

**Dipl.-Ing. Adolphe Moukengué Imano**

***„Beeinflussung der elektrischen Festigkeit von N<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>- und Luft/SF<sub>6</sub>-Isolationen durch Metallpartikel auf der Stützeroberfläche“***

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. K. Feser

Mitberichter: Prof. Dr. rer. nat. habil. U. Schumacher

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Juli 2001

Aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen werden seit ein paar Jahren N<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>-Mischgase als Isoliermedium in metallgekapselten Übertragungssystemen (GIL) an Stelle von SF<sub>6</sub>-Gas verwendet. Für die Auswahl eines umweltfreundlichen und wirtschaftlich geeigneten Mischgases sowie für die dielektrische Auslegung der GIL sind die Schott- bzw. Stützisolatoren von großer Bedeutung. Sie stellen im ungünstigsten Fall sensible Schwachstellen für die gesamte Isolation der Anlagen dar, so daß die elektrische Festigkeit der Anlagen herabgesetzt wird. Maßgebend für die Beurteilung der Durchschlagfestigkeit der Anlagen ist daher unter anderem der Zustand der Grenzfläche Isoliergas/Feststoffisolation. Aus den Betriebserfahrungen der letzten 30 Jahre ist über SF<sub>6</sub> bekannt, daß leitfähige Partikel, die an Stützisolatoren anhaften, einen großen Teil der Störungen in gasisolierten Hochspannungsanlagen verursachen. Demzufolge müssen N<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>-isolierte GIL so dimensioniert werden, daß die Beeinträchtigung der Isolierfestigkeit durch Metallpartikel auf den Stützeroberflächen bei allen Arten von Überspannungen nicht zu einem Überschlag in den Anlagen führt.

In der vorliegenden Arbeit wird die Beeinflussung der elektrischen Festigkeit an der Grenzfläche Mischgas/Stützisolator durch Metallpartikel für N<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>- bzw. Luft/SF<sub>6</sub>-Mischgase mit verschiedenen Mischungsverhältnissen untersucht. Die Untersuchungen wurden an einer homogenen Modellanordnung bei Beanspruchungen mit in metallgekapselten gasisolierten Schaltanlagen (GIS) angewendeten Vor-Ort-Prüfspannungen, der Wechselspannung 50 Hz und der genormten Blitzstoßspannung 1,2/50, durchgeführt.

In einem ersten Kapitel wird zunächst auf die Wichtigkeit der GIS/GIL für die Energieversorgung und die Problematik des SF<sub>6</sub>-Gases als Treibhausgas eingegangen. Weiterhin werden N<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>- und Luft/SF<sub>6</sub>-Mischgase als Alternative zu SF<sub>6</sub>-Gas vorgestellt. Nach diesem einleitenden Kapitel werden in drei weiteren Kapiteln die theoretischen Grundlagen der Entladungsprozesse in den untersuchten Isoliergasen und die physikalischen sowie die chemischen Eigenschaften der verschiedenen Mischgaskomponenten beschrieben. Die zur Durchführung der verschiedenen Untersuchungen verwendete

ten Geräte und die entsprechenden Meßmethoden werden vorgestellt, die Versuchsabläufe und die Auswertung der Versuchsergebnisse erläutert.

Die in einem Kapitel dargestellten Versuchsergebnisse präsentieren in einem ersten Abschnitt die Abhängigkeit der Herabsetzung der elektrischen Festigkeit der Modellanordnung von den Versuchsparametern wie Gasdruck, Spannungsart, Länge und Durchmesser des verwendeten zylinderförmigen Metallpartikels. Für die Untersuchungen wurden Metallpartikel mit Durchmessern von 0,2 bis 1 mm und Längen von 2 bis 10 mm verwendet. Aus den Ergebnissen folgt, daß außer dem Partikeldurchmesser alle Versuchsparameter maßgebliche Einflüsse auf das Verhalten der Überschlagsfeldstärke der partikelverunreinigten Stützeroberfläche haben.

Weiterhin wurde die elektrische Festigkeit der Modellanordnung ohne und mit einem auf der Stützisolatoroberfläche angeklebten Metallpartikel bei SF<sub>6</sub>, N<sub>2</sub>, trockener Luft, N<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>- sowie bei Luft/SF<sub>6</sub>-Mischgasen mit SF<sub>6</sub>-Konzentrationen bis zu 50% untersucht. Die Abhängigkeit sowohl des Gasdruckes als auch des SF<sub>6</sub>-Verbrauches in Mischgasen vom SF<sub>6</sub>-Volumenanteil für saubere Stützeroberflächen wurde für die Mischgase bei gleichem Isoliervermögen ermittelt. Die Empfindlichkeit des SF<sub>6</sub>-Gases auf partikelverunreinigte Stützeroberflächen im Vergleich zu den Mischgasen bei gleichem Gasdruck bzw. bei gleichem Isoliervermögen wurde ausgewertet und diskutiert. Anschließend wurde der Einfluß der Länge des Metallpartikels auf die elektrische Festigkeit bei SF<sub>6</sub> und bei einigen Mischgasen detailliert untersucht.

Die gewonnenen Ergebnisse deuten darauf hin, daß Mischgase empfindlicher auf Metallpartikel reagieren, je höher der Gasdruck und je geringer der SF<sub>6</sub>-Volumenanteil ist. Daher sind Mischgase mit mehr als 10% SF<sub>6</sub> in der Praxis vorzuziehen. Aus wirtschaftlichen Gründen sowie aus Umweltschutzgründen sind aber Mischgase mit weniger als 30% SF<sub>6</sub> vorteilhaft. Für GIL besteht somit das in der Praxis angewendete Mischgas aus 10% bis etwa 20% SF<sub>6</sub>. Interessanterweise weisen Luft/SF<sub>6</sub>-Mischgase ein höheres Isoliervermögen als N<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>-Mischgase auf.

Da der Überschlag entlang der partikelverunreinigten Stützeroberfläche grundsätzlich nicht ohne Akkumulation von Oberflächenladungen erfolgen kann, wurde der Einfluß der Anhäufung von Oberflächenladungen auf die Teilentladungen an Partikelspitzen sowie auf die elektrische Festigkeit der Modellanordnung untersucht. Zusätzlich wurden Untersuchungen über den Auf- und Abbau von Oberflächenladungen auf der Stützeroberfläche durchgeführt.

Es wurde festgestellt, daß die während der Spannungsbeanspruchung erzeugten Oberflächenladungen die TE-Einsatzspannung und die Überschlagspannung einer partikelverunreinigten Stützeroberfläche maßgeblich erhöhen können. Für die untersuchten Isoliergase treten entweder bipolare oder unipolare Ladungsverteilungen auf, je nach Gasdruck, Gasart, Art der Spannungsbeanspruchung und Lage des Metallpartikels. Bei der Untersuchung des Abbauverhaltens von Oberflächenladungen in  $N_2+0,078\%SF_6$ -Mischgas ergibt sich, daß die Abbauzeit mit zunehmendem Gasdruck für unbeschädigte Stützisolatoren abnimmt. Für Stützisolatoren mit sauberen Oberflächen liegt diese bei  $10^6$  s. Dabei bauen sich die Oberflächenladungen linear mit der Zeit ab. Bei Stützisolatoren mit leichten Überschlagspuren ergibt sich ein ungleichmäßiger Abbau der Oberflächenladungen auf der Isolatoroberfläche. Die Abbauzeit liegt in der Größenordnung von  $10^4$  s.