

**DIN EN 60480
(VDE 0373-2)**
DIN

Diese Norm ist zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 29.040.20

Einsprüche bis 2019-05-15

Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60480
(VDE 0373-2):2005-08

Entwurf

**Spezifikation für die Wiederverwendung von SF₆ und seinen Mischungen in elektrischen Betriebsmitteln
(IEC 10/1058/CDV:2018);
Deutsche und Englische Fassung pr**EN 60480:2018****

Specification for re-use of SF₆ and its mixtures in electrical equipment
(IEC 10/1058/CDV:2018);
German and English version pr**EN 60480:2018**

Spécification pour la réutilisation de l'hexafluorure de soufre (SF₆) et des mélanges contenant du SF₆ dans le matériel électrique
(IEC 10/1058/CDV:2018);
Version allemande et anglaise pr**EN 60480:2018**

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-03-15 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 92 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ...

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN 60480:2018 „Spezifikation für die Wiederverwendung von SF₆ und seinen Mischungen in elektrischen Betriebsmitteln“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 10/1058/CDV:2018 „Specification for re-use of SF₆ and its mixtures in electrical equipment“ unverändert in den Entwurf prEN 60480:2018 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 10 „Fluids for electrotechnical applications“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 182 „Flüssigkeiten und Gase für elektrotechnische Anwendung“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60480 (VDE 0373-2):2005-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe von 2005 und stellt eine technische Überarbeitung dar.

- b) Der technischen Weiterentwicklung der Geräte wurde Rechnung getragen.
- c) Die Spezifikationen für eine Wiederverwendung von SF₆ wurden verifiziert.
- d) Diese neue Ausgabe enthält Spezifikationen für die Wiederverwendung von SF₆ Gemischen, und zwar für Gemische von SF₆/N₂ und SF₆/CF₄.
- e) Es wurde eine neue Aufteilung der Anhänge in den drei Normen IEC 60376, IEC 60480 und IEC 62271-4 eingeführt. Diese neue Ausgabe enthält nun fünf Anhänge, die im folgenden aufgeführt sind:
 - Beschreibung der verschiedenen Analysemethoden (vor Ort und im Labor);
 - Nebenprodukte und Zerfallsprodukte von SF₆ und seinen Gemischen;
 - Verfahren zur Bewertung der potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen von Zersetzungsprodukten von SF₆ und seinen Gemischen;
 - Kryogene Rückgewinnung von SF₆;
 - Empfehlungen für die Rückgewinnung.

Spezifikation für die Wiederverwendung von SF₆ und seinen Mischungen in elektrischen Betriebsmitteln

	Inhalt	Seite
1	Anwendungsbereich.....	5
2	Normative Verweisungen	5
3	Begriffe	6
3.1	Allgemein.....	6
4	Verunreinigungen und ihre Ursachen	7
4.1	Einleitung.....	7
4.2	Verunreinigungen aus der Handhabung und aus dem Betrieb.....	7
4.3	SF ₆ -Verunreinigungen in einem Betriebsmittel nur mit Isolierfunktion	7
4.4	SF ₆ -Verunreinigungen in Schaltgeräten	8
4.5	SF ₆ -Zersetzungsprodukte aufgrund interner Lichtbögen	8
4.6	Spezifische Zersetzungsprodukte von SF ₆ -Gemischen	8
5	Anforderungen für aufbereitetes SF ₆	9
6	Anforderungen für SF ₆ -Gemische	9
7	Aufbereiten von SF ₆ und SF ₆ -Gemischen	10
7.1	Machbarkeit und Verfahren	10
7.2	Prüfverfahren zur Bestimmung der Gasqualität.....	13
7.2.1	Einleitung.....	13
7.2.2	Vor-Ort-Analyse	13
7.2.3	Laboranalyse.....	14
8	Handhabung, Lagerung und Transport (informativ).....	15
9	Sicherheit und Erste Hilfe.....	15
9.1	Allgemeine Sicherheitsregeln.....	15
9.1.1	Einleitung.....	15
9.1.2	Personenschutz	16
9.1.3	Umgang mit kontaminierten Schutzausrüstungen und Werkzeugen.....	17
9.1.4	Druckgeräte und Werkzeuge oder Messgeräte	18
9.1.5	Persönliche Sicherheits- und Schutzausrüstung	18
9.1.6	Einrichtungen und Ausstattung	19
9.2	Zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen im Falle einer anormalen Freisetzung von SF ₆ aufgrund eines externen Feuers oder eines Störlichtbogens	19
9.3	Erste-Hilfe-Ausrüstung und -Behandlung	20
9.3.1	Einleitung.....	20
9.3.2	Reizung der Haut	20
9.3.3	Reizung der Augen	21

	Seite
9.3.4 Atemschwierigkeiten	21
10 Umweltaspekte	21
Anhang A (informativ) Beschreibung der Analysemethoden (vor Ort und im Labor)	22
A.1 Probennahme	22
A.1.1 Probenahmeverbindung vor Ort	22
A.1.2 Probenzylinder für die Laboranalyse	22
A.1.3 Probenahmeverfahren für die Laboranalyse	23
A.1.3.1 Verfahren mit einem Probenzylinder	23
A.1.3.2 Verfahren mit zwei Probenzylinder	23
A.2 Vor-Ort-Analyse	24
A.2.1 SF ₆ -Konzentrationsmessgerät	24
A.2.2 Hygrometer	24
A.3 Laboranalyse	25
A.3.1 Gaschromatographie	25
A.3.1.1 Gaschromatographie mit Detektorsystemen mit einer linearen Genauigkeit über mindestens 3 Jahrzehnte, als Beispiel hier der Wärmeleitfähigkeitsdetektor (TCD)	25
A.3.1.2 Beispiel für die Gaschromatographie mit Massespektrometer (MS)	26
A.3.1.3 Ionenchromatographie	27
A.3.2 Infrarot-Spektroskopie	27
A.3.2.1 Kurzbeschreibung	27
A.3.2.2 FTIR-Spektrometer	28
A.3.2.3 Absorptionszelle	28
A.3.2.4 Analyse	28
A.3.2.5 Absorptionsfrequenzen von Gasen	28
Anhang B (informativ) Zersetzungsprodukte von SF ₆ und seinen Gemischen	30
B.1 Zersetzung von SF ₆ und seinen Gemischen	30
B.1.1 Einleitung	30
B.1.2 Verhalten von SF ₆ in einem elektrischen Lichtbogen	30
B.1.3 SF ₆ -Zersetzung mit geringen Entladungen	32
B.1.4 Katalytische Zersetzung von SF ₆ (Verhalten bei hoher Temperatur)	32
B.2 Korrosionsverhalten von SF ₆ und seinen Zersetzungsprodukten	32
B.3 Maßnahmen zum Entfernen von Zersetzungsprodukten	32
B.4 Physiologische Eigenschaften der Zersetzungsprodukte	32
Anhang C (informativ) Verfahren zur Bewertung der potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen von Zersetzungsprodukten von SF ₆ und seinen Gemischen	33
C.1 Einleitung	33
C.2 Bildung und Gesundheitsauswirkungen von SF ₆ -Zersetzungsprodukten	33

C.2.1	Bildung von SF ₆ -Zersetzungsprodukten.....	33
C.2.2	Gesundheitsauswirkungen von SF ₆ -Zersetzungsprodukten	34
C.2.2.1	Einleitung.....	34
C.2.2.2	Gesundheitsauswirkungen von durch Lichtbögen zersetztes SF ₆	34
C.2.2.3	Expositionsdauer und Verdünnung in der Luft.....	34
C.2.3	Quantitative Schätzung von gasförmigen Zersetzungsprodukten	35
C.2.3.1	Einleitung.....	35
C.2.3.2	Schätzung der Entwicklungsraten von SOF ₂ aufgrund von Lichtbogenbildung.....	35
C.2.3.3	Schätzung der Entwicklungsrate von S ₂ F ₁₀ aufgrund von Funkenbildung	36
C.2.3.4	Schätzung der Entwicklungsrate von S ₂ F ₁₀ aufgrund von Teilentladungen	36
C.2.4	Verfahren zur Bewertung des Gesundheitsrisikos.....	36
C.3	Schlussfolgerungen.....	38
Anhang D (informativ)	Kryogene Rückgewinnung von SF ₆	40
D.1	Einleitung.....	40
D.2	Anwendungsgebiete.....	40
D.3	Physikalischer Hintergrund	40
D.4	Kryogene Prozesse	41
D.5	Beschreibung eines kryogenen Aufbereitungsgeräts [13]	42
Anhang E (informativ)	Empfehlungen für die Rückgewinnung.....	44
E.1	Einleitung.....	44
E.2	Empfehlungen für das Filtern	44
E.3	Straßen-Transport von benutztem SF ₆ in Gasflaschen und -behältern	44
Literaturhinweise		45
Bilder		
Bild 1	– Entscheidungs-Flussdiagramm für die Bestimmung des wiedergewonnenen SF ₆	12
Bild A.1.	– Aufbau für das Verfahren mit einem Probenzylinder.....	23
Bild A.2.	– Aufbau für das Verfahren mit zwei Probenzylindern.....	23
Bild A.3	– Beispiel für ein Gas-Chromatogramm auf einem Ausdruck zur Darstellung der möglichen unterschiedlichen Zersetzungsprodukte	26
Bild A.4	– typisches GCMS-Chromatogramm von zersetztem SF ₆	27
Bild A.4	– IR-Spektrum von verunreinigtem SF ₆	29
Bild C.1	– Verfahren zur Bewertung der potenziellen Gesundheitsauswirkungen durch Lichtbogenbildung	37
Bild C.2	– Verfahren für die Bewertung der potenziellen Gesundheitsauswirkungen aufgrund von Entladungen mit geringer Energie.....	38
Bild D.1	– Druck des gesättigten Dampfes verschiedener Gase als Funktion der Temperatur.....	41
Bild D.2	– Typisches kryogenes Aufbereitungsgerät für die SF ₆ -Rückgewinnung vor Ort.....	42

Bild D.3 – Typisches kryogenes Aufbereitungsgerät zum Entfernen von Verunreinigungen	43
--	----

Tabellen

Tabelle 1 – SF ₆ -Verunreinigungen	7
Tabelle 2 – Anforderungen für aufbereitetes SF ₆	9
Tabelle 3 – Anforderungen für SF ₆ /N ₂ -Gemische	9
Tabelle 4 – Anforderungen für SF ₆ /CF ₄ -Gemische	10
Tabelle 5 – Allgemeine Verunreinigungen und Methoden zur Entfernung	10
Tabelle 6 – Übliche Absorber für verschiedene SF ₆ -Verunreinigungen	11
Tabelle 7 – Vor-Ort-Verfahren	14
Tabelle 8 – Labormethoden	15
Tabelle 9 – Maßnahmen bei Arbeiten an mit SF ₆ gefüllten Betriebsmitteln	16
Tabelle 10 – Sicherheitsmaßnahmen beim Öffnen und Betreten von Gasräumen	17
Tabelle 11 – Neutralisierende Lösungen	18
Tabelle 12 – Zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen	20
Tabelle A.2 – Peak-Absorption von SF ₆ und Verunreinigungen	29
Tabelle C.1 – AGW für SO ₂ , HF und S ₂ F ₁₀	35
Tabelle C.2 – SOF ₂ -Entwicklungsrate	36

1 Anwendungsbereich

Schwefelhexafluorid (SF_6), Stickstoff (N_2) und Tetrafluormethan (CF_4) sind allgemein gebräuchliche Gase für elektrische Betriebsmittel. Unter Berücksichtigung der Umweltbelange ist besonderes Augenmerk auf die Wiederverwendungskriterien für SF_6 und seine Gemische mit N_2 und CF_4 , wie sie in elektrischen Betriebsmitteln verwendet werden, zu richten.

Diese internationale Norm legt Kriterien fest für die Wiederverwendung von SF_6 und seinen Gemischen nach der Rückgewinnung aus elektrischen Betriebsmitteln und der Regenerierung (z. B. bei der Instandhaltung oder nach Betriebsende). Verfahren zur Rückgewinnung und Regenerierung von gebrauchtem SF_6 und seinen Gemischen fallen nicht in den Anwendungsbereich dieser Norm und sind in der **IEC 62271-4** beschrieben.

Eine Beschreibung der verschiedenen Analysemethoden, der Neben- und Zersetzungsprodukte, des Verfahrens zur Bewertung der möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von Zersetzungsprodukten, der kryogenen Rückgewinnung von SF_6 und der Rückgewinnungsempfehlungen sind in den Anhängen dieser Norm aufgeführt.

Lagerung, Transport und Entsorgung von SF_6 und seinen Gemischen liegen nicht im Anwendungsbereich dieser Norm und sind in **IEC 62271-4** festgelegt. Verfahren zur Bestimmung von SF_6 -Leckagen sind in IEC 60068-2-17 beschrieben.

Für die Zwecke dieses Dokuments sind die in SF_6 -Gemischen verwendeten Komplementärgase auf N_2 oder CF_4 beschränkt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60068-2-17, *Basic environmental testing procedures – Part 2: Tests – Test Q: Sealing*

IEC 60050(191), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 191: Dependability and quality of service*

IEC 60050(212), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 212: Insulating solids, liquids, gases*

IEC 60050(441), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

IEC 60050(826), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 826: Electrical installations of buildings*

IEC 60376, *Specification of technical grade sulphur hexafluoride (SF_6) and complementary gases that can be used in its mixtures for use in electrical equipment*

IEC 62271-4 (2013), *High-voltage switchgear and controlgear – Part 4: Handling procedures for sulphur hexafluoride (SF_6) and its mixtures*

3 Begriffe

3.1 Allgemein

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die Begriffe und Definitionen, die in der IEC 60050-191, IEC 60050-212, IEC 60050-441 und IEC 60050-826 enthalten sind, sowie die folgenden Begriffe.

3.2

Elektrische Ausrüstung

alle Objekte, die zum Zwecke der Erzeugung, Umwandlung, Übertragung, Verteilung und Anwendung von elektrischer Energie benutzt werden, wie Maschinen, Transformatoren, Schaltgeräte, Messgeräte, Schutzrichtungen, Kabel und Leitungen, Stromverbrauchsgeräte, Isolierbuchsen, Überspannungsableiter.

[IEC 60050-826:2004, 826-16-01, modifiziert— „Isolierbuchsen, Überspannungsableiter“ wurde hinzugefügt.]

3.3

Gefäß

Gefäß (Zylinder), das für die Eindämmung von Druckgas in entweder gasförmiger oder flüssiger Phase vorliegt, entsprechend internationaler Sicherheits- und Transportbestimmungen.

3.4

gebrauchtes Schwefelhexafluorid

SF₆, das in elektrische Betriebsmittel eingefüllt wurde.

3.5

Aufbereitung

Entfernen von löslichen und unlöslichen Verunreinigungen aus einer Isolierflüssigkeit oder einem Isoliergas.

[IEV 212-09-05, modifiziert]

3.6

Rückgewinnung

Überführung von Gas aus einem elektrischen Betriebsmittel in ein Aufbereitungsgerät oder Behälter.

3.7

SF₆-Gemische

Gasgemische aus SF₆ und einem weiteren Gas, typischer Weise N₂ oder CF₄.

3.8

Verunreinigung

Fremdstoffe oder -materialien in einer isolierenden Flüssigkeit oder einem Gas, die üblicherweise eine oder mehrere Eigenschaften negativ beeinflussen.

[IEC 60050-212:2010, 212-17-27, modifiziert]

3.9

Zersetzungsprodukte

Verunreinigungen, die durch die Zersetzung von SF₆ und seinen Gemischen entstehen.

3.10

Umgebungsluft

Normale Atmosphäre, in der sich die Betriebsmittel befinden.

[IEC 60079-29-2, ed. 2.0 (2015-03)]

4 Verunreinigungen und ihre Ursachen

4.1 Einleitung

Aus elektrischen Betriebsmitteln Rückgewonnenes SF₆ enthält verschiedene Verunreinigungen. Die zu erwartenden zusätzlichen Verunreinigungen in SF₆, das aus Betriebsmitteln entnommen wurde, stammen aus der Handhabung des Gases und dem Betrieb des Gerätes.

Tabelle 1 fasst die verschiedenen Verunreinigungen und ihre Ursachen zusammen. Zusätzliche Informationen sind in [Anhang B](#) enthalten.

Tabelle 1 – SF₆-Verunreinigungen

SF ₆ -Situation und Gebrauch	Ursache der Verunreinigung	Mögliche Verunreinigung
Während der Handhabung	Leckagen und unvollständige Evakuierung Desorption	Für reines SF ₆ : Luft, Öl, H ₂ O Für SF ₆ -Gemische: Luft, Öl, H ₂ O, N ₂ , CF ₄
Isolierfunktion	Teilentladungen (z. B. Koronaentladungen) und Überschlüge und Funkenbildung mit geringer Energie	Gasförmige Zersetzungsprodukte: HF, SO ₂ , SOF ₂ , SOF ₄ , SO ₂ F ₂ Für SF ₆ -Gemische: HF, SO ₂ , SOF ₂ , SOF ₄ , SO ₂ F ₂ , NO _x , NF _x
Schaltgeräte	Erosion aus Schaltlichtbogen	Gasförmige Zersetzungsprodukte: HF, SO ₂ , SOF ₂ , SOF ₄ , SO ₂ F ₂ , SF ₄ , CF ₄ , WF ₆ Feste Zersetzungsprodukte: Metallstäube, Teilchen, AlF ₃ , FeF ₃ , WO ₃ , CuF ₂ Für SF ₆ -Gemische: HF, SO ₂ , SOF ₂ , SOF ₄ , SO ₂ F ₂ , NO _x , NF _x
	Mechanische Erosion	Metallstäube, Teilchen
Interner Lichtbogen	Schmelzen und Zersetzung von Werkstoffen	Gasförmige Zersetzungsprodukte: HF, SO ₂ , SOF ₂ , SOF ₄ , SO ₂ F ₂ , SF ₄ , CF ₄ , WF ₆ Feste Zersetzungsprodukte: Metallstäube, Teilchen, AlF ₃ , FeF ₃ , WO ₃ , CuF ₂ Für SF ₆ -Gemische: HF, SO ₂ , SOF ₂ , SOF ₄ , SO ₂ F ₂ , NO _x , NF _x

4.2 Verunreinigungen aus der Handhabung und aus dem Betrieb

Befüllen und Entleeren der Betriebsmittel kann zur Aufnahme von Umgebungsluft und Wasserdampf (Feuchtigkeit) führen.

Feuchtigkeit kann auch von Innenflächen des Betriebsmittels und von Polymerteilen desorbiert werden. Öl aus den Handhabungsgeräten (Pumpen und Kompressoren) kann auch unbeabsichtigt in das SF₆ gelangen.

Bei der Verwendung von Gasgemischen ist die Möglichkeit einer Kreuzkontamination (Verunreinigung eines Gasgemisches durch ein anderes) zu berücksichtigen.

4.3 SF₆-Verunreinigungen in einem Betriebsmittel nur mit Isolierfunktion

Der wesentliche Prozess ist die Zersetzung von SF₆ durch Teilentladungen (z. B. Koronabildung) sowie Überschlügen und Funkenbildung mit geringer Energie. Zwischenprodukte sind Bruchstücke von SF₆, wie

SF₅, SF₄ und F, die sich mit O₂ und H₂O kombinieren und Verbindungen bilden, hauptsächlich HF, SO₂, SOF₂, SOF₄ und SO₂F₂. Infolge der geringen Energie der Teilentladungen, Überschlüge und Funkenbildung sind die sich ansammelnden Mengen dieser Verbindungen üblicherweise vernachlässigbar.

4.4 SF₆-Verunreinigungen in Schaltgeräten

Während der Stromunterbrechung führen Lichtbögen mit hoher Temperatur zur Bildung von Zersetzungsprodukten aus SF₆, verdampftem Elektrodenmaterial, polymeren Werkstoffen und Verunreinigungen. Zusätzlich finden zwischen den gebildeten Produkten (siehe [Tabelle 1](#)) chemische Reaktionen statt.

Die Menge dieser Nebenprodukte wird durch die Anzahl von Schaltungen, die Konstruktion des Betriebsmittels und den Einsatz von Adsorbens (feste Adsorptionsmittel) bestimmt.

Schaltgeräte können auch Teilchen und Metallabrieb aus der Reibung von Kontakten enthalten.

4.5 SF₆-Zersetzungsprodukte aufgrund interner Lichtbögen

Das Auftreten eines Störlichtbogens ist äußerst selten. Die zu erwartenden Verunreinigungen in SF₆ in fehlerhaften Geräten sind ähnlich denen, die normalerweise in Schaltgeräten zu finden sind. Der Unterschied liegt in der Menge der Verbindungen, die ein potenzielles toxisches Risiko darstellen (siehe [Abschnitt 9](#)). Zusätzlich kommt es zu einer signifikanten Verdampfung von metallischen Werkstoffen, die zusätzliche Reaktionsprodukte wie Staub hervorruft.

4.6 Spezifische Zersetzungsprodukte von SF₆-Gemischen

Für SF₆-Gemische entstehen die in [Tabelle 1](#) aufgeführten üblichen SF₆-Zersetzungsprodukte und Mischungsspezifische Zersetzungsprodukte, wie Stickoxid(e) und Stickstofffluorid(e) für SF₆/N₂ und Fluorkohlenstoff(e) für SF₆/CF₄. Die Mengen hängen von der Zusammensetzung des Gemisches, den Verunreinigungen und der eingebrachten Energie ab. Bei typischen SF₆-Gemischen ist nicht zu erwarten, dass der Zersetzungsanteil den von reinem SF₆ übersteigt.

Bei in Gemischen entstandenen Zersetzungsprodukten sind SF₆-Zersetzungsprodukte in der Regel mengenmäßig und toxisch ausschlaggebend. Sicherheitsvorkehrungen in Bezug auf das Vorhandensein der üblichen SF₆-Zersetzungsprodukte gelten auch für Anwendungen mit SF₆-Gemischen.

5 Anforderungen für aufbereitetes SF₆

Tabelle 2 – Anforderungen für aufbereitetes SF₆

Stoffe ^(a)	Konzentration
SF ₆	> 97 % Volumenanteil
Luft und/oder CF ₄	< 30 000 µl/l (d. h. 3 % Volumenanteil)
H ₂ O	< 200 µl/l (d. h. 200 ppmv)
Mineralöl	< 10 mg/kg ^(b) (d. h. 10 ppmw)
Säuregehalt	< 50 µl/l gesamt (d. h. 50 ppmv) oder 12 µl/l (d. h. 12 ppmv) für (SO ₂ +SOF ₂) oder 25 µl/l (d. h. 25 ppmv) HF
a) H₂S und CO wurden wegen des Mangels an verwertbaren Daten als irrelevant eingestuft. b) Werden Gashandhabungsgeräte (Pumpe, Kompressor) eingesetzt, die Öl enthalten, kann es erforderlich sein, den Ölgehalt des SF₆ zu messen. Wenn alle Geräte, die mit SF₆ in Berührung kommen, ölfrei sind, dann ist es nicht erforderlich, den Ölgehalt zu messen.	

Für die Bestimmung des Gesamtsäuregehaltes wird die Summe aller sauren Verbindungen gebildet. 50 l/l Gesamtsäuregehalt entspricht annäherungsweise 12 µl/l für (SO₂+SOF₂) oder 25 µl/l HF

6 Anforderungen für SF₆-Gemische

Tabelle 3 – Anforderungen für SF₆/N₂-Gemische

Stoffe	Konzentration
N ₂	Muss den Herstellerangaben entsprechen
SF ₆ -Anteil	±5 % Volumenanteil, bezogen auf Zielwert ^(a)
Luft und CF ₄	< 30 000 µl/l (d. h. 3 % Volumenanteil) ^(a)
H ₂ O	< 200 µl/l (d. h. 200 ppmv)
Mineralöl	< 10 mg/kg ^(b) (d. h. 10 ppmw)
Gesamtsäuregehalt	< 50 µl/l gesamt (d. h. 50 ppmv) oder 12 µl/l (d. h. 12 ppmv) für (SO ₂ +SOF ₂) oder 25 µl/l (d. h. 25 ppmv) HF
Lagerungsbedingungen	
muss J.7 der IEC 62271-4 entsprechen, um eine Verflüssigung von SF ₆ zu vermeiden	
a) wenn nicht anders vom Hersteller angegeben. b) Werden Gashandhabungsgeräte (Pumpe, Kompressor) eingesetzt, die Öl enthalten, kann es erforderlich sein, den Ölgehalt des SF₆ zu messen. Wenn alle Geräte, die mit SF₆ in Berührung kommen, ölfrei sind, dann ist es nicht erforderlich, den Ölgehalt zu messen.	

Tabelle 4 – Anforderungen für SF₆/CF₄-Gemische

Stoffe	Konzentration
CF ₄	Muss den Herstellerangaben entsprechen
SF ₆ -Anteil	±5 % Volumenanteil, bezogen auf Zielwert ^(a)
Luft und N ₂	< 30 000 µl/l (d. h. 3 % Volumenanteil) ^(a)
H ₂ O	< 200 µl/l (d. h. 200 ppmv)
Mineralöl	< 10 mg/kg ^(b) (d. h. 10 ppmw)
Gesamtsäuregehalt	< 50 µl/l gesamt (d. h. 50 ppmv) oder 12 µl/l (d. h. 12 ppmv) für (SO ₂ +SOF ₂) oder 25 µl/l (d. h. 25 ppmv) HF
Lagerungsbedingungen	
muss J.7 der IEC 62271-4 entsprechen, um eine Verflüssigung von SF ₆ zu vermeiden	
a) wenn nicht anders vom Hersteller angegeben. b) Werden Gashandhabungsgeräte (Pumpe, Kompressor) eingesetzt, die Öl enthalten, kann es erforderlich sein, den Ölgehalt des SF₆ zu messen. Wenn alle Geräte, die mit SF₆ in Berührung kommen, ölfrei sind, dann ist es nicht erforderlich, den Ölgehalt zu messen.	

7 Aufbereiten von SF₆ und SF₆-Gemischen

7.1 Machbarkeit und Verfahren

Die Qualität des aufbereiteten SF₆ muss den Anforderungen dieser Norm entsprechen.

Alle auftretenden Verunreinigungen entstehen im Normalbetrieb und können in der Regel vor Ort beseitigt werden. In Tabelle 5 sind die empfohlenen Methoden zur Entfernung der in [Tabelle 1](#) aufgeführten Verunreinigungen aufgeführt.

Tabelle 5 – Allgemeine Verunreinigungen und Methoden zur Entfernung

Kontamination	Feuchtigkeit (Wasserdampf)	Gasförmige Zersetzungsprodukte	Feste Zersetzungs- produkte	Luft, N ₂ , CF ₄	Mineralöl
Aufbereitungs- verfahren	Adsorption mit Molekularsieb	Adsorption mit aktiviertem Aluminiumoxid	Feststofffilter	Trennung durch kryogene Prozesse oder Membranfiltration	Adsorption mit Aktivkohlefilter
ANMERKUNG Bei SF ₆ -Gemischen können die gasförmigen Verunreinigungen nicht ohne weiteres vor Ort entfernt werden. In jeder Situation sollte eine Bewertung der Aufbereitungsoptionen vorgenommen werden, um festzustellen, ob das Gemisch vor Ort aufbereitet werden kann.					

Verschiedene Arten von Adsorptionsmitteln stehen zur Verfügung, um Verunreinigungen von SF₆-Gas zu entfernen (siehe [Tabelle 6](#)).

Tabelle 6 – Übliche Adsorber für verschiedene SF₆-Verunreinigungen

Adsorber	Entfernte Kontamination
Molekularsieb 4A	Wasser, SO ₂ , SOF ₂ , SF ₄
Molekularsieb 13X	Wasser, SO ₂ , SOF ₂ , SF ₄ (adsorbiert ebenfalls kleine Mengen SF ₆)
Aktiviertes Aluminiumoxid	Wasser, SO ₂ , SOF ₂ , SF ₄ , HF
Natronkalk (CaO-NaOH)	Wasser, SO ₂ F ₂ , HF

Ergibt die Prüfung des Gases eine für die Wiederverwendung unzulässige Konzentration von Verunreinigungen, so ist je nach Grad und Art der Verunreinigung eine Entscheidung über das Aufbereitungsverfahren zu treffen. In der Regel ist die Vor-Ort-Aufbereitung des Gases mit einem Servicegerät und einer Trennanlage der zu bevorzugende Ansatz. Ist eine Aufbereitung jedoch nicht möglich, ist eine Entsorgung erforderlich. In diesem Fall muss das Gas an den SF₆-Hersteller oder -aufbereiter geschickt werden.

Bild 1 definiert das Auswahlverfahren zur Bestimmung der bestmöglichen Verwendung von SF₆ nach der Rückgewinnung für eine mögliche Aufbereitung.

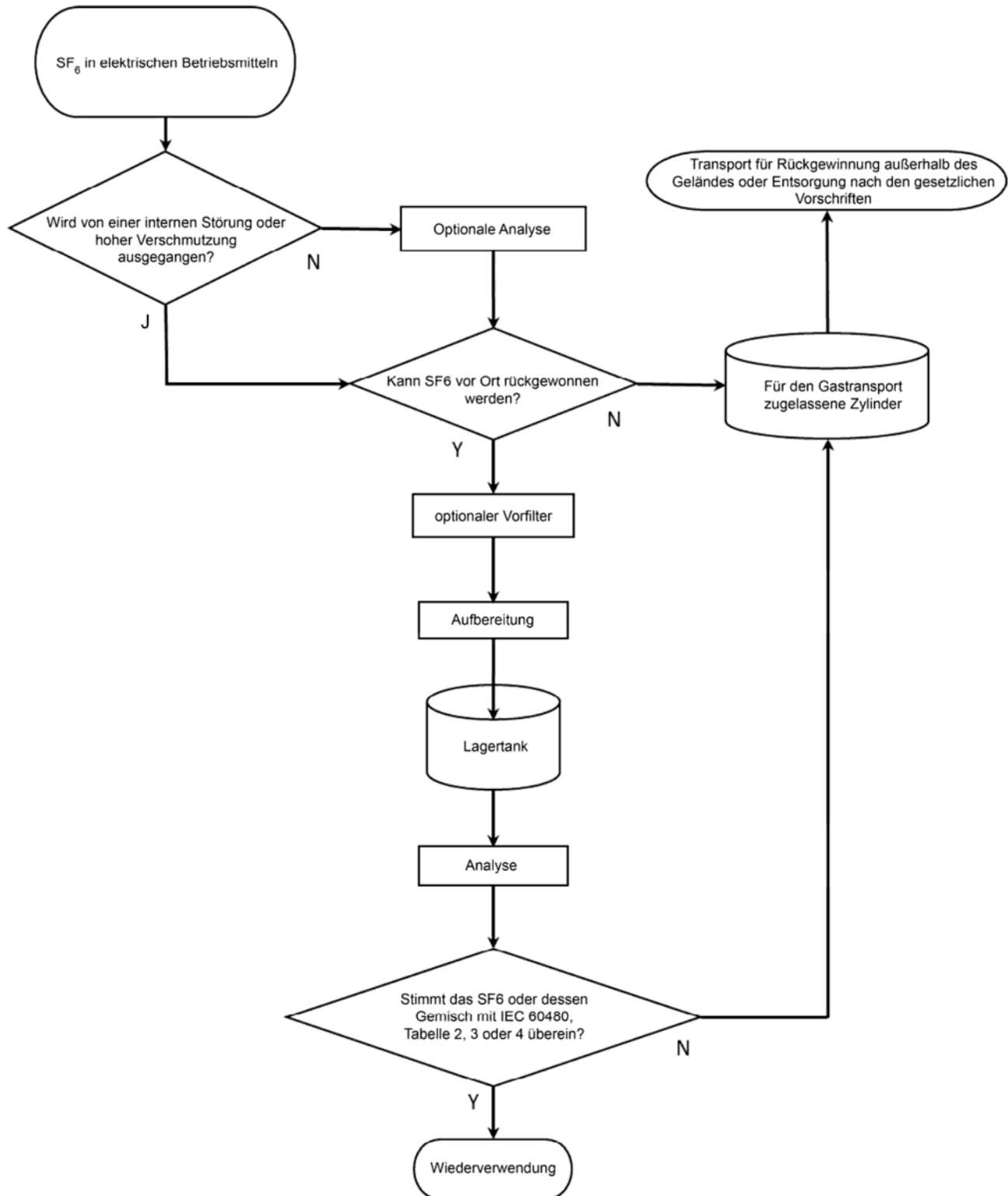


Bild 1 – Entscheidungs-Flussdiagramm für die Bestimmung des wiedergewonnenen SF₆

- Bei Verunreinigungen mit Wasser oder Zersetzungsprodukten hängt die Frage, ob das SF₆ vor Ort aufbereitet werden kann, nur von der Leistungsfähigkeit der verfügbaren Filter ab. Um die Effizienz des Aufbereitungsprozesses zu erhöhen, kann der Einsatz externer Vorfilter erforderlich sein. Wenn das SF₆ nicht vor Ort aufbereitbar ist, ist es an den SF₆-Hersteller zurückzusenden oder an ein Verwertungs- oder Entsorgungsunternehmen zu senden.

- Der Fall einer Kontamination mit Luft, N_2 und/oder CF_4 ist gesondert zu betrachten.
- Wenn bei reinem SF_6 die Konzentration von Luft und/oder CF_4 den in [Tabelle 2](#) angegebenen maximal zulässigen Verunreinigungswert überschreitet und wenn der Behälter, aus dem die Probe entnommen wurde, flüssiges SF_6 enthält, soll SF_6 aus der Gasphase in einen zweiten Behälter überführt werden. Der Transfer sollte so lange fortgesetzt werden, bis eine Probe aus dem ersten Behälter die maximal zulässigen Werte einhält. Der Inhalt des zweiten Behälters kann vor Ort nicht aufbereitet werden. Jeder Behälter, der kein flüssiges SF_6 enthält, d. h. nur die Gasphase, erfordert nur die Analyse einer Probe für Luft und CF_4 um festzustellen, ob er für die Wiederverwendung geeignet ist oder nicht vor Ort aufbereitet werden kann;
- Wenn die Konzentration von Luft, N_2 und/oder CF_4 bei SF_6 -Gemischen den in [Tabelle 3](#) oder [4](#) angegebenen maximal zulässigen Verunreinigungswert überschreitet, sollte eine Bewertung der Aufbereitungsoptionen vorgenommen werden um festzustellen, ob das Gemisch vor Ort aufbereitet werden kann.

7.2 Prüfverfahren zur Bestimmung der Gasqualität

7.2.1 Einleitung

Die Prüfverfahren sind bei Gasproben anzuwenden. Einzelheiten zu den Verfahren, zur Probenahme und zu den Analysemethoden sind in [Anhang A](#) enthalten.

7.2.2 Vor-Ort-Analyse

Werden Vor-Ort-Analysesysteme eingesetzt, so sind diese mit einem Gasrückführungssystem auszurüsten. Die Freisetzung von SF_6 in die Atmosphäre ist zu vermeiden und die Sicherheit des Personals ist zu gewährleisten. Die vor Ort verfügbaren Analysemethoden sind in [Tabelle 7](#) bzw. [Anhang A](#) dargestellt.

Bei Verdacht auf eine hohe Konzentration von Zersetzungsprodukten (siehe [Abschnitt 4](#)), ist darauf zu achten, dass das Messgerät keinen Schaden nimmt.

Tabelle 7 – Vor-Ort-Verfahren

Stoffe	Erkennungsverfahren
SF ₆	Portabler Gaschromatograph mit Wärmeleitfähigkeitsdetektor (GC-TCD) IR-Absorption Kondensationsverfahren Schallverfahren
N ₂ in SF ₆ -Gemisch	Portabler Gaschromatograph mit Wärmeleitfähigkeitsdetektor (GC-TCD) IR-Absorption [ANMERKUNG 1] Schallverfahren [ANMERKUNG 1] [ANMERKUNG 2]
CF ₄ in SF ₆ -Gemisch	Portabler Gaschromatograph mit Wärmeleitfähigkeitsdetektor (GC-TCD) IR-Absorption Schallverfahren [ANMERKUNG 1] [ANMERKUNG 2]
Zersetzungsprodukte: SO ₂ , SOF ₂ , SO ₂ F ₂	Portabler Gaschromatograph mit Wärmeleitfähigkeitsdetektor (GC-TCD) IR-Absorption Elektrochemischer Sensor
HF	IR-Absorption Elektrochemischer Sensor
Luft und CF ₄	Dichtemessgerät (für %-Satz von SF ₆) Portabler Gaschromatograph mit Wärmeleitfähigkeitsdetektor (GC-TCD)[ANMERKUNG 3] IR-Absorption
Wasser (Feuchtigkeit)	Elektronisches Hygrometer Taupunktspiegel-Hygrometer IR-Absorption Elektrochemischer Sensor
Mineralöl	Prüfröhrchen
ANMERKUNG 1 Indirekte Quantifizierung durch Subtraktion des SF ₆ -Gehaltes.	
ANMERKUNG 2 Gilt nur, wenn die Zusammensetzung des Gemisches bekannt ist.	
ANMERKUNG 3 Die Gaschromatographie wird nur bei SF ₆ -Gemischen zur Bestimmung der Konzentration von N ₂ oder CF ₄ in SF ₆ -Gemischen eingesetzt.	

7.2.3 Laboranalyse

Steht vor Ort keine Ausrüstung zur Verfügung, sollten die folgenden empfohlenen Techniken angewendet werden. Labormethoden sollen eine quantitative Beurteilung der Verunreinigungen in einer Gasprobe ermöglichen.

Wasser ist die einzige Verunreinigung, die mit einem Probenahmezylinder nicht genau bestimmt werden kann. Der Wassergehalt einer Probe in einem Zylinder, die aus einem Gefäß entnommen wird, ist nicht repräsentativ für den Wassergehalt im Gefäß, da Wasser auf allen Oberflächen adsorbiert. Deshalb sollte die Wasseranalyse immer direkt am Gefäß vor Ort durchgeführt werden. Es gibt keine empfohlene Reihenfolge der Analyse.

Tabelle 8 – Labormethoden

Verunreinigung	Vorhandene Methoden
SF ₆	Gaschromatograph [ANMERKUNG 2] IR-Absorption
N ₂ in Gas-Gemisch	Gaschromatograph [ANMERKUNG 2]
CF ₄ in Gas-Gemisch	Gaschromatograph [ANMERKUNG 2] IR-Absorption
Luft: O ₂ und N ₂	Gaschromatograph [ANMERKUNG 2]
CF ₄ als Verunreinigung	Gaschromatograph [ANMERKUNG 2] IR-Absorption
Öl	IR-Absorption Gaschromatograph [ANMERKUNG 2]
Zersetzungsprodukte (Gesamtsäuregehalt): SO ₂ , SOF ₂ , SO ₂ F ₂ , SF ₄ , HF [ANMERKUNG 1]	Gaschromatograph [ANMERKUNG 2] Ionenchromatographie IR-Absorption Nasschemie
Anmerkung 1 Ionenchromatographie, Infrarotabsorption und Nasschemie sind die einzigen verfügbaren Methoden zur Quantifizierung von HF.	
Anmerkung 2 Die Gaschromatographie kann mit geeigneten Detektoren zur Bestimmung der Verunreinigungen oder zur Kontrolle der Mischgaskonzentrationen durchgeführt werden.	

8 Handhabung, Lagerung und Transport (informativ)

Siehe IEC 62271-4.

9 Sicherheit und Erste Hilfe

9.1 Allgemeine Sicherheitsregeln

9.1.1 Einleitung

Vor Beginn von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an elektrischen Betriebsmitteln ist eine eingehende Prüfung des Gerätezustands durchzuführen und zu dokumentieren. Zusätzlich zu den örtlichen Sicherheitsvorschriften sind mindestens folgende allgemeine Sicherheitsvorschriften zu beachten:

- Schalten und isolieren;
- Gegen Wiederverschließen sichern;
- Vergewissern, dass das Gerät spannungslos ist;
- Gerät erden und kurzschließen;
- Abdecken oder Umzäunen von nahegelegenen spannungsführenden Teilen.

Dokumente, die die Erlaubnis zum Arbeiten an den elektrischen Betriebsmitteln erteilen, müssen sowohl vom Eigentümer/Nutzer der Anlage als auch vom Dienstleister unterzeichnet werden.

Tabelle 9 listet die wichtigsten Punkte auf, die bei der Arbeit an mit SF₆ gefüllten Betriebsmitteln zu beachten sind.

Tabelle 9 – Maßnahmen bei Arbeiten an mit SF₆ gefüllten Betriebsmitteln

Element	Arbeiten in der Nähe von Geräten (Bedienung der Geräte, Sichtkontrolle, Raumreinigung)	Befüllung, Rückgewinnung, Evakuierung von Gasräumen	Öffnen von Gasräumen, Arbeiten an offenen Gasräumen
Sicherheitsdatenblatt/Betriebs- anleitungen	Nicht erforderlich	Anzuwenden	Anzuwenden
Schulungen	Anzuwenden [ANMERKUNG]	Anzuwenden	Anzuwenden
SF ₆ -Handhabungsgeräte	Nicht erforderlich	Anzuwenden	Anzuwenden
Reinigungs-/Neutralisierungsgeräte	Nicht erforderlich	Nicht erforderlich	Anzuwenden
Persönliche Schutzausrüstung	Nicht erforderlich	Nicht erforderlich	Anzuwenden
ANMERKUNG Die allgemeinen Informationen sind nach Art der Arbeiten und der Installation sowie nach den örtlichen Sicherheitsvorschriften zu spezifizieren.			

Ein Hinweis, dass offenes Feuer, offene Flammen (z. B. Streichhölzer), Rauchen, Einsatz von Wärmekraftmaschinen, Erwärmung auf mehr als 200 °C und Schweißen ohne besondere Vorsichtsmaßnahmen verboten sind, sowie Anweisungen zur Ersten Hilfe (siehe 9.3) sind während der Handhabung von SF₆ an jedem Ort anzubringen.

Beim Öffnen eines Gasraumes nach der Inbetriebnahme der elektrischen Betriebsmittel sollte das Personal geeignete Schutzkleidung tragen, um den Kontakt mit den eventuell vorhandenen feinen festen Zersetzungsprodukten zu vermeiden. Besondere Aufmerksamkeit sollte dem Schutz der Augen und der Atemwege gewidmet werden. Das Personal, das in oder in der Nähe von geöffneten Gasräumen arbeitet, die normal oder stark zersetztes SF₆ enthalten haben, sollte:

- geeignete Werkzeuge und Vorrichtungen verwenden;
- geeignete Schutzkleidung tragen (siehe Tabelle 10 und 9.1.5);
- hohe Anforderungen an die persönliche Hygiene erfüllen;
- sich selbst und ihre Ausrüstung mit Einwegmaterial reinigen, bevor sie den Arbeitsbereich verlassen;
- Schutzkleidung ausziehen und nach Verlassen des Arbeitsbereichs so schnell wie möglich gründlich waschen;
- sicherstellen, dass Kleidungsstücke, Werkzeuge und Komponenten, die mit den Zersetzungsprodukten in Berührung gekommen sind, sicher in versiegelte Beutel oder andere versiegelte Behälter verpackt und anschließend so behandelt werden, dass alle Rückstände neutralisiert werden.

9.1.2 Personenschutz

SF₆ wird nur von zertifiziertem Personal bedient. Je nach Art der Arbeiten an den elektrischen Betriebsmitteln, können unterschiedliche Ausbildungsmodule eingesetzt werden.

Für das Öffnen oder Betreten des Gasraums durch das Personal ist eine spezielle Schulung erforderlich, die sich mit der Rückgewinnung von gebrauchtem SF₆ aus einem gasgefüllten Raum befasst. Die Betriebsanleitung der vom Erstausrüster gelieferten Geräte ist unbedingt zu beachten.

Tabelle 10 gibt einen Überblick über die möglichen Gefahren, Sicherheitsvorkehrungen sowie Schutzausrüstung und Werkzeuge, die beim Öffnen oder Betreten eines Gasraumes erforderlich sind. Es gibt keinen wesentlichen Unterschied zwischen Innen- und Außenbedingungen, wenn der Bediener den Gasraum öffnet oder betritt.

Tabelle 10 – Sicherheitsmaßnahmen beim Öffnen und Betreten von Gasräumen

Element	Jeder Gasraum mit normal oder stark zersetztem SF ₆	Jeder Gasraum mit nicht zersetztem SF ₆
Mögliches Risiko	Dämpfe von Reinigungsmitteln O ₂ -Mangel Verbleibendes benutztes SF ₆ Restliche reaktionsfähige gasförmige Zersetzungsprodukte Feste Zersetzungsprodukte und Adsorbermaterialien	Dämpfe von Reinigungsmitteln O ₂ -Mangel Verbleibendes benutztes SF ₆ oder Verunreinigungen vom Produktionsprozess
Sicherheitsvorkehrungen	Entfernung von festen Zersetzungsprodukten und Adsorbermaterialien Belüftung Messung der O ₂ -Konzentration beim Eintritt Persönliche Schutzausrüstungen tragen Feste Zersetzungsprodukte vor Hydrolyse schützen	Belüftung Messung der O ₂ -Konzentration beim Eintritt
Sicherheitsausrüstung und -werkzeuge	Saugventilator oder Staubsauger O ₂ -Konzentrationsmessgerät Einweg-Schutzoverall, Schutzhandschuhe, Haarschutzkappe Säurefeste Schutzhandschuhe Vollgesichtsmaske (bevorzugt) oder zumindest Atemschutzmaske Schutzbrille Schutz vor Umwelteinflüssen wie Regen oder Wind (nur im Freien)	Saugventilator oder Staubsauger O ₂ -Konzentrationsmessgerät

Sinkt die Sauerstoffkonzentration auf unter 160 ml/l (16 % Volumenanteil), steigt das Erstickungsrisiko. Daher sollte der Sauerstoffgehalt im Gasraum und in engen Räumen vor dem Öffnen oder Betreten überprüft werden, um dieses Risiko zu verringern.

Essen, Trinken und Rauchen sind beim Betreten oder Öffnen eines Gasraumes verboten. Es wird empfohlen, die Kleidung so schnell wie möglich nach der Arbeit zu wechseln und die Haut zu waschen, um eine mögliche Gefahr von Irritationen oder Verbrennungen zu vermeiden.

9.1.3 Umgang mit kontaminierten Schutzausrüstungen und Werkzeugen

Geräte und Werkzeuge, die mit festen Zersetzungsprodukten oder Adsorbermaterialien in Berührung gekommen sind, gelten als kontaminiert. Sie werden anschließend gesammelt und in Plastiktüten verpackt. Die Plastiktüten werden mit Klebeband versiegelt und etikettiert. Die Entsorgung erfolgt nach den örtlichen Vorschriften.

Wiederverwendbare Geräte und Werkzeuge sollten gewaschen und in einer Wasser/Soda-Lösung mit 10 % Massenanteil flüssigem Soda oder gleichwertiger Lösung neutralisiert und anschließend mit sauberem Wasser abgespült werden. Beispiele für Neutralisationslösungen sind in [Tabelle 11](#) aufgeführt.

Die Entsorgung sowohl der Wasser-/Sodalösung als auch des Abwassers erfolgt nach den örtlichen Vorschriften.

Tabelle 11 – Neutralisierende Lösungen

Wirkstoff	Formel	Konzentration kg/100 l	T1 [ANM 1] Std.	T2 [ANM 2] Std.	Referenz
Kalk	Ca(OH) ₂	gesättigt	Nicht anwendbar	24	[9]
Natriumcarbonat (Waschsoda)	Na ₂ CO ₃	1,1	Nicht anwendbar	24	[10]
		3	Waschen	Nicht anwendbar	[9]
		10 [ANM. 3]	Nicht anwendbar	0,25	[11]
		10-14 [ANM. 3]	1	48	[12]
		3	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	[13]
Natriumbikarbonat	NaHCO ₃	1 [ANM. 4]	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar –	[9]
ANMERKUNG 1 Wiederverwendbare Schutzausrüstung, Werkzeuge, Gasräume und Innenteile von Gasräumen, die normal zersetztes SF₆ enthielten, sollten, soweit durchführbar, für einen Zeitraum T1 mit einer Neutralisationslösung behandelt werden. Anschließend sollten sie mit klarem Wasser abgespült werden. ANMERKUNG 2 Wiederverwendbare Schutzausrüstung, Werkzeuge, Gasräume und Innenteile von Gasräumen, die stark zersetztes SF₆ enthielten, sollten, soweit durchführbar, für einen Zeitraum T2 mit einer Neutralisationslösung behandelt werden. Anschließend sollten sie mit klarem Wasser abgespült werden. ANMERKUNG 3 Bei der Verwendung von alkalischen Lösungen in solch hohen Konzentrationen ist darauf zu achten, dass der Kontakt mit der Haut und den Augen vermieden wird. ANMERKUNG 4 Empfohlen zum Waschen der Haut.					

9.1.4 Druckgeräte und Werkzeuge oder Messgeräte

Wie bei jedem Druckgas führt eine plötzliche Volumenausdehnung zu einem lokalen Temperaturabfall und kann zum Gefrieren führen. Bei Arbeiten an Hochdruckleitungen, Ventilen oder Anschlüssen sowie beim Befüllen sind geeignete Isolierhandschuhe (z. B. Leder, nicht Latex) und Schutzbrille zu tragen.

Alle Geräte und Werkzeuge, die bei der Handhabung von SF₆ verwendet werden, enthalten möglicherweise gasförmige oder flüssige SF₆ unter hohem Druck. Sie sollten mit Vorsicht behandelt werden.

9.1.5 Persönliche Sicherheits- und Schutzausrüstung

Die Verwendung von persönlicher Sicherheits- und Schutzausrüstung steht nicht im Zusammenhang mit dem mit SF₆ gefüllten elektrischen Betriebsmittel selbst. Bei Arbeiten in der Nähe der Schaltanlage können gemäß den örtlichen Vorschriften Sicherheitsschuhe, Helm und Schutzbrille erforderlich sein.

Im Falle einer anormalen Freisetzung von SF₆ aufgrund eines externen Feuers oder eines Störlichtbogens gelten zusätzliche Sicherheitsvorschriften für das Betreten eines Schaltanlagenraums nach 9.2.

Abhängig von der Art der auf der Baustelle auszuführenden Arbeiten und gemäß Tabelle 10, sind die mit der Handhabung von SF₆ beschäftigten Arbeiter mit folgenden persönlichen Schutzausrüstungen auszustatten:

- Schutzhandschuhe: geeignete säurebeständige Handschuhe aus z. B. Neopren, PVC, Gummi;
- Schutzbrille: chemische Industribrille nach den örtlichen Vorschriften (z. B. Europäische Norm EN 166);
- Atemschutzmaske: Die Atemschutzmaske dient in Verbindung mit einer Schutzbrille dem Schutz von Mund und Nase vor Staub und sollte bei nur geringer Staubbelastung verwendet werden;
- Vollmaske: Für Kurzzeitinspektionen und Arbeiten, bei denen eine Belüftung vorgesehen werden kann, bei denen jedoch die Konzentration der Zersetzungsprodukte den entsprechenden Maximalwert über-

steigen kann, wird eine Gesichtsmaske mit wechselbarem Aktivkohlefilter gemäß den örtlichen Vorschriften verwendet. (z. B. Europäische Normen EN 140, EN 141 und EN 143 spezifizieren Masken, Gasfilter und Partikelfilter);

ANMERKUNG Die nach diesen Normen hergestellten Kombifilter sind vom Typ A2/B2/E2/K2/P3 und bieten Schutz gegen Zersetzungsprodukte und Partikel mit einem Durchmesser von mehr als 1 µm.

- Einweg-Schutzoverall: staubdichte Schutzkleidung zum Tragen über normaler Kleidung, Schuhüberzieher, Haarnetz. Taschenlose, mit Kapuze versehene, nicht durchlässige (z. B. geklebte Polypropylen) Einweg-Overalls in Industriequalität mit elastischen Knöchel- und Handgelenkgriffen, die die Schuhe und Handschuhe überlappen;
- Atemschutzmaske: Beim Betreten von Innenanwendungen nach größeren Undichtigkeiten oder Störlichtbögen, wenn die Konzentration von O₂ oder die Menge an Zersetzungsprodukten nicht bekannt ist, wird eine Atemschutzmaske gemäß den örtlichen Vorschriften (z. B. Europäische Norm EN 136) verwendet;
- O₂-Konzentrationsmessgerät zur permanenten Überwachung des O₂-Gehaltes in der Umgebung;
- Schutz vor Umwelteinflüssen bei Außenarbeitsplätzen: temporäre Überdachung um das Eindringen von Regen und Wind bei geöffnetem Gasraum zu verhindern;
- Staubsauger: ein hocheffizienter dedizierter Staubsauger, der mit einem Filter ausgestattet ist, der Partikel im Bereich von 1 µm aufnehmen kann, und einer nichtmetallischen Düse mit offenem Ende gemäß den örtlichen Vorschriften (z. B. vom Typ H gemäß BS 5415, Nachtrag Nr. 1, 1986);
- Absaugventilator: Ausrüstung zur Fremdbelüftung von geschlossenen Räumen und anderen unzugänglichen Bereichen. Je nach Größe der Anlage kann es sich um tragbare oder fest installierte Geräte handeln.

9.1.6 Einrichtungen und Ausstattung

Müssen Gasräume, die zersetztes SF₆ enthalten, geöffnet werden, sollten angemessene Waschgelegenheiten für die Arbeiter zur Verfügung stehen und eine Wasserversorgung für die Herstellung von Reinigungslösungen erforderlich ist.

9.2 Zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen im Falle einer anormalen Freisetzung von SF₆ aufgrund eines externen Feuers oder eines Störlichtbogens

Allgemeine Sicherheitsempfehlungen, die beim Arbeiten mit SF₆ auf der Baustelle zu beachten sind, finden Sie in 9.1. Abschnitt 9.2 beschreibt zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen im Falle einer anormalen Freisetzung von SF₆ aufgrund eines externen Feuers oder eines Störlichtbogens.

Unter diesen Umständen ist es dem nach den Modulen C1 oder C2 (siehe IEC 62271-4, Anhang C) geschulten Personal gestattet, den Schaltraum zu betreten und zu reinigen oder Zugang zu den elektrischen Betriebsmitteln zu erhalten. Tabelle 12 gibt einen Überblick über die potenziellen Risiken, die Sicherheitsvorkehrungen sowie die erforderlichen Schutzausrüstungen und Werkzeuge.

ANMERKUNG Die Feuerwehr kann den Schaltraum unter den Bedingungen betreten, die in den örtlichen Vorschriften beschrieben sind.

Tabelle 12 – Zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen

Element	Anormale Freisetzung von stark zersetztem SF ₆	Anormale Freisetzung von nicht oder normal zersetztem SF ₆
Mögliches Risiko	Dämpfe von Reinigungsmitteln O ₂ -Mangel Anormal freigesetztes SF ₆ Restliche reaktionsfähige gasförmige Zersetzungsprodukte Feste Zersetzungsprodukte	Dämpfe von Reinigungsmitteln O ₂ -Mangel Anormal freigesetztes SF ₆
Sicherheitsvorkehrungen	Entfernung von festen Zersetzungsprodukten Be- und Entlüftung Messung der O ₂ -Konzentration beim Eintritt Persönliche Schutzausrüstungen tragen	Be- und Entlüftung Messung der O ₂ -Konzentration beim Eintritt
Sicherheitsausrüstung und -werkzeuge	Saugventilator oder Staubsauger O ₂ -Konzentrationsmessgerät Einweg-Schutzbekleidung, Schuhüberzüge, Haarnetz Säurefeste Schutzhandschuhe Vollgesichtsmaske (bevorzugt) oder zumindest Atemschutzmaske und Schutzbrille	Saugventilator oder Staubsauger O ₂ -Konzentrationsmessgerät

Die gleichen Regeln gelten für Bereiche unterhalb der Austrittsstelle, schlecht belüftete oder unbelüftete Bereiche (z. B. Kabelschächte, Inspektionsgruben, Entwässerungssysteme). Außenanlagen benötigen Standardmaßnahmen für die anzuwendenden Außenbedingungen (z. B. Regenschutz, Windschutz). Normalerweise reicht die natürliche Belüftung aus, um das potenzielle Risiko eines O₂-Mangels zu vermeiden.

Eine zweite Person, die in ständigem Sicht- und Hörkontakt steht, sollte anwesend sein, wenn der Arbeiter Bereiche betritt, die eine niedrige Sauerstoffkonzentration aufweisen können.

9.3 Erste-Hilfe-Ausrüstung und -Behandlung

9.3.1 Einleitung

Die Erste-Hilfe-Ausrüstung umfasst:

- Normale industrielle Erste-Hilfe-Ausrüstung, einschließlich Augenspülausrüstung, die eine Kochsalzlösung enthält;
- Ausrüstung zur Kontaktaufnahme mit dem Rettungsdienst;
- Leitfaden für Ärzte.

Die Anwendung der allgemeinen Sicherheitsvorschriften (siehe 9.1) soll die Wahrscheinlichkeit von Unfällen minimieren. Im Falle eines Unfalls sollte die Erste-Hilfe-Behandlung wie in den folgenden Abschnitten beschrieben durchgeführt werden.

9.3.2 Reizung der Haut

Bei Anzeichen von Hautirritationen wird das Personal aus dem Bereich evakuiert. Kontaminierte Kleidung wird entfernt und der betroffene Teil der Haut mit kaltem fließendem Wasser gewaschen.

ANMERKUNG Professioneller medizinischer Rat sollte eingeholt werden. Während medizinische Unterstützung angefordert wird, kann der betroffene Teil mit Calciumgluconat-Gel (Anti-Flusssäure-Gel) als Mittel auf der Haut aufgetragen werden, nachdem Fluoridsäure von der Haut abgewaschen wurde.

9.3.3 Reizung der Augen

Bei Anzeichen von Augenreizungen wird das Personal aus dem Bereich evakuiert. Das Auge bzw. die Augen werden gespült, bis eine medizinische Fachkraft dem Patienten mitteilt, dass er die Behandlung beenden kann.

9.3.4 Atemschwierigkeiten

Das gesamte Personal sollte den betroffenen Bereich unverzüglich evakuieren und sich an die frische Luft begeben. Kontaminierte Kleidung einer Person mit Atembeschwerden ist zu entfernen und diese Person mit einer Decke zu bedecken und ruhig und unter ständiger Beobachtung zu halten. Die ärztliche Notfallversorgung ist unverzüglich zu veranlassen. Bei Atemstillstand muss die Beatmung unverzüglich durch geschultes und qualifiziertes Personal eingeleitet werden.

10 Umweltaspekte

Die meisten entstehenden Zersetzungsprodukte rekombinieren im Gasraum zu SF₆ oder reagieren zu festen Zersetzungsprodukten, einige verbleiben als giftige gasförmige Zersetzungsprodukte, werden aber durch ein Molekularsieb gebunden. Am Ende der Lebensdauer werden alle gasförmigen Nebenprodukte und Molekularsiebe aus dem gasgefüllten Raum zurückgewonnen und dürfen nicht an die Umwelt abgegeben werden.

Größere Ausfälle, die zu Gasentladungen führen, sind äußerst selten, wie Aufzeichnungen aus 50 Jahren Erfahrung zeigen. Die in solchen Extremfällen freigesetzten Mengen sind wiederum sehr begrenzt durch die Tatsache, dass das Standarddesign der Anlagen die Gasmenge in viele Gasräume verteilt, wodurch der Ausfall auf den Ursprungsort begrenzt wird.

Anhang A (informativ)

Beschreibung der Analysemethoden (vor Ort und im Labor)

A.1 Probennahme

Eine Probe sollte repräsentativ für die Gaszusammensetzung in einem Gefäß sein. Die Konzentration der Verunreinigungen kann zwischen Flüssigphase und Gasphase unterschiedlich sein. Feuchtigkeit, O₂ und N₂ sind höchstwahrscheinlich in der Gasphase vorhanden, wohingegen Öl höchstwahrscheinlich in der Flüssigphase vorhanden ist. Bei reinem SF₆ sollte die Probe während der Flüssigphase entnommen werden, falls eine Probe aus der Gasphase nicht die Anforderungen erfüllt. Bei SF₆-Gemischen sollte keine Flüssigphase vorliegen. Wenn keine Flüssigphase in dem Gefäß vorliegt, stellt die Probenahme während der Gasphase eine tatsächliche Abbildung der Gaszusammensetzung dar.

Vor der Entnahme einer Probe aus dem Gefäß, sollten alle Verbindungsleitungen von dem Gefäß zu den Analysegeräten mit einer Vakuumpumpe entleert werden. Im Falle eines Gefäßes, das über eine lange, enge Schlauchverbindung mit einem Probenahmeanschluss verbunden ist, sollte der Schlauchabschnitt mit Gas aus dem Gefäß gespült werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Probe repräsentativ für das SF₆ in dem Gefäß ist.

Soweit möglich sollten die Komponenten, die in Kontakt mit SF₆ kommen, aus Edelstahl oder einem anderen chemisch widerstandsfähigen Werkstoff bestehen, um Reaktionen und Verunreinigung während des Probenahmevorgangs zu minimieren. Die zu untersuchende Probe darf nicht durch einen Aktivfilter (Molekularsieb, Aluminiumoxid) geleitet werden, da dieser die Gaszusammensetzung verändern könnte. Ein Partikelfilter ist jedoch unter Umständen notwendig, um sicherzustellen, dass die Probe nicht mit Partikeln verunreinigt ist.

A.1.1 Probenahmeverbindung vor Ort

Für alle Analysemethoden vor Ort ist eine direkte Verbindung erforderlich. Die Verbindungsleitung sollte aus einem PTFE-Schlauch mit Edelstahlflechtung bestehen, der so kurz wie möglich ausgeführt ist. Die Enden der Leitung sollten über selbstdichtende Anschlussstücke oder Ventile zum Schutz der Leitung vor Verunreinigung durch Umgebungsluft bestehen, während sie nicht in Verwendung ist.

A.1.2 Probenzylinder für die Laboranalyse

Das Zylindervolumen sollte im Bereich von 150 ml bis 500 ml liegen (ein größeres Volumen von 1 000 ml ist unter Umständen für die Analyse anhand FTIR-Spektrometrie erforderlich). Alle Zylindermaterialien und Ventile, die in Kontakt mit der Probe kommen, sollten aus Edelstahl oder chemisch widerstandsfähigem Werkstoff bestehen, wie z. B. PTFE (Polytetrafluorethylen). Idealerweise wird das Probenmaterial intern behandelt, um eine inerte Oberfläche zu erzeugen. Die Zylinder und Verbindungen müssen für eine Verwendung bei hohem Druck bis zu 5 MPa zugelassen sein.

Das folgende Verfahren wird für die Vorbereitung eines Probenzylinders vor der Verwendung empfohlen (Bild A.1):

- Den Zylinder erwärmen und mindestens für 1 Std. entleeren (Primärvakuum);
- Das Ventil schließen und den Zylinder vor der Verwendung auf Raumtemperatur abkühlen lassen.

A.1.3 Probenahmeverfahren für die Laboranalyse

A.1.3.1 Verfahren mit einem Probenzylinder

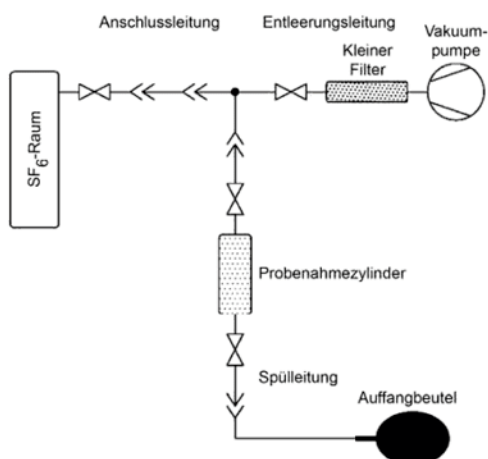


Bild A.1. – Aufbau für das Verfahren mit einem Probenzylinder.

Bild A.1 zeigt einen beispielhaften Aufbau für das Verfahren mit einem Probenzylinder. Den Aufbau am Probenahmeanschluss des Gefäßes anschließen und so eine direkte Verbindung herstellen. Den Zylinder einmal befüllen und 1 min warten, um die Konditionierung der Innenwand zu ermöglichen, anschließend spülen, entleeren und erneut befüllen. Die Verwendung von selbstdichtenden Anschlussstücken vereinfacht alle Aspekte der Probenhandhabung.

Während des Spülens sollte ein Auffangbeutel oder ein ähnliches Gerät verwendet werden, um die Freisetzung von SF₆ in die Atmosphäre zu vermeiden. Anschließend können einige wenige Liter SF₆ durch den Zylinder geleitet werden, um die Konditionierung seiner Innenwände zu ermöglichen. Die SF₆-Proben sollten nach der Analyse zurückgewonnen werden.

A.1.3.2 Verfahren mit zwei Probenzylinder

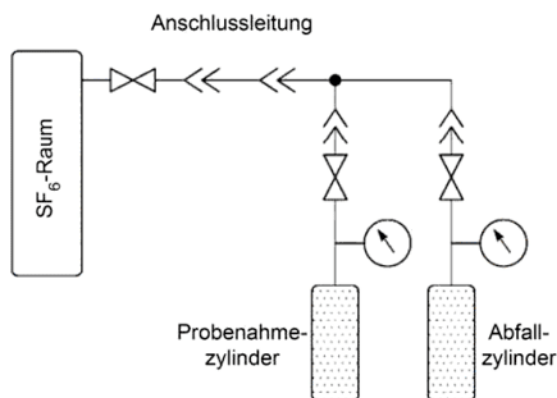


Bild A.2. – Aufbau für das Verfahren mit zwei Probenzylindern

Bild A.2 zeigt einen beispielhaften Aufbau für das Verfahren mit zwei Probenzylindern. Zwei (2) Zylinder sind parallel mit einem Schlauch und Verteilerblock an den Probenahmeanschluss des Gefäßes angeschlossen, um so eine direkte Verbindung herzustellen. Jeder Zylinder verfügt über ein Druckmessgerät, mit dem bestätigt wird, dass in den Zylinder vor der Probenahme ein Vakuum herrscht. Das Ventil des Abfallzylinders öffnen, um den Schlauch und den Verteilerblock zu spülen. Der Druck im Probenahmezylinder und im Abfallzylinder erhöht sich abhängig vom Druck im Inneren der Ausrüstung zur Probenahme. Das Ventil des

Abfallzylinders schließen, sobald sich der Druck stabilisiert hat. Das Ventil des Probenzylinders öffnen. Das Ventil schließen, sobald sich der Druck stabilisiert hat.

Vor Ort ist kein Entleerungs- und Auffangbeutel oder ähnliche Ausrüstung notwendig. Die Zylinder müssen nach dem in A.1.2 beschriebenen Verfahren vorbereitet werden. Der an die Zylinder angeschlossene Schlauch, das Druckmessgerät und das Ventil müssen korrekt ausgelegt und vorsichtig montiert werden, damit die Zylinder für eine lange Zeit das Vakuum aufrechterhalten können, bis sie verwendet werden. Die SF₆-Proben und Abfallprodukte sollten nach der Analyse zurückgewonnen werden.

A.2 Vor-Ort-Analyse

Leitungssonden, die Wasserdampf, HF, SO₂ und Mineralöl erkennen, sind bei mehreren Herstellern verfügbar. Die Verwendung solcher Leitungssonden ist für die Analyse von SF₆, jedoch nicht mehr empfohlen. Andere Detektionssysteme wie SO₂-Sensoren oder multifunktionale Detektoreinrichtungen sind präziser und für die Verwendung mit SF₆-Systemen hergestellt.

A.2.1 SF₆-Konzentrationsmessgerät

Mit diesem Gerät wird die SF₆-Konzentration mit Hilfe eines Dichtemessgeräts bestimmt, mit dem die Schallgeschwindigkeit in einer Gasprobe gemessen wird. Diese Art von Messgerät wird für gewöhnlich für die Messung des Anteils von reinem SF₆ in der Luft mit einer Genauigkeit von ungefähr ±1 % kalibriert. Diese Genauigkeit kann jedoch durch Vorhandensein anderer Gase (z. B. CF₄, Zersetzungsprodukt) beeinträchtigt werden.

Die Anweisungen des Herstellers sind in jedem Fall zu beachten.

A.2.2 Hygrometer

Die folgenden Ausrüstungsarten sind verfügbar:

Taupunktspiegel-Hygrometer

Mit einem Taupunktspiegel-Hygrometer wird der Taupunkt oder Frostpunkt durch Messung der Temperatur bestimmt, bei der Kondensation in Form von Tau oder Frost auf einem Spiegel auftritt. Das Temperaturgleichgewicht, bei dem der Spiegel eine stabile Kondensationsschicht aufrechterhält, wird über 0 °C Taupunkttemperatur und unter 0 °C Frostpunkttemperatur genannt. Die gemessene Taupunkt- oder Frostpunkttemperatur wird anschließend mathematisch in Wasserdampfdruck und danach in eine beliebige Einheit wie µl/l (ppmv) umgewandelt.

Elektronisches Hygrometer

Ein elektronisches Hygrometer verwendet einen Sensor mit Eigenschaften, die durch den Partialdruck von Wasserdampf in einem Gasgemisch und allgemein durch eine Veränderung der Kapazität beeinträchtigt werden, während das Gas durch eine halbdurchlässige Schicht strömt. Die Kapazität oder eine andere sich verändernde Eigenschaft wird für gewöhnlich anhand des Taupunkts kalibriert.

Elektrochemisches Sensor-Hygrometer

Mit dem elektrochemischen Hygrometer wird die Feuchtigkeit durch Messung des permanenten Stroms bestimmt, der zum Elektrolysieren des Wassers im Gasstrom erforderlich ist.

Achtung: Messungen von SF₆ mit HF-Gehalt können die Ausrüstung beschädigen. Die Anweisungen des Herstellers sind in jedem Fall zu beachten.

A.3 Laboranalyse

A.3.1 Gaschromatographie

Chromatographie wird zur Analyse von SF₆ und seinen Gemischen verwendet, um die Zusammensetzung des Gases und seinen Verunreinigungen zu identifizieren und zu quantifizieren.

Chromatographie ist eine Trennmethode, die für chemische Stoffe (homogene Flüssigkeiten oder gasförmige Gemische) verwendet wird und die auf den unterschiedlichen Verhaltensweisen zwischen einer aktuellen mobilen Phase (z. B. Gas) und eine stationären Phase (analytische Säule) basiert.

Jede unterschiedliche Verbindung erfordert eine andere Zeit zum Durchströmen der Säule, was von seiner chemischen Reaktion mit der Säule abhängt. Das Ergebnis ist ein Chromatogramm, wobei es sich um eine Zeitreihe von Peaks handelt, die den Bestandteilen der Probe entsprechen. Zur Peak-Erkennung stehen unterschiedliche Detektorarten zur Verfügung. Der Wärmeleitfähigkeitsdetektor (TCD) wird für eine Mehrzweck-Messung und hohe Stabilität empfohlen. Es stehen weitere Detektoren zur Verfügung, z. B. Ionisierungsdetektoren (DID) oder Elektroneneinfangdetektoren (ECD) (Bild A.3).

A.3.1.1 Gaschromatographie mit Detektorsystemen mit einer linearen Genauigkeit über mindestens 3 Jahrzehnte, als Beispiel hier der Wärmeleitfähigkeitsdetektor (TCD)

Luft, CF₄, CO₂, SF₆ und SOF₂ werden umgehend analysiert. Die quantitative Messung von SO₂F₂ und SO₂ kann jedoch schwierig sein. Die Analyse von HF ist nicht möglich, da HF mit dieser chromatographischen Technik nicht erkennbar ist.

Die typische Genauigkeit für die Quantifizierung von CF₄, N₂ und Luft ist in IEC 60376 angegeben. Die Genauigkeit des empfohlenen und in IEC 60376 beschriebenen Verfahrens kann folgendermaßen optimiert werden:

- Eine automatische Einspeisungseinheit, bei der eine Probenahmeschleife (0,1 ml bis 1 ml) und ein Schaltventil mit mehreren Anschlüssen verwendet wird, wird der manuellen Einspeisung mit einer Glasspritze vorgezogen. Der Chromatograph sollte über einen Einlassanschluss verfügen, an dem die Probenahmeflasche angebracht wird;
- Eine optimierte Trennung von Spurenverunreinigungen wird durch einen Temperaturgradienten (für gewöhnlich 60 °C bis 180 °C) anstatt isothermisch erzielt. In diesem Fall ist in dem Chromatogramm ein Peak zu sehen, das dem Wasserdampf entspricht, der in der Gasprobe vorhanden ist. Der Feuchtegehalt kann in diesem Fall jedoch ausschließlich halbquantitativ bestimmt werden;
- Es ist zu betonen, dass das chromatographische Verfahren nur dann zu genauen quantitativen Messungen führt, wenn das chromatographische System gut konditioniert wurde. Das heißt, dass die Instrumente in Betrieb gehalten und routinemäßig verwendet werden sollten. Andernfalls ist vor der Verwendung eine gründliche Vorbehandlung durch Einspeisung geeigneter Gasgemische erforderlich, die mehrere Hunderte ppmv SO₂ und/oder SOF₂ und/oder HF in der Luft (oder SF₆) enthalten, gefolgt von einer Reihe an Kalibrierläufen.

A.3.1.1.1 Repräsentativer Chromatograph-Aufbau

Wenn die folgende Bedingung verwendet wird, ist von zuverlässigen Ergebnissen unter Verwendung der folgenden Parameter auszugehen:

- Trägergas:
Helium oder Wasserstoff (10–25 ml/min, eine geringfügig bessere Auflösung wird mit H₂ erhalten); der Durchfluss sollte für die verwendete Säulenart optimiert werden.
- Analytische Säule:
Edelstahlröhre mit porösen Polymeren (80/100-Masche), 3–4 m × 3 mm;
breite Kapillare, 20–30 m, 0,53 mm.