

18. ANWENDERTREFFEN DER FDS USERGROUP

TAGUNGSBAND

ZUSAMMENSTELLUNG DER VORTRÄGE

Datum:

7. - 8.11.2024

Ort:

Berlin + Microsoft-Teams

Konferenz



INHALT**Vorträge 7.11.2024**

Modellierung der Brandausbreitung mit dem Scaling Pyrolysis (SPyro) Model Anna Troff	3
Entwicklung eines Leitfadens für die Festlegung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge Corinna Trettin, Patrick Lauer	13
Numerische Modellierung des Wärmetransfers von Gasbrennern auf vertikale Flächen Nicolas Hauke	27
Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln - Teil II: Anwendung zur Ermittlung eines Bemessungsbrandes für den Zwischendeckenbereich Jens Spille	41
Einfluss der Wohnungsabschlusstüren auf die Brandsicherheit von Treppenträumen in mehrgeschossigen Wohngebäuden Jannik Rose	57
Hydrogen jet fire modelling in FDS using Lagrangian particles Frank Merkert	79

INHALT**Vorträge 8.11. 2024**

PMMA pyrolysis simulation - from micro to real scale Tristan Hehnen	91
Influence of Local Vegetation on Fire Spread Mechanisms in Surface Fires Frederik Buhk	123
Simulation of a water mist curtain used as a radiation shield Bjarne Husted	137
Nachweise von Industriebauten mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens Jonny Dunger	155

Anna Troff:

Modellierung der Brandausbreitung mit dem Scaling Pyrolysis (SPyro) Model

Abstract:

Zusammenfassung

Als vereinfachtes Pyrolysemodell ist SPyro seit Version 6.9.0 in FDS implementiert. Es skaliert HRR-Kurven aus Cone Calorimeter Versuchen in Abhängigkeit vom Wärmefeedback auf die betreffende Oberfläche und die angegebene Materialdicke. In diesem Beitrag soll die Modellierung der Brandausbreitung mit dem SPyro Modell anhand von Anwendungen auf verschiedenen Skalen dargestellt werden. Die Simulationsergebnisse werden dabei anschließend mit entsprechenden Versuchsdaten verglichen.

Bestimmung Materialparameter für SPyro

Die für die Simulation benötigten Parameter (bsp. Ignition temperature, Heat of vaporization) wurden anhand von Cone Calorimeter Versuchen bestimmt. Dafür wurde das generalisierte Framework für inverse Modellierung PROPTI verwendet. [1] Als Material wurde schwarzes gegossenes PMMA untersucht.

Modellierung seitliche Brandausbreitung

Anhand der Testapparatur für seitliche Brandausbreitung nach ISO 5658-2 [2] wurde nun das optimierte Parameterset erprobt. In dieser Testapparatur wird die vertikal angebrachte Probe einem definiertem Strahlungswärmefluss ausgesetzt.

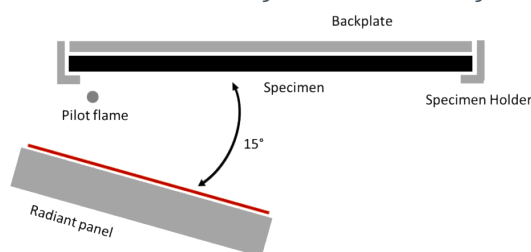


Figure 1. Schematische Darstellung der Testapparatur (nach ISO 5658-2 [2])

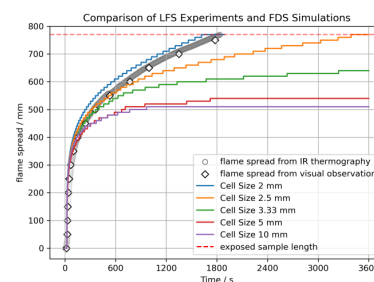


Figure 2. Vergleich zwischen Simulationsergebnissen und Experimentalwerten

Dabei werden Zeit der Entzündung, Länge der Brandausbreitung und Verlöschen der Probe dokumentiert.

In Abb. 2 ist der Vergleich zwischen Simulationen mit verschiedenen gewählten Gitterweiten und Messergebnissen von durchgeführten Experimenten abgebildet. Es ist erkennbar, dass die Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment mit kleinerer Gitterweite steigt.

Anwendung bei Experimenten in Eckanordnung

Im Rahmen des BESKID Projektes wurden weiterführende Experimente mit PMMA in Eckanordnung unter einem Furniture Calorimeter durchgeführt. Diese Versuchsanordnung wurde ebenfalls in FDS modelliert und unter Verwendung des SPyro Modells in verschiedenen Simulationen untersucht. Dabei wurde eine starke Abhängigkeit der Ergebnisübereinstimmung von der Gitterweite, aber auch von anderen Faktoren (bzw. Größe des Wärmefeedback) festgestellt.

[1] L. Arnold; T. Hehnen; P. Lauer; C. Trettin; A. Vinayak (2019): Application cases of inverse modelling with the PROPTI framework. Fire Safety Journal. 108. 102835. 10.1016/j.firesaf.2019.102835.

[2] ISO 5658-2 - 2006-09: Reaction to fire tests - Spread of flame - Part 2: Lateral spread on building and transport products in vertical configuration.



**Modellierung der
Brandausbreitung mit dem
Scaling Pyrolysis (SPyro) Model**

Anna Troff, Manuel Osburg
Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

07.11.2024 www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig



Gliederung



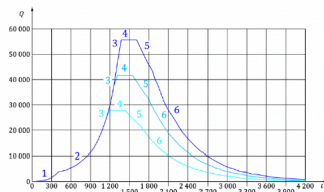
1. Einführung Modell SPyro
2. Modellierung standardisierter Versuchsaufbau nach ISO 5658-2
 - Bestimmung Materialparameter
 - Modellierung Versuchsgeometrie
 - Vergleich mit Experimentaldaten
3. Modellierung Versuche Raumeckanordnung
4. Ausblick Beskid Projekt

Modelle für die Brandausbreitungsprognose



Vorgegebener Verlauf

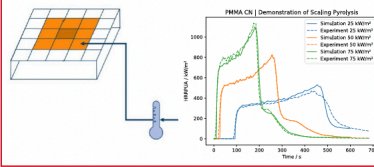
- Vollständig vorgegebener Verlauf
- Brandausbreitung ist ausschließlich zeitabhängig
- Keine Individualität
- Keine Prognose der Brandausbreitung
- Ermittelte Brandwirkungen werden oft überschätzt



07.11.2024

Simple Pyrolysis

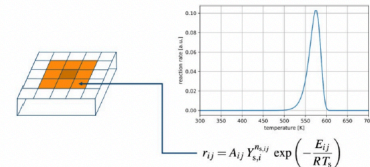
- Spezifische HRR-Kurve stammt aus Experimenten (Cone Calorimeter)
- Zündtemperatur startet HRR-Kurve
- Nach Zündung findet keine Rückkopplung mit der Umgebung statt
- Lokaler Abbrand bleibt unbeeinflusst
- Neuer Ansatz: *Scaling the Burning Rate by the Heat Flux*



www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

Complex Pyrolysis

- Pyrolyse folgt dem reaktionskinetischen Arrhenius-Ansatz
- Kontinuierliche Wechselwirkung mit der Umgebung
- Inverse, komplexe und aufwändige Modellierung, da keine Vorgabe messbarer Brandparameter
- hoher Rechenaufwand



3

Scaling the Burning Rate by the Heat Flux

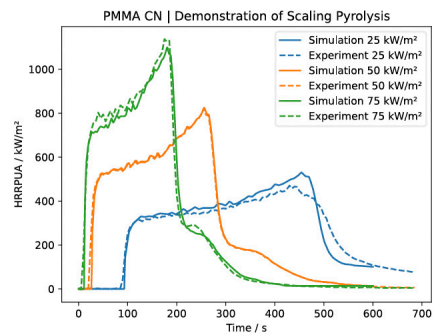
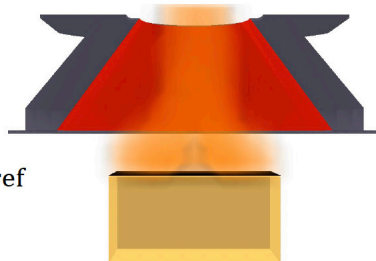


$$\dot{q}''_{ref} = \dot{q}''_{cone}(1 - \Gamma) + \dot{q}''_{flame} \rightarrow \text{Experiment}$$

$$\dot{q}''_{net} = \dot{q}''_{FDS,inc} + \dot{q}''_{FDS,c} \rightarrow \text{Simulation}$$

$$\dot{Q}'' = \frac{\dot{q}''_{net}}{\dot{q}''_{ref}} \dot{Q}''_{ref}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta}{\Delta_{ref}} \frac{\dot{q}''_{ref}}{\dot{q}''_{net}} \Delta t_{ref}$$

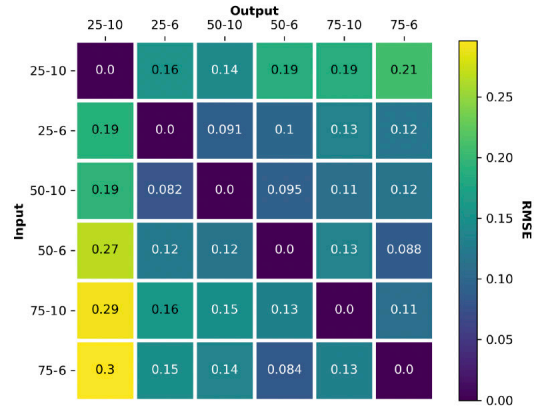
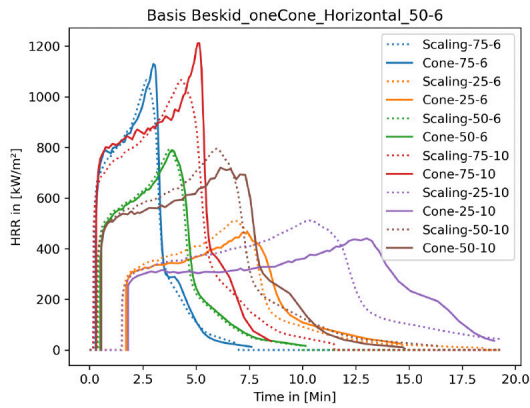


07.11.2024

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

4

SPyro: Scaling the Burning Rate by the Heat Flux



07.11.2024

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

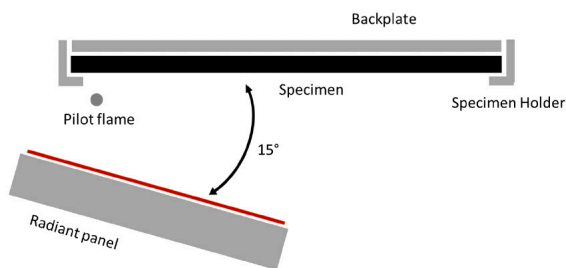
5

Modellierung standardisierter Versuchsaufbau



Am standardisierten Versuchsaufbau:

- Seitliche Flammenausbreitung in vertikaler Anordnung aus ISO 5658-2 [1]
- Heizpanel im Winkel von 15°



07.11.2024

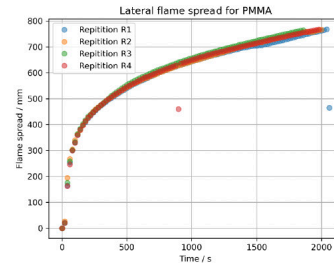
www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

6

Verwendete Experimentaldaten



- ISO 5658-2 Experimente im April 2024 mit schwarzem gegossenem PMMA in 6mm Dicke
- Die Flammenposition wurde aus Thermographie-Daten bestimmt (Forschungszentrum Jülich)
- Brandausbreitung über die gesamte Probenbreite



07.11.2024

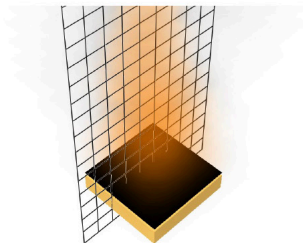
www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

7

Parameter Optimierung SPyro



Beziehungen	Heat fluxes	Optimierungs Parameter
Heat Release Rate	25,50,75	Ignition temperature
Ignition times	25,50,75	Heat of vaporization
Front temperatures during flaming [4]	25,50,75	Conductivity
Backside temperatures	50	Heat capacity
		Emissivity



07.11.2024

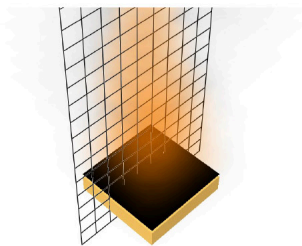
www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

8

Parameter Optimierung SPyro



Beziehungen	Heat fluxes	Optimierungs Parameter
Heat Release Rate	25,50,75	Ignition temperature
Ignition times	25,50,75	Heat of vaporization
Front temperatures during flaming [4]	25,50,75	Conductivity } Aus Literaturdaten [5] Heat capacity } Emissivity }
Backside temperatures	50	



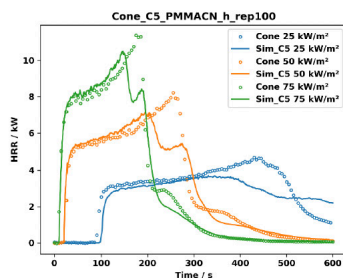
- Parameteroptimierung durch inverse Modellierung mit PROPTI [2]
- Verwendung C3 Cone Geometrie

Optimierungsergebnisse

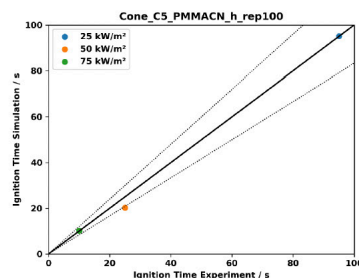


Anzahl der Optimierungsschritte: 120
 Parameter mit bester Übereinstimmung: Ignition temperature 341°C
 Heat of vaporization 2038 kJ/kg

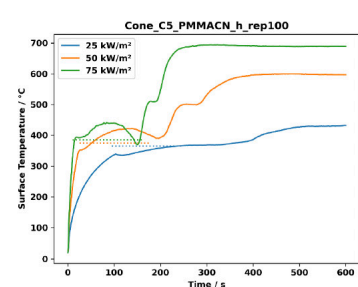
Heat Release Rate



Ignition time



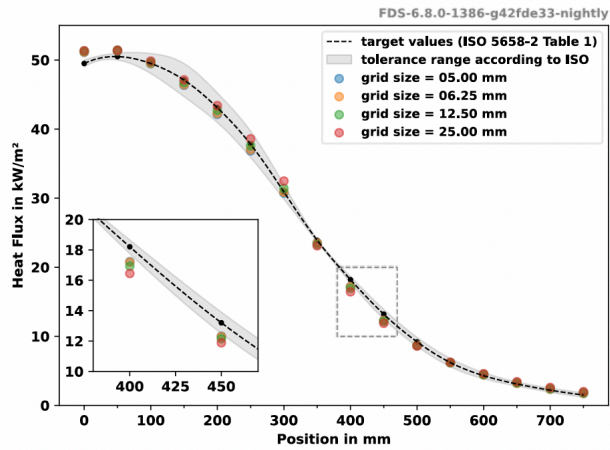
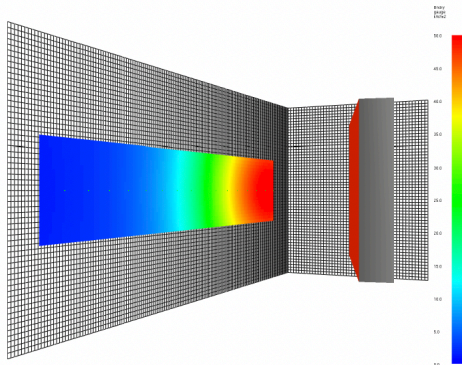
Front temperature during flaming



Modellierung Geometrie



- mit &GEOM geneigte Obstruction
- Bestimmung der Heizertemperatur durch inverse Modellierung



07.11.2024

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

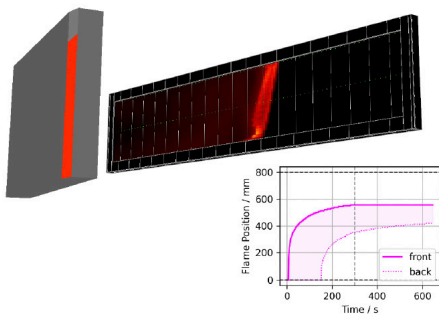
11

Vereinfachte Geometrie



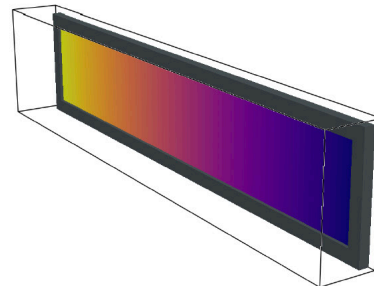
Validation Geometry:

- Gitterweiten ≥ 5 mm keine selbstständige Brandweiterleitung
- Kleinere Gitterweiten nicht realisierbar mit vorhandener Rechenleistung



Simplified Geometry:

- Direkte Anwendung des external flux auf Abschnitt der Probenoberfläche
- Verringerung der Domaingröße und Rechenzeit
- Selbstständige Brandweiterleitung ≤ 2.5 mm Gitterweite



07.11.2024

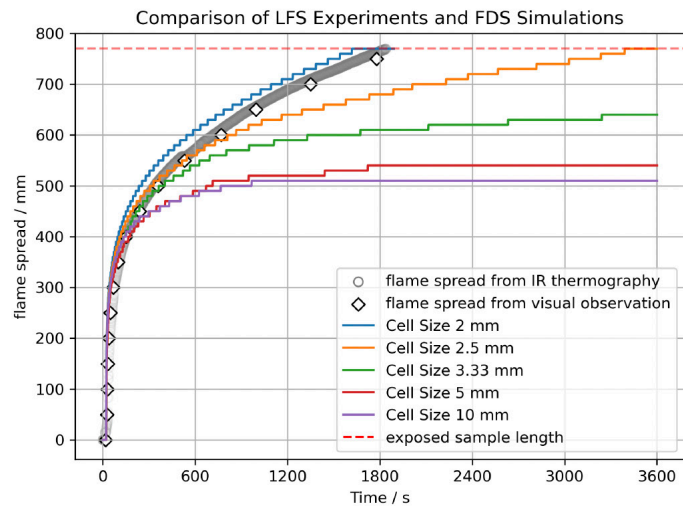
www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

12

Vergleich mit Experimentaldaten



- Weitere Flammenausbreitung mit geringerer Gitterweite
- Mit Gitterweite unter ≤ 2.5 mm Brandausbreitung über gesamte Probenlänge
- Ergebnisse mit Gitterweite 2.0 mm vergleichbar mit Experimentaldaten

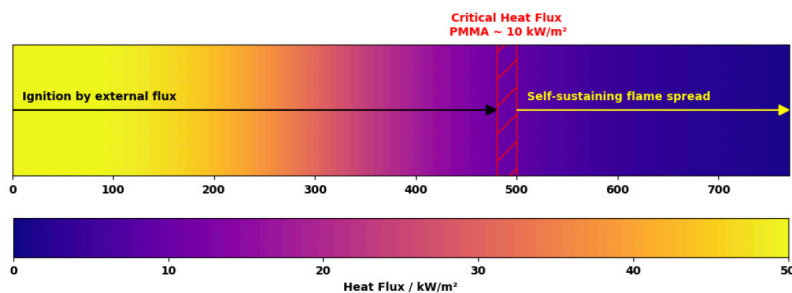


07.11.2024

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

13

Zusammenfassung



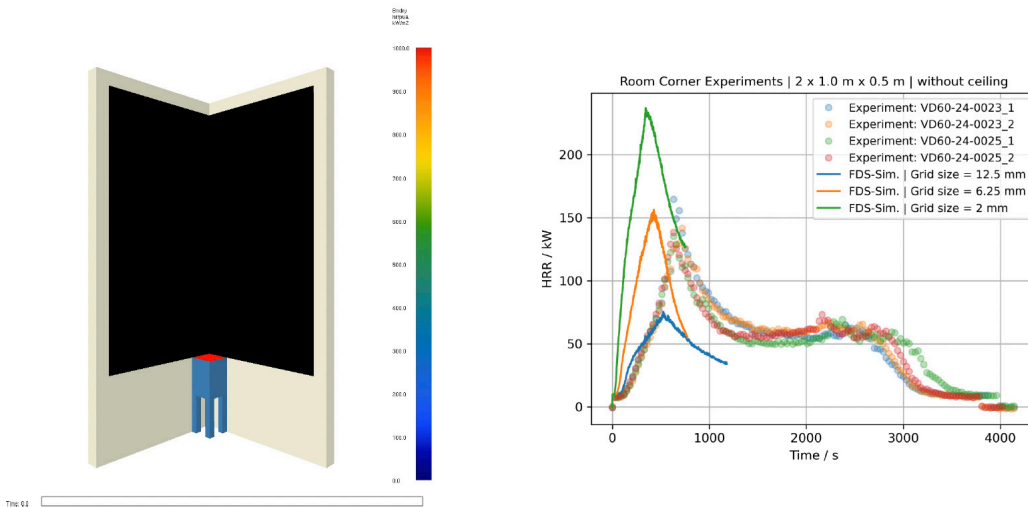
- In diesem Versuchsaufbau hat die Gitterweite einen Großen Einfluss auf die simulierte Brandausbreitung.
- Mit einer Gitterweite von 2.0 mm Vergleichbare Brandausbreitung zwischen Experiment und Simulation.
- Zu prüfen, ob bei geringeren Gitterweiten schnellere Brandausbreitung als in Experiment.

07.11.2024

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

14

Größere Skala „Room Corner Experimente“

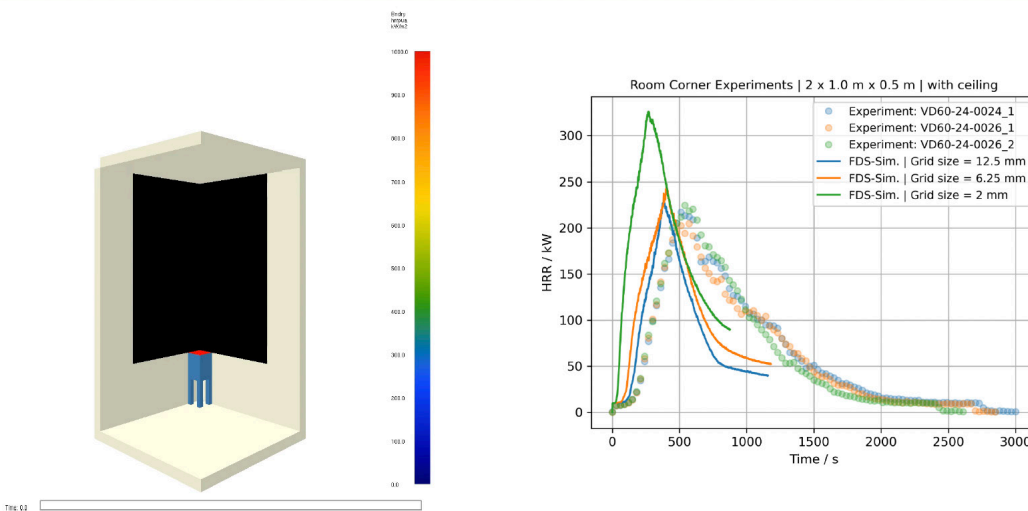


07.11.2024

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

15

Größere Skala „Room Corner Experimente“



07.11.2024

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

16

Ausblick



- Vergleich zwischen Simple und Complex Pyrolysis Ansätzen
- Erproben verschiedene Methoden der Parameterbestimmung (Literaturwerte vs. Effektive Parameter)
- Sensitivitätsanalyse der Materialparameter
- Einfluss Cone Prüfung in Horizontaler und Vertikaler Orientierung
- Experimente und Simulationen mit weiteren Materialien
- Erprobung von Anwendung bei Erstellung von Bemessungsbränden in Schienenfahrzeugen

07.11.2024

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

17

Sources and Supporters



- [1] ISO 5658-2 – 2006-09: Reaction to fire tests – Spread of flame – Part 2: Lateral spread on building and transport products in vertical configuration.
- [2] L. Arnold; T. Hehnen; P. Lauer; C. Trettin; A. Vinayak (2019): Application cases of inverse modelling with the PROPTI framework. Fire Safety Journal. 108. 102835. 10.1016/j.firesaf.2019.102835.
- [3] T. Hehnen; L. Arnold (2023): PMMA pyrolysis simulation – from micro- to real-scale. Fire Safety Journal. 141. 103926. 10.1016/j.firesaf.2023.103926.
- [4] Rhodes, B. T., & Quintiere, J. G. (1996). Burning rate and flame heat flux for PMMA in a cone calorimeter. Fire Safety Journal, 26(3), 221-240.
- [5] FDS Validation Case: NIST_NRC_Parallel_Panels.
https://github.com/firemodels/fds/blob/master/Validation/NIST_NRC_Parallel_Panels/FDS_Input_Files/PMMA_60_kW_1_cm.fds (last checked: 13.06.2024)

SPONSORED BY THE



Federal Ministry
of Education
and Research

Verein zur Förderung von
Ingenieurmethoden
im Brandschutz **VB**



JÜLICH
Forschungszentrum

07.11.2024

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

18

Corinna Trettin, Patrick Lauer:

Aspekte bei der Entwicklung eines Leitfadens für die Festlegung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge

Abstract:

Als Randbedingung für die Beurteilung der Räumung von unterirdischen Bahnhöfen ist eine Rauch- und Wärmequelle zu berücksichtigen. Üblicherweise und normativ wird hierbei das Szenario eines brennenden Schienenfahrzeugs betrachtet. Eine Möglichkeit, die Rauch- und Wärmefreisetzung eines brennenden Schienenfahrzeugs zu bestimmen, ist die Modellierung der Brandausbreitung in einem Fahrzeug mittels CFD-Simulation. Die Anzahl der Freiheitsgrade bei der Durchführung einer solchen Simulation ist hoch, die Varianz der Ergebnisse dementsprechend. In diesem Vortrag werden die Grundzüge eines Leitfadens zur Ermittlung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge vorgestellt. Die Anforderungen an Methoden, Modelle und Materialuntersuchungen werden diskutiert. Die wichtigen Themen Qualitätssicherung und Dokumentation werden diskutiert. Abschließend werden die Zwischenergebnisse des Forschungsprojektes BESKID, in dessen Rahmen dieser Leitfaden erarbeitet wird, vorgestellt, insbesondere zum Thema der Pyrolysemodellierung.

Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge



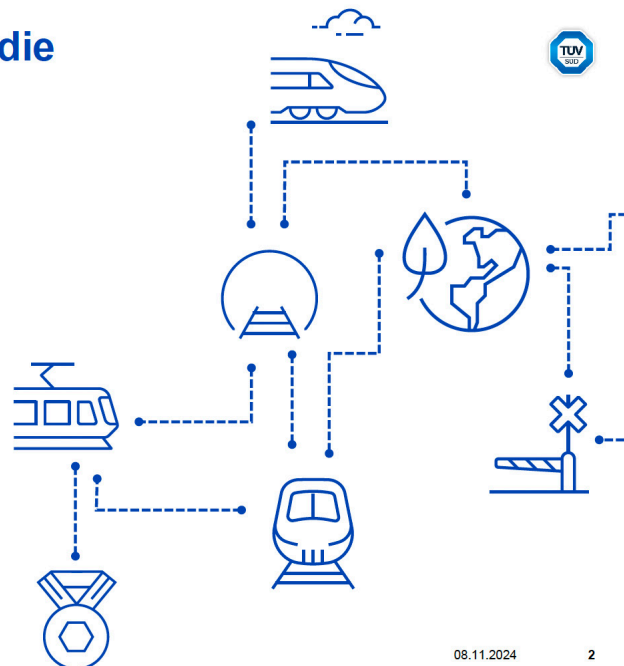
FDS Anwendertreffen

Berlin, 08.11.2024

Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.

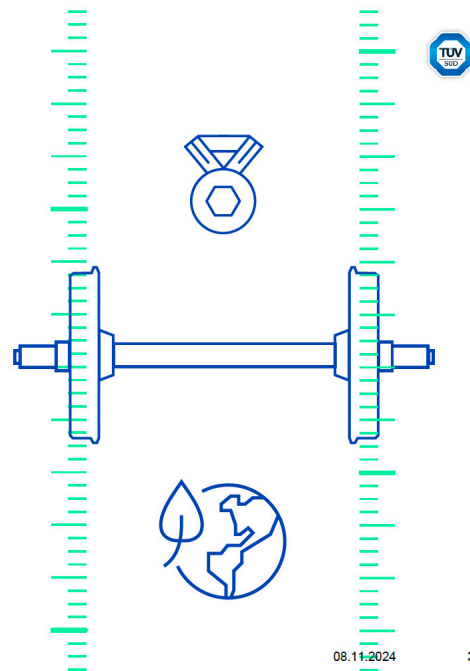
Unsere Dienstleistungen für die Bahnindustrie

- TÜV SÜD unterstützt Bahnhersteller, -betreiber und -behörden mit einem **umfassenden Portfolio an Prüf-, Test-, und Zertifizierungsdienstleistungen**
- Unsere Kompetenzen in den Bereichen **konventionelle Bahnen, Hochgeschwindigkeitszüge, Stadtbahnen und U-Bahnen** beruhen auf langjähriger Erfahrung.
- Wir arbeiten an **globalen Eisenbahnprojekten** und kooperieren mit Eisenbahnbehörden und Interessengruppen auf der ganzen Welt.



Mit TÜV SÜD die Zukunft sicher gestalten

- Hersteller und Betreiber erhalten ein umfassendes Leistungsportfolio an **Inspektions-, Prüf- und Zertifizierungsdienstleistungen**
- Wir verfügen über Kompetenz und langjährige Erfahrung in der Sicherheitsbewertung von **Hochgeschwindigkeits- und konventionellen Bahnsystemen, Metros und Stadtbahnen**
- Wir verfügen in allen wichtigen Märkten der Welt über ein **zuverlässiges Netzwerk internationaler und lokaler Experten**



Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge

08.11.2024

3

Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge



01 Hintergrund

02 Anforderungen an Methoden, Modelle und Materialuntersuchungen

Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge

08.11.2024

4

Hintergrund

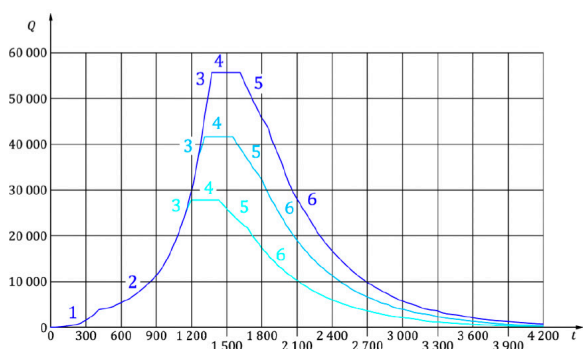


- Brandschutzanforderungen für Bauwerke in der Infrastruktur (Tunnel, Station...) ergeben sich u. a. aus den EBA-Regelwerken, der TRStrab BS und der DIN 5647.
- Bauwerke müssen so geplant, gebaut und betrieben werden, dass ... im Brandfall die Möglichkeit zur Selbst- und Fremdrerettung von Personen sowie zur Brandbekämpfung besteht.
- Zur Nachweisführung kommen u. a. Brandsimulationen unter Zugrundelegung eines Fahrzeug-Bemessungsbrandes zum Einsatz.
 - Theoretischer Brandverlauf, jedoch möglich, der durch die Wärmefreisetzungsrate definiert ist
- Anforderungen an die Methodik zur Erarbeitung von Fahrzeug-Bemessungsbränden ergeben sich aus der TRStrab BS und der DIN 5647

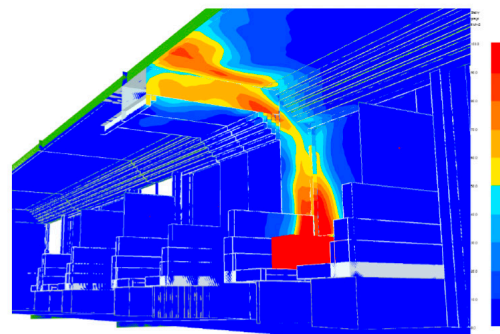
Hintergrund



- Normativer Bemessungsbrand



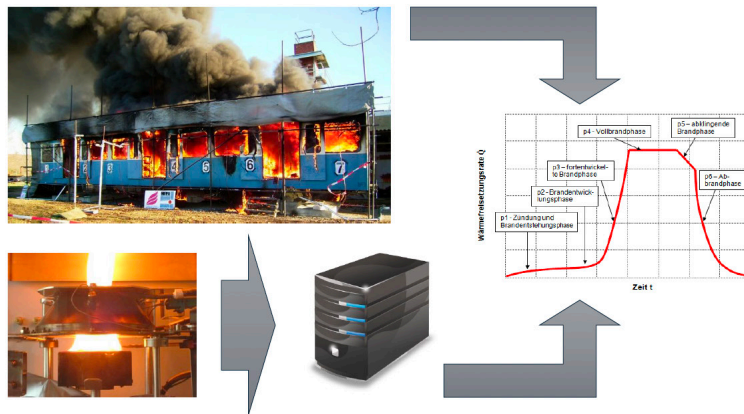
- Individueller Bemessungsbrand



Individueller Bemessungsbrand



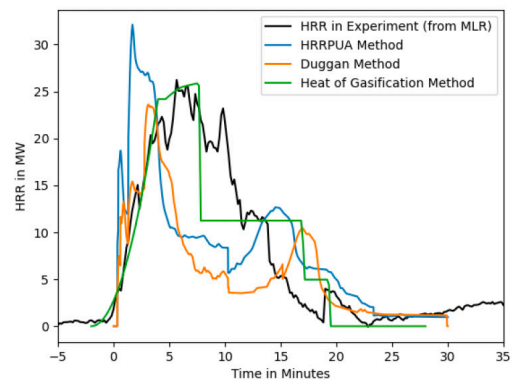
- Kapitel 6.3.3.3.2 DIN 5647:
- „...“
- (1) Fahrzeug-Brandversuche,
- (2) Brandsimulation des Fahrzeuges auf der Grundlage von Materialprüfungen
- oder (3) Berechnungsverfahren unter Berücksichtigung von Materialdaten...“



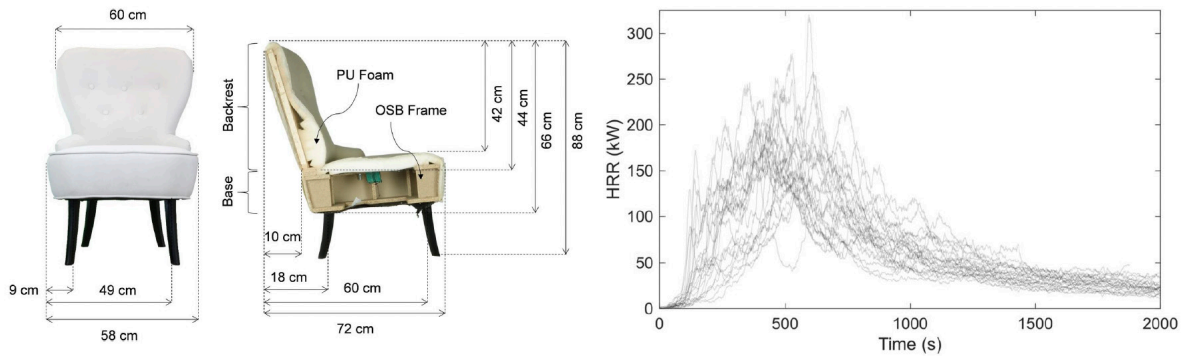
Vereinfachtes Rechenverfahren



www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig



Reproduzierbarkeit von Brandversuchen



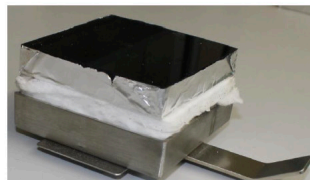
Morrisset, D., Reep, J., Ojwang, I. et al. Repeat Fire Tests of Upholstered Furniture: Variability and Experimental Observations. *Fire Technol* 60, 1453–1476 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10694-023-01523-3>

Faustregel: Drei Wiederholungen sind oft das Minimum, um eine erste Einschätzung der Reproduzierbarkeit eines Ergebnisses zu erhalten. In vielen wissenschaftlichen Bereichen wird eine höhere Anzahl bevorzugt (z. B. 10 oder mehr), insbesondere wenn große Streuungen vorliegen.

Brandsimulation

„...(2) Brandsimulation des Fahrzeuges auf der Grundlage von Materialprüfungen...“

Cone
Calorimeter



Thermo-
gravimetrische
Analyse TGA



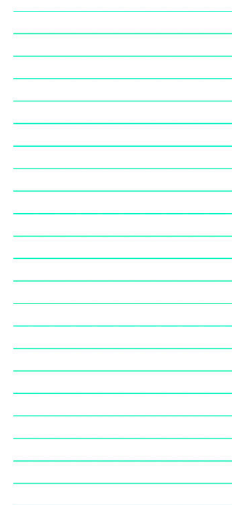
Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge



01	Hintergrund
02	Anforderungen an Methoden, Modelle und Materialuntersuchungen



Anforderungen an Methoden, Modelle und Materialuntersuchungen



Prozess zur Erarbeitung eines individuellen Bemessungsbrandes



Vorbereitung




- Festlegen des zu modellierenden Systems
- Auswahl des Modells
- Brandrisikoanalyse
- Festlegen der Bewertungskriterien
- Festlegen der Szenarien

Durchführung



- Materialuntersuchung und Parameterermittlung
- Modell- und Geometrieerstellung
- Simulation

Bewertung



- Validierung
- Plausibilitätsprüfung
- Erstellung umhüllender Bemessungsbrandkurve
- Dokumentation

Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge

08.11.2024

13

Durchführung



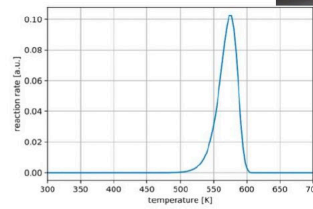
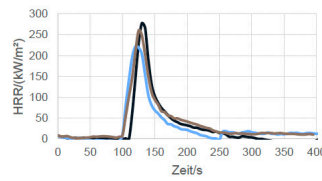
Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge

08.11.2024

14

Durchführung Materialuntersuchung

- Auf Grundlage der Brandrisikoanalyse werden die großflächig exponierten Materialien im Fahrzeug identifiziert
- brennbare Materialien
 - Prüfung bei verschiedenen Bestrahlungsstärken im Cone Calorimeter nach ISO 5660-1 oder TGA
 - Ermittlung von Wärmefreisetzungsrate, Zündzeitpunkt, Rauch-, CO₂ und CO-Entstehungsraten bzw. Reaktionsrate
 - Ermittlung der Zündtemperatur über inverse Modellierung der Zündzeitpunkte bei versch. Bestrahlungsstärken bzw. Pyrolyse-Parameter
- nicht brennbare Materialien
 - Wärmesenken und Isolatoren mit thermischen Eigenschaften aus Tabellenwerken und Datenblättern



Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge

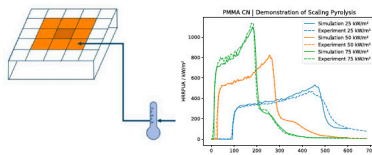
Durchführung Modell und Geometrieerstellung

Durchführung Pyrolyse Modell



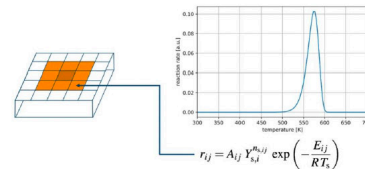
Simple Pyrolysis

- Spezifische HRR-Kurve stammt aus Experimenten (Cone Calorimeter)
- Zündtemperatur startet HRR-Kurve
- Nach Zündung findet keine Rückkopplung mit der Umgebung statt
- Lokaler Abbrand bleibt unbeeinflusst

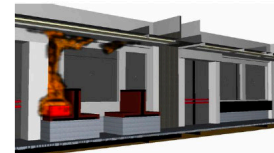


Complex Pyrolysis

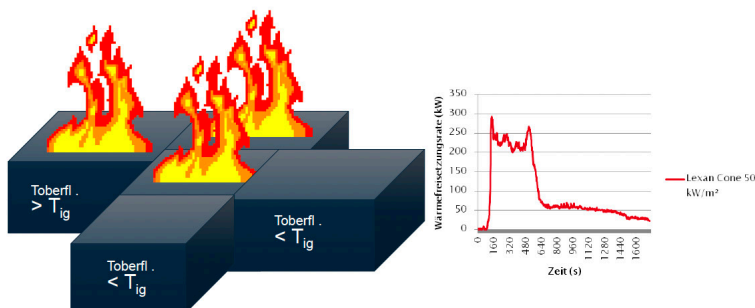
- Pyrolyse folgt dem reaktions-kinetischen Arrhenius-Ansatz
- Kontinuierliche Wechselwirkung mit der Umgebung
- Inverse, komplexe und aufwändige Modellierung, da keine Vorgabe messbarer Brandparameter
- hoher Rechenaufwand



Durchführung Simulation der Brandausbreitung

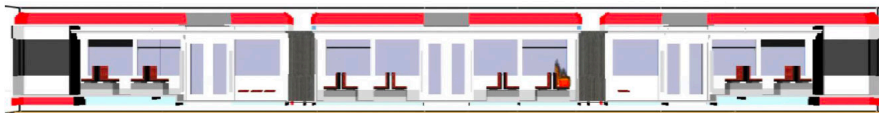


- Bestimmung des zeitlichen Verlaufs der Wärmefreisetzungsraten als Funktion der individuellen Fahrzeugspezifikationen und des Entzündungs- und Abbrandverhaltens der primären Konstruktionsmaterialien ausgehend von einem Zündinitial
- Bestimmung der resultierenden Gesamtwärmefreisetzung und der Rauchgasentstehungsanteile (CO₂, CO, Ruß) als Ergebnis der individuell aus Materialprüfungen ermittelten Eigenschaften

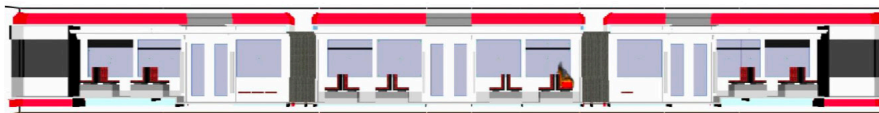


Durchführung Simulation der Brandausbreitung

- Zug mit thermisch stabilen Fenster



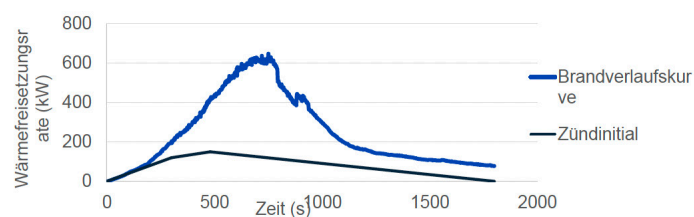
- Zug mit thermisch instabilen Fenster



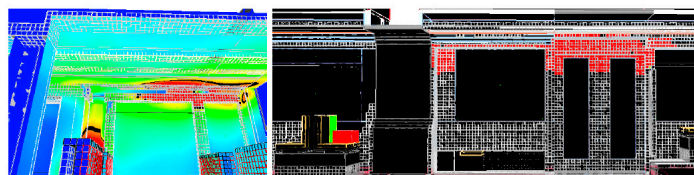
Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge

Durchführung Ergebnis

Brandverlauf als
Wärmefrei-
setzungsrate



Kenngößen



Wandtemperatur

Abbrandrate

Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge

Fahrzeugbemessungsbrand Einflussgrößen



- Brennbarkeit
- Hazard Level
- Flächenanteile
- Wärmefreisetzung
- Rauchfreisetzung

Werkstoffe /
Komponenten

Zündinitial

Geometrie /
Konstruktion /
Anlagentechnik

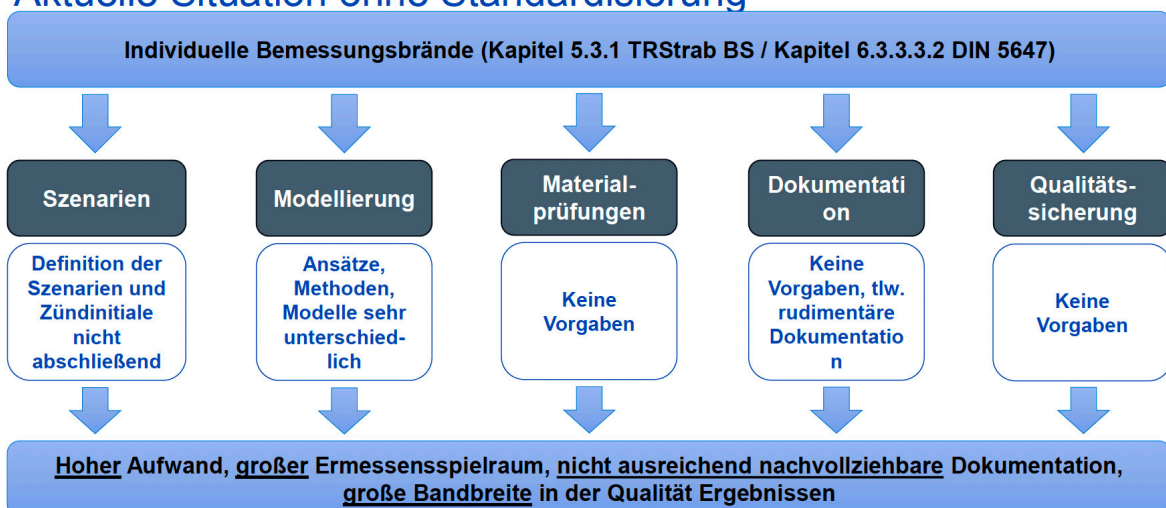
Simulations-
modell

Bemessungs-
brand

- Abmessungen
- Verglasung
- Lüftungsanlage
- Löschanlage

- Vereinfachte Methoden
- Brandsimulationen
- Brandversuche

Fahrzeugbemessungsbrand Aktuelle Situation ohne Standardisierung



Verbundprojekt BESKID



BEmessungsbrandsimulationen in Schienenfahrzeugen
mittels KI-basierter Daten (BESKID)

Verbundpartner:

- Bergische Universität Wuppertal (zwei Lehrstühle)
- Forschungszentrum Jülich
- TÜV SÜD Rail GmbH
- Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig



Gefördert vom BMBF im Rahmen der Bekanntmachung
„Künstliche Intelligenz in der zivilen Sicherheitsforschung II“

Förderzeitraum: Oktober 2022 bis September 2025

Förderkennzeichen: 13N16390 bis 13N16393

Gesamtzuwendung: 2,2 Mio. Euro

<https://www.beskid-projekt.de/de>

Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

08.11.2024

23

Leitfaden zur Erarbeitung individueller Bemessungsbrände für städtische Schienenbahnen



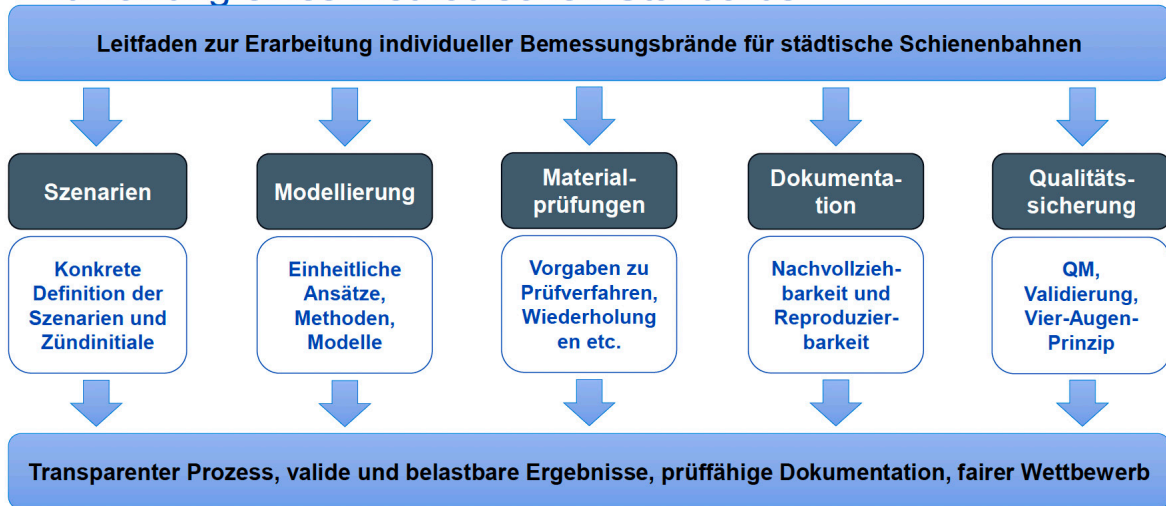
1. Anwendungsbereich
2. Verweise
3. Begriffe
4. Anforderungen und Methoden
5. Anforderungen an Simulationsmodelle
6. Prozess
7. Materialuntersuchungen und Parameterermittlung
8. Ermittlung der Brandverlaufskurve
9. Ermittlung der Rauchausbeuten
10. Qualitätssicherung
11. Dokumentation

Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge



Fahrzeuggestandardsentwicklung

Entwicklung eines methodischen Standards




Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge

08.11.2024

25

Vielen Dank!



So erreichen Sie mich:

Corinna Trettin
Gutachterin Brandschutz
Email: corinna.trettin@tuvsud.com
Telefon: +49 175 954 98 68

Folgen Sie uns auf:

[in](#) [@](#) [▶](#)

tuvsud.com
info@tuvsud.com

Leitfaden zur Erarbeitung von Bemessungsbränden für Schienenfahrzeuge

08.11.2024

26

Nicolas Hauke:

Numerische Modellierung des Wärmetransfers von Gasbrennern auf vertikale Flächen

Abstract:

Zur Verbesserung der Genauigkeit von Brandsimulationen, wie dem Fire Dynamics Simulator (FDS), werden Validierungen mit Experimenten durchgeführt. Ein relevantes Validierungsexperiment ist das „Parallel Panel Experiment“. In diesem Versuchsaufbau werden brennbare Feststoffe in geringem Abstand an zwei gegenüberliegenden Wänden angebracht. Die Entzündung der Materialien erfolgt an der Basis durch einen Propanbrenner, der eine selbsterhaltende Flammenausbreitung initiiert.

Aktuelle Publikationen zeigen Abweichungen in der Modellierung der Wärmeübertragung auf die vertikalen Oberflächen dieses Experiments während der Brennerphase. Insbesondere wurde festgestellt, dass die durch den Brenner freigesetzte Energiemenge nach der Entzündung nicht den empirisch ermittelten Daten entspricht.

In der vorgestellten Untersuchung diente das Parallel Panel Experiment als Fallstudie mit dem Ziel, die im ursprünglichen Experiment beobachtete Wärmeübertragung des Brenners möglichst genau zu reproduzieren (Kalibrierungsprozess). Hierzu wurde ein mehrstufiges Optimierungsverfahren entwickelt, das auf einer umfangreichen Zellgrößenanalyse und verschiedenen Parameterstudien basiert. Zahlreiche Simulationsparameter und Einstellungen wurden getestet und hinsichtlich ihres Einflusses auf die Verbesserung der Wärmeübertragung bewertet. Zur Sicherstellung einer effizienten Berechnungszeit wurde eine äquidistante Zellgröße von 5 cm gewählt und für die Parameteroptimierung kam das PROPTI-Framework zum Einsatz.

Die Optimierungsergebnisse zeigen, dass insbesondere die spezifische Wärmefreisetzungsrate und der Strahlungsanteil der Flamme die Übereinstimmung der Simulation mit den experimentellen Daten erheblich verbessern können. Die akkurate Darstellung des Strömungsfelds war für die Aufgabenstellung entscheidend. Bei einer Zellgröße von 5 cm konnte schließlich der mittlere quadratische Fehler (Root Mean Square Error, RMSE) im Vergleich zum Basismodell um 23 % reduziert werden.

Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces

Numerische Modellierung der Wärmeübertragung von Gasbrennern auf vertikale Flächen

Masterarbeit

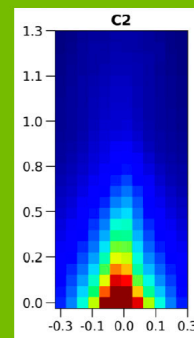
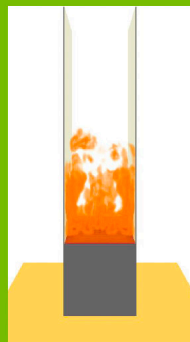
Bergische Universität Wuppertal

1.Prüfer: Prof. Dr. rer. nat. Lukas Arnold

2.Prüfer: Tristan Hehnen

M.Sc. Nicolas Hauke

Simulationsingenieur bei brandwerk FSE

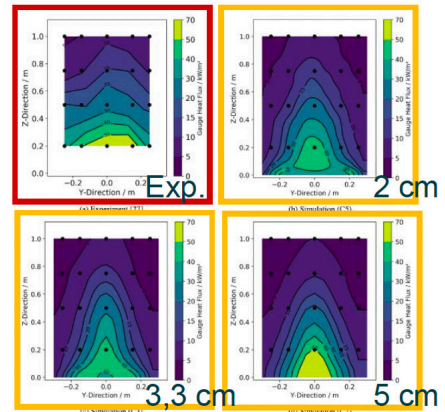


Übersicht

- Problem und Ziel der Arbeit
- Einführung „NIST Parallel Panel“-Experiment
- Methoden
- Voruntersuchungen
- Ergebnisse der Optimierungsstufen
- Zusammenfassung
- Ausblick

Problem und Ziel

- **Problem:** Numerische Modellierung der Wärmeübertragung eines Brenners auf vertikale Oberflächen (z.B. mit FDS)
 - Beispiel „Parallel Panel Experiment“:
 - Tristan Hehnen and Lukas Arnold - “PMMA pyrolysis simulation – from micro- to real-scale.” [1]
 - MaCFP Workshop in Tokio 2023
- **Ziel:** Optimierung der Wärmeübertragung, Bessere Annäherung an das Experiment
- **Fokus:** Kalibrierungsphase des Brenners



Quelle: [1]

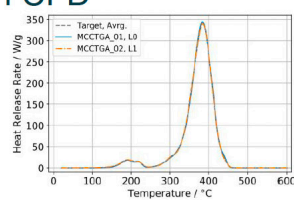
Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

3

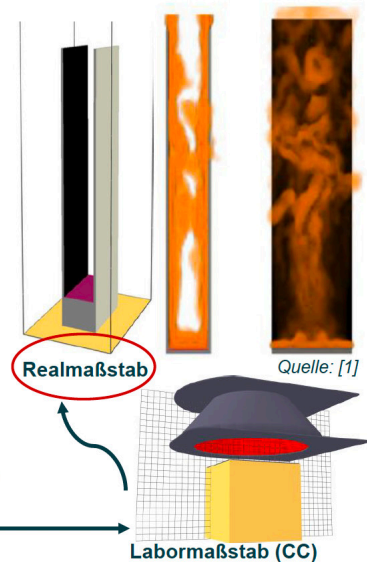


Parallel Panel Experiment

- Experiment zur Prüfung der Entflammbarkeit von Stoffen und deren Verbrennungseigenschaften
 - Ursprung: FM 4910 Standard
- Nutzung zur Validierung von CFD-Modellen
 - z.B. MaCFP / FDS
- PMMA-Artikel:
 - Versuch den kompletten Pyrolyse-Prozess des Experimentes numerisch nachzubilden (Mikro- zum Realmaßstab)



Mikromaßstab (u.a. MCC)



Quelle: [1]

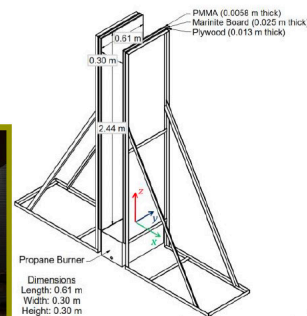
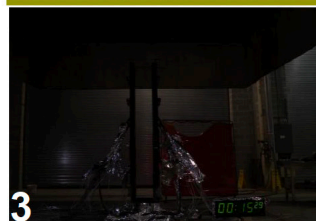
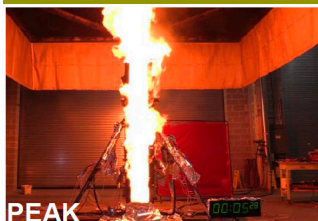
Labormaßstab (CC)

Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

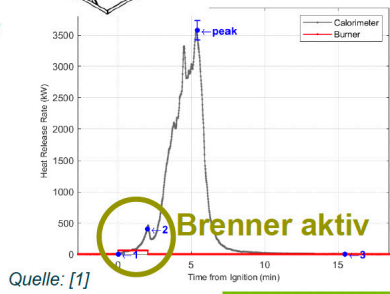
4



Parallel Panel Experiment



Quelle: [2]



Quelle: [1]

Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

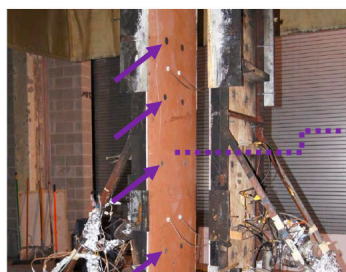
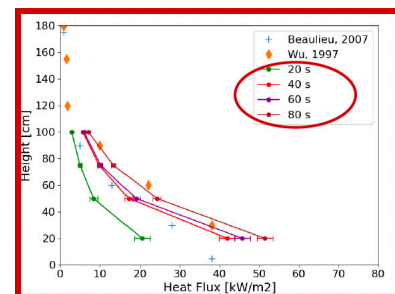


5

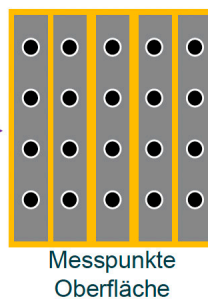
Parallel Panel Experiment

Daten für Kalibrierungsphase des Brenners:

- Pre-Steady-State: 0 s bis 80 s (4 Zeitpunkte)
- Steady-State: ab 80 s (bis ca. 120 s)
- „Leeres“ Panel – kein brennbares Material

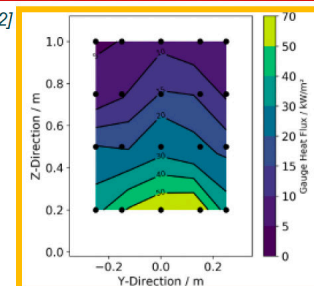


Quelle: [2]



Messpunkte
Oberfläche

Quelle: [2]



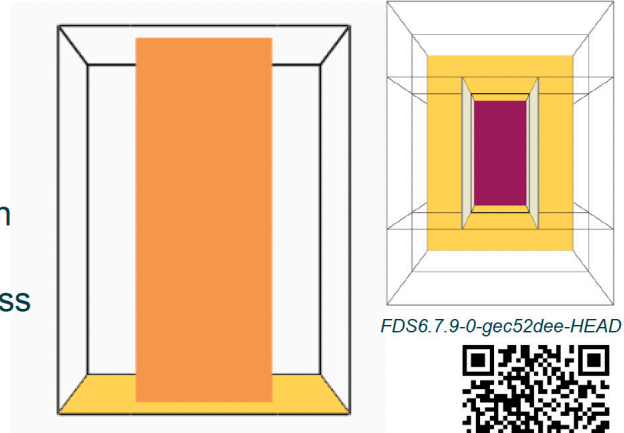
Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke



6

Methode

- CFD-Modell (FDS)
- Detaillierte Voruntersuchungen
- Optimierungsprozess entwickeln
- Optimierungs-Tool (PROPTI)
 - Inverser Modellierungsprozess
 - Multi-Parameter-Problem
 - Abweichung messen durch RMSE



FDS6.7.9-0-gec52dee-HEAD



PROPTI GitHub

Hinweis

Nomenklatur: Zellgröße $C_x = \frac{0.1 \text{ m}}{X}$ z.B. C2 = 0.05 m (5 cm)
 C4 = 0.025 m (2.5 cm)
 C24 = 0.0042 m (0.42 cm)

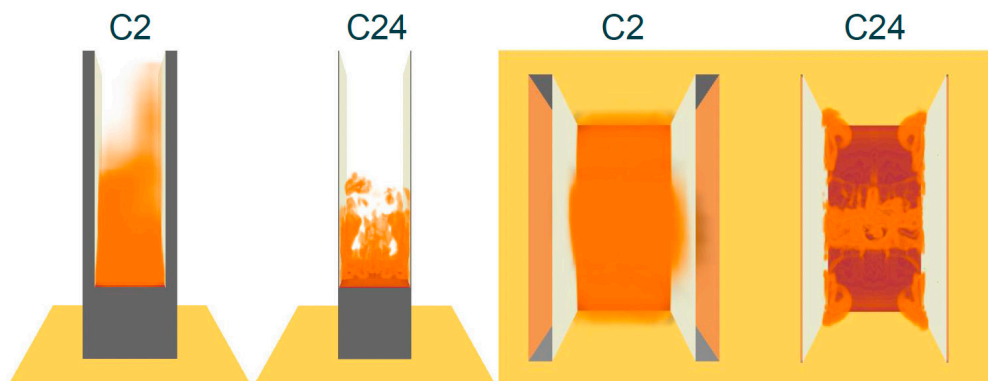
Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
 Nicolas Hauke

7



Voruntersuchungen

Basis Modell

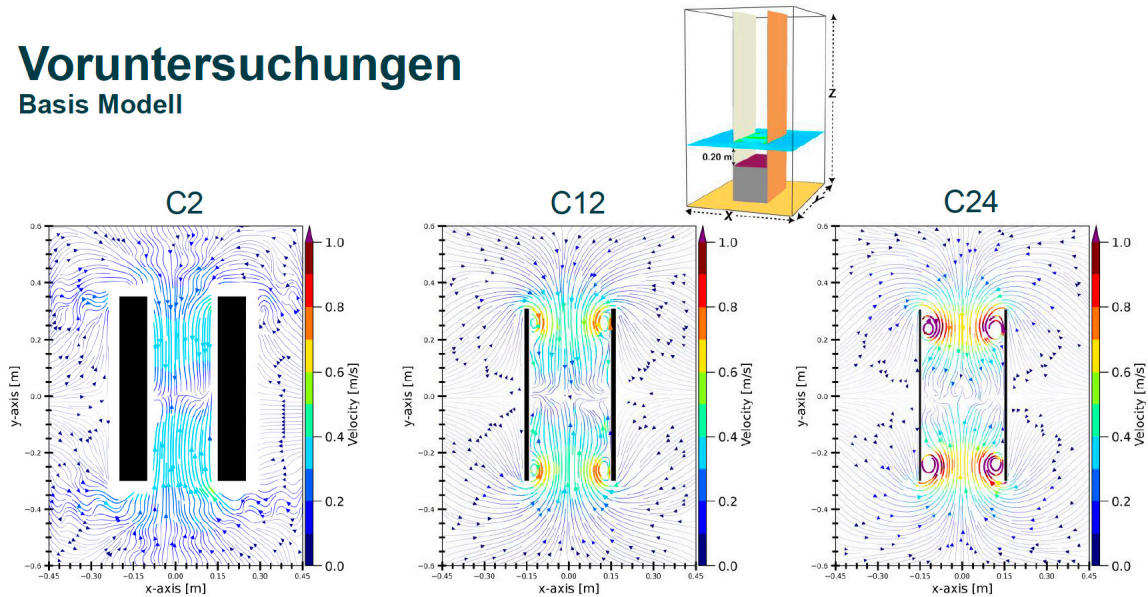


Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
 Nicolas Hauke

8



Voruntersuchungen Basis Modell

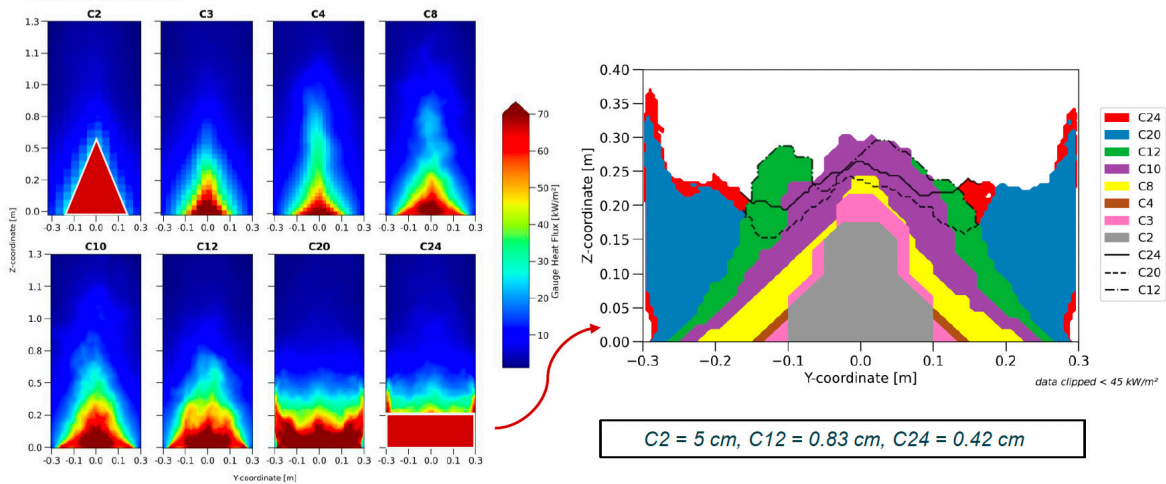


Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

9



Voruntersuchungen Basis Modell



Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

10



Optimierungsprozess

- **Problem:** Berechnungszeit vs. Genauigkeit
- **Idee:** C2 (VLES) Skalierung C4 and C8
- **Strategie:**
 - Steady-State (80 s bis 100 s) → „Basis“
 - Stufe 1: Domäne
 - Stufe 2: Verbrennung
 - Stufe 3: Brennergeometrie
 - Pre-Steady-State (0 s zu 80 s) → „Weg zur Basis“
 - Stufe 4: HRR RAMP und „extinction model“

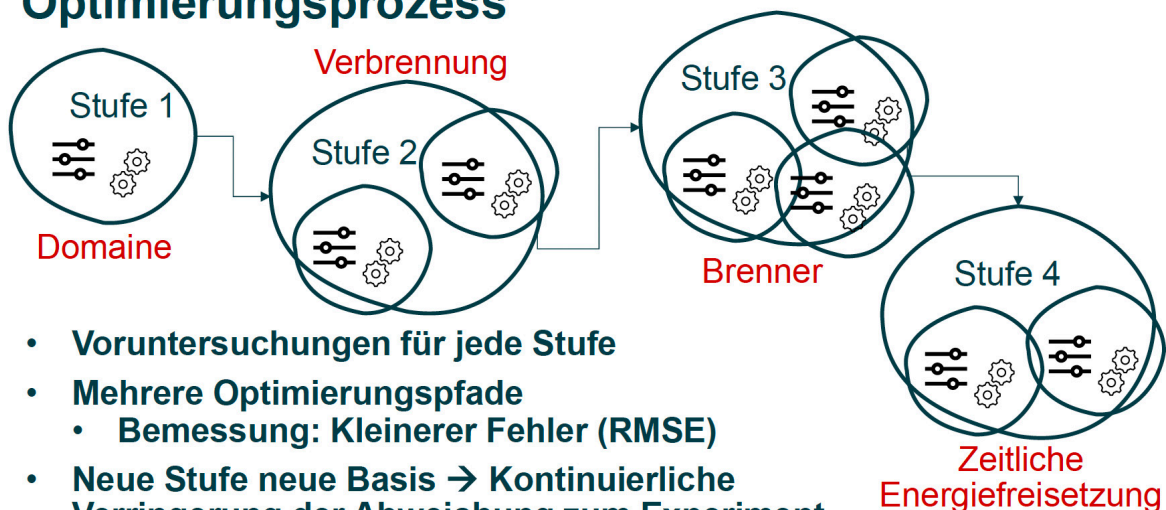
ID	Size [cm]	Computing time (approx.)
C2	5.0	< 10 minutes
C3	3.33	15 - 20 minutes
C4	2.50	40 - 50 minutes
C8	1.25	14 - 17 hours
C10	1.00	33 - 38 hours
C12	0.833	55 - 70 hours
C20	0.05	20 - 45 days
C24	0.04166	30 - 64 days

Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

11



Optimierungsprozess



- **Voruntersuchungen für jede Stufe**
- **Mehrere Optimierungspfade**
 - **Bemessung: Kleinerer Fehler (RMSE)**
- **Neue Stufe neue Basis → Kontinuierliche Verringerung der Abweichung zum Experiment**

Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

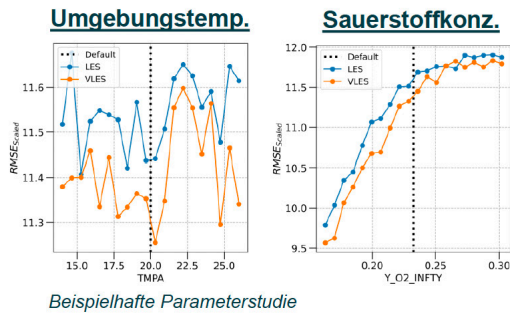
12



Ergebnisse

Optimierung - Stufe 1

Stufe 1



Beispielhafte Parameterstudie

Eingabe Optimierung

Stage 1		
Parameter	Range	Default
Ambient Temperature [°C]	15 - 25	20 [7]
Ambient Pressure [pa]	98800 - 104000	101325 [7]
Humidity [%]	20 - 80	40 [7]
Mass Fraction O ₂ [kg/kg]	0.2265 - 0.2382	0.2324 [7]
Mass Fraction CO ₂ [kg/kg]	0.0005355 - 0.0006545	0.000595 [7]
Dynamic Pressure [pa]	0.01 - 1	0.05 [13]
Frequency of dyn. Pressure	0.1 - 1.2	0.63 [13]
Path Length	0.1 - 1	0.1 [7]
Radiation Angles	100 - 1000	100 [7]
Generation size	<i>Input PROPTI</i>	171
Number of generations		10

Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

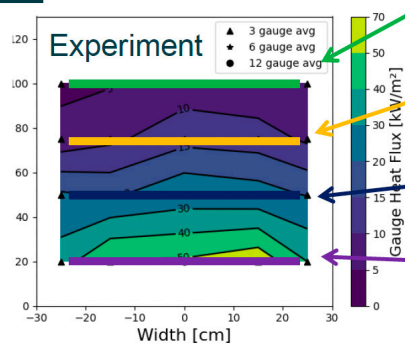
13



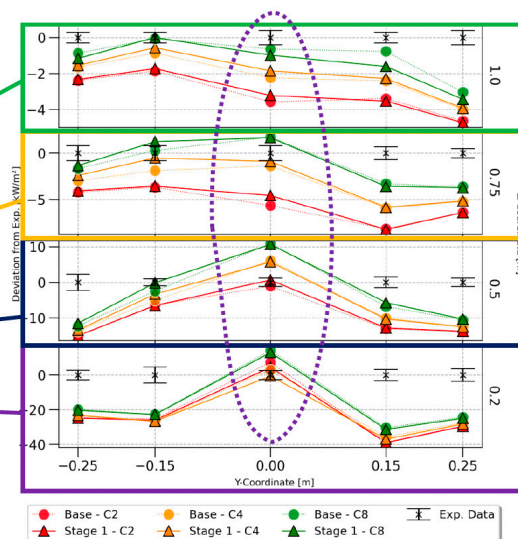
Ergebnisse

Optimierung - Stufe 1

Stufe 1



Erklärung Wärmestromplot (rechts)



Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

14



Ergebnisse

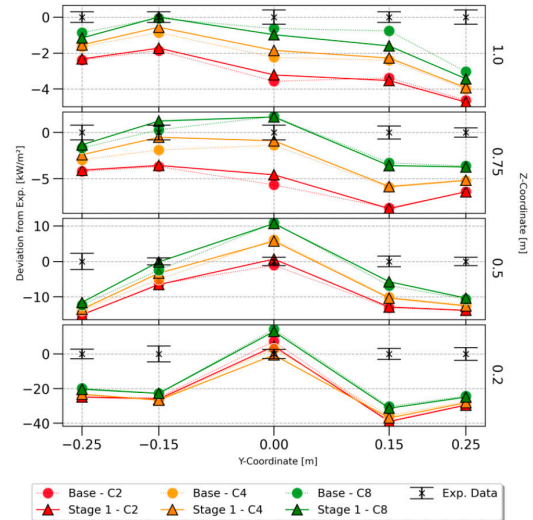
Optimierung - Stufe 1

Stufe 1

Stage 1			
Parameter	Range	Default	Result
Ambient Temperature [°C]	15 - 25	20 [7]	22.96
Ambient Pressure [pa]	98800 - 104000	101325 [7]	99164
Humidity [%]	20 - 80	40 [7]	55.74
Mass Fraction O ₂ [kg/kg]	0.2265 - 0.2382	0.2324 [7]	0.2297
Mass Fraction CO ₂ [kg/kg]	0.0005355 - 0.0006545	0.000595 [7]	0.000590
Dynamic Pressure [pa]	0.01 - 1	0.05 [13]	0.012
Frequency of dyn. Pressure	0.1 - 1.2	0.63 [13]	0.98
Path Length	0.1 - 1	0.1 [7]	0.36
Radiation Angles	100 - 1000	100 [7]	234.61

C2: 1.16 % ↑, C4: 2.60 % ↑,
C8: 0.74 % ↑

Steady-State Verbesserung / Verschlechterung zur Basis



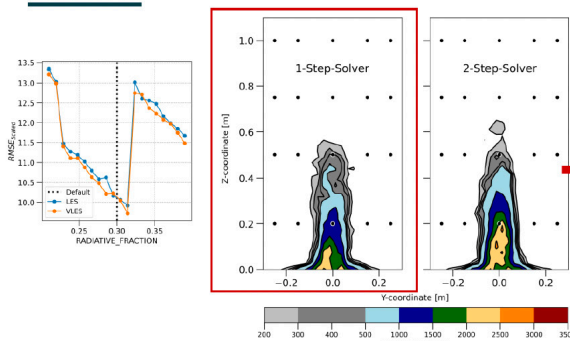
Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke



Ergebnisse

Optimierung – Stufe 2

Stufe 2



Beispielhafte Parameterstudie

Stage 2		
Parameter	Range	Default
Scoot Yield [kg/kg]	0.018 - 0.03	0.024 [2]
CO Yield [kg/kg]	0.00375 - 0.00625	0.005 [2]
Radiative Fraction [%]	22.5 - 37.5	30.0 [7]
C to CO Fraction [%]	- / 15 - 85 (2-Step)	66.0 [7]
H to H ₂ Fraction [%]	- / 0 - 50 (2-Step)	0.00 [7]
Generation size	21 (1-Step) / 55 (2-Step)	
Number of generations	10	

C2: 12.13 % ↑, C4: 6.57 % ↑, C8: 0.67 % ↑

Veränderung Steady-State zur Stufe 1

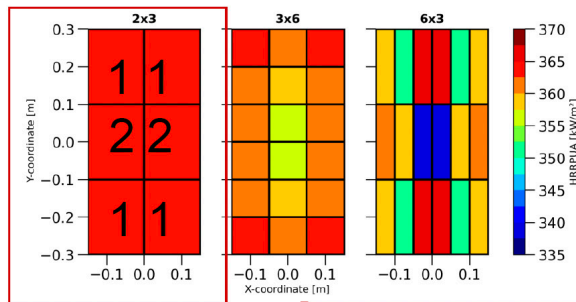
Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke



Ergebnisse

Optimierung – Stufe 3

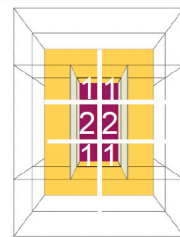
Stufe 3



Stage 3		
Parameter	Range	Default
HRRPUA (sub-vents) [kW/m²]	300 - 366	333 [12]
Emissivity Burner (global)	0.8 - 0.99	0.9 [7]
Emissivity Panel	0.8 - 0.99	0.9 [7]
Generation size	36 (2 x 3) / 136 (3 x 6) / 136 (6 x 3)	
Number of generations	10	

C2: 13.84 % ↑, C4: 5.10 % ↓, C8: 16.41 % ↓

Veränderung Steady-State zur Stufe 2



Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

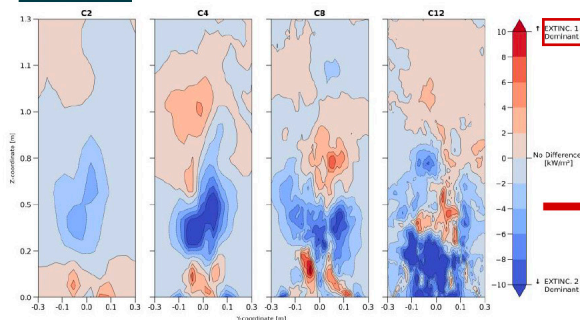
17



Ergebnisse

Optimierung – Stufe 4

Stufe 4



Stage 4		
Parameter	Range	Default
Fraction T1	0.225 - 0.5	0.5 [12]
Fraction T2	0.72 - 0.95	0.83 [12]
Fraction T3	0.87 - 1.095	0.98 [12]
Fraction T4	0.93 - 1.167	1.03 [12]
Generation size	36 (Ext. 1) / 36 (Ext. 2)	
Number of generations	10	

C2: 1.16 % ↓, C4: 7.7 % ↑, C8: 16.12 % ↑

Veränderung Steady-State zur Stufe 3

Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

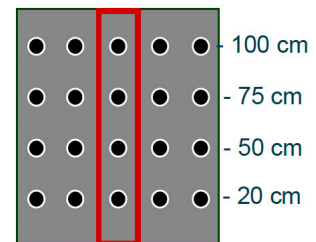
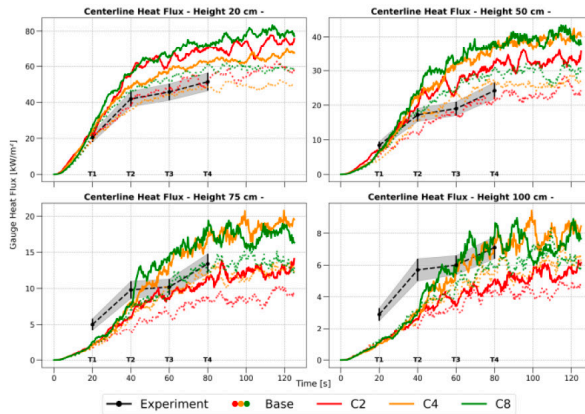
18



Ergebnisse

Optimierung – Stufe 4

Stufe 4



Messpunkte
Mittelachse
Zeitpunkte:
20 s, 40 s, 60 s und
80 s

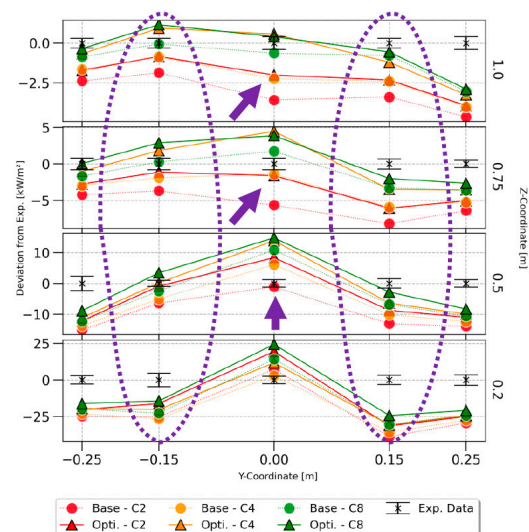
Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

Ergebnisse

Optimierung - Zusammenfassung

C2: 22.90 % ↑
C4: 7.14 % ↑
C8: 3.74 % ↑

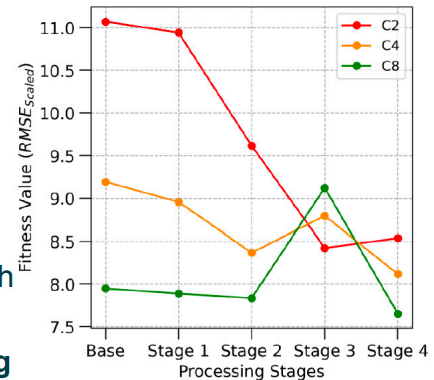
*Steady-State
Verbesserung
zur Basis*



Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

Zusammenfassung

- Verringerung des Fehlers um ca. **23 %** zum Basis-Modell, Skalierung eher nicht möglich
 - Optimierung der Pre-Steady-State Phase („Weg zur Basis“ – 0 s bis 80s) war nicht erfolgreich
 - Spezifische Wärmefreisetzung (HRRPUA) und Strahlungsanteil (rad. fraction) haben größten Einfluss auf den Wärmetransfer
 - Keine horizontale Verbreitung der Flamme möglich in C2
- **Problem der Zellgröße / Gasphasen-Auflösung**
- **Darstellung des Strömungsfelds maßgebend**



Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

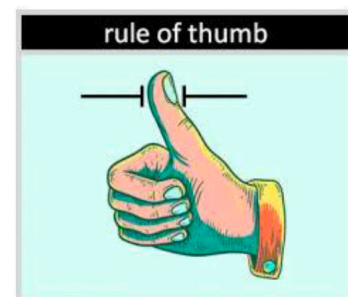
21



Zusammenfassung

- **Praktische Anwendung?**
 - D^* definiert einen Bereich: 0,0194 m ↔ 0,0778 m
 - ca. 2 cm gem. „Faustregel“
 - Untersuchung unterstreicht die Notwendigkeit der Sensitivitätsstudie zur Zellgröße
 - Thermische Strahlung/Wärmestrom wird nicht korrekt physikalisch dargestellt mit 2 cm
 - Anwendbarkeit einer Zellgröße auf Fragestellung/Problem muss überprüft werden
 - Keine pauschalen Ansätze

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{1/2}$$



Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

22



Ausblick

- Messungen im Experiment verbessern
 - u.a. Strömungsfeld, Ein-/Ausströmung der Luft
- Verbesserte Computertechnologie:
 - Optimierungsstufen mit C4 (2,5 cm) und C8 (1,25 cm)
 - Vergleich mit Daten dieser Arbeit
- Ansatz der Unterteilung der Brennerflächen genauer untersuchen
- Optimierter Brenner im maßstabsgetreuen Setup (Realmaßstab) gem. PMMA-Artikel [1] nutzen
 - Verbesserung der Ergebnisse, z.B. der Energiefreisetzung?

Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

23



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!
Danke an Tristan Hehnen und Prof. Dr. Lukas Arnold
für die Unterstützung!



[MACFP REPO](#)

[1] Tristan Hehnen and Lukas Arnold. "PMMA pyrolysis simulation – from micro- to real-scale." In: *Fire Safety Journal* 141 (Dec. 2023), p. 103926. issn: 0379-7112. doi:10.1016/j.firesaf.2023.103926.

[2] Isaac Leventon et al. The Impact of Material Composition on Ignitability and Fire Growth. Volume 1: Full-Scale Burning Behavior of Combustible Solids Commonly Found in Nuclear Power Plants. en. Tech. rep. NIST TN 2282. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, Feb. 2024.

[3] <https://www.nist.gov/el/fcd/vertical-upward-flamespread-parallel-panels/test7pmmar6>



[PMMA Artikel](#)

Numerical modeling of heat transfer from gas burners to vertical surfaces
Nicolas Hauke

24



Jens Spille:**Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln - Teil II: Anwendung zur Ermittlung eines Bemessungsbrandes für den Zwischendeckenbereich****Abstract:**

Die brandschutztechnische Bemessung von Unterdecken, die Leitungsanlagen von Rettungswegen trennen, erfolgt derzeit auf Grundlage der Einheits-Temperaturzeitkurve. Diese Temperaturzeitkurve kann den Temperaturverlauf eines Raumbrandes auf sicherer Seite liegend wiedergeben, berücksichtigt jedoch nicht die Randbedingungen eines Brandes im Zwischendeckenbereich, der im Vergleich zur Grundfläche eine geringe Höhe und aufgrund der baulichen Trennung geringe Zuluftflächen aufweist.

Im Rahmen des 16. Anwendertreffens der FDS Usergroup wurde bereits ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln vorgestellt. Der Beitrag befasst sich mit der Anwendung dieses Modellierungsansatzes zur Untersuchung wesentlicher Einflussfaktoren auf das Brandverhalten von Kabeltrassen im Zwischendeckenbereich. Anhand dieser Untersuchungen wird ein Bemessungsbrand abgeleitet, der eine brandschutztechnische Bemessung von Unterdecken unabhängig von der Einheits-Temperaturzeitkurve ermöglicht.



Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln – Teil II: Anwendung zur Ermittlung eines Bemessungsbrandes für den Zwischendeckenbereich

Dr.-Ing. Jens Spille

18. Anwendertreffen der FDS Usergroup, 07. November 2024

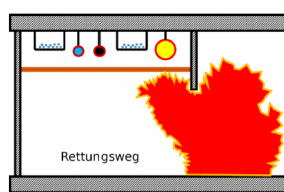
Gliederung

- Einleitung
- Numerisches Modell
- Anwendung des Modells
 - Untersuchung des Einflusses der Ventilationskonfiguration
 - Untersuchung des Einflusses der Stromwärme
- Empfehlungen für die Praxis
- Literatur

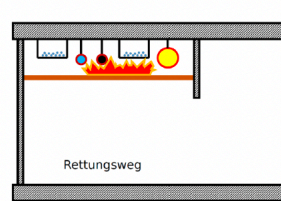
Einleitung

Ausgangssituation

- Anforderungen an Unterdecken in Rettungswegen für eine Brandbeanspruchung von oben und unten
- Gesetzliche Anforderungen an Unterdecken in Rettungswegen zur Abtrennung von Leitungsanlagen betrachten zwei Szenarien:



Raumbrand
→ Schutz der Kabelbrandlast
(Verhinderung der Brandausbreitung)

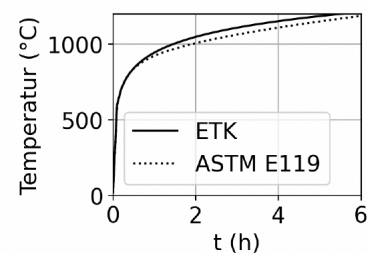


Brand im Zwischendeckenbereich
→ Schutz des Rettungsweges
(Ermöglichung der Flucht)

Einleitung

Problemstellung

- Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) Bemessungsgrundlage für den Nachweis des Raumabschlusses :
 - entwickelt für Vergleichbarkeit von Brandversuchen
 - stellt oberen Grenzwert für Raumbrände mit einer Wohn- und Büronutzung dar
- Technische Regeln für elektrische Leitungsanlagen (DIN VDE):
 - Bemessung von Leiterquerschnitten
 - Auswahl von Schutzeinrichtungen



DIN VDE 0100-100

„Die elektrische Anlage muss so angeordnet sein, dass von ihr **keine Gefahr der Entzündung** [...] ausgeht.“

Welches Brandverhalten ist bei einem Brand von Kabeltrassen im Zwischendeckenbereich zu erwarten?

Einleitung

Zielsetzung und Lösungsansatz

- Untersuchung des Brandverhaltens von Kabeltrassen im Zwischendeckenbereich
- Lösungsansatz
 - Experimentelle Untersuchungen
 - Cone-Kalorimeter
 - Mittelskalige Versuche
 - Entwicklung und Validierung eines numerischen Modells
 - Weiterführung der experimentellen Untersuchung mit Hilfe des numerischen Modells
 - Einfluss Stromwärme, Deckengeometrie, Zuluftöffnungen
 - Ableiten von Empfehlung für die Praxis

Einleitung

Zielsetzung und Lösungsansatz

- Untersuchung des Brandverhalten von Kabeltrassen im Zwischendeckenbereich
- Lösungsansatz
 - Experimentelle Untersuchungen
 - Cone-Kalorimeter
 - Mittelskalige Versuche
 - Entwicklung und Validierung eines numerischen Modells
 - Weiterführung der experimentellen Untersuchung mit Hilfe des numerischen Modells
 - Einfluss Stromwärme, Deckengeometrie, Zuluftöffnungen
 - Ableiten von Empfehlung für die Praxis

Nicht Bestandteil dieses Beitrages!

Numerisches Modell

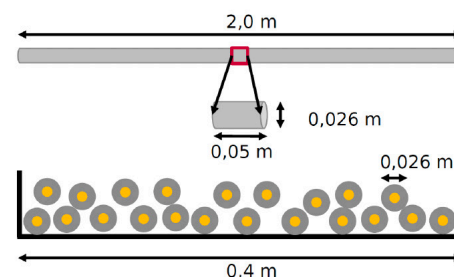
Allgemeines

- Durchgeführte experimentelle Untersuchungen nicht abschließend
- Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen:
 - Lose Kabelanordnung kritischer
 - Unterventilierte Brände / Verlöschen der Verbrennung
 - → Numerisches Modell muss geeignet sein dieses Strömungs- und Brandverhalten abbilden zu können
- Brandsimulationsmodell FDS verfügt standardmäßig bereits über Vielzahl von Submodellen zur Modellierung von Brandphänomenen
 - Flame Extinktion, Lagrange Partikel, Wärmeleitung-Pyrolyse
 - Modifikationen am Quelltext der FDS-Ausgangsversion 6.7.4 notwendig → eigene Version FDS_{mod} kompiliert zur Nutzung auf Rechencluster Phoenix

Numerisches Modell

Allgemeines

- Strömungsverhalten:
 - Jede elektrische Leitung wird in 40 ortsfeste Partikel mit einer Länge von 0,05 m zerlegt
 - Partikeldurchmesser entspricht dem realen Durchmesser der elektrischen Leitung
- Brandverhalten:
 - Thermische Zersetzung der brennbaren Bestandteile liefert Brennstoff
 - Sauerstoffabhängiges Verlöschen der Verbrennungsreaktion in der Gasphase

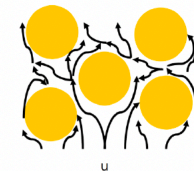
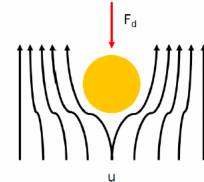


Numerisches Modell

Ortsfeste Partikel - Impulserhaltung

- Ortsfeste Partikel (elektr. Leitung) sind Strömungshindernis, wirken der Auftriebskraft entgegen
- Modellannahme FDS_{6.7.4}:
 - Partikel können einzeln betrachtet werden
 - Berechnung Strömungswiderstandes gilt für einzelne laminar angeströmte Körper
 - Aufsummieren der einzelnen Kräfte je Gitterzelle
- Für Ansammlung massiver Partikel:
 - Strömung turbulent und erhöhte Reibungswiderstände an der Oberfläche der Partikel
 - Modellannahme FDS_{6.7.4} nicht zutreffend
 - Berücksichtigung der empirischen Ergun-Gleichung im eigenen Modell

$$F_d = \frac{\rho_g}{2} C_d A_{p,c} u^2$$



Numerisches Modell

Koppelung von Wärmeleitung und Pyrolyse

- Berechnung der Temperaturverteilung innerhalb des Partikels:
 - Eindimensionale Wärmeleitung im radialen Koordinatensystem:

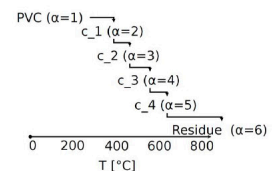
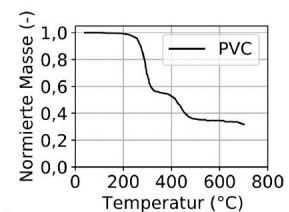
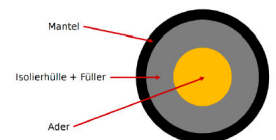
$$\rho_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_s \frac{\partial T_s}{\partial r} \right) + \dot{q}_s'''$$

- Thermische Zersetzung konsekutiv modelliert

$$r_\alpha = \left(\frac{\rho_{s,\alpha}}{\rho_s(0)} \right)^{N_{s,\alpha}} A_\alpha \exp\left(-\frac{E_\alpha}{RT_s}\right) \quad \dot{q}_s'''(r) = -\rho_s(0) \sum_{\alpha} r_\alpha(r) H_{r,\alpha}$$

- Thermische Zersetzung liefert Brennstoff für Verbrennung

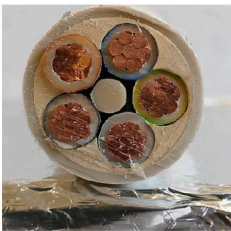
$$\dot{m}_{g,m} = \rho_s(0) \sum_{\alpha=1}^{N_m} v_{g,\alpha} r_\alpha$$



Numerisches Modell

Verbrennung und Verlöschen

- Modellierung der Wärmefreisetzung
 - Jeder bei der thermischen Zersetzung freigesetzte gasförmige Stoff wird als Brennstoff betrachtet
 - Eff. Verbrennungsenthalpie für Mantelwerkstoff aus Cone-Kalorimeterversuchen
 - Eff. Verbrennungsenthalpie für übrige Werkstoffe anhand von Versuchsdaten kalibriert

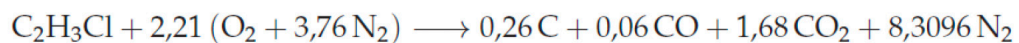


Bestandteil	Komponente	$-h_{c,eff}$ in kJ/kg
Mantel	Alle	19.665
Isolierhülle	Alle	23.598
Füllstoff	Ausgangsmaterial	31.500
	c1	31.500
	c2	32.500

Numerisches Modell

Verbrennung und Verlöschen

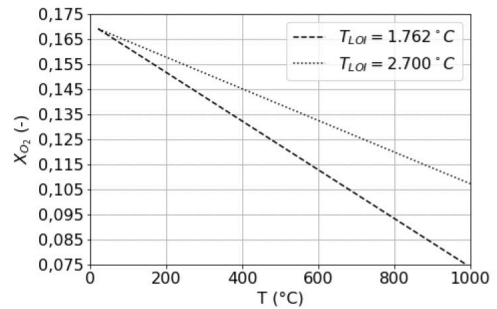
- Modellierung des Verlöschens
 - Modell nach Mowrer (Extinction Model 1)
 - Abhängig vom temperaturabhängigen Verlauf der Sauerstoffkonzentration und der kritischen Flammentemperatur
 - Sauerstoffindex für elektrische Leitungen nach DIN 16750: $X_{LOI} = 0,169$
 - Kritische Flammentemperatur T_{LOI} berechnet auf Grundlage der Reaktionsgleichung:



$$\rightarrow T_{LOI} = 1.762 \text{ °C}$$

Numerisches Modell Verbrennung und Verlöschen

- Modellierung des Verlöschens
 - Modell nach Mowrer berücksichtigt nicht
 - den Entzug der für die weitere Verbrennung notwendigen Aktivierungsenergie und
 - den Abbruch der Kettenreaktionen durch Radikalfang
 - Tatsächliche Verbrennungsreaktion unbekannt
 - Anpassung des temperaturabhängiger Verlauf der Sauerstoffkonzentration notwendig, um Verlöschen berechnen zu können
 - $T_{LOI,neu} = 2.700 \text{ °C}$
 - Modell abhängig von der Größe der Zellen (hier: $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$)



Numerisches Modell Validierung

- Überprüfung der Eignung des Modells zur Beschreibung des Brandverhaltens von Kabeltrassen im Zwischendeckenbereich mittels Validierungsberechnungen
- Validierung und Kalibrierung mit eigenen Versuchsdaten aus klein- und mittelskaligen Versuchen:

Versuch	Messdaten	Validiertes Submodell
TGA	<ul style="list-style-type: none"> • temperaturabhängiger Massenverlust für Bestandteile 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Validierung
Cone-Kalorimeter	<ul style="list-style-type: none"> • Massenverlustrate • Wärmefreisetzungsrate • Effekt, Verbrennungsenthalpie 	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmeleitung-Pyrolyse • them. Materialeigenschaften • Verbrennung
Mittelskalige Versuche	<ul style="list-style-type: none"> • Massenverlustrate • Wärmefreisetzungsrate • Temperaturen 	<ul style="list-style-type: none"> • Partikel • Interaktion Gasphase-Partikel • Wärmeleitung-Pyrolyse • Wärmeübergangsbedingungen • Verbrennung • Verlöschen • Strahlungstransport • Absorptionseigenschaft Gasgemisch • Strahlungsanteil

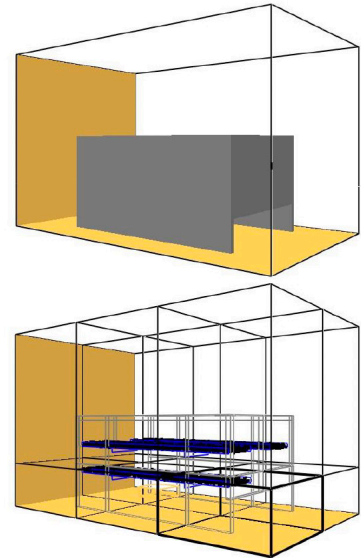
- Modellformulierung nicht auf horizontale Kabeltrassen / Brandausbreitung beschränkt
 - Validierungsberechnung mit Versuchsdaten aus der Literatur für eine vertikale Brandausbreitung (Kabelprüfstand nach DIN EN 50399)

Modell ist geeignet, um einen Brand von Kabeltrassen im Zwischendeckenbereich zu berechnen

Anwendung des Modells

Modellaufbau

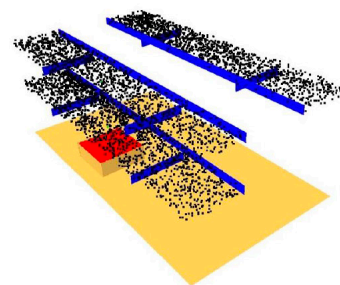
- Anwendung z.T. aufbauend auf durchgeführte Versuche
- Modellaufbau
 - Berechnungsgebiet: 2,00 x 5,50 x 2,20 m³
 - Umfassungsbauteile mit eindimensionaler Wärmeleitung und konstanten thermischen Materialeigenschaften
 - Aufteilung des Berechnungsgebiets in 12 Netze zur Parallelisierung:
 - Standardmodelloption: MPI ohne OpenMP
 - Gleiche Anzahl an Partikel pro Netz



Anwendung des Modells

Modellaufbau

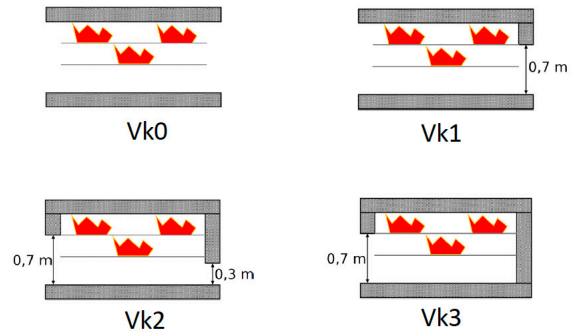
- Modellaufbau
 - Kabeltrassen dargestellt über Konsolen und Seitenbauteile, Leitersprossen kleiner als Gitterzelle
 - Je Trasse:
 - 21 Leitungen á 40 Partikel
 - Aufgrund der Wärmübergangsbedingungen zwei zu lösende Wärmeleitungsgleichungen je Partikel
 - Kiesbett-Gasbrenner im Abstand von 0,10 m
 - Für $0 < t < 1.200$ s freigesetzter Massenstrom von 0,0024 kg/m² Propan (Wärmefreisetzungsrate 10 kW)



Anwendung des Modells

Einfluss der Ventilationskonfiguration

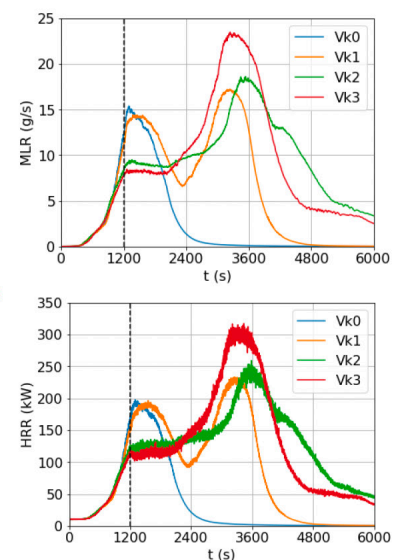
- Neben experimentell untersuchten Ventilationskonfigurationen:
 - Maximale Öffnungsfläche (Vk0)
 - Nur einseitige Öffnung (Vk1)
- Nur Änderung der geometrischen Randbedingungen (Öffnungsflächen)
- Keine weiteren Änderungen am Modell



Anwendung des Modells

Einfluss der Ventilationskonfiguration

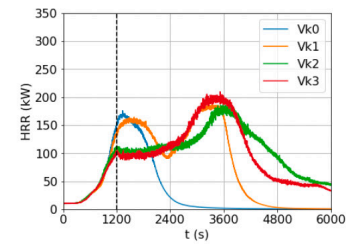
- Ergebnisse
 - Mit kleiner werdender Öffnungsfläche steigt der Maximalwert von Wärmefreisetzungs- und Massenverlustrate
 - Bei maximaler Öffnungsfläche Abfallen der Wärmefreisetzungsrate nach Erreichen des Maximalwertes
 - Für Vk2 und Vk3 Ausbilden eines Plateaus in Wärmefreisetzungs- und Massenverlustrate
 - Vk2 und Vk3 weisen eine längere Branddauer auf



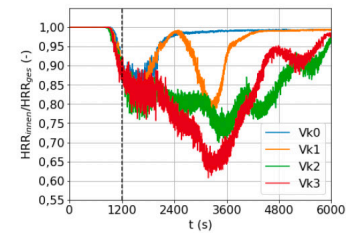
Anwendung des Modells

Einfluss der Ventilationskonfiguration

- Ergebnisse
 - Für geringe Öffnungsflächen Großteil der freigesetzten Energie außerhalb des Brandraumes
 - Große Öffnungsflächen, größerer Anteil der Wärmefreisetzung innerhalb des Brandraumes → größere Temperatur
 - Innerhalb des Brandraumes keine Wärmefreisetzungsrate > 200 kW



HRR innerhalb Brandraum



Verhältnis HRR_innen/gesamt

Anwendung des Modells

Einfluss der Stromwärme

- Allgemeines
 - Einfluss der Stromwärme in den Versuchen nicht abgebildet
 - Zwei unterschiedliche Stromstärken
 - Normgerechte Auslegung für PVC-Mantelleitung auf Kabeltrassen (38 A je Leiter)
 - Zulässige Strombelastbarkeit für einzelnen Leitung (155 A je Leiter)
 - Gewählte Stromstärken sollen nicht zu einer thermischen Zersetzung der Isolierung führen

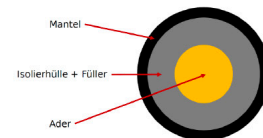
Anwendung des Modells

Einfluss der Stromwärme

- Modellaufbau
 - Weiterer Quellterm in der Wärmeleitungsgleichung

$$\rho_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_s \frac{\partial T_s}{\partial r} \right) + \dot{q}_s''' + \dot{q}_{el}'''$$

$$\dot{q}_{el}''' = \frac{P_{therm}}{V_{Ader}} = \frac{I^2 \cdot R}{V_{Ader}}$$

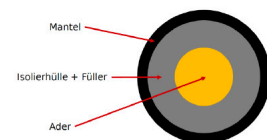


- Ansatz des zusätzlichen Quellterms nur für Kupferschicht
- Temperaturabhängigkeit des Widerstandes bleibt unberücksichtigt

Anwendung des Modells

Einfluss der Stromwärme

- Modellbedingte Vereinfachungen
 - Sämtliche Leiter (auch PE-Leiter) werden im Modell zusammengefasst
 - Erwärmung in allen Leitern (nicht realistisch)
 - Thermische Zersetzung würde im Realbrand zu Kurzschlüssen führen

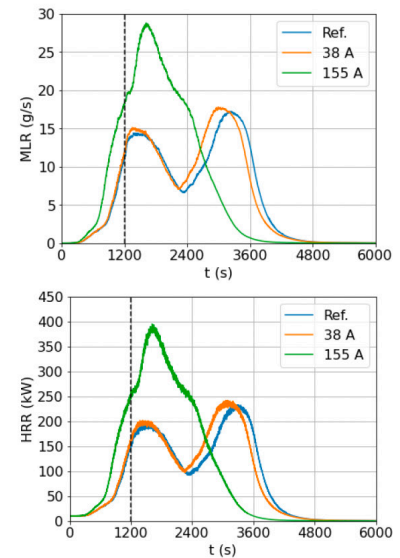


Berechnung	I in A	Q_el in kW/m³ (INTERNAL_HEAT_SOURCE)
Ref.=Vk1	0	0
S1	38,4	40,43
S2	155	672,7

Anwendung des Modells

Einfluss der Stromwärme

- Ergebnisse
 - Innerhalb der ersten 300 s kein Einfluss der Stromwärme auf Brandverlauf
 - Bei normgerechter Ausführung ($I=38\text{ A}$) nur unwesentliche Unterschiede
 - Für $I=155\text{ A}$ steiler Anstieg in Massenverlust und Wärmefreisetzung
 - Maximale Wärmefreisetzung für $I=155\text{ A}$ doppelt so groß im Vergleich
 - Kürzerer berechnete Brandverlauf für $I=155\text{ A}$



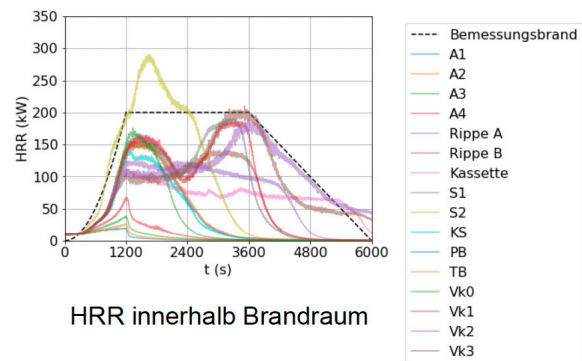
Anwendung des Modells

Zusammenfassung

- Weitere wesentliche Einflussparameter
 - Abstand der obersten Kabeltrasse zur Decke
 - Ausbildung von stabilen Heißgasschichten durch Deckengeometrie / vertikale Bauteile
- Geringer Einfluss für:
 - Stromwärme, bei normgerechter Auslegung der Strombelastung
 - Baustoffe der Umfassungsbauteile
- Brandausbreitung abhängig von der eff. Verbrennungsenthalpie des Mantelwerkstoffes
- Innerhalb des Brandraumes keine Wärmefreisetzungsrates $> 200\text{ kW}$

Empfehlungen für die Praxis Bemessungsbrand

- Aus Berechnungen Ableitung eines Bemessungsbrandes:
 - $t < 1.200$ s: quadratischer Anstieg bis 200 kW
 - $1.200 \text{ s} < t < 3.600$ s: konstanter Verlauf
 - $t > 3.600$ s: lineares Abfallen
- Vereinfachung möglich:
 - Modellierung der thermischen Zersetzung nicht notwendig
 - Modellierung mit Partikel nicht notwendig
 - Modellierung einer Verbrennungsreaktion ausreichend



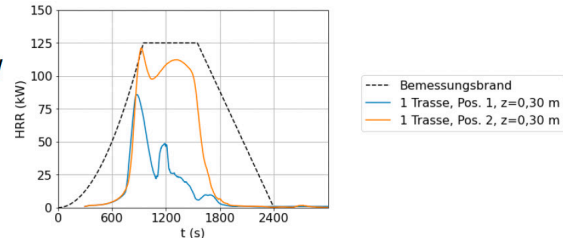
Empfehlungen für die Praxis Voraussetzung

- Der Bemessungsbrand kann angesetzt werden,
 - wenn es sich um Niederspannungsanlagen handelt,
 - wenn innerhalb des Zwischendeckenbereiches keine Leitungen zum Transport von brennbaren Medien vorhanden sind,
 - wenn mögliche Dämmungen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen
 - EPS weist eine höhere eff. Verbrennungsenthalpie auf und es tritt ein schlagartige thermische Zersetzung bei rund 375°C ein
 - Bei NaWaRo gestreckte Zersetzung, geringere Aktivierungsenergie und geringe Wärmeleitung, Struktur → Glimmen
 - und wenn die Unterdecke, einschließlich der Befestigungselemente, aus nichtbrennbaren Baustoffen besteht.

Empfehlungen für die Praxis

Bemessungsbrand - Sonderfall

- Keine Anordnung von Trassen übereinander
 - Bemessungsbrand:
 - $t < 950$ s: quadratischer Anstieg bis 125 kW
 - $950 \text{ s} < t < 2.400$ s: konstanter Verlauf
 - $t > 2.400$ s: lineares Abfallen
- Voraussetzung:
 - Flachdecke
 - Ausbildung von stabilen Heißgasschichten kann ausgeschlossen werden
 - Vertikaler Abstand zur Decke mindestens 0,30 m
 - Horizontaler Abstand zwischen mehreren Trassen $> 0,40$ m
 - Undichtigkeit Zwischendeckenbereich – Umgebung: $0,0042 \text{ m}^2/\text{m}^2$ oder weniger



Literatur

- Zehfuß, J., Spille, J.: Numerische und experimentelle Untersuchungen von Polymerbrandlasten in kerntechnischen Anlagen zur Verbesserung der Prognosefähigkeit von Brandsimulationen, Abschlussbericht, Februar 2023



- Spille, J.: Zum Brandverhalten von Kabeltrassen im Zwischendeckenbereich, Dissertation, 01.10.2024



*QR-Codes gültig bis 01.11.2025



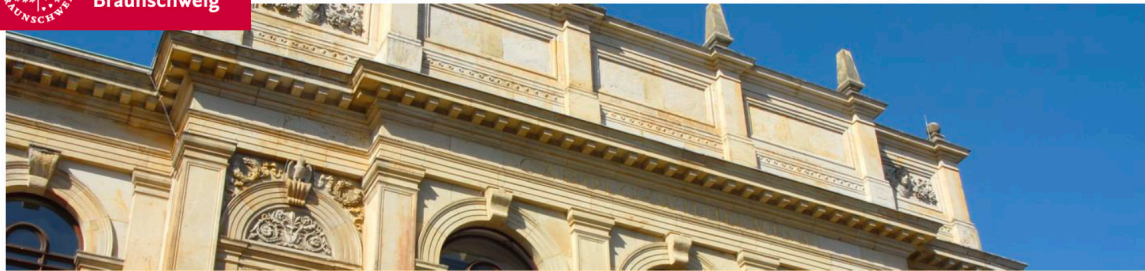
Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Jannik Rose:

Einfluss der Wohnungsabschlusstüren auf die Brandsicherheit von Treppenträumen in mehrgeschos- sigen Wohngebäuden

Abstract:

Die zunehmende Wohnungsnot in städtischen Gebieten führt zu verschiedenen Nachverdichtungsmaßnahmen, wie der Bebauung von Baulücken und der Aufstockung von Bestandsgebäuden. Diese Maßnahmen bringen jedoch Herausforderungen für die Rettungswegsituation mit sich, insbesondere wenn der zweite Rettungsweg aufgrund der veränderten Gebäudehöhe oder aufgrund von Hindernissen nicht mehr mit Feuerwehrgeräten realisiert werden kann. Die Bauordnung sieht in solchen Fällen bauliche Lösungen oder Sicherheitstreppenträume vor, die jedoch oft wirtschaftlich schwer umsetzbar sind, da sie zusätzlichen Platz benötigen, der für Wohnraum verloren geht. Zudem sind statische Eingriffe in das bestehende Tragsystem erforderlich, was die Realisierung erschwert. Die Masterarbeit zielt darauf ab, die Brandsicherheit von Treppenträumen in mehrstöckigen Wohngebäuden zu bewerten, indem die Leistung von Wohnungseingangstüren bei Bränden in Wohnungen untersucht wird. Hierbei wird die Rauch- und Wärmeausbreitung in Treppenträumen mithilfe des Programms „Fire Dynamics Simulator, Sixth Edition“ (FDS 6) analysiert, wobei verschiedene Brandszenarien und Türanforderungen berücksichtigt werden. Der Fokus liegt auf Leckageraten, dem Durchtritt von Rauchgasen und dem Abbrand der Türen.



Anwendertreffen FDS Usergroup

Einfluss der Wohnungsabschlusstüren auf die Brandsicherheit von Treppenträumen in mehrgeschossigen Wohngebäuden

Jannik Rose, 07.11.2024

Gliederung

- Ausgangslage
- Rettungswegsituation
- Lösungsansatz
- Projekt -ALREKO
- Brand- und Rauchversuche
- Numerische Modellierung
- Leistungskriterien
- Untersuchte Brandszenarien
- Türbrandversuche

Ausgangslage

- Ausgangslage:
 - Akuter Wohnraumbedarf in Städten
 - Hochverdichtete Quartiere
 - Nachverdichtungsmaßnahmen
 - Aufstockung
 - Ausbau von Dachgeschossen
 - Bebauung von Baulücken
 - Bebauung von rückwärtigen Grundstücken
 - Umnutzung vorhandener Infrastruktur
- Veränderung der Rettungswegsituation



[1]

Rettungswegsituation

- Zwei voneinander unabhängige Rettungswege ins Freie (§ 33 MBO)
- Erster Rettungsweg über den notwendigen Treppenraum
 - unproblematisch
- Zweiter Rettungsweg über Geräte der Feuerwehr
 - problematisch
- Zweiter baulicher Rettungsweg wird erforderlich

Rettungswegsituation

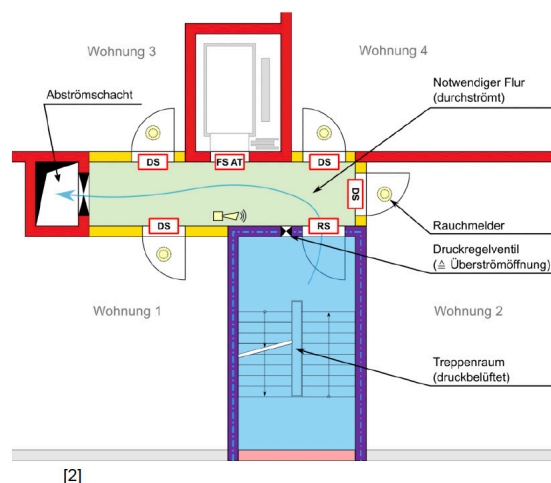
- Zweiter baulicher Rettungswege problematisch
 - erhebliche Eingriffe in den Grundriss
 - wirtschaftlich negative Auswirkungen

- Bauordnung fordert Sicherheitstreppe
 - schwierige Umsetzung

Lösungsansatz

- Alternative Rettungswegführungen
- Sicherheitstreppe light
 - Hamburg
 - Berlin

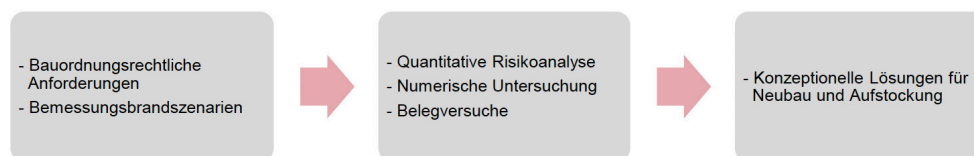
- **Aber: Welches Sicherheitsniveau?**



Projekt - ALREKO

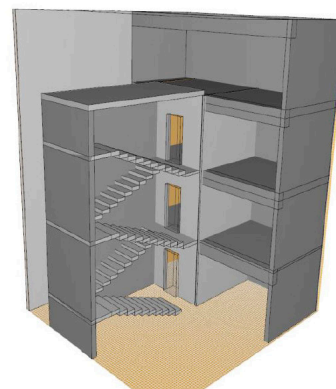
Entwicklung eines „alternatives Rettungswegkonzept“ für Gebäude und Aufstockungen in den GK 4 und 5

- Ziel: Rettungsweglösungen, die das bauordnungsrechtliche Sicherheitsniveau erfüllen



Brand- und Rauchversuche

- Validierung der numerischen Untersuchungen mittels Brandversuchen
- Türbrandversuche
 - Leistungsfähigkeit von Wohnungseingangstüren
 - Naturbrandbeanspruchung
 - Dichtschließende/klassifizierte Türen
 - T30
 - RS
 - T30-RS
 - ds



Brand- und Rauchversuche

Welchen Einfluss haben Wohnungseingangstüren auf die Brandsicherheit von Treppenträumen in mehrgeschossigen Wohngebäuden?

- Fokus auf der Leckage
 - Türen zwischen Wohnungen und notwendigen Treppenträumen
 - Vollbrand einer Wohnung
 - Vereinfachtes Naturbrandmodell
 - Numerisches Modell

Numerische Modellierung

- Simulationsdauer
 - Selbstrettung in der 10. Minute abgeschlossen
 - Fremdrettung in der 20. Minute abgeschlossen
 - Wirksame Löscharbeiten beginnen in der 30. Minute
 - Die Simulationsdauer wird auf 30 Minuten festgelegt
- Fensterversagen bei 300 °C

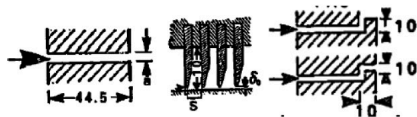
Leckagerate von Wohnungstüren

- Abhängig von
 - Türqualität
 - Klassifizierung
 - Fugenausbildung
 - Temperaturbereich
 - Wartungszustand
 - Verschleiß



Einfluss von Wohnungstüren

- Ansatz über Aussagen von Leckagen
 - Breite der Fuge zwischen Türblatt und Zarge ist bekannt
 - Temperaturbereich
 - Druckbereich



[3, editiert]

Δp	Temp	Dichte	Viskosität	Volumenfluss für Fugenbreiten			
				mm			
Pa	°C	Kg/m ³	10 ⁵ m ² /s	0,5	1,0	5,0	10,0
10	20	1,204	1,51	0,000144	0,00106	0,0146	0,0323
	100	0,946	2,30	0,000121	0,000938	0,0612	0,0362
	300	0,616	4,75	0,000088	0,000703	0,0185	0,0435
25	20	1,204	1,51	0,000358	0,00227	0,0243	0,0507
	100	0,946	2,30	0,000299	0,00212	0,0267	0,0570
	300	0,616	4,75	0,000223	0,00173	0,0314	0,0703
100	20	1,204	1,51	0,00138	0,00628	0,0507	0,1012
	100	0,946	2,30	0,00117	0,00612	0,0569	0,1150
	300	0,616	4,75	0,000887	0,00591	0,0678	0,1425

[4, editiert]



Numerische Modellierung

Modellierung der Türen

1	2	3	4
26			5
25			6
24			7
23			8
22			9
21			10
20			11
19			12
18			13
14	15	16	17

2,1 m

$$\dot{V}_{Leak} = C_d A_L \text{sign}(\Delta p) \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{p_\infty}}$$



Numerische Modellierung

- Rauchschutztür
 - Temperatur vor der Tür 300 °C
 - Versagen nach 5 min
 - Spaltgröße
 - Umlaufend 1/10 mm
 - Verdopplung der Leckagefläche
 - Temperatur vor der Tür 300 °C
 - nach 3 Minuten
- T30-RS
 - Verhalten wie Rauchschutztür
 - kein Versagen durch Brandbeanspruchung

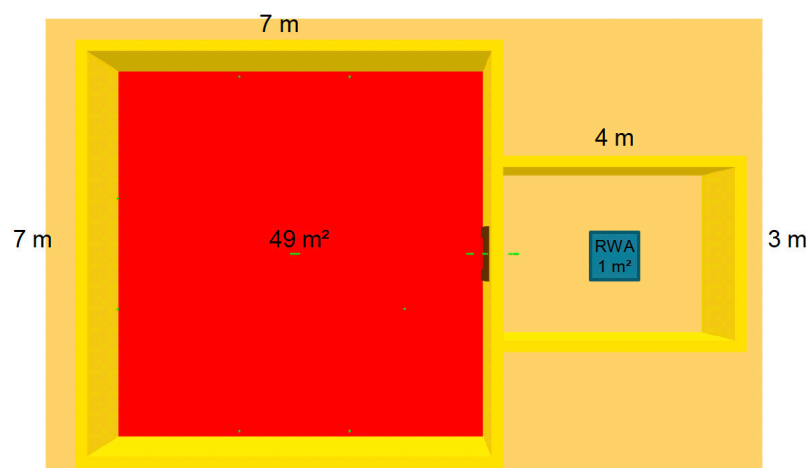


Leistungskriterien

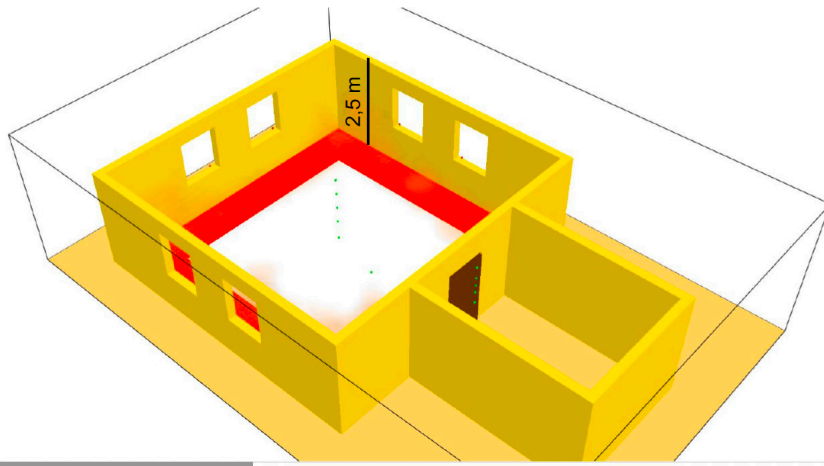
- Leistungskriterien für die Beurteilung der Personensicherheit
 - optische Dichte
 - maximale Gastemperatur
 - maximale Wärmestrahlung
- optische Dichte
 - lichttrübende Wirkung des Rauches
 - sichere Begehung von Rettungswegen
 - Massenkonzentration und Rauchdichte

Schutzziel	Optische Dichte [m^{-1}]
Selbstrettung	0,2
Fremdrettung	0,43
Wirksame Löscharbeiten	-

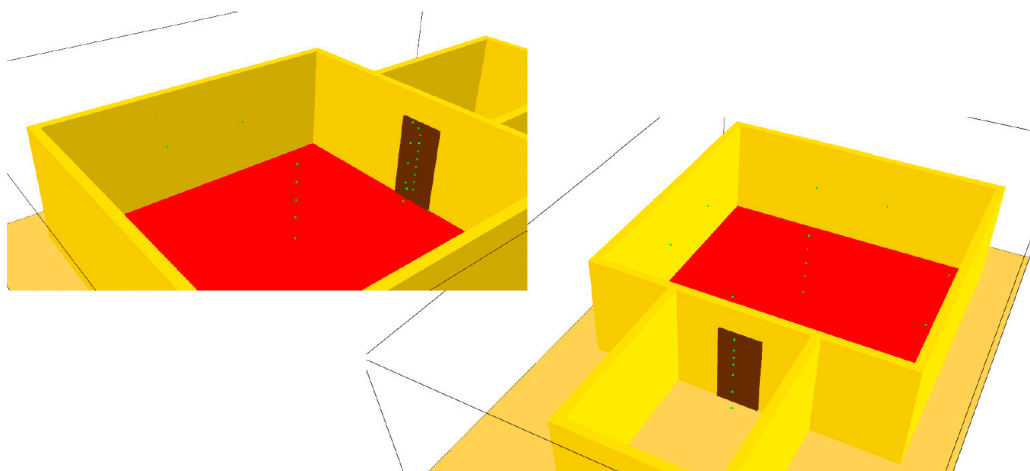
Geometrie



Geometrie

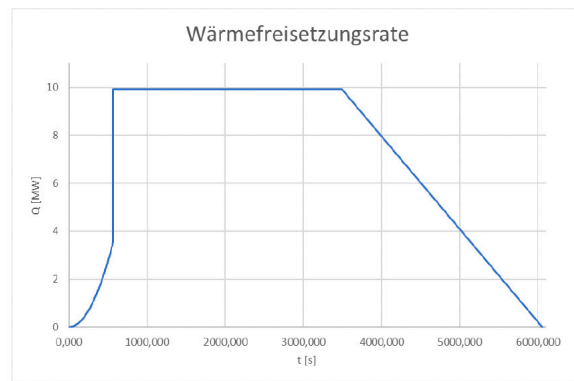
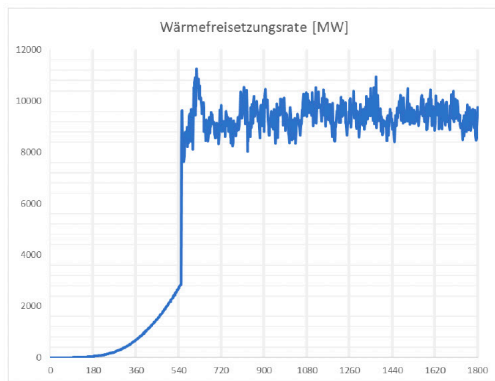


Geometrie



Wärmefreisetzungsrate

- Maximale Wärmefreisetzungsrate 9,94 MW
- Flashover nach 563 s



Wahl der Gitterauflösung

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}} \right)^{2/5} [m]$$

mit	D^*	=	Charakteristische Branddurchmesser	[m]
	\dot{Q}	=	Wärmefreisetzungsrate (HRR)	[kW]
	ρ_∞	=	Dichte der Luft	[kg/m ³]
	c_p	=	Spezifische Wärmekapazität von Luft	[kJ/(kg K)]
	T_∞	=	Temperatur der Umgebungsluft	[K]
	g	=	Erdbeschleunigung	[m/s ²]

Wahl der Gitterauflösung

$$R^* = \frac{D^*}{\delta x} [-]$$

mit	R^*	=	Charakteristische Auflösung	[-]
	D^*	=	Charakteristische Branddurchmesser	[m]
	δx	=	Größe einer Gitterzelle	[m]

Wahl der Gitterauflösung

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{2/5} [m]$$

$$D^* = \left(\frac{9.940 \text{ kW}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * 293 \text{ K} * \sqrt{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \right)^{2/5}$$

$$D^* = 2,41 \text{ m}$$

$$R^* = \frac{D^*}{\delta x} [-]$$

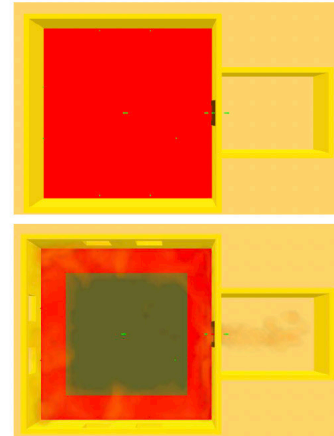
$$R^* = \frac{2,41 \text{ m}}{0,2 \text{ m}}$$

$$R^* = 12,05$$

Numerische Modellierung

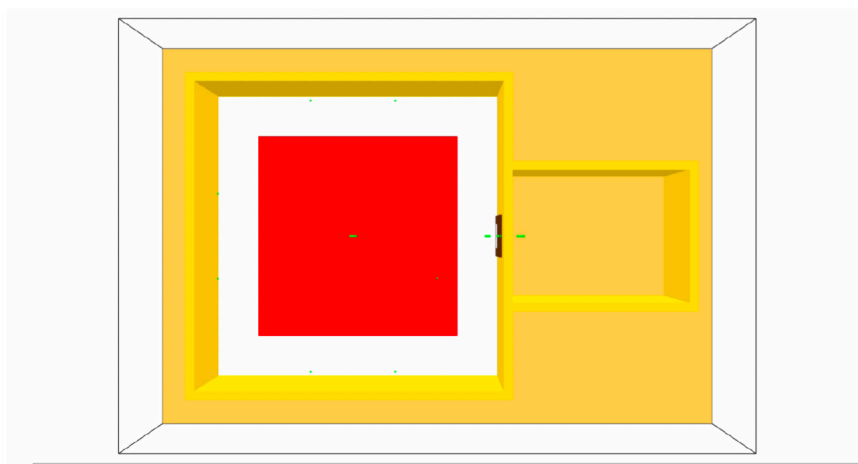
Implementierung

- flächenspezifische Wärmefreisetzungsrate
- In FDS mittels Heat Release Rate Per Unit Area (HRRPUA)
- Berücksichtigung Flashover durch Aufteilung der Brandfläche
- Wände und Decken aus Beton
 - Dicke von 20 cm
 - thermische Materialeigenschaften der DIN EN 1992-1-2



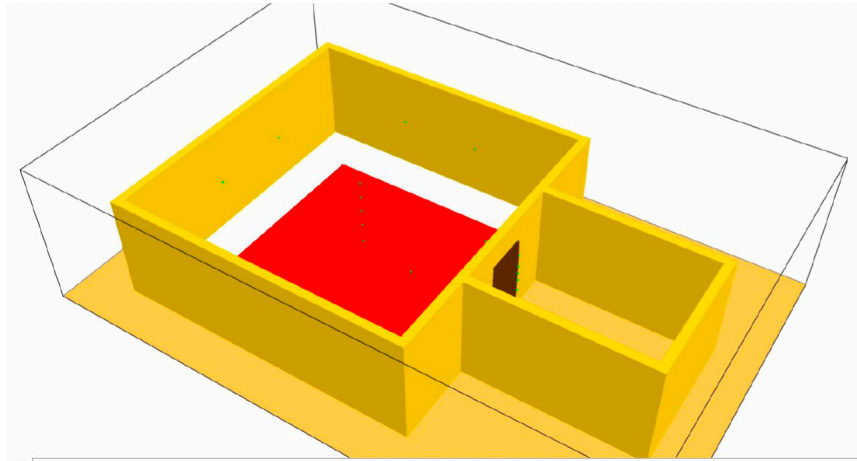
07.11.2024 | Jannik Rose | Einfluss der Wohnungsabschlusstüren auf die Brandsicherheit von Treppenträumen in mehrgeschossigen Wohngebäuden | Seite 23

Ergebnisse - Brandausbreitung



07.11.2024 | Jannik Rose | Einfluss der Wohnungsabschlusstüren auf die Brandsicherheit von Treppenträumen in mehrgeschossigen Wohngebäuden | Seite 24

Ergebnisse - Rauchfreisetzung



07.11.2024 | Jannik Rose | Einfluss der Wohnungsabschlusstüren auf die Brandsicherheit von Treppenträumen in mehrgeschossigen Wohngebäuden | Seite 25

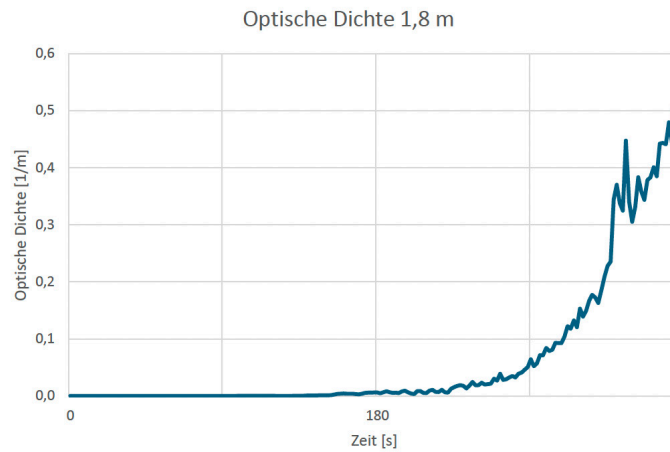
Ergebnisse – RS

Zeit (mm:ss)	Beobachtung
00:00	Start der Simulation
02:32	Erster Raucheintritt in den Treppenraum.
05:13	Optische Dichte > 0,2 m ⁻¹
05:17	Gastemperatur > 50 °C.
05:46	Optische Dichte > 0,43 m ⁻¹
05:55	Wärmestrahlung vor der Tür > 2,5 kW/m ²
06:36	Erste Fenster versagen.
09:10	Es kommt zum Flashover. Alle Fenster haben versagt.
10:00	Wärmestrahlung vor der Tür > 4 kW/m ² Gastemperatur > 150 °C. Es kommt zum Versagen der Tür.
30:00	Ende der Simulation



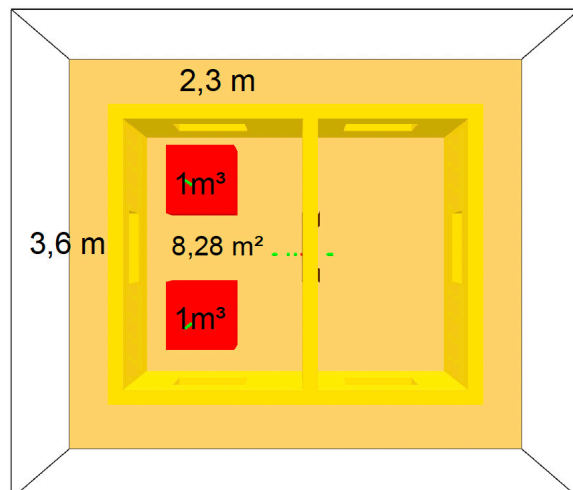
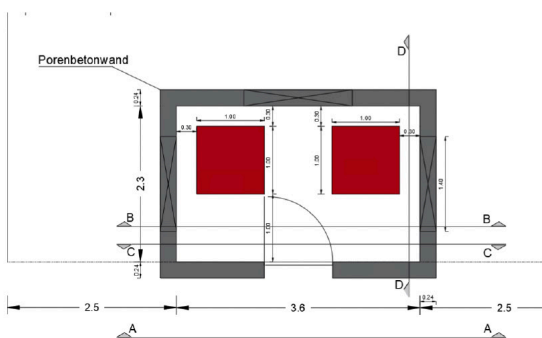
07.11.2024 | Jannik Rose | Einfluss der Wohnungsabschlusstüren auf die Brandsicherheit von Treppenträumen in mehrgeschossigen Wohngebäuden | Seite 26

Ergebnisse - Optischen Dichte

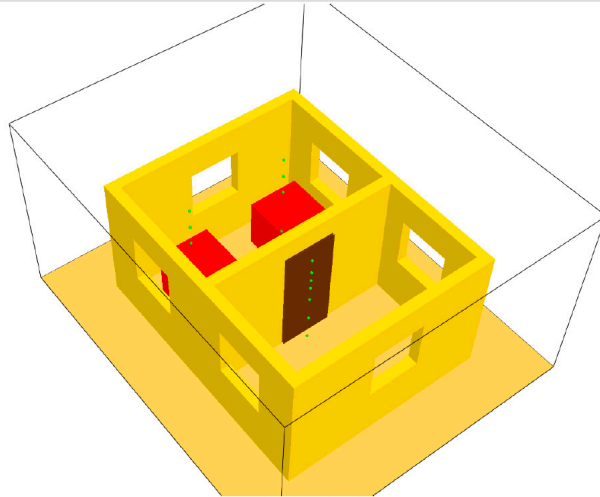


Untersuchte Brandszenarien – Forschungsprojekt

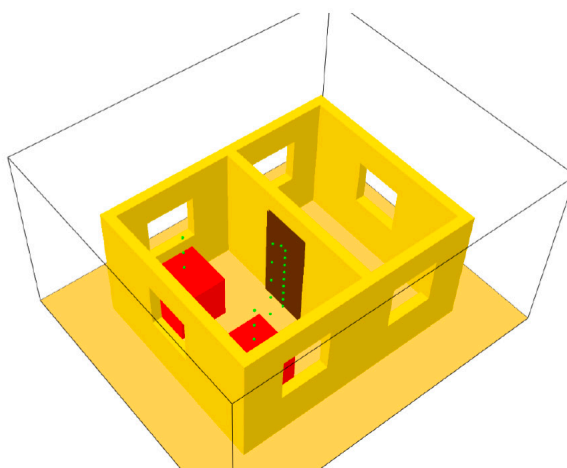
- Öffnungsfläche der Fenster 3,6 m²
- Deckenhöhe 2,5 m



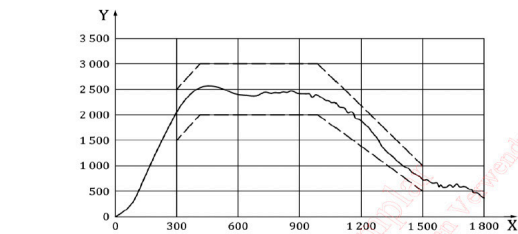
Geometrie



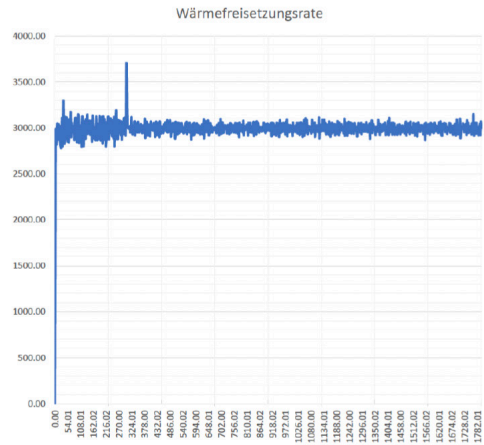
Geometrie



Wärmefreisetzungsrate



Legende
 X Zeit in s
 Y Wärmefreisetzungsrate in kW
 — rechnerisch ermittelte Wärmefreisetzungsrate
 - - - obere und untere Toleranzgrenze der rechnerisch ermittelten Wärmefreisetzungsrate
Bild D.2 — Aus Bild D.1 abgeleitete Wärmefreisetzungsrate und nach 4.6 zugelassene rechnerisch ermittelte Wärmefreisetzungsrate zwischen 300 s und 1 500 s (gestrichelte Linien)



DIN 4102-24



Wahl der Gitterauflösung

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}} \right)^{2/5} [m]$$

$$R^* = \frac{D^*}{\delta x} [-]$$

$$D^* = \left(\frac{3.000 \text{ kW}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * 293 \text{ K} * \sqrt{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \right)^{2/5}$$

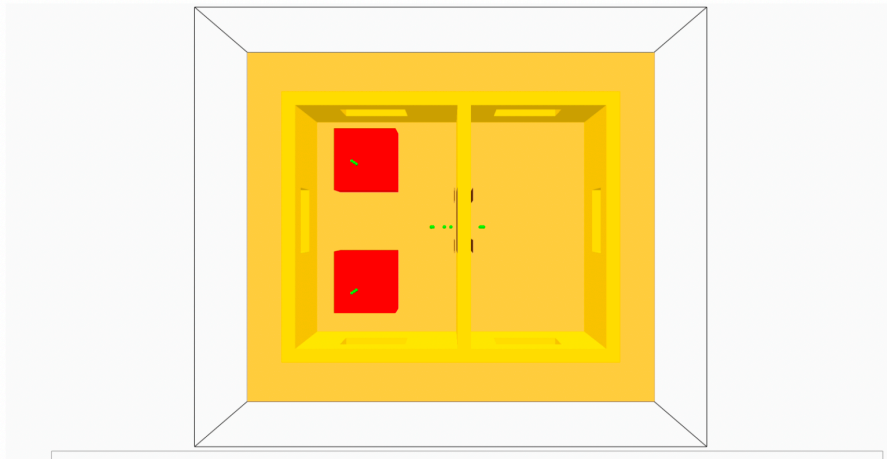
$$R^* = \frac{1,49 \text{ m}}{0,2 \text{ m}}$$

$$R^* = 7,45$$

$$D^* = 1,49 \text{ m}$$

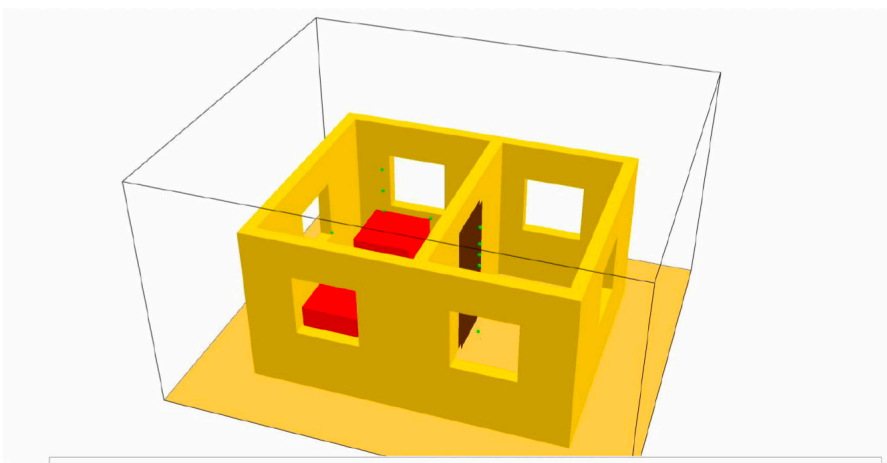


Ergebnisse - Brandausbreitung



07.11.2024 | Jannik Rose | Einfluss der Wohnungsabschlusstüren auf die Brandsicherheit von Treppenträumen in mehrgeschossigen Wohngebäuden | Seite 33

Ergebnisse - Rauchfreisetzung

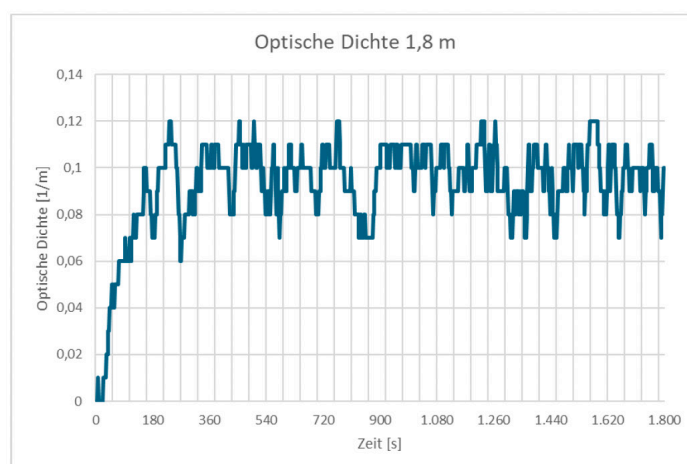


07.11.2024 | Jannik Rose | Einfluss der Wohnungsabschlusstüren auf die Brandsicherheit von Treppenträumen in mehrgeschossigen Wohngebäuden | Seite 34

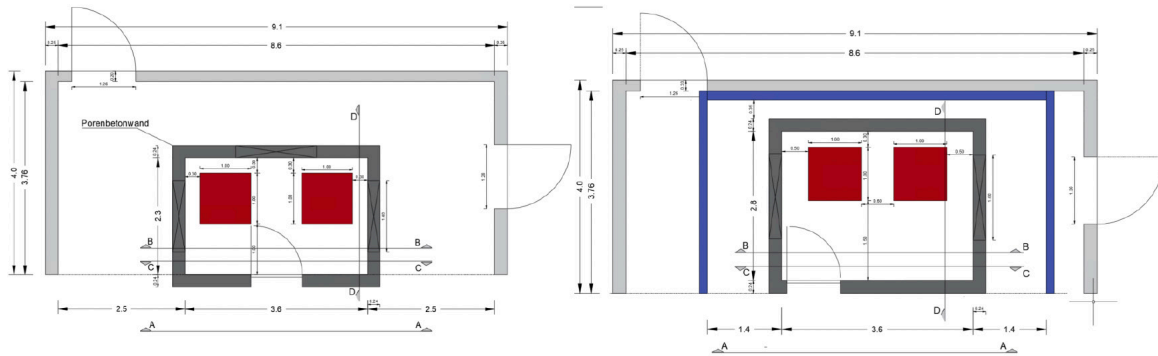
Ergebnisse – T30-RS

Zeit (mm:ss)	Beobachtung
00:00	Start der Simulation
00:03	Erster Raucheintritt in den Treppenraum.
30:00	Ende der Simulation

Ergebnisse - Optischen Dichte



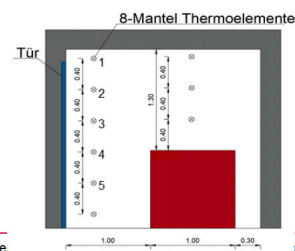
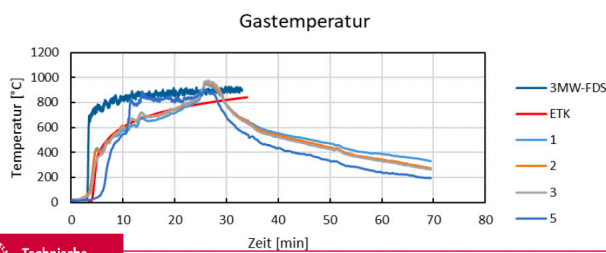
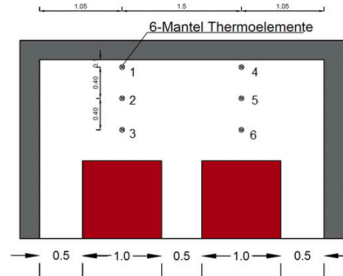
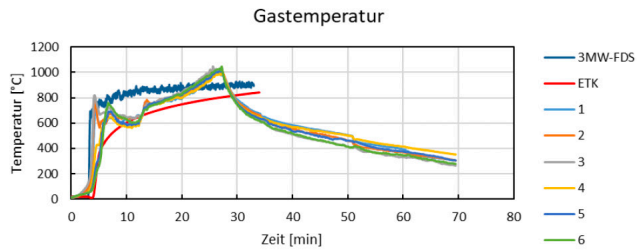
Geometrie der Türbrandversuche



Türbrandversuch



Türbrandversuch



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Gibt es noch Fragen?

Literaturverzeichnis

- [1] Adobe Firefly
- [2] Freie und Hansestadt Hamburg; Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen; Amt für Bauordnung und Hochbau: Bauprüfdienst, Sicherheitstreppe in Wohngebäuden (BPD 2021-1), Version 2 vom 03.03.2021.
- [3] Gross, Daniel: Estimating Air Leakage Through Doors for Smoke Control; in Fire Safety Journal 17; pp. 171-177; 1991.
- [4] Gross, Daniel; Haberman, William L.: Analysis and Prediction of Air leakage through Door Assemblies; in: Fire Safety Science – Proceedings of the Second International Symposium, pp. 169-178

Frank Markert:

Hydrogen jet fire modelling in FDS using Lagrangian particles

Abstract:

Wasserstoff als Treibstoff in Fahrzeugen für den Straßenverkehr wird typischerweise in Hochdruckbehältern gelagert. Diese sind mit einem Sicherheitsventil (TPRD - Temperature (activated) Pressure Release Device) ausgerüstet, welches eine Notleerung des Gases durch eine Temperaturaktivierung einleitet. Die Aktivierungstemperatur liegt bei 110 °C. Das bedeutet das z.B. ein Brand in einem Parkhaus ein in der Nähe befindliches TPRD aktivieren kann und der ausströmende Wasserstoff entzündet werden kann. Dies führt zu einem jet fire.

In FDS sind diese Szenarien nicht direkt zu simulieren, da die Austrittsgeschwindigkeit des Wasserstoffes grösser als Mach 0.3 ist und damit nicht mehr als inkompressible Strömung betrachtet werden kann.

In dem Vortrag wird gezeigt, wie die FDS-Funktionalität der 'Lagrangian Particles' angewand werden kann, um trotz der zuvor beschriebenen Begrenzung ein TPRD imitiertes Brandszenario in einem Parkhaus berechnen zu können.



18. Anwendertreffen der FDS Usergroup 2024

Hydrogen jet fire modelling in FDS using Lagrangian particles

Wenqian Liu (DTU construct, **Frank Markert (DTU construct; contact: fram@dtu.dk)**)

L. Giuliani (DTU construct), S. Hostikka (Aalto University)

Technical University of Denmark

18. Anwendertreffen der FDS Usergroup, Berlin 07. - 08. November 2024

1



Hintergrund

PhD Projekt Wenqian Liu (11/2020 – 02/2024):

Advanced fire engineering tool for integrated analysis of structural design parameters

Inhalt:

Entwicklung und Validierung eines Lagrangian Jet Fire Models in FDS zur Modellierung von hochdruck Wasserstoff Strahlaustritten .

Anwendung des Modells zur Beurteilung von Brandszenarien in einem Parkhaus – Kopplung von FDS mit ANSYS Mechanical APDL

Kooperation mit Prof. Simo Hostikka, Aalto University

Main Funding der Dissertation:

- **EU Projekt HyTunnel CS:**
Pre-normative research for safety of hydrogen driven vehicles and transport through tunnels and similar confined spaces
 - This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (now Clean Hydrogen Partnership) under Grant Agreement No 826193. This Joint Undertaking receives support from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation program, Hydrogen Europe and Hydrogen Europe Research.
 - <https://hytunnel.net/>
- **DTU - Joint alliance research projects**
- **Otto Mønsted Fond** – Reiselegat für Studienaufenthalt an der Universität Aalto, Finnland



Technical University of Denmark

18. Anwendertreffen der FDS Usergroup, Berlin 07. - 08. November 2024

2



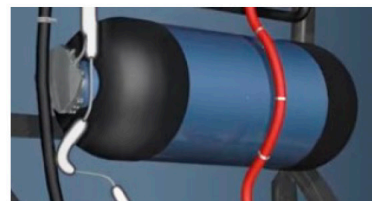
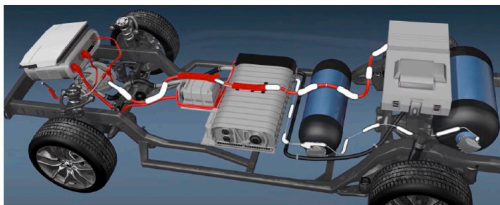
Hintergrund

Vorgeschriebene Sicherheitstechnik in Fahrzeugen:

Thermal Pressure Release Device -> TPRD

- Öffnet Druckbehälter bei einer Aktivierungstemperatur von ca. 110 °C

Thermal pressure relief device (TPRD)



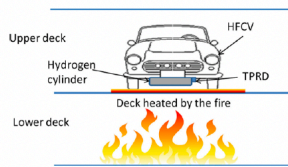
[Toyota Europe](https://www.youtube.com/watch?v=-WyyqLV0maRU) (https://www.youtube.com/watch?v=-WyyqLV0maRU)



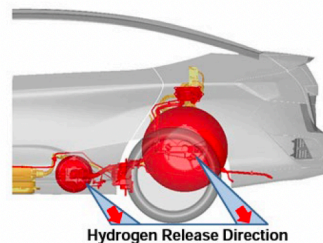
Zielsetzung

Ziel war es ein FDS Sub-model zu entwickeln, welches in der Lage ist die supersonische Geschwindigkeit bei der Auströmung von Wasserstoff und 'jet flame' Szenarien zu berücksichtigen.

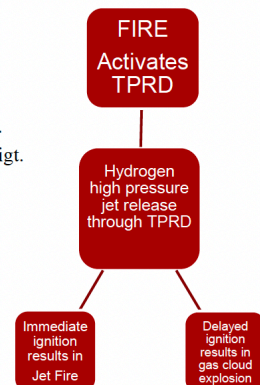
- Solche Austritte haben eine Machzahl $Ma \gg 0.3$, welche nicht direkt mit dem FDS solver darstellbar sind.
- Der Ansatz:
 - Anwendung des Lagrangian particle Submodels der FDS software
- Eine frühere Anwendung zu Austritten von Methan aus einer Pipeline ist im FDS Validierungs - rapport dokumentiert, welche aber grosse Abweichungen zum Experiment (Pipeline austritt) zeigt.



<https://doi.org/10.1016/j.jhydene.2016.07.031>



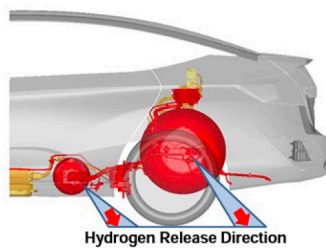
<https://www.nfpa.org/-/media/Files/Training/AFV/Emergency-Response-Guides/Honda/Honda-Clarity-FCV-2017-2018-ERG.aspx>





Validierung:

Hydrogen safety in confined spaces
Lach, Agnieszka Weronika
Doctoral thesis



Simplifizierung eines Fahrzeugs



Experimenteller Setup der University of South Eastern Norway (USN)

<https://www.nfpa.org/-/media/Files/Training/AFV/Emergency-Response-Guides/Honda/Honda-Clarity-FCV-2017-2018-ERG.aspx>

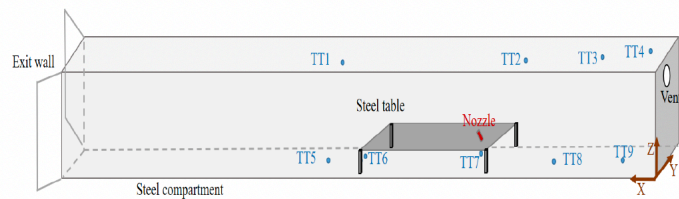
<https://openarchive.usn.no/usn-xmliui/handle/11250/3013137>



USN's experimenteller Setup

Geometrie der "Garage" und die Positionen der Sensoren

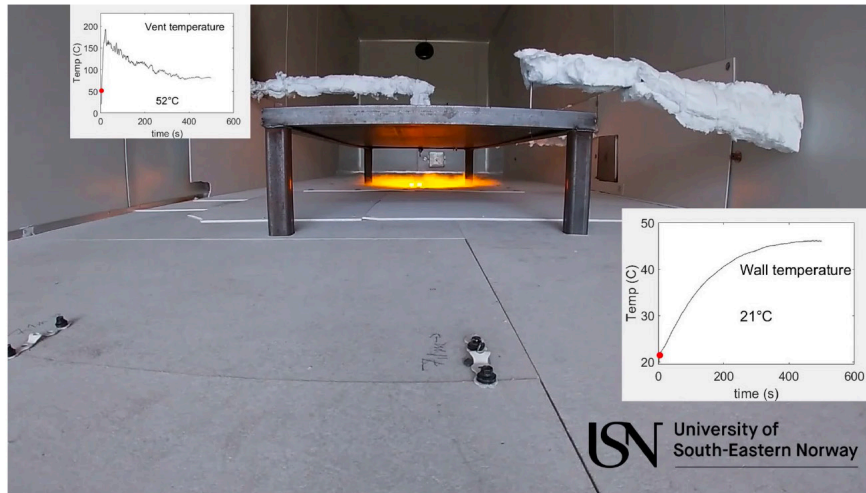
- Hydrogen jet fire: Richtung 45° nach Hinten zum Boden (USN: Lach, A.W., et al., 2022)
- Austritt in einem (feuerisoliertem) Stahlcontainer bei offener Tür.
- Messungen: **Gastemperaturen**



Test no.	Tankdruck (Bar)	TPRD Diameter (mm)	Luftaustausch im Container (1/h)	Blowdown Dauer (s)	Initiale mass flow rate (g/s)
Test1	698	0.5	6	500	7.4
Test2	360	0.5	6	500	4.0
Test3	357	1	6	367	13



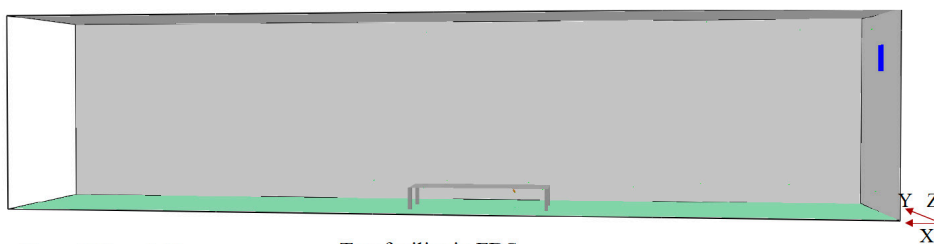
Validierung:



Experimenteller Setup der University of South Eastern Norway (USN) <https://openarchive.usn.no/usn-xmlui/handle/11250/3013137>



FDS setup - Numerical details (1/4)



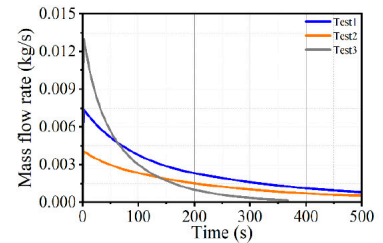
12m x 2.24m x 2.28m
(X x Y x Z)

Test facility in FDS

Verbrennung	Large Eddy Simulation model
Turbulenz	Large Eddy Simulation model
Wärmestrahlung	Grey Gas model



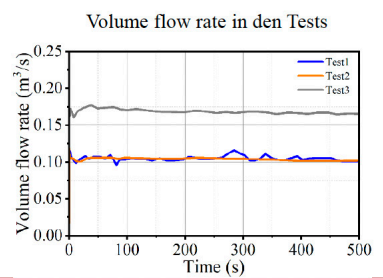
FDS setup - Numerical details (2/4)



Mass flow rate in den Tests

Key FDS codes for input parameter

- Düse: &DEVC; &PROP
- Partikel: &PART; &PROP
- Hydrogen flow: &PROP
 - MASS_FLOW_RATE
 - FLOW_RAMP
- Ventilation: &SURF
 - VOLUME_FLOW
 - RAMP_V

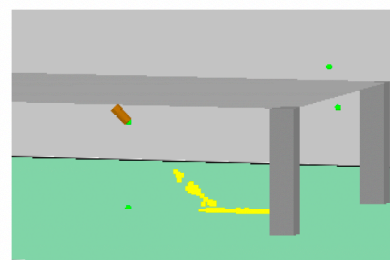


Volume flow rate in den Tests

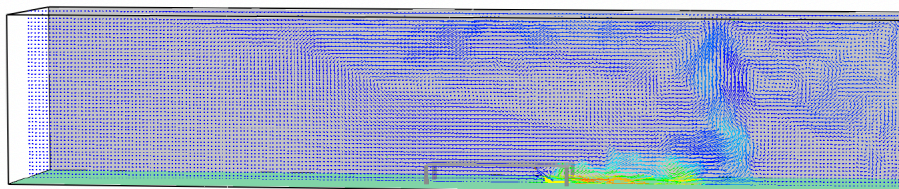


FDS setup - Numerical details (3/4)

Initial Parameters of Droplets	
Droplet Diameter	1000 μm
Particle initial velocity	200 m/s
Particle account	10000 /s
Spray angle	5°
Auto-ignition temperature	250 °C



Lagrangian Particles

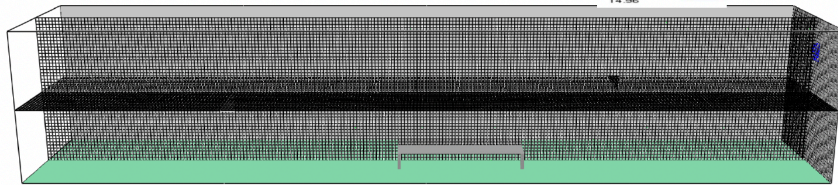
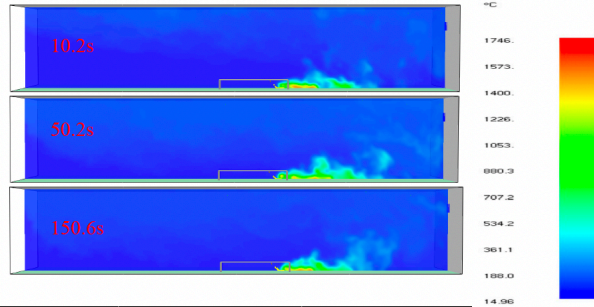


Temperature vector slice



FDS setup - Numerical details (4/4)

Temperaturen zu verschiedenen Zeiten



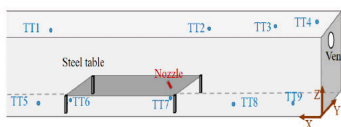
Mesh Studie

Gitter vom kompletten Model (0.05m x 0.05m x 0.05m)

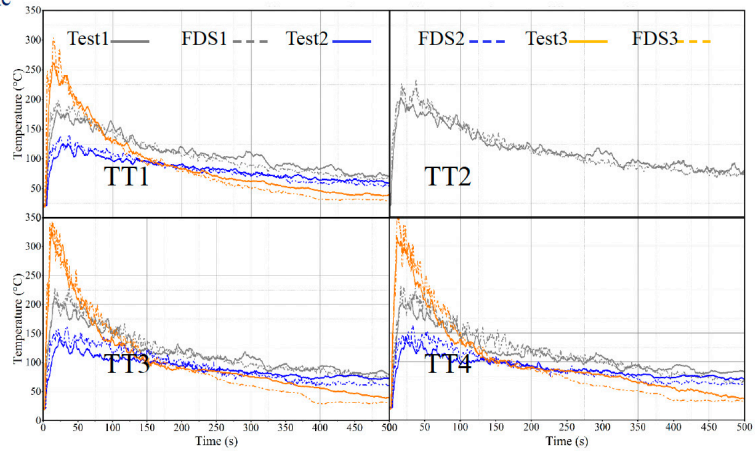


Vergleich von Simulation mit Experiment (1/3)

Gasttemperaturen nahe der Containerdecke



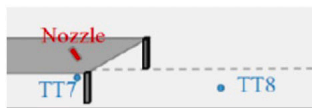
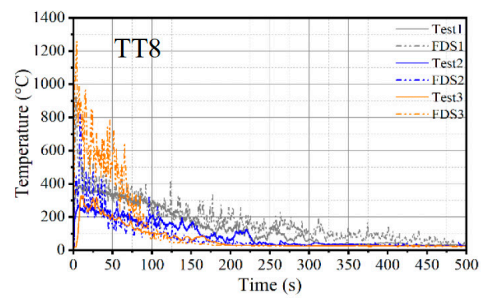
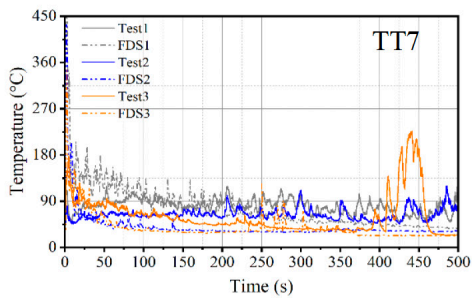
Das FDS Jet Fire Model ergibt eine exzellente Berechnung der experimentell gemessenen Deckentemperaturen.





Vergleich von Simulation mit Experiment (2/3)

Gasttemperaturen – in der Richtung der Jet plume



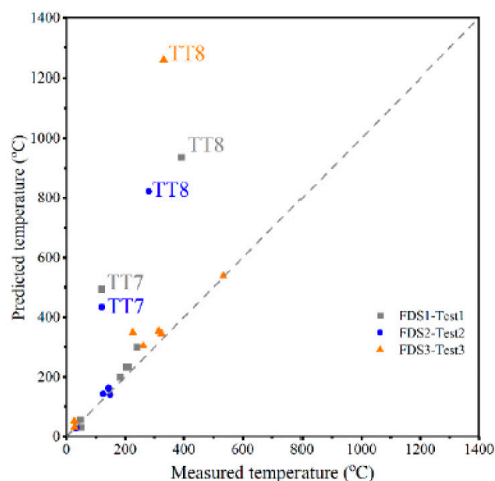
Predictions are deviating,

Likely reasons:

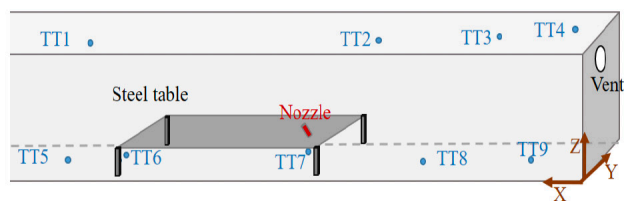
- Fine details of the nozzle
- Thermocouple placement
- Other geometrical factors



Vergleich von Simulation mit Experiment (3/3)



A comparison of predicted and measured maximum temperatures for the different fire scenarios



1. Most of the temperatures in the FDS model can be predicted well
2. The gas temperature in the direction of the jet plume is difficult to estimate



Sensitivity study Theory of Grey Relational Analysis -GRA

Grey relational analysis (GRA) is one of the efficient ways to evaluate the influences of various parameters on some indicators [39]. GRA aims to measure the degree of correlation among parameters and indicators by giving a single grey relational grade (GRG) to each parameter.

- Hence, GRA has been applied in many fields, e.g., energy systems [39], city sustainability [40], manufacturing industries [41], and so on.

In this study, the GRA [42][43] exemplified below is employed to evaluate the impact of numerical and physical parameters on the gas temperature under hydrogen jet fires.

- the **gas temperature is set to the reference sequence, and numerical and physical parameters are set as the comparative sequences.**
- Normalizing these sequences is the next step, based on the relationship between each comparative sequence and reference sequence, such as target value, smaller the better or larger the better [44] (see Eq. (9)). **In this study, the reference sequence is normalized based on the desired value.** (other approaches could be 'the smaller the better' or 'the larger the better')

$$xi^*(k) = \left\{ \begin{array}{l} 1 - |xi(k) - OV| / \text{MAX}\{\text{MAX}.xi(k) - OV, OV - \text{MIN}.xi(k)\} \quad \text{desired value} \\ \text{MAX}.xi(k) - xi(k) / \text{MAX}.xi(k) - \text{MIN}.xi(k) \quad \text{smaller the better} \\ xi(k) - \text{MIN}.xi(k) / \text{MAX}.xi(k) - \text{MIN}.xi(k) \quad \text{larger the better (9)} \end{array} \right.$$

Where $xi^*(k)$ is the normalized data of the i th parameter on the k th level in a comparative matrix. Herein, this comparative matrix contains 7 comparative sequences and 29 levels following the 29 simulation cases in section 4.2 of this study. $\text{MAX}.xi(k)$ and $\text{MIN}.xi(k)$ are the maximum and minimum values of each sequence, respectively. OV is the desired value, and the maximum gas temperature of each measurement obtained in the test is the desired value here.

Where $xi^*(k)$ is the normalized data of the i th parameter on the k th level in a comparative matrix. Herein, this comparative matrix contains 7 comparative sequences and 29 levels following the 29 simulation cases in section 4.2 of this study. $\text{MAX}.xi(k)$ and $\text{MIN}.xi(k)$ are the maximum and minimum values of each sequence, respectively. OV is the desired value, and the maximum gas temperature of each measurement obtained in the test is the desired value here.



Sensitivity study Theory of Grey Relational Analysis -GRA

Finally, the GRG is calculated by averaging the cosine value of fuzzy membership and the Euclidean grey relational grade [39][43] as expressed by Eq. (10). Then Eq. (11) is used to calculate the cosine value of fuzzy membership and

Eq. (12) is used to get the Euclidean grey relational grade.

$$\gamma_{ij} = \sqrt{\gamma_{1ij}^2 + \gamma_{2ij}^2} \quad (10)$$

$$\gamma_{1ij} = \frac{\sum_{k=1}^n xi^*(k) yj^*(k)}{n} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n xi^*(k) yj^*(k) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n xi^*(k) yj^*(k) \quad , i=1,2,3,4,5,6,7 ; k=1,2,\dots,n. \quad (11)$$

$$\gamma_{2ij} = 1 - 2\sqrt{\sum_{k=1}^n |xi^*(k) - yj^*(k)|} / 2n \quad (12)$$

Where:

$yj^*(k)$ is the normalized data of the j -th indicator on the k -th level in a reference matrix. wk is the weight coefficient obtained by the entropy weight method [45].

$\xi_{ij}(k)$ is the grey relational coefficient between $xi^*(k)$ and $yj^*(k)$ [46].



Literature GRA

[39] Wu D, Zhou P, Zhou CQ. Evaluation of pulverized coal utilization in a blast furnace by numerical simulation and grey relational analysis. *Applied Energy* 2019;250:1686-1695. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.051>.

[40] Yi P, Dong Q, Li W, Wang L. Measurement of city sustainability based on the grey relational analysis: The case of 15 sub-provincial cities in China. *Sustainable Cities and Society* 2021;73:103143. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103143>.

[41] Çaydaş U, Haşçalık A. Use of the grey relational analysis to determine optimum laser cutting parameters with multi-performance characteristics. *Optics & Laser Technology* 2008;40(7):987-994. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2008.01.004>.

[42] Zhu R, Zhou P, Zhou C, Li J. Fuzzy grey relational analysis for influencing factors of heat transfer in a blast furnace hearth. *Ironmaking & Steelmaking* 2018; 45(10):899-906. <https://doi.org/10.1080/03019233.2017.1410967>.

[43] Zuo W, Jiaqiang E, Liu X, Peng Q, Deng Y, Zhu H. Orthogonal experimental design and fuzzy grey relational analysis for emitter 409 efficiency of the micro-cylindrical combustor with a step. *Applied Thermal Engineering* 2016;103:945-951. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.04.148>.

[44] Das A, Majumder A, Das PK. Detection of apposite PSO parameters using Taguchi based grey relational analysis: optimization and implementation aspects on manufacturing related problem. *Procedia Materials Science* 2014;6:597-604. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.074>.

[45] Zou Z-h, Yun Y, Sun J-n. Entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment. *Journal of Environmental Sciences* 2006; 18(5):1020-1023. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(06\)60032-6](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(06)60032-6).

[46] Lin JL, Lin CL. The use of the orthogonal array with grey relational analysis to optimize the electrical discharge machining process with multiple performance characteristics. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2002;42(2):237-244. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(01\)00107-9](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(01)00107-9).



Sensitivity study

- Grey Relational Analysis

Table 3 Parameters of the base case

Parameter	Value	Description
AEZ:	X1,X2,Y1,Y2,Z1,Z2	Specify a volume in which ignition may occur
AIT_EXCLUSION_ZONE	3.5 m,4.8 m,0.77 m,1.47 m,0 m,0.1 m (varied parameter is Z2, the upper boundary of AEZ)	
Numerical parameters	OF: OFFSET PPS: PARTICLES_PER_SECOND CELL	Distance of the droplet inflow surface from the nozzle Number of droplets inserted every second The total grid cells of the model
Physical parameters	PV: PARTICLE_VELOCITY SA: SPRAY_ANGLE AIT: AUTO_IGNITION_TEMPERATURE	Initial droplet velocity Opening half-angle of the jet cone. Auto-ignition temperature is a cell temperature at the beginning of the time step below which combustion does not occur

In line with parameters in the Loughborough jet model [38] and FDS user guide [31], **four numerical parameters (AEZ, OF, PPS, and CELL)** and **three physical parameters (PV, SA, and AIT)** are selected in this study, and values of different parameters in the base case are shown in Table 3.

Note that only one parameter value was changed in each simulation of the sensitivity study, and a total of 29 simulation cases are investigated in the following analysis



Calculated grey relational grades

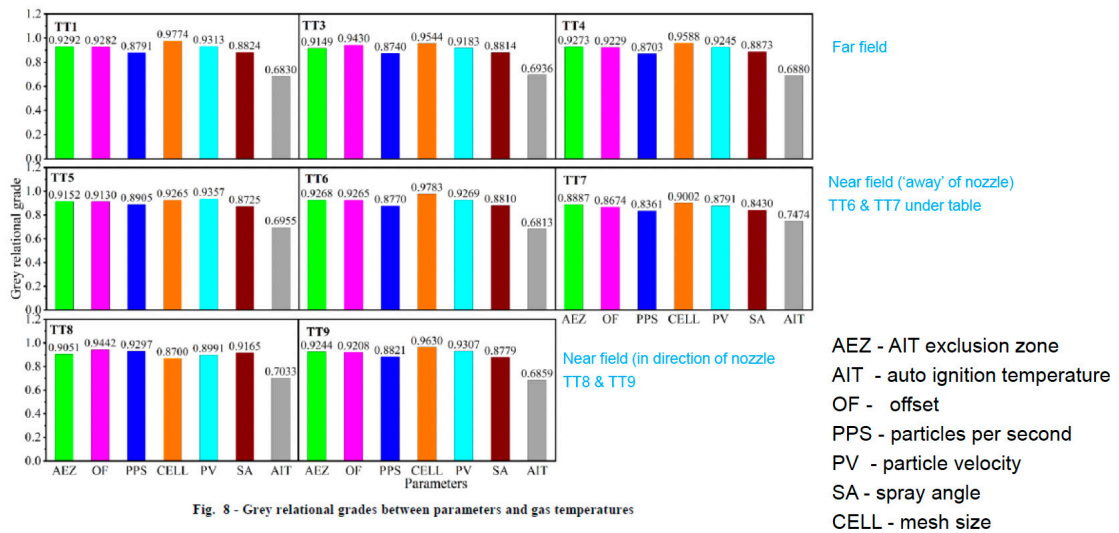


Fig. 8 - Grey relational grades between parameters and gas temperatures



Discussion of sensitivity study

A grey relational analysis on four numerical and three physical parameters was performed to obtain the GRG (grey relational grade) between each parameter of the FDS model and the gas temperatures.

- The CFD mesh resolution was found to be the dominant factor for the gas temperatures close to the ceiling and vent and under the steel table.
- As for the locations in the direct jet plume, the spray angle was also important in addition to the particle insertion offset and particle count.
- Details of the auto-ignition temperature were not important for the prediction of gas temperature in the FDS model.



Fazit

- Ein Wasserstoff Jet Fire (Gasgeschwindigkeit: $Ma \gg 0.3$) wurde in FDS in Form von Lagrangian "Wasserstoffpartikeln" modelliert.
 - Diese Partikel ergeben insgesamt die Massen des Wasserstoffes im System und generieren einen gewissen Impuls, um die resultierende Luftströmung eines Jets zu simulieren.
- Die Gastemperatur im Fernfeld der TPRD-Düsenströmung (nahe der Decke) konnte mit guter Präzision berechnet werden.
- Die Gastemperatur im Nahfeld der TPRD-Düsenströmung ist nur mit ungenügender Präzision berechnet worden.
 - Weitere Untersuchungen für das Nahfeld sind daher notwendig.
- Weitere Untersuchungen sind notwendig, um die Methode für weitere TPRD Austrittsrichtungen, Düsenöffnungen und Umgebungen zu validieren.

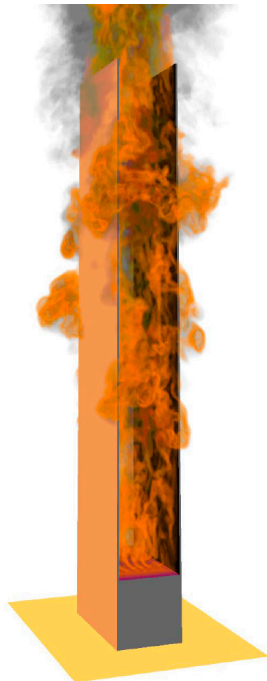


Tristan Hehnen:

PMMA pyrolysis simulation - from micro to real scale

Abstract:

Am Beispiel von Poly(methyl methacrylate) (PMMA) wird veranschaulicht, wie Brandausbreitung mithilfe von Pyrolyse simuliert werden kann. Dazu werden Methoden gezeigt, um Parametersätze für Materialmodelle auf Basis von Daten gängiger kleinskaliger Experimente zur Branddynamik zu entwickeln. Inverse Modellierung spielt dabei eine zentrale Rolle. Die Leistung dieser Parametersätze wird überprüft, indem sie verwendet werden, um den Verlauf eines Brandexperiments im Realmaßstab vorherzusagen. Abschließend werden Herausforderungen und offene Fragen des vorgestellten Verfahrens beleuchtet.



PMMA Pyrolysis From micro- to real-scale

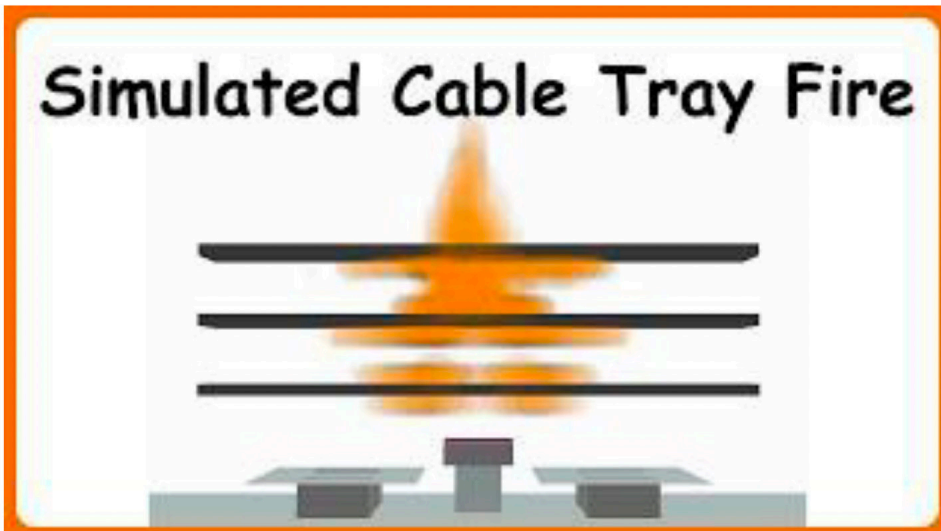
Tristan Hehnen
Computational Civil Engineering (CCE)

hehnen@uni-wuppertal.de



Kabelbrände, FDS User Group Meeting in 2017

Simulated Cable Tray Fire

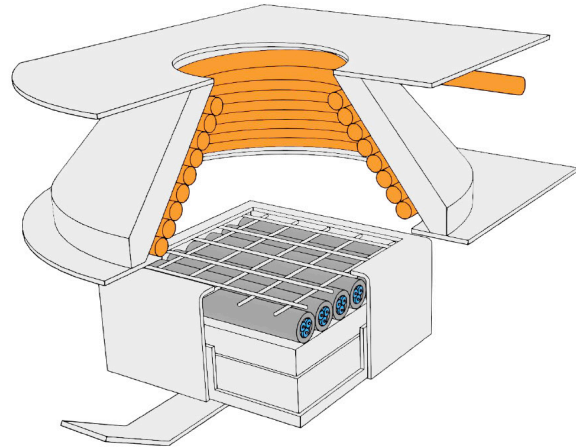


CHRISTIFIRE Phase 1, Multiple Tray Test 3 (MT-3)



Grundsätzliches Ziel:

- Simulieren von selbstgesteuerter Brandausbreitung
- Umfassende Materialparameter Sets
 - abgeleitet von Experimenten
 - thermische Zersetzung (Pyrolyse)
 - thermo-physikalische Parameter
 - Gasphasenverbrennung
- Erhoffte Nutzung für praktische Brandsimulationen
 - Niedrige Fluidauflösung
 - Vereinfachte Modellannahmen



Source:

Grundlage dieser Präsentation

Fire Safety Journal 141 (2023) 103926

Contents lists available at ScienceDirect

Fire Safety Journal

journal homepage: www.elsevier.com/locate/firesaf

PMMA pyrolysis simulation – from micro- to real-scale
 Tristan Hehnen^a, Lukas Arnold^{b,a,*}

^a Chair of Computational Civil Engineering, University of Wuppertal, Pauluskirchstraße 7, 42285 Wuppertal, Germany
^b Institute for Advanced Simulation, Forschungszentrum Jülich, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich, Germany

<p>ARTICLE INFO</p> <p>Dataset link: https://doi.org/10.5281/zenodo.7065338</p> <p>Keywords: Fire Dynamics Simulator (FDS) Inverse modelling Pyrolysis Arrhenius equation Poly(methylmethacrylate) (PMMA) Thermogravimetric Analysis (TGA) Micro-Combustion Calorimetry (MCC) Cone calorimeter Parallel panel test MaCFP materials database</p>	<p>ABSTRACT</p> <p>In fire spread simulations, heat transfer and pyrolysis are processes to describe the thermal degradation of solid material. In general, the necessary material parameters cannot be directly measured. They are implicitly deduced from micro- and bench-scale experiments, i.e. thermogravimetric analysis (TGA), micro-combustion (MCC) and cone calorimetry. Using a complex fire model, an inverse modelling process (IMP) is capable to find parameter sets, which are able to reproduce the experimental results. In the real-scale, however, difficulties arise predicting the fire behaviour using the deduced parameter sets. Here, we show an improved model to fit data of multiple small scale experiment types. Primarily, a gas mixture is used to model an average heat of combustion for the surrogate fuel. The pyrolysis scheme is using multiple reactions to match the mass loss (TGA), as well as the energy release (MCC). Additionally, a radiative heat flux map, based on higher resolution simulations, is used in the cone calorimeter setup. With this method, polymethylmethacrylate (PMMA) micro-scale data can be reproduced well. For the bench-scale, IMP setups are used differing in cell size and targets, which all lead to similar and good results. Yet, they show significantly different performance in the real-scale parallel panel setup.</p>
--	--



Source: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>

Verfahren zum Erstellen der Parameter Sets:

- Inverse modelling process (IMP)
 - Ziel: Daten von Experimenten
 - Hier: PMMA von MaCFP
- IMP in zwei Schritten
- Schritt 1: Pyrolyseparameter bestimmen
 - Micro-scale: DCS, MCC, TGA ...
 - Zersetzungsmodell
- Schritt 2: Thermo-physikalische Parameter bestimmen
 - Bench-scale: Cone calorimeter
- IMP durchgeführt mit PROPTI
- Simulationen: Fire Dynamics Simulator (FDS 6.7.6)



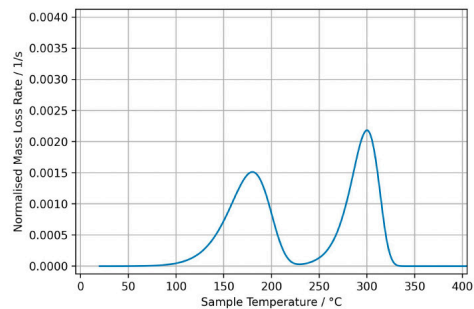
5

Source: <https://github.com/MaCFP/matl-db/tree/7f89fd85f75cd2d4999c262f9b39f2f8109e12ef>

Schritt 1: Pyrolyse

Für einzelnen Reaktionsschritt:

- Reaktionsrate: $d\alpha/dt$
- Reaktionskonstante: $k(T)$
- Reaktionsmodell: $f(\alpha)$
- Druckabhängigkeit: $h(P)$
 - könnte bedeutende Auswirkungen haben (reversible/autokatalytische Zersetzung)
 - selten angesprochen / oft vernachlässigt (auch hier, i.e. FDS default ...)



$$\frac{d\alpha}{dt} = k(T)f(\alpha)h(P)$$

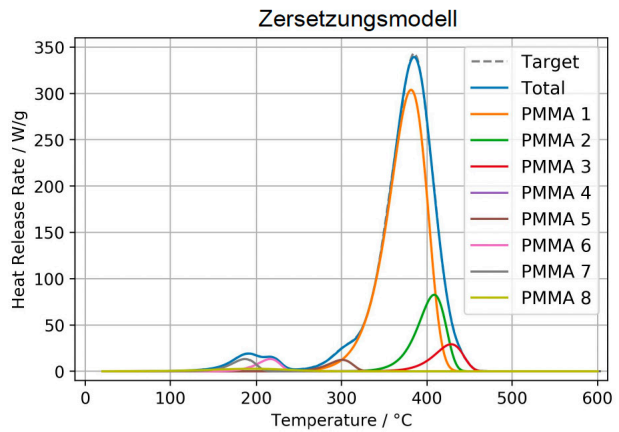
$$k(T) = A \exp\left(\frac{-E}{RT}\right)$$



Source: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2011.03.034>

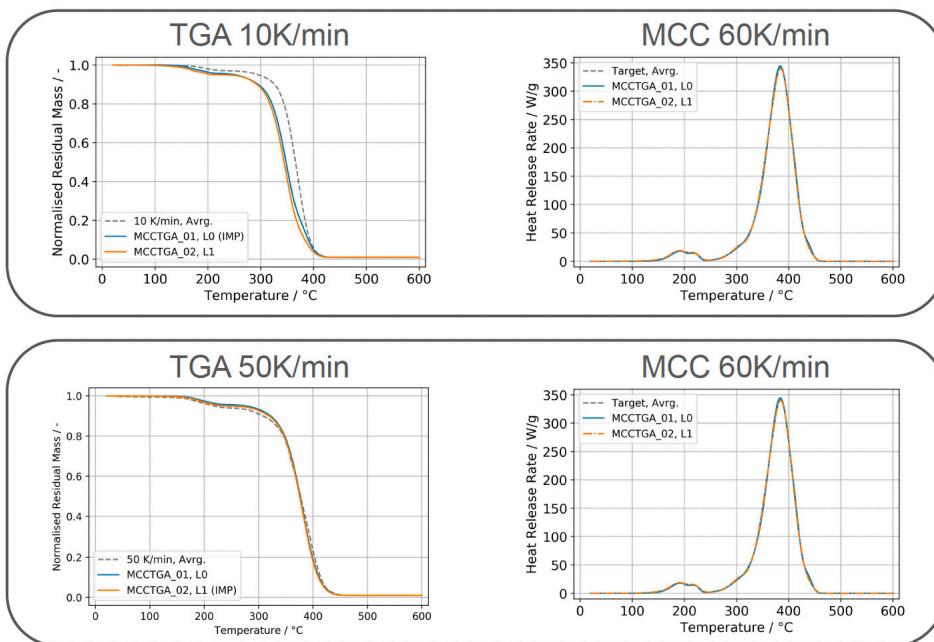
Schritt 1: Pyrolyse

- Mehrere Zersetzungsreaktionen
- Aufgebaut auf HRR
 - (MCC at 60 K/min, NIST)
- Setzt Gasmisch frei
 - Methan, Ethen, CO₂
 - mittlere effektive heat of combustion des Probenmaterials
- Zwei IMP's mit gleichzeitigen Zielen
 1. MCC bei 60 K/min (NIST), TGA bei 10 K/min (NIST)
 2. MCC bei 60 K/min (NIST), TGA bei 50 K/min (Sandia)



7

Source: <https://github.com/MaCFP/matl-db/tree/7f89fd85f75cd2d4999c262f9b39f2f8109e12ef>; <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>; <https://doi.org/10.1177/0734904102020005482>



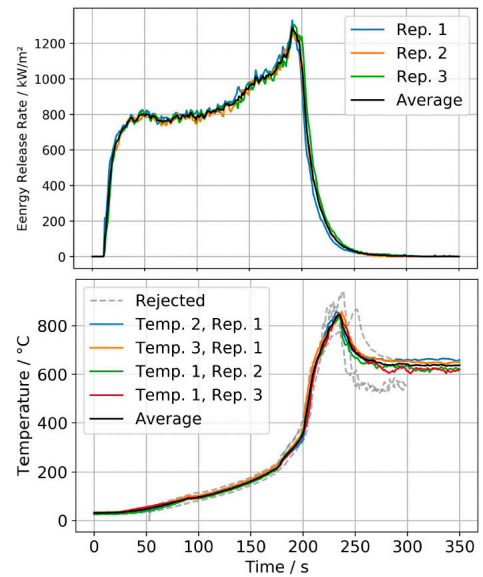
8

Source: <https://github.com/MaCFP/matl-db/tree/7f89fd85f75cd2d4999c262f9b39f2f8109e12ef>; <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>



Schritt 2: Thermo-physikalische Parameter

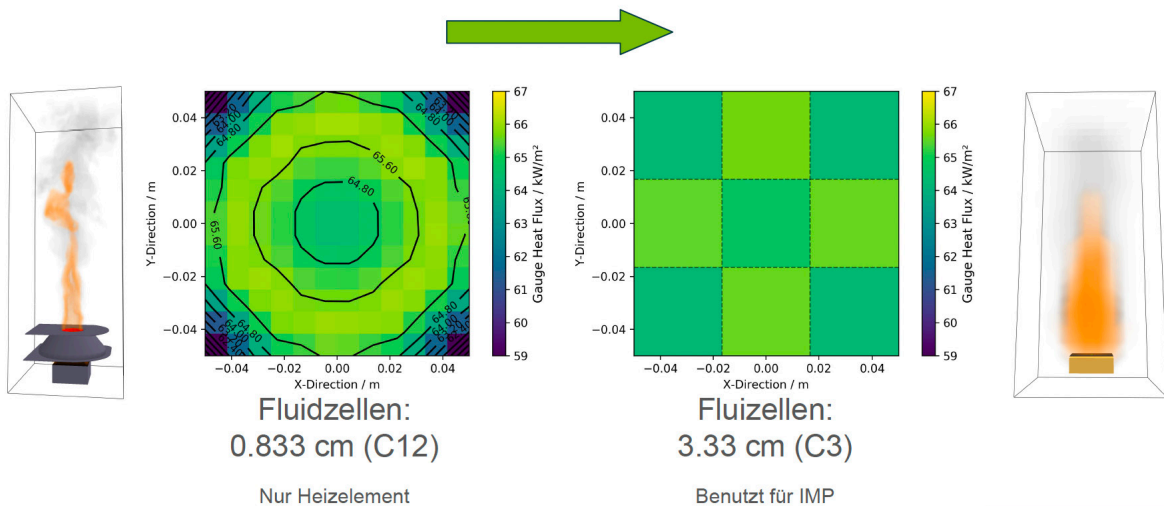
- Cone calorimeter 65 kW/m² (Aalto)
- spezifische Wärmekapazität, thermische Leitfähigkeit, Emissivität
- PMMA Probe, Rückstand und Dämmmaterial (backing)
- Ziele: HRR, Rückseitentemperatur



9

Source: <https://github.com/MaCFP/matl-db/tree/7f89fd85f75cd2d4999c262f9b39f2f8109e12ef>; <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>

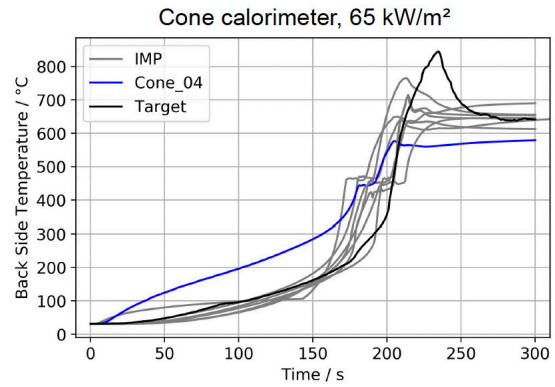
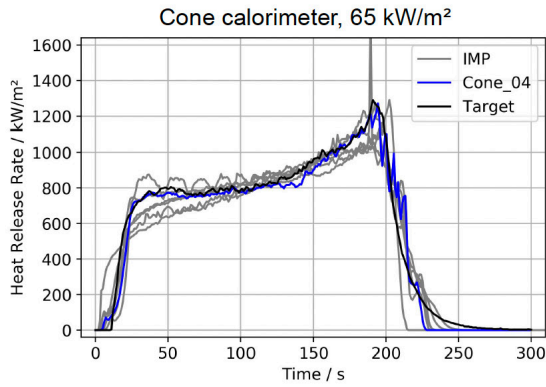
Map heat flux to low resolution setup



10

Source: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>

Beste Parametersets vom IMP

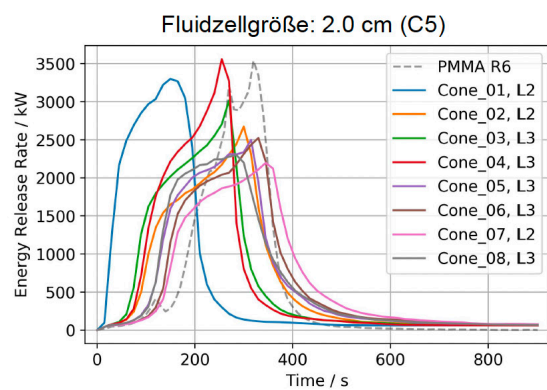
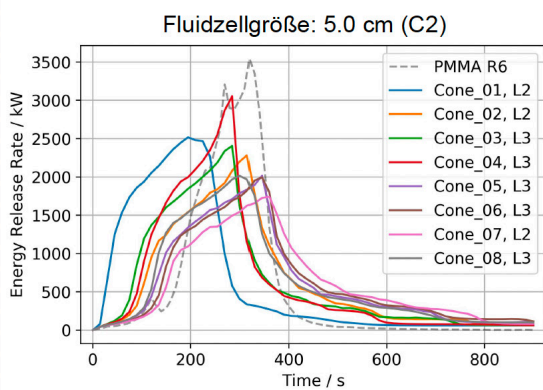


11

Source: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>; <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2024.104116>



Verhalten im Parallel Panel Setup (real-scale)



“Cone_04” performed best

<https://www.nist.gov/el/fcd/vertical-upward-flamespread-parallel-panels/test7pmmar6>

12

Source: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>



Herausforderungen und offene Fragen

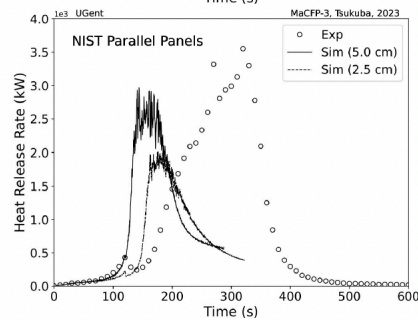
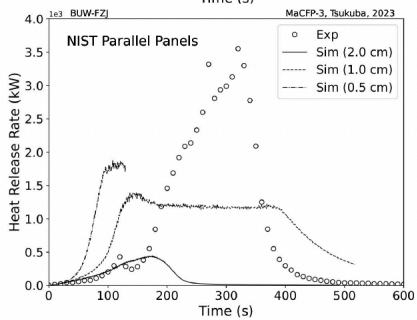
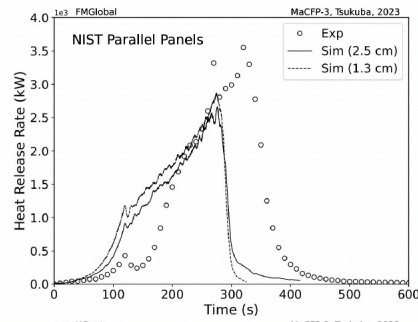
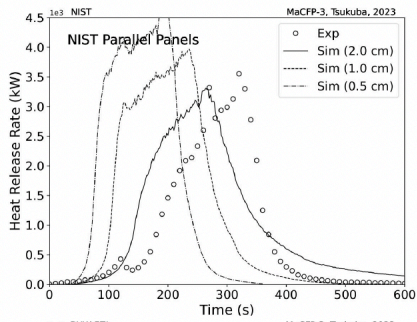
- Real-scale: starke Abhängigkeit von Fluidzellgröße
- Wärmetransport
- Qualität der Experimentaldaten
- Modellabhängigkeit, gilt auch für verschiedene FDS Versionen!
- kein selbsterhaltender Brand, Brenner muss in der Sim anbleiben



Herausforderungen:

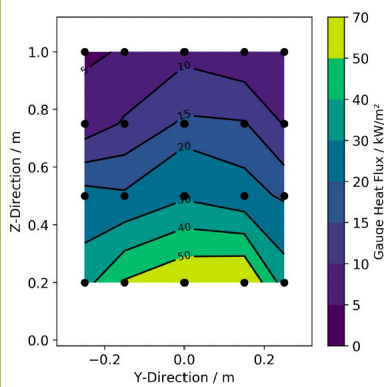
Real-scale



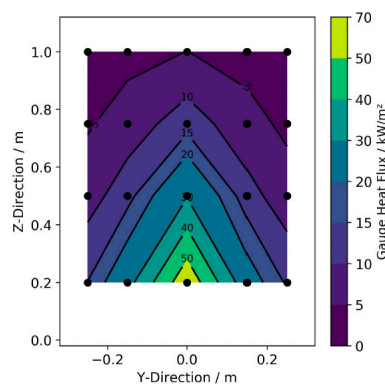


Source: <https://github.com/MaCFP/macfp-db/releases>

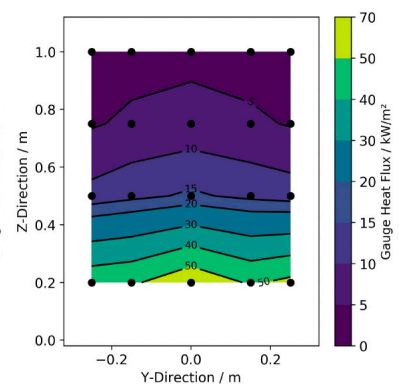
Wärmestrom zu den leeren Platten



Experiment



Fluid cells: 2.0 cm (DEV)



Fluid cells: 0.5 cm (DEV)

Siehe Präsentation / Arbeit von Nico Hauke

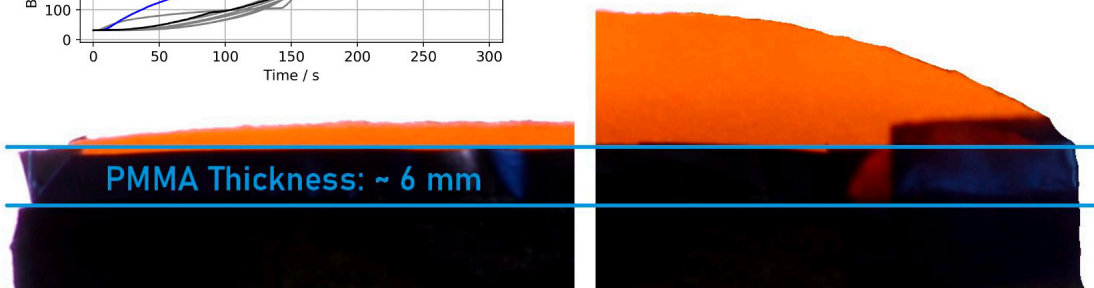
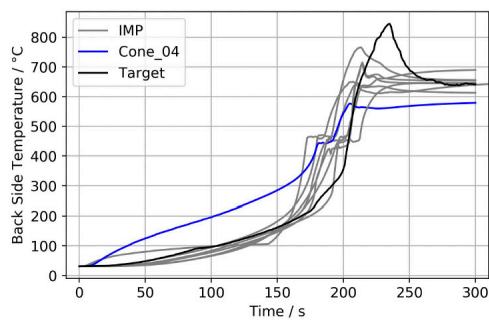


Source: PMMA Artikel und Beitrag zu MaCFP-3

Herausforderungen:
Bench-scale



Probenverformung während des Cone Calorimeter Experiment



Senitivitätsanalyse verschiedener Setups



Sensitivity analysis for an effective transfer of estimated material properties from cone calorimeter to horizontal flame spread simulations

Tássia L.S. Quaresma^a, Tristan Hehnen^b, Lukas Arnold^{a,b,*}

^a Institute for Advanced Simulation, Forschungszentrum Jülich, Wilhelm-Johnen-Str. 7, 52428 Jülich, Germany
^b Chair of Computational Civil Engineering, University of Wuppertal, Pauluskirchstraße 7, 42285 Wuppertal, Germany

ARTICLE INFO

Dataset link: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7618897>

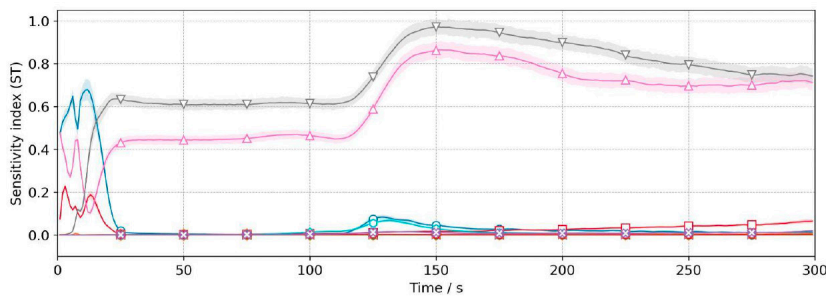
Keywords:
Global sensitivity analysis
Sobel indices

ABSTRACT

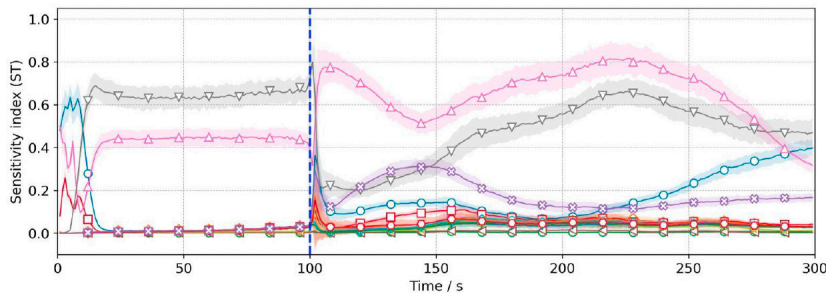
Predictive flame spread models based on temperature dependent pyrolysis rates require numerous material properties as input parameters. These parameters are often derived by optimisation and inverse modelling using data from bench scale experiments such as the Cone Calorimeter. The estimated parameters are then transferred to flame spread simulations, where self-sustained propagation is expected. A fundamental requirement for this transfer is that the simulation model used in the optimisation is sufficiently sensitive to the input



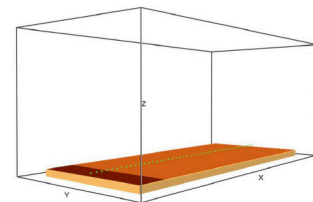
Source: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2024.104116> <https://github.com/MaCFP/macfp-db/releases>



(a) Total-order effects on the HRR of the Cone Calorimeter simulation.



(b) Total-order effects on the HRR of the flame spread simulation (zoom up to 300 seconds).



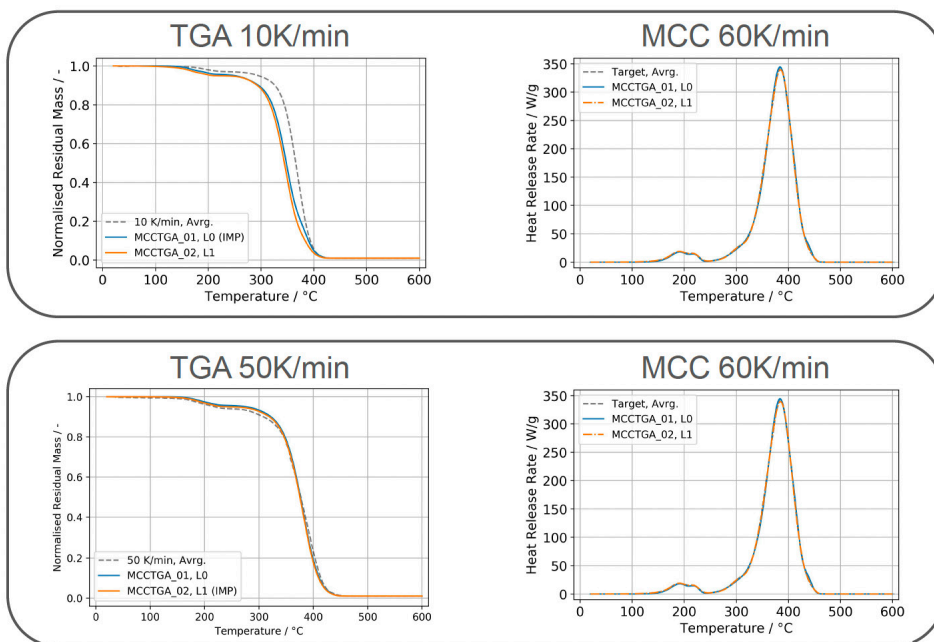
(a) Perspective view.



Source: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2024.104116>

Herausforderungen:

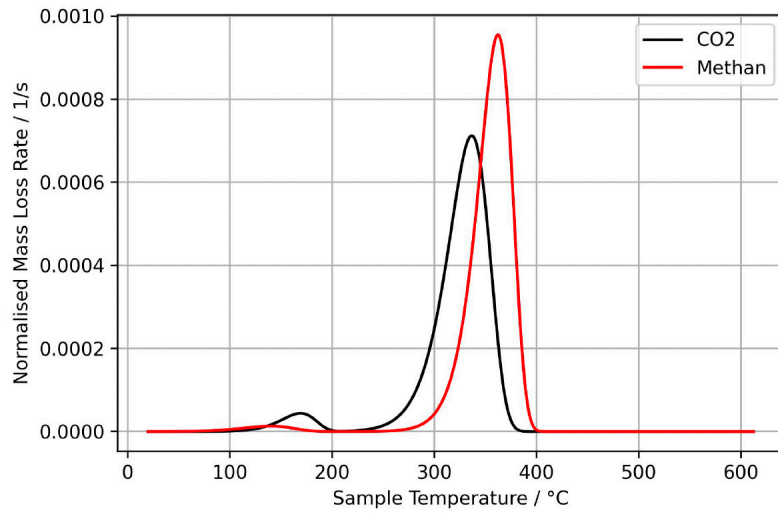
Micro-scale



22

Source: <https://github.com/MaCFP/matl-db/tree/7f89fd85f75cd2d4999c262f9b39f2f8109e12ef>, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>

BUWFZJ-C für MaCFP-3

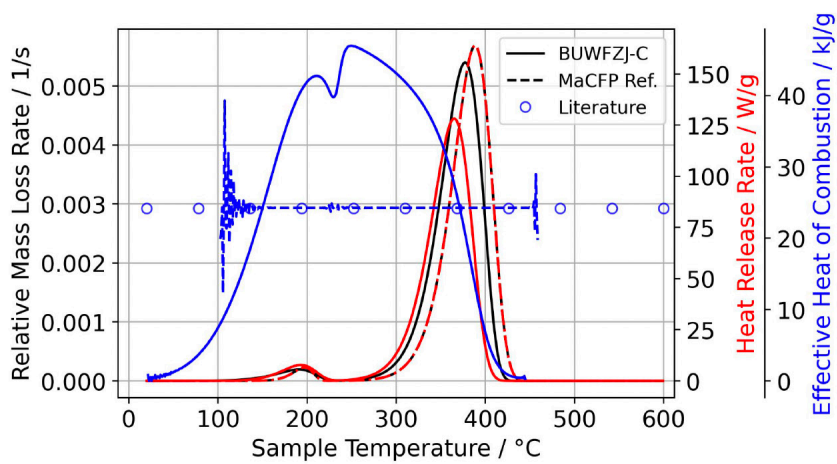


23



Source:

Varibale heat of combustion, BUWFZJ-C



24



Source: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10076478>

MCC and TGA data for PVC

246

A.Y. Snegirev/Thermochimica Acta 590 (2014) 242–250

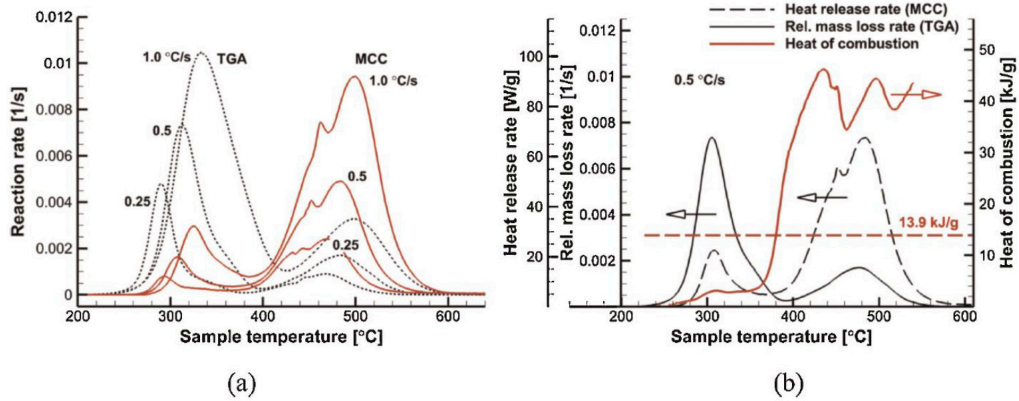


Fig. 3. Thermal decomposition of polyvinyl chloride: (a) reaction rates detected by TGA and MCC; (b) heat release rate measured in MCC, relative mass loss rate measured in TGA and heat of combustion of volatiles as a function of sample temperature (heating rate 0.5 °C/s).

25



Source: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2014.07.009>

Shifted TGA data to account for mismatch with TGA data

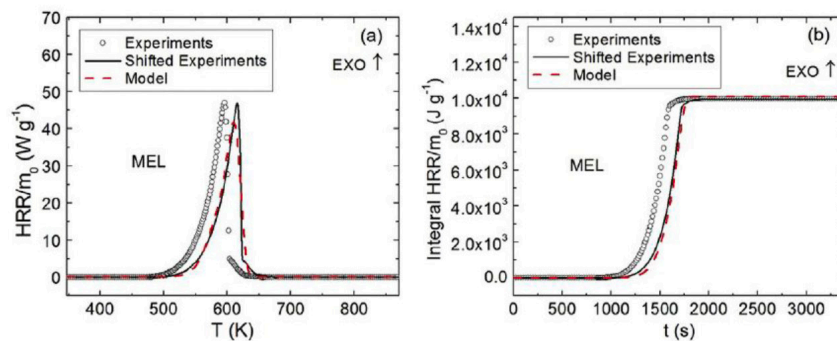


Fig. 14. Experimental and simulated MCC data obtained for MEL at a set heating rate of 10 K min⁻¹. The simulation was performed using FINAL MECH.

26

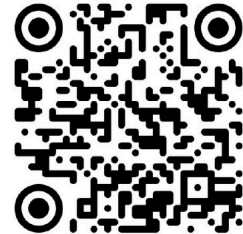


Source: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.05.014>

Einfluss von Bedingungen der TGA



Article



The influence of experimental conditions on the mass loss for TGA in fire safety science

K. De Lannoye^{a,b}, C. Trettin^c, A. Belt^a, E.A. Reinecke^b, R. Goertz^c, L. Arnold^{a,d,*}

^aInstitute for Advanced Simulation, Forschungszentrum Jülich, Germany
^bInstitute of Energy and Climate Research, Forschungszentrum Jülich, Germany
^cChemical Safety and Fire Defence, University of Wuppertal, Germany
^dComputational Civil Engineering, University of Wuppertal, Germany

ARTICLE INFO

Keywords:
 TGA
 PMMA
 Pyrolytic

ABSTRACT

A thermogravimetric analyser (TGA) measures the mass loss of a sample as function of temperature, during a predefined heating program. The results are applied for developing reaction kinetics in fire safety science. It is assumed that the sample and the apparatus are in perfect thermal equilibrium. Therefore, the analysis



Source: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.104079>

Impact of TGA apparatus design

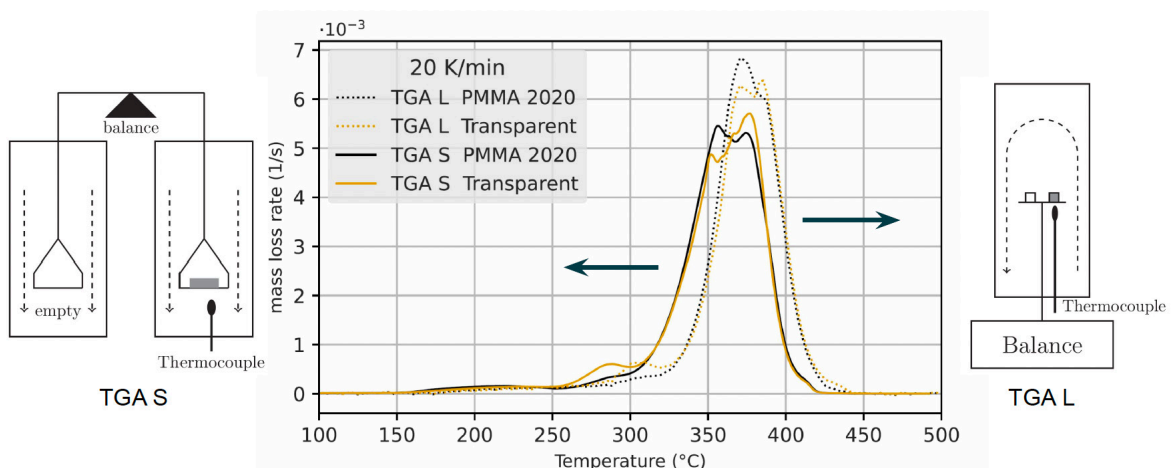
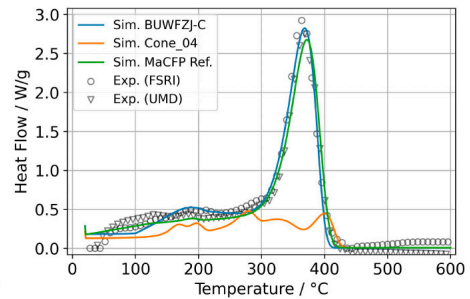
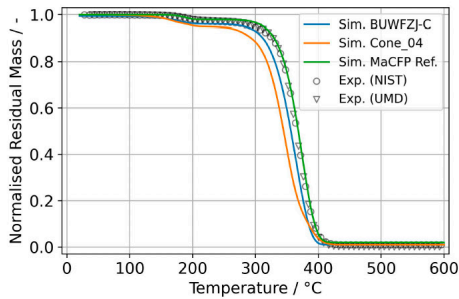


Fig. 10. Comparison between TGA S and TGA L.



Source: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.104079>

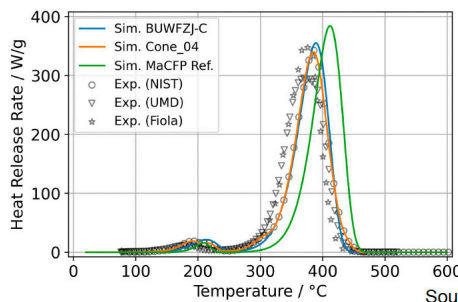
Beitrag zu MaCFP-3



TGA 10 K/min

MCC 60 K/min

DSC 10 K/min

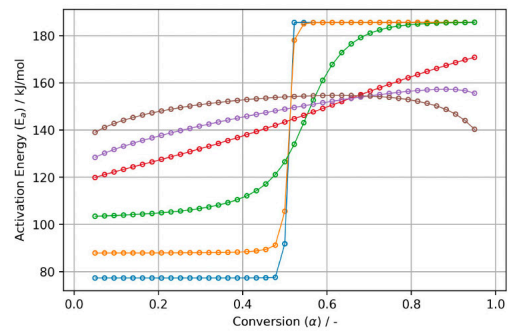
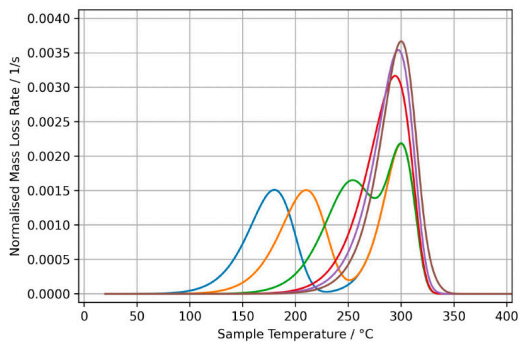


29



Source: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10076478>

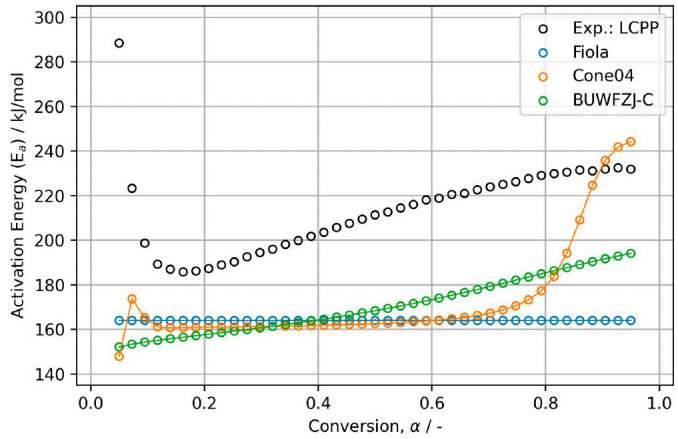
Parallele Zersetzungsreaktionen



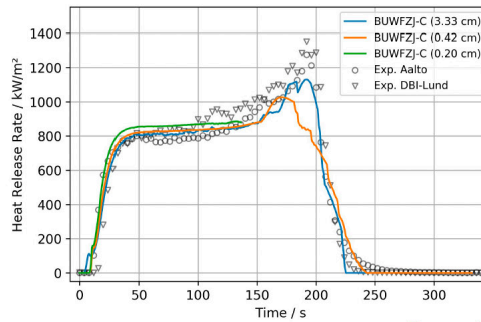
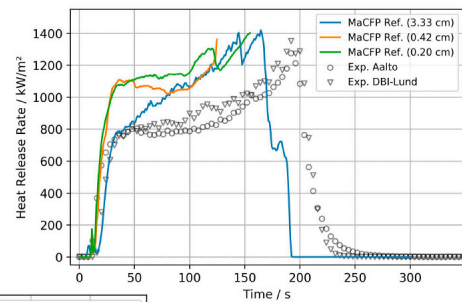
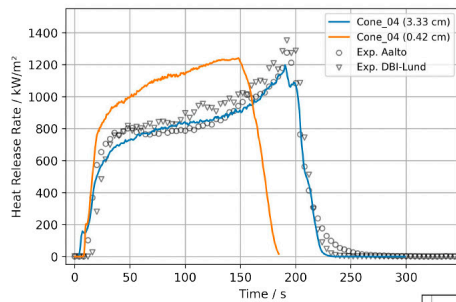
Suggested reading: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2011.03.034>

Parallele Zersetzungsreaktionen

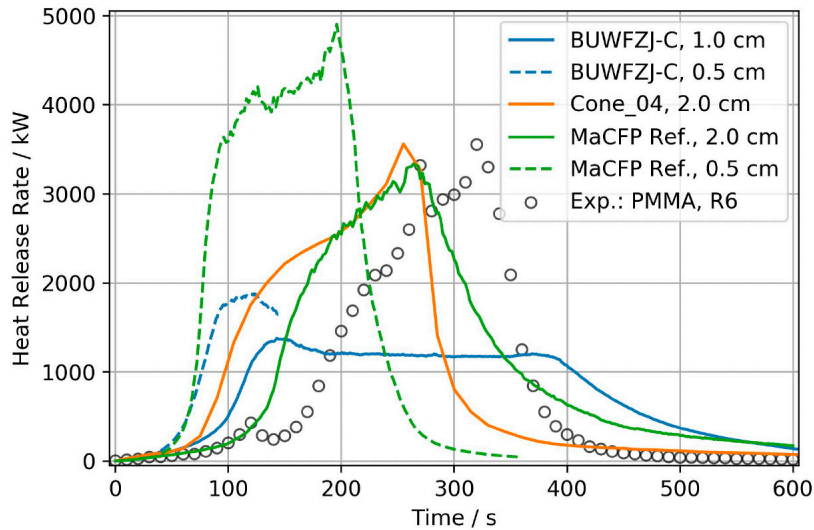
- Vergleich verschiedener MaCFP Daten
 - Experiment von LCPP
 - unterschiedliche Zersetzungsmodelle



Beitrag zu MaCFP-3



Beitrag zu MaCFP-3



33

Source: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10076478>



Open-access data on Zenodo

- **Safe** — your research is stored safely for the future in CERN's Data Centre for as long as CERN exists.
- **Trusted** — built and operated by CERN and OpenAIRE to ensure that everyone can join in Open Science.
- **Citeable** — every upload is assigned a Digital Object Identifier (DOI), to make them citable and trackable.
- **Versioning** — Easily update your dataset with our versioning feature.
- **GitHub integration** — Easily preserve your GitHub repository in Zenodo.
- **Public funding**
 - European Commission via the OpenAIRE
 - European Organization for Nuclear Research (CERN)
 - US National Institutes of Health (NIH)
 - Arcadia Fund
 - Alfred P. Sloan Foundation
 - Donations via CERN & Society Foundation



- 50 GB free storage space per upload

34

Source: <https://about.zenodo.org/infrastructure/>

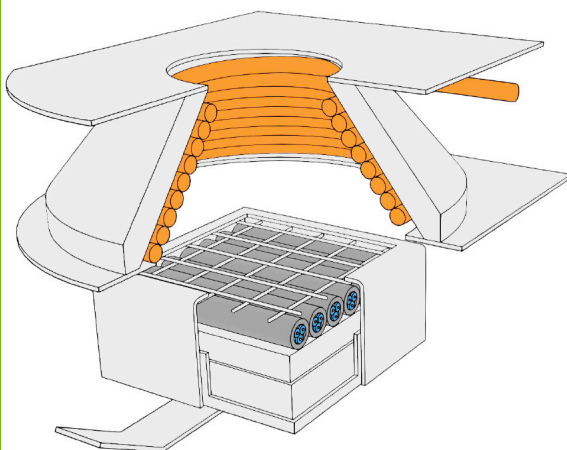


Zenodo community:
Fire Safety Engineering and Evacuation

You are welcome to join us!



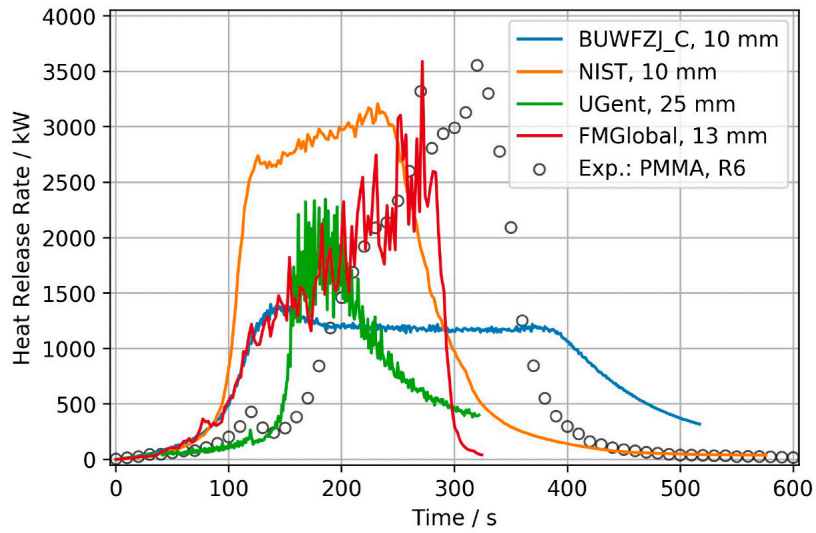
Source: <https://zenodo.org/communities/fire-safety-engineering-and-evacuation>



Vielen Dank!

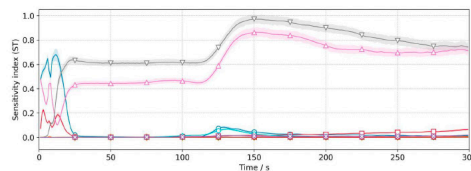


Parallel panel simulation results from MaCFP-3

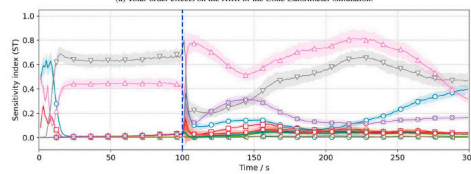


Source: Data from MaCFP-3 contributions

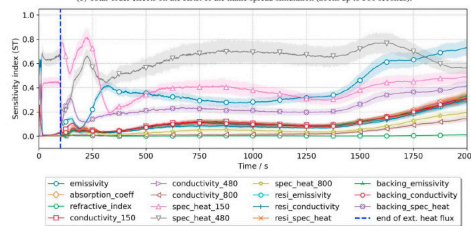
37



(a) Total-order effects on the HRR of the Cone Calorimeter simulation.



(b) Total-order effects on the HRR of the flame spread simulation (zoom up to 300 seconds).



(c) Total-order effects on the HRR of the flame spread simulation.



Source: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2024.104116>

Computing effort

Table 1

Overview of number of optimisation parameters during different steps of the IMP. The amount of used CPU cores equals the number of parameters. Time necessary in the bench-scale setup massively depends on the fluid cell number and size, listed here is the base case, as defined in 4.1. Counting of “IMP run time” begins with the start of L0 and ends with the stop of L3.

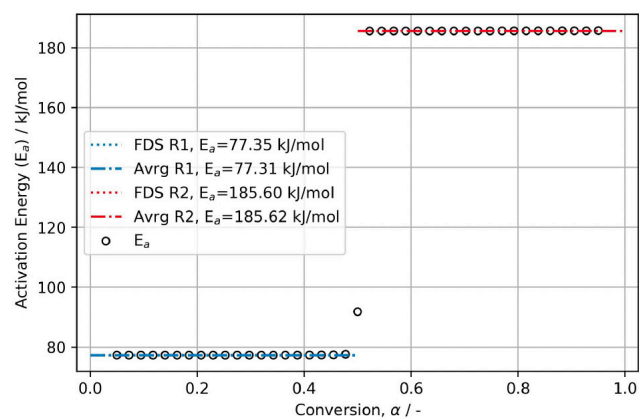
	Micro-scale	Bench-scale
Number of parameters	33	15
Generation size	2211	465
Number of generations	150	100
IMP run time (approx.)	3.5 days	> 110 days

39

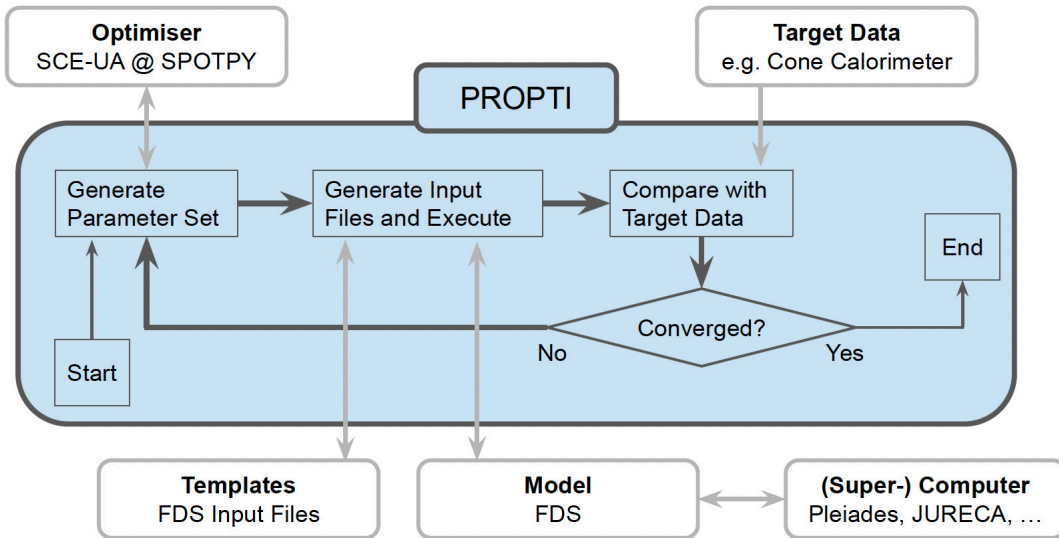
Source: <https://github.com/MaCFP/matl-db/tree/7f89fd85f75cd2d4999c262f9b39f2f8109e12ef>; <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>



- Vergleich mit FDS Arrhenius Parametern von den Referenzwerten:
REFERENCE_TEMPERATURE
PYROLYSIS_RANGE

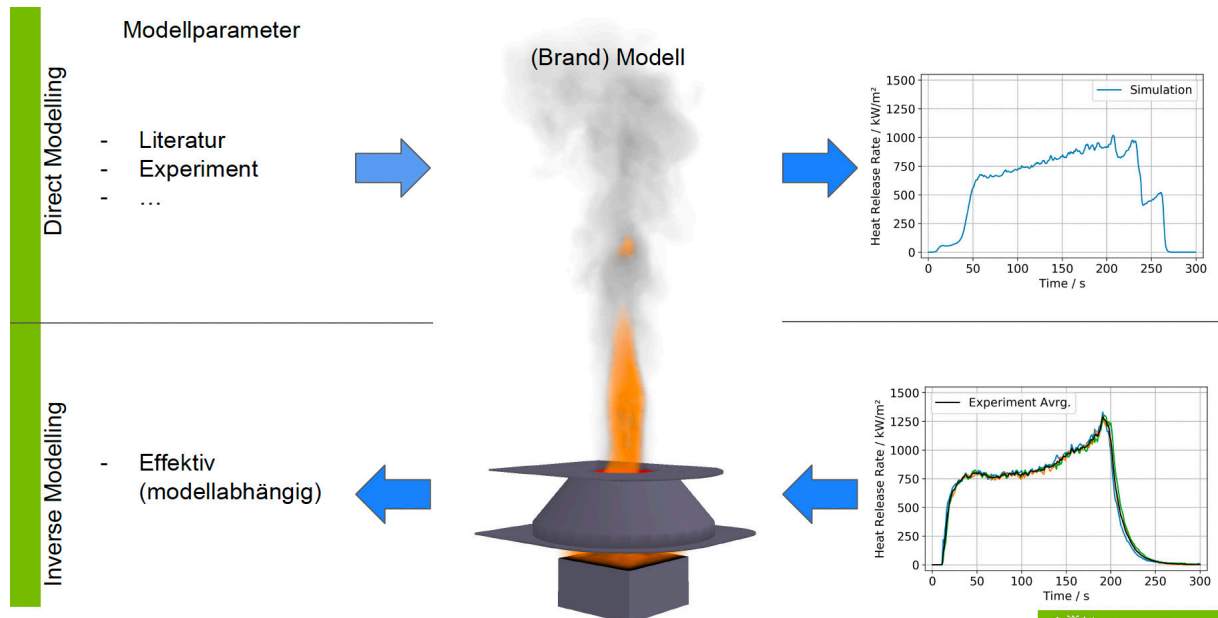


Inverse modelling with SCE and PROPTI



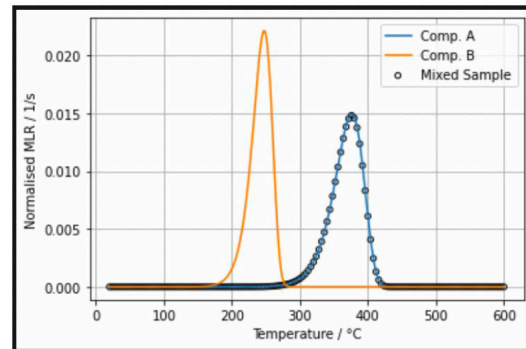
41

Source: PROPTI - A Generalised Inverse Modelling Framework; DOI: 10.1088/1742-6596/1107/3/032016

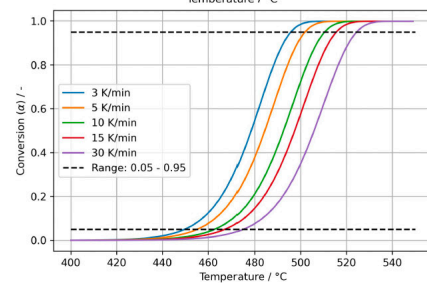
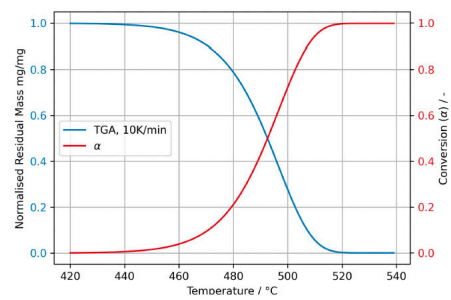
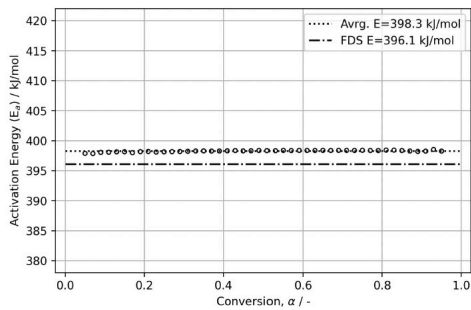


Source: PROPTI - A Generalised Inverse Modelling Framework; DOI: 10.1088/1742-6596/1107/3/032016

- limiting reaction

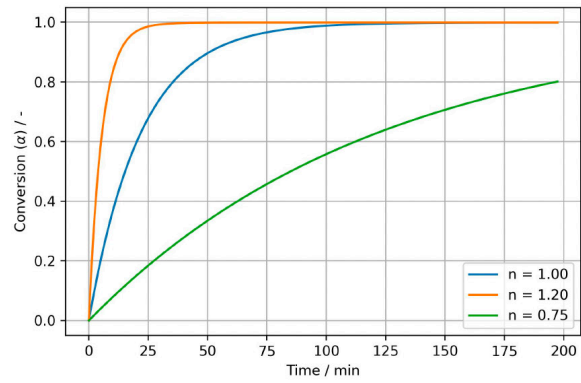


Einzelne Reaktion (FDS):

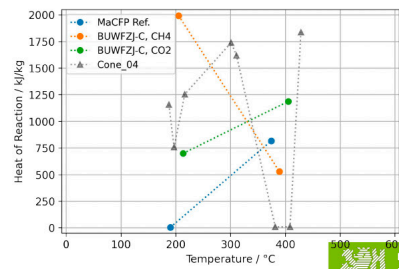
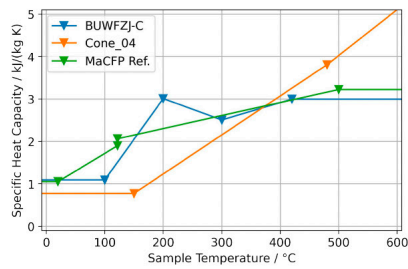
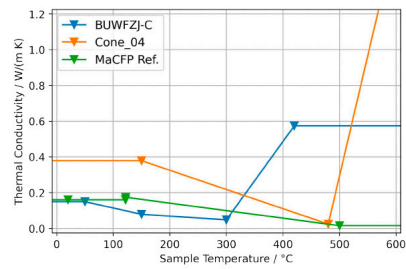


FDS Reaktionsmodell:

- decelerating: $(1 - \alpha)^n$

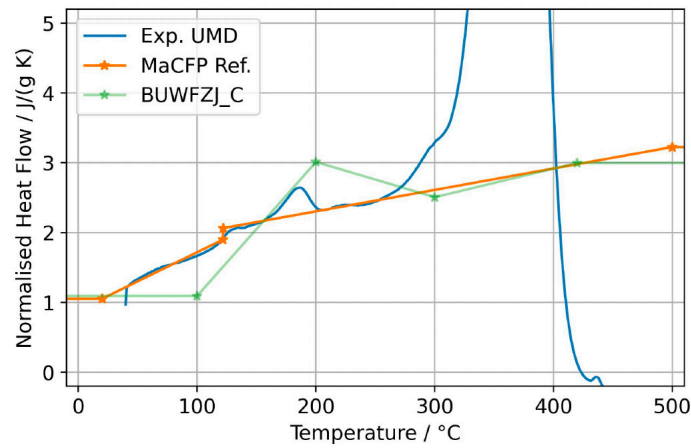


Contribution to MaCFP-3



Source: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10076478>

dsg



47



Source: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10076478>

PMMA residue after TGA



(a) PMMA 2020

(b) PMMA 2016

(c) Transparent

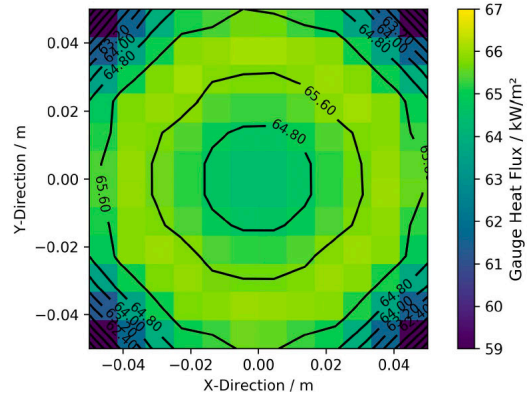
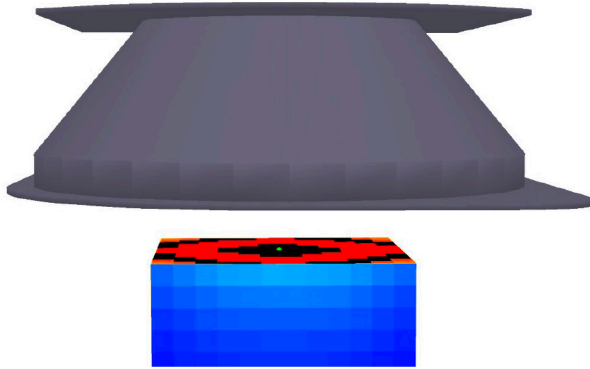
Figure 7: Sample crucible with residue after an experiment under inert atmosphere.

48



Source: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.104079>

Record flux from heater



Fluid cells: 0.833 cm (C12)

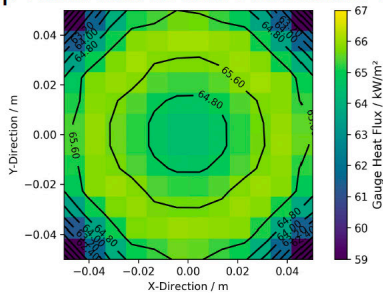


Source: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>

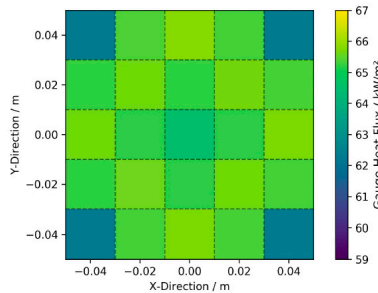
49

Map heat flux to low resolution setup

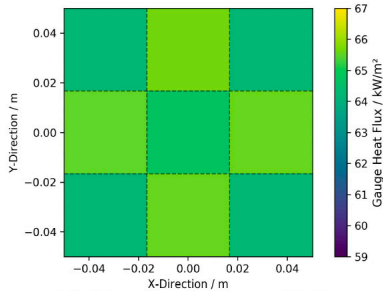
Source: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>



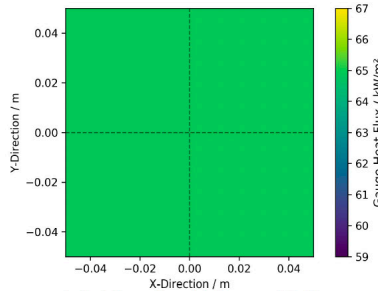
Fluid cells: 0.833 cm (C12)



Fluid cells: 2.0 cm (C5)



Fluid cells: 3.33 cm (C3)

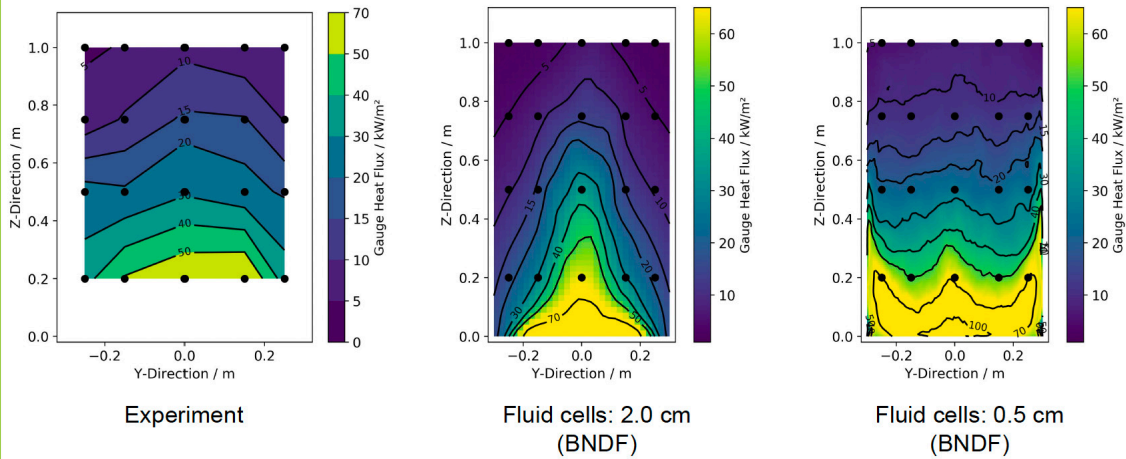


Fluid cells: 5.0 cm (C2)



50

Heat flux to empty panels

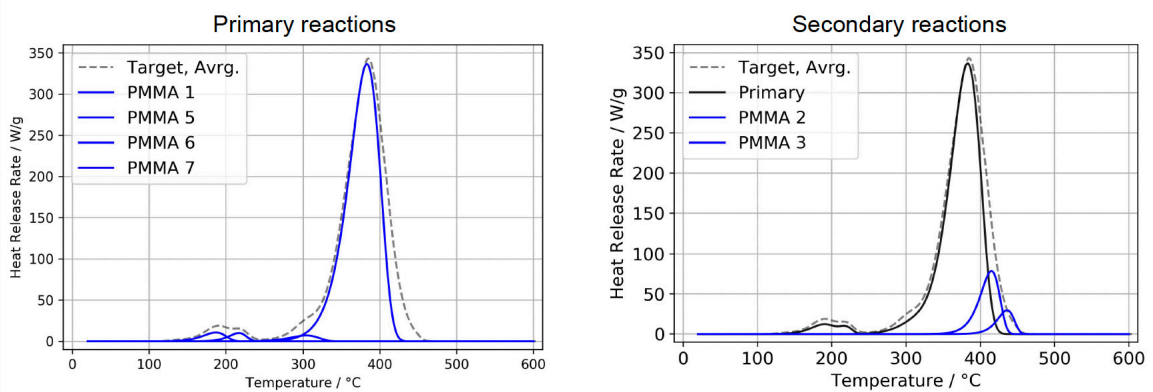


51

Source: <https://github.com/MaCFP/matl-db/tree/7f89fd85f75cd2d4999c262f9b39f2f8109e12ef>; <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>



Pyrolysis scheme

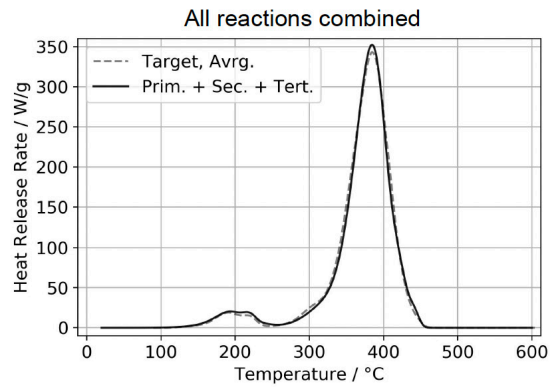
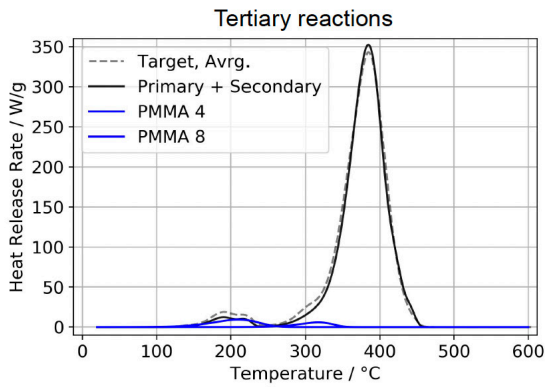


52

Source: <https://github.com/MaCFP/matl-db/tree/7f89fd85f75cd2d4999c262f9b39f2f8109e12ef>; <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>



Pyrolysis scheme

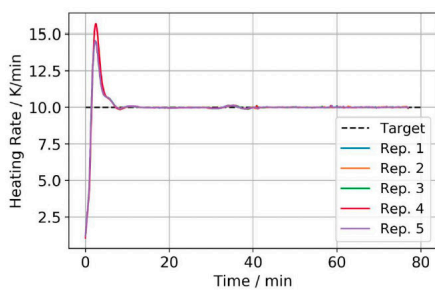


53

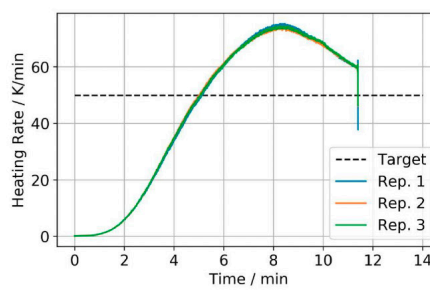
Source: <https://github.com/MaCFP/matl-db/tree/7f89fd85f75cd2d4999c262f9b39f2f8109e12ef>; <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>



Heizraten der TGA im PMMA Artikel



(b) TGA 10 K/min, NIST.

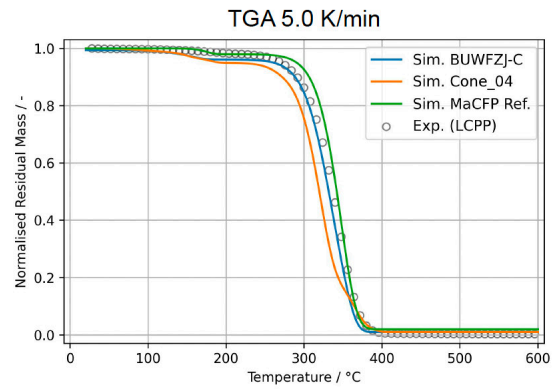
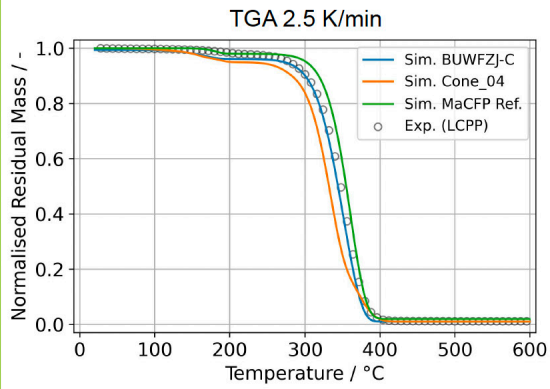


(d) TGA 50 K/min, Sandia.

Source: <https://github.com/MaCFP/matl-db/tree/7f89fd85f75cd2d4999c262f9b39f2f8109e12ef>; <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103926>



MaCFP-3 contribution

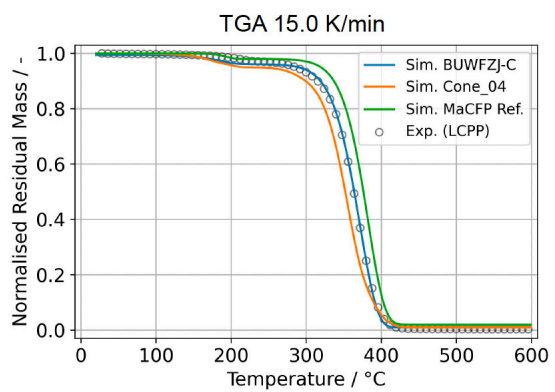
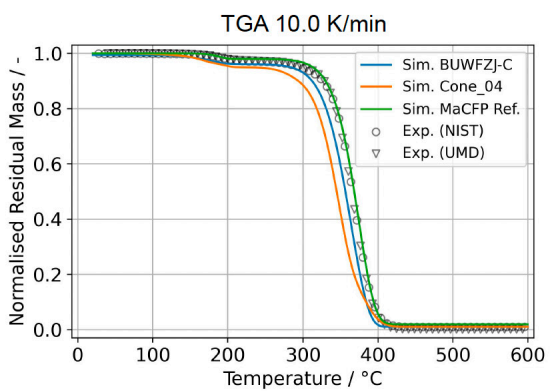


55



Source: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10076478>

MaCFP-3 contribution

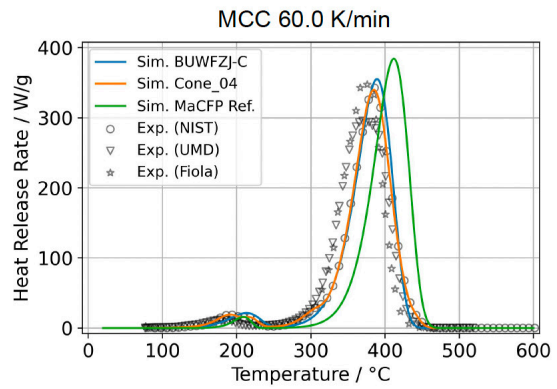
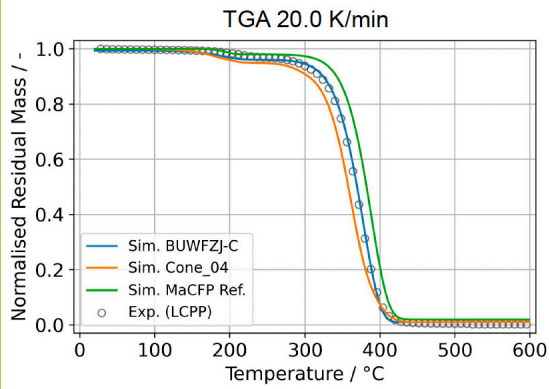


56



Source: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10076478>

MaCFP-3 contribution

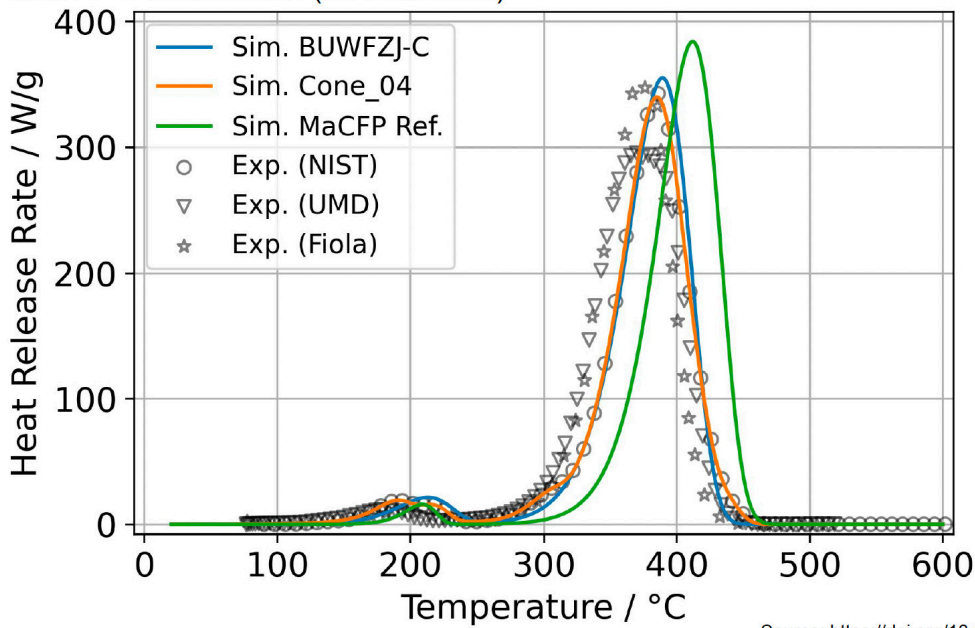


57



Source: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10076478>

MaCFP-3 contribution (MCC 60.0 K/min)

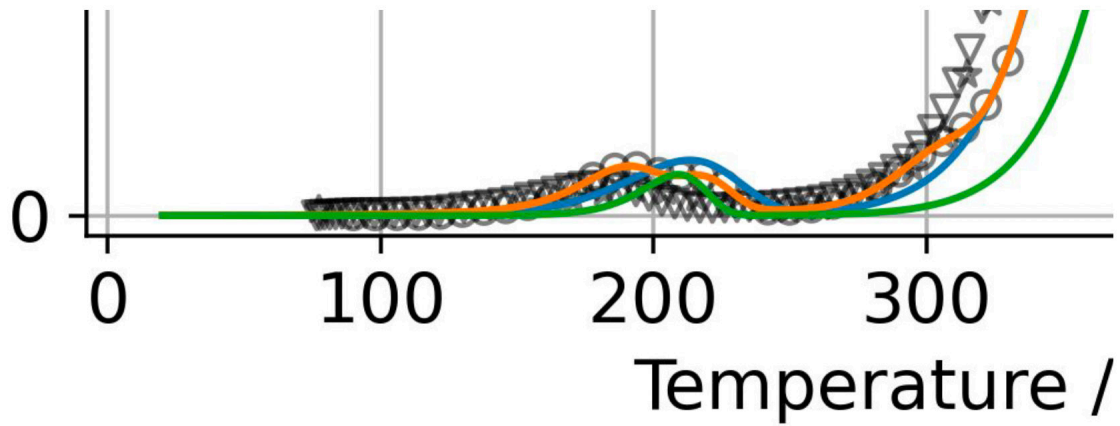


58



Source: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10076478>

MaCFP-3 contribution (MCC 60.0 K/min)



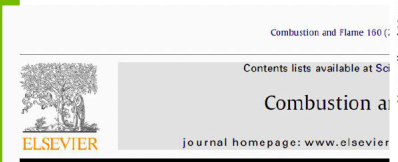
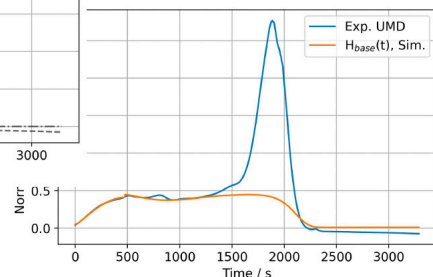
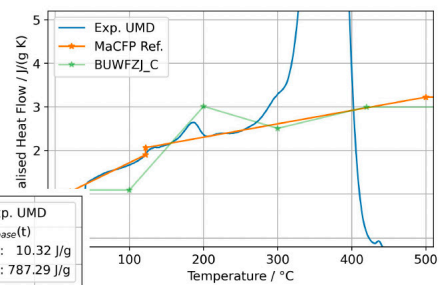
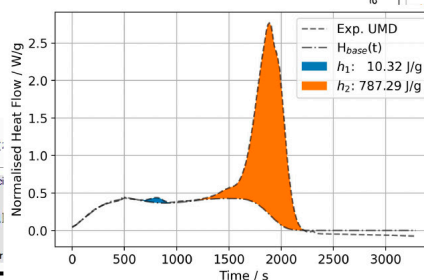
59



Source: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10076478>

Data from Experiments

- Specific heat capacity and heat of reaction from DCS



Measurement of kinetics and thermodynamics of the thermal degradation for non-charring polymers

Jing Li, Stanislav I. Stolarov*

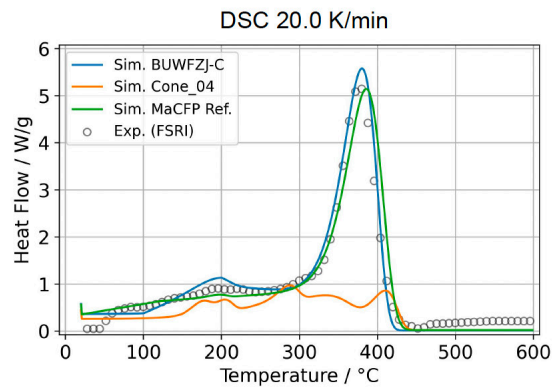
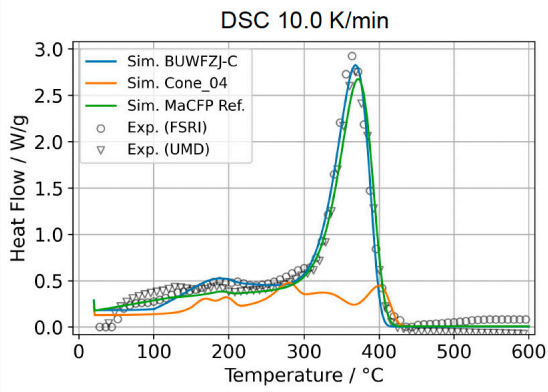
University of Maryland, Department of Fire Protection Engineering, College Park, MD 20742, United States



DOI: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2013.02.012>



MaCFP-3 contribution

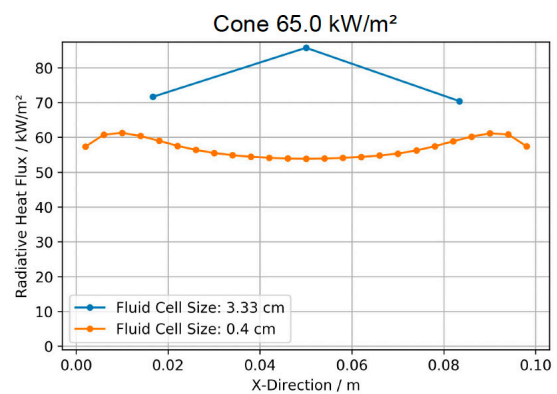
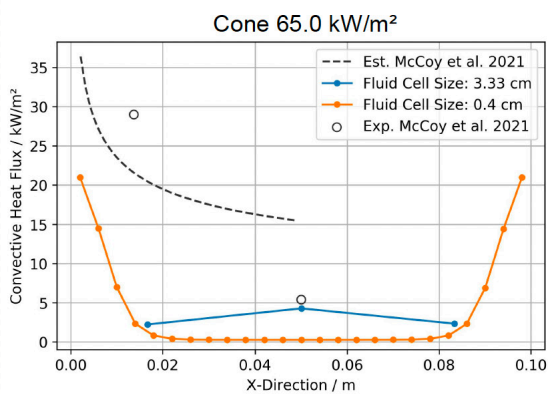


61



Source: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10076478>

Cone heat flux assessment



62



Source: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.11.006>

Frederik Buhk:

Influence of Local Vegetation on Fire Spread Mechanisms in Surface Fires

Abstract:

Der Klimawandel führt nicht nur zu mehr extremen Wetterereignissen, sondern auch zu langen, trockenen Sommern in Nordeuropa. Dies wirkt sich auf den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens und der Vegetation aus. Dadurch kommt es zu einer erhöhten Anzahl von Waldbränden in Deutschland, die eine Gefahr für die Umwelt, die Gesellschaft und die Feuerwehren darstellen. Die Ausbreitung von Flächenbränden kann durch verschiedene Umweltbedingungen und Parameter beeinflusst werden. Da die umfangreichen Kenntnisse, die für die USA, Australien, Kanada und Südeuropa gewonnen wurden, für Nordeuropa möglicherweise nicht vollständig anwendbar sind, wird eine parametrische Studie auf der Grundlage eines Feldexperiments in Sachsen-Anhalt durchgeführt. Dafür wird das im Fire Dynamics Simulator implementierte Partikelmodell des „Wildland-Urban-Interface“ Teils verwendet, um den Einfluss der lokalen Vegetation auf die Ausbreitung des Oberflächenfeuers numerisch zu analysieren. Hierfür wird eine 9 m² große Grünlandfläche modelliert und der Einfluss von Parametern wie Packungsdichte, Feuchtigkeitsanteil, Gras-Höhe, Umgebungstemperatur und anderen analysiert. Die Vegetation wird durch Partikel dargestellt. Die Verbrennung basiert auf einem dreistufigen Pyrolysemodell. Die Ergebnisse zeigen, wie wichtig die freigesetzte Energie im Verhältnis zu der für die Pyrolyse benötigten Energie ist, da niedrigere Grashöhe, eine niedrigere Packungsdichte oder hohe Feuchtigkeitsgehalte nicht zu einer nachhaltigen Ausbreitung führen. Außerdem werden vegetationspezifische pyrolysekinetische Parameter verwendet. Deren Einfluss ist jedoch für den betrachteten Fall nicht signifikant. Die zur Modellierung der verschiedenen Fälle gewählten Parameter beruhen lediglich auf einzelnen Messungen oder Annahmen. Daher sollten künftige Arbeiten die Parameter durch die Analyse einer größeren Anzahl von Proben verbessern. Darüber hinaus sollte in weiteren Parameterstudien untersucht werden, ob individuelle pyrolysekinetische Parameter erforderlich sind oder ob die Standardparameter ausreichen, da die Abweichungen im Vergleich zur Unsicherheit des Modells vernachlässigbar sind.



Influence of Local Vegetation on Fire Spread Mechanisms in Surface Fires

Frederik Buhk | hhpberlin



Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen Vegetationsbrände
- 3 Vegetationsbrände in FDS
- 4 Modellierung
- 5 Parameterstudie
- 6 Ergebnisse und Fazit



Einleitung

- Vortrag basiert auf Masterarbeit im Studiengang „International Master of Science in Fire Safety Engineering“ (IMFSE)
- Kooperation zwischen der Lund University und der BAM
- Einfluss lokaler Parameter auf Brandausbreitung
- Klimawandel führt zu längeren Trockenperioden

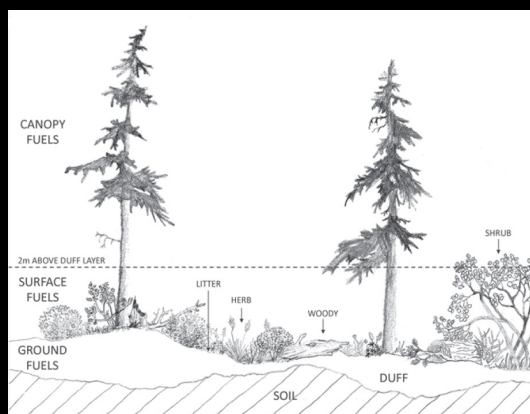
Grundlagen Vegetations brände

2

Grundlagen Vegetationsbrände

Unterschiedliche Arten von Vegetationsbränden

- Unterscheidung in
 - Groundfires = Schwelbrände
 - Surface Fires = Bodenfeuer
 - Crown Fires = Kronenfeuer



Wildland fuel bed by Keane [5]

Grundlagen Vegetationsbrände

Mechanismen der Brandausbreitung

- Firebrands / Funkenflug und Flugfeuer
- Direkter Flammenkontakt
- Konvektion
- Strahlungswärme

2

Grundlagen Vegetationsbrände

Brennstoffe in der Vegetation

- Meist thermisch dünn
- Mit Ausnahmen zylindrisch
- Größe wird in Stunden angegeben



Größe unterschiedlicher brennbarer Materialien nach Equilibrium Moisture Content

2



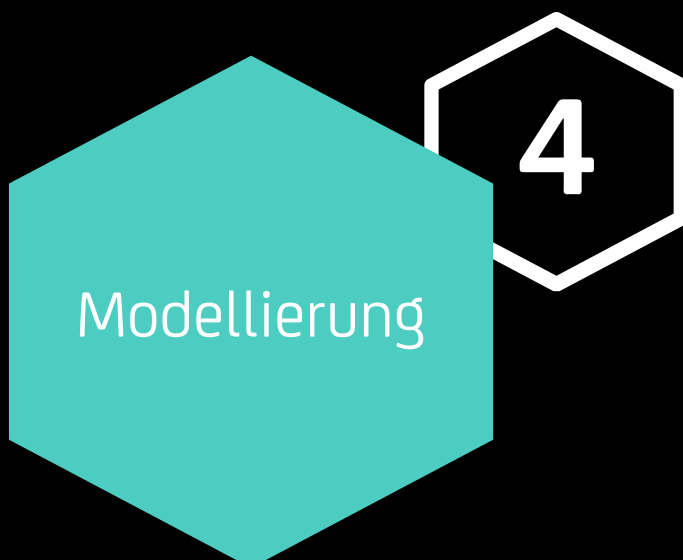
Vegetationsbrände

- Wildland Urban Interface Fire Dynamics Simulator (WFDS)
- Modelle zur Modellierung von Vegetationsbränden in FDS
 - Level-Set
 - Empirisches Modell (Rothermel-Albini)
 - Vier verschiedene Modi (Unterschied in Wind Modellierung)
 - Boundary Fuel Model
 - Poröse schichten
 - Pyrolyse

Vegetationsbrände

- Particle Model
 - Wärmeübertragung zwischen Partikeln
 - Pyrolyse
 - Unterschiedliche Eigenschaften für unterschiedliche Partikel

3



Modellierung

Problemstellung

- Fläche von 9 m²
- Bodenfeuer im Kiefernwald (Gras, Mos, Nadeln)
 - Limitierte Anzahl von Vegetationsproben
- Entzündung mit „Driptorch“



Experiment Calvörde Foto von BAM

4

Modellierung

Modellwahl

- Particle Model mit 3-Schritt Zersetzungs-Prozess

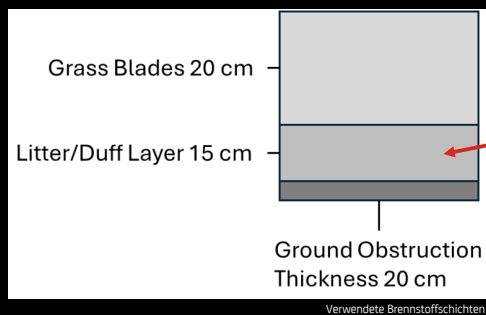


4

Modellierung

Vegetation

- Bestehend aus drei Schichten



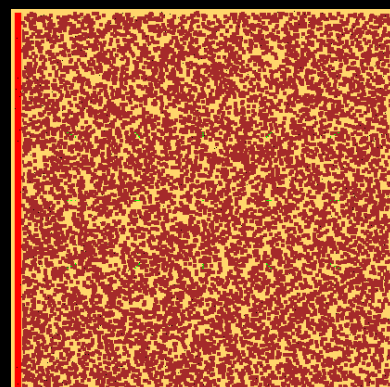
Litter/Duff Layer. Foto von BAM.

4

Modellierung

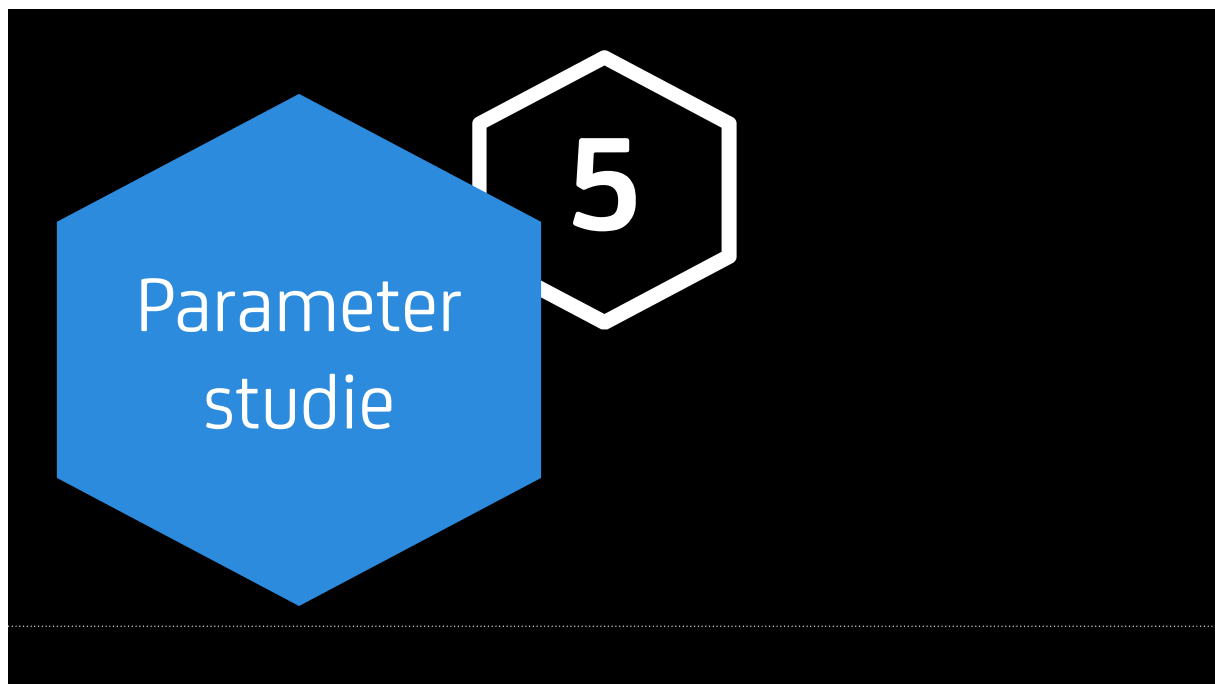
Zündung (Driptorch)

- Isopropanol (Normal Diesel-Benzin Mischung)
- Linienbrenner
- Skalierte HRR Ramp



Draufsicht Simulationsmodell

4



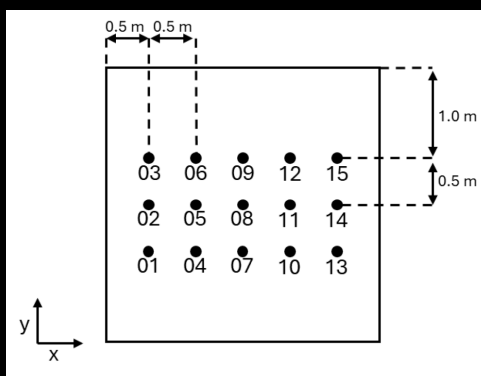
Parameterstudie

#	Name	Parameter	Value change
01	base_case	-	-
02	grass_low	Grass blade height	- 10 cm
03	grass_high	Grass blade height	+ 10 cm
04	grass_transition	Grass blade height	Partially - 10 cm
05	grass_packing_low	Packing ratio	- 7.6 kg/m ²
06	grass_packing_high	Packing ratio	+ 7.6 kg/m ²
07	moisture_content_low	Moisture fraction	- 0.14
08	moisture_content_high	Moisture fraction	+ 0.15
09	branch	2 branches	
10	wind	Wind speed	1.5 m/s
11	kinetic_parameters_csiro	Default pyrolysis kinetics	
12	ambient_temperature_low	Ambient temperature	- 10 °C (20 °C)
13	ambient_temperature_high	Ambient temperature	+ 10 °C (40 °C)



Ergebnisse & Fazit

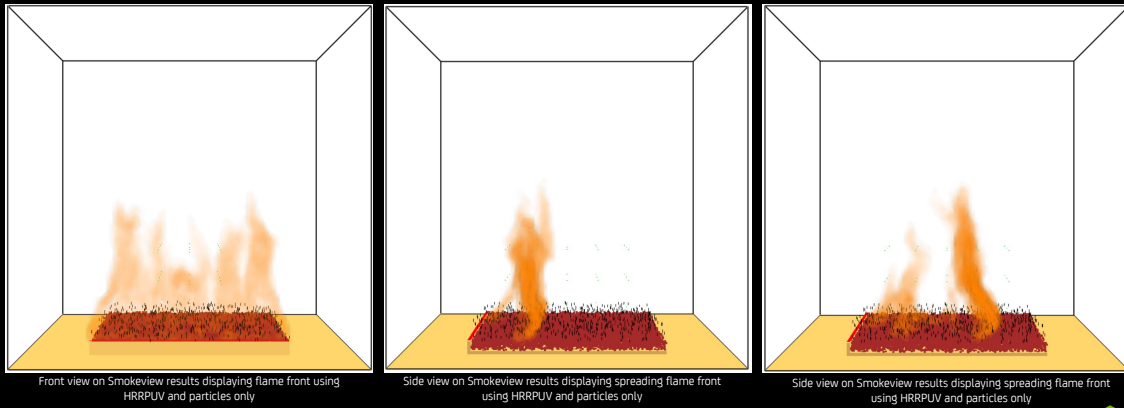
Messwerte



- Residence Time [s]
- Rate of Spread (ROS) [m/s]
- Flame Front Depth [m]
- Flame Height [m]

Ergebnisse & Fazit

Erste Analysen



6

Ergebnisse & Fazit

#	Simulation	Residence Time [s]	ROS [m/s]	Flame Front Depth [m]	Flame Height [m]
01	base_case	32	0.02	0.72	1.6
02	grass_low	32 (-)	0.01 (- 50 %)	0.26 (- 64 %)	1 (- 37 %)
03	grass_high	62 (+ 93 %)	0.02 (-)	1.47 (+ 104 %)	3.8 (+ 138 %)
04	grass_transition ¹	-	-	-	-
05	grass_packing_low ²	-	-	-	-
06	grass_packing_high	62 (+ 93 %)	0.02 (-)	1.24 (+ 72 %)	3.5 (+ 119 %)
07	moisture_content_low	39 (+ 22 %)	0.04 (+ 100 %)	1.39 (+ 93 %)	4 (+ 150 %)
08	moisture_content_high	46 (+ 44 %)	0.01 (-50 %)	0.57 (- 21 %)	1.5 (- 6 %)
09	branch ¹	-	-	-	-
10	wind ³	-	-	-	-
11	kinetic_parameters_csiro	27 (- 15 %)	0.02 (-)	0.54 (- 25 %)	1.6 (-)
12	ambient_temperature_low	29 (- 9 %)	0.02 (-)	0.69 (- 4 %)	1.6 (-)
13	ambient_temperature_high	33 (+3 %)	0.03 (+50 %)	0.83 (+ 15 %)	1.6 (-)

¹ No global results due to local change

² No ignition of vegetation particles

³ Numerical instabilities

6

Ergebnisse & Fazit

Diskussion und Ausblick

- Wichtigkeit der Energiebilanz
- Numerische Instabilität an Mesh Boundaries
- Partikel Modell bietet gute Möglichkeiten
- Mehr lokale Daten zur Optimierung notwendig
 - Packungsdichte
 - Vegetationshöhe
 - Feuchtigkeitsgehalt

6

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Quellen

- [1] N. Liu, Wildland surface fire spread: Mechanism transformation and behavior transition, *Fire Safety Journal*. 141 (2023) 103974. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103974>.
- [2] F.C. Rego, P. Morgan, P. Fernandes, C. Hoffman, *Fire Science: From Chemistry to Landscape Management*, Springer International Publishing, Cham, 2021. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-69815-7>.
- [3] M.A. Finney, J.D. Cohen, S.S. McAllister, W.M. Jolly, On the need for a theory of wildland fire spread, *Int. J. Wildland Fire*. 22 (2013) 25. <https://doi.org/10.1071/WF11117>.
- [4] J.D. Cohen, M.A. Finney, *An examination of fuel particle heating during fire spread*, (2010).
- [5] R.E. Keane, *Wildland Fuel Fundamentals and Applications*, Springer International Publishing Springer e-books Imprint: Springer, Cham, 2015.
- [6] K.B. McGrattan, G.P. Forney, *NIST Special Publication 1019: Sixth Edition - Fire Dynamics Simulator User's Guide*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2004. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1019>.
- [7] hunter-ed, *Hunter Education: Prescribed Burning for Missouri Land Managers - Time Lag*, (2024). https://www.hunter-ed.com/prescribedburn/studyGuide/TimeLag/203025_169573/.

Bjarne Husted:

Simulation of a water mist curtain used as a radiation shield

Abstract:

The shielding capability of a high-pressure water mist curtain has been investigated. An appropriate test setup for large-scale fire testing was developed, corresponding to applications for modern building types. A three-storey concrete building at the Swedish Civil Contingencies Agency College in Revinge, Sweden, was used for the tests. This building has proven to give reliable and repeatable test results (1). The tests were conducted on a single floor in the building, consisting of three interconnected rooms. This is a multiple-room design representative of a typical apartment configuration. A heptane pool fire of about 1200 kW was placed in the middle room (fire room) close to a door opening. A high-pressure water mist curtain protects the door opening to the adjacent target room. Fresh air could enter from both sides of the fire room. The temperatures and thermal radiation levels were measured in the target room at different heights. The surface temperatures in the target room were measured with a Forward-looking infrared (FLIR) camera.

The performance evaluation of the high-pressure water mist curtain is based on the ability to attenuate temperatures and radiation through the door opening. Acceptance criteria of relevance were taken from the Nordic criteria of maximum allowed temperature and radiation. These criteria are very similar to the ones used by many countries which have implemented performance-based design, for example, Denmark, as shown by Sørensen (2).

A total of four tests were performed. One free burning test (test 0) and three tests (test 1-3) with 7.5, 10.5 and 11.9 L/min water pendent spraying in a door opening. It was found that the application of water mist dampens radiation and temperature levels considerably, as shown in Figure 1 and Figure 2. (3)

The experimental setup was simulated in FDS 6.9.1 using the Rosin Rammler Log-Normal droplet size distribution and activating turbulent dispersion in the Fire Dynamics Simulator. Activating turbulent dispersion improved the quality of the spray. Further, the varying outdoor wind conditions, which influenced the experimental results, were included in the simulations. Preliminary simulation results show that the model captured the overall physics and could adequately reproduce the experiments.

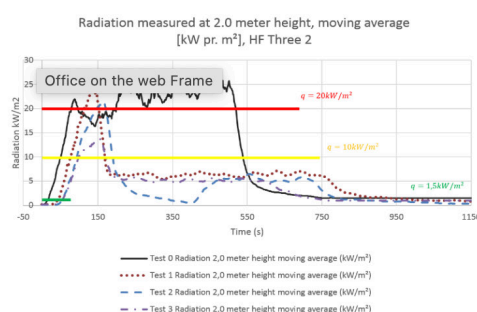


Figure 1 Radiation level in target room

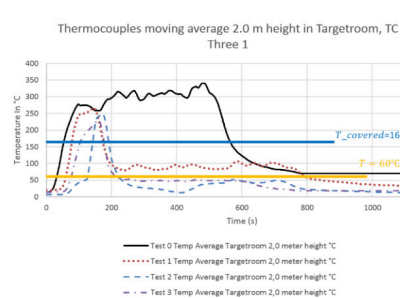


Figure 2 Temperature in target room

1. Johansson N, Svensson S, van Hees P. A Study of Reproducibility of a Full-Scale Multi-Room Compartment Fire Experiment. *Fire Technol.* 1. May 2015;51(3):645-65.

2. Sørensen LS. *Fire-safety engineering and performance-based codes.* Polyteknisk Boghandel og Forlag; 2014.

3. Laustsen LS, Husted BP, Sørensen LS. Full-scale fire tests of high-pressure water mist used as a fire barrier. I: *Interflam 2019 Conference Proceedings.* Interscience Communications; 2019. s. 309-20.



Bjarne Husted, Associate professor at The Technical University of Denmark (DTU), bphu@dtu.dk
Senior researcher at DBI

Simulation of a water mist curtain used as a radiation shield

8 November 2024 DTU Construct

1



Acknowledgement to my two co-authors

- **Ing. Lasse Laustsen Sørensen (former student at DTU)**
 - OBH Gruppen, Agerhatten 25, 5220 Odense, Denmark

OBH Rådgivende
Ingeniører

- **Associate professor, Dr. Lars Schiøtt Sørensen**
 - Department of Civil and Mechanical Engineering, Technical University of Denmark, Brovej 118, 2800 Kgs. Lyngby, Denmark

8 November 2024 DTU Construct

2

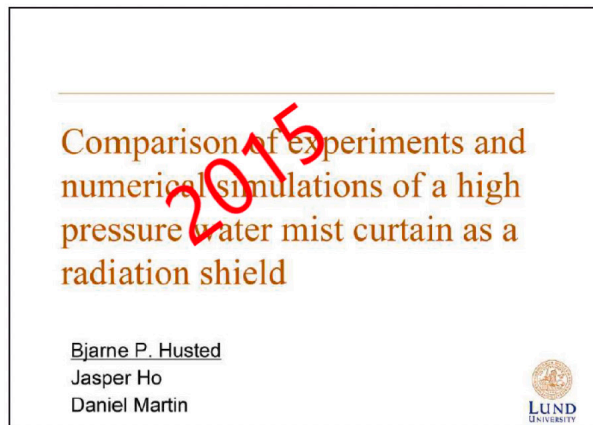


A similar presentation was given in 2015 (only 1 nozzle)



FDS|USERGROUP

9. ANWENDERTREFFEN



8 November 2024 DTU Construct

3



References



FULL-SCALE FIRE TESTS OF HIGH-PRESSURE WATER MIST USED AS A FIRE BARRIER

- Interflam 2019

¹Lasse Sørensen Laustsen & ²Bjarne Paulsen Husted & ³Lars Schiøtt Sørensen
¹Danfoss Semco A/S, Denmark
²Lund University, Sweden
³Technical University of Denmark, Denmark

–Laustsen L.S., Husted B.P., Sørensen L.S. Full-scale fire tests of high-pressure water mist used as a fire barrier. Interflam 2019 Conference Proceedings. Interscience Communications; 2019. s. 309–20.

- DTU Computing Center, 2024. DTU Computing Center resources. <https://doi.org/10.48714/DTU.HPC.0001>

8 November 2024 DTU Construct

4

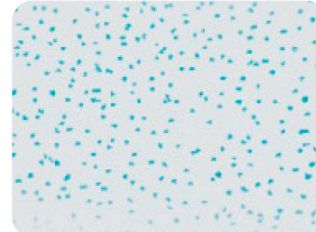


Water mist

Sprinkler



Water Mist (WM)



- WM has higher cooling capability than sprinkler (up to 7 times)

- Smaller droplet size (50-150µm) compared to traditional sprinkler (1000-1200µm).



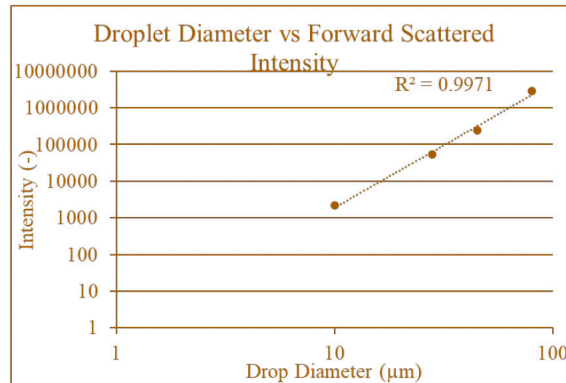
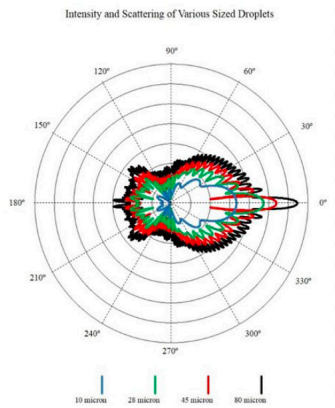
Water mist advantage

Smaller droplets have larger surface area for the same amount of water

Drop size [µm]	Number of droplets in a 1mm droplet	Surface area of droplet [m ²]
1000	1	3.14E-06
100	1000	3.14-05 (10 x)
10	100000	3.14-04 (100 x)



Theoretical Mie scattering for a single droplet

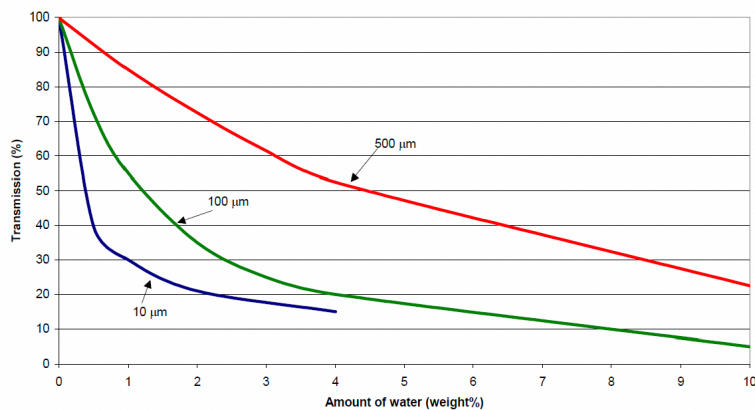


8 November 2024 DTU Construct



Attenuation is depended on droplet size

Simulated attenuation as a function of droplet size and amount of water



B.P. Husted, G. Holmstedt, T. Hertzberg, The physics behind water mist systems, IWMA Conference, Rome, 2004

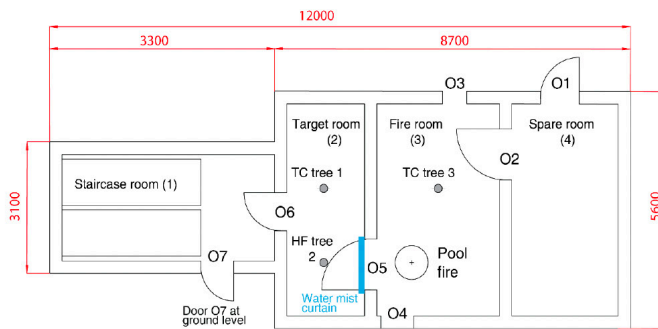
8 November 2024 DTU Construct



Experimental setup and plan

Test facility

A three-storey multiple-room concrete building at the Swedish Civil Contingencies Agency College in Revinge, Sweden, was used for the tests (Lund University).



Fire source: 1200kW
Heptane pool.

High-pressure WM system:
Danfoss Fire Safety A/S



Experimental setup and plan (4 tests)



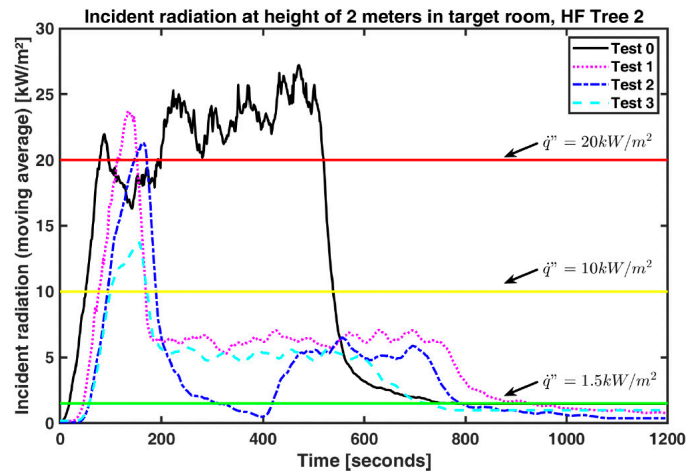
	Test 0	Test 1	Test 2	Test 3
Outdoor wind speed (Wind bag)	8 m/s	6 m/s	3 m/s	1 m/s
Pressure at nozzles	n/a	100 bar	100 bar	100 bar
Nozzle config.	n/a	6 pcs. 1918	6 pcs. 1922	5 pcs. 1934
Nozzle K-factor (L/min $\sqrt{\text{bar}}$)	n/a	0.125	0.175	0.238
Total water amount	n/a	7.5 L/min	10.5 L/min	11.9 L/min
Fuel	20 L heptane	20 L heptane	20 L heptane	20 L heptane
Time of log	15:26min	22:42min	20:57min	15:01min
Time heptane filling (30 sec filling time)	1min 30sec	1min	1min	1min
Fire start	2min 26sec	3min	3min	3min
HP water mist start	N/A	5min	4.33min	4.33min
Comments	Door O1 closed	Door O1 closed	Fire extinguished Door O1 open after reignition	Door O1 open



Experimental results



Radiation in the target room



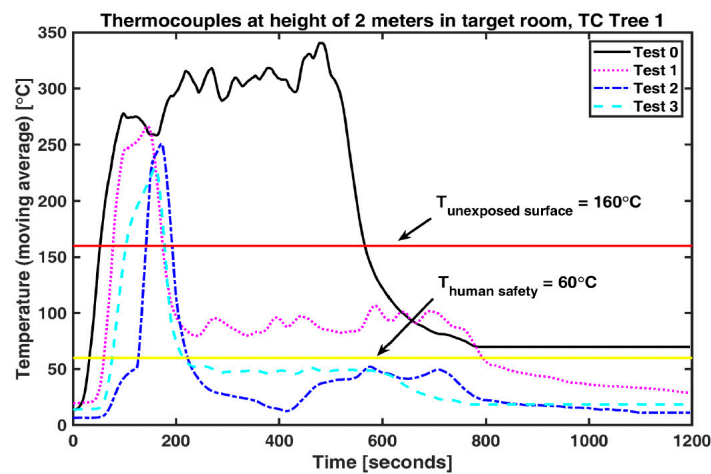
8 November 2024 DTU Construct



Experimental results



Temperature in target room



8 November 2024 DTU Construct



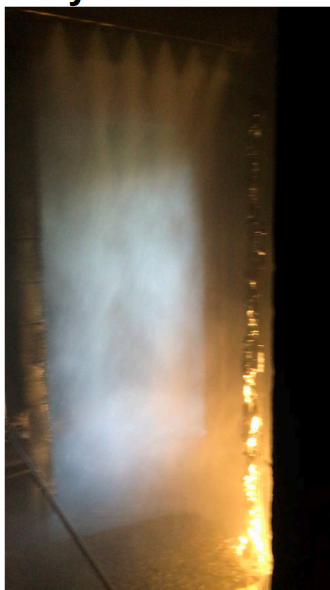
Outdoor test



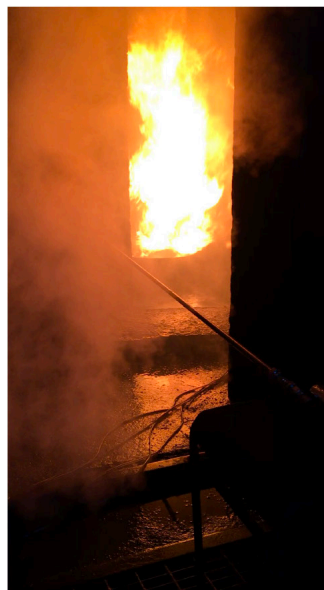
8 November 2024 DTU Construct



Only water



Fire and water

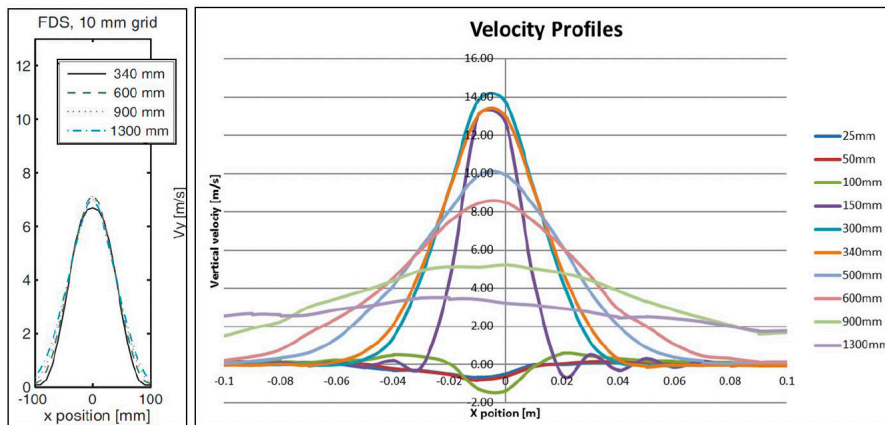


8 November 2024 DTU Construct

14



Previous simulation (Husted 2007) FDS 4.07 and FDS 6.1.2 (Ho)



8 November 2024 DTU Construct



Numerical setup (2024)

- FDS version 6.9.1. using a mesh of 100 mm and 50 mm.
- Five nozzles each delivering 2.38 l/min
- Turbulent dispersion is turned on in FDS.
- Droplets are divided into 6 classes with a Droplet Volume Mean Diameter (DV50) ranging from 74 μm to 114 μm .
- The ROSIN-RAMMLER-LOGNORMAL model was used, where the droplets below DV50 are modelled using the log-normal distribution and the droplets larger than DV50 are modelled using the Rosin-Rammler function.

8 November 2024 DTU Construct

16



Characteristic fire diameter for 1200 kW fire

- Characteristic Fire Diameter (D^*): 1.032 m
- 100 mm mesh -> $D^*/dx = 10.3$
- 50 mm mesh -> $D^*/dx = 20.6$



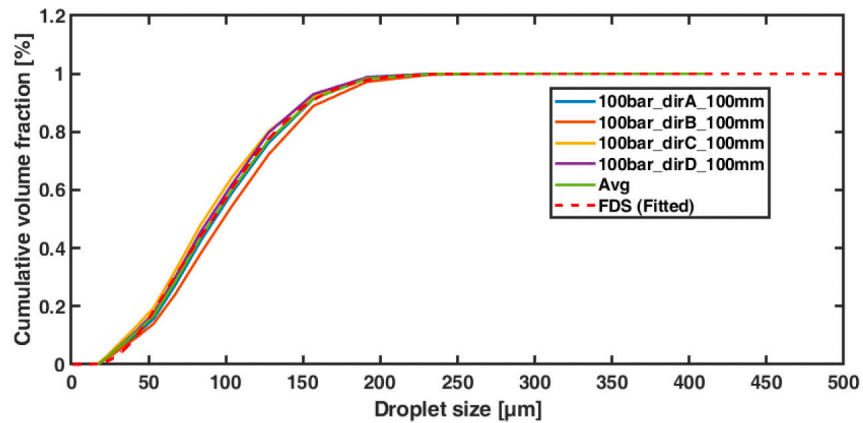
Radiation setup

- `&RADI NUMBER_RADIATION_ANGLES=300,
ANGLE_INCREMENT = 6, TIME_STEP_INCREMENT = 6 /`
- Also described in my user guide to FDS





Droplet distribution



Six different classes of droplets (one example)

- &PART ID='water-drops_wm-0_1.4',
SPEC_ID = 'WATER VAPOR', QUANTITIES(1:3)='PARTICLE
TEMPERATURE','PARTICLE MASS','PARTICLE DIAMETER',
DISTRIBUTION='ROSIN-RAMMLER-LOGNORMAL',
DIAMETER=73.77771040,
TURBULENT_DISPERSION=T,
MINIMUM_DIAMETER = 1.,
SIGMA_D=0.5818359375,
GAMMA_D=2.0402343750 ,
AGE=1. /



Property of a nozzle

- &PROP ID='wm-0_1.4',
OFFSET=0.20, PART_ID='water-drops_wm-0_1.4',
FLOW_RATE=0.00264985,
PARTICLES_PER_SECOND=10000,
PARTICLE_VELOCITY = 75,
SPRAY_ANGLE=0. 1.4,
SPRAY_PATTERN_SHAPE='UNIFORM'/

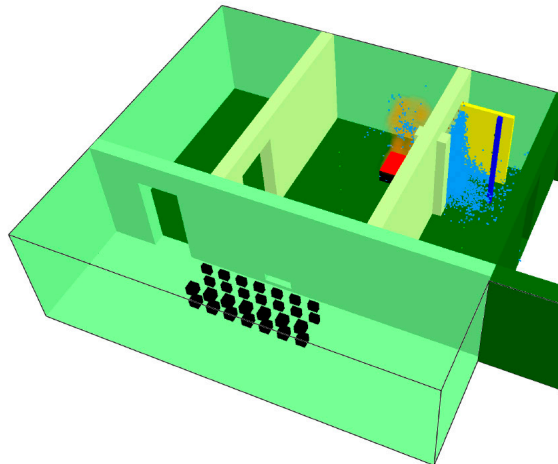


For a single nozzle and one spray angle

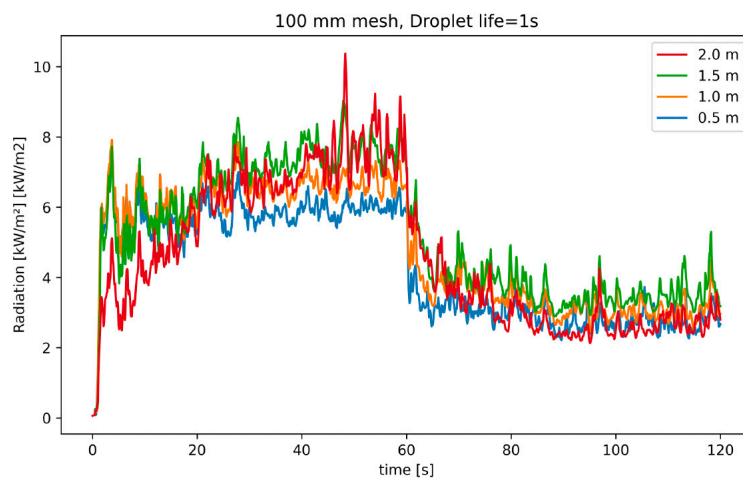
- &DEVC ID = 'Nozzle-wm-0_1.4',
XYZ = 3.35,3.2,2.05, IOR = -3,
QUANTITY='TIME', SETPOINT=60.0,
PROP_ID = 'wm-0_1.4' /



Setup in FDS

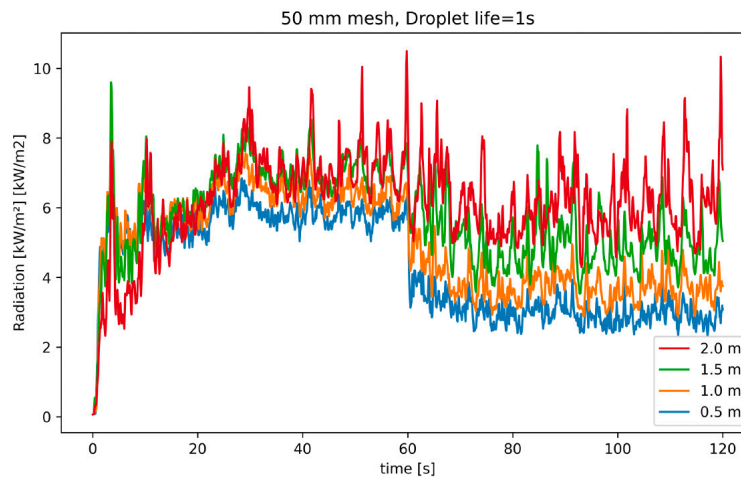


Results, 100 mm mesh





Results 50 mm mesh



Evaluation of results (Steady state)

- Using a method from Economics to determine if results are steady state
 - Augmented Dickey-Fuller test (ADF)
 - Generalized Least Squares Modified Dickey-Fuller t test (gave better results)
 - example
 - DF GLS Statistic: -2.3993880619544234 (more negative value is better)
 - p-value: 0.016554747977834152 (p-value is 1.7 %)
 - Critical Values:
 - 1%: -2.6350315957820136
 - 5%: -2.013918886625083
 - 10%: -1.6949681362822804



Evaluation of results II (Steady state)

- 2 % Significance level, evaluated using python (from arch.unitroot import DFGLS)

–# time interval used before water mist is applied

–t_start = 30

–t_end = 60

–# time interval used after water mist is applied

–t_start_water = 85

–t_end_water = 120



Attenuation of radiation

Height	Experiments	Numerical		
		100 mm mesh Droplet life= ∞	100 mm mesh Droplet life=1s	50 mm mesh Droplet life=1s
2.0 m	59%	62%	64%	14%
1.5 m	45%	53%	54%	30%
1.0 m	39%	54%	54%	42%
0.5 m	20%	55%	54%	50%



CONCLUSION

- The results of tests with a high-pressure water mist curtain as a fire barrier shows a significant reduction of radiation, up to 59%,
- The simulation showed that it was possible to reproduce the experimental results, but the attenuation was in many cases smaller in the numerical simulation than from the experiments, especially for the finer grid.
- The lagrangian model for the modelling of water mist in FDS can be trusted to give reliable results, once a detailed model of the spray is used (including droplet distribution and velocity)


8 November 2024 DTU Construct



Future work


- More work is required to refine the simulation and fully understand why the dampening is lower in the simulation, but one reason could be how the droplet is inserted, which leaves a gap at the top of the spray.

8 November 2024 DTU Construct

 **Commercial systems are now available**

Demonstration test at DBI 16. April 2024 (SFPE conference in Copenhagen)





8 November 2024 DTU Construct 31

DTU



Bjarne Husted, bphu@dtu.dk

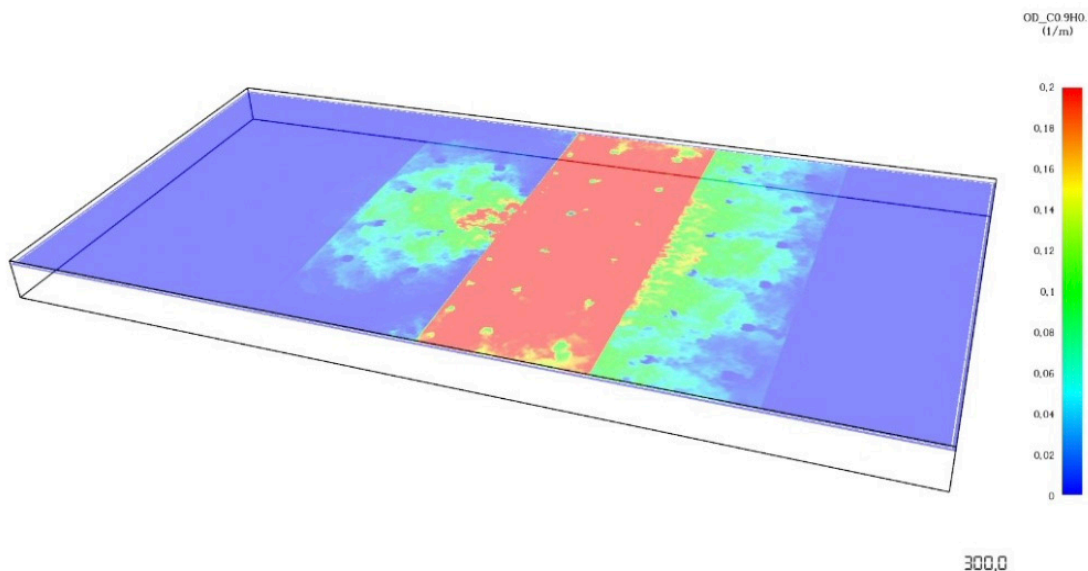
Jonny Dunger:

Nachweise von Industriebauten mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens

Abstract:

Dieser Beitrag untersucht den Einsatz ingenieurmäßiger Methoden des Brandschutzes zur Nachweissführung von am Beispiel eines fiktiven Industriegebäudes. Im Fokus steht die Möglichkeit, das Schutzziel einer Brandwand durch einen Freistreifen als „virtuelle Brandabschnittstrennung“ zu ersetzen. Dabei werden die Vorgaben der DIN 18009-1, die über die MIndBauRL bauaufsichtlich eingeführt ist, angewendet. Dies ermöglicht eine objektspezifische Lösung für Gebäude, bei denen traditionelle Verfahren zur Begrenzung von Brand- und Brandbekämpfungsabschnitten an ihre Grenzen stoßen.

Der Ansatz kombiniert horizontale Abstände zwischen Brandabschnitten mit zusätzlichen Maßnahmen der Anlagentechnik und zur Rauchableitung, die anhand von Brandsimulationen auf ihre Wirksamkeit geprüft werden. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Ausbreitung von Feuer durch Freistreifen wirksam verhindert werden kann, während die Rauchausbreitung auf ein akzeptables Minimum reduziert werden kann, ohne die bauordnungsrechtlichen Schutzziele zu gefährden.



Der Beitrag demonstriert, dass bauliche Trennungen durch Freistreifen und eine erweiterte brandschutztechnische Infrastruktur ersetzt werden können, wenn spezifische Randbedingungen berücksichtigt werden. Die Anwendung ingenieurmäßiger Methoden erfordert dabei eine präzise Anpassung an das jeweilige Gebäude und dessen Nutzung. Hinsichtlich der Bemessung nutzungsabhängiger Brände besteht weiterer Forschungs- und Regelungsbedarf. Der vorgestellte Ansatz bietet dennoch eine flexible und risikogerechte Alternative zu herkömmlichen Brandschutzkonzepten.

Nachweise von Industriebauten mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens

18. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Dipl.-Ing. Jonny Dunger, M.Eng.
hhpberlin, Standort Dresden
Freitag, 8. November 2024



Agenda

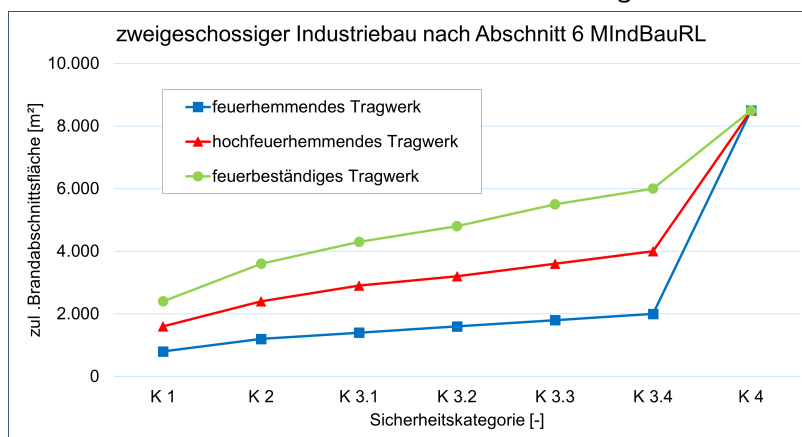
- 1 Motivation
- 2 Zielstellung
- 3 Methoden
- 4 Ergebnisse
- 5 Fazit und Ausblick





Motivation

Einfluss der brandschutztechnischen Infrastruktur auf die zulässige Brandabschnittsgröße



Motivation

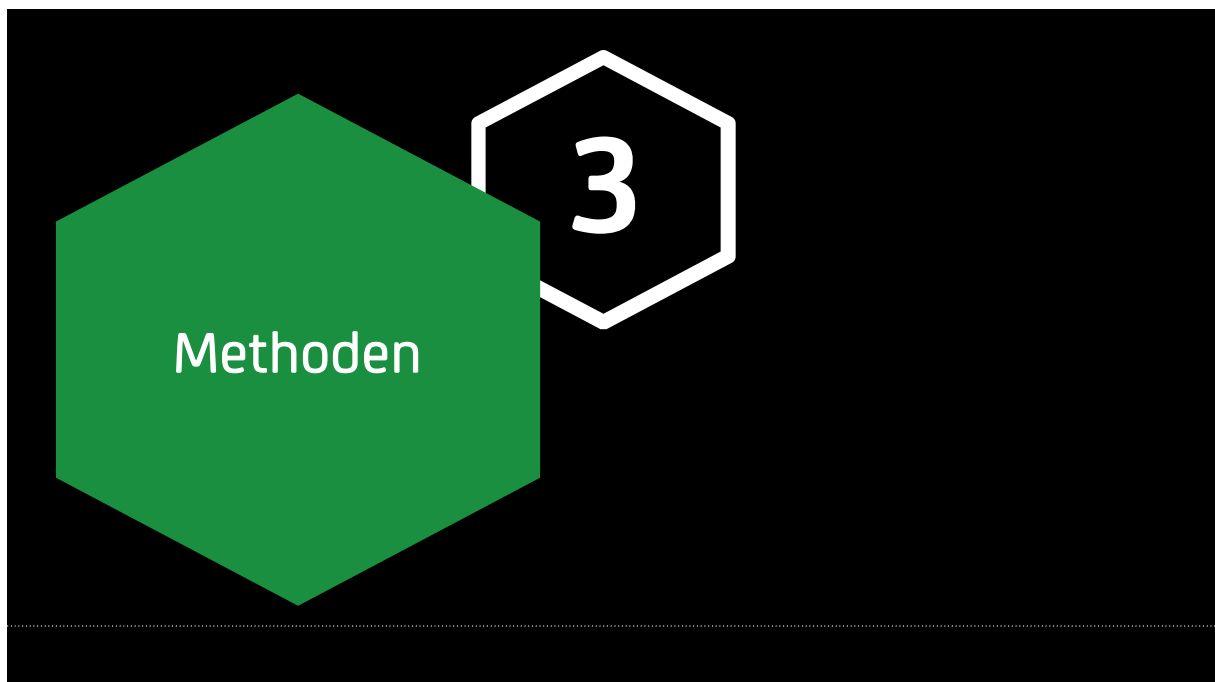
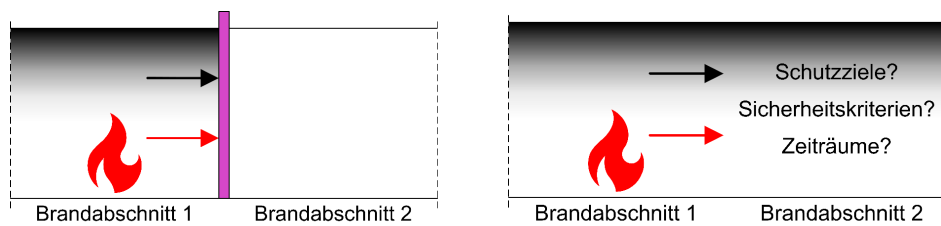
- Versagenswahrscheinlichkeit von Löschanlagen
- Anwendungsgrenzen der Abschnitte 6 und 7
- DIN SPEC 18230-4: „Weitere Untersuchungen [...] sind erforderlich.“
- Nachweisführung nach Abschnitt 4.3 MIndBauRL/Ingenieurmethoden
 - Zweck von Anforderungen
 - individuelle Lösungen
 - keine Abweichung, sondern geregelter Weg

„Die Sicherheitskriterien und die Zeiträume zur Einhaltung der Sicherheitskriterien sind mit den zuständigen Behörden festzulegen.“




Zielstellung

Ziel: Ermöglichung größerer als nach den Abschnitten 6/7 MIndBauRL zulässiger Brandabschnitte/ Brandbekämpfungsabschnitte durch Entfall der inneren Brandwand.



Nachweisweg nach DIN 18009-1

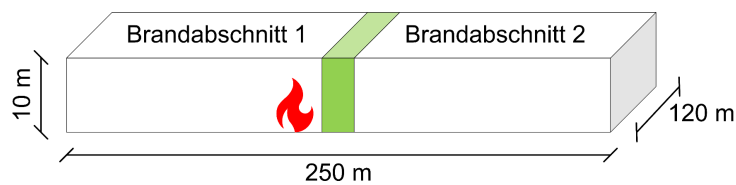
Allgemeines

- 
- Schutzzieldiskussion (Zweck der Anforderung)
 - Gefahren- und Risikoanalyse
 - Funktionale Anforderungen (qualitativ)
 - Leistungskriterien (quantitativ)
 - Bemessungsbrand/ -szenario
 - Auswahl eines geeigneten Modells
 - SOLL-IST-Vergleich

3

Nachweisweg nach DIN 18009-1

Beispielgebäude



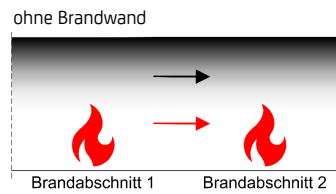
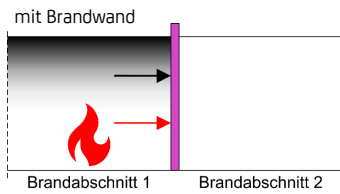
Randbedingungen:

- 30.000 m² Grundfläche, keine innere Brandwand möglich
- Brandmeldeanlage
- Feuerlöschanlage
- Werkfeuerwehr (Eingreifzeit 11 Minuten)

3

Nachweisweg nach DIN 18009-1

Schutzziele sowie Gefahren- und Risikoanalyse



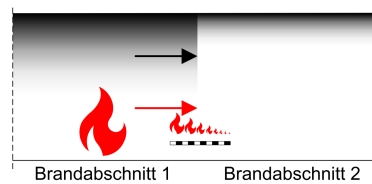
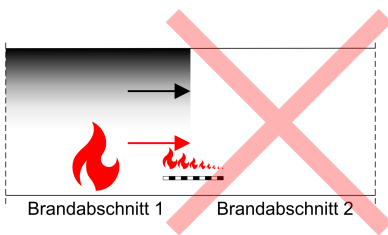
Vorbeugung/Verhinderung der Brandausbreitung?
Ermöglichung wirksamer Löscharbeiten?

Ausbreitung von Feuer und Rauch
→ zusätzliche Maßnahmen erforderlich



Nachweisweg nach DIN 18009-1

Argumentative Nachweisführung



Verhinderung der Rauchausbreitung ist ohne raumabschließende Bauteile nicht möglich.

→ Rauchausbreitung auf ein akzeptables Minimum begrenzen.



Nachweisweg nach DIN 18009-1

Argumentative Nachweisführung

Maßnahmen zur **Verhinderung** der Ausbreitung von Feuer

- horizontale Abstände/Freistreifen, z. B. in Anlehnung an
 - Abstände zur Grundstücksgrenze
 - Teilflächenabtrennungen nach DIN 18230-1
 - Ladenstraßen

Maßnahmen zur **Behinderung** der Ausbreitung von Rauch

- zusätzliche Rauch- und Wärmeabzüge
- Rauchschürze(n)

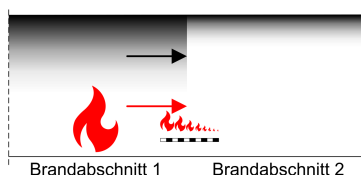
3

Nachweisweg nach DIN 18009-1

Funktionale Anforderungen und Leistungskriterien

Funktionale Anforderungen:

- Verhinderung (bzw. Behinderung) der Brandausbreitung über den Freistreifen hinweg
- Nutzbarkeit des Freistreifens für die Einsatzkräfte der Feuerwehr ... für die Dauer der Brandbekämpfung



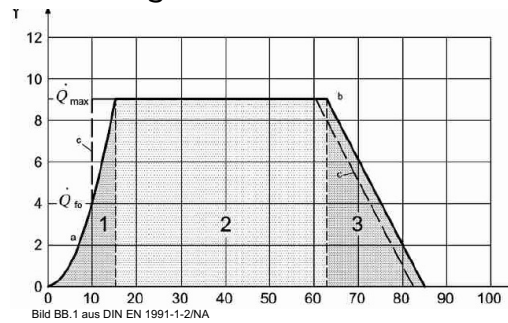
Leistungskriterien:

- adiabate Oberflächentemperatur $\leq 200 \text{ °C}$
- Wärmestromdichte $\leq 10 \text{ kW/m}^2$
- optische Dichte
 - $\leq 0,2 \text{ 1/m}$ (Freistreifen)
 - **mind. $\leq 0,2 \text{ 1/m}$ (Brandabschnitt 2)**

3

Nachweisweg nach DIN 18009-1

Bemessungsbrand/Bemessungsbrandszenario

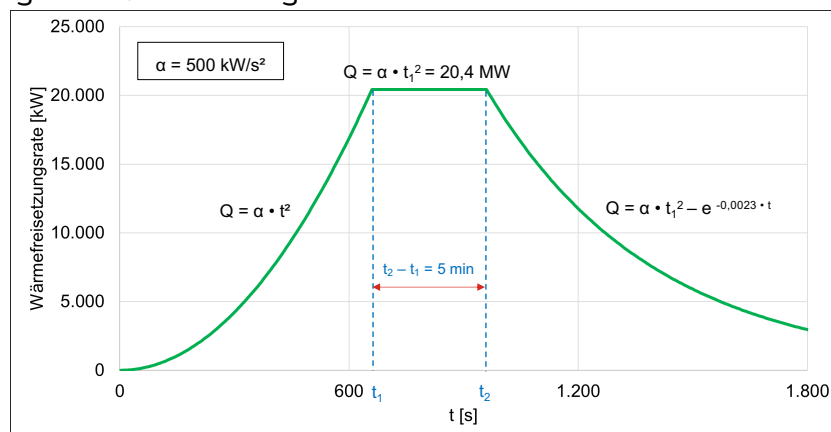


Berücksichtigung der Infrastruktur, aber Begrenzung der Wärmefreisetzungsrate erst nach Wirksamwerden der zweiten abwehrenden Maßnahme.



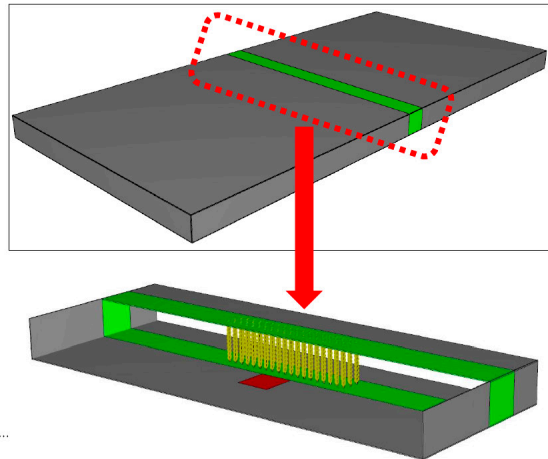
Nachweisweg nach DIN 18009-1

Bemessungsbrand/Bemessungsbrandszenario



Nachweisführung

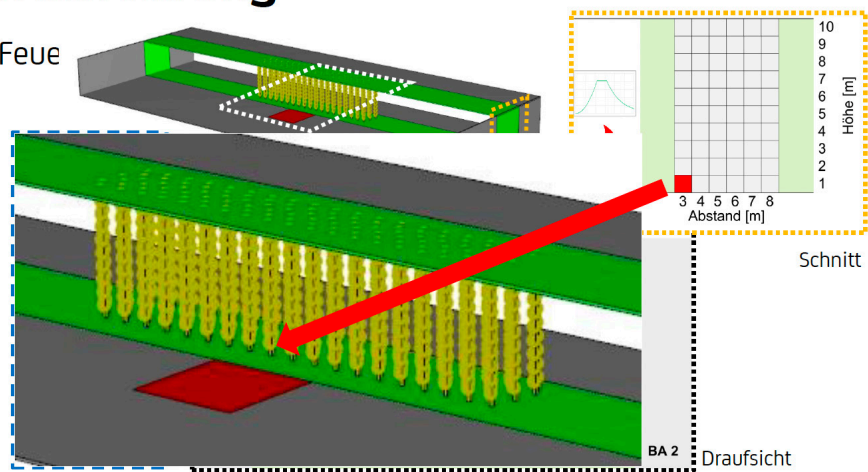
Modell - Feuer



3

Nachweisführung

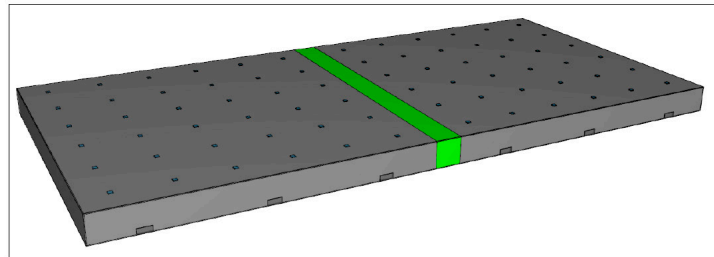
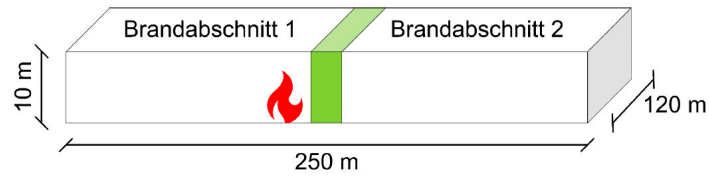
Modell - Feuer



3

Nachweisführung

Modell - Rauch

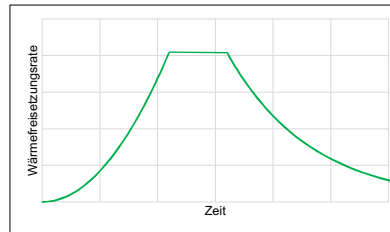


4

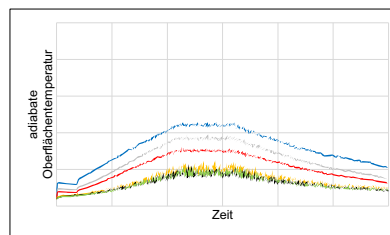


Nachweisführung (Feuer) - Ergebnisse

Verlauf der Wärmefreisetzungsrate



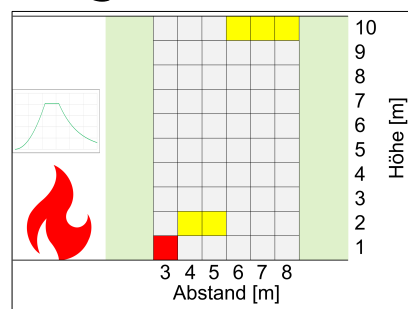
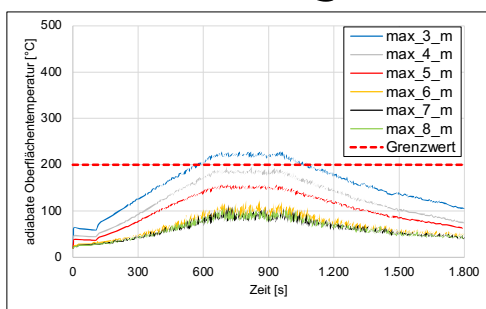
Verlauf der adiabaten Oberflächentemperatur - qualitativ (maßgebend)



Verlauf der Wärmestromdichte - qualitativ

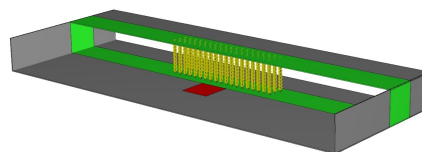


Nachweisführung (Feuer) - Ergebnisse



■ maßgebender Messpunkt in Messreihe (Beurteilungswert überschritten)

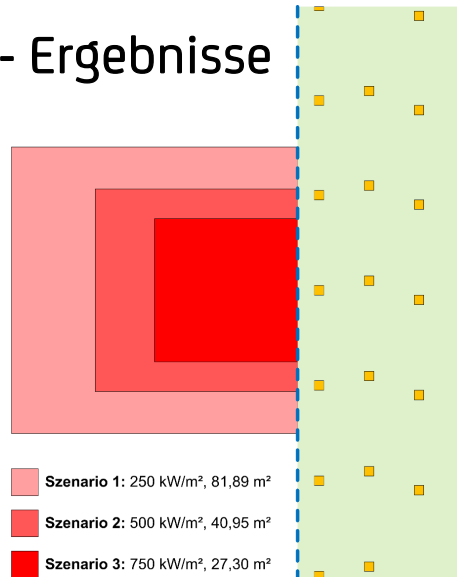
■ maßgebender Messpunkt in Messreihe (Beurteilungswert unterschritten)



Nachweisführung (Feuer) - Ergebnisse

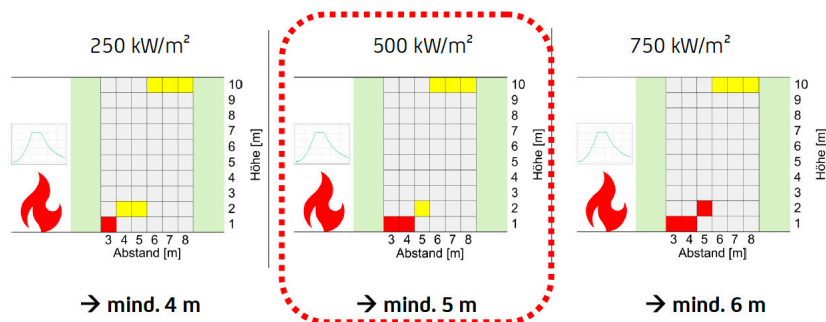
Varianten:

- spezifischen Wärmefreisetzungsrate 250 – 750 kW/m²
- diverse Maßnahmen am Freistreifen



4

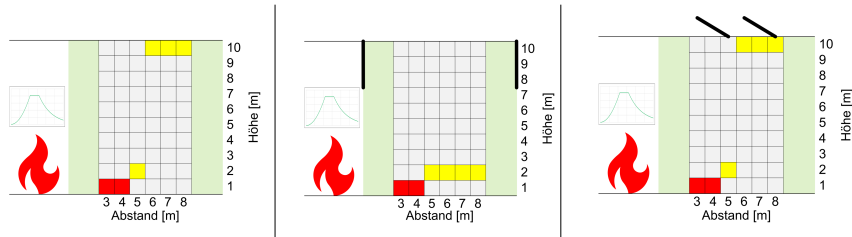
Nachweisführung (Feuer) - Ergebnisse



4

Nachweisführung (Feuer) - Ergebnisse

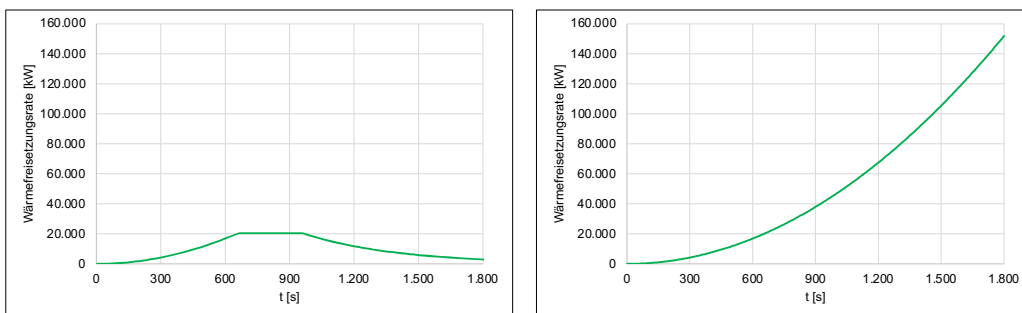
- spezifische Wärmefreisetzungsrate 500 kW/m² (nach 11 min begrenzt)
- Variation der Maßnahmen am Freistreifen



→ Maßnahmen am Freistreifen haben hier keinen Einfluss auf den erforderlichen horizontalen Abstand!

4

Variation Wärmefreisetzungsrate

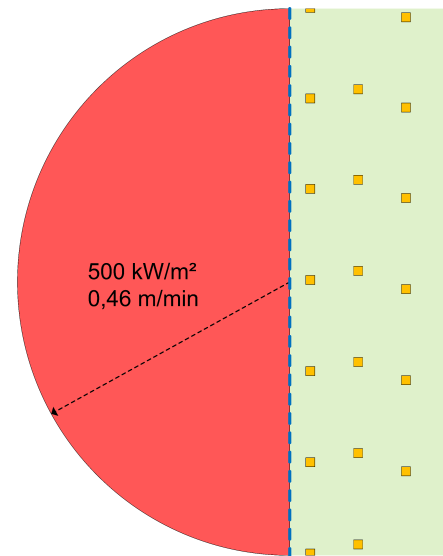


4

Variation

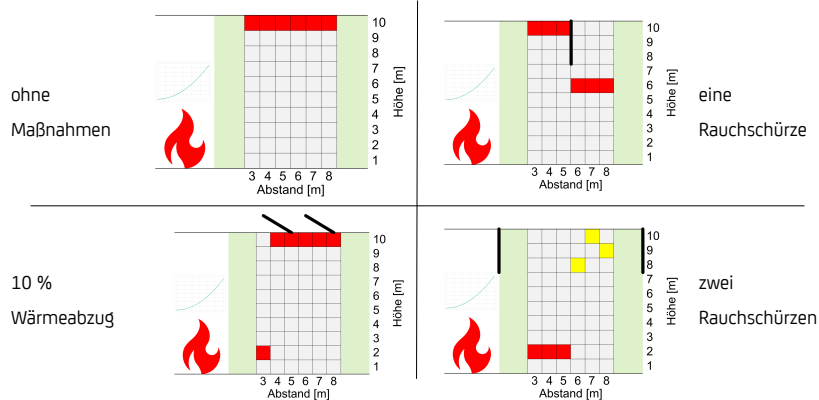
zusätzliche Varianten:

- unbegrenzte Brandausbreitung am Freistreifen, 500 kW/m²
- diverse Maßnahmen am Freistreifen

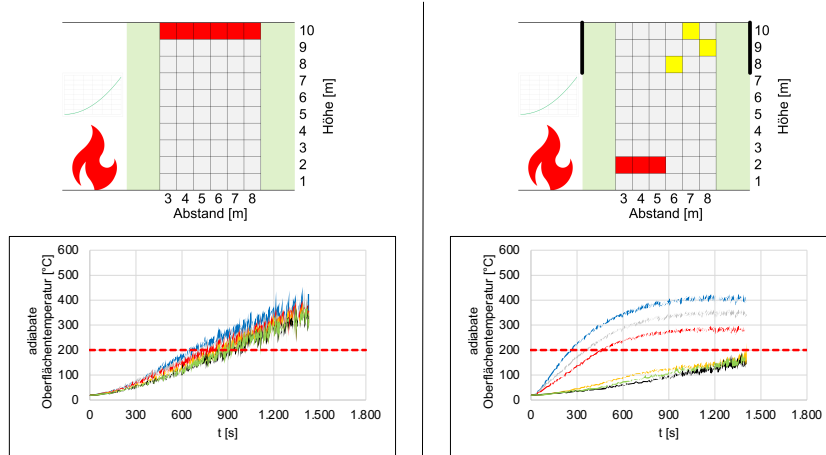


Nachweisführung (Feuer) - Ergebnisse

- unbegrenzte Brandausbreitung, spez. Wärmefreisetzungsrate 500 kW/m²
- Variation der Maßnahmen am Freistreifen

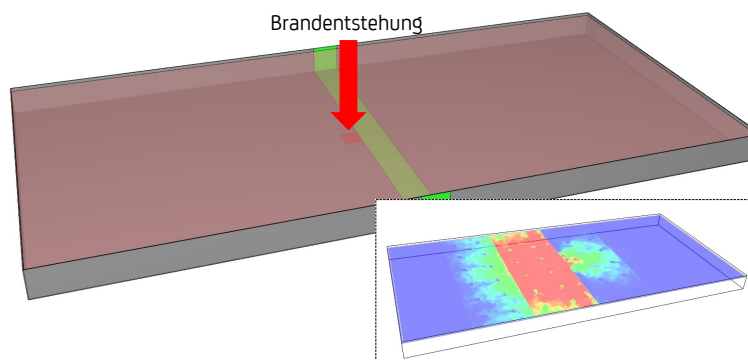


Nachweisführung (Feuer) – Ergebnisse



4

Nachweisführung (Rauch) - Ergebnisse



Horizontalschnitt unterhalb der Decke

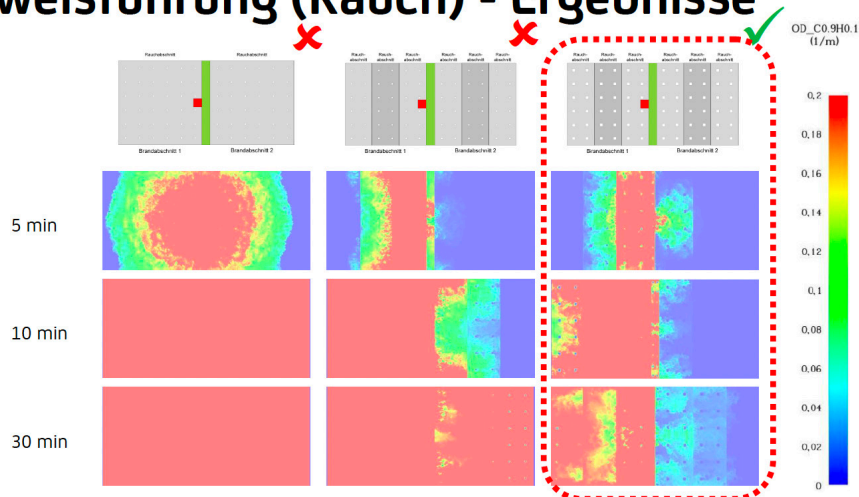
4

Nachweisführung (Rauch) - Ergebnisse



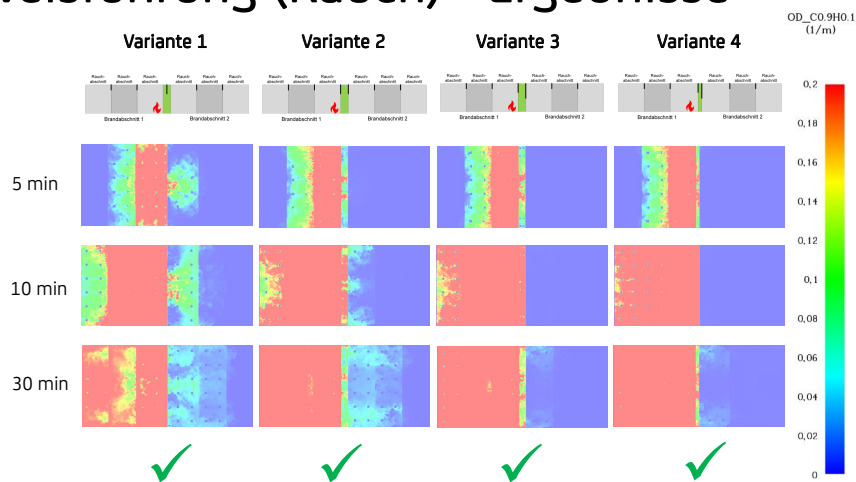
4

Nachweisführung (Rauch) - Ergebnisse



4

Nachweisführung (Rauch) - Ergebnisse



4

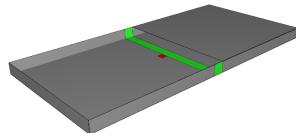
Mögliche Fehlerquellen

- Netzkonvergenz
- äußere Randbedingungen (Sommer/Winter, Wind etc.)
- Fehler bei der Ergebnisauswertung und -interpretation
- Fehler im Berechnungsprogramm
- Modellannahmen (z. B. Einbauten und Einrichtungen)

4

Mögliche Fehlerquellen

Einbauten und Einrichtungen

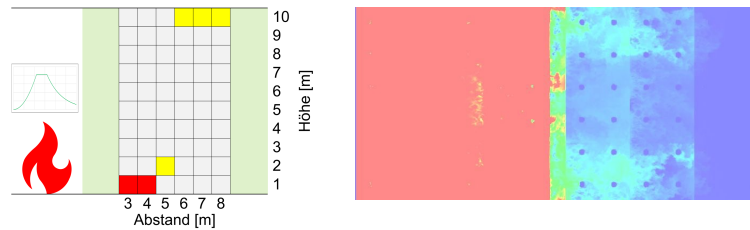


5



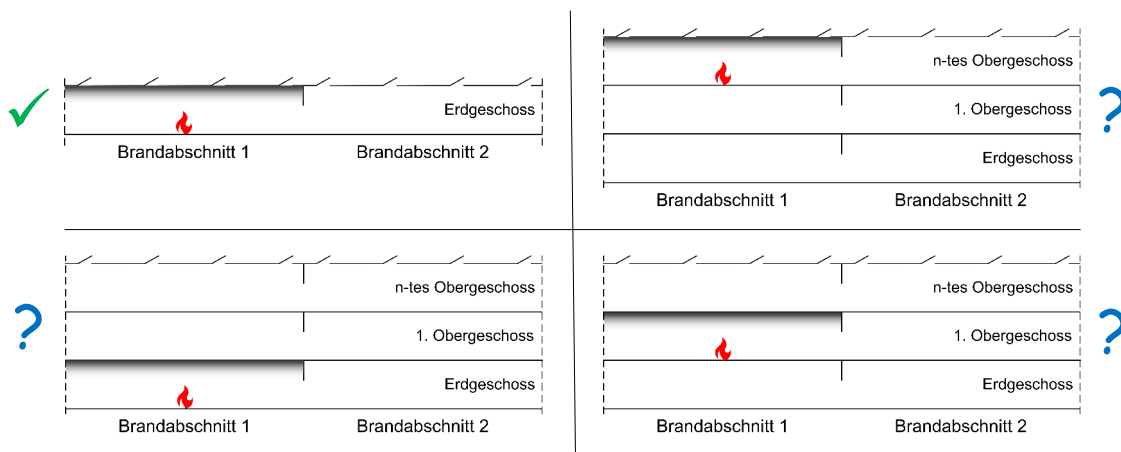
Zusammenfassung

- „virtuelle Brandabschnittstrennung“ mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens möglich, aber
 - Freistreifen erforderlich
 - Anforderungen an brandschutztechnische Infrastruktur
 - zusätzliche Maßnahmen zur Rauchableitung und Rauchschürzen



5

Ausblick



5

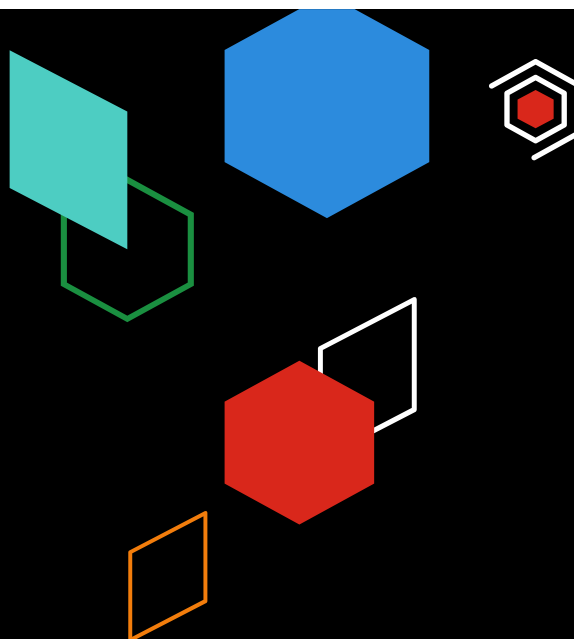
Impressum

hhpberlin
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Otto Ostrowski Straße 5
10249 Berlin
Deutschland
+49 (30) 89 59 55 0
serviceesk@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

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

Geschäftsführer:
Gregor Dunkel, MSc. in Economics,
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



Die deutsche FDS Usergroup ist ein unabhängiges Forum für die deutschsprachigen FDS-Anwender. Sie bietet den Nutzern des Fire Dynamics Simulator die geeignete Plattform für einen intensiven, wissenschaftlichen Austausch.

FDS (Fire Dynamics Simulator) ist ein Programm zur Simulation von Bränden. Die Software simuliert unter anderem dreidimensionale Strömungen auf Grundlage der Navier-Stokes-Gleichungen, den zugrunde liegenden Brandprozess und die Ausbreitung von Feuer und Brandrauch. Die Ergebnisse der FDS-Simulationen können mit Hilfe von Smokeview – einem Teil des gesamten FDS-Programmpakets – visualisiert werden. Die Auswertungen können sowohl zwei- als auch dreidimensional, als Standbild oder animiert dargestellt werden. FDS wurde am amerikanischen NIST (National Institute of Standards and Technology) von Kevin McGrattan, Glenn Forney und Bryan Klein entwickelt. Ziel der FDS Usergroup ist es, ein umfassendes Kontakt- und Kooperationsnetzwerk aufzubauen, das den Austausch von Informationen und Erfahrungen sowie Anregungen und Unterstützung rund um das Programm FDS ermöglicht. Das Online-Forum, das den registrierten Mitgliedern zur Verfügung steht, bietet zudem die Möglichkeit, konkrete Anwenderprobleme direkt und zeitnah zu diskutieren und gemeinsam zu lösen.

Dr. Ing. Leonie Rommeswinkel



ISSN 2191-463X
18. Tagungsband
FDS Usergroup
Jahrgang 2022

hhpberlin
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Otto Ostrowski Str. 5, 10249 Berlin
servicedesk@hhpberlin.de