



# Schaltanlagen mit alternativen Isoliergasen

**Zuverlässigkeit und Prüfverfahren** | Es dürfte nur noch eine Frage der Zeit sein, bis das klimaschädliche Isoliergas SF<sub>6</sub> bei neuen Schaltanlagen und Leitungen durch umweltfreundlichere Alternativen abgelöst wird. Aber welche Aspekte gilt es bei Typen- und Vor-Ort-Prüfungen an Komponenten mit alternativen Gasen zu beachten, und wie wirken sich Fehlerstellen in entsprechenden Anlagen aus?

MICHAEL WALTER

**I**m Bereich der Mittelspannung wird bereits ein breites Portfolio an Anlagen mit alternativen Isoliergasen angeboten. Bei der Hochspannung weitet sich die Technologie schrittweise aus, ausgehend von Spannungsebenen bis 145 kV hin zu Anwendungen bis 420 kV. Während vor einigen Jahren noch zahlreiche Kandidaten für Alternativgase konkurrierten, zeichnet sich langsam eine Konsolidierung der Technologien ab.

Luftbasierte Mischungen stellen die erste Technologieströmung dar. Sie werden in Kombination mit Vakuum-

schaltkammern eingesetzt. Die Technologie ermöglicht mit <1 das tiefste GWP (Global Warming Potential), aber nicht zwangsläufig auch den kleinsten ökologischen Fussabdruck, denn es resultieren aufgrund der tieferen dielektrischen Festigkeit von Luftmischungen grössere Schlagweiten bzw. es werden höhere Gasdrücke nötig, die zu grösseren Baugrössen und höherem Materialeinsatz führen als vergleichbare SF<sub>6</sub>-Anlagen.

Mischungen aus C<sub>4</sub>F<sub>7</sub>N als dielektrisch dominierende Komponente in Kombination mit den Hintergrund-

gasen CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> oder N<sub>2</sub> stellen den zweiten Trend dar. Im Gegensatz zur Luftisolation eignet sich die C<sub>4</sub>F<sub>7</sub>N-CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-Mischung auch für die Lichtbogenlöschung bei Schaltheftungen, so dass kein Vakuumschalter nötig ist, der einer Skalierbarkeit der Technologie auf höhere Spannungsebenen im Wege stehen könnte. Die C<sub>4</sub>F<sub>7</sub>N-Technologie hat den Nachteil, dass das GWP zwar um den Faktor 50 bis 100 reduziert wird, aber dennoch ein Rest-GWP von einigen Hundert verbleibt. Aufgrund der vergleichbaren Baugrössen zu SF<sub>6</sub> kann mit der Technolo-

gie jedoch oft ein gleicher oder sogar geringerer ökologischer Gesamt Fussabdruck erreicht werden als mit Anlagen mit Luftmischungen. Der Vergleich basiert auf der grauen Energie anhand des heutigen Energiemixes in der Herstellung. Dieser könnte sich im Falle einer CO<sub>2</sub>-neutralen Herstellung noch leicht zu Gunsten der Luftmischungen verschieben. Die kleinere Baugrösse ist eine Folge der höheren dielektrischen Festigkeit der C<sub>4</sub>F<sub>7</sub>N-basierten Mischungen bzw. kleineren Schlagweiten im Vergleich zu Luftmischungen. Bei tiefen Temperaturen haben C<sub>4</sub>F<sub>7</sub>N-basierte Mischungen einen weiteren Nachteil: Bei Drücken, wie sie in der Hochspannung üblich sind, kann sich die Gasmischung teilverflüssigen. Für Anwendungen weit unter -30°C können deshalb nur geringste Anteile C<sub>4</sub>F<sub>7</sub>N in der Gasmischung verwendet werden, um eine Verflüssigung dieser Komponente zu vermeiden. Die dielektrische Festigkeit wird dadurch nur noch marginal erhöht. Für Mittelspannungsanwendungen besteht dieses Problem nicht.

Luftmischungen oder reine CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-Mischungen wären für Tieftemperaturanwendungen vorteilhaft. Es sind auch Forschungsaktivitäten zur Entwicklung von Schaltern basierend auf einer reinen CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-Mischung zu beobachten. Diese hätte den Vorteil, dass ein GWP <1 für einen Gas-Schalter (ohne den Einsatz von Vakuumschaltkammern) erreicht werden könnte. Die Marktreife dieser Technologie wurde aber bisher durch die Hersteller noch nicht vollständig nachgewiesen.

Aus ökologischen Gründen ist es wichtig, dass der Transfer weg von SF<sub>6</sub> zeitnah realisiert werden kann. Die Frage, welche der neuen Technologien sich durchsetzen wird, ist eher nebensächlich, denn alle diese Technologien können den ökologischen Fussabdruck der Betriebsmittel deutlich reduzieren (Tabelle 1). Der durch ihre parallele Existenz ausgelöste Wettbewerb ist aus Sicht des Autors für eine möglichst schnelle Ablösung von SF<sub>6</sub> sogar eher förderlich.

### Prüfungen im Lebenszyklus

Für Netzbetreiber ist der ökologische Fussabdruck nur eines von vielen Kriterien für die Technologiewahl. Die

Vor- und Nachteile der Technologien	C <sub>4</sub> F <sub>7</sub> N-Mischungen	Luftmischungen mit Vakuumschalter	CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> -Mischungen
Skalierbarkeit in der Spannung	skalierbar	skalierbar für die Isolation, herausfordernd für Vakuumschalter	skalierbar
Skalierbarkeit im Kurzschlussunterbrechungsstrom	herausfordernd	skalierbar	herausfordernd
Anpassung an Betriebsfrequenz (60 Hz, 16,7 Hz)	aufwendig (Gasschalter)	einfach (Vakuumschalter)	aufwendig (Gasschalter)
Anwendung bei tiefen Umgebungstemperaturen	limitiert auf -30°C (höhere Drücke in HS-Anwendungen)	problemlos	problemlos
Baugrösse und Betriebsdruck	wie SF <sub>6</sub> , leicht höherer Druck	mindestens eine Baugrösse grösser, höherer Druck	mindestens eine Baugrösse grösser, höherer Druck
Toxizität durch Gasersetzung bei Lichtbogen	leicht tiefer als SF <sub>6</sub>	unkritisch (kein Gasschalter)	leicht tiefer als SF <sub>6</sub>
Röntgen-Emissionen	keine	vorhanden, beherrschbar	keine
Gashandling	aufwendig	einfach	aufwendig
Sensitivität auf Veränderung der Gasmischung	hoch	gering	gering
Marktreife der Technologie	nachgewiesen	nachgewiesen	noch nachzuweisen
GWP und ökologischer Fussabdruck	GWP reduziert um 98% bis 99%, optimiert auf tiefen ökologischen Fussabdruck	GWP reduziert um 100%, höherer Materialeinsatz erhöht Fussabdruck	GWP reduziert um fast 100%, höherer Materialeinsatz erhöht Fussabdruck

Tabelle 1 Vergleich der Technologien.

Prüfungsart	Ziel	Beschreibung	Prüfling
Entwicklungsprüfung	Optimierung des Produkts	Iteratives Variieren der Designparameter, um Anforderungen möglichst kostengünstig zu erreichen.	Prototypen oder repräsentative Unterbaugruppe
Typentest	Konformitätsnachweis	Definierte Testreihe zum Nachweis der Bemessungs- und Kenngrössen des Geräts bzw. der Hilfseinrichtungen. Design wird eingefroren. Sehr aufwendige und teure Tests.	Ganzes Feld oder funktionale Komponenten bei Minimaldruck. Repräsentativer Aufbau, der alle Designvarianten abdeckt.
Routinetest	Systematische Qualitätssicherung	Definierte Auswahl normierter Prüfungen zur Sicherstellung der Montagequalität und Identifikation von Fehlern. Qualitätssicherung in der Herstellung.	Ganzes Feld bei Minimaldruck
Vor-Ort-Abnahmeprüfung	Letzte Chance zur Qualitätssicherung	Teilweise in Absprache zwischen Hersteller und Betreiber. Häufig mit auf 80% reduzierter Spannung.	Ganze Anlage bei Nenndruck
Diagnosemessungen / Monitoring	Veränderungen frühzeitig erkennen	Fix installierte technische Überwachungseinrichtungen oder punktuelle Zustandsbeurteilung.	Ganze Anlage oder einzelne kritische Komponenten

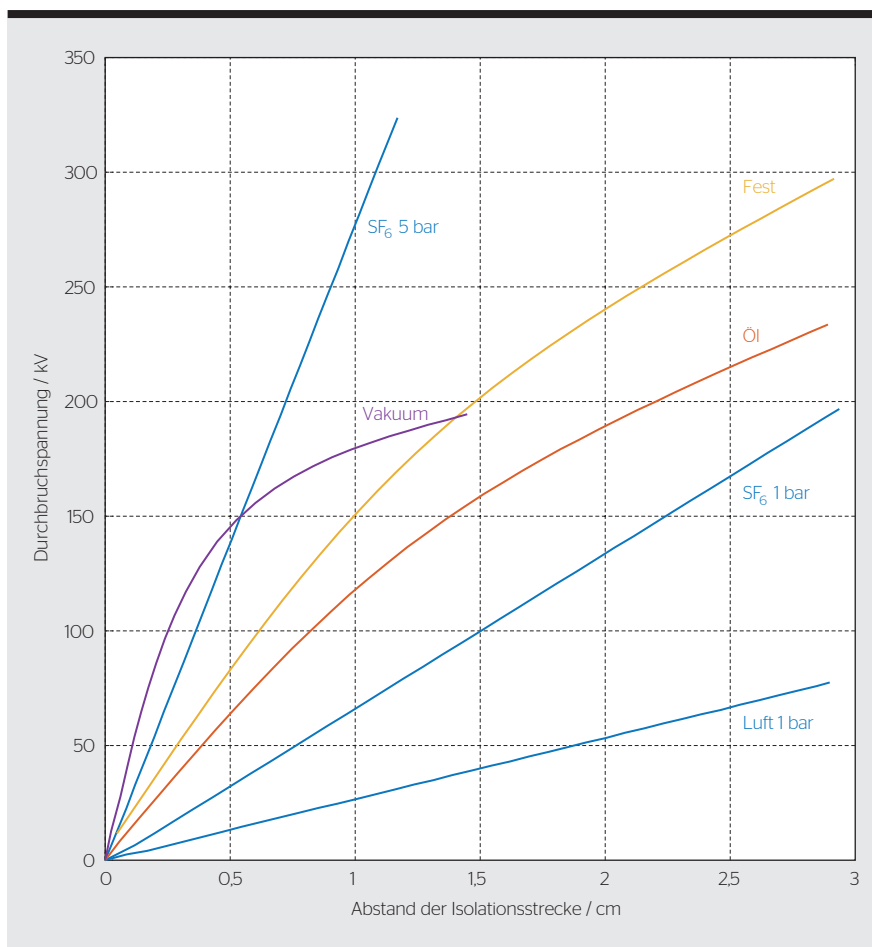
Tabelle 2 Prüfungsarten im Lebenszyklus von Schaltanlagen.

wohl wichtigsten Kriterien sind die Zuverlässigkeit und das Langzeitalterungsverhalten der Anlagen, da sie meist über 40 Jahre möglichst wartungsarm betrieben werden sollen. Die relativ grosse Anzahl an neu entwickelten «grünen» Produkten birgt aber das Risiko höherer Ausfallraten in der Anfangsphase aufgrund der sich in Aufbau befindenden Erfahrung der Hersteller. Entsprechend wichtig sind lückenlose Typen- und Routineprüfungen durch die Hersteller sowie ergänzende unabhängige Prüfungen über den Lebenszyklus der Anlagen.

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über Prüfungsarten, die im Lebenszyklus gasisolierter Betriebsmittel zur Sicher-

stellung der Qualität eingesetzt werden. Der Prüfungszweck ist – je nach Lebenszyklusphase – die Designoptimierung, der Konformitätsnachweis, die Qualitätssicherung oder die frühe Erkennung von Alterungsprozessen.

Die für Hochspannungsschaltgeräte nötigen Typenprüfungen sind in EN 62271-203 aufgelistet. Kritisch ist sicher der Nachweis der dielektrischen Festigkeit der Anlage, das Schaltvermögen des Leistungsschalters und der weiteren Schaltgeräte, die Dichtigkeit der Anlagen, das Verhalten bei tiefen Temperaturen für C<sub>4</sub>F<sub>7</sub>N-Mischungen sowie allfällige Röntgenstrahl-Emissionen bei Vakuumschaltern. Letzteres ist vor allem



**Bild 1** Qualitativer Vergleich der Durchschlagsspannung verschiedener Isolierstoffe [1].

relevant für die Möglichkeit, Vor-Ort-Prüfungen mit offenem Leistungsschalter durchzuführen – insbesondere zur Eingrenzung von Befunden.

### Veränderungen über die Anlagenlebensdauer

**Bild 1** zeigt auf, dass die Durchschlagsspannung in Gasen in erster Näherung proportional mit dem Abstand der Isolationsstrecke wächst. Ein höherer Druck erhöht die Durchschlagsspannung. Stark elektronegative Gase oder Gasmischungen werden mit Geraden grösserer Steigung abgebildet. Vakuum, Feststoff- und Öl-Isolationen weisen eine stärkere Krümmung der Durchschlagskennlinie im Vergleich zur Gasisolation auf. Mit letzterer kann somit bei entsprechend hohen Drücken und typischen Isolationsabständen eine höhere dielektrische Festigkeit erreicht werden, solange die Drücke über die Lebensdauer aufrechterhalten werden können und sich keine Fehlerstellen auswirken (deren Einfluss ebenfalls mit steigendem Druck zunimmt).

Der Betriebsdruck von gasisolierten Anlagen und die Gaszusammensetzung können sich über die Lebenszeit der Schaltanlage aufgrund von verschiedenen Mechanismen ändern. Prüfungen – besonders dielektrische Typen- und Routineprüfungen – müssen für den ungünstigsten Zustand der Schaltanlagen repräsentativ sein und werden daher bei Minimaldruck durchgeführt. Typenprüfungen für SF<sub>6</sub>-isolierte Anlagen werden mit >97% reinem SF<sub>6</sub> durchgeführt, da sich der SF<sub>6</sub>-Gehalt solcher Anlagen (mit Ausnahme von allfälligen Fehlern bei Füllvorgängen) über die Lebensdauer nicht wesentlich verändert.

Alternative Mischgase können zwei wesentliche Unterschiede zu SF<sub>6</sub> aufweisen. Einerseits kann eine Komponente der Mischung das dielektrische Verhalten dominieren und andererseits ist nicht a priori sichergestellt, dass sich Mechanismen, die zu Veränderungen im Gas führen, auf alle Komponenten der Mischung gleich auswirken. Deshalb muss die Gasqualität vor

der Inbetriebnahme überprüft, die maximale Veränderung der Gaszusammensetzung im Laufe der Lebensdauer abgeschätzt und für Typenprüfungen eine bewusst ungünstige Gasmischung eingesetzt werden.

Die quantitativ auftretende Gasveränderung über die Lebensdauer hängt vom Mechanismus ab, der sie bewirkt. Es können sich auch parallel mehrere Mechanismen überlagern, was eine zuverlässige Voraussage der Gasveränderung im Einzelfall verunmöglicht. Es kann lediglich eine Worst-Case-Abschätzung ermittelt werden:

- Grosse Leckagen (interface leakage) verändern die Gaszusammensetzung nur unwesentlich.
  - Kleine Leckagen (permeation leakage) weisen bei fluorierten Mischgasen aufgrund der unterschiedlichen Molekülgrößen oft eine stärkere Leckage des Hintergrundgases auf. Wenn die fluorierte Komponente die dielektrischen Eigenschaften dominiert, erhöht sich der Anteil der dielektrisch dominierenden Komponente und nach dem Nachfüllvorgang ergibt sich sogar eine höhere dielektrische Festigkeit. Andererseits muss eine allfällige Erhöhung der Verflüssigungstemperatur der Gasmischung durch diesen Effekt abgeklärt werden, die sich bei sehr tiefen Temperaturen auswirken könnte.
  - Schalthandlungen reduzieren meist die dielektrisch relevante Komponente stärker als die des Hintergrundgases.
  - Mehrere Nachfüllvorgänge mit einer Nachfüllflasche mit Nennmischverhältnis können eine Veränderung der Gaszusammensetzung über die Lebensdauer der Anlage bewirken.
- Der ungünstigste Fall dieser Veränderung muss durch den Hersteller für vorliegende Produkte ermittelt werden. Wenn dadurch das Prüfergebn beeinträchtigt wird, müssen in Typenprüfungen die entsprechend schlechteren Gasmischungen verwendet werden.

In der Cigre-Broschüre 871 wird zwischen einer Nennmischung für die Befüllung der Schaltanlage und einer bewusst schlechteren Mischung zur Verwendung in Typentests unterschieden. Der Einfluss von Schalthandlungen auf die Gaszusammensetzung ist hierbei bereits intrinsisch Teil des

Typentests, da im Anschluss an Schaltprüfungen ein sogenannter «Voltage Condition Check (VCC)» am selben Prüfling durchgeführt wird, ohne das durch den Test gealterte Gas auszutauschen. Bei Vor-Ort-Prüfungen wird generell mit der Nennmischung bei Nenndruck zur Qualitätssicherung geprüft, wie es auch für SF<sub>6</sub> üblich ist.

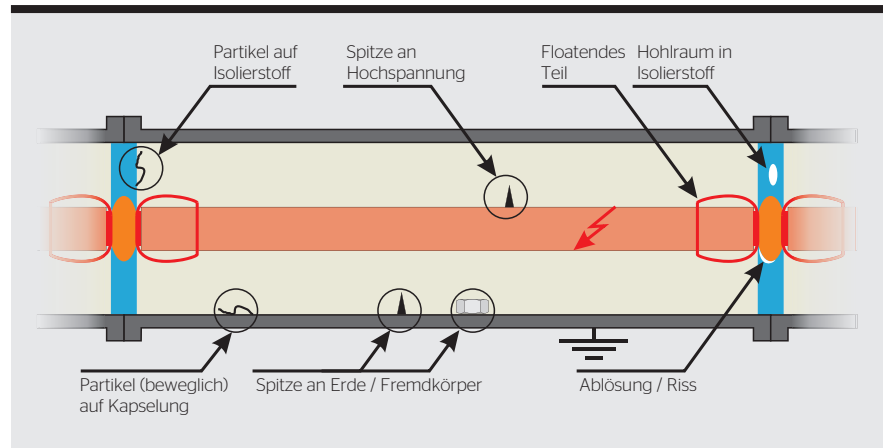
### Fehlerstellen und ihre Auswirkung

**Bild 2** gibt einen Überblick über mögliche Fehler in gasisolierten Schaltanlagen. Bei Vor-Ort-Prüfungen kommen Partikel oft aus verschiedenen Gründen vor:

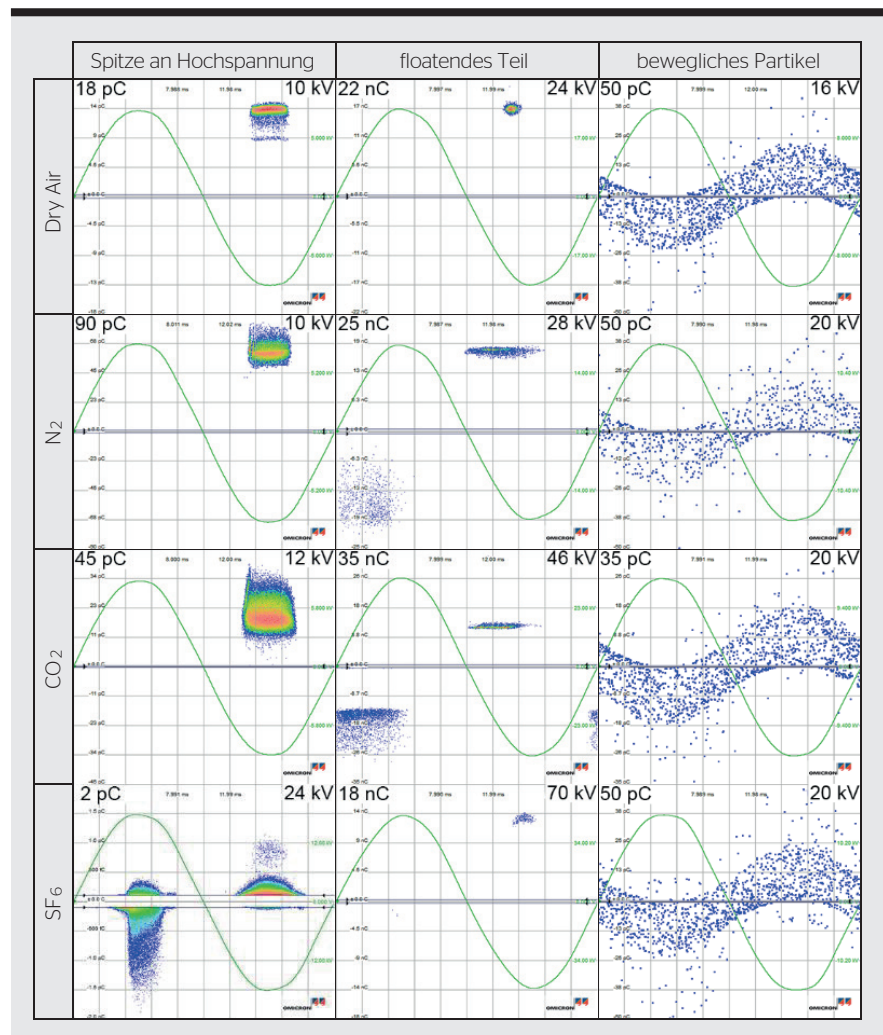
- Anlagen werden feldweise (oder auf grösseren Spannungsebenen komponentenweise) geliefert und erst vor Ort gekoppelt. Bei dem unvermeidbaren Öffnen von Gasräumen vor Ort können neue Partikel in die Gasräume eindringen.
- Selbst in der Fabrik geprüfte Montageeinheiten, die vor Ort nicht geöffnet werden, schlagen manchmal vor Ort durch oder weisen Teilentladungen auf, weil sich Metallpartikel während des Transports, bei der Montage oder durch Gasströmungen beim Befüllen der Anlage vor Ort im Gasraum verschieben – von nicht feldkritischen (Werksprüfung) zu feldkritischen Orten (z.B. auf einen Isolator).
- Durch Schalthandlungen können sich bei Prüfungen an den Schaltgeräten neue Partikel durch Abrieb gebildet haben.

Deshalb muss das Isolationsniveau bei der finalen Prüfung vor Ort (vor der Übergabe an den Betrieb) mit geeigneten Prüfmethoden sichergestellt werden.

Die Reduktion der Spannungsfestigkeit wirkt sich aufgrund der Fehler unterschiedlich aus, je nach der Art der Spannungsbelastung. Oft kann nahezu die volle AC-Spannung gehalten werden, während die Spannungsfestigkeit bei schnellen Belastungen wie bei einem Blitzstoss massiv reduziert wird. Dies stellt bei Routine- und Vor-Ort-Prüfungen Herausforderungen an die Detektierbarkeit solcher Fehler. Wird eine vergleichbare Detektierbarkeit wie bei Blitzstoss bei Verzicht auf eine Blitzstossprüfung als Routineprüfung angestrebt, muss ergänzend zur AC-Spannung eine sehr sensitive



**Bild 2** Übersicht üblicher Fehler in gasisolierten Betriebsmitteln [2].



**Bild 3** Beispiel des Teilentladungsverhaltens von Partikeln von drei typischen Fehlern in N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> und Luft (Dry Air) im Vergleich zu SF<sub>6</sub>, bei 0,5 MPa und 1,1-facher Teilentladungseinsatzspannung [3].

Teilentladungsmessung bei hoher Spannungsamplitude erfolgen. Sonst kann es vorkommen, dass die vorhandenen Fehler kein messbares Signal erzeugen oder dass der tiefe Signal-

pegel von nicht selten nur 0,5 bis 2 pC nicht vom Hintergrundrauschen unterschieden werden kann. Der tiefe TE-Pegel korreliert hierbei nicht mit der Kritikalität der Fehlerstelle.

### Teilentladungsverhalten von Alternativgasen und SF<sub>6</sub>

Die systematische Untersuchung des Teilentladungsverhaltens bei alternativen Isoliergasen für alle Fehlertypen und üblichen Gasmischungen ist Ziel der Cigre-D1.78-Arbeitsgruppe. Die Gruppe plant eine systematische Literaturstudie sowie eigene Experimente. Da noch keine systematische Analyse der Literatur vorliegt, wird in **Bild 3** exemplarisch eine Untersuchung von A. Pirker und U. Schichler [3] gezeigt, die sich mit diesem Thema beschäftigt. Die Beispiele sollen auf mögliche Einflussparameter hinweisen und aufzeigen, wie komplex das Verhalten von Gasisolation bei Fehlerstellen sein kann.

**Bild 3** zeigt einen Vergleich zwischen dem Teilentladungsverhalten in Luft (Dry Air), N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> und SF<sub>6</sub> für die Fälle Spitze an Hochspannung, floatendes Teil und bewegliches Partikel bei einem Druck von 0,5 MPa. Im Falle von Partikeln ist nur ein geringer Einfluss der Gasart auf die TE-Einsatzspannung, die TE-Amplitude und das

Teilentladungsmuster zu beobachten. Bei floatender Elektrode variiert vor allem die Einsatzspannung der Teilentladung mit der Gasart. Bei Spitzen auf Hochspannung scheint sowohl die Einsatzspannung als auch die Teilentladungsamplitude durch die Art des Gases beeinflusst zu werden. Die groben Züge der Muster sind bei unterschiedlichen Isoliergasen sehr ähnlich, sodass die Art des Fehlers unabhängig von der Gasart identifizierbar bleibt.

### Erfahrungen aus Prüfungen

Die FKH hat Abnahmeprüfungen an allen in der Schweiz installierten Typen von Schaltanlagen mit alternativen Isoliergasen durchgeführt. Die Prüfungen haben gezeigt, dass es die üblicherweise durch die FKH verwendete Einspeiseart über die Steckbuchse des Kabelendverschlusses erlaubt, mit demselben Prüfequipment Anlagen mit unterschiedlichen Isoliergasen zu prüfen, da für das Anschliessen der Prüfquelle vor und nach der Prüfung keine Gasräume geöffnet werden müssen. Fehlerstellen in Alter-

nativgasanlagen erzeugen dabei anhand der bisherigen Erkenntnisse vergleichbare Teilentladungsmuster wie in SF<sub>6</sub>. Die Anlagen sind in der Lage, die FKH-Prüfempfehlung [4] sowie die IEC-Normen zu erfüllen und die Vor-Ort-Prüfungen erfolgreich zu bestehen. An gewissen Stellen müssen aber noch Erfahrungen gesammelt werden – insbesondere bei AIS-Mittelspannungsanlagen (teilweise aufgrund von weniger strikten IEC-Normvorgaben) bestehen noch Schwierigkeiten, tiefe Teilentladungspegel zu erreichen.

### Künftige Arbeiten

Schaltanlagen mit C<sub>4</sub>F<sub>7</sub>N-Mischungen und Luftisolation bieten schon heute einen gleichwertigen Ersatz für SF<sub>6</sub>-Anlagen auf den Spannungsebenen, für welche sie verfügbar sind. Dabei gilt es zu beachten, dass sich Fehlerstellen wegen der höheren Drücke bei Betriebsmitteln mit Alternativgasgemischen eher noch stärker auswirken als bei SF<sub>6</sub>. Bei neuen Betriebsmitteln mit alternativen

## RÉSUMÉ

### Appareillages électriques avec gaz isolants alternatifs

Fiabilité et procédure d'essai

Une grande gamme d'appareillages utilisant des gaz isolants alternatifs est déjà proposée dans le domaine de la moyenne tension. Dans celui de la haute tension, cette technologie s'étend également, et ce, des niveaux de tension jusqu'à 145 kV aux applications jusqu'à 420 kV. Alors qu'il y a quelques années encore, plusieurs candidats étaient en lice en matière de gaz alternatifs, une consolidation des technologies se dessine lentement. Les mélanges à base d'air constituent la technologie la plus en vogue. Celle-ci est utilisée conjointement avec des interrupteurs sous vide. Elle permet d'obtenir le GWP (Global Warming Potential) le plus bas (< 1), mais pas forcément d'atteindre l'empreinte écologique la plus faible, car les dimensions des appareillages et l'utilisation de matériaux sont plus importantes que pour les installations à base de SF<sub>6</sub>.

Les mélanges à base de C<sub>4</sub>F<sub>7</sub>N comme composant diélectrique dominant avec des gaz tels que le CO<sub>2</sub>, un mélange CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> ou le N<sub>2</sub> constituent la deuxième tendance. Contrairement à l'isolation par air, ce mélange convient également à l'extinction d'arc lors des manœuvres de commutation, de sorte qu'aucun interrupteur sous vide n'est nécessaire. Si cette technologie permet de réduire le GWP d'un facteur 50 à 100 par rapport au SF<sub>6</sub>, elle présente l'inconvénient que le GWP résiduel atteint tout de même plusieurs centaines de fois celui du CO<sub>2</sub>. Toutefois, en raison des dimensions com-

parables à celles des appareillages utilisant du SF<sub>6</sub>, cette technologie permet souvent d'atteindre une empreinte écologique globale égale, voire inférieure, à celle des installations utilisant des mélanges d'air.

La Commission d'étude des questions relatives à la haute tension (FKH) a effectué des essais de réception sur tous les types d'appareillages électriques installés en Suisse utilisant des gaz isolants alternatifs. Ces essais ont montré que le type d'alimentation habituellement utilisé par la FKH via la prise de l'extrémité du câble permet de tester des installations à base de différents gaz isolants avec le même équipement de contrôle, car il n'est pas nécessaire d'ouvrir les espaces contenant le gaz pour le raccordement de la source d'essai avant et après le contrôle. Les défauts dans les installations à base de gaz alternatifs produisent des modèles de décharge partielle comparables à ceux observés dans les installations à base de SF<sub>6</sub>. Sur la base des connaissances acquises jusqu'à présent, les recommandations d'essai éprouvées de la FKH pour les installations GIS peuvent également être appliquées aux installations à base de gaz alternatifs. Celles-ci sont en mesure de satisfaire aux recommandations d'essai de la FKH ainsi qu'aux normes de la CEI et de passer avec succès les essais sur site. Il est toutefois encore nécessaire d'acquérir de l'expérience à certains endroits.

Isoliergasen sollte deshalb noch mehr Fokus auf eine zuverlässige Routine- und Vor-Ort-Prüfung gelegt werden, um Fehlern vorzubeugen und die Zuverlässigkeit zu erhöhen.

Bisher sind in der Vor-Ort-AC- und Teilentladungsprüfung von Anlagen mit verschiedenen Isoliergasen durch die FKH keine grundlegend neuen Effekte aufgetreten, welche das Nachweisen oder die Interpretation von Fehlerstellen erschwert hätten. Für statistisch breit abgestützte Aussagen muss aber noch eine grössere Anzahl Alternativgasanlagen geprüft werden. Anhand der bisherigen Erkenntnisse können die bewährten FKH-Prüfempfehlungen für GIS-Anlagen (in der neuen CIGRE TB920 [5] unter «Swiss practice» aufgeführt) auch für Alternativgasanlagen angewendet werden. Weiter wird die Technologieentwicklung auch von regulatorischen und politischen Prozessen mit beeinflusst. Mit der PFAS-Verordnung und der ver-

schärften F-Gas-Verordnung schränkt die EU die Verwendung von Substanzen mit Umweltschädigungspotenzial zukünftig auch in der Hochspannung stärker ein. In einem nach der Spannungsebene etappierten Zeitraum von 2026 bis 2032 wird die Verwendung von Gasen mit  $GWP > 1000$  in Neuanlagen voraussichtlich in der EU verboten und die Verwendung von Gasen mit  $GWP < 1$  stark begünstigt.

### Fazit

Es ist nur eine Frage der Zeit, bis SF<sub>6</sub> flächendeckend auf allen Spannungsebenen in Neuanlagen durch ökologischere Alternativen abgelöst wird. Aber bereits mit den bisherigen Anlagen leistet die Energiebranche einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung des Energiesystems, denn die Strominfrastruktur ermöglicht den Ersatz fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien unter anderem in der Mobilität und in der Bereitstel-

lung von Wärme. Zuverlässige Schaltanlagen mit alternativen Isoliergasen werden hierfür künftig zentral sein.

### Referenzen

- [1] C. Franck, A. Chachereau, J. Pachin, «SF<sub>6</sub>-Free Gas-Insulated Switchgear: Current Status and Future Trends», IEEE Electrical Insulation Magazine, vol 37(1), 01/2021, www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/458505
- [2] S. Neuhold, T. Brügger, R. Bräunlich, G. Behrmann, H.D. Schlemper, U. Riechert, P. Müller, M. Lehner, E. Schneiter, P. Sigrist, «Return of experience: The CIGRE UHF PD sensitivity verification and on-site detection of critical defects», CIGRE Paris, 26.-31.8.2018.
- [3] A. Pirker, U. Schichler, «Partial Discharges of Defects in Different Insulating Gases: N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Dry Air and SF<sub>6</sub>», 12<sup>th</sup> IEEE International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials - Xi'an - China, 2018.
- [4] S. Neuhold, «Technischer Hintergrund der FKH-Prüfempfehlungen für GIS-Anlagen»; FKH-Fachtagung zum Thema Isolationskoordination; Windisch, Schweiz; 2022, fkh.ch/wp-content/uploads/2022/11/Fachtagungsband-komplett\_reduziert.pdf
- [5] CIGRE TB 920; «Concepts for on-site HV testing of GIS after installation, extension, retrofit or repair», 2023.



### Autor

Dr. sc. **Michael Walter** ist Geschäftsleiter der Fachkommission für Hochspannungsfragen.  
→ FKH, 8050 Zürich  
→ walter@fkh.ch

## Maximale Sicherheit für Mittelspannungsanlagen: SIPROTEC 7SY82 & SIBushing

Schützen Sie Ihre Mittelspannungsanlagen mit dem universellen Schutzrelais SIPROTEC 7SY82 von Siemens in Kombination mit SIBushing. Das SIPROTEC 7SY82 ist ein vielseitiges Gerät, das alle Vorteile der SIPROTEC 5 Universalgeräte bietet und sich für den Anschluss an Kleinsignal-Messwandler (LPITs) eignet. Die SIBushing ist eine innovative Sensordurchführung, die für Mittelspannungsverteilnetze bis 36 kV geeignet ist und eine unübertroffene Transparenz und präzise Messung in Verteilnetzen bietet.

[siemens.ch/smartinfrastructure](https://www.siemens.ch/smartinfrastructure)



# SIEMENS