

	DIN EN IEC 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
<p>ICS 29.040.20; 29.130.01</p> <p>Ersatz für DIN EN 60480 (VDE 0373-2):2005-08 Siehe Anwendungsbeginn</p> <p>Spezifikationen für die Wiederverwendung von Schwefelhexafluorid (SF₆) und seinen Mischungen in elektrischen Betriebsmitteln (IEC 60480:2019); Deutsche Fassung EN IEC 60480:2019</p> <p>Specifications for the re-use of sulphur hexafluoride (SF₆) and its mixtures in electrical equipment (IEC 60480:2019); German version EN IEC 60480:2019</p> <p>Spécifications pour la réutilisation de l'hexafluorure de soufre (SF₆) et des mélanges contenant du SF₆ dans le matériel électrique (IEC 60480:2019); Version allemande EN IEC 60480:2019</p> <p>Gesamtumfang 52 Seiten</p> <p>DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE</p>		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2019-05-09 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2020-06-01.

Für **DIN EN 60480 (VDE 0373-2):2005-08** besteht eine Übergangsfrist bis 2022-05-09.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60480 (VDE 0373-2):2019-04.

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.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom IEC/TC 10 „Fluids for electrotechnical applications“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieses Dokuments bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu diesem Dokument angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees das Dokument

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

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) Die Anforderungen für die Wiederverwendung von SF₆ wurden verifiziert;
- b) Anforderungen für die Wiederverwendung bzw. Wiederaufbereitung von SF₆-Gemischen, und zwar speziell von SF₆/N₂- und SF₆/CF₄-Gemischen wurden in der Norm aufgenommen;
- c) Infolge der einheitlichen Neuaufteilung bzw. Verteilung der Anhänge auf die Normen **IEC 60376**, **IEC 60480** und **IEC 62271-4** enthält diese Neuauflage der 60480 jetzt die folgenden fünf Anhänge:
 - **Anhang A** (informativ) Beschreibung der Analysemethoden (vor Ort und im Labor);
 - **Anhang B** (informativ) Zersetzungsprodukte von SF₆ und seinen Gemischen;
 - **Anhang C** (informativ) Verfahren zur Bewertung der potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen von Zersetzungsprodukten von SF₆ und seinen Gemischen;
 - **Anhang D** (informativ) Empfehlungen für die Aufbereitung;
 - **Anhang E** (informativ) Kryogene Aufbereitung von SF₆.

Frühere Ausgaben

DIN VDE 0373-2 (VDE 0373-2): 1980-04

DIN EN 60480 (VDE 0373-2): 2005-08

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten

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.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 136	–	DIN EN 136	–
EN 140	–	DIN EN 140	–
EN 143	–	DIN EN 143	–
EN 166	–	DIN EN 166	–
EN 14387	–	DIN EN 14387	–
–	IEC 60050-192	a	–
–	IEC 60050-212	a	–
–	IEC 60050-441	a	–
–	IEC 60050-826	a und DIN VDE 0100-200 (VDE 0100-200)	– VDE 0100-200
EN 60068-2-17:1994	IEC 60068-2-17:1994	DIN EN 60068-2-17:1995-05	–
EN 60079-29-2:2015	IEC 60079-29-2:2015	DIN EN 60079-29-2 (VDE 0400-2):2015-12	VDE 0400-2
EN IEC 60376:2018	IEC 60376:2018	DIN EN IEC 60376 (VDE 0373-1):2019-10	VDE 0373-1
EN 62271-4:2013	IEC 62271-4:2013	DIN EN 62271-4 (VDE 0671-4):2014-06	VDE 0671-4
EN 62271-203:2012	IEC 62271-203:2011	DIN EN 62271-203 (VDE 0671-203):2012-11	VDE 0671-203
a „Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe“, Online-Zugang: http://www.dke.de/dke-iev .			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 136, *Atemschutzgeräte – Vollmasken – Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung*

DIN EN 140, *Atemschutzgeräte – Halbmasken und Viertelmasken – Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung*

DIN EN 143, *Atemschutzgeräte – Partikelfilter – Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung*

DIN EN 166, *Persönlicher Augenschutz – Anforderungen*

DIN EN 14387, *Atemschutzgeräte – Gasfilter und Kombinationsfilter – Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung*

DIN EN 60068-2-17:1995-05, *Umweltprüfungen – Teil 2: Prüfungen – Prüfung Q: Dichtheit* (IEC 60068-2-17:1994); Deutsche Fassung EN 60068-2-17:1994

DIN EN 60079-29-2 (VDE 0400-2):2015-12, *Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 29-2: Gasmessgeräte – Auswahl, Installation, Einsatz und Wartung von Geräten für die Messung von brennbaren Gasen und Sauerstoff* (IEC 60079-29-2:2015); Deutsche Fassung EN 60079-29-2:2015

DIN EN 62271-4 (VDE 0671-4):2014-06, *Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen – Teil 4: Handhabungsmethoden im Umgang mit Schwefelhexafluorid (SF₆) und seinen Mischgasen* (IEC 62271-4:2013); Deutsche Fassung EN 62271-4:2013

DIN EN 62271-203 (VDE 0671-203):2012-11, *Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen – Teil 203: Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen für Bemessungsspannungen über 52 kV* (IEC 62271-203:2011); Deutsche Fassung EN 62271-203:2012

DIN EN IEC 60376 (VDE 0373-1):2019-10, *Spezifikation von Schwefelhexafluorid (SF₆) technischer Qualität und komplementären Gasen für den Gebrauch in SF₆-Mischungen zur Verwendung in elektrischen Betriebsmitteln* (IEC 60376:2018); Deutsche Fassung EN IEC 60376:2018

DIN VDE 0100-200 (VDE 0100-200), *Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 200: Begriffe*

Spezifikationen für die Wiederverwendung von Schwefelhexafluorid (SF₆) und
seinen Mischungen in elektrischen Betriebsmitteln
(IEC 60480:2019)

Specifications for the re-use of sulphur
hexafluoride (SF₆) and its mixtures in electrical
equipment
(IEC 60480:2019)

Spécifications pour la réutilisation de
l'hexafluorure de soufre (SF₆) et des mélanges
contenant du SF₆ dans le matériel électrique
(IEC 60480:2019)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2019-05-09 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

© 2019 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN IEC 60480:2019 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 10/1075/FDIS, zukünftige 3. Ausgabe der IEC 60480, erarbeitet vom IEC/TC 10 „Fluids for electrotechnical applications“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN IEC 60480:2019 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2020-02-09
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2022-05-09

Dieses Dokument ersetzt **EN 60480:2004**.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60480:2019 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60079-29-2	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60079-29-2 .
IEC 62271-203	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62271-203 .
IEC 60376	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN IEC 60376 .
IEC 60068-2-17	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60068-2-17.

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

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).

ANMERKUNG 1 Ist eine internationale Publikation durch gemeinsame Abänderungen modifiziert worden, gekennzeichnet durch (mod.), dann gilt die entsprechende EN oder das HD.

ANMERKUNG 2 Aktualisierte Informationen über die in diesem Anhang aufgeführten aktuellen Fassungen der Europäischen Normen sind hier verfügbar: www.cenelec.eu.

<u>Publikation</u>	<u>Jahr</u>	<u>Titel</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Jahr</u>
IEC 60050-192	–	International electrotechnical vocabulary – Part 192: Dependability	–	–
IEC 60050-212	–	International Electrotechnical Vocabulary – Part 212: Electrical insulating solids, liquids and gases	–	–
IEC 60050-441	–	International Electrotechnical Vocabulary – Part 441: Switchgear, controlgear and fuses	–	–
IEC 60050-826	–	International Electrotechnical Vocabulary – Part 826: Electrical installations	–	–
IEC 62271-4	2013	High-voltage switchgear and controlgear – Part 4: Handling procedures for sulphur hexafluoride (SF ₆) and its mixtures	EN 62271-4	2013

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort.....	2
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	3
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Verunreinigungen und ihre Ursachen.....	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Verunreinigungen aus der Handhabung und aus dem Betrieb	9
4.3 SF ₆ -Verunreinigungen in einem Betriebsmittel nur mit Isolierfunktion.....	9
4.4 SF ₆ -Verunreinigungen in Schaltgeräten.....	10
4.5 SF ₆ -Zersetzungsprodukte aufgrund interner Lichtbögen	10
4.6 Spezifische Zersetzungsprodukte von SF ₆ -Gemischen.....	10
5 Anforderungen für die Wiederverwendung von SF ₆	10
6 Anforderungen für die Wiederverwendung von SF ₆ -Gemischen	11
7 Aufbereiten von SF ₆ und SF ₆ -Gemischen	12
7.1 Durchführbarkeit und Verfahren	12
7.2 Prüfverfahren zur Überprüfung der Gasqualität	14
7.2.1 Allgemeines	14
7.2.2 Vor-Ort-Analyse.....	14
7.2.3 Laboranalyse	15
8 Handhabung, Lagerung und Transport (informativ)	16
9 Sicherheit und Erste Hilfe	16
9.1 Allgemeine Sicherheitsregeln.....	16
9.1.1 Allgemeines	16
9.1.2 Personenschutz.....	17
9.1.3 Umgang mit kontaminierter Schutzausrüstung und Werkzeug	18
9.1.4 Druckgeräte und Werkzeuge oder Messgeräte	19
9.1.5 Persönliche Sicherheits- und Schutzausrüstung.....	19
9.1.6 Einrichtungen und Ausstattung	20
9.2 Zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen im Falle einer anormalen Freisetzung von SF ₆ aufgrund eines externen Feuers oder eines internen Störlichtbogens	20
9.3 Erste-Hilfe-Ausrüstung und -Behandlung.....	21
9.3.1 Allgemeines	21
9.3.2 Reizung der Haut.....	22
9.3.3 Reizung der Augen.....	22
9.3.4 Atemschwierigkeiten	22

10	Umweltaspekte.....	22
	Anhang A (informativ) Beschreibung der Analysemethoden (vor Ort und im Labor).....	23
A.1	Probennahme.....	23
A.1.1	Allgemeines.....	23
A.1.2	Anschlussleitung für die Probenahme vor Ort	23
A.1.3	Probenzylinder für die Laboranalyse	23
A.1.4	Probenahmeverfahren für die Laboranalyse.....	24
A.2	Vor-Ort-Analyse.....	25
A.2.1	Allgemeines.....	25
A.2.2	SF ₆ -Konzentrationsmessgerät.....	25
A.2.3	Hygrometer.....	25
A.3	Laboranalyse.....	26
A.3.1	Gaschromatographie.....	26
A.3.2	Infrarot-Spektroskopie.....	29
	Anhang B (informativ) Zersetzungsprodukte von SF ₆ und seinen Gemischen.....	31
B.1	Zersetzung von SF ₆ und seinen Gemischen	31
B.1.1	Allgemeines.....	31
B.1.2	Verhalten von SF ₆ in einem elektrischen Lichtbogen	31
B.1.3	SF ₆ -Zersetzung mit geringen Entladungen.....	33
B.1.4	Katalytische Zersetzung von SF ₆ (Verhalten bei hoher Temperatur)	33
B.2	Korrosionsverhalten von SF ₆ und seinen Zersetzungsprodukten	33
B.3	Maßnahmen zum Entfernen von Zersetzungsprodukten.....	33
B.4	Physiologische Eigenschaften der Zersetzungsprodukte	34
	Anhang C (informativ) Verfahren zur Bewertung der potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen von Zersetzungsprodukten von SF ₆ und seinen Gemischen	35
C.1	Allgemeines.....	35
C.2	Bildung und Gesundheitsauswirkungen von SF ₆ -Zersetzungsprodukten	35
C.2.1	Bildung von SF ₆ -Zersetzungsprodukten	35
C.2.2	Gesundheitsauswirkungen von SF ₆ -Zersetzungsprodukten	36
C.2.3	Quantitative Schätzung von gasförmigen Zersetzungsprodukten	37
C.2.4	Verfahren zur Bewertung des Gesundheitsrisikos.....	38
C.3	Schlussfolgerung.....	40
	Anhang D (informativ) Empfehlungen für die Aufbereitung.....	42
D.1	Allgemeines.....	42
D.2	Empfehlungen für das Filtern	42
D.3	Straßen-Transport von benutztem SF ₆ in Gasflaschen und -behältern.....	42
	Anhang E (informativ) Kryogene Aufbereitung von SF ₆	43

	Seite
E.1 Allgemeines	43
E.2 Anwendungsgebiete	43
E.3 Physikalischer Hintergrund	43
E.4 Kryogene Prozesse	44
E.5 Beschreibung eines kryogenen Aufbereitungsgeräts	45
Literaturhinweise	47

Bilder

Bild 1 – Entscheidungs-Flussdiagramm für rückgewonnenes SF ₆	13
Bild A.1 – Aufbau für das Verfahren mit einem Probenzylinder	24
Bild A.2 – Aufbau für das Verfahren mit zwei Probenzylindern	24
Bild A.3 – Beispiel für ein Gas-Chromatogramm, das auf einem Ausdruck die möglichen unterschiedlichen Zersetzungsprodukte nach der Zersetzung darstellt	27
Bild A.4 – Typisches GCMS-Chromatogramm von zersetztem SF ₆ /CF ₄ -Gemisch	28
Bild A.5 – IR-Spektrum von verunreinigtem SF ₆	30
Bild C.1 – Verfahren zur Bewertung der potenziellen Gesundheitsauswirkungen durch Lichtbogenbildung	39
Bild C.2 – Verfahren für die Bewertung der potenziellen Gesundheitsauswirkungen aufgrund von Entladungen mit geringer Energie	40
Bild D.1 – Druck des gesättigten Dampfes verschiedener Gase als Funktion der Temperatur	44
Bild D.2 – Typisches kryogenes Aufbereitungsgerät für die SF ₆ -Rückgewinnung vor Ort	45
Bild D.3 – Typisches kryogenes Aufbereitungsgerät zum Entfernen von Verunreinigungen	46

Tabellen

Tabelle 1 – SF ₆ -Verunreinigungen	9
Tabelle 2 – Anforderungen für die Wiederverwendung von SF ₆	10
Tabelle 3 – Anforderungen für die Wiederverwendung von SF ₆ /N ₂ -Gemischen	11
Tabelle 4 – Anforderungen für die Wiederverwendung von SF ₆ /CF ₄ -Gemischen	11
Tabelle 5 – Allgemeine Verunreinigungen und Methoden zur Entfernung	12
Tabelle 6 – Typische Adsorber für verschiedene SF ₆ -Verunreinigungen	12
Tabelle 7 – Vor-Ort-Verfahren	15
Tabelle 8 – Laborverfahren	16
Tabelle 9 – Maßnahmen bei Arbeiten an mit SF ₆ gefüllten Betriebsmitteln	17
Tabelle 10 – Sicherheitsmaßnahmen beim Öffnen und Betreten von Gasräumen	18
Tabelle 11 – Neutralisationslösungen	19
Tabelle 12 – Zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen	21
Tabelle A.1 – Peak-Absorption von SF ₆ und Verunreinigungen	30
Tabelle C.1 – AGW für SO ₂ , HF und S ₂ F ₁₀	37
Tabelle C.2 – SOF ₂ -Entwicklungsrate	38

1 Anwendungsbereich

Das hier vorliegende Dokument stellt Kriterien für die Wiederverwendung von Schwefelhexafluorid (SF_6) und seinen Gemischen nach der Rückgewinnung und Aufbereitung aus elektrischen Betriebsmitteln zur Verfügung (z. B. im Rahmen der Instandhaltung oder nach Erreichen der Betriebslebensdauer).

Schwefelhexafluorid (SF_6), Stickstoff (N_2) und Tetrafluormethan (CF_4) sind allgemein gebräuchliche Gase für den Einsatz in elektrischen Betriebsmitteln. Unter Berücksichtigung der Umweltbelange wird ein besonderes Augenmerk auf die Wiederverwendungskriterien für SF_6 und seine Gemische mit N_2 und CF_4 zur Verwendung in elektrischen Betriebsmitteln gerichtet. Verfahren zur Rückgewinnung und Aufbereitung von gebrauchtem SF_6 und seinen Gemischen fallen nicht in den Anwendungsbereich dieses Dokuments und sind in IEC 62271-4 beschrieben.

In diesem Dokument finden sich mehrere Anhänge zur Beschreibung der unterschiedlichen Analysemethoden, der Zersetzungsprodukte, des Verfahrens zur Bewertung der möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von Zersetzungsprodukten, des Verfahrens zur kryogenen Aufbereitung von SF_6 und zu Empfehlungen für die Aufbereitung von SF_6 .

Lagerung, Transport und Entsorgung von SF_6 und seinen Gemischen liegen nicht im Anwendungsbereich dieses Dokuments und fallen unter IEC 62271-4.

Verfahren zur Bestimmung von SF_6 -Leckagen sind in IEC 60068-2-17 [4]¹ beschrieben.

Für die Anwendung dieses Dokuments werden 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 60050-192, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 192: Dependability* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-212, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 212: Electrical insulating solids, liquids and gases* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-441, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 441: Switchgear, controlgear and fuses* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-826, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 826: Electrical installations* (available at <http://www.electropedia.org>)

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-192, IEC 60050-212, IEC 60050-441 und IEC 60050-826 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

¹ Die Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf die Literaturhinweise.

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

elektrisches Betriebsmittel

Produkt, das zum Zweck der Erzeugung, Umwandlung, Übertragung, Verteilung oder Anwendung von elektrischer Energie eingesetzt wird, zum Beispiel Maschinen, Transformatoren, Schaltgeräte und Steuergeräte, Messgeräte, Schutzeinrichtungen, Kabel und Leitungen, elektrische Verbrauchsmittel, Isolierbuchsen, Überspannungsableiter

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

3.2

Behälter

Gefäß (Zylinder), das für die sichere Aufbewahrung von unter Druck stehenden Gasen in entweder gasförmiger oder flüssiger Phase geeignet ist, entsprechend örtlicher und/oder internationaler Sicherheits- und Transportbestimmungen

3.3

gebrauchtes Schwefelhexafluorid

SF₆, das bereits in elektrische Betriebsmittel eingefüllt wurde

3.4

Aufbereitung

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

3.5

Rückgewinnung

Überführung von Gas aus einem elektrischen Betriebsmittel in einen Transport- oder Ersatzbehälter

3.6

SF₆-Gemisch

Gasgemisch, bestehend aus SF₆ und einem Komplementärgas, typischerweise N₂ oder CF₄

3.7

Verunreinigung

Fremdstoff in einer Isolierflüssigkeit oder einem Isoliergas, der gewöhnlich auf eine oder mehrere Eigenschaften des Gases oder der Flüssigkeit eine negative Wirkung hat

[QUELLE: IEC 60050-212:2010, 212-17-27, modifiziert – „oder einem festen Isolierstoff“ wurde gelöscht.]

3.8

Zersetzungsprodukte

Verunreinigungen, die durch die Zersetzung von SF₆ und seinen Gemischen durch elektrische Entladungen, Lichtbögen oder Funkenüberschläge gebildet werden

3.9

Umgebungsluft

normale Atmosphäre, in der sich die Betriebsmittel befinden

[QUELLE: IEC 60079-29-2:2015, 3.1.1]

4 Verunreinigungen und ihre Ursachen

4.1 Allgemeines

Aus in Betrieb befindlichen elektrischen Betriebsmitteln rückgewonnenes SF₆ enthält verschiedene Verunreinigungen. Verunreinigungen in solchem rückgewonnenen SF₆, das aus Betriebsmitteln entnommen wurde, entstehen bei der Handhabung des Gases und durch den Betrieb.

Tabelle 1 fasst die hauptsächlichsten 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 Überschläge 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 durch Lichtbögen infolge von Schaltvorgängen	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 muss die Möglichkeit einer Kreuzkontamination (Verunreinigung eines Gasgemisches durch ein anderes) berücksichtigt werden.

4.3 SF₆-Verunreinigungen in einem Betriebsmittel nur mit Isolierfunktion

Der wesentliche Prozess ist die Zersetzung von SF₆ durch Teilentladungen (z. B. Koronabildung) sowie durch Überschläge 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, Überschläge und bei der Funkenbildung, sind die sich ansammelnden Mengen solcher Verbindungen im Allgemeinen vernachlässigbar.

4.4 SF₆-Verunreinigungen in Schaltgeräten

Bei der Unterbrechung des Stromflusses im Moment des Schaltvorgangs treten Lichtbögen mit hoher Temperatur auf, die zur Bildung von Zersetzungsprodukten aus SF₆, verdampftem Metall der Elektroden, polymeren Werkstoffen und sonstigen Verunreinigungen führen. Zusätzlich finden zwischen den gebildeten Produkten chemische Reaktionen statt (siehe [Tabelle 1](#)).

Die Menge dieser Nebenprodukte hängt von der Anzahl der Schaltvorgänge, dem kumulierten Kurzschlussstrom, der Auslegung des Betriebsmittels und dem Einsatz von Adsorptionsmitteln (feste Adsorptionsmittel) ab.

Schaltgeräte können auch Partikel und Metallabrieb enthalten, die durch Reibungsvorgänge zwischen Kontakten entstehen.

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, wodurch zusätzliche Reaktionsprodukte wie Staub generiert werden.

4.6 Spezifische Zersetzungsprodukte von SF₆-Gemischen

Im Fall von SF₆-Gemischen 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 die vorgefundenen Gaszerfallsraten die von reinem SF₆ übersteigen.

Bei in Gemischen entstandenen Zersetzungsprodukten sind SF₆-Zersetzungsprodukte in der Regel hinsichtlich ihrer Menge und ihrer Toxizität dominierend. Sicherheitsmaßnahmen in Bezug auf das Vorhandensein der üblichen SF₆-Zersetzungsprodukte müssen in gleicher Weise auch für Anwendungen mit SF₆-Gemischen gelten.

5 Anforderungen für die Wiederverwendung von SF₆

Tabelle 2 – Anforderungen für die Wiederverwendung von SF₆

Stoff ^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
Legende ppmv = Teile je Million auf Volumen bezogen (en: parts per million by volume) ppmw = Teile je Million auf Gewicht bezogen (en: parts per million by weight) ^a H ₂ S 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 SF ₆ zu messen. Wenn alle Geräte, die mit SF ₆ 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. Alternativ kann der Gesamtsäuregehalt in Bezug auf (SO₂ + SOF₂) oder in Bezug auf HF mit einem Grenzwert von 12 µl/l bzw. 25 µl/l gemessen werden.

6 Anforderungen für die Wiederverwendung von SF₆-Gemischen

Tabelle 3 – Anforderungen für die Wiederverwendung von SF₆/N₂-Gemischen

Stoff	Konzentration
N ₂	Nach den Angaben des Herstellers
SF ₆ -Anteil	± 5 % Volumenanteil, bezogen auf den festgelegten Prozentsatz ^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	
Müssen IEC 62271-4:2013, Abschnitt J.7 entsprechen, um eine Verflüssigung von SF ₆ zu vermeiden.	
Legende ppmv = Teile je Million auf Volumen bezogen (en: parts per million by volume) ppmw = Teile je Million auf Gewicht bezogen (en: parts per million by weight) ^a Wenn nicht anders vom Hersteller (en: OEM – Original Equipment Manufacturer) festgelegt. ^b Werden Gashandhabungsgeräte (Pumpe, Kompressor) eingesetzt, die Öl enthalten, kann es erforderlich sein, den Ölgehalt des SF ₆ zu messen. Wenn alle Geräte, die mit SF ₆ in Berührung kommen, ölfrei sind, dann ist es nicht erforderlich, den Ölgehalt zu messen.	

Tabelle 4 – Anforderungen für die Wiederverwendung von SF₆/CF₄-Gemischen

Stoff	Konzentration
CF ₄	Muss den Herstellerangaben entsprechen
SF ₆ -Anteil	± 5 % Volumenanteil, bezogen auf den festgelegten Prozentsatz ^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	
Müssen IEC 62271-4:2013, Abschnitt J.7 der entsprechen, um eine Verflüssigung von SF ₆ zu vermeiden.	
Legende ppmv = Teile je Million auf Volumen bezogen (en: parts per million by volume) ppmw = Teile je Million auf Gewicht bezogen (en: parts per million by weight) ^a Wenn nicht anders vom Originalgerätehersteller festgelegt. ^b Werden Gashandhabungsgeräte (Pumpe, Kompressor) eingesetzt, die Öl enthalten, kann es erforderlich sein, den Ölgehalt des SF ₆ zu messen. Wenn alle Geräte, die mit SF ₆ in Berührung kommen, ölfrei sind, dann ist es nicht erforderlich, den Ölgehalt zu messen.	

7 Aufbereiten von SF₆ und SF₆-Gemischen

7.1 Durchführbarkeit und Verfahren

Die Qualität des aufbereiteten SF₆ muss den Anforderungen dieses Dokuments entsprechen.

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

Tabelle 5 – Allgemeine Verunreinigungen und Methoden zur Entfernung

Kontamination	Feuchtigkeit (Wasserdampf)	Gasförmige Zer- setzungsprodukte	Feste Zersetzungs- produkte	Luft, N ₂ , CF ₄	Mineralöl
Aufbereitungsverfahren	Adsorption mit Molekularsieb	Adsorption mit akti- viertem Aluminium- oxid	Feststofffilter	Trennung durch kryogene Pro- zesse oder Membranfiltration	Adsorption mit Aktivkohlefilter
Bei SF ₆ und seinen 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 SF ₆ und sein Gemisch vor Ort aufbereitet werden können.					

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

Tabelle 6 – Typische 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
Aktivkohle	Ölnebel

Überschreiten die Ergebnisse der Gasanalyse die in [Tabelle 2](#), [Tabelle 3](#) oder [Tabelle 4](#) aufgeführten Anforderungen für die Wiederverwendung von SF₆ und seinen Gemischen, 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 Wiederverwendung jedoch nicht möglich, so ist eine Aufbereitung durch den Gashersteller oder 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.