

Application Note



Derating von Steckverbindern

ANE006 // ALEXANDRE CHAILLET

1 Einleitung

Fließt ein elektrischer Strom durch einen Widerstand entsteht dabei Wärme. Die resultierende Wärmemenge steht in einem direkten Verhältnis zu diesen beiden Parametern. Welchen Einfluss auf den Widerstand hat hier aber die Umgebungstemperatur? Muss mit steigender Temperatur der Strom begrenzt werden, besonders wenn diese nahe an der maximal zulässigen Betriebstemperatur eines Steckverbinders liegt? Wir werden versuchen, diese Fragen zu beantworten und praxisnahe Kennlinien für die Verwendung mit unseren Steckverbindern geben.

2 Temperaturerhöhung

2.1. Theorie der Temperaturerhöhung

Elektrische Steckverbinder spezifizieren immer einen Betriebsstrom, welcher durch internationale, nationale oder sogar branchenspezifische Normen definiert ist. Diese sehen einen maximalen Temperaturanstieg (Δt) vor, der unter dem Betriebsstrom zulässig ist. Die auftretenden Temperaturen werden an der heißesten Stelle des Steckverbinders mit einem sehr präzisen Verfahren gemessen (üblicherweise EIA364-70). Allerdings können verschiedene Normen unterschiedliche Werte für dieses Maximum Δt zulassen. Für die UL-Zertifizierung hat sich Würth Elektronik für Δt mit maximal 30 K (UL1059 - Reihenklennen) entschieden.

Unterschiedliche Normen können sich auf unterschiedliche Prüfverfahren, unterschiedliche Polzahlen und insbesondere den Wert Δt beziehen, so dass es möglich ist, verschiedene Normen (z.B. UL und VDE) mit unterschiedlichen Stromwerten für dasselbe Produkt zu finden.

Zur berechnung von Δt kann durch die folgende Joule-Formel verwendet werden.

$$\Delta t = k \cdot R \cdot I^2 \quad \text{Gl.(1)}$$

Mit:

Δt	Temperaturerhöhung in Kelvin
k	Konstante
R	Widerstand des Steckverbinders in Ω
I	Strom in A

Die Konstante k hängt von Umgebungsfaktoren ab wie: Kunststofftyp und sogar dessen Farbe, Luftstrom und allen Faktoren, die die Wärmeabfuhr verbessern oder reduzieren. Daher kann diese nicht für jede Applikation oder Produktanwendung berechnet oder vorherbestimmt werden.

Werden allerdings Werte auf dem gleichen Messsystem erhoben und miteinander verglichen, kann die Konstante außer Acht gelassen werden. Wenn wir die Δt_1 Messung eines Steckverbinders mit einem Strom I_1 durchführen, kann Δt_2 bei einem anderen Strom I_2 ohne Messung berechnet werden.

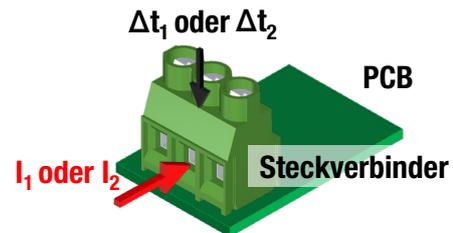


Abbildung 1: Testprinzip der Temperaturerhöhung

Wenn wir die Formel von Joule (Gleichung 1) verwenden, sind die Konstante k und der Widerstand R für diese beiden Klennen gleich.

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{I_1^2}{I_2^2} \quad \text{Gl.(2)}$$

Hinweis: Diese Formel ist eine Schätzung. Aus verschiedenen Gründen wie der Stromschwankung, Messgenauigkeit und Umgebungseinflüsse ist sie nicht präzise.

Wir werden im nächsten Absatz sehen, ob diese Schätzung im Vergleich zur realen Messungen korrekt ist.

Die Innentemperatur des Steckverbinders beträgt

$$t = \Delta t + t_{\text{Umgebung}} \quad \text{Gl.(3)}$$

2.2. Experiment zur Temperaturerhöhung

Wir haben den Test der Temperaturerhöhung auf einige unserer Bauteile angewendet, um die Theorie zu überprüfen. Dabei wurden diese in einem geschlossenen Raum platziert, um den Einfluss des Luftstroms zu vermeiden. Eine Regulierung der Temperatur fand nicht statt.

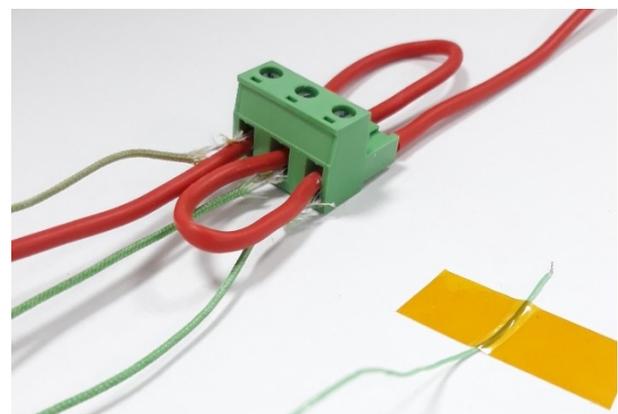


Abbildung 2: Schematischer Testaufbau

Application Note



Derating von Steckverbindern

Im folgenden Beispiel wird ein WR-TBL Terminal Block mit drei Polen in Reihe geschaltet und ein Strom von 20 A mit einem 12 AWG Draht angelegt. Drei Thermoelemente messen die Temperatur jeweils innerhalb jeder Schraubklemme. Ein weiteres Thermoelement dient zur Messung der Umgebungstemperatur.

Die Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Thermoelementmessung Δt (in K) und parallel dazu die berechnete Schätzung nach der Joule-Formel mit dem Δt bei Betriebsstrom 20 A (grüne Zeile).

Als Beispiel wird die Schätzung von Th_1 bei 10 A wie folgt berechnet:

$$\Delta t_{10A} = \frac{I_1^2}{I_2^2} \cdot \Delta t_{20A} = \frac{10^2 \text{ A}}{20^2 \text{ A}} \cdot 19,2 \text{ K} = 4,8 \text{ K} \quad \text{Gl.(4)}$$

Aus den experimentellen Ergebnissen in Tabelle 1 geht hervor, dass sich der Temperaturanstieg des Steckverbinders von 10 A auf 20 A mit dem Faktor vier multipliziert! Der Vorhersagefehler (in K) ist der Mittelwert aus jedem der drei Fehler zwischen Mess- und Rechenwert.

	Strom (A)	Th ₁ Klemme 1	Th ₂ Klemme 2	Th ₃ Klemme 3	Vorhersagefehler (K)
Messung Δt (K)	5	1,3	1,6	0,9	0,0
Δt erwartet (K)		1,2	1,6	1,0	
Messung Δt (K)	10	5,4	7,0	4,4	0,5
Δt erwartet (K)		4,8	6,5	3,9	
Messung Δt (K)	15	11,5	15,4	9,5	0,7
Δt erwartet (K)		10,8	14,6	8,7	
Messung Δt (K)	20	19,2	25,9	15,5	-
Messung Δt (K)	25	29,0	38,8	22,9	-1,3
Δt erwartet (K)		30,0	40,5	24,2	
Messung Δt (K)	30	41,8	55,9	32,0	-2,1
Δt erwartet (K)		43,2	58,3	34,9	

Tabelle 1: ΔT Testergebnisse verglichen mit der Schätzrechnung

Der Vorhersagefehler zeigt, dass die Berechnungsmethode ein guter Ansatz zur Schätzung des tatsächlichen Δt Wertes ist. Wenn man also das Δt eines Steckverbinders für einen bestimmten Strom kennt, kann man das Δt für einen anderen Strom abschätzen.

Jedoch sollte man beachten, dass diese Schätzung weniger genau ist, wenn es eine große Spanne zwischen den beiden Strömen gibt (z.B. 2 A und 50 A).

3 Derating Test

3.1. Derating Theorie und Experiment

Der Derating Test ist ein Δt Test, welcher mit dem Betriebsstrom und in der Klimakammer bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt wird, normalerweise von 20°C bis zur maximal zulässigen Betriebstemperatur des Produkts. Er liefert uns Informationen über den maximal zulässigen Strom unter verschiedenen thermischen Bedingungen.

Die Produkte von Würth Elektronik sind so konzipiert, dass Metallteile über den gesamten Arbeitstemperaturbereich hinweg ihren Wirkungsgrad nicht verlieren. Allerdings sehen wir eine empfindliche Δt Änderung bei dem Variieren der Temperatur.

Der Hauptgrund dafür ist, dass elektrische Widerstände von Metallen mit der Temperatur gemäß der folgenden Formel variieren:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (t - t_0)) \quad \text{Gl.(5)}$$

Mit:

R_t Widerstand eines Metallleiters bei einer Temperatur t in Ω

R_0 Widerstand bei Temperatur t_0 in Ω

α Temperaturkoeffizient des Widerstandes in K^{-1}

t Temperatur in °C (or K)

α ist eine materialabhängige Konstante. Zwei Beispiele für Materialien, die häufig als Leiter verwendet werden:

$$\alpha_{\text{Kupfer}} \approx 4 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

$$\alpha_{\text{Messing}} \approx 1,5 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

Hinweis: Das Symbol '≈' wird verwendet, da der Wert je nach Materialart leicht variiert.

Natürlich ist der Gesamtkontaktwiderstand die Addition verschiedener Parameter: unterschiedliche Materialleiter, Kontakt zwischen Draht und Klemme, Lötstellen und Kontakt zwischen den gesteckten Klemmen.

Um eine Vorstellung von der Widerstandsänderung an einem Steckverbinder mit einer Mischung aus Kupfer- und Messingleitern zu vermitteln, kann diese am Beispiel der Temperaturänderung von 20 °C bis 100 °C mit Hilfe der folgenden Berechnung abgeschätzt werden:

$$R_{100^\circ\text{C}} = R_{20^\circ\text{C}} \cdot \left(1 + \left(\frac{1,5 + 4}{2} \cdot 10^{-3} K^{-1} \right) \cdot (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \right) \quad \text{Gl.(6)}$$

$$R_{100^\circ\text{C}} = 1,2 \cdot R_{20^\circ\text{C}}$$

Dieses Beispiel zeigt, dass der Steckverbinder seinen Widerstand um ca. 20 % erhöht.

Tabelle 2 zeigt einige Messungen bei verschiedenen Temperaturen.

Application Note



Derating von Steckverbindern

Umgebungs-temperatur (°C)	Innen-temperatur Produkt (°C)	Δt (K)	Δt Zunahme vs Δt bei 23°C (K)	Δt Zunahme vs Δt bei 23°C (%)
23,0	38,9	15,9		
34,7	51,4	16,7	0,8	5%
46,4	63,8	17,4	1,5	9%
58,1	76,0	17,9	2,0	13%
69,8	88,3	18,5	2,6	16%
81,5	100,7	19,2	3,3	21%
93,2	112,5	19,3	3,4	21%
104,9	124,7	19,8	3,9	25%

Tabelle 2: Tabelle der Deratingprüfwerte für einen Terminalblock

Wir dürfen nicht vergessen, dass der Temperaturanstieg direkt proportional zum Steckverbinderwiderstand ist. Wenn wir dies berücksichtigen, ist die Schätzung der Widerstandserhöhung konsistent.

3.2. Derating Kennlinien

Wir haben bereits gesehen, dass der Betriebsstrom einen Temperaturanstieg von maximal 30 K gemäß der verwendeten UL-Norm ermöglicht. Wir haben gesehen, dass der elektrische Widerstand eines Metallteils durch die Erhöhung der Umgebungstemperatur natürlich zunehmen würde. Wir wissen, dass alle Produkte einen Betriebstemperaturbereich und insbesondere eine maximale Betriebstemperatur aufweisen, unter der sie eingesetzt werden können. Nun stellt sich die Frage: "Kann das Produkt mit dem maximalen Betriebsstrom bei der maximal zulässigen Temperatur betrieben werden"? Die Antwort ist, dass wir den Strom anpassen sollten, um eine zu hohe Temperatur am Produkt zu vermeiden, da dies seine Lebensdauer verkürzt. Dafür stehen Deratingkurven zur Verfügung.

Sie sind wie folgt aufgebaut:

- Der Betriebsstrom ist natürlich ab der minimalen Betriebstemperatur zulässig. Die Kurven beginnen erst bei 0 °C, um einen langen flachen Kurvenbereich zu vermeiden
- Bei UL-Normen von " $t_{\max} - 30$ K" bis zur maximalen Betriebstemperatur sinkt der Strom entsprechend dem Quadrat des Stroms
- Bei VDE Normen von " $t_{\max} - 45$ K" bis zur maximalen Betriebstemperatur

Für ein Bauteil mit einer maximalen Betriebstemperatur von z.B. 85 °C können daraus die folgenden Deratingkennlinien in Abbildung 3 und 4 (rote konstante Linie) abschätzen.

Der erhöhte Widerstand wird berücksichtigt, da Würth Elektronik eine Sicherheitsmarge von 20 % gegenüber dem beim Deratingtest erhaltenen Betriebsstrom verwendet.

Die zusätzlichen Linien sind die Deratingkennlinien für unsere Steckverbinder entsprechend der angegebenen maximalen Betriebstemperatur. Diese können für alle unsere eiCan-Produkte verwendet werden.

4 Zusammenfassung

Wenn wir den Temperaturanstieg Δt_1 (in K) für einen Stecker unter einem Strom I_1 (in A) kennen, ist es möglich, den Temperaturanstieg Δt_2 unter einem anderen Strom I_2 zu schätzen.

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{I_1^2}{I_2^2}$$

Hinweis: Diese Formel gilt für den gleichen Steckverbinder unter den gleichen Umgebungsbedingungen.

Wenn ein Steckverbinder in der Nähe der maximal zulässigen Temperatur verwendet wird, wird empfohlen, Deratingkennlinien zu verwenden, welche für alle eiCan-Produkte gelten.

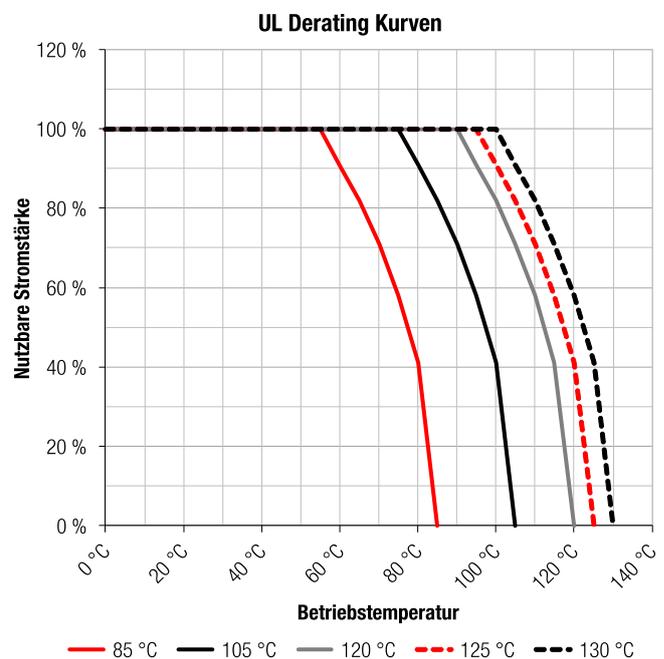


Abbildung 3: UL Derating Kurve für verschiedene Betriebstemperaturen

Application Note

Derating von Steckverbindern

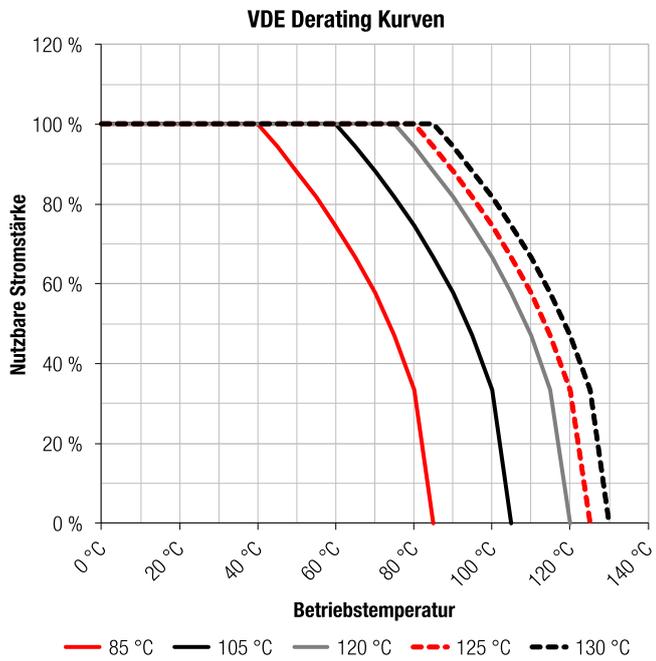


Abbildung 4: VDE Derating Kurve für verschiedene Betriebstemperaturen

Application Note



Derating von Steckverbindern

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.de/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