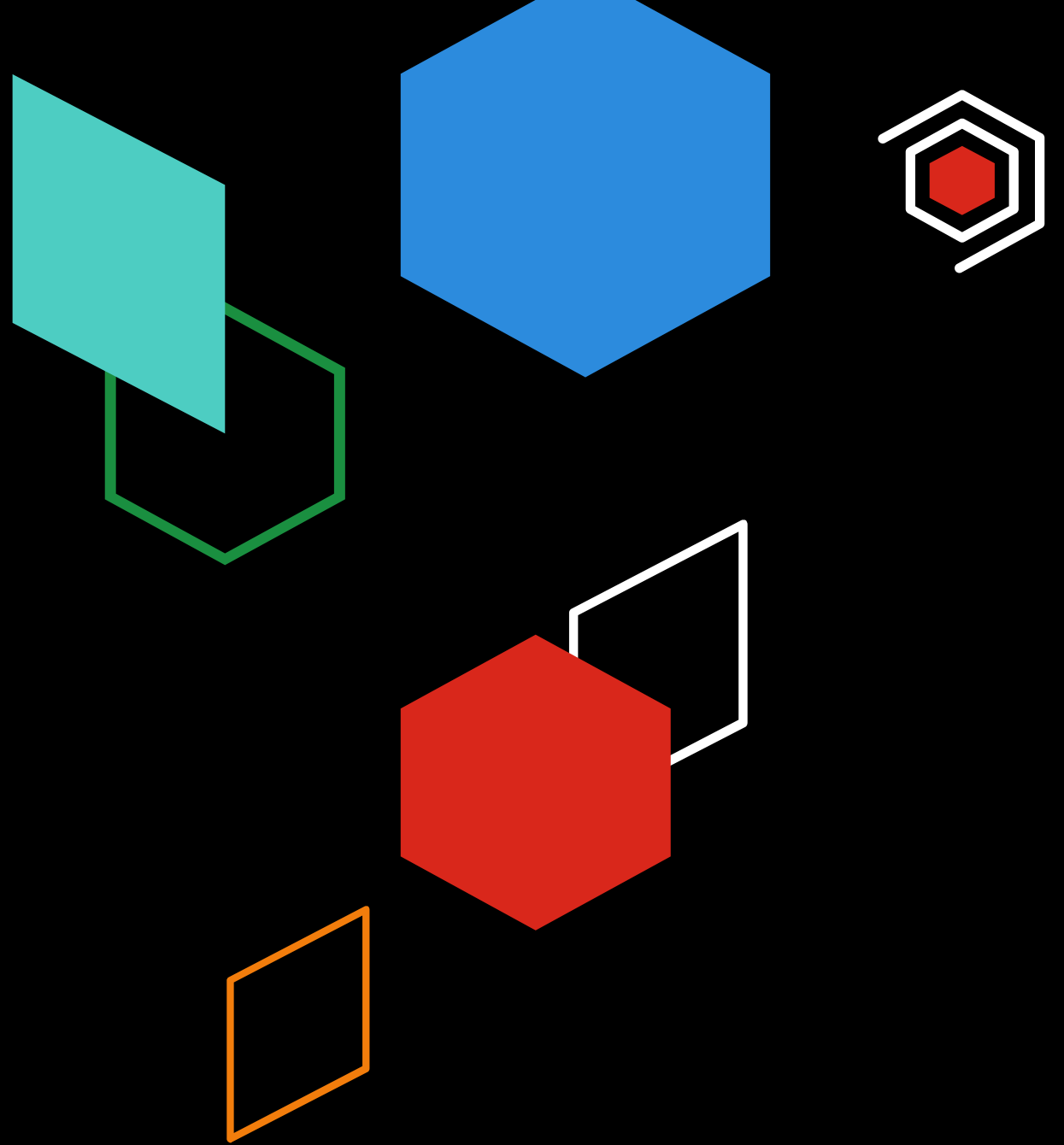


# Entrauchungs- simulation

Dipl.-Ing. Jonny Dunger, M.Eng., Dresden  
hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH  
9. Oktober 2025



# Agenda



- 1 Einführung
- 2 Entrauchungssimulationen
- 3 Beispiel
- 4 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

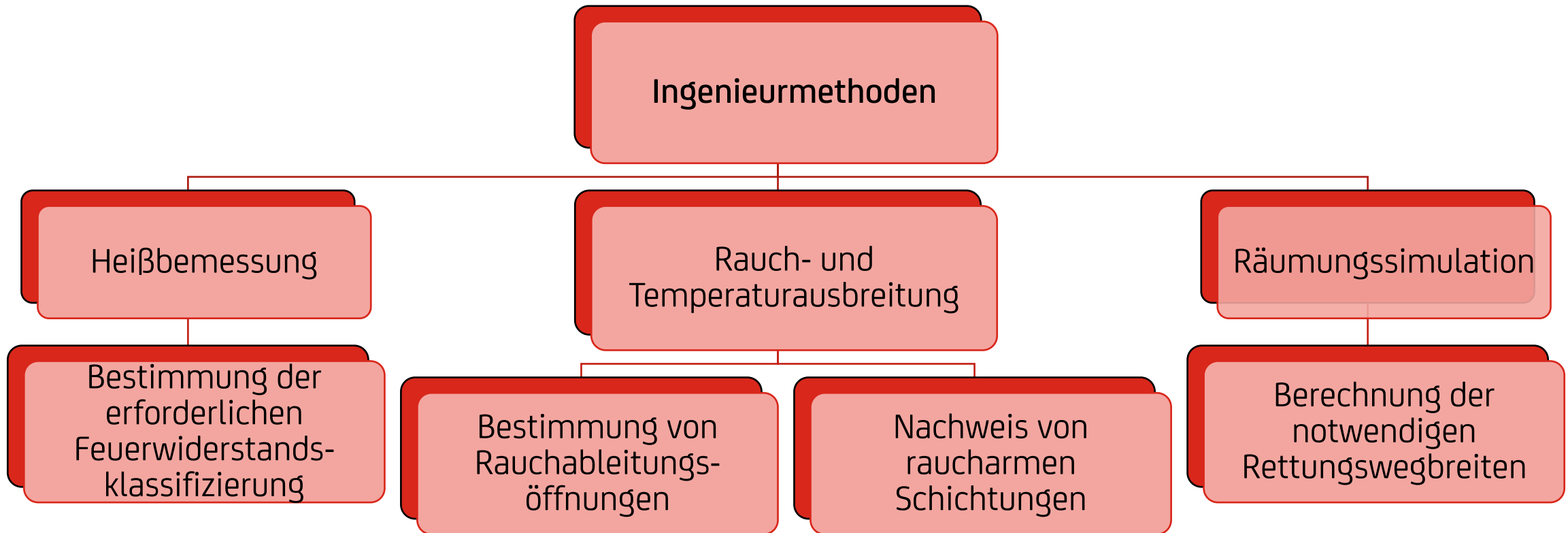
Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) **vorgebeugt** wird

und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten **möglich** sind (§ 14 MBO).

# Nachweis der Schutzziele



# Übersicht Ingenieurmethoden



# Schutzziele und Nachweise

| Schutzziel nach MBO                                            | Nachweis der Standsicherheit im Brandfall | Nachweis der ausreichenden Rauchableitung | Nachweis der sicheren Räumung |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|
| • Entstehung eines Brandes vorbeugen                           |                                           |                                           |                               |
| • Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorbeugen |                                           | X                                         |                               |
| • Rettung von Menschen und Tieren ermöglichen                  | X                                         | X                                         | X                             |
| • Wirksame Löscharbeiten ermöglichen                           | X                                         | X                                         |                               |

# 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

# Wo sind Ingenieurmethoden sinnvoll / üblich?

## 1. Industriebau

- Dimensionierung des Rauch- und Wärmeabzugs
- Optimierung des Feuerwiderstand des Tragwerks

## 2. Verkaufsstätten, Verkehrsbauwerke, Versammlungsstätten

- Dimensionierung des Rauch- und Wärmeabzugs
- Vergleich der Rauchfreihaltung mit Räumungsdauern
- Optimierung des Feuerwiderstand des Tragwerks
- Einsparung / Optimierung von Rettungswegbreiten
- Festlegung der Alarmierungsart der BMA (gleichzeitig, gestaffelt)

# Wo sind Ingenieurmethoden sinnvoll / üblich?

## 3. Gebäude mit Abweichungen von Vorschriften

- z. B.: Atrien mit ausschließlich darüber geführten Rettungswegen
- ➔ Nachweis sicherer Rettungswege über raucharme Schichten
- ➔ Kann die raucharme Schicht nur für bestimmten Zeitraum gewährleistet werden, erfolgt ein Vergleich mit der Räumungszeit des entsprechenden Bereichs.
  - ➔ Heißbemessung aufgrund geringer Brandlasten oder größeren Ventilationsöffnungen

## 4. Bestandsgebäude

- z. B.: historische Gebäude: brandschutztechnische Mängel
- Umbau bestehender Gebäude
  - ➔ welchen Feuerwiderstand hat die Bestandskonstruktion?

Entrauchungs-  
simulationen

2

# Bauordnungsrechtliche Anforderungen

## Beispiele

- 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).

# Präskriptiver Nachweis

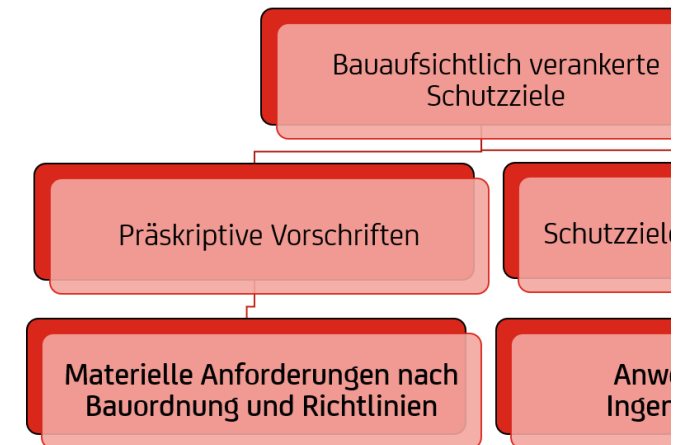
z. B. MVStättVO § 16 Rauchableitung:

(1) Versammlungsräume ... müssen ... zur Unterstützung der Brandbekämpfung entraucht werden können.

(2) Die Anforderung des Absatzes 1 ist insbesondere erfüllt bei:

*Versammlungsräumen ... mit nicht mehr als 1 000 m<sup>2</sup> Grundfläche, wenn diese Räume entweder an der obersten Stelle Öffnungen zur Rauchableitung mit einem freien Querschnitt von insgesamt 1 v. H. der Grundfläche oder im oberen Drittel der Außenwände angeordnete Öffnungen, Türen oder Fenster mit einem freien Querschnitt von insgesamt 2 v. H. der Grundfläche haben und Zuluftflächen in insgesamt gleicher Größe, jedoch mit nicht mehr als 12 m<sup>2</sup> freiem Querschnitt, vorhanden sind, die im unteren Raumdrittel angeordnet werden sollen.*

→ Brandschutzmaßnahmen werden pauschal (unabhängig von erwartetem Brand, Raumhöhe, Vorhandensein Sprinkleranlage) gefordert



# Präskriptiver Nachweis

bauordnungsrechtliche Anforderungen – Umsetzung gemäß MIndBauRL

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.

# Präskriptiver Nachweis

Das Baurecht (LBauO, SonderbauVO, ...) regelt

- zu erfüllende Schutzziele und
  - formuliert materielle Anforderungen z. B. an Bauteile oder anlagentechnische Maßnahmen
- ➔ „präskriptive Vorschriften“

Präskriptive Vorschriften

- Sicherheit durch Erfüllung der Anforderungen der Vorschriften
- **VORTEIL:** einfache Bemessung (Bemessungstabellen)
- **NACHTEIL:** häufig konservativer Nachweis

# Alternative: Nachweis mit Ingenieurmethoden

Gebäude, die auf Basis von präskriptiven Anforderungen nachgewiesen werden, bieten ggf. große Reserven

- Vorschriften müssen alle Nutzungen und Gebäudekonfigurationen abdecken
- ➔ Schutzzielorientiertes Vorgehen mit Ingenieurmethoden
  - zu erfüllende Schutzziele werden quantitativ nachgewiesen
  - Wirkung von Schutzmaßnahmen (baulich, anlagentechnisch, abwehrend) kann berücksichtigt werden
  - ➔ Ingenieurmethoden können wirtschaftlichere Gebäude ermöglichen
  - ➔ Aber: Einschränkung auf konkret betrachtetes Gebäude u. Nutzung

# Rauchableitung

## Potenziale von 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 bauordnungsrechtlichen Anforderungen

# Nachweis mit Ingenieurmethoden

## Vorgehen beim Nachweis (DIN 18009-1)

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

| DEUTSCHE NORM                                                                          |                    | September 2016 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|
|                                                                                        | <b>DIN 18009-1</b> | <b>DIN</b>     |
| ICS 13.220.01                                                                          |                    |                |
| <b>Brandschutzingenieurwesen –<br/>Teil 1: Grundsätze und Regeln für die Anwendung</b> |                    |                |
| Fire safety engineering –<br>Part 1: Basic principles and codes of practice            |                    |                |
| Ingénierie de la sécurité incendie –<br>Partie 1: Principes et règles d'application    |                    |                |

# Nachweis mit Ingenieurmethoden

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“**

# Einbindung Prüfeningenieur/ Behörde

- Nachweise Ingenieurmethoden werden zur **Abweichungsbegründung** herangezogen, z. B. Überschreitung Rettungsweglänge
- Verwendung **Naturbrand** stellt grundsätzlich Abweichung dar
- Frühzeitige **Einbindung Prüfeningenieur** aufgrund Bearbeitungszeit und zusätzlicher Kosten erforderlich
- Sämtliche **Randbedingungen** sind mit Prüfeningenieur und/oder genehmigender Behörde abzustimmen
- **Prüffähige Dokumentation** sowie Auswertung der Ergebnisse

# Vor- und Nachteile

## Vorteile:

- geringere Herstellungskosten
- Quantitativer Nachweis führt zu besserem Verständnis des Gebäudes und ist ein Nachweis, dass das Gebäude „funktioniert“
- Nutzungen ermöglichen, Probleme lösen

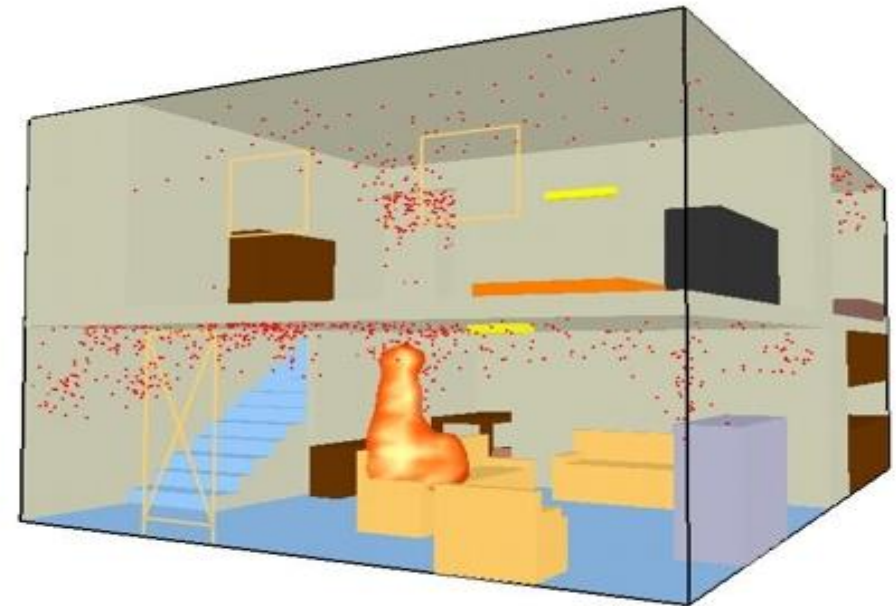
## Nachteile:

- ggfs. Einschränkung Flexibilität durch z. B. Begrenzung Brandlasten, Bemessungsbrand, Personenzahlen
- höheres Honorar aufgrund von Spezialleistungen und Einsatz von Spezialprogrammen und Computerhard- und Software
- längere Bearbeitungszeit aufgrund von Modellierungs- und Rechenzeit
- Genehmigungsrisiko aufgrund Abweichung

# Vorgehen bei einer Entrauchungssimulation

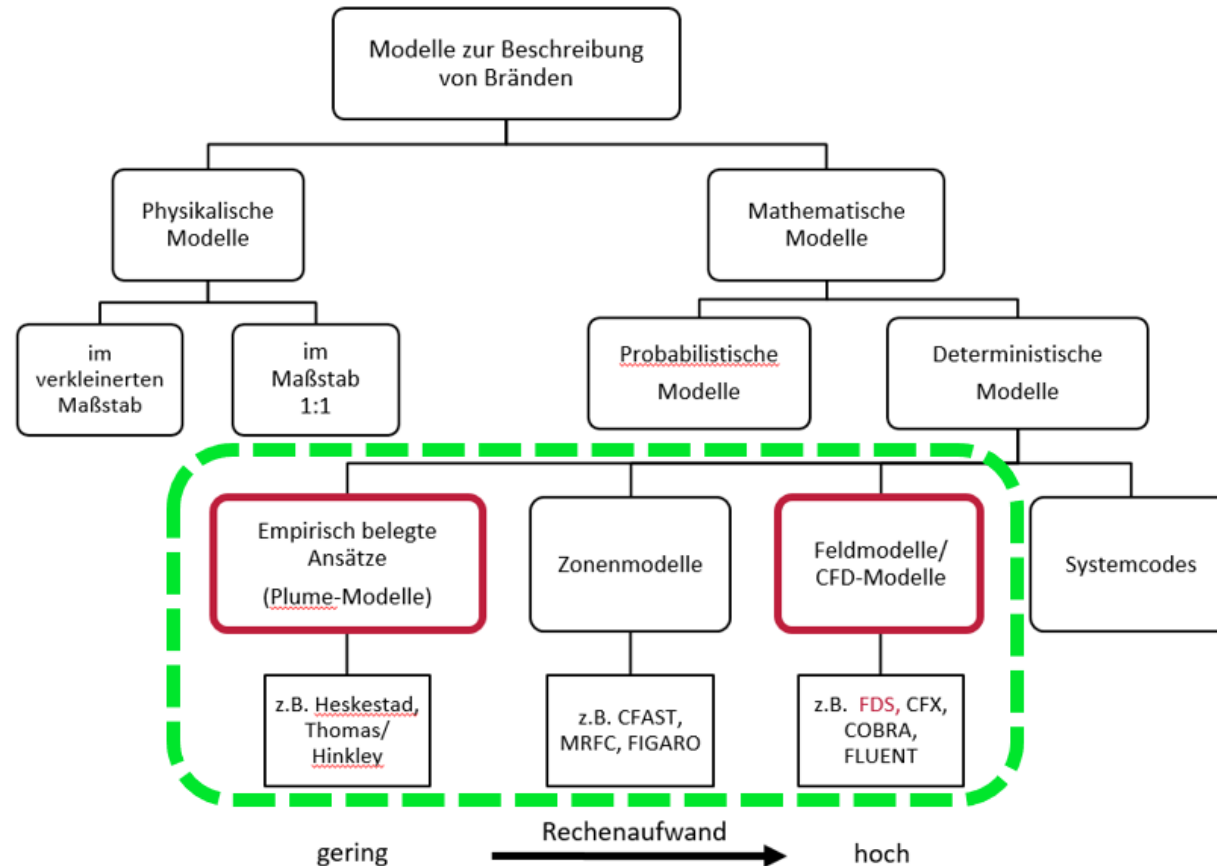
- Eingabe des Raumes / räumliche Parameter
- Eingabe des Brandes (Zusammensetzung, Brandverlauf)
- Eingabe der Entrauchung

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



# Berechnung Rauch- und Temperatursausbreitung

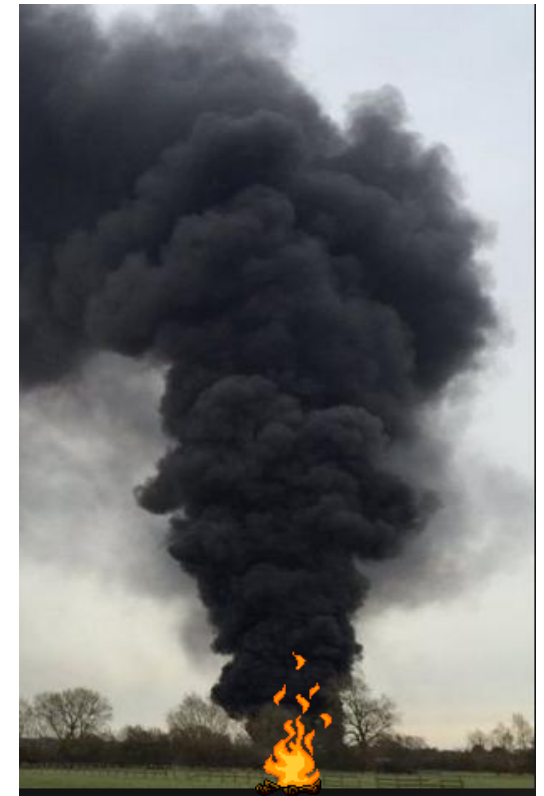
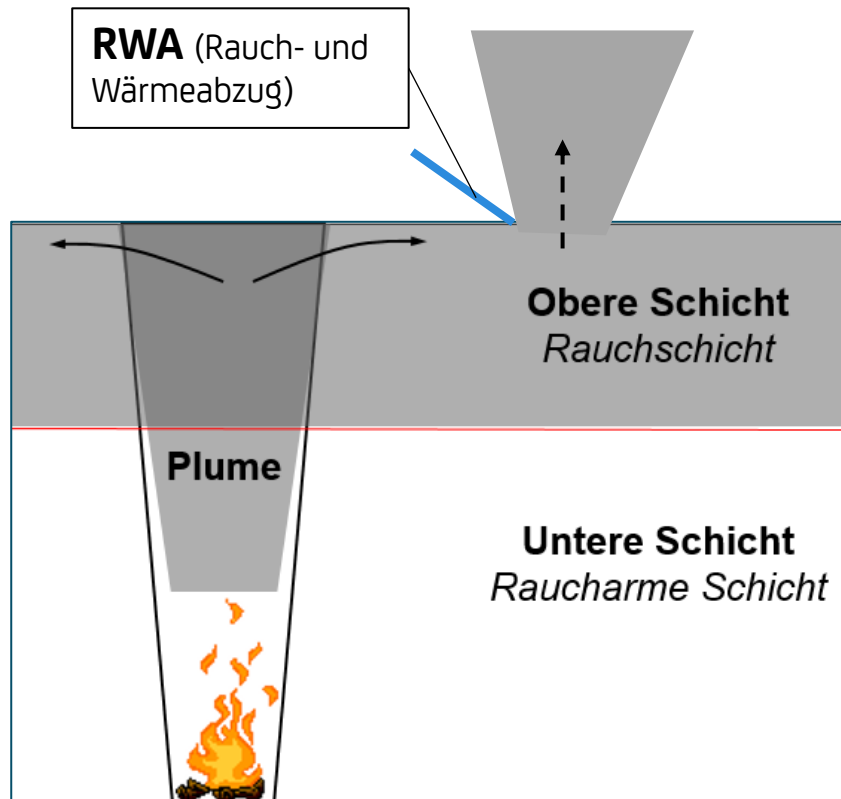
Mögliche Verfahren:



# Berechnung Rauch- und Temperaturschichtausbreitung

## Handrechenverfahren / Zonenmodelle

„Bereiche der Rauchausbreitung im Raum“:



# 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 Diskreditierung
  - immer komplexere Fragestellungen (Entrauchung, Wind, Sommerfall)

**Feldmodelle sind der Stand der Technik.**

# Berechnung Rauch- und Temperatursausbreitung

## Feldmodelle

Hilfsmittel zur Untersuchung von:

- Oberflächentemperaturen
- Temperatur- und Geschwindigkeitsfelder
- Gaszusammensetzungen und Konzentrationen
- Wärmeflüsse durch Strahlung und Konvektion
- Rauchdichte / Erkennungsweiten
- Brandausbreitung

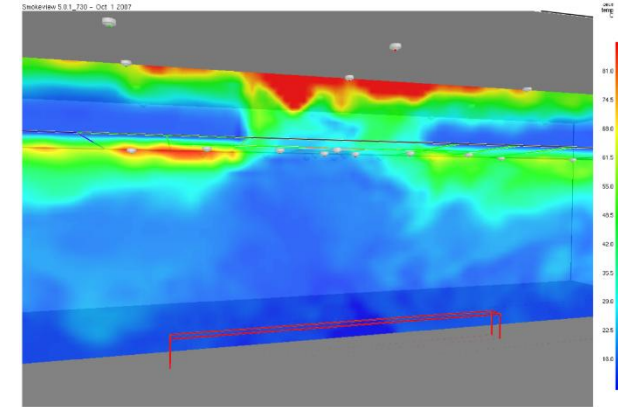


Tabelle 8.2 Beurteilungsgrößen und Anhaltswerte für quantitative Schutzziele

| 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>       | 0,1 m <sup>-1</sup>                 | 0,1 m <sup>-1</sup> / 0,15 m <sup>-1</sup> <sup>(3)</sup> | 0,1 m <sup>-1</sup> / 0,2 m <sup>-1</sup> <sup>(3)</sup> |
| Erkennungsweite <sup>(4)</sup>   | 10 m – 20 m                         | 10 m – 20 m                                               | 10 m – 20 m                                              |

Beispiel

3

# Messe Dresden – Saal Hamburg

## Vorgehen – Eingabe des Raumes



**SAAL  
HAMBURG**

Beispielfotos - Einrichtung kann abweichend sein.

**DER MODERNE TAGUNGSSAAL**  
Warme Farben, Parkettfußboden und klare Linien verleihen dem Saal Hamburg gleichermaßen einen modernen Touch als auch eine gewisse Wohlfühl-atmosphäre. Durch die Glasfronten auf beiden Seiten haben Sie das Gefühl, sich inmitten der umliegenden Natur zu befinden.

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>REIHE</b><br>500 PAX                                                             | <b>PARLAMENT</b><br>250 PAX                                                         | <b>U-Form</b><br>-                                                                  | <b>BANKETT</b><br>200 PAX                                                           |
|  |  |  |  |

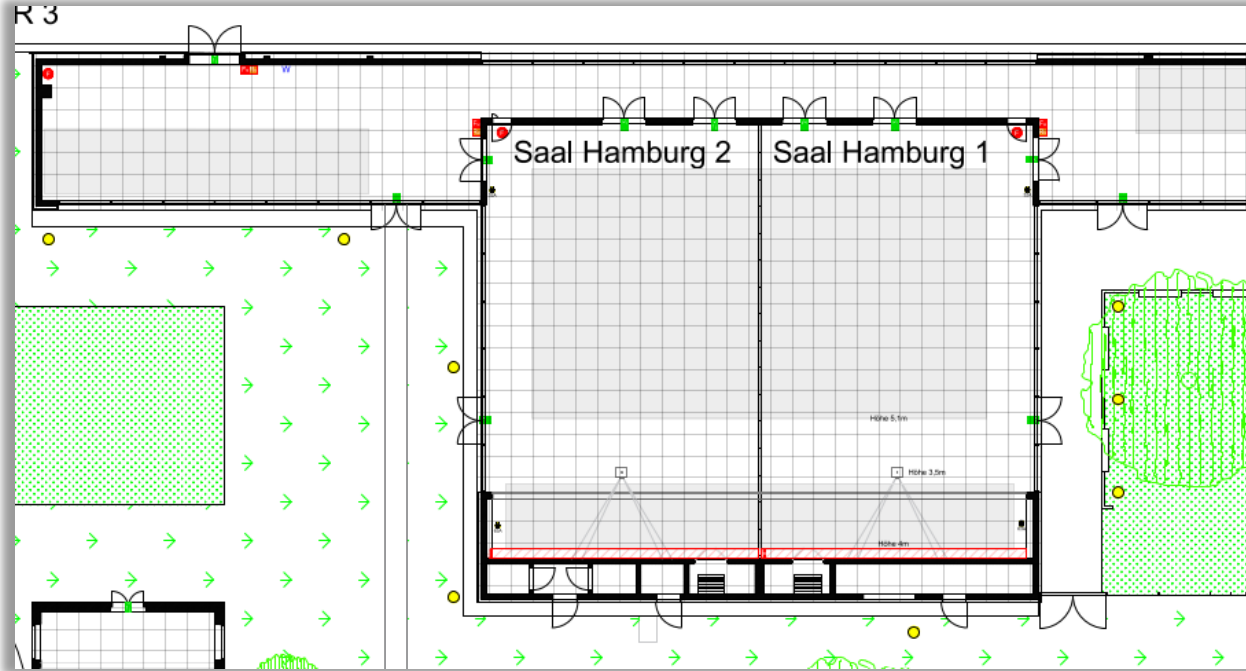


|                                                                                                                             |                                                                                                                       |                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br><b>FLÄCHE</b><br>504 m <sup>2</sup> | <br><b>L x B</b><br>20 x 25,20 m | <br><b>HÖHE</b><br>4,05 m |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**MESSE DRESDEN** 

# Messe Dresden – Saal Hamburg

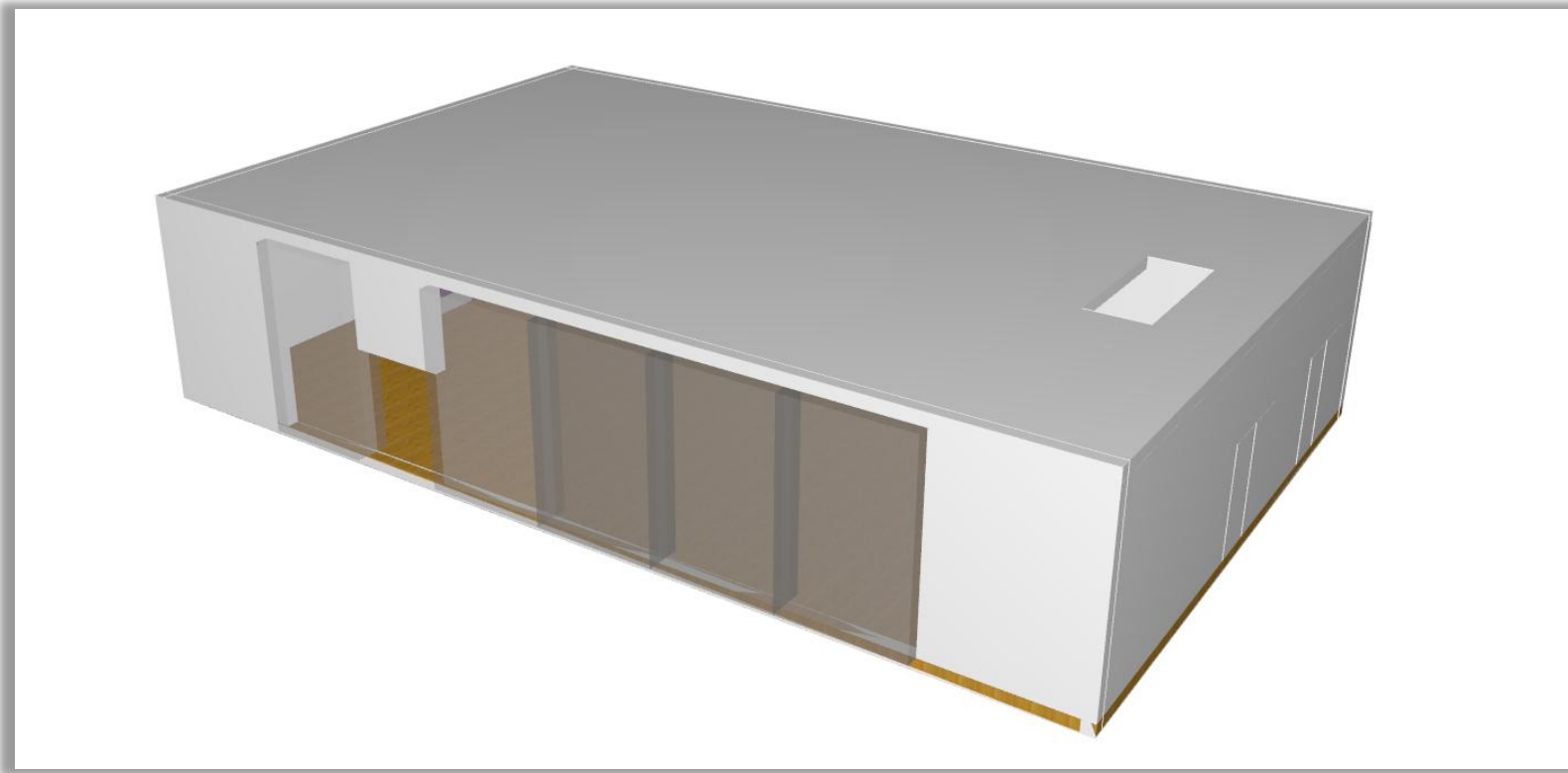
## Vorgehen – Eingabe des Raumes



- Rauchableitung?
- Zuluft?

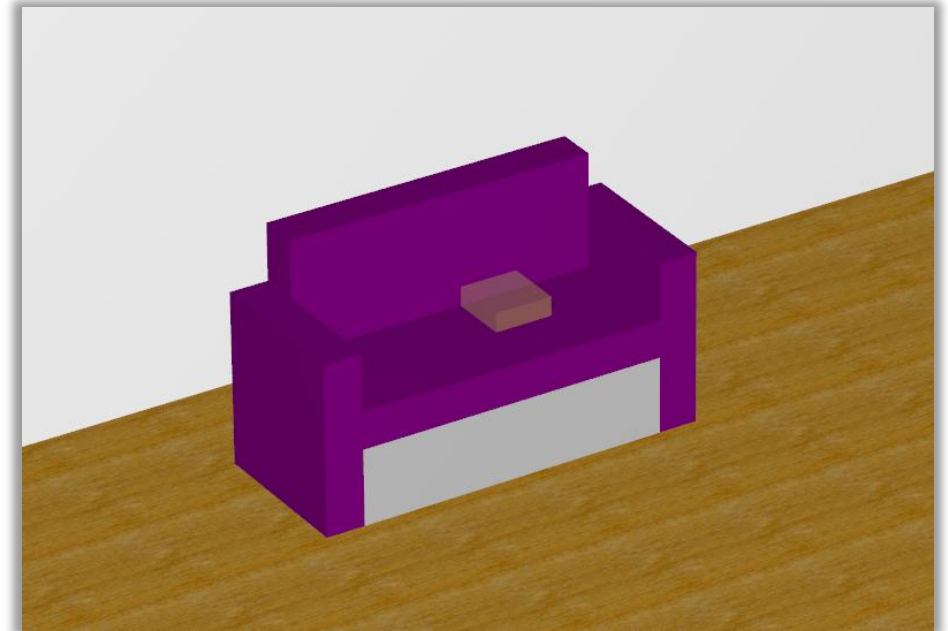
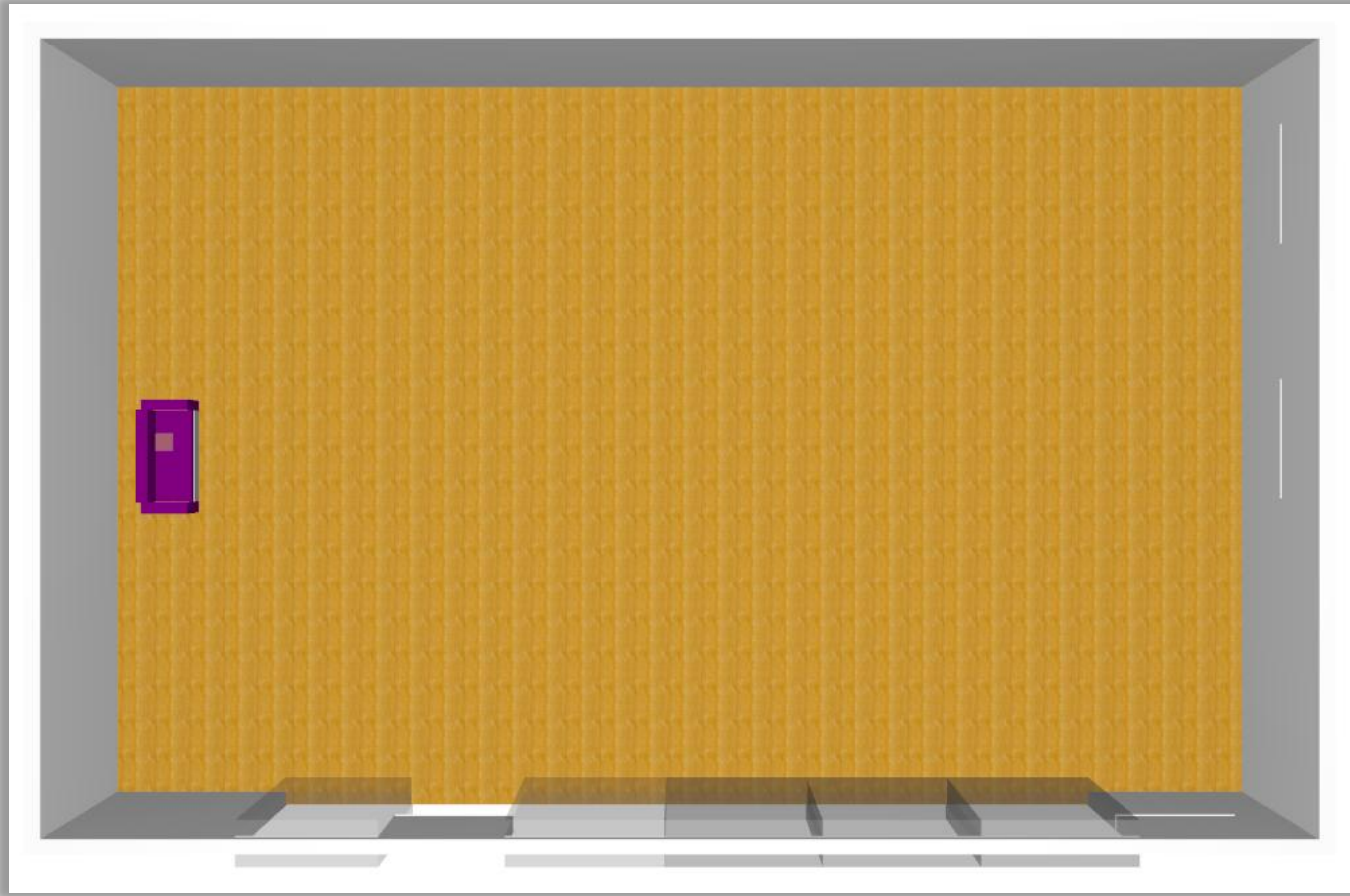
# Messe Dresden – Saal Hamburg

Vorgehen – Eingabe des Raumes



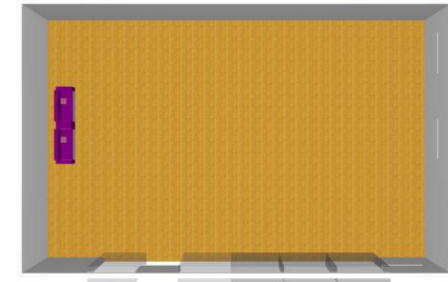
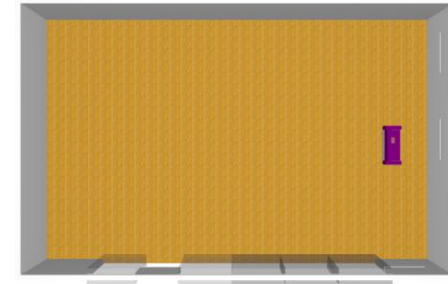
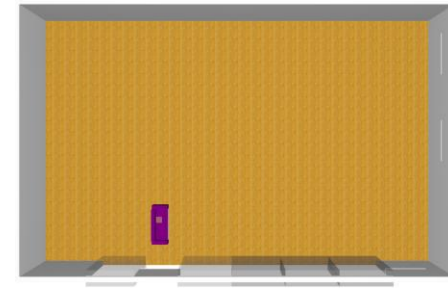
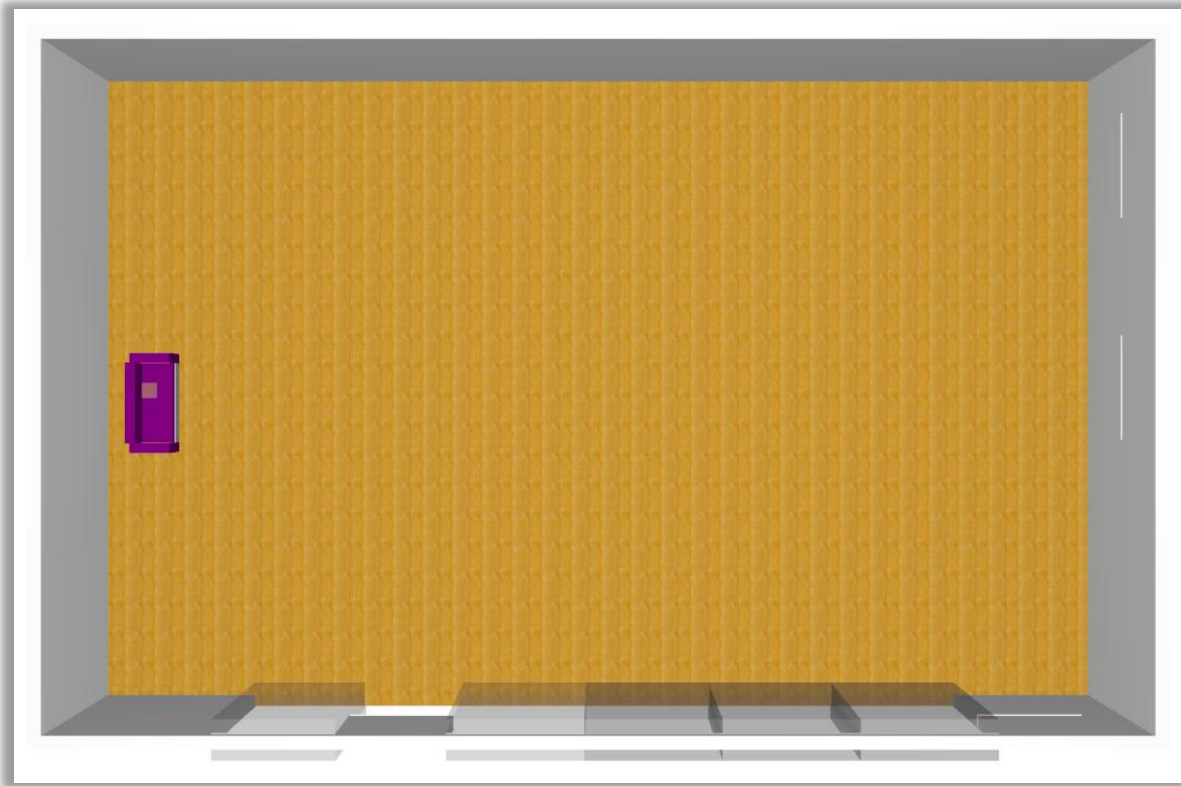
# Messe Dresden – Saal Hamburg

Vorgehen – Eingabe eines Brandes



# Messe Dresden – Saal Hamburg

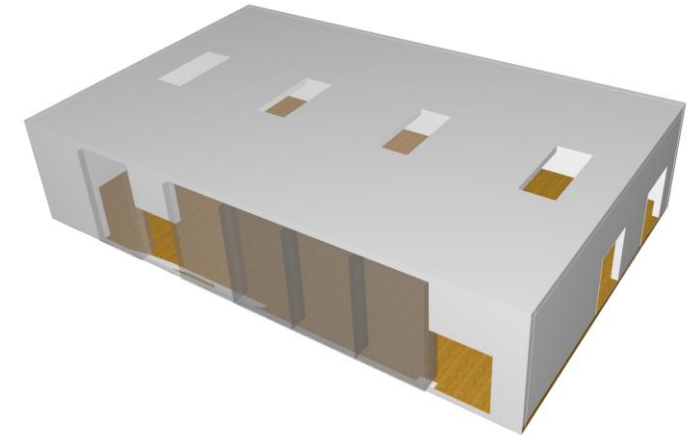
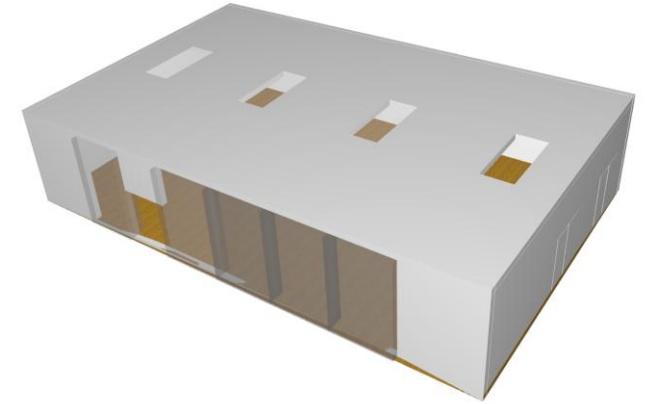
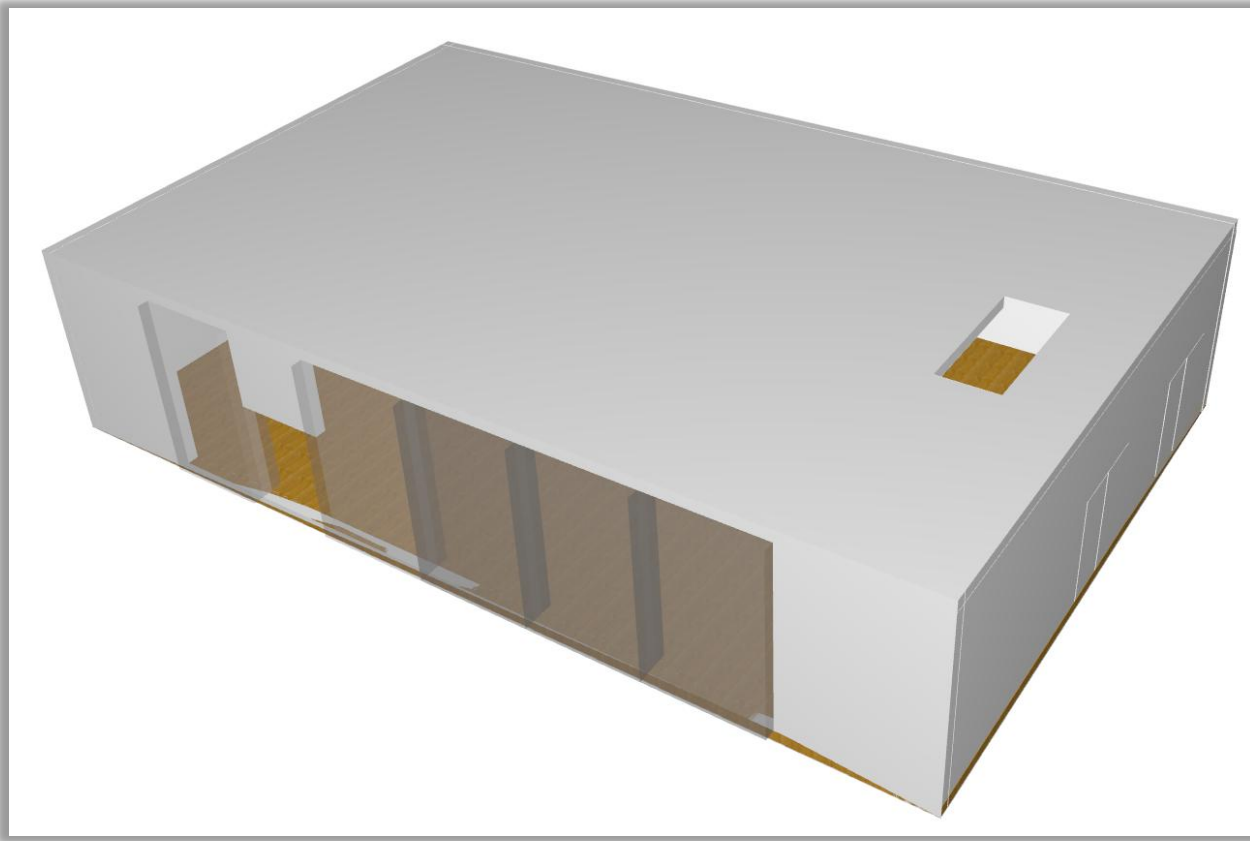
Vorgehen – Eingabe eines Brandes – Variationen



- Brandlast/Ventilation
- Ort
- Rauchausbeute

# Messe Dresden – Saal Hamburg

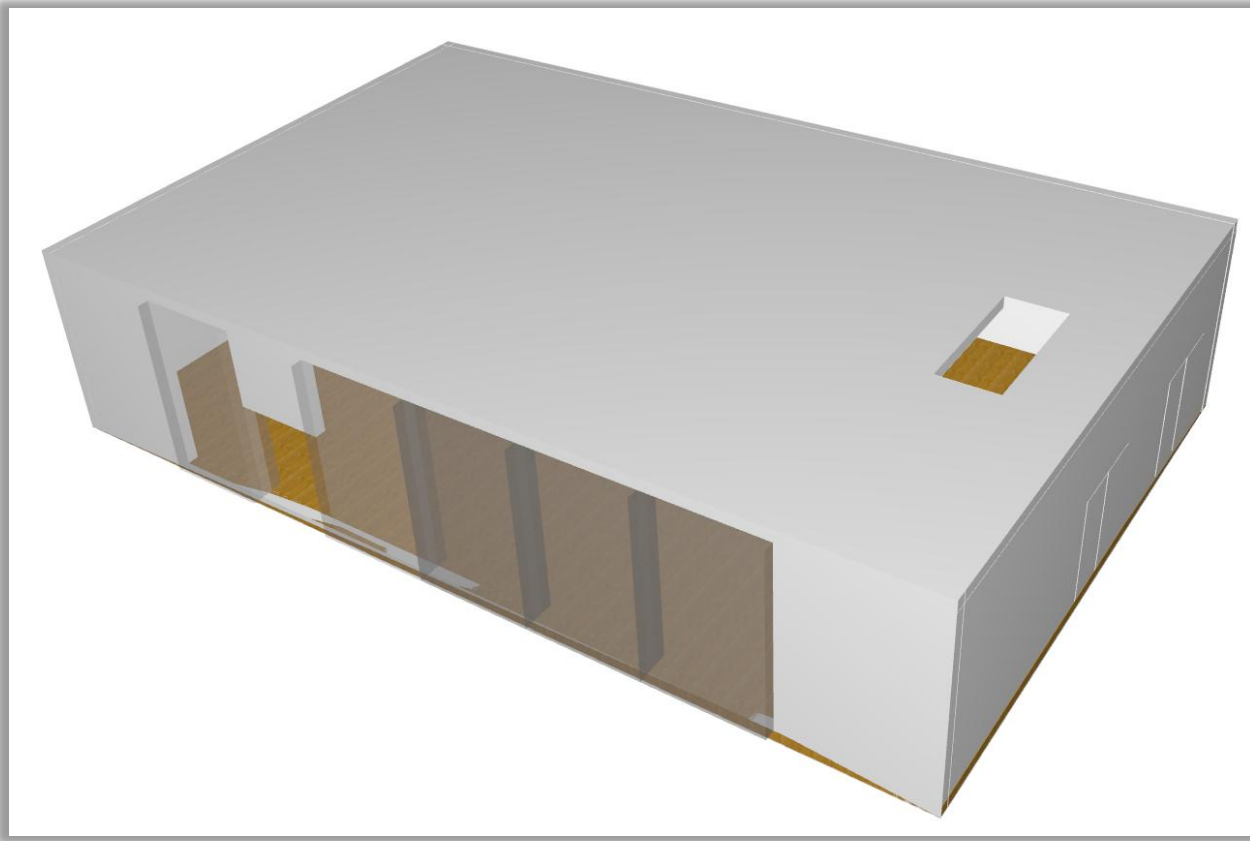
Vorgehen – Eingabe der Entrauchung – Variationen



- Rauchableitung
- Zuluft
- Ansteuerung/Auslösezeitpunkt

# Messe Dresden – Saal Hamburg

Vorgehen – Eingabe der Entrauchung – Variationen

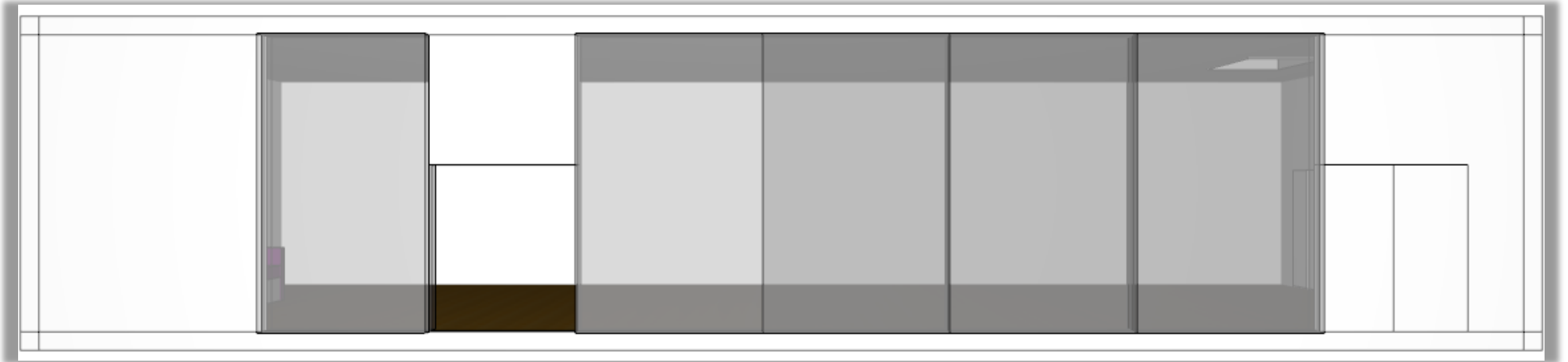


Weitere Einflüsse

- Umgebungstemperatur/  
Temperaturdifferenzen
- Anlagentechnik, insb. Sprinklerung
- Wind
- Luftdruck
- Beschaffenheit der  
Umfassungsbauteile
- ...

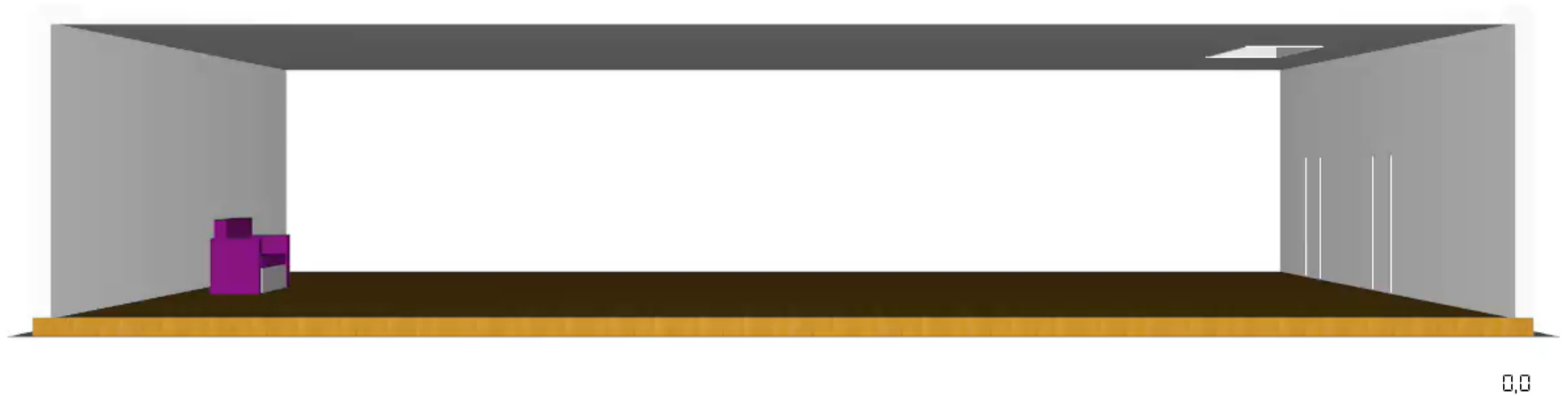
# Messe Dresden – Saal Hamburg

Ergebnisse - Perspektive



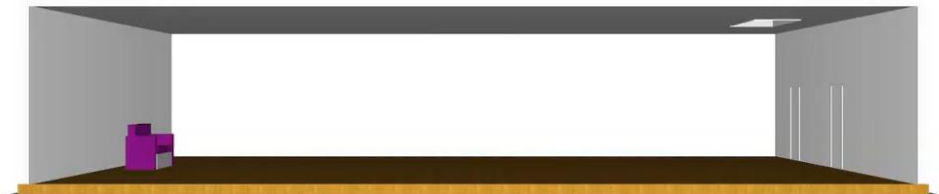
# Messe Dresden – Saal Hamburg

Ergebnisse – Rauchausbreitung qualitativ



# Messe Dresden – Saal Hamburg

## Ergebnisse – Rauchausbreitung qualitativ



- unterschiedliche Intensität des Rauches (nur Variation der optischen Einstellung)
  - qualitative Auswertung liefert keine messbaren Ergebnisse
- quantitative Auswertung erforderlich

0,0

# Messe Dresden – Saal Hamburg

Ergebnisse – mögliche Untersuchungen/Nachweise/Schutzziele

- Rettung von Menschen



- Durchführung wirksamer Löscharbeiten
- Rauchausbreitung in andere Räume
- Optimierung Rauchabzugsanlagen
- ...

# Messe Dresden – Saal Hamburg

Ergebnisse – Rauchausbreitung + Personenstromanalyse qualitativ



0,3

# Messe Dresden – Saal Hamburg

## Ergebnisse – Rauchausbreitung quantitativ

Tabelle 8.3 Beurteilungsgrößen und Anhaltswerte für quantitative Schutzziele

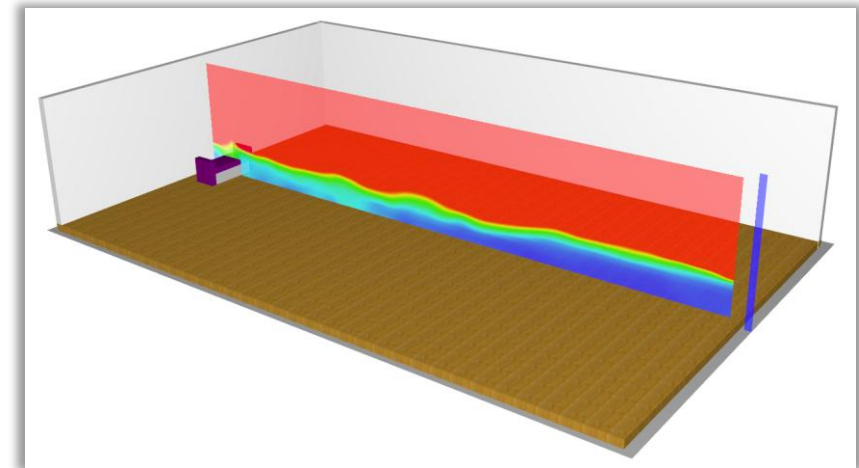
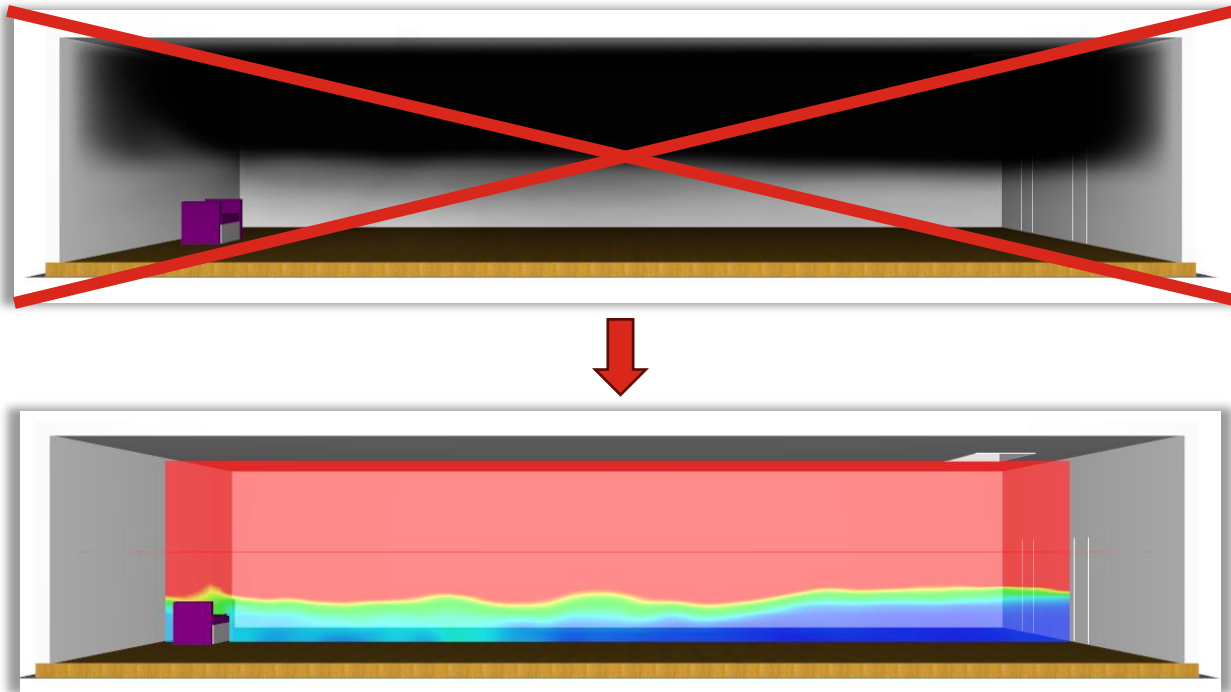
| Beurteilungsgröße                         | längere Aufenthaltsdauer (< 30 min) | mittlere Aufenthaltsdauer (ca. 15 min)                    | kurze Aufenthaltsdauer (< 5 min)                         |
|-------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 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                                              |

OD<sub>C</sub>  
(1/m)

0,2  
0,18  
0,16  
0,14  
0,12  
0,1  
0,08  
0,06  
0,04  
0,02  
0

# Messe Dresden – Saal Hamburg

Ergebnisse – Rauchausbreitung quantitativ

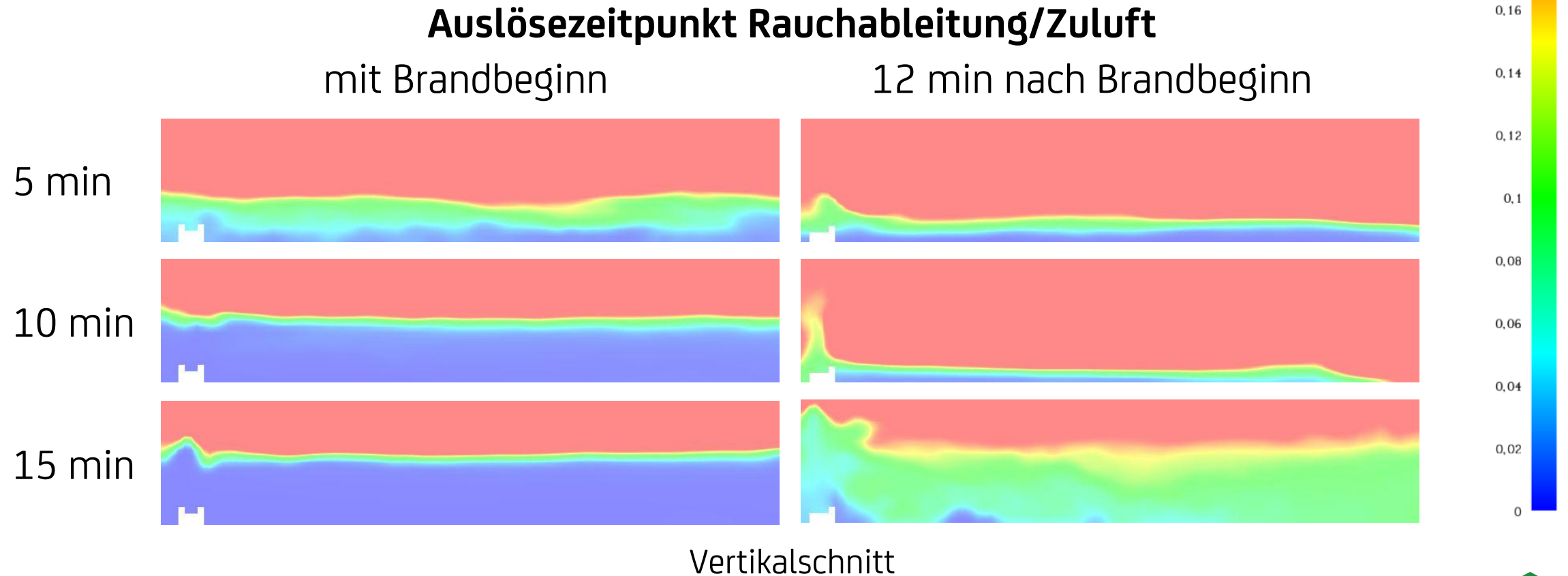


$\overline{OD}_C$   
(1/m)



# Messe Dresden – Saal Hamburg

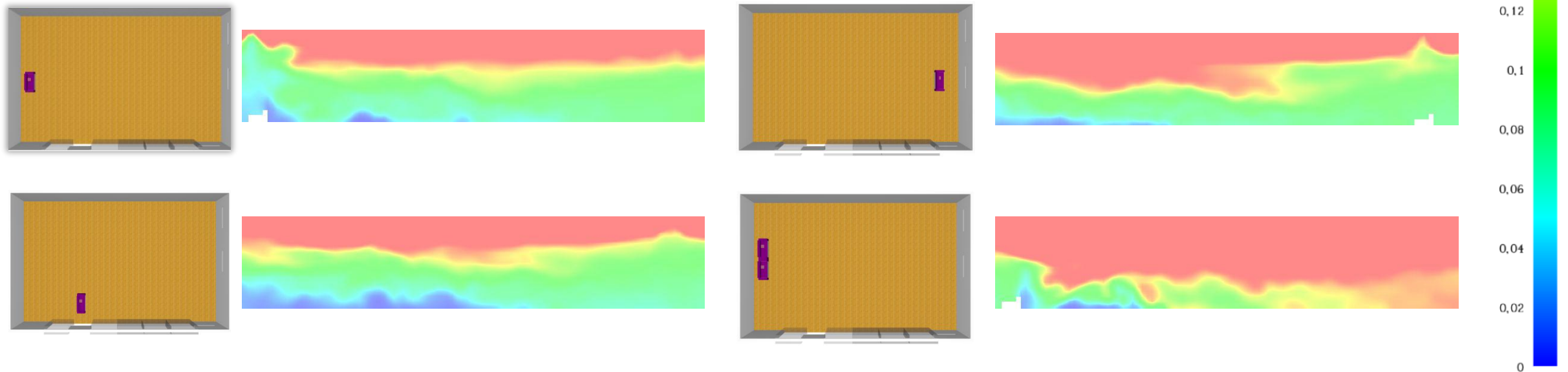
Ergebnisse – Rauchausbreitung quantitativ



# Messe Dresden – Saal Hamburg

Ergebnisse – Rauchausbreitung quantitativ

unterschiedliche Orte der Brandentstehung

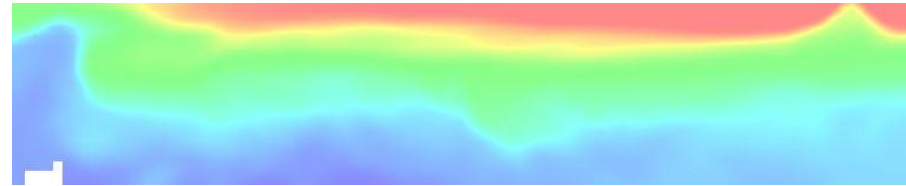


Vertikalschnitt 15 min nach Brandentstehung; Auslösung Rauchableitung/Zuluft nach 12 min

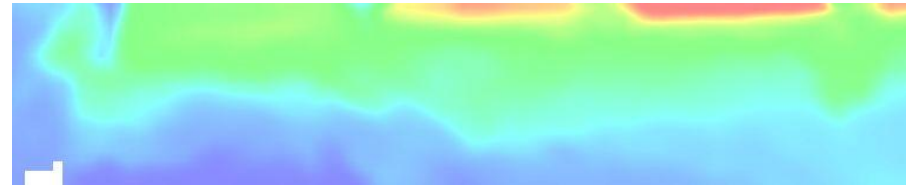
# Messe Dresden – Saal Hamburg

## Ergebnisse – Rauchausbreitung quantitativ

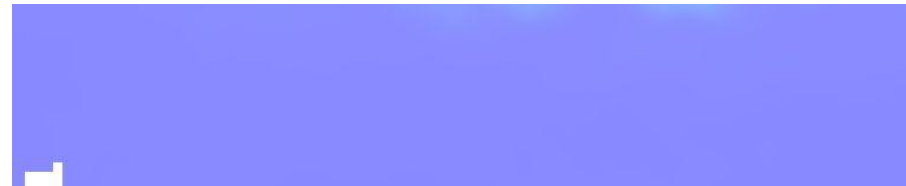
1 Öffnung zur Rauchleitung  
1 Zuluftöffnung



4 Öffnungen zur Rauchleitung  
1 Zuluftöffnung



4 Öffnungen zur Rauchleitung  
4 Zuluftöffnungen



OD<sub>C</sub>  
(1/m)

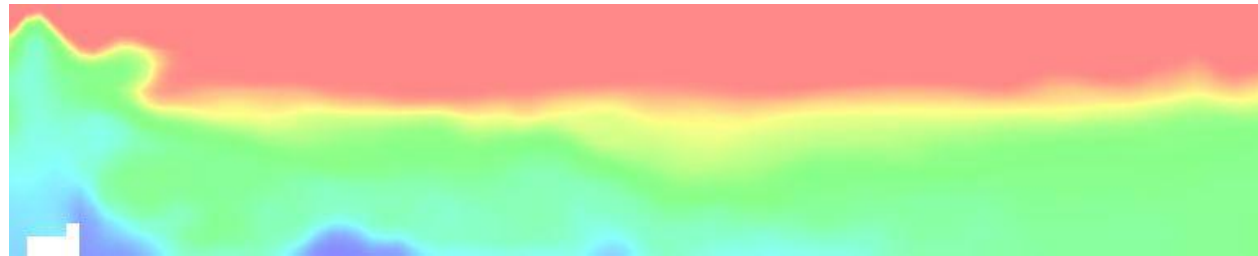
0,2  
0,18  
0,16  
0,14  
0,12  
0,1  
0,08  
0,06  
0,04  
0,02  
0

Vertikalschnitt 15 min nach Brandentstehung; Auslösung Rauchableitung/Zuluft nach 12 min

# Messe Dresden – Saal Hamburg

Ergebnisse – Rauchausbreitung quantitativ

Auslösung Zuluft  
nach 12 min



ohne Zuluft



$\overline{OD}_C$   
(1/m)

0,2  
0,18  
0,16  
0,14  
0,12  
0,1  
0,08  
0,06  
0,04  
0,02  
0

Vertikalschnitt 15 min nach Brandentstehung; Auslösung Rauchableitung nach 12 min

Zusammen-  
fassung

4

# Zusammenfassung

## Entrauchungssimulationen

### Potenziale

- Optimierung Rauchabzugsanlagen
- besondere Situationen, die von den Vorgaben der Bauordnung nicht abgedeckt sind
- Nachweis Schutzzieleinhaltung bei Abweichungen

### Herausforderungen

- Brandszenarien müssen festlegbar sein/ ggf. Nutzungseinschränkungen
- aufwendige Dokumentation/Prüfung
- Berechnungsdauer
- Ergebnisoffenheit

# 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 welche Zeitraum?
- Angesetzte Brandszenarien?
- Unabhängigkeit von äußeren Einflüssen (z. B. Wind, Temperatur)

# 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)
- Schutzzzielerreichung dazwischen ebenfalls sichergestellt
- Textliche Bestätigung Schutzzzielerreichung durch den Nachweisersteller vorhanden?
- Dokumentation vollständig?

# Imprint

hhpberlin  
Ingenieure für Brandschutz GmbH  
Otto Ostrowski Straße 5  
10249 Berlin  
Germany  
+49 (30) 89 59 55 0  
[servicedesk@hhpberlin.de](mailto:servicedesk@hhpberlin.de)  
<https://en.hhpberlin.de>

District Court Berlin-Charlottenburg  
Register no. : HRB 78 927  
VAT ID number: DE217656065

Managing Director:  
Gregor Dunkel, MSc. in Economics,  
Ing. Joep Bruins  
Britt Schuurs, MSc. in Economics  
Robert Wolff, MA in Business Economics

Authorized Representatives:  
Prof. Dr.-Ing. Jochen Zehfuß  
Dipl.-Ing. Andreas Dahlitz  
Dipl.-Ing. Dirk Kohmann

