

Einfluss des Schmelzleiters auf die Geräteschutzsicherung

Bei der Auswahl einer geeigneten Sicherung für den Schutz eines Gerätes sind eine ganze Reihe von Aspekten zu berücksichtigen. Wir verraten Ihnen, worauf Sie dabei achten sollten.

MANFRED RUPALLA *

Die Schmelzleiter aktueller Geräteschutzsicherungen unterschiedlicher Bauformen reagieren empfindlich auf Änderungen der Wärmeimpedanzen ihrer Umgebung. Ursachen und Bedeutung dieser Erscheinung und die sich daraus ergebenden Besonderheiten der verschiedenen Schmelzleitertypen sollen in den folgenden Ausführungen dargestellt werden.

* Manfred Rupalla
... ist Senior-Berater für Geräteschutz bei der Elschukom GmbH.

Die bekannteste und einfachste Form eines Schmelzleiters ist der glatte „Draht“. Grundsätzlich gilt „je dicker der Draht eines Materials, umso geringer ist sein Widerstand und desto höher ist sein Nennstrompotenzial“.

Die Eigenschaften eines „einfachen“ Schmelzleiters

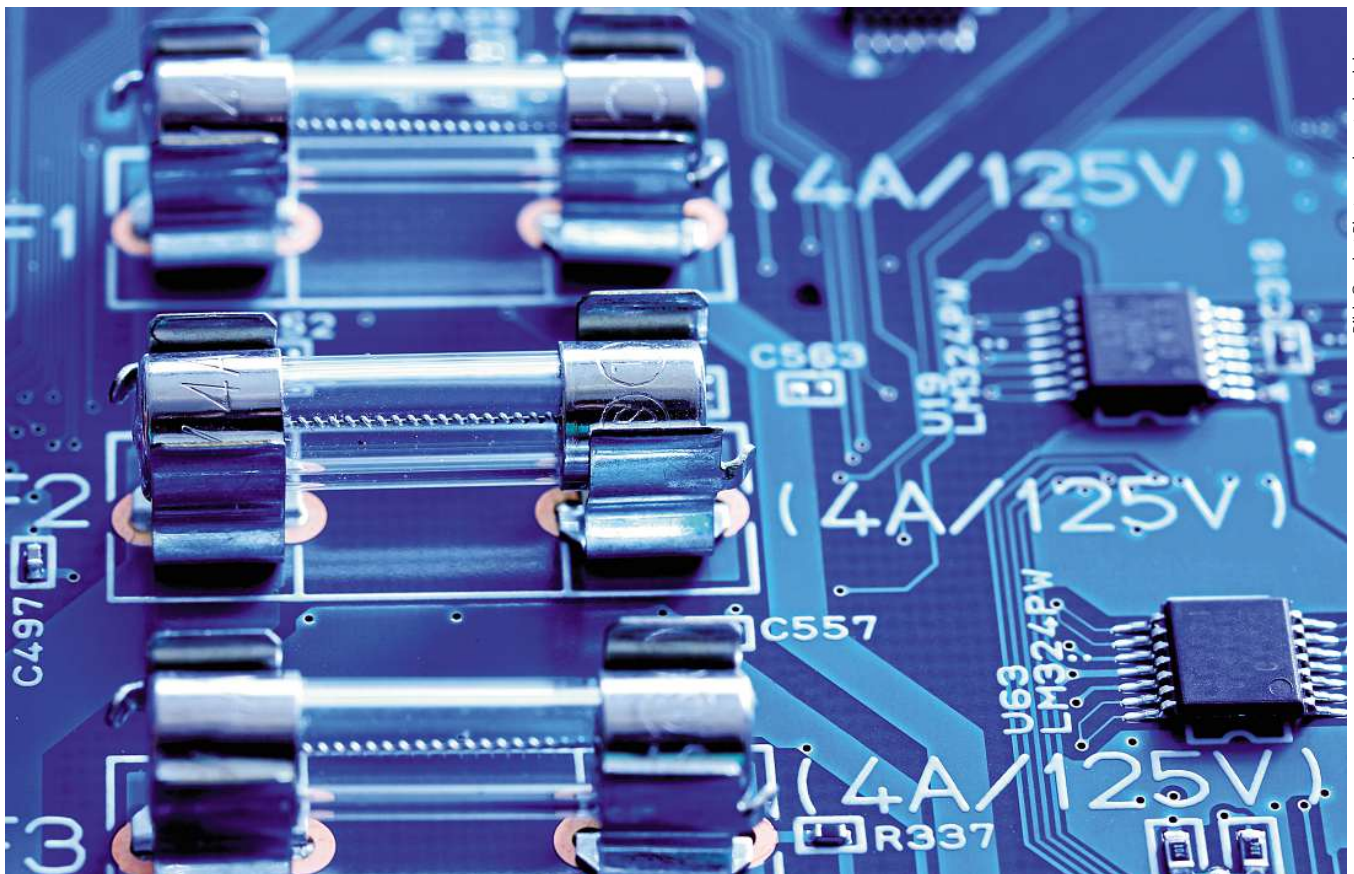
Widerstand und Strom setzen nach $P_V = I^2 R$ die zum Erreichen der Schmelztemperatur notwendige Leistung um. Um die definierte Zeit-Strom Charakteristik einer Geräteschutzsicherung zu realisieren, muss die Schmelz-

temperatur des Schmelzleiters in einer vorgegebenen Zeit erreicht werden. Es gilt nach dem Joule-Lenz-Gesetz (Stromwärmegesetz):

$$\Delta T = \frac{I^2 \cdot R \cdot t}{C_T}$$

C_T : Wärmekapazität des Systems, I : Stromstärke, R : ohmscher Widerstand, t : Belastungszeit.

Wenn man bedenkt, dass die materialspezifischen Parameter des Schmelzleiterdrahtes (Widerstand, Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit) temperaturabhängig sind, ist eine einfache Erklärung der komplexen Vor-



Schmelzsicherungen: bei der Auswahl sind einige wichtige Aspekte zu beachten.

Bild: ©serkat Photography - stock.adobe.com

Bild: WW-Katalog, Manfred Rupalla

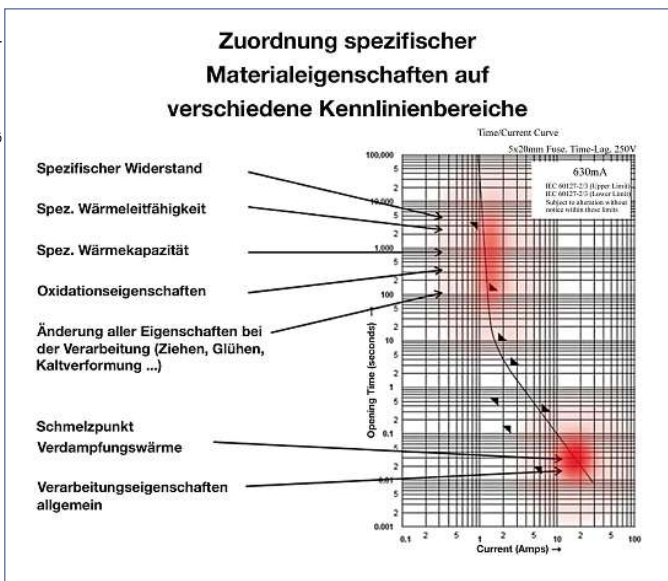


Bild 1: Schmelzleiterparameter und ihr Einfluss auf die Zeit-Strom-Kennlinie einer Geräteschutzsicherung.

gänge innerhalb einer Geräteschutzsicherung bei Stromfluss kaum möglich.

Das vielfältige Zusammenspiel der einzelnen Parameter miteinander und deren Verständnis ermöglichen, dass aus einem einfachen Draht ein „Schmelzleiter“ entwickelt werden kann.

Die Zeit-Strom-Kennlinie in Bild 1 stellt dar, in welchen Bereichen diese und weitere Parameter auf den Verlauf der Kennlinie vornehmlich Einfluss nehmen.

Als Grundlage dient die Tatsache, dass alle spezifischen Materialparameter durch die Verarbeitungsschritte in der Schmelzleiterfertigung innerhalb der zulässigen Toleranzen gehalten werden bzw. durch gezielte Prozesse (thermische Behandlung) wieder eingestellt werden.

Dies ist insofern von Bedeutung, da nachfolgende Verarbeitungsschritte zur Einstellung wesentlicher Sicherungseigenschaften auf diesen Materialparameter basieren. Zusätzliche Beschichtungen, Materialkompositionen, Diffusionsprozesse, formgebende Gestaltungen und Konfektionierungen sind auf präzise und definierte Materialparameter angewiesen.

Beispiel einer zusätzlichen Beschichtung mit Silber

Kupfer oder Kupferlegierungen sind die am häufigsten verwendeten Materialien zur Nutzung als Schmelzleiter. Zu den vielen Vorteilen, die Kupfer bei der Verwendung als Schmelzleitermaterial hat, steht jedoch ein erheblicher Nachteil entgegen: die ausgeprägte Oxidationsfreudigkeit des Kupfers.

Kupferoxid ist mechanisch sehr fest und schlecht leitfähig. Eine Oxidation des

Schmelzleiters führt zu einer Reduzierung des reinen Kupferdurchmessers und hat eine daraus resultierende Widerstandserhöhung bzw. Nennstromreduzierung zur Folge. Zum Oberflächenschutz des Kupfers wird in der Regel eine Silber- oder Zinnschicht galvanisch oder mechanisch aufgebracht. Zinn hat darüber hinaus eine weitere Funktion, die im Folgenden noch näher beschrieben wird.

Der Schutz vor Oxidation erfordert bei sauerstoffarmen oder -freien Kupfer eine ausreichend dicke, homogen geschlossene und dichte Silberbeschichtung. Die Silberbeschichtung wird in der Regel aus Kostengründen nur so ausgeführt, dass – je nach Schmelzleiterdurchmesser – eine ausreichende Dichte erreicht wird. Eine in Schichtdicke und Konstanz unzureichende Beschichtung lässt bei Langzeitbelastungen immer noch eine Oxidation zu (zumal Cu/Ag bereits diffundieren).

Gleichzeitig behindert die hohe Festigkeit der Oxidschicht u.U. ein zeitgenaues Abschmelzen und Trennen des Materials.

Welche Silberschicht notwendig ist, wird in den Labors des Schmelzleiterherstellers durch Versuchsreihen ermittelt. Hinzu kommt notwendigerweise eine hohe Prozessfähigkeit sowohl bei der Verarbeitung des Grundmaterials als auch im Beschichtungsprozess selbst.

Beschichtungen mit Zinn für „träges“ Abschaltverhalten

Eine Beschichtung des Schmelzleiters mit Zinn wird fast immer dann vorgenommen, wenn ein „träges“ Abschaltverhalten erreicht werden soll. Bei der Verwendung von Widerstandsmaterial als Schmelzleiter dient die

Bild 2:
oxidiertes Schmelzleiter
mit Kupferaustritt.

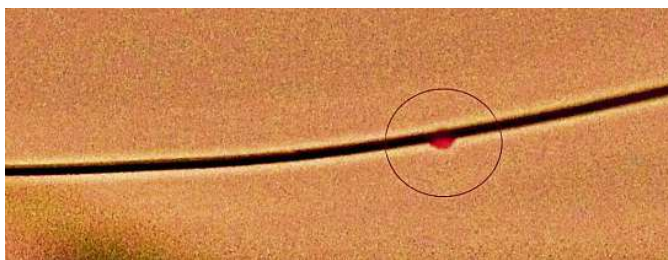


Bild: Elschukom, Manfred Rupalla

Zinnschicht auch zur Verbesserung der Lötbarkeit. Silber, Kupfer und ihre Legierungen lassen eine intensive Wechselwirkung von Kupfer und Zinn zu.

Die, unter dem Temperatureinfluss der Strombelastung stattfindende Diffusion führt zur Ausbildung von Cu/Sn-Verbindungen im Übergangsbereich Cu-Sn. Diese verringern die elektrische Leitfähigkeit des Schmelzleiters insgesamt und reduzieren in Folge den Nennstrom.

Wechselwirkungen zwischen Schmelzleiterkern und Zinnschicht sind sehr komplex. Die im Ergebnis erreichte Reduzierung des Nennstromes bei annähernd gleichem I²t-Wert führt dazu, dass das Abschaltverhalten, beschrieben durch die Zeit-Strom-Kennlinie, „träger“ wird! Der Effekt ist als „M-Effekt“ bekannt (nach A.W. Metcalf, BEAMA-Journal 1939). Seine gezielte, optimale Nutzung setzt nicht nur gute Kenntnisse der Werkstofftechnik sondern auch viel Erfahrung voraus.

Die Stärke der Zinnschicht muss sich, je nach Schmelzleiterkern und Material, in einem, für dem M-Effekt optimalem Schichtdicken-Fenster bewegen.

Eine zu dicke Zinnschicht behindert die Diffusion durch einen zu hohen Anteil an eigener Stromleitung. Mit einer zu dünnen Schicht wird die gewünschte Trägheit der Kennlinie nicht erreicht (Bild 4).

In jedem Fall aber führt das Zinn zu einer Nennstrom- bzw. Grenzstromreduktion infolge einer temperaturabhängigen Alterung. Entsprechend den Diffusions-Gesetzen (Fick'sche Gesetze) finden Diffusionsvorgänge bereits bei Raumtemperatur statt.

Mit Hilfe einer angepassten Arrhenius-Gleichung lässt sich die Reduzierung des Nennstroms näherungsweise abschätzen.

$$d(t) = A \cdot e^{-\frac{Q}{RT}} \cdot \sqrt{t}$$

d(t): Reaktionsgeschwindigkeitskonstante, A: Frequenzfaktor, Q: Wärmemenge, R: universelle Gaskonstante, T: Temperatur, t: Zeit.

Das Diagramm in Bild 5 zeigt die Alterung eines Ag/Cu-Schmelzleiters mit einer Sn-Schicht.

Pulsbelastungen und Wickelschmelzleiter

Aus dem bisher Beschriebenen lässt sich bereits eine starke Korrelation von Nennstrom und Widerstand erkennen. Je höher der Widerstand desto kleiner der Nennstrom. Je nach Baugröße und angestrebter Trägheit der Sicherung werden bei Nennströmen kleiner 2 A die Schmelzleiter auf einen elektrisch nichtleitenden Träger gewickelt. Über die so erreichte größere Länge des

Bild: Elschukom, Manfred Rupalla

Bild 3:
mikroskopischer
Querschliff eines
gealterten verzinnnten
Kupferdrahtes.

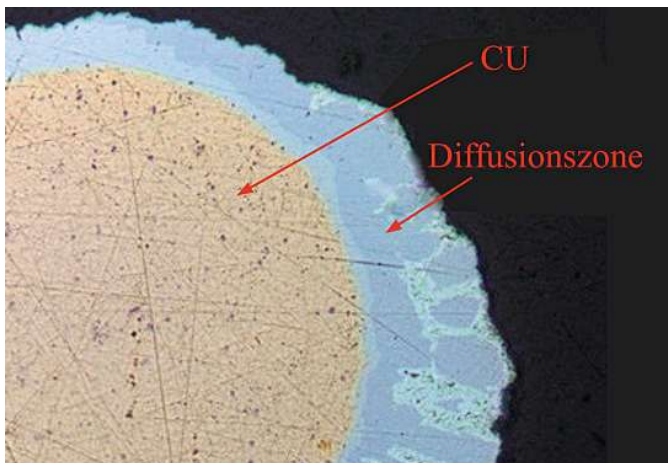


Bild: Elschukom, Manfred Rupalla

Bild 4:
Eine zu dicke Zinn-
schicht behindert die
Diffusion durch einen
zu hohen Anteil an
eigener Stromleitung,
mit einer zu dünnen
Schicht wird die
gewünschte Trägheit
der Kennlinie nicht
erreicht.

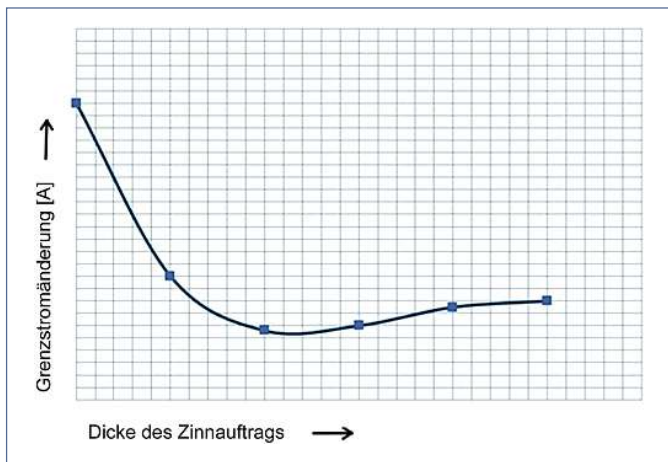


Bild: Elschukom, Manfred Rupalla

Bild 5:
Das Diagramm zeigt
die Alterung eines Ag/
Cu-Schmelzleiters mit
einer Sn-Schicht.

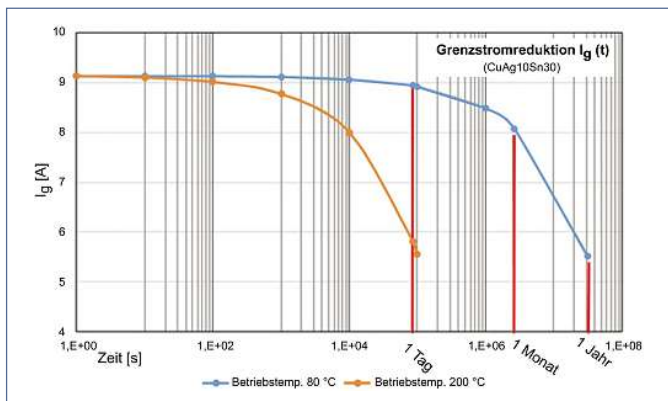


Bild: Elschukom, Manfred Rupalla

Bild: Elschukom, Manfred Rupalla

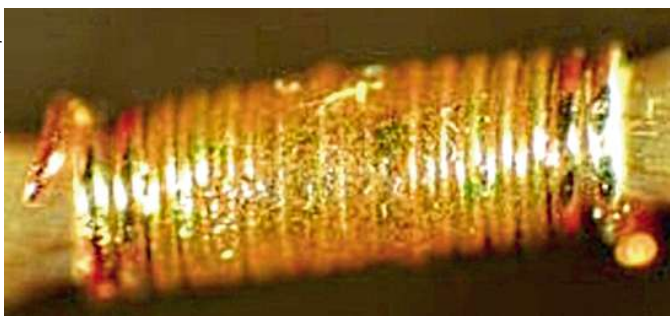


Bild 6:
Eine große Anzahl an Windungen/cm kann bei großen Stromdichten zu einem Windungsschluss führen.

Bild: Elschukom, Manfred Rupalla

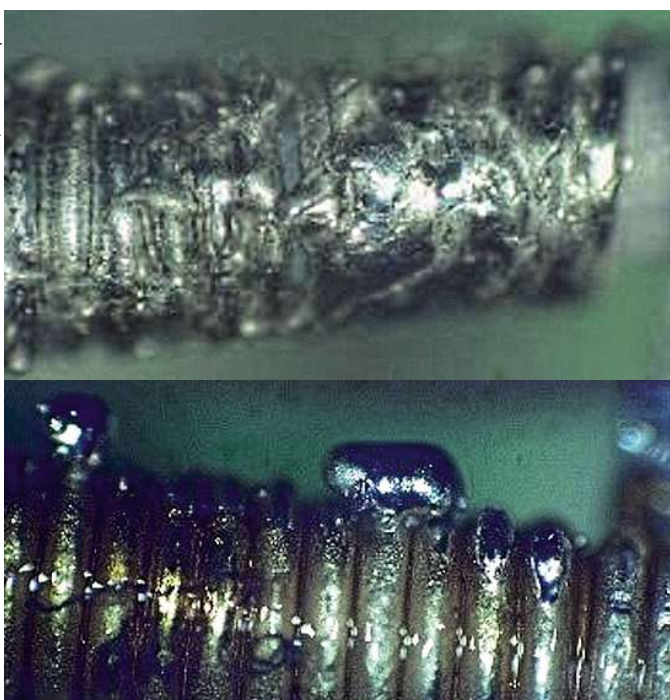


Bild 7:
Verzinnete Schmelzleiter bilden unter Umständen auch schon bei geringeren Stromspitzen Zinn-Brücken, die ebenfalls zu einem Windungsschluss führen

Schmelzleiterdrahtes wird der längenspezifische Widerstand vergrößert und hat einen kleineren Sicherungsnennstrom zur Folge.

Auch hier gibt es Grenzen zu beachten, die nicht nur konstruktiv bedingt sind sondern auch von der Strombelastung des Schmelzleiters erzeugt werden. Insbesondere sind dabei pulsformige Strombelastung hervorzuheben. Hohe Stromamplituden (z.B. bei Einschaltströmen mit hohen Stromdichten im Schmelzleiter) erzeugen starke mechanische Kräfte. Diese führen allgemein zu einer Alterung des Schmelzleiters. Bezogen auf Wickelschmelzleiter sind jedoch Effekte zu beobachten die unter Umständen zu einer sicherheitsrelevanten Störung der Sicherungsfunktion führen können.

Eine große Anzahl an Windungen/cm kann bei großen Stromdichten zu einem Windungsschluss führen (Bild 6).

Verzinnete Schmelzleiter bilden unter Umständen auch schon bei geringeren Strom-

spitzen Zinn-Brücken, die ebenfalls zu einem Windungsschluss führen (Bild 7).

Eine kritische Stromdichte bzw. Amplitude lässt sich allgemein nicht ermitteln. Verzinnungsgrad, Wickeldichte und Haftung der Wickelwindungen sind je nach Bauform und Nennstrom sehr unterschiedlich. Für die Wickeldichte gilt jedoch die Faustregel, dass der Abstand zwischen den Windungen mindestens dem Durchmesser des gewickelten Schmelzleiterdrahtes entsprechen muss.

Im Zweifelsfall Rat und Hilfe bei Fachfirmen holen

Zusammenfassend lässt sich sagen, man sollte in der Regel die verwendeten Schmelzleiter einer Geräteschutzsicherung hinsichtlich der konkreten Praxisanwendung kritisch auf ihre Eignung bewerten oder Rat und Hilfe bei Fachfirmen einholen. // TK

Elschukom