

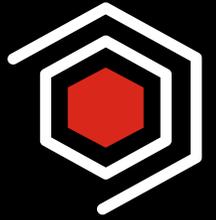
# Ingenieurmethoden des Brandschutzes

hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH

Dipl.-Ing. Jonny Dunger, M.Eng., Dresden



# Agenda



- 1 Einführung
- 2 Entrauchungssimulation
- 3 Heißbemessung
- 4 Räumungsberechnung
- 5 Bemessungsbrandszenarien
- 6 Zusammenfassung

Einführung

1

# Brandschutz als Ingenieurdisziplin

- verglichen mit anderen Ingenieurdisziplinen vergleichsweise jung
- wissenschaftliche Grundlagen in 60er, 70er und 80er Jahren gelegt
- Normung seit Beginn des Jahrtausends
- Schutzziele häufig nur allgemein (qualitativ) definiert

Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) **vorgebeugt** wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten **möglich** sind (§ 14 MBO).

# Einordnung

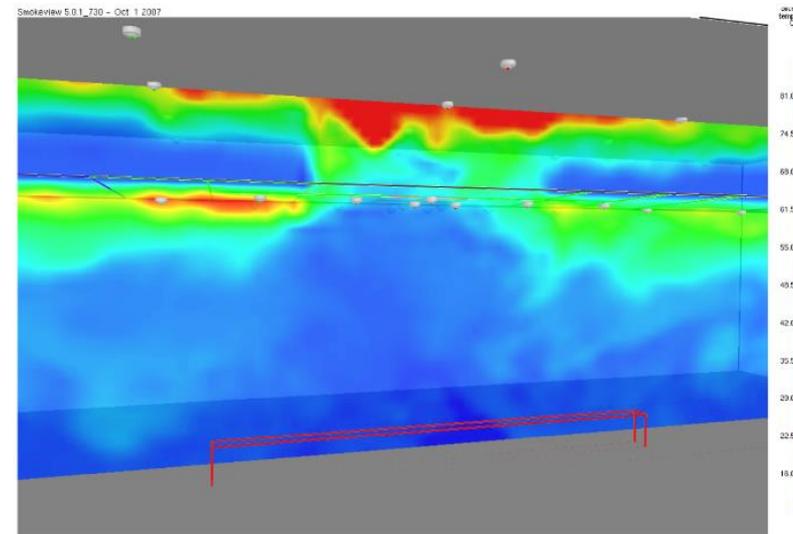


Quelle: Prof. Dr.-Ing. Jochen Zehfuß in Tagungsband Braunschweiger Brandschutztag 2023

# Einführung

Hilfsmittel zur Untersuchung von:

- Oberflächentemperaturen
- Temperatur- und Geschwindigkeitsfelder
- Gaszusammensetzungen und Konzentrationen
- Wärmeflüsse durch Strahlung und Konvektion
- Rauchdichte / Erkennungsweiten
- Brandausbreitung
- ...
  
- Wirkung von Schutzmaßnahmen (z.B. Sprinkler, Entrauchung, Feuerwehr, ...) auf das Brandereignis



# Brandschutz als Ingenieurdisziplin

MIndBauRL 2019

4.3 Anstelle der Verfahren nach den Abschnitten 6 und 7 können auch Methoden des Brandschutzingenieurwesens eingesetzt werden zum Nachweis, dass die Ziele nach Abschnitt 1 erreicht werden (§ 85a Abs. 1 Satz 3 MBO). Solche Nachweise sind nach Anhang 1 aufzustellen.

## 1 Ziel

Ziel dieser Richtlinie ist es, die Mindestanforderungen an den Brandschutz von Industriebauten zu regeln, insbesondere an

- die Feuerwiderstandsfähigkeit der Bauteile,
- das Brandverhalten der Baustoffe,
- die Größe der Brandabschnitte bzw. Brandbekämpfungsabschnitte,
- die Rettung von Menschen,
- die Anordnung, Lage und Länge der Rettungswege,
- wirksame Löscharbeiten.

# Brandschutz als Ingenieurdisziplin

Beispiel: MIndBauRL 2019

Für den betrachteten Industriebau müssen aufgrund der vorgesehenen Nutzung die Brandszenarien festlegbar sein, welche insbesondere

- der Nutzung entsprechen und
- auf der sicheren Seite liegende Brandwirkungen ergeben.

Die Sicherheitskriterien und die Zeiträume zur Einhaltung der Sicherheitskriterien sind mit den zuständigen Behörden festzulegen. Es ist nachzuweisen, dass die Sicherheitskriterien generell im Industriebau partiell in relevanten Raumbereichen eingehalten werden.

Der Nachweis muss vollständig, nachvollziehbar und überprüfbar sein.

**„Quantifizierung der Schutzziele“**

# Nachweis mit Ingenieurmethoden

## Vorgehen beim Nachweis

- Schutzziele müssen Sicherheitskriterien/ Zeiträumen zugeordnet werden
- repräsentativer Bemessungsbrand muss definiert werden
- Simulation des Brandereignisses/ Nachweisführung
- Einbindung in ein Brandschutzkonzept erforderlich

Entrauchungs-  
simulation

2

# Entrauchungssimulation

## Potenziale

### Berücksichtigung

- der Rauchsichtung im Raum,
- komplexer Raumgeometrien,
- von Entrauchungsmaßnahmen,
- von Strömungen im Raum,
- des Brandverlaufs,
- der brennstoffabhängigen Zusammensetzung und Temperatur des Rauches

# Entrauchungssimulation

mögliche Nachweise mit Ingenieurmethoden

Personensicherheit:

- Nachweis raucharmer Schichten über gewisse Zeiträume

Wirksame Löscharbeiten:

- Nachweis raucharmer Schichten, ggf. in geringeren Schichthöhen

Ausbreitung von Feuer und Rauch vorbeugen:

- Nachweis mittels Untersuchung der Rauchausbreitung

# Entrauchungssimulation

## Bauordnungsrechtliche Schutzziele

- Notwendige Treppenräume müssen [...] **zur Unterstützung wirksamer Löscharbeiten** entraucht werden können (§ 35 (8) MBO).
- Produktions-, Lagerräume [...] müssen **zur Unterstützung der Brandbekämpfung** entraucht werden können (Punkt 5.7 MIndBauRL).
- Versammlungsräume [...] müssen **zur Unterstützung der Brandbekämpfung** entraucht werden können (§ 16 (1) MVStättVO).

**Entrauchungssimulationen in Bauordnung/ Sonderbauverordnungen nicht generell gefordert, aber...**

# Entrauchungssimulation

## mögliche Umsetzung der Anforderung gemäß MIndBauRL 2019

5.7.1.1 Die Anforderung ist insbesondere erfüllt, wenn

- diese Räume Rauchabzugsanlagen haben, bei denen je höchstens 400 m<sup>2</sup> der Grundfläche mindestens ein Rauchabzugsgerät im Dach oder im oberen Raumdrittel angeordnet wird,
- die aerodynamisch wirksame Fläche dieser Rauchabzugsgeräte insgesamt mindestens 1,5 m<sup>2</sup> je 400 m<sup>2</sup> Grundfläche beträgt,
- je höchstens 1.600 m<sup>2</sup> Grundfläche mindestens eine Auslösegruppe für die Rauchabzugsgeräte gebildet wird sowie
- Zuluftflächen im unteren Raumdrittel von insgesamt mindestens 12 m<sup>2</sup> freiem Querschnitt vorhanden sind.

**Nur Bezug zur Grundfläche, gilt ansonsten unabhängig von Raumhöhe, tatsächlichen Brandlasten, brandschutztechnischer Infrastruktur etc.**

# Entrauchungssimulation

## Anwendungsbeispiele für Entrauchungssimulationen

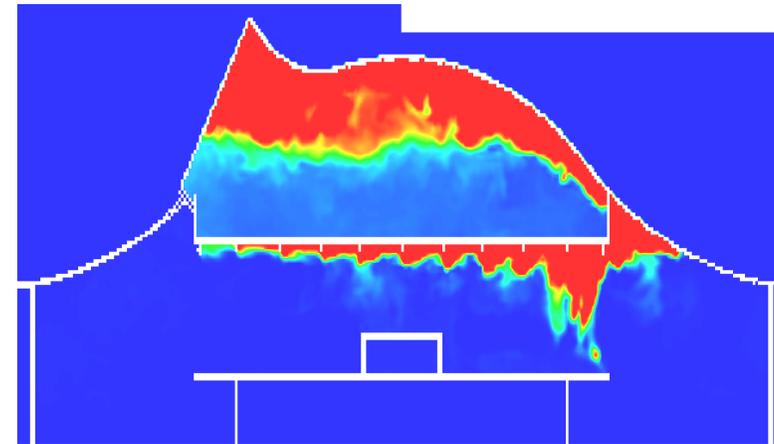
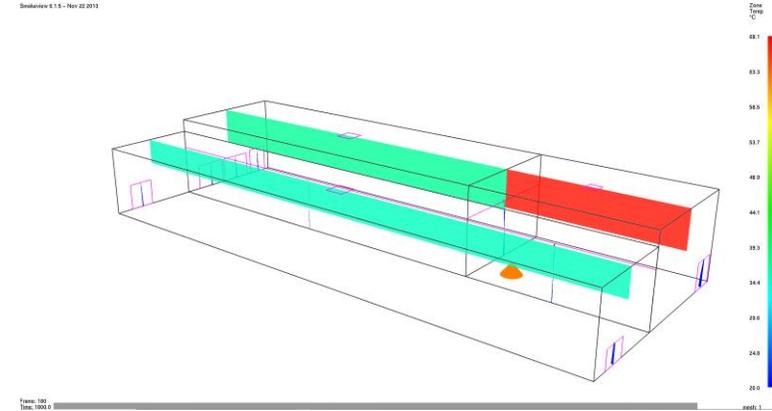
- mögliche Einsparungen bei den Rauchabzugsanlagen (z. B. kleiner Brand in großflächiger, hoher Industriehalle)
- Auftreten von Situationen/ Fragestellungen, welche durch die Vorgaben der Bauordnung nicht abgedeckt sind (Atrien, ...)
- Nachweis Schutzzieleinhaltung bei Abweichungen von den Bauvorschriften

# Entrauchungssimulation

## Modelle zur Beschreibung von Bränden

- Physikalische Modelle
- Plume-Modelle
- Zonen-Modelle
- Feldmodelle

→ Welches Modell ist geeignet?



# Entrauchungssimulation

## Modelle zur Beschreibung von Bränden

- Plume-Modelle für Überschlagsberechnungen in großen und hohen Gebäuden (z. B. Industriehallen)
- Zonenmodelle bieten gute Lösungen für sehr einfache Geometrien
- Feldmodelle sind praktisch für alle Fälle geeignet, aber ständig wachsende Anforderungen
  - sehr komplexe und große Gebäude
  - immer feinere Diskretisierung
  - immer komplexere Fragestellungen (Entrauchung, Wind, Sommerfall)

**Feldmodelle sind der Stand der Technik.**

# Entrauchungssimulation

## Vorgehen

- Eingabe des Raumes
- Eingabe des Brandes
- Eingabe der Entrauchung

→ **Ergebnis: Entwicklung der Rauchsicht im Verlauf des Brandes**

# Entrauchungssimulation

Anhaltswerte für quantitative Schutzziele für die Personensicherheit

Tabelle 8.3 Beurteilungsgrößen und Anhaltswerte für quantitative Schutzziele

Beurteilungsgröße	längere Aufenthaltsdauer (< 30 min)	mittlere Aufenthaltsdauer (ca. 15 min)	kurze Aufenthaltsdauer (< 5 min)
CO-Konzentration	100 ppm	200 ppm	500 ppm
CO <sub>2</sub> -Konzentration	1 Vol.-%	2 Vol.-%	3 Vol.-%
HCN-Konzentration <sup>(1)</sup>	8 ppm	16 ppm	40 ppm
Wärmestrahlung	1,7 kW/m <sup>2</sup>	2,0 kW/m <sup>2</sup>	< 2,5 kW/m <sup>2</sup>
Gastemperatur <sup>(2)</sup>	45 °C	50 °C	50 °C
Rauchdichte D <sub>L</sub> <sup>(3)</sup>	0,1 m <sup>-1</sup>	0,1 m <sup>-1</sup> / 0,15 m <sup>-1</sup> <sup>(4)</sup>	0,1 m <sup>-1</sup> / 0,2 m <sup>-1</sup> <sup>(4)</sup>
Erkennungsweite <sup>(5), (6)</sup>	10 m – 20 m	10 m – 20 m	10 m – 20 m

Quelle: Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Kapitel 8

# Entrauchungssimulation

aus Perspektive der Feuerwehr – vor Beginn der Nachweise

- Welche Aufgaben hat die Feuerwehr im Rahmen des Konzeptes?
- Wurden im Nachweis Brandbekämpfungsmaßnahmen der Feuerwehr berücksichtigt?
- Welche Schutzziele werden nachgewiesen?
- Welche Schutzziele werden sind für den Feuerwehreinsatz nachzuweisen, in welchem Zeitraum?
- Angesetzte Brandszenarien?
- Unabhängigkeit von äußeren Einflüssen (z. B. Wind, Temperatur)

# Entrauchungssimulation

aus Perspektive der Feuerwehr – bei der Prüfung der Nachweise

- Werden die angestrebten Schutzziele eingehalten?
- Gibt es Bereiche mit Schutzzielüberschreitungen? (Wie wird die Überschreitung bewertet?)
- Zeitabstände Auswertung ausreichend dicht? (z. B. 5-Min-Intervall)
- Schutzzielerrreichung dazwischen ebenfalls sichergestellt
- Textliche Bestätigung Schutzzielerrreichung durch den Nachweisersteller vorhanden?
- Dokumentation vollständig?

Heiß-  
bemessung

3

# Heißbemessung

## Bedeutung

MVV TB zur DIN EN 1991-1-2

**„Die Feuerwiderstandsfähigkeit des Tragwerks ist für die Durchführung wirksamer Löscharbeiten von wesentlicher Bedeutung.“**

DIN EN 1991	<b>Eurocode 1:</b>	Grundlagen von Entwurf, Berechnung und Bemessung sowie Einwirkung auf Tragwerke
DIN EN 1992	<b>Eurocode 2:</b>	Entwurf, Berechnung und Bemessung von <b>Stahlbeton- und Spannbetontragwerken</b>
DIN EN 1993	<b>Eurocode 3:</b>	Entwurf, Berechnung und Bemessung von <b>Tragwerken aus Stahl</b>
DIN EN 1994	<b>Eurocode 4:</b>	Entwurf, Berechnung und Bemessung von <b>Verbundtragwerken aus Stahl und Beton</b>
DIN EN 1995	<b>Eurocode 5:</b>	Entwurf, Berechnung und Bemessung von <b>Holztragwerken</b>
DIN EN 1996	<b>Eurocode 6:</b>	Entwurf, Berechnung und Bemessung von <b>Tragwerken aus Mauerwerk</b>

# Heißbemessung

## Bemessungsverfahren nach DIN EN 1992-1-1

- tabellarische Daten (basieren auf Versuchsergebnissen oder aus anerkannten Bemessungsverfahren)
- vereinfachte Rechenverfahren für bestimmte Bauteile
- allgemeine Rechenverfahren zur Simulation des Brandverhaltens von Bauteilen, Teilen des Tragwerks und des gesamten Tragwerks

Tabelle 5.8 — Mindestmaße und -achsabstände für statisch bestimmt gelagerte, einachsig und zweiachsig gespannte Stahlbeton- und Spannbetonplatten

Feuerwiderstandsklasse	Mindestabmessungen (mm)			
	Plattendicke $h_s$ (mm)	einachsig	Achsabstand $a$	
			$l_x/l_y \leq 1,5$	$1,5 < l_x/l_y \leq 2$
1	2	3	4	5
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

$l_x$  und  $l_y$  sind die Spannweiten einer zweiachsig gespannten Platte (beide Richtungen rechtwinklig zueinander), wobei  $l_y$  die längere Spannweite ist.  
 Bei Spannbetonplatten ist die Vergrößerung des Achsabstandes entsprechend 5.2 (5) zu beachten.  
 Der Achsabstand  $a$  in den Spalten 4 und 5 gilt für zweiachsig gespannte Platten, die an allen vier Rändern gestützt sind. Trifft das nicht zu, sind die Platten wie einachsig gespannte Platten zu behandeln.  
 \* Normalerweise reicht die nach EN 1992-1-1 erforderliche Betondeckung aus.

# Heißbemessung

## Anwendungsbeispiele für die Heißbemessung

Heißbemessung, wenn

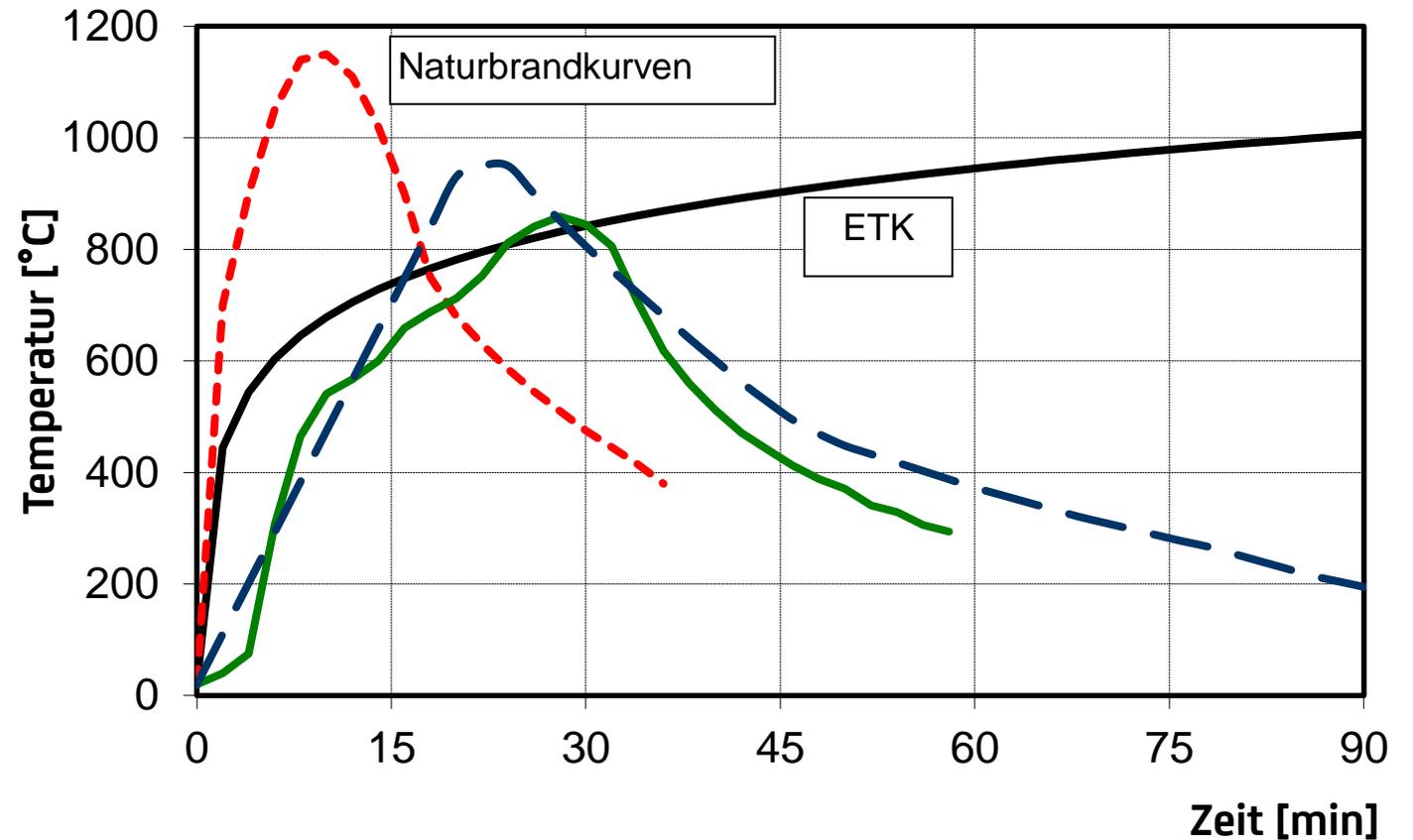
- Brandbeanspruchung nicht ETK
- Bauteil ist nicht in den Tabellen der Eurocodes zu finden
- alte Bestandsgebäude müssen brandschutztechnische Anforderungen erfüllen
- Feuerwiderstand lässt sich nicht oder schwer durch herkömmliche Mittel erreichen
- außenliegende Stützen
- unübliche Baustoffe oder Bauweisen (Holzblockhaus, ultrahochfester Beton, hochfester Betonstahl)

# Heißbemessung

## Brandeinwirkung

Naturbrandverfahren, wenn

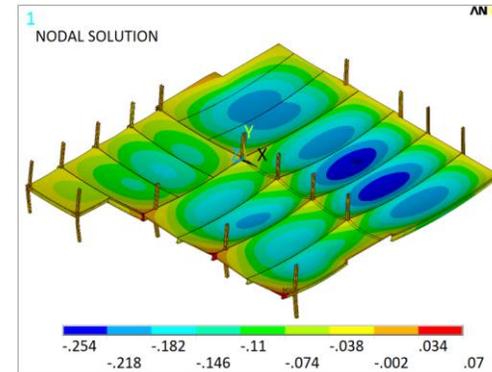
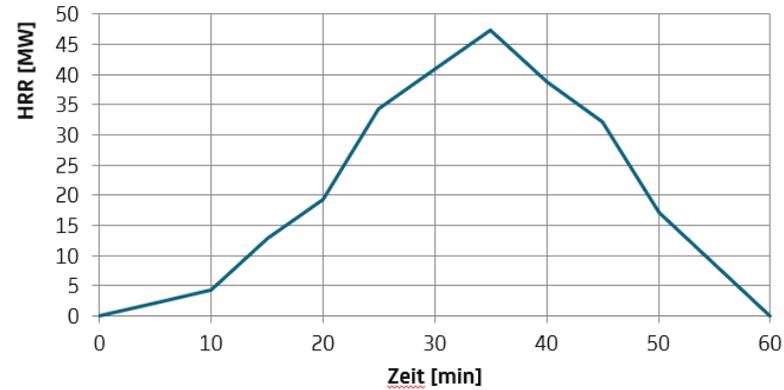
- höhere Räume (ab ~6m)
- geringe Brandlasten (z.B. Eingangshalle, Museum)
- große Ventilationsöffnungen (vollverglaste Wände)



# Heißbemessung

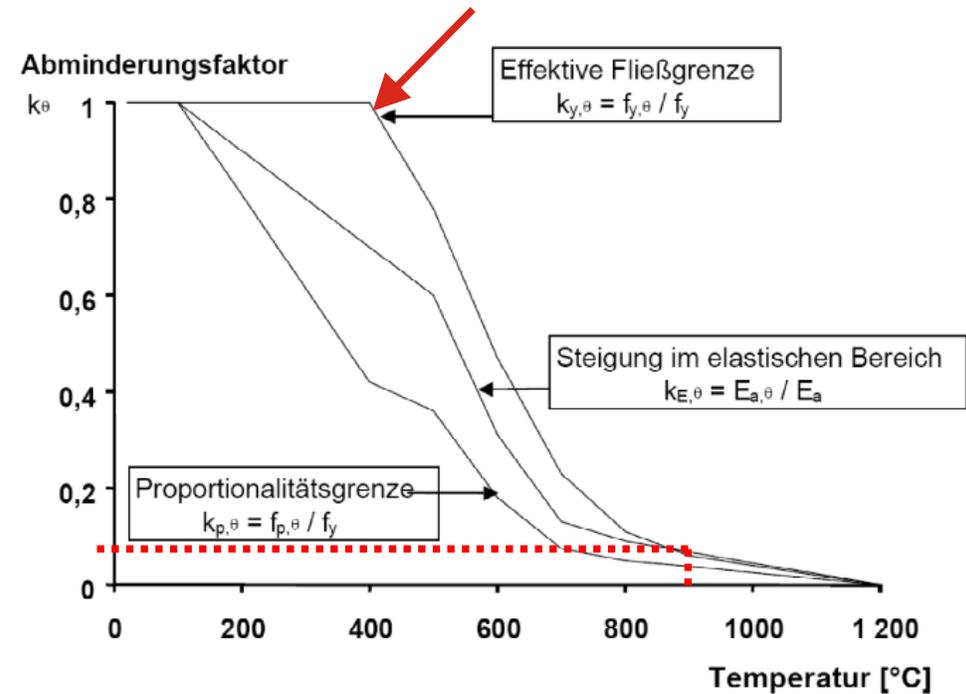
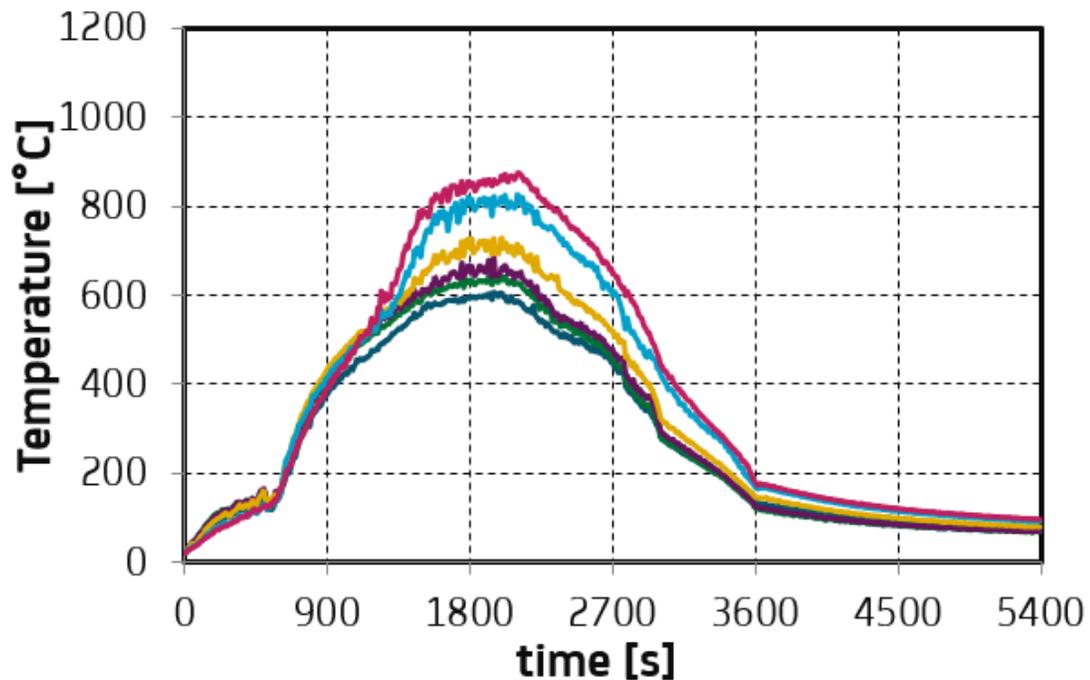
## Vorgehen

1. Brandszenario
2. Brandeinwirkung
3. Thermische Analyse
4. Mechanische Analyse



# Heißbemessung

Brandeinwirkung (Naturbrand) und Ausnutzungsgrad nach DIN EN 1993-1-2



# Heißbemessung

aus Perspektive der Feuerwehr

- Welche Aufgaben hat die Feuerwehr im Rahmen des Nachweises (z. B. Öffnungen herstellen/ Anlagen betätigen/ ...)?
- Wurden im Nachweis Brandbekämpfungsmaßnahmen der Feuerwehr berücksichtigt?
- Welche Schutzziele sind für den Feuerwehreinsatz nachzuweisen, in welchem Zeitraum? (z. B. Dauer der Tragfähigkeit)

Räumungs-  
berechnung

4

# Räumungsberechnung

## Ziele

### Optimierung des Gebäudedesigns

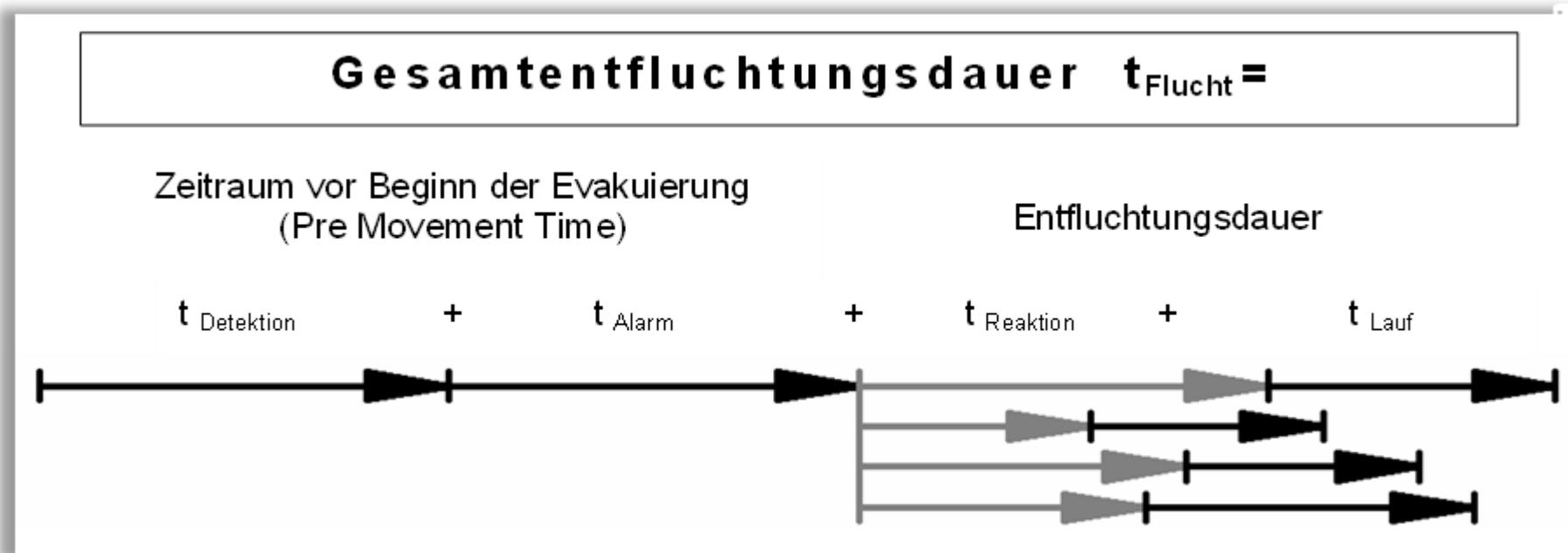
- Erkennen und Vermeiden kritischer Situationen, z. B. von Staus und Engstellen
- Optimierung der Flächenausnutzung, d. h. Rettungsweganzahl und -breite sowie Mietfläche, z. B. in Verkaufsstätten oft eine Einsparung von bis zu 30 % Rettungswegbreite möglich

Aussagen über Räumzeiten, Anstehzeiten etc.

# Räumungsberechnung

Nachweis

**Gesamtentfluchtungsdauer  $\leq$  verfügbare Zeit**



# Räumungsberechnung

## Ermittlung der verfügbaren Zeit

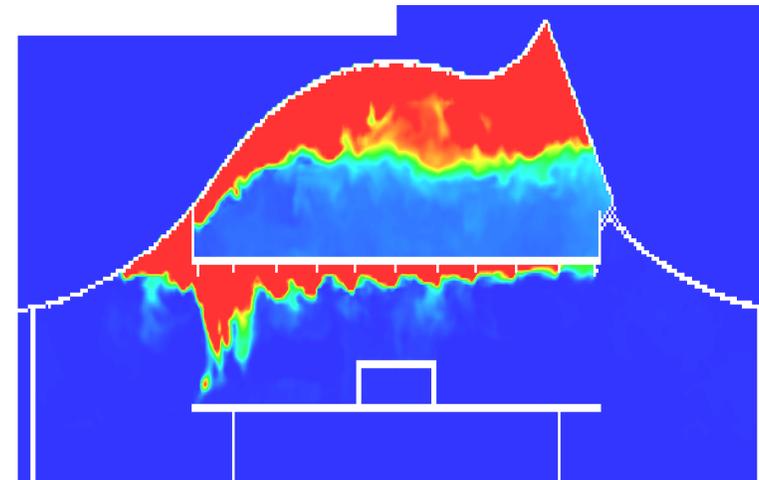
→ bei Überschreiten voran definierter Werte für die Schutzzielkriterien kann Rettungsweg nicht mehr genutzt werden

- lichtrübende Wirkung des Brandrauches
- toxische Wirkung von Brandgasen
- thermische Wirkung von Brandgasen

→ **wird auf Basis von Brandsimulationen ermittelt**

Tabelle 8.3 Beurteilungsgrößen und Anhaltswerte für quantitative Schutzziele

Beurteilungsgröße	längere Aufenthaltsdauer (< 30 min)	mittlere Aufenthaltsdauer (ca. 15 min)	kurze Aufenthaltsdauer (< 5 min)
CO-Konzentration	100 ppm	200 ppm	500 ppm
CO <sub>2</sub> -Konzentration	1 Vol.-%	2 Vol.-%	3 Vol.-%
HCN-Konzentration <sup>(1)</sup>	8 ppm	16 ppm	40 ppm
Wärmestrahlung	1,7 kW/m <sup>2</sup>	2,0 kW/m <sup>2</sup>	< 2,5 kW/m <sup>2</sup>
Gastemperatur <sup>(2)</sup>	45 °C	50 °C	50 °C
Rauchdichte D <sub>L</sub> <sup>(3)</sup>	0,1 m <sup>-1</sup>	0,1 m <sup>-1</sup> / 0,15 m <sup>-1</sup> <sup>(4)</sup>	0,1 m <sup>-1</sup> / 0,2 m <sup>-1</sup> <sup>(4)</sup>
Erkennungsweite <sup>(5), (6)</sup>	10 m – 20 m	10 m – 20 m	10 m – 20 m



# Räumungsberechnung

## Vorgehen

Festlegung ausreichend konservativer Szenarien

- Personenbelegung
- Personenverteilung
- Wahl des Fluchtweges
- ggf. Ausfall von Fluchtwegen

Festlegung ausreichend konservativer Berechnungsparameter

- Gehgeschwindigkeiten
- ggf. zusätzliche Sicherheitszuschläge
- Pre-Movement time + Reaktionszeit

# Räumungsberechnung

Modellauswahl

## Strömungsmodelle

- erfassen gerichtete Bewegung eines zusammenhängenden Personenstroms

## Individualmodelle

- erfassen Bewegungsmuster einzelner Personen
- Simulation der Bewegung in möglichst realitätsnaher Umgebung
- Berücksichtigung individueller Einflüsse

Quelle: Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes, Kapitel 9

Bemessungs-  
brand-  
szenarien

5

# Bemessungsbrandszenarien

## Allgemeines

- fehlende Regelungen und Standardisierungen für Nachweise mit Ingenieurmethoden des Brandschutzes führen zu unterschiedlichen Auslegungen des Sicherheitsniveaus
- DIN 18009-3 wird systematische Auswahl von Brandszenarien und Bemessungsbränden regeln (derzeit noch in Bearbeitung)

# Bemessungsbrandszenarien

Begriffe gemäß DIN 18009-1/ DIN EN ISO 13943

## Bemessungsbrandszenario

- *„bestimmtes Brandszenario, für das eine brandschutztechnische Untersuchung durchgeführt wird“*

## Bemessungsbrand

- *„quantitative Beschreibung der angenommenen Eigenschaften eines Brandes innerhalb des Bemessungsbrandszenarios“*

# Bemessungsbrandszenarien

Auswahl von Bemessungsbrandszenarien nach Schutzziel

## Standicherheit im Brandfall

- vollentwickelter Brand im Brandraum
- lokaler Brand in der Nähe eines maßgebenden Bauteils
- ...

## Ausbreitung von Feuer und Rauch

- schnelle Brandausbreitungsgeschwindigkeit in großen Räumen
- Brandausbreitung durch Wärmestrahlung über Freifläche
- ...

## Ermöglichung der Rettung von Menschen und Tieren

- schnelle Brandausbreitung im Bereich des Rettungsweges
- Brand in einem anderen an den Rettungsweg angrenzenden Raum
- ...

Quelle: Prof. Dr.-Ing. Jochen Zehfuß in Tagungsband Braunschweiger Brandschutztag 2023

Zusammen-  
fassung

6

# Zusammenfassung Ingenieurmethoden

## Entrauchungs- simulation

- **Einhalten von Grenzwerten** in relevanten Raumbereichen für festgelegte Zeiträume

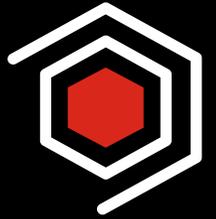
## Heißbemessung

- Widerstand im Brandfall **größer als** (oder gleich) Einwirkungen im Brandfall für eine ausreichend lange Zeit

## Räumungs- berechnung

- verfügbare Zeit **größer als** (oder gleich) benötigte Zeit

**Wichtig: Auswahl geeigneter und der Nutzung entsprechender Bemessungsbrandszenarien und Bemessungsbrände**



hhpberlin  
Ingenieure für Brandschutz GmbH  
Otto Ostrowski Straße 5  
10249 Berlin  
Deutschland  
+49 (30) 89 59 55 0  
[servicedesk@hhpberlin.de](mailto:servicedesk@hhpberlin.de)  
[www.hhpberlin.de](http://www.hhpberlin.de)

Amtsgericht Berlin-Charlottenburg  
Register-Nr.: HRB 78 927  
Ust-ID Nummer: DE217656065

Geschäftsführer:  
Dipl.-Inf. BW (VWA) Stefan Truthän  
Dipl.-Ing. Karsten Foth  
Ing. Joep Bruins  
Britt Schuurs, MSc. in Economics  
Robert Wolff, MA in Business Economics

Prokuristen:  
Prof. Dr.-Ing. Jochen Zehfuß  
Dipl.-Ing. Andreas Dahlitz  
Dipl.-Ing. Dirk Kohmann  
Dipl.-Päd. Doreen Liebenow



## Jonny Dunger

Dipl.-Ing., M.Eng.

Standort Dresden  
Sachverständiger für  
vorbeugenden Brandschutz