

	DIN EN IEC 60695-5-1 (VDE 0471-5-1)	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 13.220.40; 29.020

Einsprüche bis 2020-04-21

EntwurfVorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60695-5-1
(VDE 0471-5-1):2003-09

**Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr –
Teil 5-1: Korrosionsschädigung durch Rauch und/oder Brandgase –
Allgemeiner Leitfaden
(IEC 89/1471/CDV:2019);
Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60695-5-1:2019**

Fire hazard testing –
Part 5-1: Corrosion damage effects of fire effluent –
General guidance
(IEC 89/1471/CDV:2019);
German and English version prEN IEC 60695-5-1:2019

Essais relatifs aux risques du feu –
Partie 5-1: Effets des dommages de corrosion des effluents du feu –
Guide general
(IEC 89/1471/CDV:2019);
Version allemande et anglaise prEN IEC 60695-5-1:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-02-21 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

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

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

Gesamtumfang 34 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN IEC 60695-5-1:2019 "Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr – Teil 5-1: Korrosionsschädigung durch Rauch und/oder Brandgase – Allgemeiner Leitfaden" (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 89/1471/CDV:2019 "Fire hazard testing – Part 5-1: Corrosion damage effects of fire effluent – General guidance" unverändert in den Entwurf prEN IEC 60695-5-1:2019 übernommen worden.

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

Das internationale Dokument wurde vom IEC/TC 89 „Fire hazard testing“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

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

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/K 133 "Prüfverfahren zur Beurteilung der Brandgefahr von elektrotechnischen Produkten und Isolierstoffen" der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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

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

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

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

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60695-5-1 (VDE 0471-5-1):2003-09** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Verweisungen auf IEC/TS 60695-5-3 (2014 zurückgezogen) wurden entfernt;
- b) Verweisungen auf TS 60695-1-1 beziehen sich nun auf dessen Ersatz: **IEC 60695-1-10** und **IEC 60695-1-11**;
- c) ISO/TR 9122-1 wurde anhand von ISO 19706 überarbeitet;
- d) Verweisungen auf ISO 11907-2 und ISO 11907-3 wurden entfernt;
- e) die Begriffe wurden aktualisiert;
- f) Text in 6.4 wurde aktualisiert;
- g) die Literaturhinweise wurden aktualisiert.

Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr – Teil 5-1: Korrosionsschädigung durch Rauch und/oder Brandgase – Allgemeiner Leitfaden

Inhalt	Seite
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Brandszenarien und physikalische Brandmodelle	7
5 Allgemeine Aspekte der Korrosivität von flüchtigen Verbrennungsprodukten	8
5.1 Szenarien der Korrosionsschädigung	8
5.2 Arten der Auswirkung von Korrosionsschädigungen	10
5.2.1 Einleitung	10
5.2.2 Metallverlust	10
5.2.3 Unbeweglichkeit vormals beweglicher Teile	10
5.2.4 Brückenbildung bei gedruckten Leiterplatten	10
5.2.5 Bildung einer nichtleitenden Schicht auf Kontaktflächen	10
5.3 Die Korrosivität beeinflussende Faktoren	10
5.3.1 Einleitung	10
5.3.2 Beschaffenheit der flüchtigen Verbrennungsprodukte	11
5.3.3 Korrosive Umgebung	11
6 Grundsätze der Messung der Korrosionsschädigung	12
6.1 Einleitung	12
6.2 Erzeugung der flüchtigen Verbrennungsprodukte	12
6.2.1 Auswahl des zu verbrennenden Probekörpers	12
6.2.2 Auswahl des physikalischen Brandmodells	12
6.3 Beurteilung des korrosiven Potentials	13
6.3.1 Allgemeines	13
6.3.2 Indirekte Beurteilung	13
6.3.3 Simulierte Produktprüfung	13
6.3.4 Produktprüfung	13
6.4 Überlegungen zu den Korrosivitätsprüfverfahren	14
7 Relevanz der Daten für die Beurteilung der Brandgefahr	16
Literaturhinweise	17
Bilder	
Bild 1 – Unterschiedliche Phasen der Brandentwicklung in einer Kammer	8
Bild 2 – Beurteilung und Berücksichtigung der Prüfverfahren zur Korrosionsschädigung	15
Tabellen	
Tabelle 1 – Merkmale von Brandphasen (aus Tabelle 1 in ISO 19706:2011)	9
Tabelle 2 – Zusammenfassung der Korrosivitätsprüfverfahren	14

Einleitung

Bei der Auslegung eines elektrotechnischen Erzeugnisses müssen die Brandgefahr und die potentiellen mit einem Brand verbundenen Gefahren berücksichtigt werden. Infolge dieses Risikos ist es bei der Bemessung von Bauteilen, Auslegung der Schaltung und Geräte sowie Wahl von Werkstoffen das Ziel, die Wahrscheinlichkeit eines Brands selbst bei vernünftigerweise vorhersehbarer Verwendung oder Missbrauch, im Fehlerfall oder beim Ausfall auf ein vertretbares Niveau zu verringern.

IEC 60695-1-10, IEC 60695-1-11 und IEC 60695-1-12 [1]¹ Bereitstellung von Leitlinien, wie dies zu erreichen ist.

Brände, an denen elektrotechnische Erzeugnisse beteiligt sind, können auch durch externe, nichtelektrische Zündquellen verursacht werden. Derartige Überlegungen werden in der Gesamtbewertung zur Brandgefahr angestellt.

Das Ziel der Normenreihe IEC 60695 besteht in der Rettung von Leben und dem Schutz von Eigentum/Sachwerten durch Verminderung der Anzahl an Bränden oder durch Verminderung der Brandfolgen. Dies kann durch Folgendes erreicht werden:

- Versuch, eine durch ein unter elektrischer Spannung stehendes Bauteil hervorgerufene Entzündung zu verhindern und, sollte dennoch eine Entzündung erfolgen, jeden entstandenen Brand möglichst auf den Innenraum des Gehäuses (Umhüllung) des elektrotechnischen Erzeugnisses zu begrenzen;
- Versuch der Minimierung jeglicher Flammenausbreitung über die Gehäusegrenzen des Erzeugnisses hinaus und der Minimierung gefährlicher Auswirkungen von **flüchtigen Verbrennungsprodukten**, einschließlich Wärme, **Rauch** und toxischer oder korrosiver Verbrennungsprodukte.

Alle **flüchtigen Verbrennungsprodukte** sind zu einem gewissen Grad korrosiv. Der potentielle Korrosionsgrad ist sowohl von der Art des Brands als auch von der Zusammensetzung der vom Brand betroffenen brennbaren Werkstoffe, der Art des angegriffenen Untergrunds und der Temperatur sowie der relativen Luftfeuchte der Umgebung, in der die **Korrosionsschädigung** stattfindet, abhängig. Es gibt keinen Beweis dafür, dass **flüchtige Verbrennungsprodukte** von elektrotechnischen Produkten eine größere Gefahr **korrosiver Beschädigung** darstellen als andere die **flüchtigen Verbrennungsprodukte** anderer Produkte, wie z. B. Zimmereinrichtungen, Baustoffe usw.

Das Betriebsverhalten elektrischer und elektronischer Bauteile kann durch **Korrosionsschädigung** ungünstig beeinflusst werden, wenn diese **flüchtigen Verbrennungsprodukten** ausgesetzt sind. Eine Vielzahl von Kombinationen winziger Mengen flüchtiger Gase, **Rauchpartikel**, Feuchtigkeit und Temperatur können zu Bedingungen für Ausfälle elektrischer Bauteile oder Systeme durch Bruch, Überhitzung oder Kurzschluss führen.

Die Bewertung potentieller **Korrosionsschädigung** ist besonders bei hochwertigen und sicherheitsbezogenen elektrotechnischen Produkten und Anlagen wichtig.

Die für die Produkte verantwortlichen Technischen Komitees wählen die Prüfung(en) aus und legen den Schärfegrad fest.

Die Betrachtung der **Korrosionsschädigung** erfordert ein interdisziplinäres Herangehen, das die Chemie, die Elektrotechnik, die Physik, den Maschinenbau, die Metallurgie und die Elektrochemie einschließt. Bei der Erstellung dieses Teils von IEC 60695-5 sind alle vorgenannten Disziplinen berücksichtigt worden.

IEC 60695-5-1 legt den Zweck des Leitfadens fest und gibt den Anwendungsbereich an.

IEC 60695-5-2 stellt eine Zusammenfassung der Prüfverfahren bereit und gibt die Bedeutung und die Nützlichkeit an.

¹ Die Ziffern in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60695 ist ein Leitfaden für:

- a) allgemeine Aspekte von Prüfverfahren für **Korrosionsschädigung**;
- b) Verfahren zur Messung von **Korrosionsschädigung**;
- c) die Erwägung von Prüfverfahren;
- d) die Bedeutung von Daten über **Korrosionsschädigung** bei der Beurteilung der Gefährdung.

Diese Sicherheitsgrundnorm muss von Technischen Komitees verwendet werden, die Normen nach den in IEC Guide 104 und ISO/IEC Guide 51 dargelegten Grundsätzen erarbeiten.

Es liegt in der Verantwortung eines technischen Komitees, wann immer möglich bei der Erarbeitung der in ihren Arbeitsbereich fallenden Normen die Anforderungen der Sicherheitsgrundnormen zu übernehmen.

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 60695-1-10, *Fire hazard testing – Part 1-10: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines*

IEC 60695-1-11, *Fire hazard testing – Part 1-11: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire hazard assessment*

IEC 60695-5-2, *Fire hazard testing – Part 5-2: Corrosion damage effects of fire effluent – Summary and relevance of test methods*

IEC Guide 104, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

ISO/IEC Guide 51, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*

ISO 13943:2017, *Fire safety – Vocabulary*

ISO 19706:2011, *Guidelines for assessing the fire threat to people*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Teils von IEC 60695 gelten die folgenden Begriffe und die Begriffe nach ISO 13943:2017.

3.1

Korrosionsschädigung

durch chemische Einwirkung hervorgerufene physikalische und/oder chemische Schädigung oder Funktionsbeeinträchtigung

[QUELLE: ISO 13943:2017, 3.69]

3.2

Korrosionsmesselement

Sensor, mit dem eine **Korrosionsschädigung** (3.1) unter festgelegten Bedingungen bestimmt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Sensor kann ein Produkt oder eine Komponente sein, aber auch ein Referenzmaterial oder -gegenstand, mit dem das Verhalten eines Produkts oder eines Bauteils simuliert wird.

[QUELLE: ISO 13943:2017, 3.70]

3.3

Abklingen des Feuers

Phase des Brandablaufs, nachdem ein Brand bzw. ein Feuer seine maximale Intensität erreicht und überschritten hat und bei der sowohl die Wärmefreisetzungsrates als auch die Temperatur des Brands bzw. des Feuers wieder abnehmen

[QUELLE: ISO 13943:2017, 3.122]

3.4

flüchtige Verbrennungsprodukte

alle Gase und Aerosole einschließlich flüchtiger Partikel, die bei einem Brand bzw. Feuer bei der Verbrennung oder **Pyrolyse** (3.9) entstehen und in die Umgebung freigesetzt werden

[QUELLE: ISO 13943:2017, 3.123]

3.5

Brandszenario

qualitative Beschreibung des Brandverlaufs mit Zeitangaben für Schlüsselereignisse, die den untersuchten Brand charakterisieren und von anderen möglichen Bränden unterscheiden

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe **Brandszenariengruppe** (ISO 13943:2017, 3.154) und **repräsentatives Brandszenario** (ISO 13943:2017, 3.153).

Anmerkung 2 zum Begriff: Es beschreibt üblicherweise den Entstehungs- und Entwicklungsprozess eines Brands sowie seine voll entwickelte Phase und das **Abklingen des Feuers** (3.3) sowie die Umgebung und die Systeme, die den Brandverlauf beeinflussen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Im Gegensatz zur deterministischen Brandanalyse, bei der Brandszenarien einzeln ausgewählt und als Bemessungsbrandszenario verwendet werden, kommen Brandszenarien bei der Beurteilung des Brandrisikos als repräsentative Brandszenarien innerhalb von Brandszenariengruppen zum Einsatz.

[QUELLE: ISO 13943:2017, 3.152]

3.6

Überschlag

<Brandphase> Übergang zu einer Brandphase, in der die gesamte Oberfläche der brennbaren Werkstoffe in einem geschlossenen Raum am Brand beteiligt ist

[QUELLE: ISO 13943:2017, 3.184]

3.7

Ableitstrom

in einem unerwünschten Kreis fließender elektrischer Strom

3.8

physikalisches Brandmodell

Laborverfahren einschließlich des Versuchsaufbaus, der Umgebungsbedingungen und der Versuchsausführung, das eine bestimmte Brandphase repräsentieren soll

[QUELLE: ISO 13943:2017, 3.298]

3.9

Pyrolyse

durch Wärme erzeugte chemische Zersetzung eines Werkstoffs

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „Pyrolyse“ bezieht sich oft auf das Stadium eines Brands vor Beginn der Verbrennung mit Flammenerscheinung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Unter Brandfachleuten werden keine Annahmen zum Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein von Sauerstoff getroffen.

[QUELLE: ISO 13943:2017, 3.316]

3.10

Kleinbrandprüfung

Brandprüfung an einem Probekörper mit kleinen Maßen

Anmerkung 1 zum Begriff: Es gibt keine klare Obergrenze für die Maße des Probekörpers in einer Kleinbrandprüfung. In manchen Fällen wird eine Brandprüfung an einem Probekörper mit einem Höchstmaß kleiner als 1 m als Kleinbrandprüfung bezeichnet. Eine Brandprüfung an einem Probekörper mit Höchstmaßen zwischen 0,5 m und 1,0 m wird jedoch häufig als Brandprüfung im mittleren Maßstab bezeichnet.

[QUELLE: ISO 13943:2017, 3.346]

3.11

Rauch

sichtbarer Teil der flüchtigen Verbrennungsprodukte

[QUELLE: ISO 13943:2017, 3.347]

4 Brandszenarien und physikalische Brandmodelle

In den letzten Jahren sind bei der Analyse von **flüchtigen Verbrennungsprodukten** große Fortschritte erzielt worden. Es wurde festgestellt, dass die Zusammensetzung des Gemischs von Verbrennungsprodukten im Wesentlichen von der Beschaffenheit der verbrennenden Stoffe, den herrschenden Temperaturen und den Belüftungsbedingungen abhängig ist, insbesondere vom Vorhandensein von Sauerstoff am Ausgangspunkt des Feuers. **Tabelle 1** zeigt, wie die verschiedenen Brandphasen mit den atmosphärischen Bedingungen zusammenhängen. Damit diese Bedingungen denen bei Großbränden möglichst genau entsprechen, können sie für die Anwendung bei Laborprüfungen aus der Tabelle abgeleitet werden.

Bei Bränden trifft eine Vielzahl verschiedener, miteinander verknüpfter physikalischer und chemischer Erscheinungen zusammen. Es ist deshalb schwierig, alle Aspekte eines realen Brands mit einer Laboreinrichtung zu simulieren. Dieses Problem ist vielleicht das komplexeste technische Problem, das mit allen Brandprüfungen verbunden ist.

Ein allgemeiner Leitfaden für die Beurteilung der Brandgefahr von elektrotechnischen Produkten ist in **IEC 60695-1-10** enthalten. Eine Anleitung zur Abschätzung der Brandgefahr kann **IEC 60695-1-11** entnommen werden.

Nach der Entzündung kann sich die Brandentwicklung abhängig von den Umgebungsbedingungen unterschiedlich gestalten und ist auch von der physikalischen Anordnung der brennbaren Werkstoffe abhängig. Innerhalb einer Kammer kann jedoch für die Brandentwicklung ein allgemeines Muster erstellt werden, bei dem die Temperatur-Zeit-Kurve im Allgemeinen drei Phasen sowie eine Phase des **Abklingens des Feuers** (siehe **Bild 1**) aufweist.

Phase 1 (nicht brennende Zersetzung) ist die Anfangsphase des Brands vor einem anhaltenden Brennen mit Flamme und geringem Anstieg der Raumtemperatur. In dieser Phase sind die Entzündung und die Erzeugung von **Rauch** die beiden Hauptgefahren.

Phase 2 (sich entwickelnder Brand) beginnt mit der Entzündung und endet mit einem schnellen Anstieg der Raumtemperatur. In dieser Phase sind die Flammenausbreitung und die Wärmefreisetzung neben dem **Rauch** die beiden Hauptgefahren.

Phase 3 (vollentwickelter Brand/Vollbrand) beginnt, wenn die Oberflächen aller brennbaren Stoffe des Raums sich in einem solchen Umfang zersetzt haben, dass in dem gesamten Raum schlagartig eine Entzündung auftritt, wobei die Raumtemperatur rasch und heftig ansteigt (**Überschlag**).

Am Ende von Phase 3 sind die brennbaren Stoffe und/oder der Sauerstoff größtenteils verbraucht, und folglich verringert sich die Temperatur mit einer Rate, die von der Belüftung sowie von den Wärme- und Stofftransporteigenschaften des Systems abhängt. Dies wird als **Abklingen des Feuers** bezeichnet.

In jeder dieser Phasen kann eine andere Mischung von Zersetzungsprodukten entstehen, die wiederum das in der entsprechenden Phase produzierte Korrosionspotenzial der **flüchtigen Verbrennungsprodukte** beeinflusst.

Die Merkmale dieser Brandphasen sind in **Tabelle 1** aufgeführt.

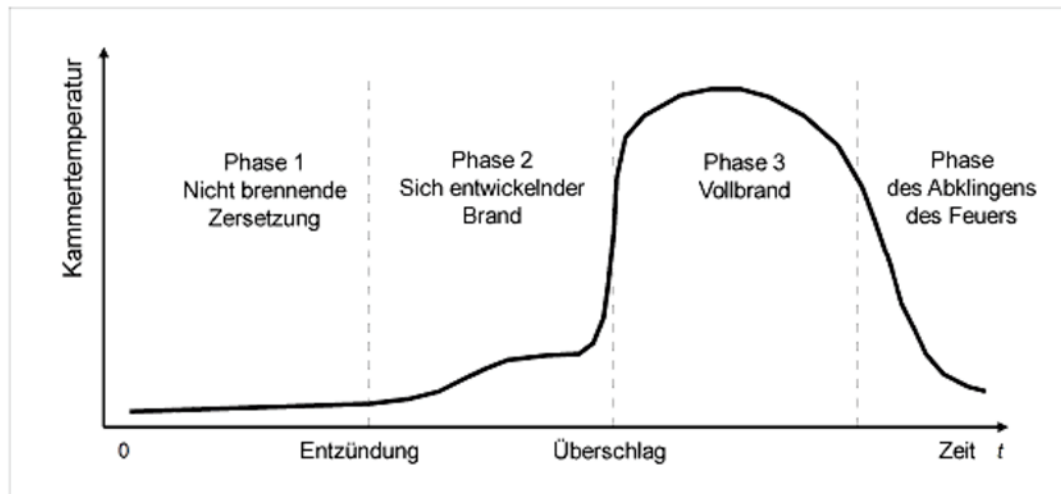


Bild 1 – Unterschiedliche Phasen der Brandentwicklung in einer Kammer

5 Allgemeine Aspekte der Korrosivität von flüchtigen Verbrennungsprodukten

5.1 Szenarien der Korrosionsschädigung

Im Zusammenhang mit elektrotechnischen Betriebsmitteln und Systemen sind drei Szenarien der **Korrosionsschädigung** von Bedeutung:

- innerhalb von elektrotechnischen Betriebsmitteln und Systemen, die **flüchtigen Verbrennungsprodukten** ausgesetzt sind, welche von unüblichen, örtlich begrenzten internen Quellen übermäßiger Erwärmung und Entzündung ausgehen;
- innerhalb von elektrotechnischen Betriebsmitteln und Systemen, die **flüchtigen Verbrennungsprodukten** ausgesetzt sind, welche von äußeren Flammeneinwirkungen oder übermäßiger Erwärmung ausgehen;
- innerhalb von Gebäuden, die **flüchtigen Verbrennungsprodukten** ausgesetzt sind, die von elektrotechnischen Betriebsmitteln und Systemen ausgehen.

Tabelle 1 – Merkmale von Brandphasen (aus Tabelle 1 in ISO 19706:2011)

Brandphase	Wärmestromdichte zur Brennstoffoberfläche	Max. Temperatur		Sauerstoffvolumen		Brennstoff-Luft-Äquivalenzverhältnis (Feuerplume)	$\frac{[CO]}{[CO_2]}$ v/v	$\frac{100 \times [CO_2]}{([CO_2] + [CO])}$ % Nutzeffekt
		°C		%				
	kW/m ²	Oberfläche des Brennstoffs	Obere Lage	Eingeschlossen	Abgeleitet			
1. Ohne Flammenbildung								
a. selbsterhaltend (Schwelen)	nicht anwendbar	450 bis 800	25 bis 85 ^d	20	20	–	0,1 bis 1	50 bis 90
b. Oxidative Pyrolyse durch äußere Bestrahlung	–	300 bis 600 ^a	b	20	20	< 1	c	c
c. Anaerobe Pyrolyse durch äußere Bestrahlung	–	100 bis 500	b	0	0	>> 1	c	c
2. Gut belüftete Flammenbildung ^d	0 bis 60	350 bis 650	50 bis 500	≈ 20	≈ 20	< 1	< 0,05 ^e	> 95
3. Schlecht belüftete Flammenbildung ^f								
a. Kleine, örtlich begrenzte Feuer, üblicherweise in einer schlecht belüfteten Kammer	0 bis 30	300 bis 600 ^a	50 bis 500	15 bis 20	5 bis 10	> 1	0,2 bis 0,4	70 bis 80
b. Brand nach dem Flashover	50 bis 150	350 bis 650 ^g	> 600	< 15	< 5	> 1 ^h	0,1 bis 0,4 ⁱ	70 bis 90

- ^a Bei einem gegebenen brennbaren Material ist der obere Grenzwert kleiner als der für gut ventilierte Verbrennung mit Flammenbildung.
- ^b Die Temperatur in der oberen Lage des Brandraums wird höchstwahrscheinlich durch die Quelle der äußeren Bestrahlung und die Geometrie des Raums bestimmt.
- ^c Es gibt wenige Daten. Aber für die Pyrolyse wird angenommen, dass dieses Verhältnis in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung des Materials, der örtlichen Belüftung und den thermischen Bedingungen stark variiert.
- ^d Der Sauerstoffverbrauch des Brands ist gering im Vergleich zur Sauerstoffmenge im Raum oder der Zuluft, die Flammenspitze liegt unterhalb der oberen Ebene des heißen Gases, oder die obere Ebene ist noch nicht maßgeblich beeinträchtigt, um den CO-Ertrag signifikant zu erhöhen. Die Flammen sind noch nicht durch den Kontakt mit einem anderen Objekt abgeflacht, und die Abbrandrate ist gesteuert durch die Brennstoffzufuhr.
- ^e Das Verhältnis kann für feuerwiderstandsfähige Stoffe eine Größenordnung höher sein. Bei diesem Verhältnis gibt es für Äquivalenzverhältnisse bis etwa 0,75 keinen signifikanten Anstieg. Zwischen etwa 0,75 und 1 kann es zu einer gewissen Zunahme dieses Verhältnisses kommen.
- ^f Der Sauerstoffbedarf des Brands wird durch die Öffnung(en) der Belüftung begrenzt. Die Flammen reichen bis in die obere Lage.
- ^g Ähnlich wie bei gut belüfteter Flammenbildung.
- ^h Das Plume-Äquivalenzverhältnis wurde nicht gemessen. Die Nutzung eines pauschalen Äquivalenzverhältnisses ist ungeeignet.
- ⁱ Dagegen wurden Beispiele von niedrigeren Verhältnissen gemessen. Diese resultieren im Allgemeinen aus der sekundären Verbrennung außerhalb der Raumentlüftung.

5.2 Arten der Auswirkung von Korrosionsschädigungen

5.2.1 Einleitung

Es sind vier Auswirkungen von **Korrosionsschädigungen** bekannt. Dies sind:

- a) Metallverlust,
- b) Unbeweglichkeit vormals beweglicher Teile,
- c) Brückenbildung bei gedruckten Leiterplatten,
- d) Bildung einer nichtleitenden Schicht auf Kontaktflächen.

5.2.2 Metallverlust

Metallverlust entsteht durch Oxidation von elementarem Metall in einen positiven Oxidationszustand. Eine der einfachsten Reaktionen dieser Art ist die Oxidation mit einer Säure zur Bildung eines Metallsalzes und Wasser. Aus diesem Grund richteten sich frühere Anstrengungen zur Bekämpfung möglicher Korrosion gegen die Bildung von **flüchtigen Verbrennungsprodukten**.

Eine Oxidation kann jedoch auch ohne Beteiligung einer Säure auftreten. Wenn ein Metall mit einer elektrisch leitenden Lösung in Berührung kommt, können die freien Ionen der Lösung die Korrosionsbildung der berührenden Metalle durch unmittelbare Reaktion mit dem Metall oder durch Depolarisierung der Fläche um das reagierende Metall fördern. Die Korrosionsrate ist abhängig von der Größe der betroffenen Metallfläche, der Temperatur und der Größe des Unterschieds zwischen den Elektrodenspannungen der oxidierenden und reduzierenden Paare. In der elektrochemischen Reihe höher stehende Metalle sind korrosionsanfälliger.

Metallverlust kann viele unerwünschte Folgen haben. Bei Gebäuden kann Metallverlust zur Schwächung oder zum Ausfall von Strukturelementen führen. Bei elektrischen Betriebsmitteln kann Metallverlust zur Reduzierung der elektrischen Leitfähigkeit oder schließlich zur Unterbrechung eines Stromkreises führen.

5.2.3 Unbeweglichkeit vormals beweglicher Teile

Flüchtige Verbrennungsprodukte können bewirken, dass bewegliche Teile in mechanischen oder elektromechanischen Betriebsmitteln wie z. B. Kugellager oder Teile in einem Leistungsschalter unbeweglich werden. Dies kann durch Ablagerung von haftenden Partikeln oder durch die Bildung von chemischen Korrosionsprodukten zwischen Oberflächen verursacht werden.

5.2.4 Brückenbildung bei gedruckten Leiterplatten

Flüchtige Verbrennungsprodukte können leitfähige Partikel wie z. B. graphitischen Kohlenstoff oder ionische Spezies enthalten. Auch metallische Korrosion erzeugt ionische Spezies. Diese leitfähigen Zustände können die schmalen Zwischenräume zwischen den Kupferspuren auf gedruckten Leiterplatten überbrücken und unerwünschte **Ableitströme** hervorrufen. Dies ist besonders bei digitalen Telekommunikationseinrichtungen unerwünscht.

5.2.5 Bildung einer nichtleitenden Schicht auf Kontaktflächen

Dies ist ein Sonderfall des Metallverlusts. Korrosion an der Schnittstelle eines Metallkontakts kann zur Bildung einer Schicht nichtleitenden Stoffs und damit zur Unterbrechung des Stromkreises führen. Dies ist besonders wahrscheinlich, wenn es sich um einen Kontakt zwischen ungleichen Metallen handelt, weil diese beim Kontakt mit einem leitfähigen Medium eine elektrochemische Zelle bilden.

5.3 Die Korrosivität beeinflussende Faktoren

5.3.1 Einleitung

Die wichtigsten Auswirkungen der **Korrosionsschädigung** infolge von **flüchtigen Verbrennungsprodukten** werden nach der Geschwindigkeit der Funktionsbeeinträchtigung des betroffenen Stromkreises oder Stoffs beurteilt. Diese Beeinträchtigung ist von einer Reihe von Faktoren abhängig, denen einige mit der Art der **flüchtigen Verbrennungsprodukte** zusammenhängen, z. B. von:

- der chemischen und physikalischen Beschaffenheit und Konzentration der **flüchtigen Verbrennungsprodukte**;

- den Wechselwirkungen zwischen den **flüchtigen Verbrennungsprodukten** wie z. B. **Rauchpartikelalterung**, Agglomeration und Absetzen, Kondensation flüssiger Zustände, Niederschlagserscheinungen und die Absorption durch **Rauchpartikel** chemisch reagierender flüchtiger Brandprodukte.

Diese Einflüsse sind wiederum von der Beschaffenheit des verbrannten Materials und dem verwendeten **physikalischen Brandmodell** abhängig.

Einige Faktoren stehen im Zusammenhang mit der Korrosionsumgebung, z. B.

- der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der betroffenen Stromkreise oder Werkstoffe;
- den herrschenden Temperaturbedingungen und der relativen Luftfeuchte;
- der Einwirkungsdauer;
- dem Umstand, ob ein elektrischer Stromkreis vorhanden und spannungsführend ist oder nicht;
- dem Reinigen nach der Einwirkung.

5.3.2 Beschaffenheit der flüchtigen Verbrennungsprodukte

Die Entwicklung und die Eigenschaften von **flüchtigen Verbrennungsprodukten** werden durch viele Faktoren beeinflusst. Eine vollständige Beschreibung dieser Eigenschaften ist zwar nicht möglich, der Einfluss einiger wichtiger Größen ist jedoch anerkannt.

Flüchtige Verbrennungsprodukte sind ein Ergebnis sowohl einer **Pyrolyse** als auch einer Verbrennung. Eine Verbrennung kann ein Brennen mit oder ohne Flamme oder auch ein Schwelen sein, und diese verschiedenen Arten der Verbrennung können sehr unterschiedliche Arten von Verbrennungsprodukten erzeugen. Bei einer **Pyrolyse** und einer Zersetzung ohne Flammenbildung werden bei hohen Temperaturen **flüchtige Verbrennungsprodukte** freigesetzt. Wenn diese sich mit kalter Luft vermischen, kondensieren sie zu runden Tröpfchen, die als helle **Rauchaerosole** erscheinen. Bei einer Verbrennung mit Flamme entsteht schwarzer, kohlenstoffreicher **Rauch**, in dem die Rauchpartikel eine sehr unregelmäßige Form haben. Die **Rauchpartikel** werden bei dieser Art der Verbrennung in der Gasphase gebildet und entstehen in Bereichen, in denen die Sauerstoffkonzentration für eine vollständige Verbrennung nicht ausreicht. Die in den meisten **flüchtigen Verbrennungsprodukten** am häufigsten vorkommenden Produkte sind Kohlendioxid, Wasser, Kohlenmonoxid und kohlenstoffreicher **Rauch**.

Es können jedoch viele weitere Chemikalien vorhanden sein, wie z. B. anorganische Säuren, organische Säuren und ionische Spezies. Vor allem diese drei letztgenannten Stoffe sind für die korrosive Wirkung von **flüchtigen Verbrennungsprodukten** verantwortlich. Die Menge dieser Stoffe in den **flüchtigen Verbrennungsprodukten** ist von der Beschaffenheit des verbrannten Werkstoffs und der Brandphase abhängig.

Der Wärmefluss auf den Probekörper beeinflusst die Art und Weise, wie der Werkstoff brennt. Es ergibt Sinn die Verbrennungsprodukte von Werkstoffen bei niedrigen Bestrahlungswerten (z. B. $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ bis $25 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) sowie bei höheren Werten (z. B. $40 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ bis $50 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) zu bewerten. Auf diese Art können die Auswirkungen der Wachstumsphasen eines Brands auf die korrosive Beschaffenheit der Verbrennungsprodukte beurteilt werden.

Die Partikelgrößenverteilung von **Rauchaerosolen** verändert sich mit der Zeit; **Rauchpartikel** koagulieren während der Alterung. Einige Eigenschaften verändern sich auch mit der Temperatur, so dass die Eigenschaften von altem oder kaltem **Rauch** sich von denen des jungen, heißen **Rauchs** unterscheiden können. Diese Faktoren können die Art und Weise beeinflussen, in der **Rauchpartikel** Kurzschlüsse zwischen elektrischen Bauteilen verursachen können.

5.3.3 Korrosive Umgebung

Die potentielle **Korrosionsschädigung** kann durch den Schutz gefährdeter Oberflächen im Allgemeinen durch die Anwendung von Farbe oder Lack reduziert werden. In vielen Fällen, in denen elektrotechnische Betriebsmittel betroffen sind, ist dies jedoch keine praktikable Lösung.

Die chemische Beschaffenheit des betroffenen Werkstoffs beeinflusst dessen Empfänglichkeit für **Korrosionsschädigung**. In der elektrochemischen Reihe höher stehende Metalle sind reaktionsfähiger. Niedrig stehende wie z. B. Gold und Platin sind reaktionsträge. Wenn ungleiche Metalle miteinander in Kontakt stehen, ist eines von ihnen besonders korrosionsanfällig, weil sie in Verbindung mit einem leitfähigen Medium eine elektrochemische Zelle bilden.