

## SF<sub>6</sub>-freie gasisolierte Schaltanlagen

# Lösungen von Herstellern und Umrüststrategien von Netzbetreibern

Zur Orientierung hinsichtlich der für das zweite Quartal 2023 erwarteten Novellierung der EU-F-Gase-Verordnung hatte die Akademie der Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e. V. (FGH e. V.) zum Forum »SF<sub>6</sub>-freie gasisolierte Schaltanlagen« eingeladen, das am 29. November 2022 bei der Rheinischen Netzgesellschaft in Köln stattfand. Persönlich geladene Gäste aus den Gremien der FGH-Mitgliedsunternehmen diskutierten mit Referenten aktuelle politische Rahmenbedingungen, am Markt verfügbare Lösungen, Umrüststrategien von Netzbetreibern sowie Praxiserfahrungen mit SF<sub>6</sub>-freien gasisolierten Schaltanlagen. Die Autoren fassen die wesentlichen Aspekte des Forums zusammen.

SF<sub>6</sub> wird seit den 1960er Jahren als isolierendes Medium in elektrischen Schaltanlagen eingesetzt. Die stark isolierende Wirkung des Gases unterbindet ungewollte Stromflüsse in Trennschaltern sehr effektiv und ermöglicht so eine sehr kompakte Bauweise. Auch wenn bei heutigen, auf SF<sub>6</sub> basierenden Schaltanlagen nur noch sehr geringe bis gar keine Emissionen mehr auftreten, ist es zur Erreichung der Klimaziele erforderlich, auch in Schaltanlagen das Ende der Nutzung des Treibhausgases SF<sub>6</sub> einzuleiten.

Seit einigen Jahren werden alternative technische Lösungen mit umweltschonenden Gasen entwickelt. Mittlerweile sind für die verschiedenen Spannungsebenen von 12 kV bis 145 kV erste Pro-

dukte am Markt. Sie können sich allerdings nur durchsetzen, wenn sie sich als zuverlässig, robust, wartungsarm und günstig erweisen. Langzeiterfahrungen mit alternativen Technologien sind bisher nur begrenzt vorhanden, weshalb potenzielle Anwender noch zurückhaltend agieren. Ohne lenkende Eingriffe des Gesetzgebers ist ein Technologiewechsel bei Schaltanlagen schwer zu realisieren.

Vor diesem Hintergrund sind die Vorschläge der Europäischen Kommission vom April 2022 zur Novellierung der F-Gase-Verordnung zu begreifen: Danach soll in wenigen Jahren der Einsatz neuer Schaltanlagen, die klimaschädliche Gase einsetzen, im Grundsatz nicht

mehr erlaubt sein. Der genaue Zeitpunkt soll gestaffelt nach Spannungsebenen festgesetzt werden. Ausnahmen sollen in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Lösungen, die Gase mit geringerem Treibhauspotenzial (GWP) verwenden, möglich sein.

Die Fachöffentlichkeit verfolgt die Debatte zur Neugestaltung der F-Gase-Verordnung intensiv. Inzwischen liegen Gegenvorschläge aus dem Europäischen Parlament und aus dem Rat der EU-Mitgliedsstaaten vor. Wie die neuen Bestimmungen am Ende aussehen, ist derzeit (Stand Januar 2023) noch nicht absehbar. Fest steht jedoch: SF<sub>6</sub> wird in den Schaltanlagen der Energiewirtschaft nur noch wenige Jahre die führende Technologie sein können.

Der FNN-Hinweis »SF<sub>6</sub>-freie Betriebsmittel in der Energietechnik« [1] gibt einen Überblick über die verschiedenen Technologien und bietet Anwendern eine Hilfe bei der Auswahl gasisolierter elektrischer Betriebsmittel mit alternativen Technologien.

### Herstellerlösungen

#### Siemens/Siemens Energy

Die Reduzierung der Treibhausmissionen der fluorierten Gase regelt die EU durch die F-Gase-Verordnung. Für gasisolierte Schaltanlagen (GIS) bedeutet dies konsequenterweise, auf fluorierte Isoliergase zu verzichten. Als SF<sub>6</sub>-Ersatz setzen Siemens und Siemens Energy daher nur auf natürliche Komponenten der Luft (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) mit einem Treibhauspotenzial GWP < 1. Diese F-Gas-freie »Clean-Air«-Lösung erfüllt damit heute und künftig die im Vorschlag genannte Forderung von GWP < 10. Daneben wer-



Quelle: Siemens Energy, 2023

Bild 1. 145-kV-GIS mit Clean-Air-Isolation und Vakuumleistungsschalter von Siemens Energy

den die technischen Parameter (unter anderem Dielektrizität, Langzeitstabilität, Tieftemperaturfähigkeit) sowie die Anforderungen erfüllt, dass keine umweltschädlichen Zersetzungsprodukte (zum Beispiel TFA, Trifluoressigsäure) entstehen und keine Bioakkumulation erfolgt. Wichtig für die Anwender ist das viel einfachere Gashandling, da die komplexen F-Gas-Handlungsvorschriften entfallen. Clean Air wird in gleicher Zusammensetzung in Freiluftschaltern, Wandlern und GIS verwendet und kann direkt von mehreren Gaslieferanten in Europa und weltweit bezogen werden. Clean Air wird zusammen mit der bewährten Vakuumschalttechnologie eingesetzt.



Quelle: Siemens Energy

**Bild 2. Siemens-Mittelspannungsschaltanlage NXPLUS C 24 bei der Westnetz GmbH, Umspannanlage Bekond**

Einigen ist der GWP als einziges Entscheidungskriterium für diese dritte Version der F-Gase-Verordnung nicht ausreichend und man möchte stattdessen den ökologischen Fußabdruck (englisch LCA) verwenden. Dessen Standardisierung unterstützen Siemens und Siemens Energy in der IEC 62271-320. Die eher generischen LCA auf Basis der ISO 14040 erlauben individuelle Annahmen und sind daher wenig geeignet, auch wenn Clean-Air-Lösungen im Vergleich zu F-Gas-basierenden Lösungen Vorteile haben.

Mit tausenden betriebenen Schaltfeldern liegen bei Siemens und Siemens Energy ausreichende Felderfahrungen vor. Auf der Cigre 2022 haben die Clean-Air-Hersteller ihre Entwicklungspläne dargelegt und zugesagt, Portfoliolücken bis zum Inkrafttreten der novellierten F-Gase-Verordnung zu schließen.

**Schneider Electric**

Schneider Electric arbeitet an einem gesamten neuen Portfolio von SF<sub>6</sub>-freien Mittelspannungsschaltanlagen. Darunter befindet sich auch die Ringkabelschaltanlage RM AirSeT als ein Beispiel der umweltschonenden und digital vernetzten Schaltanlage für die Mittelspannung. Diese neue Generation gasisolierter Schaltanlagen leistet mit einer Kombination aus reiner Luft und Shunt-Vakuum-Schaltung (SVI) einen Beitrag zur Dekarbonisierung und Modernisierung der Energienetze. Die digitale Konnektivität der RM AirSeT verringert den erforderlichen Wartungsaufwand. Netzbetreiber können Betriebsleistung und Zuverlässigkeit der Stromversorgung durch die in der Anlage verbaute Sensorik per Software überwachen und die Qualität der Stromverbindung prüfen. Optional stehen Strom- und Spannungssensoren zur Verfügung.

Dass ein nachhaltiger und zukunftsfähiger Ausbau der Energienetze schon heute erfolgreich möglich ist, zeigt das Pilotprojekt mit dem Verteilnetzbetreiber Netze BW in Baden-Württemberg. Seit Anfang 2022 ist dort mit der RM AirSeT eine Ringkabelschaltanlage im Betrieb. Sie zeigt, dass ein Isolieren mit reiner Luft ebenso sicher und zuverlässig funktioniert wie mit SF<sub>6</sub> – jedoch umwelt-

bewusst und nachhaltig. Der Übergang zu einer SF<sub>6</sub>-freien Alternative bei den Ringkabelschaltanlagen erfolgt unkompliziert durch eine ähnlich kompakte Bauweise, die Verfügbarkeit der häufig eingesetzten Sicherungslasttrennschalterfunktionen sowie durch die bekannte Bedienung mit Dreistellungsschalter. Die breite Markteinführung der RM AirSeT ist ab Mitte 2023 vorgesehen.



Quelle: Schneider Electric

**Bild 3. Die neue SF<sub>6</sub>-freie Ringkabelschaltanlage von Schneider Electric**



Quelle: Hitachi Energy

Bild 4. Retrofill der 420-kV-Bestandsanlage »Richborough«, NG UK

### Hitachi Energy

Aufgrund des hohen Treibhauspotenzials von SF<sub>6</sub> sind Leckagen dominant für den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von GIS. Aktuell werden GIS mit SF<sub>6</sub>-Alternativen in den Markt eingeführt, bei denen der Beitrag des Isoliergases zu den Treibhausgasemissionen praktisch eliminiert wird. So ermöglicht die verwendete Gas Mischung von Hitachi Energy mit Fluornitril C4-FN eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Äquivalenz des Isoliergases gegenüber SF<sub>6</sub> um 99 %.

Um den künftigen Beitrag von GIS am Ausstoß von Treibhausgasen möglichst wirksam zu reduzieren, ist es entscheidend, dass die neue Technologie zeitnah für das Übertragungs- und das Verteilnetz zur Verfügung steht. In den dortigen Schaltanlagen kommen die größten Gasvolumina vor, sodass dort signifikante Einsparungen erreicht werden können. Besonderheiten sind für die installierte Basis zu beachten:

- Altanlagen mit baldigem Ende der Nutzungsdauer können direkt mit der neuen C4-FN-Technologie ersetzt werden (ähnliche Dimensionen vorausgesetzt)
- neuere Anlagen stellen den Betreiber dagegen vor die Entscheidung, entweder hohe Kosten für einen vorzeitigen Ersatz der Schaltanlage und eine zusätzliche Umweltbelastung für die Produktion der ersetzenden Anlage in Kauf zu nehmen oder sie weiter zu betreiben unter Inkaufnahme von

SF<sub>6</sub>-Leckagen und potenziellen Kosten für das SF<sub>6</sub>-Management.

In diesem Spannungsfeld präsentiert Hitachi Energy zwei Lösungen:

- Neuanlagen: Eine Plattformlösung für umweltschonende GIS über alle Spannungsebenen hinweg auf Basis der Gas Mischung C4-FN/CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>
- Retrofill an Bestandsanlagen für 420 kV gasisolierte Ausleitungen: Vorort-Ersatz des SF<sub>6</sub> durch C4-FN/N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> ohne Austausch der Primärtechnik oder des Dichtungssystems.

### Strategien zum Ausstieg aus der SF<sub>6</sub>-Technologie aus Sicht der Netzbetreiber

TransnetBW unterstützt ausdrücklich die formulierten Klimaziele und sucht seit Jahren nach SF<sub>6</sub>-Alternativen. Pilotprojekte wurden angestoßen und die ersten klimaschonenden Anlagen sind bereits in Betrieb. Eine Herausforderung besteht darin, die notwendigen Anbieter am Markt für weitere Pilotprojekte zu finden, da die Produktportfolios der Hersteller für die Spannungsebenen eines Übertragungsnetzbetreibers wie TransnetBW noch nicht vollständig sind. Kurzum begegnet man aktuell einem Henne-Ei-Problem: Anbieter werden erst dann entsprechende Technologien entwickeln und anbieten, wenn der Markt diese aufgrund stabiler und zuverlässiger Rahmenbedingungen erfragt. Um dieses Problem zu lösen und ein klares Signal Richtung Markt zu senden, hat

TransnetBW eine Strategie zum Ausstieg aus SF<sub>6</sub> entwickelt, die SF<sub>6</sub>-Alternativen auf Basis natürlicher Gase berücksichtigt. Dabei muss die Erprobung und Einführung von SF<sub>6</sub>-freien Betriebsmitteln je nach Spannungsebene und Betriebsmittelkategorie unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit auf dem Markt erfolgen. Der Übergang von der Erprobungsphase zum standardmäßigen Einsatz von SF<sub>6</sub>-freien Betriebsmitteln kann nur erfolgen, wenn vergleichbare Produkte von mindestens zwei bei der TransnetBW zertifizierten Herstellern zur Verfügung stehen. Somit hängt der vollständige Ausstieg aus der SF<sub>6</sub>-Technologie stark von der Entwicklung von Betriebsmitteln bei Herstellern ab.

Klimaschutz im Kontext der Energiewende ist auch bei der Rheinischen Netzgesellschaft mbH ein etabliertes strategisches Ziel und wird schon heute im Wert Umwelt des RNG Asset-Managements abgebildet. In der 110-kV-Netzebene sind SF<sub>6</sub>-GIS bei Neuanlagen keine Option mehr. Hier hat die RNG bereits im Oktober 2021 die strategische Grundsatzentscheidung getroffen, keine neuen 110-kV-SF<sub>6</sub>-GIS-Anlagen mehr zu verbauen. Schon jetzt sind mindestens zwei SF<sub>6</sub>-freie Serienprodukte verfügbar. Vor dem Hintergrund der hohen Investitionsbedarfe und damit auch der großen Zahl von neuen Anlagen ist dies für die RNG eine wegweisende Entscheidung.

In der Mittelspannung (bei der RNG 10 kV) wird zwischen primärer und sek-

undärer Spannungsebene unterschieden. Die primären Mittelspannungsanlagen bieten in den meisten Fällen ausreichend Platz und sind auch in der Vergangenheit überwiegend in luftisolierter Ausführung gebaut worden, während in der sekundären Mittelspannungsebene die Platzverhältnisse begrenzt sind. Vor allem bei Kompaktstationen muss über die Entwicklung neuer Standards nachgedacht werden, insbesondere wenn weitere Herausforderungen wie Digitalisierung, Transformatorgrößen etc. hinzukommen. Im Bereich der Gebäudestationen werden bei der RNG aktuell fünf SF<sub>6</sub>-freie Pilotinstallationen im Netzgebiet getestet.

### Erkenntnisse aus der Abschlussdiskussion und Ausblick

Gegen 16:00 Uhr ging ein spannendes Forum zu Ende. Nach einem umfassenden theoretischen Überblick über die SF<sub>6</sub>-Thematik haben die Anlagenhersteller ihr bestehendes Portfolio eingeordnet und Entwicklungspfade für die SF<sub>6</sub>-freie Technologie aufgezeigt. Im praxisnahen Teil konnte in der Werkstatt der RNG eine SF<sub>6</sub>-freie Anlage besichtigt werden, und ausgewählte Netzbetreiber haben ihren aktuellen Stand sowie Umrüststrategien auf SF<sub>6</sub>-freie Anlagen dargestellt. Im Anschluss sowie auch in den Pausen wurde die Gelegenheit zum Meinungsaustausch und zur Diskussion genutzt. Deutlich wurde, dass sich die Verteilnetzbetreiber in unterschiedlichen Situationen befinden, was genutzte Spannungsebenen, Platzverhältnisse und bisherige Strategien angeht. Dabei waren sich alle einig, dass die F-Gase-Verordnung eine sehr wichtige Basis für die weiteren Entscheidungen spielen und ein »Weiter machen wie bisher« in keinem Fall passieren wird.

Für alle an dem Thema Interessierten bietet die FGH den Workshop »SF<sub>6</sub>-freie gasisolierte Schaltanlagen« an (23. bis 24. Mai 2023), in dem – auf dem Programm des FGH-Forums 2022 aufbauend – weitere Hersteller sowie Netz- und Anlagenbetreiber Lösungen für die Umrüstung auf SF<sub>6</sub>-freie GIS aufzeigen werden [2].

### Danksagung

Ein herzlicher Dank geht an den Gastgeber des FGH Forums 2022, die Rheinische Netzgesellschaft, die mit

ihren Räumlichkeiten in Köln und den Besichtigungsmöglichkeiten vor Ort einen idealen Rahmen für die Veranstaltung bot.

### Literatur

- [1] VDE-FNN: SF<sub>6</sub>-freie Betriebsmittel in der Energietechnik.  
[www.vde.com/de/fnn/arbeitsgebiete/umwelt-naturschutz/sf6](http://www.vde.com/de/fnn/arbeitsgebiete/umwelt-naturschutz/sf6)
- [2] FGH-Workshop: SF<sub>6</sub>-freie gasisolierte Schaltanlagen.  
[www.fgh-ma.de/de/themen-expertise/akademie/veranstaltungsuebersicht](http://www.fgh-ma.de/de/themen-expertise/akademie/veranstaltungsuebersicht)

>> **Benjamin Düvel**,  
Bundesverband der Energie- und  
Wasserwirtschaft e. V. (BDEW), Berlin

Dr.-Ing. **Bernhard Lutz**,  
Fichtner GmbH & Co. KG, Berlin

Dr.-Ing. **Mark Kuschel**,  
Siemens Energy Global GmbH &  
Co. KG, Berlin

Dipl.-Ing. **Thomas Dürr**,  
Siemens AG, Erlangen

Dr. **Klaus Wersching**,  
Schneider Electric GmbH, Seligenstadt

Dr.-Ing. **René Kallweit**,  
Hitachi Energy Switzerland Ltd,  
Zürich/Schweiz

Dr.-Ing. **Laurentiu-Viorel Badicu**,  
TransnetBW GmbH, Stuttgart

Dipl.-Ing. **Judith Schramm**,  
Rheinische Netzgesellschaft mbH,  
Köln

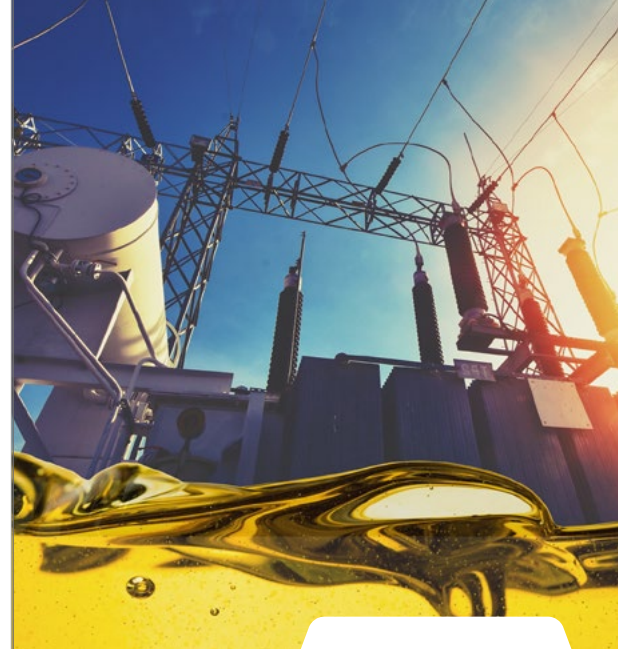
Dipl.-Ing. **Jan Patrick Linossier**,  
Rheinenergie AG, Köln

Dr.-Ing. **Ulrich Groß**,  
Rheinische Netzgesellschaft mbH,  
Köln

Dipl.-Ing. (FH) **Andrea Schröder**,  
FGH e. V., Mannheim

>> [benjamin.duevel@bdew.de](mailto:benjamin.duevel@bdew.de)  
[bernhard.lutz@fichtner.de](mailto:bernhard.lutz@fichtner.de)  
[mark.kuschel@siemens-energy.com](mailto:mark.kuschel@siemens-energy.com)  
[thomas.duerr@siemens.com](mailto:thomas.duerr@siemens.com)  
[klaus.wersching@se.com](mailto:klaus.wersching@se.com)  
[rene.kallweit@hitachienergy.com](mailto:rene.kallweit@hitachienergy.com)  
[l.badicu@transnetbw.de](mailto:l.badicu@transnetbw.de)  
[j.schramm@rng.de](mailto:j.schramm@rng.de)  
[jp.linossier@rheinenergie.com](mailto:jp.linossier@rheinenergie.com)  
[u.gross@rng.de](mailto:u.gross@rng.de)  
[andrea.schroeder@fgh-ma.de](mailto:andrea.schroeder@fgh-ma.de)

>> [www.fgh-ma.de](http://www.fgh-ma.de)



**BAUR**  
ensuring the flow

## Schützen Sie Ihre Transformatoren mit regelmäßiger Isolierölprüfung

Isolieröl mit BAUR prüfen heißt:

- normgerechte Prüfung mit **automatischen Prüfzyklen**
- Ergebnisse **leicht reproduzieren**
- Resultate **einfach interpretieren**
- Berichte mit dem **Report Manager** oder der **ITS Lite Software** übersichtlich gestalten



**DPA 75 C**  
Mobiles  
Ölprüfgerät  
bis 75 kV

**DTA 100 C**  
Ölprüfgerät  
bis 100 kV

**DTL C**  
tan δ-  
Mess-  
system

Mehr erfahren: [www.baur.eu/de/ift](http://www.baur.eu/de/ift)