

Modellierung der Brandausbreitung mit dem Scaling Pyrolysis (SPyro) Model

Anna Troff, Manuel Osburg

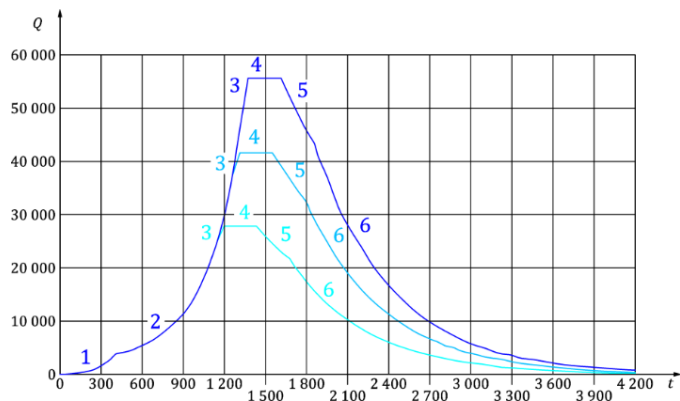
Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig



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

Vorgegebener Verlauf

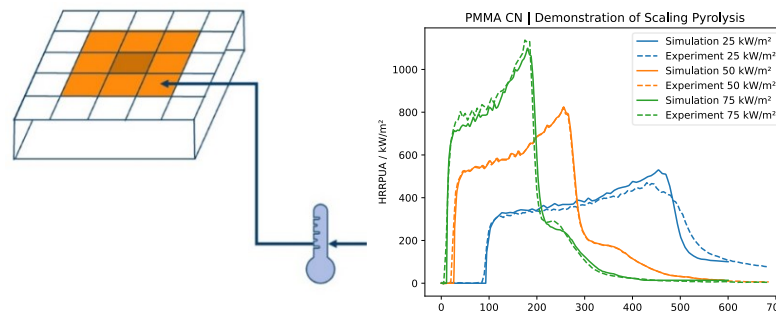
- Vollständig vorgegebener Verlauf
- Brandausbreitung ist ausschließlich zeitabhängig
- Keine Individualität
- Keine Prognose der Brandausbreitung
- Ermittelte Brandwirkungen werden oft überschätzt



07.11.2024

Simple Pyrolysis

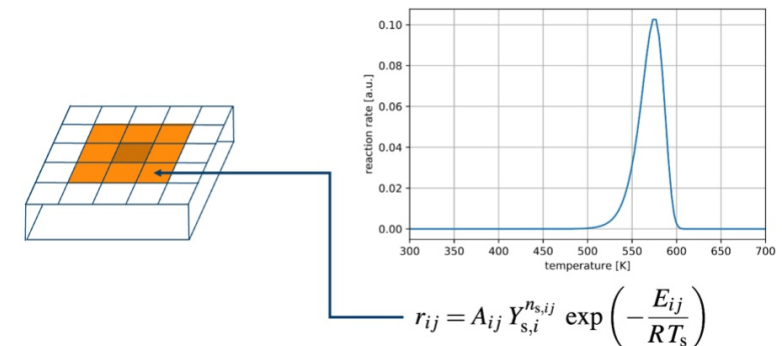
- Spezifische HRR-Kurve stammt aus Experimenten (Cone Calorimeter)
- Zündtemperatur startet HRR-Kurve
- Nach Zündung findet keine Rückkopplung mit der Umgebung statt
- Lokaler Abbrand bleibt unbeeinflusst
- Neuer Ansatz: *Scaling the Burning Rate by the Heat Flux*



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

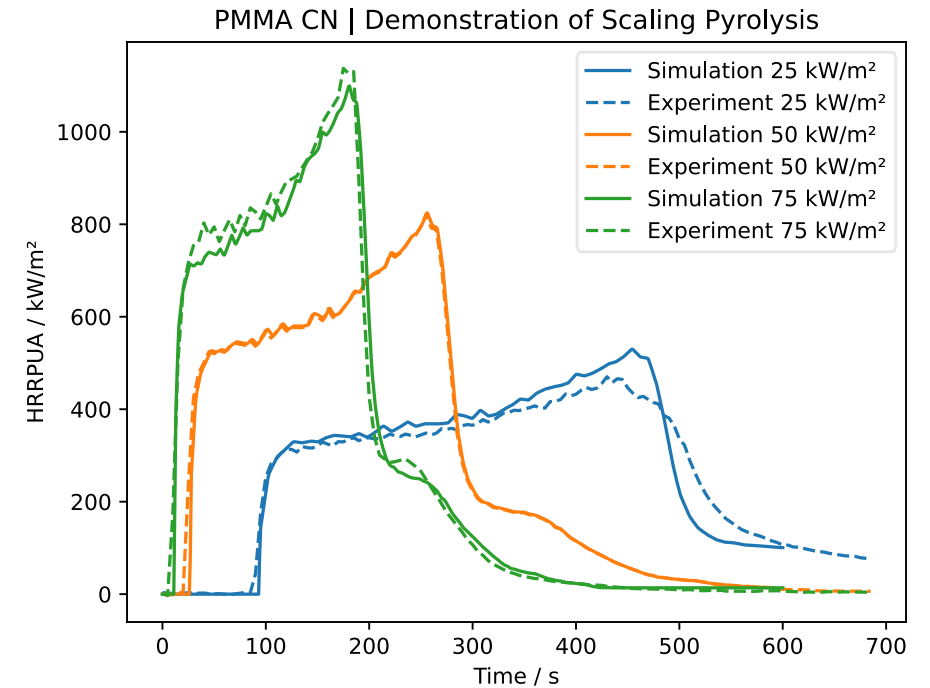
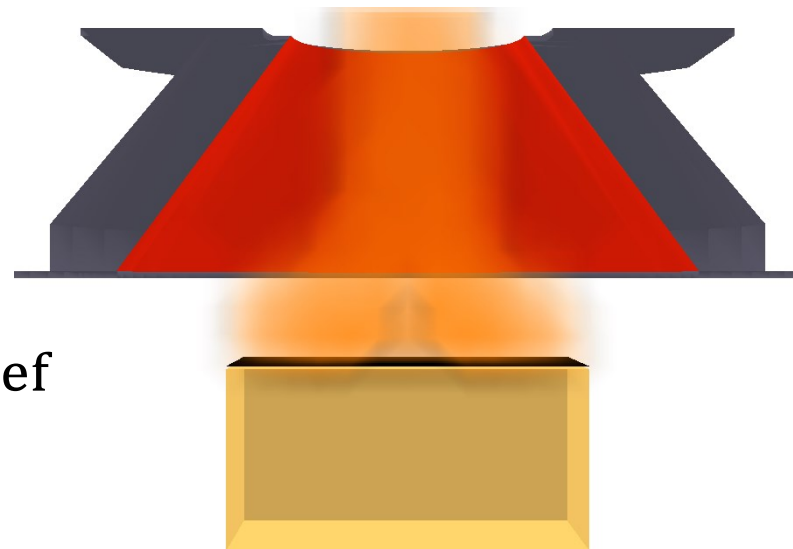
Scaling the Burning Rate by the Heat Flux

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

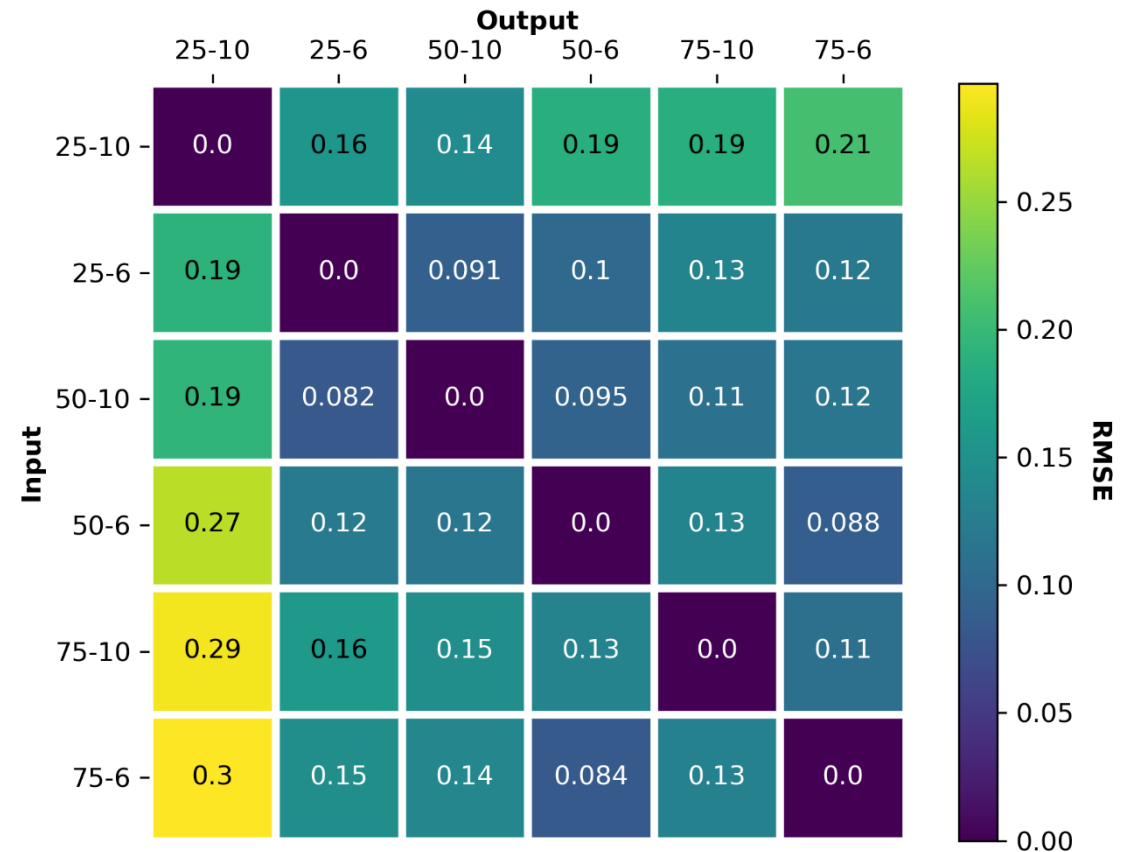
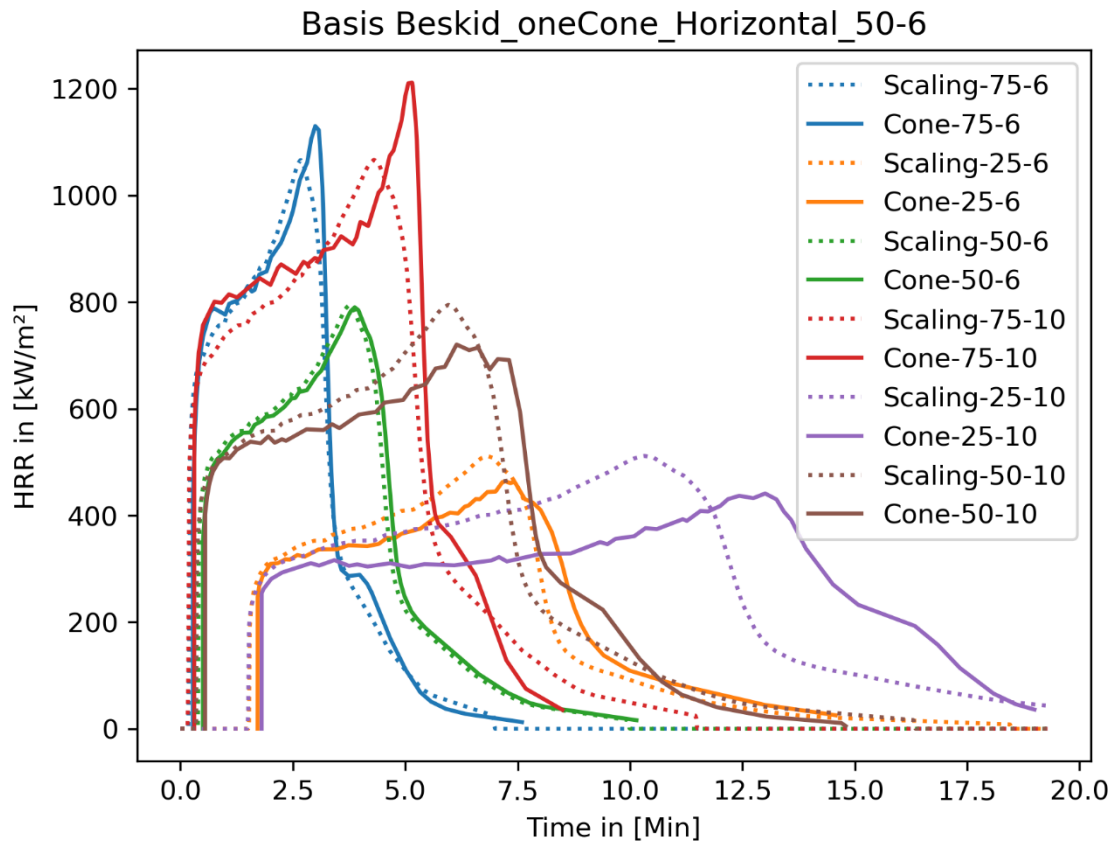
$$\dot{q}''_{\text{net}} = \dot{q}''_{\text{FDS,inc}} + \dot{q}''_{\text{FDS,c}} \rightarrow \text{Simulation}$$

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

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

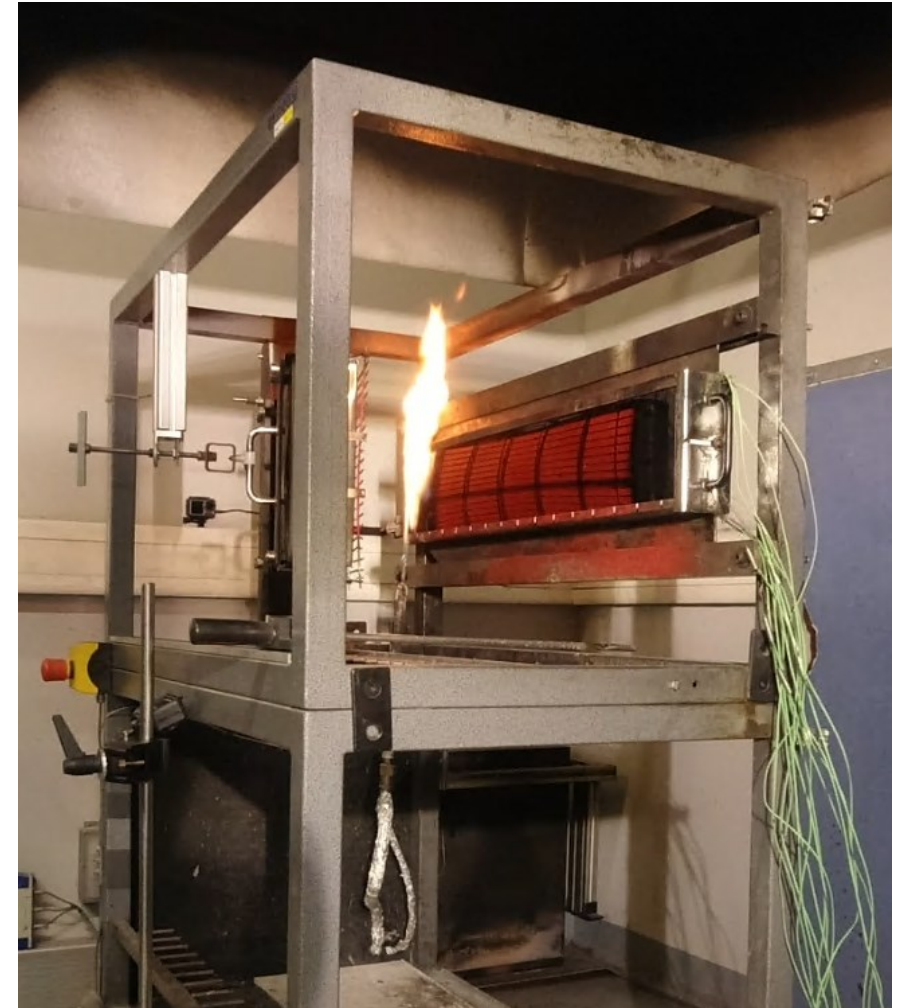
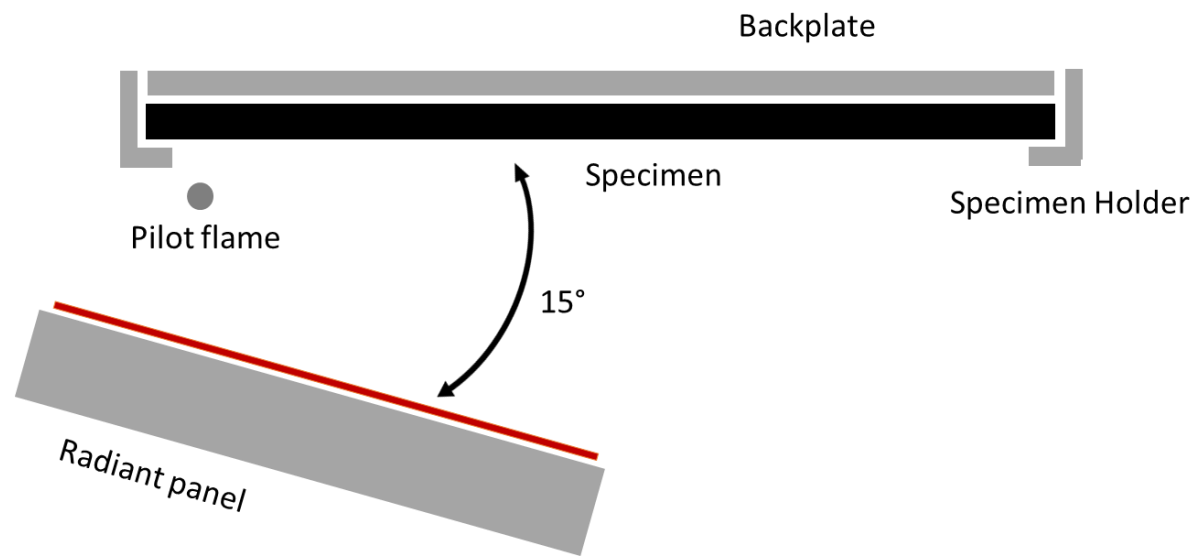


SPyro: Scaling the Burning Rate by the Heat Flux

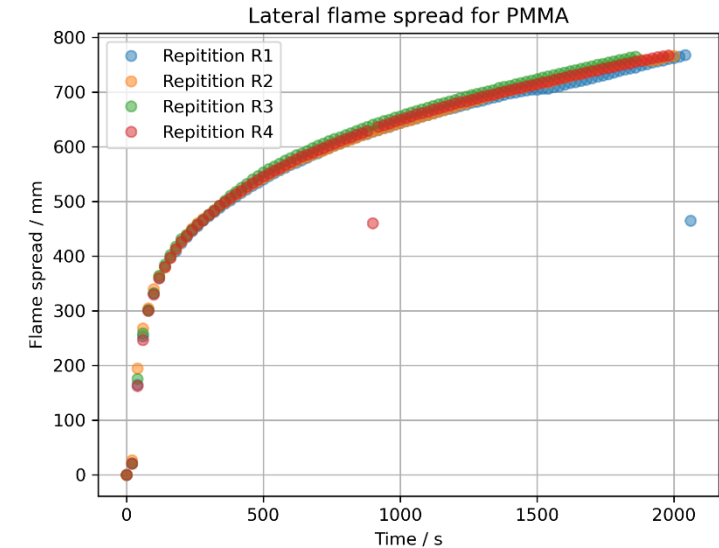


Am standardisierten Versuchsaufbau:

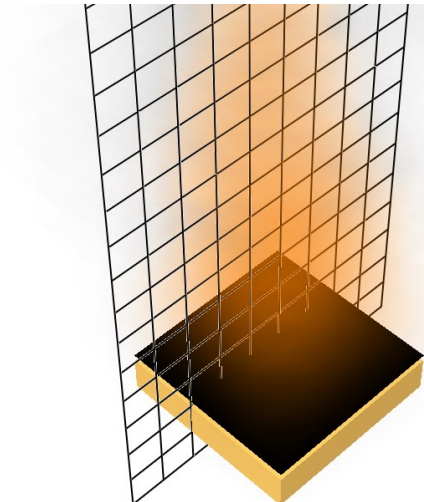
- Seitliche Flammenausbreitung in vertikaler Anordnung aus ISO 5658-2 [1]
- Heizpanel im Winkel von 15°



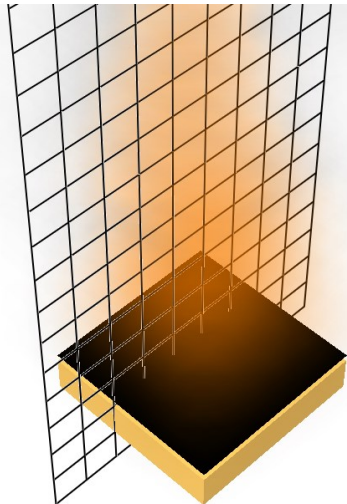
- ISO 5658-2 Experimente im April 2024 mit schwarzem gegossenem PMMA in 6mm Dicke
- Die Flammenposition wurde aus Thermographie-Daten bestimmt (Forschungszentrum Jülich)
- Brandausbreitung über die gesamte Probenbreite



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



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	



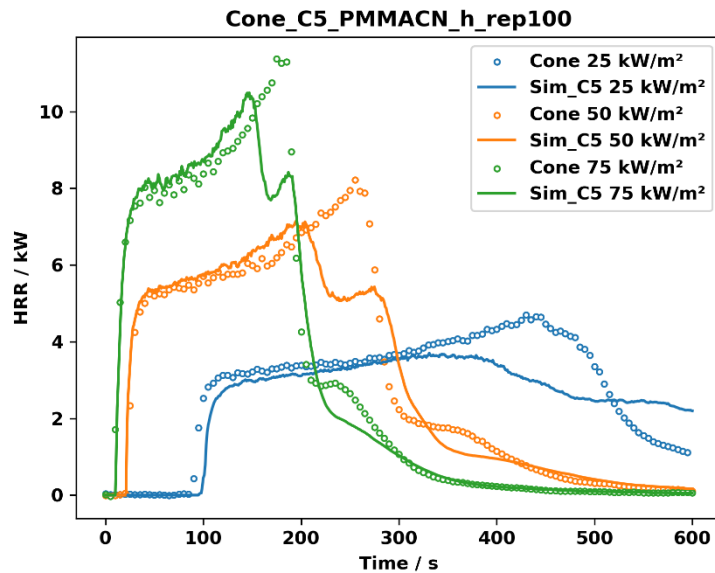
- Parameteroptimierung durch inverse Modellierung mit PROPTI [2]
- Verwendung C3 Cone Geometrie

Anzahl der Optimierungsschritte: 120

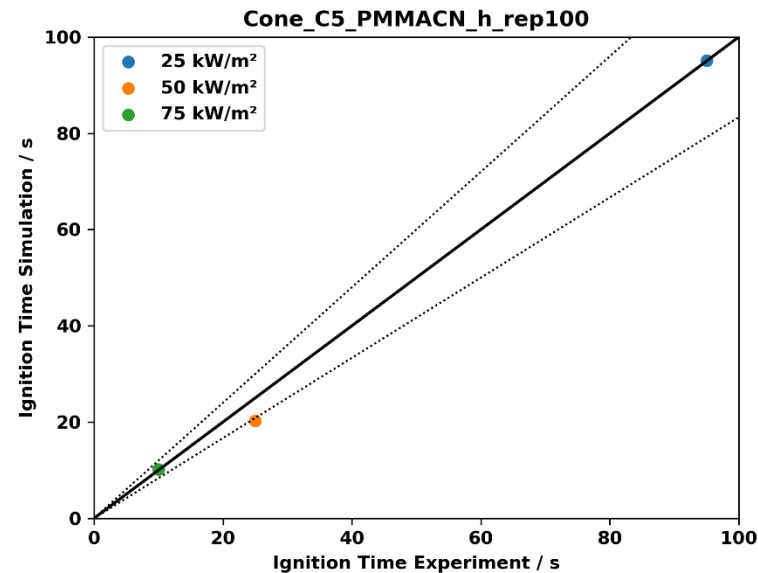
Parameter mit bester Übereinstimmung: Ignition temperature 341°C

Heat of vaporization 2038 kJ/kg

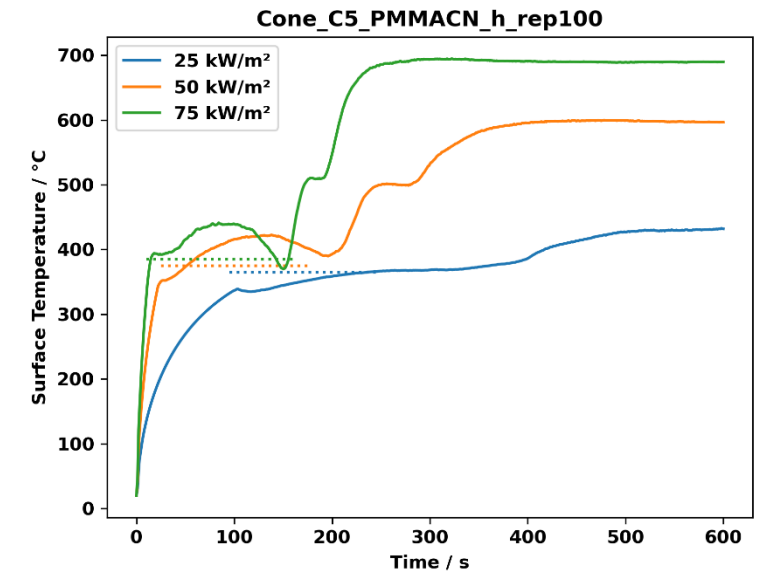
Heat Release Rate



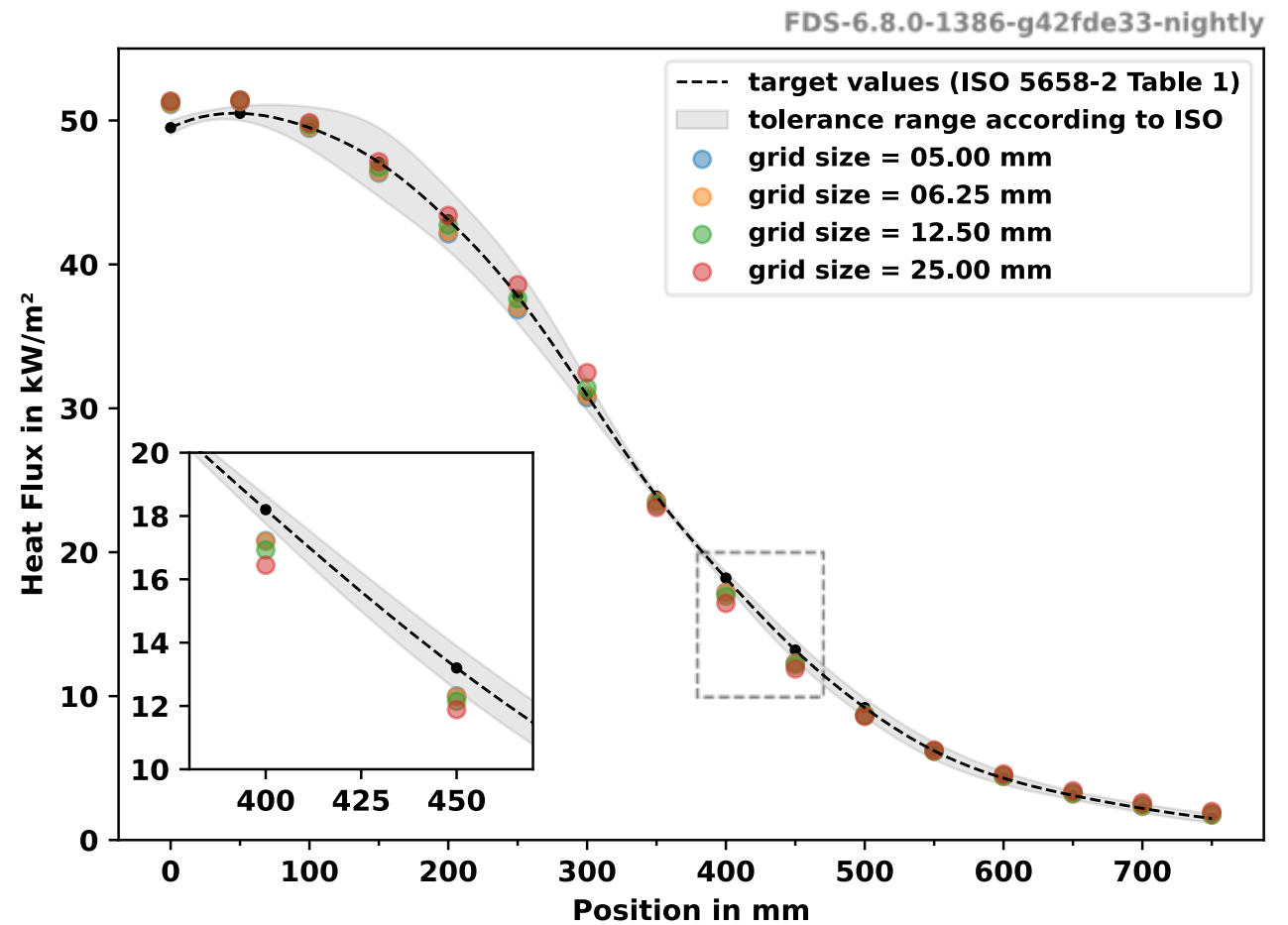
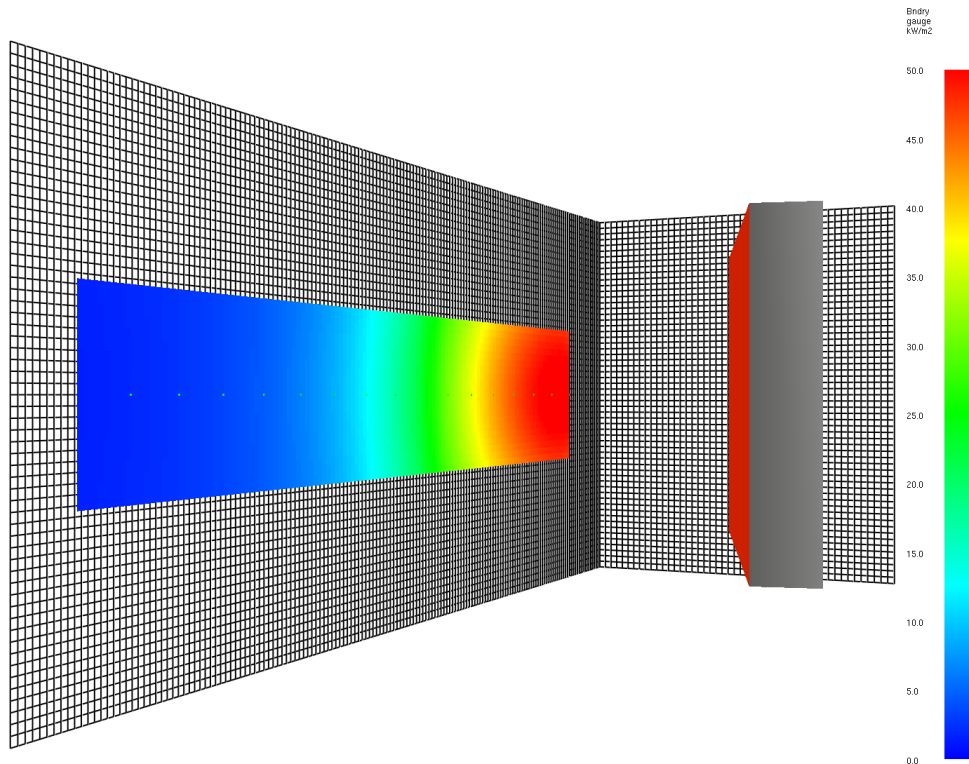
Ignition time



Front temperature during flaming

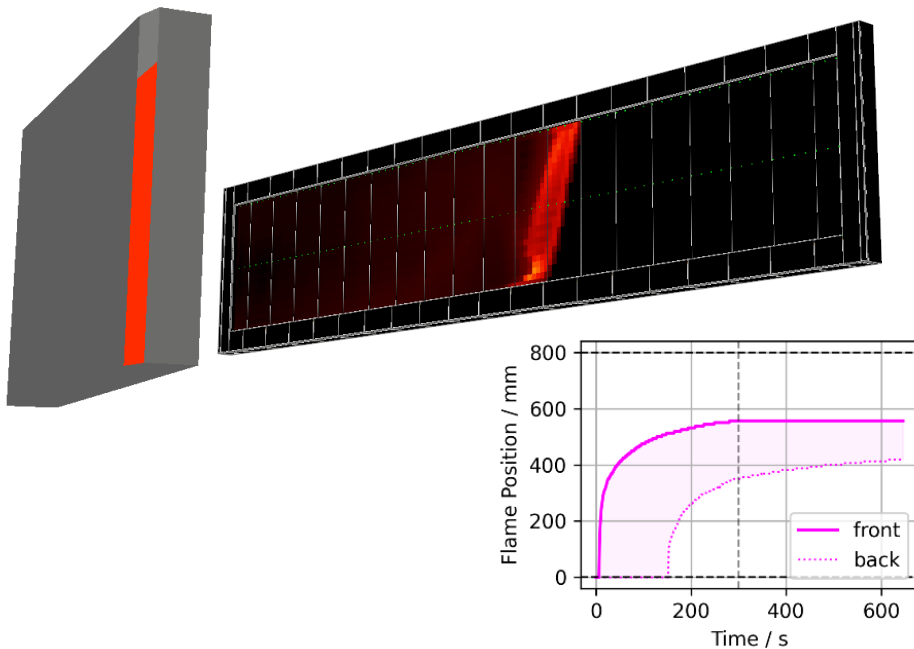


- mit &GEM geneigte Obstruction
- Bestimmung der Heizertemperatur durch inverse Modellierung



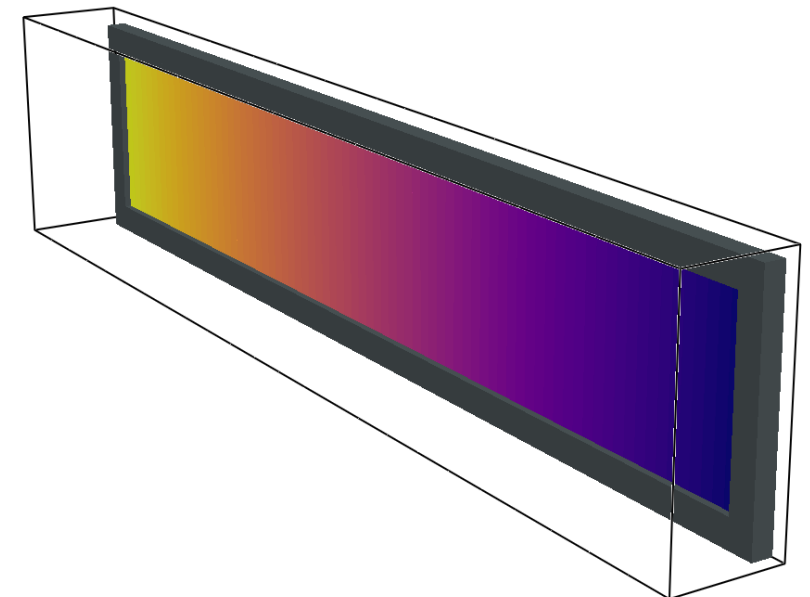
Validation Geometry:

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



Simplified Geometry:

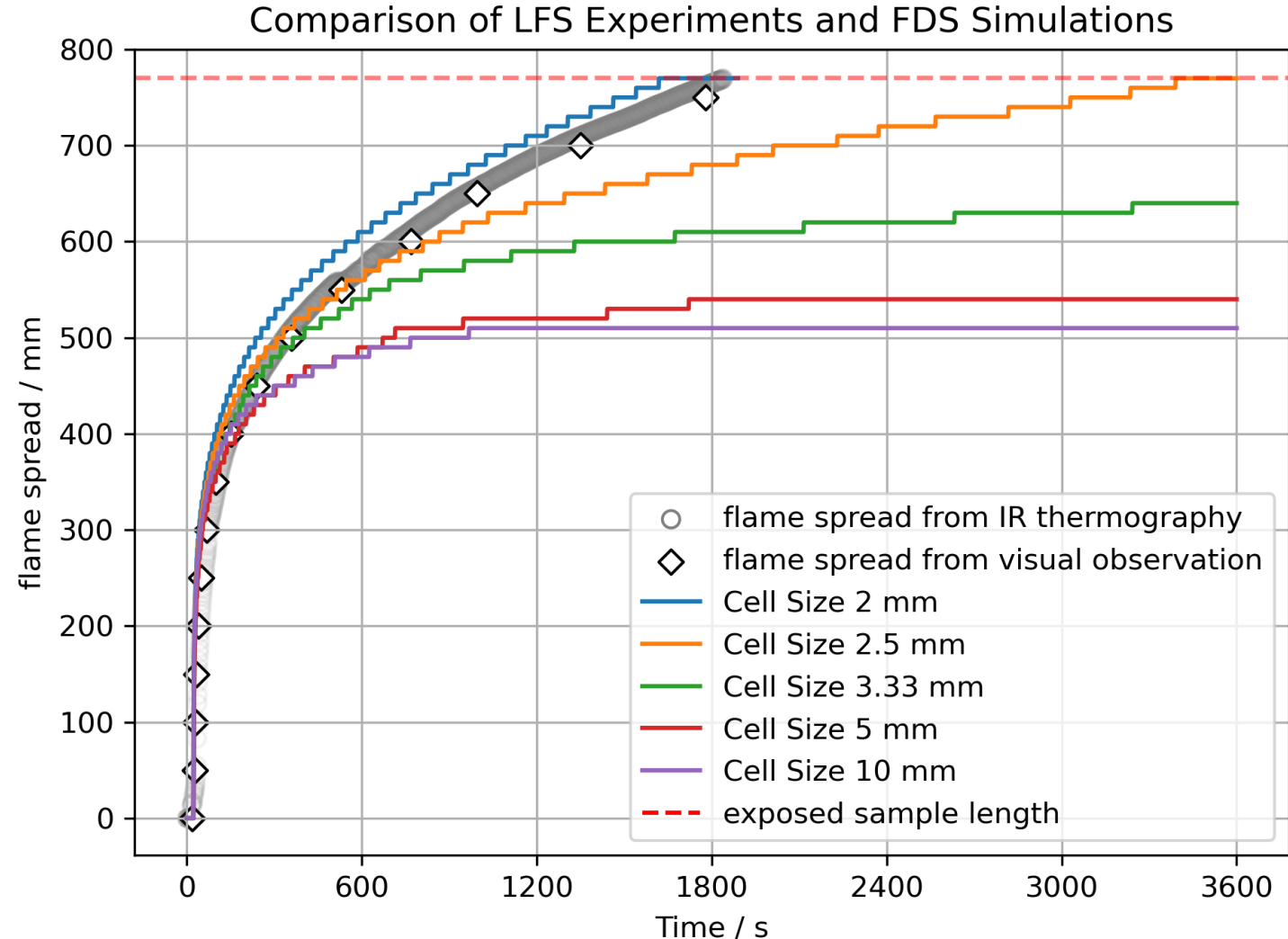
- Direkte Anwendung des external flux auf Abschnitt der Probenoberfläche
- Verringerung der Domaingröße und Rechenzeit
- Selbstständige Brandweiterleitung ≤ 2.5 mm Gitterweite

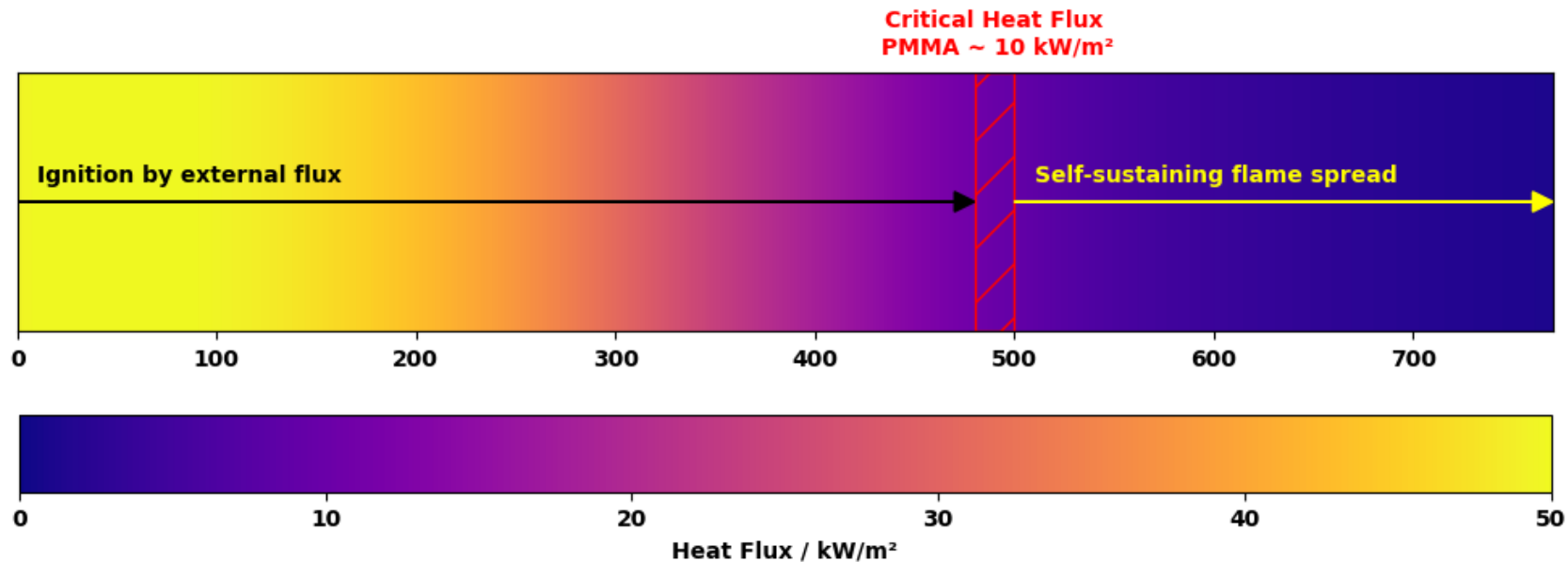


Vergleich mit Experimentaldaten



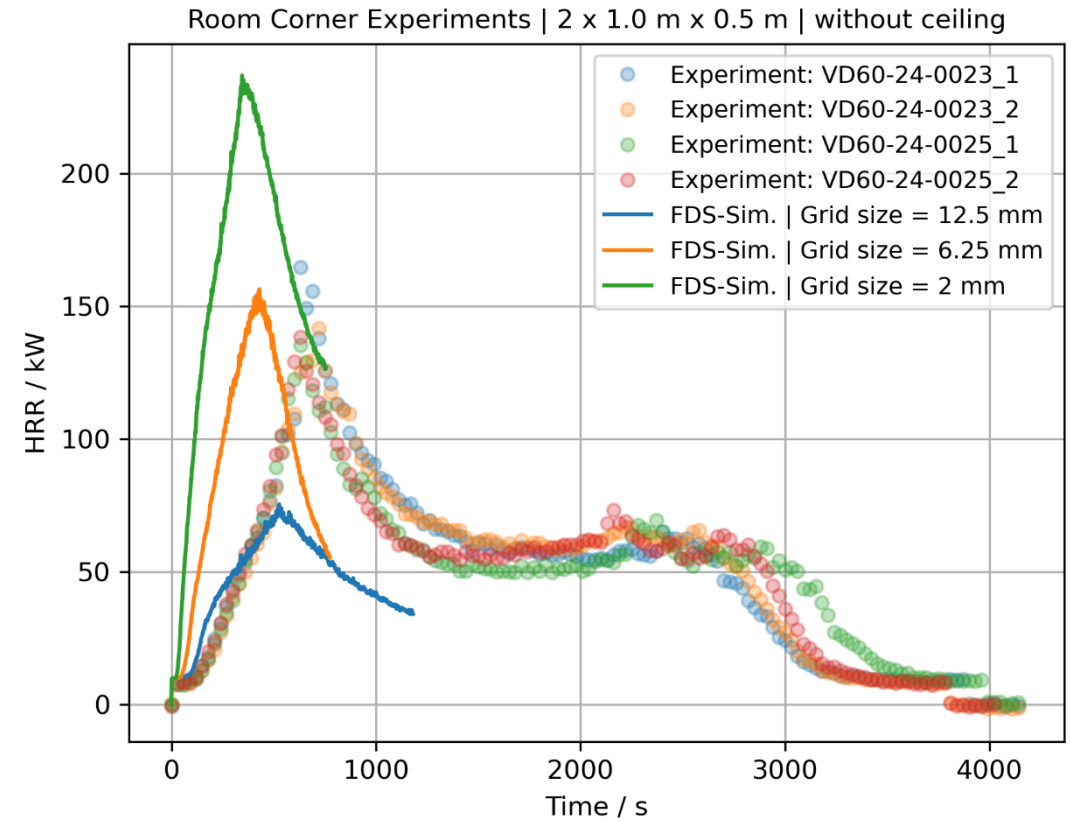
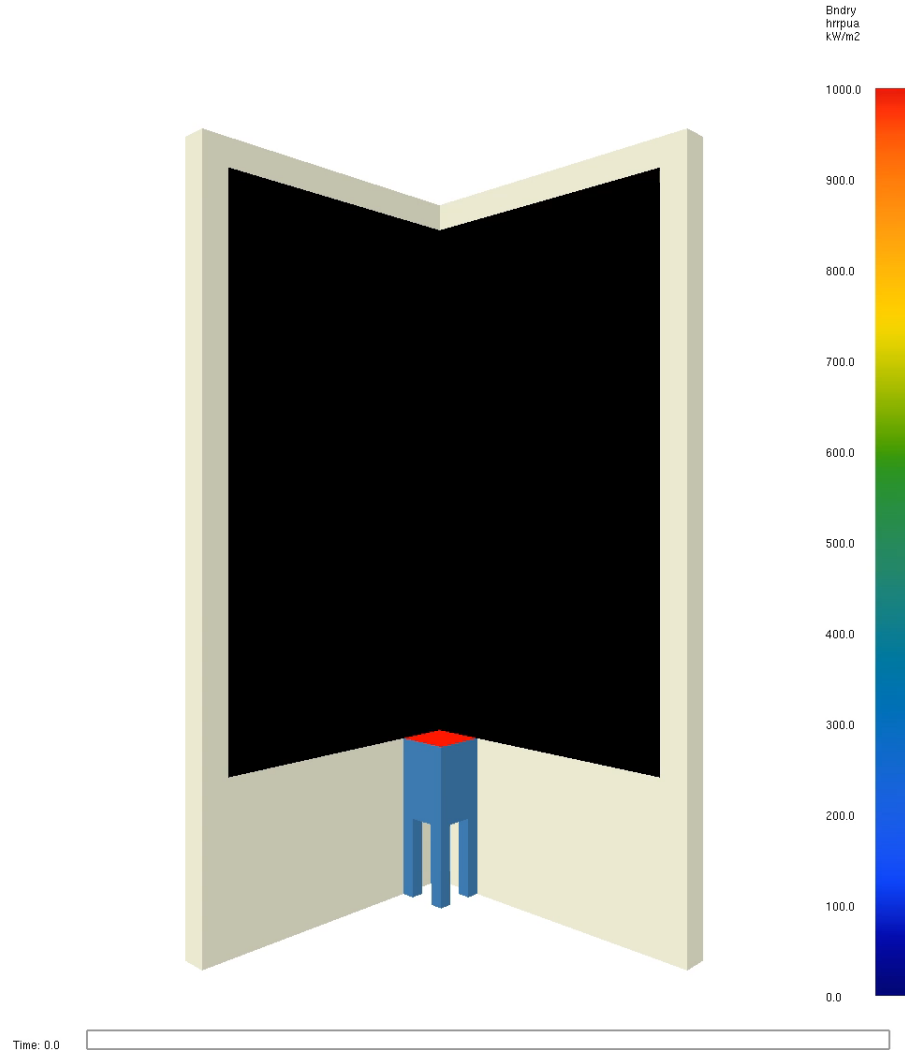
- Weitere Flammenausbreitung mit geringerer Gitterweite
- Mit Gitterweite unter ≤ 2.5 mm Brandausbreitung über gesamte Probenlängeample
- Ergebnisse mit Gitterweite 2.0 mm vergleichbar mit Experimentaldaten



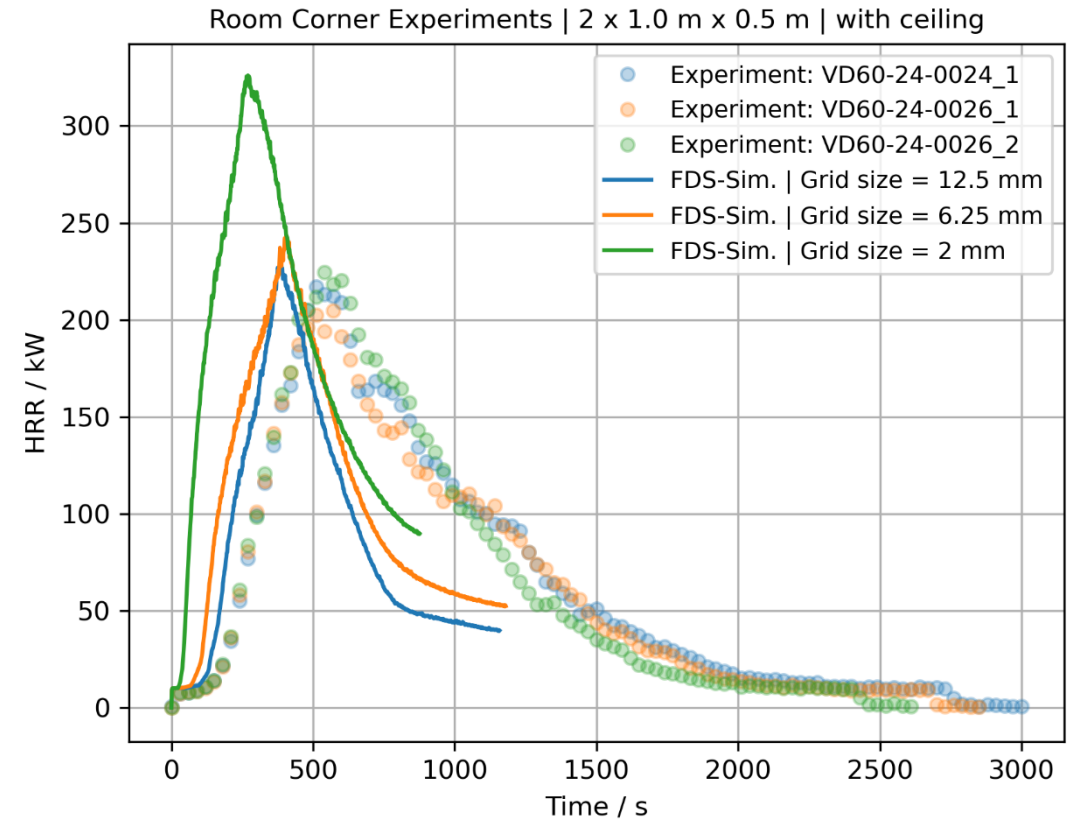
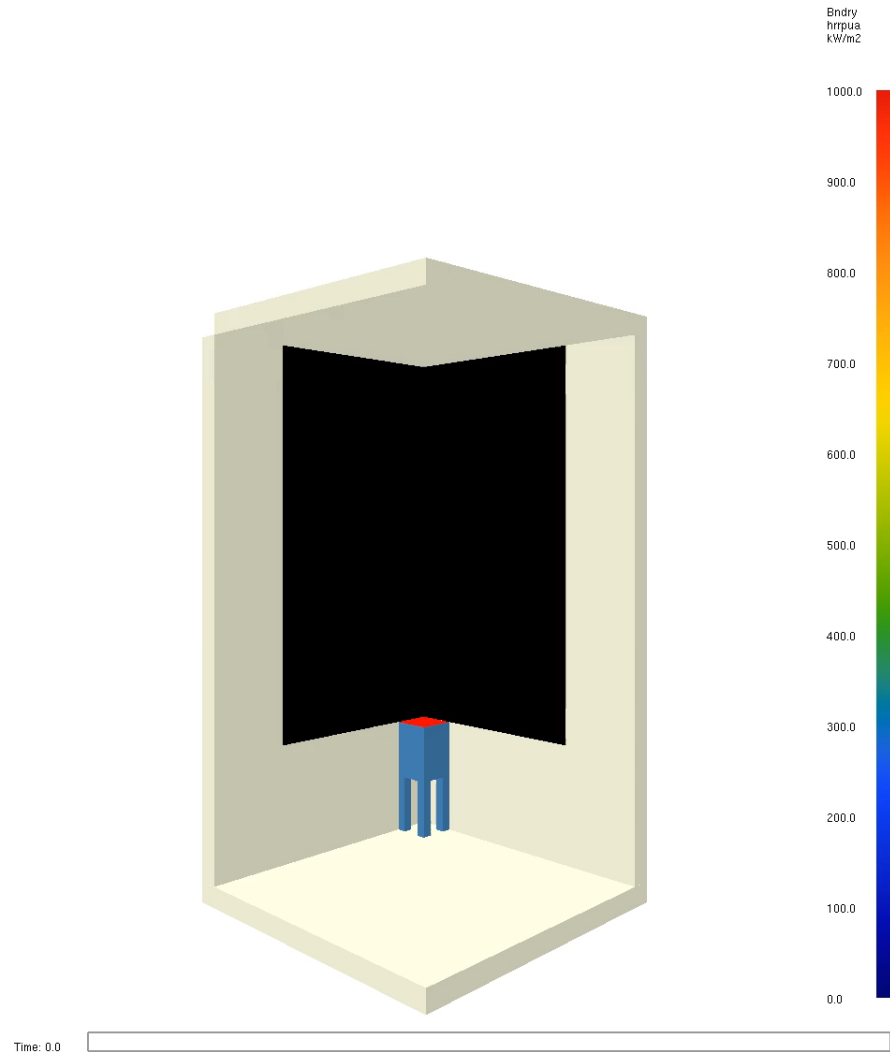


- In diesem Versuchsaufbau hat die Gitterweite einen Großen Einfluss auf die simulierte Brandausbreitung.
- Mit einer Gitterweite von 2.0 mm Vergleichbare Brandausbreitung zwischen Experiment und Simulation.
- Zu prüfen, ob bei geringeren Gitterweiten schnellere Brandausbreitung als in Experiment.

Größere Skala „Room Corner Experimente“



Größere Skala „Room Corner Experimente“



- 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

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