

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin de l'Association suisse des électriciens
<b>Herausgeber:</b>	Association suisse des électriciens
<b>Band:</b>	31 (1940)
<b>Heft:</b>	21
<b>Artikel:</b>	Leistungsaufnahme und Temperatur siliziumkarbidhaltiger Heizleiter bei konstanter Spannung
<b>Autor:</b>	Beuken, L.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-1058020">https://doi.org/10.5169/seals-1058020</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### 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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### 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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 21.02.2026

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

# ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

# BULLETIN

## RÉDACTION:

Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens  
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

## ADMINISTRATION:

Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 51742  
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXXI<sup>e</sup> Année

N° 21

Vendredi, 18 Octobre 1940

## Leistungsaufnahme und Temperatur siliziumkarbidhaltiger Heizleiter bei konstanter Spannung.

Von L. Beukens, Maastricht.

621.315.57

*Das Nederlandsch Instituut voor Electrowarmte untersuchte siliziumkarbidhaltige Heizleiter für elektrische Öfen, um deren eigentümliches Verhalten bei verschiedenen Temperaturen abzuklären. Ueber die Resultate dieser Versuche wird im folgenden berichtet. Es zeigt sich, dass bei gewissen Stäben, die in Öfen eingebaut sind, eine unbeschränkte Temperatursteigerung eintreten kann.*

Der Widerstand siliziumkarbidhaltiger Heizleiter, wie Globar und Silit, ist bekanntlich stark abhängig von der Temperatur, und zwar wird im allgemeinen bei einer Temperatur von 400 bis 700°C ein Mindestwert erreicht. Mit Rücksicht auf die Regelmöglichkeit der Leistungszufuhr am Ofen ist es von Interesse, den Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand dieser Materialien kennenzulernen.

Bei der Bestimmung des Widerstandes siliziumkarbidhaltiger Heizstäbe in Abhängigkeit von der Temperatur kann die Erhitzung der Stäbe sowohl indirekt in einem Ofen, als auch direkt mittels Stromdurchgang stattfinden. Die erste Methode bietet den Vorteil der Möglichkeit einer grösseren Temperaturliegelmässigkeit in Quer- und Längsrichtung des Stabes, die zweite Methode dagegen ist in ihrer praktischen Durchführung einfacher. Bei der zweiten Methode muss, insbesondere wenn die Messung an freier Luft geschieht, der Temperaturunterschied zwischen Stabachse und Staboberfläche berücksichtigt werden, da derselbe unter diesen Verhältnissen bei schwereren Stäben Werte in der Grössenordnung eines Mehrfachen von 10°C annehmen kann. Die Temperaturmessung selbst kann geschehen:

1. an der Staboberfläche durch optische oder thermoelektrische Messung. Im ersten Fall muss das Emissionsvermögen der Staboberfläche bekannt sein, im zweiten Fall müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden, damit das Thermoelement wirklich die effektive Temperatur der Staboberfläche misst;

2. in der Stabachse, insbesondere durch thermo-elektrische Messung.

In unserem Laboratorium<sup>1)</sup> wurde die Widerstand-Temperatur-Charakteristik von einigen Globarstäben nach der zweiten Methode in Abhängig-

*Le Nederlandsch Instituut voor Electrowarmte a examiné des conducteurs renfermant du carbure de silicium destinés à des fours électriques, afin de se rendre compte de leur comportement particulier à diverses températures. Les résultats de ces essais montrent que, pour certains barreaux logés dans des fours, l'élévation de la température peut devenir illimitée.*

keit von der Temperatur bestimmt<sup>2)</sup>. Die Stabdaten waren wie folgt:

Nennspannung = 75 V,  
Nennstrom = 100 A,  
Stablänge = 50 cm,  
Aussendurchmesser des Stabes = 28,5 mm,  
Innendurchmesser des Stabes = 7,5 mm.

Die Erhitzung des Stabes geschah mittels Wechselstrom an freier Außenluft.

Für die Wärmeströmung in einem Hohlstab gilt die Gleichung:

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} + \frac{q}{\lambda} = 0. \quad (1)$$

Es bedeutet:

$t$  Temperatur,  
 $r$  Radius,  
 $q$  entwickelte Wärmemenge pro m<sup>3</sup> in kcal/m<sup>3</sup>·h,  
 $\lambda$  Wärmeleitfähigkeit in kcal/m·h·°C.

Aus Gl. (1) ergibt sich:

$$t = t_0 + \frac{qR^2}{4} \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 - 2 \left( \frac{r_i}{R} \right)^2 \ln \frac{R}{r_i} \right] \quad (2)$$

wo:

$t_0$  Oberflächentemperatur,  
 $r_i$  Innenradius des Stabes,  
 $R$  Außenradius des Stabes.

Die Temperatur der Stabachse  $t_a$  wird damit:

$$t_a = t_0 + \frac{c_1 q}{\lambda}, \quad (3)$$

wo:

$$c_1 = \frac{R^2}{4} \left[ 1 - \left( \frac{r_i}{R} \right)^2 \left( 1 + 2 \ln \frac{R}{r_i} \right) \right]$$

<sup>2)</sup> Economisch Technisch Tijdschrift, Sept. 1936, S. 92.

<sup>3)</sup> Fischer Elektrowärme, März 1933.  $q$  und  $\lambda$  wurden als unabhängig von  $r$  bzw.  $t$  angenommen.

<sup>1)</sup> Nederlandsch Instituut voor Electrowarmte, Maastricht.

Die mittlere Stabtemperatur  $t_m$  ergibt sich aus Formel 2 durch Integration über den Stabquerschnitt

$$t_m = t_0 + c_2 \frac{q}{\lambda}, \quad (4)$$

wo:

$$c_2 = \frac{R^2 - 3r_i^2}{8} + \frac{r_i^4 \ln \frac{R}{r_i}}{2(R^2 - r_i^2)}$$

oder auch:

$$t_m = t_a - c_3 \frac{q}{\lambda}, \quad (5)$$

wo:

$$c_3 = \frac{R^2 + r_i^2}{8} - \frac{r_i^2 R^2 \ln \frac{R}{r_i}}{2(R^2 - r_i^2)}$$

Die mittlere Stabtemperatur lässt sich also bestimmen aus der Temperatur der Stabachse, den Stababmessungen, der pro  $m^3$  entwickelten Wärmeleistung  $q$  und der Wärmeleitfähigkeit.

Der Wert dieser Größen kann ohne besondere Schwierigkeiten gemessen werden mit Ausnahme des Wertes für  $\lambda$ , welcher bei unserer Untersuchung früheren Veröffentlichungen entnommen wurde. Außerdem wurde zur Kontrolle einmal optisch so genau wie möglich die Oberflächentemperatur gemessen, woraus sich dann mit Formel 3 der Wert für  $\lambda$  ergibt.

Die Widerstandsmessungen in unserem Laboratorium wurden alle nach obiger Methode ausgeführt. Dabei wurden nachfolgende Voraussetzungen gemacht:

1. Die Selbstinduktion des Stabes kann vernachlässigt werden.
2. Der Widerstand von Globar ist unabhängig von der Spannung.
3. Für den gemessenen Widerstand wurde dem Stab die nach obiger Rechnung (Formel 5) bestimmte mittlere Temperatur zugeordnet.

Fig. 1 gibt die Messresultate für einen neuen und für einen schon benutzten Stab. Beide Kurven weisen einen Mindestwert für den Widerstand auf bei ca.  $500^\circ C$ . Bei ca.  $1400^\circ C$  erreicht der Widerstand wieder ungefähr den Wert des Kaltwiderstandes.

Die Kurve der Leistungsaufnahme eines solchen Stabes bei konstanter Spannung als Funktion der Stabtemperatur ist das Spiegelbild der Kurven in

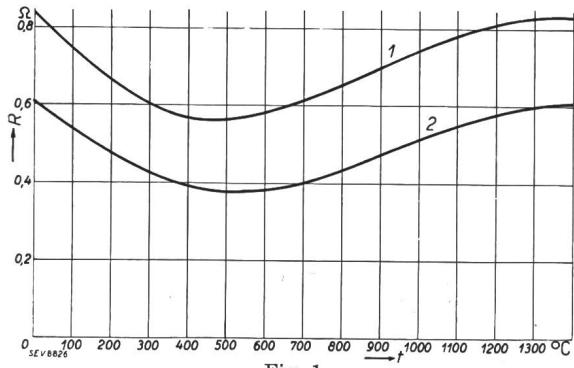


Fig. 1.  
Widerstand ( $R$ ) eines alten (1) und eines neuen (2) Stabes in Funktion der Temperatur ( $t$ ).

Fig. 1. Diese ist für den neuen Stab in Fig. 2, Kurve  $P_1$ , dargestellt. Leistungsaufnahme sowie auch Leistungsabgabe eines solchen Stabes sind somit bei konstanter angelegter Spannung eine Funktion der Temperatur und die Temperatur, welche der Stab endgültig annehmen wird, liegt dort, wo beide Funktionen den gleichen Wert aufweisen. Damit entsteht insbesondere auch die Möglichkeit, dass ein Stab, welcher, nach Kaltwiderstand gerechnet,

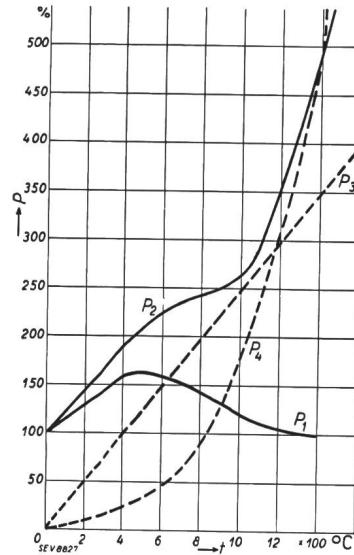


Fig. 2.  
Leistungsaufnahme (—) u. Leistungsabgabe (---) verschiedener Stäbe in Funktion der Temperatur ( $t$ ).  
 $P_1$  Leistungsaufnahme des untersuchten Globarstabes I.  
 $P_2$  Leistungsaufnahme eines anderen siliziumkarbidhaltigen Stabes II <sup>4)</sup>.  
 $P_3$  Leistungsabgabe eines in einem Ofen eingebauten Stabes. Es wurde angenommen, dass  $P_3$  proportional mit  $t$  steigt.  
 $P_4$  Leistungsabgabe  $P$  eines Stabes an freier Luft.  $P_4$  steigt mit einer höheren Potenz von  $t$ .

bei konstanter angelegter Spannung unter gegebenen Verhältnissen eine ungefährliche Endtemperatur annehmen würde, in Wirklichkeit in der Temperatur «durchgeht», weil mit steigender Temperatur die Leistungsaufnahme mit einer höheren Potenz der Temperatur vor sich geht als die Leistungsabgabe. In Fig. 2 sind einige solcher Möglichkeiten veranschaulicht.

Aus den Kurven geht folgendes hervor:

a) Stab I würde bei Einbau in einem Ofen unter den angenommenen Verhältnissen bei konstantem Widerstand eine Endtemperatur  $t_1 = 410^\circ C$  annehmen; infolge der Widerstandsänderung jedoch wird eine Endtemperatur  $t_2 = 630^\circ C$  erreicht. Die Endtemperatur steigt nicht mehr weiter, weil:

$$\frac{d P_{abg}}{dt} > \frac{d P_{aufg}}{dt}$$

b) Für Stab I freistrahrend gilt sinngemäß:

$$t_1 = 830^\circ C \quad t_2 = 900^\circ C$$

c) Für Stab II freistrahrend ergibt sich:

$$t_1 = 830^\circ C \quad t_2 = 1400^\circ C$$

d) Stab II würde bei Einbau in einem Ofen (immer natürlich unter den angenommenen Verhältnissen der Absolutwerte für  $P_{aufg}$  und  $P_{abg}$ ) eine Endtemperatur  $t_1 = 410^\circ C$  annehmen. Infolge der Widerstandsänderung jedoch geht der Stab

<sup>4)</sup> Diese Kurve wurde abgeleitet aus praktischen Messungen, welche Schrift 1 der Schriftenfolge «Elektrowärme» entnommen wurden (Dipl. Ing. L. Nawo, Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes siliziumkarbidhaltiger Heizleiter von der Temperatur).

durch, da Kurve II und III unterhalb 1100° C keinen Schnittpunkt aufweisen und oberhalb dieser Temperatur

$$\frac{d P_{abg}}{dt} < \frac{d P_{aufg}}{dt}$$

ist.

Die gegebenen Kurven und somit obige Betrachtungen gelten für den Beharrungszustand. Insbesondere für den in einem Ofen eingebauten Stab wird der Verlauf von  $P_{abg}$  in Funktion von  $t$  zeitweise von den Gesetzen der nicht-stationären Wärmeströmung beherrscht werden, und es wird sich zeitweise ein günstigerer Verlauf von  $P_{abg}$  mit der Temperatur einstellen. Da demgegenüber die Funktion  $P_{aufg}$  in Abhängigkeit von der Temperatur sich praktisch trägeheitslos einstellt, wird die Stabtemperatur nur langsam (abhängig von der Zeitkonstante des Ofens) ansteigen, so dass sich die Gefahr für unbemerktes Durchgehen des Stabes beträchtlich verringert.

Nach der elektrischen Modellmethode des Verfassers wurde z. B. die Stabtemperatur in Abhängigkeit von der Zeit untersucht für den Fall, dass ein Stab mit der Charakteristik  $P_2$ , Fig. 2, in einem Ofen seine Wärme nach Charakteristik  $P_3$  (im Beharrungszustand) abgibt, während die Ofenwand wie folgt zusammengebaut ist:

Innenwand 65 mm Chamotte,  
Zwischenwand 130 mm Sterchamol,  
Isolierung 65 mm Kieselgur.

Das Resultat der Untersuchung ist in Fig. 3, Kurve I, wiedergegeben. Wie aus der Kurve ersichtlich, dauert es ca. 400 Stunden, bis eine Stabtem-

peratur von 1400° C erreicht ist. Bei konstantem Widerstand (= Kaltwiderstand) des Stabes würde die Stabtemperatur mit der Zeit nach Kurve II, Fig. 3, ansteigen.

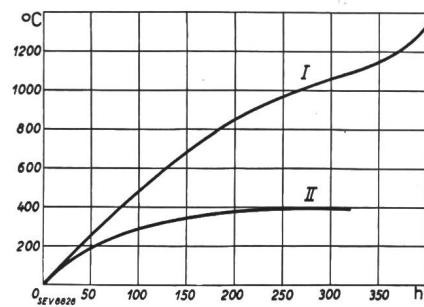


Fig. 3.  
Temperaturzunahme in Funktion der Zeit.

Zusammenfassend geht aus dem obigen hervor, dass die Gefahr eines Durchgehens, d. h. einer unbeschränkten Temperatursteigerung infolge des mit der Temperatur abnehmenden Widerstandes bei siliziumkarbidhaltigem Heizeleiter unter normalen Betriebsbedingungen nicht besonders gross ist. Bei in einem Ofen eingebauten Stäben mit einer sehr ungünstigen Widerstandscharakteristik besteht aber, z. B. beim Anlegen einer Spannung, welche nach Kaltwiderstand gerechnet eine vollständig ungefährliche Leistungsaufnahme des Stabes ergeben würde, die Möglichkeit, dass der Stab nach längerer Zeit in der Temperatur durchgeht. Bei Stäben an freier Luft ist die Gefahr dafür geringer, weil die Leistungsabgabe in diesem Falle mit einer höheren Potenz der Temperatur vor sich geht.

## Neuzeitliche Ladestationen für Elektro-Fahrzeuge.

Von G. F. Ruegg, Sissach.

621.356

Nach einem kurzen Ausblick über die vermehrte Verwendung von Elektrofahrzeugen im Nahverkehr wird der heutige Stand der Entwicklung von Ladestationen mit Selengleichrichtern gezeigt. Vor allem wird auf die Wichtigkeit der Anpassung des Laderegimes an den jeweiligen Batterietyp hingewiesen und es werden die hiefür zweckmässigen Schaltungen dargelegt. Anhand eines Betriebsdiagrammes wird der Energiewirkungsgrad einer Ladeperiode angegeben. Zum Schluss wird der konstruktive Aufbau von Normal- und Spezialladestationen beschrieben.

In den letzten Vorkriegsjahren haben sich verschiedene Unternehmer und Betriebe dank einsichtiger Unterstützung durch unsere Elektrizitätswerke zur Anschaffung neuzeitlicher Elektrofahrzeuge entschlossen, so dass heute, zur Zeit der allgemeinen Brennstoffverknappung, in der Schweiz über tausend Elektrofahrzeuge im Nahverkehr Verwendung finden. Seither hat eine stürmische Nachfrage nach Elektrofahrzeugen aller Art eingesetzt. Allein im Nahverkehr könnten nach Meinung der Fachleute durch Milchhändler, Bäckereien, Geschäftshäuser, Fabrikbetriebe, Postbehörden, öffentliche Verwaltungen, Kehrichtabfuhrämter usw. 6000 bis 8000 Elektrofahrzeuge vom leichten, flinken Karren bis zum schweren 5-t-Lastwagen eingesetzt

Après un bref aperçu du développement des véhicules électriques utilisés pour les transports à courte distance, l'auteur fait le point de l'état actuel du développement des postes de charge à redresseur au sélénium. Il insiste en particulier sur l'importance d'une adaptation du régime de la charge au type de batterie et indique les couplages les mieux appropriés. Un diagramme d'exploitation renseigne sur le rendement d'une période de charge. L'article se termine par une description de la construction de postes normaux et spéciaux.

werden. Dabei ist, wie man weiss, stets zu untersuchen, ob die Betriebsbedingungen auf die Eigenschaften der Akkumulatorenfahrzeuge passen.

Die schweizerischen Elektrofahrzeug-Fabriken haben schon seit Jahren Spezialfahrzeuge aller Art, z. B. Elektroschlepper, Lieferwagen, Tankwagen, Kippwagen, Niederplattform-Stapelwagen, Hubwagen, Kranwagen, Strassenreinigungswagen usw. entwickelt, so dass die heutige grosse Nachfrage unserer Industrie nicht unvorbereitet vorfindet (Fig. 1 und Fig. 7).

Parallel mit der Entwicklung neuzeitlicher Elektro-Fahrzeuge verlief diejenige der Ladestationen. Die vorschriftsmässige Ladung und die periodische Wartung der Akkumulatorenbatterie des Elektro-