

ICS 13.220.20

Grundlagen zur Projektierung von Detektionssystemen zur Brandfrüherkennung

Design principles for early fire detection systems

Principes de conception des systèmes de détection précoce des incendies

Gesamtumfang 31 Seiten

Koordinierung DIN SPEC

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Brandkenngrößen in der Brandfrühphase	7
4.1 Die Brandfrühphase	7
4.2 Typisch vorkommende Brandgase	8
4.3 Rauch in der Brandfrühphase.....	9
5 Referenzszenarien	10
5.1 Aufbau.....	10
5.1.1 Allgemeines	10
5.1.2 Multi-Gasmessung	10
5.1.3 Brandlast	11
5.2 Versuchsergebnisse.....	11
6 Projektierung.....	11
6.1 Allgemeines	11
6.2 Grundlagen der Projektierung	13
6.2.1 Brandgase in der Brandfrühphase.....	13
6.2.2 Rauch in der Brandfrühphase.....	14
6.2.3 Konzentrationsbereiche	17
6.2.4 Ausbreitungsverhalten.....	17
6.3 Empfehlungen zur Projektierung.....	20
Anhang A (informativ) Ausbreitungsprofile.....	22
A.1 Allgemeines	22
A.2 Ausbreitungsprofile von Brandkenngrößen bei Holzbrandlast	22
A.2.1 Ausbreitung von CO/Brandgasen	22
A.2.2 Ausbreitung von Rauch	25
A.3 Ausbreitungsprofile von Brandkenngrößen bei Mischbrandlast mit Kunststoffen.....	28
A.3.1 Ausbreitung von CO/Brandgasen	28
A.3.2 Ausbreitung von Rauch	28
Literaturhinweise.....	30

Vorwort

Diese DIN SPEC wurde nach dem PAS-Verfahren erarbeitet. Die Erarbeitung von DIN SPEC nach dem PAS-Verfahren erfolgt in DIN SPEC-Konsortien und nicht zwingend unter Einbeziehung aller interessierten Kreise.

Die Erarbeitung und Verabschiedung des Dokuments erfolgten durch die nachfolgend genannten Initiator(en) und Verfasser:

- Minimax Viking Research & Development GmbH
Dr. Jens Eichmann
- Hekatron Vertriebs GmbH
Dr. Sebastian Festag
Dr. Marion Meinert
- Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Prof. Dr. Ulrich Krause
Dr. Sarah-Katharina Hahn
- Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)
Dr. Anja Hofmann-Böllinghaus
- Siemens AG
Dr. Roland Pohle
- Verein zur Förderung des deutschen Brandschutzes (vfdb) e.V.
Dr. Dirk Oberhagemann

Für dieses Thema bestehen derzeit keine Normen im Deutschen Normenwerk.

DIN SPEC sind nicht Teil des Deutschen Normenwerks.

Für diese DIN SPEC wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Trotz großer Anstrengungen zur Sicherstellung der Korrektheit, Verlässlichkeit und Präzision technischer und nicht-technischer Beschreibungen kann das DIN SPEC-Konsortium weder eine explizite noch eine implizite Gewährleistung für die Korrektheit des Dokuments übernehmen. Die Anwendung dieses Dokuments geschieht in dem Bewusstsein, dass das DIN SPEC-Konsortium für Schäden oder Verluste jeglicher Art nicht haftbar gemacht werden kann. Die Anwendung der vorliegenden DIN SPEC entbindet den Nutzer nicht von der Verantwortung für eigenes Handeln und geschieht damit auf eigene Gefahr.

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

Die kostenfreie Bereitstellung dieses Dokuments als PDF-Version über den Beuth WebShop wurde im Vorfeld finanziert.

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

Einleitung

Brände sind gefährlich und können sich rasch ausbreiten, weshalb eine frühzeitige und zuverlässige Branderkennung erforderlich ist. Nach dem Stand der Technik werden Brände hauptsächlich durch die folgenden Brandkenngrößen erfasst: Temperatur, Rauch und Strahlung.

Neben diesen konventionellen Brandkenngrößen entstehen bereits in einer frühen Brandphase material-spezifische Brandgase, deren Konzentration und Ausbreitung zur Detektion im frühen Stadium des Entstehungsbrandes genutzt werden können.

In der vorliegenden Spezifikation werden die Brandkenngrößen Brandgas und Rauch hinsichtlich ihrer Konzentration und Ausbreitung im Raum beschrieben. Die Brandkenngröße Temperatur wird in diesem Dokument nicht betrachtet, da bei der Messung der Temperatur keine signifikante Erhöhung in der frühen Brandphase festgestellt werden konnte. Den Werten liegen Untersuchungen aus mehreren Forschungsprojekten zugrunde, siehe [1] [2] [3] [4] [5]. Damit werden in diesem Dokument wissenschaftliche Erkenntnisse in ein standardisiertes Format übertragen.

Insbesondere das BMBF-geförderte Forschungsprojekt „Techniken zur Branderkennung, Bekämpfung und Selbstrettung in der frühesten Brandphase“ (Akronym: TEBRAS¹) [4] [5] [6] beschreibt auf der Basis von 5 Messreihen im Klein- und Realmaßstab mit nahezu 100 Versuchen die wesentlichen Brandgase hinsichtlich ihrer Entstehung und Ausbreitung im Wohn- und Büroumfeld. Diese Ausbreitungsprofile dienen der Projektierung von unterschiedlichen Brandmeldern, die Brandkenngrößen einer frühen Brandphase erfassen können.

Die Projektierungshinweise erfolgen in Anlehnung an bestehende Normen und ergänzen diese hinsichtlich des Auftretens von Brandgasen.

¹ Förderkennzeichen: 13N14210

1 Anwendungsbereich

Diese DIN SPEC gibt Hinweise zur Brandfrüherkennung anhand der Brandkenngrößen Brandgas und Rauch. Diese Hinweise können zu einem späteren Zeitpunkt zur Planung und darauffolgenden Projektierung von Detektionssystemen, z. B. Brandmeldern, für den Einsatz innerhalb von Gebäuden mit begrenzter räumlicher Ausdehnung dienen.

Diese DIN SPEC zeigt, welche dieser Brandkenngrößen räumlich und zeitlich während der frühen Brandphase zu erwarten sind. Ergänzend stellt sie die Konzentrationsverteilung im Raum, bis zu einer Raumhöhe von 15 m, am Beispiel des Brandgases Kohlenstoffmonoxid dar.

Verschiedene Temperaturprofile sind nicht Gegenstand dieser DIN SPEC.

Diese DIN SPEC kann zur Brandschutzkonzeption hinzugezogen werden.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

- DIN-TERMinologieportal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term>
- DKE-IEV: verfügbar unter <http://www.dke.de/DKE-IEV>

3.1

Brandkenngröße

physikalische und/oder chemische Kenngröße, z. B. Rauch, Brandgase, Temperaturerhöhung, Flammenstrahlung, die in der Umgebung eines Brandes auftritt und deren messbare Veränderungen ausgewertet werden können

[QUELLE: DIN VDE 0833-2:2017-10, 3.1.7]

3.2

Sensorpunkt

punktförmiges Element eines Melders, das auf eine Brandkenngröße (z. B. Wärme, Rauch, Brandgas) reagiert

[QUELLE: DIN VDE 0833-2:2017-10, 3.1.25]

3.3

komplexe Bewertung von Brandkenngrößenmustern

Bewertung von Sensorsignalverläufen von Brandkenngrößen und deren Korrelationen

[QUELLE: DIN VDE 0833-2:2017-10, 3.1.26]

3.4

Verbrennung

exotherme Reaktion eines Stoffs mit einem Oxidationsmittel

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

[QUELLE: DIN EN ISO 13943:2018-01, 3.55]

3.5

Verbrennungsprodukt

festes, flüssiges oder gasförmiges Material, das bei der Verbrennung entsteht

[QUELLE: DIN EN ISO 13943:2018-01, 3.57, modifiziert – Anmerkung 1 zum Begriff und Vorzugsbenennung „Produkt der Verbrennung“ gestrichen]

3.6

thermische Zersetzung

Vorgang, bei dem die Einwirkung von Wärme oder erhöhten Temperaturen auf ein Material zu einer Veränderung der chemischen Zusammensetzung führt

[QUELLE: DIN EN ISO 13943:2018-01, 3.386, modifiziert – Anmerkungen zum Begriff gestrichen]

3.7

Brandgase

gasförmige Bestandteile der Verbrennungsprodukte und/oder der Produkte der thermischen Zersetzung

[QUELLE: DIN EN ISO 13943:2018-01, 3.128, modifiziert – „und/oder der thermischen Zersetzung“ hinzugefügt und Anmerkung 1 zum Begriff und Anmerkung 2 zum Begriff gestrichen]

3.8

Brandgasmelder

Brandmelder, der auf gasförmige Verbrennungsprodukte und/oder auf Produkte der thermischen Zersetzung anspricht

[QUELLE: DIN EN 54-1:2011-06, 3.1.5, modifiziert – „Produkte“ durch „Verbrennungsprodukte“ ersetzt, „auf Produkte“ hinzugefügt und Beispiel gestrichen]

3.9

Rauch

sichtbarer Teil der flüchtigen Verbrennungsprodukte und/oder der Produkte der thermischen Zersetzung

[QUELLE: DIN EN ISO 13943:2018-01, 3.347, modifiziert – „und/oder der Produkte der thermischen Zersetzung“ hinzugefügt]

3.10

Aerosol

Suspension von Tropfen und/oder festen Partikeln in einer Gasphase, die von Bränden erzeugt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Größe der Tropfen oder Teilchen reicht für gewöhnlich von 10 nm bis zu 10 µm.

[QUELLE: DIN EN ISO 13943:2018-1, 3.9, modifiziert – Anmerkung 2 zum Begriff gestrichen]

3.11

Ausbreitung

sämtliche physikalische Transportprozesse oder Transporterscheinungen (wie Diffusion und Konvektion), welche nicht auf ein Medium begrenzt sind und damit gasförmige, flüssige oder feste Stoffe (Rauch oder Rauchagglomerationen) einschließen können

3.12

Brandfrühphase

Phase eines Brandes, bei der es bereits zu einer thermischen Zersetzung und zur Freisetzung von Brandgasen und/oder Rauch, ohne das Auftreten von Flammen, kommt

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies umfasst auch Schwel- und Glimmbrände.

4 Brandkenngößen in der Brandfrühphase

4.1 Die Brandfrühphase

Einem offenen Brand kann ein Schwel- oder Glimmbrand vorausgehen. Hierbei handelt es sich um eine langsame thermo-chemische Reaktion von organischen Stoffen. Ein Schwelbrand ist ein sich langsam entwickelnder Brand bei geringer Sauerstoffzufuhr und/oder niedriger Verbrennungstemperatur. Durch unterschiedliche Faktoren kann dieser in einen Flammenbrand übergehen. Im Folgenden werden typische Brandgase, die im frühen Stadium eines Schwelbrandes oder Glimmbrandes entstehen können, benannt. Weiterhin wird ihr Ausbreitungsverhalten im Vergleich zu Brandrauch aufgezeigt.

Dabei geht die Brandfrühphase den üblicherweise betrachteten Brandphasen vorher.

Bild 1 zeigt die Entstehung der Brandkenngößen über der Zeit. Während konventionelle Branddetektionstechniken über Bauproduktenrecht nach Normen der Normenreihe DIN EN 54 auf Testfeuer (TF) mit Detektionszeiten von 4 min bis 14 min abzielen, wirkt der bauliche Brandschutz über den Feuerwiderstand im Bereich zwischen 30 min und 180 min.

Dass die Entstehung von Brandkenngößen sehr viel langsamer ablaufen kann, zeigten Untersuchungen der Londoner Feuerwehr [7]. In 584 von 1991 untersuchten Bränden konnte die Entwicklungsdauer nachvollzogen werden und ein Zeithorizont von bis zu 430 min für die Brandfrühphase zwischen der Entstehung und der Entdeckung identifiziert werden. Die Dauer der Entstehung von Brandkenngößen in der sich langsam entwickelnden Brandfrühphase ist von vielen Faktoren abhängig. Im anschließenden Abschnitt 5 werden sie durch Referenzszenarien dargestellt, die im Raummaßstab analysiert worden sind. Die Testfeuer zur Bestimmung von Detektionszeiten und Eigenschaften der Brandmelder sowie die Feuerwiderstandsprüfungen zur Bestimmung von Feuerwiderstandsdauern von Bauteilen sind bewährte Modelle mit reproduzierbaren Randbedingungen, die standardisierte Raumbrände repräsentieren.

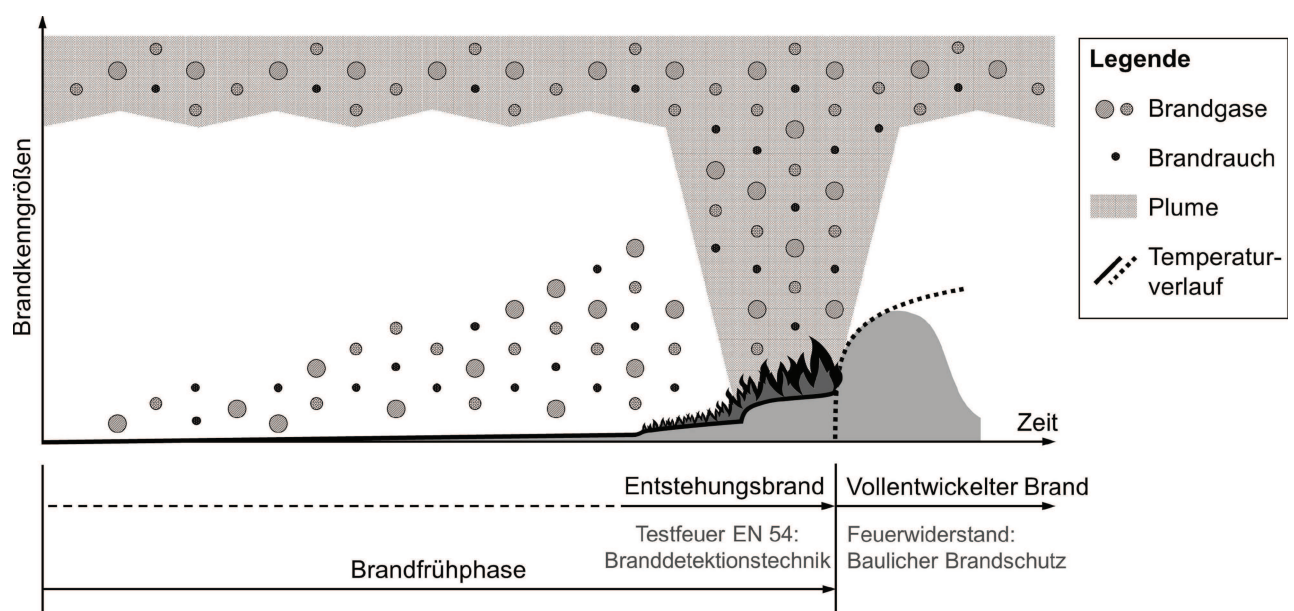


Bild 1 — Die zeitliche Entwicklung der Brandkenngößen

4.2 Typisch vorkommende Brandgase

Welche Gase bei der thermischen Zersetzung und den Verbrennungsreaktionen entstehen, hängt maßgeblich von der chemischen Zusammensetzung der Materialien und den vorhandenen Ventilationsbedingungen, d. h. der Sauerstoffzufuhr, ab. Neben dem Material sind weitere Abbrandbedingungen wie die Temperatur oder die Aufbereitung des Materials für die quantitative und qualitative Gaszusammensetzung maßgeblich. Die bei der thermischen Zersetzung gebildeten Gase reagieren bei der Verbrennungsreaktion mit dem lokal vorhandenen Sauerstoff, wobei die Reaktionsprodukte sowohl in der qualitativen Zusammensetzung wie auch quantitativ vom Sauerstoffangebot und der vorherrschenden Temperatur abhängen.

Organische Materialien, wie Holz oder Baumwolle, aber auch Kunststoffe, wie Polyethylen (PE), Polyvinylchlorid (PVC) oder Polyurethan (PU), bestehen maßgeblich aus Kohlenwasserstoffverbindungen. Bei deren Verbrennung grundsätzlich entstehende Komponenten sind Wasser (H_2O), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Kohlenstoffmonoxid (CO) und als feste Komponente Kohlenstoff. Die Kunststoffe PE oder Polypropylen (PP) beispielsweise bestehen nur aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen. Bei der thermischen Zersetzung werden dementsprechend die genannten Komponenten, daneben aber auch kurzkettige Kohlenwasserstoffe gebildet [8]. Die chemische Struktur von PVC enthält zusätzlich Chloratome. Bei einem Brand oder bereits bei thermischer Zersetzung wird hier auch ätzendes Chlorwasserstoffgas (HCl) freigesetzt [9]. Im Fall von stickstoffhaltigen Kohlenwasserstoffen, wie z. B. PU oder Polyamid (PA), können im Brandfall die Brandgase Stickstoffoxide, wie z. B. Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2), Cyanwasserstoff (HCN) und Ammoniak (NH_3) enthalten [10].

Unter sauerstoffreichen Bedingungen werden hauptsächlich oxidierte Produkte gebildet, die vollständig mit Sauerstoff reagiert haben, wie CO_2 , NO_2 oder H_2O . Unter sauerstoffarmen Bedingungen entstehen vorwiegend Produkte der unvollständigen Verbrennung, d. h. die Reaktion mit Sauerstoff ist nicht vollständig erfolgt, weil nicht ausreichend Sauerstoff vorhanden war, so z. B. CO , NO , HCN oder kurzkettige Kohlenwasserstoffe wie Ethin (Acetylen, C_2H_2), Ethen (C_2H_4), die aus der thermischen Zersetzung stammen und noch nicht mit Sauerstoff reagiert haben. Des Weiteren können zahlreiche organische Substanzklassen entstehen oder entweichen, wie organische Säuren, Aldehyde und Alkohole. Diese entstehen sowohl durch die thermische Zersetzung des Materials, als auch durch Reaktion mit Sauerstoff. Die quantitative und die qualitative Zusammensetzung der Brandgase ist also sehr variabel und stark abhängig von den spezifischen vorliegenden Randbedingungen des Brandszenarios.

Die folgenden Brandgase eignen sich für die Detektion von Bränden:

- **Kohlenstoffmonoxid (CO)** entsteht bei der Verbrennung und/oder der thermischen Zersetzung organischer Materialien bei Sauerstoffmangel;
- **Chlorwasserstoff (HCl)** entsteht bei der Verbrennung und/oder der thermischen Zersetzung von Materialien, die das chemische Element Chlor enthalten, z. B. PVC;
- **Stickoxide (NO_x)** entstehen bei der Verbrennung und/oder der thermischen Zersetzung stickstoffhaltiger Materialien;
- **Schwefeldioxid (SO_2)** entsteht bei der Verbrennung und/oder der thermischen Zersetzung schwefelhaltiger Materialien;
- **Carbonsäurederivate (funktionelle Gruppe $-\text{COOH}$)** können bei der Verbrennung und/oder der thermischen Zersetzung von Kohlenwasserstoffen entstehen;
- **Aldehyde (funktionelle Gruppe $-\text{CH}=\text{O}$)** können bei der Verbrennung und/oder der thermischen Zersetzung von Kohlenwasserstoffen entstehen;
- **Ketone (funktionelle Gruppe $-\text{C}=\text{O}-$)** können bei der Verbrennung und/oder der thermischen Zersetzung von Kohlenwasserstoffen entstehen;

- **Alkohole (funktionelle Gruppe -C-OH)** können bei der Verbrennung und/oder der thermischen Zersetzung von Kohlenwasserstoffen entstehen;
- **aromatische Kohlenwasserstoffe** (z. B. Benzol, Toluol) können bei der Verbrennung und/oder der thermischen Zersetzung von Kohlenwasserstoffen entstehen.

Typische Brandentstehungsszenarien wurden auf Basis von Brandschadenstatistiken verschiedener Industrieländer, darunter Deutschland, die USA und Großbritannien, identifiziert [11]. Oftmals ist Elektrizität an der Entstehung eines Brandes beteiligt: Elektrische Geräte, insbesondere Kochgeräte, sowie die Elektrizitätsverteilung stellen in einem Großteil der Brandfälle die Zündquelle dar. Dabei geraten durch abgestrahlte Wärme oder Funken das Gerät selbst oder nah platzierte brennbare Materialien in Brand. Des Weiteren spielt menschliches Fehlverhalten eine maßgebliche Rolle. Durch Achtlosigkeit können unbeaufsichtigte offene Flammen, Raucherutensilien oder angeschaltete Wärmequellen, z. B. der Herd, brennbare Materialien wie Textilien, Bettwaren oder Kissen, aber auch Matratzen und Polstermöbel entzünden.

Bezogen auf die beteiligten Stoffe sind an der Brandentstehung maßgeblich unterschiedlichste Kunststoffe involviert. Dies steht in Zusammenhang mit ihrer weiten Verwendung in Konsumgütern und moderner Wohnungseinrichtung sowie Gebäudeinstallationen. Die am häufigsten verwendeten Kunststoffe sind PP und PE, welche in Rohrleitungen, Bauteilen elektronischer Geräte, als Gehäuse von elektrischen Haushaltsgeräten, wie Wasserkocher und Kaffeemaschinen, sowie als Grundstoff für eine Vielzahl von Haushaltsprodukten, wie z. B. Gefäße und Flaschen, und in Lebensmittelverpackungen Verwendung finden [12]. PVC ist Bestandteil vieler Bauprodukte, darunter Boden- und Wandbeläge, Rohrleitungen, Fensterrahmen und -profile, sowie von Kabelisolierungen. Polstermöbel und Matratzen bestehen weitgehend aus PU-Schäumen — auch Kissenfüllungen enthalten dieses häufig. Des Weiteren findet sich PU in vielen isolierenden Schäumen, z. B. in Kühlschränken, sowie als Fassadendämmstoff. Bei Bettwaren und Textilien findet Polyester, meist Polyethylenterephthalat (PET), als Fasern (Polyethersulfon (PES)) breite Verwendung aber auch in PET-Flaschen für Getränke oder für Reinigungsmittel. Textilien bestehen, neben Baumwolle und anderen Naturstoffen, des Weiteren häufig auch aus anderen Kunststoffen wie Polyacrylnitril (PAN) und PA. Polystyrol (PS) wird insbesondere zur Gebäudeisolierung eingesetzt, findet sich aber auch in Elektro- und Elektronikgeräten [12], wie z. B. in Innenausrüstungen von Kühlschränken, Gehäusen für Kleingeräte, Datentechnik und Consumerelektronik [13]. Auch in Lebensmittelverpackungen oder Haushaltsgefäßen kommt es zum Einsatz. Generell finden sich insbesondere in elektrischen Geräten verschiedenste Kunststoffe. z. B. im Gehäuse oder den Kabelisolierungen. Neben den bereits genannten sind dies auch Polycarbonat (PC) und insbesondere auch sehr häufig Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), z. B. in den Gehäusen von Kleinlektrogeräten, Telefonen, Kaffeemaschinen, Flachbildschirmen, sonstigen Monitoren und Druckern. ABS findet sich des Weiteren auch bei Kunststoffspielzeug für Kinder.

Im Wohnungs- und auch Arbeitsumfeld finden sich also eine Vielzahl an unterschiedlichsten Kunststoffen. Das Material bzw. die chemische Zusammensetzung der Bestandteile eines Objekts beeinflussen die im Brandfall freigesetzten Gase insbesondere in der Entstehungsphase des Brandes. Die im Brandfall freigesetzten Gase sind somit, je nach Art des Brandentstehungsszenarios, variabel.

4.3 Rauch in der Brandfrühphase

Bei der thermischen Umsetzung entstehen, neben Brandgasen, auch bereits in einem frühen Brandstadium Rauchpartikel bzw. Rauchaerosole. Die Eigenschaften sowie die Anzahl der Partikel hängt dabei stark vom Brandmaterial und der Art der Wärmeübertragung auf das Material ab, wie beispielsweise einer kontaktierten Wärmeübertragung mit einer Heizplatte (Wärmeleitung), der Bestrahlung mit einem Infrarotheizer (Wärmestrahlung) oder der Erwärmung mittels aufgeheiztem Trägermedium (Konvektion).

Der entstehende Rauch kann durch folgende Eigenschaften charakterisiert werden:

- Größenverteilung der Partikel;
- Optische Konstanten (z. B. Brechungsindex);

- Partikelform und -größe; und
- Oberflächenstruktur.

Beispiele für unterschiedliche Brandmaterialien sowie -entstehungsszenarien finden sich in [14] und [15].

5 Referenzszenarien

5.1 Aufbau

5.1.1 Allgemeines

Die dieser DIN SPEC zugrundeliegenden experimentellen Ergebnisse wurden in Versuchsreihen

- des Brandforschungszentrums der Minimax Viking Research & Development GmbH in Bad Oldesloe (Versuchsaufbau mit $l \times b \times h = 10 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 15 \text{ m}$);
- des ELBA (Erprobungslabors für Brandmelder-Applikationen) der Hekatron Brandschutz in Sulzburg (Versuchsaufbau mit $l \times b \times h = 10 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 4 \text{ m}$); und
- im großen Brandraum des Siemens FireLab in Zug (Versuchsaufbau mit $l \times b \times h = 12 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 4 \text{ m}$)

durchgeführt. Die Grundlagen und Randbedingungen dieser Versuche können in mehreren Publikationen [4] [5] [6] [16] [17] [18] recherchiert werden.

5.1.2 Multi-Gasmessung

5.1.2.1 FTIR-Messung

Zum Einsatz kamen mobile Fourier-Transform-Infrarot (FTIR)-Spektrometer der Firma Ansyco².

Tabelle 1 — Systemparameter der verwendeten FTIR-Spektrometer

Modell-nr. ²	optische Weglänge	spektrale Auflösung	Temp. der Messzelle	Temp. der Probenahme-einheit	Temp. der Heizschläuche	Material der Schläuche	Länge Entnahme-Heizschlauch	Volumenstrom der Probenentnahme
DX4000	5 m	3,8 cm ⁻¹	180 °C	180 °C	180 °C	PTFE	10 m	3 l/min
DX4015	5 m	7,7 cm ⁻¹	50 °C	Nicht verfügbar	120 °C	PTFE	5 m	2 l/min
DX4000	9,8 m	7,7 cm ⁻¹	80 °C	80 °C	80 °C	PTFE	10 m	3 l/min
DX4000	5 m	7,7 cm ⁻¹	180 °C	180 °C	180 °C	PTFE	5 m	3 l/min
PTFE Polytetrafluorethylen								

² FTIR-Spektrometer der Firma Ansyco GmbH (mittlerweile Gasmet Technologies GmbH) sind Beispiele für geeignete handelsübliche Produkt. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieser DIN SPEC und bedeutet keine Anerkennung dieser genannten Produkte durch DIN.