Dies wird als Alterung angesehen, da sich die Kapazität durch dieses Ereignis verändert, genauer gesagt reduziert. Ein weiteres Resultat der Alterung ist die Änderung des Verlustfaktors der mit zunehmendem Alter des MLCC stetig größer wird. Die Alterung wird meist mit einem prozentualen Kapazitätsverlust beschrieben und liegt bei X5R Keramiken im Bereich ~ 6% nach 1000 h und bei X7R Keramiken ~ 2,5% nach 1000 h. Nach der Neuausrichtung des Kristallgitters (durch z.B. einen Temperaturprozess der beliebig oft wiederholt werden kann) führt die Alterung zu einem Verlust der Kapazität wie in Abbildung 1 dargestellt. Der Alterungsprozess ist logarithmisch und nimmt mit der Zeit ab. Bei Verwendung logarithmischer Skalen erscheint die Alterung im Diagrammen jedoch linear.

3. WARUM ALERT BARIUMTITANAT?

Die Permittivität von Bariumtitanat wird durch die Polarisierbarkeit des Materials definiert. Durch das Altern bilden sich weitere ferroelektrische Domänen. Die spontane Polarisierungsrichtung ändert sich in der Art, dass nicht mehr alle Dipole „gut“ polarisiert werden können. Die Dipole von zwei benachbarten Domänen zeigen nicht mehr in die gleiche Richtung. Das Resultat ist die Verringerung der Kapazität. Die Lösung: Neuformierung des Materials.

	Klasse 1 Keramik	Klasse 2 Keramik
Material	Titandioxid (TiO ₂)	Bariumtitanat (BaTiO ₃)
Permittivität	> 10...500	> 500...10000
Kapazitätsbereich	0,3 pF bis 33 nF	100 pF bis 100 µF
Spannungsbereich	10 V bis 50 V	6,3 V bis 100 V
Größe	0201 bis 1812	0201 bis 2220
Spannungsabhängigkeit	Keine	Ja
Frequenzabhängigkeit	Ja	Ja
Temperaturabhängigkeit	Keine	Ja
Alterung	Keine	Ja

Tabelle 1: Übersicht über den aktuellen technischen Stand der Keramiken der Würth Elektronik eiSos

SUPPORT NOTE

SN011 | Warum ändert sich die Kapazität von MLCCs? Alterung

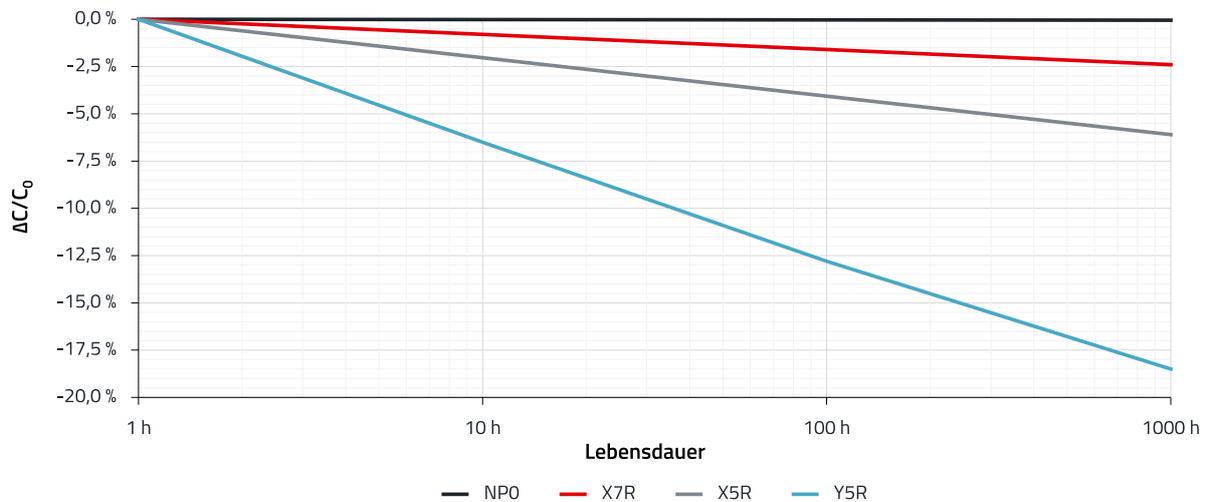


Abbildung 1: Kapazitätsverlust über die Betriebsdauer

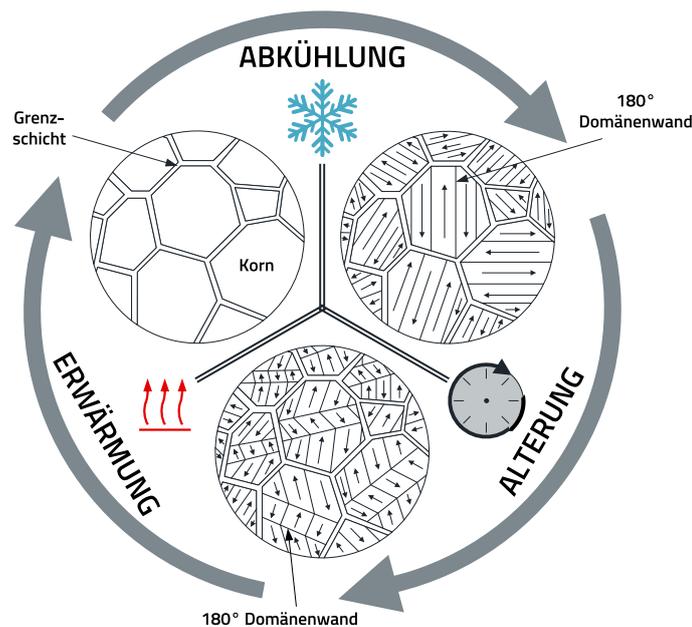


Abbildung 2: Änderung der internen Struktur

Der Effekt des Alterns wird durch Zeit, Temperatur und Spannung beeinflusst. Da Bariumtitanat ein ferroelektrisches Material ist und ähnlich wie Ferrit elektrische Domänen besitzt, teilen sich diese Domäne mit den Faktor Zeit auf und verringern dadurch die Kapazität, siehe Abbildung 2.

Durch das Tempern, dem so genannten Preheating-Vorgang (Erwärmung des Materials über die Curie-Temperatur) lösen sich die vorhandenen Domänen auf. Unterhalb der Curie-Temperatur bildet das Material anschließend wieder neue große Domänen, das wiederum in einer hohen Kapazität

resultiert. Die durch den Temperprozess hervorgerufene thermische Bewegung im Kristallgitter verhindert dabei, dass die Dipole sich vollständig beim Anlegen eines elektrischen Feldes ausrichten und somit eine Art Sättigung erreichen.

4. WIE KANN ALTERUNG AUFGEHALTEN WERDEN?

Das bei Klasse 2 MLCCs verwendete Dielektrikum besitzt, wie bereits zuvor erwähnt, ferroelektrische Eigenschaften. Die Eigenschaften des Materials ändern sich bei

Überschreiten der Curie-Temperatur (ebenso wie bei ferromagnetischen Materialien). Oberhalb dieser Temperatur weist das Dielektrikum eine hochsymmetrische kubische Kristallstruktur auf, während unterhalb der Curie-Temperatur die Kristallstruktur eine weniger symmetrische (tetragonale) Struktur aufweist. Der Übergang von den verschiedenen Phasen (kubisch zu tetragonal usw.) resultiert immer in einem Maximalwert der Permittivität über diesen Temperaturbereich gesehen. Um einen stabilen Zustand herzustellen bewegen sich die Atome im Kristallgitter unter dem Einfluss der thermischen Vibration noch lange Zeit, auch nachdem sich das Dielektrikum wieder unter die Curie-Temperatur abgekühlt hat (es bilden sich immer mehr Domäne). Wenn der Kondensator jedoch auf eine Temperatur oberhalb der Curie-Temperatur erwärmt wird, findet eine Entalterung statt, d. h. die durch die Alterung verlorene Kapazität wird wiedergewonnen und die Alterung beginnt erneut ab dem Zeitpunkt, an dem der Kondensator wieder abkühlt. Diese Temperatur liegt für Bariumtitanat bei $\sim 125\text{ °C}$. Je nachdem wie lange die Curie-Temperatur überschritten wird, resultiert dies in dem sich einstellenden Kapazitätswert. Laut Datenblatt liegt die Empfehlung für das Preheating bei 150 °C bei 1 Stunde. Durch diese thermische Behandlung kann die maximale 100%-ige Kapazität des Bauteils wiederhergestellt werden.

5. WAS BEDEUTET ALTERUNG FÜR DIE APPLIKATION?

In einer realen Applikation, die mit Spannung versorgt und einer gewissen Umgebungstemperatur betrieben wird, muss bei der Verwendung von MLCCs generell mit einer Verringerung der Kapazität über die Zeit gerechnet werden. Dies ist unabwendbar und liegt an dem verwendeten Basismaterial für Klasse 2 Keramiken. Es liegt nun an der Auslegung des Kondensators diesen Kapazitätsverlust zu kompensieren. Nach der Herstellung wird ein 100% Test durchgeführt um sicher zu stellen, dass alle Toleranzen eingehalten werden. Je nach Lagerzeit und Lagerbedingung können sich diese Werte mit der Zeit ändern. Durch den Wärmeeinfluss des Lötvorgangs wird die Alterung zurückgesetzt (siehe Anhang A, Beispielmessung und Reflow Lötvorgang für einen MLCC mit dem DateCode 2014). In Applikationen bei denen stabile Kapazitätswerte gefordert sind muss das Thema Alterung in Betracht gezogen werden oder ein Klasse 1 MLCC verwendet werden. Wenn Kondensatoren als Ausgangskondensatoren (wie z.B. bei Schaltreglern) zum Einsatz kommen, können die Auswirkung der Alterung am besten kompensiert werden, da hier die

Kapazitätsschwankungen im niedrigen einstelligen Bereich liegen und somit keine beeinträchtigenden Auswirkungen auf die Funktion der Schaltung haben. Die resultierende Kapazität eines $22\text{ }\mu\text{F}$ X7R MLCC mit allen Abhängigkeiten ist in Abbildung 3 dargestellt.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die Alterungskurve wird bei Zimmertemperatur (20 °C) und $\sim 0\text{ V}$ als angelegter Spannung aufgenommen. Bei Zimmertemperatur und $\sim 0\text{ V}$ gibt es bei Keramikkondensatoren nahezu keine Temperatur-, DC-Bias- und Frequenzeinflüsse, die die Alterung beeinflussen könnten. Unterhalb der Curietemperatur und nach Anlegen einer Spannung, werden durch die vorhandenen ferroelektrischen Eigenschaften die Moleküle definiert polarisiert. Aus der kubischen Struktur wird eine tetragonale Struktur, was zu einer Abnahme der Permittivität und somit der Kapazität führt. Was führt nun zur Alterung? Wenn die Kristallstruktur der Keramik ohne Last bei Zimmertemperatur belassen wird, werden mit der Zeit zufällig orientierte Domänen ausgebildet in denen sich wiederum ungerichtete Dipole ausbilden, die einen negativen Einfluss auf die Permittivität haben. Diese zufälligen orientierten Domänen „wachsen“ anfangs schneller und bilden sich dann immer langsamer. Deshalb wird der Kapazitätsverlust logarithmisch dargestellt. Bei Anlegen einer Spannung und Erhöhung der Temperatur verlangsamt sich die Ausbildung zufällig orientierter Domänen, da durch das elektrische Feld die Dipole definiert ausgerichtet werden. Für die Praxis bedeutet das wiederum, dass die Alterung wie sie in Abbildung 1 gezeigt, eine „worst case“ Angabe ist. Da die Abnahme der Kapazität über DC-Bias und der Temperatur deutlich höher ist als die zu erwartende Alterung, wird diese als fester Wert angenommen.

A. Anhang

Die Abbildung 4 zeigt die Kapazitätsmessung des Keramikkondensators [885012108001](#) → $14,7\text{ }\mu\text{F} / 6,3\text{ V} / 1206$ aus dem Produktionsfenster DateCode 2014. Die grauen Punkte zeigen die Kapazitätsmessung vor dem Reflow Prozess. Die roten Punkte zeigen die Kapazitätsmessung nach dem Reflow Prozess. Das Lötprofil ist in Abbildung 5 dargestellt. Die Temperaturen und Zeiten des Lötvorgangs sind außerdem in Tabelle 2 dargestellt. Das Datenblatt ist über folgenden [Link](#) einzusehen. Die elektrische Spezifikation wie Impedanz, ESR, DC-Bias usw. ist über das Online-tool [REDEXPERT](#) verfügbar.

SUPPORT NOTE

SN011 | Warum ändert sich die Kapazität von MLCCs? Alterung

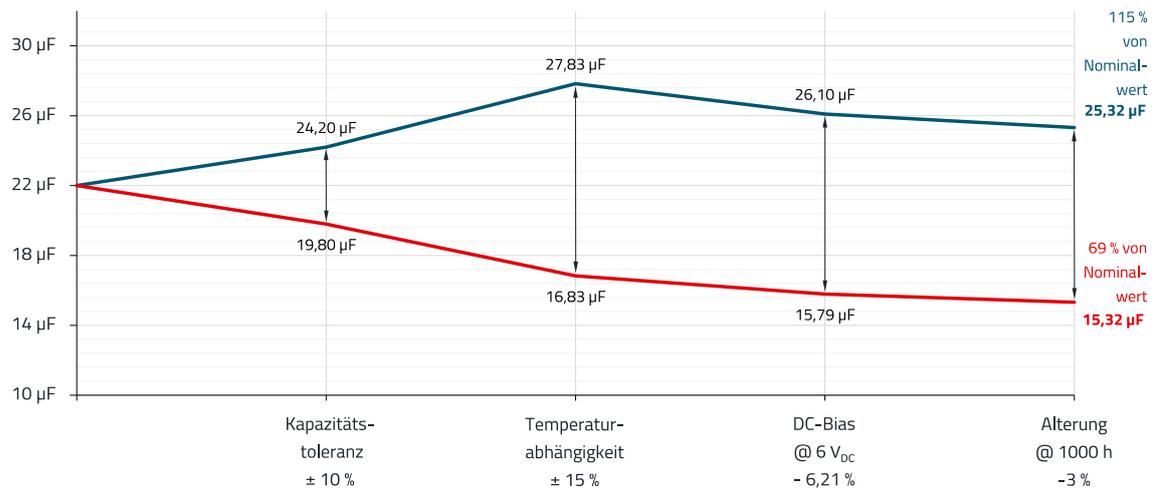


Abbildung 3: Resultierende Kapazität unter Betrachtung aller Abhängigkeiten

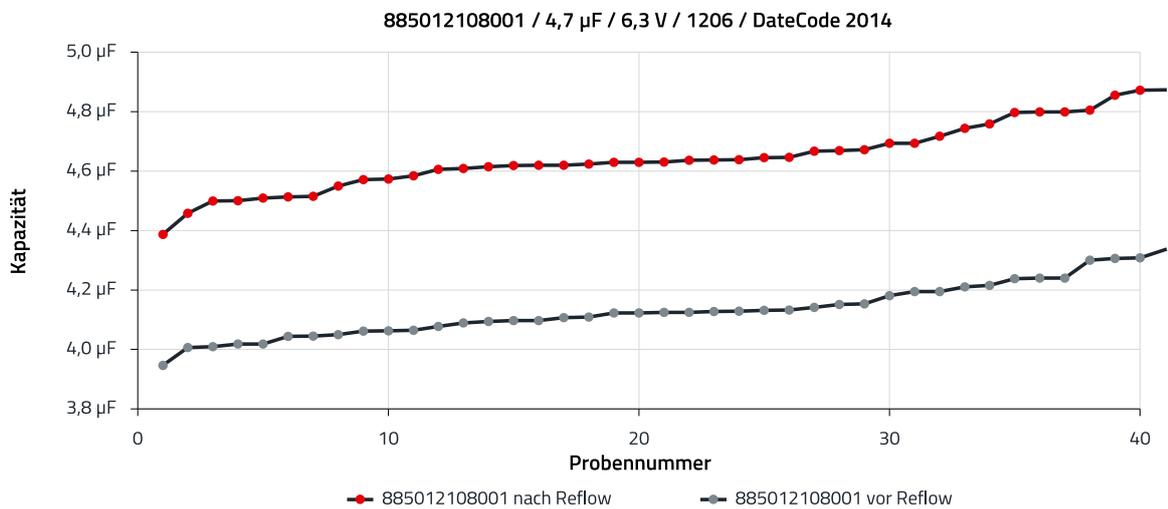


Abbildung 4: Kapazitätsmessung vor (graue Punkte) und nach (rote Punkte) dem Reflow Vorgang

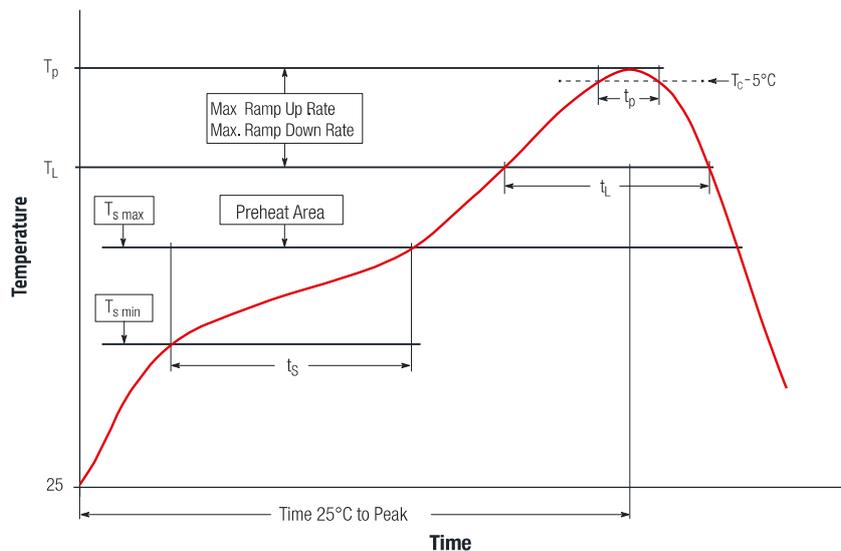


Abbildung 5: Lötprofil aus dem Datenblatt des **885012108001**

SUPPORT NOTE

SN011 | Warum ändert sich die Kapazität von MLCCs? Alterung

Profile Feature		Value
Preheat Temperature Min	$T_{s \text{ min}}$	150 °C
Preheat Temperature Max	$T_{s \text{ max}}$	200 °C
Preheat Time t_s from $T_{s \text{ min}}$ to $T_{s \text{ max}}$	t_s	60 – 120 seconds
Ramp-up Rate (T_L to T_p)		3 °C / second max.
Liquidus Temperature	T_L	217 °C
Time t_L maintained above T_L	t_L	60 – 150 seconds
Peak package body temperature	T_p	$T_p \leq T_c$, see Abbildung 6
Time within 5 °C of actual peak temperature	t_p	20 – 30 seconds
Ramp down Rate (T_p to T_L)		6 °C / second max.
Time 25 °C to peak temperature		8 minutes max.

Tabelle 2: Temperaturprofil für das Reflow Löten aus dem Datenblatt des [885012108001](#)

Package Classification Reflow Temperature (T_c):

Properties	Volume mm ³ <350	Volume mm ³ 350-2000	Volume mm ³ >2000
PB-Free Assembly Package Thickness < 1.6 mm	260 °C	260 °C	260 °C
PB-Free Assembly Package Thickness 1.6 mm – 2.5 mm	260 °C	250 °C	245 °C
PB-Free Assembly Package Thickness > 2.5 mm	250 °C	245 °C	245 °C

refer to IPC/ JEDEC J-STD-020E

Abbildung 6: Package Classification Reflow Temperature (T_c)

SUPPORT NOTE

SN011 | Warum ändert sich die Kapazität von MLCCs? Alterung

WICHTIGER HINWEIS

Der Anwendungshinweis basiert auf unserem aktuellen Wissens- und Erfahrungsstand, dient als allgemeine Information und ist keine Zusicherung der Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG zur Eignung des Produktes für Kundenanwendungen. Der Anwendungshinweis kann ohne Bekanntgabe verändert werden. Dieses Dokument und Teile hiervon dürfen nicht ohne schriftliche Genehmigung vervielfältigt oder kopiert werden. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG und seine Partner- und Tochtergesellschaften (nachfolgend gemeinsam als „WE“ genannt) sind für eine anwendungsbezogene Unterstützung jeglicher Art nicht haftbar. Kunden sind berechtigt, die Unterstützung und Produktempfehlungen von WE für eigene Anwendungen und Entwürfe zu nutzen. Die Verantwortung für die Anwendbarkeit und die Verwendung von WE-Produkten in einem bestimmten Entwurf trägt in jedem Fall ausschließlich der Kunde. Aufgrund dieser Tatsache ist es Aufgabe des Kunden, erforderlichenfalls Untersuchungen anzustellen und zu entscheiden, ob das Gerät mit den in der Produktspezifikation beschriebenen spezifischen Produktmerkmalen für die jeweilige Kundenanwendung zulässig und geeignet ist oder nicht. Die technischen Daten sind im aktuellen Datenblatt zum Produkt angegeben. Aus diesem Grund muss der Kunde die Datenblätter verwenden und wird ausdrücklich auf die Tatsache hingewiesen, dass er dafür Sorge zu tragen hat, die Datenblätter auf Aktualität zu prüfen. Die aktuellen Datenblätter können von www.we-online.com heruntergeladen werden. Der Kunde muss produktspezifische Anmerkungen und Warnhinweise strikt beachten. WE behält sich das Recht vor, an seinen Produkten und Dienstleistungen Korrekturen, Modifikationen, Erweiterungen, Verbesserungen und sonstige Änderungen vorzunehmen. Lizenzen oder sonstige Rechte, gleich welcher Art, insbesondere an Patenten, Gebrauchsmustern, Marken, Urheber- oder sonstigen gewerblichen Schutzrechten werden hierdurch weder eingeräumt noch ergibt sich hieraus eine

entsprechende Pflicht, derartige Rechte einzuräumen. Durch Veröffentlichung von Informationen zu Produkten oder Dienstleistungen Dritter gewährt WE weder eine Lizenz zur Verwendung solcher Produkte oder Dienstleistungen noch eine Garantie oder Billigung derselben.

Die Verwendung von WE-Produkten in sicherheitskritischen oder solchen Anwendungen, bei denen aufgrund eines Produktausfalls sich schwere Personenschäden oder Todesfällen ergeben können, sind unzulässig. Des Weiteren sind WE-Produkte für den Einsatz in Bereichen wie Militärtechnik, Luft- und Raumfahrt, Nuklearsteuerung, Marine, Verkehrswesen (Steuerung von Kfz, Zügen oder Schiffen), Verkehrssignalanlagen, Katastrophenschutz, Medizintechnik, öffentlichen Informationsnetzwerken usw. weder ausgelegt noch vorgesehen. Der Kunde muss WE über die Absicht eines solchen Einsatzes vor Beginn der Planungsphase (Design-In-Phase) informieren. Bei Kundenanwendungen, die ein Höchstmaß an Sicherheit erfordern und die bei Fehlfunktionen oder Ausfall eines elektronischen Bauteils Leib und Leben gefährden können, muss der Kunde sicherstellen, dass er über das erforderliche Fachwissen zu sicherheitstechnischen und rechtlichen Auswirkungen seiner Anwendungen verfügt. Der Kunde bestätigt und erklärt sich damit einverstanden, dass er ungeachtet aller anwendungsbezogenen Informationen und Unterstützung, die ihm durch WE gewährt wird, die Gesamtverantwortung für alle rechtlichen, gesetzlichen und sicherheitsbezogenen Anforderungen im Zusammenhang mit seinen Produkten und der Verwendung von WE-Produkten in solchen sicherheitskritischen Anwendungen trägt. Der Kunde hält WE schad- und klaglos bei allen Schadensansprüchen, die durch derartige sicherheitskritische Kundenanwendungen entstanden sind.

NÜTZLICHE LINKS



Application Notes
www.we-online.com/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