**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 64 (1973)

**Heft:** 3

**Artikel:** Eine fahrbare Stossanlage für die Prüfung von gekapselten SF6-isolierten Schaltanlagen

**Autor:** Brändlin, F. / Feser, K. / Sutter, H.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-915509

**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:** 29.12.2025

**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)

## Eine fahrbare Stossanlage für die Prüfung von gekapselten $SF_6$-isolierten Schaltanlagen

Von *F. Brändlin, K. Feser* und *H. Sutter*

621.315.618.9 : 621.316.3 : 621.317.333.8

*Für die Prüfung von $SF_6$-isolierten Schaltanlagen am Aufstellungsort wurde eine vollkommen metallgekapselte, $SF_6$-isolierte Stossanlage entwickelt. Nach einer Zusammenstellung verschieden möglicher Prüfverfahren wird auf die Stossprüfung von $SF_6$-isolierten Anlagen näher eingegangen. Da die negative Blitzstoßspannung die kritischste Beanspruchungsart für $SF_6$-isolierte Schaltanlagen darstellt [8][1]), ist die Prüfung mit dieser Spannungsbeanspruchung naheliegend. Zu diesem Zweck wurde eine $SF_6$-isolierte Stossanlage konzipiert, die im weiteren eingehend beschrieben wird. Die in der Marxschen Vervielfachungsschaltung aufgebaute Stossanlage für 1,4 MV und 21 kWs im vollgeladenen Zustand besteht aus 7 Stufen mit je 200-kV-Stufenspannung und ist für die Prüfung von $SF_6$-isolierten Schaltanlagen bis zu einer Reihenspannung von 245 kV dimensioniert. Verschiedene Gasvolumen ergeben eine hohe Flexibilität der Anlage. Das geringe Transportgewicht und die kleinen Aussenabmessungen der Stossanlage erlauben, die gesamte Stossanlage fertig montiert auf einem Tieflader zu transportieren. Weitere Anwendungsmöglichkeiten für diesen Generatortyp werden diskutiert.*

*Pour l'essai sur place de postes de couplage isolés au $SF_6$, une installation de choc entièrement blindée et isolée au $SF_6$ a été construite. Après l'indication des différentes possibilités d'essais, on s'occupe plus particulièrement de l'essai sous tension de choc de ces postes. La tension de choc de foudre négative représentant le mode de sollicitation critique pour des postes de couplage isolés au $SF_6$ [8][1]), il convenait de l'appliquer. L'installation de choc conçue dans ce but est décrite en détail. Prévue pour 1,4 MV et 21 kWs en montage multiplicateur de Marx, elle comporte 7 étages de 200 kV chacun et est dimensionnée pour l'essai de postes jusqu'à une tension en série de 245 kV. Différents volumes de gaz confèrent une très grande souplesse à cette installation. Son faible poids et ses dimensions réduites permettent de placer toute l'installation en ordre de marche sur une rémorque surbaissée. D'autres possibilités d'emplois de ce type de générateur sont également examinées.*

### 1. Einleitung

Die Entwicklung der Energieübertragung wird von der seit den dreissiger Jahren zu beobachtenden Verdoppelung des Bedarfes an elektrischer Energie innerhalb von zehn Jahren in allen Industrieländern der Welt geprägt. In den letzten Jahren hat sich dabei gezeigt, dass der Energietransport zum Verbraucher nur noch sinnvoll, das heisst wirtschaftlich beherrscht werden kann, wenn die Verteilspannung zum Verbraucher auf bis zu 110 kV Reihenspannung heraufgesetzt wird. Dies wiederum hat zur Folge, dass in den dicht besiedelten Verbraucherschwerpunkten Schaltanlagen installiert werden müssen, die einen erheblichen Raumbedarf haben, falls diese als Freiluftanlagen oder aber auch als Innenraumanlage mit Luftisolation ausgeführt werden.

Diese Tatsachen haben dazu geführt, dass in den letzten Jahren sich ein eindeutiger Übergang von den offenen Schaltanlagen zu den gekapselten, $SF_6$-isolierten Schaltanlagen abzeichnet. Der grosse Vorteil dieser Anlagen liegt in der Reduktion des erforderlichen Raumbedarfes auf 10 % des bisherigen Volumens [2;6], auf die grössere Betriebssicherheit dieser Anlagen durch die vollständige Metallkapselung und auf die Unabhängigkeit der Anlagen von atmosphärischen Verschmutzungen und sonstigen Ausseneinflüssen (Feuchtigkeit). Zu beachten ist sicherlich auch, dass sich mit diesen Anlagen einige Fragen des Umweltschutzes, wie zum Beispiel Vermeiden von Hochfrequenzstörungen oder Geräuscharmut leichter realisieren lassen.

Diese Entwicklung der Energietechnik – die erste $SF_6$-isolierte Anlage für 110 kV wurde in Deutschland bereits 1965 installiert [1], die erste 170-kV-Anlage in der Schweiz 1969 [2] – beeinflusst direkt die Entwicklung der Prüftechnik, deren Aufgabe darin besteht, die volle Funktionsfähigkeit des Prüflings gegenüber allen im Betrieb auftretenden Beanspruchungen mit einer gewissen statistischen Sicherheit nachzuweisen.

Heute werden bereits $SF_6$-isolierte Anlagen für 525 kV Reihenspannung geprüft [2] und Studien für Anlagen bis 1300 kV Reihenspannung durchgeführt [7].

Aus den bisherigen Betriebserfahrungen zeigt sich, dass für die $SF_6$-isolierten Schaltanlagen besondere Montagebedingungen zu erfüllen sind, da die elektrische Festigkeit der auf Entladungsfreiheit konstruierten Anlagen durch eine eventuelle Verschmutzung während der Montage erheblich herabgesetzt werden kann [8].

Die Prüfung dieser $SF_6$-isolierten Schaltanlagen erfolgt beim Hersteller mit der bisherigen Prüftechnik und den genormten Prüfspannungen, das heisst mit Wechselspannungen, 50 Hz, und Stoßspannungen 1,2|50 [6].

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Die Anlagen werden nach der Werkprüfung demontiert und am Einsatzort wieder aufgestellt. Infolge der erwähnten Empfindlichkeit der $SF_6$-isolierten Anlagenteile gegenüber jeglicher Verschmutzung ist dann logischerweise eine weitere Prüfung nach der Montage der Anlage am Aufstellungsort erforderlich [9].

Für diese Prüfung der $SF_6$-isolierten Anlagen am Aufstellungsort sind momentan mehrere Methoden im Gespräch, wobei zwei Probleme – die Spannungserzeugung und die Fehlerindikation – zu lösen sind.

## 2. Prüfverfahren

Infolge der hohen Prüflingskapazität der Schaltanlagen ($2\ nF \leqq C \leqq 40\ nF$) ist eine Prüfung mit Wechselspannung, 50 Hz, infolge des hohen Blindleistungsbedarfes nur mit einem erheblichen Aufwand möglich. Auch eine Prüfung mit Blitzstoßspannungen ist bisher in den wenigsten Fällen angewendet worden, da keine geeigneten fahrbaren Stossanlagen zur Verfügung standen. Beide Spannungsarten stellen die bisher genormten internationalen Prüfspannungen dar, über welche die meisten Ergebnisse und Prüfverfahren vorliegen. Es ist deshalb naheliegend, nach Möglichkeiten zu suchen, diese Prüfspannungen auch am Aufstellungsort mit vertretbarem Aufwand erzeugen zu können oder, falls dies physikalisch zulässig ist, durch Prüfmethoden zu ersetzen, die eine vergleichbare Aussage erlauben. Dies ist zulässig, da die Werkprüfung an Einzelteilen oder an der gesamten Anlage bereits die Isolationsfestigkeit der Bauteile gegenüber allen Prüfspannungen ergeben hat. Die zusätzliche Prüfung am Aufstellungsort soll nur nachweisen, dass durch den Transport und die Montage keine Verminderung der notwendigen Isolationsfestigkeit aufgetreten ist.

Als Prüfspannung für die Prüfung der gesamten Schaltanlage oder für Teile der Anlage am Aufstellungsort sind folgende Spannungsarten im Gespräch:

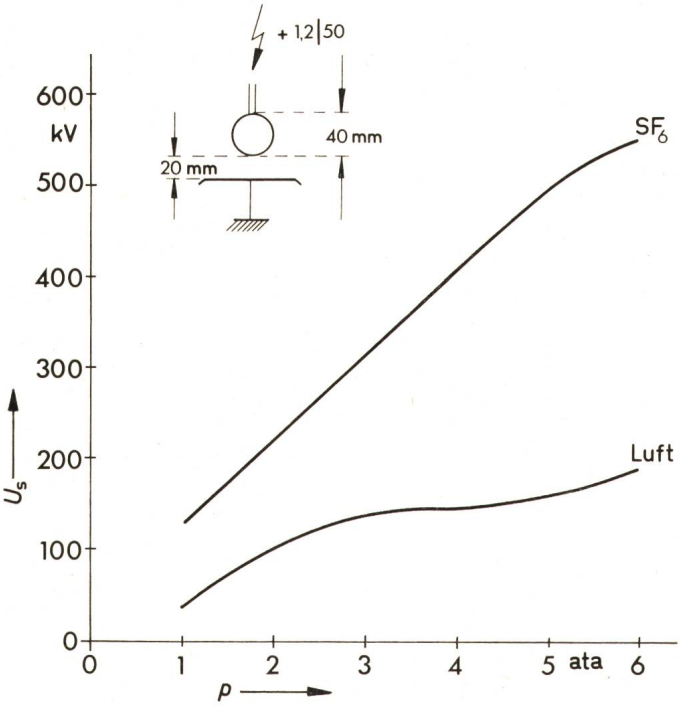



Fig. 1
**Elektrische Festigkeit von Luft und $SF_6$ [3]**
$p$ Druck; $U_s$ Steh-Stoßspannung

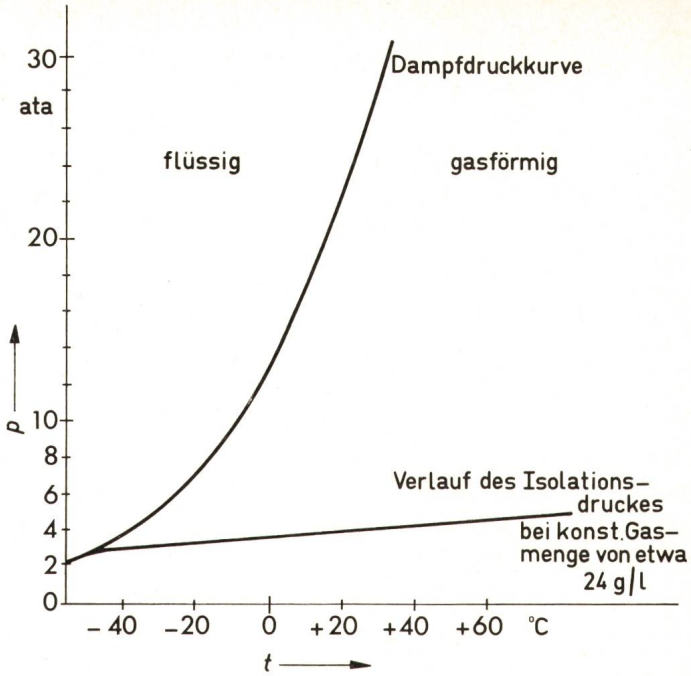



Fig. 2
**$SF_6$-Druck in Abhängigkeit von der Temperatur**
$t$ Temperatur; $p$ Druck

a) Gleichspannung, positiver oder negativer Polarität;
b) Alternierende Gleichspannung bestimmter Spannungsform;
c) Wechselspannung, 50 Hz;
d) Wechselspannung erniedrigter Frequenz (0,1...0,5 Hz) oder erhöhter Frequenz (Resonanz).
e) Unipolare Stoßspannungen bestimmter Impulsform, positiv oder negativ.

Welche Prüfspannung sich für die Prüfung der $SF_6$-isolierten Schaltanlagen nach der Montage am Aufstellungsort am besten eignet, hängt eng mit der Möglichkeit der erfolgreichen Fehlerindikation zusammen.

Hier sind vor allem zwei Methoden zu erwähnen:

a) Die Indikation könnte bei Wechselspannung über die Teilentladungsmessung erfolgen, wobei über eine Durchführung angekoppelt wird;
b) Bei unipolaren Impulsen könnte eine Fehlerindikation über Stromvergleichsoszillogramme erfolgen, wobei die Shunts bei der Konstruktion der Anlagen mit eingeplant werden müssten.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann nicht gesagt werden, welche Methode der Fehlerindikation erfolgreich ist, so dass alle Möglichkeiten, evtl. auch völlig neue Prüf- und Messverfahren, in die Untersuchungen einzubeziehen sind.

Aufgabe des vorliegenden Beitrages ist es, auf einem Detailgebiet, der Erzeugung von unipolaren Impulsen in einem gekapselten System, einen möglichen Lösungsweg aufzuzeigen. Im folgenden wird ein Stossgenerator beschrieben, der speziell für die Prüfung von metallgekapselten, $SF_6$-isolierten Schaltanlagen am Aufstellungsort konstruiert wurde.

## 3. Konstruktiver Aufbau

Bei der Konstruktion eines Stossgenerators für die Prüfung von metallgekapselten, $SF_6$-isolierten Schaltanlagen am Aufstellungsort sind folgende Grundanforderungen zu beachten:

a) Erzeugung einer Blitzstoßspannung wählbarer Spannungshöhe (bis zur maximal gewünschten Spannung) und mit wählbarer Polarität.
b) Möglichkeit der Spannungsmessung.

c) Möglichkeit der Anpassung der Impulsform an die Belastung.
d) Leichte Möglichkeit der Verbindungen zum Prüfling.
e) Minimale Aussenabmessungen, geringes Gewicht.
f) Minimale Abstände zu geerdeten Teilen.
g) Transportmöglichkeit im fertig montierten Zustand.

Um diese Grundanforderungen erfüllen zu können, wurde der Stossgenerator in einen metallischen, geerdeten Druckbehälter, der mit Isoliergas gefüllt werden kann, eingebaut. Durch diese Massnahme konnten die Bedingungen e, f und g erfüllt werden.

Die Bedingungen a und d sind durch die Unterteilung des gesamten Gasraumes in vier voneinander unabhängige Gasvolumen realisiert, während die Bedingung b und teilweise auch d mit einer Durchführung, die die Spannung vom Spannungserzeuger zum Prüfling leitet und eine Messanzapfung besitzt, gelöst wurde. Die Bedingung c konnte durch die automatische Einstellung von zwei Widerstandswerten erreicht werden.

Im einzelnen führten folgende Überlegungen zu der vorliegenden Konzeption:

### *3.1 Gassysteme*

Die dielektrische Festigkeit von Isolierstrecken ist von der Gasart und vom Gasdruck wesentlich abhängig. Um die aktiven Teile des Generators möglichst klein bauen zu können, wird dieser Teil unter Druckgas gesetzt, wobei in diesem Anwendungsfall es naheliegend war, als Isoliergas ebenfalls $SF_6$ zu verwenden, da es auch bei den Prüflingen verwendet wird und deshalb erstens eine leichte Verbindung direkt in $SF_6$-Atmosphäre möglich ist und zweitens auf allen Baustellen $SF_6$ vorhanden sein wird. Die elektrische Durchschlagfestigkeit von $SF_6$ ist wie bei allen Gasen von der Elektrodenform und der Art der Spannungsbeanspruchung abhängig.

Um eine ausreichende Festigkeit zu erreichen und um möglichst wenig Zersetzungsprodukte zu erhalten, ist es dabei notwendig, die Anlagenteile auf Vorentladungsfreiheit zu konstruieren. Mit $SF_6$ als Isoliermedium kann im schwach inhomogenen Feld mit einer Erhöhung der Durchschlagspannung bei atmosphärischem Normaldruck um das Zwei- bis Dreifache gegenüber derjenigen von Luft gerechnet werden. Bei zusätzlicher Verwendung eines Druckes von 4 ata kann eine Steigerung der Festigkeit um das 10fache erzielt werden [3] (Fig. 1).

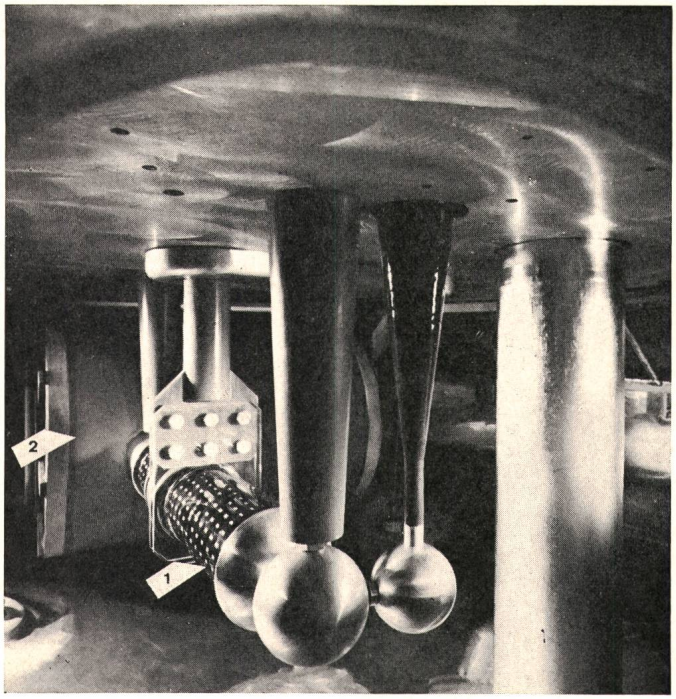



Fig. 4
**Ladeeinrichtung unter dem Montagetisch**
*1* Hochspannungsventil
*2* Hochspannungstransformator

Neben den ausgezeichneten dielektrischen Eigenschaften von $SF_6$ ist es ausserdem nicht entflammbar und ungiftig und, falls keine Vorentladungen auftreten, ist auch keine Alterung der inneren Isolation, das heisst des Gases, durch die Einwirkung von zersetzenden Schwefelhexafluoid zu befürchten. Der Gasdruck von 4 ata bei 20 °C wurde so gewählt, dass bei –40 °C noch keine Verflüssigung des Gases auftritt, da die Verflüssigung zu einer geringeren Festigkeit führen würde [4]. Für den Transport werden die Drücke in dem Gasvolumen auf 1 ata reduziert und am neuen Prüfort muss dann wieder der Betriebsdruck von 4 ata bei 20 °C hergestellt werden. Um diese Arbeiten ausführen zu können, ist eine Vakuumpumpe und ein Kompressor für etwa 30 atü nötig, damit das $SF_6$-Gas während des Transports verflüssigt werden kann und somit ein kleines Volumen einnimmt (Fig. 2).

Insgesamt sind vier verschiedene vollkommen getrennte Gasvolumen, jedes mit eigenem Hahn und Überdruckventil vorhanden (Fig. 3). Die verschiedenen Volumen sind notwendig, um die gestellten Anforderungen zu erfüllen. Der aktive Teil des Generators ist mit $SF_6$-Gas von 4 ata ständig gefüllt. In dieses Volumen ragt das Funkenstreckenrohr, das ein eigenes Gasvolumen benötigt, da die Spannungshöhe durch die Variation des Druckes im Funkenstreckenrohr variiert wird. Als Gas im Funkenstreckenrohr wurde Druckluft verwendet, da $SF_6$ Zersetzungsprodukte erzeugen würde, die mit Feuchtigkeit zusammen zu Korrosion Anlass geben und ausserdem die statische Ansprechspannung bei $SF_6$ infolge der Lichtbogenfusspunkte nicht stabil bleibt [8]. Die beiden weiteren Gasvolumen sind wieder mit $SF_6$-Gas gefüllt und erlauben, die Volumina auf beiden Seiten der Durchführung einzeln im Druck einzustellen (Fig. 9). Da

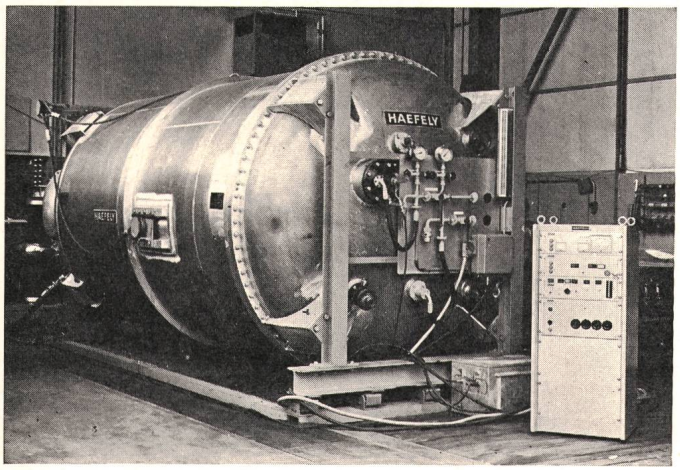



Fig. 3
**Gasdrucküberwachung des Hauptbehälters und der Schaltfunkenstrecke des Stossgenerators**

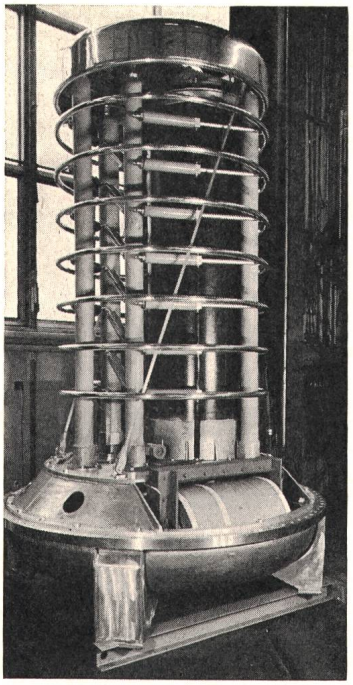


Fig. 5
**Stoßspannungsgenerator 1,4 MV, 21 kWs**

metallgekapselte, $SF_6$-isolierte Anlagen einen Druck von 0,5 bis 3,5 atü, je nach Spannungsreihe aufweisen können [4], ist es möglich, den Gasdruck in dem Volumen um die Durchführung der Anlage anzupassen und damit den Stossgenerator direkt an eine Schaltanlage anzuflanschen.

### *3.2 Ladeeinrichtung*

Bei der Ladeeinrichtung steht man vor der Wahl, sie ausserhalb des Druckbehälters anzuordnen und die Hochspannung mit einem Hochspannungskabel in den Druckbehälter zu führen oder sie im Druckbehälter anzuordnen. Aus Gründen der grösseren Beweglichkeit und um eine kompaktere Anlage zu erhalten, wurde die zweite Möglichkeit gewählt. Der Hochspannungstransformator ist ein Trockentransformator (Fig. 4) mit den Dimensionen eines Öltransformators. Das Hochspannungsventil musste in einem Plexiglaszylinder unter Öl montiert werden, weil die Gaskühlung für ein Hochspannungsselenventil nicht ausreicht. Der Plexiglaszylinder ist in der Mitte von einer drehbar gelagerten Isolierwelle gehalten, welche mit einem Motor gekuppelt ist. Dieser Motor ermöglicht, die gewünschte Polarität von der Kommandoeinheit einzustellen, auf welche sie auch signalisiert wird. Die gesamte Ladeeinrichtung befindet sich unter dem Montagetisch (Fig. 4).

### *3.3 7stufiger Stossgenerator*

Als Grundschaltung für die Erzeugung der unipolaren Impulse wurde die bekannte Marxsche Vervielfachungsschaltung gewählt [5]. Die Summenladespannung von 1400 kV wird mit 7 Stufen à 200 kV erhalten. Im vollgeladenen Zustand hat der Generator eine Energie von 21 kWs. Die Stosskondensatoren wurden in einem gemeinsam mit Öl gefüllten Isolierzylinder aus glasfaserverstärktem Epoxyharz untergebracht, das heisst es wurde die bekannte Säulenbauweise angewendet. Dies war in diesem Anwendungsfalle naheliegend, da eine spätere Erweiterung für eine Drucktankanlage nicht zur Diskussion steht und ausserdem sich eine zylindrische Kondensatorkonstruktion sehr gut in die Gesamtkonstruktion einpassen lässt. Die weiteren Schaltelemente (Ladewiderstände, Entlade- und Seriewiderstände) sind um den Kondensatorzylinder innerhalb der Potentialringe, die teilweise als Verbindungselemente verwendet werden, angebracht (Fig. 5).

In Fig. 6 ist das elektrische Schaltbild des 7stufigen Stossgenerators wiedergegeben. Als besondere Eigenart dieser Anlage erkennt man die Aufladung der Stosskondensatoren und die Anordnung der Funkenstrecken. Diese Anordnung wurde aus konstruktiven Überlegungen gewählt. Die Kondensatoren werden dabei positiv aufgeladen, falls eine negative Stoßspannung an den Ausgangsklemmen gewünscht wird.

Eine zweite Besonderheit ist die automatische Zuschaltung von einem zweiten Seriewiderstand, um einen bestimmten Belastungsbereich normgerecht stossen zu können. Diese Umschaltung erfolgt von aussen, so dass der Drucktank nicht geöffnet werden muss.

Diese aktiven Elemente der Stossanlage bestimmen die Hauptabmessungen des Druckbehälters, der aus einer Alu-Legierung besteht, um das Transportgewicht möglichst klein zu halten. Um die Apparate vor den Transportschlägen zu

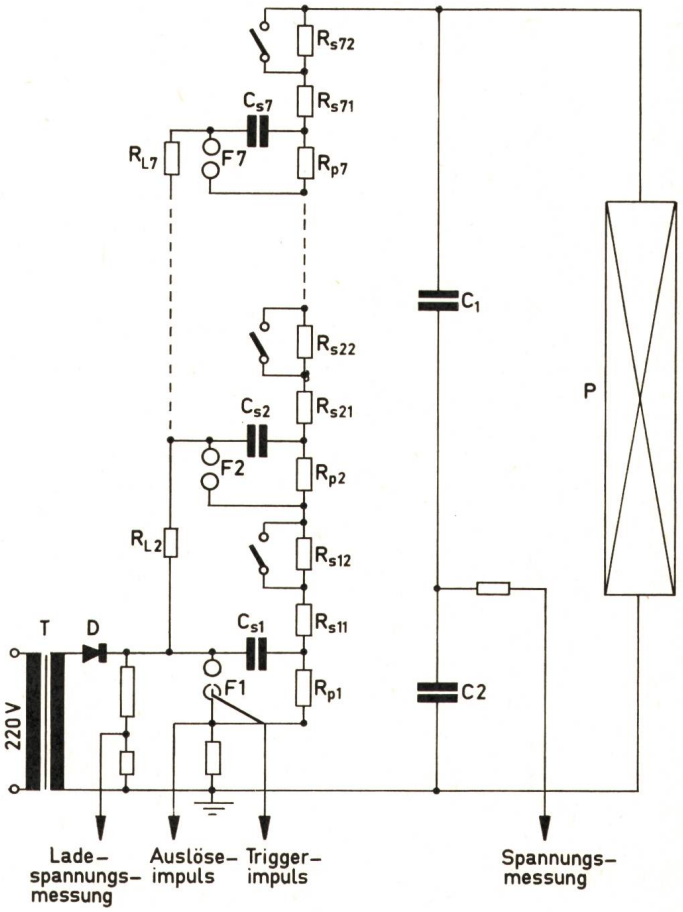



Fig. 6
**Elektrisches Ersatzschaltbild des Stossgenerators**

| | |
|---|---|
| $T$ | Hochspannungstransformator |
| $D$ | Diode |
| $P$ | Prüfling |
| $F1...F7$ | Schaltfunkenstrecken |
| $C_{s1}...C_{s7}$ | Stosskapazitäten pro Stufe |
| $R_{L2}...R_{L7}$ | Ladewiderstände pro Stufe |
| $R_{p1}...R_{p7}$ | Parallelwiderstand pro Stufe |
| $R_{s11}...R_{s71}$ | fest eingebaute Seriewiderstände pro Stufe |
| $R_{s12}...R_{s72}$ | zuschaltbare Seriewiderstände pro Stufe |
| $C_1$ | Kapazität der Durchführung für die Spannungsmessung |
| $C_2$ | Sekundärkapazität des Spannungsteilers |

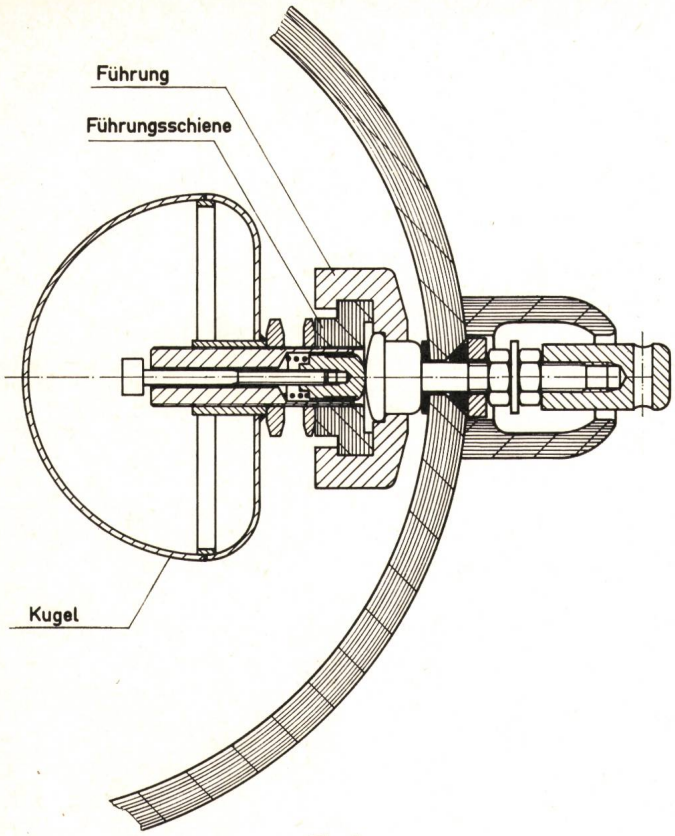



Fig. 7
**Verbindungsstelle von Funkenstrecke—Federkontakt—Funkenstreckrohr**
Skizze

schützen, wurden Gummifederelemente als Verbindungsglieder zwischen den vertikalen und horizontalen Trägern angebracht.

### *3.4 Funkenstrecken*

In einem eigenen Druckbehälter aus Isoliermaterial, der in den Drucktank hineinragt und über Federkontakte die elektrischen Verbindungen herstellt (Fig. 7), wurden die Funkenstrecken eingebaut. Die gewünschte Spannungshöhe kann durch die Veränderung des Gasdruckes im Funkenstreckenbehälter eingestellt werden. Diese Wahl der Einstellung der Spannungshöhe hat bei dieser Anwendung gegenüber einer mechanischen Verstellung des Funkenstreckenabstandes den Vorteil, dass alle beweglichen Teile, welche platzraubend sind und Unterhalt erfordern, entfallen. Der eigene Funkenstreckenbehälter wurde gewählt, um nur in einem kleinen Volumen eine Druckänderung durchführen zu müssen und um keine Verbrennungsprodukte im Drucktank zu erhalten. Ausserdem unterliegen die Funkenstrecken einer gewissen Wartung, so dass es günstig ist, falls das Funkenstreckenrohr von aussen zugänglich ist, und die Arbeiten ausgeführt werden können, ohne den Drucktank öffnen zu müssen. Ein weiterer Vorteil des getrennten Rohres liegt darin, dass man dadurch mit dem Druck im Stossgenerator frei ist und diesen Druck so wählen kann, dass auf keinen Fall ein Durchschlag im Stossgenerator erfolgt. Ein weiterer Vorteil des getrennten Funkenstreckenbehälters ist die freie Auswahl des Gases für das Durchzündverhalten. Die Auslösung des Generators erfolgt durch die bekannte Quertriggerung in der ersten Funkenstrecke. Die übrigen Funkenstrecken zünden durch die vom Durchzünden der vorherigen Funkenstrecken auftretenden natürlichen Überspannungen. Bis zu einem maximalen Druck von 3 ata im Funkenstreckenrohr konnte ein Triggerbereich von 20 % erreicht werden.

### *3.5 Hochspannungsanschluss*

Die erzeugte Blitzstoßspannung wird mit einer Hochspannungsdurchführung (Fig. 8) vom eigentlichen Stoßspannungsgeneratorvolumen zum Prüfling geführt. Für eine leichte und vielseitige Anschlussmöglichkeit am Prüfling wurde ein Anschlussbehälter (Fig. 9) konstruiert, welcher zwei Anschlussöffnungen aufweist. Zudem hat der Fussflansch keine feste Position und kann um beliebige Teilungen der Befestigungsschrauben verdreht werden, wodurch die Anschlussbedingungen erfüllt sind. Diese universelle Anschlussmöglichkeit wird noch dadurch unterstrichen, dass der Generator in jeder Lage betriebsbereit ist (Fig. 10 a). Er kann sowohl stehend, hängend, liegend als auch auf den Kopf, das heisst je nach den örtlichen Platzverhältnissen, aufgestellt werden. Die Gasvolumen links und rechts der Durchführung sind einzeln im Druck regulierbar und sind auch vom Stoßspannungsgeneratorvolumen getrennt. Dadurch können Prüfanordnungen unter verschiedenen Druckverhältnissen geprüft werden, ohne die Isolationsfestigkeit des Generators zu verändern. Der Vorteil dieses direkten Anschliessens an die $SF_6$-isolierte Schaltanlage liegt darin, dass die Spannung nirgends offen geführt werden muss, das heisst, dass eine absolut berührungssichere Stossprüfung möglich ist. Dadurch ist der Raumbedarf bei der Prüfung sehr gering. Der Nachteil dieser Verbindung ist, dass der Generator mit seinem Gewicht von ca. 5 t auf etwa 5 cm genau über ein flexibles Anpassungsstück an die gekapselte Schaltanlage herangeführt werden muss. Für diesen Zweck kann der komplette Generator an zwei Punkten aufgehängt werden. Dies kann aber bei manchen Innenanlagen aus Platzgründen nicht möglich sein. In diesem Fall könnte man eine flexible Kabelverbindung vom Generator zum Prüfling, evtl. als $SF_6$-Rohrleitung, ausführen.

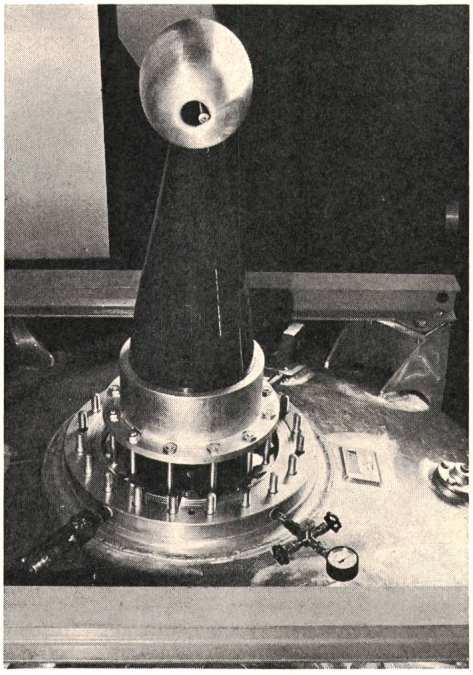


Fig. 8
**Abgedeckte Hochspannungsdurchführung**

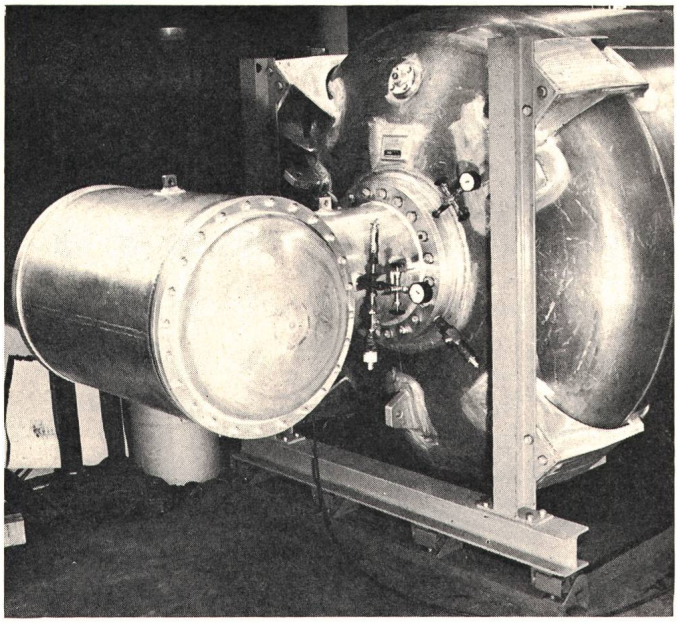


Fig. 9
**Hochspannungsanschlussbehälter mit Gasdruckkontrolleinrichtung für die Hochspannungsdurchführung**

eine Anstiegszeit von etwa 400 ns. Infolge der geringen Induktivität der Anlage ist das Überschwingen trotzdem vernachlässigbar.

### *3.7 Gesamtanlage*

Eine Hauptanforderung an die Konstruktion des Generators war die Bedingung, dass die Stossanlage in fertig montiertem Zustand transportabel sein muss. Wie Fig. 12 zeigt, kann der Generator, auf einen Tieflader montiert, transportiert werden. Während des Transports werden wegen einer eventuellen Unfallgefahr die Drücke in dem Gasvolumen auf 1 ata reduziert und am Prüfort muss das Volumen des aktiven Generators wieder auf 4 ata $SF_6$ aufgeladen werden. Die übrigen Volumina werden entsprechend den Prüfbedingungen eingestellt. Das Transportgewicht der gesamten Stossanlage beträgt nur 5 t.

Fig. 13 zeigt die Prüfung einer $SF_6$-gekapselten Schaltanlage (Reihenspannung 245 kV) mit einer negativen Stoßspannung von 900 kV. Die Ankoppelung an den Prüfling erfolgte in diesem Fall über Durchführungen.

Durch diese vollkommen gekapselte Konstruktion ist es möglich, mit geringstem Raumbedarf die Prüfung direkt in

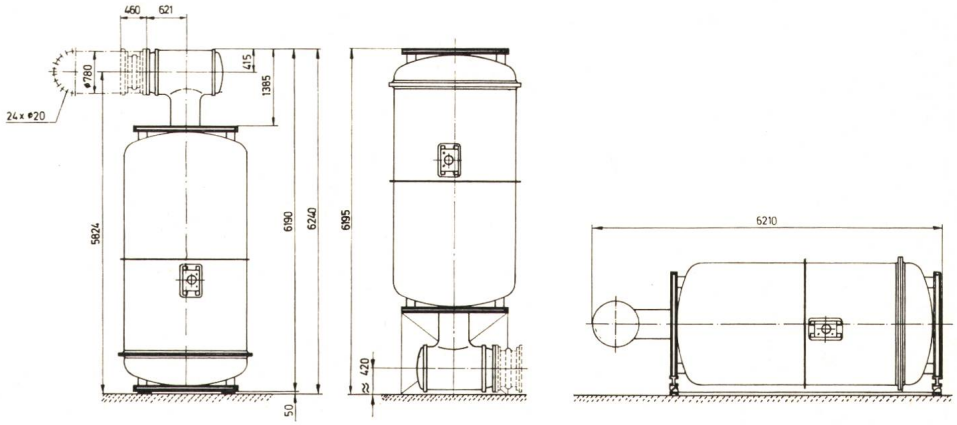
Als dritte Möglichkeit bietet sich bei genügend grossen Raumverhältnissen auch ein Anschluss in Luft über Durchführungen am Generator und am Prüfling an. Diese Anschlussmöglichkeit wurde auch bei dem vorliegenden Generator gewählt (Fig. 10 b), was vor allem den grossen Vorteil hat, dass nacheinander, ohne Verstellen des Generators, zum Beispiel die drei Phasen einer Anlage durch einfaches Umhängen der Verbindungsleitung geprüft werden können.

### *3.6 Spannungsmessung*

Die Durchführung, welche als gesteuerte Hartpapierdurchführung aufgebaut ist, hat noch zwei weitere Funktionen. Sie bildet die kapazitive Grundlast bei Leerlaufversuchen und wird zugleich noch als Primärkapazität für einen kapazitiven Stoßspannungsteiler verwendet. Der bei 10 kV herausgeführte Messbelag wird über einen weiteren, extern angeordneten Spannungsteiler auf für die Messung übliche Werte von etwa 1 kV heruntergeteilt.

Fig. 11 zeigt eine Impulsform des Generators im Leerlauf, gemessen mit der Durchführung als kapazitivem Spannungsteiler. Bei dieser geringen Belastung ergibt sich

a




b

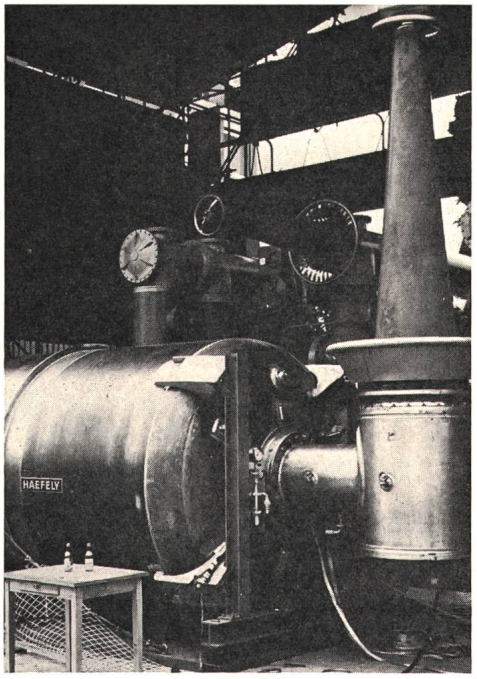



Fig. 10
**Anschlussmöglichkeiten des Generators an eine $SF_6$-isolierte Schaltanlage**

*a* direkte Anschlussmöglichkeiten an die $SF_6$-isolierte gekapselte Anlage

*b* Anschluss über Durchführungen in Luft

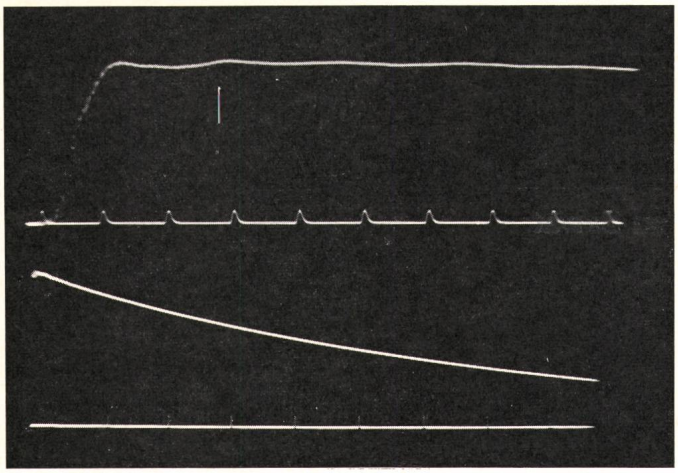


Fig. 11
**Stoßspannung des 1,4-MV-Stossgenerators im Leerlauf**
*a* 0,5 µs/Einheit
*b* 10 µs/Einheit

der Schaltanlage durchzuführen. Diese Stossanlage für 1400 kV hat ein Volumen von 20 m³; eine Stossanlage mit Luftisolation für die gleiche Prüfspannung würde einen Raumbedarf von etwa 300 m³, das heisst den 15fachen Raum einnehmen.

Um auch metallgekapselte, $SF_6$-isolierte Stossanlagen mit höherer Nennspannung mit negativen Stoßspannungen prüfen zu können, müsste man bei den dann zu erwartenden höheren Kapazitätswerten eine Prüfung mit einer negativen Stoßspannung mit etwas längeren Stirn- und Rückenzeiten zulassen. Eine Erhöhung des Wirkungsgrades der Stossanlage könnte man bei grossen Kapazitätswerten von 20...40 nF durch eine zusätzliche Induktivität im Prüfkreis erreichen, wobei dann aber die Impulsform einen schwingenden Verlauf nehmen würde.

## 4. Weitere Anwendungsmöglichkeiten

Infolge des geringen Raumbedarfes und der vollkommenen Kapselung bietet diese Stossanlage auch für weitere Anwendungsmöglichkeiten gewisse Vorteile. Für folgende Anwendungen scheint der Generator interessant:

a) Für Prüffelder mit geringem Platz;
b) Für Prüffelder mit sehr staubiger Atmosphäre;
c) Als berührungssichere Stossanlage;
d) Als Stossanlage mit kleiner Induktivität;
e) Als Freiluftstossgenerator;
f) Als Stossgenerator, der direkt an die Prüfobjekte angeflanscht werden kann;
g) Als fahrbarer Stossgenerator z. B. für Revisionsarbeiten;
h) Als Stossgenerator für die Kabelprüfung nach der Verlegung.

Fig. 12
**Stoßspannungsgenerator während des Transports**

## 5. Schlussbemerkungen

Die Prüfung von metallgekapselten, $SF_6$-isolierten Schaltanlagen am Aufstellungsort infolge der während der Montage möglichen Verschmutzungsgefahr ist ein Problem, das sowohl an die Spannungserzeugung wie auch an die Prüfmethode hohe Anforderungen stellt. In diesem Beitrag wird versucht, die möglichen Prüfmethoden zusammenzustellen. Da die Dimensionierung der metallgekapselten, $SF_6$-isolierten Schaltanlagen nach der negativen Blitzstoßspannung erfolgt, das heisst diese Spannung stellt die kritische Beanspruchungsart für die Isolierung dar, wird auch die Prüfung mit negativen Stoßspannungen diskutiert. In dem Beitrag wird eine Stossanlage beschrieben, die für diese Prüfung konstruiert wurde. Damit ist das Problem der Erzeugung der Prüfspannung am Aufstellungsort realisierbar. Welche Prüfmethode sich aber endgültig durchsetzt, werden erst die Ergebnisse der Prüfungen und weitere grundlegende Versuche zeigen können.

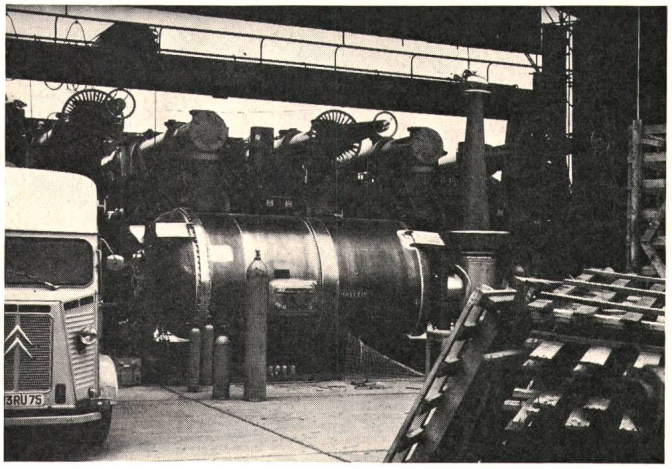


Fig. 13
**Prüfen einer $SF_6$-isolierten Schaltanlage mit negativen Blitzstoßspannungen von etwa 900 kV**

### Literatur


[1] *P. Brückner* und *H. Flöth:* Vollisolierte gekapselte Schaltanlagen für Reihe 110 mit sehr kleinem Raumbedarf. ETZ-A 86(1965)7, S. 198...204.

[2] *H. P. Szente-Varga:* Vollgekapselte Schaltanlagen mit $SF_6$-Isolation bis 525 kV. STZ 67(1971)24/25, S. 515...524.

[3] *H. Flöth:* Variationsmöglichkeiten in der Anwendung gasisolierter gekapselter 110-kV-Schaltanlagen. STZ 67(1971)24/25, S. 533...546.

[4] *W. Heise* und *H. Karrenbauer:* Vollisolierte Schaltanlagen für Betriebsspannungen von 110 bis 300 kV. STZ 67(1971)24/25, S. 560...564.

[5] *E. Marx:* Versuche über die Prüfung von Isolatoren mit Spannungsstössen. ETZ 45(1924)25, S. 652...654.

[6] *J. Vontobel:* Anwendung von Schwefelhexafluorid ($SF_6$) im Schaltanlagenbau für Hoch- und Höchstspannungen. Bull. SEV 62(1971)14, S. 676...682.

[7] *W. Boeck* et *H. Troger:* Appareillage blindé isolé au $SF_6$ pour ultrahaute tension. Rapport Cigré No. 23-08, 1972.

[8] *P. Hoegg, W. Schmidt* et *H. Strasser:* Conception de l'appareillage blindé, isolé au $SF_6$ pour atteindre une haute sureté de service. Rapport Cigré No. 23-10, 1972.

[9] *H. Troger* e. a.: Résumé de l'expérience internationale sur l'installation et l'exploitation des postes blindés. Rapport présenté au nom du comité d'études N° 23 (Postes) par le groupe de travail 23-03. Rapport Cigré N° 23-04, 1972.



**Adressen der Autoren:**
*F. Brändlin, K. Feser* und *H. Sutter,* Emil Haefely & Cie. AG, Lehenmattstrasse 353, Basel.