

TECHNISCHE INFORMATIONEN

Mit dem folgenden Kapitel geben wir Ihnen praktische Hinweise über das Verhalten der von uns lieferbaren Legierungen während und nach der Verarbeitung. Wir wollen Ihnen damit die richtige Auswahl bestimmter Legierungen für die unterschiedlichsten Anwendungen erleichtern.

Selbstverständlich können wir an dieser Stelle nicht auf alle denkbaren Möglichkeiten in gleicher Ausführlichkeit eingehen. Wir stehen Ihnen jedoch gerne jederzeit zur Beantwortung weiterer Fragen und für die Lösung individueller Problemstellungen zur Verfügung.

Eine Zusammenstellung der wichtigsten und gebräuchlichsten Umrechnungstabellen schließt dieses Kapitel ab.

A // Der elektrische Widerstand und sein Temperaturbeiwert

B // Besonderheiten bei Nickel-Chrom-Legierungen

C // Oberflächenbelastung von
– Drähten
– Flachdrähten

D // Technische Lieferbedingungen und Toleranzen

E // Korrosionsbeständigkeit

F // Verarbeitungshinweise

G // Umrechnungstabellen

A // DER ELEKTRISCHE WIDERSTAND UND SEIN TEMPERATURBEIWERT

Spezifischer elektrischer Widerstand

Nach der Gleichung

$$\text{GL. 1: } R_T = \frac{\rho_{\text{el},T} \cdot l}{A}$$

ist der elektrische Widerstand eines Leiters bei der Temperatur T proportional zu seiner Länge und umgekehrt proportional zu seinem Querschnitt. Voraussetzung ist ein gleichmäßiger Querschnitt über die gemessene Länge.

- R_T = Widerstand in Ω bei Temperatur T
- l = Länge in m
- A = Querschnittsfläche in mm^2
- $\rho_{\text{el},T}$ = spezifischer elektrischer Widerstand in $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ bei der Temperatur T

Zur Berechnung von

$$\text{GL. 2: } \rho_{\text{el},T} = R_T \cdot \frac{A}{l}$$

werden R_T , A und l bestimmt. Setzt man

$$A = 1 \text{ mm}^2 \quad \text{und} \quad l = 1 \text{ m,}$$

so erhält man den spezifischen Widerstand in $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$, was gleichbedeutend ist mit dem Widerstand eines Leiterstückes von 1 m Länge und 1 mm^2 Querschnitt.

Der spezifische elektrische Widerstand lässt sich auch definieren als der elektrische Widerstand eines Würfels mit der Kantenlänge 1 cm; er erhält dann die Einheit $\Omega \cdot \text{cm}$. Da bei Metallen und Legierungen der Widerstand eines derartigen Würfels sehr klein ist, drückt man den Widerstand in $\mu\Omega \cdot \text{cm}$, also in Millionstel $\Omega \cdot \text{cm}$, aus. Die Angaben für z. B. ISOTAN® würden danach entweder

$$0,49 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1} \text{ oder}$$

$$49 \mu\Omega \cdot \text{cm}$$

lauten.

Die Bestimmung des spezifischen Widerstands kann in der Praxis auf Schwierigkeiten stoßen, da die Ermittlung der Querschnittsfläche bei z. B. unrunder Drähten oder aber auch bei sehr dünnen Drähten schwierig ist. Man greift in solchen Fällen auf die Querschnittsbestimmung über Gewicht und Länge zurück. Der spezifische Widerstand eines Drahtstückes kann dann bestimmt werden nach der Gleichung:

$$\text{GL. 3: } \rho_{\text{el},T} = \frac{R_T \cdot m}{\rho_d \cdot l^2}$$

- R_T = Widerstand in Ω bei der Temperatur T
- $\rho_{\text{el},T}$ = spezifischer Widerstand in $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ bei der Temperatur T
- m = Masse in g
- ρ_d = Festkörperdichte in g/cm^3
- l = Länge in m

In Ländern, in denen andere Maßsysteme verwendet werden, fallen für den spezifischen Widerstand Werte an, die beim Übergang von einem Maßsystem zum anderen umgerechnet werden müssen (siehe Anhang „Umrechnungswerte“).

Meterwiderstand

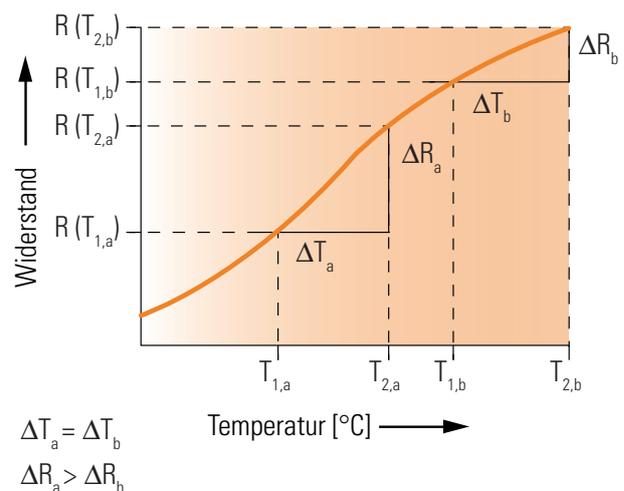
Der Meterwiderstand des Leiters ergibt sich aus dem Quotienten des spezifischen Widerstands und dem Querschnitt des Leiters.

$\text{Meterwiderstand} = \frac{\text{Spez. Widerstand } (\Omega \cdot 1 \text{ mm}^2 \cdot \text{m}^{-1})}{\text{Querschnitt } (\text{mm}^2)} = \Omega \cdot \text{m}^{-1}$
--

Der Temperaturkoeffizient (α oder TCR) des spezifischen elektrischen Widerstands

Metalle und ihre Legierungen zeigen eine Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstands. Im Allgemeinen nimmt mit steigender Temperatur der spezifische elektrische Widerstand zu. In vereinfachter Form lässt sich die Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstands darstellen durch die Gleichung:

$$\text{GL. 4: } R_{T_2} = R_{T_1} [1 + \alpha (T_2 - T_1)]$$



Grafik 1

Diese Gleichung gilt nur dann, wenn im betrachteten Temperaturbereich T_1 bis T_2 der Zusammenhang zwischen Widerstand und Temperatur linear ist. Dies ist bei den meisten Legierungen und Metallen insbesondere für große Temperaturintervalle nicht der Fall. Zur exakten Beschreibung der Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstands sind komplexere Gleichungen notwendig.

Trotzdem wird der Temperaturbeiwert des elektrischen Widerstands – auch Temperaturkoeffizient genannt – aus Gleichung (GL. 4) definiert als

$$\text{GL. 5: } \alpha_{T_1 \dots T_2} = \frac{R_2 - R_1}{R_1 (T_2 - T_1)} \quad [\alpha] = \text{K}^{-1}$$

Er gibt also im Temperaturbereich T_1 bis T_2 die mittlere Änderung des spezifischen Widerstands pro Kelvin, bezogen auf den Widerstandswert R bei T_1 , an.

Als Formelzeichen für den Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstands ist neben α auch „TCR“ (temperature coefficient of resistance) gebräuchlich. Bei der experimentellen Ermittlung des Temperaturkoeffizienten sowie beim Informationsaustausch zwischen Lieferant und Kunden sind zwei Dinge zu beachten

1. Wie schon ausgeführt, zeigt die Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstands im Allgemeinen keinen linearen Verlauf, sondern ist eine Funktion höheren Grads. Dies trifft ganz besonders für einige Widerstandslegierungen zu. Aus diesem Grunde errechnen sich unterschiedliche Temperaturkoeffizienten, je nachdem, in welchem Kurvenbereich man ein bestimmtes ΔT betrachtet (siehe Grafik 1).

2. Auf Grund der Tatsache, dass bei der Definition des Temperaturkoeffizienten die temperaturabhängige Widerstandsänderung auf den Widerstandswert R_1 bezogen wird, ergeben sich unterschiedliche TCR Werte in Abhängigkeit von R_1 , auch wenn das betrachtete Temperaturintervall immer gleich groß ist.

Zum Beispiel

TCR +20 °C bis +105 °C = +50 ppm/K

Ein Vergleich der Testergebnisse ist nur dann möglich, wenn die Prüfbedingungen identisch sind.

Durch Kombination bestimmter Legierungselemente lässt sich der Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstands bei einigen Legierungen gezielt variieren, so dass er zwischen Raumtemperatur und etwa +100 °C negative Werte oder Werte um 0 annehmen kann.

Tabelle 1 // Abhängigkeit des spezifischen Widerstands in $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ von der Temperatur bei verschiedenen Legierungen

Legierung	+20 °C	+100 °C	+200 °C	+300 °C	+400 °C	+500 °C	+600 °C	+700 °C	+800 °C	+900 °C	+1.000 °C	+1.100 °C	+1.200 °C
ISOHOM®	132	132	132	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ISA®-CHROM 60	113 ¹⁾ (111) ²⁾	114 (112)	116 (114)	118 (116)	120 (118)	122 (122)	-	-	-	-	-	-	-
ISA®-CHROM 80	112 ¹⁾ (108) ²⁾	113 (109)	113 (110)	114 (112)	115 (114)	116 (116)	-	-	-	-	-	-	-
ISA®-CHROM 30	104	107	111	114	117	120	122	124	126	128	130	132	-
NOENTIN®	90	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ISOTAN®	49	49	49	49	49	49	-	-	-	-	-	-	-
ISA®-NICKEL	49	51	53	55	56	57	59	60	-	-	-	-	-
MANGANIN®	43	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NICKELIN W	40	40,4	41	41,7	42,4	43,2	-	-	-	-	-	-	-
RESISTHERM®	33	41	52	64	76	89	102	-	-	-	-	-	-
ISA-ZIN	30	30,4	31	31,5	32,1	32,6	-	-	-	-	-	-	-
ZERANIN® 30	29	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LEGIERUNG 127	21	21,5	22,1	22,8	23,4	-	-	-	-	-	-	-	-
LEGIERUNG 90	15	15,6	16,2	16,9	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-
ISA® 13	12,5	12,9	13,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LEGIERUNG 60	10	10,7	11,4	12,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NI 99,2	9	13	19	26	33	38	-	-	-	-	-	-	-
REINNICKEL	8	12	18	25	32	36	-	-	-	-	-	-	-
NICKEL SPEZIAL	7,65	11,1	16,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LEGIERUNG 30	5	5,7	6,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A-KUPFER	2,5	3,1	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-KUPFER	1,72	2,3	3,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1) Diese Werte gelten für den Gleichgewichtszustand.

2) Diese Werte gelten für den Zustand nach schneller Abkühlung, siehe auch B. „Besonderheiten bei Nickel-Chrom-Legierungen“.

B // BESONDERHEITEN BEI NICKEL-CHROM-LEGIERUNGEN

Ein besonderes Verhalten zeigt der spezifische Widerstand von Nickel-Chrom-Legierungen. Der spezifische Widerstand bei Temperaturen unterhalb +500 °C wird durch die Abkühlung von hohen Temperaturen, z. B. nach einem Glühprozess, beeinflusst. Mit steigender Abkühlungsgeschwindigkeit verringert sich der spezifische Widerstand. Im nebenstehenden Schaubild sind diese Verhältnisse schematisch wiedergegeben.

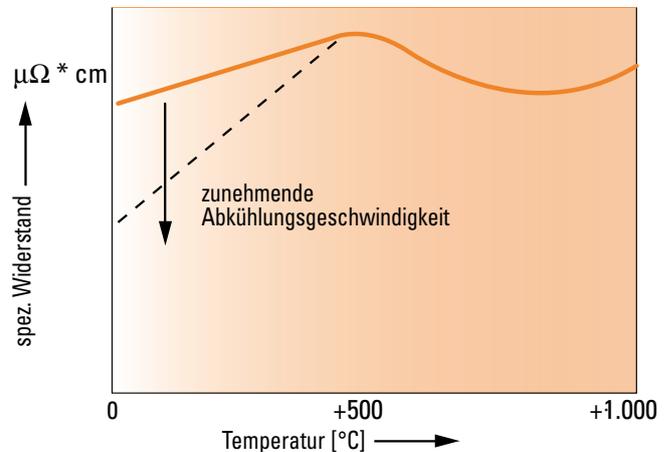
Die durchgezogene Linie stellt den so genannten Gleichgewichtszustand dar, d. h. den spezifischen Widerstand weich geglühter Drähte nach langsamer Abkühlung. Die gestrichelte Linie gibt an, wie sich unterhalb von +500 °C der spezifische Widerstand durch schnelle Abkühlung zu niedrigeren Werten hin verändert. Schnelle Abkühlung tritt z. B. bei dünnen Drähten nach einer Durchzugsglühe auf.

Der Effekt ist am stärksten ausgeprägt bei Drähten aus eisenfreien Nickel-Chrom-Legierungen, (z. B. bei ISA®-CHROM 80), abgeschwächt bei ISA®-CHROM 60 und vernachlässigbar gering bei ISA®-CHROM 30.

Da die Abkühlungsgeschwindigkeit bei der üblichen Durchlaufglühe eines Drahtes umso höher ist, je kleiner der Drahtdurchmesser ist, wird der Effekt mit abnehmendem Drahtdurchmesser stärker ausgeprägt.

Bei den Legierungen ISA®-CHROM 80 und ISA®-CHROM 60 fällt der elektrische Widerstand zwischen 1 mm und 0,01 mm Ø unter üblichen Glühbedingungen etwa 1,3 % bzw. 0,5 %. Bei der Legierung ISAOHM® liegt der Abfall infolge anderer Zusammensetzungen bei 5 %.

Es wurde davon abgesehen, für Widerstandsdrähte aus NiCr-Legierungen einen gleitenden spezifischen Widerstand zu normen, vielmehr wird ein mittlerer spezifischer Widerstand angegeben (siehe hierzu auch DIN 17471). Es ist zu beachten, dass dieser Wert für die Legierungen ISA®-CHROM 80 und ISA®-CHROM 60 niedriger liegt als der nach DIN 17470 für die Verwendung als Heizleiter festgelegte.



Einfluss der Vorbehandlung auf die Temperaturabhängigkeit des Widerstands von ISA®-CHROM 80 (NiCr8020).

C // OBERFLÄCHENBELASTUNG

Die Entwicklung von Wärme in einem stromdurchflossenen Leiter ist in der Elektrotechnik von großer Bedeutung, gleichgültig, ob man die entstehende Wärme möglichst unterdrücken oder nutzen will.

Dabei gilt es vor allem, die Frage zu beantworten, wie heiß unter gegebenen Umständen ein stromdurchflossener Draht, stromdurchflossenes Band oder Blech im Gebrauch wird.

Die Beantwortung dieser Frage ist mit Schwierigkeiten verbunden, weil die bestimmenden Faktoren, wie Isolierart und Form des Widerstandsleiters, Gegebenheiten des Luftzutritts oder sonstiger Kühlmöglichkeiten, Veränderungen der Oberfläche im Gebrauch und andere Materialeigenschaften, die ihrerseits von der Temperatur selbst abhängen, oft nur abgeschätzt werden können.

Belastbarkeit von Drähten

Um überhaupt überschaubare Verhältnisse aufzeigen zu können, wählt man für die Betrachtungen einfache Modelle, an denen sich Messungen vornehmen lassen, die auf die Praxis übertragbar sind. Ein solches Modell ist der in ruhender Luft von +20 °C gerade ausgespannte, stromdurchflossene blanke Draht, bei dem der natürliche Luftzutritt in keiner Weise behindert ist. Dieses Modell hat zudem den Vorteil, dass die Temperatur des Drahtes neben anderen Methoden auch über seine Wärmeausdehnung bestimmt werden kann.

Fließt in einem Leiterstück mit der Länge l und dem Widerstand R ein Strom I , so errechnet sich die in Wärme umgesetzte elektrische Leistung P zu

$$\text{GL. 6: } P = I^2 \cdot R$$

Setzt man für

$$\text{GL. 7: } R = \rho_{el,T} \cdot \frac{l}{A}$$

ein, so ergibt sich

$$\text{GL. 8: } P = \frac{I^2 \cdot \rho_{el,T} \cdot l \cdot 4}{\pi \cdot d^2}$$

Die pro cm^2 Drahtoberfläche entstehende Wärmemenge nennt man die Oberflächenbelastung n des Drahtes; sie wird in Watt (W) pro Quadratzentimeter (cm^2) ausgedrückt.

Mit Hilfe der Gleichung ergibt sich unter Einsetzung der bestimmenden Größen für die Oberfläche

$$\text{GL. 9: } n = \frac{I^2 \cdot \rho_{el,T} \cdot 0,4053}{d^3 \cdot \pi^2}$$

n = Oberflächenbelastung in $\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$

I = Stromstärke in Ampère

$\rho_{el,T}$ = spezifischer Widerstand in $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ bei der Temperatur T ($^{\circ}\text{C}$)

d = Drahtdurchmesser in mm

Die Oberflächenbelastung ist ein Maß für die Temperatur, die der Draht unter vorgegebenen Umgebungsbedingungen erreichen wird. Sie ist keine materialspezifische Größe, sondern muss den jeweiligen Leitermaterialien sowie den Einsatzbedingungen angepasst sein. Sie wird sinnvollerweise nach oben hin durch die höchste Anwendungstemperatur des Leiters begrenzt, um eine ausreichende Zunderbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit, etc. zu gewährleisten.

Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen Oberflächenbelastung und sich einstellender Drahttemperatur für Drähte von 0,5 mm \varnothing verschiedener Werkstoffe.

Ein stromdurchflossener Leiter erreicht im Allgemeinen sehr schnell nach Einschalten des Stroms einen stationären Zustand, bei dem die in der Zeiteinheit erzeugte Wärmemenge gleich ist der abgeführten. Legt man das eingangs erwähnte Modell „in ruhiger Luft von +20 °C gerade ausgespannter Draht“ zugrunde, so erfolgt die Wärmeabgabe durch Konvektion, Luftströmung und Strahlung. Unter den genannten Bedingungen erfolgt die Wärmeabgabe vornehmlich durch Konvektion, während die Wärmeabgabe durch Strahlung erst bei Temperaturen von $> +400$ °C bis $+600$ °C nennenswert wird.

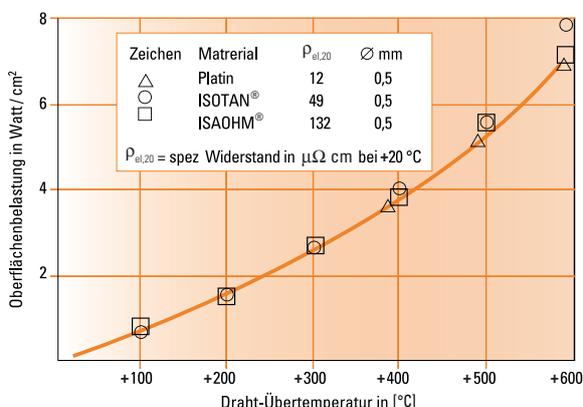


Abb. 1: Übertemperatur von Draht gegen Luft in Abhängigkeit von der Oberflächenbelastung in Watt/cm^2 und verschiedenen Werkstoffen.

Allerdings wird die Wärmeabgabe durch Strahlung mit steigender Temperatur anteilmäßig größer; mathematisch ausgedrückt nimmt sie mit T^4 zu.

Auch der Durchmesser des Stromleiters übt einen Einfluss auf die Art der Wärmeabgabe aus: Abbildung 2 zeigt das Zusammenwirken von Konvektion und Strahlung in Abhängigkeit vom Drahtdurchmesser. Auf der durch Schraffierung angedeuteten Grenzlinie ist die Wärmeabgabe durch Konvektion und Strahlung gleich. Bei niedrigen Temperaturen und dünnen Drähten überwiegt die Wärmeabgabe durch Konvektion; bei dicken Drähten und hohen Temperaturen überwiegt die Wärmeabgabe durch Strahlung.

Abbildung 2 zeigt außerdem, dass mit fallendem Drahtdurchmesser der Anteil der Konvektion bei der Wärmeabgabe des Drahtes stark zunimmt. Dies hängt damit zusammen, dass sich bei dünnen Drähten der Wärmeübergang vom Draht an Luft durch Konvektion beträchtlich erhöht. Für die Praxis bedeutet dies, dass dünne Drähte bei gleichen sich einstellenden Drahttemperaturen wesentlich höher belastbar sind als dicke Drähte.

Durch Unterdrückung der Konvektion, z. B. durch Verminderung des Luftdrucks, verschiebt sich die Kurve nach links, d. h. der Strahlungsanteil wird größer; umgekehrt kann durch Verstärkung der Konvektion, etwa mit Hilfe eines Ventilators, die Kurve nach rechts verschoben werden. Konstante elektrische Leistung vorausgesetzt, würde im letzteren Falle die sich einstellende Drahttemperatur wesentlich niedriger liegen.

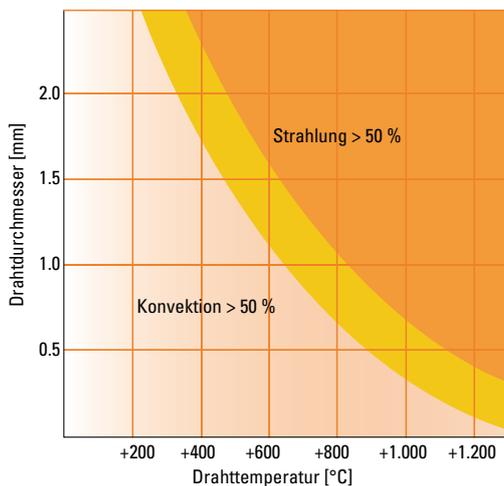


Abb. 2: Vergleich von Strahlung und Konvektion bei der Wärmeabgabe von Widerstandsdrähten in Luft von +20 °C. Im dunklen Grenzbereich ist die Wärmeabgabe durch Konvektion und Strahlung etwa gleich groß. Rechts des Grenzbereiches überwiegt die Strahlung, links die Konvektion.

Die beiden vorstehend genannten Diagramme – Abbildung 1 und 2 – gelten für horizontal ausgespannte Drähte in ruhender Luft. In der Praxis wird diese Anordnung insbesondere bei dünnen Drähten nur selten angewandt. Drähte auf Wickelkörpern oder in Form von Spiralen erlauben wesentlich geringere Oberflächenbelastungen, da die wärmeabgebende Drahtoberfläche gegenüber frei ausgespannten Drähten erheblich reduziert ist.

Wird ein dicht mit Widerstandsdraht bewickelter Körper betrachtet, so kann man die Oberfläche dieses Wickelkörpers als Bezugsgröße für den Wert „Watt pro cm²“ annehmen. Dies ist gleichbedeutend damit, dass als „Drahtdurchmesser“ der Durchmesser des bewickelten Körpers anzunehmen ist. Aus dem Gesagten ergibt sich damit für den Wickelkörper bei gleicher Oberflächenbelastung in W/cm² eine bedeutend höhere Oberflächentemperatur als für den einzelnen Draht.

Abbildung 3 zeigt für verschiedene Temperaturen in Abhängigkeit vom Durchmesser des „Drahtes“ die mögliche Belastbarkeit in Watt/cm². Wickelkörper wären in diesem Diagramm mit ihrem entsprechenden Durchmesser zu suchen. Da die Belastbarkeit in Watt/cm² angegeben ist, gilt dieses Diagramm für sämtliche Legierungen der Isabellenhütte. Den Zusammenhang zwischen der Belastung eines Drahtes durch Strom (Ampère) und der sich einstellenden Drahttemperatur zeigt Abbildung 4 für einen Draht aus ISOTAN® mit 0,5 mm Ø. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass in dieser Form der Darstellung, also anders als in den bisherigen Bildern, Kurven für Materialien mit verschiedenen spezifischen Widerständen unterschiedlich sind.

Da, wie in Abbildung 1 gezeigt, durch gleiche Oberflächenbelastungen – ausgedrückt in Watt/cm² – gleiche Drahttemperaturen unabhängig von der Legierung erreicht werden, lassen sich die Werte für die Strombelastung bei gleichem Drahtdurchmesser nach folgender Formel umrechnen:

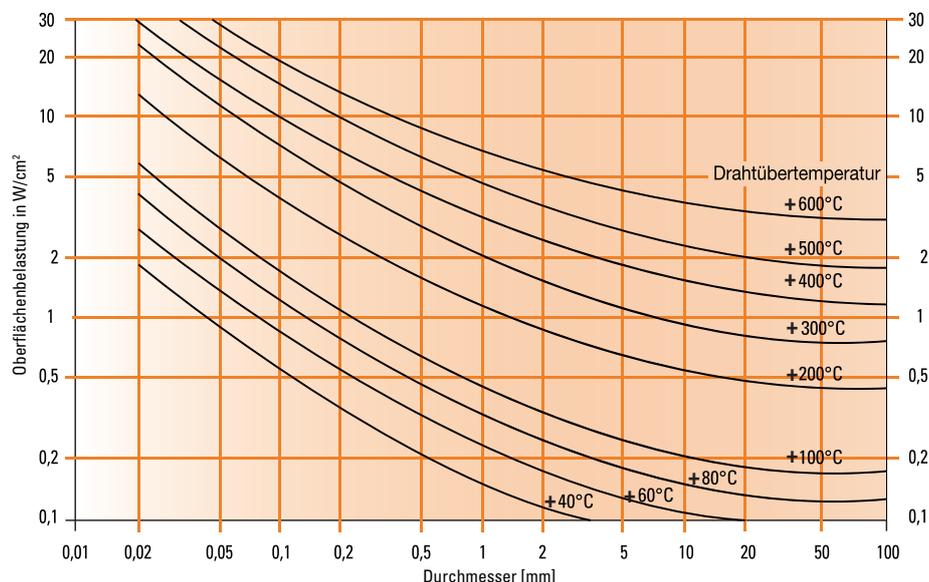


Abb. 3

P = konstant, folgt:

$$\text{GL. 10: } I_1^2 \cdot R_1 = I_2^2 \cdot R_2$$

Hieraus folgt:

$$\text{GL. 11: } I_1 = I_2 \cdot \sqrt{\frac{R_2}{R_1}}$$

und

$$\text{GL. 12: } I_1 = I_2 \cdot \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}$$

Die folgenden Tabellen geben am Beispiel von ISOTAN® die geometrischen Daten zwischen 0,02 und 6,30 mm Ø sowie die Belastbarkeitswerte in Ampère für +40/+60/+80/+100/+200/+300/+400/+500 und +600 °C an. Die aufgeführten Werte für die Stromstärke sind nach folgender Formel:

$$\text{GL. 13: } I_x = I_{\text{ISOTAN}} \cdot \sqrt{\frac{49 \mu\Omega \cdot \text{cm}}{\rho_{\text{el}, x}}}$$

umzurechnen, wobei I_x die Stromstärke des Drahtes einer Legierung mit dem spezifischen Widerstand $\rho_{\text{el}, x}$ ist. Hierbei ist darauf zu achten, dass für $\rho_{\text{el}, x}$ die Werte bei den jeweiligen Temperaturen einzusetzen sind (siehe Tabelle 2). Die Belastbarkeitstabellen sind alle auf blanken Draht bezogen; oxidierte Drähte (nur möglich bei den Legierungen ISA®-CHROM 60, ISA®-CHROM 80 und ISOTAN®) können vor allem bei höheren Temperaturen wegen der besseren Wärmeabstrahlung oxidierten Drähte bis zu 20 % höher belastet werden, und zwar ausgedrückt in Watt pro cm². Bei Verwendung von lackisolierten Drähten kann man mit den Belastungen von blanken Drähten rechnen. Die Wärmeeindämmung des Lackes wird durch Vergrößerungen des wirksamen Durchmessers und guter Abstrahlung kompensiert. Drähte mit Seidenisolation haben je nach Ausführung und Verarbeitung sehr verschiedene Belastbarkeit; sie ist in jedem speziellen Fall zu ermitteln.

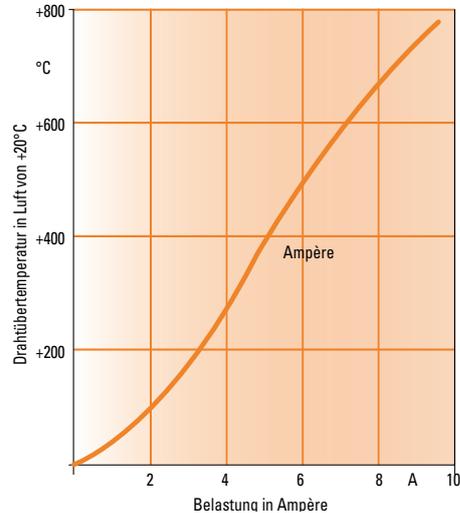


Abb. 4: Belastbarkeit von Draht aus ISOTAN® mit 0,5 mm Ø in Abhängigkeit von der Übertemperatur des Drahtes gegen Luft von +20 °C (+100 °C Übertemperatur entsprechen einer wirklichen Temperatur von +120 °C).

Tabelle 2

		Ampère für Übertemperaturen von:									
		+40 °C		+60 °C		+80 °C		+100 °C		+200 °C	
Durchmesser in mm	ISOTAN® Widerstand Ohm/m	Belastung		Belastung		Belastung		Belastung		Belastung	
		I in A	in W/cm²	I in A	in W/cm²	I in A	in W/cm²	I in A	in W/cm²	I in A	in W/cm²
0,020	1.560	0,0270	1,82	0,0342	2,92	0,0410	4,20	0,0479	5,69	0,0724	13,0
0,022	1.290	0,0305	1,75	0,0381	2,74	0,0450	3,82	0,0534	5,31	0,0807	12,1
0,025	998	0,0353	1,60	0,0441	2,49	0,0520	3,47	0,0617	4,84	0,0933	11,1
0,028	796	0,0402	1,48	0,0502	2,30	0,0600	3,29	0,0703	4,46	0,106	10,2
(0,030)	693	0,0437	1,41	0,0546	2,21	0,0650	3,13	0,0764	4,29	0,115	9,70
0,032	609	0,0467	1,33	0,0584	2,08	0,0690	2,90	0,0818	4,05	0,124	9,26
0,036	481	0,0534	1,22	0,0668	1,92	0,0790	2,68	0,0935	3,72	0,140	8,51
0,040	390	0,0606	1,15	0,0757	1,79	0,0900	2,53	0,106	3,45	0,160	7,89
0,045	308	0,0691	1,05	0,0864	1,64	0,102	2,28	0,121	3,17	0,183	7,26
0,050	249	0,0777	0,966	0,0971	1,51	0,115	2,12	0,136	2,94	0,206	6,74
0,056	199	0,0880	0,880	0,110	1,38	0,130	1,92	0,154	2,68	0,235	6,22
(0,060)	173	0,0960	0,853	0,120	1,33	0,142	1,87	0,168	2,58	0,254	5,93
0,063	157	0,101	0,816	0,126	1,27	0,150	1,80	0,177	2,49	0,269	5,73
(0,070)	127	0,114	0,758	0,143	1,19	0,169	1,67	0,200	2,32	0,303	5,33
0,071	124	0,116	0,752	0,145	1,17	0,172	1,65	0,203	2,29	0,308	5,27
0,080	97,5	0,133	0,691	0,166	1,08	0,197	1,52	0,233	2,11	0,354	4,86
0,090	77,0	0,153	0,642	0,191	1,00	0,226	1,40	0,267	1,94	0,406	4,48
0,100	62,4	0,173	0,600	0,216	0,933	0,254	1,29	0,302	1,81	0,458	4,17
(0,110)	51,6	0,193	0,560	0,241	0,873	0,286	1,23	0,337	1,69	0,512	3,91
0,112	49,7	0,197	0,554	0,246	0,865	0,292	1,22	0,345	1,68	0,523	3,86
(0,120)	43,3	0,213	0,524	0,266	0,818	0,315	1,15	0,372	1,59	0,567	3,69
0,125	39,9	0,223	0,510	0,279	0,798	0,331	1,12	0,391	1,55	0,594	3,59
(0,130)	36,9	0,234	0,498	0,292	0,775	0,347	1,09	0,409	1,51	0,622	3,50
0,140	31,8	0,255	0,475	0,319	0,742	0,378	1,04	0,446	1,44	0,679	3,33
(0,150)	27,7	0,276	0,452	0,345	0,706	0,409	0,993	0,483	1,37	0,736	3,18
0,160	24,4	0,297	0,430	0,371	0,671	0,441	0,949	0,520	1,31	0,794	3,05
0,180	19,3	0,342	0,401	0,428	0,628	0,508	0,885	0,599	1,22	0,911	2,83
0,200	15,6	0,386	0,372	0,482	0,581	0,572	0,818	0,675	1,13	1,03	2,64
(0,220)	12,9	0,433	0,354	0,541	0,552	0,642	0,778	0,758	1,07	1,16	2,49
0,224	12,4	0,441	0,347	0,551	0,542	0,653	0,761	0,771	1,05	1,18	2,46
0,250	9,98	0,503	0,324	0,629	0,507	0,746	0,713	0,880	0,982	1,35	2,30
0,280	7,96	0,577	0,303	0,721	0,473	0,856	0,666	1,01	0,914	1,54	2,14
(0,300)	6,93	0,623	0,287	0,778	0,448	0,924	0,632	1,12	0,875	1,67	2,06
0,315	6,29	0,663	0,281	0,828	0,438	0,983	0,612	1,16	0,849	1,77	2,00
(0,320)	6,09	0,672	0,275	0,843	0,433	1,00	0,609	1,18	0,841	1,81	1,98
(0,350)	5,09	0,748	0,261	0,936	0,406	1,11	0,574	1,31	0,796	2,01	1,87
0,355	4,95	0,760	0,258	0,950	0,404	1,13	0,571	1,33	0,789	2,05	1,86
0,40	3,90	0,880	0,242	1,10	0,378	1,31	0,536	1,54	0,734	2,37	1,73
0,45	3,08	1,01	0,224	1,26	0,349	1,50	0,494	1,77	0,684	2,73	1,62
0,50	2,49	1,15	0,212	1,44	0,332	1,70	0,462	2,01	0,644	3,10	1,53
(0,55)	2,06	1,29	0,200	1,61	0,315	1,92	0,444	2,26	0,609	3,49	1,45
0,56	1,99	1,32	0,198	1,65	0,309	1,95	0,432	2,31	0,603	3,57	1,44
(0,60)	1,73	1,43	0,189	1,79	0,297	2,13	0,420	2,51	0,580	3,88	1,39
0,63	1,57	1,53	0,187	1,91	0,292	2,26	0,409	2,67	0,565	4,12	1,35
(0,65)	1,48	1,58	0,182	1,98	0,285	2,35	0,402	2,77	0,555	4,29	1,33
(0,70)	1,27	1,74	0,177	2,17	0,275	2,58	0,388	3,04	0,533	4,70	1,28
0,71	1,24	1,77	0,175	2,21	0,273	2,62	0,383	3,09	0,529	4,78	1,27
0,75	1,11	1,89	0,169	2,36	0,264	2,81	0,374	3,31	0,514	5,12	1,23
0,80	0,975	2,05	0,164	2,56	0,256	3,03	0,359	3,58	0,496	5,55	1,19
0,85	0,864	2,21	0,159	2,76	0,248	3,27	0,348	3,86	0,481	5,99	1,16
0,90	0,770	2,37	0,154	2,96	0,240	3,51	0,338	4,14	0,467	6,43	1,13
0,95	0,691	2,53	0,149	3,16	0,233	3,75	0,328	4,43	0,454	6,89	1,01
1,00	0,624	2,70	0,146	3,37	0,227	4,00	0,320	4,72	0,442	7,35	1,07
(1,10)	0,516	3,04	0,139	3,80	0,217	4,51	0,306	5,32	0,422	8,30	1,03
1,12	0,497	3,11	0,138	3,88	0,215	4,61	0,304	5,44	0,418	8,49	1,02
(1,20)	0,433	3,39	0,133	4,24	0,208	5,03	0,292	5,94	0,405	9,27	0,986
1,25	0,399	3,57	0,131	4,46	0,204	5,30	0,288	6,25	0,397	9,77	0,969
1,40	0,318	4,12	0,124	5,16	0,194	6,12	0,273	7,22	0,377	11,3	0,923
1,50	0,277	4,50	0,120	5,63	0,188	6,68	0,265	7,88	0,365	12,3	0,896
1,60	0,244	4,89	0,117	6,11	0,182	7,25	0,256	8,56	0,355	13,4	0,873
1,80	0,193	5,69	0,110	7,12	0,174	8,43	0,244	9,95	0,337	15,7	0,833
2,00	0,156	6,50	0,106	8,14	0,166	9,66	0,233	11,4	0,323	17,9	0,800
(2,20)	0,129	7,37	0,102	9,21	0,160	10,9	0,224	12,9	0,311	20,4	0,773
2,24	0,124	7,54	0,101	9,43	0,159	11,2	0,222	13,2	0,307	20,9	0,768
2,50	0,0998	8,74	0,098	10,9	0,152	13,0	0,217	15,3	0,296	24,1	0,739
2,80	0,0796	10,1	0,094	12,6	0,144	15,0	0,205	17,7	0,284	28,1	0,712
3,00	0,0693	11,1	0,092	13,9	0,143	16,4	0,199	19,4	0,277	30,7	0,696
3,15	0,0629	11,8	0,089	14,8	0,140	17,5	0,198	20,7	0,272	32,9	0,685
(3,20)	0,0609	12,1	0,089	15,1	0,139	18,0	0,197	21,2	0,271	33,6	0,682
(3,50)	0,0509	13,6	0,086	17,1	0,137	20,2	0,190	23,8	0,263	37,9	0,664
3,55	0,0495	13,9	0,086	17,4	0,135	20,6	0,189	24,3	0,262	38,6	0,661
4,00	0,0390	16,3	0,083	20,4	0,130	24,1	0,181	28,5	0,252	45,4	0,639
4,50	0,0308	19,1	0,080	23,8	0,124	28,3	0,176	33,4	0,243	53,3	0,619
5,00	0,0249	22,0	0,077	27,6	0,122	32,7	0,171	38,6	0,236	61,6	0,602
5,50	0,0206	25,0	0,075	31,3	0,118	37,1	0,166	43,8	0,229	70,3	0,589
5,60	0,0199	25,7	0,075	32,1	0,117	38,1	0,165	44,9	0,228	72,0	0,586
6,00	0,0173	28,2	0,074	35,3	0,115	41,9	0,162	49,4	0,224	79,2	0,577
6,30	0,0157	30,2	0,073	37,8	0,114	44,8	0,161	52,9	0,222	84,8	0,571

Ampère für Übertemperaturen von:

+300 °C		+400 °C		+500 °C		+600 °C		ISOTAN® Widerstand in Ohm/m	Durchmesser in mm
I in A	Belastung in W/cm²								
0,0964	23,0	0,110	30,1	0,133	44,2	0,144	51,2	1.560	0,020
u,109	22,2	0,123	28,2	0,149	41,4	0,161	48,3	1.290	0,022
0,124	19,6	0,143	25,9	0,173	38,0	0,188	44,7	998	0,025
0,138	18,1	0,163	24,0	0,197	35,2	0,215	41,7	796	0,028
0,153	17,2	0,177	22,9	0,214	33,7	0,233	40,0	693	(0,030)
0,165	16,4	0,191	22,0	0,231	32,2	0,252	38,5	609	0,032
0,188	15,1	0,219	20,3	0,265	29,8	0,290	35,8	481	0,036
0,212	14,0	0,247	19,0	0,300	27,8	0,329	33,6	390	0,040
0,243	12,9	0,284	17,6	0,344	25,8	0,379	31,4	308	0,045
0,274	11,9	0,321	16,4	0,389	24,0	0,431	29,4	249	0,050
0,312	11,0	0,367	15,2	0,445	22,3	0,494	27,6	199	0,056
0,338	10,5	0,398	14,6	0,482	21,4	0,537	26,5	173	(0,060)
0,358	10,2	0,422	14,1	0,511	20,7	0,569	25,7	157	0,063
0,404	9,43	0,478	13,2	0,578	19,3	0,646	24,1	127	(0,070)
0,411	9,34	0,486	13,1	0,588	19,2	0,658	24,0	124	0,071
0,471	8,60	0,559	12,1	0,677	17,8	0,760	22,4	97,5	0,080
0,540	7,94	0,648	11,4	0,785	16,8	0,877	20,9	77,0	0,090
0,610	7,39	0,728	10,5	0,882	15,4	0,966	19,7	62,4	0,100
0,682	6,93	0,816	9,92	0,985	14,5	1,12	18,7	51,6	(0,110)
0,696	6,84	0,833	9,81	1,01	14,4	1,15	18,5	49,7	0,112
0,754	6,53	0,905	9,40	1,10	13,8	1,25	17,8	43,3	(0,120)
0,791	6,36	0,950	9,16	1,15	13,4	1,31	17,4	39,9	0,125
0,828	6,20	0,995	8,95	1,21	13,1	1,37	17,1	36,9	(0,130)
0,903	5,90	1,09	8,55	1,32	12,5	1,51	16,4	31,8	0,140
0,979	5,64	1,18	8,20	1,43	12,0	1,64	15,8	27,7	(0,150)
1,06	5,40	1,28	7,89	1,55	11,6	1,77	15,3	24,4	0,160
1,21	5,01	1,47	7,35	1,78	10,8	2,05	14,3	19,3	0,180
1,37	4,68	1,67	6,91	2,02	10,1	2,34	13,6	15,6	0,200
1,54	4,41	1,87	6,54	2,27	9,59	2,63	12,9	12,9	(0,220)
1,57	4,36	1,91	6,47	2,32	9,49	2,69	12,8	12,4	0,224
1,79	4,07	2,19	6,07	2,65	8,91	3,08	12,1	9,98	0,250
2,05	3,80	2,51	5,70	3,04	8,35	3,55	11,4	7,96	0,280
2,23	3,64	2,73	5,48	3,31	8,04	3,87	11,0	6,93	(0,300)
2,36	3,54	2,90	5,33	3,51	7,82	4,12	10,8	6,29	0,315
2,41	3,50	2,96	5,29	3,58	7,76	4,20	10,7	6,09	(0,320)
2,68	3,32	3,30	5,04	4,00	7,39	4,70	10,2	5,09	(0,350)
2,72	3,29	3,36	5,00	4,07	7,33	4,79	10,2	4,95	0,355
3,15	3,07	3,89	4,69	4,71	6,87	5,57	9,60	3,90	0,40
3,63	2,87	4,50	4,40	5,45	6,46	6,46	9,09	3,08	0,45
4,13	2,71	5,13	4,17	6,21	6,12	7,39	8,69	2,49	0,50
4,64	2,57	5,77	3,97	6,99	5,83	8,35	8,31	2,06	(0,55)
4,75	2,55	5,91	3,94	7,15	5,78	8,54	8,24	1,99	0,56
5,17	2,45	6,44	3,81	7,80	5,58	9,33	8,00	1,73	(0,60)
5,49	2,39	6,84	3,72	8,29	5,45	9,94	7,83	1,57	0,63
5,70	2,35	7,18	3,66	8,62	5,37	10,3	7,73	1,48	(0,65)
6,26	2,26	7,81	3,53	9,46	5,18	11,4	7,49	1,27	(0,70)
6,37	2,25	7,96	3,51	9,63	5,15	11,6	7,45	1,24	0,71
6,82	2,19	8,53	3,42	10,3	5,10	12,4	7,28	1,11	0,75
7,39	2,12	9,25	3,32	11,2	4,87	13,5	7,09	0,975	0,80
7,97	2,05	9,99	3,23	12,1	4,73	14,6	6,92	0,864	0,85
8,57	2,00	10,7	3,14	13,0	4,61	15,8	6,77	0,770	0,90
9,17	1,95	11,5	3,07	13,9	4,50	16,9	6,62	0,691	0,95
9,78	1,90	12,3	3,00	14,9	4,40	18,1	6,50	0,624	1,00
11,0	1,82	13,9	2,88	16,8	4,22	20,5	6,27	0,516	(1,10)
11,3	1,80	14,2	2,86	17,2	4,19	21,0	6,22	0,497	1,12
12,3	1,75	15,5	2,78	18,8	4,07	23,0	6,07	0,433	(1,20)
13,0	1,72	16,4	2,73	19,8	4,00	24,3	5,98	0,399	1,25
15,0	1,63	19,0	2,61	23,0	3,82	28,2	5,74	0,318	1,40
16,4	1,59	20,8	2,54	25,2	3,72	30,9	5,61	0,277	1,50
17,9	1,55	22,6	2,47	27,4	3,63	33,7	5,49	0,244	1,60
20,8	1,48	26,4	2,37	32,0	3,47	39,4	5,28	0,193	1,80
23,9	1,42	30,3	2,28	36,7	3,34	45,4	5,11	0,156	2,00
27,1	1,37	34,4	2,21	41,7	3,23	51,6	4,96	0,129	(2,20)
27,8	1,36	35,2	2,19	42,7	3,21	52,9	4,94	0,124	2,24
32,1	1,31	40,8	2,11	49,4	3,01	61,4	4,78	0,0998	2,50
37,4	1,26	47,5	2,04	57,4	2,99	71,6	4,63	0,0796	2,80
41,0	1,23	52,1	1,99	63,1	2,93	78,6	4,54	0,0693	3,00
43,7	1,21	55,6	1,97	67,4	2,88	84,1	4,49	0,0629	3,15
44,7	1,21	56,8	1,96	68,8	2,87	85,9	4,47	0,0609	(3,20)
50,4	1,18	64,2	1,91	77,7	2,79	97,1	4,37	0,0509	(3,50)
51,4	1,17	65,4	1,90	79,2	2,78	99,1	4,35	0,0495	3,55
60,4	1,13	76,9	1,84	93,2	2,69	117	4,23	0,0390	4,00
71,0	1,01	90,4	1,78	109	2,61	137	4,11	0,0308	4,50
82,0	1,07	104	1,73	127	2,54	159	4,02	0,0249	5,00
93,7	1,05	119	1,69	144	2,48	182	3,94	0,0206	5,50
95,9	1,04	122	1,69	148	2,47	186	3,92	0,0199	5,60
105	1,02	134	1,60	163	2,44	205	3,87	0,0173	6,00
113	1,01	144	1,64	174	2,41	220	3,83	0,0157	6,30

Es folgen einige Umrechnungsbeispiele:

Beispiel 1

Frage

Mit welcher Stromstärke muss ein Draht aus ISA® 13 der Abmessung 0,20 mm Ø belastet werden, um seine Temperatur um +200 °C zu erhöhen?

Lösung

- a) Aus der Tabelle entnehmen wir, dass der Wert für den durchmessergleichen Draht aus ISOTAN® 1,03 A beträgt.
- b) Entsprechend der genannten Formel muss dieser Wert für ISA® 13 umgerechnet werden, und zwar mit

$$\text{GL. 14: } I_x = 1,03 \text{ A} * \sqrt{\frac{49 \mu\Omega * \text{cm}}{13,3 \mu\Omega * \text{cm}}} = 1,03 \text{ A} * 1,92 \approx 2 \text{ A}$$

wobei $49 \mu\Omega * \text{cm}$ der spezifische Widerstand von ISOTAN® bzw. $13,3 \mu\Omega * \text{cm}$ der spezifische Widerstand von ISA® 13 jeweils bei +200 °C ist.

Ergebnis

Ein Draht aus ISA® 13 der Abmessung 0,20 mm Ø muss mit 2 A belastet werden, um seine Temperatur um +200 °C zu erhöhen.

Beispiel 2

Frage

Wie warm wird ein Draht aus ISA®-CHROM 60 der Abmessung 1 mm Ø, wenn er mit 8 A belastet wird?

Lösung

- a) Nach der genannten Formel errechnet sich für +20 °C ein Umrechnungsfaktor für die Legierung ISA®-CHROM 60 mit

$$\text{GL. 15: } \sqrt{\frac{49 \mu\Omega * \text{cm}}{111 \mu\Omega * \text{cm}}} = 0,664$$

- b) Um die Belastung für den durchmessergleichen Draht aus ISOTAN® zu erhalten, muss der Wert von ISA®-CHROM 60 durch diesen Wert dividiert werden, also

$$\text{GL. 16: } I_{\text{ISOTAN}} = \frac{8 \text{ A}}{0,664} = 12 \text{ A}$$

Es ergibt sich ein Wert von 12 A für die Legierung ISOTAN®.

Wird der durchmessergleiche Draht aus ISOTAN® mit den errechneten 12 A belastet, so erwärmt er sich um knapp +400 °C. Wie die Tabelle Nr. 2 zeigt, erreicht man mit 12,3 A eine Übertemperatur von +400 °C.

Der unter a) ermittelte Umrechnungsfaktor gilt für +20 °C und muss nun für +400 °C erneut bestimmt werden. Er beträgt 0,644, wie sich aus

$$\text{GL. 17: } \sqrt{\frac{49 \mu\Omega * \text{cm}}{118 \mu\Omega * \text{cm}}} = 0,644$$

ergibt, wobei $49 \mu\Omega * \text{cm}$ der spezifische Widerstand von ISOTAN® und $118 \mu\Omega * \text{cm}$ der von ISA®-CHROM 60, jeweils bei +400 °C, ist.

Rechnet man nun die Belastung von 8 A für ISA®-CHROM 60 auf ISOTAN® bei +400 °C, so ergibt sich ein Wert von 12,4 A für den durchmessergleichen Draht aus ISOTAN® da der Wert von 12,3 A für +400 °C gilt, lautet das:

Ergebnis

Belastet man einen Draht aus ISA®-CHROM 60 der Abmessung 1 mm Ø mit 8 A, so erwärmt er sich um etwas mehr als +400 °C.

Belastbarkeit von Flachdrähten

Bei Drähten genügt der Durchmesser zur Bestimmung der vorstehend aufgeführten Daten; bei Bändern sind die Dicke und vor allen Dingen die Breite zu berücksichtigen.

Für eine vergleichende Betrachtung sollte die Zahlentafel herangezogen werden, die zu den gängigen Bändern mit abgerundeten Kanten querschnittsgleiche Drähte aufzeigt.

Bei hohen Temperaturen (+600 °C) oder wenn der Anteil der Wärmeabgabe durch Strahlung aus anderen Gründen überwiegt, sind Flachdrähte und Bänder in der Belastbarkeit querschnittsgleichen Runddrähten wegen ihrer größeren Oberfläche bei jeder Abmessung überlegen.

Erfolgt die Wärmeabgabe vorwiegend durch Konvektion – im Allgemeinen bei niedrigen Temperaturen – ist die Belastbarkeit von Flachdrähten und Bändern erst ab einem Verhältnis von Breite zu Dicke wie 15 : 1 einem querschnittsgleichen Runddraht überlegen.

Werden Flachdrähte auf eine Unterlage aufgewickelt, so haben sie eine größere Kontaktfläche für den Wärmeübergang auf die Unterlage durch Wärmeleitung als querschnittsgleiche Drähte; für die hierdurch eventuell höhere Belastbarkeit gegenüber Drähten lassen sich keine generellen Angaben machen. Die Wärmeabgabe nach außen kann natürlich nur über die entsprechende, d. h. also halbe, Bandoberfläche erfolgen; dies ist bei Berechnungen zu berücksichtigen.

Die folgenden Tabellen geben Auskunft über den Widerstand, die Oberfläche und das Gewicht von Flachdrähten aus ISOTAN®, jeweils auf 1 m bezogen. Außerdem enthalten die Tabellen Angaben für die Belastung eines Bandes aus ISOTAN® für eine Übertemperatur von +100/+200/+300 und +400 °C.

Auf Folgendes wird noch hingewiesen

Wegen der abgerundeten Kanten errechnen sich Querschnitt und Widerstand von Flachdrähten nach u. a. Formel. Der Faktor 0,215 bezeichnet den optimalen Querschnitt mit abgerundeten Kanten entsprechend einem optimalen Halbkreis. Da dies keineswegs selbstverständlich ist, kann die tatsächliche Geometrie vom kalkulierten Wert abweichen.

Berechnung des Querschnitts und des Widerstands von Flachdrähten

$$\text{GL. 18: } R = \frac{\rho_{el} \cdot l \cdot 10^{-3}}{a \cdot (b - a \cdot 0,215)}$$

$$\text{GL. 19: } A = a \cdot (b - a \cdot 0,215)$$

$$\text{GL. 20: } O = [a \cdot (\pi - 2) + 2b] \cdot l$$

a = Dicke in mm

b = Breite in mm

l = Länge in mm

R = Widerstand in Ω

A = Querschnitt in mm²

O = Oberfläche in mm²

ρ_{el} = spez. Widerstand in $\Omega \cdot \text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$

Die Belastbarkeitstabellen sind alle auf blanken Draht oder blankes Band bezogen; oxidierte Drähte und Bänder können vor allem bei höheren Temperaturen wegen der besseren Wärmeabstrahlung bis zu 20 % höher belastet werden, und zwar ausgedrückt in W/cm².

Die Belastbarkeit eines Bandes aus anderen Legierungen lässt sich mit dem bei Drähten beschriebenen Schema errechnen.

Tabelle 3 // Durchmesser eines querschnittsgleichen Runddrahtes in mm

Dicke a in mm	Breite/b in mm									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	0,25	0,36	0,44	0,50	0,56	0,62	0,67	0,71	0,76	0,80
0,06	0,27	0,39	0,48	0,55	0,62	0,68	0,73	0,78	0,83	0,87
0,07	0,30	0,42	0,52	0,60	0,67	0,73	0,79	0,84	0,89	0,94
0,08	0,32	0,45	0,55	0,64	0,71	0,78	0,84	0,90	0,96	1,01
0,09	0,34	0,48	0,58	0,68	0,76	0,83	0,89	0,96	1,01	1,07
0,10	0,35	0,50	0,62	0,71	0,80	0,87	0,94	1,01	1,07	1,13
0,12	0,39	0,55	0,67	0,78	0,87	0,96	1,03	1,10	1,17	1,23
0,14	0,42	0,59	0,73	0,84	0,94	1,03	1,11	1,19	1,26	1,33
0,16	0,44	0,63	0,78	0,90	1,01	1,10	1,19	1,27	1,35	1,42
0,18	0,47	0,67	0,82	0,95	1,07	1,17	1,26	1,35	1,43	1,51
0,20	0,49	0,71	0,87	1,00	1,12	1,23	1,33	1,42	1,51	1,59
0,22	0,52	0,74	0,91	1,05	1,18	1,29	1,40	1,49	1,58	1,67
0,24	0,54	0,77	0,95	1,10	1,23	1,35	1,46	1,56	1,65	1,74
0,26	0,56	0,80	0,99	1,14	1,28	1,40	1,52	1,62	1,72	1,81
0,28	0,58	0,83	1,02	1,19	1,33	1,46	1,57	1,68	1,79	1,88
0,30	0,60	0,86	1,06	1,23	1,37	1,51	1,63	1,74	1,85	1,95
0,35	0,65	0,93	1,14	1,32	1,48	1,62	1,76	1,88	1,99	2,10
0,40	0,68	0,99	1,22	1,41	1,58	1,74	1,88	2,01	2,13	2,25
0,45	0,72	1,04	1,29	1,50	1,68	1,84	1,99	2,13	2,26	2,38
0,50	0,75	1,10	1,36	1,57	1,76	1,94	2,09	2,24	2,38	2,51
0,60		1,20	1,48	1,72	1,93	2,12	2,29	2,45	2,60	2,75
0,70		1,28	1,59	1,85	2,08	2,28	2,47	2,64	2,81	2,96
0,80		1,36	1,70	1,97	2,22	2,44	2,64	2,82	3,00	3,16
0,90		1,44	1,79	2,09	2,35	2,58	2,79	2,99	3,18	3,35
1,00		1,51	1,88	2,20	2,47	2,71	2,94	3,15	3,34	3,53
1,20			2,05	2,39	2,69	2,96	3,21	3,44	3,65	3,86
1,40			2,19	2,57	2,89	3,19	3,46	3,70	3,94	4,16
1,60			2,33	2,73	3,08	3,39	3,68	3,95	4,20	4,44
1,80			2,45	2,88	3,25	3,59	3,89	4,18	4,44	4,69
2,00			2,56	3,02	3,41	3,77	4,09	4,39	4,67	4,94

Tabelle 4 // Flachdrähte aus ISOTAN® – Gramm pro Meter (g * m⁻¹)

Dicke a in mm	Breite/b in mm									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	0,44	0,89	1,3	1,8	2,2	2,7	3,1	3,6	4,0	4,4
0,06	0,53	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	3,7	4,3	4,8	5,3
0,07	0,61	1,2	1,9	2,5	3,1	3,7	4,4	5,0	5,6	6,2
0,08	0,70	1,4	2,1	2,8	3,5	4,3	5,0	5,7	6,4	7,1
0,09	0,79	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6	6,4	7,2	8,0
0,10	0,87	1,8	2,7	3,5	4,4	5,3	6,2	7,1	8,0	8,9
0,12	1,0	2,1	3,2	4,2	5,3	6,4	7,4	8,5	9,6	10,7
0,14	1,2	2,5	3,7	4,9	6,2	7,4	8,7	9,9	11,2	12,4
0,16	1,4	2,8	4,2	5,6	7,1	8,5	9,9	11,3	12,8	14,2
0,18	1,5	3,1	4,7	6,3	7,9	9,6	11,2	12,8	14,4	16,0
0,20	1,7	3,5	5,3	7,0	8,8	10,6	12,4	14,2	15,9	17,7
0,22	1,9	3,8	5,8	7,7	9,7	11,7	13,6	15,6	17,5	19,5
0,24	2,0	4,2	6,3	8,4	10,6	12,7	14,8	17,0	19,1	21,2
0,26	2,2	4,5	6,8	9,1	11,4	13,8	16,1	18,4	20,7	23,0
0,28	2,3	4,8	7,3	9,8	12,3	14,8	17,3	19,8	22,3	24,8
0,30	2,5	5,2	7,8	10,5	13,2	15,8	18,5	21,2	23,9	26,5
0,35	2,9	6,0	9,1	12,2	15,3	18,5	21,6	24,7	27,8	30,9
0,40	3,3	6,8	10,4	13,9	17,5	21,1	24,6	28,2	31,7	35,3
0,45	3,6	7,6	11,6	15,6	19,6	23,6	27,6	31,7	35,7	39,7
0,50	4,0	8,4	12,9	17,3	21,8	26,2	30,7	35,1	39,6	44,0
0,60		10,0	15,3	20,7	26,0	31,4	36,7	42,0	47,4	52,7
0,70		11,5	17,8	24,0	30,2	36,4	42,7	48,9	55,1	61,4
0,80		13,0	20,1	27,3	34,4	41,5	48,6	55,7	62,9	70,0
0,90		14,5	22,5	30,5	38,5	46,5	54,5	62,5	70,5	78,6
1,00		15,9	24,8	33,7	42,6	51,5	60,4	69,3	78,2	87,1
1,20			29,3	40,0	50,6	61,3	72,0	82,7	93,4	104
1,40			33,6	46,1	58,5	71,0	83,5	95,9	108	121
1,60			37,8	52,1	66,3	80,5	94,8	109	123	138
1,80			41,9	57,9	73,9	89,9	106	122	138	154
2,00			45,7	63,5	81,3	99,1	117	135	153	170

Tabelle 5 // Oberfläche von Flachdrähten in cm² * m⁻¹

Dicke a in mm	Breite/b in mm									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	20,6	40,6	60,6	80,6	101	121	141	161	181	201
0,06	20,7	40,7	60,7	80,7	101	121	141	161	181	201
0,07	20,8	40,8	60,8	80,8	101	121	141	161	181	201
0,08	20,9	40,9	60,9	80,9	101	121	141	161	181	201
0,09	21,0	41,0	61,0	81,0	101	121	141	161	181	201
0,10	21,1	41,1	61,1	81,1	101	121	141	161	181	201
0,12	21,4	41,4	61,4	81,4	101	121	141	161	181	201
0,14	21,6	41,6	61,6	81,6	102	122	142	162	182	202
0,16	21,8	41,8	61,8	81,8	102	122	142	162	182	202
0,18	22,1	42,1	62,1	82,1	102	122	142	162	182	202
0,20	22,3	42,3	62,3	82,3	102	122	142	162	182	202
0,22	22,5	42,5	62,5	82,5	103	123	143	163	183	203
0,24	22,7	42,7	62,7	82,7	103	123	143	163	183	203
0,26	23,0	43,0	63,0	83,0	103	123	143	163	183	203
0,28	23,2	43,2	63,2	83,2	103	123	143	163	183	203
0,30	23,4	43,4	63,4	83,4	103	123	143	163	183	203
0,35	24,0	44,0	64,0	84,0	104	124	144	164	184	204
0,40	24,6	44,6	64,6	84,6	105	125	145	165	185	205
0,45	25,1	45,1	65,1	85,1	105	125	145	165	185	205
0,50	25,7	45,7	65,7	85,7	106	126	146	166	186	206
0,60		46,8	66,8	86,8	107	127	147	167	187	207
0,70		48,0	68,0	88,0	108	128	148	168	188	208
0,80		49,1	69,1	89,1	109	129	149	169	189	209
0,90		50,3	70,3	90,3	110	130	150	170	190	210
1,00		51,4	71,4	91,4	111	131	151	171	191	211
1,20			73,7	93,7	114	134	154	174	194	214
1,40			76,0	96,0	116	136	156	176	196	216
1,60			78,3	98,3	118	138	158	178	198	218
1,80			80,5	101	121	141	161	181	201	221
2,00			82,8	103	123	143	163	183	203	223

Tabelle 6 // Belastung von Flachdrähten aus ISOTAN® in Ampère für +100 °C Übertemperatur, horizontal ausgespannt, bei freiem Luftzutritt und +20 °C.

Dicke a in mm	Breite/b in mm									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	0,93	1,60	2,13	2,66	3,20	3,64	4,12	4,56	5,03	5,51
0,06	1,02	1,75	2,33	2,91	3,50	3,98	4,50	4,99	5,51	6,03
0,07	1,10	1,89	2,52	3,15	3,78	4,31	4,87	5,40	5,96	6,52
0,08	1,17	2,02	2,69	3,36	4,04	4,60	5,20	5,77	6,36	6,96
0,09	1,25	2,14	2,85	3,56	4,28	4,88	5,51	6,11	6,74	7,38
0,10	1,31	2,25	3,00	3,75	4,51	5,14	5,80	6,43	7,10	7,77
0,12	1,44	2,45	3,29	4,11	4,94	5,63	6,35	7,04	7,78	8,51
0,14	1,55	2,67	3,55	4,44	5,34	6,08	6,87	7,61	8,41	9,20
0,16	1,66	2,85	3,80	4,75	5,71	6,50	7,35	8,14	9,00	9,84
0,18	1,76	3,02	4,03	5,04	6,05	6,89	7,79	8,63	9,53	10,4
0,20	1,85	3,19	4,25	5,31	6,38	7,27	8,22	9,10	10,0	11,0
0,22	1,95	3,34	4,46	5,57	6,70	7,63	8,62	9,55	10,5	11,5
0,24	2,03	3,49	4,66	5,82	7,00	7,97	9,00	10,0	11,0	12,0
0,26	2,12	3,64	4,84	6,06	7,28	8,29	9,37	10,4	11,5	12,5
0,28	2,20	3,77	5,03	6,28	7,55	8,60	9,72	10,8	11,9	13,0
0,30	2,27	3,91	5,21	6,51	7,82	8,91	10,1	11,2	12,3	13,5
0,35	2,46	4,22	5,62	7,03	8,45	9,63	10,9	12,1	13,3	14,6
0,40	2,62	4,51	6,00	7,51	9,02	10,3	11,6	12,9	14,2	15,5
0,45	2,78	4,78	6,37	7,97	9,58	10,9	12,3	13,7	15,1	16,5
0,50	2,93	5,04	6,72	8,40	10,1	11,5	13,0	14,4	15,9	17,4
0,60		5,52	7,36	9,21	11,1	12,6	14,2	15,8	17,4	19,1
0,70		5,97	7,95	9,94	12,0	13,6	15,4	17,0	18,8	20,6
0,80		6,37	8,49	10,6	12,8	14,5	16,4	18,2	20,1	22,0
0,90		6,77	9,02	11,3	13,6	15,4	17,4	19,3	21,3	23,3
1,00		7,13	9,50	11,9	14,3	16,3	18,4	20,4	22,5	24,6
1,20			10,4	12,9	15,6	17,7	20,0	22,2	24,5	26,8
1,40			11,2	14,0	16,9	19,2	21,7	24,0	26,5	29,0
1,60			12,0	15,0	18,0	20,5	23,2	25,7	28,3	31,0
1,80			12,8	15,9	19,1	21,8	24,6	27,3	30,1	33,0
2,00			13,5	16,8	20,1	22,9	25,9	28,7	31,7	34,7

Tabelle 7 // Belastung von Flachdrähten aus ISOTAN® in Ampère für +200 °C Übertemperatur, horizontal ausgespannt, bei freiem Luftzutritt und +20 °C.

Dicke a in mm	Breite/b in mm									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	1,40	2,26	3,11	3,94	4,75	5,53	6,29	7,06	7,86	8,60
0,06	1,53	2,47	3,41	4,31	5,19	6,05	6,88	7,72	8,60	9,38
0,07	1,66	2,68	3,68	4,66	5,62	6,55	7,45	8,35	9,30	10,1
0,08	1,77	2,86	3,93	4,98	6,00	7,00	7,95	8,91	9,93	10,8
0,09	1,88	3,03	4,17	5,28	6,36	7,41	8,43	9,45	10,5	11,5
0,10	1,98	3,19	4,39	5,56	6,70	7,81	8,88	9,95	11,1	12,1
0,12	2,17	3,49	4,81	6,09	7,34	8,55	9,72	10,9	12,1	13,3
0,14	2,34	3,78	5,20	6,58	7,93	9,24	10,5	11,8	13,1	14,3
0,16	2,50	4,04	5,56	7,04	8,48	9,88	11,2	12,6	14,0	15,3
0,18	2,65	4,28	5,89	7,46	8,99	10,5	11,9	13,4	14,9	16,2
0,20	2,80	4,51	6,21	7,87	9,48	11,0	12,6	14,1	15,7	17,1
0,22	2,94	4,74	6,52	8,25	9,94	11,6	13,2	14,8	16,5	18,0
0,24	3,07	4,95	6,81	8,62	10,40	12,1	13,8	15,4	17,2	18,8
0,26	3,19	5,15	7,09	8,98	10,8	12,6	14,3	16,1	17,9	19,5
0,28	3,31	5,34	7,35	9,31	11,2	13,1	14,9	16,7	18,6	20,3
0,30	3,43	5,53	7,62	9,64	11,6	13,5	15,4	17,3	19,2	21,0
0,35	3,71	5,98	8,23	10,4	12,6	14,6	16,6	18,6	20,7	22,7
0,40	3,96	6,38	8,78	11,1	13,4	15,6	17,8	19,9	22,2	24,2
0,45	4,20	6,78	9,33	11,8	14,2	16,6	18,9	21,1	23,6	25,7
0,50	4,43	7,17	9,85	12,4	15,0	17,5	19,9	22,3	24,8	27,1
0,60		7,75	10,8	13,6	16,4	19,1	21,8	24,4	27,2	29,7
0,70		8,45	11,6	14,7	17,7	20,8	23,5	26,4	29,4	32,1
0,80		9,03	12,4	15,7	19,0	22,1	25,1	28,2	31,4	34,2
0,90		9,58	13,2	16,7	20,1	23,4	26,7	29,9	33,3	36,3
1,00		10,10	13,9	17,6	21,2	24,7	28,1	31,5	35,1	38,3
1,20			15,2	19,2	23,1	26,9	30,6	34,3	38,3	41,7
1,40			16,4	20,8	25,0	29,1	33,2	37,2	41,4	45,2
1,60			17,5	22,2	26,7	31,1	35,4	39,7	44,2	48,3
1,80			18,6	23,6	28,4	33,1	37,7	42,2	47,0	51,3
2,00			19,6	24,8	29,9	34,8	39,6	44,4	49,5	54,0

Tabelle 8 // **Belastung von Flachdrähten aus ISOTAN® in Ampère für +300 °C Übertemperatur**, horizontal ausgespannt, bei freiem Luftzutritt und +20 °C.

Dicke a in mm	Breite/b in mm									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	1,94	3,09	4,19	5,33	6,43	7,55	8,62	9,70	10,7	11,8
0,06	2,12	3,38	4,58	5,83	7,03	8,26	9,43	10,6	11,7	12,9
0,07	2,29	3,66	4,96	6,31	7,61	8,93	10,2	11,5	12,7	13,9
0,08	2,45	3,91	5,29	6,73	8,12	9,54	10,9	12,3	13,5	14,9
0,09	2,59	4,14	5,61	7,14	8,61	10,1	11,6	13,0	14,3	15,8
0,10	2,73	4,36	5,91	7,52	9,07	10,6	12,2	13,7	15,1	16,6
0,12	2,99	4,77	6,47	8,24	9,93	11,7	13,3	15,0	16,5	18,1
0,14	3,23	5,16	7,00	8,90	10,7	12,6	14,4	16,2	17,9	19,6
0,16	3,46	5,52	7,48	9,52	11,5	13,5	15,4	17,3	19,1	21,0
0,18	3,66	5,85	7,93	10,1	12,2	14,3	16,3	18,4	20,3	22,3
0,20	3,86	6,17	8,36	10,6	12,8	15,1	17,2	19,4	21,4	23,5
0,22	4,05	6,47	8,77	11,2	13,5	15,8	18,1	20,3	22,4	24,6
0,24	4,23	6,76	9,16	11,7	14,1	16,5	18,9	21,2	23,4	25,7
0,26	4,41	7,04	9,54	12,1	14,6	17,2	19,6	22,1	24,4	26,8
0,28	4,57	7,30	9,89	12,6	15,2	17,8	20,4	22,9	25,3	27,8
0,30	4,73	7,56	10,2	13,0	15,7	18,5	21,1	23,7	26,2	28,8
0,35	5,11	8,17	11,1	14,1	17,0	20,0	22,8	25,6	28,3	31,3
0,40	5,46	8,72	11,8	15,0	18,1	21,3	24,3	27,4	30,2	33,2
0,45	5,80	9,26	12,5	15,9	19,3	22,6	25,8	29,1	32,1	35,2
0,50	6,11	9,72	13,2	16,8	20,3	23,8	27,2	30,6	33,8	37,1
0,60		10,7	14,5	18,4	22,2	26,1	29,8	33,6	37,2	40,7
0,70		11,6	15,7	19,9	24,0	28,2	32,2	36,2	40,0	43,9
0,80		12,3	16,7	21,3	25,7	30,1	34,4	38,7	42,7	46,9
0,90		13,1	17,7	22,6	27,2	32,0	36,5	41,1	45,4	49,8
1,00		13,8	18,7	23,8	28,7	33,7	38,5	43,3	47,8	52,5
1,20			20,4	25,9	31,3	36,7	42,0	47,2	52,1	57,2
1,40			22,1	28,1	33,9	39,8	45,5	51,1	56,4	61,9
1,60			23,6	30,0	36,2	42,5	48,5	54,6	60,2	66,1
1,80			25,1	31,9	38,5	45,2	51,6	58,0	64,1	70,3
2,00			26,4	33,6	40,5	47,5	54,3	61,1	67,4	74,0

Tabelle 9 // **Belastung von Flachdrähten aus ISOTAN® in Ampère für +400 °C Übertemperatur**, horizontal ausgespannt, bei freiem Luftzutritt und +20 °C.

Dicke a in mm	Breite/b in mm									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	2,44	3,88	5,3	6,7	8,1	9,5	10,9	12,3	13,6	15,0
0,06	2,67	4,2	5,8	7,3	8,8	10,4	11,9	13,4	14,9	16,4
0,07	2,89	4,6	6,3	7,9	9,6	11,2	12,9	14,5	16,1	17,7
0,08	3,08	4,9	6,7	8,4	10,2	12,0	13,8	15,5	17,2	18,9
0,09	3,27	5,2	7,1	8,9	10,8	12,7	14,6	16,4	18,2	20,0
0,10	3,44	5,5	7,5	9,4	11,4	13,4	15,4	17,3	19,2	21,1
0,12	3,8	6,0	8,2	10,3	12,5	14,7	16,8	18,9	21,0	23,1
0,14	4,1	6,5	8,8	11,1	13,5	15,9	18,2	20,5	22,7	25,0
0,16	4,4	6,9	9,5	11,9	14,4	17,0	19,4	21,9	24,3	26,7
0,18	4,6	7,3	10,0	12,6	15,3	18,0	20,6	23,3	25,8	28,3
0,20	4,9	7,7	10,5	13,3	16,1	19,0	21,7	24,5	27,2	29,9
0,22	5,1	8,1	11,1	14,0	16,9	19,9	22,8	25,7	28,5	31,3
0,24	5,3	8,5	11,6	14,6	17,7	20,8	23,8	26,8	29,8	32,7
0,26	5,6	8,8	12,0	15,2	18,4	21,6	24,8	27,9	31,0	34,1
0,28	5,8	9,2	12,5	15,8	19,1	22,4	25,7	28,9	32,2	35,4
0,30	6,0	9,5	12,9	16,3	19,8	23,2	26,6	30,0	33,3	36,6
0,35	6,5	10,2	14,0	17,6	21,4	25,1	28,8	32,4	36,0	39,5
0,40	6,9	10,9	14,9	18,8	22,8	26,8	30,7	34,6	38,4	42,2
0,45	7,3	11,6	15,8	20,0	24,2	28,5	32,6	36,7	40,8	44,8
0,50	7,7	12,2	16,7	21,1	25,5	30,0	34,4	38,7	43,0	47,2
0,60		13,4	18,3	23,1	28,0	32,9	37,7	42,4	47,1	51,8
0,70		14,5	19,6	24,9	30,2	35,5	40,7	45,8	50,9	55,9
0,80		15,5	21,1	26,6	32,3	37,9	43,4	48,9	54,4	59,7
0,90		16,4	22,4	28,3	34,3	40,2	46,1	51,9	57,7	63,4
1,00		17,3	23,6	29,8	36,1	42,4	48,6	54,7	60,8	66,8
1,20			25,7	32,5	39,3	46,2	53,0	59,6	66,3	72,8
1,40			27,8	35,2	42,6	50,0	57,3	64,5	71,7	78,8
1,60			29,7	37,5	45,5	53,4	61,2	68,9	76,6	84,2
1,80			31,6	40,0	48,4	56,8	65,1	73,3	81,5	89,5
2,00			33,3	42,0	50,9	59,8	68,5	77,1	85,7	94,2

D. TECHNISCHE LIEFERBEDINGUNGEN UND TOLERANZEN

Liefermöglichkeiten

Unsere Legierungen sind erhältlich

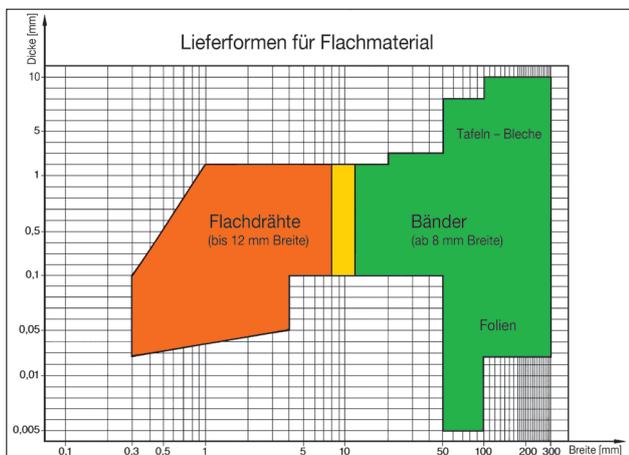
- Als weichgeglühte Drähte mit blanker Oberfläche; Die Legierungen ISOTAN®, ISA®-CHROM 60 und ISA®-CHROM 80 können auf Wunsch mit einer isolierenden Oxydschicht gefertigt werden
- Mit ML-Lack
- Mit lötbarem Lack (Polyurethan), wärmebeständig bis +150 °C
- Mit wärmebeständigem Lack (Polyimid) bis +200 °C
- Als lackierte Drähte mit oder ohne Kunst-, Natur- oder Glas-seidenisolation
- Als Flachdraht mit abgerundeten Kanten (Berechnung des Querschnitts siehe Teil C)
- Als weichgeglühte Bänder, auch in Form von Tafeln und Blechen
- Als Folien
- Als Litzen bis zu einem Querschnitt von 4,0 mm² mit maximal 48 Einzeldrähten
- Als Stangen, gezogen und gerichtet, ebenso geschmiedete Stangen

Auf Wunsch können unsere Legierungen auch mit besonderen Härte- bzw. Fertigkeitseigenschaften geliefert werden.

Abmessungsbereich

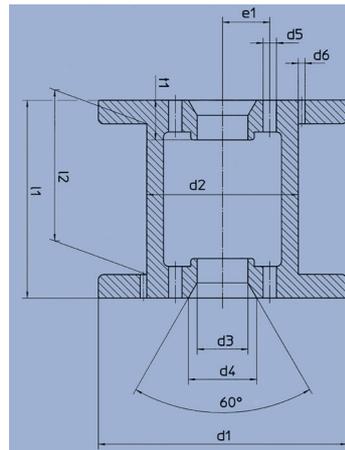
– Blanke Drähte	0,01–10 mm Ø
– Isolierte Drähte	0,01–2 mm Ø
– Flachdrähte	0,05–2 mm Ø
– Bleche und Bänder	0,10–10 mm Ø
– Folien	0,005–0,10 mm Ø

Hinweise auf die Abmessungsbereiche sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst; Näheres erfahren Sie auf Anfrage.



Verpackungsarten

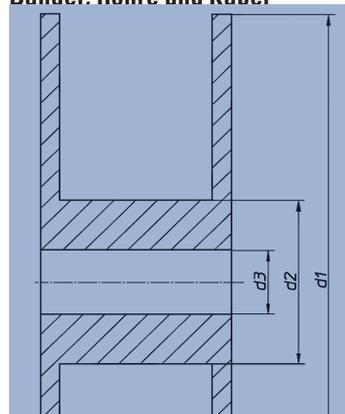
Drähte < 1 mm sowie **Flachdrähte < 0,80 mm** Stärke und einer maximalen Breite von 5 mm auf Kunststoffspulen nach DIN IEC 264 mit nebenstehender Zuordnung bzw. auf amerikanischen Standardspulen gemäß nebenstehenden Tabellen:



Isolierte Drähte auf Kunststoffspulen mit der für blanke Drähte geltenden Zuordnung. **Litzen auf Sonderspulen** bis 100 kg pro Spule in einer Länge.

Bänder können auf Wunsch bis zu einer Breite von 10 mm auf Sonderspulen geliefert werden, ab 10 mm Breite als Scheibe, Lage auf Lage mit einem Innendurchmesser von 100 mm und einem Außendurchmesser von maximal 300 mm. **Drähte > 1 mm Ø** auf Wunsch auf Spulen oder als Ring nach nebenstehender Tabelle.

Bänder, Rohre und Kabel



Spulen nach DIN IEC 264

Spulenmaße (mm)					Gewicht des aufgespulten Drahtes	Auf Kunststoffspulen Runddrähte bis zu 1,0 mm Ø Flachdrähte bis zu 5,0 mm Breite und 0,8 mm Stärke			
Spulendurchmesser	Spulenbreite		Längen			kg appr.	> 0,10	> 0,40	> 0,70
d ₁	d ₂	d ₃	l ₁	l ₂		<= 0,10	<= 0,40	<= 0,70	<= 1,00
50	32	11	50	38	0,1	+			
63	40	11	63	49	0,4	+			
80	50	16	80	64	0,7	+	+		
100	63	16	100	80	1,5		+		
125	80	16	125	100	3,0		+	+	
160	100	22	160	128	7,0		+	+	+
200	125	22	200	160	13,0		+	+	+
250	160	22	200	160	23,0		+	+	+
355	224	36	200	160	45,0			+	+
500	315	36	250	180	80,0				+

Amerikanische Spulen

63	44,3	16	61	51	0,25	mit der Bezeichnung 060 „half-cut“
63	44,3	16	86	76	0,45	mit der Bezeichnung 065 „1 lb spool“

Sonderspule

Für Drähte > 0,8 mm Ø in Anlehnung an DIN IEC 264

560	315	127	400	300	200	> 0,8 mm
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----------

Bikonische Sonderspule für Feindrähte,

außenabmessungsgleich mit der amerikanischen „half-cut“-Spule.

Bikonische Spule mit konischem Flansch,

gemäß DIN EN 60264-5-1; nach Vereinbarung.

Ringformate

Runddrähte > 1 mm Ø		Flachdrähte > 5,0 mm Breite > 0,8 mm Dicke	
Drahtdurchmesser bzw. -breite (mm)	Ringinnen- durchmesser (mm) ca.	Ringaußen- durchmesser (mm) ca.	Ringgewicht (kg) ca.
> 1,0 – 2,5	300	400	20
> 2,5 – 6,0	550	700	60

Material

PS = hochschlagfestes Polystrol

ABS = Acrylnitril Butadien Styrol

PE = Polyäthylen

Andere Materialien und weitere Informationen auf Anfrage.

Verpackung

Auf Anfrage

Anmerkung

Alle angezeigten Maße, Gewichte und Mengen sind ungefähre Angaben. Handelsübliche Toleranzen und Abweichungen.

Abmessungen in mm, alle Abmessungen sind Nennabmessungen

Zeichnung links unten						Gewicht in g			Wickelvolumen in cm ³	
Typ	d1	d2	d3	L1	L2	Mögliches Material		Hinweis		
MP250	250	60	20	30	0-15	410	693	PS	L 2 variabel bei Gleitflansch	

Technische Lieferbedingungen:

Für blanke Drähte gelten die Lieferbedingungen nach DIN 46460 Teil 1; Maße und Widerstandswerte sind in DIN 46461 und 46463 genormt.

Im Allgemeinen gilt für den Längenwiderstand eine Toleranz von $\pm 5\%$ vom Nennwert, bei dünnen Drähten und niedrigohmigen Legierungen bis zu $\pm 10\%$. Innerhalb einer Drahtlänge liegt die Toleranz maximal bei etwa $\pm 1\%$ des angegebenen Widerstands pro Meter. Für oxidierte Drähte sind die technischen Lieferbedingungen in DIN 46464 zusammengefasst.

Die durch eine Oxidschicht isolierten Drähte können bis zur höchsten Anwendungstemperatur des blanken Drahtes verwendet werden. Die elektrische Durchschlagsspannung liegt bei der Legierung ISOTAN® bei über 10 V, bei den Nickel-Chrom-Legierungen ISA®-CHROM 80 und ISA®-CHROM 60 bei über 3 V.

Für lackierte und mit Seide umspinnene Drähte gelten die Lieferbedingungen nach DIN 46460, Teil 2 bis 4 sowie DIN 46462.

Wir lackieren Drähte mit einem so genannten lötbaren Lack (DIN-Bezeichnung, Typ V); die Drähte können direkt verzinkt werden, wenn es die Drahtlegierung zulässt. Wahlweise steht ein hochtemperaturbeständiger Lack (DIN-Bezeichnung Typ W 200) zur Verfügung, der bis $+200\text{ °C}$, kurzzeitig auch bei höheren Temperaturen, verwendet werden kann. Die elektrische Durchschlagsspannung beträgt bei beiden Lacktypen je nach Abmessung 700 bis über 2500 V.

Wir können unsere Drähte auch mit Kunst-, Natur- oder Glasseeide umpinnen. Eine nachträgliche Tränkung zur besseren Haftung mit Silikon-Lack ist möglich. Die elektrische Durchschlagsspannung beträgt mehrere hundert Volt.

Für bestimmte Anwendungszwecke, besonders dann, wenn isolierte Drähte zur Erhitzung von Bimetallen vorgesehen sind, empfiehlt sich die Kombination mehrerer Isolationsarten. Flachdrähte aus Widerstandslegierungen sind DIN-46465-genormt, wobei wir darauf hinweisen, dass die dort genannten Nennabmessungen oft nicht den Wünschen unserer Kunden entsprechen und wir daher eine andere Abstufung gewählt haben.

Für Bänder und Bleche aus Widerstandslegierungen gibt es keine besondere Norm. Hier wenden wir für die Stärken- und Breitentoleranz die für Kupfer- und Kupferknetlegierungen nach DIN 13599 (DIN 1791) zulässigen Abweichungen an.

Auch für Litzen aus Widerstandsdrähten gibt es keine besonderen Normen. Die Lieferbedingungen sind im Einzelfall festzulegen; bei Verwendung als Heizkabel müssen jedoch die Bestimmungen nach VDE 0253 beachtet werden.

Auf Wunsch können besondere Toleranzen vereinbart werden.

Tabelle 10 // **Abmessungen in mm**

Nominaler Durchmesser d1	vergrößerter Durchmesser d2 - d1		äußerer Durchmesser d2			
	L	2L	min.	max.	min.	max.
0,020	0,005	0,009	0,023	0,029	0,027	0,036
0,025	0,006	0,010	0,029	0,036	0,033	0,042
0,030	0,006	0,011	0,034	0,042	0,039	0,048
0,040	0,007	0,012	0,045	0,053	0,050	0,060
0,045	0,008	0,013	0,051	0,059	0,056	0,066
0,050	0,008	0,014	0,056	0,064	0,062	0,072
0,060	0,009	0,016	0,067	0,076	0,074	0,084
0,071	0,010	0,017	0,079	0,089	0,086	0,097
0,080	0,011	0,018	0,088	0,099	0,095	0,108
0,090	0,012	0,019	0,098	0,111	0,106	0,120
0,100	0,012	0,021	0,109	0,122	0,117	0,123
0,125	0,014	0,023	0,136	0,150	0,145	0,161
0,140	0,015	0,024	0,151	0,166	0,160	0,179
0,150	0,016	0,025	0,162	0,177	0,171	0,191
0,160	0,017	0,026	0,173	0,188	0,182	0,202
0,180	0,018	0,028	0,193	0,210	0,203	0,225
0,200	0,019	0,030	0,214	0,231	0,225	0,248
0,250	0,022	0,034	0,266	0,285	0,278	0,304
0,280	0,024	0,036	0,297	0,318	0,309	0,338
0,300	0,025	0,037	0,318	0,339	0,330	0,360
0,400	0,028	0,043	0,418	0,445	0,433	0,468
0,450	0,030	0,046	0,469	0,498	0,485	0,524
0,500	0,031	0,049	0,519	0,551	0,537	0,578
0,600	0,035	0,054	0,620	0,657	0,639	0,686
0,800	0,041	0,062	0,821	0,869	0,842	0,902
0,900	0,043	0,066	0,921	0,973	0,944	1,010
1,000	0,046	0,070	1,021	1,079	1,045	1,117
1,250	0,053	0,080	1,271	1,343	1,298	1,387
1,400	0,056	0,085	1,421	1,499	1,450	1,548
1,500	0,059	0,090	1,521	1,605	1,552	1,654

E // KORROSIONSBESTÄNDIGKEIT

Bei Raumtemperatur sind die von uns hergestellten Legierungen in blankem Zustand gut korrosionsbeständig. Um Angriffen durch Feuchtigkeit während der Lagerung standhalten zu können, empfehlen wir jedoch, für eine möglichst trockene Lagerung zu sorgen.

Besonders hochkupferhaltige Legierungen können nach längerer Lagerung an der Oberfläche leicht oxidieren.

Beachtet werden sollte, dass oxidierte Drähte aus Nickel-Chrom-Legierungen bei feuchter Lagerung zerstört werden können. Die Legierung MANGANIN® ist anfällig gegen Spannungsrisskorrosion; auch hier ist es erforderlich, dass die Lagerung in trockenen Räumen erfolgt.

Über die Beständigkeit bei der oberen Anwendungstemperatur gibt Ihnen die nebenstehende Tabelle Auskunft.

Nach Beendigung von Löt- oder Schweißarbeiten ist es wichtig, alle Flussmittel sorgfältig zu entfernen, da sie besonders bei höheren Temperaturen zur Korrosion beitragen können.

Beständigkeit bis zur oberen Anwendungstemperatur gegen						
Bezeichnung	Atmosphärische Korrosion bei +20 °C	Luft und andere sauerstoffhaltige Gase	stickstoffhaltige, sauerstoffarme Gase	schwefelhaltige Gase		Aufkohlung
				oxidierend	Reduzierend	
ISAOHM®				hoch	hoch	
ISA®-CHROM 60						
ISA®-CHROM 80						
ISA®-CHROM 30		hoch	hoch	mittel	mittel	
ISOTAN®				hoch		
ISA®-NICKEL						
MANGANIN®		mittel	mittel	mittel		
NICKELIN W				hoch		
RESISTHERM®	hoch	hoch	hoch			
ISA-ZIN					gering	hoch
ZERANIN® 30				mittel		
LEGIERUNG 127						
LEGIERUNG 90						
ISA® 13						
LEGIERUNG 60		gering	gering			
NICKEL		hoch	hoch	gering	hoch	
LEGIERUNG 30						
A-KUPFER 2,5		gering	gering		gering	
E-KUPFER	mittel					

F // VERARBEITUNGSHINWEISE

Die von der Isabellenhütte hergestellten Legierungen lassen sich gut verarbeiten.

Folgende Hinweise sollten beachtet werden:

Wickeln

Alle Drähte sollen mit einer möglichst geringen Zugkraft verarbeitet werden, die unterhalb der Streckgrenze liegen muss. Die Streckgrenze kann man in erster Näherung mit 50 % der Zugfestigkeit in weichem Zustand annehmen.

Altern

Auch beim Wickeln eines Drahtwiderstands mit geringer Zugkraft ist mit einer mehr oder weniger starken Verformung des Widerstandsdrahts zu rechnen. Schon durch eine einfache Biegung werden mechanische Spannungen im Draht erzeugt, die auf den elektrischen Widerstand nicht ohne Einfluss sind und die man durch eine Wärmebehandlung möglichst weitgehend abbauen sollte.

Bei Kupferlegierungen kann sich der spezifische Widerstand durch Verformung erhöhen; bei der Legierung ISOTAN® z. B. um bis zu 7 %. Bei Nickel-Chrom-Legierungen ermäßigt sich der spezifische Widerstand durch Verformung; bei ISAOHM® z. B. um bis zu 10 %.

Die Wärmebehandlung, die auch als „künstliche Alterung“ bezeichnet werden kann, ist besonders dann erforderlich, wenn Präzisionswiderstände hergestellt werden. Die Alterung ist ein Stabilisierungsprozess, der bei erhöhten Temperaturen wesentlich schneller abläuft als bei Raumtemperatur. Die Höhe der Alterungstemperatur hängt vom Werkstoff und vor allem von der verwendeten Isolation ab.

Vorteilhaft ist mitunter die periodische künstliche Alterung, bei der die Temperaturbereiche von +20 °C oder tiefer bis zur höchstmöglichen Alterungstemperatur mehrmals durchlaufen werden. Die Alterungstemperatur isolierter Drähte soll +140 °C wegen der Wärmeempfindlichkeit der Drahtisolation nicht überschreiten. Bei blanken Drähten beginnt oberhalb von +100 °C eine leichte Oxidation, die durch einen Beizvorgang wieder entfernt werden kann.

Beizen

Die Art der Beize hängt sehr von der Legierung ab; für MANGANIN® verwendet man z. B. eine Chromschwefelsäure, für ZERANIN® 30 Salpetersäure, für ISOTAN® ebenfalls Salpetersäure oder Persulfatbeize; für Nickel-Chrom-Legierungen hat sich Beizen in Phosphorsäure bewährt. Die Beizdauer beträgt je nach Legierung 1 bis 10 Minuten.

Löten und Schweißen von Widerstandslegierungen

Weichlöten

Die von der Isabellenhütte hergestellten Kupferlegierungen lassen sich ähnlich reinem Kupfer mit den üblichen Loten und Flussmitteln weichlöten. Ein kurzes Blankschmiegeln der zu lötenden Stellen ist empfehlenswert. Beim Löten von Präzisionswiderständen sollten ein bleifreies Lot (z. B. L-SnAg5 nach DIN 1707) und nur vollkommen säurefreie Flussmittel (vorzugsweise reines Kolophonium) benutzt werden. Kleinste Reste aggressiver Flussmittel bewirken einen Angriff auf den Draht und damit eine Widerstandsveränderung. Bleihaltige Lote können im Laufe der Zeit metallische Veränderungen erleiden. Der Schmelzpunkt des Lotes muss so liegen, dass es beim Altern nicht erweicht. Im Allgemeinen sind hier jedoch Hartlötungen vorzuziehen.

Werden Präzisionswiderstände gelötet, empfiehlt sich punktlöten. Der sehr hohe Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstands von Zinn (Reinzinn = 4600 ppm/K) kann den Temperaturkoeffizienten des Widerstandsmaterials beeinflussen.

Die Legierung ISAOHM® lässt sich nur unter Verwendung besonders scharfer Flussmittel, wie sie zum Löten von nichtrostenden Stählen benutzt werden, weichlöten; z. B. „Soldaflux Z“ (BrazeTec). Außerdem muss die Oberfläche vorher blankgeschmiegelt werden. Aber auch dann hat die Verbindung nicht ganz die Qualität wie bei den Kupferlegierungen.

Auf sorgfältige Entfernung von Flussmittelresten ist in allen Fällen zu achten.

Hartlöten

Die besten und sichersten Verbindungen erhält man durch Hartlöten. Da der Temperaturkoeffizient und spezifische Widerstand gerade der Legierungen für Präzisionswiderstände durch eine Erhitzung beeinflusst wird, empfiehlt es sich, niedrig schmelzende Lote (L-Ag40Cd DIN 1707, z. B. „BrazeTec 5600“) zu benutzen und die Lötzeit so kurz wie möglich zu halten. Das Flussmittel BrazeTec hat sich gut bewährt.

Schweißen

Alle unsere Legierungen lassen sich schweißen, insbesondere punkt- und stumpfschweißen. Dabei sind jedoch die von anderen Materialien oft stark abweichenden elektrischen und Wärmeleitfähigkeiten sowie die unterschiedlichen Schmelzpunkte zu berücksichtigen.

Spanende Bearbeitung

Während es bei den KupferNickel-Legierungen keine Probleme gibt, sind Nickel-Chrom-Legierungen sowie REINNICKEL zäh und warmfest und neigen so zum „Verschweißen“ mit den Werkzeugen. Dies muss beim Bohren, Gewindeschneiden und Sägen berücksichtigt werden. Unter gewissen Voraussetzungen kann es günstiger sein, harte, also nicht weich geglühte, Legierungen zu verwenden.

G // UMRECHNUNGSTABELLEN

Spezifischer elektrischer Widerstand

	Ω /sq mil ft	Ω /CMF	$\mu\Omega$ /cub	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	$\mu\Omega \cdot \text{cm}$
Ω /sq mil ft	1	1,273	0,08333	0,0021167	0,21167
Ω /cir mil ft	0,7854	1	0,0654	0,0016624	0,16624
$\mu\Omega$ /cub	12	15,279	1	0,0254	2,54
$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	472,44	601,54	39,37	1	100
$\mu\Omega \cdot \text{cm}$	4,7244	6,0154	0,3937	0,01	1

Ω - CMF: CMF = circular mil foot

Die Länge des Drahtes wird in „Fuß“ gemessen.

Die Fläche wird in circular mil gemessen, und 1 mil ist 1/1000 inch.

Ein circular mil ist die Fläche eines Kreises mit einem Durchmesser von 1 mil.

$$1 \Omega - \text{CMF} = 0,1662 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$1 \Omega - \text{CMF} = 0,1662 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$$

$$1 \Omega - \text{CMF} = 0,1662 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$$

Elektrischer Widerstand

	Ω / ft	Ω / yard	Ω / m
Ω / ft	1	3	3,281
Ω / yard	0,3333	1	1,094
Ω / m	0,3048	0,9144	1

Längenmaße

	inch	foot	yard	mm	m
inch	1	0,0833	0,0278	25,4	0,0254
foot	12	1	0,3333	304,8	0,3048
yard	36	3	1	914,4	0,9144
mm	0,0394	0,0033	-	1	0,001
m	39,37	3,281	1,094	1.000	1

Flächenmaße

	square inch	square foot	square yard	mm ²	m ²
1 square inch	1	-	-	645,2	-
1 square foot	144	1	0,1111	92.900	0,0929
1 square yard	1.296	9	1	-	0,8361
1 mm ²	0,0016	-	-	1	10 ⁻⁶
1 m ²	1.550	10,76	1,196	10 ⁶	1

Raummaße

	cubic inch	cubic foot	cubic yard	cm ³	dm ³
1 cubic inch	1	-	-	16,39	0,0164
1 cubic foot	1.728	1	0,037	-	28,32
1 cubic yard	46.656	27	1	-	764,6
1 cm ³	0,061	-	-	1	0,001
1 dm ³	61,02	0,035	-	1.000	1

Gewichtseinheiten

	oz	lb	g	kg
ounce (oz) ¹⁾	1	0,0625	28,35	0,028
pound (lb)	16	1	453,6	0,4536
gram (g)	0,0353	-	1	0,001
kilogram (kg)	35,274	2,2046	1.000	1

1) Eine Edelmetall-Unze (troy ounce) wiegt 31,1035 g.

Spezifisches Gewicht

	lb/cub in	g/cm ³
lb/cub in	1	27,68
g/cm ³	0,03613	1

Festigkeit

	psi	Kp/mm ²	MPa
psi	1	0,0007021	0,0069
Kp/mm ²	1.422,3	1	9,81
MPa	145	0,102	1

Umrechnung der Einheiten für die Wärmeleitfähigkeit (λ)

Einheiten für λ	W m K	W cm K	kcal cm s grd	J cm s K	kpm cm s grd
$\frac{W}{m K}$	1	10^2	$2,39 \cdot 10^{-6}$	10^2	$1,02 \cdot 10^{-3}$
$\frac{W}{cm K}$	10^2	1	$2,39 \cdot 10^{-4}$	1	0,102
$\frac{kcal}{cm s grd}$	$0,419 \cdot 10^6$	$4,187 \cdot 10^3$	1	$4,187 \cdot 10^3$	$4,27 \cdot 10^2$
$\frac{J}{cm s K}$	100	1	$2,39 \cdot 10^{-4}$	1	0,102
$\frac{kpm}{cm s grd}$	$9,80665 \cdot 10^2$	9,81	$2,39 \cdot 10^{-3}$	9,81	1

λ = Wärmeleitzahl, -leitfähigkeit, -leitvermögen.

$$\lambda = \frac{Q \cdot \Delta l}{A \cdot \Delta T}$$

Umrechnung der Einheiten für Arbeit, Energie (W), Wärmeenergie (Q)

Einheiten für Arbeit Energie (W) Wärmeenergie (Q)	Joule J	Kilowatt-Stunde kWh	Pferdestärke-Stunde PSh	Kilopond-Meter kpm	Kilokalorie kcal
Joule J = Watt-Sekunde/Ws = Nm	1	$0,2778 \cdot 10^{-6}$	$0,3774 \cdot 10^{-6}$	0,102	$0,2388 \cdot 10^{-3}$
Kilowatt-Stunde kWh	$3,60 \cdot 10^6$	1	1,359	$0,367 \cdot 10^6$	$0,86 \cdot 10^3$
Pferdestärke-Stunde PSh	$2,65 \cdot 10^6$	0,736	1	$0,2702 \cdot 10^6$	$0,6329 \cdot 10^3$
Kilopond-Meter kpm	$9,80665 \approx 9,81$	$2,724 \cdot 10^{-6}$	$3,702 \cdot 10^{-6}$	1	$2,342 \cdot 10^{-3}$
Kilokalorie kcal	$4,187 \cdot 10^3$	$1,163 \cdot 10^{-3}$	$1,58 \cdot 10^{-3}$	$0,427 \cdot 10^3$	1

Umrechnung mm/Inches

mm	inches	mm	inches	mm	inches
0,01	0,0004	0,45	0,0177	0,89	0,0350
0,02	0,0008	0,46	0,0181	0,90	0,0354
0,03	0,0012	0,47	0,0185	0,91	0,0358
0,04	0,0016	0,48	0,0189	0,92	0,0362
0,05	0,0020	0,49	0,0193	0,93	0,0366
0,06	0,0024	0,50	0,0197	0,94	0,0370
0,07	0,0028	0,51	0,0201	0,95	0,0374
0,08	0,0031	0,52	0,0205	0,96	0,0378
0,09	0,0035	0,53	0,0209	0,97	0,0382
0,10	0,0039	0,54	0,0213	0,98	0,0386
0,11	0,0043	0,55	0,0217	0,99	0,0390
0,12	0,0047	0,56	0,0220	1	0,0394
0,13	0,0051	0,57	0,0224	2	0,0787
0,14	0,0055	0,58	0,0228	3	0,1181
0,15	0,0059	0,59	0,0232	4	0,1575
0,16	0,0063	0,60	0,0236	5	0,1969
0,17	0,0067	0,61	0,0240	6	0,2362
0,18	0,0071	0,62	0,0244	7	0,2756
0,19	0,0075	0,63	0,0248	8	0,3150
0,20	0,0079	0,64	0,0252	9	0,3543
0,21	0,0083	0,65	0,0256	10	0,3937
0,22	0,0087	0,66	0,0260	11	0,4331
0,23	0,0091	0,67	0,0264	12	0,4724
0,24	0,0094	0,68	0,0268	13	0,5118
0,25	0,0098	0,69	0,0272	14	0,5512
0,26	0,0102	0,70	0,0276	15	0,5906
0,27	0,0106	0,71	0,0280	16	0,6299
0,28	0,0110	0,72	0,0283	17	0,6693
0,29	0,0114	0,73	0,0287	18	0,7087
0,30	0,0118	0,74	0,0291	19	0,7480
0,31	0,0122	0,75	0,0295	20	0,7874
0,32	0,0126	0,76	0,0299	21	0,8268
0,33	0,0130	0,77	0,0303	22	0,8661
0,34	0,0134	0,78	0,0307	23	0,9055
0,35	0,0138	0,79	0,0311	24	0,9449
0,36	0,0142	0,80	0,0315	25	0,9843
0,37	0,0146	0,81	0,0319	26	1,0236
0,38	0,0150	0,82	0,0323	27	1,0630
0,39	0,0154	0,83	0,0327	28	1,1024
0,40	0,0157	0,84	0,0331	29	1,1417
0,41	0,0161	0,85	0,0335	30	1,1811
0,42	0,0165	0,86	0,0339	31	1,2205
0,43	0,0169	0,87	0,0343	32	1,2598
0,44	0,0173	0,88	0,0346	33	1,2992

Drahtlehren

Lehre	S.W.G		B & S/A.W.G.		Lehre
	inches	mm	inches	mm	
6-0	0,464	11,7856	-	-	6-0
5-0	0,432	10,9728	-	-	5-0
4-0	0,4	10,1600	0,460	11,68	4-0
3-0	0,372	9,4488	0,41	10,41	3-0
2-0	0,348	8,8392	0,365	9,27	2-0
0	0,324	8,2296	0,325	8,26	0
1	0,3	7,6200	0,289	7,34	1
2	0,276	7,0104	0,258	6,55	2
3	0,252	6,4008	0,229	5,82	3
4	0,232	5,8928	0,204	5,18	4
5	0,212	5,3848	0,182	4,62	5
6	0,192	4,8768	0,162	4,11	6
7	0,176	4,4704	0,144	3,66	7
8	0,16	4,0640	0,129	3,28	8
9	0,144	3,6576	0,114	2,90	9
10	0,128	3,2512	0,102	2,59	10
11	0,116	2,9464	0,0907	2,30	11
12	0,104	2,6416	0,0808	2,05	12
13	0,092	2,3368	0,0720	1,83	13
14	0,08	2,0320	0,0641	1,63	14
15	0,072	1,8288	0,0571	1,45	15
16	0,064	1,6256	0,0508	1,29	16
17	0,056	1,4224	0,0453	1,15	17
18	0,048	1,2192	0,0403	1,02	18
19	0,04	1,0160	0,0359	0,912	19
20	0,036	0,9144	0,0320	0,813	20
21	0,032	0,8128	0,0285	0,724	21
22	0,028	0,7112	0,0254	0,645	22
23	0,024	0,6096	0,0220	0,559	23
24	0,022	0,5588	0,0201	0,511	24
25	0,020	0,5080	0,0179	0,455	25
26	0,018	0,4572	0,0159	0,404	26
27	0,0164	0,4166	0,0142	0,361	27
28	0,0149	0,3785	0,0126	0,320	28
29	0,0136	0,3454	0,0113	0,287	29
30	0,0124	0,3150	0,0100	0,254	30
31	0,0116	0,2946	0,00893	0,227	31
32	0,0108	0,2743	0,00795	0,202	32
33	0,0100	0,2540	0,00708	0,180	33
34	0,0092	0,2337	0,00632	0,161	34
35	0,0084	0,2134	0,00562	0,143	35
36	0,0076	0,1930	0,00500	0,127	36
37	0,0068	0,1727	0,00445	0,113	37
38	0,0060	0,1524	0,00397	0,101	38
39	0,0052	0,1321	0,00353	0,0897	39
40	0,0048	0,1219	0,00315	0,0800	40
41	0,0044	0,1118	0,00280	0,0711	41
42	0,0040	0,1016	0,00249	0,0632	42
43	0,0036	0,0914	0,00222	0,0564	43
44	0,0032	0,0813	0,00198	0,0503	44
45	0,0028	0,0711	0,00176	0,0447	45
46	0,0024	0,0610	0,00157	0,0399	46
47	0,0020	0,0508	0,00140	0,0356	47
48	0,0016	0,0406	0,00124	0,0315	48
49	0,0012	0,0305	0,00111	0,0282	49
50	0,0010	0,0254	0,00099	0,0251	50

Temperaturvergleich °Celsius/°Fahrenheit

°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F		
-17,80	0	32,0	10,0 ¹⁾	50 ¹⁾	122,0 ¹⁾	38	100	212	310	590	1.094
-17,20	1	33,8	10,6	51	123,8	43	110	230	316	600	1.112
-16,70	2	35,6	11,1	52	125,6	49	120	248	321	610	1.130
-16,10	3	37,4	11,7	53	127,4	54	130	266	327	620	1.148
-15,56	4	39,2	12,2	54	129,2	60	140	284	332	630	1.166
-15,00	5	41,0	12,8	55	131,0	66	150	302	338	640	1.184
-14,44	6	42,8	13,3	56	132,8	71	160	320	343	650	1.202
-13,89	7	44,6	13,9	57	134,6	77	170	338	349	660	1.220
-13,33	8	46,4	14,4	58	136,4	82	180	356	354	670	1.238
-12,78	9	48,2	15,0	59	138,2	88	190	374	360	680	1.256
-12,22	10	50,0	15,6	60	140,0	93	200	392	366	690	1.274
-11,67	11	51,8	16,1	61	141,8	99	210	410	371	700	1.292
-11,11	12	53,6	16,7	62	143,6	100	212	413	377	710	1.310
-10,56	13	55,4	17,2	63	145,4	104	220	428	382	720	1.328
-10,00	14	57,2	17,8	64	147,2	110	230	446	388	730	1.346
-9,44	15	59,0	18,3	65	149,0	116	240	464	393	740	1.364
-8,89	16	60,8	18,9	66	150,8	121	250	482	399	750	1.382
-8,33	17	62,6	19,4	67	152,6	127	260	500	404	760	1.400
-7,78	18	64,4	20,0	68	154,4	132	270	518	410	770	1.418
-7,22	19	66,2	20,6	69	156,2	138	280	536	416	780	1.436
-6,67	20	68,0	21,1	70	158,0	143	290	554	421	790	1.454
-6,11	21	69,8	21,7	71	159,8	149	300	572	427	800	1.472
-5,56	22	71,6	22,2	72	161,6	154	310	590	432	810	1.490
-5,00	23	73,4	22,8	73	163,4	160	320	608	438	820	1.508
-4,44	24	75,2	23,3	74	165,2	166	330	626	443	830	1.526
-3,89	25	77,0	23,9	75	167,0	171	340	644	449	840	1.544
-3,33	26	78,8	24,4	76	168,8	177	350	662	454	850	1.562
-2,78	27	80,6	25,0	77	170,6	182	360	680	460	860	1.580
-2,22	28	82,4	25,6	78	172,4	188	370	698	466	870	1.598
-1,67	29	84,2	26,1	79	174,2	193	380	716	471	880	1.616
-1,11	30	86,0	26,7	80	176,0	199	390	734	477	890	1.634
-0,56	31	87,8	27,2	81	177,8	204	400	752	482	900	1.652
0,00	32	89,6	27,8	82	179,6	210	410	770	488	910	1.670
+0,56	33	91,4	28,3	83	181,4	216	420	788	493	920	1.688
+1,11	34	93,2	28,9	84	183,2	221	430	806	499	930	1.706
+1,67	35	95,0	29,4	85	185,0	227	440	824	504	940	1.724
+2,22	36	96,8	30,0	86	186,8	232	450	842	510	950	1.742
+2,78	37	98,6	30,6	87	188,6	238	460	860	516	960	1.760
+3,33	38	100,4	31,1	88	190,4	243	470	878	521	970	1.778
+3,89	39	102,2	31,7	89	192,2	249	480	896	527	980	1.796
+4,44	40	104,0	32,2	90	194,0	254	490	914	532	990	1.814
+5,00	41	105,8	32,8	91	195,8	260	500	932	538	1.000	1.832
+5,56	42	107,6	33,3	92	197,6	266	510	950	543	1.010	2.012
+6,11	43	109,4	33,9	93	199,4	271	520	968	549	1.020	2.192
+6,67	44	111,2	34,4	94	201,2	277	530	986	554	1.030	2.372
+7,22	45	113,0	35,0	95	203,0	282	540	1.004	560	1.040	2.552
+7,78	46	114,8	35,6	96	204,8	288	550	1.022	566	1.050	2.732
+8,33	47	116,6	36,1	97	206,6	293	560	1.040	571	1.060	2.912
+8,89	48	118,4	36,7	98	208,4	299	570	1.058	577	1.070	3.092
+9,44	49	120,2	37,2	99	210,2	304	580	1.076	582	1.080	3.272
			37,8	100	212,0				1.000	1.832	3.330

1) **Beispiel:** +50 °C = +122 °F; +50 °F = +10 °C
Berechnung: °F = +9 / +5 °C +32; °C = +5 / +9 (°F -32)