

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 55 (1964)
Heft: 8

Artikel: Heizstäbe für Elektroöfen
Autor: Boller, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916700>

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: 17.05.2025

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

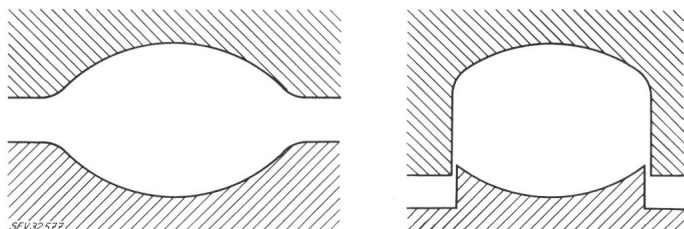


Fig. 3

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 Rücklaufsperrung 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 ²]	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

unter Verwendung verschiedener Bindemittel geformt und der so erhaltene Körper unter Luftabschluss bei Temperaturen zwischen 1700 und 2000 °C gesintert. Bei der zweiten Methode wird der Stab aus den Elementen synthetisiert. Dabei wird Kohlenstoff in der Form von Graphit, Kohle oder Koks mit einem kohlenstoffhaltigen Bindemittel zu einem Stab gepresst und danach einer Silicium-Atmosphäre ausgesetzt. Die beiden Elemente bilden Siliciumcarbid, und zwar wird je nach der Bildungstemperatur die hexagonale oder kubische Modifikation bevorzugt. Die beiden Kristallformen unterscheiden sich physikalisch hauptsächlich in ihrer Leitfähigkeit. Die heute in den Handel gebrachten Siliciumcarbid-Stäbe sind zuverlässige Heizelemente, die bei sachgemässer Behandlung hohe Lebensdauern erwarten lassen. Die Entwicklung geht jedoch weiter, und zwar gilt das Hauptaugenmerk der sog. «Alterung», d. h. der Oxydation des Siliciumcarbids während des Betriebes durch Luftsauerstoff.

2. Anwendungsgebiete

Heizstäbe aus Siliciumcarbid werden zur Erzeugung von Ofentemperaturen von 1000...1450 °C verwendet. Obwohl heute metallische Widerstandsdrähte zur Verfügung stehen, welche bis 1250 °C genügende Standzeiten erreichen, wird doch häufig auch für diesen Temperaturbereich der Heizstab aus Siliciumcarbid bevorzugt. Die Möglichkeit, ihn ohne Betriebsunterbrechung, ohne Absinkenlassen der Ofentemperatur auszuwechseln zu können, ist oftmals ausschlaggebend. Ferner gestattet der Heizstab viel höhere Oberflächenbelastungen als das metallische Heizelement; im gleichen Ofenraum kann deshalb eine grössere Leistung untergebracht werden. Auch in allen Fällen, wo aggressive Ofenatmosphären den metallischen Heizdraht in kurzer Zeit zerstören, wird sich der Ofenbauer für den Heizstab aus dem reaktionsträgen Siliciumcarbid entscheiden. Solche Verhältnisse sind in der Metall-, Glas- und chemischen Industrie anzutreffen.

Die keramische Industrie ist es jedoch zur Hauptsache, welche sich neben der Metallindustrie die mit diesen Heizstäben erreichbaren hohen Temperaturen zunutze macht. Porzellanfabriken brennen ihre Produktion in Tunnelöfen von über hundert Meter Länge bei Temperaturen, die oft 1400 °C übersteigen. Der Anschlusswert eines solchen Ofens liegt bei 1200 kW und sein Tagesausstoss beträgt mehrere Tonnen. Vor allem bei hochwertigen keramischen Produkten kommt die völlige Farblosigkeit und Indifferenz des Siliciumcarbides höchst positiv zum Ausdruck, indem etwa infolge schlechten Kontaktes wegsprühende Teilchen keine Verfärbung und Entwertung des Brenngutes verursachen, wie dies bei metallischen Heizelementen der Fall sein kann. Gegenüber organischen Brennstoffen ist der allen elektrischen Heizelementen gemeinsame Faktor der Abgasfreiheit zu nennen, der in unserer Zeit der zunehmenden Luftverunreinigung immer mehr Bedeutung gewinnt.

In der Metallindustrie hat sich der stabbeheizte Glüh- und Schmelzofen rasch eingeführt und verbreitet. Obschon die hier benötigten Ofentemperaturen meist unter 1200 °C liegen, wird der Heizstab wegen seiner leichten Austauschbarkeit sehr geschätzt. Auch seine relative Unempfindlichkeit gegenüber Härte- und Desoxydations-Chemikalien haben zu seiner Beliebtheit beigetragen. Dasselbe gilt für die Glasindustrie, wo die Glühstäbe, über der Glasoberfläche angeordnet, das durch den Feeder fliessende Glas auf gleich-

bleibender Viskosität erhalten. Die aufsteigenden Glasdämpfe stellen an die chemische Beständigkeit des Heizelementes hohe Anforderungen, und auch hier ist es im Störfalle von ausschlaggebender Bedeutung, dass keine Metallionen in das flüssige Glas gelangen.

Schliesslich werden sehr grosse Mengen von Heizstäben in Laboratorien verbraucht, wo sie Kohlenstoffbestimmungsapparate, Schmelz- und Glühöfen beheizen.

3. Eigenschaften

Heizstäbe aus Siliciumcarbid haben wie das zu ihrer Herstellung verwendete Rohmaterial eine graue bis schwarze Oberfläche. Sie sind sehr hart und besitzen eine beträchtliche Zug- und Biegefestigkeit. Dagegen ist ihre Schlagfestigkeit gering, worauf beim Transport und bei der Montage Rücksicht genommen werden muss. Der mittlere Ausdehnungskoeffizient zwischen 25 und 1400 °C beträgt 4,4.

Der spezifische Widerstand des gesinterten Materials aus hexagonalem Siliciumcarbid beträgt je nach Sinterungsgrad, gemessen bei 1400 °C, 1000...3000 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$. Dieser Wert ist stark temperaturabhängig und hat ein Minimum bei 800 °C. Der Widerstand bei 1400 °C erreicht nur noch etwa die Hälfte desjenigen bei Zimmertemperatur. Die den Heizstäben eigene Spannungsabhängigkeit hat insofern Bedeutung als der Widerstandskoeffizient negativ werden kann, wenn der Stab mit einer Spannung betrieben wird, die mehr als das Vierfache der von den Fabrikanten vorgeschriebenen Anfangsspannung beträgt. Die Stromstärke steigt dann an, bis es zum Durchbrennen des Stabes kommt. Dies kann der Fall sein, wenn ein ungebrauchter Stab zu einer Gruppe mit bereits stark gealterten Stäben geschaltet wird.

Die bereits mehrfach erwähnte «Alterung» der Heizstäbe ist der Oxydation des Siliciumcarbides durch den Luftsauerstoff oder andere Sauerstoffträger zuzuschreiben. Hiebei wird Quarz gebildet, welches die Siliciumcarbid-Körner bedeckt. Zwischen den einzelnen Kristallen bilden sich isolierende Schichten, welche eine Widerstandserhöhung im ganzen Stab bewirken. Um die Leistung konstant zu halten, muss die Spannung entsprechend gesteigert werden, weshalb die Heizstäbe fast immer an Regeltransformatoren angeschlossen werden.

Die Beständigkeit gegen chemische Angriffe ist bemerkenswert, und der erwähnte Angriff durch Sauerstoff beginnt erst oberhalb 800 °C. Das Stabmaterial widersteht chemischen Angriffen, welche viele andere Widerstandsmaterialien schnell zerstören. Bei den hohen Betriebstemperaturen, welchen die Heizstäbe normalerweise ausgesetzt werden, sind es jedoch eine Anzahl Stoffe, welche ihre Lebensdauer verkürzen oder sie zersetzen. Als in der Praxis in Frage kommende Substanzen sind vor allem Alkalien, Alkalisalze und geschmolzene Metalle zu nennen. Auch Ofengase, wie z. B. ungeeignete Reduktionsgase können die Alterung der Stäbe beschleunigen.

4. Heizstab-Typen

Bei der Entwicklung der Heizstäbe zeigte sich ein Problem, das nicht leicht zu lösen war, nämlich dasjenige der Stromzuführung. Es ist nicht möglich, den Stab einfach durch die Ofenwandungen hindurch zu führen, um dann die Stromzuführungen an den aus dem Ofenmauerwerk herausragenden Enden anzubringen. Der Stab darf nur die Ofen-

kammer beheizen, weshalb die Stromzuführungen möglichst geringen Widerstand haben dürfen und die an der Kontaktstelle vorliegenden hohen Temperaturen ertragen müssen. Anfänglich behalf man sich mit wassergekühlten Metallrohren, die zunderfeste Kontaktköpfe aufwiesen. Durch federnde Haltegarituren wurde ein Heizstab zwischen zwei solche Kontaktstücke geklemmt. Der grösste Nachteil dieser Anordnung war der beträchtliche Energieverlust, der durch das Kühlwasser verursacht wurde, weshalb man nach einem gutleitenden Material suchte, welches ohne Kühlung Temperaturen bis 1500 °C aushalten sollte. Als geeignet zeigte sich Siliciumcarbid, welches sehr hoch verdichtet und mit Silicium imprägniert wird. Der spezifische Widerstand dieses Werkstoffes liegt unter 100 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$, beträgt also weniger als ein Zehntel des Heizstab-Materials. Seine Temperaturbeständigkeit ist derartig, dass ein solches Kontaktstück die mehrfache Lebensdauer eines Glühstabes erreicht. Die Verwendung einer dreiteiligen Garnitur aus einem Glühstab und zwei keramischen Kontaktstücken ist heute noch die wirtschaftlichste Lösung, weil das Kontaktstück mehrmals gebraucht werden kann. Als wichtigster, in grossen Anlagen fast ausschliesslich eingebauter Typ ist deshalb der zylindrische Vollstab, der zwischen zwei gutleitende keramische Kontaktstücke geschaltet wird, zu nennen. Auch hier wird der nötige Kontaktdruck, wie früher bei den wassergekühlten Metallzuführungen, von federnden Haltegarituren, oder bei senkrechtem Einbau durch Gewichte bewerkstelligt. Zur Verbesserung des Kontaktes sind die Stab-Enden durch Metallimprägnierung besser leitend gemacht. Heizstäbe dieser Ausführung werden in Dicken bis zu 46 mm bei 2000 mm Länge in der Schweiz hergestellt. Ein Stab dieser Grösse kann bei 1100 °C Ofentemperatur mit 60 kW belastet werden.

Bei kleineren Öfen ging das Bestreben dahin, das Auswechseln der gealterten Glühstäbe möglichst einfach zu gestalten. Es ging also darum, einen einteiligen Heizstab mit hochohmigem Glühteil und zwei tiefohmigen, kaltbleibenden Enden zu schaffen. Die einfachste und zuverlässigste Ausführung erfüllt die vorstehenden Forderungen durch Verdickung der kalten Enden. Auf die Enden eines Stabes werden zwei Hohlzylinder aus gutleitendem keramischem Material aufgesintert, so dass in der Mitte die gewünschte Glühzone freibleibt. Solche Stäbe sind mit Glühteildurchmessern von 8...18 mm erhältlich. Die entsprechenden verdickten Enden messen 14...28 mm. Die Glühteillängen variieren, je nach Durchmesser, von 100...800 mm.

Einteilige Heizstäbe, welche im Gegensatz zum erwähnten Typ, auf der ganzen Länge gleichen Durchmesser haben, werden aus Rohren hergestellt, welche durch Einsintern von gutleitenden Keramikzylindern kalte Enden erhalten. In der Schweiz wird dieser Typ in beliebig wählbaren Längenverhältnissen mit Durchmessern von 18...38 mm hergestellt.

5. Wahl und Behandlung der Heizstäbe

Bei der Wahl der Stabbestückung für einen Elektroofen sind neben dessen Dimensionen die gewünschte Betriebstemperatur und der Durchsatz massgebend. Da mit steigender Temperatur Oxydationsgeschwindigkeit und Zersetzungstendenz des Siliciumcarbides zunehmen, muss die Oberflächenbelastung des Stabes entsprechend angeglichen wer-

den. Während bei 1100 °C 22 W/cm² zugelassen sind, darf sie bei 1450 °C 2,5 W/cm² nicht überschreiten, es sei denn, dass eine Verkürzung der Lebensdauer in Kauf genommen wird. Eine Unterbelastung von 10...20 % wirkt sich in dieser Hinsicht sehr positiv aus. Um eine zu starke gegenseitige Anstrahlung zu vermeiden, sind zwischen den einzelnen Stäben bestimmte Minimalabstände einzuhalten. Jeder Stabtyp kann wahlweise horizontal oder vertikal eingebaut werden, wobei aber bei grossen Glühteillängen wegen des möglichen Durchhängens der zweiten Variante der Vorzug zu geben ist. Zur Erleichterung des Ein- und Ausbaues soll der Stab beidseitig, je nach Stabdicke, etwa 20...40 mm in die Ofenwandung hineinragen.

Zum Ausgleich der durch die Alterung bedingten Widerstandszunahme soll die Möglichkeit einer Spannungserhöhung vorgesehen werden. Bei der Annahme, dass der Stabwiderstand im Laufe der Zeit auf den sechsfachen Wert ansteigt, würde eine 2,5fache Erhöhung der Anfangsspannung genügen. Der zu diesem Zwecke verwendete Transformator weist bei kleineren Anlagen meist zwölf Stufen auf. Eine Temperaturregulierung ist in allen Fällen notwendig. Bei grösseren Anlagen hat sich die stufenlose Temperatur-Leistungsregulierung durch Induktionsregler oder Tauchtransformatoren durchgesetzt.

Die Stäbe sollen innerhalb ihrer Gruppe möglichst immer parallel geschaltet werden, da sich bei Serieschaltung auch geringe Widerstandsunterschiede verschärfen, wodurch die Belastung der Stäbe immer ungleicher wird. Aber auch bei Parallelschaltung sollen nur Stäbe mit ungefähr gleichen Widerständen kombiniert werden, und aus leicht erklärlichen Gründen ist es nicht ratsam, einen Stab, der in einer bereits stark gealterten Gruppe defekt geworden ist, durch einen neuen zu ersetzen. Vielmehr soll hier die ganze Gruppe ausgewechselt werden, um die noch intakten gebrauchten Stäbe, nach Ohmwerten zusammengestellt, später wieder in Betrieb zu nehmen. Da die Messung der Stäbe nicht in kaltem Zustande erfolgen kann, empfiehlt es sich, den Strom vor der Abschaltung mit einem Zangenampèremeter zu messen.

Der bei der Oxydation des Siliciumcarbides entstehende Quarz existiert in mehreren, temperaturabhängigen Modifikationen, die alle verschiedene Dichten und damit zwangsläufig verschiedenen Raumbedarf haben. Beim Abkühlen und Wiederaufheizen eines Heizstabes wirken sich diese Modifikationsumwandlungen in einer Auflockerung des Kristallgefüges aus. Es muss hieraus geschlossen werden, dass die Lebensdauer beim kontinuierlich betriebenen Stab am längsten ist, was die Praxis bestätigt. Das bei kleineren Öfen übliche Ausschalten über das Wochenende sollte vermieden und eine Ruhetemperatur von mindestens 800 °C gehalten werden. Es entfällt dadurch auch das den Stäben schädliche, forcierte Aufheizen nach Wiederaufnahme der Arbeit. Bei den üblichen Strompreisen werden auf diese Weise die Energiemehrkosten durch den verminderten Stabverschleiss meistens mehr als aufgewogen.

Von grosser Wichtigkeit ist ein einwandfreier Kontakt zwischen Heizstab und Stromzuführung. Bei den dreiteiligen Elementen besitzt der Stab eine angeschliffene Kalotte, welche in eine Pfanne von genau gleichem Radius des Kontaktstückes zu liegen kommt. Bevor ein solches Kontaktstück nach Auswechseln des Glühstabes zum zweiten Mal in Betrieb genommen wird, ist die Kontaktfläche von anhaftenden

Schlacken peinlich zu säubern. Es lohnt sich sogar, Kontaktstücke mit stark erodierten Pfannen der Herstellerfirma zum Nachfräsen zu übergeben, da bei schlecht passenden Kontaktflächen Lichtbogen auftreten, welche den Glühstab zerstören können. Auch bei einteiligen Elementen sollen die Anschlussbriden einwandfrei sitzen, da sich sonst Überhitzung der Stabenden einstellt. Zur Verhinderung von Wärmeverlusten werden die Hohlräume zwischen Stab und

Ofendurchführung mit Asbestschnüren verstopft, ohne jedoch die Wärmedehnung des Stabes zu behindern.

Die Berücksichtigung dieser wenigen Anforderungen trägt nicht nur zum störungsfreien Betrieb der Hochtemperatur-Elektroöfen, sondern auch zu einer beachtlichen Senkung der Brennstundenkosten bei.

Adresse des Autors:

Dr. E. Boller, Leiter der Abteilung für Sinterchemie, Elcalor AG, Aarau.

Entwicklung einer gleichstromgekoppelten Nanologik-Geräteserie

Kurzvortrag, gehalten an der 27. Hochfrequenztagung des SEV vom 24. Oktober 1963 in Neuenburg, von D. Maeder, Genf

621.374.32 : 517.11

Beschreibung eines neuen Systems «schneller» Stromkreise für Forschungsarbeiten in der Physik der Elementarteilchen, unter Verwendung von 75-Ω-Kabeln, Transistoren, hoher Eingangs- und Ausgangs-Impedanzen, welches erlaubt, sämtliche logischen Operationen auf genormten Signalen, mit einer Auflösungsdauer von 2 ns, bei einer Amplitude der Signale von $-0,7$ V auszuführen. Maximale Dauer eines logischen Zustandes unbegrenzt. Wenn die Dauer ≥ 4 ns beträgt, genügt eine Amplitude von $-0,5$ V, um die Eingänge zu betätigen, und um mindestens $-1,0$ V (auf 75 Ω) oder $-0,5$ V (auf 2×75 Ω parallel) bei den Ausgängen zu erlangen. Dank der Eigenschaft einer hohen Eingangsimpedanz können längs einer Leitung von 75 Ω mehrere Eingänge in Kaskade geschaltet werden.

Eine wichtige Eigenschaft dieses Systems ist die Verwendung von gleichartigen Eingangs- (pnp-Paaren) und Ausgangs-Stromkreisen (npn-Paaren) in allen Einheiten, was die Konstruktion, die Kontrolle und den Unterhalt erleichtert.

Die Leistungen einiger nach diesen Prinzipien ($3 \times$ Gleichzeitigkeit — nicht Gleichzeitigkeit, 4 Eingänge und 3 Ausgänge, Multivibrator, Zeitumformer, Linearverstärker mit zwei umschaltbaren Kanälen, Impulsnormer für Photoröhren) hergestellter Module werden kurz besprochen.

Für die in Zusammenarbeit mit dem CERN geplanten Experimente über Nukleon-Nukleonstreuung, wobei das CERN den Protonenstrahl und unser Institut für Nuklearphysik der Universität Genf die Teilchendetektoren beitragen soll, benötigt man eine Serie schneller Impulsschaltungen, deren hauptsächlichste Funktionen den Physikern traditionell unter den Namen Limiter, Clipper, Adder (oft auch als «Fan-In» bezeichnet), Splitter (bzw. «Fan-Out»), Coincidence/Anticoincidence Mixer, Trigger (bzw. «One-shot»), Scaler usw. geläufig sind.

Datenverarbeitungsingenieure verwenden teilweise ganz ähnliche Schaltungen, nur heissen sie dort anders, «Or-Gate», «And-Gate», «Nand-Gate», «Flipflop» usw.

Nachdem wir uns am Universitätsinstitut zunächst bei den grossen Hochenergiephysik-Laboratorien (CERN, Brookhaven, Berkeley, DESY) über die dort in Gebrauch stehenden Geräte orientiert hatten, erlagen wir der unvermeidlichen Versuchung, für unser Institut ein eigenes System zu entwickeln, das möglichst viele Vorteile der verschiedenen bekannten Systeme in sich vereinigen sollte, wobei auch die Kostenfrage eine nicht unwesentliche Rolle spielte (z. B. in der Entscheidung, ob als häufigstes aktives Element Transistoren oder Tunneldioden vorzuziehen seien). Die im folgenden aufgezählten Gesichtspunkte bildeten eine Art «Pflichtenheft» für den Aufbau eines unseren Bedürfnissen und Möglichkeiten angemessenen Systems schneller Impulsgeräte:

1. 125-Ω-Kabel und -Stecker (Berkeley, CERN) fanden wir zu unhandlich; andererseits geben die Photoröhren und

Nouveau système de circuits rapides, pour recherche en physique des particules élémentaires, utilisant des câbles 75 Ω, des transistors pas trop chers, haute impédance aux entrées et sorties. Permet toutes opérations logiques sur signaux standardisés, résolution 2 ns si l'amplitude des signaux est fixée à $-0,7$ V. Durée maximum d'un état logique non limitée. Amplitude de $-0,5$ V suffit, si durée est ≥ 4 ns, pour commander les entrées et obtenir au moins $-1,0$ V (sur 75 Ω) ou $-0,5$ V (sur 2×75 Ω en parallèle) aux sorties. Grâce à la propriété de haute impédance des entrées, plusieurs entrées peuvent être mises en cascade le long d'une ligne de 75 Ω.

Une caractéristique importante de ce système est l'utilisation de circuits d'entrée identiques (paire de pnp's) et de circuits de sortie identiques (paire de npn's) dans toutes les unités, ce qui facilite construction, vérification et entretien.

La performance de quelques modules construits selon ces principes ($3 \times$ coïncidence-anticoïncidence, éventail 4 entrées — 3 sorties, flipflop, convertisseur de temps, amplificateur linéaire à 2 canaux commutables, pulse standardizer pour phototubes), est brièvement discutée.

die verfügbaren schnellen Transistoren an ein niederohmiges Kabel auch nur eine entsprechend kleine Signalleistung ab (Brookhaven: 50 Ω, 250 mV Standardamplitude). Wir halten uns deshalb an die vom DESY angenommene 75-Ω-Norm unter Verwendung von BNC-Steckern. Kürzlich wurde am DESY beschlossen, auf 50 Ω überzugehen, um bei allfälligen Produktionsschwierigkeiten die eigenen Modelle unverzüglich durch kommerzielle Geräte amerikanischer Herkunft ersetzen zu können.

2. Um Transistoren zuverlässig schalten zu können, soll die verfügbare Signalamplitude überall mindestens 0,5 V betragen. Als Ausgangsstufen sind Stromquellen von ≥ 13 mA zu verwenden, so dass sich in einer 75-Ω-Last Signale von ≥ 1 V, oder aber $\geq 0,5$ V in 2 parallel angeschlossenen 75-Ω-Lasten erzeugen lassen.

3. Alle Eingangsschaltungen sollen hochohmig sein, so dass ein ankommendes Signal nach dem Durchgang möglichst unverzerrt zu einem anderen Gerät weitergeleitet werden kann.

4. Mit zu erschwinglichem Preis erhältlichen Transistoren sollen Umschaltzeiten von ≤ 2 ns in beiden Richtungen erreicht werden.

5. Konsequente Anwendung von Gleichstromkoppelung soll die logischen Funktionen zeitunabhängig machen. Es ist sehr erwünscht, dass bei der praktischen Anwendung keinerlei Komplikationen durch niederfrequente Begrenzungen auftreten können.

Zwei weitere Punkte liegen vor allem im Interesse der Verkürzung des Arbeitsaufwandes für Entwicklung, Kon-