



---

## Sachstand

---

### **Schwefelhexafluorid**

Anwendungen, Klimawirkung, Emissionsentwicklung und  
Maßnahmen zur Minderung

**Schwefelhexafluorid**

Anwendungen, Klimawirkung, Emissionsentwicklung und Maßnahmen zur Minderung

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 065/22  
Abschluss der Arbeit: 13. Oktober 2022, korrigiert am 17. Oktober 2022  
Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung  
und Forschung

---

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

---

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>Schwefelhexafluorid: Eigenschaften und Klimawirkung</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Verwendung von Schwefelhexafluorid</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Emissionen an Schwefelhexafluorid</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>Minderungsbemühungen und Regulierung</b>	<b>8</b>
<b>5.</b>	<b>Entwicklung der Nachfrage nach SF<sub>6</sub></b>	<b>10</b>
<b>6.</b>	<b>Emissionsentwicklung und Monitoring</b>	<b>11</b>
<b>7.</b>	<b>Rückgewinnung und Recycling von Schwefelhexafluorid</b>	<b>12</b>
<b>8.</b>	<b>Quellen und Literaturverzeichnis</b>	<b>15</b>

## 1. Schwefelhexafluorid: Eigenschaften und Klimawirkung

Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) ist ein Gas, das seit ungefähr 1960 in verschiedenen Anwendungen benutzt wird. Unter anderem kommt es in Vorrichtungen zur Energieübertragung und -verteilung als elektrisches Betriebsmittel vor. Aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften dient es als Isolier- und Löschgas: Es ist farb- und geruchlos, ungiftig und brennt nicht. Von besonderer Relevanz ist es deshalb für den Spannungsbereich von mehr als 1000 Volt. Konkret ist SF<sub>6</sub> in Schaltanlagen und -geräten, in Messwandlern, gasisolierten Leitungen, Hochspannungsdurchführungen und Kondensatoren zu finden. Entsprechende elektrische Vorrichtungen werden in sämtlichen Anlagen zur Energieerzeugung und -übertragung benötigt, unabhängig von der Art der Energie. Hintergrund des hier erstellten Sachstands ist nichtsdestotrotz die Fragestellung nach der Relevanz und Klimawirkung SF<sub>6</sub>-haltiger elektrischer Schaltanlagen in Windkraftanlagen.

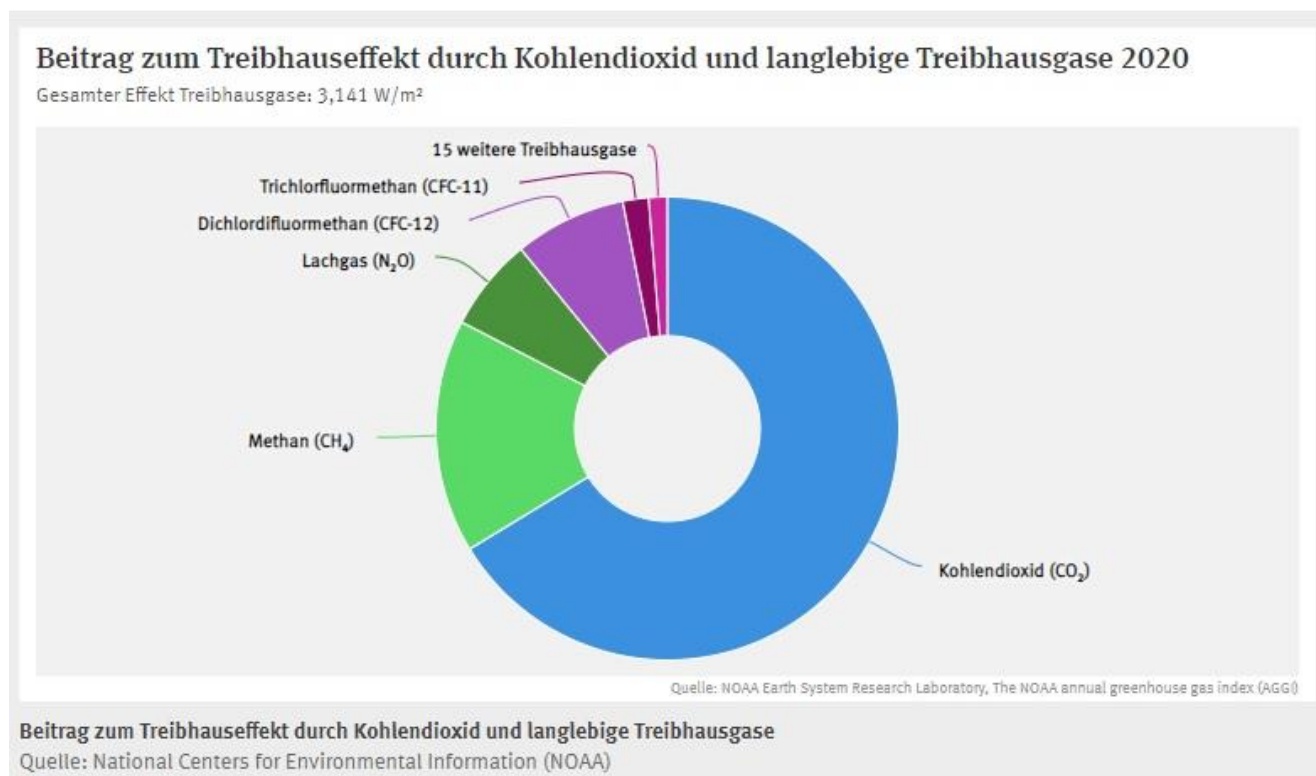
Schwefelhexafluorid ist zugleich das stärkste bis dato bekannte Treibhausgas und neben fünf weiteren Treibhausgasen im Kyoto-Protokoll von 1997 erfasst. Das Erderwärmungspotenzial (global warming potential, GWP) beschreibt als physikalische Größe, die Eigenschaft einer Substanz, die globale Oberflächentemperatur der Erde zu erhöhen. Das global warming potential von Schwefelhexafluorid liegt nach dem derzeitigen Stand der Erkenntnis bei 25.200.<sup>1</sup> Der GWP-Wert wird fortlaufend an neue Erkenntnisse der Wissenschaft angepasst und hat sich vor diesem Hintergrund in der Vergangenheit mehrmals geringfügig geändert. Die Anpassung wird etwa mit den Sachstandsberichten des zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen der Vereinten Nationen (IPCC) vorgenommen, an denen mehrere hundert Klimaforscher\*innen weltweit mitwirken. 1995 wurde der GWP-Wert für die internationale Klimaschutzberichterstattung im Rahmen des Kyoto-Protokolls mit 23.900 angegeben, 2007 schließlich mit 22.800 und 2014 mit 23.500 (GHG Protocol 2016).

Mit dem sechsten Sachstandsbericht des IPCC wurde das GWP auf 25.200 korrigiert (IPCC 2022). Zudem ist es mit einer atmosphärischen Lebensdauer von rund 3.200 Jahren sehr langlebig.

Bis dato trägt Schwefelhexafluorid trotz seiner sehr hohen Klimawirksamkeit im Vergleich zu anderen Treibhausgasen nachrangig zur globalen Erderwärmung bei, wie eine Darstellung des National Centers for Environmental Information NOAA aus den USA veranschaulicht, die in einer Darstellung des Umweltbundesamtes (UBA) aufgegriffen wird (Umweltbundesamt 2021). Es findet sich in der Kategorie weiterer Treibhausgase, die derzeit einen Anteil von wenigen Prozent an der Erderwärmung haben. Diese Verhältnisse sind nicht dazu geeignet, die Relevanz von SF<sub>6</sub> zu schmälern, sollen vielmehr eine sachliche Betrachtung ermöglichen:

---

1 Im Vergleich dazu wird das Erderwärmungspotenzial von Kohlendioxid auf den Wert 1 bezogen, auf die nächsten hundert Jahre normiert. Das Erderwärmungspotenzial von Methan liegt bei 28, jenes von Lachgas NO<sub>2</sub> bei 265 (GHG Protocol 2016).



**Abbildung 1:** Relativer Anteil verschiedener Treibhausgase an der gegenwärtigen globalen Temperaturerhöhung (Quelle: Umweltbundesamt 2021)

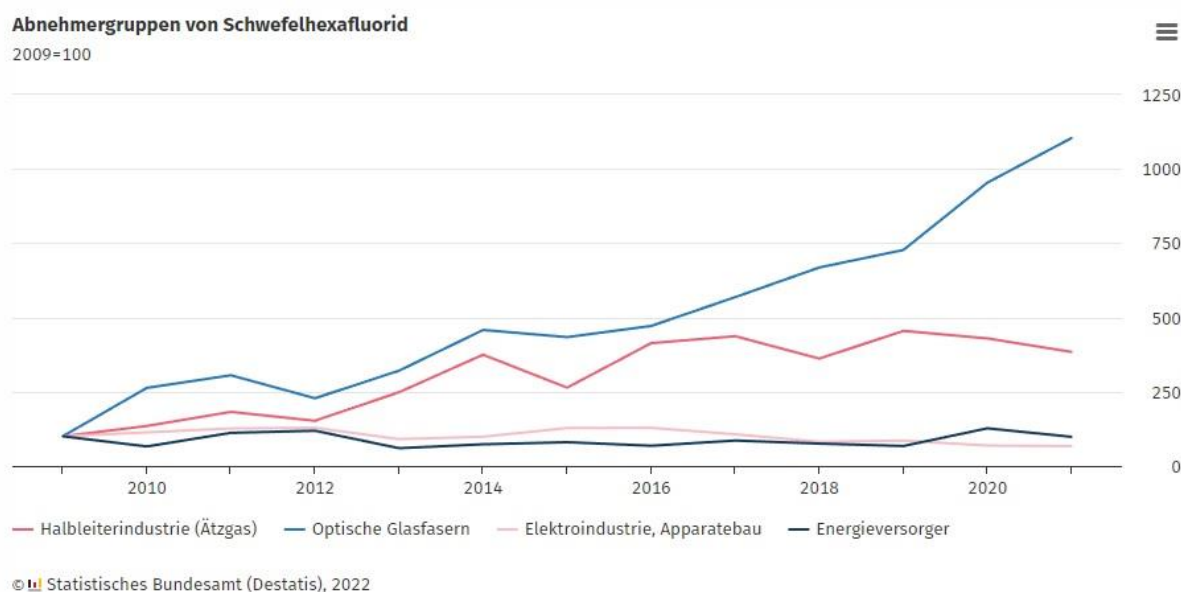
## 2. Verwendung von Schwefelhexafluorid

Wie das Statistische Bundesamt mitteilt, haben deutsche Unternehmen 2021 insgesamt 743,2 Tonnen an Schwefelhexafluorid bezogen. Das waren 10,0 Tonnen mehr als 2020 (relativer Zuwachs: +1,4 Prozent). Die bezogene Menge SF<sub>6</sub> entspricht umgerechnet 17,5 Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalenten (Statistisches Bundesamt 2022).

Als Abnehmer werden verschiedene Industriezweige ausgewiesen: Der größte Abnehmer in absoluten Abgabemengen ist derzeit die Sparte „Elektroindustrie und Apparatebau“. Hinsichtlich des relativen Zuwachses der Abnahmemengen seit 2009 zeigt sich jedoch, dass die Hersteller optischer Glasfasern, die SF<sub>6</sub> als Ätzgas verwenden, den stärksten Anstieg der Bezugsmengen an SF<sub>6</sub> zu verzeichnen haben (siehe Abbildung 2). Glasfaserkabel spielen eine zentrale Rolle in der Nachrichtentechnik und Informationsübertragung; ein entsprechendes Glasfasernetz umspannt den gesamten Planeten. Den zweitgrößten Zuwachs meldet die Halbleiterindustrie, die Schwefelhexafluorid zum Ätzen von Bauteilen verwendet.

Daten des Statistischen Bundesamtes zufolge sind Unternehmen, die Windkraftanlagen herstellen und in die Kategorie „Energieversorger“ fallen, ein nachrangiger Abnehmer. Die Sparte „Ener-

gieversorger“ hatte 2019 einen absoluten Anteil von einem Prozent an der insgesamt in Deutschland verwendeten SF<sub>6</sub>-Menge.<sup>2</sup> Dies sei erwähnt, weil gemäß Auftragsstellung ausdrücklich die Bedeutung von Windkraftanlagen für SF<sub>6</sub>-Emissionen Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist.



**Abbildung 2:** Abnehmergruppen von Schwefelhexafluorid: Die abgenommene Menge im Jahr 2009 wurde mit 100 Prozent gleichgesetzt und stellt den Ausgangspunkt der Grafik dar. Die Darstellung zeigt somit die relative Änderung der Abnahme von Schwefelhexafluorid in den Abnehmergruppen Halbleiter, Optische Glasfasern, Elektroindustrie, Apparatebau und Energieversorger bis zum Jahr 2021 in Bezug auf das Jahr 2009 in Prozent. (Statistisches Bundesamt 2022)

### 3. Emissionen an Schwefelhexafluorid

Die an die Industrie abgegebene Menge an SF<sub>6</sub> entspricht nicht der in die Atmosphäre freigesetzten Emissionsmenge. Das Gas wird zu großen Teilen in geschlossenen Systemen verwendet und damit zunächst dort nicht beabsichtigt freigesetzt. Insgesamt wurden 2020 nach Berechnungen des Umweltbundesamtes zur nationalen Treibhausgas-Berichterstattung in Deutschland 3,0 Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente an SF<sub>6</sub>. Dies entspricht 0,4 Prozent an den gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland von rund 728,7 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für das Jahr 2020. Tatsächlich ist Deutschland damit absolut gesehen der größte SF<sub>6</sub>-Emittent in Europa (Statistisches Bundesamt 2022). Die Zahlen beruhen - wie auch die Treibhausgasbilanzen

2 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/183748/umfrage/abgabe-verkauf-von-schwefelhexafluorid/>.

im Allgemeinen - auf Angaben der Industrie, das heißt in diesem Fall auf Daten von Unternehmen, die Schwefelhexafluorid herstellen, importieren, exportieren oder in größeren Mengen im Inland abgeben. Sie beruhen nicht auf Messungen - analog zum Treibhausgas Kohlendioxid. Auch dieses kann nicht summarisch für ein Land in der Atmosphäre gemessen werden. Es lässt sich nur die Konzentration in der gesamten Atmosphäre erfassen, ohne dass dies eine Aussage über Ort und Art der Emittenten zulässt. Daneben lässt sich Kohlendioxid punktuell an einer Emissionsquelle etwa einem Schornstein messen.

Hinsichtlich der absoluten Emissionsmenge sind nach wie vor Schallschutzfenster die mit Abstand größten Emittenten von SF<sub>6</sub>. Jedoch wurde der Einsatz von SF<sub>6</sub> in Schallschutzfenstern bereits in den 1990er Jahren stark reduziert und ist seit 2006 verboten. Die berichteten Emissionen basieren auf Modellannahmen, die davon ausgehen, dass das in den Fenstern gespeicherte SF<sub>6</sub> jährlich zu einem Prozent emittiert und nach einer Lebenszeit der Fenster von 25 Jahren vollständig in die Atmosphäre tritt. Die Emissionen von SF<sub>6</sub> aus Schallschutzfenstern belaufen sich 2015 kalkulatorisch auf 115 Tonnen; entsprechend 2,6 Millionen Tonnen Kohlendioxidäquivalenten und sollten etwa 2019 ihr Maximum erreicht haben.

Derzeit zweitgrößter Emittent von Schwefelhexafluorid sind elektrische Betriebsmittel mit 17 Tonnen pro Jahr, entsprechend 0,4 Millionen Tonnen Kohlendioxidäquivalenten. Die Zahl umfasst Emissionen aus der Herstellung, Nutzung und Entsorgung von elektrischen Betriebsmitteln etwa in Schaltanlagen der Hoch- und Mittelspannung sowie „sonstigen Betriebsmitteln“, wie Messtransformatoren und Kondensatoren.

Betrachtet man die Emissionen aus elektrischen Anlagen näher, so fallen die höchsten SF<sub>6</sub>-Emissionen in der Verteilung und Übertragung elektrischer Energie in der Herstellung „sonstiger Betriebsmittel“ sowie Betriebsemissionen von Mittel- und Hochspannungsschaltanlagen an. SF<sub>6</sub> dient in diesem Zusammenhang als Isoliergas, beispielsweise in gasisolierten Schaltanlagen mit Hochspannungsschaltern und bei gasisolierten Rohrleitern in gekapselten Anlagen mit Betriebsspannungen von 6 Kilovolt bis 800 Kilovolt. Gegenüber Freiluftschaltanlagen benötigen solche Vorrichtungen weniger Platz. SF<sub>6</sub> wird in diesem Anwendungsbereich auch als Isoliergas in Koaxialkabeln und gasisolierten Hochfrequenz-Leistungskondensatoren eingesetzt, die damit ebenfalls kleiner gebaut werden können. Als Isolationsgas in elektrischen Schaltanlagen wird es unter einem Druck von 5 bar bis 10 bar gehalten.

Nicht nur mittels Windkraft gewonnener Strom wird in Deutschland über elektrische Vorrichtungen und letztlich über Mittel- und Hochspannungsnetze transportiert. SF<sub>6</sub>-Schaltanlagen finden sich in Umspannwerken, Solarkraftwerken, Atomkraftwerken, Kohlekraftwerken, Gaskraftwerken, Windkraftanlagen, Biomassekraftwerken, elektrischen Apparaten verschiedenster Art u.s.w.. Insofern können SF<sub>6</sub>-Emissionen nicht einer Stromart zugeschrieben werden. Um SF<sub>6</sub> zu ersetzen, müssen alternative Isolier- und Löschgase für den konkreten Anwendungszweck des SF<sub>6</sub> in den Blick genommen werden. Die in Windkraftanlagen verbauten elektrischen Schaltungen, aus denen SF<sub>6</sub> emittiert wird, werden nicht von den Betreibern selbst hergestellt, sondern werden auf dem Weltmarkt eingekauft. Insbesondere im Mittelspannungsbereich sind SF<sub>6</sub>-freie Alternativen verfügbar, wie in einem Sachstand der Wissenschaftlichen Dienste dargestellt. Die spezifischen Funktionalitäten und Kosten dieser Alternativprodukte können allerdings abweichen (Wissenschaftliche Dienste 2020, WD8 - 036/20).

#### 4. Minderungsbemühungen und Regulierung

Seit dem Inkrafttreten des Kyoto-Protokoll von 1997 werden Maßnahmen mit dem Ziel der Emissionsreduktion von SF<sub>6</sub> diskutiert. Ein Beispiel ist die freiwillige Selbstverpflichtung der Industrie in Deutschland. Diese zielt darauf ab, SF<sub>6</sub>-Emissionen in der Energieversorgung durch geschlossene Kreisläufe, Technologieverbesserungen, Monitoring, intensivere Wartung, Forschung nach Alternativen und Schulungen zu senken. Sie führte zu einer Reduktion der SF<sub>6</sub>-Emissionen aus elektrischen Betriebsmitteln von 50 Tonnen SF<sub>6</sub> im Jahr 1997 auf 17 Tonnen SF<sub>6</sub> im Jahr 2015 (VDN, ZVEI und weitere 2005).

Elektrische Schaltanlagen unterliegen den Regelungen der Verordnung (EU) 517/2014 (F-Gase-Verordnung). In Abhängigkeit von der Füllmenge und Konstruktion bestehen Anforderungen zur Dichtheitskontrolle, Führung von Aufzeichnungen und Zertifizierung des Personals. Letzteres wird durch die Durchführungsverordnung (EU) 2015/2066 konkretisiert.

Auf europäischer Ebene wurde 2014 ein Verbot von SF<sub>6</sub> für bestimmte Anwendungsfälle in der Energieversorgung im Rahmen der F-Gase-Verordnung (EU) 517/2014 diskutiert, aber mangels ausreichend funktions- und kostenidentischer Alternativen verworfen. Schließlich sah die noch geltende F-Gase-Verordnung für das Jahr 2020 die Überprüfung der Verfügbarkeit von technisch realisierbaren, zuverlässigen und kostenwirksamen Alternativen für SF<sub>6</sub> in neuen sekundären Mittelspannungsschaltanlagen vor (Artikel 21, § 4). Des Weiteren schreibt sie für das Jahr 2022 „eine Überprüfung der Verfügbarkeit von technisch realisierbaren und kostenwirksamen Alternativen zu Erzeugnissen und Einrichtungen, die fluorierte Treibhausgase enthalten“ vor (Artikel 21, § 2d), worunter alle weiteren Anwendungsfälle in der Energieversorgung fallen.

Zwischenzeitlich hat die Europäische Kommission einen Vorschlag für eine novellierte F-Gaseverordnung vorgelegt.<sup>3</sup> Diese strebt eine weitere Beschränkung von Schwefelhexafluorid an. Gemäß Artikel 11 „Beschränkung und Kontrolle der Verwendung“ ist nach Satz (1), das Inverkehrbringen der in Anhang IV aufgeführten Erzeugnisse und Einrichtungen, einschließlich Teilen davon, außer Militärausrüstung, ab dem im Anhang angegebenen Zeitpunkt untersagt, wobei gegebenenfalls nach der Art oder dem Treibhausgaspotenzial des enthaltenen Gases differenziert wird (Europäische Kommission 2022a).

Davon ist auch SF<sub>6</sub> als Betriebsmittel in elektrischen Anlagen betroffen: Denn im Anhang IV der vorgesehenen Verordnung heißt es:

„Installation und Austausch der folgenden elektrischen Schaltanlagen:

(a) Mittelspannungsschaltanlagen für die Primär- und Sekundärverteilung mit einer Spannung von bis zu 24 Kilovolt mit Isolier- oder Schaltmedien, die Gase mit einem GWP von 10 oder mehr oder mit einem GWP von 2000 oder mehr nutzen oder zu ihrem Funktionieren benötigen, außer wenn nachgewiesen wird, dass in den niedrigeren vorstehend genannten GWP-Bereichen aus technischen Gründen keine geeignete Alternative zur Verfügung steht.“

---

3 Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über fluorierte Treibhausgase zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 517/2014.



---

Als Frist hierfür wird der 1. Januar 2026 angegeben.

„(b) Mittelspannungsschaltanlagen für die Primär- und Sekundärverteilung mit einer Spannung von über 24 Kilovolt und bis zu 52 Kilovolt mit Isolier- oder Schaltmedien, die Gase mit einem GWP von 10 oder mehr oder mit einem GWP von 2000 oder mehr nutzen oder zu ihrem Funktionieren benötigen, außer wenn nachgewiesen wird, dass in den niedrigeren vorstehend genannten GWP-Bereichen aus technischen Gründen keine geeignete Alternative zur Verfügung steht.“

Als Frist hierfür wird der 1. Januar 2030 angegeben.

„(c) Hochspannungsschaltanlagen mit einer Spannung ab 52 und bis zu 145 Kilovolt und einem Kurzschlussstrom von bis zu 50 Kiloampere mit Isolier- oder Schaltmedien, die Gase mit einem GWP von 10 oder mehr oder mit einem GWP von mehr als 2000 nutzen oder zu ihrem Funktionieren benötigen, außer wenn nachgewiesen wird, dass in den niedrigeren vorstehend genannten GWP-Bereichen aus technischen Gründen keine geeignete Alternative zur Verfügung steht.“

Als Frist hierfür wird der 1. Januar 2028 angegeben.

„(d) Hochspannungsschaltanlagen mit einer Spannung von mehr als 145 Kilovolt oder einem Kurzschlussstrom von mehr als 50 Kiloampere mit Isolier- oder Schaltmedien, die Gase mit einem GWP von 10 oder mehr oder einem oder mit einem GWP von mehr als 2000 nutzen oder zu ihrem Funktionieren benötigen, außer wenn nachgewiesen wird, dass in den niedrigeren vorstehend genannten GWP-Bereichen aus technischen Gründen keine geeignete Alternative zur Verfügung steht.“

Als Frist hierfür wird der 1. Januar 2031 angegeben.

Zwar kann für jede Anwendungskategorie eine Ausnahme beantragt werden. Diese ist jedoch an bestimmte Auflagen geknüpft: Gemäß dem Verordnungsvorschlag kann die Europäische Kommission in Ausnahmefällen auf einen mit Gründen versehenen Antrag einer zuständigen Behörde eines Mitgliedstaats hin und unter Berücksichtigung der Ziele der Verordnung eine befristete Ausnahme von bis zu vier Jahren genehmigen. Dazu muss aber nachgewiesen werden, dass

„a) es für spezifische Erzeugnisse und Einrichtungen oder für eine spezifische Kategorie von Erzeugnisse oder Einrichtungen keine Alternativen gibt oder diese aus technischen oder sicherheitsbezogenen Gründen nicht genutzt werden können oder

b) bei der Verwendung von technisch realisierbaren und sicheren Alternativen unverhältnismäßige Kosten entstünden (Europäische Kommission 2022a).“

In seinem Beschluss vom 10. Juni 2022 zum Vorschlag für die novellierte F-Gase-Verordnung begrüßt der Bundesrat die weiteren Inverkehrbringungsverbote für Anwendungen, in denen Schwefelhexafluorid zum Einsatz kommt. Er weist in diesem Kontext auf die langen Übergangsfristen für elektrische Betriebsmittel sowie die zu unbestimmt formulierten Rückausnahmen hin, die

ihren Vollzug erschweren würden. Er bittet daher die Bundesregierung, sich für eine Fristverkürzung sowie klare und begrenzte Ausnahmetatbestände einzusetzen (Bundesrat 2022, Drucksache 195/22).

## 5. Entwicklung der Nachfrage nach SF<sub>6</sub>

Es wird EU-weit von einer steigenden Nachfrage nach SF<sub>6</sub> in den kommenden Jahrzehnten ausgegangen. Im Folgenbericht der Europäischen Kommission wird prognostiziert, dass es einen Anstieg von 28 Millionen Tonnen Kohlendioxidäquivalenten auf 48 Millionen Tonnen Kohlendioxidäquivalenten in 2050 geben werde. Die Zunahme ergebe sich aufgrund des Wachstums des Marktes für elektronische Geräte von zwei Prozent und für den Ausbau des Stromnetzes zur Anbindung erneuerbarer Energien. Der Folgenbericht war im Vorfeld und anlässlich der neuen F-Gase-Verordnung erarbeitet worden (Europäische Kommission 2022b: 18-19).

Die nachfolgende Grafik zeigt die prognostizierte Entwicklung der Nachfrage nach fluorhaltigen Gasen, darunter Schwefelhexafluorid in Millionen Tonnen Kohlendioxidäquivalenten in den Jahren 2020 bis zum Jahr 2050 in der EU. Die blau gekennzeichnete Fläche stellt den prognostizierten Bedarf an SF<sub>6</sub>. Hieraus ist erkennbar, dass eine Zunahme des Bedarfs an SF<sub>6</sub> erwartet wird.

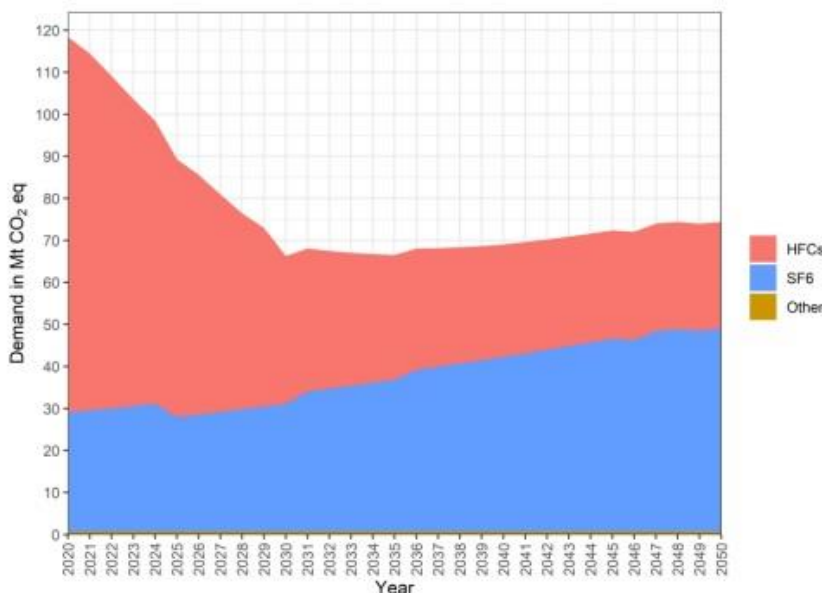


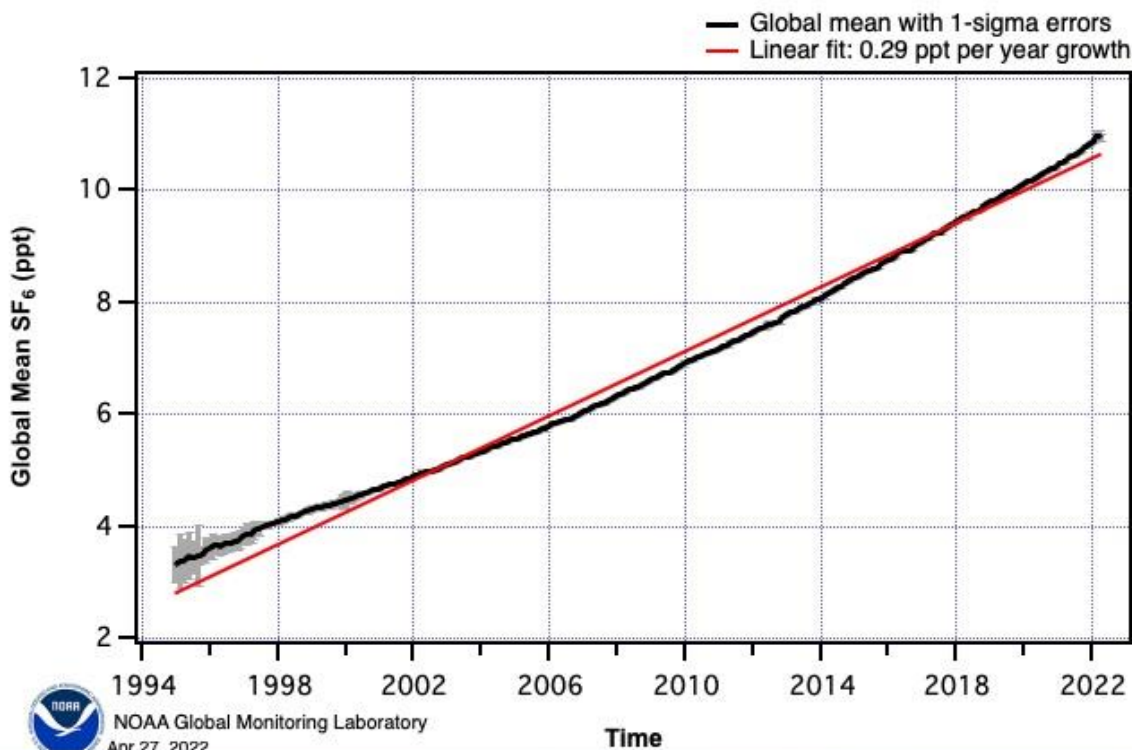
Figure 1. Baseline demand of HFCs, SF<sub>6</sub> and other F-gases in climate terms (MtCO<sub>2</sub>e)

**Abbildung 3:** Prognostizierte Nachfrage nach Fluorkohlenwasserstoffen (HFC), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) und anderen fluorierten Gasen (Europäische Kommission 2022b: 19).

## 6. Emissionsentwicklung und Monitoring

Regelmäßige, standardisierte und auf einer Messung beruhende Monitoringdaten zu den SF<sub>6</sub>-Emissionen in Deutschland wie auch zur Emission anderer Treibhausgase existieren nicht. Wie oben erwähnt, wird das nationale Treibhausgasinventar aufgrund von berichteten Daten der Industrie und Modellannahmen erstellt.

Die Aufzeichnungen weltweit tätiger Atmosphärenmessstationen zeigen den globalen Verlauf der Treibhausgasemissionen von Kohlendioxid bis zu Schwefelhexafluorid. Seit 1995 wird Schwefelhexafluorid an einer Reihe von Messstationen weltweit gemessen. Es zeigt sich eine ununterbrochene, annähernd lineare Zunahme der Atmosphärenkonzentration an SF<sub>6</sub>. Sie steigt jedes Jahr um ungefähr 0,24 ppt (Teilchen SF<sub>6</sub> pro Billionen Teilchen Luft) an. Die Zunahme hat sich zuletzt beschleunigt (NOAA 2022). Dieser Sachverhalt lässt sich aus der nachfolgenden Abbildung 4 ablesen. Die Messungen lassen keine Rückschlüsse darauf zu, aus welcher konkreten Anwendung das Gas im Einzelfall entwichen sein könnte.



**Abbildung 4:** Entwicklung der SF<sub>6</sub>-Konzentration in der Atmosphäre (NOAA 2022)

Auch bei den anderen Treibhausgasen des Kyoto-Protokolls ist eine anhaltende Zunahme der Konzentration in der Atmosphäre zu verzeichnen. Bei Kohlendioxid und Lachgas verläuft der Anstieg ebenfalls annähernd linear. Indes stellt sich der Verlauf bei Methan anders dar: Nach der Jahrtausendwende waren die Gehalte sogar fast stabil, dann aber stiegen sie und in den letzten

Jahren hat sich die Methanfreisetzung stark beschleunigt. Methan, Kohlendioxid und Lachgas haben absolut betrachtet um ein Vielfaches höhere Gehalte in der Atmosphäre als SF<sub>6</sub>. Da sie weniger klimawirksam sind, relativiert sich dieser Mengenunterschied geringfügig. Wie in Abbildung 1 dargestellt kommt SF<sub>6</sub> insgesamt aber ein untergeordneter Beitrag am globalen Treibhausgasereffekt zu.

In der wissenschaftlichen Literatur werden verschiedene Erklärungen für den globalen Anstieg der SF<sub>6</sub>-Konzentration in der Atmosphäre vorgebracht: Insbesondere die gewaltige Zahl verkaufter elektrischer Geräte stelle einen großen Speicher an Schwefelhexafluorid dar, aus dem das Gas am Ende des Lebenszyklus entweichen könne, argumentieren Simmonds et al. in einer jüngsten Veröffentlichung. Auch für den Ausbau der Strominfrastruktur in Asien werden natürlich elektrische Schaltvorrichtungen in erheblichem Umfang benötigt (Simmonds et al. 2020).

Eine Forschungsgruppe um Burges et al. hält im Abschlussbericht eines vom Umweltbundesamt beauftragten Projektes fest, dass der Anstieg der globalen SF<sub>6</sub>-Emissionen seit 2000 nur teilweise durch steigende Emissionen aus China erklärt werden könne. Es ist wahrscheinlich, dass die gemeldeten SF<sub>6</sub>-Emissionen der Annex-I-Staaten der Klimarahmenkonvention, zu denen auch Deutschland zählt, deutlich unter den tatsächlichen Emissionen in diesen Staaten liegen. Zurzeit existieren jedoch keine landesweiten repräsentativen Messwerte für SF<sub>6</sub>-Emissionen mit Ausnahme der Schweiz und Großbritannien und insbesondere nicht aus Deutschland. Die Autoren fordern eine Weiterentwicklung des SF<sub>6</sub>-Monitorings (Burges et al. 2018: 5). Die Behauptung, es würde hierzulande mehr SF<sub>6</sub> emittiert als gemeldet, ist damit eine Hypothese, zu der es wissenschaftliche Indizien gibt, deren wissenschaftliche Überprüfung gemäß den der Arbeit zugrunde liegenden Recherchen noch aussteht.

Des Weiteren ist eine anwendungsbezogene Aufschlüsselung von SF<sub>6</sub>-Emissionen bis auf den konkreten Anlagentyp, etwa Umspannwerke oder Windkraftanlagen, im Rahmen des Monitorings und Treibhausgasemissionsberichterstattung nicht möglich bzw. nicht vorgesehen. Es liegen folglich keine unabhängigen Messdaten vor, wie hoch die Emissionen bezogen auf eine Windkraftanlage, ein Kohlekraftwerk oder Ähnliches sind.

## **7. Rückgewinnung und Recycling von Schwefelhexafluorid**

Bezüglich der Rückgewinnung und dem Recycling von Schwefelhexafluorid sieht die vorgeschlagene F-Gase-Verordnung neue Regelungen vor:

Demnach hält Artikel 8 zur Rückgewinnung und Zerstörung fest, dass die

„(1) Die Betreiber von ortsfesten Einrichtungen oder von Kälteanlagen von Kühllastkraftfahrzeugen und -anhängern, die in Anhang I und Anhang II Gruppe 1 aufgeführte fluorierte Treibhausgase enthalten, die nicht Bestandteil von Schäumen sind, stellen sicher, dass die Rückgewinnung dieser Gase von natürlichen Personen, die gemäß Artikel 10 zertifiziert sind, durchgeführt wird, damit diese Gase recycelt, aufgearbeitet oder zerstört werden.“

Diese Verpflichtung gilt auch für die Betreiber von e) ortsfesten elektrischen Schaltanlagen (Europäische Kommission 2022a).

Unabhängig von den Bestimmungen im Verordnungsvorschlag muss SF<sub>6</sub> in elektrischen Vorrichtungen gemäß der geltenden F-Gase-Verordnung und nach der nationalen Chemikalien-Klimaschutzverordnung<sup>4</sup> von zertifiziertem Personal wiedergewonnen werden, um dessen Recycling, Aufarbeitung oder Zerstörung sicherzustellen. SF<sub>6</sub> muss zudem nach DIN EN 60480 behandelt werden.

Zusätzlich besteht eine freiwillige Selbstverpflichtung für Hersteller und Betreiber von elektrischen Betriebsmitteln für mehr als 1000 Volt. Darin verpflichten sich die Unterzeichner, die Emissionen von SF<sub>6</sub> bei der Herstellung von elektrischen Betriebsmitteln, bei deren Inbetriebnahme und Betrieb sowie bei der Rückgewinnung, beim Recycling (einschließlich der Wiederverwendung) und bei der Beseitigung des SF<sub>6</sub> weitgehend zu minimieren (VDN, ZVEI und weitere 2005).

Hierfür müssen sie im Rahmen der Selbstverpflichtung enthaltenes SF<sub>6</sub> entweder vor Ort zurückgewinnen oder das SF<sub>6</sub>-haltige Betriebsmittel an den Hersteller des Betriebsmittels oder einen zertifizierten Entsorgungsfachbetrieb zwecks Recycling des enthaltenen SF<sub>6</sub> geben. Vor Ort zurückgewonnenes SF<sub>6</sub> wird direkt im geschlossenen System wieder verwendet oder an den SF<sub>6</sub>-Produzenten zurückgegeben. Hersteller von elektrischen Betriebsmitteln verpflichten sich, SF<sub>6</sub>-haltige Betriebsmittel aus ihrer Produktion, zurückzunehmen und das enthaltene SF<sub>6</sub> zurückzugewinnen oder durch einen zertifizierten Entsorgungsfachbetrieb zurückgewinnen zu lassen (VDN, ZVEI und weitere 2005).

SF<sub>6</sub>-Produzenten verpflichten sich, zurückgewonnenes SF<sub>6</sub> wieder aufzubereiten und wiederverwenden. SF<sub>6</sub>, das aufgrund von Verunreinigungen nicht wiederverwendet werden kann, wird entsprechend den abfallrechtlichen Vorschriften beseitigt (VDN, ZVEI und weitere 2005).

Die Unterzeichner sollen die oben beschriebenen Recyclingwege zudem lückenlos dokumentieren. Die Dokumentation, die im Rahmen bestehender Verfahren erfolgen kann, umfasst zumindest die folgenden Angaben mit Datum:

Den Betreiber:

- Menge des vor Ort (zum Zwecke der Wiederverwendung) zurückgewonnenen SF<sub>6</sub>
- Art und Anzahl der Betriebsmittel, die an einen bestimmten Hersteller zurückgegeben wurden

Hersteller des Betriebsmittels:

- Art und Anzahl der zurückgenommenen Betriebsmittel
- Nachweis, dass SF<sub>6</sub> jeweils zurückgewonnen wurde
- Mengen von SF<sub>6</sub>, die an SF<sub>6</sub>-Produzenten zurückgegeben wurden
- Jährliche Gesamtmenge von SF<sub>6</sub>, die wieder verwendet wurde.

---

<sup>4</sup> Verordnung zum Schutz des Klimas vor Veränderungen durch den Eintrag bestimmter fluorierter Treibhausgase, Chemikalien-Klimaschutzverordnung - ChemKlimaschutzV.

SF<sub>6</sub>-Hersteller:

- Mengen von zurückgenommenem SF<sub>6</sub>, Nachweise über SF<sub>6</sub>-Mengen, die im Re-Use-Verfahren recycelt wurden und Nachweise über SF<sub>6</sub>-Mengen, die zerstört wurden.

Die Selbstverpflichtung schreibt auch Limits für die Emissionsraten an SF<sub>6</sub> aus elektrischen Vorrichtungen für verschiedene Phasen des Lebenszyklus vor. So waren die Gesamt-Emissionen von SF<sub>6</sub> ab 2020 auf 17 Tonnen pro Jahr zu begrenzen.

Als SF<sub>6</sub>-Emissionsrate ist beim Betrieb einer Hochspannungsvorrichtung eine Leckagerate von 0,6 Prozent pro Jahr seit 2020<sup>5</sup> zulässig. Bei neuen Schaltanlagen und -geräten liegen die Werte während des Betriebs niedriger: mit weniger als 0,5 Prozent pro Jahr im Fall der Hochspannung und weniger als 0,1 Prozent im Fall der Mittelspannung (VDN, ZVEI und weitere 2005).

Entsprechend der Selbstverpflichtung sind die Unterzeichner auch zu einem Monitoring verpflichtet. Bei Mittelspannungsschaltanlagen und -geräten mit hermetisch abgeschlossenen Drucksystemen werden die Betriebsemissionen rechnerisch durch die Anwendung einer Verlustrate von 0,1 Prozent pro Jahr ermittelt. Für Schaltanlagen und -geräte werden die Emissionen bei Montage und Inbetriebnahme mit einem Emissionsfaktor von 0,05 Prozent pro Jahr für gasisierte Leitungen sowie 0,1 Prozent pro Jahr für Schalter und Freiluftwandler der Hochspannung und zu vernachlässigende SF<sub>6</sub>-Verluste im Bereich der Mittelspannung kalkuliert. Die Emissionen bei der Rückgewinnung von SF<sub>6</sub> aus Schaltanlagen und -geräten werden auf Basis einer Emissionsrate von 1,5 Prozent pro Jahr errechnet. Bei der Wiederverwendung und der Zerstörung werden geringfügig höhere Emissionsraten angenommen. Diese liegen bei 0,3 Prozent pro Jahr bzw. 0,5 Prozent pro Jahr. Die theoretischen Emissionsraten werden alle zwei Jahre darauf hin überprüft, ob sie den tatsächlichen Emissionen entsprechen, heißt es in der Selbstverpflichtung. Übersteigen die tatsächlichen Emissionen die rechnerischen Emissionsraten, stellen die Hersteller und Betreiber von elektrischen Betriebsmitteln eine Reduktion der tatsächlichen Emissionen auf die rechnerischen Emissionsraten sicher (VDN, ZVEI und weitere 2005).

Messungen an einer konkreten Schaltvorrichtung zur Überprüfung von Leckageraten nehmen die Betreiber bzw. Hersteller gegebenenfalls selbst vor. Unabhängige Messungen oder Studien zur Überprüfung der SF<sub>6</sub>-Leckageraten in verschiedenen Anwendungen sind nicht bekannt.

## 8. Quellen und Literaturverzeichnis

Burges, Karsten et al. (2018). Konzept zur SF<sub>6</sub>-freien Übertragung und Verteilung elektrischer Energie, Abschlussbericht vom 28. Februar 2018, online abrufbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/endbericht\\_sf6\\_de.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/endbericht_sf6_de.pdf).

Bundesrat (2022). Beschluss des Bundesrates zum Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über fluorierte Treibhausgase, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 517/2014 COM(2022) 150 final; Ratsdok. 8042/22, Drucksache 195/22 (Beschluss), 10. Juni 2022, online abrufbar unter: [https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2022/0101-0200/195-22\(B\).pdf?blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2022/0101-0200/195-22(B).pdf?blob=publicationFile&v=1).

Europäische Kommission (2022)a: Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über fluorierte Treibhausgase, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 517/2014, COM(2022) 150 final, 5. April 2022, online abrufbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022PC0150&from=DE>.

Europäische Kommission (2022)b: Commission staff working document impact assessment report. Accompanying the document Proposal for a regulation on fluorinated greenhouse gases, amending Directive (EU) 2019/1937 and repealing Regulation (EU) No 517/2014, Impact assessment report, SWD(2022) 96 final, 5. April 2022, online abrufbar unter: [https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-04/f-gases\\_impact\\_assessment\\_en.pdf](https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-04/f-gases_impact_assessment_en.pdf).

GHG Protocol (2016). Global Warming Potential Values, online abrufbar unter: [https://www.ghg-protocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29\\_1.pdf](https://www.ghg-protocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf).

IPCC (2022). Sechster IPCC-Sachstandsbericht, Arbeitsgruppe I: Naturwissenschaftliche Grundlagen, online abrufbar unter: <https://www.de-ipcc.de/350.php>.

NOAA (2022). Sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) - Combined Dataset, online abrufbar unter: <https://gml.noaa.gov/hats/combined/SF6.html>.

Simmonds, Peter et al. (2020). The increasing atmospheric burden of the greenhouse gas sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>), in: Atmospheric Chemistry and Physics, Band 20, S. 7271–7290, 2020, online abrufbar unter: <https://acp.copernicus.org/articles/20/7271/2020/acp-20-7271-2020.pdf>.

Statistisches Bundesamt (2022). Stärkstes Treibhausgas: Bezug von Schwefelhexafluorid 2021 um 1,4 % gestiegen, Pressemitteilung vom 23. Juni 2022, online abrufbar unter: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/06/PD22\\_263\\_32421.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/06/PD22_263_32421.html).

Umweltbundesamt (2021). Beitrag zum Treibhauseffekt durch Kohlendioxid und langlebige Treibhausgase, online abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/bild/beitrag-treibhauseffekt-durch-kohlendioxid>.

VDN, ZVEI und weitere (2005). Selbstverpflichtung der SF<sub>6</sub>-Produzenten, Hersteller und Betreiber von elektrischen Betriebsmitteln > 1kV zur elektrischen Energieübertragung und -verteilung

in der Bundesrepublik Deutschland zu SF<sub>6</sub> als Isolier- und Löschgas, Mai 2005, online abrufbar unter: [https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Luft/sv\\_sf6\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/sv_sf6_bf.pdf).

Wissenschaftliche Dienste (2020). Schwefelhexafluorid. Alternativen für elektrische Anlagen. WD8 - 3000 - 036/20, Sachstand vom 2. Juli 2020, online abrufbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/710906/955e83c764f4755dae648b7e25603898/WD-8-036-20-pdf-data.pdf>.

\*\*\*