

30.11.2017

---

# AUSWIRKUNGEN VON GEFAHRSTOFFBRÄNDEN IN GEBÄUDEN

Dr.-Ing. Bernd Schalau

---

- 
- Typen von Bränden im Freien
    - Lachenbrand
    - Tankbrand
    - Jet-Flamme
    - Feuerball
    - Gaswolkenbrand
  - Die Gefährdung ergibt sich bei diesen Brandformen aus der Wärmestrahlung in die Umgebung.
  - Durch den großen konvektiven Wärmestrom der Flamme steigt die Brandgaswolke auf und die Brandgaskonzentrationen in Bodennähe sind gering.

# Brände im Freien

---

Beispiel: Benzin Lachenbrand

Lachendurchmesser: 5 m

Abbrandrate: 0,083 kg/m<sup>2</sup>s

Verbrennungsenthalpie: 43700 kJ/kg

Brandleistung: ca. 71 MW

Der konvektive Wärmestrom entspricht etwa 70% der Brandleistung (siehe auch Kap. 7 des Statuspapiers)

konvektive Wärmestrom: ca. 50 MW

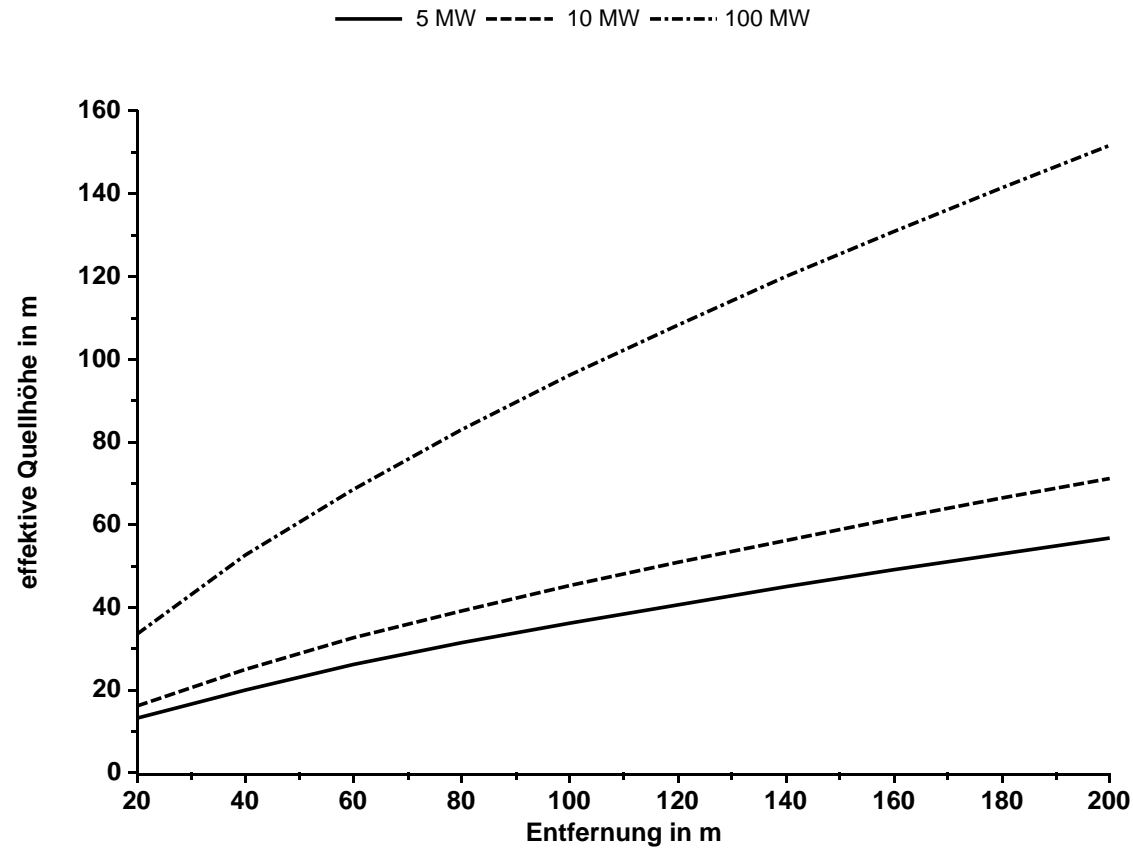


PROCESSNET  
EINE INITIATIVE VON DECHEMA UND VDI-GVC

[http://dechema.de/processnet\\_media/auswirkungsbetrachtungen.pdf](http://dechema.de/processnet_media/auswirkungsbetrachtungen.pdf)

# Brände im Freien

- Berechnung der effektiven Quellhöhe gemäß der VDI-RL 3783 Blatt 1



- 
- Der zeitliche Verlauf eines Brands in einem Gefahrstofflager ist abhängig z.B. von
    - den räumlichen Verhältnissen
    - den Stoffeigenschaften der gelagerten Stoffe,
    - der Art der Lagerung,
    - Brandmelde- und Brandschutzeinrichtungen,
    - Interventionszeit der Feuerwehr.
  - In Abhängigkeit vom Brandverlauf und dem Lüftungskonzept
    - automatische Öffnung der Rauch- und Wärmeabzüge (RWA)
    - manuelle Öffnung der RWA durch die Feuerwehrwerden die Brandgase (über Dach) freigesetzt.

- 
- Für die Berechnung der Brandgaskonzentration in der Umgebung mittels einer Ausbreitungsberechnung müssen folgende Größen bekannt sein:
    - Freisetzungsort(e)
    - Zeitliche Entwicklung des Massenstroms
    - Äquivalente Wärmemission
    - Brandgaszusammensetzung
  - Wärmestrahlung ist nicht relevant, solange die Gebäudestruktur intakt ist. Erst bei einem Vollbrand mit Versagen des Dachs und/oder Wände entsteht eine Gefährdung.

# Brände in Gebäuden

## Berechnung des Brandverlaufs

- In dem Berechnungsverfahren<sup>1</sup> wird davon ausgegangen, dass es zu einem fortentwickelten Brand<sup>2</sup> mit einer quadratischen Zunahme der Wärmefreisetzungsrate mit der Zeit kommt.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 = \text{Abbrandrate} * \text{Heizwert}$$

- Nur ein Teil der Verbrennungswärme trägt zur Gaserwärmung im Lager bei. Der Rest wird durch Strahlung und Konvektion an das Lagergut, die Einrichtung sowie die Wände, Decke und Boden übertragen.

$$\dot{Q}_{\text{eff}} = 0,6 \alpha t^2$$

<sup>1</sup> U. Seifert, B. Schalau, I.-G. Heuer: Brände in Lagern für Pflanzenschutzmittel – ein aktueller Ansatz. Technische Sicherheit Bd. 4 Nr. 1/2, S. 20-28, (2014)

<sup>2</sup> VDI-Richtlinie 6019 Teil 1: Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden – Brandverläufe, Überprüfung der Wirksamkeit. 05/2006

# Brände in Gebäuden

## Berechnung des Brandverlaufs

- Der Brandintensitätskoeffizient  $\alpha$  wird in der VDI-Richtlinie 6019 Teil 1 in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Brandentwicklung in vier Stufen zwischen 0,0029 kW/s<sup>2</sup> (langsam) und 0,188 kW/s<sup>2</sup> (sehr schnell) differenziert.

Lagerungsbedingungen	Brandintensitätskoeffizient
Feststoffe im Regal mit offenen Böden	0,00342 kW/s <sup>2</sup>
Flüssigkeitsverpackungen im Regal mit offenen Böden	0,0165 kW/s <sup>2</sup>
Lagerung in Regalen mit geschlossenen Böden	0,002 kW/s <sup>2</sup>
Blocklagerung ausschließlich Feststoffe Höhe: 1 Palette	0,0075 kW/s <sup>2</sup>
Blocklagerung ausschließlich Feststoffe Höhe: 2 Paletten	0,03 kW/s <sup>2</sup>
Blocklagerung ausschließlich Feststoffe Höhe: 3 Paletten	0,118 kW/s <sup>2</sup>
Blocklagerung Feststoffe und/oder Flüssigkeiten Höhe: 1 Palette	0,03 kW/s <sup>2</sup>
Blocklagerung Feststoffe und/oder Flüssigkeiten Höhe: 2 Paletten	0,118 kW/s <sup>2</sup>
Blocklagerung Feststoffe und/oder Flüssigkeiten Höhe: 3 Paletten	0,188 kW/s <sup>2</sup>



# Brände in Gebäuden

## Berechnung des Brandverlaufs

---

- Die mittlere Gastemperatur im Lagerraum kann über eine Energiebilanz berechnet werden. Mit dem Anstieg der Temperatur erfolgt auch ein Druckanstieg.
- Unter der Annahme, dass der Lagerraum nicht gasdicht ist, erfolgt eine diffuse Gasfreisetzung über Tür- und Fensterdichtungen oder Lüftungseinrichtungen.
- Zur Berechnung der Brandproduktbildung und –freisetzung wird – stellvertretend für die einzelnen Brandprodukte – die virtuelle Beladung des Gases im Raum mit umgesetztem Brandgut aus einer Massenbilanz ermittelt.
- Als Ergebnis stehen die zeitliche Entwicklung des diffusen Massenstroms, der Gastemperatur und die Masse umgesetzten Brandguts für die weiteren Berechnungen zur Verfügung.

# Brände in Gebäuden

## Löschanlagen

---

- Der Auslösezeitpunkt von Sprinklern kann in Abhängigkeit vom Brandintensitätskoeffizienten und vom Abstand der Brandfläche zum Sprinkler aus den in der VDI-RL 6019 Teil 1 angegebenen Tabellen entnommen werden.
- In der VDI-RL 6019 Teil 1 ist eine Beziehung zur Berechnung des Auslösezeitpunkts bei automatischen Löschanlagen mit Wärmemaximalmeldern angegeben.
- Der Auslösezeitpunkt von selbsttätigen Wasserlöschanlagen, die über Rauchmelder, Thermodifferentialmelder oder Flammenmelder aktiviert werden, ist abhängig von deren Auslöseverhalten und der zeitlichen Rauchgasverteilung. Der Auslösezeitpunkt ist abzuschätzen oder durch geeignete Ingenieurverfahren zu bestimmen.

# Brände in Gebäuden

## Löschanlagen

---

- Ist das Lager mit einer Sprinkleranlage ausgerüstet, so wird in der VDI-Richtlinie 6019 Blatt 1 davon ausgegangen, dass die Wärmefreisetzungsrate nach Auslösung der Anlage verringert wird. Im Sinne einer konservativen Abschätzung wird unterstellt, dass **die Wärmefreisetzungsrate** nach der Auslösung einer Sprinkleranlage oder einer sonstigen Wasserlöschanlage **zeitlich konstant bleibt**, bis Löschmaßnahmen der Feuerwehr wirksam werden.
- Unter Berücksichtigung der Kühlwirkung von Wasserlöschanlagen wird an dieser Stelle weiterhin angenommen, dass die **Gastemperatur im Brandraum** nach Auslösung der Sprinkleranlage oder sonstigen Wasserlöschanlage **konstant bleibt** (bestätigt durch Großbrandversuche).

# Brände in Gebäuden

## Löschanlagen

---

- CO<sub>2</sub>-Löschanlage
  - Bei der Bestimmung des Auslösezeitpunktes einer CO<sub>2</sub>-Löschanlage ist die festgelegte Vorwarnzeit mit zu berücksichtigen
  - Es wird davon ausgegangen, dass die Wärmefreisetzungsrates linear mit der Löschdauer auf null zurückgeht. Durch die Freisetzung des flüssigen Kohlendioxids kühlt sich das Gas im Lager sehr stark ab, gleichzeitig tritt eine Gasverdrängung ins Freie ein.
  - Die Druckentlastungsöffnungen befinden sich oft in den Seitenwänden. Der Freisetzungsort für die Gasausbreitungsberechnung ist dann in Bodennähe und der Massenstrom recht groß.

# Brände in Gebäuden

## Rauch- und Wärmeabzüge



- Je nach Brandschutzkonzept werden die Rauch- und Wärmeabzüge automatisch bei Auslösung der Wasserlöschanlage oder manuell durch die Feuerwehr geöffnet. Ab diesem Zeitpunkt wird Gas über die Rauchabzugsflächen freigesetzt, gleichzeitig strömt Luft über (bodennahe) Zuluftflächen in den Brandraum nach.
- Im Falle des natürlichen Rauchabzugs bildet die Druckdifferenz, die aus der Dichtedifferenz zwischen Umgebungsluft und den Brandgasen im Lagerraum resultiert, den Antrieb für Abströmung und Nachströmung.
- Der abgeführte Volumenstrom ist somit eine Funktion<sup>3</sup> der mittleren Gastemperatur im Lagerraum und den Durchflussbeiwerten der Zu- und Abluftflächen.

<sup>3</sup> VDI-Richtlinie 6019 Teil 2: Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden –

Ingenieurmethoden. 07/2009

# Brände in Gebäuden

## Brandbekämpfung durch die Feuerwehr



- Der Zeitpunkt bis zum Beginn der Brandbekämpfung durch die Feuerwehr ergibt sich aus der Zeitdauer von der Brandentstehung bis zur Meldung des Brandes zzgl. der Interventionszeit der Feuerwehr.
- Liegen keine anlagenspezifischen Daten vor, so können die Zeiten bis zur Brandmeldung und Interventionszeiten der Feuerwehr der VDI-Richtlinie 6019 Blatt 1 entnommen werden.
  - Automatische Brandmeldung durch Brandmeldeanlage nach DIN VDE 0833 mit automatischen Brandmeldern der Kenngröße Rauch:  $t=120$  s
  - Sonstige Brandmeldung (z.B. Telefon):  $t= 600$  s
  - Interventionszeit bei günstigen Verhältnissen (Vorhandensein einer Werkfeuerwehr):  $t_i= 400$  s
  - Interventionszeit bei normalen Verhältnissen (z.B. Berufsfeuerwehr vorhanden/Einsatzstelle übersichtlich):  $t_i= 780$  s

# Brände in Gebäuden

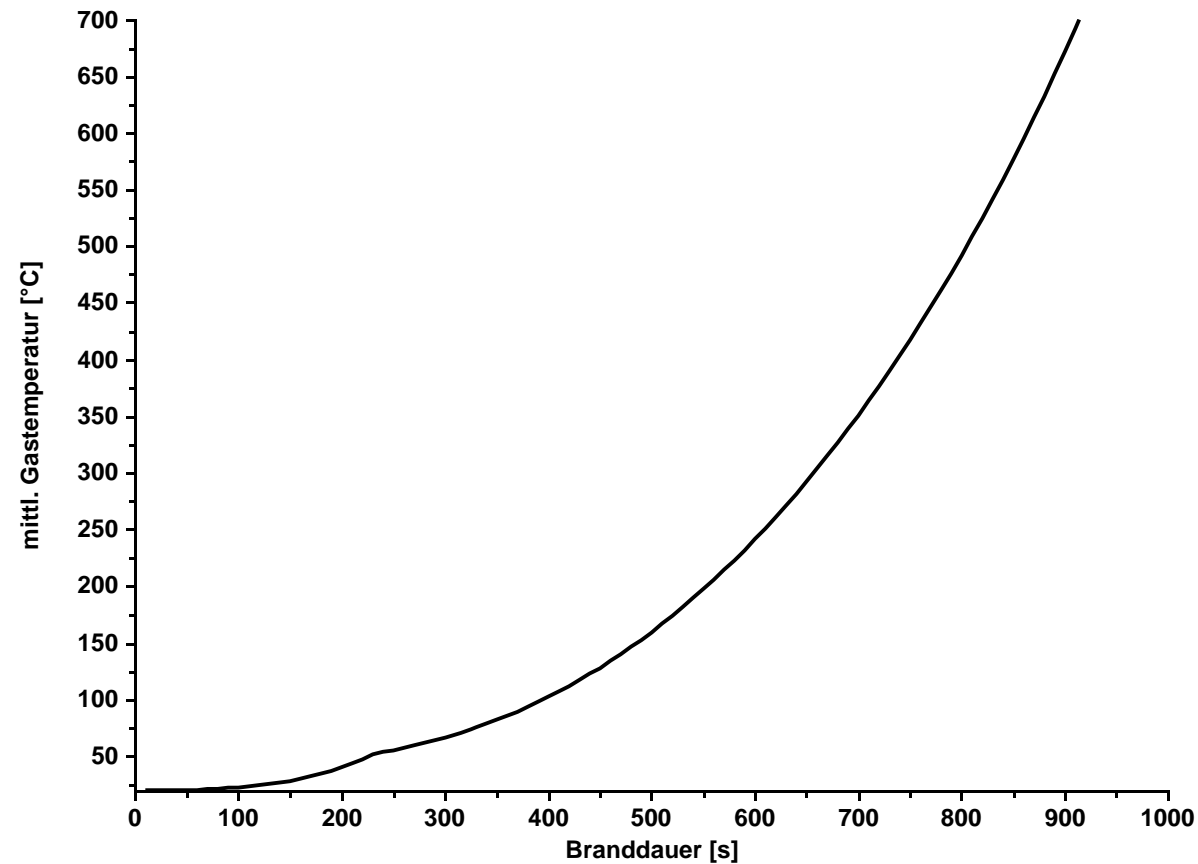
## Beispiele

- 
- Lagerraum mit den Abmessungen 32 m Länge, 7 m Breite und 9 m Höhe
  - Blocklagerung von Feststoffen mit einer Höhe von 2 Paletten
  - Heizwert: 20 MJ/kg
  - Keine Wasserlöschanlage
  - RWA mit Wärmemaximalmelder; Auslösetemperatur: 60 °C; 4,5 m<sup>2</sup>
  - Automatische Brandmeldung durch den Wärmemaximalmelder
  - Anfahrtszeit der Feuerwehr 15 Minuten; Rüstzeit 10 Minuten
  - Löschdauer: 30 Minuten

# Brände in Gebäuden

## Beispiele

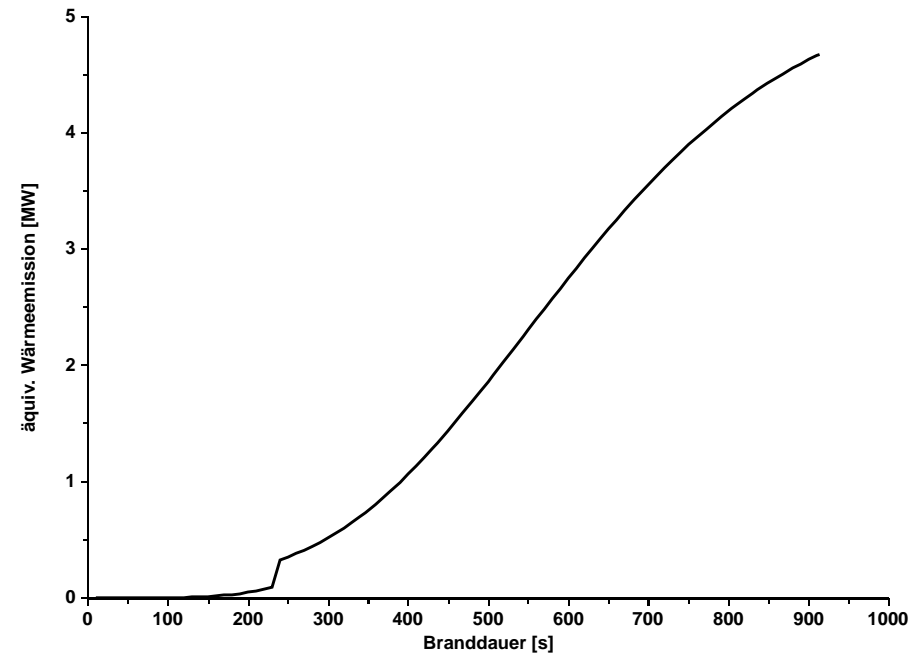
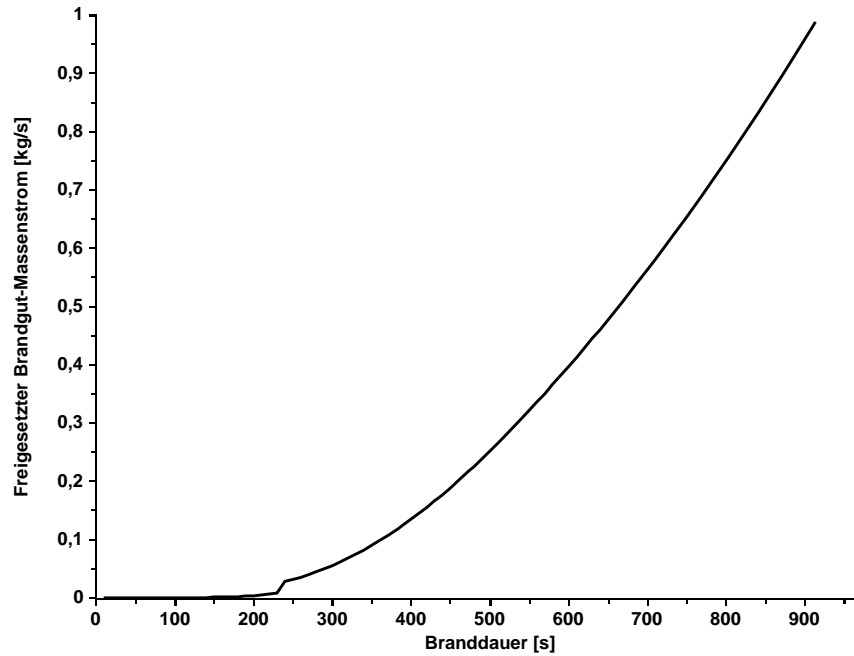
- Auslösezeitpunkt des Wärmemaximalmelders: 233 Sekunden
- Nach ca. 15 Minuten kann ein Vollbrand nicht ausgeschlossen werden





# Brände in Gebäuden

## Beispiele



# Brände in Gebäuden

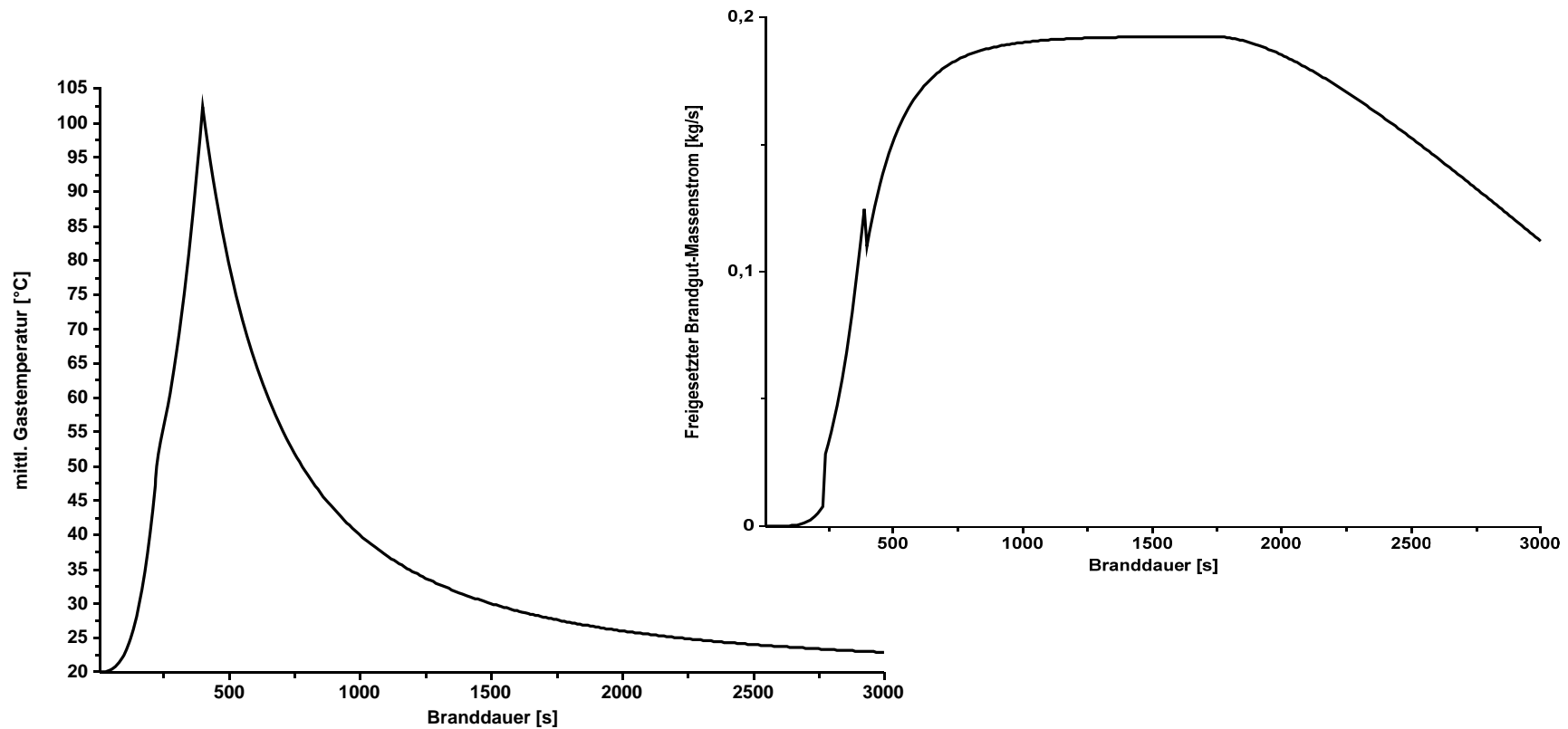
## Beispiele

- 
- Lagerraum mit den Abmessungen 32 m Länge, 7 m Breite und 9 m Höhe
  - Blocklagerung von Feststoffen mit einer Höhe von 2 Paletten
  - Heizwert: 20 MJ/kg
  - **Sprinkleranlage an der Decke**
  - RWA mit Wärmemaximalmelder; Auslösetemperatur: 60 °C; 4,5 m<sup>2</sup>
  - Automatische Brandmeldung durch den Wärmemaximalmelder
  - Anfahrtszeit der Feuerwehr 15 Minuten; Rüstzeit 10 Minuten
  - Löschdauer: 30 Minuten

# Brände in Gebäuden

## Beispiele

- Auslösezeitpunkt des Wärmemaximalmelders: 233 Sekunden
- Auslösezeitpunkt der Sprinkleranlage: ca. 400 Sekunden



---

## **Leitfaden KAS-43**

**Empfehlung zur Begriffsbestimmung  
„Vorhandensein gefährlicher Stoffe“ im § 2 der  
Störfall-Verordnung vom 9. Januar 2017**

# Brände in Gebäuden

## Brandgaszusammensetzung



- 
- Gemäß der neuen Begriffsbestimmung im § 2 Nr. 5 der Störfall-Verordnung „Vorhandensein gefährlicher Stoffe“ gelten nunmehr auch gefährliche Stoffe als vorhanden, „soweit vernünftigerweise vorhersehbar ist, dass sie bei außer Kontrolle geratenen Prozessen, auch bei Lagerung in einer Anlage innerhalb des Betriebsbereichs, anfallen“.
  - 
  - In einer Positivliste werden Anlagen aufgeführt, die im Hinblick auf bei außer Kontrolle geratenen Prozessen entstehenden gefährlichen Stoffe in jedem Fall besonders relevant sind.

# Brände in Gebäuden

## Brandgaszusammensetzung

- 
- Im Kapitel 4 werden Hinweise zur Abschätzung der im Brandfall entstehenden Mengen an gefährlichen Stoffen gegeben.
    - Der Stoff oder das Stoffgemisch im Lager ist bekannt oder es wird eine Referenzstoff festgelegt. In diesem Fall kann eine Summenformel aufgestellt werden, anhand derer mit der beschriebenen Methodik die Ausbeuten an relevanten Brandgaskomponenten berechnet werden kann.
    - Pflanzenschutzmittellager oder Lager für Kunststoffe
    - Es liegen keine Informationen zu den gelagerten Gütern vor, es kann kein Referenzstoff festgelegt werden und das Lager kann nicht in die genannten Kategorien eingeordnet werden. In diesem Fall sind die zusammen gestellten Ausbeuten in Ansatz zu bringen.