

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 14 (1923)
Heft: 9

Artikel: Eine allgemeine Formel zur Berechnung der Temperatur von elektrischen Heizdrähten
Autor: Imhof, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057595>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Maschine, die sich leicht bestimmen lassen, wenn man von den gesamten Verlusten bei Kurzschlusslauf die Reibungsverluste und die regulären Stromwärmeverluste abzieht.

Da die parasitären Zahn- und Oberfelder von Ständer und Läufer nach den obengenannten Formeln um so stärker sind, je kleiner der Luftspalt im Verhältnis zu den Nutteilungen und zur Polteilung ist, und da man bei Langsamläufern auf kleine, bei Schnellläufern auf grosse Polteilung geführt wird, so treten diese Zusatzverluste bei Schnellläufern stärker hervor als bei Langsamläufern. Auch die Stirnstreifelder bilden sich bei grosser Polteilung wegen der zahlreicheren Stromleiter meist stärker aus als bei kleiner und wirken in der gleichen Richtung. Schliesslich sind die regulären Kupferverluste bei Schnellläufern stets viel kleiner als bei Langsamläufern, so dass das Verhältnis von Zusatzverlusten zu regulären Kupferverlusten bei Langsamläufern keine übermässige Rolle spielt, jedoch bei Schnellläufern so ausschlaggebend wird, dass es den Aufbau und die Kühlanordnung der Maschine vorherrschend bestimmen kann.

Fortsetzung folgt.

Eine allgemeine Formel zur Berechnung der Temperatur von elektrischen Heizdrähten.

Von Prof. A. Imhof, Ingenieur, Winterthur.

Der Autor gibt eine teilweise theoretische, teilweise durch experimentelle Untersuchungen erhaltene Formel an zur Bestimmung der Temperatur von in ruhiger Luft geradlinig ausgestreckten oder spiralförmig aufgewundenen Widerstandsdrähten bei gegebener Strombelastung.

Eine von ihm nachkontrollierte Tabelle der wichtigsten Konstanten solcher Drähte ergänzt die Arbeit.

L'auteur donne une formule théorique et vérifiée par la pratique pour le calcul de la température d'un fil rectiligne et d'un fil spiralisé tendu dans l'air en fonction du courant qui le traverse.

Il ajoute un tableau donnant les principales constantes des fils employés couramment dans la fabrication des appareils de chauffage.

Bei der Berechnung von Widerständen und Heizkörpern, die aus in Luft gespanntem oder spiralförmig aufgewickeltem Widerstandsdraht bestehen, interessiert in erster Linie der Zusammenhang zwischen Stromstärke und Drahttemperatur. Die Anwendung der Erwärmungsgesetze führt, weil sich die verschiedenen Einflüsse auf den Draht doch nicht richtig berücksichtigen lassen, meist zu durchaus falschen Resultaten. Für jedes Drahtmaterial musste man bisher Vorversuche machen und viele Drahtlieferanten gaben Tabellen heraus, in denen die Stromstärken zur Erreichung verschiedener Temperaturen abgelesen werden können oder wo auch nur die maximal zulässige Stromstärke angegeben ist.

Für die vorliegende Arbeit wurde zunächst eine grosse Zahl von Tabellen gesammelt, wie sie von den Drahtlieferanten herausgegeben werden. Wo die systematische Bearbeitung dieser Tabellen auf unwahrscheinliche Angaben schliessen liessen, wurden eigene Temperaturmessungen vorgenommen mit Hilfe eines optischen Pyrometers, System Holborn und Kurlbaum. Versuche, Salzperlen von bekanntem Schmelzpunkt oder Thermolemente zu verwenden, sind durchaus negativ ausgefallen, wenigstens für dünne Drähte. Für recht dicke Drähte können feine Thermolemente allerdings vorteilhaft angewandt werden, ohne dass aber davon Gebrauch gemacht wurde. Die Messungen und die vergleichenden Betrachtungen eines sehr grossen Zahlenmaterials zeigten, dass eine Reihe von Tabellen als recht zuverlässig betrachtet werden können.

Folgende Gesetzmässigkeiten liessen sich klar herauschälen:

1. Für konstante Drahttemperatur ist mit sehr guter Annäherung

$$I^2 \cdot \varrho = K \quad K = \text{Konstante}, \quad (1)$$

wo ϱ = spezifischer Widerstand (1 m Länge, 1 mm² Querschnitt) und I = Stromstärke in Ampere, die durch den Draht fliesst. Das war zu erwarten, denn die produzierte Wärmemenge ist $Q = \text{Konstante} \cdot I^2 R$. Die Abkühlungsverhältnisse sind bei allen sogenannten Widerstandsdrähten ähnliche. Die Wärmeleitung von innen

nach aussen spielt keine grosse Rolle, die Oberfläche ist stets glatt, die Farbe allerdings bei den einen silberblank, bei den andern schwärzlich. Nach Gebrauch werden aber die Oberflächen durchwegs nahezu schwarz. Bei so gleichartigen Verhältnissen bedingt dieselbe Wärmezufuhr auch dieselbe Temperatur. ρ verändert sich allerdings bei den verschiedenen Materialien in ungleicher Weise mit der Temperatur, aber diese Veränderung ist so gering, dass sich die Unterschiede doch nicht wesentlich bemerkbar machen.

Die Gleichung (1) wurde anhand des Tabellenmaterials geprüft und als sehr gut erfüllt befunden.

2. Die Konstante K aus Gleichung (1) ist für einen bestimmten Drahtdurchmesser eindeutig abhängig von der Drahttemperatur ϑ nach der Gleichung:

$$K = 13,31 e^{0,00336 \vartheta} - (10,46 - 0,0208 \vartheta). \quad (2)$$

Der Klammerausdruck ist dabei für Drahttemperaturen von $500^{\circ} - 900^{\circ} \text{C} = 0$ zu setzen.

3. Die Kurven $I = f(\vartheta)$ für die verschiedenen Drahtdurchmesser sind alle normal affin, mit der Temperaturachse als Affinitätsachse. Kennt man also die Stromstärke in Funktion der Temperatur z. B. für einen 1 mm Draht, so muss dieselbe für einen Draht von anderem Durchmesser nur mit einer Konstanten u multipliziert werden. Diese Konstante u ist unabhängig von der Drahttemperatur. Zwischen u und Drahtdurchmesser d besteht die einfache Beziehung:

$$u = d^{1,36} \quad (3)$$

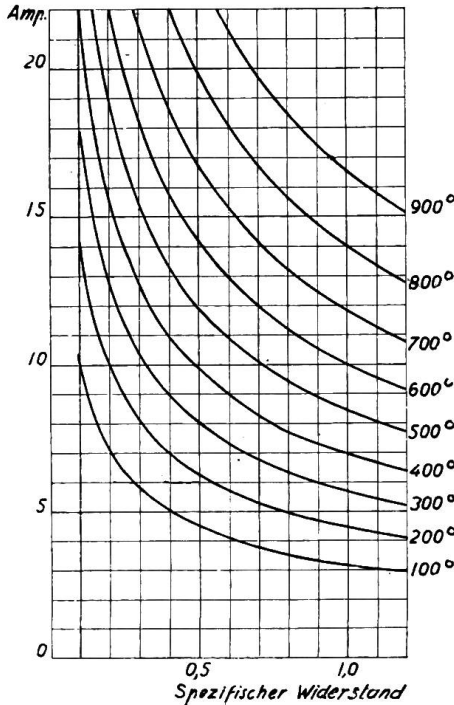


Fig. 1

(siehe Fig. 2).

Es ist also $I^2 \rho = K = f_1(\vartheta) \cdot f_2(d)$ und durch Einsetzen der Funktion ergibt sich die *allgemeine Temperaturformel*:

$$I = \left(\frac{K}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} d^{1,36}, \quad \text{worin } K = 13,31 \cdot e^{0,00336 \vartheta} - \underbrace{(10,46 - 0,0208 \vartheta)}_{\text{von } 500^{\circ} - 900^{\circ} \text{C} = 0}$$

Die Formel wurde kontrolliert für ein ρ zwischen etwa 0,3 und 1,1 und stimmt einigermassen bis herunter auf $\rho = 0,18$. Auf noch kleinere spezifische Widerstände zu gehen, bietet technisch kein Interesse, da die gut leitenden Drähte für Oefen und Widerstände nicht verwendet werden. Vermutlich wird auch die Zuverlässigkeit der Formel bei etwa $\rho = 0,2$ aufhören, da die betreffenden Materialien meist einen nicht zu vernachlässigenden Temperaturkoeffizienten besitzen.

Da das Rechnen mit der angegebenen Formel etwas umständlich ist, sei auf die Verwendung des Kurvenblattes Fig. 1 in Verbindung mit Kurvenblatt Fig. 2 verwiesen. Gesucht sei z. B. die Stromstärke I eines in freier Luft ausgestreckten Kruppindrahtes von 2 mm Durchmesser, die genügt, um den Draht auf 500° zu erhitzen. Der spezifische Widerstand beträgt 0,85. Aus Fig. 1 ergibt sich für einen 1 mm Draht eine Stromstärke von 9,15 Ampere. Für einen 2 mm Draht ist nach Fig. 2 diese Stromstärke mit dem Faktor $u = 2,57$ zu multiplizieren, so dass also ein Strom von 23,6 Ampere nötig ist um den Draht auf 500°C zu erwärmen. Die Tabelle des Fabrikanten gibt für Krupp bei 500° eine Belastung von 25,1 Ampere an. Meine eigene Messung ergab 23,9 Ampere.

Ein 0,5 mm Calidodraht nimmt, um bei 800° zu glühen, nach unserer Rechnung einen Strom auf von $13,8 \times 0,389 = 5,36$ Ampere, nach Tabelle des Fabrikanten von 5,3 Ampere. Für einen 2 mm Draht ergibt die Rechnung bei 400° 18 Ampere, nach Tabelle 17,6 Ampere, für einen 3 mm Cekasdraht bei 400° 31,2 Ampere,

Tabelle der wichtigsten physikalischen Konstanten von Materialien zur Herstellung von elektrischen Widerständen.

Material	Spez. Widerstand	Temperatur Koeffizient	Max. zulässige Temperatur in °C	Schmelzpunkt in °C	Spez. Gewicht	Lieferant
Calido	1,03	0,00036	900	1530	8,15	E. A. C.
Cekas	1,0(±0,05)	0,000 525 (0 – 200°) 0,00017 (200 – 900°)	900 (1100)	ca. 1450	8,25	C. K. S.
Ardor	1,0(±0,02)	0,00044	900 (1100)	ca. 1500		A. Ant.
Rayo	0,95	0,00018	900 (1100)	1530	8,05	E. A. C.
Chromnickelstahl	0,88	0,0011	500	1410	8,10	V. D. N.
Comet	0,87	0,0007	600	1510	8,15	E. A. C.
Chronin	0,85	0,00027	900 (1100)	1425	8,50	V. D. N., R. & E. H.
Kruppin	0,85	0,00070 (20 – 100°)	500			C. K. S.
Superior	0,85	0,00072			8,14	R. & E. H.
Phenix	0,83	0,0011	600	1510	8,10	E. A. C.
Achenrainer Widerstands- material	A W 66 A W 50	0,66 0,49			7,85 8,12	M. Ach. M. Ach.
Rheotan CN	0,50	0,00	500	1274	8,90	Dr. G.
Rheotan	0,50	0,00022	400	1135	8,60	Dr. G.
Konstantan	0,50 – 0,52	± 0,0001			8,92	
Resistin	ca. 0,50	± 0,000025	300		8,3	Js. H. D.
Ia Ia	0,48 – 0,50	unter 0,00004 – 0,00004		1270	8,86	V. D. N.
Ideal	0,49	0,000005	600	1210	8,9	E. A. C.
Lucero	0,47	0,0007	600	1350	8,9	E. A. C.
Manganin	0,43	± 0,00001			8,3	Js. H. D.
Nickelin	0,40 – 0,43	0,00022 0,00016	400	1143	8,7	Dr. G.
Nickelin I	0,41 – 0,43	0,000067 0,000064		1230	8,86	V. D. N.
Achenrainer Widerstandsmate- rial AW 40	0,40	0,000106				M. Ach.
Neusilber	0,36 – 0,38	0,00022 – 0,0007			8,50	R. & E. H.
Neusilber II A weich	0,38	0,00019		1170	8,75	V. D. N.
hart	0,36	0,00020				
Extra prima Neusilber	0,30 (±4%)	0,00025	350	1055	8,72	Dr. G.
Patentnickel	0,335	0,002				
N. 30	0,30	0,00023				M. Ach.
Nickelkomposition, weich	0,11	0,0041		1430	8,80	V. D. N.
hart	0,12	0,0039				
Rein Nickel, weich	0,09	0,0042	900 (1000)	1440	8,85	V. D. N.
hart	0,10	0,0040				

Bedeutung der Abkürzungen unter Kolonne „Lieferant“:

- E. A. C. = The Electrical Alloy Company (Import Sales Company, Bremer Arcade, St. Paul, Minn.)
C. K. S. = C. Kuhbier & Sohn, Dahlebrück, Stahl- und Eisenwalzwerk (Vertreter für die Schweiz: W. Gürtler, Winterthur).
A. Ant. = A. Antognini & Co., Giubiasco.
V. D. N. = Vereinigte Deutsche Nickelwalzwerke.
R. & E. H. = R. & E. Huber, A.-G., Pfäffikon.
Dr. G. = Dr. Geitners Argentanfabrik F. A. Lange, Auerhammer bei Auer i. Erzgeb.
Js. H. D. = Isabellenhütte, Dillenburg, Hessen-Nassau.
M. Ach. = Messingwerk Achenrain, C. Kulmiz, Kramsach-Achenrain.

nach Tabelle des Fabrikanten 32,6 Ampere, für einen 0,5 mm Lucerodraht bei 300° 3,23 Ampere, nach Tabelle des Fabrikanten 3,20 Ampere.

Eine ähnliche gute Uebereinstimmung mit den Tabellen der Fabrikanten und namentlich mit eigenen Temperaturmessungen ergibt unsere Rechnung fast für alle Widerstandsdrähte. Wo die Abweichungen nicht sehr klein sind, darf behauptet werden, dass meist die betreffende Tabelle nicht richtig ist.

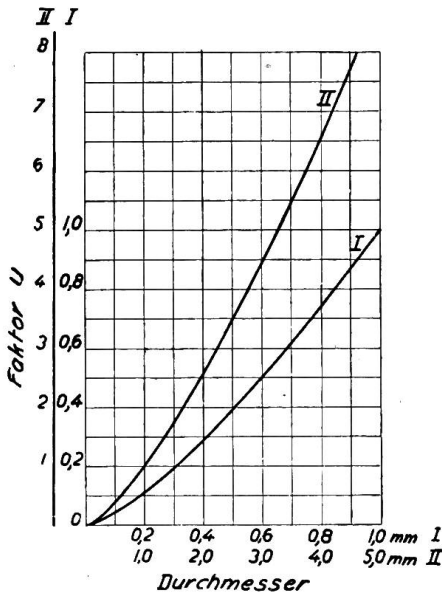


Fig. 2

Luft. Für Bänder ist die Vorausberechnung der Temperatur komplizierter. Gleichung (1) gilt natürlich wie bei Drähten, Gleichung (2) muss aber eine Modifikation erfahren und Gleichung (3) hat keinen Sinn mehr. Besitzt man aber für ein Material die Kurven oder Tabellen $I = f(\vartheta)$ bei verschiedenen Banddimensionen, so kann man leicht mit Hilfe der Gleichung (1) umrechnen auf Bänder anderer Materialien.

Herrn Prof. Dr. Ad. Hess möchte ich an dieser Stelle für die sehr zuvorkommende mathematische Hilfe (Aufsuchen von Gleichungen nach graphisch gegebenen Funktionen) meinen besten Dank aussprechen.

Als nützliche Ergänzung meiner Arbeit lasse ich eine Tabelle der für die Elektrotechnik wichtigsten physikalischen Konstanten vieler Widerstands- und Heizdrähte folgen.

Widerstandsspiralen.

Sehr häufig wendet man den Draht in Form von Spiralen an. Bei eng gewundenen Spiralen ist die gegenseitige Heizung benachbarter Windungen sehr wohl bemerkbar. Durch Temperaturmessungen an Spiralen hat sich als gut brauchbar die Formel erwiesen

$$\vartheta = \vartheta_g \left(1 + \frac{d^2}{2,1 a} \right)$$

die sofort gestattet, aus der Temperatur des gestreckten Drahtes auf diejenige des spiralgewundenen Drahtes zu schließen. Dabei bedeuten ϑ_g die Temperatur des gestreckten Drahtes; ϑ die Temperatur des spiralgewundenen Drahtes; d den Drahtdurchmesser in mm; a den Abstand benachbarter Windungsmitten in mm.

Widerstandsbänder.

Vielfach werden an Stelle von Drähten auch Bänder angewandt, allerdings weniger oft in freier

Zur Ausbildung schweizerischer Elektroingenieure und Elektrotechniker.

Von J. Eugen Weber, Baden.

Der Verfasser wendet sich an die industriellen Firmen der Elektrotechnik, der Elektrizitätswerke und elektrischen Bahnen in der Schweiz mit dem Ersuchen, Gelegenheiten zur praktischen Ausbildung von Elektroingenieuren und Elektrotechnikern zu schaffen. Er weist auf die Wichtigkeit von Sprachenkenntnissen hin, wegen der Notwendigkeit für unsere jungen Ingenieure und Techniker, die im Auslande Stellen suchen. Ferner regt er eine Organisation an, die Studierenden schweizerischer Hochschulen und Techniken Ferienbeschäftigung in ausländischen Fabriken vermitteln würde.

L'auteur s'adresse aux maisons de construction de matériel électrique, aux usines d'électricité et aux compagnies de chemins de fer électriques pour les prier de fournir à de jeunes électrotechniciens l'occasion de faire un stage pratique. Il fait ressortir l'importance de la connaissance des langues étrangères pour tous les techniciens qui cherchent des situations en dehors de la Suisse et propose de créer une organisation, qui aurait pour but de procurer aux étudiants de nos écoles techniques supérieures et de nos techniciens l'occasion de travailler pendant les grandes vacances dans une usine étrangère.

Der Schweizerische Elektrotechnische Verein hat in seiner Generalversammlung vom 2. September in Brunnen die Vorschläge der Kommission für Bildungsfragen