

# ANWENDUNGSHINWEIS

## Voids bei Bottom Termination Components (BTC)



ANP036, VON DORIAN DEGEN UND MOHAMMED USAMA

### 1. Kurzfassung

Der Markt für Bottom Termination Components (BTCs), vertreten durch QFN- und DFN-Gehäuse, wächst erheblich in der Elektronikindustrie, die von Miniaturisierung und Kostendruck angetrieben wird.

BTCs haben bei den Design und Verarbeitungsprozessen neue Herausforderungen geschaffen, als diese Gehäusetyper auf dem Markt eingeführt wurden. Die großen Flächen der Lötanschlüsse bringen viele Vorteile mit sich, wie beispielsweise die Wärmeableitung der Komponenten. Wenn der Montageprozess nicht ordnungsgemäß ausgeführt wird, kann dies zu Voids (Lufteinschlüsse) unter der Komponente führen.

Die Anzahl der Voids kann durch verschiedene Anpassungen, wie z. B. Lötpasten mit speziellen Lösungsmitteln und Korngrößen, Lötpastenmenge Lötprofil, Lötstemplendesign und Oberfläche der Leiterplatte beeinflusst werden.

Dieser Anwendungshinweis wurde unter Berücksichtigung von Analysen zur Beurteilung der Anforderungen von Voids bei WE-MAPI (DFN) Produkten erstellt. Mit verschiedenen Techniken und Tests sollte das Problem gelöst werden, wie z. B. spezifische Land-pattern-Muster, Optimierung des Reflow-Profiles, spezifische Schablonen, Abdrucktests usw. Die Ergebnisse sowie die eingesetzten Techniken und Tests werden nachfolgend erläutert.

### 2. Ein kurzer Einblick

Voids in Lötverbindungen sind eine Folge der Ausgasung aus der Lötverbindung, wenn die Lötpaste schmilzt, d.h. die Voidbildung ist proportional zur Ausgasung, wenn sich die Lötpaste in flüssiger Form befindet, was impliziert, dass die Voidbildung stark von der Fließchemie abhängt. Voids werden stark durch die Benetzung des Lots beeinflusst. Je besser die Benetzung, desto geringer der Einschluss von Flussmitteln in der Lötverbindung im geschmolzenen Zustand. Wenn man erreicht das Flussmittel aus der Lötstelle auszuschließen, wird es bei der Ausgasung nicht zur Voidbildung unterhalb des BTC-Gehäuses kommen.

Insgesamt ist eine gute Benetzung der Oberflächen von größerer Bedeutung als das Ausgasen. Diese kann nur durch einen höheren Energieeintrag in die Schmelze unterstützt werden, was durch eine höhere Spitztemperatur und eine längere Haltezeit erreicht wird.

### 3. Arbeitsablauf

#### 3.1. Spezifische Land-pattern-Muster

Es ist eine bekannte Technik, ein gitterartiges Muster auf dem Thermal-Pad des großen QFN-Gehäuse-ICs, wie z. B. Prozessor-ICs, zu implementieren. Gleichzeitig überlegten wir, spezifische Landpattern verschiedener Geometrie und Ausrichtung zu implementieren und einer Untersuchung zu unterziehen. Das Hauptziel bestand darin zu sehen, ob der Benetzungsprozess der Lötpaste schneller als der Ausgasungsprozess sein würde, was zu haltbareren Verbindungen und weniger Voids führen würde. Die Landpattern-Muster wurden absichtlich etwas größer als der Grundriss der WE-MAPI gemacht, um einen Meniskus zu erhalten und den Ausgasungsprozess zu ermöglichen.

Unter Berücksichtigung der vorstehend genannten Punkte, wurden Land-pattern-Muster mit verschiedenen Ausrichtungen und Abständen entworfen. Es wurden Vortests ausgeführt, um zu überprüfen, welche Land-pattern-Muster wohl die besten Ergebnisse erzielen würden. Nach dem Vortest zeigte sich, dass die 180° Rechtecke und verteilten Quadrate die besten Ergebnisse aufwiesen, wie nachstehend wiedergegeben.



Abbildung 1:  
Verteilte Quadrate  
(WE-MAPI: 3mmx3mm)

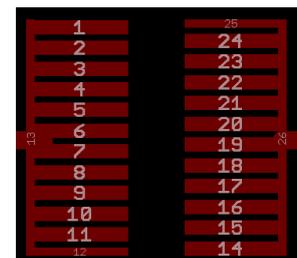


Abbildung 2:  
180° Rechtecke  
(WE-MAPI: 3mmx3mm)

#### 3.2. Reflow-Profil

Wir haben für unsere Versuche bleifreie Lötpaste (SAC-Legierungen) verwendet. Es ist allgemein bekannt, dass die Verringerung der Lötpastenmenge zur Minimierung von Voids beiträgt. Dies geschieht normalerweise durch Herstellung eines Musters auf der Schablone/Stencil. Gleichzeitig muss jedoch das geringere Flussmittel je Flächeneinheit im Hinblick auf das Land-pattern-Muster aufgrund des kleineren Lötpastendrucks berücksichtigt werden. Infolge des geringeren Flussmittels je Flächeneinheit verfügt die Lötpaste nicht mehr über ausreichend Flussmittel, um ein Austrocknen der Lötpaste und die Oxidierung während des Reflow-Prozesses zu vermeiden.

„Ramp-to-Peak“ oder „Ramp-to-Spike“ ist das Reflow-Profil, das unter Berücksichtigung der geringeren Empfindlichkeit der Lötpastenrückstände und den höheren Temperaturen entwickelt wurde. Dieses Profil sollte die thermischen Spannungen und den totalen Energieeintrag reduzieren, aber es konnte gegenteilig festgestellt werden, dass dieses zu

# ANWENDUNGSHINWEIS

## Voids bei Bottom Termination Components (BTC)



mehr Spannungen im Lot führt. Insbesondere für kleinere Pastenrückstände und um eine Voidbildung bis zu einem gewissen Grad zu vermeiden, wurde ein Vorwärm-Profil implementiert.

Es wurde ein Reflow-Profil mit einem umfangreichen Trial-and-Error-Verfahren entwickelt, um die folgenden Punkte zu implementieren:

- Das implementierte Profil war Ramp-Soak-Spike (RSS)
- Lineare Anstiegsrate (ca.  $1^{\circ}\text{C/s}$ ) - Dies minimierte die Gesamtzahl der Probleme im Zusammenhang mit dem Reflow-Prozess, zum Beispiel: Lötkegelbildung, Lötperlenbildung und Lunker- was zu Brückeneffekten usw. führt.
- Vorwärmzone - ist zur Minimierung von Voids wichtig. Dies trägt zu einem schnelleren Benetzungs- als Ausgasungsprozess bei und hilft bei der Vermeidung von Grabsteineffekten (angesichts des geringen Gewichts der MAPI-Bauteile).
- Spitze und Zeit über Schmelzpunkt (Time Above Liquidus - TAL) stimmten mit den Empfehlungen der Normen und den Datenblättern überein. (Spitzentemperatur von  $265^{\circ}\text{C}$  und etwas längere TAL von etwa 90 s).
- Abkühlungsphase - eine drastische Abkühlung trägt zu einer feineren Körnungsstruktur bei. Eine langsame Abkühlung resultiert in einer groben Körnungsstruktur, was üblicherweise eine schlechte Dauerfestigkeit aufweist. Eine Abkühlungsrampe von fast  $6^{\circ}\text{C/s}$  sollte realisiert werden.

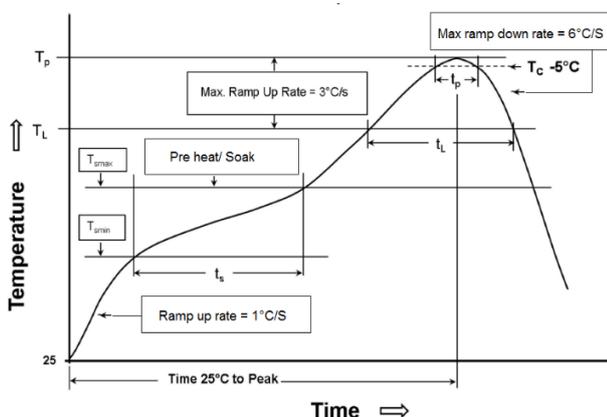


Abbildung 3: Reflow-Profil

**Hinweis:** Das Reflow-Profil stimmte mit IPC/JEDEC J-STD-020D überein.

### 3.3. Erörterung und Ergebnisse

Bevor wir weiter auf die Ergebnisse der Tests und Experimente eingehen, sind nachfolgend einige Ergebnisse der MAPI-Produkte mit Original-Land-pattern-Muster wiedergegeben.

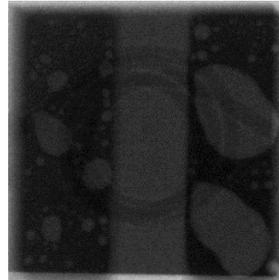


Abbildung 4: Kreisförmige Luftschlüsse

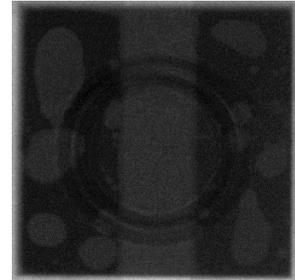


Abbildung 5: Kreisförmige Luftschlüsse

Die kreisförmigen Luftschlüsse sind deutlich zu sehen (Abbildung 4 und 5). Diese Voids führen zu einer Schwächung der Verbindung und agieren als Wärmedämmung. Dies führt zu einem schnelleren Anstieg der Induktortemperatur während des Induktorbetriebs, da die Wärmeübertragung von Induktor zur Leiterplatte beeinträchtigt wird.

#### 3.3.1. Erörterung und Ergebnisse der Vortests

Nachfolgend sind die Ergebnisse des CT-Scans der Land-pattern-Muster wiedergegeben, die die besten Ergebnisse erzielten.

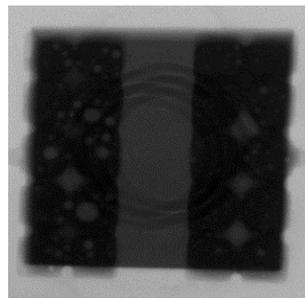


Abbildung 6: Verteilte Quadrate

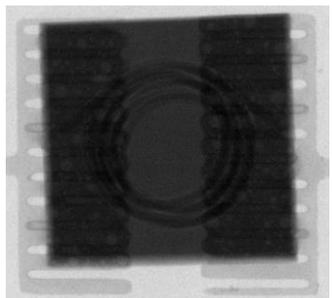


Abbildung 7: 180° Rechtecke

Die CT-Scans belegen eindeutig, dass die kreisförmigen Luftschlüsse vollständig eliminiert sind, aber die kleineren Voids immer noch bestehen. Weitere Einzelheiten hierzu folgen.

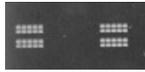
**Hinweis:** Es wurde eine Schablonendicke von  $120\ \mu\text{m}$  verwendet und die rautenförmigen Muster, die in Abbildung 6 sichtbar sind, sind auf das Land-pattern-Muster zurückzuführen und somit keine echten Voids.

# ANWENDUNGSHINWEIS

## Voids bei Bottom Termination Components (BTC)



Schablonenlegende:



Nicht vollflächige Schablone



Vollflächige Schablone

Nachfolgend ist die Voidflächenberechnung für Abbildung 6 wiedergegeben:

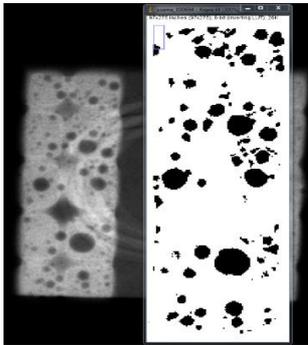


Abbildung 8: Fläche des Lötspads mit verteilten Quadraten

Die Fläche der Voids beträgt 14,96 %.

Es gibt keine(n) Standard/Norm, der/die den Anteil von Voids in einer Lötverbindung für BTC-Bauteile spezifiziert. Gemäß IPC610 sind 30 % an Voids für BGAs zulässig, dieser Wert diente als Referenz für unsere Analyse.

Table 8-13 Dimensional Criteria – Ball Grid Array Components with Collapsing Balls

Feature	Clause	Classes 1,2,3
Alignment	8.3.12.1	Solder ball offset does not violate minimum electrical clearance.
Solder Ball Clearance (C), see Figure 8-161	8.3.12.2	Solder ball does not violate minimum electrical clearance.
Soldered Connection	8.3.12.3	No solder bridging; BGA solder balls contact and wet to the land forming a continuous elliptical round or pillar connection.
Voids	8.3.12.4	30% or less voiding of any ball in the X-ray image area. Notes 1, 2, 3
Underfill or Staking Material	8.3.12.5	When required, underfill or staking material is present and completely cured.

Abbildung 9: IPC610

Ergebnisse der Abdrucktests

Abdrucktests wurden durchgeführt, um die Bruchfestigkeit der Bauteile zu überprüfen. Die nachstehende Abbildung dient dem besseren Verständnis.

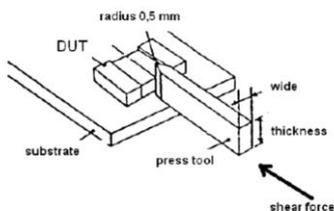


Abbildung 10: Abdrucktestaufbau zur Abschätzung der Anschlussfestigkeit / Referenzstandard: AEC-Q200-006

	WE-MAPI	
	Nicht vollflächige Schablone	Vollflächige Schablone
180°	150,95 N	157,95 N
Quadrate	128 N	127,25 N

Tabelle 1: Ergebnisse der Abdrucktests

Die Abdruckkraft mit dem normalen Land-pattern-Muster lag bei ca. 60 N.

Nach Betrachtung der Ergebnisse der beschriebenen Vortests, wurden umfangreiche Prüfungen mit verteilten Landpattern-Designs zur weiteren Analyse ausgeführt.

### 3.3.2. Statistische Tests und Ergebnisse

Für die Validierung der Ergebnisse wurden dieselben Prüfungen und Analysemuster mit einer großen Anzahl an Prüfkörpern durchgeführt. Hier wurde eine andere Lötpaste als in den Vortests verwendet. Die Lötpaste die für die statistischen Test verwendet wurde, hatte eine Korngröße von 0,3mm. Es wurden zwei Schablonen von 100 µm und 120 µm Dicke verwendet.

Für die statistischen Tests wurden verschiedene Abstandsgrößen auf den verteilten quadratischen Lötungenmustern implementiert (0,1 mm und 0,2 mm), um die Ergebnisse zu vergleichen und zu analysieren.

Nachstehend sind die CT-Ergebnisse aus den statistischen Tests wiedergegeben.

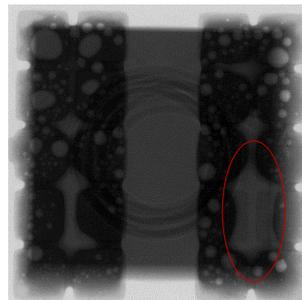


Abbildung 11: Quadrate, 0,1 mm Abstand Land-pattern-Muster

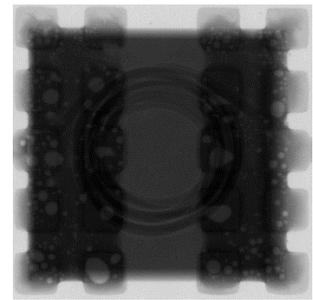


Abbildung 12: Quadrate, 0,2 mm Abstand Land-pattern-Muster

Die Scans zeigen, dass die Lötfläche bei den Land-pattern-Muster mit einem Pitch von 0,2 mm sehr viel besser als bei den Land-pattern-Muster mit 0,1 mm Abstand waren. Wohingegen in Abbildung 6 die Lötfläche auf demselben Land-pattern-Muster mit 0,1 mm Abstand besser ist. Der Grund hierfür besteht darin, dass die Korngröße bei den Vortests 0,2 mm betrug, in den statistischen Tests dagegen 0,3 mm. Daher ist die Lötfläche in Abbildung 12 sehr viel besser als in Abbildung 11.

# ANWENDUNGSHINWEIS

## Voids bei Bottom Termination Components (BTC)



Hinweis: Der Teilungsabstand der Schablone und der Land-pattern-Muster war immer gleich.

Nachfolgend ist die Voidflächenberechnung für Abbildung 10 wiedergegeben:

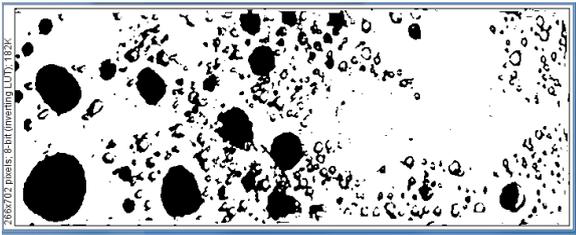


Abbildung 13: Voidflächenberechnung für Abbildung 10 (linkes Pad)

Die Fläche der Voids beträgt 21,10 %.

Hinweis: Der rot eingekreiste Bereich in Abbildung 11 wurde nicht für die Voidberechnung berücksichtigt. Es handelt sich weniger um einen Void als um eine Stelle, die frei von Lötpaste ist. Dies ist auf das Land-pattern-Muster-Design und die schlechte Löttoberfläche zurückzuführen und die höhere, feinere Teilungsfähigkeit der Lötpaste, weniger auf die Abstandsgröße des Land-pattern-Musters selbst.



Abbildung 14 : Voidflächenberechnung für Abbildung 11 (linkes Pad)

Die Fläche der Voids beträgt 14,2 %.

Nachstehend sind die Ergebnisse der Abdrucktests wiedergegeben.

Quadrate	Lötpaste mit 0,3 mm Korngröße	
	0,1 mm Abstand Land-pattern-Muster	0,2 mm Abstand Land-pattern-Muster
	123,7 N	110,98 N

Tabelle 2: Ergebnisse der Abdrucktests

Die Festigkeit der Lötverbindung wurde ebenfalls mit einer Lötpaste mit einem Pitch von 0,2 mm getestet; die Ergebnisse sind nachstehend wiedergegeben:

Quadrate	Lötpaste mit 0,2 mm Korngröße
	0,1 mm Abstand Land-pattern-Muster
	131,51 N

Tabelle 3: Ergebnisse der Abdrucktests

Aus den Ergebnissen der Tabellen 2 und 3 kann der Unterschied der Festigkeit der Lötverbindung klar festgestellt werden.

Hinweis: Die hier wiedergegebenen Testergebnisse des Abdrucktests sind Durchschnittswerte.

### 4. Zusammenfassung

Das Hauptziel zur Vermeidung von kreisförmigen Luftschlüssen in unseren Bottom Termination Components (BTC) mit einem Dual Flat Package haben wir erfolgreich erreicht. Es gab keine Verringerung der Lötverbindungsfestigkeit, sondern eher eine erhebliche Zunahme derselben (von 60 N auf etwa 120 N). Die Verwendung eines Vakuum-Reflow-Ofens oder eines anderen Reflow-Mediums ohne Sauerstoff trägt in einem hohen Maß zur Verringerung von Voids bei.

Alles in allem sind Voids Fluch und Segen zugleich (ähnlich wie Reibung). Man muss bedenken, dass Voids ein unvermeidliches Phänomen sind, wenn es um die Verbindung von zwei verschiedenen Metallen im Schmelzzustand in einer Nichtvakuumumgebung geht. Sie agieren als Spannungsaufnehmer oder -entlaster und verhindern die Ausbreitung von Rissen innerhalb der Lötverbindungen. Die vollständige Abwesenheit von Voids führt tatsächlich zu einer höheren Spannung in den Verbindungen, was letztendlich zu Rissen in den Verbindungen führen kann. Lediglich kreisförmige Luftschlüsse stellen ein Problem dar. Diese schließen Luft mit ein und agieren als Wärmedämmer. Dies führt seinerseits zu einem schnelleren Anstieg der effektiven Temperatur der Bauteile und einer Verringerung der Gesamtfestigkeit der Lötverbindung. Diese kreisförmigen Luftschlüsse wurden effektiv ohne Beeinträchtigung eines elektrischen Parameters, wie beispielsweise DCR, Nennstrom, Sättigungsstrom usw., durch Techniken eliminiert, die in diesem Anwendungshinweis enthalten sind.

# ANWENDUNGSHINWEIS

## Voids bei Bottom Termination Components (BTC)



### 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>