

Application Note



Einschaltstrom für Steckverbinder

ANE015 // ALEXANDRE CHAILLET, JULIEN HENROT

1 Einführung

Diese Application Note bezieht sich nur auf die Terminal Blocks (TBL) von Würth Elektronik.

Alle Widerstände, die unter Strom stehen, geben Wärme ab, dies wird als Joulescher Effekt bezeichnet. Ein Leistungssteckverbinder kann aus thermischer Sicht als ein einfacher Widerstand betrachtet werden. Der Nennstrom eines Leistungssteckers wird normalerweise durch eine Norm definiert. In unserem Fall normalerweise durch den UL 1059 Standard. Der maximale Temperaturanstieg (ΔT) in der UL-Norm beträgt 30 K (ΔT wird normalerweise in Kelvin und die Temperatur in °Celsius angegeben).

$$T_{\text{Steckverbinder}} [^{\circ}\text{C}] = T_{\text{Umgebung}} [^{\circ}\text{C}] + \Delta T [\text{K}] \quad \text{Gl.(1)}$$

Das bedeutet, dass die Innentemperatur des Steckverbinders bei vollem Nennstrom nicht mehr als 30 K über der Umgebungstemperatur liegen darf. Der Temperaturanstieg plus die Umgebungstemperatur (Gleichung 1) werden durch die maximale Betriebstemperatur begrenzt. Bei Verwendung der richtigen Derating-Kurve gewährleistet der Arbeitsstrom die Haltbarkeit des Steckers (siehe [ANO06 Derating von Steckverbindern](#)).

Einige Anwendungen erfordern kurzzeitig einen hohen Strom, z.B. für eine kurze Beschleunigung eines Elektrorollers oder eine Einschaltstrom eines elektrischen Transformators oder eine Kapazitätsentladung für ein Beleuchtungs-Vorschaltgerät müssen wir den Arbeitsstrom von Steckverbindern mit diesem Einschaltstrom überdimensionieren oder ist es möglich, kurzzeitig über den Nennstrom zu gehen?

2 Temperaturanstieg unter Strom

2.1. Nennstrom Temperaturanstieg

Der Temperaturanstieg kann wie folgt beschrieben werden:

$$\Delta T = k \cdot R \cdot I^2 \quad \text{Gl.(2)}$$

Mit:

- ΔT Temperaturanstieg [K]
- k thermische Umgebungs-konstante
- R Widerstand des Steckers [Ω]
- I Stromstärke [A]

Die Umgebung (Umgebung und Montage) hat einen großen Einfluss auf das thermische Verhalten eines Steckverbinders. Sie bestimmt, wie

schnell die Wärmeenergie abgeführt wird oder nicht. Aus diesem Grund wird k als Konstante definiert. Es ist jedoch nicht möglich, k für jede Bedingung zu definieren, daher ziehen wir es vor, den Temperaturanstieg unter denselben Bedingungen zu vergleichen. Dadurch wird die Konstante, wie in Gleichung (3) zu sehen, entfernt.

Das thermische Gleichgewicht ist erreicht, wenn die Kalorien aus dem Joule-Effekt und die durch den Steckverbinder abgeleiteten Kalorien gleich sind.

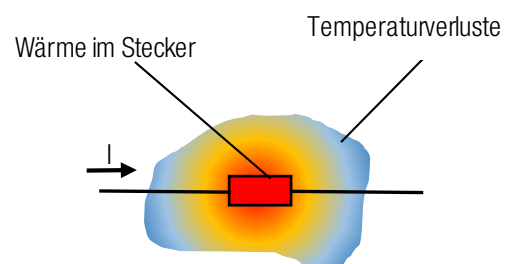


Abbildung 1: Schema der Wärmeableitung des Steckers

Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für die Messung des Temperaturanstiegs eines gewöhnlichen Steckers über die Zeit, natürlich $\Delta T < 30 \text{ K}$. Wie wir sehen können, braucht das System mehrere Minuten, um den Temperaturanstieg zu stabilisieren

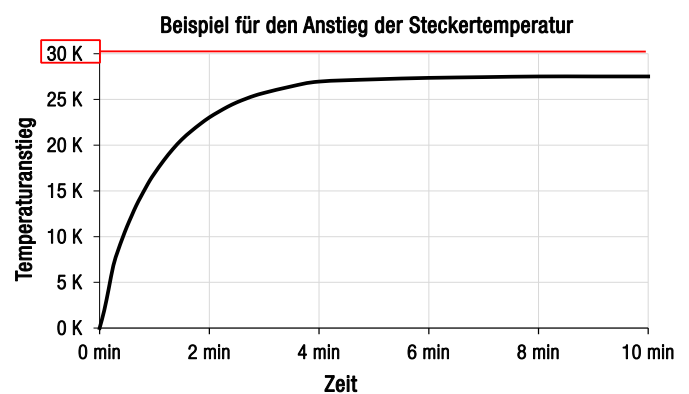


Abbildung 2: Temperaturanstieg des Steckers in Minuten

Application Note



Einschaltstrom für Steckverbinder

2.2. Temperaturanstiegszeit unter Strom

Konzentrieren wir uns nun auf die erste Minute des in Abbildung 2 beschriebenen Tests. Abbildung 3 ist die gleiche Kurve, aber nur für die ersten 60 Sekunden. Wir sehen zum Beispiel bei 10 s, dass $\Delta T = 5$ K:

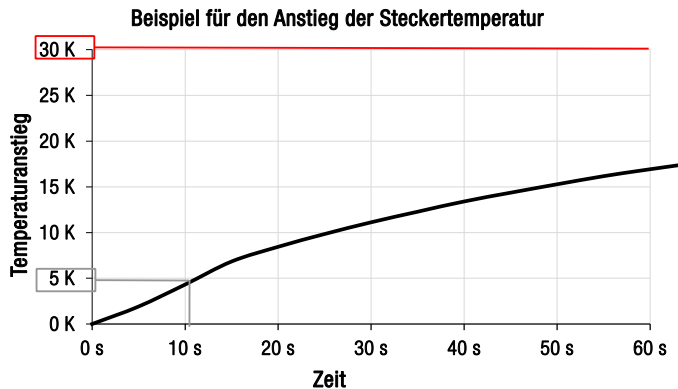


Abbildung 3: Temperaturanstieg während der ersten Minute

Wir können davon ausgehen, dass der Strom für kurze Zeit über dem Nennstrom liegen kann, ohne $\Delta T = 30$ K zu erreichen. Die Frage ist, wie man den Strom pro Zeitspanne in einem Steckverbinder abschätzen kann, ohne einen Temperaturanstieg von 30 K zu überschreiten? Wir werden dies im Kapitel 3 durch Experimente herausfinden.

3 Einschaltstrom

3.1. Vorprüfung: Einschaltstromdauer, die ein ΔT von 30 K ergibt

Wir müssen die Stecker über den Nennstrom hinaus belasten und stoppen jeden Test bei 100 °C, um die maximale Betriebstemperatur nicht zu überschreiten.



Abbildung 4: TBL-Überstromprüfung bei einer Umgebungstemperatur von 19,1°C

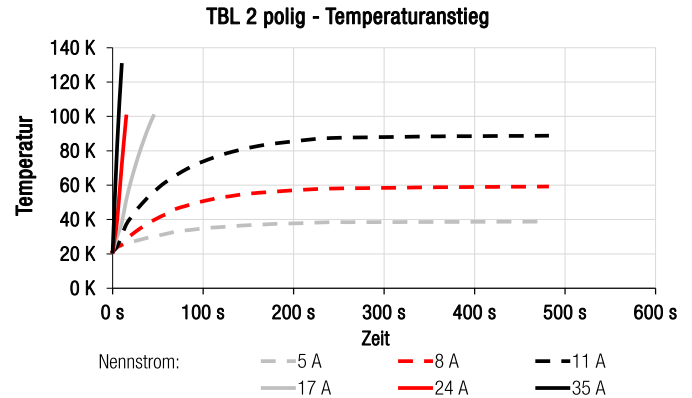


Abbildung 5: Temperaturanstieg über den Nennstrom

Kurven Schlussfolgerungen:

- Der Nennstrom liegt bei einem $\Delta T < 30$ K, wie von der UL-Norm gefordert
- Wenn man den Nennstrom übersteigt, überschreitet man auch die 30 K
- Wenn wir die Dauer begrenzen, ist es möglich, den Steckverbinder im Bereich $\Delta T < 30$ K zu halten. Mit diesem Steckverbinder können wir beispielsweise 11 A (das 2,2-fache des Nennstroms) während 35 s anlegen, um 30 K zu erreichen.

3.2. Vorschlag für die Einschaltstromkurve

Jetzt müssen wir herausfinden, wie lange wir einen Strom über dem Nennwert anlegen können, um ihn schließlich an einigen unserer Steckverbinder zu testen und den Einschaltstrom und die Zeit zu validieren.

Wir haben einen großen Sicherheitsfaktor von mehr als zwei zwischen dem, was wir gemessen haben, und dem, was wir in unserem Datenblatt angeben.

3.3. Einschaltstrom-Vollprüfungen

Eine Reihe von Steckverbindern mit einer charakteristischen Anzahl von Kontakten wurde getestet (rote Kurve in Abbildung 6), um zu prüfen, ob die Belastung durch den erhöhten Strom keine unannehmbaren Auswirkungen auf den Steckverbinder hat. Alle Werte, die durch die 10 roten Punkte in Abbildung 7 markiert sind, mussten an jedem Steckverbinder getestet werden (z. B. 1,1-facher Arbeitsstrom während 20 s). Ziel war es, zu überprüfen, dass ΔT für jeden Punkt 30 K nicht überschreitet.

Application Note



Einschaltstrom für Steckverbinder

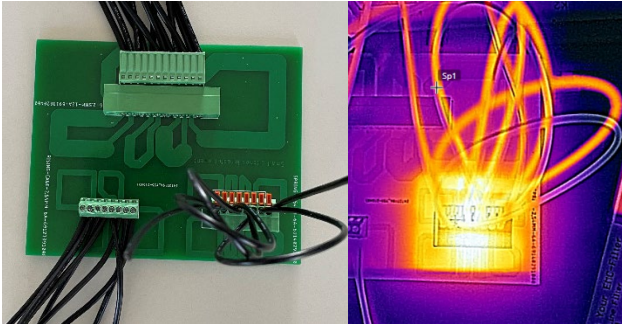


Abbildung 6: Aufbau der Einschaltstromprüfung

3.4. Schlussfolgerungen aus den Tests

Alle Tests, die mit verschiedenen Steckverbindern durchgeführt wurden, ergaben annähernd ähnliche Ergebnisse. Die Wärmeenergie muss an die Umgebung des Steckverbinders abgeleitet werden. Andernfalls staut sich die Energie im Inneren des Steckers. In diesem Fall würde die Temperatur weiter ansteigen und die elektrischen Teile oder sogar das gesamte Gerät gefährden.

Abbildung 9 zeigt einen Steckverbinder bei 70 % des Nennstroms mit 10 Stromspitzen mit einem Verhältnis von 7:1 (Spitzenwert zu Nennwert) und einem Intervall von 5 Minuten, das erforderlich ist, damit der Steckverbinder seine Ausgangstemperatur wieder erreicht.

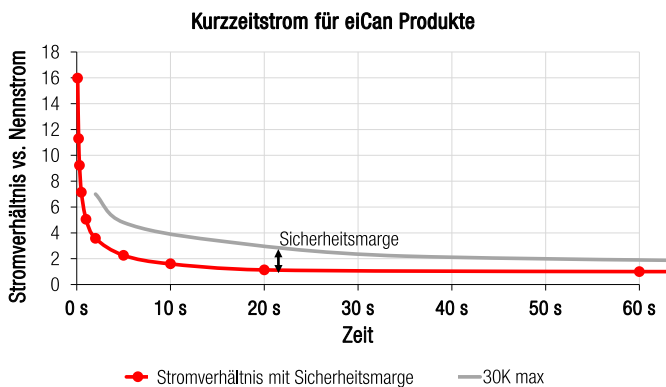


Abbildung 7: Typischer 30 K-Temperaturanstieg und Vorschlag mit Sicherheitsmarge

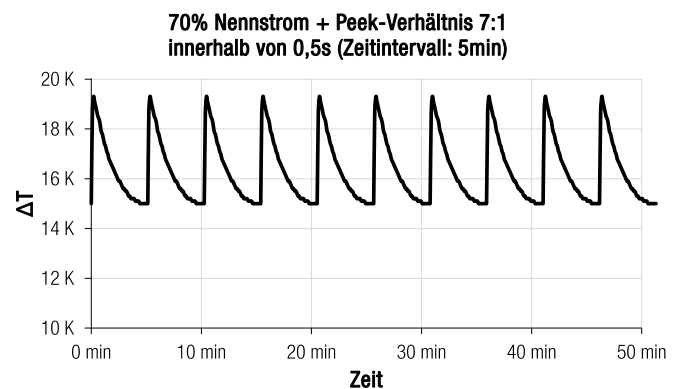


Abbildung 9: ΔT -Kurve mit Zeitintervallen zwischen den Spitzen, die für die Energiedissipation ausreichen

Der Temperaturanstieg geht immer auf 15 K zurück, das System ist stabil.

Verringert sich jedoch der zeitliche Abstand, hat der Stecker nicht genug Zeit, um die Wärmeenergie abzuführen. Abbildung 10 zeigt, dass die Temperatur weiter ansteigt. Das System ist nicht stabil. Nach einer gewissen Zeit wird der Steckverbinder dadurch beschädigt, so dass dieser Zustand vermieden werden muss.

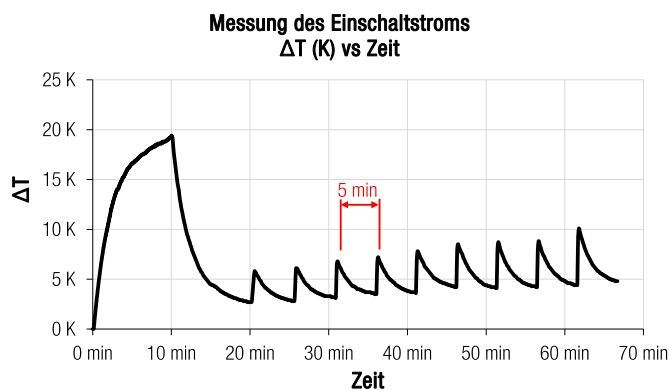


Abbildung 8: Ergebnisse der Einschaltstromprüfung

Es wurden zehn Tests mit unterschiedlichen Stromstärken durchgeführt, wobei ein Intervall von 5 Minuten eingehalten wurde, damit sich die Temperatur langsam auf den Ausgangswert zurückbilden konnte. Der erste ΔT -Spitzenwert ist der größte. Er bezieht sich auf den Nennstrom während eines Zeitraums von 10 Minuten. Alle anderen "Arbeitspunkte" haben einen sehr geringen Einfluss auf das ΔT , hier etwa 5 K maximal.

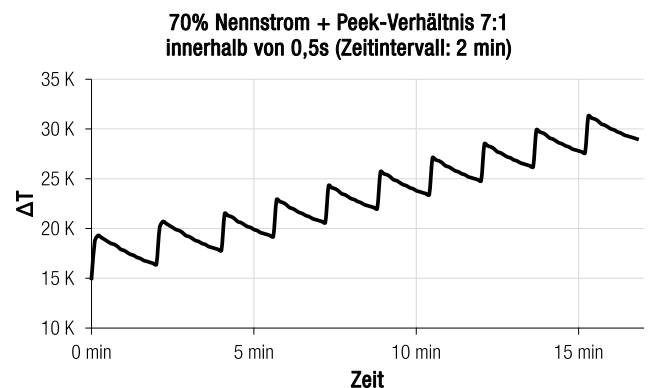


Abbildung 10: ΔT -Kurve mit zeitlichen Abständen zwischen den Spitzen, die für eine ausreichende Energiedissipation zu kurz sind

Application Note



Einschaltstrom für Steckverbinder

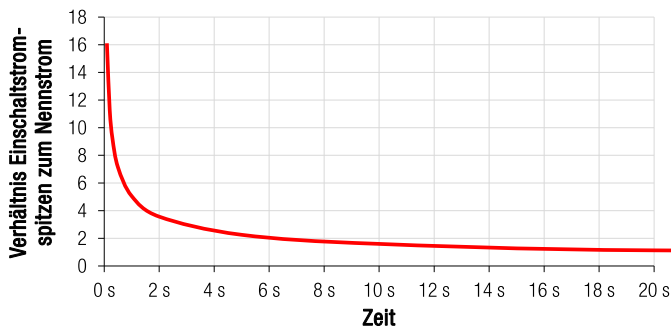
Die Energiedissipation hängt stark von der Umgebung der Steckverbinder ab: Größe der Leiterbahnen, Größe der Drähte, in einem geschlossenen Gehäuse oder nicht. Die Höhe der Energiedissipation in den hier angegebenen 5-Minuten-Intervallen variiert je nach Anwendung.

4 Finale anwendbare Kurven

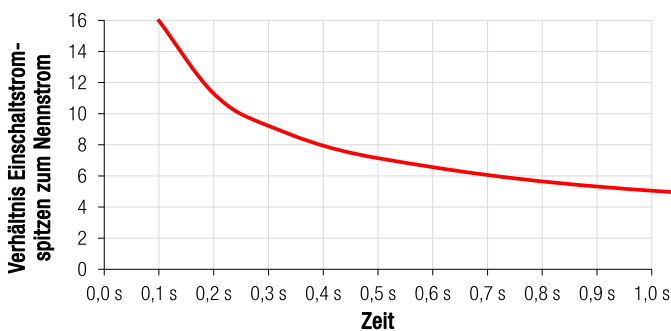
4.1. Einschaltstromkurve

Letztendlich ist es möglich, alle 5 Minuten einen Einschaltspitzenstrom (Mindestwert, der unter realen Bedingungen zu überprüfen ist) für jeden Steckverbinder gemäß den Kurven in den Abbildungen 11 und 12 zu ermitteln.

Verhältnis von Einschaltspitzenstrom und Nennstrom, anwendbar für Terminal Blocks



Verhältnis von Einschaltspitzenstrom und Nennstrom, anwendbar für Terminal Blocks



Abbildungen 11 & 12: Anwendbarer Einschaltstrom für WE-Steckverbinder. Verschiedene Zeitskalen

Beispiel:

Bei einem Nennstrom von 5 A ist es möglich, das Gerät mit vollem Strom zu betreiben und alle 5 Minuten für 6 Sekunden einen Spitzenstrom von z.B. dem zweifachen Nennstrom (10 A) zu erzeugen.

4.2. Derating-Kurve - konstanter "Einschaltstrom"

Bei Verwendung eines WE-Steckverbinders gibt die folgende Kurve den anwendbaren Strom in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur an (Abbildung 13).

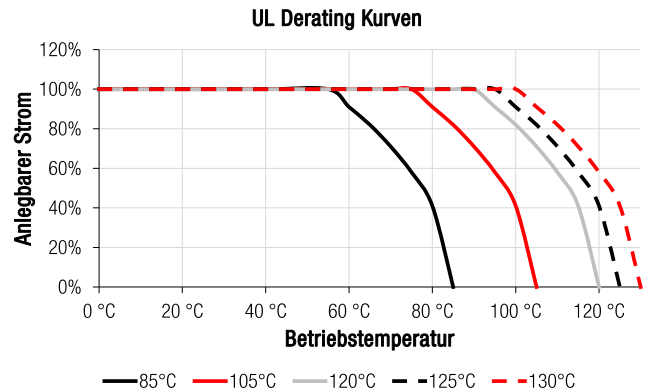


Abbildung 13: UL-Derating-Kurven für verschiedene Betriebstemperaturen

Die Steckverbinder von Würth Elektronik halten die UL-Vorschriften in jeder Situation ein. Es ist eine maximale Erwärmung von $\Delta T \leq 30$ K eingestellt, unabhängig davon, welcher Einschaltstrom anliegt. Es ist daher nicht möglich, einen Steckverbinder gleichzeitig mit Vollstrom und zusätzlichem Einschaltstrom zu betreiben.

Aus Sicherheitsgründen gehen wir davon aus, dass das maximale ΔT beim Einschaltstrom 15 K beträgt. Das bedeutet, dass ein maximales ΔT für den Temperaturanstieg bei stabilem Strom von $30 - 15 = 15$ K möglich ist. Mit Gleichung 2 wissen wir für dasselbe System, dass ΔT durch folgende Formel gegeben ist:

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{I_1^2}{I_2^2} \quad \text{Gl.(3)}$$

$$\Delta T_1 = 30 \text{ K und } \Delta T_2 = 15 \text{ K, dann } I_2 = \frac{I_1}{\sqrt{2}}$$

Beim Einschaltstrom müssen wir den Nennstrom begrenzen auf

$$\frac{100\%}{\sqrt{2}} \approx 70 \%$$

Wenn wir also einen Steckverbinder sowohl für den Dauerstrom als auch für den Einschaltstrom verwenden wollen, müssen wir die Derating-Kurven wie folgt anpassen:

Application Note



Einschaltstrom für Steckverbinder

UL-Derating-Kurven: Nennstrom und Einschaltstrom

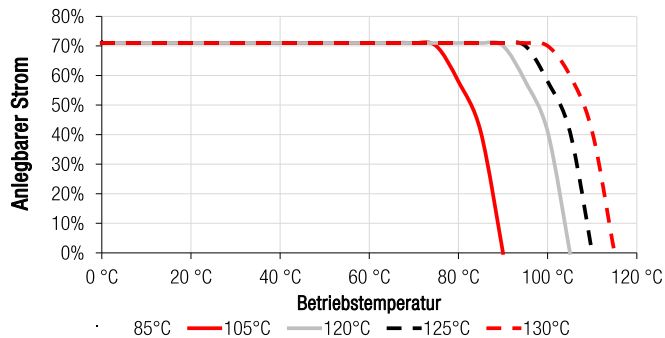


Abbildung 14: UL-Derating-Kurven für Dauer- und Einschaltstrom bei verschiedenen Betriebstemperaturen. Nur für WE-Terminal Blocks

Denken Sie daran, immer einen Temperaturanstiegstest unter realen Bedingungen durchzuführen, um sicherzustellen, dass die Zeitspanne lang genug ist, um das System stabil zu halten.

5 Zusammenfassung

Grundlegende Regeln:

1. Max. Temperatur < Betriebstemperatur des Steckers
2. Max $\Delta T < 30$ K in jedem Fall (UL)
3. Es wird empfohlen, zwischen 2 Einschaltspitzen mindestens 5 Minuten verstreichen zu lassen, damit die Temperatur auf die Ausgangstemperatur zurückgehen kann.
4. Jede Situation ist in Bezug auf die Wärmeableitungsfähigkeit anders, so dass jede Anwendung vom Kunden unter realen Bedingungen validiert werden muss (der Kunde muss überprüfen, dass ΔT in jedem Fall < 30 K bleibt).

Die Kurven in dieser Application Note sind Empfehlungen. Würth Elektronik garantiert jedoch die in den Datenblättern angegebenen Parameter. Darüber hinaus liegt die Anpassung des Einschaltstroms an die Anwendung und die Umgebungstemperatur in der Verantwortung des Kunden.

Application Note



Einschaltstrom für Steckverbinder

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/appnotes

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

 Toolbox
www.we-online.com/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

