
Allgemeine technische Angaben



Allgemeine technische Angaben

1 Definition

Ein Kaltleiter ist ein temperaturabhängiger Halbleiter-Widerstand. Sein Widerstandswert steigt bei zunehmender Temperatur nahezu sprunghaft an, sobald eine bestimmte Temperatur (Bezugstemperatur) überschritten wird.

Infolge eines sehr hohen positiven Temperaturkoeffizienten werden die Kaltleiter auch als PTC-Widerstand (Positive Temperature Coefficient) bezeichnet.

Gültige Norm: DIN 44080

1.1 Aufbau und Funktionsprinzip

Kaltleiter sind aus dotierter polykristalliner Keramik auf der Basis von Bariumtitanat hergestellt. Der für den Kaltleiter charakteristische Widerstandstemperaturverlauf beruht auf halbleitenden und ferroelektrischen Eigenschaften der Titanatkeramik.

Keramik ist grundsätzlich als guter Isolator mit hohem Widerstand bekannt. Halbleitung und damit ein niedriger Widerstand wird durch gezielte Dotierung mit Stoffen erreicht, die eine höhere (chemische) Wertigkeit haben als die Gitterbausteine der Keramik Kristalle: Im Kristallgitter wird ein Teil der Barium- oder Titan-Ionen durch höherwertige Ionen ersetzt, wodurch man eine gewisse Anzahl freier Elektronen erhält, die die Leitfähigkeit bewirken. Die Ursache für den Kaltleitereffekt, d.h. für den sprunghaften Widerstandsanstieg, liegt darin, daß das Materialgefüge aus vielen kleinen Kristalliten zusammengesetzt ist (Bild 1). An den Grenzflächen der Einzelkristallite, den sogenannten Korngrenzen, sind Potentialschwellen ausgebildet, die die freien Elektronen am Übertreten in Nachbarbereiche behindern. Die Potentialschwellen bewirken also einen hohen Widerstand. Dieser Effekt wird jedoch bei niedrigen Temperaturen aufgehoben: Hohe Dielektrizitätskonstanten und spontane Polarisation an den Korngrenzen verhindern bei tiefen Temperaturen die Ausbildung von Potentialschwellen und ermöglichen so ein freies Fließen der Elektronen.

Oberhalb der sogenannten Curietemperatur nehmen Dielektrizitätskonstante und Polarisation stark ab, so daß die Potentialschwellen und damit der elektrische Widerstand stark ansteigen. Außerhalb des Bereichs, in dem der Temperaturkoeffizient (TK) positiv ist, erhöht sich mit der Temperatur durch thermische Aktivierung die Anzahl der freien Ladungsträger, wodurch der Widerstand abnimmt und die für Halbleiter charakteristische negative Temperaturcharakteristik (NTC) annimmt.

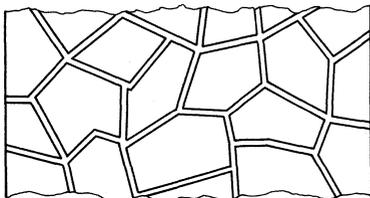


Bild 1

Prinzipdarstellung des polykristallinen Aufbaus von Kaltleiterkeramik. Der Kaltleiterwiderstand R_{KL} setzt sich zusammen aus dem Widerstand der Einzelkristallite und dem der Korngrenzschichten. Letzterer ist stark temperaturabhängig.

$$R_{KL} = R_{Korn} + R_{Korngrenzschicht}$$

$$R_{Korngrenzschicht} = f(T)$$

2 Herstellung und konstruktive Ausführung

2.1 Herstellung

Mischungen von Bariumcarbonat und Titanoxid und anderen Materialien, deren Zusammensetzung die gewünschten elektrischen und thermischen Eigenschaften ergeben, werden gemahlen, gemischt und je nach Verwendung in Scheiben-, Stab- oder Rohrform verpreßt.

Diese Rohkörper werden bei hohen Temperaturen (zwischen 1000 und 1400 °C) gesintert. Danach werden sie sorgfältig kontaktiert und je nach Bauform mit Anschlußelementen versehen.

2.2 Konstruktive Ausführungen

- kontaktierte Kaltleiterscheiben bzw. -körper (ohne Umhüllung), wahlweise mit und ohne Anschlußdrähte
- kunststoffumhüllte Kaltleiter, Anschlußdrähte radial
- Material der Anschlußdrähte (soweit nicht anders angegeben)
 - bei Drahtdurchmesser $\leq 0,6$ mm: Fe
 - bei Drahtdurchmesser $> 0,6$ mm: Cu, verzinkt
- Kaltleiterkörper mit Schrumpfschlauch umhüllt und isolierten Anschlußlitzen
- Kaltleiter in Metallgehäuse (einschraubbar), Anschlußdrähte einseitig herausgeführt
- Kaltleiter mit Klemmkontaktierung in Kunststoffgehäuse

3 Elektrische Eigenschaften

3.1 Nullast-Widerstandswert R_T

Der Nullastwiderstandswert R_T ist der bei gegebener Temperatur T gemessene Widerstandswert, wobei die elektrische Belastung so klein gehalten wird, daß bei beliebiger Belastungsminderung keine merkliche Widerstandswertänderung eintritt.

Meßspannungen siehe Einzelbauformen.

3.2 Widerstandswert-Temperatur-Charakteristik

Die Widerstands-Temperatur-Charakteristik ist die Abhängigkeit zwischen Nullast-Widerstandswert eines Kaltleiters und der Temperatur des temperaturabhängigen Elementes.

In der graphischen Darstellung wird der Widerstandswert im logarithmischen Maßstab (Ordinate) über einer linearen Temperaturskala (Abszisse) aufgetragen. Einen typischen Verlauf gibt Bild 2a (siehe nächste Seite) wieder.

Nennwiderstandswert R_N

Der Nennwiderstandswert R_N ist der Widerstandswert bei der Temperatur T_N , nach dem der Kaltleiter benannt ist.

Die Temperatur T_N beträgt 25 °C, wenn nicht anders angegeben.

Minimalwiderstand R_{\min} , Temperatur $T_{R_{\min}}$ bei R_{\min}

Der Beginn des Temperaturbereiches mit positivem Temperaturkoeffizienten wird durch die Temperatur $T_{R_{\min}}$ angegeben. Der Wert des Kaltleiterwiderstandes bei dieser Temperatur wird mit R_{\min} bezeichnet. Das ist der kleinste Nullast-Widerstandswert, den der Kaltleiter annehmen kann.

Allgemeine technische Angaben

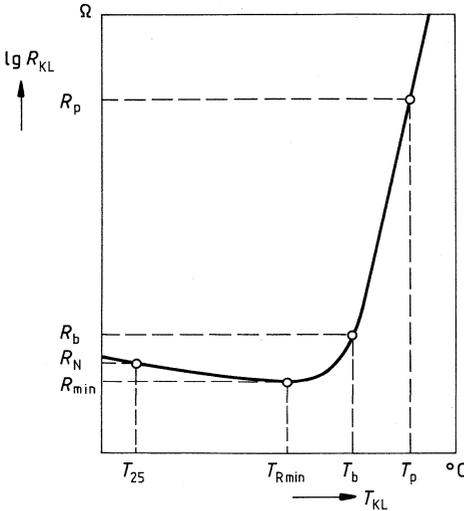


Bild 2a

Typische Widerstands-Temperatur-Charakteristik
 $R_{KL} = f(T_{KL})$

- R_N Kaltleiter-Nennwiderstand
 (Widerstandswert bei T_N)
- R_{min} Minimalwiderstand
 (Widerstandswert bei T_{Rmin})
- T_{Rmin} Temperatur bei R_{min}
 (Beginn des positiven α_R)
- R_b Bezugswiderstand
 (Widerstandswert bei T_b)
- T_b Bezugstemperatur
 (Beginn des steilen Widerstandsanstiegs)
- R_p Widerstand im steilen Bereich
 (Widerstandswert bei T_p)
- T_p Temperatur oberhalb der Bezugstempe-
 ratur T_b

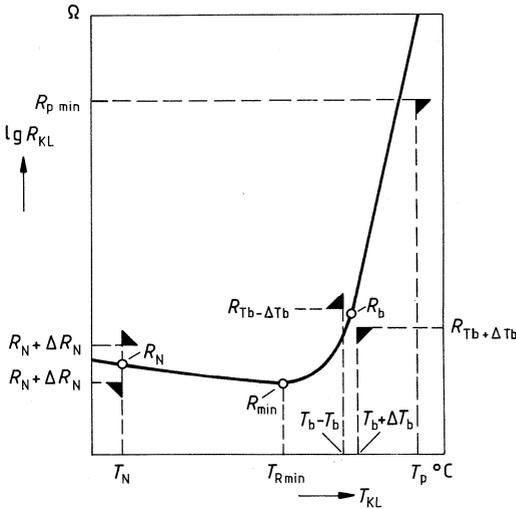


Bild 2b

Streubereich des Kaltleiter-Widerstandes $R_{KL} = f(T_{KL})$
 (Toleranzschema)

- R_N Nennwiderstand
 Widerstandswert bei T_N mit Toleranz-
 angabe $\pm \Delta R_N$
- R_{min} Widerstandswert bei T_{Rmin} mit typischer
 Wertangabe
 (nur bei Bedarf)
- R_b Widerstandswert bei T_b mit typischer
 Wertangabe
 (nur bei Bedarf)
- $R_{Tb-\Delta Tb}$ Widerstandswert bei $T_b - \Delta T_b$
 Maximalwertangabe
- $R_{Tb+\Delta Tb}$ Widerstandswert bei $T_b + \Delta T_b$
 Mindestwertangabe
- $T_b \pm \Delta T_b$ Bezugstemperatur mit \pm Toleranzan-
 gabe
- R_{pmin} Widerstandswert bei T_p mit Mindest-
 wertangabe

Bezugswiderstand R_b , Bezugstemperatur T_b

Für die Anwendung ist der Anfang des steilen Widerstandsanstiegs wichtig, der durch die Bezugstemperatur T_b gekennzeichnet ist, die ungefähr der ferroelektrischen Curietemperatur entspricht. Sie wird für den einzelnen Kaltleitertyp als diejenige Temperatur definiert, bei welcher der Nullast-Widerstand den Wert $R_b = 2 \cdot R_{\min}$ annimmt.

Widerstand R_p bei Temperatur T_p

Dieser Punkt der $R_{KL} = f(T_{KL})$ -Kennlinie ist kennzeichnend für einen Widerstand im steilen Kennlinienteil. Der Widerstandswert R_p ist der Nullast-Widerstandswert bei der Temperatur T_p . R_p wird bei den Einzelbauformen als Mindestwert angegeben.

3.3 Streubereich der Widerstands-Temperatur-Charakteristik

Für Kaltleiter, bei denen es auf die genaue Einhaltung des Nullast-Kennlinienverlaufes ankommt, sind die in Bild 2 b gezeigten Toleranzen vorgesehen.

3.4 Temperaturkoeffizient α_R

Der Temperaturkoeffizient α_R des Kaltleiterwiderstandes ist in jedem Punkt der Kennlinie durch die Beziehung definiert:

$$\alpha_R = \frac{1}{R_T} \cdot \frac{dR_T}{dT} = \frac{d \ln R_T}{dT} = \ln 10 \cdot \frac{d \lg R_T}{dT}$$

Im Bereich des steilen Widerstandsanstiegs zwischen R_b und R_p kann α_R näherungsweise konstant angenommen werden. Es gilt dann bei

$$R_b \leq R_1, R_2 \leq R_p: \alpha_R = \frac{\ln(R_2/R_1)}{T_2 - T_1}$$

Ebenso kann in diesem Temperaturbereich mit der umgekehrten Beziehung $R_2 = R_1 \cdot e^{\alpha_R (T_2 - T_1)}$ gerechnet werden.

Die Wertangaben von α_R für die einzelnen Typen beziehen sich nur auf den anwendungstechnisch hauptsächlich interessierenden Temperaturbereich des steilen Widerstandsanstiegs.

3.5 Nennansprechtemperatur T_{NAT}

Für bestimmte Bauformen wird die Angabe des Bezugswiderstandes und der Bezugstemperatur durch Definition eines Widerstandswertes im steilen Kennlinienbereich ersetzt. Die diesem Widerstand zugeordnete Temperatur wird als Nennansprechtemperatur T_{NAT} ausgewiesen.

3.6 Strom-Spannungs-Charakteristik

Bei elektrisch belasteten Kaltleitern mit Eigenerwärmung beschreibt anstelle der R/T -Charakteristik die I/U -Charakteristik die Kaltleiter-Eigenschaften (siehe Bild 3, Seite 32). Sie zeigt die Abhängigkeit zwischen Spannung und Strom im thermisch eingeschwungenen Zustand in ruhender Luft von 25 °C, sofern keine andere Temperatur angegeben ist.

Allgemeine technische Angaben

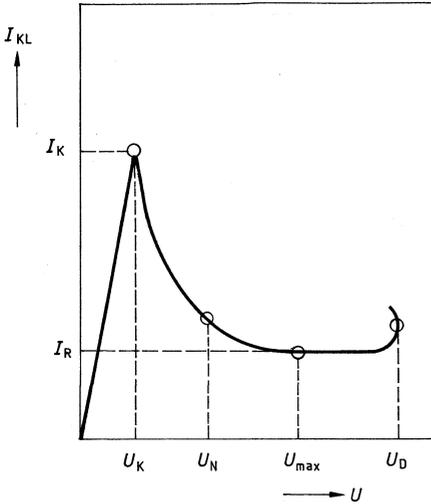


Bild 3

I/U-Charakteristik eines Kaltleiters

- I_K Kippstrom bei angelegter Spannung U_K (Einsatz der Strombegrenzung)
- I_R Reststrom bei angelegter Spannung U_{max} (Strom im abgeregelten Zustand)
- U_{max} Maximale Betriebsspannung
- U_N Nennspannung ($U_N < U_{max}$)
- U_D Durchbruchspannung ($U_D > U_{max}$)

Der Kippstrom I_K ist der Strom, der bei angelegter Spannung U_K durch den Kaltleiter fließt und bei dem die aufgenommene elektrische Leistung ausreicht, diesen über die Bezugstemperatur T_b zu erwärmen.

Zur leichteren Auswahl der Kaltleiter werden zusätzlich zum Kippstrom die Begriffe Nennstrom und Schaltstrom festgelegt.

- Nennstrom I_N : Bei Strömen $\leq I_N$ ($I_N < I_K$) bleibt der Kaltleiter mit Sicherheit niederohmig.
- Schaltstrom I_S : Bei Strömen $\geq I_S$ ($I_S > I_K$) wird der Kaltleiter mit Sicherheit hochohmig.

Der Reststrom I_R ist der bei angelegter Betriebsspannung U_{max} und bei thermischem Gleichgewicht sich einstellende Stromwert (stationäre Betriebsbedingung).

Die maximale Betriebsspannung U_{max} ist jene Spannung, die bei der in den Kennblättern angegebenen Umgebungstemperatur in ruhender Luft im stationären, hochohmigen Zustand am Kaltleiter dauernd anliegen darf.

Die Nennspannung ist die unterhalb von U_{max} liegende Versorgungsspannung.

Die Durchbruchspannung ist ein Maß für die höchste Spannungsbelastbarkeit des Kaltleiters. Oberhalb U_D verliert der Kaltleiter seine charakteristischen Eigenschaften.

3.7 Elektrische Belastbarkeit

Bei elektrisch belasteten Kaltleitern wird elektrische Energie in Wärme umgesetzt. Die während des Aufheizvorganges kurzzeitig auftretenden hohen Belastungen (Kaltleiter niederohmig bei Anlegen der Betriebsspannung) werden durch Angabe von maximal zulässigen Strömen und Spannungen begrenzt.

Durch die Angabe des Schalt- oder Betriebsstromes bzw. durch Mindestangaben von Vorwiderständen (Strombegrenzung) wird sichergestellt, daß keine Überlastung des Kaltleiters erfolgt.

Aus U_{\max} und I_{\max} ist es möglich, das Abschaltverhalten des Kaltleiters durch den Begriff der Schaltzeit anzugeben. Diese Schaltzeit ist die Zeit, die bei angelegter Spannung vergeht, bis der durch den Kaltleiter fließende Strom auf 50% seines Anfangswertes abgesunken ist.

4 Thermische Eigenschaften

4.1 Thermische Abkühlzeitkonstante τ_{th}

Die thermische Abkühlzeitkonstante ist die Zeit, während der sich die mittlere Kaltleitertemperatur bei Nulllast um 63,2% der Differenz zwischen Anfangs- und Endtemperatur ändert.

4.2 Wärmeleitwert G_{th}

Der Wärmeleitwert ist ein Quotient, gebildet aus Belastung und zugeordneter Übertemperatur des Kaltleiters. Er wird in mW/K angegeben und ist ein Maß für die Belastung, die bei einer bestimmten Umgebungstemperatur die stationäre Temperatur des Kaltleiters um 1 K erhöht.

4.3 Wärmekapazität C_{th}

Die Wärmekapazität C_{th} ist die Wärmemenge, die einem Kaltleiter zugeführt werden muß, um seine mittlere Temperatur um 1 K zu erhöhen. Sie wird in mJ/K angegeben.

Anmerkung:

$$C_{\text{th}} = G_{\text{th}} \cdot \tau_{\text{th}}$$

G_{th} in mW/K

τ_{th} in s

4.4 Thermische Ansprechzeit t_a und Betriebsabschaltzeit t_{aB}

Die thermische Ansprechzeit t_a ist die Zeit, die ein Kaltleiter benötigt, um sich von seiner Temperatur von 25 °C auf $T_{\text{NAT}} + (20 \pm 1)$ K zu erwärmen, wobei T_{NAT} die Nennansprechtemperatur ist.

Die Betriebsabschaltzeit t_{aB} ist ein praxisbezogener Wert für die thermische Ansprechzeit und ermöglicht eine Klassifizierung der konstruktiven Kaltleiter-Ausführung.

5 Mechanische Eigenschaften

5.1 Äußere Beschaffenheit

Formgebung, Aufbau, Abmessungen und Kennzeichnung sind durch Datenblattangaben festgelegt.

5.2 Geometrie und Abmessungen

Die Hauptabmessungen von Kaltleitern sind als Grenzmaße angegeben. Einzelheiten sind den Datenblättern zu entnehmen.

5.3 Wölbung

Bei unbedrahteten Kaltleitern ist die Wölbung eine Angabe über die Ebenheit der Elektrodenfläche zu einer Bezugsebene.

6 Anwendungshinweise

6.1 Spannungsabhängigkeit des Widerstandes

Die R/T -Kennlinie gibt den Zusammenhang zwischen Widerstand und Temperatur bei Nulllast, d. h. bei niedriger Betriebsspannung des Kaltleiters an. Nun setzt sich der Widerstand des Kaltleiters aus dem Kornwiderstand und dem Korngrenzen-Übergangswiderstand zusammen, der besonders im heißen Zustand durch stark ausgebildete Potentialschwellen widerstandsbestimmend für den Kaltleiter ist. Höhere am Kaltleiter anliegende Spannungen fallen demzufolge überwiegend an den Korngrenzen ab, so daß die an diesen Stellen vorherrschenden hohen Feldstärken einen Abbau der Potentialschwellen und damit eine Widerstandsverminderung bewirken. Je stärker die Potentialschwellen ausgebildet sind, desto stärker ist der Einfluß dieses »Varistoreffektes« auf den Widerstand. Unterhalb der Bezugstemperatur, wo die Sperrschichten nur schwach ausgeprägt sind, wird der größte Teil der anliegenden Spannung vom Kornwiderstand übernommen. Dadurch sinkt die Feldstärkebelastung an den Korngrenzen und der Varistoreffekt ist nur schwach ausgeprägt.

Die typische Abhängigkeit des Widerstandes von der Feldstärke zeigt Bild 4. Daraus ist ersichtlich, daß die größte Widerstandsabnahme im Bereich von T_{\max} und damit des Widerstandsmaximums auftritt, was auch in einer Kennlinienvflachung im steilen Bereich zum Ausdruck kommt. Wegen dieser Abhängigkeit des positiven Temperaturkoeffizienten von der Feldstärke ist ein Betrieb bei hohen Versorgungsspannungen nur mit Kaltleitern möglich, die durch technologische (Korngröße) und konstruktive (Bauformdicke) Maßnahmen dafür geschaffen wurden.

Die Aufnahme der R/T -Kennlinien im Datenteil erfolgte mit Meßströmen $I_{\text{Meß}} \leq 1 \text{ mA}$.

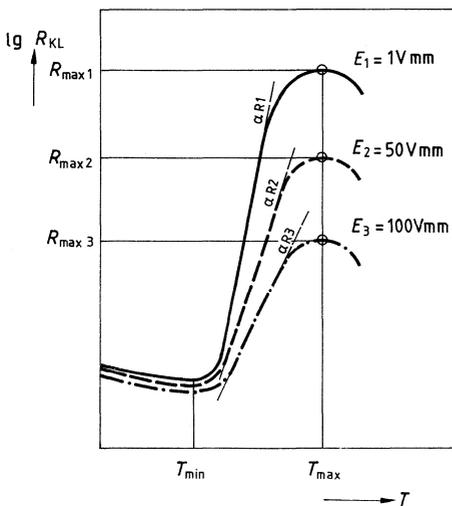


Bild 4
Einfluß der Feldstärke E auf die R/T -Charakteristik (Varistoreffekt)

$$\alpha_{R1} > \alpha_{R2} > \alpha_{R3}$$

6.2 Frequenzabhängigkeit des Widerstandes

Der Aufbau des Kaltleitermaterials hat zur Folge, daß der Kaltleiter unter Wechselspannung kein rein ohmscher Widerstand ist, sondern aufgrund der Korngrenzschichten auch kapazitiv wirkt (siehe Ersatzschaltbild in Bild 5).

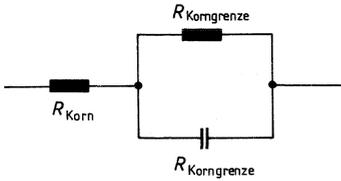


Bild 5

Ersatzschaltbild eines Kaltleiters unter Wechselspannung

Der bei Wechselspannung gemessene Scheinwiderstand nimmt mit steigender Frequenz ab. Die Abhängigkeit des Kaltleiterwiderstandes von der Temperatur für verschiedene Frequenzen ist in Bild 6 wiedergegeben. Ein Einsatz des Kaltleiters für Applikationen im NF- und HF-Bereich ist demzufolge nicht möglich, so daß sich die Anwendungen neben Gleichspannungs- auf Netzfrequenzbetrieb beschränken.

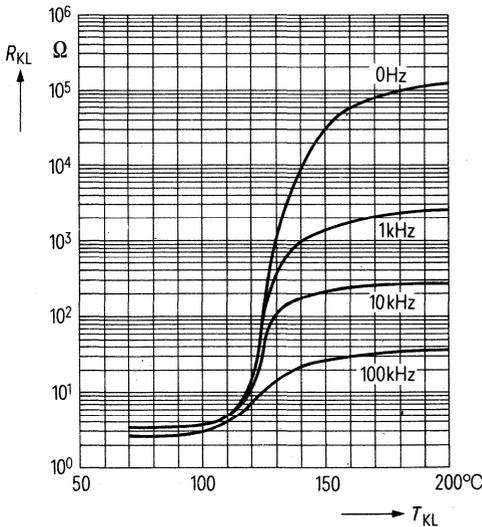


Bild 6

Einfluß der Frequenz auf die R/T -Kennlinie

6.3 Einfluß der Wärmeleitbedingung auf die Kaltleitertemperatur

Bild 7 zeigt die in einem Kaltleiter umgesetzte elektrische Leistung P_{el} in Abhängigkeit von seiner Temperatur. Bei gegebener Betriebsspannung stellt sich im Kaltleiter ein Arbeitspunkt entsprechend der Umgebungs- und der Wärmeleitbedingung vom Kaltleiter zur Umgebung ein.

Allgemeine technische Angaben

Der Kaltleiter heizt sich dabei z. B. auf eine Betriebstemperatur oberhalb der Bezugstemperatur auf (Arbeitspunkt A_1 in Bild 7). Bei Erhöhung der Umgebungstemperatur oder Verringerung des Wärmeübergangs zur Umgebung kann die im Kaltleiter umgesetzte Wärmemenge nicht mehr abgeführt werden, wodurch der Kaltleiter eine höhere Temperatur annimmt. Sein Arbeitspunkt auf der Kennlinie verschiebt sich weiter nach unten, z. B. nach A_2 , wodurch der Strom stark reduziert wird. Diese Begrenzungswirkung bleibt erhalten, solange T_{max} nicht überschritten wird. Ein Temperaturanstieg über T_{max} hinaus würde bei gegebener Betriebsspannung zur Zerstörung des Kaltleiters führen.

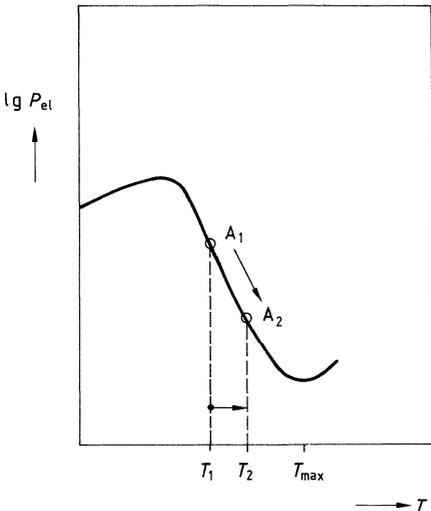


Bild 7
Elektrische Leistung P_{el} eines Kaltleiters in Abhängigkeit von der Kaltleitertemperatur

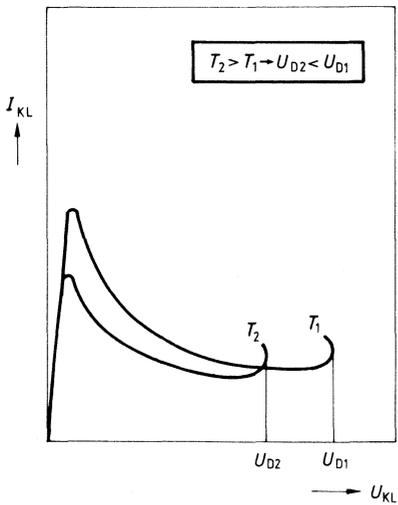


Bild 8
Einfluß der Umgebungstemperatur auf die I/U -Kennlinie

6.4 Einfluß der Umgebungstemperatur auf die I/U-Kennlinie

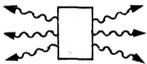
Bild 8 zeigt zwei I/U-Kennlinien ein und desselben Kaltleiters für zwei verschiedene Umgebungstemperaturen T_1 und T_2 , wobei $T_1 < T_2$ ist. Bei der höheren Temperatur hat der Kaltleiter unter sonst gleichen Bedingungen einen höheren Widerstand und führt damit einen geringeren Strom. Die Kennlinie bei T_2 verläuft deshalb unter der für T_1 . Auch die Durchbruchspannung hängt von der Umgebungstemperatur ab. Ist diese höher, so erreicht der Kaltleiter bei niedrigerer Leistung bzw. Betriebsspannung die kritische Temperatur, bei der Durchbruch eintritt. U_{D2} ist also kleiner als U_{D1} .

6.5 Einsatzmöglichkeiten

Die Einsatzmöglichkeiten der Kaltleiter lassen sich in Hauptanwendungsbereiche wie nachstehend angeführt unterteilen.

a) Einteilung nach Funktion

Direkt beheizte KL

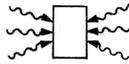


Elektr. Leistung wird im KL in Wärme umgesetzt



Leistungskaltleiter

Indirekt beheizte KL



Wärmezufuhr aus der Umgebung



Temperatursensoren

b) Einteilung nach Applikation

Leistungs-Kaltleiter		Sensoren	
Sicherung	Kurzschluß- und Überlastschutz	Temperatur	Übertemperaturschutz Meß- und Regeltechnik
Schalter	Motorstart Entmagnetisierung Schaltverzögerung		
Heizer	Kleinheizgeräte Thermostaten		

6.5.1 Kaltleiter für Überlastschutz

Sicherungskaltleiter werden nur gelegentlich, und zwar bei Überlastung des Verbrauchers beansprucht. Sie zeichnen sich im Normalbetrieb durch sehr niedrige Widerstandswerte aus und verursachen so auch bei hohen Betriebsströmen nur geringe Spannungsabfälle. Auch die Sicherungskaltleiter werden elektrisch in Reihe zum Verbraucher betrieben. Zur einfachen Montage sind sie überwiegend mit Drahtanschlüssen versehen.

Allgemeine technische Angaben

Bild 9 verdeutlicht die beiden Betriebszustände eines Sicherungskaltleiters. Im Nennbetrieb des Verbrauchers bleibt der Kaltleiter niederohmig (Arbeitspunkt A_1). Bei Überlastung bzw. Kurzschluß des Verbrauchers wird dagegen die Leistungsaufnahme im Kaltleiter derart erhöht, daß er sich erwärmt und den Strom für den Verbraucher auf einen zulässigen niedrigen Wert reduziert (Arbeitspunkt A_2). Der größte Teil der Spannung liegt dann am Kaltleiter an. Der verbleibende Reststrom reicht aus, den Kaltleiter im hochohmigen Zustand zu belassen, so daß eine Sicherungswirkung bis zur Beseitigung der Überlastungsursache im Verbraucher gewährleistet ist.

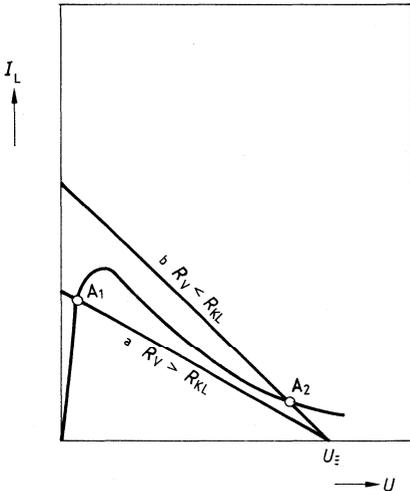


Bild 9
Arbeitszustände eines Kaltleiters für Überlastschutz
a Nennbetrieb
b Überlastbetrieb

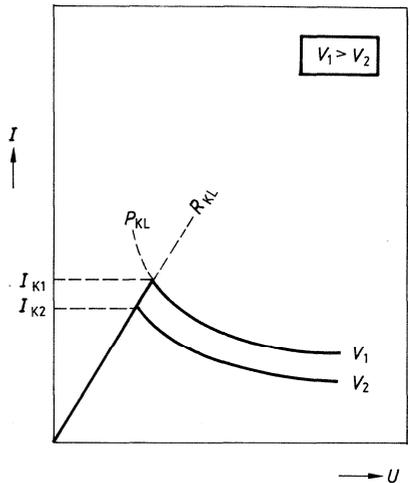


Bild 10
Einfluß des Kaltleitervolumens V auf den Kippstrom bei gegebenem Widerstand R_{KL}

Ein wesentlicher Parameter für die Funktion und für die Auswahl der Sicherungskaltleiter ist der Kippstrom. Es ist jener Strom, bei dem die zugeführte elektrische Leistung den Kaltleiter so weit aufheizt, daß die Stromzufuhr begrenzt und die Schutzfunktion ausgelöst wird. Vor allem ist der Kippstrom abhängig von

- den Abmessungen des Kaltleiters,
- seinem Widerstand,
- den Wärmeableitungsbedingungen.

Um einen Kaltleiter über seine Bezugstemperatur aufheizen zu können, ist bei gegebenen Abmessungen eine Mindestleistung (Kippleistung) erforderlich, wobei sich bei vorgegebenem Kaltleiterwiderstand ein ganz bestimmter Kippstrom einstellt. Vielfach ist es erforderlich, hohe Kippströme zu realisieren. Eine Kippstromerhöhung bei unverändertem Widerstand erhält man mit größeren Kaltleiterdimensionen (siehe Bild 10) oder durch Erhöhung der Bezugstemperatur. Günstige Verhältnisse für hohe Kippströme lassen sich dadurch erreichen, daß man die Kühlwirkung der Umgebung möglichst gut nützt. Der Beitrag des Herstellers zu hoher Wärme-

ableitung an die Umgebung besteht darin, die Kaltleiter mit großer Oberfläche und möglichst dünn herzustellen. Der Anwender kann durch weitere Maßnahmen (z.B. Kühlbleche) den Wärmeableitungseffekt noch steigern, so daß Schutzleistungen über 200 W je Bauelement erreicht werden können.

Ein weiterer Steuerungsmechanismus für den Kippstrom ist, wie aus Bild 11 hervorgeht, über den Kaltleiterwiderstand gegeben. Um den Kippstromstrebereich möglichst gering zu halten, werden Sicherungskaltleiter ausschließlich in engen Widerstandsbereichen hergestellt. In der Praxis führt dies zu Bauformen mit Toleranzen von $\pm 25\%$ und enger, so daß Schutzfunktionen auch bei Applikationen mit geringen Stromunterschieden zwischen Nenn- und Überlastungsbetrieb möglich sind.

Zu den Größen, die das Erreichen des Kippstroms beeinflussen, gehört ferner die Umgebungstemperatur, in der der Kaltleiter betrieben wird. Der diesbezügliche Zusammenhang ist in Bild 12 dargestellt. Eine Erhöhung der Umgebungstemperatur hat zur Folge, daß der Kaltleiter bereits bei einer geringeren Leistungsaufnahme die Temperatur erreicht, die ihn zum Kippen bringt. Kühlere Umgebung hat den entgegengesetzten Effekt, d.h., Leistungsaufnahme und damit Kippströme steigen an.

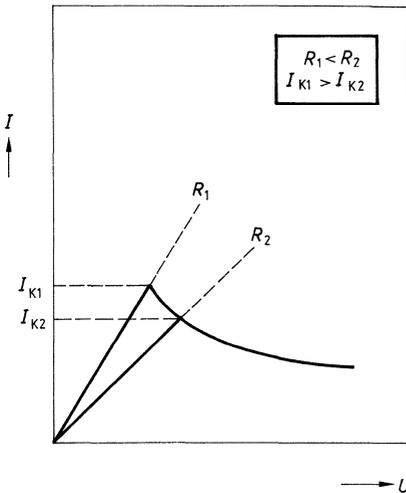


Bild 11
Einfluß des Kaltleiterwiderstandes auf den Kippstrom

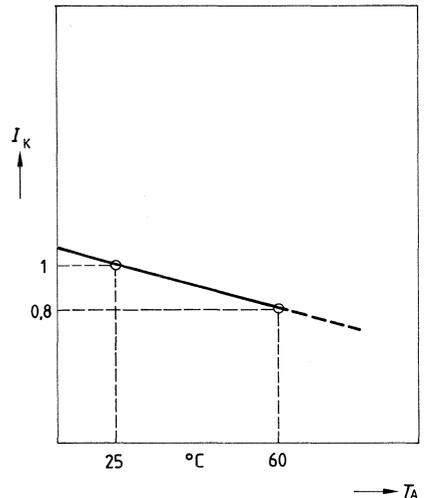


Bild 12
Abhängigkeit des Kippstroms von der Umgebungstemperatur

6.5.2 Kaltleiter für Schaltverzögerung

Diese Kaltleiter werden eingesetzt, wenn die Applikation ein verzögertes Abschalten eines mit dem Kaltleiter in Serie liegenden Verbrauchers bei hoher Schalzhäufigkeit erfordert. Beispiele für derartig verzögerte Abschaltungen sind Entmagnetisierungsschaltungen in der Farbfernsehtechnik, die Steuerung der Anlauf-Hilfsphase bei Wechselstrommotoren sowie Relais-

Allgemeine technische Angaben

verzögerungen. Bild 13 zeigt die typische Beschaltung eines Kaltleiters in Serie mit einem Verbraucher sowie den verzögerten Abfall des Verbraucherstroms. Die Schaltfunktion des Kaltleiters besteht darin, einen bei hohen Betriebsspannungen über den Verbraucher fließenden Strom nach dem Aufheizen des Kaltleiters zu begrenzen, wobei Stromunterschiede um den Faktor 1000 die Regel sind. Die sich einstellende Schaltzeit t_s ist näherungsweise durch folgende Beziehungen gegeben:

$$t_s = \frac{K V (T_b - T_A)}{P}$$

K = Faktor für Materialeigenschaften

V = Kaltleitervolumen

T_b = Bezugstemperatur des Kaltleiters

T_A = Umgebungstemperatur

P = Einschaltleistung des Kaltleiters

Sie läßt sich demnach durch Kaltleitergröße, Bezugstemperatur und die dem Kaltleiter zugeführte Leistung beeinflussen. Im Rahmen der fertigungstechnischen Möglichkeiten ist eine Variation der Schaltzeit in einem weiten Bereich möglich. Durch Erhöhung des Volumens oder der Bezugstemperatur werden die Schaltzeiten verlängert, vom Kaltleiter aufgenommene hohe Leistungen führen dagegen zu kurzen Schaltzeiten. Die Grafik in Bild 14 zeigt das Abschaltverhalten bei unterschiedlicher Stromaufnahme des Kaltleiters.

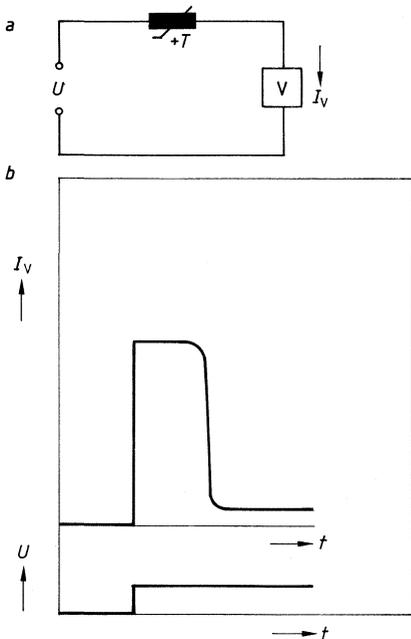


Bild 13
Typische Beschaltung eines Kaltleiters für Schaltverzögerung (a) und typischer Verlauf des Verbraucherstromes I_V (b)

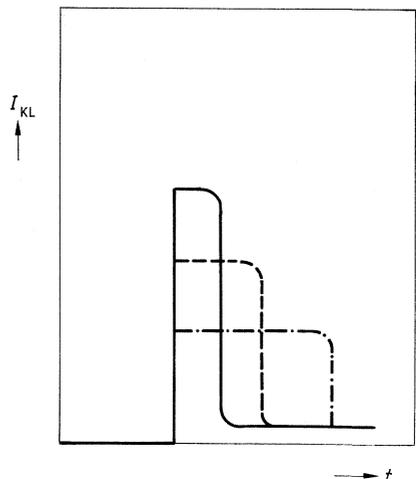


Bild 14
Typisches Abschaltverhalten eines Kaltleiters

6.5.3 Kaltleiter für Meß- und Regeltechnik

Bei Kaltleitern als Temperaturfühler wird ausschließlich der steile Bereich der R/T -Kennlinie genutzt. Der Widerstand des Kaltleiters ist als Funktion der Umgebungstemperatur anzusehen [$R_{KL} = f(T_{\lambda})$].

Voraussetzung für diesen Zusammenhang von Widerstand und Umgebungstemperatur ist, daß Eigenerwärmung und/oder Varistoreffekt ausgeschlossen sind. Das bedeutet, daß diese Kaltleiter unter möglichst geringen Feldstärken betrieben werden müssen. Um ein schnelles Ansprechen zu ermöglichen, zeichnen sich diese Kaltleiter durch besonders kleine Abmessungen aus. Eine hohe Regelgenauigkeit erreicht man dadurch, daß Materialien mit besonders steilem Widerstands-Temperatur-Verlauf eingesetzt werden.

Heute ist es möglich, Bauformen mit Temperaturkoeffizienten im Arbeitsbereich bis größer als 30%/K zu realisieren.

Im breiten Umfang werden Kaltleiter-Temperaturfühler in elektrischen Maschinen, vor allem zur Überwachung der Wicklungstemperatur, eingesetzt. Für die unterschiedlichsten Temperaturbereiche steht ein Fühlerspektrum mit Auslösetemperaturen zwischen -30 und $+180$ °C zur Verfügung.

6.5.4 Kaltleiter als Heizelement

Kaltleiter eignen sich nicht nur als Schaltelement und als Stromsensor, sondern können aufgrund ihrer spezifischen Widerstands-Temperatur-Charakteristik sehr vorteilhaft als Heizelemente verwendet werden. Der positive Verlauf des Temperaturkoeffizienten macht es möglich, auf die bei konventionellen Heizsystemen erforderlichen zusätzlichen Einrichtungen für Regelung und Über-temperatursicherung zu verzichten.

Die Kaltleiter werden dabei ohne Vorwiderstand direkt an der zur Verfügung stehenden Spannung betrieben. Man arbeitet vorzugsweise im niederohmigen Bereich der R/T -Kennlinie (Bild 2a, Seite 30), da in diesem Kennlinienbereich besonders hohe Heizleistungen erreicht werden. Um diesen Vorteil zu nutzen, ist es wichtig, Bedingungen für den Kaltleiter zu schaffen, die ihn nicht in den hochohmigen Bereich führen können. Dies wird mit möglichst dünnen Kaltleitern durch verstärkten Wärmetransport von der Oberfläche sichergestellt. Dazu wird der Kaltleiter zwischen massive wärmeabgebende Körper geklemmt, so daß ein besonders guter Wärmefluß vom Kaltleiter zu der zu beheizenden Umgebung stattfindet. Eine symmetrische Wärmeauskopplung ist dabei besonders vorteilhaft.

Einer besonderen Beachtung bedürfen Verarbeitungs- bzw. Einbaumethoden, bei denen die Kaltleiter vergessen werden.

Die hohen Wärmewiderstände von Vergußmaterialien können den Wärmeabtransport sehr beeinträchtigen, so daß die Gefahr besteht, daß sich die Kaltleiter stark aufheizen und kritische Temperaturen annehmen. Eine ausführliche Beschreibung des Kaltleiters als Heizelement liegt im Sonderdruck »Der Kaltleiter als Heizelement« Bestell-Nr. B4–B2491 vor.

Bei an Netzspannung betriebenen Kaltleitern treten während des Aufheizens hohe Temperaturgradienten und zum Teil sehr hohe Betriebstemperaturen auf. In diesen Fällen ist es ratsam, sie nicht zu löten. Deshalb sind sie vom Hersteller für Klemmontage vorbereitet, die auch eine günstige Wärmeauskopplung sicherstellt.

Heizkaltleiter können heute für einen weiten Temperaturbereich (bis 340 °C) hergestellt und in unterschiedlichsten Dimensionen geliefert werden, so daß eine Anpassung an den jeweiligen Anwendungsfall leicht möglich ist.

Allgemeine technische Angaben

7 Einbauhinweise

7.1 Lötung

7.1.1 Bedrahtete Kaltleiter

Das einzusetzende Lot kann auf das jeweilige Lötverfahren abgestimmt werden.

Bedrahtete Kaltleiter erfüllen die Lötbarkeitsprüfung nach DIN 40 080. Beim Löten ist darauf zu achten, daß sie nicht durch zu große Wärmezufuhr beschädigt werden. Folgende Maximaltemperaturen, -Zeiten und Mindestabstände sind einzuhalten.

Tauchlötung:	Badtemperatur	max. 260 °C
	Lötzeit	max. 4 s
	Mindestabstand vom Kaltleiter	min. 6 mm

Kolbenlötung:	Kolbentemperatur	max. 360 °C
	Lötzeit	max. 2 s
	Mindestabstand vom Kaltleiter	min. 6 mm

Bei schärferen Lötbedingungen sind Widerstandsänderungen zu erwarten.

7.1.2 Unbedrahtete Kaltleiter

Bei Kaltleitern, die keine Anschlußdrähte besitzen, ist eine Lötung nur bei Metallbelägen mit Löteignung bedingt möglich. Durch den Temperaturschock beim Aufbringen des heißen Lotes können feine Risse in der Keramik auftreten, die sich als Änderungen des Widerstandswertes auswirken.

Um ein Ablegieren der Belagschicht von der Keramikscheibe zu vermeiden, sind Lote mit Silberzusatz oder Lote mit niedrigem Zinngehalt zu verwenden. Außerdem sind Lötverfahren anzuwenden, die kurze Lötzeiten ermöglichen. Die Auswahl des Lotes richtet sich nach der Betriebstemperatur des Kaltleiters. Empfohlen werden Lote in der Zusammensetzung Pb \geq 90%, Sn \leq 5% und Ag \geq 2%.

7.1.3 Chip-Kaltleiter

Die Betrachtungen für unbedrahtete Kaltleiter gelten analog für Chip-Bauformen. Für die Lötung von Chip-Bauformen eignen sich Lote mit Silberanteil in der auf Reflow-Lötung abgestimmten Zusammensetzung.

7.2 Flußmittel

Als Flußmittel für die genannten Bauformen eignet sich Kolophonium-Flußmittel (F-SW 32 nach DIN 8511).

7.3 Kleben von unbedrahteten Kaltleitern

Kleben von Kaltleitern mit elektrisch leitenden Klebern ist als Alternative zum Löten möglich. Je nach Anwendungs- und Betriebstemperatur bieten sich silbergefüllte Epoxid- oder Silikonkleber an. Die Temperaturbelastung beim Kleben ist geringer als beim Löten. In bezug auf die Kaltleiter ist vom Kleber zu fordern, daß er chemisch neutral ist.

7.4 Mechanische Belastbarkeit der Anschlußdrähte

Die Anschlußdrähte erfüllen die Forderungen nach DIN IEC 68, Teil 2–21. Sie dürfen erst nach einem Mindestabstand von 4 mm von der Lötstelle des Kaltleiter-Körpers oder nach ihrem Austritt aus den Durchführungen abgebogen werden. Dabei muß der Draht an der Austrittsstelle mechanisch entlastet werden. Der Biegeradius soll mindestens 0,75 mm betragen.

Zugfestigkeit: Prüfung Ua1:
Anschlußdrähte $\varnothing \leq 0,5 \text{ mm} = 5 \text{ N}$
 $\varnothing > 0,5 \text{ mm} = 10 \text{ N}$

Biegefestigkeit: Prüfung Ub:
Zwei Biegungen in entgegengesetzter Richtung um jeweils 90° mit einem Gewicht von 0,25 kg.

Verdrehfestigkeit: Prüfung Uc: Schärfegrad 2
Der Anschlußdraht wird im Abstand von 6 bis 6,5 mm vom Kaltleiter-Körper um einen Winkel von 90° gebogen. Der Biegeradius des Drahtes soll etwa 0,75 mm betragen. Zwei Verdrehungen von je 180° (Schärfegrad 2).

Bei der mechanischen Belastung der Anschlußdrähte sind folgende Punkte zu beachten:

Zugbeanspruchung der Anschlußdrähte

Beim Einbau und Betrieb sind Zugkräfte an den Anschlußdrähten zu vermeiden.

Biegen der Anschlußdrähte

Das Abbiegen der Drähte direkt am Kaltleiterkörper ist nicht zulässig.

Beim Abbiegen darf der Anschlußdraht in einem Mindestabstand von dem 2fachen des Anschlußdrahtdurchmessers +2 mm von der Lötstelle des Kaltleiterkörpers entfernt abgebogen werden. Dabei muß der Draht an der Austrittsstelle mechanisch entspannt sein. Biegeradius mindestens 0,75 mm.

Verdrehen der Anschlußdrähte

Eine Verdrehung um 180° im Abstand von 6 mm vom Ende des Kaltleiterkörpers an dem um 90° abgebogenen Anschlußdraht ist zulässig.

7.5 Umhüllen und Vergießen von Kaltleitern

Beim Umhüllen und Vergießen von Kaltleitern dürfen keine mechanischen Spannungen durch unterschiedliche Wärmeausdehnung beim Aushärten und späteren Betrieb auftreten. Beim Aushärten darf die obere Grenztemperatur des Kaltleiters nicht überschritten werden. Außerdem ist auf die chemische Neutralität der Vergußmasse zu achten. Bewährt haben sich Materialien auf Silikon-Kautschuk-Basis.

7.6 Einbauverhältnisse

Bei der Anwendung ist darauf zu achten, daß die tatsächliche Umgebungstemperatur durch die Einbauverhältnisse berücksichtigt wird. Schlechte Wärmeabfuhr kann eine erhebliche Herabsetzung der Belastbarkeit erforderlich machen.

Ungeschützte Kaltleiter sollen nicht in einem reduzierenden Medium betrieben werden.

Allgemeine technische Angaben

7.7 Lagerung

Zur Erhaltung der Lötbarkeit müssen die Kaltleiter in nicht aggressiver Atmosphäre gelagert werden. Luftfeuchte und Behälterwerkstoffe (Holz, bestimmte Kunststoffe und Pappe) sind zu beachten. Die zulässigen Lagertemperaturen (siehe Einzelbauformen) dürfen nicht überschritten werden.

7.8 Reinigung

Sollte eine Reinigung erforderlich sein, empfehlen wir milde Reinigungsmittel, wie z. B. Isopropylalkohol oder Freon.

8 Klimatische Hinweise

Für Auswahl, Lagerung und Betrieb sind folgende Definitionen und Angaben von Wichtigkeit. Die Begriffe entsprechen DIN 40 040.

8.1 Umgebungstemperatur T_A

Die Umgebungstemperatur T_A ist die Temperatur in unmittelbarer Umgebung des Kaltleiters. Bei elektrisch unbelasteten Kaltleitern ist sie identisch mit der Oberflächentemperatur des Kaltleiters. Bei elektrisch belasteten Kaltleitern wird zur Einhaltung der oberen Grenztemperatur der Umgebungstemperaturbereich gesondert festgelegt (siehe Einzelbauformen). Für die Dimensionierung des Kaltleiters ist die tatsächlich auftretende Umgebungstemperatur am Einsatzort (im Gerät im eingeschalteten Zustand) zu berücksichtigen.

Für den belasteten Kaltleiter gelten 25 °C Umgebungstemperatur, sofern keine anderen Angaben gemacht werden.

8.2 Oberflächentemperatur

Bei elektrisch belasteten Kaltleitern ist die Oberflächentemperatur die an der Bauelementeoberfläche sich einstellende Temperatur. Der Kaltleiter befindet sich dabei in thermischem Gleichgewicht. Die maximale Oberflächentemperatur wird für die heißeste Stelle angegeben und entspricht der oberen Grenztemperatur.

8.3 Untere Grenztemperatur T_{\min}

ist definiert als die niedrigste im Betrieb zulässige Temperatur des Bauelementes (ohne Einfluß von Eigen- und Fremderwärmung, z. B. im Einschaltmoment).

Die Kurzzeichen für die untere Grenztemperatur sind in Pkt. 8.6, Tabelle 1 angegeben.

8.4 Obere Grenztemperatur T_{\max}

ist definiert als die höchstzulässige Temperatur, die an der wärmsten Stelle der Oberfläche des Bauelementes (einschließlich des Einflusses von Eigen- und Fremderwärmung) auftreten darf.

Die Kurzzeichen für die obere Grenztemperatur sind in Pkt. 8.6, Tabelle 1 angegeben.

8.5 Lagertemperaturen

Zusätzlich zu den Grenztemperaturen werden bei Kaltleitern Lagertemperaturbereiche angegeben.

Die Lagergrenztemperaturen umfassen im allgemeinen einen engeren Temperaturbereich. In diesem Bereich können die Kaltleiter in ihrer Verpackung sowie auch ohne Verpackung gelagert werden, ohne daß z.B. die PVC-Verpackung leidet, oder daß die Lötbarkeit der Anschlüsse Schaden nimmt.

Anders verhält es sich beim elektrisch unbelasteten, eingebauten Kaltleiter. Hier gilt als Lagertemperatur der bei den EinzelbaufORMen angegebene Grenztemperaturbereich.

8.6 Anwendungsklassen nach DIN 40 040

Die zulässige Temperatur- und Feuchtebeanspruchung ist baufORMabhängig und bei den EinzelbaufORMen jeweils als Anwendungsklasse in Form von drei Kennbuchstaben angegeben. Für die Bildung der klimatischen Anwendungsklassen gilt grundsätzlich DIN 40 040. Aus dem ersten Kennbuchstaben ist die untere Grenztemperatur, aus dem zweiten die obere Grenztemperatur und aus dem dritten die zulässige Feuchtebelastung abzuleiten (siehe auch nachfolgende Tabellen).

Beispiel für die Bildung der Anwendungsklasse

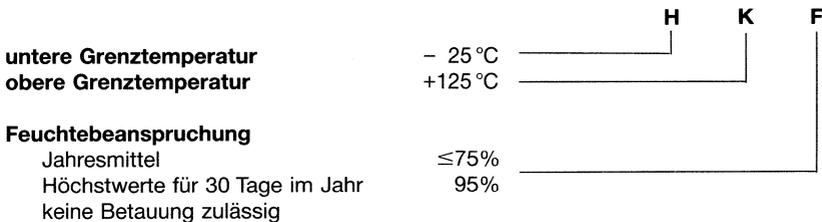


Tabelle 1

Kurzzeichen für Grenztemperaturen

1. Kennbuchstabe	Untere Grenztemperatur
G	-40°C
H	-25°C
J	-10°C
K	0°C
2. Kennbuchstabe	Obere Grenztemperatur
D	$+250^{\circ}\text{C}$
E	$+200^{\circ}\text{C}$
F	$+180^{\circ}\text{C}$
G	$+170^{\circ}\text{C}$
H	$+155^{\circ}\text{C}$
K	$+125^{\circ}\text{C}$
M	$+100^{\circ}\text{C}$

Allgemeine technische Angaben

Tabelle 2

Kurzzeichen für Feuchteklassen

3. Kennbuchstabe	Grenzen der relativen Luftfeuchte ¹⁾		Betauung	z. B. geeignet für folgende Bauelemente-Umgebungsklimata
	Jahresmittel	Höchstwert		
E ³⁾	≤75%	95% für 30 Tage ²⁾ im Jahr	seltene und leichte	Gerät in trockenwarmen Klimagebieten in Außen- und Innenräumen, wenn $\bar{U}_{\text{mon}} \leq 70\%$ ⁴⁾ im feuchtesten Monat. Betriebene Geräte in feuchtigkeitsgefährdeten Räumen, z. B. Werkstätten, in kalten, gemäßigten und trockenwarmen Klimagebieten. Nicht betriebene Geräte in temperierten feuchtigkeitsgefährdeten Räumen in gemäßigten und kalten Klimagebieten. Kurzzeitige, seltene und leichte Betauung ist zulässig.
F ³⁾	≤75%	95% für 30 Tage ²⁾ im Jahr	nein	Wie E, jedoch ist Betauung unzulässig.

¹⁾ Die Angaben beziehen sich auf das Bauelemente-Umgebungsklima.

²⁾ Diese Tage sollen in natürlicher Weise über das Jahr verteilt sein.

³⁾ Die angegebenen Werte für die rel. Luftfeuchte beziehen sich auf Bauelemente in Raumtemperatur. Bei höheren Temperaturen ermäßigt sich die rel. Feuchte entsprechend DIN 40 040, Anlage I.

⁴⁾ \bar{U}_{mon} ist das Monatsmittel der relativen Luftfeuchte, ermittelt über viele Jahre.

Qualität

