

# APPLICATION NOTE



## Whiskerbildung und Maßnahmen zu deren Eindämmung

WPP001 VON ALFONS HARPAINTNER

### 1. Einführung

Verschiedene Kunden haben sich nach dem Whiskerwachstum an unseren Produkten erkundigt. Nachfolgend beschrieben sind einige Fakten zum Verständnis der Whiskerbildung und den Strategien zu ihrer Unterdrückung bei der Würth Elektronik eiSos Group.

### 2. Whisker: Die verborgene Herausforderung

Das Whiskerwachstum bei Zinnoberflächen (siehe Abb. 1) ist bereits seit den frühen 1950er-Jahren ein bekanntes Phänomen. Zwar wurde dieses Problem anfangs nicht richtig verstanden, weil beim ersten Auftreten von Whiskern weder Parameter noch Prüfeinrichtungen gut dokumentiert, geschweige denn für diesen Zweck geeignet waren. Jedoch schien dieses Problem durch Zugabe von Blei in die Zinnoberflächen gelöst zu sein.

Neue gesetzgeberische Maßnahmen der Europäischen Gemeinschaft vom Juli 2006, zur Vermeidung von Blei in elektronischen Bauteilen, erforderten es, sich wieder verstärkt der Whiskerthematik zu widmen. Lieferanten elektronischer Materialien wie Drähte oder Leadframes als auch Hersteller elektronischer Bauteile mussten sich dieser Herausforderung stellen.

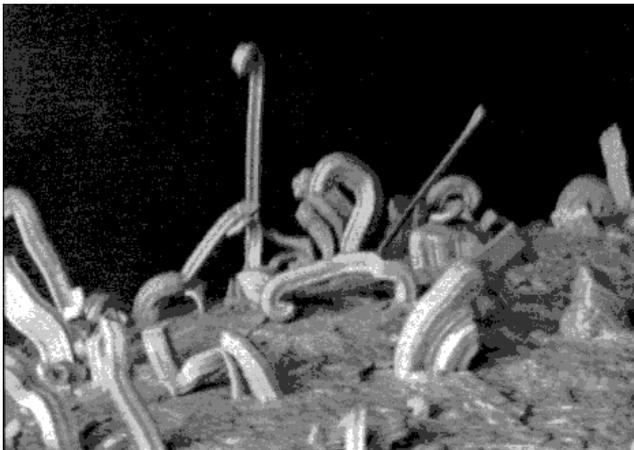


Abbildung 1: Whiskerbildung auf Zinnoberfläche (Abdruck mit Genehmigung des NASA Electronic Parts & Packaging Programm NEPP)

#### 2.1. Definition: Was sind Whisker?

Es handelt sich hierbei um eine kristalline, haarartige Materialstruktur mit einem Durchmesser zwischen 1 und 10  $\mu\text{m}$  (1  $\mu\text{m}$  typ.) und einer Länge von 10  $\mu\text{m}$  bis zu einigen Millimetern.

Whisker können gerade sein, Knicke aufweisen oder sogar gebogen sein. Sie treten auf Zinnoberflächen auf und können

den Isolationswiderstand und/oder den Abstand zu benachbarten Bauteilen verringern. Zusätzliche Probleme entstehen, wenn Whisker brechen und so Kurzschlüsse auf der Leiterplatte oder bei Fine-Pitch-Bauteilen verursachen. Eine der größten Herausforderungen sind Lichtbögen, die bei hohen Strömen und Spannungen auftreten können.

Durch Whisker verursachte Fehler sind aus gewerblichen Satelliten, medizinischen Geräten, Kraftwerken und Verbraucherwaren bekannt.

#### 2.2. Auftreten: Wann ist das Risiko hoch?

Das Risiko des Whiskerwachstums ist dann hoch, wenn eine Kupferoberfläche mit reinem Zinn bedeckt ist. Allerdings beschränken sich Whisker nicht nur auf diese Kombination.

##### Theorien zum Whiskerwachstum

Die Grundlagenforschung zum Whiskerwachstum ist nach wie vor lückenhaft.

Whisker wachsen unter unterschiedlichen Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck). Sie wachsen aus der Basis, nicht von der Spitze, somit kommen sie direkt aus dem Substrat. Nach gängigem und verbreitetem Verständnis wird das Whiskerwachstum durch Druckspannungen in den Zinnschichten verursacht.

An der Grenzfläche zwischen Kupfer und Zinn bildet sich bereits bei Zimmertemperatur eine intermetallische Schicht aus  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  (Abbildung 2).

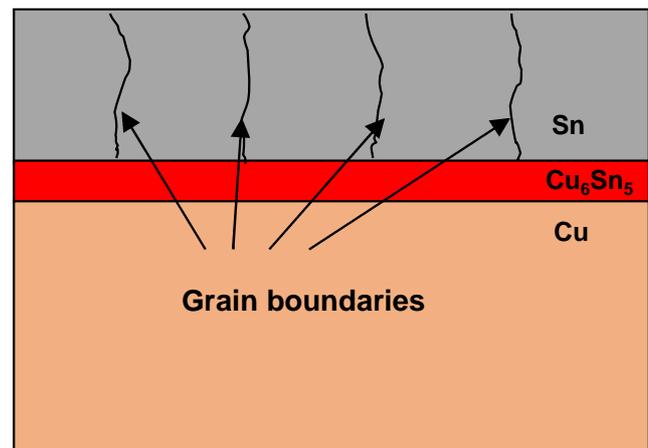


Abbildung 2: Ausgangsbedingungen für das Whiskerwachstum

Bei Temperaturen unter 60  $^{\circ}\text{C}$  ist die Massendiffusion durch die  $\text{CuSn}$ -Phase wesentlich geringer als die Korngrenzendiffusion. Deswegen füllt die intermetallische Phase die Korngrenzen immer stärker auf, wodurch die Druckspannung in den Sn-Körnern zunimmt.

# APPLICATION NOTE



## Whiskerbildung und Maßnahmen zu deren Eindämmung

Die  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ -Phase benötigt durch den höheren Gitterabstand mehr Platz als das Ursprungsmaterial (Abbildung 3). Durch diese Veränderungen im Gitterd entsteht eine Druckbelastung auf die Zinnschicht.

Diese Druckspannung wird durch den Massentransport aus der Zinnschicht abgebaut und mündet im Wachstum von Whiskern welches vorzugsweise an kleinen Defekten startet.

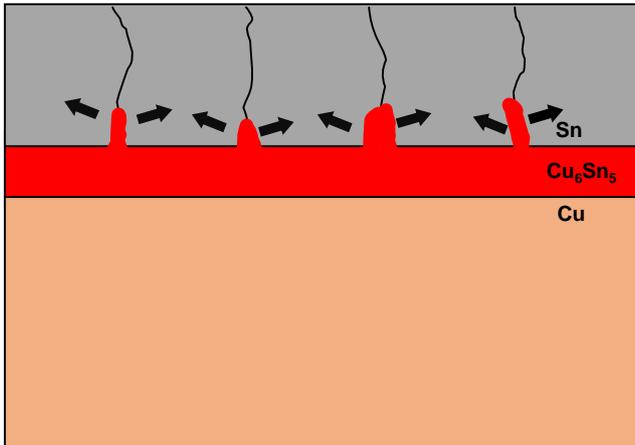


Abbildung 3: Belastung infolge der Korngrenzendiffusion

Zinnoxid (Abbildung 4) bewirkt einen ähnlichen Effekt auf der Oberseite des Zinns.  $\text{SnO}_2$  und  $\text{SnO}$  benötigen beide mehr Platz als nur Zinn, d. h., Luftfeuchtigkeit oder Korrosion, die von oben in die Korngrenzen eindringt, führen gleichermaßen zu einer Druckbelastung.

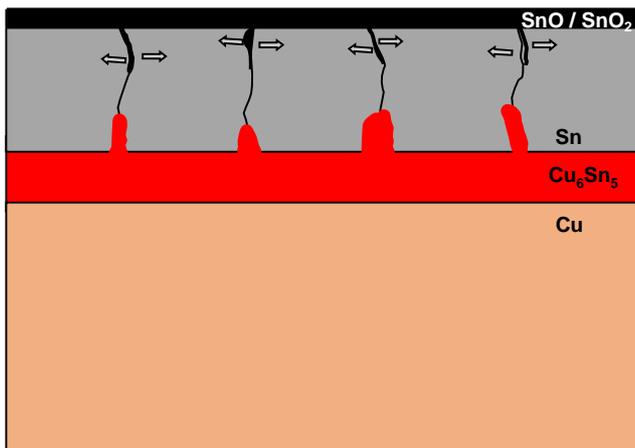


Abbildung 4: Belastung infolge der Oxidation

Verunreinigungen tragen zusätzlich zur Belastung bei, da sie zur Oxidation neigen. Insofern haben die verwendeten chemischen Mittel und der Prozess der Verzinnung direkten Einfluss auf die Tendenz des Whiskerwachstums.

Galvanisch erzeugte (insbesondere „helle“, glänzende) Schichten sind aus diesem Grund offenbar am anfälligsten für die Whiskerbildung, weil dieser Prozess mehr

Verunreinigungen in die Körner einbringt und aufgrund der kleineren Körner auch mehr Korngrenzen vorhanden sind.

Schließlich ist auch der Einfluss extern angreifender Druckbelastungen zu berücksichtigen. Aufgrund des Biegens oder Formens verzinnter Leiter und Leadframes (Leitungsformung vor Montage eines elektronischen Bauteils) wie auch Kratzer oder Verdrehungen entgegen der beschichteten Oberfläche führen zur Entstehung von Regionen mit potenziellem Whiskerwachstum.

### 2.3. Vermeidung des Whiskerwachstums

Aus den obigen Theorien lässt sich leicht eine Schlussfolgerung ziehen:

**Zur Reduzierung des Whiskerwachstums ist es notwendig, Spannungen in verzinnenden Materialien zu vermeiden.**

Eine Verringerung der Spannungen ist durch Beachtung der folgenden Empfehlungen möglich:

- Vermeidung unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten durch geeignete Auswahl des Beschichtungs- und des Trägermaterials
- Verwendung einer matten Zinnbeschichtung bei galvanischen Verzinnung, um Verunreinigungen zu verringern und möglichst große Zinn-Körner zu nutzen; Bei mattem Zinn ist der Kohlenstoffgehalt wesentlich niedriger als bei glänzenden Zinnbeschichtungen.
- Aufbringung einer Zinnschicht größerer Dicke (>10 µm nach empirischer Ermittlung). Die größeren Körner dämpfen die Kräfte aus den tieferen Schichten. In jedem Fall wird durch die Bildung horizontaler Korngrenzen die Migration von Zinn an die Oberfläche unterbunden.
- Vermeidung jeder mechanischen Behandlung ohne nachfolgender Wärmebehandlung. Insbesondere unter Druck stehende Bereiche (z.B. an der Innenseite einer Krümmung) sind anfällig für die Whiskerbildung.
- Durchführung einer zusätzlichen Wärmebehandlung innerhalb von 24 Stunden nach der Galvanisierung bei Temperaturen von mindestens 60 °C (empfohlen: 1 Std. bei 150 °C) Eine  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ -Schicht bildet sich dann aus der  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ -Phase darunter aus. Diese fungiert als Sperrschicht für die weitere Migration von  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  (siehe Abbildung 5).  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  hat eine geringere Gitterkonstante und trägt insofern nicht zur Belastung innerhalb der Zinnschicht bei. Da bei höheren Temperaturen Diffusion durch den Festkörper vorherrscht, entsteht eine regelmäßige Doppelschicht. Die Neigung zum Eindringen in die Korngrenzen ist niedriger, da die Kupferdiffusion bei zunehmender Stärke der Sperrschichten reduziert wird.

# APPLICATION NOTE



## Whiskerbildung und Maßnahmen zu deren Eindämmung

- Bildung einer Sperrschicht zwischen Kupfer (Basismaterial) und Zinnschicht: Im Normalfall wird hierzu eine galvanisierte Nickelschicht (2 µm durchschnittliche Stärke laut Würth Elektronik-Spezifikation) verwendet. Diese verhindert auch ein Wachstum der  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ -Schicht. Das hierbei entstehende  $\text{Ni}_3\text{Sn}$  hat eine geringere Gitterkonstante als das  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ , was zu einer Zugbelastung führt. Diese kann der Druckbelastung im Umfeld teilweise entgegenwirken. Die Migration des Kupfers durch die Sperrschicht wird beendet, und nur ein sehr geringer Anteil der ursprünglichen  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ -Schicht gelangt in die Korngrenzen.
- Anwendung von Heißverzinnung zur Bildung homogener Schichten und größerer Körner: Hierbei entstehen aufgrund des Hochtemperaturprozesses belastungsfreie Schichten mit geringen Verunreinigungen. Sehr oft wird diese Methode bei THT-Bauteilen, bei denen sich ein Tauchlötvorgang unkompliziert realisieren lässt, gewählt.
- Einbringung von Silber als Sperrschicht zwischen dem Kupferbasismaterial und der Zinndeckschicht ist eine weitere mögliche Methode zur Reduzierung der Whiskerbildung.

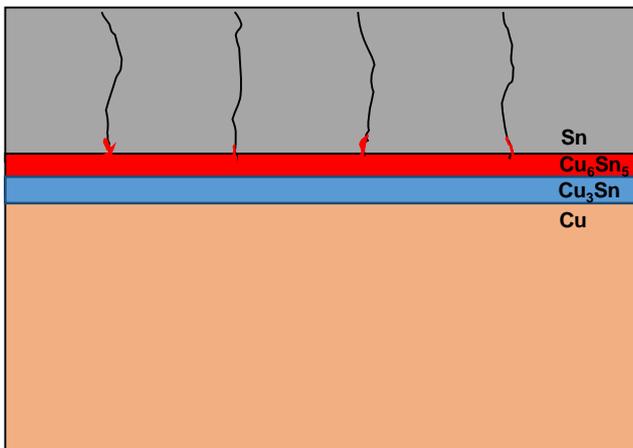


Abbildung 5: Bildung von  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  durch Wärmebehandlung

### 2.4. Prüfbedingungen zum Nachweis eines niedrigeren Whiskerrisikos

In einer Schicht treten wegen der vorhandenen Inhomogenitäten stets kleine Belastungsbereiche auf, und das Risiko für die Whiskerbildung ist somit generell vorhanden. Es besteht aber grundsätzlich Einigkeit darüber, dass nach mehreren hundert Stunden (in der Regel 2000 Stunden) ein gesättigtes Whiskerwachstum mit einer Länge unter 50µm, toleriert werden kann (JESD 22A121A).

Im Dokument JESD 201 sind Tests für verschiedene in der Elektronikbranche verwendete Schichten beschrieben.

Grundsätzlich sind drei Prüfungen durchzuführen. Viele Unternehmen orientieren sich an diesen Empfehlungen, haben jedoch die Prüfungen an ihre jeweiligen Bauteile angepasst.

Konkret handelt es sich um die folgenden drei Prüfungen:

#### a. Temperaturwechselbeanspruchung

(-40 °C bis 85 °C, 1000 Zyklen)

Eine Temperaturwechselbeanspruchung ist nach allgemeiner Übereinkunft eine Möglichkeit zum Nachweis „whiskerfreier“ Bauteile. Der Temperaturwechsel verstärkt die Belastung durch unterschiedliche Wärmeausdehnung der Komponenten.. Bei verschiedenen Bauteilen und Herstellern liegt die tiefste Temperatur bei -55 °C bis -25 °C, und die Zyklen liegen zwischen dreimaligem Wechsel pro Stunde und einer Dauer von 30 Minuten je Schritt.

#### b. Lagerung bei Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit

(30 °C, rel. Luftfeuchtigkeit von 60 % bis 4000 h)

Aufgrund der bevorzugten Korngrenzendiffusion von  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  bei niedrigeren Temperaturen verstärken Lagerung und Luftfeuchtigkeit bei Raumtemperatur die Whiskerbildung. Dieser Test wird häufig nicht durchgeführt, repräsentiert jedoch die tatsächlichen Anwendungsbedingungen.

#### c. Lagerung bei hoher Luftfeuchtigkeit und Temperatur

(60 °C, rel. Luftfeuchtigkeit von 90 % bis 4000 h)

In diesem Fall erfolgt aufgrund der höheren Temperaturen eine verstärkte Oxidation. Sie liegt immer noch in dem Bereich, in dem die Whiskerbildung normalerweise erfolgt (-55 °C < T < 85 °C). Die Temperatur ist relativ niedrig gewählt, da höhere Temperaturen zum gegenteiligen Effekt und zu einer Verringerung der Druckbelastung durch Rekristallisation führen. . Allerdings bevorzugen manche Unternehmen die Durchführung von 85 / 85-Prüfungen.

### 3. Whiskerhemmung bei WE eiSos

Würth Elektronik eiSos berücksichtigt die oben beschriebenen Theorien und Empfehlungen konsequent, um das Risiko der Whiskerbildung zu verringern. Zusätzlich dazu führt WE eiSos auch Whiskerprüfungen durch, um die Qualität ausgewählter Beschichtungen zu verifizieren.

Exemplarisch zeigen die folgenden Abbildungen die galvanisierte Verzinnung eines SMD-Löt pads mit einer (durchschnittlich) 2 µm starken Nickelsperrschicht, vor und nach dem Whiskertest. Die Aufnahmen und die Prüfungen wurden von einem externen akkreditierten Labor für Whiskertests durchgeführt.

# APPLICATION NOTE



## Whiskerbildung und Maßnahmen zu deren Eindämmung

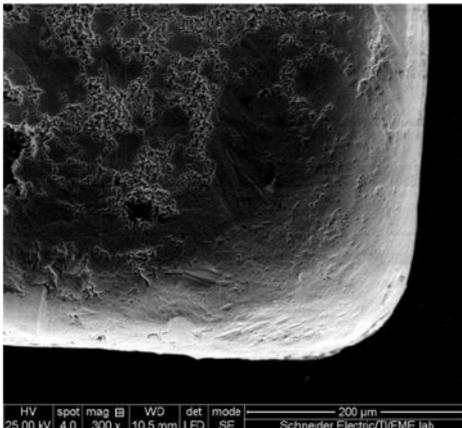


Abbildung 6: SEM-Bild der Zinnbeschichtung vor der Prüfung

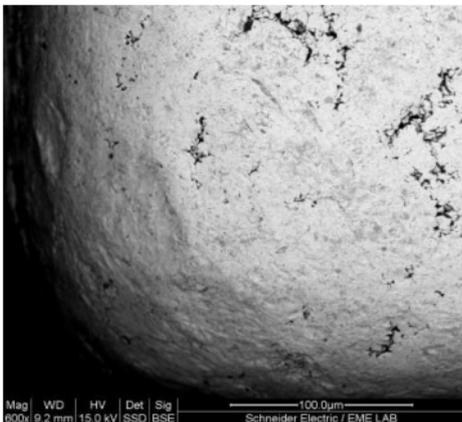


Abbildung 7: SEM-Bild der Zinnbeschichtung nach 1500 Stunden bei 55 °C/93 % relative Luftfeuchtigkeit

Wie Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen, ist kein Whiskerwachstum zu erkennen. Diese Tests werden ausgeführt, um die Effektivität der von Würth Elektronik eiSos implementierten Strategien zur Hemmung der Whiskerbildung nachzuweisen.

### 4. Fazit

Im Bereich passiver Bauteile kann Würth Elektronik eiSos auf jahrelange Erfahrung zurückblicken. Die bei elektronischen Bauteilen verwendeten Oberflächenbeschichtungen weisen ein geringes Risiko der Whiskerbildung auf.

### 5. Literatur

- 1) Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 zu Elektro- und Elektronik-Altgeräten
- 2) Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten
- 3) C. Xu, Y. Zhang, C. Fan und J. Abys: „Understanding Whisker Phenomenon: The Driving Force for Whisker Formation“. CircuiTree 2002, S. 94–105.
- 4) J. Smetana: „Theory of Tin Whisker Growth: The End Game“. iNEMI Tin Whisker Workshop at ECTC, 2005 (aktualisiert 2007).
- 5) L. Panaschtschenko: „The Art of Metal Whisker Appreciation: A Practical Guide for Electronics Professionals“. IPC Tin Whisker Conference, 2012.
- 6) „JESD22-A121: Measuring Whisker Growth on Tin and Tin Alloy Surface Finishes“. Juli 2004.
- 7) „JESD201: Environmental Acceptance Requirements for Tin Whisker Susceptibility of Tin and Tin Alloy Surface Finishes“. 2006.
- 8) JEDEC/IPC: „JOINT PUBLICATION No. 2, Current Tin Whiskers Theory and Mitigation Practices“, 2006.
- 9) NASA Electronic Parts & Packaging (NEPP) Program, <http://nepp.nasa.gov/whiske> Einleitung

# APPLICATION NOTE



## Whiskerbildung und Maßnahmen zu deren Eindämmung

### 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 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:

<http://www.we-online.de/app-notes>

REDEXPERT Design Tool:

<http://www.we-online.de/redexpert>

Toolbox:

<http://www.we-online.de/toolbox>

Produkt Katalog:

<http://katalog.we-online.de>

### KONTAKTINFORMATIONEN

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG

Max-Eyth-Str. 1, 74638 Waldenburg, Germany

Tel.: +49 (0) 7942 / 945 – 0

Email: [appnotes@we-online.de](mailto:appnotes@we-online.de)

Web: <http://www.we-online.de>