

	DIN IEC/TR 62757 (VDE 0553-757)	DIN
	Dies ist zugleich eine VDE-Leitlinie im Sinne von VDE 0022. Sie ist unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 13.220.20; 29.200

Einsprüche bis 2020-10-28

Entwurf

Brandschutzmaßnahmen für Umrichter für Hochspannungsgleichstrom (HGÜ)-Systeme, statische Blindleistungskompensatoren (SVC) und flexible Drehstromübertragungssysteme (FACTS) und ihre Ventilhallen (IEC TR 62757:2015 + A1:2019)

Fire prevention measures on converters for high-voltage direct current (HVDC) systems, static var compensators (SVC) and flexible AC transmission systems (FACTS) and their valve halls (IEC TR 62757:2015 + A1:2019)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf für eine VDE-Leitlinie mit Erscheinungsdatum 2020-08-28 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte VDE-Leitlinie 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 Entwurfs für eine VDE-Leitlinie werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln einer VDE-Leitlinie erstellt und ist die Übernahme eines Technischen Reports der IEC (IEC TR).

Gesamtumfang 69 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieses Dokuments ist ...

Inhalt	Seite
Nationales Vorwort.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Brandgefahr in Ventilen und Ventilhallen	11
4.1 Allgemeines	11
4.2 Mögliche Ursachen.....	12
4.2.1 Ventil-Isolationsfehler	12
4.2.2 Lose Verbindungen und Verbindungen mit hohen Übergangswiderständen im Leistungsstromkreis	12
4.2.3 Fehler bei Ventilkomponenten.....	12
4.2.4 Verbindungen auf Halbleiterbauelement-Ebene	14
4.2.5 Kühlsystemprobleme	15
4.2.6 Ausfall von Ventilhallendurchführungen	16
4.2.7 Ausfall der Überspannungsableiter	16
4.2.8 Fehlerhafter Betrieb der Wassersprühanlage	16
4.2.9 Andere Ausrüstung in der Ventilhalle	16
4.2.10 Arbeiten innerhalb der Ventilhalle	17
4.3 Bewertung der möglichen Folgen.....	17
5 Aufbau und Zutritt zur Ventilhalle	18
5.1 Physischer Aufbau.....	18
5.1.1 Allgemeines	18
5.1.2 Gegenwärtige Praxis	18
5.1.3 Besondere Bestimmungen	18
5.2 Konstruktion einer HGÜ-Ventilhalle.....	19
5.2.1 Allgemeines	19
5.2.2 Konstruktion der Ventilhalle.....	19
5.3 Ausgangsmöglichkeiten.....	20
6 Überwachung der Ventilkomponenten und anderer Ausrüstung in der Ventilhalle	20
6.1 Allgemeines	20
6.2 Überwachung der Ventilkomponenten	20
6.2.1 Allgemeines	20
6.2.2 Online-Überwachung.....	21
6.2.3 Offline Kontrollen und Inspektionen	21
6.3 Überwachung von anderen Geräten in der Ventilhalle	22
7 Feuererkennungssysteme	22
7.1 Allgemeines	22
7.2 Erkennungsmethoden und Funktionsprinzipien	22

7.2.1	Allgemeines.....	22
7.2.2	Luft-Probenentnahmeeinrichtungen.....	23
7.2.3	Infrarotstrahl-Rauchmelder	23
7.2.4	Lichtbogendetektor-Systeme	23
7.2.5	Infrarot-Flammenmelder.....	24
7.2.6	Ultraviolett- (UV-) Flammenmelder	24
7.2.7	Bildgebende Videokamerasysteme	24
7.3	<i>Richtlinien für die Branderkennung in der Ventilhalle</i>	24
8	Feuerlöschanlagen.....	24
8.1	Allgemeines.....	24
8.2	Konstruktionsüberlegungen für eine installierte Feuerlöschanlage	25
8.3	<i>Arten von Feuerlöschmitteln</i>	26
8.3.1	Liste der Mittel.....	26
8.3.2	Kohlendioxid.....	26
8.3.3	Inertgase	26
8.3.4	Fluorkohlenwasserstoffe	26
8.3.5	Weitere Gase	27
8.4	Voraussetzungen für die Installation	27
8.5	Richtlinien für Feuerlöschmittel	28
9	Belüftungsmanagement	28
9.1	Allgemeines.....	28
9.2	Konstruktionsüberlegungen	29
9.2.1	Allgemeines.....	29
9.2.2	Natürliche Belüftung.....	29
9.2.3	Fremdbelüftung	30
9.2.4	Entwurf	30
10	Regelung und Integration von Branderkennungs- und Brandschutzanlagen sowie Stromrichter-Regelungssystemen.....	30
10.1	Allgemeines.....	30
10.2	Klassifizierung einer Brandmeldung.....	31
10.2.1	Allgemeines.....	31
10.2.2	Klassifizierung nach Erkennungsprinzip	32
10.2.3	Klassifizierung nach Erkennungsziel	32
10.2.4	Zuverlässigkeit des Erkennungssystems.....	33
10.3	Brandmanagementsystem	33
10.3.1	Allgemeines.....	33
10.3.2	Grundlegende Systemfunktionen.....	34
10.3.3	Weitere Systemkomponenten.....	34
10.3.4	Überblick über den Systemaufbau.....	34
10.4	Richtlinien für integrierte Brandmanagementsysteme	35
11	Brandbekämpfung und Wartung	35
11.1	Allgemeines.....	35

11.2	Rolle des Stations- und Brandbekämpfungspersonals	35
11.2.1	Allgemeines	35
11.2.2	Maßnahmen im Brandfall	36
11.2.3	Brandbekämpfung	36
12	Leitfaden für Spezifikationen des Käufers	36
12.1	Allgemeines	36
12.2	Spezifikation des Käufers	37
12.2.1	Allgemeines	37
12.2.2	Halbleiterventile	37
12.2.3	Andere Ausrüstung in der Ventilhalle	38
12.2.4	Konstruktion der Ventilhalle	38
12.2.5	Feuererkennungssysteme	39
12.2.6	Feuerlöschanlagen	39
12.2.7	Belüftungsmanagement-System	39
12.2.8	Brandmelde- und Steueranlagen	39
Anhang A (informativ)	Brandgefahren in Ventilhallen und Umfrage zu Brandgeschehnissen	41
A.1	Allgemeines	41
A.2	Gefahrenkategorien	41
A.3	Berichte von HGÜ-Anwendern	42
A.4	Gemeldete Vorfälle	43
A.4.1	Überhitzung von Ventilkomponenten wegen verminderter Kühlung	43
A.4.2	Fehler bei Ventilkomponenten	45
A.4.3	Lose Verbindungen oder Verbindungen mit hohen Widerständen im Laststromkreis	59
A.4.4	Ausfall von elektrischen Verbindungen im Hilfsstromkreis	60
A.4.5	Isolationsfehler	60
A.4.6	Ausfälle der Einrichtung in Zusammenhang mit der Ventilhalle	64
A.4.7	Fehlalarme	65
A.4.8	Unbekannte Ursachen	66
A.5	Schlussfolgerung und Empfehlungen	67
Literaturhinweise		68
Bilder		
Bild 1 – Belüftungsarten		29
Bild 2 – Mögliche Anordnungen und Verbindungen eines integrierten Branderkennungs- und Leitsystems		32
Tabellen		
Tabelle 1 – Arten von Feuerlöschmitteln		26
Tabelle A.1 – Referenzliste der Eigentümer/Lieferanten von HGÜ-Stromrichtern (Mai 2012)		42

Nationales Vorwort

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 331 „Leistungselektronik“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 22F „Power electronics for electrical transmission and distribution systems“ erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC .

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (maintenance result 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.

A1 Die Änderungen durch IEC TR 62757:2015/AMD1:2019-07 sind durch einen senkrechten Strich am linken Textrand gekennzeichnet.

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.

Brandschutzmaßnahmen für Umrichter für Hochspannungsgleichstrom (HGÜ)- Systeme, statische Blindleistungskompensatoren (SVC) und flexible Drehstromübertragungssysteme (FACTS) und ihre Ventilhallen

1 Anwendungsbereich

Der Technische Bericht IEC TR 62757 bezieht sich auf Maßnahmen zur Brandvermeidung für Stromrichter und Stromrichterhallen für Hochspannungsgleichstrom-Systeme (HGÜ-Systeme), statische Blindleistungskompensatoren (Static Var Compensators, SVC) und flexible Wechsellspannungs-Übertragungssysteme (Flexible AC Transmission Systems, FACTS). Der Bericht ist in erster Linie für die Nutzung durch Versorgungsunternehmen sowie für Berater gedacht, die für die Veröffentlichung technischer Spezifikationen für neue Stromrichterventile und Stromrichterhallen verantwortlich sind. Er bezieht sich auf Brandfälle in HGÜ-Projekten, in denen netzgeführte Stromrichter oder selbstgeführte Spannungswandlungsrichter (Voltage-Sourced-Converter, VSC) eingesetzt werden. Aus solchen Projekten sind die meisten Beispiele für Brände und Brandereignisse entnommen. In diesem Technischen Bericht geht es darüberhinaus um Stromrichterventile sowie Stromrichterhallen für SVC und FACTS.

Der Bericht enthält allgemeine Empfehlungen, die beim Erarbeiten der Spezifikationen für diese Systeme zu berücksichtigen sind. Spezielle Anforderungen für ein bestimmtes Projekt müssen zwischen dem Lieferanten und dem Käufer eindeutig spezifiziert und vereinbart werden.

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).

Leer.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Alarmsystem

Installation zum Auslösen eines Feuersalarms

3.2

automatischer Brandmelder

Gerät, das ungewöhnlich hohe Temperaturen, die Geschwindigkeit der Temperaturerhöhung, sichtbare und unsichtbare Partikel, Infrarot- oder sichtbare Strahlung und durch Feuer erzeugte Gase erkennt

3.3

automatische Feuerlöschanlage

Anlage, die zum Erkennen eines Brandes entwickelt und installiert wird und in der Folge ein Löschmittel ohne menschlichen Eingriff freisetzt

3.4

brennen, intransitives Verb

sich im Zustand der Verbrennung befinden

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.28]

3.5

anbrennen, transitives Verb
in den Zustand der Verbrennung versetzen

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.29]

3.6

entzünden, intransitives Verb
mit oder ohne Einwirkung einer externen Wärmequelle in Brand geraten

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.184]

3.7

sich entzünden, transitives Verb
Verbrennung einleiten

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.185]

3.8

Verkohlung, Substantiv
kohlenstoffhaltige Rückstände von Pyrolyse oder unvollständiger Verbrennung

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.38]

3.9

Verkohlen, Verb
Verkohlung bilden

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.39]

3.10

Verbrennung
exotherme Reaktion eines Stoffs mit einem Oxidationsmittel

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Verbrennung werden flüchtige Verbrennungsprodukte (4.105) freigesetzt; im Allgemeinen treten dabei Flammen (4.133) und/oder Glühen (4.168) auf.

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.46]

3.11

Ausgang
Ausgewiesener Ausgangspunkt aus einem Gebäude

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.86]

3.12

Explosion
Plötzliche Expansion von Gas, deren Ursache eine schnelle Oxidations- (siehe 4.245 in ISO 13943:2008), Zerfallsreaktion oder Ähnliches mit oder ohne Temperaturanstieg ist.

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.87]

3.13

Löschmedium
Löschmittel
feste, flüssige oder gasförmige Substanz, die speziell für die Löschung eines Brandes geeignet ist

3.14

Brand
Verbrennungsvorgang, der durch die Freisetzung von Wärme charakterisiert und gewöhnlich von Rauch und/oder Flammen begleitet wird

3.15

Feueralarm

Alarm

Alarmsignal zum Alarmieren der Feuerwehr oder durch Brand gefährdete Menschen

3.16

Feuermelder

Notrufsäule

Brandmelder

Teil eines Feueralarmsystems, von dem aus eine Brandmeldung erfolgt, entweder von Hand oder automatisch

3.17

Brandsperre

Feuerschutzabschluss

raumabschließendes Bauteil, das während einer angegebenen Dauer sowohl für Integrität als auch Wärmeisolierung unter festgelegten Prüfbedingungen sorgt

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.99]

3.18

Brand-Management System

System mit integrierter Regelung für Branderkennung, Feueralarm, Brandbekämpfung, Rauch-Management und andere Dienste als Bestandteil eines umfassenden Brandschutzkonzepts

3.19

Brandklappe

Rauchschutzklappe

Mechanische Platte oder Blende, die geschlossen wird, um den Durchzug von Feuer/Rauch durch einen Lüftungsschacht oder -kanal einzuschränken

3.20

Feuerwehranschluss

Anschluss, durch den die Feuerwehr zusätzliches Wasser in die Sprinkleranlage, das Standrohr oder ein anderes System, das Wasser für das Löschen eines Brandes bereitstellt, pumpen kann, um die bestehende Wasserversorgung zu ergänzen

3.21

Brandschutztür

Tür mit einer Feuerbeständigkeit von mindestens 30 Minuten, die aus Brandschutzgründen vorgeschrieben ist und gemäß den behördlichen Anweisungen geschlossen bleiben muss

3.22

Brandgefahr

physikalisches Merkmal oder physikalische Bedingung mit einem Potenzial für unerwünschte Brandfolgen

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.112]

3.23

Brandlast

Wärmeenergie, die bei der vollständigen Verbrennung aller brennbaren Stoffe in einem (Raum-)Volumen einschließlich der Verkleidungen aller angrenzenden Oberflächen freigesetzt werden kann

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.114, modifiziert – Die Anmerkungen wurden gelöscht.]

3.24

Feuerlöschanlage

ein beliebiges System, das zum Löschen eines Brands vorgesehen ist

3.25

Brandmauer

Zwischenwand mit festgelegter Feuerwiderstandsdauer

3.26

Brandbekämpfung

alle Maßnahmen, die für das Bekämpfen eines Brandes eingesetzt werden

3.27

Flamme

schneller, in der Gasphase unterhalb der Schallgeschwindigkeit ablaufender, sich selbst erhaltender Verbrennungsvorgang, üblicherweise unter Lichtemission

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.133]

3.28

aufflammen, Verb

eine Flamme bewirken

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.134]

3.29

entflammbar

unter bestimmten Bedingungen für die Verbrennung mit Flammenerscheinung geeignet (siehe 4.148 in ISO 13943:2008)

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.153]

3.30

Schaum

Emulgierbares Löschmittel bestehend aus Wasser, Gas- oder Luftblasen und einem Schaumstabilisator (Schaumverbindung, die zum Löschen brennender Flüssigkeiten eingesetzt wird)

3.31

Wärmefreisetzungsrate

Brenngeschwindigkeit (überholt)

Brennrate (überholt)

Geschwindigkeit, mit der eine bestimmte Wärmemenge bei der Verbrennung freigesetzt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Wärmefreisetzungsrate wird üblicherweise in Watt (W) angegeben.

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.177]

3.32

entzünden, intransitives Verb

mit oder ohne Einwirkung einer externen Wärmequelle in Brand geraten

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.184]

3.33

sich entzünden, transitives Verb

Verbrennung, sichtbare Strahlung einleiten

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.185]

3.34

Entzündung

anhaltende Flammenbildung (abgelehnt)

allgemein: Einleiten der Verbrennung

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.187]

3.35

Zündfähigkeit, Entzündbarkeit

Maß dafür, wie leicht ein Probekörper unter bestimmten Bedingungen entzündet werden kann; Zündzeit, Bedingungen; Zündzeit

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.182]

3.36

Zündquelle

Energiequelle, die die Verbrennung auslöst

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.189]

3.37

Entstehungsbrand

beginnender Brand

3.38

Ausgangsmöglichkeit

Fortlaufender und hindernisfreier Ausgangsweg von einem beliebigen Punkt in einem Gebäude oder einer Einrichtung zu einem öffentlichen Weg, der aus drei separaten und eindeutigen Teilen besteht: a) Zugang zum Ausgang, b) Ausgang und c) Ausgangsableitung

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Ausgangsmöglichkeit umfasst die vertikale und horizontale Bewegung und sollte Zwischenräume, Türeingänge, Gänge, Korridore, Durchgänge, Balkone, Rampen, Treppen, Einfriedungen, Eingangshallen, Rolltreppen, horizontale Ausgänge, Höfe und Lagerplätze einschließen.

3.39

nicht brennbar

keine Verbrennung möglich (unter bestimmten Bedingungen)

Anmerkung 1 zum Begriff: In manchen Vorschriften wird ein Material als nicht brennbar klassifiziert, selbst wenn es brennen kann, vorausgesetzt, die Verbrennungswärme (4.174) ist geringer als der definierte Wert.

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.239]

3.40

nicht entflammbar

bei der Verbrennung entsteht unter bestimmten Bedingungen keine Flamme (3.27 und 3.28)

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.240]

3.41

Überhitzung

Übermäßiger Temperaturanstieg eines Materials oder Körpers

3.42

reaktionsschnelle Sprinkleranlage

Sprinkleranlage, bei der es sich sowohl um eine reaktionsschnelle als auch um eine Schirmsprinkleranlage handelt

3.43

Flammenausbreitung

Ausbreitung einer Flammenfront

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.142]

3.44

selbstverlöschen, Verb

selbstverlöschen, Verb

ohne äußere Einwirkung erlöschen

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.284]

3.45

selbstverlöschend

Merkmal eines Materials, das unter festgelegten Prüfbedingungen den Verbrennungsvorgang einstellt, nachdem die Zündquelle entfernt worden ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Obwohl dieser Begriff allgemein verwendet wird (einschließlich in diesem Bericht), wird er in internationalen Normen abgelehnt, da er ein falsches Sicherheitsgefühl vermittelt und zu Missverständnissen führt. Die Eigenschaften eines Materials nach der Entfernung der Zündquelle werden durch die Begriffe Nachbrennzeit mit Flamme, Nachglimmzeit, verbrannte Länge und beschädigte Fläche (Länge) unter festgelegten Prüfbedingungen besser beschrieben (zusammengestellt aus verschiedenen Quellen).

3.46

Halbleiter-Ventilbauelement

eines der in Reihe geschalteten Elemente, die in Ventilen verwendet werden, wie Thyristoren, Dioden und Bipolartransistoren mit isolierten Steuerelektroden (IGBT-Transistoren)

3.47

Rauch

sichtbarer Teil der flüchtigen Verbrennungsprodukte

[QUELLE: ISO 13943:2008, 4.293]

3.48

Rauchmelder

Brandmelder, der bei Vorhandensein einer bestimmten Rauchmenge einen Alarm auslöst.

3.49

Rauchentwicklungsrate

Die Rauchentwicklungsrate ist ein Index oder eine Klassifizierung zur Angabe der Rauchentwicklungseigenschaften eines Materials oder einer Baugruppe eines Materials, wie dies in einer standardmäßigen Brandprüfung festgelegt ist.

3.50

Rauchmanagement-System

System, das zum Kontrollieren der Ansammlung und Ausbreitung von Rauch in einem Gebäude entwickelt und installiert wird

3.51

Sprüh-Wasserflutsystem

Spezielles fest installiertes Rohrnetz, das an eine zuverlässige Quelle der Löschwasserversorgung angeschlossen und mit Sprühdüsen für spezifischen Wasserausstoß und Verteilung über die zu schützende Fläche ausgestattet ist.

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Rohrnetz ist über ein automatisch oder manuell betätigtes Ventil an die Wasserversorgung angeschlossen, das den Wasserdurchfluss startet. Ein automatisches Ventil wird durch die Betätigung der automatischen Erkennungseinrichtung ausgelöst, die in denselben Bereichen installiert ist, in denen sich die Wasserdüsen befinden. (In besonderen Fällen kann die automatische Erkennungseinrichtung auch in einem anderen Bereich installiert sein.)

4 Brandgefahr in Ventilen und Ventilhallen

4.1 Allgemeines

In Stromrichterhallen sind die Stromrichterventile, Wanddurchführungen oder Stromrichtertransformator-Durchführungen, Ventile und Ventilgruppenableiter untergebracht sowie, in bestimmten Ausführungen, weitere Hochspannungskomponenten, wie etwa Hochspannungskondensatoren oder Spannungsteiler und Stromwandler.

Die Ventilausrüstung unterliegt während des Betriebs verschiedenen mechanischen und elektrischen Beanspruchungen. Die Ventile sind vielen verschiedenen Komponenten in Serien- oder Parallelschaltung aufgebaut, wie Thyristoren, Dioden, IGBT-Transistoren (und ähnliche Baugruppen), Kondensatoren, Widerstände und Sättigungs-drosseln.

Um den Platzbedarf in der Ventilhalle zu minimieren, werden die Ventile häufig vertikal gestapelt, um den abgestuften Isolationspegel zu nutzen. Die notwendigen Kriechstrecken und Schlagweiten zwischen und innerhalb der Ventile werden mithilfe von Porzellanisolatoren und/oder Verbundisolatoren erreicht. In den baulichen Elementen der Ventile werden weitgehend Verbundmaterialien verwendet.

Nach den zahlreichen Brandfällen vor einigen Jahren, die zur Erstellung der technischen Broschüre 136 von Cigré führten, verlangten verschiedene Käufer, dass in den Stromrichterhallen keine mit Öl gefüllten Komponenten mehr vorhanden sein dürfen und dass die Ventilkomponenten in der Regel feuerhemmend sein müssen. Auch heute umfasst das Ventilgerüst verschiedene Materialien, etwa Kunststoffe, Verbundstoffe und Gummiwaren, wobei die nicht metallischen Materialien in der Regel gemäß UL94V-0 oder vergleichbar feuerhemmend und selbst verlöschend sind.

Die Ausrüstung des Stromrichterventils enthält tatsächlich ein Minimum an brennbaren Werkstoffen, die Materialien können jedoch in Brand geraten, wenn von der Zündquelle ausreichend Wärme zugeführt wird. Die möglichen Brandquellen in einer Stromrichterhalle werden in den folgenden Abschnitten detailliert erörtert und beziehen sich auf die HGÜ- und FACTS-Ausrüstung (Thyristorventile, SVC, statische synchrone Kompensatoren (STATCOM), VSC etc.).

4.2 Mögliche Ursachen

4.2.1 Ventil-Isolationsfehler

Ein Durchbruch der elektrischen Isolierung innerhalb von oder zwischen einzelnen Teilen des Ventils, die zu mehr als einem Halbleiterbauelement-Platz gehören, kann eine Lichtbogenbildung verursachen, wodurch sich brennbare Materialien entzünden können.

Ein Isolationsfehler kann intern auftreten, zum Beispiel aufgrund von Teilentladungen in einem dielektrischen Material, oder extern aufgrund von Koronaentladungen oder Verunreinigung von isolierenden Flächen (z.B. infolge eines Kühlmittellecks). Rauch oder andere ionisierte Nebenprodukte, die beispielsweise durch ein überhitztes elektrisches Bauteil entstehen, können die Stehspannung der Luftisolation innerhalb des Ventils reduzieren.

Die Folgen eines Isolationsfehlers hängen stark vom Ort, den Materialien und der mit dem Ereignis verbundenen Energie zusammen. Es ist zu beachten, dass es nicht erst zu einem totalen Durchbruch eines Isolierungssystems kommen muss, bevor gefährliche Bedingungen auftreten können. Hohe Oberflächenableitströme, beispielsweise auf einer verunreinigten Isolierungsoberfläche, können je nach Material ein direktes Brandrisiko darstellen.

4.2.2 Lose Verbindungen und Verbindungen mit hohen Übergangswiderständen im Leistungsstromkreis

Aus einer unsachgemäßen Verbindung von Stromschienen, die zum Tragen des Laststroms verwendet werden, kann eine überhitzte Verbindung oder ein serieller Lichtbogen entstehen. Hierbei kann es sich um Verbindungen zwischen verschiedenen Ventilabschnitten, mit der Reihendrosselspule, dem Halbleiterbauelement oder einem anderen Verbinder handeln, der den Laststromzweig bildet. Bei einer losen Verbindung oder einer Verbindung mit hohen Widerständen kommt es zu Überhitzung. Im Falle einer offenen Verbindung entwickelt sich ein serieller Lichtbogen. In beiden Fällen hängt die erzeugte Wärme von der Stromstärke ab und kann benachbarte Komponenten beschädigen, insbesondere Isolierstoffe. Wenn die erreichten Temperaturen hoch genug sind, kann dies zu einem Brand führen.

4.2.3 Fehler bei Ventilkomponenten

4.2.3.1 Allgemeines

Ein Durchbruch der elektrischen Isolierung innerhalb von oder zwischen einzelnen Teilen des Ventils, die zu mehr als einem Thyristorplatz gehören, kann eine Lichtbogenbildung verursachen, wodurch einzelne Bauteile verkohlen oder sich unter bestimmten Umständen entzünden können, wenn die Quelle ausreichend intensiv ist.

4.2.3.2 Thyristoren und Dioden

Bei Überlastung fallen Thyristoren und Dioden aus und bilden einen annähernden Kurzschluß. Vorausgesetzt, dass sie weiterhin richtig eingespannt und gekühlt bleiben, können kurzgeschlossene Thyristoren normalen Laststrom und Überströme sicher leiten. Durch Bereitstellen von redundanten Serienplätzen kann ein Ventil bei einer vorhandenen kleinen Anzahl von kurzgeschlossenen Thyristoren weiterhin während eines langen Zeitraums betrieben werden.

A1

Die Thyristoren und Dioden selbst sind nicht entflammbar, und da ein Ausfall weitere Bauteile von signifikanter Spannungsbeanspruchung entlastet, erfolgt die Konzeption meist derart, dass die Ausfälle anderer Bauteile direkt oder indirekt zu einem Kurzschluss des Thyristors führen, um auf diese Weise gefährliche Bedingungen an anderen Stellen zu vermeiden.

A1

4.2.3.3 IGBT-Dioden-Paare

Diese Bauelemente werden hauptsächlich als einseitig gekühlte und verkapselte Baugruppen hergestellt, obwohl Druckkontaktelemente erhältlich sind. Die Druckkontaktelemente sollten durch Kurzschluss ausfallen, aber verkapselte Baugruppen können im Defektfall sowohl einen Kurzschluss als auch einen offenen Stromkreis bilden. Die Ausfallart ist nicht eindeutig kontrollierbar. Die Ausfallart kann einen Gehäusebruch oder sogar eine explosive Wirkung nach sich ziehen. Um sich vor dieser Unsicherheit zu schützen, muss parallel zum Halbleiterbauelement ein weiteres Bauteil, z. B. ein Schnellschalter, eingebaut werden.

A1

4.2.3.4 Kondensatoren

Um eine lange Lebensdauer und hohe Zuverlässigkeit bei der Betriebsspannung eines Halbleiterbauelement-Platzes zu erreichen, sollten Kondensatoren, für die diese Spannung gilt, eine imprägnierte dielektrische Konstruktion aufweisen.

Nicht entflammbare imprägnierende Flüssigkeiten basierend auf polychlorierten Biphenylen (PCB) existieren zwar, sind aber aus ökologischen Gründen verboten.

Heute enthalten viele Kondensatoren (in der Regel) kleine Mengen eines imprägnierenden Mediums in Form eines Harzes, das bei Kontakt mit Luft und einer Zündquelle brennen kann. Kondensatoren können auch mit speziellen dielektrischen Flüssigkeiten imprägniert sein, bei denen es sich um brennbare Stoffe handelt. Die heutigen Hochspannungskondensatoren verwenden praktisch alle Polypropylen als Dielektrikum, das auch brennen kann, wenn es der Luft und einer Zündquelle ausgesetzt wird. Die Ausfallarten dieser Kondensatoren sind daher von besonderem Interesse.

In allen Fällen ist ein Bruch des Kondensatorbehälters die wesentliche Voraussetzung dafür, dass das dielektrische Material und das imprägnierende Medium der Luft ausgesetzt werden. Ein Bruch könnte durch eine mechanische Beschädigung entstehen, die etwa durch Missbrauch, einen Produktionsfehler oder eine elektrische Störung im Innern des Kondensators verursacht wird. Interne Fehler, beispielsweise ein Kurzschluss eines oder mehrerer Kondensatorelemente, Funkenbildung an einer defekten internen Verbindung etc. können die Zersetzung des dielektrischen Materials und/oder des Imprägniermittels nach sich ziehen und zu einem Druckaufbau im Inneren des Kondensators führen. Solange der Prozess nicht gestoppt werden kann (z. B. indem der Kondensator durch das Betätigen eines Überdruckschutzes unterbrochen wird) oder der Druck auf kontrollierte und sichere Weise gemindert wird, kann der Überdruck zu einem Bruch des Behälters führen. Die Bildung elektrischer Lichtbögen oder Überhitzung des so gebrochenen Kondensators stellen eine mögliche Zündquelle dar. Jüngste Erfahrungen zeigen, dass das Brandrisiko für gekapselte Polypropylenkondensatoren gering ist.

A1

Trockenkondensatoren enthalten in der Regel Polyurethan, Silikongel oder N₂- und SF₆-Gas, besitzen nicht entflammbare Flüssigkeiten, die aus dem Gehäuse auslaufen können.

4.2.3.5 Drosseln

A1 Die Drosseln innerhalb der Ventilausrüstung können flüssigkeitsgekühlt sein. Eine Ausfallart der Ventildrosseln ist die Überhitzung aufgrund einer vollständigen oder teilweisen Blockierung der Kühlleitungen oder die Leckage einer Rohrverbindung innerhalb der Drosseln. Wenn ein solcher Zustand nicht erkannt wird, kann es zu einem Ausfall der Drossel kommen und dies kann wiederum einen Brand in der Ventilausrüstung verursachen.

Bei anderen Ausfallarten kann es sich um einen Windungsisolationsfehler oder um einen Isolationsfehler zwischen Windung und Kern handeln oder etwa um einen Ausfall der Spannbänder, die zum Sichern der Drosselkerne verwendet werden.

Die Folgen solcher Ausfälle hängen von der jeweiligen Ventilkonstruktion ab.

4.2.3.6 Widerstände

Die in Dämpfungskreisen verwendeten Widerstände sind in der Regel drahtgewickelt, obwohl häufig auch Dickschichtwiderstände verwendet werden. Der Ausfall von Widerständen kann an der Überhitzung des Elements liegen, die durch unzureichende Kühlung oder Korrosion der Widerstandselemente, die in direktem Kontakt mit der Kühlung stehen, verursacht wird. Wenn die Widerstände indirekt, d.h. mittels montiertem Kühlkörper gekühlt werden, kann das Versagen der Isolation zwischen Widerstand und Kühlkörper zu lokaler Lichtbogenbildung führen. Dies kann einen offenen Stromkreis, Isolations- oder Gehäusefehler nach sich ziehen. Daraufhin kann sich die verwendete Isolierung entzünden, wenn sie brennbar ist.

Bei einem anderen Szenario dauert die Lichtbogenbildung im Inneren des Widerstands an und der Widerstand fällt explosionsartig aus, wobei er benachbarte Komponenten beschädigen kann. Dies kann Lichtbogenbildung und Überschläge zur Folge haben.

4.2.3.7 Elektronische Schaltkreise

Die elektronischen Schaltkreise für Steuerung, Schutz und Überwachung der Thyristoren sind in der Regel leistungsarm. Der Ausfall einzelner Komponenten kann jedoch eine Brandgefahr darstellen. Die folgenden zwei Situationen kommen in Betracht:

- a) Die Zündelektronik für die Halbleiterbauelemente stellt für mehr als ein in Reihe geschaltetes Halbleiterbauelement über isolierte Ausgangsimpulstransformatoren Gate-Zündimpulse bereit. Der Ausfall der Isolierung eines Impulstransformators könnte zu Laststrom in einer Schwachstromverkabelung führen.
- b) Die elektronischen Schaltkreise benötigen eine Energieversorgung, die für HGÜ-Ventile normalerweise aus der RC-Beschaltung am jeweiligen Platz des Halbleiterbauelements ausgekoppelt wird. Die Energieversorgung muss ausreichend Energie bereitstellen, um die volle Funktionsfähigkeit unter ungünstigsten Betriebsbedingungen sicherzustellen, daher ist unter anderen Bedingungen mehr Energie verfügbar, als notwendig ist. Die zum Kontrollieren dieser Überschussenergie eingesetzte Technik könnte die Folgen eines Bauelementausfalls in diesem Bereich des Schaltkreises beeinflussen.

A1 4.2.3.8 Lichtwellenleiter

A1 Lichtwellenleiter, entweder einzeln oder in Bündeln, stellen ein Entzündungsrisiko dar, wenn sie leitfähiger Oberflächenverschmutzung oder unkontrollierter Spannungsverteilung entlang der Lichtwellenleiter ausgesetzt sind. Bestimmte LWL-Mantelmaterialien können die Verbrennung aufrechterhalten und innerhalb der Ventilstruktur Feuer übertragen.

4.2.4 Verbindungen auf Halbleiterbauelement-Ebene

Wenn die Halbleiterbauelemente elektrisch mit Dämpfungskreisen, Spannungsaufteilungswiderständen und/oder anderen Hilfskreisen verbunden sind, erfordert dies zusätzliche Verkabelung mit geringer Strombelastbarkeit.

Die Steuer- und Schutzbeschaltungen des Halbleiterbauelements, einschließlich Spannungsaufteilungs- und Erfassungskomponenten, umfassen eine große Anzahl von Niedrigstromverbindungen. Kommt es zu einer

unbeabsichtigten Unterbrechung einer Verbindung, können sich Lichtbögen bilden und brennbares Material kann sich entzünden.

4.2.5 Kühlsystemprobleme

4.2.5.1 Wasserbasierte Systeme

⌘ In flüssigkeitsgekühlten Ventilen wird Wärme aus Halbleiterbauelementen, Widerständen und Drosseln durch entionisiertes Wasser oder einer Mischung aus entionisiertem Wasser und Glykol abgeführt. Durchfluss, Druck, Temperatur und Leitfähigkeit des Kühlmittels, das dem Ventil zugeführt wird, werden kontinuierlich außerhalb des Ventils überwacht. Innerhalb des Ventils müssen Kühlwasser und Kunststoffleitungen der Spannungsbeanspruchung standhalten.

Die Ausfallarten der Ventilkühlkreislauf-Komponenten sind Korrosion, Leckagen und Verstopfung. Ausfälle können durch elektrische, chemische oder mechanische Phänomene verursacht werden, die entweder allein oder kombiniert auftreten.

Wenn die mit der Kühlflüssigkeit in Kontakt kommenden Materialien nicht sorgfältig ausgewählt und angewendet werden, können elektrochemische Prozesse im Kühlkreislauf zu Korrosion bei metallischen Kupplungen und anderen Komponenten des Kühlsystems führen. Bei vorhandenen Leckströmen kann es in einigen Bereichen des Kühlwasserkreislaufs zu Erosion und Materialablagerungen kommen. Wenn dieser Prozess über einen bestimmten Zeitraum andauert, kann er an einigen kritischen Teilen des Wasserkreislaufs Leckagen oder Verstopfungen nach sich ziehen.

Vorhandene Fremdkörper im Kühlkreislauf können auch dann Verstopfung verursachen, wenn keine angemessene Pflege stattfindet.

Wenn für die Kühlwasserleitungen eine Reihenschaltung verwendet wird, können alle Komponenten des Reihenwegs (möglicherweise bei mehr als einer Halbleiterbauelement-Ebene) durch Überhitzung infolge einer Beschränkung des Kühlwasserstroms beschädigt werden.

Wenn der Kühlwasserstrom zur Ventildrossel blockiert ist, kann die Drosselisolierung durch Überhitzung beschädigt werden. Das kann zu einem inneren Fehler oder zum Verstreuen von Isolierstoffen auf andere elektrisch aktive Teilen mit nachfolgender Entwicklung von Rauch oder ionisierter Luft führen, was sich wiederum zu einem teilweisen Überschlag entwickeln kann. Wenn sich die Temperatur der Drossel weiter erhöht, kann sich das Isolationsmaterial der Drossel entzünden.

Aufgrund von Fehlern bei Dichtungen oder O-Ringen der Verbindungen können an den einzelnen Verbindungen Kühlwasserlecks auftreten. Risse in den Kunststoffleitungen, die durch vorzeitiges Altern entstehen, können auch zu Leckagen führen. Zusätzlich können beispielsweise mechanische Schwingungen von Drosseln eine Lockerung der Verbindungen oder Risse in Leitungen verursachen, was zu Leckagen führen kann.

Wenn die Isolierungsoberflächen des Ventils verschmutzt sind, kann das Austreten von Wasser zu Kriechspurbildung und schließlich zu einem Überschlag führen.

4.2.5.2 Verunreinigung und Kondensation

Die Ausrüstung im Inneren der Ventilhalle ist Hochspannung ausgesetzt, die einen hohen Gleichstromanteil umfasst. Dies erzeugt ein elektrisches Feld, das dazu neigt, Partikel anzuziehen, die in der Luft der Ventilhalle auf natürliche Weise vorhanden sind. Daher können die Oberflächen der Ausrüstung mit Fremdkörperablagerungen bedeckt werden. Die Ansammlung von Verunreinigungen erhöht das Überschlagrisiko.

Die elektrischen Kriechstrecken und Schlagweiten innerhalb des Ventils basieren auf einer angemessenen sauberen Umgebung.

Die Größe und Dichte der Staubpartikel im Inneren der Ventilhalle ist abhängig von der Effizienz der Belüftungs- und Filtersysteme. Auch wenn die Innenseite des Gebäudes (Wände, Dach, Boden, Tragwerk

etc.) nicht ordnungsgemäß mit einer wartungsfreien Beschichtung behandelt ist, kann dies zur Bildung von Staub führen, der sich schließlich auf den verschiedenen Oberflächen des Ventils absetzt.

Kondenswasserbildung innerhalb der Ventilhalle ist auf allen gekühlten Oberflächen, wie Wasserleitungen und Anschlüssen, möglich, wenn deren Temperatur unter den Taupunkt in der Ventilhalle fallen kann. Die auf den Oberflächen der Ausrüstung in der Ventilhalle abgelagerten Verunreinigungen erhöhen zusammen mit hoher Luftfeuchtigkeit oder Wasserleckagen das Risiko eines schwerwiegenden Überschlags.

Bei vorhandener Feuchtigkeit oder auch hoher Luftfeuchtigkeit können sich beispielsweise durch Verunreinigungen, die sich durch elektrostatische Effekte ansammeln, leitende Elektrolyte auf den Oberflächen bilden. Bei vorhandener elektrischer Beanspruchung können sich kleine Ableitströme bilden und zu Kriechwegbildung führen. Mit der Zeit können sich diese Ströme erhöhen und die Isolierung beschädigen, die Umgebungsluft ionisieren und einen Hochstromüberschlag auslösen.

Elektrostatisch angezogene Verunreinigungen können in Hochspannungs-Luftspalten eine Korona zur Folge haben, die auch einen Überschlag verursachen kann.

Ein Überschlag, der sich aufgrund eines der oben genannten Phänomene bildet, kann durch die an dem Ereignis beteiligten oder benachbarten Materialien zu einem Brand führen.

4.2.6 Ausfall von Ventilhallendurchführungen

Ein Ausfall von Durchführungen kann durch einen externen Überschlag oder interne Entladungen auftreten. Ein externer Überschlag kann das Porzellan durchschlagen und die brennbaren Materialien (Papier/Öl) freilegen. Für den Fall, dass Transformatordurchführungen oder ölsolierte Durchführungen einer Glättungsdrössel in die Ventilhalle ragen, besteht die Möglichkeit, dass eine gewisse Menge Öl in die Ventilhalle gelangt. Da aufgrund der heutigen Käuferanforderungen und bereits seit mehreren Jahren in HGÜ-Anlagen keine ölsolierte oder ölgefüllte Ausrüstung in Ventilhallen vorhanden ist, sollte kein Öl in die Ventilhalle gelangen können.

Ein schwerer innerer Fehler in einer Porzellandurchführung kann eine Explosion verursachen, die die vollständige Zerstörung der Durchführung nach sich zieht und in der Folge weitere Ausrüstung beschädigt. Durchführungen mit Verbundisolator dürfen bersten, aber nicht das Umherfliegen von Fremdkörpern verursachen.

4.2.7 Ausfall der Überspannungsableiter

Wegen nicht vorhandenem brennbaren Material im Innern von Überspannungsableitern sollte ein Ausfall nicht direkt einen Brand verursachen, jedoch hat ionisiertes Plasma, das durch zerstörendes Ansprechen der Ableiter aus den Ausblasöffnungen der Gehäuse austreten kann, das Potenzial, einen Überschlag auszulösen (obwohl dies durch die richtige Konstruktion minimiert werden kann). Ein kompletter Ausfall und die Zerstörung des Überspannungsableiters kann zu einem Überschlag führen oder Folgeschäden verursachen, die einen Überschlag nach sich ziehen.

4.2.8 Fehlerhafter Betrieb der Wassersprühanlage

Wenn in der Ventilhalle, obwohl dies nicht die Regel ist, eine Wassersprühanlage eingesetzt wird, so wird, im Falle eines Einsatzes der gesamte geschützte Bereich mit Wasser geflutet. Ein fälschlicher Einsatz der Wassersprühanlage kann in der Ventilhalle zu einem Überschlag führen. Selbst wenn Wasser mit niedriger Leitfähigkeit verwendet wird, kann bei den bereits mit Fremdkörpern verunreinigten Oberflächen ein Überschlag verursacht werden.

4.2.9 Andere Ausrüstung in der Ventilhalle

Andere Geräte in der Ventilhalle, etwa Spannungsteiler, Stromwandler oder andere Geräte können durch einen Überschlag oder wegen Folgeschäden einen Brand verursachen, wenn sie ausfallen. Die gegenwärtige HGÜ-Praxis lautet, innerhalb der Ventilhalle nur ölfreie Geräte zu verwenden.

4.2.10 Arbeiten innerhalb der Ventilhalle

Aufgrund der hohen Anzahl von elektrischen und mechanischen Verbindungen in einem Ventil gibt es ein gewisses Potenzial für menschliche Fehler, die während der Inbetriebnahme oder Wartung auftreten können. Wenn Verbindungen nicht festgezogen werden oder Fremdkörper liegen bleiben, kann dies zu einem Ausfall führen, der eventuell einen Brand verursacht.

4.3 Bewertung der möglichen Folgen

Damit sich ein Brand entfacht, sind drei Komponenten erforderlich: Wärme (also eine Zündquelle), Sauerstoffzufuhr und eine bestimmte Menge brennbares Material.

Der Schweregrad eines im ungünstigsten Fall auftretenden Feuers kann mithilfe einer einfachen Analyse anhand der „Brandlast“ bewertet werden.

Das Konzept der Brandlast ist jedoch eine konservative Methode, das vorstellbar ungünstigste Feuer zu bewerten, da es vom vollständigen Verbrauch des gesamten brennbaren Materials innerhalb eines festgelegten Bereiches ausgeht. Nicht berücksichtigt wird die Verfügbarkeit verschiedener Materialien bei der Verbrennung, deren Entzündbarkeit oder das Tempo, mit der diese in Brand geraten. Feuerhemmende oder selbst verlöschende Merkmale, sofern vorhanden, werden nicht beachtet. Infolgedessen ist das Konzept der Brandlast bei der Bestimmung der wahrscheinlichen Folgen eines tatsächlichen Brandes nur von begrenztem Nutzen.

Obwohl eine Ventilhalle eine bestimmbare Menge an brennbarem Material enthält, kann die Beurteilung der Folgen, die aus einer möglichen Brandursache gemäß Punkt 4.2 sowie aus einem Vergleich der einzelnen Konstruktionen hervorgehen, nicht zuverlässig auf der Basis der Brandlast, die diese Materialmenge darstellt, vorgenommen werden. Beispielsweise erhöht die Einführung von Barrieren aus feuerhemmendem Material in die Ventile tatsächlich die Brandlast in der Ventilhalle, während sie die Gefahr der Feuerausbreitung vermindern soll. Bei der Beurteilung der möglichen Folgen muss daher die Gesamtheit der eingeleiteten Maßnahmen zur Begrenzung eines Brandgeschehens berücksichtigt werden.

Es ist nicht vorgesehen, dass die Ausrüstung einer Ventilhalle jemals aus ausschließlich nichtbrennbaren Materialien konstruiert wird. Da also brennbare Materialien eingesetzt werden, sollte ermittelt werden, welches die wahrscheinlichen Folgen der in Punkt 4.2 genannten möglichen Ursachen sind. Folgende Aspekte sollten in Betracht gezogen werden:

- a) Die Wahrscheinlichkeit, dass das Startereignis eintritt;
- b) Die Menge an brennbarem Material, die direkt am Startereignis beteiligt ist;
- c) Die Eigenschaften für die Brennbarkeit der beteiligten Stoffe;
- d) Die Methode zum Erkennen eines Brandes und die daraufhin eingeleiteten Maßnahmen;
- e) Die in der Ausführung enthaltenen Schutzmaßnahmen, um einen Brand einzudämmen und/oder dessen Ausbreitung auf benachbarte Materialien oder Ausrüstung zu begrenzen;
- f) Das Risiko des Ausfalls der Schutzmaßnahmen;
- g) Die möglichen Auswirkungen der erhöhten Temperatur aufgrund eines Brandgeschehens auf die mechanische Widerstandsfähigkeit der Ausrüstung in der Ventilhalle oder auf das Ventilhallengebäude;
- h) Das mögliche Ausmaß und die Auswirkungen einer übergreifenden Verunreinigung anderer Geräte durch Verbrennungsprodukte;
- i) Die wahrscheinliche Notwendigkeit und die Folgen, die sich aus dem Einsatz eines Löschmittels zum Bekämpfen des Feuers ergeben.

5 Aufbau und Zutritt zur Ventilhalle

5.1 Physischer Aufbau

5.1.1 Allgemeines

Die physische Anordnung von Ventilhallen und Serviceeinrichtungen basiert auf einer Reihe von Faktoren (z. B. Ventilart, Baukosten, seismische Bedingungen etc.), die sich nicht auf den Brandschutz und die Sicherheit beziehen. Wenn der Aufbau der Anlage nur aus der Perspektive des Brandschutzes überprüft werden würde, müsste die Ventilhalle physisch von den anderen Serviceeinrichtungen, wie Kontrollraum, Eigenbedarfsenergieräumen, Stromrichter-Transformatoren, ölgefüllten Glättungsdrösslern und Wartungsbereichen getrennt sein. Während die physische Trennung der Ventilhallen und Serviceeinrichtungen aus Sicht des Brandschutzes wünschenswert ist, kann dies zu betrieblichen und wirtschaftlichen Bedenken führen, die den Brandschutzüberlegung übergeordnet sind. Wenn die Ventilhalle und Serviceeinrichtungen innerhalb eines einzelnen Gebäudes konstruiert werden müssen, sollten Brandabschnitte vorgesehen werden, die einen Brand auf seinen Ursprungsbereich eindämmen können.

Wände in Brandabschnitten schränken die Ausbreitung des Brandes gemäß ihrer spezifizierten Einstufung nur ein, wenn ihre bauliche Integrität nicht durch ungeschützte Öffnungen wie Türen, Kanäle, Gitter, Sichtfenster und Kabeldurchführungen beeinträchtigt wird. Diese Öffnungen sind sorgfältig abzudichten, um die Standsicherheit der Brandwände sicherzustellen. Der Schutz dieser Öffnungen kann in Form von Brandschutztüren, Brand- und Rauchschutzklappen, feuerfesten Fensterbaugruppen und feuergeschützten Kabeldurchführungen erfolgen.

5.1.2 Gegenwärtige Praxis

In der Mehrzahl der Anlagen befinden sich die Ventilhallen und Betriebsräume aus logistischen und organisatorischen Gründen in einem einzigen Gebäude. Eine andere Möglichkeit ist, die Ventilhalle in einem separaten Gebäude getrennt von den Betriebsräumen unterzubringen. Wenn sich die Ventilhallen und Betriebsräume in demselben Gebäude befinden, werden in der Regel die Ventilhallen durch Brandwände vom Hauptgebäude getrennt. Der Feuerschutzabschluss muss beim Entwurf der Installation der Ventilhalle in Betracht gezogen werden. Ebenfalls sind die Maßnahmen zu berücksichtigen, die zum Mindern der Gefahr der Brandausbreitung umzusetzen sind.

5.1.3 Besondere Bestimmungen

5.1.3.1 Einrichtungen in räumlich getrennten Gebäuden

Im Hinblick auf die räumliche Trennung sollten vier wesentliche Bereiche einer HGÜ-Station in Betracht gezogen werden: die Ventilhallen, Betriebs- und Wartungsbereiche, Kontroll- und Schalträume und Eigenbedarfsenergieräume sowie benachbarte Bereiche mit ölgefüllter Ausrüstung.

Die Installation von ölgefüllten elektrischen Apparaten, wie Stromrichtertransformatoren, lässt sich auch bei unter der Perspektive räumlicher Trennung behandeln. Die grundlegenden Leitlinien von NFPA 850 und IEEE 979 enthalten eine Reihe von Kriterien für den Abstand von ölgefüllten Anlagen zu benachbarten Gebäuden.

5.1.3.2 Durch Brandwände oder Brandsperren getrennte Einrichtungen

Wenn die Einrichtung in einem gemeinsamen Gebäude untergebracht ist, sollten die Ventilhallen, Betriebs- und Wartungsbereiche, Kontroll- und Schalträume sowie Eigenbedarfsenergieräume durch Brandwände mit geeigneter Bewertung (z. B. 2 h) voneinander getrennt sein. Öffnungen in Brandwänden sollten die gleiche Bewertung wie die Wand haben.

Wenn ölgefüllte elektrische Apparate näher am Hauptgebäude installiert werden müssen, als es die Trennabstände gemäß NFPA 850 und IEEE 979 vorsehen, müssen Maßnahmen für einen Feuerschutzabschluss in Betracht gezogen werden.

5.2 Konstruktion einer HGÜ-Ventilhalle

5.2.1 Allgemeines

Die grundlegende Struktur der Ventilhalle schützt die Ausrüstung vor Wetter und stellt eine kontrollierte Umgebung für den Betrieb der Ventile bereit, die aus Halbleiterbauelementen bestehen. Die Ventilhalle reduziert auch die Radiofrequenzstrahlung, die von den Ventilen ausgeht. Die normalen Komponenten für den Bau der Ventilhalle sind der Boden, die Wände, das Dach und der Innenausbau. Aus der Perspektive eines Brandes sammeln sich in der Ventilhalle die Wärme und der toxische korrosive Rauch, der in der Folge die Ausrüstung beeinträchtigt.

Um die Probleme, die in der Regel mit einem Brand in einem Gebäude verbunden sind, zu vermeiden, sollten folgende Überlegungen in Betracht gezogen werden:

- a) Verwendung nichtbrennbarer Materialien für den Bau und Ausbau, wo dies möglich ist. Wenn dies nicht möglich ist, sollten Kontrollmaßnahmen einbezogen werden.
- b) Der Einsatz feuerbeständiger Baumaterialien für die Ventilhalle zwecks Erhöhung der Haltbarkeit gegen Brandeinwirkung und den möglichen anschließenden Zusammenbruch. Es sollte aber nicht nur nicht-brennbares Material in Betracht gezogen werden, sondern auch die Merkmale der Feuerbeständigkeit der Baumaterialien sind von Bedeutung.
- c) Einbeziehung von Designmaßnahmen in den Bau des Gebäudes zur Minderung weiterer Brand- und Betriebsprobleme, wie undichte Bedachung, Ölauffangwanne und Entwässerung.

5.2.2 Konstruktion der Ventilhalle

5.2.2.1 Allgemeines

Nachfolgend wird ein Überblick über die Gefahren, Praktiken und Empfehlungen für den Bau von Dächern, Wänden, Böden und den Ausbau in einer Ventilhalle gegeben.

5.2.2.2 Böden

Die Böden einer Ventilhalle sollten in nichtbrennbarer Bauweise ausgeführt werden und eine saubere, stabile Oberfläche bieten, auf der Wartungsarbeiten an den Ventilen und der Ausrüstung der Ventilhalle vorgenommen werden können.

5.2.2.3 Wände

Die Wände einer Ventilhalle dienen nicht nur als Gehäuse, sondern auch allgemein als Stützmittel für das Dach und in manchen Fällen auch für das tatsächliche Ventilgerüst.

Die Wände sollten nicht brennbar und feuerbeständig sein und einen Feuerschutzabschluss zu anderen Bereichen des Gebäudes bilden. Die Bewertung der Wände hängt von der Konfiguration und den in der Struktur verwendeten Materialien ab, sowie von der Brandlast der Ventile und anderer Apparate in der Ventilhalle. Bei Stahlkonstruktionen, die für Wände oder Bestandteile der Dachkonstruktion verwendet werden, ist besonders darauf zu achten, dass die freiliegenden Oberflächen zum Beispiel durch zugelassene aufgespritzte mineralische Beschichtungen, Intumeszenzfarben oder feuerfeste Umhüllungen geschützt werden.

5.2.2.4 Dächer

Die Konstruktion der Dachkomponenten einer Ventilhalle ist eine Frage für den Brandschutz, da die Dachkonstruktion bei einem Brand heißen Gasen und Flammen ausgesetzt sein kann. Eine solche Einwirkung kann zum Zusammenbruch der Dachkonstruktion und einer anschließenden großen Beschädigung des Ventilgerüsts führen. Für das Dach sollte die Verwendung von freiliegendem Stahl und brennbaren Materialien vermieden werden.

Die Dachkonstruktion ist besonders bei Anwendungen kritisch, bei denen die Dachstruktur tatsächlich eine Trageinrichtung für die Ventile darstellt. Die Art der Dachkonstruktionen sollte auf der Grundlage einer Analyse der Anordnung und Konfiguration der Ventile sowie der Konstruktion und Brennbarkeit des Ventilgerüsts und dessen Komponenten basieren. Auch die Wirkung der Brandschutzmaßnahmen und des Rauchmanagementsystems, die in die Ventilhalle einzubauen sind, sollten berücksichtigt werden.

5.2.2.5 Innenausbau

Für den Innenausbau einer Ventilhalle sollten Materialien mit geringer Brandausbreitung und Rauchentwicklung verwendet werden.

5.3 Ausgangsmöglichkeiten

Die einzige zu erwartende Zeit, in denen die meisten Ventilhallen betreten werden, ist während Wartungsarbeiten und, bei einigen Ausführungen, während kurzer Betriebsinspektionen. Die Ausgangsmöglichkeiten aus der Ventilhalle sollten mit den vor Ort geltenden Vorschriften und den Betriebsanforderungen übereinstimmen.

6 Überwachung der Ventilkomponenten und anderer Ausrüstung in der Ventilhalle

6.1 Allgemeines

Die Überwachung oder Kontrolle der Ausrüstung in der Ventilhalle soll Ausfälle erkennen, von denen einige eventuell einen größeren Schaden verursachen könnten. Es stehen zwei Arten der Überwachung zur Verfügung:

- a) Online-Überwachung;
- b) Offline Kontrollen und Inspektionen.

6.2 Überwachung der Ventilkomponenten

6.2.1 Allgemeines

Um eine angemessene Überwachungspraxis für die Ventilkomponenten einzurichten, muss eine Definition der Ventilkomponenten erstellt werden. Die Ventilkomponenten umfassen in der Regel folgende Teile (abhängig von der verwendeten Umrichtertechnologie):

- ⌘ a) Thyristoren, IGBT/Diodenpaare, Freilaufdioden oder andere Halbleiter;
- b) Gate-Elektronik oder Überwachungselektronik;
- c) Dämpfungskreise (Kondensatoren und Widerstände) (falls zutreffend);
- ⌘ d) DC-Kondensatoren von selbstgeführten *Spannungszwischenkreisumrichtern* (wenn anwendbar);
- e) DC-Spannungsaufteilungswiderstände (falls zutreffend);
- f) (Sättigungs-)Drosseln (falls zutreffend);
- g) Steuerkondensatoren (falls zutreffend);
- h) Lichtleiter zwischen dem Ventil und der Fußpunktelektronik;
- i) Kühlmittelleitungen innerhalb des Ventils;
- ⌘ j) Stütz-/Hängeisolatoren zwischen den einzelnen Etagen;
- k) Kurzschließer am IGBT-Platz(falls zutreffend);
- l) Laststromführende Verbindungen;
- m) Elektrische Verbindungen zwischen den Platzkomponenten.

Aus dieser Liste ist ersichtlich, dass es innerhalb eines Ventilgerüsts eine große Anzahl unterschiedlicher Komponentenarten gibt. Angesichts dessen, dass in einer einzigen Ventilhalle mehr als 1000 Exemplare der

meisten der oben aufgeführten Elemente vorhanden sein können, wird offensichtlich, dass es schwierig ist, ein gemeinsames Überwachungssystem für all diese Komponenten auszuarbeiten.

6.2.2 Online-Überwachung

Im Allgemeinen werden Halbleiter, wie Thyristoren oder IGBT-Transistoren, direkt überwacht und die Einbauplätze und die Anzahl fehlerhafter Elemente gemeldet. Alarm- und Abschaltsignale werden in der Regel erzeugt, wenn die Anzahl der redundanten Plätze innerhalb eines Ventils reduziert oder erschöpft ist. Während defekte Thyristoren einen Kurzschluss ausbilden und den betroffenen Platz sicher vor Beschädigung schützen, können defekte IGBT-Transistoren eine Unterbrechung hervorrufen. Um die Gefahr von Lichtbogenbildung zu vermeiden, die Entzündung verursachen kann, sollten solche Plätze mit anderen Mitteln kurzgeschlossen werden, beispielsweise mit parallel geschalteten Überbrückungseinrichtungen. Das ordnungsgemäße Funktionieren dieser Mittel sollte auch überwacht und protokolliert werden.

Andere Ventilkomponenten, wie Widerstände, Kondensatoren oder (Sättigungs-)Drosseln werden in der Regel nicht direkt überwacht. Der Ausfall dieser Komponenten kann zu einem höheren Entzündungsrisiko führen, als der Ausfall von Halbleitern, insbesondere wenn der Ausfall dieser Komponenten nicht direkt einen Kurzschlussfehler des Halbleiters nach sich zieht.

Die elektrische Überwachung der Verbindungen innerhalb eines Ventilplatzes (Verkabelung) und der Sammelschienenverbindungen innerhalb des Ventils während des Betriebs erweist sich als schwierig. Regelmäßige Infrarot-Wärmeabstastungen oder Beobachtungen der Ventile mithilfe eines Video-Kamerasystems sind mögliche Mittel, beide Techniken erfordern jedoch eine direkte Sichtverbindung zu den zu überwachenden Verbindungen und lassen sich daher nur begrenzt einsetzen. Für die permanente Überwachung kann ein Videosystem verwendet werden, wenn eine automatische Bildauswertung verfügbar ist.

Beim Erfassen überhitzter Verbindungen oder Komponenten können auch Luft-Probenentnahmeeinrichtungen wirksam sein.

Wenn ein Wasserkühlsystem verwendet wird, wird dieses in der Regel auf Leckagen innerhalb und/oder außerhalb des Ventilgerüsts überwacht. Je nach Ausführung werden unterschiedliche Methoden zum Überwachen von Wasserleckagen innerhalb des Ventilgerüsts verwendet. In den meisten Fällen wird ein Alarm oder eine Abschaltung erzeugt. Auch kleine Kühlwasserlecks sollten schnellstmöglich erkannt werden, da sich Leckwasser, das sich über Isolierungsoberflächen ausbreitet, die Spannungsfestigkeit verringert und das Risiko der Entzündung erhöht.

Es ist darauf zu achten, dass die Art der Online-Überwachung das Design nicht erschwert und die Zuverlässigkeit des Umrichters nicht reduziert.

6.2.3 Offline Kontrollen und Inspektionen

Die Philosophie für die Offline-Kontrollen hängt von den Wartungsempfehlungen des Herstellers und den Wartungsmaßnahmen des Benutzers ab, wie etwa dem Intervall zwischen Wartungsabschaltungen und der Dauer der Abschaltung. Die folgenden Aktivitäten sind typische Beispiele für Offline-Arbeiten an Halbleiterventilen:

- a) Ersetzen defekter Bauteile, wie Halbleiterbauelemente, Elektronikbaugruppen oder komplette Ventil-Teilmodule;
- b) Überprüfen der Dichtheit von Kühlkreislaufanschlüssen und auf Vorhandensein kleinerer Kühlmittellecks;
- c) Reinigen von Isolatoren oder isolierenden Teilen sowie möglicherweise großen Kühlmittelleitungen;
- d) Prüfen auf Festigkeit (Drehmomente) der Stromschienenverbindungen sowie auf Verfärbungen;
- e) Prüfen der Verkabelung zwischen den Komponenten an einzelnen Ventilplätzen auf korrekten Zustand;
- f) Sichtprüfung der Kühlmittelleitungen und Kühlwasseranschlüsse auf Verschlechterung;
- g) Testen von Komponenten an einzelnen Ventilplätzen, falls empfohlen mithilfe von speziellen Prüfgeräten;
- h) Druckprüfung des Ventil-Kühlwasserkreislaufes, falls empfohlen.