

Szenario zur Reduktion der SF₆-Betriebsemissionen von elektrischen Betriebsmitteln durch den Einsatz alternativer Isoliergase



Szenario zur Reduktion der SF₆-Betriebsemissionen von elektrischen Betriebsmitteln durch den Einsatz alternativer Isoliergase

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.
Fachverband Energietechnik
Charlottenstraße 35/36
10117 Berlin

Verantwortlich:
Sven Borghardt
Bereich Energie
Telefon: +49 30 306960 22
E-Mail: sven.borghardt@zvei.org

März 2020

www.zvei.org

Das Werk einschließlich aller seiner
Teile ist urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der engen
Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne
Zustimmung des Herausgebers unzulässig.

Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen,
Übersetzung, Mikroverfilmungen und
die Einspeicherung und Verarbeitung in
elektronischen Systemen.

VIK - Verband der Industriellen Energie-
und Kraftwirtschaft e. V.
Richard-Wagner-Str. 41
45128 Essen

Verantwortlich:
Dipl.-Ing. Thomas Gesing
Telefon: +49 201 81084 36
E-Mail: th.gesing@vik.de
www.vik.de

VDE - Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e. V.
Forum Netztechnik/Netzbetrieb
im VDE (FNN)
Bismarckstraße 33
10625 Berlin
Verantwortlich:
Thoralf Bohn
Telefon: +49 30 383868 70
E-Mail: Thoralf.Bohn@vde.com
www.vde.com

Inhalt

Kernbotschaften	4
1 Motivation	4
2 Technischer Hintergrund	5
3 Beschreibung der Annahmen und Szenarien	5
3.1 Abschätzung Bestandsdaten Hochspannung	5
3.2 Bestandsdaten Mittelspannung	6
3.3 Vorhersage der zukünftigen Entwicklung	7
4 Betrachtete Szenarien	8
5 Ergebnisse	9
6 Fazit	10
7 Literaturquellen	10

Kernbotschaften

- Die SF₆-Betriebsemissionen konnten in den letzten Jahren stetig reduziert werden.
- Die SF₆-Technologie für elektrische Betriebsmittel ist hinsichtlich der Emissionsraten weitestgehend technisch optimiert.
- Ein Festhalten ausschließlich an der SF₆-Technologie würde aufgrund des Anstiegs der Anlagenpopulation vor dem Hintergrund der Energiewende, Elektromobilität, Digitalisierung und Urbanisierung zu einem weiteren Anstieg der SF₆-Bestände und zu keiner nachhaltigen Verringerung der SF₆-Emissionen führen.
- Eine weitere Reduzierung der SF₆-Emissionen im Bereich der Elektrizitätsversorgung ist hauptsächlich durch den Einsatz alternativer Technologien möglich.
- Für einzelne Anwendungsbereiche/Spannungsebenen sind alternative Produkte bereits verfügbar und im Einsatz. Ein flächendeckender Einsatz bei Neuanlagen über alle Spannungsebenen hinweg erfordert allerdings angemessene Übergangszeiten:
 - Für jeden Anwendungsbereich müssen an die Anforderungen angepasste Produkte entwickelt und zur Marktreife gebracht werden; bei ausreichendem Angebot können sie flächendeckend eingesetzt werden.
 - Der sichere Netzbetrieb und die Versorgungssicherheit müssen jederzeit gewährleistet werden: Geschwindigkeit und Reihenfolge von Maßnahmen in Netzen der elektrischen Energieversorgung müssen dies berücksichtigen.
 - Aus diesen Gründen ist zum Beispiel für die sekundäre Mittelspannungsebene (≤24 kV) eine Übergangszeit von fünf bis zehn Jahren anzusetzen.
- Für Erweiterungen und Reparaturen sowie für sehr spezielle Lösungen (Grenzanwendungen) wird SF₆ noch über das Jahr 2050 hinaus notwendig sein.
- Durch klare und verlässliche europäische Rahmenbedingungen für Hersteller und Betreiber kann der Einsatz SF₆-freier Lösungen unterstützt werden.

1 Motivation

Der Arbeitskreis SF₆ und Alternative Gase¹ hat zwei Zukunftsszenarien entwickelt, wie die Einführung neuer Technologien zum Ersatz von Schwefelhexafluorid (SF₆) im Bereich der elektrischen Energieversorgung dazu beitragen kann, die ambitionierten Ziele der EU-Kommission, Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent zu machen, zu erreichen. Neben der technischen Machbarkeit werden in den Szenarien auch die Herausforderungen berücksichtigt, entsprechende Produkte in ausreichendem Maße bereitzustellen und bei jederzeitiger Sicherstellung der Energieversorgung in das bestehende Stromnetz zu integrieren.

Berücksichtigt wird auch, dass der Bedarf an Schaltanlagen bis 2050 vor dem Hintergrund der Energiewende, Elektromobilität, Digitalisierung und Urbanisierung weiter ansteigen wird.

Zielsetzung des Berichts ist es, das Potenzial für die zukünftige Reduktion der SF₆-Emissionen und des Bestands von SF₆ darzustellen.

¹ AK SF₆ und Alternative Gase: Der verbändeübergreifende Arbeitskreis SF₆ und Alternative Gase setzt sich aus Vertretern der Hersteller, Betreiber, Gasproduzenten und -zubehörlieferanten zusammen. Weiterhin sind als assoziierte Mitglieder folgende Verbände vertreten: BDEW, FNN, VIK, ZVEI.

2 Technischer Hintergrund

SF₆ – Schwefelhexafluorid – ist ein Gas, ungiftig, aber mit hoher Klimawirkung, falls es in die Atmosphäre gelangt. In der Elektroindustrie wird es als Isolier- und Schaltgas in elektrischen Mittel- und Hochspannungsprodukten eingesetzt. Die auf der SF₆-Technologie basierenden, am Markt verfügbaren Schaltanlagen und -geräte haben sich bewährt, sind sicher und sehr zuverlässig.

Die vom Umweltbundesamt gesammelten Daten zeigen, dass der Anteil (berechnet in Kohlendioxid-Äquivalenten) von SF₆ aller Emittenten an den gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland etwa 0,5 Prozent beträgt [1]. Weniger als ein Zehntel davon entfällt auf die Elektroindustrie [1] [2]. In den letzten zehn Jahren haben alle namhaften Hersteller von Schaltanlagen und -geräten die Investitionen in Forschung und Entwicklung von SF₆-Alternativen weiter forciert. Bereits heute gibt es Alternativen in einigen Anwendungsfeldern der Mittel- und Hochspannung. Einige sind bereits im Einsatz, manche werden unter realen Bedingungen im Netz erprobt [3]. Keine der bisher vorhandenen Alternativen ist jedoch ein vollständiger und gleichwertiger Ersatz für SF₆ über alle seine Anwendungsbereiche hinweg.

Der Austausch von Schaltanlagen erfolgt meist aufgrund des Erreichens der technischen Lebensdauer, um stets die Versorgungssicherheit aufrechtzuerhalten. Viele Anlagen der SF₆-Technologie aus der Anfangszeit wurden bereits durch SF₆-Anlagen mit geringeren SF₆-Mengen und SF₆-Emissionen ersetzt. Weitere Anlagen werden in zunehmendem Maße ausgetauscht und werden damit zur weiteren Reduzierung der SF₆-Emissionen beitragen.

3 Beschreibung der Annahmen und Szenarien

In diesem Bericht werden die Auswirkungen eines Festhaltens an der SF₆-Technologie und der Einführung alternativer Technologien in der Mittel- und Hochspannung auf Basis eines Modells betrachtet und ausgewertet. Das Endergebnis legt dar, welche nennenswerten Reduktionspotenziale sich bei den SF₆-Emissionen und bei den in den Systemen befindlichen SF₆-Mengen („Bestand“) erschließen lassen.

Im Rahmen einer Machbarkeitsanalyse werden zudem die aktuellen Randbedingungen betrachtet und ein Fazit geschlossen.

Die Mitgliedsunternehmen des ZVEI haben unter Verwendung und Kombination öffentlicher Daten sowie durch anonymisierte Hochrechnung von Herstellerzahlen ein Modell entwickelt, welches die Bestandsentwicklung von der Einführung der Technologie bis heute abbildet. Berücksichtigt werden hierbei alle Hochspannungsprodukte (gasisolierte Schaltanlagen, Messwandler und Leistungsschalter in Freiluftaufstellung) sowie gasisolierte Mittelspannungsschaltfelder (GIS) der primären und sekundären Verteilebene. Die Zahlen für die installierte Menge sowie die jährlichen Betriebsemissionen von SF₆ wurden an den gemeldeten Berichtszahlen (BMU, UBA) [2] gespiegelt und das Modell entsprechend angepasst.

Nach Schätzung der Experten bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Anlagenpopulation (vgl. Abschnitt 3.3) betreffend Austausch von bestehenden Anlagen und Neubau von Anlagen, die dem erwarteten Netzausbau entsprechen, werden die zukünftige Entwicklung des Bestands und der Betriebsemissionen in zwei Szenarien betrachtet. Szenario 1 betrachtet den Neubau und den geplanten Ersatz von bestehenden SF₆-Anlagen durch Anlagen der neuesten SF₆-Technologie (kleinere Gasmengen, geringere SF₆-Emissionen). In Szenario 2 wird der schrittweise Einsatz alternativer Technologien beschrieben. Die Entwicklung von SF₆-Mengen im System und SF₆-Emissionen in beiden Szenarien werden miteinander verglichen.

3.1 Abschätzung Bestandsdaten Hochspannung

Da keine detaillierten, öffentlich zugänglichen Angaben zur Anzahl der im Netz befindlichen Anlagen und Produkte vorliegen, sondern die einzelnen Verbände nur über summierte Daten über SF₆-Mengen und SF₆-Emissionen verfügen, wurde eine Expertenschätzung vorgenommen und anhand der Berichtsdaten validiert.

Hierbei wurde der gesamte Bereich an Technologie in allen Spannungsebenen (72,5 bis 420 kV) berücksichtigt, das heißt gasisierte Schaltanlagen (GIS) bzw. Messwandler und Schaltgeräte, die ansonsten in luftisolierten Anlagen verbaut werden. Für die unterschiedlichen Technologien wurden unterschiedliche Gasvolumina angesetzt. Die ersten Anlagen aus den 1960er-Jahren sind größer und somit mit einer deutlich größeren SF₆-Menge ausgeführt als moderne Anlagen. Auch die dimensionierten und realen Leckraten waren in den Anfangszeiten deutlich höher als heute. Hier fand über die Jahrzehnte eine Verbesserung von 3 Prozent/Jahr hin zu 0,1 Prozent/Jahr statt, was den machbaren Stand der Technik repräsentiert.

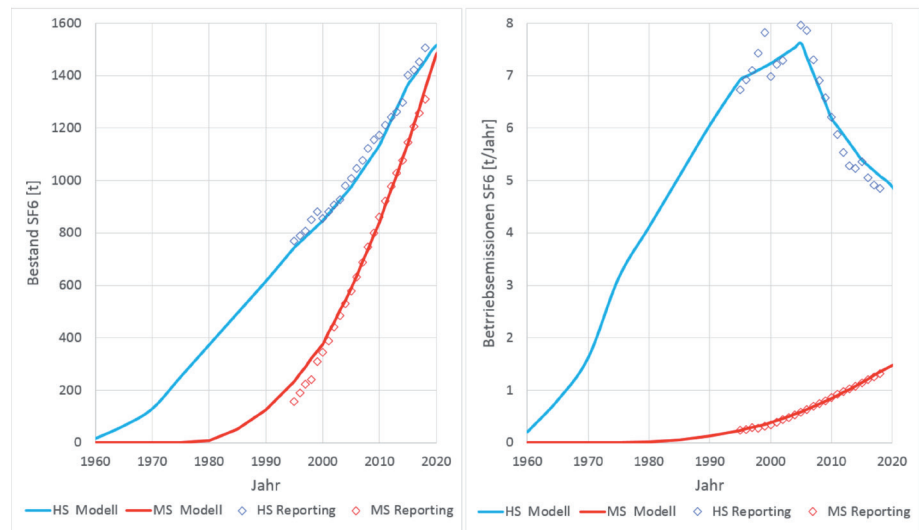
Die in Verkehr gebrachten Produkte wurden von einem Hersteller anhand der gelieferten Einheiten und des jeweils abgeschätzten Marktanteils abgeleitet. Die Annahmen wurden bezüglich Plausibilität überprüft und bestätigt. Das Modell legt die summierten SF₆-Mengen zugrunde, die in den Kategorien der verschiedenen Leckraten im Einsatz sind. Zur Wahrung der Compliance-Richtlinien können somit keine Rückschlüsse auf Fertigungsvolumen oder Marktanteile einzelner Hersteller gezogen werden.

In das Modell eingegeben, ergeben sich hieraus die Bestandsmengen für die Hochspannung mit der gleichen Produktabdeckung wie die der gemeldeten Zahlen. Da in den Meldezahlen nicht die theoretischen Leckraten, sondern beispielhaft ermittelte Leckraten ausgewählter Anlagen jeder Generation verwendet werden, sind diese ebenfalls im Modell berücksichtigt. Dies ergibt die jährlichen Leckraten.

Da auch keine Daten öffentlich zu den ausgetauschten Anlagen im Netz vorliegen, wurde im Modell der Ersatz der ersten Anlagen pauschal nach 40 (Wandler, Schalter) bzw. 50 (GIS) Betriebsjahren mit einem Austausch mit Anlagen neuester Technologie (geringeres Gasvolumen und niedrigere Leckrate) berücksichtigt.

Das nun vorliegende Modell konnte mit den in den Jahren 1995 bis 2018 gemeldeten Bestandszahlen und Emissionen abgeglichen werden.

Abb. 1: Vergleich des SF₆-Bestands bzw. der SF₆-Betriebsmissionen in Deutschland nach dem Modell und nach dem Reporting für Hochspannung (blau) und Mittelspannung (rot)



Quelle: jährliches Reporting an das BMU und UBA

Die jeweiligen Graphen zeigen eine Übereinstimmung zwischen Modell und gemeldeten Zahlen und bestätigen das Modell.

3.2 Bestandsdaten Mittelspannung

Bei der Mittelspannung ist öffentlich zugängliches Zahlenmaterial nicht verfügbar, allerdings ist hier auch die Komplexität des Produktspektrums geringer. Es werden nur GIS betrachtet, aufgeteilt in Anlagen der primären und sekundären Energieverteilung (Ring-Main-Units – RMU). Da diese Technologie wesentlich später entwickelt wurde und erst in den 1980er-Jahren zum Einsatz kam, konnten schon die

ersten Anlagen von den Erfahrungen aus dem Hochspannungsbereich profitieren. Diese waren bereits sehr kompakt und hatten eine geringe Leckrate (<0,5 Prozent/Jahr). Bis heute liegen in der Regel nur zwei, selten drei Anlagengenerationen vor, die sich untereinander bedeutend weniger unterscheiden als die in der Hochspannung. Auch ist der Bereich der abgedeckten Betriebsspannungen von 12 bis 24 bzw. 36 kV eher klein, sodass die bauartbedingten Unterschiede gering sind. Einige Anlagentypen sind sogar weitgehend baugleich für die Spannungsebenen 12, 24 und teilweise sogar 36 kV.

Für die Analyse im Mittelspannungsbereich wird, wie bei den Hochspannungsanlagen, ein analoger Ansatz zur Bestimmung der Anlagenpopulation gewählt.

Basierend auf den gesamten Fertigungszahlen eines Herstellers jeweils für primär- und sekundärtechnische Anlagen, werden die bis 2017 gefertigten Anlagen durch Annahme des Marktanteils hochgerechnet. Der davon in Deutschland installierte Anteil wird abgeschätzt und bestätigt. Der Anstieg der Anlagenpopulation wird in ähnlicher Form wie bei der Hochspannung angenommen. Da die Anlagen erst seit den 80er Jahren installiert und die Lebensdauer mit ca. 40 Jahren abgeschätzt wurde, wird eine relevante Deinstallation von alten Anlagen zum aktuellen Zeitpunkt vernachlässigt. Die pro Einheit verbaute Menge an SF₆ wird, basierend auf veröffentlichten Daten, gemittelt. Wie im jährlichen Reporting an das BMU und UBA ist eine Leckrate von durchgängig 0,1 Prozent/Jahr angenommen.

3.3 Vorhersage der zukünftigen Entwicklung

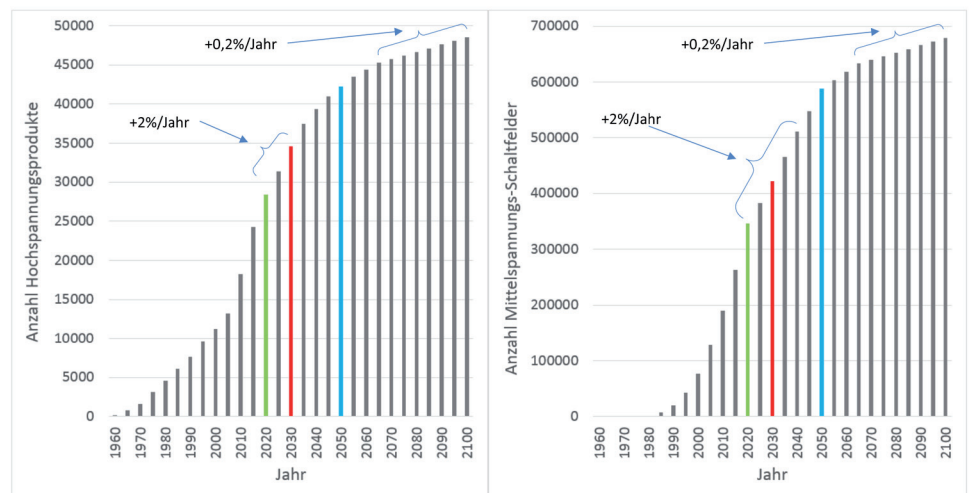
Die SF₆-Technologie ist nach Branchenmeinung in der Hoch- und Mittelspannung ausgereift und entspricht dem technologischen Optimum. Geringere Leckraten oder reduzierte SF₆-Mengen bei Neuinstallationen sind nicht mehr zu erwarten.

Nach Ansicht der im AK SF₆ und Alternative Gase vertretenen Experten, insbesondere auf Betreiberseite, werden sich für die Hochspannung geringere Zuwachsraten ergeben. Allerdings bedarf die Anbindung der regenerativen Energieerzeugung (z. B. Offshore-Windparks) weiterer Ausbaumaßnahmen.

Die Mittelspannung hat im Bereich der Verteilnetze und der Erzeugung einen erhöhten Bedarf zu berücksichtigen. Grund hierfür ist ebenfalls die regenerative, dezentrale Energieerzeugung, die im Vergleich zur zentralen Erzeugung wesentlich mehr Schaltfelder benötigt. Auch aufgrund der Digitalisierung und der Elektrifizierung des Verkehrs wird mit einem Zubau von Schaltanlagen in den Mittelspannungsnetzen gerechnet. Die wachsende Urbanisierung trägt ebenfalls dazu bei. Insgesamt wird für den Zeitraum bis etwa 2050 eine Zuwachsrate von 2 Prozent jährlich angenommen.

Extrapoliert man die Daten bis zum Jahr 2100, so ergeben sich auf Basis der getroffenen Annahmen folgende Vorhersagen:

Abb. 2: Vorhersage der zu erwartenden Anlagenpopulation bis 2100 für die Mittelspannung bzw. Hochspannung in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung

Die Grafiken zeigen den beschriebenen Trend eines gegenüber den letzten 20 Jahren geringeren, aber weiterhin stetigen Zubaus von Schaltanlagen für die Hochspannung und eines fortgesetzten Ausbaus der Mittelspannung. Der grüne Balken kennzeichnet jeweils die Gegenwart, links davon sind die grundlegenden Daten der Entwicklung des Anlagenbestands bis heute, rechts davon die Prognose der zukünftigen Entwicklung dargestellt.

4 Betrachtete Szenarien

Ziel dieser Arbeit ist es, die SF₆-Emissionen und den SF₆-Bestand in zwei Szenarien miteinander zu vergleichen:

- Szenario 1 betrachtet den Neubau und den geplanten Ersatz von SF₆-Anlagen mit Anlagen der neuesten SF₆-Technologie (geringere Gaseinsatzmengen, geringere SF₆-Emissionsraten).
- In Szenario 2 erfolgen Neubau und geplanter Ersatz von SF₆-Anlagen schrittweise durch alternative Technologien. Der Austausch erfolgt gemäß dem technischen Bedarf bei Erreichen der technischen Lebensdauer der bestehenden Geräte („End of life“ = 40 bzw. 50 Jahre).

Da die Technologie für SF₆-freie Produkte noch nicht in kompletten Produktportfolios vorliegt, sondern sich aktuell noch teils in der Entwicklung/Pilotierung befindet, müssen Annahmen getroffen werden, wann diese Produkte in den einzelnen Marktsegmenten verfügbar sind. Diese Zeitspannen berücksichtigen nicht nur die reinen Entwicklungszeiten, sondern auch entsprechende Tests, Pilotinstallationen, Industrialisierung und letztlich Homologation durch die Netzbetreiber.

Für Reparaturen und Anlagenerweiterungen muss weiterhin über viele Jahre der Betrieb von SF₆-Produkten fortgeführt werden.

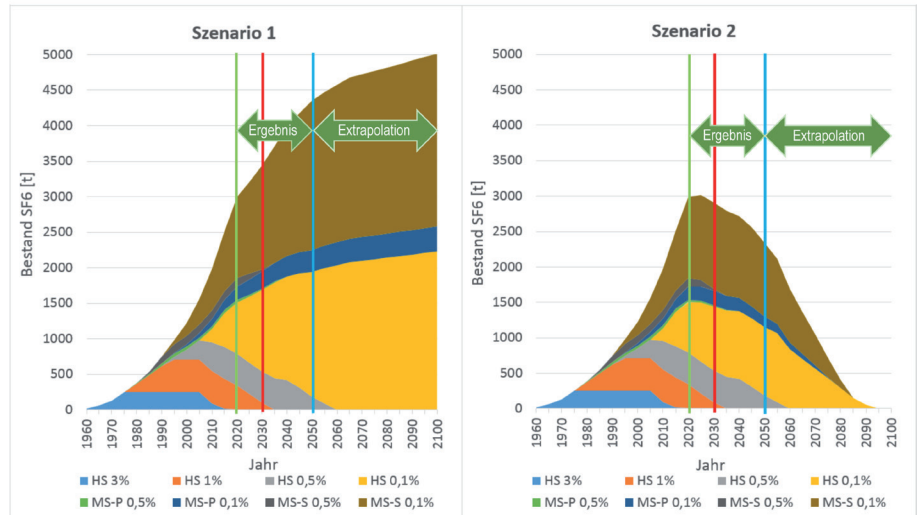
Grundlage für einen Schwenk auf SF₆-freie Lösungen sind klare politische Anreize für den Netzbetreiber oder Endkunden. Wird dies nicht gefordert, so wird dies nur zum Teil oder nur sehr gering in Anspruch genommen und die ermittelten Auswirkungen bleiben aus. Werden die Anlagen nicht am Markt eingesetzt und eine Verwendung nicht gefordert, unterbleiben flächendeckende Entwicklungen und es ist sogar möglich, dass sich der Entwicklungsprozess nicht nur verlangsamt, sondern dass er mangels Nachfrage eingestellt wird.

Erfolgen jedoch geeignete Anreizmaßnahmen, so können sich alternative Technologien in den kommenden Jahren weiterentwickeln und verbreitet zum Einsatz kommen. Basierend auf dieser Grundvoraussetzung wird für das Szenario 2 angenommen, dass im Bereich der Hochspannung bis zum Jahr 2025 etwa 5 Prozent der Neuinstallationen SF₆-frei sein werden, bis 2030 etwa 40 Prozent und bis 2050 etwa 90 Prozent. In der sekundären Mittelspannungsebene wird mit einer vergleichbaren Entwicklung bis 2025 gerechnet. Bis 2030 könnten 60 Prozent der Neuinstallationen SF₆-frei sein, bis 2050 sollte dies für alle Neuinstallationen gelten. Für die primäre Mittelspannungsebene wird angenommen, dass der Anteil der SF₆-freien Technologie bis 2025 etwas höher ist (ca. 10 Prozent), da bereits Produkte für einzelne Spannungsebenen dieses Segments verfügbar sind. Bis 2030 könnte in diesem Segment die Hälfte aller Neuinstallationen SF₆-frei sein, bis 2050 nahezu alle Neuinstallationen (ca. 98 Prozent). Diese Annahmen berücksichtigen, dass für Erweiterungen und Reparaturen sowie für sehr spezielle Lösungen (Grenzanwendungen) SF₆ noch über das Jahr 2050 hinaus notwendig sein wird.

5 Ergebnisse

Der Bestand an SF₆ in der installierten Basis (siehe Abb. 3) ist insbesondere im Hochspannungsbereich in den letzten Jahren, trotz des Umstiegs auf kompaktere Anlagen mit geringeren Füllmengen, gestiegen. Auch in der Mittelspannung lässt sich ein deutlicher Zuwachs verzeichnen, bedingt durch Neuinstallationen durch die oben genannten Treiber. Die betrachteten Szenarien zeigen, dass der Gesamtbestand an SF₆ im Szenario 1 auch in Zukunft deutlich ansteigen wird. Zukünftig würde hier der Bestand an SF₆ in Mittelspannungsanlagen den in Hochspannungsanlagen übersteigen.

Abb. 3: Vergleich des erwarteten SF₆-Bestands (in t) in Deutschland auf Basis der beiden Szenarien



Quelle: grafische Auswertung des Modells

Szenario 1: Ausführung der Produkte in SF₆-Technologie neuester Stand

Szenario 2: Schrittweiser Einsatz SF₆-freier Alternativen

Ergebnis: Modellergebnis auf Basis der gewählten Prämissen

Extrapolation: Extrapolation des Modells mit sinngemäßen Prämissen

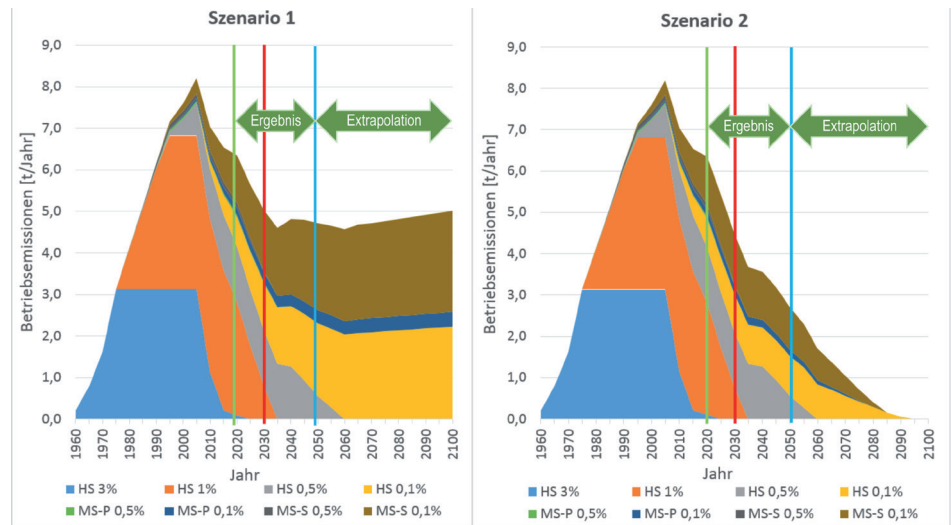
Szenario 2 zeigt hingegen, dass bei sofortigem Einstieg in die SF₆-freie Technologie der Bestand an SF₆ in zunehmendem Maße abnehmen kann, da immer mehr Neuanlagen SF₆-frei ausgeführt und alte SF₆-Anlagen durch SF₆-freie Neuanlagen ersetzt werden. Da die Anlagen – sinnvollerweise – über mehrere Jahrzehnte genutzt werden, wird der Rückgang der eingesetzten SF₆-Menge allerdings einen größeren Zeitraum in Anspruch nehmen.

Die Extrapolation zeigt, dass unter den oben genannten Annahmen selbst in Szenario 2 die installierte SF₆-Menge erst zur Jahrhundertwende gegen null gehen wird.

Betrachtet man nun die sich daraus ergebenden Betriebsemissionen (siehe Abb. 4), so zeigt sich zunächst ein Erfolg der Maßnahmen der letzten Jahre, insbesondere durch die freiwillige Selbstverpflichtung aus dem Jahr 2005 sowie die daraus resultierenden Maßnahmen bei Herstellern und Betreibern. Durch den fortschreitenden Austausch von Hochspannungs-Altanlagen der zweiten und dritten Generation mit Leckraten von 1 Prozent/Jahr bzw. 0,5 Prozent/Jahr durch neuere und kompaktere Anlagen werden die SF₆-Emissionen auch in den nächsten Jahren abnehmen. Sobald dieser Austausch abgeschlossen ist, wird der Anlagenzuwachs tendenziell zu einem Anstieg der SF₆-Emissionen führen, wenn Szenario 1 (weiterer Einsatz der SF₆-Technologie) verfolgt wird.

Ein Ausstieg aus SF₆ mit einem schrittweisen Einstieg in SF₆-freien Lösungen wird den Abwärtstrend fortführen. Die Extrapolation zeigt, dass so die Betriebsemissionen bis zur Jahrhundertwende auf null reduziert werden können.

Abb. 4: Vergleich der zu erwartenden SF₆-Emissionen (in t/Jahr) in Deutschland in den beiden Szenarien



Quelle: grafische Auswertung des Modells

Szenario 1: Ausführung der Produkte in SF₆-Technologie neuester Stand

Szenario 2: Schrittweiser Einsatz SF₆-freier Alternativen

Ergebnis: Modellergebnis auf Basis der gewählten Prämissen

Extrapolation: Extrapolation des Modells mit sinnngemäßen Prämissen

6 Fazit

Das entwickelte Modell gibt hinsichtlich des Bestands an SF₆ und der Betriebsmissionen die Vergangenheit bis heute hinreichend genau wieder. Eine Extrapolation in die Zukunft bis zum Jahr 2100 ist mit einer Vielzahl von Unsicherheiten verknüpft.

Geht man jedoch von einer Verfügbarkeit der Produktportfolios sowie einer frühen Anwendung von SF₆-freien Lösungen aus und treffen die Vorhersagen für die Anlagenpopulation – so wie in den Modellannahmen hinterlegt – ein, so zeigt sich deutlich, dass nur ein zügiger und umfassender Umstieg den Bestand und die Emissionen von SF₆ weiter reduzieren kann.

Dieser Übergang zu SF₆-freien Lösungen kann durch klare politische Maßnahmen und Randbedingungen forciert werden. Bleiben diese aus oder sind sie nicht wirksam, so ist mit einer langsameren Entwicklung zu rechnen, die zwischen den beiden Szenarien liegt. Unterbleibt der Umstieg auf SF₆-freie Technologien (Extremfall), so muss von der in Szenario 1 beschriebenen Entwicklung der SF₆-Mengen und SF₆-Emissionen ausgegangen werden.

7 Literaturquellen

- [1] Umweltbundesamt (2019): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland, online unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#textpart-1> (Abfrage 14.01.2020, 09:00 Uhr)
- [2] Datenmeldung ZVEI / VDE FNN gemäß der freiwilligen Selbstverpflichtung zu SF₆ in der Energietechnik an das BMU und UBA
- [3] T&D Europe Guide „Technical report on alternative to SF₆ gas in medium & high voltage electrical equipment“



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e.V.

Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-0

Fax: +49 69 6302-317

E-Mail: zvei@zvei.org

www.zvei.org