

April 2020

Fragen und Antworten zu SF₆

1. Was ist SF₆ und wozu wird SF₆ verwendet?

SF₆ (Schwefelhexafluorid) ist ein Gas, das fast ausschließlich durch chemische Verfahren hergestellt wird. Es ist unter Normalbedingungen ein farb- und geruchloses, ungiftiges Gas, unlöslich in Wasser und nicht entflammbar. SF₆ ist äußerst reaktionsträge (chemisch inert).

Die elektrische Isolierfähigkeit von SF₆ ist etwa drei Mal so hoch wie die der Luft. Diese Eigenschaft, sowie hervorragende Lichtbogenlöscheigenschaften prädestinieren SF₆ zur Verwendung als Isolier- und Schaltgas in elektrischen Anwendungen in der Mittel- und Hochspannung.

Neben dem Einsatz in elektrischen Betriebsmitteln findet SF₆ unter anderem auch Verwendung bei der Herstellung von elektronischen Komponenten, von Glasfasern, in der Medizintechnik, der Metallverarbeitung, bei Teilchenbeschleunigern, zur Dichtigkeitsprüfung von Leitungen, sowie in militärischen Anwendungen [6]. In Deutschland waren 2015 knapp 70 Prozent der SF₆-Emissionen auf die inzwischen verbotenen Schallschutzfenster zurückzuführen [3], mit steigender Tendenz in den Folgejahren, der Peak ist jedoch mittlerweile erreicht.

SF₆ ist, neben anderen klimawirksamen Fluorgasen, seit Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls 1997 unter regulatorischer Kontrolle, in Europa seit 2006 durch die Europäische F-Gas Verordnung (aktuelle Version (EU) Nr. 517/2014 vom April 2014) als eine von etwa 70 dort gelisteten Substanzen. Viele SF₆-Anwendungen, wie z.B. in Schallschutzfenstern, Reifen und Sportschuhen wurden in Europa mittlerweile verboten.

2. Was sind die Vorteile von SF₆? Und was die Nachteile?

Die besonderen Vorteile von SF₆ liegen in seiner sehr guten elektrischen Isolierfähigkeit, hervorragender Lichtbogenlöscheigenschaft und hoher Wärmetransportfähigkeit. Diese Eigenschaften ermöglichen materialsparende, kompakte Abmessungen von leistungsfähigen elektrischen Betriebsmitteln, die dadurch auch leichter im urbanen Raum unterzubringen sind.

Selbst nach Spaltung des SF₆-Moleküls durch hohe Energieeinträge rekombiniert es fast vollständig und unmittelbar wieder zu SF₆. Somit lassen sich besonders lange Lebensdauern von mit SF₆-gefüllten elektrischen Betriebsmitteln realisieren.

Nach Lebensende wird das SF₆-Gas praktisch gänzlich recycelt und dem Stoffkreislauf erneut zur Verfügung gestellt. Die weltweite Standardisierung bei der International

Electrotechnical Commission (IEC) hat dem Rechnung getragen, indem es zwei Gas-Standards veröffentlichte, für neues SF₆ und gebrauchtes, recyceltes SF₆.

Neben seiner hohen Klimawirkung – falls das Gas in die Atmosphäre gelangt wirkt 1 kg SF₆ wie 22.800 kg CO₂ [1] – sind keine umweltrelevanten Nachteile bekannt. Es können sich jedoch durch hohe Energieeinträge geringe Mengen an relevanten, teilweise sehr kurzlebigen, Zersetzungsprodukten bilden, die gesondert entsorgt werden müssen.

3. Gibt es Alternativen zur SF₆-Technologie?

Bereits seit den 1990er Jahren forschen die Hersteller elektrischer Betriebsmittel aktiv an Alternativen zu SF₆. Zudem haben sich Hersteller und Betreiber von elektrischen Betriebsmitteln im Mai 2005 eine Selbstverpflichtung auferlegt [4], die neben der Reduzierung der Emissionen auch die Forschung und Entwicklung von Alternativen in gasisolierter Technik vorantreibt. Beide Ziele verfolgen sie konsequent und investieren entsprechend.

Alternativen zur SF₆-gasisolierter Technologie bei elektrischen Betriebsmitteln gibt es nicht flächendeckend und nur für spezifische Produkte, in der Hochspannung in Form von Ölisolation oder seit einigen Jahren in Form von CO₂-Isolation bzw. CO₂ oder N₂ mit SF₆-Beimischungen. Öl-basierte Lösungen können sich bei Anwendung nachteilig auf die Umwelt auswirken und dürfen demzufolge nicht in Gewässerschutzzonen eingesetzt werden.

Für die Mittelspannung sind luftisolierte oder feststoffisolierte Techniken seit langem im Einsatz. Dabei übernehmen die Umgebungsluft bzw. feste Isolierstoffe die elektrische Isolation. Insbesondere bei höheren Spannungen (36 kV) sind diese Techniken jedoch deutlich größer und bezüglich des Carbon Footprint nicht im Vorteil [10].

Gerade in den letzten Jahren sind im Bereich Forschung und Entwicklung von Alternativen in gasisolierter Technik Fortschritte erzielt worden. Auch wenn es bisher keinen Ersatz gibt, der das Anwendungsspektrum der SF₆-Technologie vollständig und gleichwertig abdecken kann, kann die Forschungsarbeit Erfolge vorweisen: So gibt es einige Alternativen in gasisolierter Technik, die sich in verschiedenen Entwicklungs- und Industrialisierungsstadien befinden. Da diese aber unterschiedlichen Anforderungen folgen müssen, gilt es, genau herauszufinden, welcher Ersatz in welchem Anwendungsfall die beste und sicherste Lösung ist, um diese dann jeweils zur Marktreife zu führen.

In der gasisolierter Hochspannungs-Technik stehen heute in Teilbereichen erste Produkte zur Verfügung mit verschiedenen alternativen Fluorgasgemischen oder basierend auf natürlichen, atmosphärischen Gasen zur Isolation und Vakuumtechnik zum Schalten.

Die Vakuum-Schalttechnik hat sich bereits frühzeitig als leistungsfähige Alternative zu SF₆ besonders für Leistungsschalter in der Mittelspannung etabliert. Gegen deren Einsatz bei einfachen Schaltaufgaben in der Mittelspannung spricht jedoch die deutlich aufwendigere Realisierung und die Nachteile gegenüber dem gewohnten, einfachen Bedienen.

In Pilot-Anwendungen in Deutschland und Europa werden aktuell erste Erfahrungen mit den Alternativtechnologien und -gasen gesammelt, und teilweise sind sie als Serienprodukt bereits erhältlich, zum Beispiel für einige Anwendungen in den unteren Spannungsebenen von Mittel- und Hochspannung.

4. Falls es Alternativen zur SF₆-Technologie gibt, wo werden sie eingesetzt, wo nicht und – wenn nicht – warum haben sie sich nicht durchgesetzt?

Bei Alternativen zu SF₆-gasisolierter Technik bei elektrischen Betriebsmitteln ist zu unterscheiden zwischen einem grundlegend anderen Technologieansatz wie Isolierung mit atmosphärischer Luft, Flüssigkeiten oder Feststoffen und der Beibehaltung der gasisolierten Technik und deren Vorteile durch den Einsatz von alternativen Gasen oder Gasmischungen.

Bei gasisolierter Technik finden sich Pilot-Anwendungen und erste Serienprodukte für einige Anwendungen in den unteren Spannungsebenen von Mittel- und Hochspannung. Betriebserfahrungen müssen insbesondere noch bei den ersten Anwendungen in der Hochspannungstechnik gesammelt werden.

Die genannten anderen Technologieansätze zeigen aktuell noch mögliche Einschränkungen – je nach der gewählten Alternative und dem vorliegenden Anwendungsfall – beispielweise bei Wirtschaftlichkeit, EHS*-Aspekten, Baugröße oder Wartungszyklen. Eingesetzt werden solche Betriebsmittel – wenn geeignet – in allen Bereichen der Energieübertragung und -verteilung, in Industrie und Infrastruktur.

* EHS = Environmental, Health and Safety

5. In welchen Fällen ist SF₆ (noch) alternativlos?

Bei der Bewertung einer Alternative sind neben der reinen technischen Machbarkeit noch weitere Faktoren zu berücksichtigen: Insbesondere sind dies Nachhaltigkeit, Klima- und Umweltwirkung (z.B. CO₂-Fußabdruck) über die gesamte Lebensdauer, Einsatzbedingungen (z.B. Temperatur am Einsatzort, vorhandener Platz für die Installation) aber auch spezielle Produkthanforderungen sowie Wirtschaftlichkeit.

Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es keine in den Markt eingeführten Lösungen in gasisolierter Technik für eine Stromunterbrechung ohne SF₆ in der Hochspannungsebene über 145 kV und übliche Bemessungswerte.

6. Wodurch entstehen die SF₆-Emissionen im Bereich der elektrischen Energietechnik?

Die Emissionen von SF₆ entstehen bei Herstellung, Betrieb und der späteren Entsorgung, vor allem jedoch im Betrieb durch physikalisch nicht verhinderbare natürliche Leckraten. Der größte Anteil der SF₆-Emissionen im Bereich der Energietechnik wird verursacht durch sogenannte sonstige Betriebsmittel, wie z.B. Hochspannungs-Isolatoren, Strom- und Spannungswandler, gefolgt von Schaltanlagen und -geräten der Höchst- und Hochspannung. Zwar befinden sich in den Stromnetzen eine deutlich höhere Anzahl an Anlagen auf der Ebene der Mittelspannung, dort werden jedoch nur geringe SF₆-Mengen pro Anlage eingesetzt.

7. Was hat die Elektroindustrie bisher getan, um den Einsatz von SF₆ und deren Emission zu reduzieren?

Die Industrie hat die Auswirkungen von SF₆ auf das Klima, sofern es in die Atmosphäre gelangt, frühzeitig erkannt und sehr ernst genommen. Die Elektroindustrie und die Anwender sind sich ihrer Verantwortung bewusst und haben bereits 1997 an einer

Selbstregulierung gearbeitet [4]. Neben einer detaillierten Datenerhebung von Einsatzmengen und Emissionen sieht diese Selbstregulierung die Reduzierung von Emissionen vor und hat die Entwicklung von SF₆-Alternativen zum Ziel. Durch hohe Investitionen in die Forschung konnten die ambitionierten Ziele für 2020 erreicht werden. Die Datenerhebung hatte hierbei einen großen Einfluss, da durch die Verbesserungen messbar wurden.

Die Selbstregulierung hat zu einer Vielzahl von Maßnahmen geführt, welche die Gesamtemissionen im Vergleich zu 2005 deutlich reduziert haben, zum Beispiel

- ist in modernen SF₆-Betriebsmitteln die Menge des dort eingesetzten Isoliergases deutlich gesunken;
- notwendige Wartungszyklen bei Hochspannungs-Betriebsmitteln wurden verlängert (Vorteil: Dadurch reduziert sich die Anzahl der Wartungen. Bei jeder Wartung werden die Geräte geöffnet und eine kleine Menge SF₆ kann bei unsachgemäßem Gashandling in die Atmosphäre entweichen);
- eine Schulungs- und Zertifizierungspflicht wurde eingeführt für Personal im Umgang mit SF₆, was zu reduzierten Emissionen im Gashandling führte;
- eine Verbesserung der Entleerung von SF₆-gefüllten Gasräumen (durch leistungsfähigere Vakuumpumpen) wurde erreicht;
- eine optimale Überwachung der Gaskreisläufe im Fertigungsbereich ist heute Standard;
- Produkte wurden optimiert hinsichtlich ihrer Leckraten im Betrieb hin zu $\leq 0,1\%/Jahr$. Mittelspannungs-Betriebsmittel werden heute fast ausschließlich als auf Lebenszeit hermetisch gekapselte Produkte eingesetzt;
- in Typprüfungen und Stückprüfungen wird wo möglich auf den Einsatz von SF₆ verzichtet (siehe relevante Produktstandards Reihe IEC 62271 der International Electrotechnical Commission [7]).

8. Was hat die Elektroindustrie getan, um Alternativen für SF₆ zu finden?

Seit den 1990er Jahren forschen die Hersteller elektrischer Betriebsmittel aktiv an Alternativen zu SF₆.

Auch wenn es bisher keinen Ersatz gibt, der das Anwendungsspektrum der SF₆-Hochtechnologie vollständig und gleichwertig abdecken kann, kann die Forschungsarbeit doch Erfolge vorweisen: So gibt es mehrere Alternativen. Da diese aber unterschiedlichen Anforderungen folgen müssen, gilt es, genau herauszufinden, welcher Ersatz in welchem Anwendungsfall die beste und sicherste Lösung ist und diese dann jeweils zur Marktreife zu führen.

In Pilot-Anwendungen in Deutschland und Europa konnten erste Erfahrungen mit Alternativtechnologien und -gasen gesammelt werden. Beispielsweise existieren SF₆-freie Lösungen als seriennahe Produkte für leistungsstarke Offshore-Windanlagen, als Mittelspannungsanlagen der sekundären Energieverteilung (RMU) bis 24 kV und als Mittelspannungsanlagen der primären Energieverteilung bis 36 kV.

9. Wie wird sich der Einsatz von SF₆ mittel- bis langfristig entwickeln? (wird es mehr, wird es weniger)

Beim Mengenwachstum muss unterschieden werden zwischen den eingesetzten SF₆-Mengen und den SF₆-Emissionen (bei Herstellung, Betrieb und Entsorgung).

Beide Größen hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab – auch von politischen Entscheidungen.

Energiewende, Digitalisierung, Urbanisierung, Dekarbonisierung und Elektromobilität ziehen einen steigenden Energiebedarf nach sich und damit den Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetze. Auch die dezentrale Energieerzeugung aus einer Vielzahl von Erneuerbaren-Energien-Anlagen führt zu einem höheren Bedarf an Schaltanlagen.

Derzeit sinken die SF₆-Emissionen aus elektrischen Betriebsmitteln kontinuierlich, wie das Umweltbundesamt auf seinen Webseiten veröffentlicht [2], jedoch wird die Anlagenpopulation aus oben genannten Gründen zunehmen.

Ein Übergang zu SF₆-freien Technologien in den stückzahlstarken Anwendungen der unteren Spannungsbereiche von Hoch- und Mittelspannung scheint in der Zukunft möglich; die EU Kommission hat dazu eine Studie in Auftrag gegeben [5], die insbesondere auch eine Analyse der Auswirkungen beinhalten soll.

Wir gehen heute davon aus, dass der Mengeneinsatz an SF₆ stagnieren wird und schließlich sinkt – durch den zunehmenden Einsatz von Alternativen als auch durch den Ersatz von SF₆-Altanlagen.

Da SF₆ bei elektrischen Betriebsmitteln in einem geschlossenen Kreislauf gehalten wird, sind die Emissionsraten sehr niedrig, in Deutschland liegen die CO₂-Äquivalenten SF₆-Emissionen bei etwa 0,03% der gesamten Treibhausgasemissionen [8] [9].

Ansprechpartner:

Fachverband Energietechnik

Sven Borghardt

Telefon: +49 30 306960 22 – E-Mail: Sven.Borghardt@zvei.org

Presse

Ingrid Pilgram

Telefon: +49 69 6302 259 – E-Mail: Ingrid.Pilgram@zvei.org

Weiterführende Informationen:

- [1] Europäische F-Gas Verordnung (EU) Nr. 517/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2014.150.01.0195.01.ENG
- [2] Umweltbundesamt: Webseite zu „Fluorierte Treibhausgase / Anwendungsbereiche und Emissionsminderung / Schaltanlagen“
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/schaltanlagen>
- [3] Umweltbundesamt: „Konzept zur SF₆-freien Übertragung und Verteilung elektrischer Energie (Abschlussbericht)“
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/endbericht_sf6_de.pdf
- [4] „Selbstverpflichtung der SF₆-Produzenten, Hersteller und Betreiber von elektrischen Betriebsmitteln > 1kV zur elektrischen Energieübertragung und -verteilung in der Bundesrepublik Deutschland zu SF₆ als Isolier- und Löschgas“
https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/sv_sf6_bf.pdf
- [5] EU Commission, Directorate-General, Climate Action, Directorate A - International and Mainstreaming, CLIMA.A.2 - Climate Finance, Mainstreaming, Montreal Protocol, Call for Tenders CLIMA/A.2/SER/2018/00XX MV, Service contract for “Report on the use of SF₆ in switchgear and related electrical equipment”
https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/tenders/2019/00xxmv_en.pdf
- [6] Umweltbundesamt: „Projektionen zu den Emissionen von HFkw, FKw und SF₆ für Deutschland bis zum Jahr 2050“
<https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/projektionen-zu-den-emissionen-von-hfkw-fkw-sf6>
- [7] International Electrotechnical Commission: IEC 62271:2019 SER Series, High-voltage switchgear and controlgear - ALL PARTS
<https://webstore.iec.ch/publication/6740>
- [8] Datenmeldung ZVEI / VDE FNN gemäß der freiwilligen Selbstverpflichtung zu SF₆ in der Energietechnik an das BMU und UBA
- [9] Entwicklung der F-Gase – (teil-)fluorierte Kohlenwasserstoffe, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#textpart-3>
- [10] Electrical Power Supply using SF₆ Technology – an Ecological Life Cycle Assessment (2004)
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.5839&rep=rep1&type=pdf>