

**DIN EN IEC 60695-6-1**  
**(VDE 0471-6-1)**
**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 2019-11-06

Vorgesehen als Ersatz für  
**DIN EN 60695-6-1**  
**(VDE 0471-6-1):2011-09**

**Entwurf**

**Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr –**  
**Teil 6-1: Sichtminderung durch Rauch –**  
**Allgemeiner Leitfaden**  
**(IEC 89/1472/CDV:2019);**  
**Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60695-6-1:2019**

Fire hazard testing –  
 Part 6-1: Smoke obscuration –  
 General guidance  
 (IEC 89/1472/CDV:2019);  
 German and English version prEN IEC 60695-6-1:2019

Essais relatifs aux risques du feu –  
 Partie 6-1: Opacité des fumées –  
 Recommandations générales  
 (IEC 89/1472/CDV:2019);  
 Version allemande et anglaise prEN IEC 60695-6-1:2019

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-09-06 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](http://www.din.de/go/entwuerfe) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [dke@vde.com](mailto:dke@vde.com) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe](http://www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://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 62 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 60695-6-1:2019 „Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr – Teil 6-1: Sichtminderung durch *Rauch* – 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 89/1472/CDV:2019 „Fire hazard testing – Part 6-1: Smoke obscuration – General guidance“ unverändert in den Entwurf prEN IEC 60695-6-1:2019 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 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 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](http://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 Abschnichtsnummer, 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 60695-6-1 (VDE 0471-6-1):2011-09** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Aktualisierung der Einleitung und der normativen Verweisungen;
- Verweisungen entfernt auf IEC TS 60695-6-30 und IEC TS 60695-6-31, beide zurückgezogen 2016;
- Verweisungen eingefügt auf ISO 5659-2;
- Anwendungsbereich mit zusätzlichem Text;
- Aktualisierung der Begriffe, der **Abschnitte 3.2** und **7.1**, der Literaturhinweise.

**Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr –  
Teil 6-1: Sichtminderung durch Rauch –  
Allgemeiner Leitfad**

**Inhalt**

**Seite**

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Einleitung .....                                                         | 3  |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                | 4  |
| 2 Normative Verweisungen .....                                           | 4  |
| 3 Begriffe und Symbole .....                                             | 4  |
| 3.1 Begriffe .....                                                       | 4  |
| 3.2 Symbole .....                                                        | 8  |
| 4 Allgemeine Aspekte der Prüfverfahren zur <i>Rauchentwicklung</i> ..... | 8  |
| 4.1 Brandszenarien und physikalische Brandmodelle .....                  | 8  |
| 4.2 Die <i>Rauchentwicklung</i> beeinflussende Faktoren .....            | 10 |
| 4.2.1 Allgemeines .....                                                  | 10 |
| 4.2.2 Arten der Zersetzung .....                                         | 10 |
| 4.2.3 Belüftung und Brandumgebung .....                                  | 13 |
| 4.2.4 Zeit und Temperatur .....                                          | 13 |
| 4.2.5 Mechanismen zur Beseitigung von <i>Rauchpartikeln</i> .....        | 13 |
| 5 Grundlagen der <i>Rauchmessung</i> .....                               | 13 |
| 5.1 Bouguer-Lambert'sches Gesetz .....                                   | 14 |
| 5.2 <i>Extinktionsfläche</i> .....                                       | 14 |
| 5.3 Dekadische Logarithmen .....                                         | 15 |
| 5.4 Lichtquellen .....                                                   | 15 |
| 5.5 Spezifische <i>Extinktionsfläche</i> des <i>Rauchs</i> .....         | 16 |
| 5.6 Optische Massendichte des <i>Rauchs</i> .....                        | 17 |
| 5.7 Sichtweite .....                                                     | 17 |
| 6 Statische und dynamische Prüfverfahren .....                           | 17 |
| 6.1 Statische Prüfverfahren .....                                        | 17 |
| 6.1.1 Kurzbeschreibung .....                                             | 17 |
| 6.1.2 <i>Extinktionsfläche</i> des <i>Rauchs</i> .....                   | 18 |
| 6.1.3 Spezifische optische <i>Rauchdichte</i> .....                      | 18 |
| 6.1.4 Vorhersage der Sichtweite .....                                    | 18 |
| 6.2 Dynamische Prüfverfahren .....                                       | 18 |
| 6.2.1 Kurzbeschreibung .....                                             | 18 |
| 6.2.2 <i>Rauchentwicklungsrate</i> .....                                 | 19 |
| 6.2.3 Gesamte <i>Raucherzeugung</i> .....                                | 19 |
| 6.2.4 SMOGRA-Index .....                                                 | 19 |
| 7 Prüfverfahren .....                                                    | 21 |

|                   |                                                                                                                                                   |    |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.1               | Betrachtung von Prüfverfahren .....                                                                                                               | 21 |
| 7.2               | Auswahl der Probekörper .....                                                                                                                     | 21 |
| 8                 | Darstellung der Daten .....                                                                                                                       | 22 |
| 9                 | Anwendbarkeit der Daten für die Beurteilung der Brandgefahr .....                                                                                 | 22 |
| Anhang A          | (informativ) Berechnung der Sichtweite .....                                                                                                      | 25 |
| A.1               | Allgemeines .....                                                                                                                                 | 25 |
| A.2               | Beispiel .....                                                                                                                                    | 26 |
| Anhang B          | (informativ) Beziehungen zwischen $D_s$ und einigen anderen <i>Rauch</i> parametern,<br>gemessen nach ISO 5659-2 [3] .....                        | 27 |
| B.1               | Allgemeines .....                                                                                                                                 | 27 |
| Anhang C          | (informativ) Beziehungen zwischen prozentualer Lichtdurchlässigkeit, gemessen in<br>einer „3-m-Würfel“-Kammer, und <i>Extinktionsfläche</i> ..... | 29 |
| C.1               | Allgemeines .....                                                                                                                                 | 29 |
| Literaturhinweise | .....                                                                                                                                             | 31 |

## Bilder

|          |                                                                                                                                                         |    |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 1   | – Unterschiedliche Phasen der Brandentwicklung in einem Brandabschnitt .....                                                                            | 10 |
| Bild 2   | – Reduktion des rauchdurchdringenden Lichts .....                                                                                                       | 14 |
| Bild 3   | – <i>Extinktionsfläche</i> .....                                                                                                                        | 15 |
| Bild 4   | – Dynamische <i>Rauch</i> messung .....                                                                                                                 | 18 |
| Bild 5   | – Beispiel $SPR_{av}$ aufgetragen über die Zeit $t$ .....                                                                                               | 20 |
| Bild 6   | – Aus Bild 5 abgeleitete <i>SMOGRA</i> -Kurve .....                                                                                                     | 21 |
| Bild 7   | – Beurteilung und Berücksichtigung von <i>Rauch</i> prüfverfahren .....                                                                                 | 24 |
| Bild A.1 | – Sichtweite ( $\omega$ ) und Extinktionskoeffizient ( $k$ ) .....                                                                                      | 25 |
| Bild B.1 | – Mit $D_s$ verknüpfte <i>Rauch</i> parameter, ermittelt nach ISO 5659-2 .....                                                                          | 28 |
| Bild C.1 | – Beziehung zwischen <i>Extinktionsfläche</i> ( <i>Rauchmenge</i> ) und prozentualer<br>Lichtdurchlässigkeit, gemessen in der „3-m-Würfel“-Kammer ..... | 30 |

## Tabellen

|             |                                                                                                                                                      |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1   | – Symbole .....                                                                                                                                      | 8  |
| Tabelle 2   | – Merkmale von Brandstadien (aus Tabelle 1 in ISO 19706:2011) .....                                                                                  | 12 |
| Tabelle B.1 | – Umrechnung von $D_s$ in andere <i>Rauch</i> parameter nach ISO 5659-2 .....                                                                        | 27 |
| Tabelle C.1 | – Umrechnung der prozentualen Lichtdurchlässigkeit, gemessen in der „3-m-Würfel“-<br>Kammer, in <i>Rauchmenge</i> ( <i>Extinktionsfläche</i> ) ..... | 29 |

## 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 Bauelementen, Auslegung der Schaltung und Geräte sowie Wahl von Werkstoffen das Ziel, die Wahrscheinlichkeit eines Brands selbst bei vernünftigerweise vorhersehbarer Fehlanwendung bzw. 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]<sup>1</sup> enthalten Anleitungen, wie dies zu bewerkstelligen 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 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.

Zu den mitwirkenden Gefährdungen gehört die Freisetzung von *Rauch*, der zur Sichtbehinderung und/oder Orientierungslosigkeit von Personen führen kann und damit die Flucht aus dem Gebäude sowie die Brandbekämpfung beeinträchtigt.

*Rauch*partikel schränken die *Sichtweite* durch Absorption von Licht und Diffusion ein. Dies führt dazu, dass Personen möglicherweise Schwierigkeiten haben, Ausgangshinweise, Türen und Fenster zu finden. Als *Sichtweite* gilt häufig die Entfernung, bis zu der ein Gegenstand noch sichtbar ist. Obwohl von mehreren Faktoren abhängig ist, wurde ein enger Zusammenhang zwischen der *Sichtweite* und den Messungen des *Extinktionskoeffizient des Rauchs* festgestellt – siehe [Anhang A](#).

Das Produkt aus *Rauch* und seinen optischen Eigenschaften kann ebenso wie andere Brandeigenschaften wie Wärmefreisetzung, Flammenausbreitung und Erzeugung toxischer Gase und Korrosion gemessen werden. Dieser Teil der IEC 60695-6 dient als Leitfaden für die Sichtminderung durch *Rauch*.

---

<sup>1</sup> Die Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf die Literaturhinweise.

## 1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 60695 ist ein Leitfaden für:

- a) die optische Messung von *Sichtminderung durch Rauch*;
- b) allgemeine Aspekte von Prüfverfahren zur optischen *Rauchdichte*;
- c) die Betrachtung von Prüfverfahren;
- d) die Darstellungen von *Rauchprüfergebnissen*;
- e) die Anwendbarkeit von Prüfergebnissen der optischen *Rauchdichte* für die Beurteilung der Brandgefahr.

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

Die Technischen Komitees sind stets gehalten, bei der Erarbeitung ihrer Normen sofern möglich Sicherheitsgrundnormen anzuwenden.

## 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 60695-4**, *Fire hazard testing – Part 4: Terminology concerning fire tests*

**IEC 60695-6-2**, *Fire hazard testing – Part 6-2: Smoke obscuration – 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 inclusion in standards*

ISO 13943:2017, *Fire safety – Vocabulary*

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

## 3 Begriffe und Symbole

### 3.1 Begriffe

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

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

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

### 3.1.1

#### **Extinktionsfläche des Rauchs**

Produkt des vom *Rauch* (3.1.10) eingenommenen Volumens und des Extinktionskoeffizienten (3.1.2) des *Rauchs*

Anmerkung 1 zum Begriff: Die *Extinktionsfläche des Rauchs* ist ein Maß für die *Rauchmenge*. Die übliche Einheit ist  $\text{m}^2$ .

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.110]

### 3.1.2

#### **Extinktionskoeffizient**

natürlicher Logarithmus des Quotienten aus der Intensität des einfallenden Lichts und der verringerten Intensität des Lichts nach Durchgang durch ein Medium in Abhängigkeit von der Weglänge des Lichts

Anmerkung 1 zum Begriff: Die übliche Einheit ist  $\text{m}^{-1}$ .

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.111]

### 3.1.3

#### **massenbezogene optische Rauchdichte**

Produkt aus *optischer Rauchdichte* (3.1.6) und einem Faktor, der das Volumen der Prüfkammer dividiert durch das Produkt aus dem Masseverlust des Probekörpers und der optischen Weglänge des Lichts ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die übliche Einheit ist  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ .

Anmerkung 2 zum Begriff: Optische *Rauchdichte* =  $V/(\Delta m L)$ , wobei  $V$  das Prüfkammervolumen,  $\Delta m$  der Masseverlust des Probekörpers und  $L$  die Lichtweglänge ist

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.265]

### 3.1.4

#### **Sichtminderung durch Rauch**

Minderung der Intensität des Lichts beim Durchgang durch *Rauch* (3.1.10)

Anmerkung 1 zum Begriff: Vgl. *Extinktionsfläche des Rauchs* (3.1.1), *Extinktionskoeffizient* (3.1.2), *Lichtschwächung durch Rauch* (3.1.5), *optische Rauchdichte* (3.1.6), *Rauchverdunkelung* (3.1.11), *spezifische Extinktionsfläche des Rauchs* (3.1.13) und *spezifische optische Rauchdichte* (3.1.14)

Anmerkung 2 zum Begriff: In der Praxis wird die Sichtminderung durch *Rauch* gewöhnlich als Lichtdurchlässigkeit von *Rauch* erfasst, die üblicherweise in Prozent angegeben wird.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Sichtminderung durch *Rauch* bewirkt eine Verringerung der *Sichtweite* (3.1.16).

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.286]

### 3.1.5

#### **Lichtschwächung durch Rauch**

Verhältnis der Intensität des einfallenden Lichts und der verringerten Intensität des Lichts nach Durchgang durch *Rauch* () unter festgelegten Bedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Auch *Sichtminderung durch Rauch* (3.1.4), *Rauchverdunkelung* (3.1.11).

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Lichtschwächung durch *Rauch* ist der reziproke Wert zur Lichtdurchlässigkeit von *Rauch*.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Lichtschwächung durch *Rauch* ist dimensionslos.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.287]

### 3.1.6

#### **optische Rauchdichte**

Maß für die Reduktion eines Lichtstrahls, der durch den *Rauch* (3.1.10) hindurchtritt, ausgedrückt als dekadischer Logarithmus der *Lichtschwächung durch Rauch* (3.1.5)

Anmerkung 1 zum Begriff: Vgl. *spezifische optische Rauchdichte* (3.1.14).

Anmerkung 2 zum Begriff: Die optische *Rauchdichte* ist dimensionslos.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.288]

### 3.1.7

#### **physikalisches Brandmodell**

Laborverfahren einschließlich des Prüfaufbaus, der Umgebungsbedingungen und der Prüfungsausführung, das eine bestimmte Brandphase repräsentieren soll

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.298]

### 3.1.8.

#### **SMOGRA**

Parameter der *Rauchwachstumsrate* (smoke growth rate), der eine Funktion der Rate von *Rauchproduktion* und Produktionszeit ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Weitere Details sind in 6.2.4 gegeben.

### 3.1.9

#### **SMOGRA-Index**

Höchstwert von *SMOGRA* (3.1.8) während einer festgelegten Prüfdauer

Anmerkung 1 zum Begriff: Weitere Details sind in 6.2.4 gegeben.

### 3.1.10

#### **Rauch**

sichtbarer Teil eines flüchtigen Verbrennungsprodukts

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.347]

### 3.1.11

#### **Rauchverdunkelung**

Verminderung des Lichtdurchgangs durch *Rauch* (3.1.10), gemessen anhand der Dämpfung des Lichts

Anmerkung 1 zum Begriff: Vgl. *Extinktionsfläche* des *Rauchs* (3.1.1), *Extinktionskoeffizient* (3.1.2), *Sichtminderung durch Rauch* (3.1.4), *Lichtschwächung durch Rauch* (3.1.5), *optische Rauchdichte* (3.1.6), *spezifische Extinktionsfläche* des *Rauchs* (3.1.13) und *spezifische optische Rauchdichte* (3.1.14).

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.349]

### 3.1.12

#### **Rauchentwicklungsrate**

Entwicklung von *Rauch* (3.1.10) während eines Brands oder einer Brandprüfung je Zeiteinheit

Anmerkung 1 zum Begriff: Die *Rauchentwicklungsrate* wird als Produkt des Volumenstroms von *Rauch* und des *Extinktionskoeffizienten* (3.1.2) des *Rauchs* am Messpunkt berechnet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die übliche Einheit ist  $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ .

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.351]

### 3.1.13

#### **spezifische *Extinktionsfläche des Rauchs***

von einem Probekörper in einer vorgegebenen Zeitspanne erzeugte *Extinktionsfläche des Rauchs* (3.1.1) dividiert durch den Masseverlust des Probekörpers in der gleichen Zeitspanne

Anmerkung 1 zum Begriff: Die übliche Einheit ist  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ .

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.358]

### 3.1.14

#### **spezifische optische *Rauchdichte***

Produkt aus *optischer Rauchdichte* (3.1.6) und einem Geometriefaktor

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Geometriefaktor ist  $V/(A \cdot L)$ , wobei  $V$  das Volumen der Prüfkammer,  $A$  die der Einwirkung ausgesetzte Oberfläche des Probekörpers und  $L$  die Weglänge des Lichts ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Begriff „spezifisch“ bedeutet in diesem Fall nicht „je Masseneinheit“, sondern bezeichnet eine Größe, die mit der jeweiligen Prüfeinrichtung und der einer Einwirkung ausgesetzten Oberfläche des Probekörpers verbunden ist.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die spezifische optische *Rauchdichte* ist dimensionslos.

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.360]

### 3.1.15

#### **Gesamtrauch**

#### **gesamte *Raucherzeugung***

Siehe *Extinktionsfläche des Rauchs* (3.1.1).

### 3.1.16

#### **Sichtweite**

maximaler Abstand, bei dem ein Objekt mit festgelegter Größe, festgelegter Helligkeit und festgelegtem Kontrast gesehen und erkannt werden kann

[QUELLE: ISO 13943:2017, Definition 3.420]

### 3.2 Symbole

**Tabelle 1 – Symbole**

| Symbol                                                                                                                                                                                                                  | Größe                                                                                        | Typische Einheit            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| $A$                                                                                                                                                                                                                     | Einwirkungsfläche des Probekörpers                                                           | $\text{m}^2$                |
| $D$                                                                                                                                                                                                                     | linearer dekadischer Absorptionskoeffizient (auch: optische Dichte je m)                     | $\text{m}^{-1}$             |
| $D'$                                                                                                                                                                                                                    | <i>optische Rauchdichte</i>                                                                  | dimensionslos               |
| $D_{\text{mass}}$                                                                                                                                                                                                       | <i>massenbezogene optische Rauchdichte</i>                                                   | $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$ |
| $D_s$                                                                                                                                                                                                                   | <i>spezifische optische Rauchdichte</i>                                                      | dimensionslos               |
| $D_{\text{max}}$ (auch $D_m$ )                                                                                                                                                                                          | <i>maximale spezifische optische Rauchdichte</i>                                             | dimensionslos               |
| $I$                                                                                                                                                                                                                     | Stärke des auftreffenden Lichts                                                              | cd                          |
| $I/T$                                                                                                                                                                                                                   | <i>Lichtschwächung durch Rauch</i> (Verhältnis auftreffendes Licht zu durchgelassenem Licht) | dimensionslos               |
| $k$                                                                                                                                                                                                                     | linearer natürlicher Absorptionskoeffizient (auch: <i>Extinktionskoeffizient</i> )           | $\text{m}^{-1}$             |
| $L$                                                                                                                                                                                                                     | Länge des Lichtwegs durch den Rauch                                                          | m                           |
| $\Delta m$                                                                                                                                                                                                              | Masseverlust des Probekörpers                                                                | kg                          |
| $\dot{m}$                                                                                                                                                                                                               | Masseverlustrate                                                                             | $\text{kg s}^{-1}$          |
| $S$                                                                                                                                                                                                                     | <i>Extinktionsfläche des Rauchs</i> (auch <i>Gesamtrauch</i> )                               | $\text{m}^2$                |
| $\dot{S}$                                                                                                                                                                                                               | <i>Rauchentwicklungsrate</i> (Änderungsrate der <i>Extinktionsfläche</i> )                   | $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$  |
| $t$                                                                                                                                                                                                                     | Zeit                                                                                         | s                           |
| $\Delta t$                                                                                                                                                                                                              | Prüfzeitintervall                                                                            | s                           |
| $T$                                                                                                                                                                                                                     | Stärke des durchgelassenen Lichts                                                            | cd                          |
| $V$                                                                                                                                                                                                                     | Volumen der Prüfkammer                                                                       | $\text{m}^3$                |
| $\dot{V}$                                                                                                                                                                                                               | Durchflussgeschwindigkeit des Rauchs                                                         | $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  |
| $\sigma_f$                                                                                                                                                                                                              | <i>spezifische Extinktionsfläche des Rauchs</i>                                              | $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$ |
| $\gamma$                                                                                                                                                                                                                | Proportionalitätskonstante zwischen <i>Sichtweite</i> und <i>Extinktionskoeffizient</i>      | dimensionslos               |
| $\omega$                                                                                                                                                                                                                | <i>Sichtweite</i>                                                                            | m                           |
| ANMERKUNG 1 Die auf $\log_{10}$ basierenden Größen, d. h. $D$ , $D'$ , $D_{\text{max}}$ , $D_{\text{mass}}$ und $D_s$ , haben zwar ähnliche Zeichen, sind aber unterschiedliche Größen mit unterschiedlichen Einheiten. |                                                                                              |                             |
| ANMERKUNG 2 Die Anwendung des Begriffs „spezifisch“ im Falle der <i>spezifischen optischen Rauchdichte</i> , $D_s$ , bezeichnet nicht „je Masseneinheit“.                                                               |                                                                                              |                             |

## 4 Allgemeine Aspekte der Prüfverfahren zur Rauchentwicklung

### 4.1 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 Gemisches 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 auf, wie die verschiedenen Arten eines Brands mit den atmosphärischen Bedingungen zusammenhängen. Damit diese Bedingungen realen Bränden möglichst genau entsprechen, können sie für die Anwendung bei Laborprüfungen (Klein- oder Großbrandprüfungen) aus der Tabelle abgeleitet werden.

Bei Bränden trifft eine Vielzahl verschiedener, miteinander verknüpfter physikalischer und chemischer Erscheinungen zusammen. Es ist deshalb äußerst schwierig, alle Aspekte einer Brandprüfung im natürlichen Maßstab mit einer Laboreinrichtung nachzubilden. Dieses Problem der Gültigkeit des *physikalischen Brandmodells* ist vielleicht das komplexeste technische Problem, das mit allen Brandprüfungen verbunden ist.

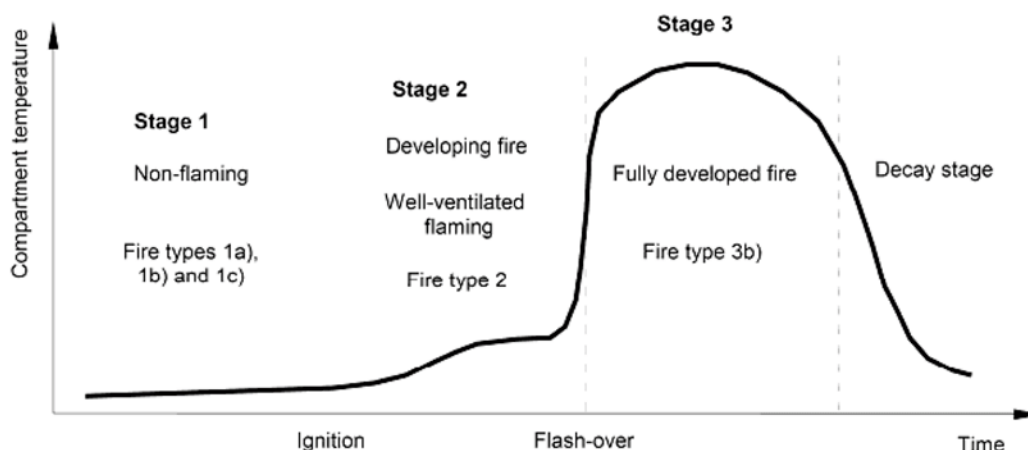
Ein allgemeiner Leitfaden für die Beurteilung der Brandgefahr von elektrotechnischen Produkten ist in [IEC 60695-1-10](#) und [IEC 60695-1-11](#) enthalten.

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 und eine abklingende Phase aufweist (siehe [Bild 1](#)).

Phase 1 ist die Anfangsphase des Brands vor einem anhaltenden Brennen mit Flamme mit 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 exponentiellen Anstieg der Raumtemperatur während der Brandentwicklung. 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 (Flashover).

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 ist als Abklingen bekannt.

In jeder dieser Phasen kann eine andere Mischung von Zersetzungsprodukten entstehen, die wiederum die in der entsprechenden Phase produzierte *Rauchdichte* beeinflusst. Um eine angemessene Brandprüfung auszuwählen, sind Angaben über das betrachtete Brandszenario erforderlich, insbesondere über den einwirkenden Wärmestrom, die Sauerstoffzufuhr und die Einrichtungen für den Abzug des *Rauchs*.



| Englisch                    | Deutsch                      |
|-----------------------------|------------------------------|
| Compartment temperature     | Kammertemperatur             |
| Stage 1                     | Phase 1                      |
| Non-flaming                 | ohne Flammenbildung          |
| Fire types 1a), 1b) and 1c) | Brandarten 1a), 1b) und 1c)  |
| Stage 2                     | Phase 2                      |
| Developing fire             | Sich entwickelnder Brand     |
| Well-ventilated flaming     | Gut belüftete Flammenbildung |
| Fire type 2                 | Brandart 2                   |
| Stage 3                     | Phase 3                      |
| Fully developed fire        | Vollbrand                    |
| Fire type 3b)               | Brandart 3b)                 |
| Decay stage                 | Abklingende Phase            |
| Ignition                    | Zündung                      |
| Flash-over                  | Flashover                    |
| Time                        | Zeit                         |

**Bild 1 – Unterschiedliche Phasen der Brandentwicklung in einem Brandabschnitt**

## 4.2 Die Rauchentwicklung beeinflussende Faktoren

### 4.2.1 Allgemeines

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

### 4.2.2 Arten der Zersetzung

*Rauch* ist ein Ergebnis einer Verbrennung. Eine Verbrennung kann mit oder ohne Flamme und mit oder ohne Schwelen stattfinden, wobei diese unterschiedlichen Arten der Verbrennung recht unterschiedliche Arten von *Rauch* erzeugen können. Bei einer Zersetzung ohne Flammenbildung werden bei hohen Temperaturen flüchtige Brandprodukte freigesetzt. Wenn diese sich mit kalter Luft vermischen, kondensieren sie zu runden Tröpfchen, die als helle *Rauch*aerosole 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 kohlenstoffhaltigen *Rauchpartikel* in den Flammen geben Strahlungsenergie (als schwarze Strahlung) ab, die gelb leuchtend sichtbar ist.

Die Größe der runden Tröpfchen bei der Zersetzung ohne Flammenbildung beträgt im Allgemeinen etwa 1 µm; die unregelmäßig geformten *Rauchpartikel* bei der Verbrennung mit Flamme sind häufig größer; die genaue Größe ist jedoch viel schwieriger festzustellen und vom Messverfahren abhängig.

Bei Holzbränden ist häufig festzustellen, dass die *Rauchmenge* bei der Verbrennung mit Flamme niedriger ist als bei der Zersetzung ohne Flammenbildung. Für Kunststoffe gilt eine solche Verallgemeinerung nicht: Die erzeugte *Rauchmenge* kann bei der Zersetzung ohne Flammenbildung größer oder kleiner sein als bei der Verbrennung mit Flamme. Deshalb ist es wichtig, bei einer *Rauchprüfung* aufzuzeichnen, ob eine Verbrennung stattfindet, wann der Probekörper sich entzündet und wann die Flammen erlöschen. Außerdem kann aus der Rückseite von Verbundstoffen kalter *Rauch* entstehen, welcher sich in Farbe und Zusammensetzung erheblich von dem *Rauch* unterscheiden kann, der von der ausgesetzten Fläche des Probekörpers erzeugt wird.

# — Entwurf —

E DIN EN IEC 60695-6-1 (VDE 0471-6-1):2019-10  
prEN IEC 60695-6-1:2019

**Tabelle 2 – Merkmale von Brandstadien** (aus [Tabelle 1](#) in ISO 19706:2011) (1 von 2)

| Brandstadium                                                                                        | Wärmestrom-<br>dichte der<br>Oberfläche<br>des<br>Brennstoffs<br><br>kW/m2 | Max. Temperatur<br><br>°C     |             | Sauerstoffvolumen<br><br>% |            | Brennstoff/<br>Luft-<br>Äquivalenz-<br>verhältnis<br>(Plume) | $\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}_2]}$<br><br>v/v | $\frac{100 \times [\text{CO}_2]}{([\text{CO}_2] + [\text{CO}])} \%$<br><br>Nutzefekt |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------|----------------------------|------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                     |                                                                            | Oberfläche des<br>Brennstoffs | Obere Lage  | Einge-<br>schlossen        | Abgeleitet |                                                              |                                                |                                                                                      |
| 1. Ohne Flammenbildung                                                                              |                                                                            |                               |             |                            |            |                                                              |                                                |                                                                                      |
| a. selbsterhaltend (Schwelen)                                                                       | nicht zutreffend                                                           | 450 bis 800                   | 25 bis 85 d | 20                         | 20         | –                                                            | 0,1 bis 1                                      | 50 bis 90                                                                            |
| b. Oxidative Pyrolyse durch<br>äußere Bestrahlung                                                   | –                                                                          | 300 bis 600 a                 | b           | 20                         | 20         | < 1                                                          | c                                              | c                                                                                    |
| c. Anaerobe Pyrolyse durch<br>äußere Bestrahlung                                                    | –                                                                          | 100 bis 500                   | b           | 0                          | 0          | >> 1                                                         | c                                              | c                                                                                    |
| 2. Gut belüftete Flammenbildung <sup>d</sup>                                                        | 0 bis 60                                                                   | 350 bis 650                   | 50 bis 500  | ≈ 20                       | ≈ 20       | < 1                                                          | < 0,05 e                                       | > 95                                                                                 |
| 3. Schlecht ventilierte Flammenbildung <sup>f</sup>                                                 |                                                                            |                               |             |                            |            |                                                              |                                                |                                                                                      |
| a. Kleine, örtlich begrenzte Feuer,<br>üblicherweise in einem schlecht<br>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 <sup>g</sup>      | > 600       | < 15                       | < 5        | > 1 <sup>h</sup>                                             | 0,1 bis 0,4 <sup>i</sup>                       | 70 bis 90                                                                            |

<sup>a</sup> Bei einem gegebenen brennbaren Werkstoff ist der obere Grenzwert kleiner als der für gut ventilierte Verbrennung mit Flammenbildung.

<sup>b</sup> Die Temperatur in der oberen Lage des Brandraums wird höchstwahrscheinlich durch die Quelle der äußeren Bestrahlung und die Geometrie des Raums bestimmt.

<sup>c</sup> Es gibt wenige Daten; aber für die Pyrolyse wird angenommen, dass dieses Verhältnis in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung des Werkstoffs und der örtlichen Belüftung sowie den thermischen Bedingungen stark variiert.

<sup>d</sup> 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 beeinträchtigen, 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.

<sup>e</sup> Das Verhältnis kann für feuerwiderstandsfähige Stoffe eine Größenordnung höher sein. Bei diesem Verhältnis gibt es für Äquivalenzverhältnisse bis ≈ 0,75 keinen signifikanten Anstieg. Zwischen ≈ 0,75 und 1 kann es zu einer gewissen Zunahme dieses Verhältnisses kommen.

<sup>f</sup> Der Sauerstoffbedarf des Brands wird durch die Öffnung(en) der Belüftung begrenzt; die Flammen reichen bis in die obere Lage.

<sup>g</sup> Eine gut belüftete Flammenbildung wird angenommen.

<sup>h</sup> Das Plume-Äquivalenzverhältnis wurde nicht gemessen; die Nutzung eines pauschalen Äquivalenzverhältnisses ist ungeeignet.

<sup>i</sup> Beispiele von niedrigeren Verhältnissen wurden gemessen. Diese resultieren im Allgemeinen aus der sekundären Verbrennung außerhalb der Raumventilation.

Docu

<sup>a</sup> Bei einem gegebenen brennbaren Werkstoff ist der obere Grenzwert kleiner als der für gut ventilierte Verbrennung mit Flammenbildung.

<sup>b</sup> Die Temperatur in der oberen Lage des Brandraums wird höchstwahrscheinlich durch die Quelle der äußeren Bestrahlung und die Geometrie des Raums bestimmt.

<sup>c</sup> Es gibt wenige Daten; aber für die Pyrolyse wird angenommen, dass dieses Verhältnis in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung des Werkstoffs und der örtlichen Belüftung sowie den thermischen Bedingungen stark variiert.

<sup>d</sup> 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 beeinträchtigen, 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.

<sup>e</sup> Das Verhältnis kann für feuerwiderstandsfähige Stoffe eine Größenordnung höher sein. Bei diesem Verhältnis gibt es für Äquivalenzverhältnisse bis ≈ 0,75 keinen signifikanten Anstieg. Zwischen ≈ 0,75 und 1 kann es zu einer gewissen Zunahme dieses Verhältnisses kommen.

<sup>f</sup> Der Sauerstoffbedarf des Brands wird durch die Öffnung(en) der Belüftung begrenzt; die Flammen reichen bis in die obere Lage.

<sup>g</sup> Eine gut belüftete Flammenbildung wird angenommen.

<sup>h</sup> Das Plume-Äquivalenzverhältnis wurde nicht gemessen; die Nutzung eines pauschalen Äquivalenzverhältnisses ist ungeeignet.

<sup>i</sup> Beispiele von niedrigeren Verhältnissen wurden gemessen. Diese resultieren im Allgemeinen aus der sekundären Verbrennung außerhalb der Raumentlüftung.

Der auf den Probekörper auftreffende Wärmestrom beeinflusst das Brandverhalten eines Stoffs; es ist üblich, den erzeugten *Rauch* sowohl bei niedrigen Bestrahlungswerten (z. B.  $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$  bis  $25 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ ) als auch bei höheren Bestrahlungswerten (z. B.  $40 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$  bis  $50 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ ) zu messen. Auf diese Weise kann beurteilt werden, welchen Einfluss die einzelnen Phasen eines Brands auf die *Rauchentwicklung* eines Stoffs haben.

#### 4.2.3 Belüftung und Brandumgebung

Die Entwicklung von *Rauch* hängt nicht nur davon ab, welcher Stoff brennt, sondern vom gesamten Brandszenario. Es ist bekannt, dass die Entwicklung von *Rauch* bei einigen Stoffen durch eingeschränkte Belüftung erheblich zunimmt.

Die Brenngeschwindigkeit und die von einem Brand betroffene Fläche sollten bei der Bestimmung der *Rauchentwicklung* in realen Bränden stets berücksichtigt werden. Ein Stoff, der je verbrannter Flächeneinheit nur eine geringe Menge *Rauch* erzeugt, kann bei einem Brand infolge eines raschen Ausbreitens der Flammen über große Flächen nämlich große Mengen *Rauch* erzeugen.

#### 4.2.4 Zeit und Temperatur

Die Verteilung der Partikelgröße von *Rauch*aerosolen verändert sich mit der Zeit; *Rauch*partikel koagulieren, während sie altern. Es gibt auch Eigenschaften, die sich mit der Temperatur ändern, so dass die Eigenschaften von altem oder kaltem *Rauch* sich von denen des jungen, heißen *Rauchs* unterscheiden können. Diese Faktoren sind für Brandschutzingenieure bei der Betrachtung möglicher *Rauchbewegung* in großen Gebäuden von Bedeutung. Sie sind auch bei der Planung von *Rauchprüfungen* zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Eine Anleitung zur Materialvorauswahl kann IEC 60695-1-12 entnommen werden[1].

#### 4.2.5 Mechanismen zur Beseitigung von *Rauch*partikeln

Es gibt eine Reihe von Mechanismen zur Beseitigung großer *Rauch*partikel. Bei kumulativen Prüfverfahren, in denen eine Strahlungswärmequelle in die Verbrennungsgase eingetaucht wird, kann mit der Umwälzung der *Rauch*partikel durch erneute Wärmeeinwirkung eine Nachverbrennung auftreten. Weitere Mechanismen zur Beseitigung größerer *Rauch*partikel sind die Ablagerung der Partikel an den Innenwänden der Kammer und der Einsatz von Ventilatoren. Auch bei realen Bränden treten diese Erscheinungen auf, wenn z. B. *Rauch* innerhalb eines Brandabschnitts zirkuliert. Da diese Auswirkungen bei kumulativen *Rauchprüfungen* auftreten können, sind bekanntlich die frühen Einwirkungsphasen (z. B. die ersten zehn Minuten) für die Bestimmung der Geschwindigkeit, mit der der *Rauch* freigesetzt wird, am wichtigsten.

## 5 Grundlagen der *Rauch*messung

*Rauch* ist ein Aerosol verschiedener Partikel. Er kann anhand seiner gravimetrischen Eigenschaften (Masse der *Rauch*partikel), seiner lichtverdunkelnden Eigenschaften oder einer Mischung aus beiden gemessen werden [2]. Diese Norm befasst sich nicht mit der Minderung der *Sichtweite* durch *Rauch* und behandelt daher nicht die gravimetrischen Verfahren. Die Sichtminderung ist abhängig von der Anzahl, der Größe und der Art der Partikel auf dem Lichtweg. Wenn die Partikel als undurchsichtig zu bewerten sind, steht die Fähigkeit des *Rauchs*, das Licht zu verdunkeln, in Beziehung zur Summe der Querschnittsflächen der Partikel auf dem Lichtweg. Sie wird in Flächeneinheiten, z. B. Quadratmetern ( $\text{m}^2$ ) gemessen.

Die Messungen können bei Klein- und Großbrandprüfungen sowie bei Brandprüfungen im natürlichen Maßstab durchgeführt werden. Sie können in geschlossenen Systemen erfolgen und werden dann als kumulative oder statische Prüfverfahren bezeichnet. Sie können aber auch in Durchflusssystemen vorgenommen werden und werden dann als dynamische Prüfverfahren bezeichnet.

## 5.1 Bouguer-Lambert'sches Gesetz

Messungen der *Rauchdichte* werden vom Bouguer-Lambert'schen Gesetz abgeleitet, das im engeren Sinne die Absorption einer monochromatischen Lichtstrahlung beschreibt:

$$I/T = e^{kL} \quad (1)$$

$$k = (1/L) \ln(I/T) \quad (2)$$

(Die Einheiten von  $k$  sind reziproke Längen, z. B.  $\text{m}^{-1}$ )

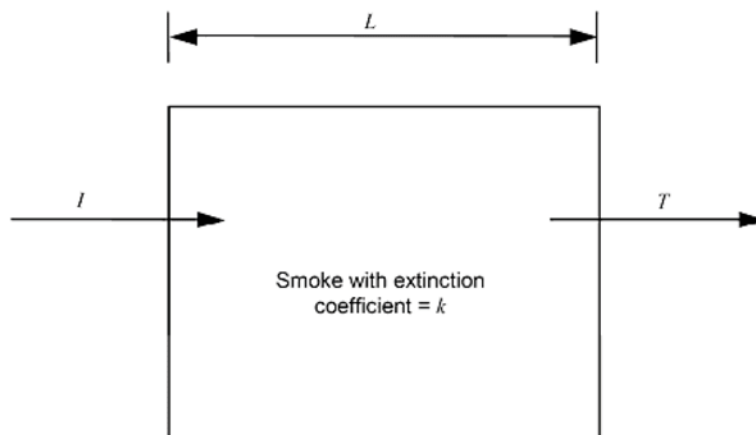
Dabei ist

$T$  die Stärke des durchgelassenen Lichts;

$I$  die Stärke des auftreffenden Lichts;

$L$  die optische Weglänge des Lichts durch den *Rauch*;

$k$  der lineare natürliche Absorptionskoeffizient (*Extinktionskoeffizient*), – siehe Bild 2.



| Englisch                                | Deutsch                                       |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Smoke with extinction coefficient = $k$ | <i>Rauch</i> mit Extinktionskoeffizient = $k$ |

**Bild 2 – Reduktion des rauchdurchdringenden Lichts**

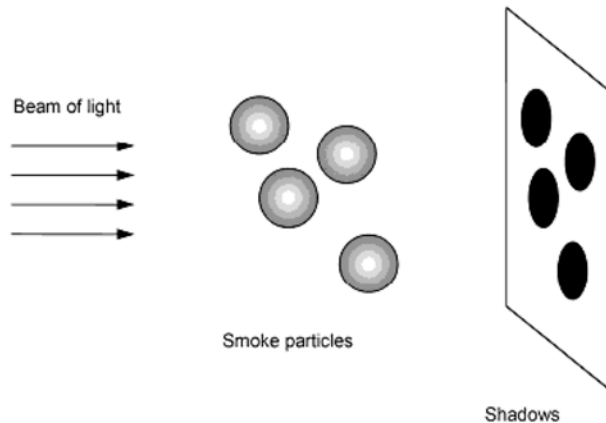
## 5.2 Extinktionsfläche

Eine nützliche Art der Messung der *Rauchmenge* erfolgt anhand der gesamten effektiven Querschnittsfläche aller *Rauchpartikel*. Diese Fläche wird als *Extinktionsfläche des Rauchs*,  $S$  bezeichnet. Diese kann man sich als die Gesamtfläche der Schatten vorstellen, die die *Rauchpartikel* in einem Lichtstrahl werfen (siehe Bild 3).

Wenn der *Rauch* homogen, d. h. nicht geschichtet ist, ist die *Extinktionsfläche des Rauchs* sowohl mit dem *Extinktionskoeffizienten* des *Rauchs* als auch mit dem *Rauchvolumen* durch die folgende Gleichung verknüpft:

$$S = kV \quad (3)$$

Dabei ist  $V$  das Volumen der Kammer, in der sich der *Rauch* befindet.



| Englisch        | Deutsch         |
|-----------------|-----------------|
| Beam of light   | Lichtstrahl     |
| Smoke particles | Rauchpartikel   |
| Shadows         | Schattenbildung |

**Bild 3 – Extinktionsfläche**

### 5.3 Dekadische Logarithmen

In einigen Untersuchungen werden dekadische Logarithmen zur Berechnung der optischen Dichte je Längeneinheit des Lichtwegs ( $D$ ) genutzt, dessen genaue Bezeichnung „linearer dekadischer Absorptionskoeffizient“ lautet und dessen Einheiten wie die von  $k$  (linearer natürlicher Absorptionskoeffizient) reziproke Längen sind (z. B.  $\text{m}^{-1}$ ).

$$I / T = 10^{DL} \quad (4)$$

$$D = (1/L) \log_{10}(I/T) \quad (5)$$

$$k = D \ln(10) \text{ oder } k = 2,303 D \quad (6)$$

Die *Extinktionsfläche des Rauchs* ( $S$ ) kann auch aus  $D$  mit folgender Gleichung ermittelt werden:

$$S = 2,303 DV \quad (7)$$

In der Literatur können mehrere Varianten von Einheiten zur Basis 10 gefunden werden. Eine häufig angewandte Größe ist die dimensionslose *optische Rauchdichte*,  $D' = \log_{10}(I/T)$ . Für eine gegebene Menge *Rauch* ist  $D'$  proportional zur Länge des Lichtwegs und damit geräteabhängig, sodass Ergebnisse verschiedener Prüfeinrichtungen nicht unmittelbar miteinander verglichen werden können.

### 5.4 Lichtquellen

Zur Messung des *Rauchs* werden sowohl weiße Lichtquellen als auch monochromatische Laserlichtquellen angewandt.

Da die Dämpfung des Lichts durch den *Rauch* von der Absorption und der Streuung des Lichts abhängig ist und letztere von der Wellenlänge abhängt, sollte beim Vergleich von Daten aus Messsystemen, die verschiedene Lichtquellen verwenden, Vorsicht geboten werden.

## 5.5 Spezifische Extinktionsfläche des Rauchs

Bei Prüfungen, in denen der Masseverlust des Probekörpers gemessen wird, kann die *spezifische Extinktionsfläche des Rauchs*,  $\sigma_f$ , wie folgt berechnet werden:

$$\sigma_f = S / \Delta m \quad (8)$$

Dabei ist  $\Delta m$  der Masseverlust des Probekörpers.

Die Einheit von  $\sigma_f$  ist Fläche/Masse, z. B.  $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Die *spezifische Extinktionsfläche des Rauchs*,  $\sigma_f$ , ist eine Basisgröße zur Messung des *Rauchs*, die bei allen Brandprüfungen angewendet werden kann. Sie ist abhängig von:

- der Weglänge, über die die Messung vorgenommen wird,
- der Durchflussgeschwindigkeit des Gases,
- der Einwirkungsfläche des Produkts und
- der Masse des Probekörpers.

Die *spezifische Extinktionsfläche des Rauchs*,  $\sigma_f$ , wird zur Bestimmung des *Rauchproduktionsvermögens* je Einheit Masseverlust des Probekörpers angewendet.

Angenommen, ein 80 g schwerer Probekörper wird in einer Zersetzung ohne Flammenbildung geprüft. Er verliert 50 g Masse und behält eine Restmasse von 30 g. Der durch die 50 g flüchtigen Pyrolyseprodukte erzeugte *Rauch* hat eine *Extinktionsfläche* von  $4 \text{ m}^2$ . Der Wert  $\sigma_f$  beträgt folglich  $0,08 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ . Wenn derselbe Probekörper in einer Verbrennung mit Flamme geprüft wird, verliert er 60 g Masse und behält eine Restmasse von 20 g. Der aus der Verbrennung von 60 g flüchtigen Zersetzungsprodukten erzeugte *Rauch* hat eine *Extinktionsfläche* von  $30 \text{ m}^2$ . Der Wert  $\sigma_f$  beträgt in diesem Fall  $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ .

Als wichtig ist festzuhalten, dass  $\sigma_f$  keine Angaben über die bei einem Brand erzeugte *Rauchmenge* oder die *Rauchentwicklungsrate* bei einem Brand enthält. Zu diesem Zweck müssen der Masseverlust des Probekörpers ( $\Delta m$ ) oder die Masseverlustgeschwindigkeit ( $\dot{m}$ ) ebenfalls bekannt sein. Dann ist die *Extinktionsfläche* des erzeugten *Rauchs* gegeben durch:

$$S = \sigma_f \Delta m \quad (9)$$

In dynamischen Systemen (siehe 6.2) lässt sich die *spezifische Extinktionsfläche* ermitteln durch:

$$\sigma_f = k \dot{V} / \dot{m} \quad (10)$$

Dabei sind

$\dot{V}$  die Volumenstromrate,

$\dot{m}$  die Masseverlustgeschwindigkeit

und die *Rauchentwicklungsrate*,  $\dot{S}$ , vorgegeben durch:

$$\dot{S} = \sigma_f \dot{m} \quad (11)$$

## 5.6 Optische Massendichte des Rauchs

In dekadischen Logarithmen ausgedrückt heißt die der Größe  $\sigma_f$  entsprechende Variable *optische Massendichte des Rauchs* ( $D_{mass}$ ) und ist mit  $\sigma_f$  wie folgt verknüpft:

$$D_{mass} = \sigma_f / \ln(10) = \sigma_f / 2,303 \quad (12)$$

Die Einheit von  $D_{mass}$  ist Fläche/Masse, z. B.  $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$ .

In statischen Systemen (siehe 6.1) gilt:

$$D_{mass} = D' \cdot V / (\Delta m \cdot L) \quad (13)$$

Dabei ist

- $D_{mass}$  die optische Massendichte des Rauchs,
- $D'$  die optische Rauchdichte,
- $V$  das Volumen der Kammer,
- $\Delta m$  der Masseverlust des Probekörpers,
- $L$  die Länge des Lichtwegs.

In dynamischen Systemen kann die optische Massendichte ermittelt werden durch:

$$D_{mass} = D \dot{V} / \dot{m} \quad (14)$$

## 5.7 Sichtweite

Wenn die Proportionalitätskonstante ( $\gamma$ ) zwischen *Sichtweite* ( $\omega$ ) und  $k$  (oder  $D$ ) bekannt ist, kann die *Sichtweite* bei bekannter Rauchmenge (*Extinktionsfläche*) und bekanntem Rauchvolumen leicht ermittelt werden.

$$\omega = \gamma (V/S) \quad (15)$$

$$\text{und } \gamma = \omega k = 2,303 \omega D \quad (16)$$

Die Berechnung der *Sichtweite* ist im [Anhang A](#) ausführlicher beschrieben, und Beispiele für die Beziehungen zwischen den in verschiedenen Prüfungen mit unterschiedlichen Messeinheiten gemessenen Rauchparametern sind in den Anhängen B und C enthalten.

## 6 Statische und dynamische Prüfverfahren

### 6.1 Statische Prüfverfahren

#### 6.1.1 Kurzbeschreibung

Bei statischen Rauchprüfungen brennt der Probekörper in einer geschlossenen Kammer, und der Rauch nimmt mit der Zeit zu. Bei einigen Prüfungen bewegt ein Ventilator den Rauch, um zu verhindern, dass er sich absetzt, und um homogene Verhältnisse zu schaffen. Die Rauchmenge wird durch Beobachtung der Dämpfung des Lichtstrahls gemessen, der durch den Rauch scheint.