



Leitfaden

Umweltgerechte Außerbetriebnahme von SF₆-isolierten Betriebsmitteln

Inhalt

DISCLAIMER	5
1 EINFÜHRUNG	6
1.1 Motivation für die fachgerechte Entsorgung elektrischer Betriebsmittel	6
1.2 Durch diesen Leitfaden abgedeckte elektrische Betriebsmittel	6
1.3 Zuordnung der elektrischen Betriebsmittel	6
1.3.1 Gasisolierte Hochspannungs-Schaltanlage GIS	6
1.3.2 Gasgefüllter Hochspannungs-Leistungsschalter	6
1.3.3 Gasisolierte Hochspannungsleitungen GIL/GIB	7
1.3.4 Gasisolierter Hochspannungs-Messwandler	7
1.3.5 Gasisolierte Mittelspannungs-Primärschaltanlagen GIS	7
1.3.6 Gasisolierte Mittelspannungs-Sekundärschaltanlagen GIS	7
1.3.7 Luftisolierte Mittelspannungs-Sekundärschaltanlagen AIS mit SF ₆ - Lasttrennschaltern	8
1.3.8 Gasgefüllter Leistungsschalter für Mittelspannung	8
1.4 Allgemeine Definitionen	8
1.4.1 Transporteinheiten	8
1.4.2 Evakuierfähiges elektrisches Betriebsmittel	8
1.4.3 Nicht evakuierfähiges elektrisches Betriebsmittel	8
1.4.4 Eigentümer	8
1.4.5 Betreiber	9
1.4.6 Hersteller	9
1.4.7 Dienstleister	9
1.4.8 Entsorgungs- / Recyclingunternehmen	9
1.4.9 Transportunternehmen	9
1.4.10 Gashersteller	9
1.4.11 Gasaufbereiter	9
2 SICHERHEITASPEKTE	9
2.1 Umgang mit SF ₆	9
2.2 Grundlegende Arbeitsschutzmaßnahmen	10
3 VORBEREITUNG DER SCHALTANLAGE ZUR AUßERBETRIEBNAHME	10
3.1 Arbeitsumfang und Verantwortung	10
3.2 Erfassung der verfügbaren Daten der zugehörigen Schaltanlage	11
3.3 Zustand des elektrischen Betriebsmittels und des enthaltenen Gases	11
3.4 Wie müssen Betriebsmittel am Ende ihrer Nutzung (EoL) behandelt werden?	11
3.4.1 Gebrauchte elektrische Betriebsmittel mit SF ₆	11

3.4.2	Gebrauchte elektrische Betriebsmittel ohne SF ₆ (evakuiert)	12
3.4.3	Gebrauchtes SF ₆ -Gas	12
3.5	Vorbereitung der Dokumentation der Transporteinheiten	13
3.6	Anforderungen an das Personal / erforderliche Ausrüstung für die Außerbetriebnahme	13
3.7	Vorbereitung des Lager- und Versandbereichs	13
4	VERFAHREN ZUR UMWELTGERECHTEN RÜCKGEWINNUNG VON SF₆	14
4.1	Wo soll das SF ₆ aus dem elektrischen Betriebsmittel zurückgewonnen werden?	14
4.1.1	Gasentnahme am Aufstellort	14
4.1.2	Gasentnahme vor Ort, in der Nähe der ursprünglichen Installation	14
4.1.3	Externe, zentrale Gasrückgewinnung	15
4.2	Verfahren zur Gasrückentnahme	15
4.2.1	Allgemeines	15
4.2.2	Möglichkeiten der Gasentnahme	16
4.2.3	Beurteilung der Toxizität	17
4.2.4	Ausrüstung zur Gasrückgewinnung	19
4.2.5	Gasbehälter	20
4.2.6	Rückgewinnung von SF ₆ aus evakuierfähigen elektrischen Betriebsmitteln	20
4.2.7	Rückgewinnung von SF ₆ aus nicht evakuierfähigen elektrischen Betriebsmitteln	21
5	ERFASSUNG UND REPORTING	23
5.1	Erfassung der Menge an zurückgewonnenem SF ₆	23
5.2	Ermittlung der emittierten SF ₆ Menge nach Rückgewinnung	23
6	ERGÄNZENDE DOKUMENTE	25
6.1	Internationale Standards	25
6.1.1	IEC 62271-4	25
6.1.2	IEC 60480	25
6.1.3	IEC 60376	25
6.2	Weiterführende nationale Informationen	25
6.2.1	ZVEI Leitfaden	25
6.2.2	DGUV Information 213-013 - SF ₆ -Anlagen und -Betriebsmittel	25
7	ENTSORGUNGSASPEKTE	25
8	CHECKLISTEN	26
8.1	Welches elektrische Betriebsmittel liegt vor	26
8.2	Durchführende Parteien	26
8.3	Erfassung der verfügbaren Daten des elektrischen Betriebsmittels	27
8.4	Zustand des elektrischen Betriebsmittels und des enthaltenen Gases	27
8.5	Ort der Entnahme des SF ₆	28

8.6 Methode der Entnahme des SF ₆	28
8.7 Verbleib des entnommenen SF ₆	28
8.8 Arbeitsumfang und Verantwortung	29

Disclaimer

Der vorliegende Leitfaden stellt eine Empfehlung zur Vorgehensweise dar, basierend auf Kenntnissen und Erfahrungen von Experten von Mitgliedsunternehmen und hinzugezogenen externen Experten. Er erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit. Die Prüfung jedes Einzelfalls ist eigenverantwortlich durchzuführen und insbesondere Maßnahmen zur Sicherung von Menschen, Natur und Materialien sind eigenverantwortlich umzusetzen. In jedem Fall sind die jeweils aktuell gültigen Vorschriften zu beachten und zu befolgen. Eine Haftung des ZVEI bei Eintritt von Schäden trotz Einhaltung des Leitfadens ist generell ausgeschlossen.

1 Einführung

1.1 Motivation für die fachgerechte Entsorgung elektrischer Betriebsmittel

Die fachgerechte Entsorgung elektrischer Betriebsmittel stellt einen wichtigen Beitrag zum Schutz unserer Umwelt und zur Schonung von Ressourcen dar. Insbesondere der verantwortungsvolle Umgang mit dem Isolier- und Schaltgas Schwefelhexafluorid (SF_6) erfordert spezielle Sorgfalt und Schulung. Aufgrund der Komplexität der fachgerechten Entnahme von SF_6 und der Vielzahl betroffener Betriebsmittel, hat der ZVEI diesen Leitfaden entwickelt, um dem Betreiber elektrischer Betriebsmittel und Anlagen, sowie ausführenden Dienstleistern nützliche allgemeine Hinweise für die Planung und Ausführung der notwendigen Arbeiten zur umweltgerechten Außerbetriebnahme von SF_6 isolierten Betriebsmitteln zu geben. Die konkrete Außerbetriebnahme kann im Einzelfall jedoch weitergehende Maßnahmen zur Sicherung von Menschen, Natur und Materialien erforderlich machen. Die Notwendigkeit der Sicherungsmaßnahmen ist von dem Betreiber elektrischer Betriebsmittel und Anlagen, sowie ausführenden Dienstleistern vor der Durchführung der Außerbetriebnahme eigenverantwortlich zu prüfen. Bei der Umsetzung etwaiger Sicherungsmaßnahmen sind ggf. entsprechende Schutzvorschriften zu beachten.

1.2 Durch diesen Leitfaden abgedeckte elektrische Betriebsmittel

Dieser Leitfaden beschreibt durch allgemeine Hinweise den Umgang mit SF_6 -haltigen elektrischen Betriebsmitteln an deren Lebensende, in Bezug auf das Isolier- und Schaltgas SF_6 , in Umspannwerken, industriellen Anwendungen und allen anderen relevanten Anwendungen, die SF_6 zur elektrischen Isolierung und/oder Lichtbogenlöschung verwenden.

Die elektrischen Betriebsmittel in Übertragungs- und Verteilnetzen umfassen ein breites Spektrum an Anwendungen und Produkten, die sich deutlich unterscheiden. Grundsätzlich gibt es die folgenden unterschiedlichen Geräte-/Anlagentypen:

Hochspannung (>52 kV)

- Gasisolierte Schaltanlage GIS
- SF_6 -Leistungsschalter (dead-tank oder life-tank)
- Gasisolierter Messwandler
- Gasisolierte Übertragungsleitungen GIL/GIB
- Gasisolierte Sammelschienen (Generatorschienen)

Mittelspannung (>1 kV...52 kV)

- Primärschaltanlage GIS
- Sekundärschaltanlage GIS, Ringkabelfelder RMU
- SF_6 -Leistungsschalter
- SF_6 -Lasttrennschalter
- Gasisolierte Stromschienen

1.3 Zuordnung der elektrischen Betriebsmittel

1.3.1 Gasisolierte Hochspannungs-Schaltanlage GIS

Diese Art von elektrischen Betriebsmitteln wird bei der Neuerrichtung aufgrund der Gesamtgröße in der Regel vor Ort zu kompletten Schaltfeldern und Schaltanlagen montiert. Die Gasräume werden dabei gasdicht verbunden, evakuiert und vor Ort mit SF_6 gefüllt. Als Konsequenz muss das SF_6 -Gas am Ende der Lebensdauer wieder vor Ort entnommen werden.

Die Konstruktion kann im Normalfall bei Umgebungsbedingungen auf Restdrücke <5 mbar evakuiert werden.

1.3.2 Gasgefüllter Hochspannungs-Leistungsschalter

In luftisolierten Hochspannungs-Freiluft Stationen (AIS: Air insulated switchgear) werden gasgefüllte Leistungsschalter eingesetzt. Der Transport im gasgefüllten Zustand ist bis zu

bestimmten Spannungspegeln möglich. Bei Hochspannungen über 52 kV ist der Fülldruck typischerweise über den einschränkenden Werten für den Straßentransport, so dass zuvor zumindest eine teilweise Gasentnahme vor Ort erforderlich ist.

Die Konstruktion kann im Normalfall bei Umgebungsbedingungen auf Restdrücke <5 mbar evakuiert werden.

1.3.3 Gasisolierte Hochspannungsleitungen GIL/GIB

Diese Art von elektrischen Betriebsmitteln GIL/GIB (gas-insulated line / gas-insulated busduct) wird für den Anschluss und die Verbindung von elektrischen Betriebsmitteln wie GIS, Freileitungen, Transformatoren und Kabeln verwendet. Die Gasräume werden vor Ort gasdicht verbunden, evakuiert und mit SF₆ gefüllt. Als Konsequenz muss das Gas am Ende der Lebensdauer vor Ort entnommen werden.

Die Konstruktion kann im Normalfall bei Umgebungsbedingungen auf Restdrücke <5 mbar evakuiert werden.

1.3.4 Gasisolierter Hochspannungs-Messwandler

In Hochspannungs-Freiluft Stationen (AIS) werden neben den Leistungsschaltern auch gasisolierte Messwandler eingesetzt. Der Transport im gasgefüllten Zustand ist bis zu bestimmten Spannungspegeln möglich. Bei Hochspannungen über 52 kV ist der Fülldruck typischerweise über den einschränkenden Werten für den Straßentransport, so dass zuvor zumindest eine teilweise Gasrückentnahme vor Ort erforderlich ist.

Die Konstruktion kann im Normalfall bei Umgebungsbedingungen auf Restdrücke <5 mbar evakuiert werden.

1.3.5 Gasisolierte Mittelspannungs-Primärschaltanlagen GIS

1.3.5.1 Vor Ort gefüllte Anlagen

Einige Ausführungen von Primär-Schaltanlagen verwenden zwar ein Schaltfeld-basiertes Design, aber das Sammelschienensystem wird erst vor Ort gasdicht verbunden und gefüllt. Zur Trennung der Felder muss zumindest das Gas des gasgefüllten Sammelschienensystems oder die komplette Gasfüllung der kompletten Schaltanlage entnommen werden, so dass ein Transport im gasgefüllten Zustand nicht oder nur teilweise möglich ist.

Im Normalfall ist die Konstruktion in der Lage, bei Umgebungsbedingungen auf Restdrücke <5 mbar evakuiert zu werden.

Es gibt ein paar sehr alte Ausführungen, die nicht evakuiert werden können. Um Schäden zu vermeiden, ist daher die konkrete Beschaffenheit der Anlage eigenverantwortlich zu prüfen.

1.3.5.2 Werksgefüllte Ausführung

Werksgefüllte Primär-Schaltanlagen werden inklusive Isoliergas auf die Baustelle geliefert. Bei der Installation der Schaltanlage sind vor Ort keine Gasarbeiten erforderlich. Diese elektrischen Betriebsmittel können daher ohne Gasarbeiten vor Ort demontiert und transportiert werden. Der Fülldruck liegt typischerweise unter den für den Straßentransport zulässigen Werten.

Die Ausführung kann je nach Hersteller und Ausführung im Normalfall bei Umgebungsbedingungen auf Restdrücke <5 mbar evakuiert werden.

1.3.6 Gasisolierte Mittelspannungs-Sekundärschaltanlagen GIS

Dieser oft als Ring-Main-Unit (RMU) bzw. Ringkabelfeld bezeichnete Schaltanlagentyp ist in Städten und ländlichen Gebieten sehr verbreitet und wird oft in kompakten Unterstationen, oft auch als Ortnetzstation (ONS) bezeichnet, eingesetzt. Es verwendet hauptsächlich ein Blockdesign, bei dem die Mehrheit (80-90%) aus drei Funktionseinheiten besteht (Kabeleingang, Transformator, Kabelausgang). Es sind aber auch größere Blöcke mit bis zu sechs Funktionseinheiten bekannt. Die Funktionseinheiten teilen sich einen gemeinsamen Gasraum und sind werkseitig mit SF₆ gefüllt. Sie werden als ein Block transportiert. Der Fülldruck liegt typischerweise unter den für den Straßentransport zulässigen Werten. Es gibt auch Konstruktionen, bei denen zwei oder mehrere Blöcke mit fest isolierten Anschlüssen elektrisch miteinander verbunden sind. Zur Trennung dieser Blöcke sind keine Gasarbeiten erforderlich.

Normalerweise ist die Konstruktion nicht in der Lage vor Ort, unter Umgebungsbedingungen auf Restdrücke <5 mbar evakuiert zu werden, ohne die Anlagen zu beschädigen. Sie sind nicht evakuierfähig.

1.3.7 Luftisolierte Mittelspannungs-Sekundärschaltanlagen AIS mit SF₆-Lasttrennschaltern

Auch dieser Schaltanlagentyp wird als Ring-Main-Unit (RMU) bezeichnet und kann in Städten und ländlichen Gebieten verteilt installiert werden. Auch wenn es sich um eine luftisolierte Schaltanlage handelt, kann ein gasgefülltes Schaltelement enthalten sein, d.h. ein Lasttrennschalter oder ein Leistungsschalter in einem gasgefüllten Raum von typischerweise weniger als 50 Liter Volumen. Diese Schaltgeräte sind werkseitig gefüllt. Der Fülldruck liegt typischerweise unter den für den Straßentransport zulässigen Werten.

Im Normalfall ist die Konstruktion in der Lage, bei Umgebungsbedingungen auf Restdrücke <5 mbar evakuiert zu werden.

1.3.8 Gasgefüllter Leistungsschalter für Mittelspannung

In einigen luftisolierten Primärschaltanlagen, aber auch als separater Leistungsschalter im Innen- und Außenbereich, sind SF₆-gefüllte Leistungsschalter im Einsatz, die werkseitig mit SF₆ gefüllt sind. Der Fülldruck könnte über den Grenzwerten für den Straßentransport liegen. Die Konstruktion ist in der Lage, bei Umgebungsbedingungen auf <5 mbar evakuiert zu werden.

1.4 Allgemeine Definitionen

1.4.1 Transporteinheiten

Als Transporteinheiten werden in diesem Leitfadens SF₆-gefüllte Anlagenteile bezeichnet, die ohne vorherige SF₆-Gasarbeiten transportiert werden können. Der Zweck des Transports ist die Entnahme des SF₆ an einem anderen Ort als dem ursprünglichen Aufstellort. Transporteinheiten sind je nach Art des Betriebsmittels z.B. komplette Ringkabelfelder (RMU) als z.B. Block aus 3 Funktionseinheiten oder einzelne Schaltfelder die gasfrei verbunden werden oder separate Schaltgeräte oder Messwandler.

1.4.2 Evakuierfähiges elektrisches Betriebsmittel

Ein evakuierfähiges elektrisches Betriebsmittel ist ein Betriebsmittel, aus dem unter normalen Umgebungsbedingungen (Umgebungsdruck bis 1100 mbar) bauartbedingt das enthaltene Gas ohne Beschädigung des Gehäuses oder der Einbauten bis auf Restdrücke <5 mbar entnommen werden kann.

1.4.3 Nicht evakuierfähiges elektrisches Betriebsmittel

Elektrische Betriebsmittel, für die unter normalen Umgebungsbedingungen (Umgebungsdruck bis 1100 mbar) bauartbedingt ein Restdruck <5 mbar nicht ohne Beschädigung des Gehäuses oder der Einbauten erreicht werden kann.

Ebenfalls nicht evakuierfähige elektrische Betriebsmittel sind bekannt fehlerhafte elektrische Betriebsmittel, bei denen durch Defekte oder Leckagen bei Drücken unterhalb des Umgebungsdrucks mit dem Eindringen von Luft während der Gasentnahme zu rechnen ist.

1.4.4 Eigentümer

Eine Person oder ein Unternehmen, vertreten durch eine Person, die Eigentümer der elektrischen Betriebsmittel und/oder des Betriebsstandorts ist.

1.4.5 Betreiber

Eine Person oder ein Unternehmen, vertreten durch eine Person, die die elektrischen Betriebsmittel verwendet und betreibt.

1.4.6 Hersteller

Das Unternehmen, das die elektrischen Betriebsmittel ursprünglich hergestellt hat.

1.4.7 Dienstleister

Eine Person oder ein Unternehmen, vertreten durch eine Person, die eine der mit der in diesem Leitfaden beschriebenen Aufgabe verbundenen Dienstleistungen anbietet und ausführt.

1.4.8 Entsorgungs- / Recyclingunternehmen

Ein Unternehmen, das auf das Recycling von elektrischen Betriebsmitteln spezialisiert ist, die von diesem Leitfaden abgedeckt werden.

1.4.9 Transportunternehmen

Ein Unternehmen, das den Transport von SF₆-gefüllten oder nicht SF₆-gefüllten elektrischen Betriebsmitteln oder Gasbehältern oder Gasflaschen, die mit gebrauchtem SF₆ in toxischem oder nicht toxischem Zustand gefüllt sind, anbietet und durchführt.

1.4.10 Gashersteller

Unternehmen, das SF₆-Gas herstellt und im Zuge des geschlossenen Kreislaufs gebrauchtes SF₆ zurücknimmt und dem Produktionsprozess erneut zuführt, so dass daraus SF₆ entsprechend IEC 60376 (siehe 6.1.3) gewonnen wird.

1.4.11 Gasaufbereiter

Unternehmen, das SF₆-Gas im Zuge des geschlossenen Kreislaufs gebrauchtes SF₆ zurücknimmt und dieses filtert und aufbereitet, so dass es mindestens die Anforderungen nach IEC 60480 (siehe 6.1.2) erfüllt und erneut in elektrischen Betriebsmitteln verwendet werden kann.

2 Sicherheitsaspekte

2.1 Umgang mit SF₆

SF₆ ist ein Wertstoff und sollte generell wiederverwendet oder recycelt werden!

Die Handhabung von SF₆ darf basierend auf der F-Gase Verordnung nur durch zertifizierte Personen erfolgen (siehe hierzu auch 3.6).

Neues SF₆ ist ein ungiftiges, inertes Gas von hoher dielektrischer Stabilität. Aufgrund seines hohen Treibhauseffekts mit einem GWP₁₀₀ Wert von 24.300 (IPCC AR6) ist bei Arbeiten mit dem Gas wie beim Füllen, Entleeren oder Evakuieren von SF₆-Gasräumen, darauf zu achten, dass mit allen technischen Möglichkeiten vermieden wird, dass das SF₆-Gas oder Zersetzungsprodukte in die Umwelt emittiert werden. Die entsprechenden Wartungsgeräte (siehe 4.2.2) können hierfür benutzt werden.

Unter dem Gesichtspunkt des Arbeitsschutzes ist zu beachten, dass zum einen durch austretendes SF₆-Gas die Sauerstoffkonzentration in geschlossenen Räumen so weit sinken kann, dass Lebensgefahr droht (SF₆ hat die 6-fache Dichte von Luft). Zum anderen kann das gebrauchte SF₆-Gas Zersetzungsprodukte enthalten, die gesundheitsschädlich wirken können. Beim Umgang mit großen Mengen SF₆-Gas ist deshalb unter anderem für eine ausreichende Belüftung zu sorgen.

Die Gefahr besteht nicht nur in geschlossenen Räumen, in denen sich unmittelbar das Betriebsmittel befindet, sondern bei Vorhandensein entsprechender Öffnungen auch in darunter liegenden Räumen, z.B. Kabelkellern oder Kabelgräben.

Zersetzungsprodukte können entstehen, wenn dem SF₆-Molekül Energie zugeführt wird, zum Beispiel durch die Zufuhr von Lichtbogen-Energie oder durch hohe Temperaturen. Dabei spaltet sich das SF₆-Molekül auf und kann zusammen mit anderen vorhandenen Reaktionspartnern (wie z.B. O₂, N₂, H₂O oder festen Stoffen) giftige oder ätzende Verbindungen bilden. Daher sollte bei dem Umgang mit SF₆-Gas, das aus solchen elektrischen Betriebsmitteln entnommen wird, sowie für die elektrischen Betriebsmittel, aus denen das SF₆-Gas stammt, vor den geplanten Arbeiten eine entsprechende individuelle Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden.

Gasräume von elektrischen Geräten, in denen sich SF₆-Gas befand, dürfen erst geöffnet werden, wenn sie vollständig (mit einem Servicegerät) entleert wurden, d.h. wenn zuvor mindestens auf <5 mbar abgesaugt und der Druckausgleich mit der Atmosphäre (Luft) hergestellt wurde.

Die Servicegeräte dürfen erst angeschlossen werden, wenn die individuelle Gefährdungsbeurteilung durchgeführt und das Gas analysiert wurde oder die Historie des Gases bzw. der Anlage bekannt sind (z.B. Schaltversager oder sehr viele Kurzschlussabschaltungen).

Der Reinheitsgrad des SF₆-Gases kann aufgrund folgender Punkte beeinträchtigt werden:

- Zersetzungsprodukte
- Eindringen von Feuchtigkeit durch Permeation
- Eindringen von Umgebungsluft durch Permeation
- Handlingsfehler

Zum Absaugen losen Staubes können Industriestaubsauger verwendet werden, die der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV Information 213-013 entsprechend mindestens Staubrückhalteklasse H (hoch) haben sollten. Des Weiteren gelten die Regelungen der Gefahrstoffverordnung und entsprechenden technischen Regeln Gefahrstoffe (TRGS).

2.2 Grundlegende Arbeitsschutzmaßnahmen

Für Arbeiten an elektrischen Betriebsmitteln die SF₆ oder SF₆-Zersetzungsprodukte enthalten und daher neutralisiert werden müssen, sind für die konkrete Durchführung Informationen zum Arbeits- und Gesundheitsschutz zu beachten. Die Berufsgenossenschaft hat hierzu in der DGUV Information 213-013 - SF₆-Anlagen und -Betriebsmittel (bisher: BGI 753) Angaben zur persönlichen Schutzausrüstung veröffentlicht.

Hinweise und Empfehlungen zu Gefährdungspotenzialen, Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln für den Umgang mit SF₆-Zersetzungsprodukten sowie die Neutralisierung der SF₆-Zersetzungsprodukte zum Schutze der Mitarbeiter werden insbesondere in der Betriebssicherheitsverordnung, Gefahrstoffverordnung und den nachgeordneten Regelwerken festgelegt.

Die nachgeordneten DGUV-Informationen haben das Ziel der Vermeidung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren. Bei den hier vorgestellten Tätigkeiten sollten speziell die Maßgaben der DGUV Information 213-013 - SF₆-Anlagen und -Betriebsmittel beachtet und durchgeführt werden.

Hinweise zum Umgang SF₆-Gas und SF₆-befüllten Betriebsmitteln sind im ZVEI-Leitfaden (6.2.1) und in IEC 62271-4 zu finden.

3 Vorbereitung der Schaltanlage zur Außerbetriebnahme

3.1 Arbeitsumfang und Verantwortung

Die Außerbetriebnahme der elektrischen Betriebsmittel besteht aus einer Vielzahl von Schritten, bei denen festgelegt werden muss, wer welche Aufgabe übernehmen soll. Die Aufteilung der Arbeiten auf mehrere Parteien wird in den meisten Fällen notwendig sein. In der Checkliste in Abschnitt 8.2 wird jeder Partei ein Kürzel zugeordnet, welches in späteren Schritten die Zuordnung zu den unterschiedlichen Tätigkeiten erlaubt.

Die Stilllegung im Rahmen dieses Leitfadens konzentriert sich auf die Rückgewinnung des Isoliergases. Je nach Konstruktion kann und wird dies an den vollständig montierten elektrischen Betriebsmitteln erfolgen, es kann jedoch auch erforderlich sein, die Betriebsmittel teilweise zu demontieren, um gasgefüllte Gehäuse oder Anlagenteile zur SF₆-Rückgewinnung an andere Orte

zu transportieren. Die konkreten Begebenheiten sind vor der Durchführung der Außerbetriebnahme eigenverantwortlich zu prüfen.

Als erster Schritt ist es wichtig zu wissen, welche Art von elektrischen Betriebsmitteln gehandhabt wird. Hierzu sind die nach Abschnitt 1.3 verwendeten Definitionen zu verwenden und die Betriebsmittel in einer Checkliste (siehe Abschnitt 8.1) zu erfassen. Soweit zutreffend ist die entsprechende Anzahl zu vermerken. Je nach Gestaltung der Gesamtinstallation, sind Mehrfachnennungen möglich.

Nicht in der Liste aufgeführte Betriebsmittel können handschriftlich hinzugefügt werden.

Die Stilllegung kann in einzelne Arbeitspakete unterteilt werden, wobei die Reihenfolge davon abhängig ist, wo diese Tätigkeit durchgeführt wird und wie die Anlagenkonstruktion und die Präferenzen des Eigentümers aussehen. Die Zuständigkeiten werden in der Checkliste nach 8.8 den beteiligten Parteien zugeordnet. Wenn mehrere Parteien einen Arbeitsschritt gemeinsam durchführen, so sind alle daran beteiligten Parteien aufzuführen. Arbeitsschritte, die bedingt durch die vorliegenden elektrischen Betriebsmittel entfallen, sind zu kennzeichnen. In der Liste kann die Ausführung nach Abschluss der Arbeit mit Datum und Kurzzeichen quittiert werden.

3.2 Erfassung der verfügbaren Daten der zugehörigen Schaltanlage

Für die Erstellung eines Überblicks über mögliche Methoden zur Behandlung der Schaltanlage am Lebensende und die Auswahl der besten Methode müssen nach Möglichkeit einige Daten der Schaltanlage zur Verfügung gestellt werden.

Dies sind allgemeine Daten zu Hersteller, Typ und Baujahr, aber auch spezieller Angaben zur Möglichkeit der Gasentnahme. Die Informationen werden in der Checkliste in Abschnitt 0 festgehalten.

3.3 Zustand des elektrischen Betriebsmittels und des enthaltenen Gases

Wichtige Hinweise für die auszuführenden Arbeiten ergeben sich aus der konkreten und individuellen Zustandsbeurteilung des elektrischen Betriebsmittels, welche eigenverantwortlich vorzunehmen ist. Insbesondere Schäden oder ungewöhnliches Betriebsverhalten sind wichtige Indikatoren für die Arbeitsvorbereitung und Ausführung. Einen Überblick erhält man durch Nutzung der Checkliste in Abschnitt 8.4. Es ist wichtig zu vermerken, dass gewisse Zustände ggf. auf einzelne Bereiche begrenzt sind und daraus folgende besondere Maßnahmen nur auf die betroffenen Bereiche begrenzt sind. Dies ist gesondert zu vermerken.

3.4 Wie müssen Betriebsmittel am Ende ihrer Nutzung (EoL) behandelt werden?

Es gibt folgende Anwendungsfälle von SF₆-Betriebsmittel am Ende ihrer Nutzung (End of Life):

3.4.1 Gebrauchte elektrische Betriebsmittel mit SF₆

Wurde ein elektrisches Betriebsmittel aufgrund des Erreichens seines Lebenszyklusendes oder aber bedingt durch einen Störfall außer Betrieb genommen und wird nicht mehr als solches verwendet oder gebraucht, ist in diesem Fall gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) §3 Abs. 1 bis 3 die Definition als Abfall gegeben. „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])“¹. In diesem Fall ist das elektrische Betriebsmittel, unter Beachtung aller gesetzlichen Grenzwerte (z.B. <250 ppm_v SO₂), einer fachgerechten Verwertung zuzuführen und alle zutreffenden Verordnungen

¹ Vgl.: ZVEI: Hinweise zu Verwendung, Transport und Entsorgung von SF₆ und SF₆-befüllten Betriebsmitteln aus der elektrischen Energieversorgung; S.9

sollten berücksichtigt werden. Unter diesen Voraussetzungen ist zu beachten, dass zwei Bestandteile verwertet werden müssen. Dies sind zum einen die Bauteile des Betriebsmittels und zum anderen der SF₆-Anteil. Dies führt zu höheren Ansprüchen an das jeweilige Entsorgungsunternehmen. (SF₆ Sachkundenachweis für die Bearbeitung und das Handling der Betriebsmittel, SF₆ Verbleibnachweis nach erfolgter Evakuierung)

3.4.2 Gebrauchte elektrische Betriebsmittel ohne SF₆ (evakuiert)

Ist das Betriebsmittel durch den Betreiber evakuiert worden oder ist bedingt durch eine Havarie die SF₆ Gasfüllung nicht mehr im Gerät enthalten und es besteht gleichzeitig der Entledigungswille des Eigentümers gelten die Grundsätze des Kreislaufwirtschaftsgesetzes. Allerdings ist die abfallrechtliche Komponente des SF₆ Gases nicht mehr vorhanden und kann vernachlässigt werden. In diesem Fall sind die Bauteile des Betriebsmittels sowie die ggfs. entstandenen Umstände des Havariefalls ausschlaggebend für eine fachgerechte Verwertung.

3.4.3 Gebrauchtes SF₆-Gas

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 gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) zulässig, wobei die Wiederverwendung nach § 3 Abs. 21 KrWG eine Form der Abfallvermeidung nach § 3 Abs. 20 KrWG ist.

3.4.3.1 Gebrauchtes SF₆-Gas als Abfall

Die Entscheidung, ob gebrauchtes SF₆-Gas Abfall ist, liegt bei seinem Eigentümer, 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). Weiterhin gilt in diesem Fall, dass das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) zwischen „nicht gefährlichem Abfall“ und „gefährlichem Abfall“ unterscheidet.

Wenn Abfall vorliegt, muss der Abfallerzeuger – in der Regel der Betreiber der SF₆-befüllten Betriebsmittel, aus denen das SF₆-Gas stammt – Nachweispflichten gemäß der Nachweisverordnung wahrnehmen. Das Gas kann nur von einem zugelassenen Entsorgungsunternehmen angenommen werden. Entsprechend KrWG kann dann eine weitere Nutzung des Gases durch z.B. Aufreinigung erfolgen.

Kontaminiertes SF₆-Gas, das aufgrund seiner Zusammensetzung nicht durch Aufreinigung oder durch Zugabe im SF₆ Produktkreislauf wiederverwendet werden kann, wird nach erfolgter Analyse und Einstufung als Abfall deklariert und der endgültigen Beseitigung zugeführt. Die Erfüllung des Nachweisverfahrens gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz obliegt dann dem zurücknehmenden Entsorgungsunternehmen.

3.4.3.2 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 Eigentümer 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 3.4.3.1). Dieser als Reuse-Verfahren bekannte Prozess wird seit vielen Jahren auch in Deutschland durchgeführt. Des Weiteren hat der Eigentümer die Möglichkeit, sein gebrauchtes SF₆-Gas selbst zur Wiederverwendung aufzubereiten. Voraussetzung dafür ist, dass er über entsprechende Ausrüstungen, Kenntnisse und Ressourcen verfügt.

3.5 Vorbereitung der Dokumentation der Transporteinheiten

Unabhängig davon, wer die Aufgaben ausführt, sollte die folgende Dokumentation gesammelt und den Mitarbeitern zur Verfügung gestellt werden, um die Aufgaben ausführen zu können.

Die folgende Dokumentation ist erforderlich oder kann hilfreich sein:

- Installationsanleitung des elektrischen Betriebsmittels
- Informationen über die Gasmenge und -druck pro Gasraum
- Verbaute Ventile und notwendige Fülladapter (Beschreibung für Bestellung der Hardware)
- Gewicht und Abmessung der schwersten und größten Transporteinheit
- Informationen, ob diese durch Türen, Aufzüge oder ähnliches passt
- Grundlastpläne
- Bestätigung, dass die elektrischen Betriebsmittel stromlos sind und jegliche mechanische Energie entspannt wurde

Zur Vorbereitung des Transports wird zusätzlich Folgendes benötigt:

- Transportdokumente für gasgefüllte oder leere Schaltfelder / Blöcke oder Module
- Transportdokumente für zurückgewonnenes Gas in Tanks oder Flaschen

3.6 Anforderungen an das Personal / erforderliche Ausrüstung für die Außerbetriebnahme

Personal, das an elektrischen Betriebsmitteln arbeitet, muss für die jeweilige Aufgabe geschult sein. Beim Umgang mit SF₆ ist gemäß der EU F-Gase-Verordnung zusätzlich zur Schulung eine Zertifizierung erforderlich, einschließlich einer Schulung für die verwendeten Geräte für das Gashandling.

Für die Durchführung der Aufgabe sollten die folgenden Geräte und Ausrüstung zur Verfügung stehen:

- Gabelstapler oder andere geeignete Transportmittel für den Transport von Schaltfeldern, Blöcken oder Modulen
- Kran zum Anheben der Schaltfelder, falls erforderlich
- Gasrückgewinnungseinheit
- Adapter zum Anschluss der Rückgewinnungseinheit an das Füllventil der Betriebsmittels / Transporteinheit
- Wenn kein Füllventil vorhanden ist, gasdichtes Bohrsystem mit Anschluss für Gasrückgewinnungsventil
- Gasspeicher oder Flaschen mit dem erforderlichen Volumen und Material
- Alle Werkzeuge, die zum Zerlegen oder Demontieren der Schaltfelder, Blöcke oder Module erforderlich sind
- Erforderliche persönliche Schutzausrüstung bei Undichtigkeiten aufgrund von Schäden oder Ausfällen während der Handhabung und / oder Demontage

3.7 Vorbereitung des Lager- und Versandbereichs

Nachdem die Schaltfelder, Blöcke oder Module demontiert wurden, können diese entweder direkt auf einen geeigneten LKW zum Abtransport verladen oder zunächst außerhalb des Standorts zwischengelagert werden. Wenn das Gas vor Ort zurückgewonnen wird, wird es separat transportiert. Es müssen ausreichende Bereiche für die Lagerung von Ausrüstung, das Laden auf Lastwagen und den Transport vorhanden und vorbereitet sein. Wenn der Boden für das Gewicht der Ausrüstung keine ausreichende Standfestigkeit besitzt, müssen individuelle geeignete Maßnahmen getroffen werden, um einen sicheren Transport und eine sichere Verladung zu ermöglichen.

4 Verfahren zur umweltgerechten Rückgewinnung von SF₆

4.1 Wo soll das SF₆ aus dem elektrischen Betriebsmittel zurückgewonnen werden?

Nachfolgend finden sich einige allgemeine Hinweise zu dem Ort der Rückgewinnung des SF₆ aus dem elektrischen Betriebsmittel. Je nach Art und Ausführung des elektrischen Betriebsmittels sind nicht alle der folgenden Optionen möglich. Außerdem hängt es davon ab, welche Leistung von Dienstleistern angeboten werden kann.

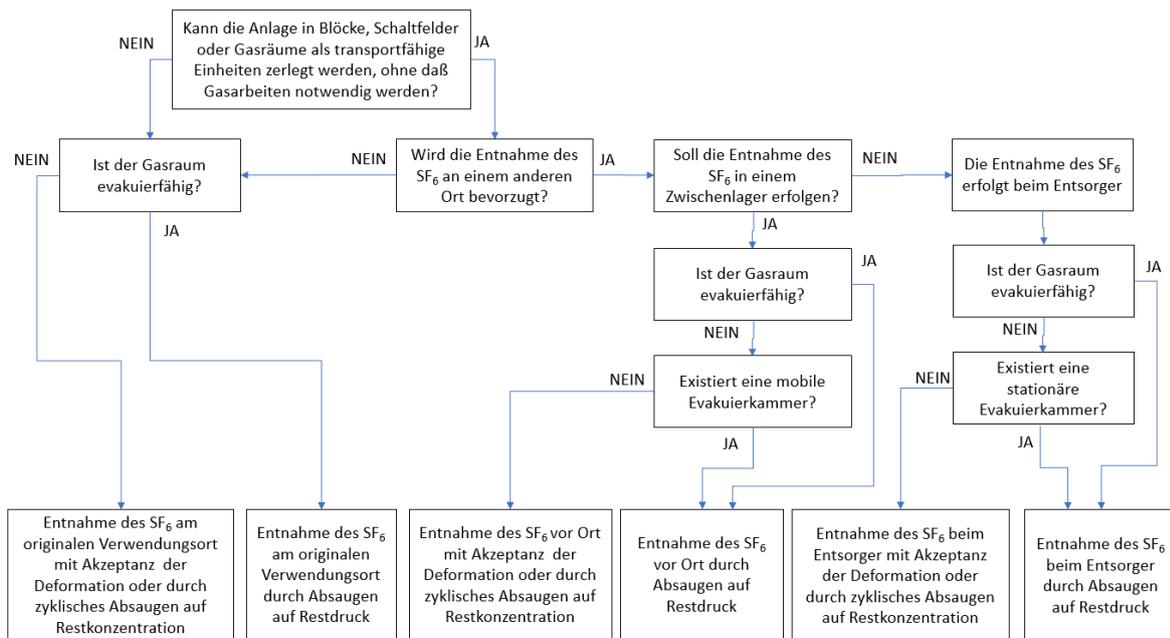


Abbildung 1: Entscheidungshilfendiagramm für die Rückgewinnung von SF₆

Im Folgenden werden einige Lösungen für entsprechende elektrische Betriebsmittel beispielhaft beschrieben, die den Stand der Technik wiedergeben.

4.1.1 Gasentnahme am Aufstellort

Dies ist der Ort, an dem das elektrische Betriebsmittel in Betrieb gewesen ist. Falls die elektrischen Betriebsmittel nicht ohne Gasarbeiten in transportable Einheiten zerlegt werden können, gibt es keine andere Möglichkeit als die Rückgewinnung des Gases vor Ort vor der Demontage. Dies gilt insbesondere für Hochspannungsgeräte, die zudem in der Regel eine große Menge SF₆ enthalten. Auch gasisolierte Leitungen (GIL/GIB) oder Anschlüsse an Transformatoren gehören normalerweise zu dieser Gruppe.

4.1.2 Gasentnahme vor Ort, in der Nähe der ursprünglichen Installation

Wenn Blöcke, Schaltfelder oder Module ohne Gasarbeiten transportiert werden können, kann die Gasentnahme gemäß 4.1.1 für einige Designs durchgeführt werden. Es gibt jedoch verschiedene Gründe, die Gasentnahme getrennt von der ursprünglichen Installation vorzunehmen. Zum einen können die Geräte nicht evakuiert werden, was bei den meisten MS-Sekundärschaltanlagen der Fall ist, zum anderen erleichtern spezielle Anlagen zur Rückgewinnung des Gases den Betrieb und reduzieren mögliche Gasleckagen bei der Gasbehandlung. Zum Beispiel, indem sie die RMU in eine Evakuierungskammer stellen, die zusammen mit der RMU evakuiert wird. In dieser Kammer wird die Rückgewinnung des Gases bis auf <5 mbar im Normalfall möglich sein.

4.1.3 Externe, zentrale Gasrückgewinnung

Diese Option gilt nur für Geräte, die in Blöcke, Schalfelder oder Module zerlegt und die ohne Gasarbeiten vor Ort transportiert werden können. Dies ist bei den meisten MS-Schaltanlagen der Fall, da sie werkseitig gefüllt geliefert werden und keine Gasarbeiten vor Ort anfallen. Auch kleine, transportable Einheiten wie z. B. Mittelspannungsschalter werden im Normalfall zentral gesammelt und dann dem Recycling zugeführt, einschließlich des Gases.

In diesem Fall werden die elektrischen Betriebsmittel zu einem Dienstleister transportiert, der das Gas zentral in einer festen Installation zurückgewinnt. Je nach Ausführung der gasgefüllten Räume des elektrischen Betriebsmittels sind einige Installationen besser geeignet als andere, um mögliche Gaslecks zu reduzieren. Bei elektrischen Geräten, die evakuiert werden können, kann das Gas in einem dafür vorgesehenen Bereich zurückgewonnen werden. Bei Geräten, die nicht evakuiert werden können, sollte dies in einer Evakuierungskammer geschehen, um eine Evakuierung bis auf <5 mbar zu ermöglichen.

4.2 Verfahren zur Gasrückentnahme

Die Verfahren der Gasrückentnahme sind prinzipiell in der IEC 62271-4 beschrieben. Im Folgenden liegt der Schwerpunkt auf den zu verwendenden Geräten und zusätzlichen, eher praxisbezogenen Informationen als Ergänzung zu dem, was in der IEC 62271-4 beschrieben ist.

4.2.1 Allgemeines

Vor Gasarbeiten muss durch vorherige individuelle und eigenverantwortliche Überprüfung bekannt sein, ob der Umgang mit dem Gas aufgrund seiner Konzentration an toxischen Zersetzungsprodukten gefährlich ist. Dies ist insbesondere bei HS-GIS oder Leistungsschaltern der Fall, bei denen SF₆ für die Stromunterbrechung verwendet wird. Abhängig von der Anzahl der Schaltheftungen und dabei umgesetzten Energie kann die Menge der giftigen Abbauprodukte Werte erreichen, bei denen bei der Handhabung und beim Transport besondere Sorgfalt erforderlich sind (siehe auch 4.2.3). Es sollten Vorfilter am Gasentnahmegesetz eingesetzt werden, um ggf. vorhandene Abbauprodukte beim Abfüllen in Lagertanks oder Flaschen zu reduzieren und das Serviceequipment vor Schädigung insbesondere durch korrosive Nebenprodukte zu schützen. In der Regel werden Trockenfilter aus Aluminiumoxid und Molekularsiebe verwendet, um hauptsächlich Feuchtigkeit und gasförmige Zersetzungsprodukte zu adsorbieren, sowie ein Partikelfilter, um feste Zersetzungsprodukte zu filtern. Liegen andere Verschmutzungen vor, können weitere Filtermaterialien wie bspw. Aktivkohlen verwendet werden. Möglicherweise ist eine spezifische Klassifizierung von Tanks und Flaschen für den Transport erforderlich.

Nicht selten sind bereits ab Werk Betriebsmittel in der Hochspannung (z.B. HS-GIS und Leistungsschalter) mit Filtermaterialien in den Gasräumen ausgestattet, die die Menge an Feuchtigkeit und Zersetzungsprodukten im Gas verringern.

Für die Auswahl der geeigneten Filter und Filterkapazitäten kann eine Gasanalyse wichtige Hinweise liefern. Hersteller von Geräten zur Gasentnahme- und Aufbereitung können bei der Auswahl des geeigneten Filters unterstützen.

Der Ablauf der Rückgewinnung von SF₆ wird standardisiert in der SF₆-Zertifizierung vermittelt und darf nur von zertifiziertem Personal durchgeführt werden. Dort wird auch der Ablauf zur Qualitätsbestimmung des Gases geschult, nach dem sich die weiteren Arbeitsschritte richten.

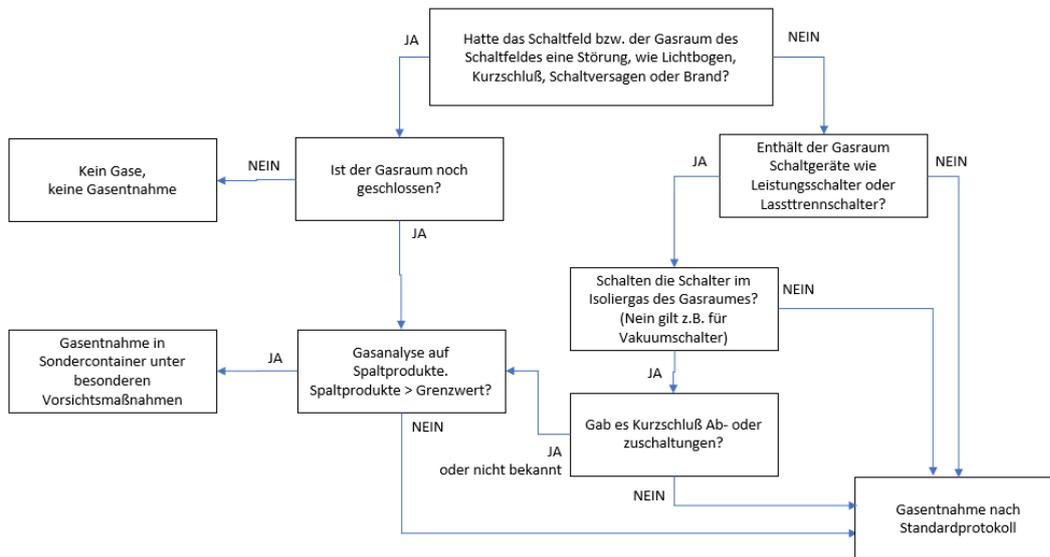


Abbildung 2: Entscheidungshilfendiagramm für die Klassifizierung von zurückgewonnenem SF₆

Das Diagramm stellt eine allgemeine Entscheidungshilfe für die Frage, ob Gasproben für die Handhabung und Klassifizierung des verwendeten SF₆ erforderlich sein können, dar.

4.2.2 Möglichkeiten der Gasentnahme

Für die Gasentnahme gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder verfügt das elektrische Betriebsmittel über ein Füllventil, das für die Gasentnahme verwendet werden kann oder der Füllanschluss ist durch Schweißen oder auf andere Weise verschlossen worden und kann nicht verwendet werden. In diesem Fall muss die Gasentnahme anderweitig vorbereitet werden, z. B. mit einer gasdichten Bohrvorrichtung. Es kann auch Lösungen geben, bei denen nur ein kleines Ventil zur Gasentnahme vorhanden ist (z.B. für Gasanalysen). Ob dies für die Rückgewinnung genutzt werden kann oder nicht (z.B. wegen zu geringem Querschnitt) ist beim Hersteller zu erfragen und auf dieser Grundlage individuell zu beurteilen. Wenn der Adapter für das Füllventil nicht verfügbar ist, kann es auch erforderlich sein, die gasdichte Bohrung zu verwenden, obwohl es ein Füllventil gibt.

4.2.2.1 Füllventil und Gaskupplungsadapter

Es gibt eine große Vielfalt an Gaskupplungsadaptern, die heute in den verschiedenen elektrischen Betriebsmitteln seit der ersten Verwendung von SF₆ in den 1960er Jahren verwendet werden. Für wartungspflichtige Geräte mit Gasarbeiten ist der Gaskupplungsadapter höchstwahrscheinlich beim Betreiber des elektrischen Betriebsmittels erhältlich. Bei wartungsfreien Geräten ist dies möglicherweise nicht der Fall.

Es kommt die Verwendung von originalem Gaskupplungsadapter in Kombination mit dem Füllventil in Betracht, da diese eine bewährte Verbindung zum Gasraum mit einem geringen Risiko eines Gasaustrittes darstellen. Die Informationen zur Evakuierfähigkeit von gasgefüllten Betriebsmitteln sowie die dazu notwendigen Adapter sind individuell beim jeweiligen Hersteller zu erfragen. Diese werden in einer „Equipment gas recovery information“ zusammengefasst.

Das nachfolgend in Tabelle 1 dargestellte Formular ist auf Nachfrage vom jeweiligen Hersteller auszufüllen und weist auf das Vorhandensein eines Füllventils an elektrischen Betriebsmitteln hin und gibt den Gaskupplungsadapter und den Schlauchanschluss an das Gasentnahmesystem an. Zur Veranschaulichung sind fiktive Beispielwerte eingetragen.

Hersteller	Füllventil	Identifikationsnummer des Gaskupplungsadapters	Schlauchanschlussspezifikation des Adapters (Typ, Gewinde, Dichtungssystem)
Typ X1	ja	ABC4711	DN12
Typ 911	nein	n.a.	n.a.
Typ aby	ja	DDD0815	M24, ...

Tabelle 1: Equipment gas recovery information –Übersicht von Gaskupplungsadaptern für elektrische Betriebsmittel

Je nach Alter der elektrischen Anlage sind möglicherweise nicht mehr alle Kupplungsadapter verfügbar. Für weitere Details kann die Serviceorganisation des jeweiligen Herstellers kontaktiert werden.

4.2.2.2 Gasdichtes Bohren

Falls das elektrische Betriebsmittel kein Füllventil hat oder das Füllventil nicht zur Gasentnahme verwendet werden kann, muss eine gasdichte Bohrausrüstung verwendet werden, um Zugang zum Gasraum ohne Emission von SF₆ zu erhalten.



Abbildung 3: Beispiel für gasdichtes Bohrsystem für die SF₆-Gasentnahme aus Stahl-Gehäuse von GIS, Bildquelle: DILO



Abbildung 4: Beispiel für gasdichtes Bohrsystem für die SF₆-Gasentnahme aus Kunststoffgehäusen, Bildquelle: DILO

Für den Einsatz dieses Systems ist die Betriebsanleitung des Herstellers zu beachten. Das elektrische Betriebsmittel muss sich in einem guten Zustand befinden und einen Zugang zu einem Bereich bieten, in dem dieses System verwendet werden kann.

Es ist anzumerken, dass nach dem gasdichten Bohren das SF₆ vollständig entnommen werden muss, bevor die Vorrichtung entfernt werden kann. Dies ist vor allem bei elektrischen Betriebsmitteln, die nicht evakuiert werden können, von Bedeutung. Ein nachträgliches gasdichtes und druckfestes Verschließen des Bohrlochs ist ohne zusätzliche Maßnahmen, wie z.B. Schweißen, nicht möglich.

4.2.3 Beurteilung der Toxizität

Abhängig davon, um welche Art elektrisches Betriebsmittel es sich handelt und wie die Betriebsbedingungen im Lebenszyklus waren (Anzahl der Schaltheftungen und umgesetzte Energie), kann das enthaltene SF₆ ein Gefährdungspotenzial haben. Das konkrete Gefährdungspotenzial ist in jedem Einzelfall eigenverantwortlich zu überprüfen und zu beurteilen. Zur Beurteilung der Toxizität können dabei unterschiedliche Messprinzipien angewendet werden. Messungen vor Ort beschränken sich im Wesentlichen auf die Messung der SO₂-Konzentration. Die dort gefundenen Werte an SO₂ werden dabei als Basis für eine Gesamtbeurteilung der Toxizität herangezogen. Genauere Messungen und damit eine erweiterte Beurteilung kann z.B. durch die Analyse des Gases in einem Labor erreicht werden. In der CIGRE Arbeitsgruppe JWG B3/D1.63 „Guideline for assessing the toxicity of used SF₆-gas“ laufen Untersuchungen, ob die

Kriterien für die Messungen vor Ort zur Gefährdungsbeurteilung ausreichen oder überarbeitet werden müssen.

Bei Schaltanlagen oder in Teilen davon, in denen keine Schalthandlungen im Gas stattgefunden haben (stromlos betriebene Trenn- oder Erdungsschalter sind in dieser Gruppe enthalten), ist im Allgemeinen nicht mit einer relevanten Zersetzung des SF₆ zu rechnen, welche zu einer Toxizität entsprechend einem LC₅₀ <5.000 ppm_v führt und damit kennzeichnungspflichtig wäre.

Auszunehmen hiervon sind Anlagenteile, in denen es zu hohen TE-Belastungen oder zu Störlichtbögen gekommen ist.

Bei den zahlreichen Ringkabelschaltfeldern (RMU) mit Lasttrennschaltern, welche in SF₆ schalten, wird auch davon ausgegangen, dass die umgesetzte Energie über die Lebensdauer zu gering ist um eine Toxizität entsprechend dem Grenzwert für Transport und Lagerung (LC₅₀ <5.000 ppm_v) zu erreichen.

Durch die Verwendung von Prüfröhrchen für SO₂ kann eine erste Beurteilung vorgenommen werden, ob eine SO₂ Kontamination vorliegt. Eine Quantifizierung und Beurteilung der Toxizität kann damit nicht erfolgen. Der Einsatz von Prüfröhrchen macht erfahrungsgemäß nur bei Schaltanlagen >52 kV Sinn.



Abbildung 5: Beispiel Prüfröhrchen (benutzt – oben; unbenutzt – unten), Bildquelle: DILLO

Wenn eine Gasanalyse durchzuführen ist, sind portable Messgeräte zahlreicher Hersteller mit elektrochemischen Sensoren für SO₂ verfügbar:



Abbildung 6: Beispiele für SF₆ Gas Analysegeräte, Bildquelle: DILLO, Wika

Zur Einstufung des gebrauchten SF₆ als toxisch dient der Grenzwert SO₂ < 250 ppm_v. Hierdurch wird zum Beispiel die Einstufung zur Lagerung und als Gefahrgut für den Transport vorgenommen. Basierend auf internationalen Erfahrungswerten und Festlegungen deckt der Grenzwert dieses spezifischen Zersetzungsproduktes die anderen vorhandenen, ebenfalls toxischen Zersetzungsprodukte in typischen Konzentrationsverhältnissen zum SO₂ mit ab und stellt eine gesamthafte Beurteilung dar.

Wie weiter oben beschrieben, wird diese Vorgehensweise aktuell hinterfragt und über eine CIGRE Arbeitsgruppe untersucht.

4.2.4 Ausrüstung zur Gasrückgewinnung

Am Markt gibt es von unterschiedlichen Herstellern Geräte für die SF₆-Gasentnahme. Die Geräte unterscheiden sich durch die Leistungsfähigkeit und Größe, bzw. der zu entnehmende Gasmenge je Zeiteinheit. Einige Systeme haben eine Gasaufbereitung integriert, andere Systeme dienen nur zur Gasentnahme. Die Spannweite geht von kompakten Systemen, die z.B. für die Mittelspannung eingesetzt werden, mit Gas Mengen von < 10 kg je Feld, bis zu großen Systemen für Hochspannungsanlagen mit > 100 kg oder mehr je Einheit.



Abbildung 7: Beispiele für Geräte für die SF₆-Gasentnahme, Bildquelle: DILO, Wika



Abbildung 8: Beispiele für kompakte, transportable Geräte für die SF₆-Gasentnahme für kleinere Gas m enge n, Bildquelle: DILO, Wika

4.2.5 Gasbehälter

Am Markt gibt es von unterschiedlichen Herstellern Gasbehälter für die Aufnahme und den Transport von entnommenem SF₆. Diese Gasbehälter unterscheiden sich im Wesentlichen bezüglich Fassungsvermögen (Ausführung als Flasche oder Container) und Kennzeichnung, ob es sich um Gefahrgut handelt oder nicht.

	Gebrauchtes SF ₆	Gebrauchtes SF ₆ mit toxischen Eigenschaften
Flasche / Container		
Farbkennzeichnung	grün	gelb
Gefahrguteinstufung für die Beförderung	UN3163 Klasse 2.2 N.A.G.	UN3308 Klasse 2.3 + Klasse 8 N.A.G.
SO ₂ -Grenzwert*	< 250 ppm _v	≥ 250 ppm _v
Zusätzliche Kennzeichnung für den Transport		
Sicherungsplan nach ADR	Nein	Ja

*) Einstufung laut IEC 62271-4

Abbildung 9: Beispiel Druckgasbehälter für gebrauchtes SF₆, Bildquelle: Solvay, DIL0

4.2.6 Rückgewinnung von SF₆ aus evakuierfähigen elektrischen Betriebsmitteln

Je nach Bauart der elektrischen Betriebsmittel kann oder muss die Gasentnahme vor Ort, innerhalb der Station oder elektrischen Betriebsmitteln, erfolgen. Der gleiche Vorgang ist an jedem anderen Ort möglich, wenn die elektrischen Betriebsmittel oder die SF₆-haltigen Teile davon ohne Gasarbeiten an diesen Ort gebracht werden können.

Die Gasentnahmeanlage wird in die Nähe der elektrischen Betriebsmittel bzw. die elektrischen Betriebsmittel werden zur Gasentnahmeanlage transportiert und werden miteinander verbunden. Je nach Gasqualität werden Filter zwischengeschaltet, um die Menge der Abbauprodukte zu reduzieren und die Gasentnahmeanlage vor Schäden zu schützen. Für die Aufnahme des zurückgewonnenen Gases werden entsprechende Speichertanks angeschlossen. Wenn die Gasmenge im Gerät das Volumen der Lagertanks übersteigt, müssen konkrete Maßnahmen ergriffen werden, um ein Überfüllen zu vermeiden.

Für eine sachgerechte Durchführung der Gasentnahme sollte diese gemäß IEC 62271-4 erfolgen. Bei elektrischen Geräten mit einem Fülldruck von mehr als 2 bar absolut kann, der Lagertank oder die Flasche bei ca. 1 bar absolut (im Gasraum) gewechselt werden. Falls es Probleme bei der Evakuierung gibt (Leaks, die das Erreichen des Restdrucks < 5 mbar verhindern bzw. Eindringen von Umgebungsluft ab einem gewissen Druck), wird dadurch vermieden, dass das zurückgewonnene SF₆ mit erheblichen Luftmengen verdünnt wird, was die Aufbereitung erschwert und die Wiederverwendbarkeit begrenzt.

Die Gasentnahme ist so lange fortzusetzen, bis ein Restdruck von < 5 mbar absolut erreicht ist. Dann ist das Gasentnahmesystem abzuschalten und die Gasräume der elektrischen Betriebsmittel sind mit Umgebungsluft zu fluten.

Die entleerten elektrischen Betriebsmittel sollten für den Transport zum Demontageort in der Nähe des Füllventils mit einem sichtbaren Hinweis (Aufkleber o.ä.) "SF₆ entnommen. Restkonzentration $< 0,5$ kPa SF₆" gekennzeichnet werden, um die korrekte Handhabung sicherstellen zu können.

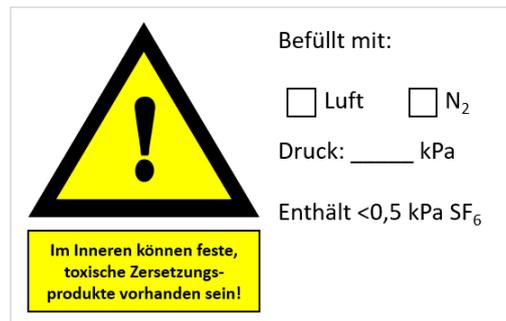


Abbildung 10: Beispiel für einen Aufkleber zur Kennzeichnung eines entleerten SF₆ Gasraums

4.2.7 Rückgewinnung von SF₆ aus nicht evakuierfähigen elektrischen Betriebsmitteln

Es gibt zwei Gründe, die eine vollständige Evakuierung von elektrischen Betriebsmitteln nicht zulassen:

- entweder ist die Ausführung nicht evakuierbar oder
- es liegt ein Defekt oder eine Undichtigkeit vor, die den erreichbaren Restdruck begrenzt.

Um Emissionen von SF₆ in die Umgebung zu vermeiden, gibt es folgende Möglichkeiten, das enthaltene SF₆ zurückzugewinnen.

4.2.7.1 Gasentnahme von SF₆ durch Evakuieren

Elektrische Betriebsmittel, welche als nicht evakuierbar gekennzeichnet sind, schließen eine Evakuierung zur Entnahme des SF₆ nicht vollständig aus. Diese Anlagen werden bedingt durch den hohen Differenzdruck durch bleibende Verformungen beschädigt, was jedoch am Lebensende ggf. keine Relevanz hat, solange die Gasdichtigkeit erhalten bleibt. Erfahrungen haben gezeigt, dass in der Regel ein Restdruck $< 0,5$ mbar erreicht werden kann.



Abbildung 11: Beispiel für eine Verformung einer auf 0,5 kPa Restdruck entleerten Anlage, die dennoch gasdicht ist, Bildquelle: Westnetz

Zur Überwachung, ob dies im Einzelfall zutrifft, ist der Fortschritt der Evakuierung eigenverantwortlich zu beobachten. Sinkt der Druck nicht stetig, bzw. bleibt er bei einem Wert $> 0,5$ mbar stabil, ist im Normalfall von einer durch die Verformung hervorgerufenen Schädigung mit der Folge einer Undichtigkeit auszugehen, da offenbar Umgebungsluft nachströmt. In diesem Fall kann

auf das Verdünnungsverfahren (siehe 4.2.7.3) gewechselt werden.

4.2.7.2 Rückgewinnung von SF₆ unter Verwendung einer Evakuierungskammer

Wenn das elektrische Betriebsmittel bei Umgebungsbedingungen nicht bis auf < 0,5 mbar, aber bis zu einem Restdruck von 300...500 mbar, evakuiert werden kann, ohne dass es zu Leckagen kommt, kann das Gerät in einer Evakuierungskammer evakuiert werden, ähnlich wie bei der Befüllung der elektrischen Betriebsmittel mit SF₆.



Abbildung 12: Beispiel für Rückgewinnung von SF₆ in einer Evakuierungskammer unter Verwendung eines gasdichten Bohrsystems, Bildquelle: Afesa

Das elektrische Betriebsmittel wird in der Evakuierungskammer platziert und die Anschlüsse an das Gasentnahmesystem (das außerhalb der Kammer platziert wird) werden ähnlich dem Verfahren unter 4.2.6 vorgenommen. Dann wird die Evakuierungskammer geschlossen. Auf kontrollierte Weise wird der Druck in der Evakuierungskammer um das elektrische Betriebsmittel herum im Einklang mit der Entnahme des Gases aus dem elektrischen Betriebsmittel reduziert, und zwar so, dass die Druckdifferenz zwischen dem Druck des SF₆ im elektrischen Betriebsmittel und dem Druck der Luft in der Evakuierungskammer den zulässigen Wert des elektrischen Betriebsmittels nicht überschreitet. Dabei ist im Normalfall nicht zwingend erforderlich, die Evakuierungskammer auf Pegel unter 300...500 mbar zu evakuieren, um das SF₆ im elektrischen Betriebsmittel bis auf < 0,5 mbar entnehmen zu können. Gleichwohl sollte dies jeweils für den Einzelfall geprüft werden.

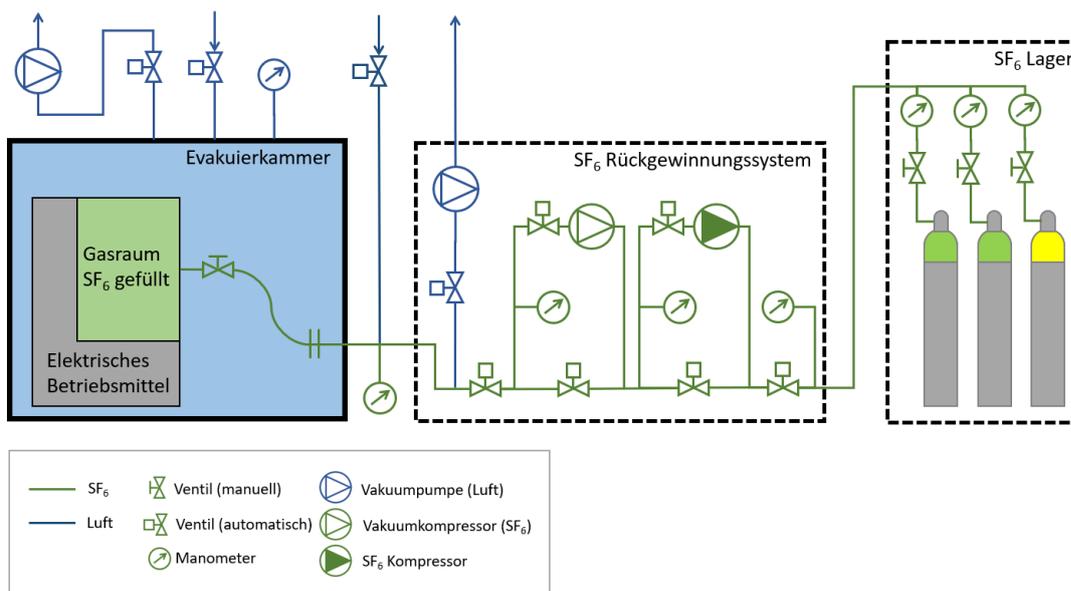


Abbildung 13: Prinzipdarstellung einer Evakuierungskammer für die SF₆ Rückgewinnung aus nicht evakuierfähigen elektrischen Betriebsmitteln, Quelle: Afesa

Die entleerten elektrischen Betriebsmittel sollten für den Transport zum Demontageort in der Nähe des Füllventils mit einem sichtbaren Hinweis (Aufkleber o.ä.) "SF₆ entnommen. Restkonzentration < 0,5 kPa SF₆" gekennzeichnet werden, um die korrekte Handhabung sicherstellen zu können.

4.2.7.3 Gasentnahme von SF₆ mit dem Verdünnungsverfahren

In diesem Fall kann die Gasentnahme nur bis zu einem Druck erfolgen, der vom Hersteller angegeben wird oder bei dem beobachtet wird, dass der Druckabfall aufgrund eindringender Luft in das Betriebsmittel langsamer wird. Um dennoch das SF₆ bis zu einer Restkonzentration von SF₆ im elektrischen Betriebsmittel < 0,5% zu entnehmen, kann eine schrittweise Entnahme des SF₆, wie in IEC 62271-4 beschrieben, durchgeführt werden.

Hierzu wird in einem ersten Schritt das ursprüngliche Gas auf den während des Verdünnungsvorgangs verwendeten Mindestdruck zurückgewonnen und anschließend wird das Betriebsmittel mit Luft auf den während des Verdünnungsvorgangs verwendeten Höchstdruck aufgefüllt. Im nächsten Schritt wird das verdünnte Originalgas wieder auf den während des Verdünnungsvorgangs verwendeten Minimaldruck zurückgewonnen und anschließend wiederum mit Luft auf den während des Verdünnungsvorgangs verwendeten Maximaldruck aufgefüllt. Dies wird so lange durchgeführt, bis die Restkonzentration von SF₆ im elektrischen Betriebsmittel < 0,5% beträgt. Die Anzahl der notwendigen Schritte kann berechnet werden (siehe IEC 62271-4). In Tabelle 2 finden sich jedoch Angaben, welche die wichtigsten Einsatzfälle von Verdünnungsverfahren abdecken sollten.

Am Ende des letzten Verdünnungsschrittes wird das Betriebsmittel schließlich auf Umgebungsdruck aufgefüllt und der Gasraum kann dann geöffnet werden.

Minimaler Druck	Maximaler Druck, der während des Verdünnungsvorgangs verwendet wird					
	100 kPa	110 kPa	120 kPa	130 kPa	140 kPa	150 kPa
70 kPa	15	12	11	9	9	8
60 kPa	11	9	8	8	7	7
50 kPa	8	7	7	6	6	6
40 kPa	6	6	5	5	5	5
30 kPa	5	5	4	4	4	4
20 kPa	4	4	4	3	3	3

Tabelle 2: Anzahl notwendiger Zyklen zum Erreichen des Restpartialdruck SF₆ < 0,5 kPa

Die entleerten elektrischen Betriebsmittel sollten für den Transport zum Demontageort in der Nähe des Füllventils mit einem sichtbaren Hinweis (Aufkleber o.ä.) "SF₆ entnommen. Restkonzentration < 0,5 kPa SF₆" gekennzeichnet werden, um die korrekte Handhabung sicherstellen zu können.

Da dieser Verdünnungsprozess zu einer großen Menge an SF₆ führt, das mit der Umgebungsluft vermischt ist, was zusätzlichen Aufwand bei der Aufbereitung und/oder dem Recycling verursacht, ist dieser Prozess für größere Mengen an elektrischen Betriebsmitteln nicht vorteilhaft.

5 Erfassung und Reporting

5.1 Erfassung der Menge an zurückgewonnenem SF₆

Die Ermittlung der Menge an zurückgewonnenem SF₆ erfolgt am einfachsten durch Wiegen der Flaschen oder Container vor und nach der Gasentnahme. Durch Verunreinigungen des SF₆ erlaubt das Gewicht des zurückgewonnenen Gases keinen direkten Rückschluss auf die SF₆ Menge. Auch eine Messung am Container (Gasphase) ergibt keine korrekten Werte. Diese sind nur durch Messung und als Rückmeldung der Eingangsanalyse des Entsorgungs- oder Recyclingunternehmens bzw. des Gasherstellers möglich.

5.2 Ermittlung der emittierten SF₆ Menge nach Rückgewinnung

Das Serviceunternehmen kann erforderlichenfalls Daten über die bei der Zurückgewinnung von SF₆ verbleibenden Emissionen (Restmenge im entleerten Gasraum) berechnen, damit der Eigentümer die später belegen kann, falls entsprechende Forderungen bestehen. Für das offizielle Reporting ist dies aktuell nicht erforderlich.

Sind die folgenden Daten bekannt, kann die Restmenge an SF₆ im Gasraum nach der Rückgewinnung (die nach dem Öffnen und der Freisetzung zur Emission wird) berechnet werden.

Angenommen wird, dass sich das Gasgemisch nur aus SF₆ und Luft zusammensetzt. Folgende Informationen müssen bei der Gasentnahme gesammelt werden:

- Der Gehalt an SF₆
- Der Gasdruck (absolut) vor der Rückgewinnung (bezogen auf 20°C)
- Der Restgasdruck (absolut) nach der Rückgewinnung (bezogen auf 20°C)
- Das Gewicht des rückgewonnenen Gases

Diese Daten können vor Ort gemessen werden. Bei sehr kleinen Anlagen mit folglich sehr geringen Gas Mengen und einer Evakuierung < 0,5 kPa ist die Restgasmenge sehr gering. Die Restmenge SF₆ ergibt sich durch Anwendung folgender Formeln:

Konstanten	Formelzeichen	Wert
Molekulargewicht SF ₆	M_{SF_6}	146,06 g/mol
Molekulargewicht Luft	M_{air}	28,949 g/mol
Molares Volumen (chemischer Standard)	V_M	0,02271095464 m ³ /mol

Messwerte	Formelzeichen	Einzugebende Einheit	Beispiel
SF ₆ Konzentration	C_{SF_6}	Prozent	97 %
Anfangsdruck	P_{start}	kPa	700 kPa
Enddruck	p_{end}	kPa	0,5 kPa

Berechnete Werte	Formelzeichen	Formel	Beispiel
Molekulargewicht des Gasgemisches	M_{mix}	$M_{Mix} = C_{SF_6}/100 \cdot M_{SF_6} + (100 - C_{SF_6})/100 \cdot M_{air}$	142,55 g/mol
Zurückgewonnene Gasmenge	n_{mix}	$n_{Mix} = m_{mix} \cdot 1000 / M_{mix}$	350,76 mol
Zurückgewonnene Gasmenge	V_{mix}	$V_{Mix} = V_M \cdot n_{mix} \cdot 1000$	7966,09 Normliter
Volumen des evakuierten Gasraumes	V_{comp}	$V_{comp} = V_{mix} / (p_{start} - p_{end}) \cdot 100$	1138,8 Liter
Restgasmenge im Gasraum	V_{R-mix}	$V_{R-Mix} = p_{end} / 100 \cdot V_{comp}$	5,69 Liter
Restgasmenge im Gasraum	n_{R-mix}	$n_{R-Mix} = V_{R-mix} / V_M / 1000$	0,25 mol
Restgasmenge im Gasraum	m_{R-mix}	$m_{R-mix} = M_{mix} \cdot n_{R-mix}$	35,64 g
Restgasmenge SF ₆	m_{R-SF_6}	$m_{R-SF_6} = m_{R-mix} \cdot C_{SF_6} / 100 \cdot M_{SF_6} / M_{mix}$	35,42 g

Ein Gasraum enthält SF₆ (97%) bei 700 kPa. Bei der Rückgewinnung wird auf 0,5 kPa entleert. Es werden dabei 50 kg Gas zurückgewonnen. Im Gasraum verbleiben 35,42 g SF₆, welches beim Öffnen des Gasraums in die Umgebung entweicht.

6 Ergänzende Dokumente

6.1 Internationale Standards

6.1.1 IEC 62271-4

IEC 62271-4 ED2: High-voltage switchgear and controlgear - Part 4: Handling procedures for gases and gas mixtures for interruption and insulation

Der Standard beschreibt die Vorgehensweise für das Gashandling von SF₆ über den gesamten Lebenszyklus

6.1.2 IEC 60480

IEC 60480: Specifications for the re-use of sulphur hexafluoride (SF₆) and its mixtures in electrical equipment

Der Standard enthält eine Spezifikation von SF₆ für die Wiederverwendung, die sich insbesondere mit Art und Menge tolerierbarer Zersetzungsprodukte befasst. Des Weiteren wird auf mögliche Zersetzungsprodukte eingegangen und Hinweise zu Analyse und Umgang mit Ihnen gegeben.

6.1.3 IEC 60376

IEC 60376: Specification of technical grade sulphur hexafluoride (SF₆) and complementary gases to be used in its mixtures for use in electrical equipment

Der Standard definiert und beschreibt SF₆ für die Verwendung in elektrischen Betriebsmitteln.

6.2 Weiterführende nationale Informationen

6.2.1 ZVEI Leitfaden

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

<https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/hinweise-zu-verwendung-transport-und-entsorgung-von-sf6-und-sf6-befuellten-betriebsmitteln-aus-der-elektrischen-energieversorgung/>

6.2.2 DGUV Information 213-013 - SF₆-Anlagen und -Betriebsmittel

Die DGUV Information 213-013 enthält Hinweise zur sicheren Durchführung von Tätigkeiten an SF₆-Anlagen und Betriebsmitteln. Sie findet Anwendung auf die Herstellung, den bestimmungsgemäßen Betrieb, die Wartung und Instandhaltung, die Außerbetriebnahme sowie Demontage SF₆-isolierter elektrischer Anlagen und Betriebsmittel, die Schwefelhexafluorid (SF₆) enthalten.

7 Entsorgungsaspekte

Hinweise zum Transport und der Entsorgung von SF₆ und SF₆-befüllten Betriebsmitteln aus der elektrischen Energieversorgung sind im ZVEI-Leitfaden (siehe 6.2.1) ausführlich beschrieben und sollen in diesem Leitfaden nicht wiederholt werden. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass immer die aktuell gültigen nationalen und internationalen Regularien und Gesetze beachtet werden müssen.

Die in der Praxis bei den Netzbetreibern gewonnenen Erfahrungen haben gezeigt, dass im Normalfall bei den Primär- und Sekundär-Schaltanlagen in der Mittelspannung keine erhöhten SO₂-Konzentrationen auftreten. Eine Einstufung des Gases als toxisch erfolgt in der Praxis dementsprechend nicht. Wenn im Betrieb jedoch besondere Situationen (z.B. Störungen) aufgetreten sind, sollte dies berücksichtigt werden.

8 Checklisten

8.1 Welches elektrische Betriebsmittel liegt vor

Welche Art von elektrischen Betriebsmitteln ist im Arbeitsauftrag enthalten (Mehrfachauswahl möglich)?

Art der elektrischen Betriebsmittels		Stückzahl (z.B. Felder)
Hochspannungs-Schaltanlage GIS	<input type="checkbox"/>	
Hochspannungs-SF ₆ -Leistungsschalter (dead-tank)	<input type="checkbox"/>	
Hochspannungs-SF ₆ -Leistungsschalter (life-tank)	<input type="checkbox"/>	
Hochspannungs-Messwandler	<input type="checkbox"/>	
Hochspannungsübertragungsleitungen GIL	<input type="checkbox"/>	
Hochspannungs-Sammelschienen	<input type="checkbox"/>	
Mittelspannungs-Primärschaltanlage GIS	<input type="checkbox"/>	
Mittelspannungs-Sekundärschaltanlage GIS, Ringkabelfelder RMU	<input type="checkbox"/>	
Mittelspannungs-SF ₆ -Leistungsschalter	<input type="checkbox"/>	
SF ₆ -Lasttrennschalter für Mittelspannung	<input type="checkbox"/>	
Mittelspannung gasisolierte Stromschienen	<input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/>	
	<input type="checkbox"/>	

8.2 Durchführende Parteien

Die im folgenden beschriebenen Tätigkeiten werden von folgenden, beauftragten Parteien durchgeführt:

Beauftragt	Kürzel	Zugehörigkeit	Firma	Name Ansprechpartner / Monteur
<input type="checkbox"/>	A	Eigentümer		
<input type="checkbox"/>	B	Betreiber		
<input type="checkbox"/>	C	Hersteller		
<input type="checkbox"/>	D	Dienstleister		
<input type="checkbox"/>	E	Entsorgungs- / Recyclingunternehmen		
<input type="checkbox"/>	F	Transportunternehmen		
<input type="checkbox"/>	G	Gashersteller		
<input type="checkbox"/>	H	Gasaufbereiter		

8.3 Erfassung der verfügbaren Daten des elektrischen Betriebsmittels

Hersteller des elektrischen Betriebsmittels	
Typenbezeichnung des elektrischen Betriebsmittels	
Baujahr	
Aufbau-Zeichnung, einschließlich der Zeichnungen des Gasfüllsystems und der Handbücher vorhanden?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Kann das elektrische Betriebsmittel ohne Gasarbeiten in transportable Einheiten (z. B. Schaltfelder) getrennt werden?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Hat das elektrische Betriebsmittel ein Füllventil?	Ja <input type="checkbox"/> , Typ: _____ Nein <input type="checkbox"/>
Gibt es einen Adapter für das Füllventil, der zur Gasrückgewinnung verwendet werden kann (Schnittstelle zwischen Anlage und Pumpe)?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> n.a. <input type="checkbox"/>
Ist es möglich, die Position(en) von Füllventil(en) und gasdichten Durchführungen zu überprüfen?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> n.a. <input type="checkbox"/>
Material des Gasraumes?	Stahl <input type="checkbox"/> Alu <input type="checkbox"/> Epoxy <input type="checkbox"/> sonst. <input type="checkbox"/>
Kann das elektrische Betriebsmittel bzw. dessen Gasräume auf <5 mbar evakuiert werden (ggf. nach Herstellerangaben)?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> ungewiss <input type="checkbox"/>
Gesamtmenge an SF ₆ -Gas aller Gasräume zusammen (ggf. Schätzung)	_____ kg
SF ₆ -Druck (höchster Wert in der Installation)	_____ kPa (abs)
Gewicht der schwersten transportablen Einheit	_____ kg
Größe der größten transportablen Einheit (BxHxT)	_____ mm x _____ mm x _____ mm

8.4 Zustand des elektrischen Betriebsmittels und des enthaltenen Gases

Ist das elektrische Betriebsmittel oder ein Teil davon beschädigt?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Sind alle Gasräume geschlossen und halten SF ₆ unter Überdruck?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Gibt es Gasräume, die mehr als die angegebene Leckrate lecken?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Gab es einen elektrischen Fehler in einem oder mehreren Gasräumen, wie einen internen Lichtbogen oder eine fehlgeschlagene Stromunterbrechung?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Wurde das Gas zur Stromunterbrechung genutzt (ausgenommen Vakuum-Leistungsschalter)?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Enthält die Schaltanlage Lasttrennschalter?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Wurden Gasanalysen durchgeführt?	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>
Ist zu erwarten oder durch Gasanalyse bestätigt, dass das SF ₆ als Gefahrgut eingestuft werden muss (z.B. SO ₂ -Gehalt >250 ppmv bzw. weitere Grenzwerte überschritten)? Siehe CIGRE JWG B3/D1.63 „Guideline for assessing the toxicity of used SF ₆ gas“	Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>

8.5 Ort der Entnahme des SF₆

Festlegung an welchem Ort das SF₆ aus dem elektrischen Betriebsmittel entnommen werden soll.

Ort an dem das SF ₆ entnommen werden soll	Zuständig Kürzel (siehe 8.2)	Auswahl
Am Aufstellort		<input type="checkbox"/>
In der Nähe des Aufstellortes an einem Sammelplatz		<input type="checkbox"/>
An einem zentralen Sammelplatz des Eigentümers		<input type="checkbox"/>
Beim Dienstleister		<input type="checkbox"/>
Beim Entsorgungs- / Recyclingunternehmen		<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>

8.6 Methode der Entnahme des SF₆

Festlegung auf welche Art das SF₆ aus dem elektrischen Betriebsmittel entnommen werden soll.

Methode nach der das SF ₆ entnommen werden soll	Zuständig Kürzel (siehe 8.2)	Auswahl (alle / Mehrheit)	Auswahl (einzelne)
Entnahme durch Absaugen auf < 0,5 kPa (evakuierfähig)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entnahme durch Absaugen auf < 0,5 kPa (nicht evakuierfähig)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entnahme durch Absaugen auf < 0,5 kPa (in Evakuierkammer)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entnahme durch Absaugen unter Nutzung des Verdünnungsverfahrens $p_{\min} = \text{_____ kPa,}$ $p_{\max} = \text{_____ kPa}$ Anzahl Zyklen (laut Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.): _____		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8.7 Verbleib des entnommenen SF₆

Festlegung was mit dem entnommenen SF₆ geschehen soll.

Verbleib des entnommenen SF ₆	Zuständig Kürzel (siehe 8.2)	Auswahl
Eigene Aufarbeitung/Nutzung Eigentümer		<input type="checkbox"/>
Aufarbeitung mit Rückgabe an Eigentümer bei Firma: _____		<input type="checkbox"/>
Aufarbeitung ohne Rückgabe an Eigentümer bei Firma: _____		<input type="checkbox"/>
Entsorgung als Abfall (Verbrennung) bei Firma: _____		<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>

8.8 Arbeitsumfang und Verantwortung

Die Stilllegung kann in die folgenden Schritte unterteilt werden, wobei die Reihenfolge davon abhängen kann, wo diese Tätigkeit durchgeführt wird.

Arbeitsschritt	Verantwortlich* (Kürzel laut 8.2)	Erledigt (Datum, Kurzzeichen)
Durchführen der 5 Sicherheitsregeln nach VDE 0105		
Demontage der primären und sekundären elektrischen Verbindungen		
Entfernung jeglicher mechanischer Verbindungen des Betriebsmittels mit dem Aufstellort (wenn nicht für z. B. die sichere Gasentnahme erforderlich)		
Trennung von Blöcken, Feldern oder Modulen, bei denen keine Gasarbeiten erforderlich sind		
Nutzen der Verfahren zur Gasrückgewinnung gemäß Kapitel 4		
Kennzeichnung von Räumen, aus denen das Gas entfernt wurde (z.B. mit einem Aufkleber "SF ₆ -Gas entfernt")		
Transport der Blöcke, Schaltfelder oder Module, bei denen keine Gasarbeiten erforderlich sind, aus der Station bzw. elektrischen Betriebsstätte		
Transport der Blöcke, Schaltfelder oder Module, bei denen keine Gasarbeiten erforderlich sind, zum Recyclingunternehmen		
Transport der Blöcke, Schaltfelder oder Module, bei denen Gasarbeiten erforderlich sind, zum Recyclingunternehmen		
Aufbewahrung von Blöcken, Schaltfeldern oder Modulen zur eigenen Wiederverwendung oder als Ersatzteil		

*) wenn der Arbeitsschritt nicht relevant ist bzw. entfällt, bitte durch „n.a.“ kennzeichnen

Kontakt

Arvid Gillert • Manager Energy Technology • Fachverband Energietechnik •
Tel.: +49 30 306960 22 • Mobil: +49 1749414 161 • E-Mail: Arvid.Gillert@zvei.org

ZVEI e. V. • Verband der Elektro- und Digitalindustrie • Charlottenstraße 35/36 • 10117 Berlin
Lobbyregisternr.: R002101 • EU Transparenzregister ID: 94770746469-09 • www.zvei.org

Datum: 16.05.2023