

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	76 (1985)
Heft:	23
Artikel:	Die Gefährdung der Spannungssicherheit von SF6-isolierten Apparaten durch Fremdteilchen : Teil II : Vorgänge an den Isolatoren : Schutzmassnahmen
Autor:	Gänger, B.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-904722

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: 26.01.2026

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

Die Gefährdung der Spannungssicherheit von SF₆-isolierten Apparaten durch Fremdteilchen

B. Gänger

Teil II: Vorgänge an den Isolatoren. Schutzmassnahmen

In der vorangegangenen Arbeit [1] wurde über die Verschlechterung des Isoliervermögens von SF₆-isolierten Geräten und Anlagen beim Vorhandensein von Unsauberkeiten einschliesslich diskreter kleiner Fremdkörper in der Gasfüllung des Kapselungsraumes berichtet. Im nachfolgenden wird nun das Verhalten der eingebauten Isolatoren unter solchen Bedingungen näher betrachtet, und die Massnahmen zur Abwehr der von den Fremdteilchen ausgehenden Gefahr werden besprochen.

Dans l'exposé précédent [1] il a été fait mention de l'affaiblissement du pouvoir isolant des appareils et installations isolés au SF₆ à pression élevée, dû à la présence de malproprietés, y compris de petits corps étrangers, dans le gaz remplissant l'enceinte blindée. Dans le présent exposé, le comportement, dans de telles conditions, des isolateurs incorporés est considéré plus en détail et les dispositions à prendre pour éviter le danger dû à des particules sont traitées.

1. Einleitung

Die Verwendung von verdichtetem SF₆-Gas als Isoliermittel in Hochspannungsapparaten und -anlagen bietet die bekannten Vorteile des sehr geringen Platzbedarfs der gesamten Anlage und weitestgehender Unempfindlichkeit gegenüber atmosphärischen Einflüssen und brachte damit einen entscheidenden Fortschritt in Bau und Betrieb der Hochspannungsverteil- und -unterstationen. In gleichartiger Weise werden auch, bei kürzeren Leitungsstrecken, sogenannte Rohrleitungen anstelle von Massekabeln in der neuen Technik ausgeführt.

Mit der vollen elektrischen Festigkeit des gasförmigen Isoliermediums kann allerdings nur unter günstigen Umständen, nämlich seiner völligen Freiheit von Verunreinigungen feinerer oder gröberer Art und einer untauligen Oberflächenbeschaffenheit der eingebauten Leiter und Isolatoren, gerechnet werden. Bereits spurenweise Zusätze etwa in Form von Pulver oder metallischem Abrieb oder gar Splittern können zu einer starken Einbusse an Spannungsfestigkeit führen. Im ersten Teil der Arbeit wurde zusammenfassend über die physikalische Verursachung und das Ausmass des Festigkeitsverlustes im freien Gasraum je nach den Randbedingungen berichtet, hier seien nun die neueren Erkenntnisse über die Vorgänge an den Isolatoren im Falle von deren Verschmutzung angeführt sowie ein Überblick über mögliche Abwehrmassnahmen zwecks Eliminierung beweglicher Störteilchen im Kapselungsraum zusammengestellt.

2. Anhaftan von Teilchen an dielektrischen Flächen

Im Gasraum werden kleine, freibleibende Teilchen, vorzugsweise sol-

che von metallischer Beschaffenheit, zur Gefahrenquelle, sobald das elektrische Feld an ihrem Ort eine Stärke von je nach den Gegebenheiten 0,5...1,0 kV/mm erreicht und sie dann von der Unterlage abgehoben, aufgestellt und zur Gegenelektrode hin beschleunigt werden. Bei einer groben Störung des elektrischen Feldes durch einen versehentlich weit vorragenden leitenden Körper wird es schon bei geringer Spannung zu einem Gasdurchschlag zwischen spannungsführenden Teilen kommen. Weit grössere Wahrscheinlichkeit kommt jedoch dem Fall zu, dass auf der Oberfläche eines den Hochspannungsleiter tragenden Isolators kleine Schmutzteilchen entweder schon vorhanden sind oder sich unter dem Einfluss der elektrostatischen Anziehung oder der Schwerkraft auf ihm absetzen, dies vor allem bei waagerechter Lage des Stützisolators (vertikaler Leiterführung). Eine Gefährdung der Betriebssicherheit ist damit aber nicht zwangsläufig verbunden.

Zwischen einem geladenen Teilchen und dem gegenüber befindlichen, durch Influenz polarisierten Dielektrikum wirkt eine anziehende Kraft. Im Gleichfeld ist überdies das feste Dielektrikum mittels der Konvektion von Ionen aus dem Gasraum an seiner Oberfläche und vermöge seiner Restleitfähigkeit vom Volumen her aufgeladen. Auch nach Aufhören der äusseren Erregung unterliegen dadurch in die Nähe geratene Schwebeteilchen, je nach Vorzeichen ihrer Ladung, einer abstossenden oder anziehenden Kraft, die sie über lange Zeit festhalten kann. Dadurch können sich Schmutzteilchen auf der Isolatorfläche ansammeln, möglicherweise gar zusammenhängen und grössere oder kleinere Bezirke der Oberfläche kurzschiessen. Auch vereinzelte diskrete Partikel können nach dem Abheben von der Unterlage beim Hin- und Herfliegen im Raum zwi-

Adresse des Autors

Dr. B. Gänger, Dufourstrasse 5, 5430 Wettingen.

schen den Elektroden und wegen ihres nicht immer senkrecht zur Auftrefffläche erfolgenden Rückstosses zufallsweise bis nahe zum Isolator gelangen und dort eingefangen werden. Weil aber bereits festsitzende Teilchen kaum Neigung zeigen, sich zu Stellen höherer Feldstärke zu begeben und hüpfende Teilchen sich in ihrer Mehrzahl nur wenig über die Unterlage erheben, sind solche Fremdteilchen auf dem Isolator eher in Nähe der Kapselungsseite zu erwarten.

Die wenigen Angaben in der einschlägigen Literatur über den Ort von Teilchen auf den dielektrischen Grenzflächen sind recht widersprüchlich. Im Hinblick auf die sehr unterschiedlichen Versuchsbedingungen mit ihren verschiedensten Isolatorformen und Einbaulagen und den jeweils zugrundeliegenden Verschmutzungsbedingungen sowie Spannungsbeanspruchungen von kurzer oder langer Dauer und Vorgeschichte kann dies kaum überraschen. So wird berichtet, dass sich leichte Teilchen von der Hochspannung weg hin zu Orten niedriger Feldstärke bewegen (Ionenwind?) [2], dass die leichteren und kleineren Partikel sich hauptsächlich in Leiternähe und die grösseren eher weiter aussen vorfinden [3], dies besonders bei waagerechter Einbaulage des untersuchten Schottungsisolators mit nach oben verlaufendem Konus (was wohl dem Einfluss der Schwerkraft zuzuschreiben ist), und überhaupt die waagerecht eingebauten Isolatoren generell verschmutzungsanfälliger seien [4].

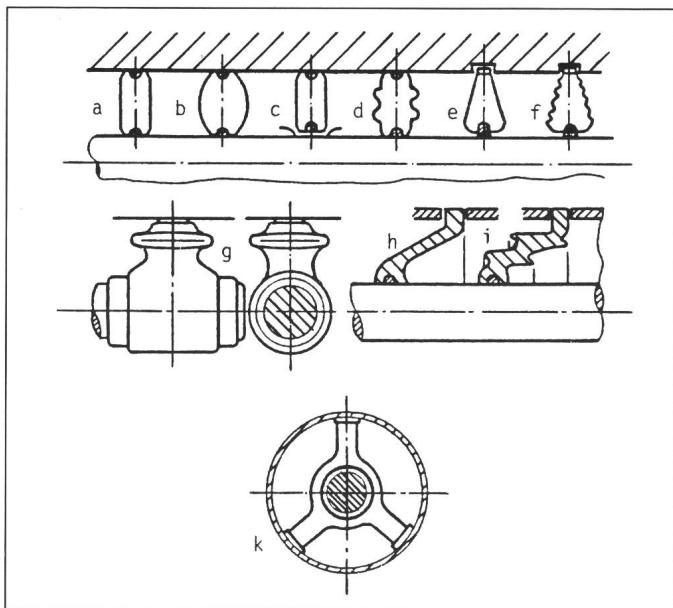
3. Die Isolatoren

Die Isolatoren für SF₆-Anlagen werden durchwegs aus warmhärtenden Epoxid-Kunstharzen mit zugemischten feingemahlenen Füllstoffen (Quarzsand oder Aluminiumsilikaten) gegossen. Bei mechanisch hochbeanspruchten rohrförmigen Teilen können zur Verstärkung auch Glasfasergelebe miteingegossen sein. Ausführungen unter Verwendung eines Giessharzes von wesentlich niedrigerer Dielektrizitätszahl konnten sich wegen gewisser Unzulänglichkeiten (unzureichende mechanische Festigkeit bei erhöhter Temperatur, Kriechwegverhalten) nicht durchsetzen.

Um den Kriechweg längs der Isolierfläche zwischen Hochspannungs- und Erdseite zu vergrössern und damit ähnlich wie bei Freiluftisolationen einer Verschlechterung des Betriebs-

Fig. 1
Formen von
Giessharzstützern

- a glatter Stützer
- b eiförmiger Stützer
- c gerader Stützer mit hochspannungsseitigen Schirmblechen
- d gerader Stützer mit Rippen
- e Scheibenstützer, glatt
- f Scheibenstützer, gewellt
- g Rippenstützer mit Durchsteckloch
- h Konusstützer, glatt
- i Konusstützer, gerippt
- k Dreibeinstützer



verhaltens durch Schutz vorzubeugen, gelangen bei manchen Herstellern auch Ausführungen mit vergrösserter Oberfläche zur Anwendung (Fig. 1). Dies geschieht durch Wellung oder Rippung oder Aufbringen von Schirmen oder auch durch konische Formgebung mit in Achsrichtung gegeneinander versetzten Fassungsstellen auf Leiter- und Kapselungsseite. Anstelle der Leiterabstützung mittels glattem oder ausgebauchtem Stabisolator (Fig. 1a) erlaubt die Verwendung des axial symmetrischen Scheibenstützers (Fig. 1e, 1f) oder des Konusstützers (Fig. 1h, 1i) die gasdichte Abschottung von Anlageteilen und dazu noch die Beherrschung höherer Umbruch- und Kurzschlusskräfte. Letzteres gilt auch für Abstützungen mit einem Durchsteckloch für den Leiter nach Art von Figur 1g oder den Dreibeinstützer (Fig. 1k). Um den Spalt zwischen Hochspannungsleiter und stützendem Isolator elektrisch zu entlasten und darin keine Teilentladungen aufkommen zu lassen, ist an der Fassungsstelle ein auf Leiterpotential befindlicher Metallkörper miteingegossen. Durch geeignete Formgebung des Einsatzes und ausreichende Dicke des Umgusses gelingt es vielfach, das zunächst radialsymmetrische Feld längs der Isolatoroberfläche und im angrenzenden Gas zu vergleichmässigen und damit die Voraussetzung für eine erhöhte Längsfestigkeit zu schaffen. Die Überschlagsspannung kann dadurch unter Umständen die der unbeeinflussten Gasstrecke sogar noch übertreffen. Bei mässiger Betriebsspannung wird gele-

gentlich auch auf den Metalleinsatz verzichtet, so speziell bei Verwendung eines Isoliermaterials niedriger Dielektrizitätszahl oder mit geringem Anteil des festen Dielektrikums in der radialem Serieschichtung von Feststoff und Gas, wie etwa beim Konusisolator (Fig. 1h). Auch mit einem ringförmigen Abschirmblech um die Fassungsstelle lässt sich die gewünschte Feldsteuerung bewerkstelligen (Fig. 1c). Auf der Erdseite mit dort reduzierter Feldstärke mag bereits ein Zurücksetzen der Fassung (Fig. 1e, 1f) oder eine armaturfreie Befestigung (Fig. 1h, 1i) eine ausreichende Entlastung ergeben.

Schirmisolatoren sind nicht unproblematisch. Neben der erschwerten Herstellung sind bei ihnen die Gaspalte zwischen den Schirmen stärker belastet, auch ist mit der Ansammlung von Verunreinigungen an diesen kritischen Stellen insbesondere bei lotrechter Leiterführung zu rechnen.

4. Versuchsergebnisse

Zum Einfluss von Fremdteilchen im Kapselungsraum auf das Überschlagsverhalten von Isolatoren bestehen einige experimentelle Untersuchungen, deren Beobachtungen und Aussagen sich allerdings nicht decken. Angesichts der Vielfalt der Isolatorformen und Einbaubedingungen sowie der verschiedenartigen Verschmutzungen wie auch des sehr unterschiedli-

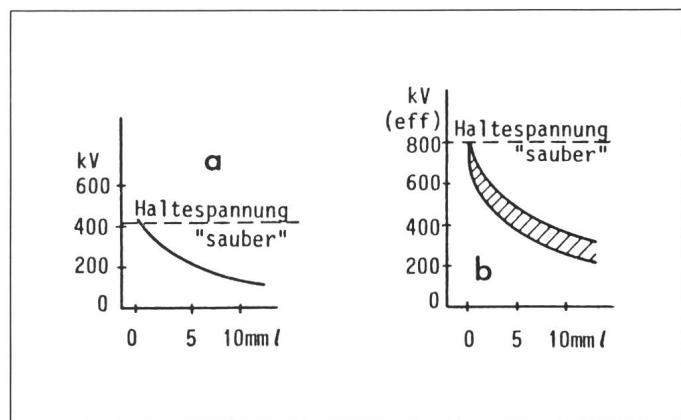
chen Verhaltens unter statischen oder zeitlich veränderlichen Spannungsbeanspruchungen war dies auch kaum anders zu erwarten.

Bei waagerechtem Leitungsverlauf und auf dem Gehäuseboden frei liegenden Partikeln werden diese schon im wenig starken Feld angehoben und damit befähigt, bei ihren kürzeren oder weiteren Erhebungen über die Unterlage und bei manchmal auch schrägem Rückprall bis in Isolatornähe und vielleicht sogar in Kopfnähe zu gelangen. Längliche Teilchen werden sich auf dem Dielektrikum vorzugsweise in Richtung der Tangentialkomponente des Feldes absetzen. Ob sie dabei im Fall eines Schirmisolators auf der Peripherie einer Rippe oder an deren Wurzel zur Ruhe kommen, hängt von den Zufälligkeiten in der letzten Bewegungsphase ab. Bei *schräger* oder *senkrechter* Leitungsführung sinken staubförmige Verunreinigungen bereits im spannungslosen Zustand orientierungslos aus der Gasfüllung auf den Isolator ab. Ob sie beim Anlegen der Spannung so verbleiben oder in eine gefährlichere Lage gedreht werden und ferner, welche Lage und Stelle bei willkürlicher Aufbringung eines Fremdkörpers auf der Oberfläche eines Isolators zu wählen sind, um niedrigste Überschlagwerte zu erhalten, darüber bestehen nur Vermutungen. So sind denn auch die berichteten Versuche und Messungen untereinander nur schlecht vergleichbar. Und doch dürften die folgenden Aussagen als annähernd abgesichert gelten: Leitende bewegliche Teilchen stellen für die Isolatoren eine eher grössere Gefahr dar als für die freie Gasstrecke; die sehr niedrige Überschlagsspannung unter starker Verschmutzung lässt sich durch Erhöhen des Gasdruckes nicht verbessern; je länger Metallsplitter oder ihnen vergleichbare Fremdkörperchen sind, desto grösser ist die von ihnen ausgehende Gefahr; während Metallpulver o.dgl. in Gasstrecken die elektrische Festigkeit nicht sehr erheblich beeinträchtigt, kann dagegen eine derartige Beschichtung von Isolierflächen ganz besonders bei Stoßspannung zu einem starken Rückgang der Festigkeit bis zu einem kleinen Bruchteil der für den sauberen Zustand Anlass geben.

Über die örtliche Verteilung von Fremdpartikeln auf dielektrischen Flächen liegen unterschiedliche Angaben vor. Nach [3] bewegen sich leitende Teilchen nicht etwa hin zu den Stellen grösster Feldstärke, sondern wan-

Fig. 2
Einfluss der
Teilchenlänge l auf die
Überschlagsspannung

- a gerader Stützer (Fig. 1a) bei Gleich- oder Stoßspannung und ungünstiger Aufbringung des Teilchens im geraden Teil, radial orientiert [3; 4]
b Konusstützer (Fig. 1b), Wechselspannung; Streuband der Überschlagsspannungen [5]



dern im Gegenteil aus starken Feldern ab. Kaum in Einklang damit ist die Aussage, wonach bei Wechselspannung die Teilchen recht gleichmässig die Isolierflächen bedecken und sich bei Gleichspannung vermehrt in Leiternähe ansammeln [2]. Gleichfalls erscheint es fraglich, ob ein freies längliches Teilchen sich stets in radialer Richtung (d. h. zum Hüllrohr hin) einstellt und die Überschlagsspannung dabei einen Kleinstwert erreicht [3]; auch sei es unwesentlich, ob das Teilchen so fixiert wurde oder diese seine Orientierung sich beim Bewegungsspiel ergab.

Wie sehr längliche Teilchen auf einem Isolator die Überschlagsspannung herabzusetzen vermögen, eventuell bis zum Bereich der Betriebsspannung, davon legen die Diagramme von Figur 2 Zeugnis ab. Sie wurden unter Verwendung eines einfachen Stützers vom Typus nach Figur 1a bei Gleich- und Stoßspannung resp. mit einem konischen Stützer nach Figur 1b bei Wechselspannung erhalten. Das Vorzeichen der Gleichspannung spielte keine Rolle, ebenso auch nicht ein Polaritätswechsel. Nur im Falle einer vorausgegangenen längeren Gleichspannungsbeanspruchung ist vom Umkehr der Polarität ein Einfluss zu erwarten [6]. Auch kann eine Konditionierung auf tiefere Stoßfestigkeit führen [7].

Der Bauform von Stützern kommt insofern einige Bedeutung zu, als durch sie die Aufteilung des Feldgradienten in Längs- und Normalkomponente beeinflusst wird. So wurden für den einfachen Stützer mit gerader Seitenfläche etwas höhere Überschlagswerte als beim Konusstützer mit dessen höherer Normalfeldstärke gemessen [6].

Vergleichsmessungen im sauberen

Zustand sowie nach Einbringen von freibeweglichen oder auch aufgeklebten Drahtstückchen an glatten stehenden Stützern hatten zum Ergebnis, dass die Gleichspannungs-Überlagswerte unter den jeweiligen Scheitelwerten bei Wechselspannung liegen [7]. Mit Teilchen sind sie vom Gasdruck unabhängig. Nach einer anderen Untersuchung [8] unterschieden sich die Stoßüberschlagsspannungen von Scheibenstützern mit glatter oder gerippter Oberfläche im sauberen Zustand nur geringfügig. Selbst ein auf einer Rippe am äusseren Umfang aufgeklebtes Drahtstückchen brachte noch keine nennenswerte Erniedrigung, dagegen wirkte sich der gleiche Fremdkörper beim glatten Stützer viel ungünstiger aus: in Hochspannungsnähe aufgebracht, ging die Festigkeit um 20% zurück, nur weiter aussen war sein Einfluss geringer. Der so bezeugte Vorteil einer Kriechwegverlängerung wird aber in [9] in Frage gestellt, bei allerding anderser Stützerform und anderen Einbau- und Prüfbedingungen.

Unter Verschmutzung und für waagerechten Einbau (Leiterachse senkrecht) wird dem Konusstützer ein günstigeres Verhalten bei Wölbung nach oben zugeschrieben [9]. Hingegen findet sich in [10] bei anderen Versuchsbedingungen die Empfehlung, den Isolator in umgekehrter Lage einzubauen.

Für gerade Stützer mit einer Rippe (Fig. 1g) wird angegeben, dass ein aussen auf der Rippe befindliches Metallteilchen sich nur wenig auf das Überschlagverhalten bei Stoß- oder Wechselspannung auswirke, während es dagegen am Grunde der Rippe, der Stelle grösster Feldstärke, zu einem Abfall der Festigkeit auf unter halben Wert führte [11].

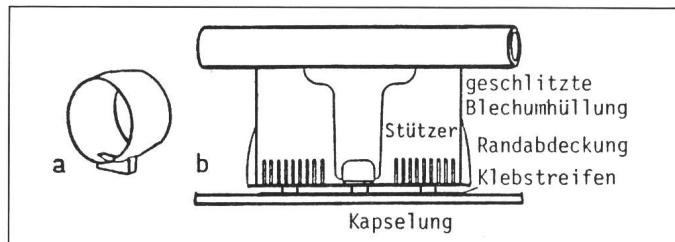
5. Schutzvorkehrungen gegen Fremdteilchen

Die vor allem von leitenden Teilchen und staubartiger Verschmutzung im Kapselungsraum ausgehende Gefahr einer stärkeren Erniedrigung der elektrischen Festigkeitswerte der Gasfüllung und bei den Festisolatoren, bis vielleicht herab zur Betriebsspannung, ruft nach vorbeugenden Gegenmassnahmen. Dazu ist in erster Linie die Einhaltung peinlicher Sauberkeit bei der Fertigung aller Teile eines SF₆-isolierten Apparates und ihrer Montage zu zählen. Bei komplexeren Geräten oder auch ganzen Anlagen hat sich die Unterteilung in integrale Einheiten (Baugruppen) bewährt und deren Fertigung unter den günstigen Arbeitsbedingungen der Fabrik und, nach Transport in gasgefülltem Zustand, deren wohlvorbereitete und gut überwachte Zusammenfügung an Ort und Stelle. Volle Gewähr für das Nichtvorkommen vereinzelter Fremdteilchen besteht damit natürlich nicht, weil diese selbst noch beim Transport oder der Endmontage entstehen oder freigesetzt werden können; bei den Geräten mit betriebsmässiger Bewegung von Bauteilen bilden sie sich durch Abrieb und die starke Gasströmung oder auch im Schaltlichtbogen.

Um jegliche Ladungsaufnahme durch die Teilchen im elektrischen Feld auszuschliessen und Bewegungen von ihnen gar nicht aufkommen zu lassen, wurde vorgeschlagen, die Unterseite der Kapselung mit einem isolierenden Belag abzudecken, beispielsweise durch Auflegen einer Isolierfolie oder Auftragen eines Isolierlackes. Eine Aufladung der Teilchen wird dadurch zumindest sehr stark verzögert und ihr Hüpfen oder gar Flug zum Hochspannungsleiter nahezu gänzlich unterbunden. Von einer ebensolchen Beschichtung der Hochspannungs-Konduktorteile wäre hingegen kaum eine Verbesserung im Verhalten zu erwarten. Ein anderer, etwas utopisch anmutender Vorschlag möchte die Passivierung der Teilchen dadurch erreichen, dass im Kapselungsraum in einem geeigneten Gas eine Plasma-Niederdruckentladung gezündet wird, in der die ablaufenden chemischen Reaktionen zum Niederschlag von Reaktionsprodukten und einer isolierend dichten Umhüllung der Teilchen führen. Weit einfacher lässt sich jedoch das Hinbewegen von Teilchen zu Stellen hoher Feldstärke und ihr Abheben vom Boden durch Auskleiden des Ge-

Fig. 3
Teilchenfallen

- a am Mantelrohr angesetzte Büchse [15]
b mit geschlitzter Blechumhüllung des Isolators [13]



fässinnern mit einem klebrigen Material unterdrücken [12]. Natürlich ist dabei die Erhaltung der Klebefähigkeit des Belages über längere Zeit unbedingte Voraussetzung.

Als besonders empfehlenswert wird in amerikanischen Veröffentlichungen das Hinführen und Einsammeln der schon bei mässiger Feldstärke hüpfenden Teilchen etwa in einer taschenartigen Ausstülpung des Mantelrohres, wo sie dem Feldeinfluss entzogen sind, bezeichnet. Die Bewegung zu diesem feldfreien Raum (»Falle«) wird durch eine vorprogrammierte und überwachte Spannungssteigerung bis anfänglich nur wenig über den zum Abheben erforderlichen Wert eingeleitet. Durch eine leichte Längsneigung des Kapselungsrohres wird sie noch unterstützt [13; 14]. Um längliche und gröbere Teilchen selbst bei zu hoher Spannung daran zu hindern, die Falle wieder zu verlassen, ist diese zweckgemäß durchzubilden und vielleicht zusätzlich auch noch mit einem Klebebelag zu versehen.

Figur 3 zeigt zwei Ausführungen solcher Teilchenfallen. Bei der Ausführung nach 3a ist die Unterseite des Kapselungsrohres bogenförmig geschlitzt; darüberwandernde Teilchen fallen in den angesetzten büchsenartigen Hohlräum. Bei grösserer Schlitzbreite verhindert eine Gitterabdeckung ein zu starkes Kantenfeld und einen merklichen Durchgriff des Hochspannungsfeldes und damit ein neuerliches Wiederfreiwerden hineingefallener Teilchen etwa bei weiter erhöhter Spannung. In der Ausführung nach Figur 3b befindet sich der tote Raum zwischen dem Kapselungsrohr und einer speziellen, mit Schlitzten versehenen Blechumhüllung des Isolators. Die Teilchen rutschen von der Seite her unter das Abdeckblech oder fallen durch die Schlitzte nach unten. Das Wiederentkommen halb eingefangener Teilchen wird durch seitlich angesetzte Isolierstreifen und durch einen klebrigen Boden verhindert. Weitere Beispiele siehe [14].

Zum Hinführen zur Falle und Einfangen der Teilchen von vielleicht recht unterschiedlicher Form und Gewicht und möglichst ohne Tiefdurchschläge empfiehlt sich eine zunächst nur langsame Erhöhung der angelegten Spannung über den Wert beginnender Abhebungen [6; 13; 16]. Am besten wird sie in zahlreichen Stufen bis schliesslich nahe zur Prüfspannung des Aparates gebracht. Dem Teilchen wird so bei jeweils geringster Feldstärke ausreichende Zeit bei seiner ungestörten Wanderbewegung und bis zur Inaktivierung in der Falle eingeräumt.

Ob es aber überhaupt des Einsatzes solcher spezieller Vorrichtungen zum Unschädlichmachen der nachteiligen Verunreinigungen bedarf, hängt in hohem Masse von der Sorgfalt bei Fertigung und Zusammenbau des Apparates wie auch von den bis zur Inbetriebnahme vorgenommenen Qualitätsüberprüfungen ab. So kann durch Teilentladungsmessungen hoher Empfindlichkeit, oft noch ergänzt durch akustische Überwachung des Tanzspiels der hüpfenden Teilchen, das Nichtvorhandensein störender Fremdpartikel oder deren Eliminierung im Geräteinern mit guter Sicherheit nachgewiesen und nötigenfalls Abhilfemaßnahmen eingeleitet werden. Je höher die Prüfspannung bei diesen Überwachungen gewählt wird, mit desto grösserer Wahrscheinlichkeit werden auch solche etwaigen inneren Mängel angezeigt und damit wird, nach ihrer Abstellung, Störungen im Betrieb vorgebeugt [17].

Literatur

- [1] B. Gänger: Die Gefährdung der Spannungssicherheit von SF₆-isolierten Apparaten durch Fremdteilchen. Bull. SEV/VSE 76(1985)13, S. 769...776.
- [2] R. Nakata: Particle scavenging studies leading to the development of a HVDC gas bus system. 1977 Annual Report. Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, p. 544...553.
- [3] T. Nitta e.a.: Influence d'une électrode et d'un isolateur solide sur l'amorçage dans le SF₆ comprimé. Rapport CIGRE N° 15-04, 1976.
- [4] F. Endo a.o.: Dielectric characteristics of SF₆ gas for applications to HVDC systems. IEEE Trans. PAS-99(1980)3, p. 847...855.

- [5] *M.H. Ryan and D. Milne*: Breakdown performance studies in SF₆ under clean and contaminated conditions. Fourth international symposium on high voltage engineering, Athen 1983; report No. 34.12.
- [6] *C.M. Cooke* e.a.: L'isolation gazeuse pour les futurs équipements de transport à très haute tension continue. Rapport CIGRE N° 15-14, 1982.
- [7] *A.H. Cookson* a.o.: Recherches récentes effectuées aux Etats-Unis sur l'effet de la contamination par des particules réduisant la tension de claquage des câbles isolés au gaz sous pression. Rapport CIGRE 15-09, 1976.
- [8] *C. Yu* a.o.: The influence of charge accumulation on the impulse flashover of spacers in compressed SF₆. Fourth international symposium on high voltage engineering, Athen 1983; p. 1...4.
- [9] *J.C. Cronin and E.R. Perry*: Optimization of insulators for gas insulated systems. IEEE Trans. PAS-92(1973)2, p. 588...564.
- [10] *H. Kuwahara* a.o.: Effect of solid impurities on breakdown in compressed SF₆ gas. IEEE Trans. PAS-93(1974)5, p. 1546...1555.
- [11] *T. Hara, N. Sugiyama and K. Itaka*: Improved surface flashover characteristics of SF₆-gas spacers contaminated by conducting particles. Fourth international symposium on high voltage engineering, Athen 1983; report No. 34.01.
- [12] *S.J. Dale, R.E. Wootton and H.H. Cookson*: Effects of particle contamination in SF₆ CGIT systems and methods of particle control and elimination. Gaseous Dielectrics II. Proceedings of the second international symposium in gaseous dielectrics, Knoxville/Tennessee/USA, March 9...13, 1980; p. 256...265.
- [13] *S.J. Dale and M.D. Hopkins*: Methods of particle control in SF₆ insulated CGIT systems. IEEE Trans. PAS-101(1982)6, p. 1654...1663.
- [14] *M. Ouyang, M.A. Baker and T.F. Garrity*: Novel design concepts of a compressed gas HVDC transmission line. IEEE Trans. PAS-101(1982)7, p. 2194...2202.
- [15] *R. Nakata*: Controlled particle scavenging technique for use in HVDC SF₆ gas bus. IEEE Power Engineering Society Sommer Meeting, 18...23 July 1976; paper No. A 76410-1.
- [16] *M. Ouyang*: A system approach to particle control for HVDC GITL. Fourth international symposium on gaseous dielectrics, Knoxville/Tennessee/USA, 1984; paper No. 56.
- [17] *C. Lindsay and M. Hick*: Experience with SF₆ gas-insulated substations and proposals for improved reliability. IEEE Trans. PAS-103(1984)9, p. 2596...2604.

Briefe an die Redaktion

Lettres à la rédaction

Wann kippt das Magnetfeld der Erde?

Zum Aufsatz von *W. Baier* im Bulletin SEV/VSE 13/1985, S. 779

Zuschrift

Obiger Artikel erwähnt mit keinem Wort die Tatsache des Curiepunktes für Eisen, welcher doch besagt, dass das Eisen ab diesem Punkt (bei Atmosphärendruck rund 700° unter dem Schmelzpunkt) den Magnetismus verliert. Trotzdem wird durchgehend die Wirbelhypothese als Träger der Polarität angenommen, was also magnetisierbares Eisen im flüssigen Aggregatzustand voraussetzt. Wenn Geophysiker einen bis 10millionenfachen Atmosphärendruck im Erdzentrum annehmen, was zu durchschnittlich fast doppelter Materiedichte des Erdkerns und einer Schätzung des Eisenschmelzpunktes von über 4000 K führt, so ist eine ähnliche Verschiebung des Curiepunktes wohl auch anzunehmen, aber kaum bis zur Überschreitung mit dem Schmelzpunkt. Ohne spezielle Hinweise dürfte immer nur einem starren Teil des Eisenkerns die magnetische Polarität der Erde zugeschrieben werden.

Bei dieser Annahme muss eine andere Hypothese für das Stabmagnetverhalten der Erdachse konstruiert werden. Diesen Hypothesenversuch wage ich wie folgt: Die

Erde ist schwach abgeplattet, der Äquatordurchmesser ist dank der Zentrifugalkraft der Erdrotation etwa 45 km grösser als der Polabstand. Eine Grenzfläche zwischen festem und flüssigem Eisenkern braucht aber nicht dieser Abplattung zu folgen, sondern dürfte allein vom Temperaturgefälle bestimmt sein und somit kugelförmig verlaufen. Dann ist eine dünne Schale aus festem Eisen denkbar, welche am Äquator um einen Teil der Abplattung dicker ist als an den Polen. Noch deutlicher könnte die Dikkendifferenz zwischen Äquator und Pol für den magnetisierten Teil dieser Schale ausfallen, d. h. für den äussersten Rand der Eisenschale mit Temperatur unterhalb des Curiepunktes. Somit wäre ein Stabmagnet in Polrichtung konstruiert. Dass diese magnetische Schale ihre Feldstärke verlieren kann, würde ich jetzt auch so erklären: In Epochen von stärkerer Uran-Radioaktivität könnte die Kernaufheizung soweit kommen, dass die dünne, bisher magnetische Schale oberhalb des Curiepunktes gerät und erst bei ausreichender Abkühlung neu magnetisierbar wäre. Durch welche Einflüsse eine neue Polung dann geschieht, bleibt offen. *J. Staubli*, 6343 Rotkreuz

Antwort des Autors

Herr Staubli hat recht, wenn er sagt, dass die Wirbelhypothese durchgehend als Träger der Polarität angenommen wird. Ich habe gegen die Hypothese, die er dagegenstellt, a priori nichts einzuwenden. Ich gebe nur zu bedenken, dass das Erdinnere in der betrachteten Tiefe der Beobachtung zumindest bislang nicht zugänglich ist. Somit steht die Hypothese von Herrn Staubli gegen die durchgehend angenommene Wirbelhypothese.

Eine vergleichende Diskussion ist indes weder meine noch des SEV-Bulletins Aufgabe. Dazu sei Herr Staubli auf wissenschaftliche Zeitschriften verwiesen, die geophysikalischen Themen gewidmet sind. Dort mag er seine Thesen der Fachkritik vorlegen. Da seine Argumente ad hoc einleuchten, wünsche ich ihm Erfolg.

Dr. *W. Baier*, D-1000 Berlin 41