

	DIN EN 60599 (VDE 0370-7)	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 29.020; 29.040.10 Ersatz für DIN EN 60599 (VDE 0370-7):2008-02 Siehe Anwendungsbeginn In Betrieb befindliche, mit Mineralöl befüllte elektrische Geräte – Leitfaden zur Interpretation der Analyse gelöster und freier Gase (IEC 60599:2015); Deutsche Fassung EN 60599:2016 Mineral oil-filled electrical equipment in service – Guidance on the interpretation of dissolved and free gases analysis (IEC 60599:2015); German version EN 60599:2016 Matériels électriques remplis d'huile minérale en service – Lignes directrices pour l'interprétation de l'analyse des gaz dissous et des gaz libres (IEC 60599:2015); Version allemande EN 60599:2016 Gesamtumfang 44 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2015-10-21 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2016-10-01.

Für **DIN EN 60599 (VDE 0370-7):2008-02** besteht eine Übergangsfrist bis 2018-10-21.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60599 (VDE 0370-7):2013-12.

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 TC 10 „Fluids for electrotechnical applications“ erarbeitet.

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

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

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60599 (VDE 0370-7):2008-02** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Die beschriebenen wissenschaftlichen Ausführungen und die vorgeschriebenen Verfahren wurden präzisiert und in Hinsicht auf leichtere Verständlichkeit überarbeitet;
- b) ein neuer Abschnitt zum Thema Stray Gassing wurde hinzugefügt;
- c) das Literaturverzeichnis wurde erweitert und aktualisiert;
- d) das Flussdiagramm zur Interpretation der Gas-in-Öl-Analyse (DGA) (en: Dissolved Gas Analysis) wurde präzisiert und aktualisiert;
- e) eine zusätzliche graphische Darstellung für die Gasquotienten wurde hinzugefügt.

Frühere Ausgaben

DIN EN 60599 (VDE 0370-7): 1999-12, 2008-02

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
–	IEC 60050-191:1990	a	–
–	IEC 60050-192:2015	a	–
–	IEC 60050-212:2010	a	–
–	IEC 60050-321:1986	a	–
–	IEC 60050-604:1987	a	–
EN 60475	IEC 60475	DIN EN 60475 (VDE 0370-3)	VDE 0370-3
EN 60567:2011	IEC 60567:2011	DIN EN 60567 (VDE 0370-9):2012-08	VDE 0370-9
EN 61198	IEC 61198	DIN EN 61198 (VDE 0380-6)	VDE 0380-6
^a „Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe“, Online-Zugang: http://www.dke.de/dke-iev .			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60475 (VDE 0370-3), Verfahren zur Probennahme von Isolierflüssigkeiten

DIN EN 60567 (VDE 0370-9):2012-08, Ölgefüllte elektrische Betriebsmittel – Probennahme von Gasen und Analyse freier und gelöster Gase – Anleitung (IEC 60567:2011); Deutsche Fassung EN 60567:2011

DIN EN 61198 (VDE 0380-6), Isolieröle auf Mineralölbasis – Prüfverfahren zur Bestimmung von Furfurol und verwandten Verbindungen

**In Betrieb befindliche, mit Mineralöl befüllte elektrische Geräte –
Leitfaden zur Interpretation der Analyse gelöster und freier Gase
(IEC 60599:2015)**

Mineral oil-filled electrical equipment in service –
Guidance on the interpretation of dissolved and
free gases analysis
(IEC 60599:2015)

Matériels électriques remplis d'huile minérale en
service –
Lignes directrices pour l'interprétation de
l'analyse des gaz dissous et des gaz libres
(IEC 60599:2015)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2015-10-21 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, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

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

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2016 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60599:2016 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 10/967/FDIS, zukünftige 3. Ausgabe der IEC 60599, erarbeitet vom IEC/TC 10 „Fluids for electrotechnical applications“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 60599:2016 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): 2016-07-21
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2018-10-21

Dieses Dokument ersetzt EN 60599:1999.

EN 60599:2016 enthält die folgenden wesentlichen technischen Änderungen gegenüber EN 60599:1999:

- a) Die Abschnitte 5.5, 6.1, 7, 8, 9, 10, A.2.6, A.3, A.7 wurden überarbeitet;
- b) ein neuer Unterabschnitt 4.3 wurde hinzugefügt;
- c) das Literaturverzeichnis wurde erweitert;
- d) Bild 1 wurde überarbeitet;
- e) ein zusätzliches Bild B.4 wurde hinzugefügt.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60599:2015 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort	2
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe und Abkürzungen	7
3.1 Begriffe	7
3.2 Abkürzungen	10
3.2.1 Chemische Namen und Symbole	10
3.2.2 Allgemeine Abkürzungen	10
4 Mechanismen der Gasbildung	10
4.1 Zersetzung von Öl	10
4.2 Zersetzung der Zelluloseisolierung	11
4.3 Stray Gassing von Öl	11
4.4 Andere Gasquellen	11
5 Identifizierung von Fehlern	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Zusammensetzung der gelösten Gase	12
5.3 Fehlerarten	12
5.4 Grundlegende Gasquotienten	13
5.5 CO ₂ /CO-Quotient	14
5.6 O ₂ /N ₂ -Quotient	15
5.7 C ₂ H ₂ /H ₂ -Quotient	15
5.8 C ₃ -Kohlenwasserstoffe	16
5.9 Entwicklung von Fehlern	16
5.10 Graphische Darstellungen	16
6 Voraussetzungen zur Berechnung der Quotienten	16
6.1 Prüfung der Ergebnisse der Gas-in-Öl-Analysen	16
6.2 Unsicherheit bei Gasquotienten	17
7 Anwendung auf freie Gase im Gasrelais	17
8 Gaskonzentrationen im Betriebszustand	19
8.1 Wahrscheinlichkeit eines Fehlers im Betriebszustand	19
8.1.1 Allgemeines	19
8.1.2 Berechnungsmethoden	20
8.2 Typische Konzentrationswerte	20
8.2.1 Allgemeines	20
8.2.2 Berechnungsmethoden	20
8.2.3 Auswahl des Normalprozentsatzes	20

	Seite
8.2.4 Alarmkonzentrationswerte	21
8.3 Gasbildungsraten	21
9 Empfohlene Methode für die Interpretation der Gas-in-Öl-Analyse (Bild 1).....	21
10 Ergebnisbericht.....	22
Anhang A (informativ) Anwendungshinweise für spezielle Geräte.....	24
A.1 Allgemeiner Warnhinweis	24
A.2 Leistungstransformatoren.....	24
A.2.1 Spezielle Untertypen	24
A.2.2 Typische Fehler	24
A.2.3 Identifizierung von Fehlern mittels Gas-in-Öl-Analyse	25
A.2.4 Typische Gaskonzentrationen	26
A.2.5 Typische Gasbildungsraten	26
A.2.6 Spezielle Informationen, die dem Bericht der Gas-in-Öl-Analyse beiliegen sollten (siehe Abschnitt 10)	27
A.3 Industrie- und Spezialtransformatoren	27
A.3.1 Spezielle Untertypen	27
A.3.2 Typische Fehler	28
A.3.3 Identifizierung von Fehlern mittels Gas-in-Öl-Analyse	28
A.3.4 Typische Gaskonzentrationen	28
A.4 Messwandler	28
A.4.1 Spezielle Untertypen	28
A.4.2 Typische Fehler	29
A.4.3 Identifizierung von Fehlern mittels Gas-in-Öl-Analyse	29
A.4.4 Typische Gaskonzentrationen	29
A.5 Durchführungen.....	30
A.5.1 Spezielle Untertypen	30
A.5.2 Typische Fehler	30
A.5.3 Identifizierung von Fehlern mittels Gas-in-Öl-Analyse	31
A.5.4 Typische Gaskonzentrationen	31
A.6 Ölgefüllte Kabel	32
A.6.1 Typische Fehler	32
A.6.2 Identifikation von Fehlern mittels Gas-in-Öl-Analyse	32
A.6.3 Typische Gaskonzentrationen	32
A.7 Schaltgeräte	32
A.7.1 Spezielle Untertypen	32
A.7.2 Normaler Betrieb	33
A.7.3 Typische Fehler	33
A.7.4 Identifizierung von Fehlern mittels Gas-in-Öl-Analyse	33
A.8 Geräte, die mit nicht-mineralischen Flüssigkeiten gefüllt sind	34

Anhang B (informativ) Graphische Darstellung von Gasquotienten (siehe 5.10)	35
Literaturhinweise	39
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	40

Bilder

Bild 1 – Flussdiagramm	23
Bild B.1 – Graphische Darstellung 1 für Gasquotienten (siehe [3])	35
Bild B.2 – Graphische Darstellung 2 für Gasquotienten.....	36
Bild B.3 – Graphische Darstellung 3 für Gasquotienten – Duval-Dreieck 1 für Transformatoren, Durchführungen und Kabel (siehe [4])	37
Bild B.4 – Graphische Darstellung 4 für Gasquotienten – Duval-Dreieck 2 für OLTCs (siehe A.7.2).....	38

Tabellen

Tabelle 1 – Interpretationstabelle für Gas-in Öl-Analysen	13
Tabelle 2 – Vereinfachtes Interpretationsschema.....	14
Tabelle 3 – Ostwald-Löslichkeits-Koeffizienten für verschiedene Gase in Isolierölen auf Mineralölbasis	19
Tabelle A.1 – Typische Fehler in Leistungstransformatoren.....	25
Tabelle A.2 – Bereiche der typischen 90 %-Gaskonzentrationen, die in Leistungstransformatoren beobachtet wurden, in µl/l	26
Tabelle A.3 – Bereiche der typischen 90 %-Gasbildungsraten, die in Leistungstransformatoren (alle Typen) beobachtet wurden, in µl/l/Jahr	27
Tabelle A.4 – Beispiele von typischen 90 %-Gaskonzentrationen aus verschiedenen Netzen.....	28
Tabelle A.5 – Typische Fehler in Messwandlern	29
Tabelle A.6 – Bereiche der typischen 90 %-Gaskonzentrationen, die in Messwandlern beobachtet wurden.....	30
Tabelle A.7 – Maximal zulässige Werte für geschlossene Messwandler	30
Tabelle A.8 – Typische Fehler in Durchführungen	31
Tabelle A.9 – Vereinfachtes Interpretationsschema für Durchführungen	31
Tabelle A.10 – Typische 95 %-Gaskonzentrationen für Durchführungen.....	32
Tabelle A.11 – Bereiche der typischen 90 %-Gaskonzentrationen, die in Kabeln beobachtet wurden.....	32
Tabelle A.12 – Typische Fehler in schaltenden Geräten	33

Einleitung

Die Analyse gelöster und freier Gase (DGA) (en: Dissolved Gas Analysis) ist eines der am häufigsten angewendeten diagnostischen Hilfsmittel zur Erkennung und Bewertung von Fehlern in mit Isolierflüssigkeit gefüllten elektrischen Geräten. Jedoch ist die Interpretation der Ergebnisse von Gas-in-Öl-Analysen oft sehr aufwändig und komplex und sollte daher grundsätzlich mit großer Sorgfalt durchgeführt werden. Es sollte nur solches Personal mit diesen Aufgaben betraut werden, welches über die entsprechende Erfahrung in der Wartung der zu beurteilenden Isoliersysteme verfügt.

Die hier vorliegende Internationale Norm dient als Leitfaden zur Erleichterung und Vereinfachung dieser Interpretation. Die erste, im Jahr 1978 veröffentlichte Ausgabe, war der Industrie von großem Nutzen, hatte aber ihre Unzulänglichkeiten und Einschränkungen, wie z. B. in manchen Fällen das Fehlen einer Diagnostik, das Fehlen von Angaben zu Konzentrationsniveaus und die Tatsache, dass sie vor allem auf Erfahrungen basierte, die aus dem Betrieb von Leistungstransformatoren gewonnen wurden. Mit dieser dritten Ausgabe wurde der Versuch unternommen, einige dieser Mängel zu beseitigen. Die Interpretationsmodelle basieren nun auf Beobachtungen, die bei Untersuchungen an einer Vielzahl von fehlerhaften, ölgefüllten elektrischen Geräten im Betrieb gemacht wurden. Konzentrationsniveaus wurden aus weltweit gewonnenen Analyseergebnissen abgeleitet.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm beschreibt, wie die Konzentrationen von gelösten oder freien Gasen interpretiert werden können, um in Betrieb befindliche, ölgefüllte elektrische Geräte zu diagnostizieren, und schlägt sich daraus ergebende zukünftige Maßnahmen vor.

Diese Norm gilt für mineralölgefüllte elektrische Geräte mit fester Isolierung aus Papier auf Zellulosebasis oder basierend auf Pressspan. Angaben für bestimmte Gerätetypen, wie z. B. Transformatoren (Leistungstransformatoren, Messwandler, Industrie-, Bahn-, Verteiltransformatoren), Drosseln, Durchführungen, Schaltanlagen und ölgefüllte Kabel, sind nur als Anwendungshinweise (siehe [Anhang A](#)) zu betrachten.

Diese Norm darf nur mit Vorsicht auf andere Flüssig-Fest-Isoliersysteme angewendet werden.

In jedem Fall sollten die gewonnenen Erkenntnisse nur als eine Anleitung betrachtet werden. Jede sich daraus ergebende Maßnahme sollte nur nach vollständiger ingenieurmäßiger Beurteilung durchgeführt werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 60050-191:1990, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 191: Dependability and quality of service* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-192:2015, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 192: Dependability* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-212:2010, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 212: Electrical insulating solids, liquids and gases* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-604:1987, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60475, *Method of sampling insulating liquids*

IEC 60567:2011, *Oil-filled electrical equipment – Sampling of gases and analysis of free and dissolved gases – Guidance*

IEC 61198, *Mineral insulating oils – Methods for the determination of 2-furfural and related compounds*

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe. Einige sind abgeleitet von IEC 60050-191, IEC 60050-212 und IEC 60050-604.

3.1.1

Fehler

unvorhergesehenes Ereignis oder Defekt eines Betriebsmittels, wodurch ein oder mehrere Ausfälle dieses Betriebsmittels oder zugehöriger Einrichtungen verursacht werden können

[QUELLE: IEC 60050-604:1987, 604-02-01]

3.1.2

Fehler ohne Schadenfolge

Fehler, der keine Reparaturen oder Austauschmaßnahmen am Fehlerort erfordert

Anmerkung 1 zum Begriff: Typische Beispiele sind selbstverlöschende Lichtbögen in Schaltanlagen oder allgemeine Überhitzung ohne Papierverkohlung.

[QUELLE: IEC 60050-604:1987, 604-02-09]

3.1.3

Fehler mit Schadenfolge

Fehler, der Reparaturen oder Austauschmaßnahmen am Fehlerort erfordert

[QUELLE: IEC 60050-604:1987, 604-02-08]

3.1.4

Störungsanlass

den Normalbetrieb beeinträchtigendes Ereignis äußeren oder inneren Ursprungs in einem Betriebsmittel oder im Netz

Anmerkung 1 zum Begriff: Für den Gebrauch dieser Norm beziehen sich „Zwischenfälle“ auf innere Fehler.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für den Gebrauch dieser Norm typische Beispiele von „Störung“ sind Gasalarm, Auslösung der Geräteabschaltung oder Leckage des Gerätes.

[QUELLE: IEC 60050-604:1987, 604-02-03]

3.1.5

Ausfall

Verlust der Fähigkeit, wie gefordert zu funktionieren

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Ausfall eines elektrischen Gerätes resultiert aus einem Fehler mit Folgeschaden oder einem Zwischenfall, der Außerbetriebsetzung, Reparatur oder Austausch des Gerätes erfordert, wie z. B. innerer Defekt, Kesselbruch, Feuer oder Explosion.

[QUELLE: IEC 60050-192:2015, 192-03-01]

3.1.6

elektrischer Fehler

Teilentladung oder zerstörende Entladung durch die Isolierung hindurch

3.1.7

Teilentladung

elektrische Entladung, die die Isolierung zwischen Leitern nur teilweise überbrückt

Anmerkung 1 zum Begriff: Teilentladungen können innerhalb der Isolierung oder angrenzend an einem Leiter auftreten.

Anmerkung 2 zum Begriff: Funkensprühen mit niedriger Energie auf Oberflächen von Isolierstoffen wird oft als Teilentladung beschrieben, sollte aber eher als zerstörende Entladungen niedriger Energie betrachtet werden, weil sie aus lokalen dielektrischen Überschlügen mit hoher Ionisationsdichte oder kleinen Lichtbögen gemäß physikalischer Grundsätze resultieren.

Anmerkung 3 zum Begriff: Für den Gebrauch dieser Norm seien die folgenden Annahmen ergänzt:

- Korona ist eine Form der Teilentladung, die um Leiter herum auftritt, die nicht von fester oder flüssiger Isolierung umgeben sind. Dieser Begriff darf nicht als Sammelbegriff für alle Arten von Teilentladung verwendet werden.
- Durch Korona-Entladungen kann X-Wachs, ein festes Material aus polymerisierten Molekülfragmenten der umgebenden Isolierflüssigkeit, gebildet werden.

[QUELLE: IEC 60050-212:2010, 212-01-39]

3.1.8

Durchschlag

Überschlag

Auftreten eines Lichtbogens als Folge eines Durchbruchs

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Durchschlag in gasförmigen oder flüssigem Dielektrikum wird im Französischen mit „amorçage“ und im Englischen mit „sparkover“ bezeichnet.

Der Durchschlag längs der Oberfläche eines Dielektrikums in einem gasförmigen oder flüssigen Medium wird im Deutschen mit „Überschlag“, im Französischen mit „contournement“ und im Englischen mit „flashover“ bezeichnet.

Der Durchschlag in festem Dielektrikum wird im Französischen mit „perforation“ und im Englischen mit „puncture“ bezeichnet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Entladungen werden oft als Lichtbogen, Durchschlag oder Kurzschluss bezeichnet. Folgende spezielle Ausdrücke werden in einigen Ländern angewendet:

- Kriechwegbildung (fortschreitender Abbau der Oberfläche fester Isolierung durch örtliche Entladungen, die leitende oder teilweise leitende Spuren bilden);
- Funkenentladungen, die nach den physikalischen Grundsätzen als örtliche dielektrische Durchschläge mit hoher Ionisierungsdichte oder kleine Lichtbögen anzusehen sind.

[QUELLE: IEC 60050-604:1987, 604-03-38]

3.1.9

thermischer Fehler

übermäßige Temperaturerhöhung in der Isolierung

Anmerkung 1 zum Begriff: Typische Ursachen sind:

- unzureichende Kühlung;
- überhöhte Ströme, die in anliegenden Metallteilen (als Folge schlechter Kontakte, Wirbelströme, Streuverluste oder Streufluss) zirkulieren;
- erhöhte, durch die Isolierung zirkulierende Ströme, die (als ein Folge hoher dielektrischer Verluste) zu thermischer Aufschaukelung führen;
- Überhitzung innerer Wicklungen oder Anschlussleitungen von Durchführungen;
- Überlast.

3.1.10

typische Werte von Gaskonzentrationen

Gaskonzentrationen, die bei solchen Geräten im normalen Betrieb beobachtet werden, welche keinerlei Anzeichen von Fehlern aufzeigen. Solche typischen Werte von Gaskonzentrationen werden nur von einem arbiträren Prozentsatz höherer Gasgehalte (zum Beispiel 10 % (siehe 8.2.1)) überschritten.

Anmerkung 1 zum Begriff: Typische Werte werden in unterschiedlichen Gerätetypen und unterschiedlichen Netzen ebenfalls voneinander abweichen, in Abhängigkeit der Betriebsbedingungen (Auslastung, klimatische Bedingungen usw.).

Anmerkung 2 zum Begriff: In vielen Ländern und von vielen Anwendern werden typische Werte als „Normalwerte“ betrachtet. Dieser Begriff wird hier nicht verwendet, um mögliche Fehlinterpretationen zu vermeiden.

3.2 Abkürzungen

3.2.1 Chemische Namen und Symbole

Name	Symbol
Stickstoff	N ₂
Sauerstoff	O ₂
Wasserstoff	H ₂
Kohlenmonoxid	CO
Kohlendioxid	CO ₂
Methan	CH ₄
Ethan	C ₂ H ₆
Ethen (Ethylen)	C ₂ H ₄
Ethin (Acetylen)	C ₂ H ₂

ANMERKUNG Für C₂H₂ wird sowohl Acetylen als auch Ethin verwendet, für C₂H₄ wird sowohl Ethylen als auch Ethen verwendet.

3.2.2 Allgemeine Abkürzungen

D1	Teilentladungen niedriger Energie
D2	Teilentladungen hoher Energie
DGA	Gas-in-Öl-Analyse (en: Dissolved Gas Analysis)
CIGRE	Conseil Internationale des Grands Réseaux Electriques
S	analytische Nachweisgrenze
PD	Teilentladungen
T1	thermischer Fehler, $t < 300\text{ °C}$
T2	thermischer Fehler, $300\text{ °C} < t < 700\text{ °C}$
T3	thermischer Fehler, $t > 700\text{ °C}$
T	thermischer Fehler
D	elektrischer Fehler
TP	thermischer Fehler in Papier
ppm	Millionster Teil (en: parts per million) der Volumenkonzentration von Gas in Öl, Äquivalent von µl (Gas) in l (Öl). Siehe IEC 60567:2011, 8.7, Anmerkung 1.
OLTC	Laststufenschalter (en: on load tap changer)

4 Mechanismen der Gasbildung

4.1 Zersetzung von Öl

Mineralöle sind ein Gemisch verschiedener Kohlenwasserstoff-Moleküle, die CH₃-, CH₂- und CH-Gruppen enthalten, die über Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen miteinander verknüpft sind. Durch elektrische und thermische Fehler erfolgt eine Spaltung mancher der C-H- und C-C-Bindungen und führt zur Bildung kleiner, instabiler Fragmente, radikalischer oder ionischer Natur, wie z. B. H[•], CH₃[•], CH₂[•], CH[•] oder C[•] (neben vielen anderen, auch komplexeren Formen). Diese Fragmente rekombinieren schnell durch komplizierte