

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 55 (1964)  
**Heft:** 8  
  
**Artikel:** Die Beurteilung von Pressverbindungen  
**Autor:** Fritzsche, B.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916699>

### **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:** 17.02.2026

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

# BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)  
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

## Die Beurteilung von Pressverbindungen

Von B. Fritzsche, Zürich

621.792.8

*Pressverbindungen haben in den letzten Jahren die Lötverbindungen der Starkstromtechnik weitgehend verdrängt. Im Interesse der Betriebssicherheit ist eine kritische Beurteilung der neuen Verbindungsmethoden notwendig. Die bestimmenden Grössen für eine zuverlässige Pressung werden besprochen und einige Prüfmethoden angegeben.*

Bei lötfreien Kabelschuhen werden Leiter und Kabelschuhhülle in geeigneten Pressmatrizen unter hohem Druck zu einer homogenen Masse verformt. Nach dem gleichen Verfahren können auch andere Verbindungen, wie zum Beispiel Muffen, hergestellt werden. Ferner gibt es Verbinder, die statt als Schraubanschluss, als Steckverbinder ausgebildet sind. Wenn im folgenden von Kabelschuhen gesprochen wird, sind die Überlegungen sinngemäss auch auf andere Pressverbindungen anzuwenden.

Die unlösbare Pressverbindung weist gegenüber der hergebrachten Lötverbindung wesentliche Vorteile auf:

1. Einfache, arbeitssparende Operation, die keine besondere Geschicklichkeit erfordert;
2. Gleichbleibende Qualität der Verbindung, deren Güte nur von jederzeit reproduzierbaren Faktoren abhängt;
3. Abwesenheit von Flussmitteln schaltet Korrosionsgefahr aus;
4. Keine Wärmeschäden an Isolation und Leitermaterial;
5. Erhöhte Vibrationsfestigkeit der Verbindung, da keine Versteifung des Kabels durch Lötzinn, das zwischen den einzelnen Drähten ins Kabel fliesst, erfolgen kann.
6. Unempfindlichkeit gegen Überlast.

Gegenüber geschraubten Verbindungen, wie zum Beispiel Konuskabelschuhen, Kabelbriden und ähnlichen Vorrichtungen sind hervorzuheben:

1. Grosse Berührungsflächen zwischen Kabelschuhhülle und Leiter;
2. Das periodische Nachziehen der Schrauben fällt weg.

Dagegen kann die Lösbarkeit der geschraubten Verbindungen, besonders bei provisorischen Anlagen, als Vorteil gewertet werden.

15 Jahre praktischer Erfahrung in der schweizerischen Elektroindustrie haben gezeigt, dass es möglich ist, mit dem Pressverfahren einwandfreie, alterungsbeständige Verbindungen herzustellen. Voraussetzung ist allerdings, dass Kabelquerschnitt, Kabelschuh und Presswerkzeug aufeinander abgestimmt sind und eine Methode angewendet wird, die zumindest in Laboratoriumsversuchen eingehend geprüft worden ist. Wie sich Pressverbindungen im normalen Betrieb oder gar unter erschwerten Bedingungen verhalten, lässt sich mit dem «gesunden Menschenverstand» allein nicht beur-

*Depuis quelques années, les connexions par compression remplacent de plus en plus souvent les connexions soudées, en technique des courants forts. Dans l'intérêt de la sécurité de service, il est nécessaire d'examiner les avantages et les inconvénients des nouvelles méthodes de connexion. L'auteur discute des grandeurs déterminantes pour la sûreté d'une connexion par compression et il indique quelques méthodes d'essais.*

teilen. Nachstehend soll nun versucht werden, auf geeignete Prüfmethode hinzuweisen.

Als massgebende Grösse für die Güte einer Pressverbindung ist natürlich der Übergangswiderstand zwischen Kabel und Kabelschuh zu betrachten. Er soll möglichst klein sein, und sich unter den wechselnden Betriebsbedingungen so wenig als möglich ändern.

Die Grösse des Übergangswiderstandes hängt von der Grösse der Berührungsflächen zwischen Kabel und Kabelschuh, von der spezifischen Leitfähigkeit des verwendeten Materials und vom Kontaktdruck ab.

Für die Grösse der Berührungsfläche sind Presslänge und Pressquerschnitt massgebend. Da aus Platzgründen eine kurze Presslänge erwünscht ist, muss dafür der Umfang des verformten Leiters möglichst gross werden. Eine grosse Abweichung von der Kreisform wirkt sich aus diesem Grunde vorteilhaft aus (Fig. 1). Eine bedeutende Vergrösserung der Kontaktfläche kann durch Rillen in der Hülseinnfläche erreicht werden. Bei genügend hohem Pressdruck fliesst das Kupfer des Leiters in diese Vertiefungen, womit die Berührungsfläche bis um 30 % ansteigen kann. Bei der Bemessung dieser Rillen ist sorgfältig darauf zu achten, dass auch bei feindräftigen Litzen keine Adern abgeschert werden.

Wegen der hohen spezifischen Leitfähigkeit wird für die Herstellung der Kabelschuhe mit Vorteil Elektrolytkupfer verwendet. Nur bei kleineren Querschnitten kann unter Umständen anderes Material, wie zum Beispiel Messing verwendet werden. Dabei wirkt sich aber der von Kupfer verschiedene thermische Ausdehnungskoeffizient ungünstig aus.

Für die Leitfähigkeit der Berührungspunkte zwischen Kabelschuh und Leiter ist aber die Wahl des Materials nicht allein massgebend. Das Kupfer ist immer mehr oder weniger stark oxydiert. Diese Oxydschichten liegen zwischen Kabel und Kabelschuh, aber auch zwischen den einzelnen Leitern, was den Übergangswiderstand und die Stromverteilung im Kabel wesentlich verschlechtert. Eine weitgehende Umformung zu Gunsten einer grossen Berührungsfläche wirkt sich auch hier günstig aus. Die Umfangvergrösserung sprengt die Oxydschichten und ergibt zwischen Kabel und Kabel-

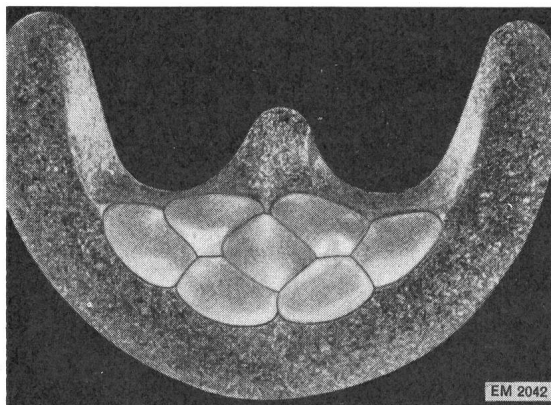


Fig. 1

**Gepresster Kabelschuh**  
Querschnitt durch die Pressung

schuh genügend hochleitfähige Übergangsstellen, die einen kleinen Übergangswiderstand und eine gleichmässige Stromverteilung sicherstellen (Fig. 2).

Der Kontaktdruck wird durch die Verformung erzielt. Unmittelbar nach der Pressung ist er meist hoch genug, um genügende Resultate zu erzielen. Dagegen tritt im Laufe der Zeit eine Rückverformung ein, die unzulässig hohe Werte erreichen kann. Durch Sinken des Kontaktdruckes steigt der Übergangswiderstand an, wodurch eine Erwärmung eintritt. Diese begünstigt auch die Rückverformung, und kann zur Verzunderung der Kontaktflächen führen. Eine solche Verbindung wird innert kurzer Zeit unbrauchbar.

Die Rückverformung hängt weitgehend von der Pressform ab. Diese lässt sich nur empirisch bestimmen und setzt lange Entwicklungsarbeit, grosse Erfahrung und ausgedehnte Versuche voraus. Wenn man eine zuverlässige Aussage über das Verhalten einer Pressverbindung im Betrieb wünscht, sind Alterungsprüfungen unerlässlich.

Gelegentlich nimmt man zu vereinfachten Prüfverfahren Zuflucht, um Zeit zu sparen. Diese geben aber immer ein unvollständiges Bild, da das Hauptproblem, die Rückverformung, nicht erfasst werden kann.

Wegen seiner Einfachheit wird oft ein Zugversuch durchgeführt. Es ist klar, dass eine gewisse minimale Zugfestigkeit von jeder Pressverbindung gefordert werden muss. Daraus aber zu folgern, dass eine hohe Zugkraft mit guter Alterungsbeständigkeit oder auch nur mit kleinem Übergangswiderstand identisch ist, ist unzulässig. Die Zugprüfung gibt nur Auskunft über eine Eigenschaft, die in der Praxis nahezu bedeutungslos ist. Allerdings kann sie ein Bild von der Rückverformung geben, wenn man die Werte vor und nach je einer Alterungsprüfung vergleicht.

Eine weitere vereinfachte Prüfmethode sind Querschnitte durch die Preßstelle, die porenfrei sein soll. Das die Poren umschliessende Kupfer hat nämlich die Tendenz, diese Hohlräume mit fortschreitender Alterung aufzufüllen. Dadurch müsste aber der Kontaktdruck sinken. Zur Beurteilung des Querschnittes muss der Schnitt geätzt werden, da das weiche Kupfer beim Durchsägen die feinen Poren füllt.

Sowohl der Zugversuch als auch die Schnittbilder gestatten wohl, sehr schlechte Verbindungen auszuschalten. Sie sind aber keineswegs für eine abschliessende Beurteilung der Pressverbindung geeignet.

Von den Verbrauchern von Presskabelschuhen verfügen nur wenige Betriebe über die Einrichtung und die nötige

Zeit, um seriöse Dauerversuche durchzuführen. Dagegen stellen verschiedene Hersteller Prüfergebnisse zur Verfügung. Oft sind diese Firmen auch bereit, kritische Anwendungen besonders zu studieren. Als Beispiel seien nachstehend einige geeignete Alterungsversuche beschrieben. Aus den Tabellen I...IV sind Resultate ersichtlich, die dem Verfasser zur Verfügung standen <sup>1)</sup>.

### Korrosionsversuche

Auf Kabel gepresste Kabelschuhe werden während 100 h einem Wassernebel mit 20 % NaCl ausgesetzt. Vor und nach dem Versuch ist der Übergangswiderstand zu messen (Tabelle I).

Ein weiterer «beliebter» Korrosionsversuch benützt Wassernebel mit 4 % NaCl. Die Prüflinge werden dieser Atmosphäre während 15 h ausgesetzt; darauf folgt eine einstündige Trocknung bei 100 °C und anschliessend bleiben sie 8 h bei Raumtemperatur liegen. Dieser Zyklus wird 30 mal wiederholt. Nach je drei Zyklen misst man den Übergangswiderstand.

### Vibrationsversuche

Auf Kabel gepresste Kabelschuhe werden während 36 h mit Frequenzen von 10...50 Hz bei einer Amplitude von 1,5 mm vibriert. Vor und nach dem Versuch werden die Übergangswiderstände der Pressverbindung gemessen (Tabelle I).

Vibrationen können, hauptsächlich durch Resonanzerscheinungen, zu unangenehmen Überraschungen führen. Es empfiehlt sich deshalb, die Schwingungen konstruktiv, zum Beispiel durch Abbinden der Kabel, zu unterdrücken.

### Temperaturwechselversuche

Die im Betrieb periodisch vorkommenden Überlastungen werden durch Temperaturwechselversuche nachgebildet. Als Beispiel seien die folgenden Versuchsbedingungen erwähnt:

6 rechteckige Massivleiter von total 45 mm<sup>2</sup> Querschnitt wurden in einen gemeinsamen Kabelschuh gepresst. Wäh-

<sup>1)</sup> Siehe auch Berichte S 21 und S 21B der A-MP Inc., Standards Division, Harrisburg, PA.

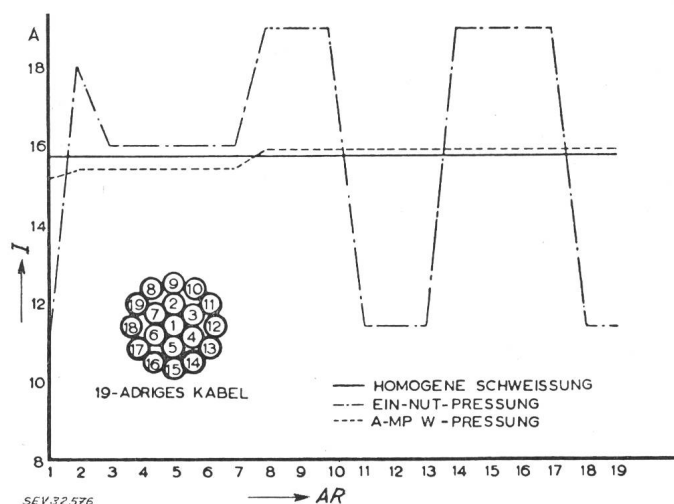


Fig. 2

**Stromverteilung bei verschiedenen Pressungen**  
I Strom; AR Adernreihenfolge

Querschnitt		Korrosionsversuch in 20 % NaCl während 100 h Übergangswiderstand $\mu\Omega$						Vibrationsversuch bei 10...55 Hz während 36 h Übergangswiderstand $\mu\Omega$					
AN-Nr.	mm <sup>2</sup>	vor dem Versuch			nach dem Versuch			vor dem Versuch			nach dem Versuch		
		min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med
16	1,23	114	136	125	118	164	130	123	132	126	118	136	130
14	1,94	72,0	87,5	75,7	81,2	143,7	92,2	72,0	81,2	75,7	81,2	90,6	86,2
12	3,08	56,2	68,3	60,3	56,2	83,0	67,4	48,8	53,6	52,0	56,2	65,9	59,8
10	6,47	40,0	50,9	42,9	40,0	52,7	46,4	40,0	43,6	41,3	43,6	47,3	44,6
8	8,60	28,8	30,2	29,3	30,2	35,6	33,9	28,8	32,9	31,2	32,9	37,0	35,2
6	13,6	20,8	22,8	21,6	20,8	24,7	22,4	20,8	22,8	21,7	21,3	23,5	22,3
4	21,6	13,3	14,8	13,6	14,1	15,3	14,8	13,3	14,8	14,0	14,4	15,5	14,8
2	32,1	11,6	12,7	11,8	11,6	13,3	12,3	9,95	11,1	10,4	10,7	11,6	11,0
1—0	52,3	10,2	11,4	10,9	10,6	11,4	11,0	10,4	10,9	10,7	10,5	11,0	10,6
2—0	67,1	8,48	9,19	8,95	8,84	9,90	9,39	8,83	8,83	8,83	8,83	9,18	8,98
3—0	84,2	6,41	7,02	6,72	6,72	7,93	6,90	6,25	7,63	6,77	6,41	7,48	6,67

rend einer ersten 20stündigen Periode wurde der so gebildete Leiter mit 405 A belastet; die Temperatur stabilisierte sich auf 150 °C. Anschliessend folgten 40 Zyklen mit einstündiger Belastung bei 580 A und nachfolgendem einstündigem Abkühlen auf Raumtemperatur. Die Temperaturspitzen betrugen 270...300 °C. Die Übergangswiderstände wurden vor dem Versuch, nach den 20 h Dauerlast und nach den 40 Temperaturspielen gemessen (Tabelle II).

#### Temperaturwechselversuch

Tabelle II

Übergangswiderstand (Preßstelle + 30 mm freie Leiterlänge) in $\mu\Omega$					
vor dem Versuch		nach 20 h Überlast		nach 40 Temperaturspielen	
min	max	min	max	min	max
14,9	16,9	15,9	18,0	15,4	19,0

#### Temperaturanstieg von Presskabelschuh und Kabel bei Überlast)

(AMP-Presskabelschuhe, Typ Solistrand, aufgepresst auf isolierte AN-Kabel nach amerikanischen Militärnormen MIL-W-5086)

Tabelle III

Querschnitt		Prüfstrom <sup>1)</sup> und Dauer	Min. Erwärmung °C		Max. Erwärmung °C	
AN-Nr.	mm <sup>2</sup>		Kabelschuh	Kabel	Kabelschuh	Kabel
16	1,23	22 A bis Stabilisierung	57,4	68,3	60,4	69,1
		27,5 A während 2 h	77,1	91,1	80,8	91,7
		44 A während 5 min	166,6	200,3	179,0	227,8
14	1,94	32 A bis Stabilisierung	62,8	72,7	69,4	72,7
		40 A während 2 h	82,0	104,5	95,8	104,0
		64 A während 5 min	175,3	234,2	209,8	247,3
12	3,08	41 A bis Stabilisierung	61,8	70,4	64,3	69,6
		51,3 A während 2 h	81,6	101,1	86,9	95,8
		82 A während 5 min	166,4	224,3	179,7	211,3
10	6,47	55 A bis Stabilisierung	66,2	75,0	69,3	73,1
		68,8 A während 2 h	89,6	105,6	96,0	104,0
		110 A während 5 min	174,7	221,8	206,3	233,4
8	8,60	73 A bis Stabilisierung	62,8	70,0	68,4	70,4
		91,3 A während 2 h	86,0	95,4	91,8	94,8
		146 A während 5 min	169,1	197,3	185,8	203,1
6	13,6	101 A bis Stabilisierung	62,2	66,5	63,8	67,4
		126,3 A während 2 h	82,6	91,1	87,6	93,1
		202 A während 5 min	157,6	185,1	172,6	193,1
4	21,6	135 A bis Stabilisierung	64,8	69,4	66,3	69,4
		168,8 A während 2 h	87,8	96,4	90,6	94,4
		270 A während 5 min	159,3	178,2	161,1	178,6
2	32,1	181 A bis Stabilisierung	68,0	70,9	68,4	70,4
		226,3 A während 2 h	89,6	96,8	92,6	97,1
		362 A während 5 min	150,7	173,6	159,6	173,6

<sup>1)</sup> Zum Vergleich: Nennströme nach HV des SEV, Ziffer 42512.1:

Querschnitt mm <sup>2</sup>	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35
Nennstrom A	6	10	15	20	25	40	60	80	100

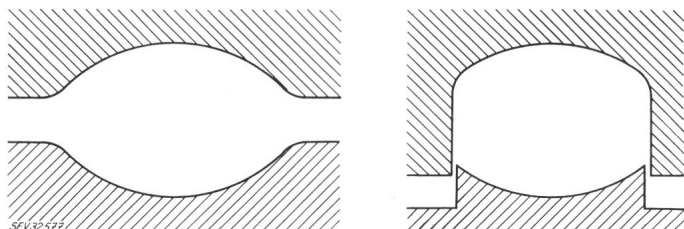


Fig. 3

#### Matrizen für Ovalpressung

links: frühere Ausführung; rechts: verbesserte Form mit definiertem Pressquerschnitt. Die ineinandergreifenden Matrizen verhüten seitliches Ausfließen des Kupfers während der Pressung

bleibende Qualität der Pressung sichern muss. Die Matrizen sollen genau bearbeitet sein und eine hohe Oberflächengüte aufweisen; raue Oberflächen können den galvanischen Überzug oder die Isolation beschädigen. Sie sollen so geformt sein, dass bei der Pressung ein genau definierter Querschnitt entsteht (Fig. 3). Es soll auch eine Vorrichtung vorhanden sein, die dafür sorgt, dass der Pressvorgang ganz zu Ende geführt wird. Dieser darf jedoch wegen der Gefahr einer Querschnittreduktion nicht überschritten werden. Die Hubbegrenzung wird meistens so ausgeführt, dass die Matrizen in der Endlage aufeinander aufstehen und den überschüssigen Pressdruck aufnehmen. Bei Handpresswerkzeugen kann eine einfache Sperrätsche dafür sorgen, dass die Matrizen nicht vor dem Erreichen der Endlage geöffnet werden können. Bei hydraulischen Presswerkzeugen zeigt meistens ein Überdruckventil an, dass der Pressdruck erreicht wurde. Vielfach leitet dasselbe Ventil auch den automatischen Ölrücklauf ein. Eine zwangsläufige Rücklaufsperre kann bei grösseren Werkzeugen wegen der Unfallgefahr nicht vorgesehen werden.

Der Pressdruck soll genügend hoch sein, um eine weitgehende Umformung von Kabel und Kabelschuh sicherzustellen. Als Anhaltspunkt für die in der Praxis vorkommenden Werte diene Tabelle IV. Sie gilt für die gleichen Kabelschuhe, mit denen die bereits beschriebenen Alterungsversuche durchgeführt wurden.

Pressdrücke in Abhängigkeit vom Querschnitt  
(gültig für AMP Presskabelschuhe vom Typ Solistrand)

Tabelle IV

Querschnitt [mm <sup>2</sup> ]	35	120	300
Pressdruck [t]	6	12	44

Obwohl man bestrebt ist, sog. «narrensichere» Werkzeuge herzustellen, besteht in der Fabrikation doch immer wieder die Gefahr von Fehlpressungen. Es ist daher angezeigt, durch entsprechende Fabrikationsvorschriften dafür zu sorgen, dass dem Kabel entsprechende Kabelschuhe mit dem richtigen Werkzeug verarbeitet werden. Zur Erleichterung der Arbeit der Kontrollstellen sind die Matrizen häufig mit Kennmarken graviert, die nach dem Pressvorgang auf der Kabelschuhhülse sichtbar sind. Dadurch können falsche Pressungen leicht erkannt und zurückgewiesen werden.

Die meisten Hersteller von Pressverbindungen sind bereit, das Personal im richtigen Gebrauch von Presswerkzeugen zu instruieren. Besonders wichtig ist die Aufklärung der Meister und Vorarbeiter, die bei Personalwechsel ihr Wissen weitergeben sollten.

#### Adresse des Autors:

B. Fritzsche, dipl. Elektrotechniker, Egli, Fischer & Co. AG, Zürich 22.

## Heizstäbe für Elektroöfen

Von E. Boller, Aarau

621.365.036.662.4

Unter der Bezeichnung «Heizstäbe» werden im allgemeinen Heizelemente aus Siliciumcarbid verstanden. Obschon dieser Rohstoff zu den keramischen Werkstoffen einzureihen ist, besitzt er eine genügende elektrische Leitfähigkeit, um als Heizwiderstand benützt zu werden. Dank seiner hohen thermischen und chemischen Beständigkeit kann er für Temperaturen bis 1450 °C eingesetzt werden.

Die Herstellung von Heizstäben aus Siliciumcarbid wird kurz gestreift und einige Anwendungsgebiete werden aufgezeigt. Nach Besprechung der physikalischen und chemischen Eigenschaften wird dargelegt, wie das Anschlussproblem zur Entwicklung verschiedenartiger Stabtypen geführt hat. Es werden Ratschläge für die Wahl der Heizstäbe gegeben und erklärt, weshalb die Behandlung dieser Elemente im Betrieb von grossem Einfluss auf deren Lebensdauer sein kann.

### 1. Allgemeines

Während unter der Bezeichnung «Heizelemente» verschiedenartige Aggregate verstanden werden, welche Elektrizität in Joulesche Wärme umsetzen, wird der Name «Heizstäbe» fast ausschliesslich für stabförmige Heizelemente aus Siliciumcarbid verwendet. Der Grundgedanke, aus Siliciumcarbid, das unter dem Namen Carborundum schon seit der Jahrhundertwende für Schleifzwecke gebraucht wird, Heizstäbe herzustellen, tauchte anfangs der zwanziger Jahre auf. Diese Verbindung, die in der Natur nicht vorkommt, sondern auf elektrothermischem Wege hergestellt wird, fiel durch

Par «baguettes chauffantes», on entend généralement des corps de chauffe en carbure de silicium. Bien qu'il fasse partie des matières céramiques, le carbure de silicium possède une conductivité électrique suffisante pour son emploi dans des corps de chauffe. Grâce à sa haute résistance thermique et chimique, il peut être utilisé à des températures jusqu'à 1450 °C.

L'auteur décrit brièvement la fabrication de baguettes chauffantes en carbure de silicium et en indique quelques domaines d'applications. Après avoir discuté des propriétés physiques et chimiques, il montre comment le problème de raccordement a conduit à différents types de baguettes. Il donne des conseils au sujet du choix des baguettes chauffantes et explique pourquoi un traitement soigné de ces corps de chauffe en service a une grande influence sur leur durée de vie.

ihre hohe chemische und thermische Beständigkeit auf. Ausserdem erwies sich ihr spezifischer Widerstand, der bedeutend über demjenigen der als Heizwiderstand gebräuchlichen Metalle liegt, als vorteilhaft. Die Herstellung von Heizstäben, welche den Anforderungen der Praxis entsprechen, erwies sich jedoch als sehr schwierig und noch heute, wo sich diese Elemente aus dem Ofenbau nicht mehr wegdenken lassen, werden die Fabrikationsvorschriften von den verschiedenen Herstellerfirmen streng geheimgehalten. Allgemein bekannt ist lediglich, dass zwei verschiedene Wege beschritten werden können. Bei der einen Variante wird körniges Siliciumcarbid