

Leitfaden

Hinweise zu Verwendung, Transport und Entsorgung von SF₆ und SF₆- befüllten Betriebsmitteln aus der elektrischen Energieversorgung

Oktober 2018

Fachverband Energietechnik



Die Elektroindustrie

**Hinweise zu Verwendung, Transport und
Entsorgung von SF₆ und SF₆-befüllten Betriebsmitteln
aus der elektrischen Energieversorgung**

Herausgeber:

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

Verantwortlich:

Sven Borghardt
Bereich Energie
Charlottenstraße 35/36
10117 Berlin
Telefon: +49 30 306960 22
E-Mail: borghardt@zvei.org

Oktober 2018

www.zvei.org



Dieses Werk ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung,
Nicht-kommerziell, Weitergabe unter
gleichen Bedingungen 4.0 Deutschland Lizenz.

Trotz größter Sorgfalt übernimmt der ZVEI
für Vollständigkeit und Richtigkeit der Inhalte
keine Gewähr.

Inhalt

Vorwort	4
1. Umgang mit SF₆-Gas	5
1.1 SF ₆ -Gas als Gefahrstoff	7
1.2 SF ₆ -Gas als Gefahrgut	8
2. SF₆-Gas im Wirtschaftskreislauf	9
2.1 Gebrauchtes SF ₆ -Gas als Abfall	9
2.2 Gebrauchtes SF ₆ -Gas im Produktkreislauf	11
3. Umgang mit SF₆-befüllten elektrischen Betriebsmitteln	13
3.1 SF ₆ -befüllte elektrische Betriebsmittel als Gefahrstoff	13
3.2 SF ₆ -befüllte elektrische Betriebsmittel als Gefahrgut	13
3.3 SF ₆ -befüllte elektrische Betriebsmittel als Abfall	14
3.4 SF ₆ -befüllte elektrische Betriebsmittel als gebrauchtes Produkt	15
4. Zusammenfassung der Anforderungen im Umgang mit SF₆ und SF₆-befüllten Betriebsmitteln	16
5. Schlussbemerkung	17
Quellenverzeichnis	17
Anlagen	18
Anlage 1: Berechnung von Grenzwerten für die Gefahrstoffklassifizierung	18
Anlage 2: Berechnung der Grenzwerte für die Gefahrgutklassifizierung	18
Anlage 3: Berechnung der Grenzwerte für die Klassifizierung als Abfall	18
Anlage 4: Tabelle zur Klassifizierung von SF ₆ -Gas für den Transport	19
Anlage 5: Grenzwert für SF ₆ im Gemisch nach CLP [2] für den Arbeitsschutz	20

Vorwort

SF₆ (Schwefelhexafluorid) ist ein ungiftiges, inertes Isoliergas von hoher dielektrischer Stabilität. Es findet in der Elektrotechnik heute nicht nur in Hoch- und Höchstspannungsschaltanlagen Verwendung, sondern auch in anderen elektrischen Betriebsmitteln wie Mittelspannungsschaltanlagen, Hochspannungsrohrleitungen, Transformatoren, Messwandlern, Teilchenbeschleunigern, Röntgenanlagen und UHF-Leitungssystemen.

Unter Einfluss von Energie spaltet sich das SF₆-Molekül auf und kann zusammen mit anderen Reaktionspartnern Stoffe bilden, die giftige oder ätzende Eigenschaften haben. Daher muss für SF₆-Gas, das aus elektrischen Betriebsmitteln entnommen wird, sowie für die elektrischen Betriebsmittel, aus denen das SF₆-Gas stammt, eine entsprechende Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden. Aus dem ermittelten Gefährdungspotenzial wiederum lassen sich rechtliche Kennzeichnungspflichten ableiten, die insbesondere für den Umgang mit dem Gas selbst bzw. mit den elektrischen Betriebsmitteln (Gefahrstoff), für die Beförderung (Gefahrgut) auf der Straße gemäß ADR [15] und für die Entsorgung (Abfall) von sehr hoher Bedeutung sind.

Die Anwendung der Kennzeichnungspflichten und die daraus resultierenden Handlungsmaßnahmen sind gesetzlich vorgeschrieben. Aufgrund der Allgemeingültigkeit der gesetzlichen Vorgaben und der Vielzahl von Stoffen, mit denen in den vielen verschiedenen Industrie-, Handwerks- und Privatbereichen umgegangen wird, ist die Gesetzesgrundlage komplex. In der Vergangenheit führte dies wiederholt zu Fragen im Zusammenhang mit dem Transport und der Entsorgung von gebrauchtem SF₆-Gas und SF₆-befüllten Betriebsmitteln.

Dieser Anwenderleitfaden soll dazu beitragen, die Komplexität im Umgang mit SF₆-befüllten Betriebsmitteln zu reduzieren und eine einfache Übersicht zu nötigen Kennzeichnungsvorschriften in den Bereichen Gefahrstoff, Gefahrgut¹, weiterer Gebrauch und Wiederverwendung (ReUse-Konzept) und Abfall rund um das Thema SF₆-Gas und SF₆-befüllte Betriebsmittel zu geben.

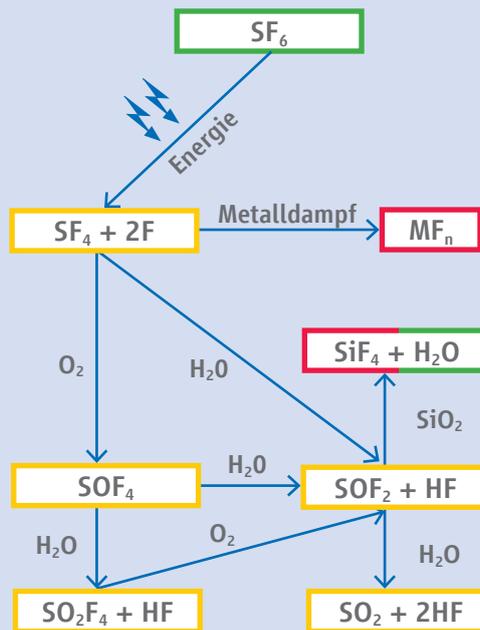
Dieser Anwenderleitfaden basiert auf den gesetzlichen Anforderungen in der Bundesrepublik Deutschland. Technische Aspekte haben dagegen allgemeingültigen Charakter.

¹ Bezüglich See- und Luftfrachtbeförderung sind weitere Vorschriften relevant – dieses Dokument berücksichtigt nur die Beförderung auf der Straße.

1. Umgang mit SF₆-Gas

Trotz seiner inerten² Eigenschaft muss mit Schwefelhexafluorid-Gas (SF₆) sorgsam umgegangen werden. Wichtig ist, dass die Emission von SF₆ in die Umwelt auf ein minimales Maß beschränkt wird [1]. Zum einen kann durch austretendes SF₆-Gas die Sauerstoffkonzentration gesenkt werden und damit Erstickungsgefahr drohen. Zum anderen kann gebrauchtes³ SF₆-Gas Zersetzungsprodukte enthalten, die gesundheitsschädlich wirken können. Zersetzungsprodukte können entstehen, wenn dem SF₆-Molekül Energie zugeführt wird, zum Beispiel durch elektrische Entladungen. Auch ein Temperatureintrag, wie er beispielsweise an der Glut einer Zigarette entsteht, kann zur Zersetzung von SF₆-Gas führen.

Abb. 1: Beispiel einer Reaktionskette von SF₆ unter Einfluss von Energie und Reaktionspartnern



Quelle: ZVEI-Schulungsunterlagen zur SF₆-Zertifizierung nach Verordnung (EG) 517/2014

Abbildung 1 zeigt, wie mögliche Reaktionen von SF₆ zusammen mit Feuchtigkeit (H₂O), Sauerstoff (O₂) und Energie zu Zersetzungsprodukten führen. Die Reaktionskette zeigt, dass in der elektrischen Entladung vorrangig SF₄ gebildet wird, das aber umgehend mit anderen Partnern reagiert, sodass letztendlich nur SO₂ und SO₂F₂ übrig bleiben. Fluorwasserstoff (HF) reagiert davon unabhängig zu staubförmigen Fluoriden, sobald es mit Oberflächen in Kontakt kommt. Das zusätzliche Gefährdungspotenzial dieser Zersetzungsprodukte muss in Umgang mit gebrauchtem SF₆-Gas berücksichtigt werden.

Tabelle 1 gibt eine Kurzbeschreibung der in Abbildung 1 gezeigten Zersetzungsprodukte.

² Inert = reaktionsarm bei normalen Bedingungen

³ Unter gebrauchtem Gas versteht man Gas, das nicht in der verplombten Neugasflasche enthalten ist.

Tab. 1: Eigenschaften der Zersetzungsprodukte [12]

Chem. Formel	Name	Chemische Stabilität an Luft	Endprodukte	Arbeitsplatzgrenzwert (ppm _v ⁴)	Geruch
SF ₆	Schwefelhexafluorid	stabil		1.000	keiner
SF ₄	Schwefeltetrafluorid	schnelle Zersetzung	HF, SO ₂	0,1	beißend sauer
SOF ₂	Thionylfluorid	langsame Zersetzung	HF, SO ₂	1,5	faule Eier
SOF ₄	Schwefeloxidtetrafluorid	schnelle Zersetzung	SO ₂ F ₂ , HF	0,5	sauer
SO ₂ F ₂	Sulfurylfluorid	stabil		5	keiner
SO ₂	Schwefeldioxid	stabil		1	beißend
HF	Fluorwasserstoff	stabil		1	sauer
SiF ₄	Siliciumtetrafluorid	schnelle Zersetzung	SiO ₂ , HF	3	sauer
MF _n	Platzhalter für feste Zersetzungsprodukte (Schaltstäube)	Die Behandlung der festen Zersetzungsprodukte erfolgt in 3. Umgang mit SF ₆ -befüllten elektrischen Betriebsmitteln			

Quelle: ZVEI, eigene Darstellung

Für die Einstufung eines SF₆-Gasgemischs hinsichtlich Gefahrstoff, Gefahrgut und Abfall kommen SF₄ (höchstes Gefährdungspotenzial⁵) und SO₂ (chemisch stabil und leicht messbar) besondere Rollen zu. Nach auf technischen Normen beruhenden Erkenntnissen ([4], [7]) ist in gebrauchtem SF₆-Gas der Anteil von SO₂ zur Gesamtmenge aller Zersetzungsprodukte 1 zu 4 (SO₂-Äquivalenz). Daher kann der Anteil aller Zersetzungsprodukte im Gas mithilfe der Messung des SO₂-Anteils ermittelt werden. Das Gefährdungspotenzial der Gesamtmenge aller Zersetzungsprodukte wird dann mit dem Gefährdungspotenzial von SF₄ abgeschätzt, da alle anderen Zersetzungsprodukte wie SO₂F₂, SOF₄ und HF ein geringeres Gefährdungspotenzial aufweisen.

Die folgenden Abschnitte zeigen die auf Grundlage des Worst-Case-Ansatzes ermittelten Grenzwerte zur Klassifizierung nach CLP-Verordnung [2], ADR [15] basierend auf dem Orange Book Rev. 20 (UN Model Recommendations on the Transport of Dangerous Goods) und Abfallrahmenrichtlinie [16] von SF₆-Gas in den unterschiedlichen Eigenschaften als Gefahrstoff, Gefahrgut und Abfall. Zudem zeigen sie dem Betreiber die entsprechenden Kennzeichnungspflichten auf. Die in Abbildung 2 dargestellten Werte der SO₂-Konzentration sind als Empfehlung für den praktischen Umgang mit den drei verschiedenen Rechtsbereichen zu verstehen.

Die errechneten Grenzwerte für toxisches Gefahrgut (Anlage 2: Berechnung der Grenzwerte für die Gefahrgutklassifizierung) und gefährlichen Abfall (Anlage 3: Berechnung der Grenzwerte für die Klassifizierung als Abfall) sind zum Teil größer als die in Abbildung 2 empfohlenen Werte, sodass die Einstufung mit den vorgeschlagenen Grenzwerten für die Praxis einen zusätzlichen Sicherheitsgewinn darstellt.

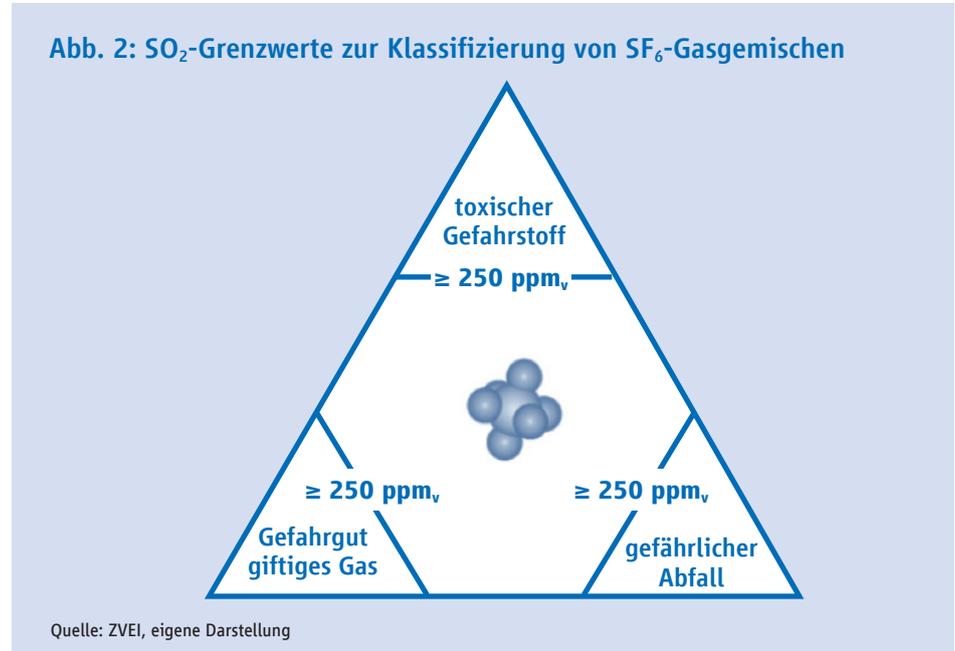
In der Regel kann der Betreiber eines elektrischen Betriebsmittels bei normalem Netzbetrieb davon ausgehen, dass das darin enthaltene SF₆-Gas vernachlässigbare Verunreinigungen enthält. Weiterhin kann der Betreiber davon ausgehen, dass SF₆-Gas, das über ein handelsübliches Servicegerät einem elektrischen Betriebsmittel entnommen und in Druckgasflaschen oder -behälter verfüllt wurde, SO₂-Konzentrationen kleiner 250 ppm_v enthält (siehe 1.1 SF₆-Gas als Gefahrstoff), da diese SF₆-Servicegeräte standardmäßig einen Filter zur Absorption von Verunreinigungen enthalten. Dies sollte bei der Beschaffung von Servicegeräten berücksichtigt werden. In den Fällen, in denen ein Verdacht auf größere

⁴ ppm_v = parts per million by volume (1.000 ppm_v entsprechen 0,1 % eines Volumens)

⁵ Das hohe Gefährdungspotenzial entsteht durch die verhältnismäßig hohen Anteile von SF₄, wenn SF₆ durch Energieeintrag zersetzt wird. SF₄ ist hier als Platzhalter für alle Zersetzungsprodukte zu verstehen, da es fast vollständig mit anderen Partnern reagiert.

Verunreinigungen des SF₆-Gases besteht – zum Beispiel bei einer Betriebsstörung (Störlichtbogen) des elektrischen Betriebsmittels oder vernachlässigter Wartung des Servicegeräts –, sollte der SO₂-Gehalt im SF₆-Gas mit einem handelsüblichen Messgerät mit elektrochemischen Sensoren im Messbereich von 0 ppm_v bis zu 500 ppm_v bestimmt werden.

Abb. 2: SO₂-Grenzwerte zur Klassifizierung von SF₆-Gasgemischen



1.1 SF₆-Gas als Gefahrstoff

Gemäß CLP-Verordnung [2] gilt hinsichtlich der Einstufung eines Gemischs, das einen oder mehrere als gefährlich eingestufte Bestandteile enthält, dass die in der Verordnung genannten allgemeinen und spezifischen Konzentrationsgrenzwerte, Multiplikationsfaktoren und allgemeinen Berücksichtigungsgrenzwerte Anwendung finden. Darüber hinaus müssen gegebenenfalls additive Effekte anhand der im Anhang I der CLP-Verordnung [2] beschriebenen Rechenmethoden berücksichtigt werden.

Die Anwendung der Berechnung gemäß CLP-Verordnung [2] nach Anlage 1: Berechnung von Grenzwerten für die Gefahrstoffklassifizierung dieses Dokuments unter der Berücksichtigung der SO₂-Äquivalenz (Faktor 1:4) führt zu einem rechnerischen Grenzwert von

$$1.000 \text{ ppm}_v \text{ SF}_4 \times \frac{1}{4} \times \frac{\text{SO}_2}{\text{SF}_4} = 250 \text{ ppm}_v \text{ SO}_2$$

Folglich muss ein Gasgemisch nach CLP-Verordnung [2] als „Acute Tox 3 (H331)“ gekennzeichnet werden, wenn der gemessene SO₂-Anteil im SF₆-Gas größer gleich 250 ppm_v ist. Dieser Wert ist in Abbildung 2 und Tabelle 2 angegeben.

Tab. 2: Übersicht zur Gefahrstoffkennzeichnung

Chemische Formel	Neues SF ₆	Gebrauchtes SF ₆ ohne toxische Eigenschaften	Gebrauchtes SF ₆ mit toxische Eigenschaften
GefahrstoffEinstufung	Gas	Gas	Gas + toxisch
SO ₂ -Grenzwert	0 ppm _v + keine anderen Zersetzungsprodukte	< 250 ppm _v	≥ 250 ppm _v
Kennzeichnung der Flaschenschulter	„grün“	„grün“	„gelb“

Quelle: ZVEI, eigene Darstellung

Neben dem Kriterium, ob ein Gas als toxisch oder als nichttoxisch bewertet wird, ist nach der CLP-Verordnung [2] jedes Gas hinsichtlich aller möglichen physikalischen Gefahren als ein Gefahrstoff zu bewerten und gegebenenfalls zu kennzeichnen.

1.2 SF₆-Gas als Gefahrgut

Die Anwendung der Grenzwertbestimmung nach Anlage 2: Berechnung der Grenzwerte für die Gefahrgutklassifizierung unter der Berücksichtigung der SO₂-Äquivalenz führt zu einem rechnerischen Grenzwert für die SO₂-Konzentration von

$$8.000 \text{ ppm}_v \text{ SF}_6 \times \frac{1}{4} \times \frac{\text{SO}_2}{\text{SF}_6} = 2.000 \text{ ppm}_v \text{ SO}_2$$

Folglich muss ein Gasgemisch als toxisches Gefahrgut angesehen werden, wenn der SO₂-Anteil im SF₆-Gas größer als 2.000 ppm_v ist. Unabhängig von der Toxizität muss SF₆, sobald es mit einem Druck größer 2 bar relativ (ADR 2017 Kapitel 1.1.3.2 [3]) transportiert wird, immer als Gefahrgut behandelt werden.

Handelsübliche portable Messgeräte verwenden heute zur SO₂-Messung elektrochemische Sensoren, die in Messbereichen von 0 ppm_v bis zu 500 ppm_v verfügbar sind. Daher

Tab. 3: Übersicht zur Gefahrgutkennzeichnung

	Neues SF ₆	Gebrauchtes SF ₆	Gebrauchtes SF ₆ mit toxischen Eigenschaften
Flasche/Container	grün: 	Gas	Gas + toxisch 
Gefahrguteinstufung für Beförderung	UN1080 Klasse 2.2	UN3163 Klasse 2.2 N.A.G.	UN3308 Klasse 2.3 + Klasse 8 N.A.G
SO₂-Grenzwert	0 ppm _v + keine anderen Zersetzungsprodukte	< 250ppm _v	≥ 250 ppm _v
Zus. Kennzeichnung für den Transport			
Sicherungsplan nach ADR	Nein	Nein	Ja

Quelle: ZVEI, eigene Darstellung

wird hier für den praktischen Einsatz ein Grenzwert von 250 ppm_v zur Bestimmung der Gefahrguteigenschaft vorgeschlagen; in Abbildung 2 findet man diesen kleineren Wert als Grenzwert für toxisches Gefahrgut.

Alle Kennzeichnungspflichten obliegen gemäß ADR [15] dem Absender. Eine detaillierte Tabelle zur Klassifizierung von SF₆-Gas findet sich in Anlage 4: Tabelle zur Klassifizierung von SF₆-Gas für den Transport dieses Dokuments.

2. SF₆-Gas im Wirtschaftskreislauf

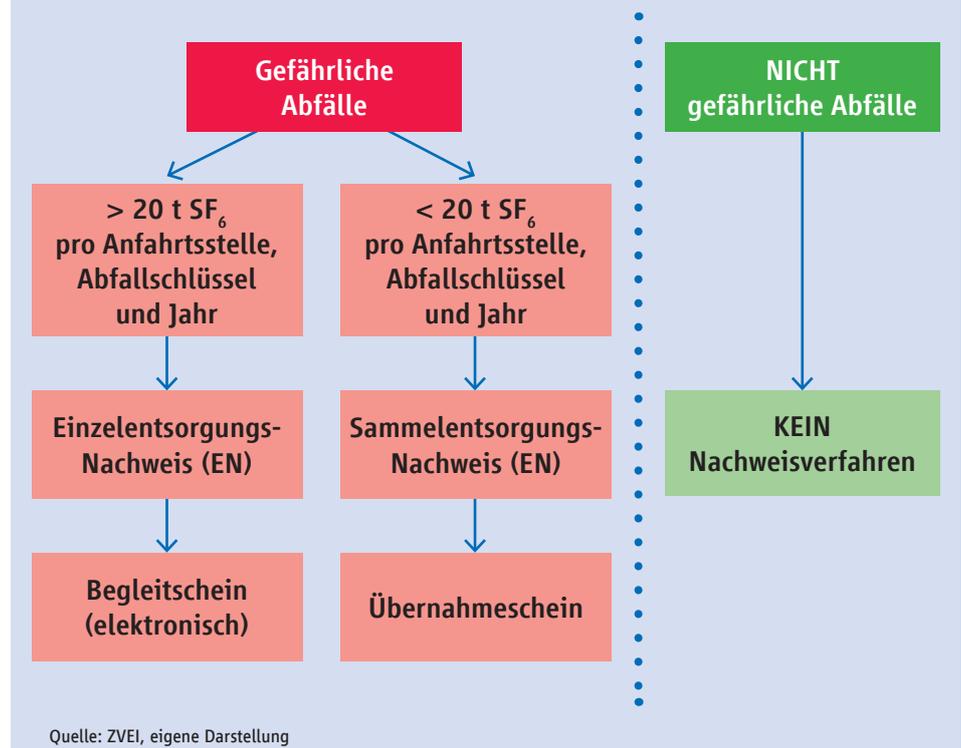
Basierend auf der EU-Ressourcenschutz-Strategie („Circular Economy“) bzw. dem Grundsatz der Abfallvermeidung bzw. hochwertiger Abfallverwertung, stehen prinzipiell zwei Wege zur Verfügung, gebrauchtes SF₆-Gas im Stoffkreislauf zu halten: einerseits als Abfall zur Verwertung, andererseits als Produkt zur Wiederverwendung. Beide Wege sind laut Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [8] zulässig, wobei die Wiederverwendung nach § 3 Abs. 21 KrWG eine Form der Abfallvermeidung nach § 3 Abs. 20 KrWG ist.

2.1 Gebrauchtes SF₆-Gas als Abfall

Die Entscheidung, ob gebrauchtes SF₆-Gas Abfall ist, liegt bei seinem Besitzer, in der Regel also beim Betreiber des elektrischen Betriebsmittels. Es muss dann als Abfall betrachtet werden, wenn man sich des Gases entledigen will, ohne dass ein neuer Verwendungszweck unmittelbar an Stelle des bisherigen tritt (§ 3 Abs. 3 KrWG [8]).⁶

Weiterhin gilt in diesem Fall, dass das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) [8] zwischen „nicht gefährlichem Abfall“ und „gefährlichem Abfall“ unterscheidet. Sobald gefährlicher Abfall vorliegt, muss der Abfallerzeuger – in der Regel der Betreiber der SF₆-befüllten Betriebsmittel, aus denen das SF₆-Gas stammt – Nachweispflichten nach der Nachweisverordnung wahrnehmen [10]. Die entsprechenden Vorgaben werden in Abbildung 3 gezeigt.

Abb. 3: Nachweisführung für Abfälle, die an den Entsorger oder Gashersteller geliefert werden – abweichend davon können Änderungen von dieser Nachweisführung möglich sein, siehe Ausführungen zu „Freistellungsbescheid“ in diesem Kapitel



⁶ Die letztere Einschränkung ist nicht zwingend erfüllt, da zwar der bisherige Besitzer keine Verwendung mehr für das SF₆-Gas hat, es aber im Regelfall ohne größere Aufbereitung in einem anderen elektrischen Betriebsmittel zum ursprünglichen Zweck wieder eingesetzt werden kann.

Abfälle sind entsprechend der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) [9]) mit einem sechsstelligen Abfallschlüssel zu klassifizieren. Ist der Abfallschlüssel zusätzlich mit einem „*“ (Sternchen) versehen, handelt es sich um gefährlichen Abfall. Die Abfallschlüssel sind der AVV [9] zu entnehmen und sind für Gase in Druckgasflaschen oder -behältern in Tabelle 4 aufgelistet.

Tab. 4: Abfallschlüssel im Zusammenhang mit Gasen in Druckbehältern

Abfallschlüssel	Abfallbezeichnung
16 05	Gase in Druckbehältern und gebrauchte Chemikalien
16 05 04*	Gefährliche Stoffe enthaltende Gase in Druckbehältern (einschließlich Halonen)
16 05 05	Gase in Druckbehältern mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 05 04 fallen

Quelle: ZVEI, eigene Darstellung

Aus Tabelle 4 lässt sich entnehmen, dass (gebrauchtes) SF₆-Gas in Druckgasflaschen oder -behältern als Abfallnummer 16 05 04* oder 16 05 05 eingestuft werden kann. Folglich muss für SF₆ eine fallbezogene Entscheidung getroffen werden. Die AVV ist die nationale Umsetzung der European Commission decision 2.000/532/EC und beschreibt dabei Gefährlichkeitsmerkmale, die sich wiederum auf Grenzwerte aus der CLP-Verordnung [2] in 1.1 SF₆-Gas als Gefahrstoff stützen. Daher kann die Einstufung des SF₆-Gases wiederum anhand der SO₂-Messung mit dem Gefahrstoff-Grenzwert vorgenommen werden.

In Anlage 3: Berechnung der Grenzwerte für die Klassifizierung als Abfall wird gezeigt, dass entsprechend der Abfallrahmenrichtlinie [16] eine Grenzwertkonzentration von 35.000 ppm_v erlaubt ist, aber aus Vereinfachungsgründen ein Grenzwert von 1.000 ppm_v vorgeschlagen wird. Damit bestimmt sich wie unter 1.1 SF₆-Gas als Gefahrstoff der Grenzwert für das Nachweisgas SO₂ wie folgt:

$$1.000 \text{ ppm}_v \text{ SF}_6 \times \frac{1}{4} \times \frac{\text{SO}_2}{\text{SF}_6} = 250 \text{ ppm}_v \text{ SO}_2$$

Dieser Wert ist in Abbildung 2 und Tabelle 5 (Abfallkennzeichnung) aufgeführt.

Tab. 5: SF₆-Gas als Abfall

	Neues SF ₆	Gebrauchtes SF ₆ (nicht gefährlicher Abfall)	Gebrauchtes SF ₆ (gefährlicher Abfall)
Abfallschlüssel	16 05 05	16 05 05	16 05 04*
SO ₂ -Grenzwert	0 ppm _v + keine anderen Zersetzungsprodukte	< 250 ppm _v	≥ 250 ppm _v
Nachweispflicht	Nein	Nein	Ja

Quelle: ZVEI, eigene Darstellung

Wenn der Betreiber das SF₆-Gas aus einem intakten elektrischen Betriebsmittel entnommen und in Druckgasflaschen oder -behälter abgefüllt hat, ist der Abfallschlüssel 16 05 05 zu verwenden, da regelmäßig kein gefährlicher Abfall vorliegt. Die Grenzwerte nach Anlage III der Abfallrahmenrichtlinie [16] werden nicht überschritten (siehe 1. Umgang mit SF₆-Gas). Nur in besonderen Ausnahmefällen (z. B. bei Störlichtbögen) können die

Grenzwerte überschritten sein. In diesem Fall ist der Abfallschlüssel 16 05 04* für gefährliche Abfälle zu verwenden und es gelten zusätzlich die Nachweispflichten nach § 50 Abs. 1 KrWG, sofern keine Freistellung nach § 26 KrWG vorliegt. Anzumerken ist, dass die Kennzeichnungspflichten für Gefahrstoff und Gefahrgut unabhängig von der Abfalleinstufung (gefährlich / nicht gefährlich) einzuhalten sind.

Vertreiber und Hersteller von SF₆-Gas sind in Deutschland im Rahmen ihrer Produktverantwortung gemäß § 23 KrWG [8] nach § 4 Abs. 2 der Chemikalienklimaschutzverordnung (ChemKlimaschutzV) [17] verpflichtet, (von ihnen hergestelltes) SF₆-Gas zurückzunehmen. Wenn diese zurücknehmenden Unternehmen einen die Bundesländer übergreifenden, damit bundesweit geltenden Freistellungsbescheid gemäß § 26 KrWG [8] erhalten haben, können sie gebrauchtes SF₆ als Abfall mit der Abfallschlüsselnummer 160504* (gefährlich) oder 160505 (nicht gefährlich) direkt annehmen und – behördlich anerkannt – verwerten. Dies vereinfacht bzw. ersetzt das ansonsten für gefährliche Abfälle notwendige Nachweisverfahren gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz [8] und die zurückgegebene Menge muss nicht mehr der entsprechenden Landesabfallbehörde angezeigt bzw. angedient werden. Diese wird durch die zurücknehmenden Unternehmen in Form einer Jahresmitteilung an die jeweilige Landesbehörde gemeldet. Der Abfallerzeuger bekommt eine Rücknahmebescheinigung für das zurückgegebene SF₆. Die Rücknahmebescheinigung in Verbindung mit einer Kopie des Freistellungsbescheids⁷ dient zur Dokumentation beim Abfallerzeuger bzw. beim zurücknehmenden Unternehmen.

2.2 Gebrauchtes SF₆-Gas im Produktkreislauf

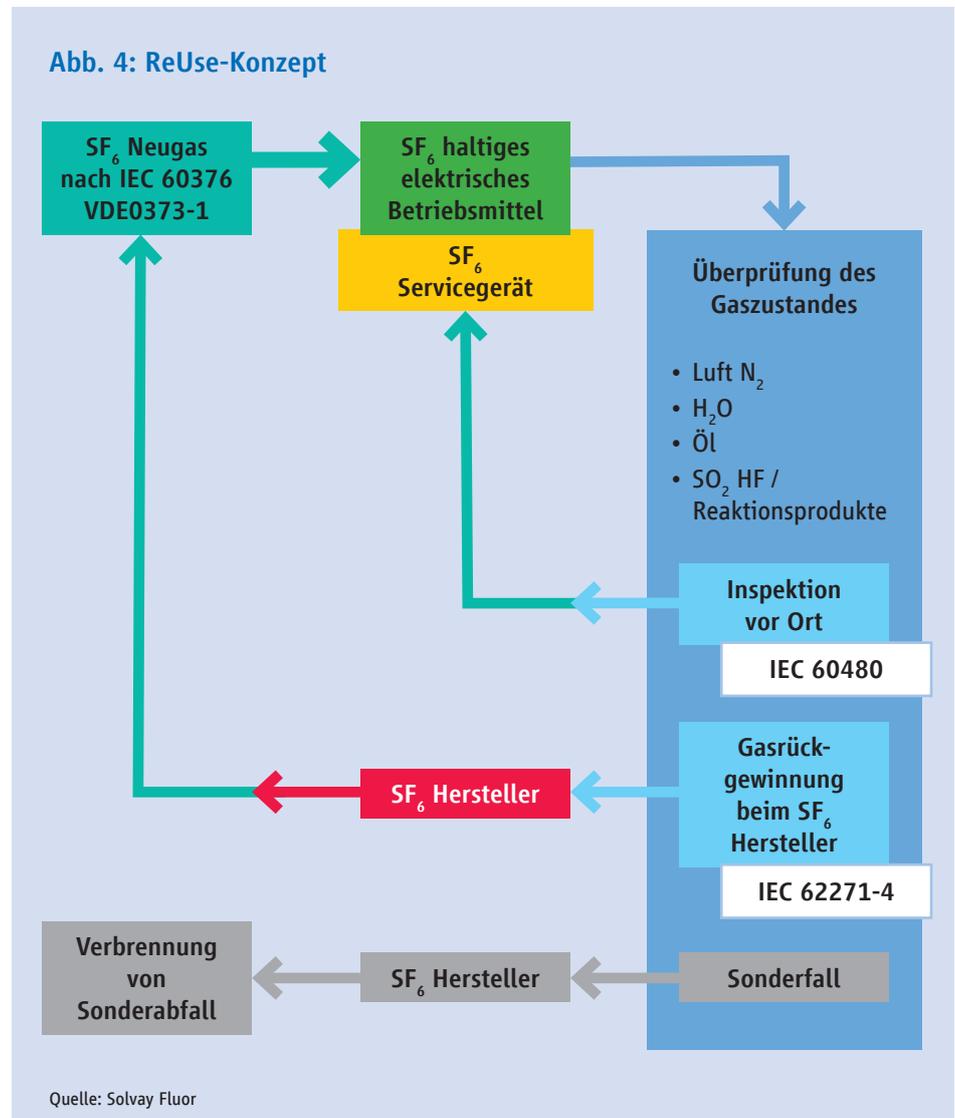
Wie bereits im vorangegangenen Kapitel erwähnt, obliegt die Entscheidung, ob gebrauchtes SF₆ als Abfall anzusehen ist oder weiterhin ein Produkt darstellt, dem jeweiligen Besitzer des SF₆-Gases, in der Regel also dem Betreiber des elektrischen Betriebsmittels. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz lässt die Möglichkeit offen, gebrauchtes SF₆-Gas dem Vertreiber oder Hersteller von SF₆-Gas zur weiteren Verwendung zurückzugeben, bevor es als Abfall deklariert wird. Dies ist eine Maßnahme zur Abfallvermeidung. Entscheidend ist hierbei, dass das SF₆-Gas seine ursprüngliche Zweckbestimmung, nämlich Isolieren und Schalten in elektrischen Betriebsmitteln, beibehält (siehe Erklärung in 2.1 Gebrauchtes SF₆-Gas als Abfall). Dieser als ReUse-Verfahren bekannte Prozess wird zum Beispiel von der Firma Solvay Fluor GmbH, einem Hersteller von SF₆-Gas, seit vielen Jahren in Deutschland durchgeführt.

Das gebrauchte SF₆-Gas ist bei der Rückgabe in einer Druckgasflasche mit einem Druck größer 2 bar relativ in jedem Fall ein Gefahrstoff und Gefahrgut. Die Konzentration von eventuell vorhandenen toxischen Bestandteilen bestimmt dann die Art des Transports der mit dem SF₆ gefüllten Druckgasflaschen oder -behälter. Wenn der Betreiber das SF₆-Gas des intakten elektrischen Betriebsmittels mit einem handelsüblichen SF₆-Servicegerät entnommen oder durch Messung des SO₂-Werts eine Konzentration < 250 ppm, festgestellt hat, ist der Transport des SF₆ ohne Sicherheitsplan nach ADR möglich (siehe Tabelle 3). Die benutzten Druckgasflaschen oder -behälter mit grünem Band sollten aber besonders gekennzeichnet sein und keinesfalls mit Druckgasflaschen oder -behältern verwechselt werden, die für neues SF₆ (entsprechend IEC 60376 [19]) oder SF₆ zur Wiederverwendung (entsprechend IEC 60480 [4]) benutzt werden. Das zurückgegebene gebrauchte SF₆-Gas wird vom zurücknehmenden Unternehmen gegebenenfalls nochmals auf Verunreinigungen analysiert und weiterverwendet.

Sollte der Betreiber das SF₆-Gas mit einem Kompressionsgerät ohne Filter aus dem elektrischen Betriebsmittel entnehmen oder der SO₂-Gehalt größer als 250 ppm, sein, muss der Transport mit gelb gekennzeichneten Druckgasflaschen oder -behältern und entsprechendem Sicherheitsplan erfolgen.

⁷ Solvay Fluor GmbH besitzt seit 2004 einen bundesweit geltenden Freistellungsbescheid der Landesbehörde Niedersachsen, der alle fünf Jahre erneuert worden ist.

Das beschriebene ReUse-Verfahren entspricht einem Produktkreislauf, da das gebrauchte SF₆ der direkten Herstellung von neuem SF₆ zugeführt wird und anschließend in elektrischen Betriebsmitteln wiederverwendet wird. Wie in der nachfolgenden Abbildung 4 dargestellt, ist der Prozess prinzipiell vergleichbar der Wartung eines elektrischen Betriebsmittels vor Ort. Dabei wird das SF₆-Gas zurückgewonnen und nach Abschluss der Inspektionsarbeiten wieder in das elektrische Betriebsmittel eingefüllt.



Bei Rücknahme des SF₆-Gases geht dieses regelmäßig in Besitz und Eigentum des zurücknehmenden Herstellers oder Vertreibers des SF₆-Gases über. Eine Bescheinigung über die Rücknahme wird ausgestellt. Kontaminiertes SF₆-Gas, das aufgrund der Eingangsanalyse nicht der ReUse-Stoff-Spezifikation entspricht, wird gemäß Abbildung 4 (Sonderfall) erst danach als Abfall deklariert und der endgültigen Beseitigung zugeführt. Die Erfüllung des Nachweisverfahrens gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz [8] obliegt dann dem zurücknehmenden Unternehmen.

3. Umgang mit SF₆-befüllten elektrischen Betriebsmitteln

Wie bereits in 1. Umgang mit SF₆-Gas einleitend in Abbildung 1 und Tabelle 1 beschrieben, können unter Einwirkung von Energie Zersetzungsprodukte mit toxischen Eigenschaften entstehen. Die gasförmigen Zersetzungsprodukte können mit handelsüblichen SF₆-Servicegeräten zusammen mit dem verbleibenden SF₆-Gas bzw. den nicht toxischen Verunreinigungen (wie z. B. Luft) über Filter abgesaugt werden. Die eventuell vorhandenen staubförmigen, festen Zersetzungsprodukte verbleiben allerdings im Gasraum des elektrischen Betriebsmittels. Eine Übersicht möglicher staubförmiger Zersetzungsprodukte zeigt Tabelle 6.⁸

Tab. 6: Eigenschaften der festen Zersetzungsprodukte

Chemisches Zeichen	Name	Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) (mg/m ³)
MF _x	Fluoride	1
-	Silberverbindungen, anorganische	0,01

Quelle: TRGS 900 [13]

Aufgrund von Anlagerungseffekten an metallischen Oberflächen sowie des häufigen Einsatzes von Filtermaterialien (Absorbieren) im Gasraum des elektrischen Betriebsmittels kann kein sicherer Zusammenhang zwischen der SO₂-Konzentration im SF₆-Gas, das dem elektrischen Betriebsmittel entnommen wurde, und dem Vorhandensein von Schaltstäuben hergestellt werden. Analog der Betrachtung aus der Berufsgenossenschaftlichen Information DGUV Information 213-013 „SF₆-Anlagen und Betriebsmittel“ (alt: BGI 753), Anhang 4 [11] können daher feste Zersetzungsprodukte nicht ausgeschlossen werden. Folglich muss das Gefährdungspotenzial der festen Zersetzungsprodukte im Gasraum elektrischer Betriebsmittel bewertet und eine entsprechende Kennzeichnung vorgenommen werden.

3.1 SF₆-befüllte elektrische Betriebsmittel als Gefahrstoff

Von geschlossenen elektrischen Betriebsmitteln gehen keine Gefahren von festen Zersetzungsprodukten aus, da diese sich innerhalb einer geschlossenen Hülle befinden. Eine Einstufung als toxischer Gefahrstoff erübrigt sich also.

Wenn allerdings ein elektrisches Betriebsmittel geöffnet wird bzw. die Dichtheit des Gasraums des elektrischen Betriebsmittels durch Fehlereinwirkung beeinträchtigt ist, müssen die Gefahren der festen Zersetzungsprodukte beurteilt werden. Entsprechend der Grenzwertempfehlung nach Tabelle 6 wird deutlich, dass bereits bei geringen Mengen fester Zersetzungsprodukte der Arbeitsplatzgrenzwert erreicht wird.

Daher ist eine visuelle Kontrolle auf Schaltstäube nicht ausreichend. Folglich ist vom Vorhandensein einer grenzwertverletzenden Menge an festen Zersetzungsprodukten auszugehen. An dieser Stelle sei auf die Berufsgenossenschaftliche Information DGUV Information 213-013 (alt: BGI 753) [11] verwiesen.

3.2 SF₆-befüllte elektrische Betriebsmittel als Gefahrgut

Grundsätzlich gilt wegen der möglichen Anwesenheit von Schaltstäuben, dass gebrauchte SF₆-befüllte elektrische Betriebsmittel sicherheitshalber als Gefahrgut betrachtet werden sollten und deshalb für einen Transport entsprechend zu kennzeichnen sind (siehe Anlage 4: Tabelle zur Klassifizierung von SF₆-Gas für den Transport). Die Kennzeichnung mit der UN-Nummer 3363 bedeutet, dass das Gefahrgut nicht den Vorschriften des ADR [15] unterliegt und neben einem Hinweis (Begleitnotiz notwendig: „Gefährliche Güter in Maschinen oder in Geräten. Unterliegt nicht den Vorschriften des ADR.“) keine weiteren Kennzeichnungen und keine besonderen Maßnahmen während des Transports erforderlich sind.

⁸ Es können auch Schwefelverbindungen anteilig in den Schaltstäuben enthalten sein. Für diese gibt es keine Arbeitsplatzgrenzwerte nach TRGS 900 [13].

Der Fülldruck dieser elektrischen Betriebsmittel zum Transport muss zusätzlich unter 2 bar relativ liegen, weil andernfalls die ADR [15] anzuwenden ist. Zusätzlich muss der gemessene SO_2 -Anteil im SF_6 -Gas kleiner als 250 ppmV⁹ sein, was in der Praxis der Regelfall ist.

Die Vereinfachung einer Kennzeichnung des Transports des Gases in elektrischen Betriebsmitteln mit der UN-Nummer 3363 gilt außerdem nur, wenn die festen Schaltstäube während der Beförderung nicht austreten können. Offene Gasräume von elektrischen Betriebsmitteln, aus denen das SF_6 -Gas bereits zurückgewonnen worden ist, die aber nicht gereinigt wurden, müssen daher wegen der möglichen Anwesenheit von Schaltstäuben für die Beförderung verschlossen werden. Der Einsatz von UV-beständigen Folien hat sich dazu als ausreichend erwiesen. Alternativ können verschließbare Container eingesetzt werden (siehe Abbildung 5 und Abbildung 6).

Abbildung 5: Verpackter Erdisolator eines 123-kV-Leistungsschalters / Verpackter Gasraum einer 123-kV-gasisolierten Schaltanlage



Quelle: Westnetz

**Abbildung 6: Verschließbarer Container
Verpacktes Mittelspannungsschaltfeld**



Quelle: Phönix Elektronik-Recycling

Quelle: Westnetz

Falls ein Neutralisationsverfahren gemäß IEC 62271-4 [20] durchgeführt wurde und so feste Zersetzungsprodukte in den Gasräumen ausgeschlossen werden können, können die unbefüllten elektrischen Betriebsmittel unproblematisch transportiert werden. Die bereits erwähnten gefahrgut-, transport- oder abfallrechtlichen Kennzeichnungs- oder Nachweispflichten bestehen dann hier nicht.

3.3 SF_6 -befüllte elektrische Betriebsmittel als Abfall

Die Entscheidung, ob ein befülltes elektrisches Betriebsmittel Abfall ist, liegt bei seinem Besitzer, in der Regel also dem Betreiber des elektrischen Betriebsmittels. Es muss dann als Abfall betrachtet werden, wenn man sich des elektrischen Betriebsmittels entledigen will, ohne dass ein neuer Verwendungszweck unmittelbar an Stelle des bisherigen tritt (§ 3 Abs. 3 KrWG [8]).

Gemäß der Abfallverzeichnisverordnung [9] sind die befüllten elektrischen Betriebsmittel entsprechend Tabelle 7 zu deklarieren.

⁹ Vgl. Berechnung im Kapitel „ SF_6 -Gas als Gefahrgut“

Tab. 7: Abfallschlüssel im Zusammenhang mit elektrischen und elektronischen Geräten

Abfallschlüssel	Abfallbezeichnung
16 02	Elektrische und elektronische Geräte und deren Bauteile
16 02 09*	Transformatoren und Kondensatoren, die PCB enthalten
16 02 10*	Gebrauchte Geräte, die PCB enthalten oder damit verunreinigt sind, mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 fallen
16 02 11*	Gebrauchte Geräte, die Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW oder HFKW enthalten
16 02 12*	Gebrauchte Geräte, die freies Asbest enthalten
16 02 13*	Gefährliche Bauteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen
16 02 14	Gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen
16 02 15*	Aus gebrauchten Geräten entfernte gefährliche Bauteile
16 02 16	Aus gebrauchten Geräten entfernte Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 15 fallen

Quelle: ZVEI, eigene Darstellung

Tabelle 7 zeigt, dass für SF₆-befüllte Betriebsmittel die Abfallschlüssel 16 02 11*, 16 02 13* (gefährlicher Abfall) und 16 02 14 in Betracht kommen. Kann die entsprechende Gasqualität nachgewiesen oder aufgrund der Betriebserfahrungen abgeleitet werden, so kann erfahrungsgemäß der Abfallschlüssel 16 02 14 verwendet werden, da in fast allen Fällen kein gefährlicher Abfall vorliegt. Die Grenzwerte nach Anlage III der Abfallrahmenrichtlinie werden in Bezug auf SF₆-Gasbeimengungen nicht überschritten (s. bereits 2.1 Gebrauchtes SF₆-Gas als Abfall). Nur in besonderen Ausnahmefällen (z. B. bei Störlichtbögen) können die Grenzwerte überschritten sein. In diesem Fall ist der Abfallschlüssel 16 02 11* oder 16 02 13* für gefährliche Abfälle zu verwenden und es gelten zusätzlich die Nachweispflichten nach § 50 Abs. 1 KrWG, sofern keine Freistellung nach § 26 KrWG vorliegt.

Wird das Gas am Aufstellungsort des Betreibers komplett entnommen, so ist mit dem Gas wie in 2. SF₆-Gas im Wirtschaftskreislauf zu verfahren.

Wird dann das elektrische Betriebsmittel an einen zertifizierten Entsorger gegeben, sind wegen möglicher fester Zersetzungsprodukte in den elektrischen Betriebsmitteln die Ausführungen in 3.2 SF₆-befüllte elektrische Betriebsmittel als Gefahrgut zu beachten. Anzumerken ist, dass die Kennzeichnungspflichten für Gefahrstoff und Gefahrgut unabhängig von der Abfalleinstufung (gefährlich / nicht gefährlich) einzuhalten sind.

3.4 SF₆-befüllte elektrische Betriebsmittel als gebrauchtes Produkt

Außer Betrieb genommene elektrische Betriebsmittel sind in der Regel noch funktionsfähig. Sie können damit als gebrauchtes Produkt weitergenutzt oder an den Hersteller zur weiteren Nutzung zurückgegeben werden. Damit liegt kein Abfall vor.

Aufgrund der „Selbstverpflichtung der SF₆-Produzenten, Hersteller und Betreiber zu SF₆ als Isolier- und Löschgas“ [14] vom Mai 2005 müssen Hersteller von SF₆-befüllten elektrischen Betriebsmitteln diese, sofern sie aus ihrer jeweiligen Produktion stammen, nach Gebrauch von den Betreibern zurücknehmen. Hierbei handelt es sich um eine freiwillige Rücknahme. Denn anders als das SF₆-Gas fallen die elektrischen Betriebsmittel als solche nicht unter die verordnete Rücknahme nach der ChemKlimaschutzV.

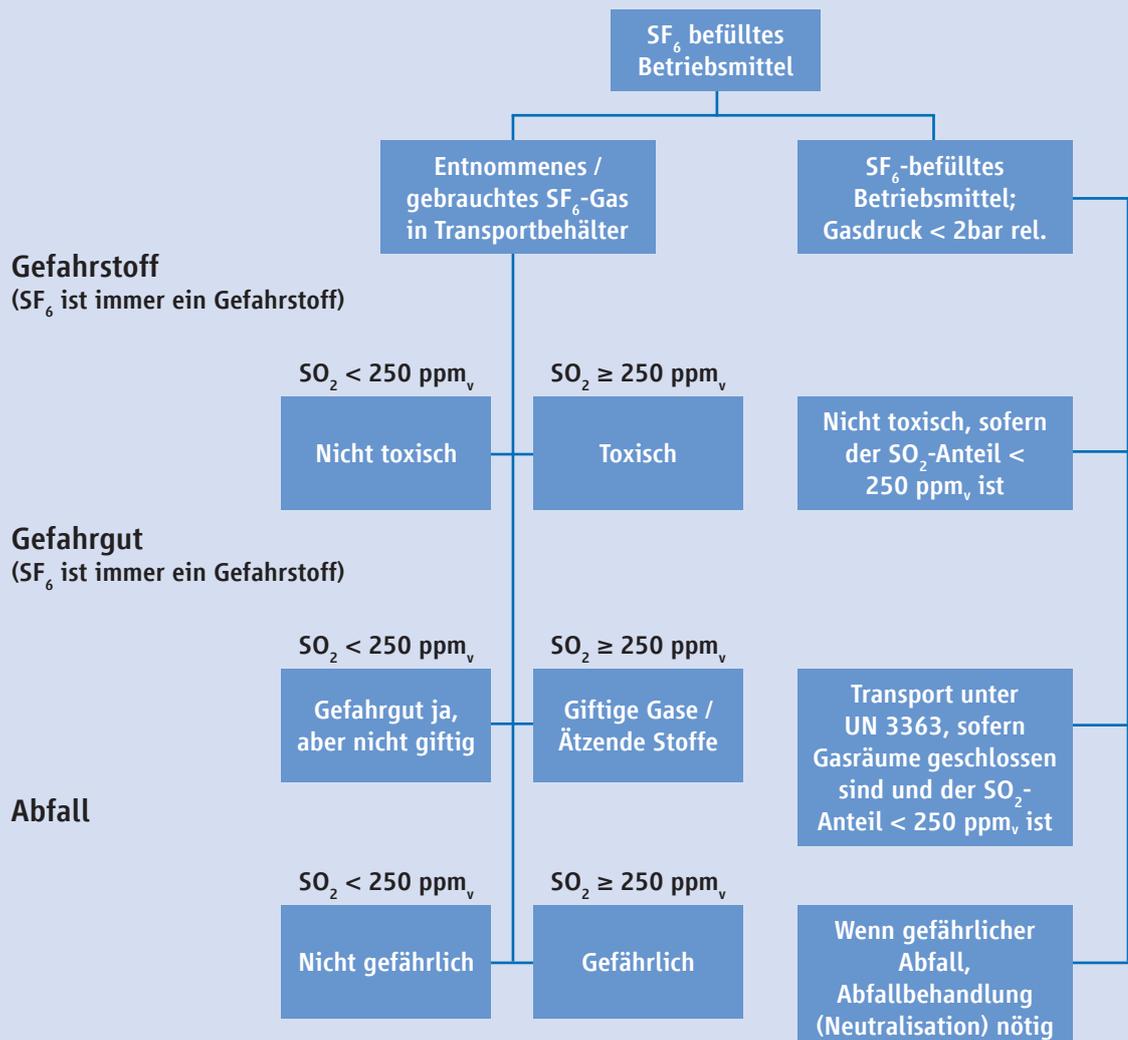
Wird das elektrische Betriebsmittel als gebrauchtes Produkt zurückgegeben, greift das Abfallrecht nicht ein. Damit muss auch nicht die Frage nach gefährlichem oder nicht gefährlichem Abfall beantwortet werden. Allerdings müssen die unter 3.2 SF₆-befüllte elektrische Betriebsmittel als Gefahrgut gegebenen Hinweise beim Transport beachtet werden.

4. Zusammenfassung der Anforderungen im Umgang mit SF₆ und SF₆-befüllten Betriebsmitteln

Aufgrund der weitreichenden rechtlichen Anforderungen an den Umgang mit Gefahrstoffen, Gefahrgutbeförderung und Abfall müssen diese für SF₆-Gas und SF₆-befüllte elektrische Betriebsmittel insbesondere wegen möglicher toxischer Eigenschaften sorgfältig geprüft und angewendet werden. Dieser Anwenderleitfaden soll allen Beteiligten im Umgang mit SF₆ dabei helfen, diese Anforderungen zu verstehen und umzusetzen.

Wichtig ist, dass für jeden Vorgang, sowohl für das SF₆-Gas als auch für das SF₆-befüllte elektrische Betriebsmittel, jeweils Betrachtung und Kennzeichnung aus den Perspektiven (Gefahr-)Stoff, Gefahrgut und Abfall vorgenommen werden müssen. Nach der konsequenten und vollständigen Betrachtung kann der Anwender davon ausgehen, den rechtlichen Vorgaben in der Bundesrepublik Deutschland gerecht geworden zu sein. Abschließend zeigt Abbildung 7 eine Übersicht der Anforderungen im Umgang mit SF₆-Gas und SF₆-befüllten elektrischen Betriebsmitteln.

Abb. 7: Entscheidungsdiagramm zu Kennzeichnungspflichten für entnommenes/gebrauchtes SF₆ aus befüllten elektrischen Betriebsmitteln und für SF₆-befüllte elektrische Betriebsmittel



Quelle: ZVEI, eigene Darstellung

5. Schlussbemerkung

Die Eigenschaften des gebrauchten SF₆-Gases erlauben eine nahezu unbegrenzte Weiterverwendung des Gases in elektrischen Betriebsmitteln. Voraussetzung dafür ist eine Gasqualität gemäß IEC 60480 [4]. Einer Weiterverwendung des SF₆-Gases als gebrauchtes Produkt ist somit grundsätzlich der Vorzug zu geben.

Quellenverzeichnis

- [1] Verordnung (EU) Nr. 517/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über fluorierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 (F-Gase Verordnung)
- [2] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (CLP-Verordnung)
- [3] Ridder, Klaus; Holzhäuser, Jörg: ADR 2017. Landsberg am Lech: EcoMed Sicherheit, 32. Auflage 2017
- [4] IEC 60480:2004 (DIN EN 60480:2005-08), Richtlinien für die Prüfung und Aufbereitung von Schwefelhexafluorid (SF₆) nach Entnahme aus elektrischen Betriebsmitteln und Spezifikation für dessen Wiederverwendung
- [5] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG)
- [6] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV)
- [7] CIGRE Broschüre 234, SF₆ Recycling Guide – Revision 2003
- [8] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG)
- [9] Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung – AVV)
- [10] Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen (Nachweisverordnung – NachwV)
- [11] Berufsgenossenschaftliche Information 213-013 (alt: BGI 753), Hinweis: befindet sich z. Z. (Stand: April 2018) in der Überarbeitung
- [12] Kurte, R.: Infrarotspektrometrische Spurengasbestimmung in für elektrische Schaltanlagen verwendetem Schwefelhexafluorid. Dortmund: Dissertation der TU Dortmund, 03.04.2002
- [13] Technische Regel für Gefahrstoffe 900, Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). Ausgabe: Januar 2006 BArBl. Heft 1/2006 S. 41–55, zuletzt geändert und ergänzt: GMBL 2015 S. 1186–1189 [Nr. 60] vom 06.11.2015
- [14] Selbstverpflichtung der SF₆-Produzenten, Hersteller und Betreiber von elektrischen Betriebsmitteln > 1 kV zur elektrischen Energieübertragung und -verteilung in der Bundesrepublik Deutschland zu SF₆ als Isolier- und Löschgas
- [15] ADR = Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (deutsch: Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße)
- [16] Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien (Abfallrahmenrichtlinie) inklusive Änderungen des Anhangs III, gültig ab 05.07.2018 gemäß Verordnung EU 2017/997
- [17] Verordnung zum Schutz des Klimas vor Veränderungen durch den Eintrag bestimmter fluoriertener Treibhausgase (Chemikalienklimaschutzverordnung – ChemKlimaschutzV)
- [18] Sicherheitsdatenblatt „Gebrauchtes Schwefelhexafluorid“ gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006,
- [19] IEC 60376:2018, Specification of technical grade sulphur hexafluoride (SF₆) and complementary gases to be used in its mixtures for use in electrical equipment
- [20] IEC 62271-4:2013 (DIN EN 62271-4 (VDE 0671-4)), Handhabungsmethoden im Umgang mit Schwefelhexafluorid (SF₆) und seinen Mischgasen

Anlagen

Anlage 1: Berechnung von Grenzwerten für die Gefahrstoffklassifizierung

Nachfolgend wird am Beispiel zur akuten Toxizität gezeigt, wie anhand von Informationen zu den Inhaltsstoffen eines Gasgemischs mit Worst-Case Ansatz (siehe 1. Umgang mit SF₆-Gas) die Einstufung mittels der Kriterien aus dem Anhang I der CLP-Verordnung [2] vorgenommen wird. Für weitere Gefahrenklassen muss bei der Selbsteinstufung analog vorgegangen werden.

Wegen Einstufung des reinen Stoffs Schwefeltetrafluorid (SF₄) als „Acute Tox. 1 (H330)“ muss der sogenannte ATE¹⁰-Wert des SF₆-SF₄-Gemischs (Schätzwert akuter Toxizität) bestimmt werden. Dieser wird nach folgender Formel berechnet:

$$\frac{100}{ATE_{mix}} = \sum \frac{c_i}{ATE_i}$$

Der ATE für das Gemisch liegt bei 1.000 ppm_v und somit erfolgt für das Gemisch eine Einstufung als „Acute Tox 3 (H331)“ und eine Kennzeichnung mit dem Totenkopf-Piktogramm (GHS06) (Bildbeispiel siehe Tabelle 2). Die Einstufung und Kennzeichnung muss in Abschnitt 2 des Sicherheitsdatenblatts aufgeführt sein.

Anlage 2: Berechnung der Grenzwerte für die Gefahrgutklassifizierung

Entsprechend ADR 2015 Kapitel 2.2.2.1.5 [3] kann der Grenzwert zur Bestimmung der Gefahrguteigenschaft aus dem LC50_{1h}-Wert eines Stoffs bestimmt werden. Für SF₄ gilt (Kapitel 4.1.4.1 P200):

SF₄ LC50_{1h}: 40 ppm_v

Der Grenzwert des Gemischs aus SF₆ und SF₄ lässt sich unter folgenden Annahmen abschätzen:

1. Alle möglichen anderen Beimengungen im Gas haben ähnliche physiologische und chemische Eigenschaften wie SF₄ und einen gleichen oder größeren LC50_{1h}-Wert (Worst-Case-Ansatz).
2. Das Gemisch hat einen LC50_{1h}-Wert über 5.000 ppm_v und kann damit als nicht toxisch transportiert werden (Packungsgruppe 3).

Damit ergibt sich die maximal erlaubte Beimengung an toxischen Substanzen zu:

$$\frac{LC50_{1h,SF_4}}{5.000 \text{ ppm}_v} = 8.000 \text{ ppm}_v \text{ SF}_4 = 0,8 \text{ Vol. \% SF}_4$$

Anlage 3: Berechnung der Grenzwerte für die Klassifizierung als Abfall

Auf Grundlage der errechneten Werte in Anlage 1: Berechnung von Grenzwerten für die Gefahrstoffklassifizierung ist unser Gasgemisch als Acute Tox 3 „giftig beim Einatmen“, das heißt mit der Codierung H331, anzusehen.

In Anhang III der Abfallrahmenrichtlinie [16] ist unter HP 6 „akute Toxizität“ für die Beurteilung der Toxizität in Gemischen ein Berücksichtigungsgrenzwert zu finden. Liegt der Beimengungswert des Gemischs unter 0,1 Prozent (1.000 ppm_v), kann das Gemisch ohne weitere Prüfung der Abfallrahmenrichtlinie als nicht gefährlicher Abfall eingestuft werden. Liegt der Wert über dem Berücksichtigungsgrenzwert von 0,1 Prozent, muss anhand der Tabelle 5 im Anhang III der Abfallrahmenrichtlinie die dann maximal zulässige Konzentration im Gemisch, abhängig von der jeweiligen Codierung, ermittelt werden. Bei H331 Acute Tox 3 wäre ein Wert von maximal 3,5 Prozent (35.000 ppm_v) zulässig. Aus Vereinfachungsgründen wird aber in diesem Leitfaden an einer Grenzwertkonzentration von 1.000 ppm_v festgehalten.

¹⁰ ATE = Acute Toxicity Estimate

Anlage 4: Tab. zur Klassifizierung von SF₆-Gas für den Tansport

Praktische Umsetzung - Klassifizierung von SF₆ für den Transport

Tab. 8: Zur Klassifizierung von SF₆ in Druckgasflaschen oder -behältern

Gefahrguttyp nach ADR ⁴	UN #	Technische Klassifizierung (Gas Klasse)	Technische Beschreibung nach ADR	SO ₂ Test nach ADR ⁴	Flaschen-schulter	Technische Anforderungen
Gefährliche Güter (Substanz)	1080	Technische SF ₆	SCHWEFELHEXA-FLUORID (Verflüssigtes inertes Gas)	0 ppm _v	Grün	<ul style="list-style-type: none"> • erfüllt IEC 60376 „neues Gas“ • einstellige Spuren von SO₂ möglich
Gefährliche Güter (Substanz)	3163	Gebrauchtes SF ₆ zur Weiterverwendung	VERFLÜSSIGTES GAS N.A.G ³ (Gas mit Beiproducten)	< 250 ppm _v ⁵	Grün	<ul style="list-style-type: none"> • wenn < 12ppm_v SO₂ erfüllt IEC 60480 „gebrauchtes Gas“ • Gefahrmusterzettel 2.2 (grünes Label mit Gasflasche) nach ADR Klassifizierung bis zu < 250ppm_v SO₂ erlaubt²
Gefährliche Güter (Substanz)	3163	Gebrauchtes SF ₆ zur Weiterverwendung – spezieller Filterprozess erforderlich	VERFLÜSSIGTES GAS N.A.G ³ (Gas mit Beiproducten)	< 250 ppm _v ⁵	Grün	<ul style="list-style-type: none"> • wenn > 12ppm_v SO₂ • geringe toxische Verunreinigungen erfordern Filterung vor dem Füllen der Behälter • Gefahrmusterzettel 2.2 (grünes Label mit Gasflasche) nach ADR Klassifizierung bis zu < 250ppm_v SO₂ erlaubt²
Gefährliche Güter (Substanz) mit hohem Gefahrenpotential ¹	3308	Gebrauchtes SF ₆ zur Weiterverwendung oder Entsorgung <ul style="list-style-type: none"> • Rücknahme durch Gasproduzent • Qualifizierter Labortest erforderlich um die Gasqualität bestimmen zu können 	VERFLÜSSIGTES GAS, GIFTIG, ÄTZEND N.A.G ³ (Gas das toxische und korrosive Zersetzungsprodukte beinhaltet)	≥ 250 ppm _v ⁵	Gelb mit Edelstahl-ventil	<ul style="list-style-type: none"> • Spezialbehälter mit Edelstahlventil • Gesicherte Lagerung bis Abholung erforderlich • Qualifizierte Bestimmung der Gasqualität kann nur durch ausführlichen Labortest erfolgen • In Deutschland, wie in allen ADR Staaten ist nach ADR 1.10 ein Sicherheitsplan erforderlich • In Deutschland gilt nach Sicherheits-überprüfungsfeststellungsverordnung zusätzlich eine Sicherheitsüberprüfung

Quelle: Siemens

Tab. 9: Zur Klassifizierung von SF₆ in elektrischen Betriebsmitteln

Gefahrguttyp nach ADR ⁴⁾	UN #	Gas Klasse	Beschreibung nach ADR	SO ₂ Test nach ADR ⁴	Druck ⁵ Gase Klasse A&O	Technische Anforderungen
Gefährliche Güter in Maschinen / Geräten	3363	Technische SF ₆ / Gebrauchtes SF ₆ zur Weiterverarbeitung oder Entsorgung	Begleitnotiz notwendig: „Gefährliche Güter in Maschinen oder in Geräten“. Unterliegt nicht den Vorschriften des ADR ⁴⁾	< 250 ppm _v ⁵ oder entsprechender Erfahrungswert	Druck < 2 bar (200kPa) bei 20 °C	<ul style="list-style-type: none"> • SF₆ Ausnahme von den Gefahrgutvorschriften, wenn der Druck in der Umschließung (z. B. Druckbehälter) bei einer Temperatur von 20 °C kleiner 2 bar (200kPa). • Diese Ausnahme gilt nicht nach den Allgemeinen Deutschen Seeversicherungsbedingungen (ADS)

Quelle: Siemens

¹ Nach ADR 1.10.3 – Vorschriften für gef. Güter mit hohem Gefahrenpotential

² Ab 249 ppm_v muss auch nach CLP Gefahrstoffklassifizierung toxisch und korrosiv gesondert gekennzeichnet werden

³ N.A.G. – nicht anderweitig genannt; eine Sammelbezeichnung, der solche Stoffe und Gemische zugeordnet werden können

⁴ ADR – Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse

⁵ µl per Liter = ppm_v

Anlage 5: Grenzwert für SF₄ im Gemisch nach CLP [2] für den Arbeitsschutz



REACH-CLP-Biozid Helpdesk, Postfach 17 02 02, D-44061 Dortmund

Per E-Mail

WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG
z. Hd. Herrn Dr. Kurte
44227 Dortmund

Sven Borghardt
ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.
10117 Berlin

eine Einrichtung der

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und
Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1 – 25
D - 44149 Dortmund
www.baua.de

Kontakt: Herr Dr. Seubert
Telefon: 0231 9071 2081
Fax: 0231 9071 2679

reach-clp-biozid@baua.bund.de
www.reach-clp-biozid-helpdesk.de

Dortmund, 24.08.2018
GZ: 5.0-720 34/04/2015.2495
5.0-720 34/04/2018.1699

Ihre Anfrage vom 30.09.2015

Sehr geehrter Herr Dr. Kurte,

Sie haben eine Anfrage zum Grenzwert für den Stoff Schwefeltetrafluorid (SF₄, CAS-Nr. 7783-60-0, EG-Nr. 232-013-4) in einem Gemisch im Hinblick auf die Einstufung gemäß CLP (Verordnung (EG) Nr. 1272/2008) gestellt. Zusammen mit Ihrer Anfrage haben Sie hierbei ein Sicherheitsdatenblatt (SDB) für ein Gemisch aus 98% Stickstoff und 2% Schwefeltetrafluorid übermittelt.

Nach Artikel 4 Absatz 1 der CLP-Verordnung müssen Hersteller, Importeure und nachgeschaltete Anwender Stoffe oder Gemische nach Titel II der CLP-Verordnung vor dem Inverkehrbringen einstufen. Diese eigenverantwortliche Einstufung durch die Inverkehrbringer nennt man auch Selbsteinstufung. Besteht bereits eine harmonisierte Einstufung nach Anhang VI der CLP-Verordnung, ist diese zu beachten. Die „harmonisierte Einstufung und Kennzeichnung für bestimmte gefährliche Stoffe“ ist in Anhang VI der CLP-Verordnung gelistet. Für den von Ihnen benannten Stoff Schwefeltetrafluorid gilt, dass dieser nicht harmonisiert gemäß CLP eingestuft ist.

In Bezug zu nicht harmonisiert eingestuftem Stoffen gilt, dass hier der Hersteller oder Importeur gemäß Artikel 4 Absatz 1 CLP-Verordnung eine Selbsteinstufung des Stoffes durchführen muss. Diese (Selbst-)Einstufung für den Stoff Schwefeltetrafluorid ist in Abschnitt 3 des von Ihnen übermittelten SDBs dargestellt. Dort heißt es:

Chemische Bezeichnung	Klassifizierung
Schwefeltetrafluorid	Compr. Gas Liquef. Gas; H280 Acute Tox 1; H330 STOT SE 3; H335 Skin Corr 1A; H314
Stickstoff	Compr. Gas; H280

Sofern Sie keine begründeten Zweifel an der Einstufung des Stoffes (bzw. des Gemisches) haben, ist zunächst davon auszugehen, dass die Angaben im SDB korrekt sind.

Gemäß CLP gilt hinsichtlich der Einstufung eines definierten Gemisches, welches einen oder mehrere als gefährlich eingestufte Bestandteile enthält, dass die in der Verordnung genannten allgemeinen und spezifischen Konzentrationsgrenzwerte, Multiplikationsfaktoren und allgemeine Berücksichtigungsgrenzwerte Anwendung finden. Darüber hinaus müssen ggf. additive Effekte anhand der im Anhang I der CLP-Verordnung beschriebenen Rechenmethoden berücksichtigt werden.

Im folgenden Beispiel zur akuten Toxizität wird gezeigt, wie anhand von Informationen zu den Inhaltsstoffen eines Gemisches die Einstufung mittels der Kriterien im Anhang I der CLP-Verordnung vorgenommen wird. Für die übrigen Gefahrenklassen muss bei der Selbsteinstufung analog vorgegangen werden.

Im Hinblick auf die im SDB angegebene Einstufung des Stoffes Schwefeltetrafluorid als Acute Tox. 1 (H330), müssen Sie zur Einstufung des Gemischs den sogenannten ATE-Wert (Schätzwert Akuter Toxizität) bestimmen. Dieser wird nach folgender Formel berechnet:

$$100/ATE_{\text{mix}} = \sum c_i/ATE_i$$

Im vorliegenden Sicherheitsdatenblatt, hat der Hersteller dies gemacht und den errechneten Wert finden Sie in Abschnitt 11.1. Der ATE für das Gemisch liegt bei 1000ppm und somit erfolgt für das Gemisch eine Einstufung als Acute Tox 3 H331 und eine Kennzeichnung mit dem Totenkopf-Piktogramm (GHS06). Die Einstufung und Kennzeichnung finden Sie in Abschnitt 2 des SDB.

Bei der Einstufung von Gemischen, welche die anderen von Ihnen genannten Stoffe enthalten, wird wie im oben angeführten Beispiel mit Schwefeltetrafluorid vorgegangen.

Weitere Informationen zur vorliegenden Thematik finden Sie unter anderem in den „Leitlinien zur Erstellung von Sicherheitsdatenblättern“ der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA):

<https://echa.europa.eu/de/guidance-documents/guidance-on-reach>

Für Fragen zum Transportrecht und der Transportkennzeichnung kontaktieren Sie bitte das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI.

Die Internetadresse lautet:

<https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Gueterverkehr-Logistik/Gefahrgut/gefahrgut.html>

Mit freundlichen Grüßen
Im Auftrag

Kristof Seubert

Diese Information ist eine Interpretation der Verordnungen (EG) Nr. 1907/2006 und / oder (EG) Nr. 1272/2008 und / oder (EU) Nr. 528/2012 durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Sie wurde mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und basiert auf fundierten Kenntnissen des Chemikalienrechts. Die Information stellt die nationale Auffassung dar, die sich nach Abstimmung auf europäischer Ebene ändern kann. Etwaige rechtliche Empfehlungen, Auskünfte und Hinweise sind unverbindlich, eine Rechtsberatung findet ausdrücklich nicht statt.

Haftungsansprüche materieller oder ideeller Art gegen die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der angebotenen Informationen bzw. durch die Nutzung fehlerhafter und unvollständiger Informationen verursacht werden, sind grundsätzlich ausgeschlossen, es sei denn, sie sind nachweislich auf vorsätzliches oder grob fahrlässiges Verschulden unseres Hauses zurück zu führen

Die Vervielfältigung, Veröffentlichung und Verbreitung des Textes, auch in elektronischer Form, bedürfen der ausdrücklichen Zustimmung des deutschen Helpdesks.



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