

	DIN EN IEC 60695-7-2 (VDE 0471-7-2)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 13.220.40; 29.020

Einsprüche bis 2021-01-06

EntwurfVorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60695-7-2
(VDE 0471-7-2):2013-05

**Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr –
Teil 7-2: Toxizität von Rauch und/oder flüchtigen
Verbrennungsprodukten –
Zusammenfassung und Anwendbarkeit von Prüfverfahren
(IEC 89/1489/CDV:2019);
Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60695-7-2:2019**

Fire hazard testing –
Part 7-2: Toxicity of fire effluent –
Summary and relevance of test methods
(IEC 89/1489/CDV:2019);
German and English version prEN IEC 60695-7-2:2019

Essais relatifs aux risques du feu –
Partie 7-2: Toxicité des effluents du feu –
Résumé et pertinence des méthodes d'essai
(IEC 89/1489/CDV:2019);
Version allemande et anglaise prEN IEC 60695-7-2:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-11-06 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 82 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 60695-7-2:2019-11 "Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr – Teil 7-2: Toxizität von Rauch und/oder flüchtigen Verbrennungsprodukten – Zusammenfassung und Anwendbarkeit von Prüfverfahren" (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 89/1489/CDV:2019-11 "Fire hazard testing – Part 7-2: Toxicity of fire effluent – Summary and relevance of test methods" unverändert in den Entwurf übernommen worden.

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

Das internationale Dokument wurde vom IEC/TC 89 "Fire hazard testing" der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

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.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnitsnummer, 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 60695-7-2 (VDE 0471-7-2):2013-05** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) neuer Text in der Einleitung;
- b) neuer Text im Anwendungsbereich;
- c) **Abschnitt 2** aktualisiert;
- d) viele Begriffe in **Abschnitt 3**, redundant in ISO 13943, gelöscht, andere Begriffe hinzugefügt;
- e) neuer Text in **Abschnitten 4.3, Abschnitt 4.4** und **6.1**;

- f) Verweisungen auf IEC 60695-7-50 und -51(jetzt zurückgezogen) entfernt;
- g) eine Verweisung auf DEF STAN 07-247 hinzugefügt;
- h) Details aus ISO/TS 19021 hinzugefügt;
- i) Details aus EN 17084 hinzugefügt;
- j) neuer Text zu ISO/TS 19700 hinzugefügt;
- k) neuer Text zur IMO FTP Toxizitätsprüfung hinzugefügt;
- l) neuer [Abschnitt 7.1](#);
- m) neuer [Abschnitt 8](#) aus vormaligem Anhang;
- n) die Literaturhinweise wurden aktualisiert.

Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr – Teil 7-2: Toxizität von Rauch und/oder flüchtigen Verbrennungsprodukten – Zusammenfassung und Anwendbarkeit von Prüfverfahren

Inhalt	Seite
EINLEITUNG	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Toxizitätsprüfungen im Kleinmaßstab	12
4.1 Allgemeines	12
4.2 <i>Toxisches Potenzial</i>	12
4.3 Gefahr durch toxische Stoffe, <i>Expositions-dosis und anteilige effektive Dosis (FED)</i>	13
4.4 <i>Anteilige effektive Konzentration (FEC)</i>	13
4.5 Übliche toxische Potenziale	14
5 Allgemeine Aspekte von Toxizitätsprüfungen im Kleinmaßstab	14
5.1 Allgemeines	14
5.2 Physikalische Brandmodelle	14
5.3 Brandstadien in einem Brandabschnitt.....	15
5.4 Analyseverfahren.....	15
5.4.1 Verfahren, die auf chemischen Analysen beruhen	19
5.4.2 Verfahren, die auf Tierversuchen beruhen.....	19
6 Zusammenfassung veröffentlichter Prüfverfahren, die auf chemischen Analysen beruhen.....	19
6.1 Allgemeines	19
6.2 Verteidigungsministerium des Vereinigten Königreichs – DEF STAN 02-713.....	19
6.2.1 Kurzbeschreibung	19
6.2.2 Zweck und Kurzbeschreibung	20
6.2.3 Prüfling	20
6.2.4 Prüfverfahren.....	20
6.2.5 Wiederholpräzision und Vergleichspräzision	21
6.2.6 Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen	21
6.3 Airbus-Industrie	21
6.3.1 Kurzbeschreibung	21
6.3.2 Zweck und Kurzbeschreibung	21
6.3.3 Prüfling	21
6.3.4 Prüfverfahren.....	22
6.3.5 Wiederholpräzision und Vergleichspräzision	22
6.3.6 Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen	22
6.4 Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI)	22
6.4.1 Kurzbeschreibung	22
6.4.2 Zweck und Kurzbeschreibung	22
6.4.3 Prüfling	22
6.4.4 Prüfverfahren.....	23
6.4.5 Wiederholpräzision und Vergleichspräzision	23
6.4.6 Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen	23
6.5 Norme Française (NF).....	23
6.5.1 Kurzbeschreibung	23

6.5.2	Zweck und Kurzbeschreibung	23
6.5.3	Prüfling	23
6.5.4	Prüfverfahren	24
6.5.5	Wiederholpräzision und Vergleichspräzision	24
6.5.6	Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen	24
6.6	ISO-Prüfverfahren	24
6.6.1	ISO/TS 19021	24
6.6.2	ISO/TS 19700	25
6.7	Internationale Seeschiffahrts-Organisation (en: International Maritime Organization, IMO)	26
6.7.1	Kurzbeschreibung	26
6.7.2	Zweck und Kurzbeschreibung	26
6.7.3	Prüfling	27
6.7.4	Prüfverfahren	27
6.7.5	Wiederholpräzision und Vergleichspräzision	27
6.7.6	Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen	27
6.8	Toxizitätsprüfung für gelagertes Kabel	28
6.8.1	Kurzbeschreibung	28
6.8.2	Zweck und Kurzbeschreibung	28
6.8.3	Prüfling	28
6.8.4	Prüfverfahren	28
6.8.5	Wiederholpräzision und Vergleichspräzision	29
6.8.6	Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen	29
6.9	Toxizitätsprüfungen von Werkstoffen und Komponenten (abgesehen von Kabeln), die in Bahnanwendungen verwendet werden	29
6.9.1	Kurzbeschreibung	29
6.9.2	Zweck und Kurzbeschreibung	29
6.9.3	Prüfling	29
6.9.4	Prüfverfahren	29
6.9.5	Wiederholpräzision und Vergleichspräzision	30
6.9.6	Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen	30
7	Zusammenfassung veröffentlichter Prüfverfahren im Zusammenhang mit Tierversuchen	30
7.1	Allgemeines	30
7.2	Deutsches Institut für Normung, DIN 53436	30
7.2.1	Kurzbeschreibung	30
7.2.2	Zweck und Kurzbeschreibung	30
7.2.3	Prüfling	30
7.2.4	Prüfverfahren	30
7.2.5	Wiederholpräzision und Vergleichspräzision	31
7.2.6	Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen	31
7.3	National Bureau of Standards (NBS)	31
7.3.1	Kurzbeschreibung	31
7.3.2	Zweck und Kurzbeschreibung	31
7.3.3	Prüfling	31
7.3.4	Prüfverfahren	32
7.3.5	Wiederholpräzision und Vergleichspräzision	32
7.3.6	Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen	32
7.3.7	Verweisungen	32
7.4	National Institute of Standards and Technology, NIST-Strahlrohröfen	33

7.4.1	Kurzbeschreibung	33
7.4.2	Zweck und Kurzbeschreibung	33
7.4.3	Prüfling	33
7.4.4	Prüfverfahren	33
7.4.5	Wiederholpräzision und Vergleichspräzision	34
7.4.6	Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen	34
7.4.7	Verweisungen	34
7.5	University of Pittsburgh, UPitt-Kammerofen	34
7.5.1	Kurzbeschreibung	34
7.5.2	Zweck und Kurzbeschreibung	34
7.5.3	Prüfling	34
7.5.4	Prüfverfahren	35
7.5.5	Wiederholpräzision und Vergleichspräzision	35
7.5.6	Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen	35
7.5.7	Verweisungen	35
7.6	Japanische Brand-Toxizitäts-Prüfung für Gebäude-Teile	35
7.6.1	Kurzbeschreibung	35
7.6.2	Zweck und Kurzbeschreibung	36
7.6.3	Prüfling	36
7.6.4	Prüfverfahren	36
7.6.5	Wiederholpräzision und Vergleichspräzision	36
7.6.6	Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen	36
8	Übersicht über die Verfahren und Anwendbarkeit der Daten	36
	Literaturhinweise	40
Bilder		
	Bild 1 — Unterschiedliche Phasen bei der Entwicklung eines Brands in einem Abschnitt	15
Tabellen		
	Tabelle 1 — Charakteristika von Brandarten (ISO 19706)	17
	Tabelle 2 — Cf-Werte für verschiedene Gase	20
	Tabelle 3 — Grenzwerte der <i>Volumenanteile</i> für Gasbestandteile	22
	Tabelle 4 — Zersetzungsbedingungen	26
	Tabelle 5 — Grenzwerte der <i>Volumenanteile</i> für Gasbestandteile	27
	Tabelle 6 — CC _Z -Werte aus EN 50305	28
	Tabelle 7 — Referenzkonzentrationen der Gaskomponenten	30
	Tabelle 8 — Übersicht über Toxizitätsprüfmethode(n)	37

EINLEITUNG

Bei der Entwicklung eines elektrotechnischen Erzeugnisses sind das Brandrisiko und die potenziellen, mit einem Brand verbundene Gefahren zu berücksichtigen. Insofern ist es das Ziel der Bauteil-, Schaltungs- und Geräteentwicklung wie auch der Auswahl der Materialien, das Brandrisiko auf ein vertretbares Maß zu verringern, selbst bei vernünftigerweise vorhersehbarer (Fehl-)Anwendung, Fehlfunktion oder Ausfall.

IEC 60695-1-10, IEC 60695-1-11 [1]¹ und IEC 60695-1-12 [2] bieten eine Anleitung zum Erreichen dieser Ziele.

Brände, an denen elektrotechnische Erzeugnisse beteiligt sind, können auch durch externe, nicht-elektrische Zündquellen verursacht werden. Derartige Überlegungen werden mit der Gesamtbeurteilung zur Brandgefahr behandelt.

Das Ziel der Normenreihe IEC 60695 ist es, durch Verringerung der Anzahl von Bränden oder durch Reduzierung der Brandfolgen Leben zu retten und Sachschäden zu vermeiden. Dies kann durch Folgendes erreicht werden:

- den Versuch, eine Entzündung, ausgelöst durch elektrisch betriebene Baugruppen, zu verhindern und im Fall einer Entzündung den entstehenden Brand auf das Innere des Gehäuses eines elektrotechnischen Erzeugnisses zu begrenzen;
- den Versuch, die Flammenausbreitung über das Gehäuse des Erzeugnisses hinaus zu verringern und die schädlichen Auswirkungen der flüchtigen Verbrennungsprodukte, einschließlich Hitze, Rauch und toxische oder korrosive Verbrennungsprodukte, zu minimieren.

Elektrotechnische Produkte, die von einem Brand betroffen werden, können zur Brandgefahr durch die Freisetzung von toxischen flüchtigen Verbrennungsprodukten beitragen, die einen entscheidenden Anteil an der gesamten Brandgefahr darstellen können.

Die Normenreihe IEC 60695-7 gibt Produktkomitees der IEC eine Anleitung zur Annahme und Umsetzung der Empfehlungen der ISO zur Verringerung der Gefahr durch toxische Stoffe bei Bränden mit Beteiligung von elektrotechnischen Produkten. Dieser Teil von IEC 60695-7 beschreibt die in der Praxis üblichen Prüfverfahren für die Toxizität von flüchtigen Verbrennungsprodukten zur Beurteilung elektrotechnischer Erzeugnisse oder der Materialien, die in elektrotechnischen Erzeugnissen verwendet werden.

Produktkomitees der IEC, die Anforderungen zur Beurteilung der Gefahr durch toxische Stoffe aus Bränden in Produktnormen bearbeiten, sollten beachten, dass das *toxische Potenzial* und andere Messungen der Toxizität, die in dieser Internationalen Norm beschrieben werden, nicht direkt in Produktspezifikationen verwendet werden sollten. Daten, die aus Prüfverfahren zur Messung des *toxischen Potenzials* stammen, sollten lediglich als Teil einer Beurteilung der Gefahr durch toxische Stoffe verwendet werden in Zusammenhang mit anderen produktspezifischen Daten des Brandverhaltens, wie z. B. der Masseverlustrate.

¹ Nummern in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60695-7 enthält eine kurze Zusammenfassung der allgemein angewendeten Prüfverfahren zur Beurteilung der Toxizität flüchtiger Verbrennungsprodukte. Er enthält Bemerkungen über ihre Anwendbarkeit bei realen Brandszenarien und gibt Empfehlungen für ihre Anwendung.

Er dient als Anleitung dafür, welche Prüfungen Daten über das *toxische Potenzial* bereitstellen, die für reale Brandszenarien von Bedeutung sind, und welche Prüfungen sich für die Beurteilung der Brandgefahr und die Brandschutzingenieurverfahren eignen.

Die Liste der Prüfverfahren ist nicht als vollständig anzusehen.

Diese Zusammenfassung kann nicht anstelle veröffentlichter Normen verwendet werden, welche die alleinig gültigen Bezugsdokumente darstellen.

Diese Sicherheitsgrundnorm ist für die Anwendung durch technische Komitees bei der Erarbeitung von Normen nach den in IEC Guide 104 und in ISO/IEC Guide 51 dargelegten Grundsätzen vorgesehen.

Es liegt in der Verantwortung eines technischen Komitees, wann immer möglich bei der Erarbeitung der in den eigenen Arbeitsbereich fallenden Normen die Anforderungen der Sicherheitsgrundnormen zu übernehmen. Die Anforderungen, Prüfverfahren und Prüfbedingungen dieser Sicherheitsgrundnorm gelten nur, wenn sie in den entsprechenden Normen enthalten sind oder speziell auf sie verwiesen wird.

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 60695-4, *Fire hazard testing – Part 4: Terminology concerning fire tests for electrotechnical products*

IEC 60695-7-1, *Fire hazard testing – Part 7-1: Toxicity of fire effluent – General guidance*

IEC 60695-7-3, *Fire hazard testing – Part 7-3: Toxicity of fire effluent – Use and interpretation of test results*

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 13344, *Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents*

ISO 13571, *Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data*

ISO/TR 16312-2, *Guidance for assessing the validity of physical fire models for obtaining fire effluent toxicity data for fire hazard and risk assessment – Part 2: Evaluation of individual physical fire models*

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

ISO 29903:2012, *Guidance for comparison of toxic gas data between different physical fire models and scales*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 13943:2017 und **IEC 60695-4**. Einige davon sind für die Anwender nachstehend angegeben.

3.1

akute Toxizität

Toxizität, die eine rasch auftretende toxische Wirkung erzeugt

Anmerkung 1 zum Begriff: Vgl. *toxisches Potenzial* (3.16).

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.8]

3.2

erstickend wirkende Substanz

Giftstoff (3.17), der Sauerstoffmangel im Gewebe (Hypoxie) verursacht und zu einer Funktionseinschränkung des Zentralnervensystems oder zu nachteiligen Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System führt

Anmerkung 1 zum Begriff: Kann zu Bewusstlosigkeit und schließlich zum Tode führen.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.23]

3.3

Konzentration

Masse eines dispergierten oder aufgelösten Materials in einem bestimmten Volumen

Anmerkung 1 zum Begriff: Für flüchtige Verbrennungsprodukte wird die Konzentration üblicherweise in Gramm je Kubikmeter $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für toxische Gase wird die Konzentration üblicherweise als *Volumenanteil* (3.18) bei $T = 298 \text{ K}$ und $P = 1 \text{ atm}$, in Mikroliter je Liter ($\mu\text{L/L}$) ($= \text{cm}^3/\text{m}^3 = 10^{-6}$) angegeben.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Konzentration eines Gases bei einer Temperatur T und einem Druck P kann aus dessen Volumenanteil (ideales Gasverhalten vorausgesetzt) durch Multiplizieren des Volumenanteils mit der Dichte des Gases bei derselben Temperatur und demselben Druck ermittelt werden.

Anmerkung 4 zum Begriff: Pascal (Pa) ist zwar die SI-Einheit für den Druck, in diesem Zusammenhang wird aber für gewöhnlich die Einheit Atmosphäre (atm) verwendet. Dabei entspricht $1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa}$.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.62]

3.4

effektive Konzentration 50

***EC*₅₀**

anhand von statistisch ermittelten Konzentrations-Reaktions-Daten berechnete *Konzentration* (3.3) an toxischen Gasen oder flüchtigen Verbrennungsprodukten, die bei 50 % der Testgruppe einer Spezies bei einer festgelegten Expositionsdauer und Post-Expositionszeit bestimmte Wirkungen hervorruft

Anmerkung 1 zum Begriff: Vgl. *IC*₅₀ (ISO 13943:2017, 3.211).

Anmerkung 2 zum Begriff: Für flüchtige Verbrennungsprodukte wird die Konzentration üblicherweise in Gramm je Kubikmeter $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ angegeben.

Anmerkung 3 zum Begriff: Für toxische Gase wird die Konzentration üblicherweise in Mikroliter je Liter ($\mu\text{L/L}$) bei $T = 298 \text{ K}$ und $P = 1 \text{ atm}$ angegeben; siehe *Volumenanteil* (3.18).

Anmerkung 4 zum Begriff: Die zu beobachtende Wirkung ist üblicherweise entweder ein verändertes Verhalten, *Handlungsunfähigkeit* (3.8) oder Tod. Die *EC*₅₀ zur Herbeiführung der Handlungsunfähigkeit wird als *IC*₅₀ bezeichnet. Die *EC*₅₀ für eine tödliche Wirkung wird als *LC*₅₀ (3.11), letale Konzentration, bezeichnet.

3.5

Expositionsdosis

Maß der maximalen Menge eines toxischen Gases oder von flüchtigen Verbrennungsprodukten, die eingeatmet werden kann, berechnet durch Integration der Fläche unter eine *Konzentration-Zeit-Kurve*

Anmerkung 1 zum Begriff: Für flüchtige Verbrennungsprodukte typische Einheiten sind Gramm mal Minuten je Kubikmeter ($\text{g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$).

Anmerkung 2 zum Begriff: Für toxische Gase ist die typische Einheit Mikroliter mal Minuten je Liter ($\mu\text{L} \cdot \text{min} \cdot \text{L}^{-1}$) (bei $T = 298 \text{ K}$ und $P = 1 \text{ atm}$); siehe *Volumenanteil* (3.18).

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.107]

3.6

anteilige effektive Konzentration

FEC

Verhältnis der *Konzentration* (3.3) eines *Reizstoffs* (3.9) zu der Konzentration, von der angenommen wird, eine bestimmte Wirkung auf ein exponiertes Subjekt durchschnittlicher Empfindlichkeit zu haben

Anmerkung 1 zum Begriff: Vgl. *F-Faktor* (ISO 13943:2017, 3.112).

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Begriff „*anteilige effektive Konzentration*“ kann sich auf eine beliebige Wirkung einschließlich der *Handlungsunfähigkeit* (3.8), der Letalität oder eines sonstigen klinischen Endpunkts beziehen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Sofern nicht unter Bezugnahme auf einen spezifischen Reizstoff angewandt, stellt der Begriff „*anteilige effektive Konzentration*“ die Summe der *FEC*-Werte für alle Reizstoffe in einer Verbrennungsatmosphäre dar.

Anmerkung 4 zum Begriff: Die *anteilige effektive Dosis* ist dimensionslos.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.187]

3.7

anteilige effektive Dosis

FED

Verhältnis der *Expositionsdosis* (3.5) einer *erstickend wirkenden Substanz* (3.2) zur Expositionsdosis der erstickend wirkenden Substanz, von der angenommen wird, eine bestimmte Wirkung auf ein exponiertes Subjekt durchschnittlicher Empfindlichkeit zu haben

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „*anteilige effektive Konzentration*“ kann sich auf eine beliebige Wirkung einschließlich der *Handlungsunfähigkeit* (3.8), der Letalität oder eines sonstigen klinischen Endpunkts beziehen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Sofern ohne Bezug auf eine bestimmte erstickend wirkende Substanz angewendet, stellt der Begriff „*anteilige effektive Dosis*“ die Summe der *FED*-Werte für alle erstickend wirkenden Substanzen in einer Verbrennungsatmosphäre dar.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die *anteilige effektive Dosis* ist dimensionslos.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.188]

3.8

Handlungsunfähigkeit

Zustand der körperlichen Unfähigkeit, eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispielsweise die Unfähigkeit, bei einem Brand die Flucht zu ergreifen.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.225]

3.9

Reizstoff

<sensorisch/obere Atemwege> Gas oder Aerosol, das die Nervenrezeptoren in den Augen, in der Nase, im Mund, im Hals und in den Atemwegen reizt, wodurch Beschwerden oder Schmerzen unterschiedlicher Stärke hervorgerufen und verschiedene physiologische Abwehrreaktionen ausgelöst werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Physiologische Abwehrreaktionen schließen Reflexe ein, die zum Schließen der Augen, zur Tränenproduktion, zum Husten und zur Bronchienverengung führen.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.237]

3.10

Reizstoff

<Lungen> Gas oder Aerosol, das die Nervenrezeptoren in den unteren Atemwegen reizt, wodurch Atembeschwerden ausgelöst werden können

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für Atembeschwerden sind Atemnot und eine Steigerung der Atemfrequenz. In ernsthaften Fällen kann einige Stunden nach der Einwirkung des Reizstoffs eine Pneumonitis oder ein Lungenödem (die tödlich ausgehen können) auftreten.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.238]

3.11

letale Konzentration 50

LC₅₀

anhand von Konzentrations-Reaktionsdaten statistisch berechnete *Konzentration* (3.3) an toxischen Gasen oder flüchtigen Verbrennungsprodukten, die bei 50 % der Testgruppe einer Spezies bei einer festgelegten Expositionsdauer und Post-Expositionszeit tödlich wirkt

Anmerkung 1 zum Begriff: Vgl. *effektive Konzentration 50* (3.4).

Anmerkung 2 zum Begriff: Für flüchtige Verbrennungsprodukte wird die Konzentration üblicherweise in Gramm je Kubikmeter $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ angegeben.

Anmerkung 3 zum Begriff: Für toxische Gase wird die Konzentration üblicherweise in $\mu\text{L/L}$ ($T = 25\text{ °C}$ und $P = 1\text{ atm}$) angegeben; siehe *Volumenanteil* (3.18).

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.241]

3.12

letale Expositions-dosis 50

LCt_{50}

Produkt aus LC_{50} (3.11) und der Expositions-dauer, die der Bestimmung zu Grunde gelegt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Vgl. *Konzentration* (3.3), *effektive Expositions-dosis 50* (ISO 13943:2017, 3.87), *Expositions-dosis* (3.5) und *letale Expositions-dauer 50* (ISO 13943:2017, 3.243).

Anmerkung 2 zum Begriff: *Anmerkung 2 zum Begriff: LCt_{50} ist ein Maß für das letale toxische Potenzial* (3.13).

Anmerkung 3 zum Begriff: Für flüchtige Verbrennungsprodukte wird die letale Expositions-dosis 50 üblicherweise in Gramm mal Minute je Kubikmeter ($\text{g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$) angegeben.

Anmerkung 4 zum Begriff: Für toxische Gase wird die letale Expositions-dosis 50 üblicherweise in Mikroliter mal Minute je Liter ($\mu\text{L} \cdot \text{min} \cdot \text{L}^{-1}$) ($T = 25\text{ °C}$ und $P = 1\text{ atm}$) angegeben; siehe *Volumenanteil* (3.18).

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.242]

3.13

letales toxisches Potenzial

toxisches Potenzial (3.16), bei dem die spezifische toxische Wirkung der Tod ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Vgl. *letale Konzentration 50*, (LC_{50}) (3.11), und *letale Expositions-dosis 50* (LCt_{50}) (3.12).

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.244]

3.14

Masseverlustkonzentration

<geschlossene Systeme> Masse des Probekörpers, die während der Verbrennung verbraucht wird, geteilt durch das Volumen der Prüfkammer

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Masseverlustkonzentration wird üblicherweise in Gramm je Kubikmeter ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) angegeben.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.262]

3.15

Masseverlustkonzentration

<offene Systeme> Masse des Probekörpers, die während der Verbrennung verbraucht wird, geteilt durch das Gesamtvolumen an Luft, die durch die Prüfeinrichtung geführt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Definition wird angenommen, dass sich die Masse mit der Zeit gleichmäßig im Luftstrom verteilt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Masseverlustkonzentration wird üblicherweise in Gramm je Kubikmeter ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) angegeben.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.263]

3.16

toxisches Potenzial

Maß für die Menge eines *toxischen Stoffs* (3.17), die erforderlich ist, um eine spezifische toxische Wirkung auszulösen

Anmerkung 1 zum Begriff: Vgl. *effektive Expositions-dosis 50* (ISO 13943:2017, 3.87) und *letale Expositions-dosis 50* (3.12).

Anmerkung 2 zum Begriff: Je kleiner der Wert des toxischen Potenzials, desto höher die Toxizität und umgekehrt.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.402]

3.17

toxischer Stoff

Toxin

toxische Substanz

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.404]

3.18

Volumenanteil

<Gas in einem Gasgemisch> Verhältnis des Volumens, welches das Gas alleine bei einer festgelegten Temperatur und einem festgelegten Druck einnimmt, zum Volumen, welches das Gasgemisch bei derselben Temperatur und demselben Druck einnehmen würde

Anmerkung 1 zum Begriff: Die *Konzentration* (3.3) eines Gases bei einer Temperatur T , und einem Druck P kann aus dessen Volumenanteil (unter Annahme idealer Gaseigenschaften) durch Multiplizieren des Volumenanteils mit der Dichte des Gases bei derselben Temperatur und demselben Druck ermittelt werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Sofern nicht anders angegeben, wird eine Temperatur von 298 K und ein Druck von 1 atm angenommen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Der Volumenanteil ist dimensionslos und wird üblicherweise in Mikroliter je Liter ($\mu\text{L/L}$), was cm^3 oder $\text{m}^3 = 10^{-6}$ entspricht, oder als Prozentsatz angegeben.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.421]

3.19

Volumenausbeute

Volumen bei 298 K und 1 atm eines Bestandteils von flüchtigen Verbrennungsprodukten, geteilt durch den Masseverlust des Probekörpers, der mit der Erzeugung dieses Volumens einhergeht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Volumenausbeute wird üblicherweise in Kubikmeter je Gramm ($\text{m}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) angegeben.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.422]

4 Toxizitätsprüfungen im Kleinmaßstab

4.1 Allgemeines

Toxizitätsprüfungen im Kleinmaßstab und insbesondere Prüfungen des *toxischen Potenzials* dienen einem ganz besonderen Zweck: der Gewinnung von Daten, die als Ausgangsbasis für Beurteilungen der Gefahr durch toxische Stoffe, Beurteilungen der Brandgefahr oder Berechnungen des Brandschutzingenieurverfahrens verwendet werden können.

Diese Prüfungen werden oft fälschlich so verstanden, dass sie Daten zur Verfügung stellen, die die Toxizität oder die Gefahr durch toxische Stoffe eines Werkstoffs oder Produkts direkt angeben. Eine solche Interpretation ist ungültig und widerspricht den Leitfäden in ISO 19706 und IEC 60695-7-1; sie verleitet zu falschen Annahmen über den Anteil eines Werkstoffs oder Produkts an der Gefahr durch toxische Stoffe.

Daten aus Toxizitätsprüfungen im Kleinmaßstab dürfen deshalb nicht unmittelbar in Produktspezifikationen verwendet oder für sich genommen als Indikator für die Höhe der Gefahr durch toxische Stoffe betrachtet werden.

Daten, die aus Prüfverfahren zur Messung des *toxischen Potenzials* stammen, sollten lediglich als Teil einer Beurteilung der Gefahr durch toxische Stoffe verwendet werden in Zusammenhang mit anderen produktspezifischen Daten des Brandverhaltens, wie z. B. der Masseverlustrate.

Ein Leitfaden für den Vergleich von Messwerten für toxische Gase zwischen verschiedenen physikalischen Brandmodellen und Maßstäben ist in ISO 29903:2012 enthalten.

4.2 Toxisches Potenzial

Der Begriff „*toxisches Potenzial*“ ist ein Fachbegriff in der Brandforschung. Er bezeichnet das Maß für die Menge eines *toxischen Stoffs*, die erforderlich ist, um eine spezifische toxische Wirkung hervorzurufen. Ein häufig verwendetes spezifisches *toxisches Potenzial* ist die *Expositions-dosis*, die bei 50 % der Individuen einer Testgruppe zum Tod führt. Diese ist bekannt als LCt_{50} (*letale Expositions-dosis 50*).

Die *Expositionsdosis* des *i*-ten toxischen Bestandteils, $[D]_i$, ist bei einem Gemisch toxischer Bestandteile durch die folgende Gleichung gegeben:

$$[D]_i = \int C_i dt = X_i \frac{1}{V} \int m dt = X_i D_m$$

oder, wenn der *Volumenanteil* des *i*-ten toxischen Bestandteils über die Zeit konstant ist,

$$[D]_i = C_i \times t$$

Dabei ist

- C_i der *Volumenanteil* des *i*-ten toxischen Bestandteils;
- X_i die *Volumenausbeute* des *i*-ten toxischen Bestandteils aus einer Prüfung des *toxischen Potenzials*;
- D_m das Integral der Masseverlustkonzentration, d. h. das Integral des Masseverlusts während der Expositionsdauer t , geteilt durch das Volumen der flüchtigen Verbrennungsprodukte;
- m der Masseverlust des Prüflings während der Expositionsdauer;
- t die Expositionsdauer;
- V das Volumen, in dem sich die flüchtigen Verbrennungsprodukte verteilen.

In beiden Fällen ist die *Expositionsdosis* *Volumenanteil* $\times$ Zeit, z. B. min.

In einigen Fällen wird m/V , bekannt als *Masseverlustkonzentration*, anstelle des *Volumenanteils* verwendet; in diesem Fall ist die *Expositionsdosis* *Konzentration* $\times$ Zeit, z. B. $g \cdot \min \cdot m^{-3}$.

Angenommen, eine 30-minütige Expositionsdauer einer Masseverlustkonzentration von $20 g \cdot m^{-3}$ verursacht die definierte Wirkung, dann ist das *toxische Potenzial* des Werkstoffs $600 g \cdot \min \cdot m^{-3}$. Dies bedeutet, dass beispielsweise eine 10-minütige Expositionsdauer einer Masseverlustkonzentration von $60 g \cdot m^{-3}$ wahrscheinlich ebenfalls die definierte Wirkung verursacht. In ähnlicher Weise verursacht eine Masseverlustkonzentration von $30 g \cdot m^{-3}$ während einer Expositionsdauer von 20 min die definierte Wirkung.

Das *toxische Potenzial* der flüchtigen Verbrennungsprodukte eines gegebenen Werkstoffs variiert je nach dem physikalischen Brandmodell, das zur Erzeugung der flüchtigen Verbrennungsprodukte angewendet wird. Insbesondere die Temperatur- und Lüftungsbedingungen sind entscheidende Variablen. Siehe dazu auch 5.1.

4.3 Gefahr durch toxische Stoffe, *Expositionsdosis* und *anteilige effektive Dosis (FED)*

Das *toxische Potenzial* ist nur einer der Faktoren, welche die Gefahr durch toxische Stoffe eines gegebenen Brandszenarios bestimmen, indem es den durch flüchtige Verbrennungsprodukte verursachten toxischen Effekt definiert, der in Masseverlusteinheiten ausgedrückt wird. Zur Beurteilung der Gefahr durch toxische Stoffe eines bestimmten Produkts in einem Brandszenario ist es ebenfalls von Bedeutung, über Daten über die Menge der in einer bestimmten Zeit freigesetzten flüchtigen Verbrennungsprodukte (Kenngrößen über den Masseverlust des Produkts) zu verfügen und das Volumen zu kennen, in dem sich die flüchtigen Verbrennungsprodukte verteilen.

Für ein gegebenes Verteilungsvolumen ist die Gefahr durch toxische Stoffe proportional zum Produkt aus *toxischem Potenzial* und der Masseverlustrate des betreffenden Produkts. Folglich könnte ein Werkstoff mit hohem *toxischem Potenzial* und niedriger Masseverlustrate eine ähnliche Gefahr durch toxische Stoffe darstellen wie ein Werkstoff mit niedrigem *toxischem Potenzial* und hoher Masseverlustrate.

Die *Expositionsdosis* berücksichtigt die Konzentration eines *toxischen Stoffs* sowie die Expositionsdauer, während die *anteilige effektive Dosis (FED)* der Anteil der Dosis ist, von dem erwartet wird, dass er zu einer bestimmten Wirkung führt. Ursprünglich war das Konzept der *FED* auf erstickend wirkende Substanzen begrenzt, wird jetzt aber auch für *Reizstoffe* als geltend angesehen, siehe 4.4.

4.4 *Anteilige effektive Konzentration (FEC)*

Bis vor recht kurzer Zeit beinhaltete die grundlegende Bewertung der toxischen Gefährdung für spürbare *Reizstoffe* und/oder solche, die die oberen Atemwege angreifen, lediglich die *Konzentration* jedes *Reizstoffs*. Die *anteiligen effektiven Konzentrationen (FECs)* wurden für jeden einzelnen *Reizstoff* und jeden Zeitabschnitt bestimmt. Die Zeit, bei der ihre Summe einen festgelegten Schwellenwert überschritt, war die für die Flucht zur Verfügung stehende Zeit im Verhältnis zu gewählten Sicherheitskriterien.

Dieser Ansatz wurde jedoch von ISO zugunsten von Berechnungen anhand des *FED*-Konzepts aufgegeben (siehe ISO 13571).

4.5 Übliche toxische Potenziale

Es ist wichtig zu wissen, dass für die Beurteilung der Gefahr durch toxische Stoffe nicht in jedem Fall Daten über das *toxische Potenzial* des/der betreffenden Werkstoffs/Werkstoffe zur Verfügung stehen müssen. Umfassende Arbeiten in ISO und an anderer Stelle haben gezeigt, dass die meisten Werkstoffe Brandatmosphären mit ähnlichem *toxischen Potenzial* erzeugen.

Deshalb wird für die erste Beurteilung der Gefahr durch toxische Stoffe eines Brandszenariums empfohlen, ein übliches *toxisches Potential* von $900 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ für alle Materialien in gut belüfteten Bränden vor dem Flashover und von $450 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ in schlecht ventilierten Bränden nach dem Flashover anzunehmen (siehe ISO 13571:2007 [3], 7.4). Ob sich die Annahme eines toxischen Grund-Potenzials bewährt, kann dann durch eine Wiederholung der Beurteilung mit Werten für *toxisches Potenzial* von 50 % und 200 % des zunächst gewählten Basiswerts festgestellt werden. Wenn die Alternativwerte für das *toxische Potenzial* das Ergebnis der Beurteilung erheblich ändern, können weitere, genauere Daten über das *toxische Potenzial* erforderlich sein.

5 Allgemeine Aspekte von Toxizitätsprüfungen im Kleinmaßstab

5.1 Allgemeines

Toxizitätsprüfungen im Kleinmaßstab bestehen im Wesentlichen aus zwei Teilen:

- a) Zersetzungsbedingungen (das physikalische Brandmodell), die so sein sollten, dass flüchtige Verbrennungsprodukte von der gleichen relativen Zusammensetzung wie in einem bestimmten Stadium eines realen Brands erzeugt werden, und
- b) Bewertungsverfahren für flüchtige Verbrennungsprodukte zur Beurteilung oder Berechnung des *toxischen Potenzials*, die so durchgeführt werden können, dass entweder Tiere auf kontrollierte Weise den flüchtigen Verbrennungsprodukten ausgesetzt und deren Reaktionen überwacht werden oder chemische Analysen von flüchtigen Verbrennungsprodukten durchgeführt werden, wobei aus den *Konzentrationen* das *toxische Potenzial* ermittelt wird.

Ein kritischer Teil eines jeden Verfahrens besteht darin, die beobachteten toxischen Wirkungen oder *Konzentrationen* auf den Masseverlust des geprüften Materials beziehen zu können.

5.2 Physikalische Brandmodelle

Da sich physikalische Brandmodelle voneinander unterscheiden, hat ein Werkstoff nicht nur ein einziges mit ihm verknüpft *toxisches Potenzial*.

Die Zusammensetzung der flüchtigen Verbrennungsprodukte eines gegebenen Werkstoffs ist keine innewohnende Eigenschaft dieses Werkstoffs, sondern ist entscheidend von den Bedingungen abhängig, unter denen der Werkstoff brennt. Folglich ist das *toxische Potenzial* von flüchtigen Verbrennungsprodukten von den Verbrennungsbedingungen abhängig. Die Zersetzungstemperatur und die Lüftungsbedingungen sind die Hauptvariablen, welche die Zusammensetzung der flüchtigen Verbrennungsprodukte und damit das *toxische Potenzial* beeinflussen.

Diese Variablen haben einen entscheidenden Einfluss auf Art und Menge der *reizenden* wie auch der *erstickenden Stoffe*, die produziert werden. Wenn beispielsweise ein Material Stickstoff enthält, wird sich unter reaktionshinderlichen Bedingungen mit gewisser Wahrscheinlichkeit Ammonium und Blausäure bilden, wohingegen bei guter Belüftung eher Nitrogen-Oxide produziert werden.

Die Verbrennungsbedingungen beeinflussen auch die Wirksamkeit der Umwandlung von Kohlenstoff zu Kohlenstoffoxiden (Kohlenmonoxid und Kohlendioxid – das CO_2/CO -Verhältnis). Ein niedrigeres CO_2/CO -Verhältnis zeigt einen höheren Anteil von Kohlenmonoxid, was zu einem niedrigeren (d. h. toxischeren) Wert des *toxischen Potenzials* führt.

Entscheidend ist der Nachweis, dass die in einem genormten Prüfverfahren (dem physikalischen Brandmodell) festgelegten Prüfbedingungen für die jeweilige Brandart des betrachteten Brandszenariums zutreffend und wiederholbar sind. Die ISO hat in ISO 19706 eine allgemeine Klassifizierung von Brandarten veröffentlicht, die in [Tabelle 1](#) angegeben sind. Die Sauerstoffkonzentration und die Bestrahlungsstärke/Temperatur sind die wichtigsten Faktoren, die das *toxische Potenzial* von flüchtigen Verbrennungsprodukten beeinflussen.

ISO 16312-1 [4] enthält eine Anleitung mit Kriterien zur Beurteilung der Anwendbarkeit von physikalischen Brandmodellen zur Ermittlung von Messwerten zur Toxizität von flüchtigen Verbrennungsprodukten, und ISO/TR 16312-2 enthält eine Bewertung von physikalischen Brandmodellen.

ISO 19703 [5] enthält Begriffe und Gleichungen für die Berechnung toxischer Produkterträge und schildert Brandbedingungen, unter denen sie in Form von stöchiometrischem Äquivalenzverhältnis und Wirkungsgrad der Verbrennung ermittelt wurden.

5.3 Brandstadien in einem Brandabschnitt

Es lässt sich ein allgemeines Muster für die Brandentwicklung in einem Abschnitt festlegen, bei dem die allgemeine Temperatur-Zeit-Kurve drei Phasen zuzüglich einer Verfallszeit zeigt (siehe Bild 1 und Tabelle 1).

Phase 1 (Zersetzung ohne Flammenbildung) ist die Anfangsphase des Brands vor dem andauernden Brennen mit Flamme, verbunden mit einem geringfügigen Temperaturanstieg im Brandraum. Während dieser Phase sind Rauch und die Entwicklung von toxischen flüchtigen Verbrennungsprodukten die Hauptgefahren. In dieser Phase können die Brandarten 1a, 1b und 1c auftreten. Phase 2 (sich entwickelnder Brand) beginnt mit der Entzündung und endet mit einem exponentiellen Anstieg der Temperatur im Brandraum. Während dieser Phase sind die Flammenausbreitung, Wärmeabgabe und die Erzeugung von Rauch und toxischen flüchtigen Verbrennungsprodukten die Hauptgefahren. Diese Phase entspricht Brandart 2. Phase 3 (vollentwickelter Brand/Vollbrand) beginnt, wenn die Oberfläche aller brennbaren Stoffe des Raums sich in einem solchen Umfang zersetzt hat, dass in dem gesamten Raum schlagartig eine Entzündung auftritt, wobei die Raumtemperatur rasch und heftig ansteigt (Flashover). Diese Phase entspricht Brandart 3b.

Am Ende von Phase 3 sind die brennbaren Stoffe und/oder der Sauerstoff größtenteils verbraucht, und folglich verringert sich die Temperatur mit einer Geschwindigkeit, die von der Belüftung sowie von den Wärme- und Stofftransporteigenschaften des Systems abhängt. Dies ist als Verfallsphase bekannt.

In jeder dieser Phasen kann ein anderes Gemisch von Zersetzungsprodukten gebildet werden, welches in Folge die Toxizität des während dieser Phase erzeugten flüchtigen Verbrennungsproduktes beeinflusst.

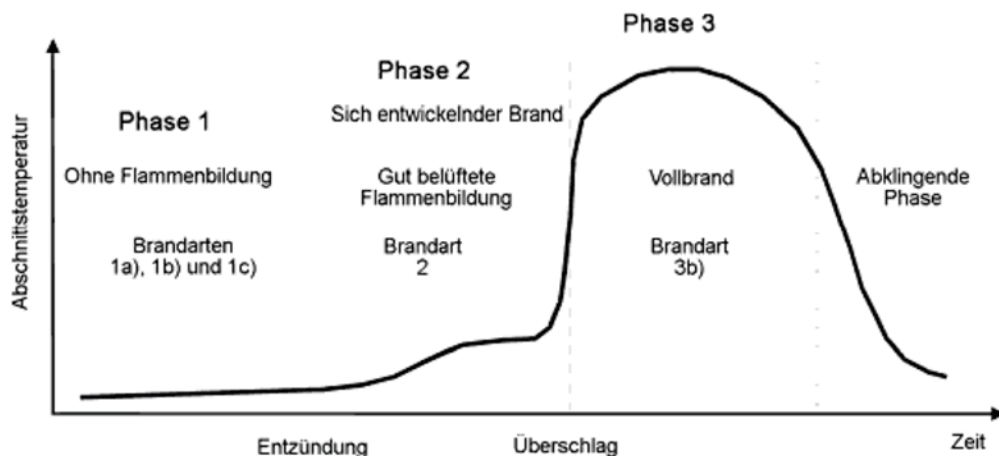


Bild 1 — Unterschiedliche Phasen bei der Entwicklung eines Brands in einem Abschnitt

5.4 Analyseverfahren

Frühe Untersuchungen der Toxizität von flüchtigen Verbrennungsprodukten beruhten weitgehend auf der chemischen Analyse von Brandgasen und führten oft zu fehlerhaften Schlüssen aufgrund der unzureichenden Datenqualität über das *toxische Potenzial* einzelner Gase und aufgrund der mangelnden Berücksichtigung von Zersetzungstemperatur und Lüftung.

Die Arbeiten der 70er und frühen 80er Jahre konzentrierten sich auf Tierversuche in der Annahme, dass das umfassende Verständnis potentieller Interaktionen zwischen den einzelnen Bestandteilen von flüchtigen Verbrennungsprodukten sowie das mögliche Vorhandensein von Produkten mit ungewöhnlich hoher spezifischer Toxizität nur durch deren Einwirkung auf Tiere zu bestimmen sei.

Die Schlussfolgerungen aus dieser Arbeit sind, dass es nur ein begrenztes Zusammenwirken zwischen den einzelnen Bestandteilen der flüchtigen Verbrennungsprodukte gibt und dass kein Beispiel für das Vorhandensein von Produkten mit ungewöhnlich hoher spezifischer Toxizität in flüchtigen

Verbrennungsprodukten existiert. Toxische Potenziale von flüchtigen Verbrennungsprodukten liegen bei den meisten Werkstoffen in der Größenordnung zwischen 1 und 0,5.

Auf der Basis der Ergebnisse chemischer Analysen und der aus Tierversuchen bereits vorhandenen toxikologischen Daten ist es möglich, das toxische Potenzial von Brandgasgemischen einigermaßen genau zu berechnen. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, bei der Routinemessung des *toxischen Potentials* auf Versuchstiere zurückzugreifen, obwohl anerkannt wird, dass eine gewisse eingeschränkte Anwendung von Tierversuchen notwendig sein kann, falls die grundlegenden toxikologischen Daten für ein bestimmtes flüchtiges Verbrennungsprodukt nicht zur Verfügung stehen.

Tabelle 1 — Charakteristika von Brandarten (ISO 19706)

Brandart	Wärmestromdichte der Oberfläche des Brennstoffs kW/m ²	Max. Temperatur °C		Sauerstoff Volumenanteil in %		Brennstoff-Luft- Äquivalenzverhältnis (Feuerplume)	$\frac{[CO]}{[CO_2]}$	$\frac{100 \times [CO_2]}{([CO_2] + [CO])}$
		Oberfläche des Brennstoffs	Obere Lage	Eingeschlossen	Abgeleitet		v/v	% Nutzeffekt
1. Ohne Flammenbildung								
a) Selbsterhaltend (Schwelen)	nicht zutreffend	450 bis 800	25 bis 85d	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 einem schlecht belüfteten Brandabschnitt	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
<p>a Bei einem gegebenen brennbaren Material ist der obere Grenzwert kleiner als der für gut belüftete Verbrennung mit Flammenbildung.</p> <p>b Die Temperatur in der oberen Lage des Brandraums wird sehr wahrscheinlich von der Quelle der äußeren Bestrahlung und der Geometrie des Raums bestimmt.</p> <p>c Es gibt wenige Daten; aber für die Pyrolyse wird angenommen, dass dieses Verhältnis in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung des Materials und der örtlichen Belüftung sowie den thermischen Bedingungen stark variiert.</p> <p>d Der Sauerstoffverbrauch des Brands ist im Vergleich zu dem im Raum oder Zufluss klein, die Flammenspitze ist unter der oberen Lage des heißen Gases oder die obere Lage ist noch nicht ausreichend an der Absaugung beteiligt, um die CO-Produktion maßgeblich zu erhöhen, die Flammen werden nicht durch Kontakt mit einer anderen</p>								

Brandart	Wärmestromdichte der Oberfläche des Brennstoffs kW/m ²	Max. Temperatur °C		Sauerstoff Volumenanteil in %		Brennstoff-Luft- Äquivalenzverhältnis (Feuerplume)	[CO]	100 × [CO ₂]
		Oberfläche des Brennstoffs	Obere Lage	Eingeschlossen	Abgeleitet		[CO ₂] v/v	([CO ₂] + [CO]) % Nutzeffekt
Objekt beschränkt, und die Brenngeschwindigkeit wird durch die Verfügbarkeit von Brennstoff bestimmt.								
e	Das Verhältnis darf für beständige Werkstoffe um bis zu eine Größenordnung größer 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	Eine gut belüftete Flammenbildung wird angenommen.							
h	Das stöchiometrische Äquivalenzverhältnis der Plume wurde nicht gemessen; die Anwendung eines pauschalen stöchiometrischen Äquivalenzverhältnisses ist ungeeignet.							
i	Beispiele mit niedrigeren Verhältnissen wurden gemessen. Diese resultieren im Allgemeinen aus der sekundären Verbrennung außerhalb der Raumentlüftung.							

5.4.1 Verfahren, die auf chemischen Analysen beruhen

Auf chemischen Analysen beruhende Verfahren wenden konventionelle Laboranalyseverfahren an, um entweder statisch oder dynamisch die Konzentrationen der verschiedenen Gase in flüchtigen Verbrennungsprodukten zu messen, die durch das physikalische Brandmodell erzeugt werden [6].

Es gibt mehrere Faktoren, die einen kritischen Einfluss auf die Genauigkeit der auf chemischen Analysen beruhenden Verfahren haben:

- a) Auf der Grundlage der bekannten Zusammensetzung des geprüften Werkstoffs sollte die Vielfalt der für die Analyse ausgewählten Brandgase groß genug sein, damit sich auch diejenigen Gase darunter befinden können, deren Freisetzung zu erwarten ist.

Auf jeden Fall sollten Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Sauerstoff gemessen werden.

- b) Es muss ein zuverlässiges Verfahren zur Bewertung des Masseverlusts des Prüflings während der Prüfung geben, damit die gemessenen Gaskonzentrationen in Konzentrationen je Masseverlusteinheit des Prüflings umgewandelt werden können.
- c) Die gemessenen Gaskonzentrationen und Masseverluste müssen in einen Wert für das *toxische Potenzial* umgerechnet werden können. Zur Berechnung siehe IEC 60695-7-3.

ISO 19701 [7] beschreibt Verfahren zur Probenahme und Analyse von flüchtigen Verbrennungsprodukten, und ISO 19702 [8] enthält eine Anleitung zur Analyse von Gasen und Dämpfen in Brandgasen durch FTIR (Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer).

5.4.2 Verfahren, die auf Tierversuchen beruhen

Es wird nicht empfohlen, dass weitere Arbeiten auf der Basis von Tierversuchen durchgeführt werden.

ANMERKUNG Wenn der Masseverlust des Prüfmusters nicht in einem Tierversuch durchgeführt wurde, kann der Ertrag der toxischen Komponenten nicht berechnet werden.

6 Zusammenfassung veröffentlichter Prüfverfahren, die auf chemischen Analysen beruhen

6.1 Allgemeines

Diese Zusammenfassung ersetzt nicht die veröffentlichten Normen, die als Referenzdokumente alleinige Gültigkeit besitzen.

Die in diesem Abschnitt zusammengestellte Übersicht enthält auf chemischen Analysen beruhende Prüfverfahren, die ausgewählt wurden, weil sie als internationale, nationale oder als Industrienormen veröffentlicht sind und in der Elektrotechnik allgemein Anwendung finden. Es ist nicht vorgesehen, alle möglichen Prüfverfahren zu besprechen.

In den Fällen, in denen noch keine Brandprüfungen festgelegt sind und die Notwendigkeit besteht, diese für die besonderen Zwecke eines Technischen Komitees der IEC zu erarbeiten oder abzuändern, muss dies in enger Zusammenarbeit mit dem TC 89 erfolgen. Das (die) ausgewählte(n) Prüfverfahren muss (müssen) für das betreffende Brandszenario relevant sein. IEC 60695-1-10 bietet Anleitung zur Auswahl und Anwendbarkeit der Brandprüfungen für elektrotechnische Produkte.

6.2 Verteidigungsministerium des Vereinigten Königreichs – DEF STAN 02-713

6.2.1 Kurzbeschreibung

Die Prüfung in DS 02-713 [9] untersucht die Toxizität von Verbrennungsprodukten anhand von kleinen Molekülarteilchen, die bei der vollständigen Verbrennung einer kleinen Probe eines Werkstoffs bei Luftüberschuss unter festgelegten Bedingungen entstehen.

ANMERKUNG Dies wurde jetzt durch DEF STAN 07-247 [10] ersetzt. Prüfung P6 ruft entweder das IMO-Prüfverfahren (siehe 6.7) oder NF X70-100 (siehe 6.5) mit verschiedenen C_f -Werten ab (siehe Tabelle 2). Eine Anmerkung gibt an, dass DS 02-713 immer noch für Prüfungen verwendet werden darf, wenn dies mit der technischen Behörde der Naval Advisory Group abgestimmt wurde.

6.2.2 Zweck und Kurzbeschreibung

Analysedaten über bestimmte kleine Molekularteilchen, die bei der vollständigen Verbrennung mit Flamme eines kleinen Prüflings entstehen, werden für mathematische Berechnungen verwendet, um den kombinierten Toxizitätsindex ableiten. Dabei dient die für die tödliche Wirkung innerhalb von 30 min erforderliche Einwirkungsintensität (*Volumenanteil*) jedes Gases als Basis.

6.2.3 Prüfling

Eine ausreichende Anzahl Prüflinge (üblicherweise 3) werden von dem geprüften Werkstoff abgeschnitten. Die Masse des Prüflings wird so gewählt, dass in Abhängigkeit von der Art der Verbrennungsprodukte und der Empfindlichkeit des Analyseverfahrens optimale analytische Präzision möglich ist.

6.2.4 Prüfverfahren

Der Prüfaufbau besteht aus einem luftdichten Gehäuse von mindestens 0,7 m³ Volumen, das mit lichtundurchlässiger Kunststoffolie, wie z. B. Polypropylen, ausgekleidet ist. Die Kammer ist mit einem Ventilator ausgestattet. Ein Bunsenbrenner mit einer Temperatur von 1 150 °C ± 50 °C dient als Wärmequelle, und der Prüfling wird so befestigt, dass er sich innerhalb des Flammenbereichs befindet. Die Brenndauer wird so lange aufrechterhalten, bis sichergestellt ist, dass der gesamte Prüfling vollständig verbrannt ist, und die Zeit wird aufgezeichnet.

Von der Atmosphäre der Prüfkammer werden mit kolorimetrischen Gasprüfröhrchen Proben genommen. Nach der vollständigen Verbrennung wird der Brenner gelöscht. Für eine Dauer von 30 s wird der Ventilator betrieben. Dieser wird ausgeschaltet und die Gase werden untersucht. Als erstes werden Prüfungen auf halogenhaltige Gase durchgeführt. Die überprüften Gase sind Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Formaldehyd, Chlorwasserstoff, Acrylnitril, Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Phenol, Blausäure, Bromwasserstoff, Fluorwasserstoff und Phosgen.

Außerdem wird bei einem Prüflauf ohne Prüfling ein Hintergrundkorrekturfaktor für die zu messenden Gase bestimmt.

Die Ergebnisse werden in Form eines Toxizitätsindex auf der Basis einer gewichteten Verteilung wie folgt ausgedrückt:

$$\text{Toxizitätsindex} = \sum C_{\theta} / C_f$$

Dabei ist

C_f der *Volumenanteil* des innerhalb von 30 min Expositionsdauer tödlich wirkenden Gases, wie in Tabelle 2 gezeigt;

C_{θ} der Volumenanteil eines Gases, das bei der Verbrennung von 100 g eines Werkstoffs und der Verteilung der Verbrennungsprodukte in 1 m³ Luft entsteht.

Tabelle 2 — Cf-Werte für verschiedene Gase

Gas	C_f -Wert × 10 ⁶ DS 02-713	C_f -Wert × 10 ⁶ DS 07-247
Kohlenstoffdioxid	100 000	100 000
Kohlenmonoxid	4 000	1 450
Schwefelwasserstoff	750	—
Ammoniak	750	—
Formaldehyd	500	—
Chlorwasserstoff	500	500
Acrylnitril	400	400
Schwefeldioxid	400	120
Stickstoffoxide	250	100
Phenol	250	—
Blausäure	150	90

Gas	C_f -Wert $\times 10^6$ DS 02-713	C_f -Wert $\times 10^6$ DS 07-247
Bromwasserstoff	150	150
Fluorwasserstoff	100	0
Phosgen	25	–
Acrolein	–	5

6.2.5 Wiederholpräzision und Vergleichspräzision

Es liegen keine Angaben vor.

Die ersten Prüfungen dieser Art waren aufgrund der unzureichenden Festlegung der Prüfkammer nur schwer vergleichbar. Erhebliche Fehlerquellen bergen auch die Anwendung von kolorimetrischen Gasprüfröhrchen aufgrund der Ungenauigkeit der Röhrchen und die Zeitverzögerung durch das mehrstufige Analyseverfahren. Während der Probenahme, die 30 min dauern kann, ist eine erhebliche Abnahme der Gaskonzentrationen möglich.

6.2.6 Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen

Dieses Prüfverfahren wird jetzt weitestgehend kritisiert, siehe z. B. ISO 16312-2 und Verweisung [11]:

- a) Die Kombination aus Flammentemperatur und Lüftungsbedingungen bedeutet, dass das bei diesem Verfahren verwendete physikalische Brandmodell keiner der Brandarten nach [Tabelle 1](#) entspricht;
- b) die Gewichtswerte, die bei der Berechnung des Gesamtoxitätsindex verwendet werden, sind veraltet und gelten als ungerechtfertigt voreingenommen gegenüber bestimmten Werkstoffklassen;
- c) die Daten werden in einer Form dargestellt, die für die Beurteilung der Gefahr durch toxische Stoffe ungeeignet ist.

Insgesamt betrachtet ist dieses Verfahren als Grundlage für die Weiterentwicklung elektrotechnischer Produkte nicht zu empfehlen. Aufgrund der Beschränkungen des physikalischen Brandmodells, des Berechnungsverfahrens und der Form der Enddaten sollte es nicht als Basis für die Steuerung oder Kontrolle der Gefahr durch toxische Stoffe elektrotechnischer Produkte verwendet werden. Die Daten dieser Prüfung sollten nicht als Ausgangsdaten für die Beurteilung der Gefahr durch toxische Stoffe, der Brandgefahr oder für Berechnungen des Brandschutzingenieurverfahrens verwendet werden.

Wie bei vielen anderen physikalischen Brandmodellen gibt es keine Angabe über die Verbrennungsgeschwindigkeit, so dass flammgeschützte Werkstoffe eine Verbrennung mit der gleichen Geschwindigkeit erleiden müssen wie Werkstoffe ohne jede flammhemmende Eigenschaft. Deshalb sind für die Beurteilung der Brandgefahr zusätzliche Daten über Verbrennungsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Brandarten erforderlich.

6.3 Airbus-Industrie

6.3.1 Kurzbeschreibung

Airbus ABD 0031 [12] enthält die Konstruktionsanforderungen für den Brandschutz in den Druckbereichen des Flugzeugrumpfs der Airbus-Verkehrsflugzeuge. Die Norm legt die Anforderungen für die Brand-Rauch-Toxizität (Fire Smoke Toxicity, FST) und die entsprechenden Prüfverfahren fest. Die folgenden Ausführungen betreffen ausschließlich die Anforderungen für die Toxizität.

6.3.2 Zweck und Kurzbeschreibung

Nichtmetallische Teile und Baugruppen, die für die Verwendung in den Druckabschnitten des Rumpfs von Verkehrsflugzeugen vorgesehen sind, mit Ausnahme von Werkstoffen, die in kleinen Teilen wie Knöpfen, Griffen, Rollen, Haltern, Klemmen, Dichtungen, Gummibändern, Scheiben und in kleinen elektrischen Teilen verwendet werden, müssen nach [6.3.4](#) geprüft werden.

6.3.3 Prüfling

Die Proben haben die Maße 76,2 mm $\times$ 76,2 mm $\times$ die beabsichtigte Installationsdicke.

6.3.4 Prüfverfahren

Diese Prüfung ist zusammen (nicht gleichzeitig) mit der Rauchdichteprüfung in der NBS-Rauchkammer nach ASTM E-662 [13] durchzuführen.

Die Gasprobenahme beginnt unmittelbar nach der 4-minütigen Rauchdichteprüfung und der 16-minütigen Prüfung für Isolierstoffe von Elektrokabeln/-leitungen.

Mindestens zwei Prüflinge sind für jede Prüfbedingungen (mit und ohne Flamme) zu prüfen.

Für die chemische Analyse werden z. B. die Ionenchromatographie und die Gaschromatographie verwendet. Andere Verfahren dürfen verwendet werden, wobei dann durch Vergleichsprüfungen nachzuweisen ist, dass äquivalente Ergebnisse erzielt werden.

Die beobachteten *Volumenanteile* der folgenden Gase werden mit den festgesetzten Grenzwerten verglichen. Der mittlere *Volumenanteil* der folgenden Gasbestandteile des Rauchs sollte nicht die in Tabelle 3 genannten Grenzwerte innerhalb der Prüfdauer (4 min bzw. 16 min) unter Prüfbedingungen mit und ohne Flamme überschreiten.

Tabelle 3 — Grenzwerte der *Volumenanteile* für Gasbestandteile

Gasbestandteil	Grenzwert von <i>Volumenanteil</i> × 10 ⁶
Fluorwasserstoff	100
Chlorwasserstoff	150
Blausäure	150
Schwefeldioxid	100
nitrose Gase	100
Kohlenmonoxid	3 500

6.3.5 Wiederholpräzision und Vergleichspräzision

Es liegen keine Angaben vor.

6.3.6 Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen

Die Brand- und Lüftungsbedingungen ermöglichen keinen Vergleich dieses physikalischen Brandmodells mit einer der Brandarten nach [Tabelle 1](#).

Nur eine geringe Anzahl der Gasbestandteile wird berücksichtigt.

6.4 Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI)

6.4.1 Kurzbeschreibung

Das in CEI 20-37/7 [17] beschriebene Prüfverfahren wird zur Bestimmung der Rauchdichte und der Korrosivität des Rauchs sowie eines Korrosivitätsindex von Gasen verwendet, die bei der Verbrennung von Elektrokabeln und deren Bestandteilen freigesetzt werden.

6.4.2 Zweck und Kurzbeschreibung

Die Prüfung dient zur Messung der Menge verschiedener Gase, die bei der Verbrennung eines kleinen Prüflings in einem Röhrenofen mit kontinuierlichem Luftstrom freigesetzt werden.

Ein Toxizitätsindex wird auf der Basis der gemessenen Gaskonzentrationen und einer Reihe von Gewichtungsfaktoren berechnet.

6.4.3 Prüfling

Der Prüfling mit einer üblichen Masse von 1,0 g besteht aus einem Werkstoffstück oder einem von einem Enderzeugnis abgeschnittenen Prüfling.

6.4.4 Prüfverfahren

Der Prüfling wird in einem Quarzröhrchen in einen Röhrenofen mit einer Temperatureinstellung von $(800 \pm 10)^\circ\text{C}$ eingeführt, und ein Luftvolumenstrom von $120 \text{ l} \times \text{h}^{-1} \pm 5 \text{ l} \times \text{h}^{-1}$ wird durch den Ofen und über den Prüfling geführt.

Die flüchtigen Verbrennungsprodukte werden mit Spritzflaschen aufgenommen und die unlöslichen Bestandteile werden in einem Gasbehälter gesammelt.

Die überprüften Gase sind Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Formaldehyd, Ammoniak, Blausäure, Chlorwasserstoff, Bromwasserstoff, Fluorwasserstoff, Schwefelwasserstoff, Acrylnitril und Stickstoffoxide.

Für die chemische Analyse werden verschiedene Verfahren wie z. B. Spektrophotometrie, Gaschromatographie, Infrarotanalyse und Potentiometrie verwendet.

6.4.5 Wiederholpräzision und Vergleichspräzision

Es liegen keine Angaben vor.

6.4.6 Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen

Die Prüftemperatur und die Lüftungsbedingungen bei diesem Verfahren sind so festgelegt, dass dieses physikalische Brandmodell keiner der Brandarten nach [Tabelle 1](#) entspricht. Wenn jedoch Änderungen an der Prüftemperatur oder dem Luftvolumenstrom vorgenommen werden, könnte das physikalische Brandmodell die Brandarten 2 beziehungsweise 3b nachbilden (siehe [Tabelle 1](#)).

Der Masseverlust des Prüflings wird weder während noch nach der Prüfung aufgezeichnet, so dass die Ergebnisse nicht als Werte des *toxischen Potenzials* angegeben werden können.

Wie bei vielen anderen physikalischen Brandmodellen gibt es keine Angabe über die Verbrennungsgeschwindigkeit, so dass flammgeschützte Werkstoffe eine Verbrennung mit der gleichen Geschwindigkeit erleiden müssen wie Werkstoffe ohne jede flammhemmende Eigenschaft. Deshalb sind für die Beurteilung der Brandgefahr zusätzliche Daten über Verbrennungsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Brandarten erforderlich.

Eine ähnliche Prüfung, AFAP-3 [\[18\]](#) wurde von der NATO entwickelt, bei der die Prüfungen bei 350°C oder 800°C in einem Luftstrom von $2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ durchgeführt werden. Neben der Bestimmung von Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Blausäure, Fluorwasserstoff, Chlorwasserstoff, Bromwasserstoff, Stickstoffoxiden und Schwefeldioxid erfordert diese Prüfungsart die Bestimmung von Acrylnitril, Ammoniak, Phenol, Benzen, Styrol und Toluol unter bestimmten Bedingungen sowie die Bestimmung von Schwefelwasserstoff, Ameisensäure, Schwefelkohlenstoff und Acetaldehyd bei 350°C .

6.5 Norme Française (NF)

6.5.1 Kurzbeschreibung

Die in NF 20-454 [\[19\]](#) und NF X70-100 [\[20\]\[21\]](#) beschriebenen Prüfverfahren werden zur Bestimmung eines Toxizitätsindex von Gasen verwendet, die bei der Verbrennung von Prüflingen in einem Röhrenofen entstehen. NF C20-454 wird für Werkstoffe in elektrotechnischen Produkten angewendet, und NF X70-100 wurde für die Prüfung von Produkten und Werkstoffen in der Eisenbahnbranche entwickelt.

6.5.2 Zweck und Kurzbeschreibung

Diese Prüfungen dienen zur Messung und Quantifizierung der unterschiedlichen Gase, die bei der Verbrennung oder Pyrolyse von Prüflingen freigesetzt werden.

Die überprüften Gase sind Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Chlorwasserstoff, Bromwasserstoff, Fluorwasserstoff, Blausäure, Stickstoffoxide (NO und NO_2), Schwefeldioxid, Formaldehyd und Acrolein.

6.5.3 Prüfling

Der Prüfling mit einer üblichen Masse von $1,0 \text{ g}$ besteht aus einem Werkstoffstück oder einem von einem Enderzeugnis abgeschnittenen Prüfling.

6.5.4 Prüfverfahren

Der Prüfling wird in ein Porzellanschiffchen gegeben, das sich in einem Quarz-Glühröhrchen befindet, und in einen auf 800 °C oder, im Falle der NF X70-100, auf 400 °C oder 600 °C eingestellten Ringofen eingebracht. Ein Luftvolumenstrom von 120 L · h⁻¹ wird durch den Ofen über den Prüfling geführt.

Die Brandgase werden analysiert mittels Chromatographie, Potentiometrie, klassische Nasschemie, IR und FTIR.

6.5.5 Wiederholpräzision und Vergleichspräzision

Daten aus Ringversuchen werden beschrieben nach NF X70-100-1 [20].

6.5.6 Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen

Die Prüftemperatur und die Lüftungsbedingungen bei diesem Verfahren sind so festgelegt, dass dieses physikalische Brandmodell keiner der Brandarten nach [Tabelle 1](#) entspricht. Wenn jedoch Änderungen an der Prüftemperatur oder dem Luftvolumenstrom vorgenommen werden, könnte das physikalische Brandmodell die Brandarten 2 beziehungsweise 3b nachbilden (siehe [Tabelle 1](#)).

Der Masseverlust des Prüflings wird weder während noch nach der Prüfung aufgezeichnet, so dass die Ergebnisse nicht als Werte des *toxischen Potenzials* angegeben werden können.

Wie bei vielen anderen physikalischen Brandmodellen gibt es keine Angabe über die Verbrennungsgeschwindigkeit, so dass flammgeschützte Werkstoffe eine Verbrennung mit der gleichen Geschwindigkeit erleiden müssen wie Werkstoffe ohne jede flammhemmende Eigenschaft. Deshalb sind für die Beurteilung der Brandgefahr zusätzliche Daten über Verbrennungsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Brandarten erforderlich.

Ergebnisse der Prüfung NF X70-100 wurden verglichen mit Gasmengen aus Brandprüfungen im Original-Maßstab mit Werkstoffen, die in Eisenbahnzügen verwendet werden [22]. Einige begründete Zusammenhänge wurden für die Toxizität von Baumaterialien gefunden.

NF X70-100 ist eine der Toxizitätsprüfungen nach EN 45545-2 [23] und EN 17084 [26] (siehe 6.9).

NF X70-100 wird in ISO 16312-2 behandelt.

6.6 ISO-Prüfverfahren

6.6.1 ISO/TS 19021

6.6.1.1 Kurzbeschreibung

ISO/TS 19021 [24] legt ein Prüfverfahren für die Analyse von flüchtigen Verbrennungsprodukten während der Pyrolyse und Verbrennung eines Prüflings bei einer Prüfung nach ISO 5659-2 [25]. Die Gasanalyse wird unter Verwendung der in ISO 19702 beschriebenen Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie (FTIR) mit zusätzlicher Festlegung der Prüf- und Analysegeräte sowie der für die Anwendung nach diesem physikalischen Brandmodell erforderlichen Kalibrierung durchgeführt.

ANMERKUNG 1 ISO 5659-2 [25] beschreibt eine statische Prüfung zur Rauchentwicklung, bei der eine horizontale Probe einer Strahlungswärme aus einer Kegelheizeinrichtung in einer Kammer mit einem Volumen von 0,51 m³ ausgesetzt wird.

ANMERKUNG 2 EN 17084 [26] (siehe 6.9) legt ein Prüfverfahren fest, das mit dem Prüfverfahren von ISO/TS 19021 [24] nahezu identisch ist.

6.6.1.2 Zweck und Kurzbeschreibung

Der Zweck dieses Prüfverfahrens ist die Analyse des flüchtigen Verbrennungsprodukts (Gasart und Konzentration), das aus einem Prüfling erzeugt wird, der von einer konstanten einfallenden Wärmestromdichte (25 kW/m² oder 50 kW/m²) erwärmt und in einer Kammer gesammelt wird.

6.6.1.3 Prüfling

Der Prüfling ist eine im Wesentlichen flache quadratische Platte mit den Maßen 75 mm × 75 mm mit einer maximalen Dicke von 25 mm, wie in ISO 5659-2 festgelegt.

6.6.1.4 Prüfverfahren

Der Prüfling wird nach ISO 5659-2 vorbereitet und geprüft. Während der Prüfung (Bestimmung der optischen Rauchdichte) werden Verbrennungsprodukte aus Proben aus der Rauchkammer durch eine beheizte Probenahmeleitung (180 °C) in eine FTIR-Gaszelle geleitet, die ebenfalls auf 180 °C beheizt ist. Die Abtastrate beträgt $1,5 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$. Die Gasanalyse durch FTIR wird alle 15 s durchgeführt.

6.6.1.5 Wiederholpräzision und Vergleichspräzision

Präzisionsdaten sind in ISO/TS 19021, Anhang B, angegeben.

6.6.1.6 Anwendbarkeit der Prüfdaten und besondere Beobachtungen

Die Brandstadien 1b (oxidative Pyrolyse) und 3a (gut belüftete Verbrennung mit Flammenbildung) können geprüft werden.

Die Prüfgeräte sind verhältnismäßig einfach zu bedienen. Es gibt jedoch Nachteile. Die Gase werden durch freie Konvektion gemischt und eine mögliche Schichtung könnte zu einer nichtrepräsentativen Probenahme der Verbrennungsgase führen. Bei dicken oder thermisch weniger stabilen Werkstoffen kann eine Beeinträchtigung auftreten, die sich auf die Ausbeute der Verbrennungsprodukte auswirken würde. Das stöchiometrische Äquivalenzverhältnis verändert sich während der Prüfung. Brandgase strömen durch den konischen Ofen und können sich im oberen Teil des Schranks ansammeln, da kein Ventilator benutzt wird. Die Ablagerung von Gas auf Ruß und auf die Wände der Kammer ist möglich. Aufzeichnungen über Vergleiche zwischen Daten über die Erzeugung von toxischem Gas und Daten aus Brandversuchen im Original-Maßstab sind nicht bekannt. Das Verfahren ist es von zweifelhaftem Wert für den Gewinn von Daten über die Toxizität von flüchtigen Verbrennungsprodukten zur Anwendung in der Brandgefahrenanalyse.

Dieses Prüfverfahren wurde auf der Grundlage des IMO-Verfahrens (siehe 6.8) entwickelt und gibt eine präzisere Spezifikation der Prüfgeräte und -verfahren an. Eine deutliche Verbesserung im Vergleich zum IMO-Verfahren ist die Analyse der Verbrennungsprodukte alle 15 s, wogegen beim IMO-Verfahren nur eine einmalige Gasanalyse erfolgt.

ANMERKUNG Das physikalische Brandmodell beruht auf dem Verfahren mit der NBS-Rauchkammer, enthält jedoch viele nützliche Verbesserungen – siehe IEC 60695-6-2 [27].

6.6.2 ISO/TS 19700

6.6.2.1 Kurzbeschreibung

ISO TS 19700 [28] ist ein Prüfverfahren mit einem Röhrenofen. Es handelt sich dabei um die Weiterentwicklung einer erstmals in Großbritannien als BS 7990 [29] erarbeiteten Prüfung.

ANMERKUNG BS 7990 wird in ISO 16312-2 behandelt.

6.6.2.2 Zweck und Kurzbeschreibung

Proben eines Werkstoffs oder Produkts werden unter stabilen Bedingungen in einer oder mehreren von vier Umgebungen verbrannt, deren Temperatur und stöchiometrisches Äquivalenzverhältnis für eine bestimmte Brandphase repräsentativ sind. Die vier vertretenen Brandarten sind: oxidative Pyrolyse, gut belüftete Entwicklung zum Vollbrand mit Flammenbildung, Brand mit kleiner Flamme bei abgesaugter Luft und Brand nach dem Flashover nach ISO 19706.

6.6.2.3 Prüfling

Der Prüfling wird gleichmäßig über die Länge des Verbrennungsschiffchens verteilt, so dass ein konstanter Fluss von Zersetzungsprodukten mit dem Durchführen des Prüflings durch den Quarzröhrenofen erzeugt wird. Die brennbare Masse sollte etwa 20 g auf 800 mm verteilt ($25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}$) betragen. Der Prüfling sollte vorzugsweise die Form eines Stabs mit gleichförmiger Querschnittsfläche aufweisen.

6.6.2.4 Prüfverfahren

Jeder Werkstoff sollte unter den Zersetzungsbedingungen nach Tabelle 4 geprüft werden.