

16. ANWENDERTREFFEN DER FDS USERGROUP

TAGUNGSBAND

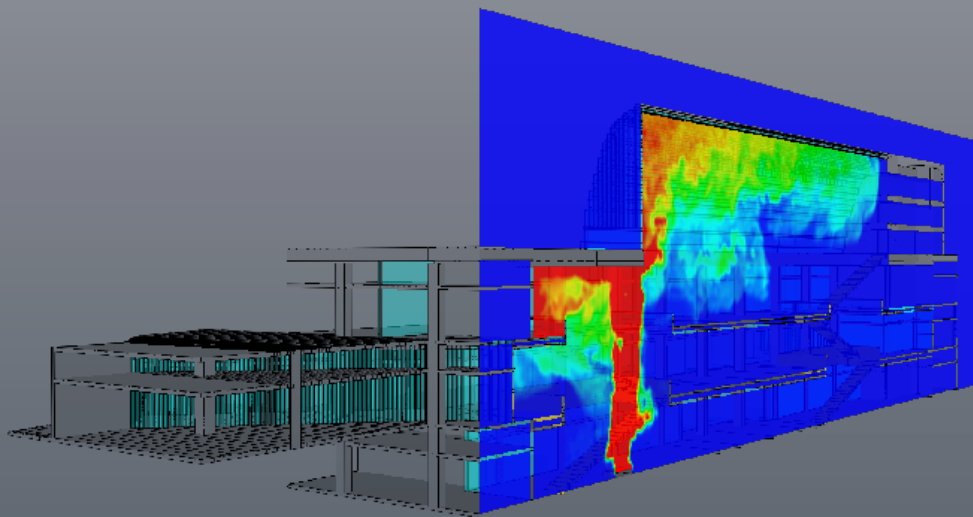
ZUSAMMENSTELLUNG DER VORTRÄGE

Datum:

3. - 4.11.2022

Ort:

Berlin + Microsoft-Teams
Konferenz



INHALT**Vorträge 3.11.2022**

Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln Jens Spille	3
HPC-Benchmarking Lilli Klein	23
Vorstellung des Cobra-Projekts Lukas Arnold	37
The influence of thermophysical parameters on the heat release rate of a simplified cone calorimeter simulation Tássia Lins da Silva Quaresma	47
Einfluß von Personal Distance auf Stau- und Evakuierungszeiten Kathrin Grewolls	59
crowd:it – ein versatiles Tool zur Simulation von Personenströmen Angelika Kneidl	71

INHALT**Vorträge 4.11. 2022**

Rekonstruktion eines Brandes in einem Tiefkühlager mit Hilfe des Fire Dynamics Simulator Manuel Osburg	89
Modellierung von der Brandausbreitung in Parkhäusern Frank Markert	109
Modellierung eines Gebäudebrandes verursacht durch Brandstiftung Bjarne Husted	127
Vorstellung eines Wegpunkte basierten Verfahrens zur Bewertung der Sichtweite im Rahmen leistungsorientierter Brandschutznachweise Kristian Börger	145
Konzepte zur Lösung der FDS Druckgleichung - ein Überblick Susanne Kilian	155

Jens Spille

Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln

Abstract:

Elektrische Leitungsanlagen stellen nicht nur im Kontext kerntechnischer Anlagen eine bedeutende Brandlast innerhalb von Gebäuden dar. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Numerische und experimentelle Untersuchungen von Polymerbrandlasten in kerntechnischen Anlagen zur Verbesserung der Prognosefähigkeit von Brandsimulationen“ wurde basierend auf der Version 6.7.4 des Fire Dynamics Simulator ein Modell entwickelt, in welchem jedes einzelne Kabel als eine Summe zylinderförmiger Partikel dargestellt wird. Zur Beschreibung der temperaturabhängigen Massenfreisetzung des Brennstoffes erfolgte zudem eine Koppelung dieses Modellansatzes mit dem Pyrolysemodell von FDS. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens 20 Brandversuche mit PVC-isolierten Leitungen in einem eigens entwickelten Versuchsaufbau durchgeführt. Der Fokus dieser Brandversuche lag auf der Untersuchung des Brandverhaltens von Kabelbränden in der Brandentwicklungsphase mit besonderer Berücksichtigung des Zwischendeckenbereiches. Hierzu wurden unterschiedliche Ventilationsbedingungen, Kabelanordnungen und Zündszenarien untersucht. Im Unterschied zu Versuchen in der Literatur wurde als Zündquelle ein Gasbrenner mit einer verhältnismäßig geringen Leistung von 10 kW ausgewählt.

In diesem Beitrag werden neben den Modellgrundlagen und den notwendigen Anpassungen am Quelltext von FDS_6.7.4 auch die durchgeführten Brandversuche erläutert. Darüber hinaus erfolgt ein Vergleich der Ergebnisse der im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten Brandversuche mit den Simulationsergebnissen des entwickelten Modells.



Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln

16. Treffen der FDS Usergroup 3. – 4. November 2022

Jens Spille, M. Sc.

Gliederung

- Einleitung
- Experimentelle Untersuchungen
- Beschreibung des Modellansatzes
- Vergleich experimenteller und numerischer Ergebnisse
- Zusammenfassung



Einleitung

- Von elektrischen Installationen und Leitungsanlagen geht im Allgemeinen ein erhöhtes Brandentstehungsrisiko aus
- Auswertung der meldepflichtigen Ereignisse in Deutschland:
 - 16 Brände in kerntechnischen Anlagen zwischen 2000 und 2018 dokumentiert
 - 40% dieser Brände im Zusammenhang mit elektrischen Installationen
 - Keine signifikante Brandausbreitung auf Kabeltrassen bei dokumentierten Bränden
 - Auslösung der Rettungskette auch bei kleinskaligen Bränden



Quelle: IFS-Schadendatenbank

Einleitung

- Brand in der Brennelementfertigungsanlage in Lingen am 6. Dezember 2018
 - Fehlfunktion im Heizelement eines Verdampfers
 - Thermische Zersetzung eine Tischplatte aus PP
 - Deflagration von Pyrolysegasen
 - Auslösung der Rettungskette:
 - Evakuierung des Produktionsgeländes
 - 150 Feuerwehrmänner (SB) im Einsatz
 - Ergebnis:
 - Kein Austritt radioaktives Materials
 - Kein Verletzten
 - Kein sicherheitsrelevantes Ereignis (INES 0)
 - Behördlicher Produktionsstopp bis Februar 2019



Quelle: twitter.com/miriamstaudte

Einleitung

Kleinskalige Brände

- Keine signifikante Brandausbreitung
- Auslösung der Rettungskette
- Selbstverlöschen oder schneller Löscherfolg

Großskalige Brände

- Brandausbreitung über große Längen
- Vielzahl an Brandversuchen in der Literatur (CHRISTIFIRE, PRISME)
- Zündquelle: Gasbrenner (bis zu 80 kW Leistung)

Welche Randbedingungen müssen erfüllt werden, sodass ein großskaliger Brand auftritt?

Numerische und experimentelle Untersuchungen von Polymerbrandlasten in kerntechnischen Anlagen zur Verbesserung der Prognosefähigkeit von Brandsimulationen



03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 5

Einleitung

- Forschungsvorhaben: „Numerische und experimentelle Untersuchungen von Polymerbrandlasten in kerntechnischen Anlagen zur Verbesserung der Prognosefähigkeit von Brandsimulationen“:
- Laufzeit: 01.05.2018 – 31.10.2022
- Untersuchung der Brandentwicklung von Kabeltrassen unter Ansatz von Zündquellen mit geringer Brandleistung
- Fokus auf beengte Räume (Zwischendeckenbereiche, Systemböden)

Experimentelle Untersuchungen

- TGA-Versuche
- Cone-Kalorimeterversuche
- 20 mittelskalige Brandversuche



Numerische Untersuchungen

- Entwicklung eines Pyrolyse-gekoppelten Partikelmodells in FDS

Gefördert durch:



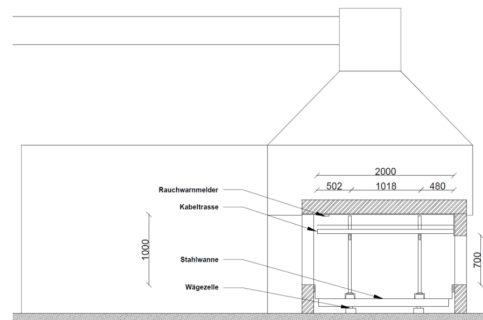
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 6

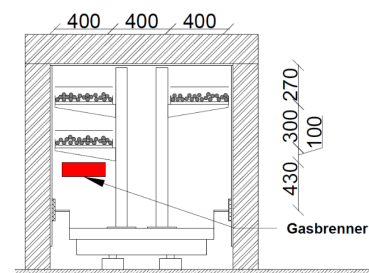
Experimentelle Untersuchungen

- Versuchsaufbau:
 - Brandraum unter der Haube des „ISO 9705 Room Corner Test“
 - Türöffnung des RCT verschlossen → Beeinflussung der Strömungsrichtung
 - Grundfläche: 1,20 x 2,00 m²
 - Wände: 0,175 m Porenbeton + 0,0125 m GKF
 - Decke: 0,20 m Porenbeton + 0,0125 m GKF
 - Öffnungsflächen im Brandraum in Strömungsrichtung



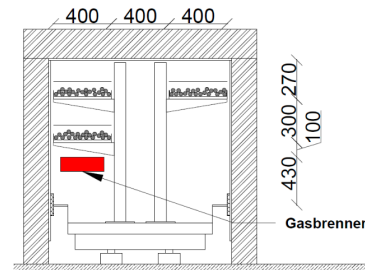
Experimentelle Untersuchungen

- Versuchsaufbau
 - Drei Kabelleitern:
 - Breite: 0,40 m
 - Länge: 2,00 m
 - Sprossenabstand: 0,30 m
 - Jede Kabelleiter belegt mit 21 Kabeln:
 - PVC-isoliert (NYM-J 5 x 25)
 - 2,00 m Länge
 - Gesamtmasse pro Kabelleiter: 69 kg
 - Brennbare Masse pro Kabelleiter: 27 kg



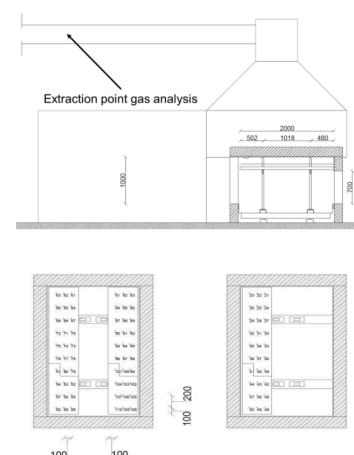
Experimentelle Untersuchungen

- Versuchsaufbau
 - Zündung durch Gasbrenner
 - Modellhafte Darstellung des Brandes einer Mess- und Verteileinrichtung / Elektrokleingerät
 - Oberfläche: $0,30 \times 0,30 \text{ m}^2$
 - Leistung: 10 kW (Flammenhöhe 0,10 – 0,20 m)
 - Abstand zur untersten Kabelleiter: 0,10 m



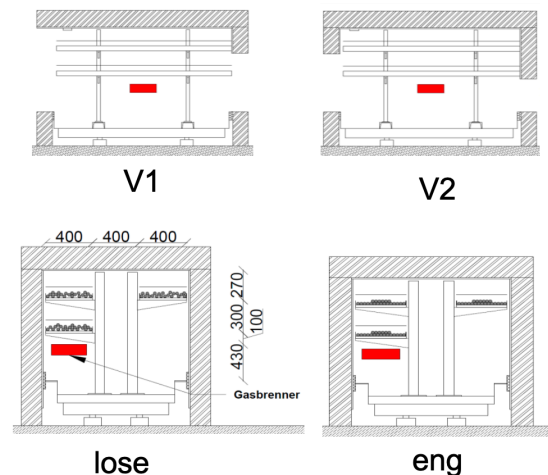
Experimentelle Untersuchungen

- Messtechnik:
 - Insgesamt 120 Sensoren
 - Messung der O_2 , CO und CO_2 -Konzentration im Abgasstrom zur Bestimmung der HRR
 - Massenverlust
 - Messgitter mit Thermoelementen 0,06 m oberhalb der Kabelleiter
 - Thermoelemente 0,10 m unterhalb der Decke
 - Handelsüblicher Rauchwarnmelder an der größeren Öffnung
 - Zeitschritt der Datenerfassung: 10 Sekunden



Experimentelle Untersuchungen

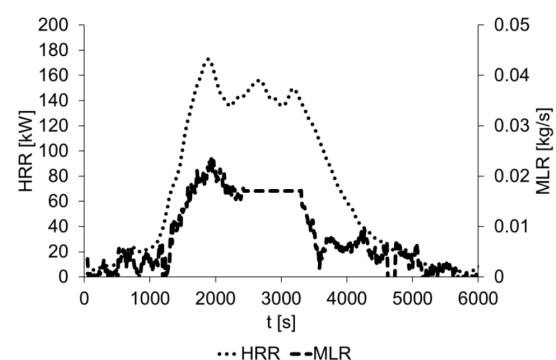
- Versuchsprogramm:
 - Insgesamt 20 Brandversuche
 - Versuchsparameter:
 1. Ventilationsbedingung
 - V1: 1,20 x 1,00 m²; 1,20 x 0,70 m²
 - V2: 1,20 x 0,70 m²; 1,20 x 0,30 m²
 2. Beflammungsdauer durch Gasbrenner: 5, 10, 20 Minuten
 3. Enge und lose Kabelanordnung



03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 11

Experimentelle Untersuchungen

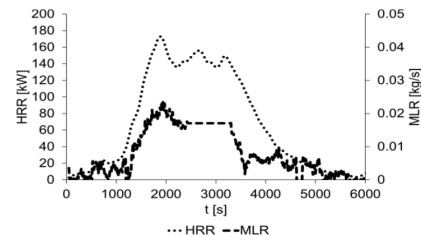
- Versuch V9:
 - Ventilationsbedingung V1
 - Beflammungsdauer 20 Minuten
 - Lose Kabelanordnung
- Sehr langsamer Anstieg der HRR zu Beginn
- Exponentielles Wachstum ab $t = 1080$ s
- Maximale HRR: 174 kW
- Nach exponentiellem Wachstum quasi-stationäre Zustand
- THR: 410,6 MJ



03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 12

Experimentelle Untersuchungen

- Versuch V9:
 - Gesamtmassenverlust: 30,38 kg (rd. 38,5 % der brennbaren Masse)
 - Brandausbreitung auf alle Kabelleitern: Horizontaler Brandüberschlag nach 2300 Sekunden
 - Versagen der Wand- und Deckenbekleidung
 - Temperaturanstieg 0,10 m unterhalb der Decke auf rund 700 °C nach rd. 2800 Sekunden
 - eHOC signifikant niedriger als in Cone-Kalorimeterversuchen (13,51 MJ/kg vs. 24 MJ/kg)



Experimentelle Untersuchungen

- Wesentliche Ergebnisse:
 - Brandentwicklung in den ersten 10 Minuten gesteuert durch Wärmestrahlung
 - Keine signifikante Brandausbreitung bei Beflammungsdauer < 20 Minuten
 - Art der Kabelanordnung (enge/lose) beeinflusst signifikant die Brandentwicklung: Enge Kabelanordnung unkritischer
 - Signifikanter Einfluss der Rückstrahlung der Umfassungsbauteile und Rauchgase auf die Brandentwicklung
 - Stabile Rauchgasschicht beeinflusst die frühe Brandphase
 - Bei Brandlasten in der Rauchgasschicht „klassische“ Modellannahmen (ventilations- vs. brandlastgesteuerter Brand; Kawagoe-Gleichung) nicht anwendbar → Brände sind „smoke-controlled“

Beschreibung des Modellansatzes

- Wie können Bränden auf Kabeltrassen mit loser Kabelanordnung modelliert werden?
- Kabeldurchmesser im Allgemeinen deutlich kleiner als Zellgröße → Vereinfachungen notwendig
- Idee: Stationäre Partikel zur Präsentation der Kabel gekoppelt mit Pyrolysemodell zur Beschreibung des Brandverhaltens
- Erwartungen:
 - Besser Abbildung der Entzündung und Brandentwicklung
 - Realistischer Wiedergabe des Strömungsfeldes
 - Generalisiertes Modell für Kabeltrassen basierend auf Materialeigenschaften → Prognose der Brandausbreitung



Beschreibung des Modellansatzes

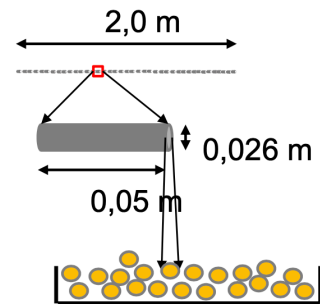
- Anwendung von Lagrange Particle zur Modellierung von Kabeln in FDS nicht neu:
 - THIEF-Modell
- Auszug aus FDS User Guide:

If you are modeling a relatively dense collection of solid particles, like vegetation, you should set the DRAG_COEFFICIENT explicitly [...]
- Wie kann der „richtige“ Strömungswiderstandskoeffizient bestimmt werden?
- Für die Prognose des Brandverlaufes mit FDS „trial and error“ für unterschiedliche Strömungswiderstandskoeffizienten keine Option
- Weiterentwicklung von FDS (Version 6.7.4) mit Änderungen im Quelltext
 - Berechnung des Strömungswiderstandes
 - Absorptionskoeffizient der Partikel



Beschreibung des Modellansatzes

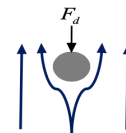
- Geometrisches Ansatz:
 - Jedes Kabel wird durch ein Satz stationärer Partikel dargestellt
 - Jedes Kabel wird durch 40 zylinderförmige Partikel dargestellt
 - Partikel sind ortsfest
 - Insgesamt 2520 Partikel
 - Länge der Partikel ergibt sich aus der Zellgröße (0,05 x 0,05 x 0,05 m³)
 - Anordnung der Partikel erfolgt zufällig verteilt auf den Kabelleitern (0,40 x 0,05 m)
 - Im Mittel 2,625 Partikel pro Zelle



Beschreibung des Modellansatzes

- Interaktion Partikel-Fluid – Impuls
 - Standardmäßig nutzt FDS einen zusätzlichen Impulsterm in der Impulserhaltungsgleichung der Gasphase:
- $$f_s = \frac{1}{V} \sum \left[\frac{\rho}{2} C_d A_{p,c} (u_p - u) |u_p - u| - \frac{dm_p}{dt} (u_p - u) \right]$$
- Volumenbezogene Strömungswiderstandskraft wirkt der Strömung in x-, y- und z-Richtung entgegen vs. Strömung entlang der Kabeltrasse
 - Gleichung der Strömungswiderstandskraft nur gültig für einzelne Objekte in freier Anströmung, nicht gültig für dichte Anordnung von Kabeln

C_d : Strömungswiderstandskoeffizient
 $A_{p,c}$: strömungstechnisch wirksamer Querschnitt Partikel
 u_p : Partikelgeschwindigkeit $u_p = 0$
 u : Fluidgeschwindigkeit
 $\frac{dm_p}{dt}$: Massenverlustrate Partikel

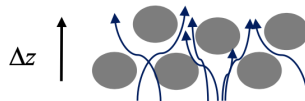


$$F_d = \frac{1}{2} \rho u^2 C_d A_{p,c}$$

Beschreibung des Modellansatzes

- Interaktion Partikel-Fluid – Impuls – Anpassungen
- Ergun-Gleichung für dichte Schüttungen
 - Druckverlust beim Durchströmen von Festbetten
 - Empirische Gleichung:

$$\frac{\Delta P}{\Delta z} = 150 \frac{\mu u (1 - \epsilon)^2}{d_p^2 \epsilon^3} + 1.75 \frac{\rho u^2 (1 - \epsilon)}{d_p \epsilon^3}$$

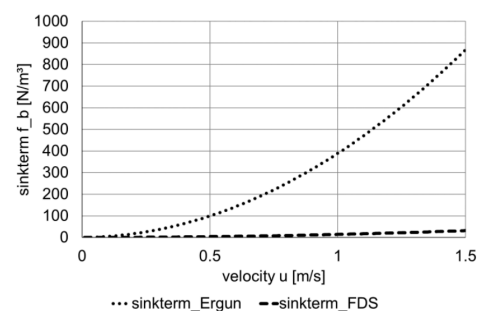


$\epsilon = \frac{V_{fluid}}{V_{fluid} + V_{particle}}$: Porosität
 μ : Viskosität
 d_p : Partikeldurchmesser (Kabel)

- Strömungswiderstandskraft wirkt nur in z-Richtung

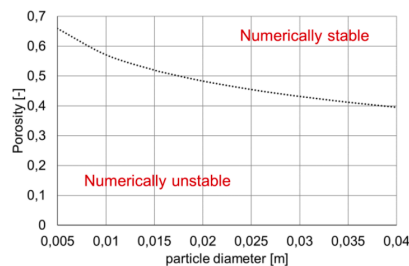
Beschreibung des Modellansatzes

- Interaktion Partikel-Fluid – Impuls Vergleich der Modellansätze:
- Strömungswiderstandskraft für Kabeldurchmesser $d_p = 26$ mm und angenommener Porosität 0,47
- Ergun-Gleichung führt zu einer signifikant höheren Strömungswiderstandskraft verglichen mit den default-Werten in FDS
- Lösung mittels Ergun-Gleichung entspricht einem Strömungswiderstandskoeffizienten im FDS-Modell von $C_d = 23$



Beschreibung des Modellansatzes

- Interaktion Partikel-Fluid – Impuls:
 - Je dichter die Partikel angeordnet werden, desto größer ist die Strömungswiderstandskraft
 - Große Strömungswiderstandskräfte führen zu numerischen Instabilitäten
 - Empirisch abgeleitete Grenzfunktion in Abhängigkeit des Partikeldurchmessers d_p und der Porosität:

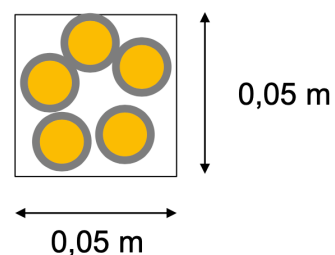


03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 21

Beschreibung des Modellansatzes

- Interaktion Partikel-Fluid – Energie:
 - Kabel (Partikel) interagieren mit dem Fluid durch Absorption der vom Fluid ausgehenden Wärmestrahlung
 - Partikel werden als opake, nicht-streuende Elemente modelliert
 - FDS nutzt standardmäßig einen Zusatzterm in der Energieerhaltungsgleichung zur Modellierung der Interaktion

$$\begin{aligned}\dot{q}_{r,ijk}''' &= \sum \kappa_p (U_{ijk} - 4\sigma T_p^4) \\ &= \sum \kappa_p \left(\int_{4\pi} I(x,s) ds - 4\sigma T_p^4 \right)\end{aligned}$$



I : Intensität
 T_p : Oberflächentemperatur Partikel
 κ_p : effektiver Absorptionskoeffizient



03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 22

Beschreibung des Modellansatzes

- Interaktion Partikel-Fluid – Energie:
 - Absorptionskoeffizient berechnet mit:

$$\kappa_p = \frac{\sum C_s A_{p,s}}{V_{cell}}$$

$$C_s = \frac{A_{p,c}}{A_{p,s}} : \text{Shape factor}$$

Verhältnis Querschnittsfläche zu Oberfläche

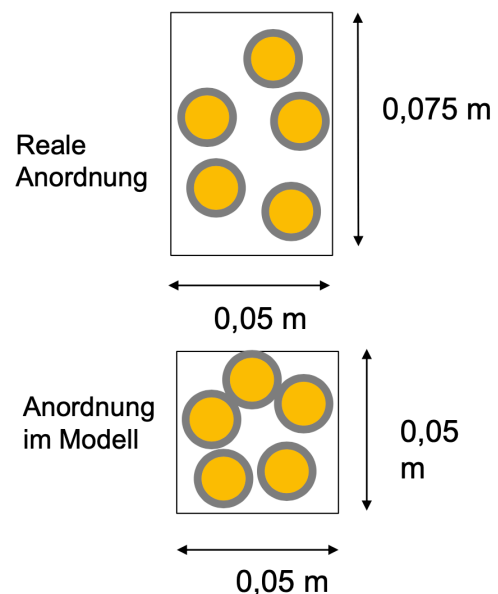
- In FDS_{6.7.4} wird der „Shape factor“ genutzt
 - Zur Berechnung der Querschnittsfläche in der Impulserhaltung
 - Zur Berechnung der Querschnittsfläche bei der Ermittlung des Absorptionskoeffizienten



03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 23

Beschreibung des Modellansatzes

- Interaktion Partikel-Fluid – Energie:
 - Werden Partikel zur Vereinfachung in einer Zelle zusammengefasst, wird die durch die Partikel absorbierte Energie überschätzt
- Definition der Variablen $C_{s,radiation}$ zur getrennten Berechnung der Querschnittsfläche für den Absorptionskoeffizienten



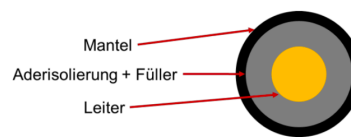
03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 24

Beschreibung des Modellansatzes

- Wärmeleitungs-Pyrolyse-Modell
 - FDS Standard Modell
 - Für jedes Partikel wird die 1-D Wärmeleitungsgleichung für zylindrische Koordinaten gelöst:

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

- Drei Schichten:
 - Kabelmantel: Dicke = 1,85 mm
 - Aderisolierung + Füller: Dicke = 5,24 mm
 - Kupferleiter: Dicke = 5,969 mm



Beschreibung des Modellansatzes

- Wärmeleitungs-Pyrolyse-Modell
 - Randbedingungen:
 - Konvektiver Wärmeübergang (FDS default):

$$\dot{q}_c'' = h(T_g - T_p) \quad h = \max \left[1.31 |T_g - T_p|^{1/3}, \frac{k}{d_p} \text{Nu}, \frac{k}{\delta n / 2} \right]$$

- Radiativer Wärmeübergang

$$\dot{q}_r'' = \dot{q}_{r,in}'' - \dot{q}_{r,out}'' = \epsilon \left(\frac{U_{ijk}}{4} - \sigma T_p^4 \right)$$

- Aufteilung der Partikel in zwei Halbschalen



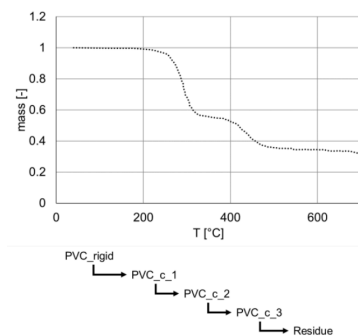
FDS default für radiativen
Wärmeübergang



Eigener Ansatz

Beschreibung des Modellansatzes

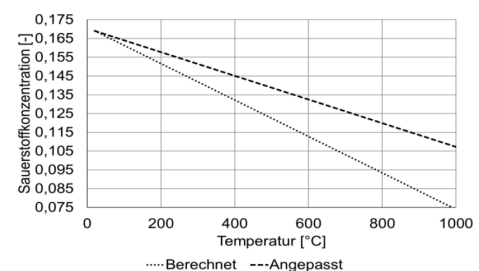
- Wärmeleitungs-Pyrolyse-Modell
 - Konsekutives Reaktionsschema der thermischen Zersetzung
 - Reaktionswärme und reaktionskinetische Parameter unbekannt:
 - Bestimmung anhand von TGA-Daten mittels inverser Modellierung
 - PROPTI Tool box (FZ Jülich/BUW):
 - 20.000 Wiederholungen
 - 1.000 Stützstellen
 - Laufzeit: 24 h (Quad-Core Linux Working Station)



03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 27

Beschreibung des Modellansatzes

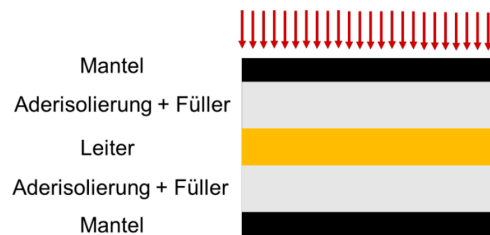
- Verbrennungsmodellierung:
 - Vier Verbrennungsreaktionen: Propan, Kabelmantel, Ader und Füller
 - Effektive Verbrennungswärme kalibriert mittels Cone-Kalorimetrieversuche (keine MCC-Daten)
- Modellierung des Verlöschens:
 - Temperaturabhängiger Verlauf nach Mowrer (Extinction Model 1)
 - Grenzwert der Sauerstoffkonzentration nach DIN EN 16750 (0,169)
 - Anpassung des berechneten Verlaufs zur Berücksichtigung des „Flame Poisoning“ der Halogen-Radikale



03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 28

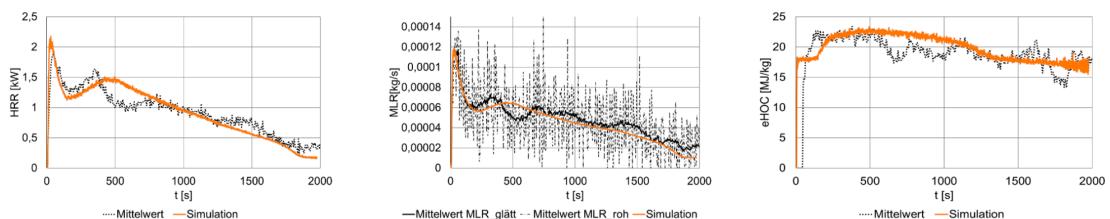
Vergleich experimenteller und numerischer Ergebnisse

- Cone-Kalorimeterversuche
 - Partikelansatz für Cone-Kalorimeter ungeeignet
 - Vereinfachung der Kabel als „Obstruction“
 - Cone-Kalorimeterversuche zur Bestimmung und Kalibrierung von Eingangswerten (effektive Verbrennungswärmen)



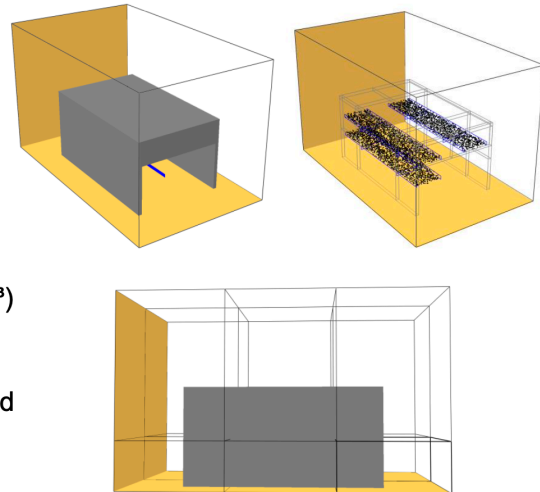
Vergleich experimenteller und numerischer Ergebnisse

- Cone-Kalorimeterversuche
 - Vergleich der Mittelwerte für Wärmestromdichte von 60 kW/m²
 - Sehr gute Übereinstimmung zwischen Versuch und Simulation



Vergleich experimenteller und numerischer Ergebnisse

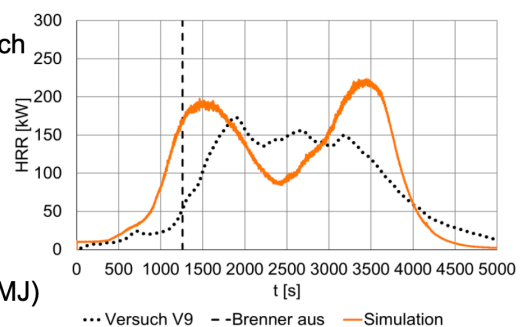
- Versuch V9
 - Umfassungsbauteile mit 1D-Wärmeleitung:
 - Konstante thermische Materialeigenschaften
 - Wärmeübergangsbedingung auf der dem Brandraum abgewandten Seite
 - Zerlegung des Berechnungsgebietes:
 - 12 Netze (Zellgröße $0,05 \times 0,05 \times 0,05 \text{ m}^3$)
 - Gleichmäßige Verteilung der Partikel auf die Netze: Berechnung der Pyrolyseprozesse größter Rechenaufwand



03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 31

Vergleich experimenteller und numerischer Ergebnisse

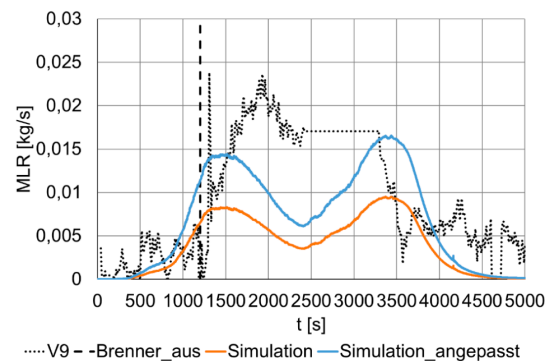
- Versuch V9 - Wärmefreisetzungsrate
 - Sehr gute Abbildung der ersten 600 Sekunde
 - Absinken der Wärmefreisetzungsrate im Versuch bei $t = 600 \text{ s}$ wird in der Simulation nicht abgebildet
 - Erster Peak der HRR geringfügig höher
 - Abfallen der HRR nach ersten Peak wird überschätzt
 - THR um 20% überschätzt
($\text{THR}_{\text{Versuch}} = 410,6 \text{ MJ}$; $\text{THR}_{\text{Simulation}} = 490,17 \text{ MJ}$)
 - Auswirkung des Abfallens der GKF kann im Modell nicht abgebildet werden



03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 32

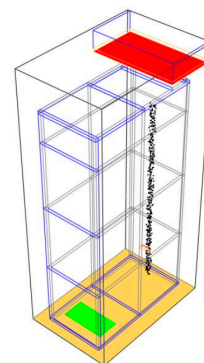
Vergleich experimenteller und numerischer Ergebnisse

- Versuch V9 – Massenverlustrate
 - Anstieg der Massenverlustrate wird gut abgebildet
 - Gesamt-Massenverlust wird unterschätzt ($ML_{\text{Versuch}} = 30,38 \text{ kg} > ML_{\text{Simulation}} = 20,04 \text{ kg}$)
 - Modellierung des Verlöschens kann Absinken der effektiven Verbrennungswärme nicht berücksichtigen ($eHOC_{\text{Sim}} = 23,58 \text{ MJ/kg} > 13,51 \text{ MJ/kg} = eHOC_{\text{Versuch}}$)
 - Anpassung der Massenverlustrate zeigt bessere Übereinstimmung



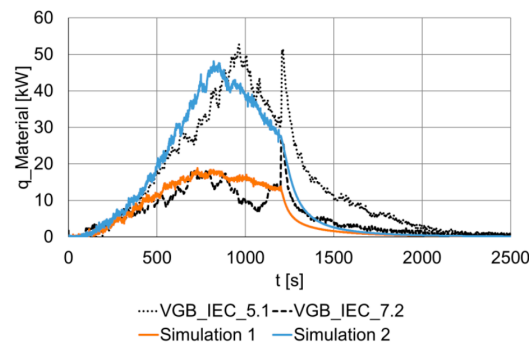
Vergleich experimenteller und numerischer Ergebnisse

- Untersuchung der vertikalen Brandausbreitung
 - „Proof of concept“
 - Versuchsdaten im IEC-Prüfstand nach DIN EN 50399 aus 2003:
 - Größe: $1 \times 2 \times 4 \text{ m}^3$
 - Kontrollierte Zu- und Abluft
 - Kabellänge: 3,50 m
 - Zündquelle: Ribbon-Propangasbrenner mit 20,5 kW (VELOCITY_PATCH notwendig)
 - Gleicher Kabeltyp: sehr geringe Abweichungen der HRR im Cone-Kalorimeter



Vergleich experimenteller und numerischer Ergebnisse

- Untersuchung der vertikalen Brandausbreitung
 - Vergleich HRR der Kabel ($HRR_{\text{gesamt}} - HRR_{\text{gas}}$)
 - Sehr gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Versuch



03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 35

Zusammenfassung

- Weiterentwicklung von FDS hinsichtlich der Interaktion Partikel-Fluid zur Abbildung von Kabeltrassen
- Koppelung des Partikelmodells mit dem FDS-Standardmodell für Wärmeleitung-Pyrolyse (1D-Wärmeleitung)
- Zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen numerischen Ergebnissen und Ergebnissen eigener Versuche
- Sehr gute Abbildung der frühen Brandphase
- Modellansatz ermöglicht Prognose der Brandausbreitung bei losen Kabeltrassen auch in sauerstoffarmer Umgebung
- Modellansatz für vertikale und horizontale Kabeltrassen geeignet



03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 36



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Fragen oder Anmerkungen?



03.11.2022 | Jens Spille | Ein Pyrolyse-gekoppeltes Partikelmodell zur Prognose der Brandausbreitung von Kabeln | Seite 37

Lilli Klein:

HPC-Benchmarking

Abstract:

Die Anwendergruppe für Hochleistungscomputer (HPC) im Bereich der Brandsimulationen wächst tendenziell. Bei der Anwendung ist eine effiziente Nutzung der Ressourcen notwendig, um energie-, zeit- und kostensparend zu arbeiten.

Mit HPCs können Simulationen in unterschiedlichen Konfigurationen berechnet, also unterschiedlich auf die zu Verfügung stehenden Nodes, Sockets und Kerne verteilt werden. Dies beeinflusst die Rechenzeit. Um die Ressourcen optimiert nutzen zu können wird mittels Benchmarkings untersucht, welchen Einfluss diese Konfigurationen auf die Rechenzeit haben.

Dazu wurde im ersten Schritt ein Szenario mit einem großen Volumen betrachtet. Die Anzahl der Meshes und damit die Anzahl der Kerne wurden variiert. Zusätzlich wurde untersucht, welchen Einfluss die Verteilung der genutzten Kerne auf unterschiedliche Nodes hat. Generell führt dies zu einem höheren Kommunikationsaufwand, kann aber die Wartezeit verkürzen und zu einer höheren Auslastung des Gesamtsystems führen. Des Weiteren wurde untersucht, wie das Speichern von Ausgabewerten den Gesamtzeitaufwand einer Simulation beeinflusst. Unterschiede könnten sich aus den verschiedenen Speicherorten von Zwischenergebnissen auf dem regulären Data Storage oder auf dem lokalen Node ergeben.

In Zukunft sollen weitere Simulationen mit Pyrolyse und Partikeln untersucht werden, sowie die Auswirkungen auf die Simulationsergebnisse betrachtet werden.

HPC-Benchmarking

Lilli Klein
Bergische Universität Wuppertal
Computational Civil Engineering



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Hintergrund



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Hintergrund

Pleiades

Pleiades:

- 268 workernodes
- 17 152 Cores
- 3 200 TB schneller Massenspeicher (dCache)
- 931 TB schnelles, paralleles Cluster-File System (BeeGFS)



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



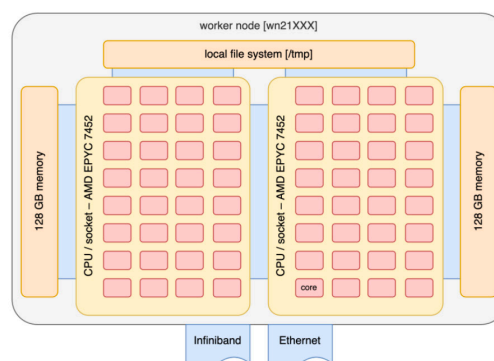
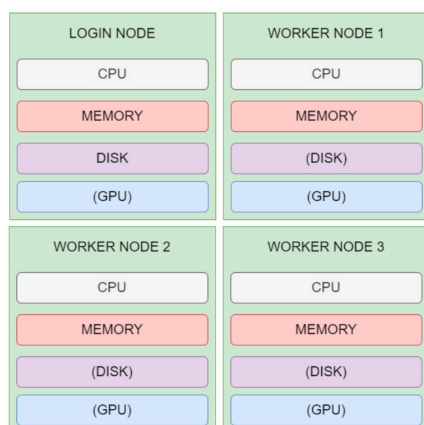
HPC-Benchmarking
Lilli Klein



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Hintergrund

HPC



HPC Best practice:

- Minimize nodes per job

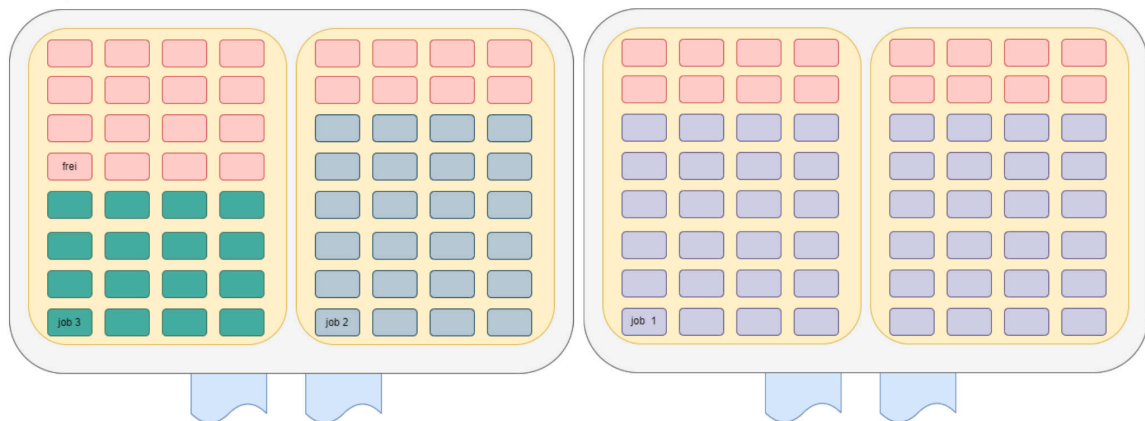
HPC-Benchmarking
Lilli Klein



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Hintergrund HPC

Beispiel: Simulation mit 32 Meshes starten

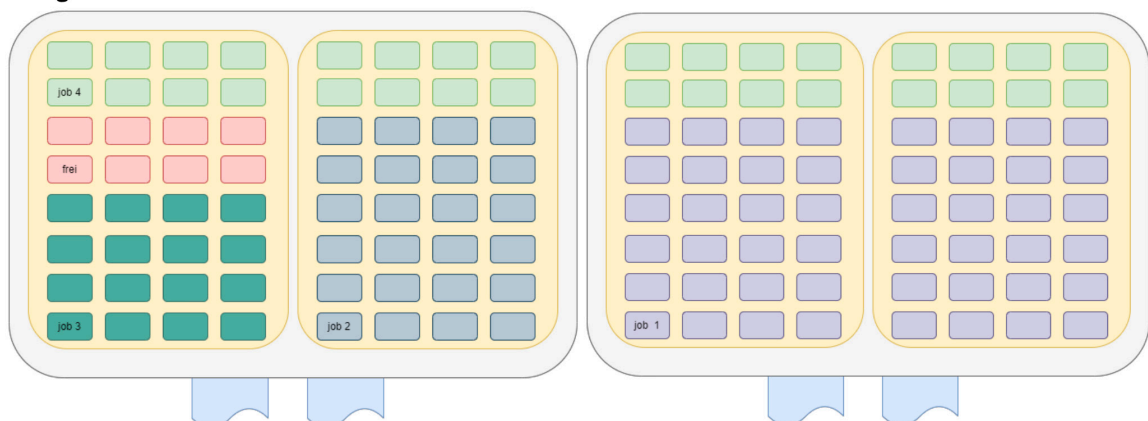


HPC-Benchmarking
Lilli Klein



Hintergrund HPC

Möglichkeit 1: 32 Cores auf mehreren Nodes nutzen

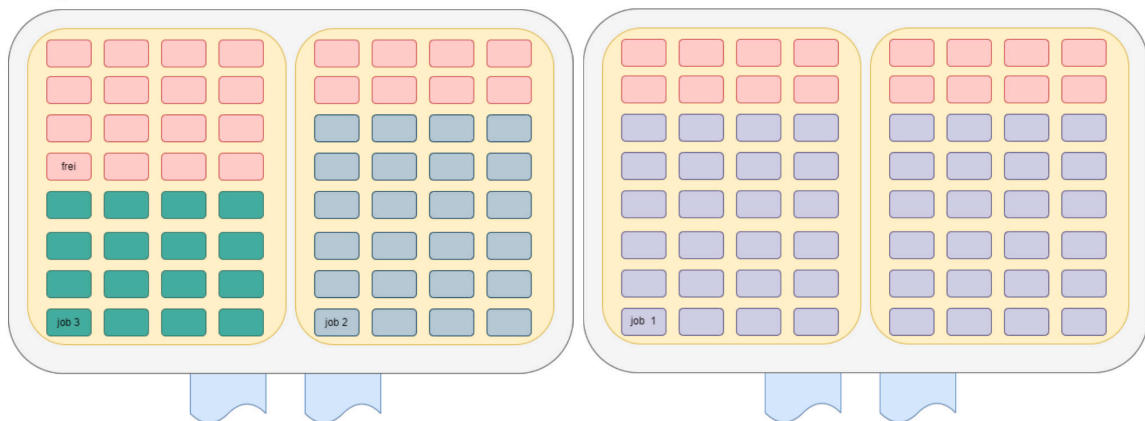


HPC-Benchmarking
Lilli Klein



Hintergrund HPC

Möglichkeit 2: Warten bis 32 Cores auf einem Node frei sind

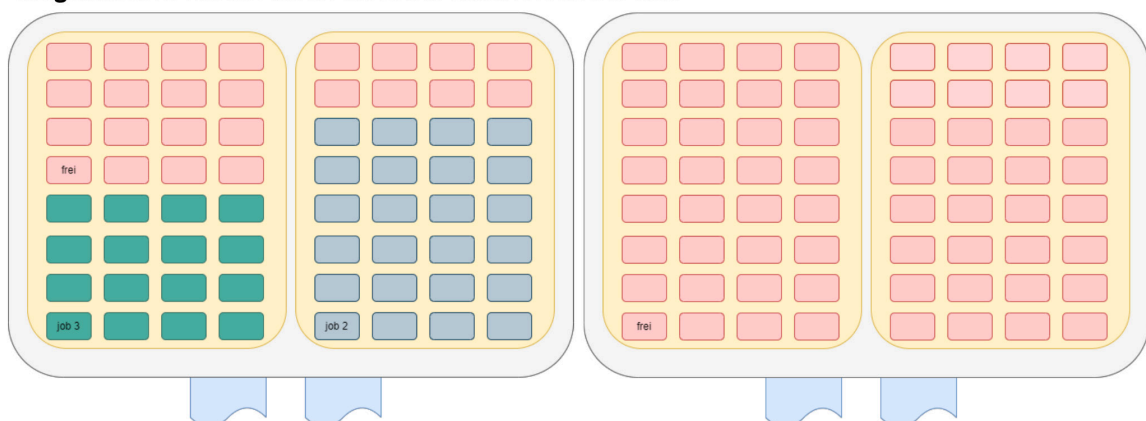


HPC-Benchmarking
Lilli Klein

BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Hintergrund HPC

Möglichkeit 2: Warten bis 32 Cores auf einem Node frei sind

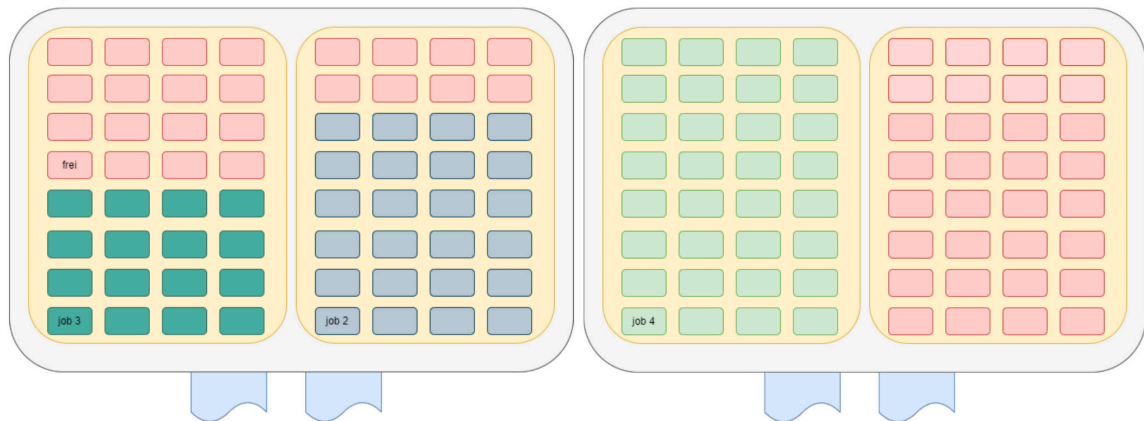


HPC-Benchmarking
Lilli Klein

BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Hintergrund HPC

Möglichkeit 2: Warten bis 32 Cores auf einem Node frei sind

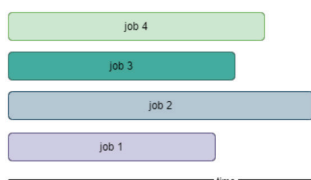


HPC-Benchmarking
Lilli Klein

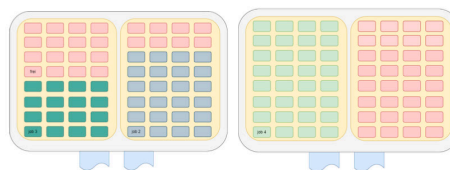


Hintergrund HPC

Möglichkeit 1:
32 Cores auf **mehreren** Nodes nutzen



Möglichkeit 2:
Warten bis 32 Cores auf **einem** Node frei sind



HPC-Benchmarking
Lilli Klein



Vorgehen



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Vorgehen Szenarienwahl

1. Big Volume
 - Halle mit 64 m x 32 m x 16 m
 - 1 048 676 Zellen
 - 1 bis 128 Meshes
2. Pyrolysis
3. Particle



Vorgehen Benchmarking

1. Short Tests

- 128 Meshes, 100 s Simulationszeit
- Zufällige Anzahl an Nodes vs. Mindestanzahl Nodes
- 2-mal täglich, 7 Tage
- MPI

2. Mesh Variation

- 1 bis 128 Meshes, 600 s Simulationszeit
- Mit und ohne Output
- Unterschiedliche Anzahl an Nodes
- MPI

3. Number of Nodes

- 128 Meshes, 600 s Simulationszeit
- 2 bis 26 Nodes
- MPI

HPC-Benchmarking
Lilli Klein



Ergebnisse



Vorgehen Short Tests

1. Short Tests

- 128 Meshes, 100 s Simulationszeit
- Zufällige Anzahl an Nodes vs. Mindestanzahl Nodes
- 2-mal täglich, 7 Tage
- MPI

2. Mesh Variation

- 1 bis 128 Meshes, 600 s Simulationszeit
- Mit und ohne Output
- Unterschiedliche Anzahl an Nodes
- MPI

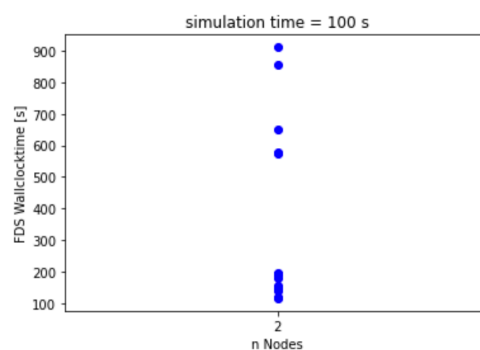
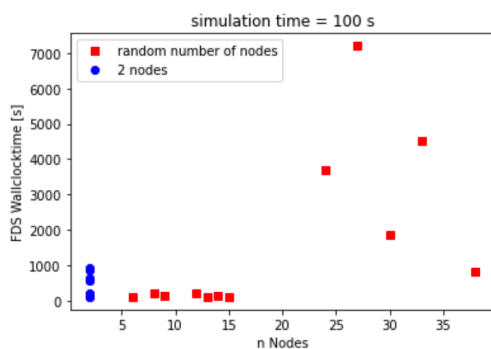
3. Number of Nodes

- 128 Meshes, 600 s Simulationszeit
- 2 bis 26 Nodes
- MPI

HP-C-Benchmarking
Lilli Klein



Ergebnisse Short Tests



→ Ausreißer bei mehr als 15 Nodes und während Kühlungsproblemen

HP-C-Benchmarking
Lilli Klein



Vorgehen Benchmarking

1. Short Tests

- 128 Meshes, 100 s Simulationszeit
- Zufällige Anzahl an Nodes vs. Mindestanzahl Nodes
- 2-mal täglich, 7 Tage
- MPI

2. Mesh Variation

- 1 bis 128 Meshes, 600 s Simulationszeit
- Mit und ohne Output
- Unterschiedliche Anzahl an Nodes
- MPI

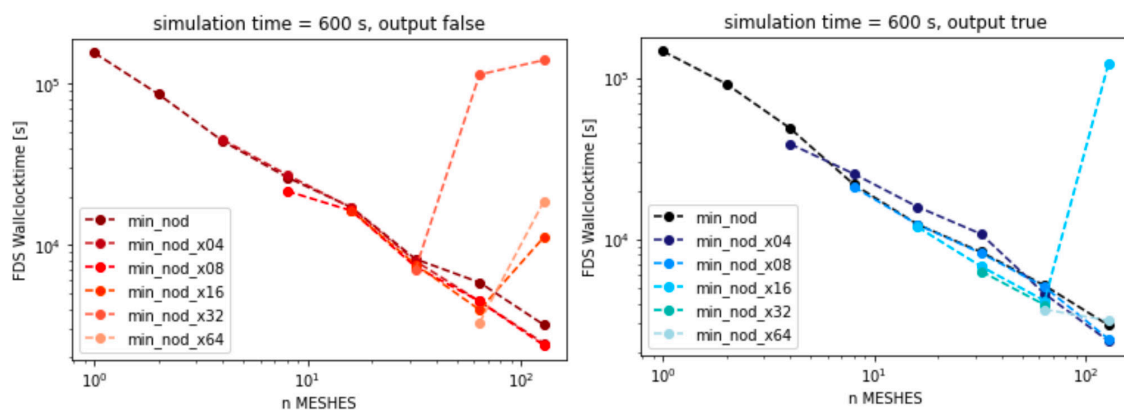
3. Number of Nodes

- 128 Meshes, 600 s Simulationszeit
- 2 bis 26 Nodes
- MPI

HPC-Benchmarking
Lilli Klein



Ergebnisse Mesh Variation



HPC-Benchmarking
Lilli Klein



Vorgehen Benchmarking

1. Short Tests

- 128 Meshes, 100 s Simulationszeit
- Zufällige Anzahl an Nodes vs. Mindestanzahl Nodes
- 2-mal täglich, 7 Tage
- MPI

2. Mesh Variation

- 1 bis 128 Meshes, 600 s Simulationszeit
- Mit und ohne Output
- Unterschiedliche Anzahl an Nodes
- MPI

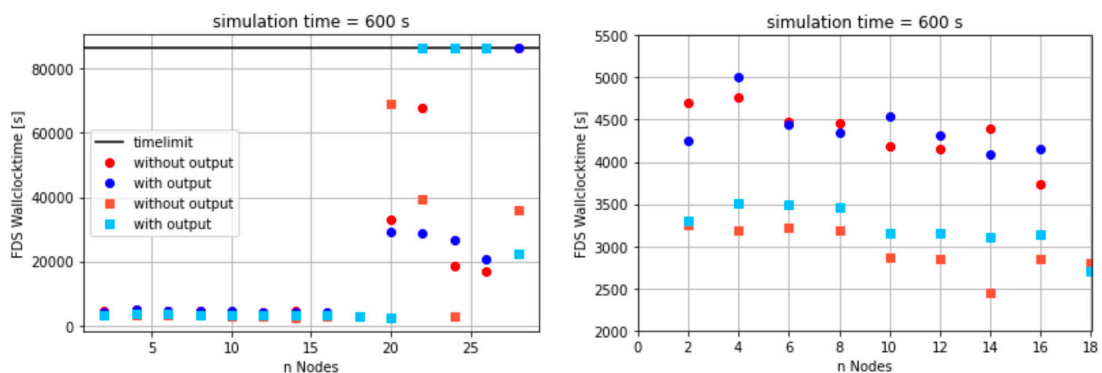
3. Number of Nodes

- 128 Meshes, 600 s Simulationszeit
- 2 bis 28 Nodes
- MPI

HPC-Benchmarking
Lilli Klein



Ergebnisse Number of Nodes



→ Ab ca. 20 Kernen streuen die Ergebnisse stark

HPC-Benchmarking
Lilli Klein



Fazit



Fazit

- Wenige Nodes sinnvoll, kleinste mögliche Anzahl nicht notwendig
- Wiederholung der Tests

Ausblick



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Ausblick

- Regelmäßig Benchmarks
- Partikel- und Pyrolyseszenarien testen



Danke!



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Quellen

- pleiadesbuw.github.io/PleiadesUserDocumentation/
- firedynamics.github.io/LectureFireSimulation



Lukas Arnold:

Vorstellung des Cobra-Projekts



Vorstellung des CoBra-Projekts

Lukas Arnold

3. – 4. November 2022 | 16. Treffen der FDS Usergroup



Computational
Civil Engineering



JÜLICH
Forschungszentrum



Arbeitsgruppe



@FZJ – IAS-7

- Forschungszentrum Jülich (FZJ)
- Zivile Sicherheitsforschung (IAS-7)
- Fußgänger- und Branddynamik
- Experimentelle Einrichtungen



@BUW – CCE

- Bergische Universität Wuppertal (BUW)
- Lehrstuhl Computational Civil Engineering (CCE)
- Lehre: Ingenieurinformatik, Brandsimulationen, Datenanalyse
- Abschlussarbeiten BA / MA / PhD für Baulng, SiTe und CSiS



CoBra



JÜLICH
Forschungszentrum



Computational
Civil Engineering



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Bekanntmachung



The screenshot shows the official announcement from the Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). It includes the date 06.03.2020 - 28.04.2020 and the title 'Bekanntmachung'. The text describes the 'Richtlinie über die Förderung zum Themenfeld „Stärkung des Technologie- und Innovations-transfers durch Forschung und Entwicklung für Großversuche, Demonstration, Aus- und Weiterbildung in der zivilen Sicherheitsforschung“ im Rahmen des Programms „Forschung für die zivile Sicherheit 2018 – 2023“ der Bundesregierung, Bundesanzeiger vom 06.03.2020'.

Ziel dieser Richtlinie ist daher die Unterstützung von FuE-¹Projekten beim Aufbau von Forschungsanlagen und Demonstratoren für realitätsnahe Test- und Übungsbedingungen, wie beispielsweise mobile Laboratorien oder Demonstratoren, die über den Labormaßstab hinausgehen und/oder bei der Entwicklung und Erprobung digitaler Schulungskonzepte mit realitätsnahen, virtuellen Aus- und Weiterbildungsbestandteilen, zum Beispiel innovativer Simulationsumgebungen.

Um eine praxisnahe und innovative Aus- und Weiterbildung gewährleisten zu können, werden zunehmend computergesteuerte Techniken (Simulatoren, Caves usw.) eingesetzt. Die aktuellen Entwicklungen der Digitalisierung, der virtuellen Realitäten und der künstlichen Intelligenz ermöglichen in diesem Zusammenhang neue Formate. Im Rahmen dieser Richtlinie wird die Möglichkeit eröffnet, digitale Schulungskonzepte mit innovativer Technik zu erforschen, anzuschaffen und für die bedarfsgerechte Aus- und Weiterbildung von Einsatzkräften der Polizei, Feuerwehr, des Katastrophenschutzes, freiwilliger Helfer usw. weiterzuentwickeln. Entscheidend ist eine Anwendung für den Bereich der zivilen Sicherheit. Dies können beispielsweise Simulatoren für spezielle Einsätze auf See, in Tunneln oder anderen Gebäudestrukturen, Caves mit sicherheitsbezogener virtueller Umgebung, Lagetische oder Ähnliches sein. Auch (mobile) Endgeräte, die für eine exemplarische Nutzung notwendig sind, können berücksichtigt werden.

CoBra | Lukas Arnold | Folie 3



Partner

- Förderung durch das BMBF
- Betreuung durch den Projektträger VDI
- Laufzeit: Dezember 2019 bis Mai 2023
- Geförderter Projektpartner: CCE @ BUW
- Verbundpartner:
 - Feuerwehr Dortmund
 - Görtzen Stolbrink & Partner mbB
 - HALFKANN + KIRCHNER PartGmbH
 - hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH
 - TÜV Süd Rail GmbH

CoBra | Lukas Arnold | Folie 4



Projektziele

- Simulationslabor und -cluster
 - Einrichtung und Ausstattung eines Labors für Studenten und Seminare
 - Beschaffung und Betrieb eines HPC-Clusters
- Lehr- und Fortbildungskonzepte
 - Einbindung von obiger Infrastruktur in die Lehre (Ingenieurinformatik, Brandsimulationen)
 - Konzept und Umsetzung einer Fortbildung zum Einsatz von FDS auf HPC-Systemen
- Wissenschaftliche Beiträge
 - Weiterentwicklung des Simulationsprogramms ARTSS
 - Grundlegende Arbeiten zur Rauchvisualisierung mittels einer virtuellen Realität

CoBra | Lukas Arnold | Folie 5



CoBra



JÜLICH
Forschungszentrum



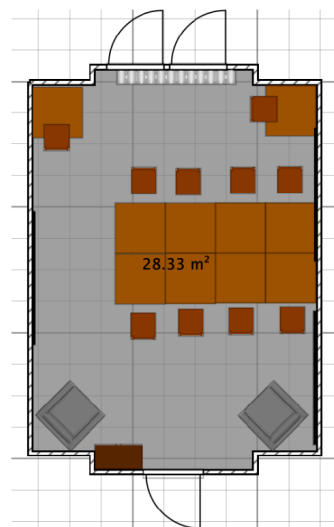
Computational
Civil Engineering



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Simulationslabor – Raum

- Einrichtung des Raumes HD10 (ca 28 m²) als variablen Arbeitsraum für 8 Studierende
- Variable Nutzung als Ausbildungsraum, Projektraum und Arbeitsraum
- Lösung sind bewegliche Tische, kleine bewegliche Computer und Stauraum



CoBra | Lukas Arnold | Folie 6



CoBra



JÜLICH
Forschungszentrum

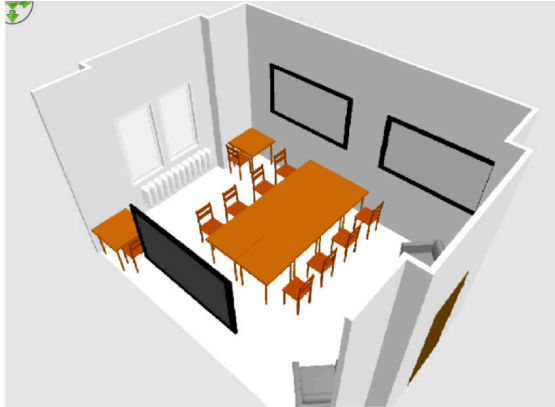


Computational
Civil Engineering



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

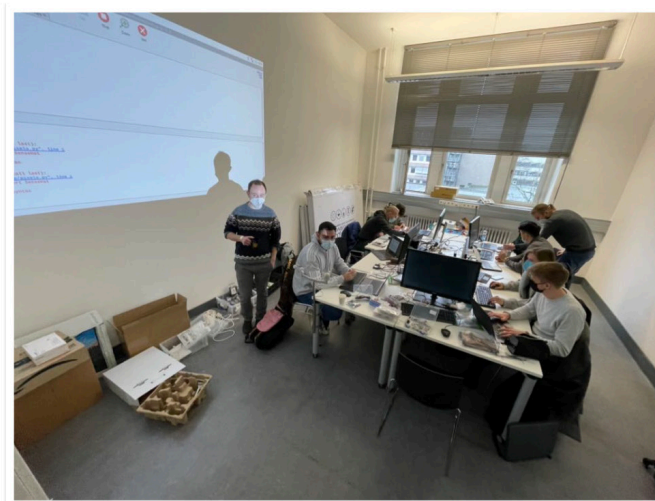
Simulationslabor – Möbel



CoBra | Lukas Arnold | Folie 7



Raspberry Pi Workshop

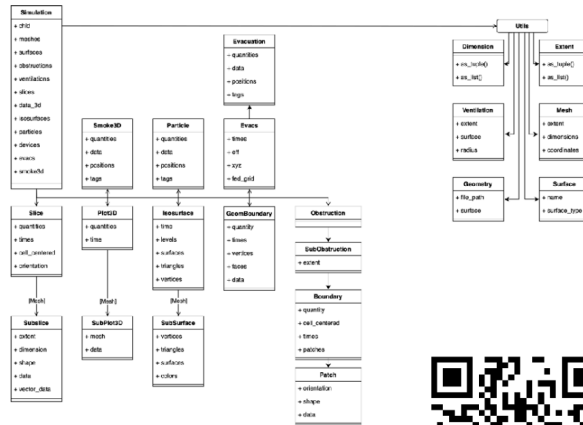
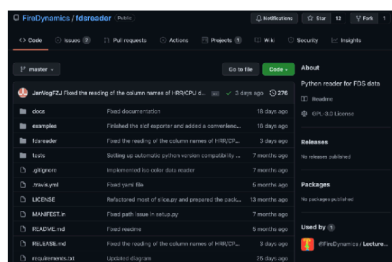


CoBra | Lukas Arnold | Folie 8



fdsreader

- Open source Python-Modul zum Einlesen von FDS-Daten
- Einfach zu installieren, per pip
- Quellcode auf GitHub
- Ziel Datenanalyse und Automatisierung
- Bereits einige internationale Nutzer

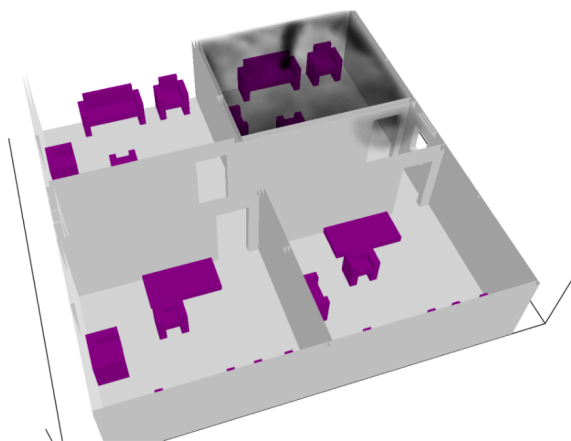


CoBra | Lukas Arnold | Folie 9



VR – Datenvisualisierung mit Unreal Engine (UE)

- Motivation
 - Simulationsergebnisse visualisieren und kombinieren
 - Daten erlebbar machen, z.B. Brandschutzkonzept
 - Günstigere und realitätsnähere Ausbildung
- Minimalanforderung:
 - Begehbare Visualisierung von FDS Simulationsdaten
 - Visualisierung von Rauch, Temperatur und Geschwindigkeiten



CoBra | Lukas Arnold | Folie 10



VR – Programmierung in UE

- Welten werden per Hand erstellt (Geometrien, etc.)
- Erweiterung der UE, Programmierung einer Datenschnittstelle
- Vollautomatisiertes Einlesen von Rauchdaten und Slices
- Zeit der Welt und Simulation vollständig gekoppelt
- Realitätsnahe Visualisierung von Rauchvolumina

```

7  #include "UObject/ObjectMacros.h"
8
9  #include "VRSSAssetFactory.generated.h"
10
11
12  DECLARE_LOG_CATEGORY_EXTERN(LogAssetFactory, Log, All);
13
14  /**
15   * Implements a factory for creating (volume) texture assets by drag'n'dropping .yaml files into the content browser.
16   */
17  UCLASS(hidecategories = Object)
18  class UVRSSAssetFactory : public UFactory
19  {
20  GENERATED_UCLASS_BODY()
21
22  /**~ UFactory Interface
23   virtual UObject* FactoryCreateFile(UClass* InClass, UObject* InParent, FName InName, EObjectFlags Flags, const FString& InPathName, bool bCreateNew) const;
24
25  protected:
26   UObject* CreateVolume(UObject* InParent, const FString& Filename);
27
28   class UVolumeAsset* CreateVolumeFromFile(FVolumeInfo& VolumeInfo, const FString& FileName, UObject* Package,
29   const FString& ReshName, TArray<UVolumeTexture*> OutVolumeTextures);

```

CoBra | Lukas Arnold | Folie 11



VR – Herausforderungen

- Rauchdarstellung an den Volumengrenzen, bzw. Aufteilung der Volumina
- Modellierung der Sichtweiten
- Entwicklung von nicht-nativen Features in der Engine
- Abwägung zwischen Performance und Realismus



CoBra | Lukas Arnold | Folie 12



VR – Demo



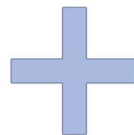
CoBra | Lukas Arnold | Folie 13



Computational
Civil Engineering



Erweiterung des Pleiades-Systems @ BUW



CoBra | Lukas Arnold | Folie 15



Computational
Civil Engineering



HPC-Cluster – Software Installation

- Aufbau des Software-Setups ist fertiggestellt
- FDS (verschiedene Versionen) und ARTSS können ausgeführt werden
- Python + MPI und PROPTI
- Modularer Aufbau

```
larnold@fugg1:~
> module avail

----- /beegfs/Tools/easybuild/meta-module -----
2016a      2019b-rpath      2019b      2020a-rpath      2020a      2020b      2021a

----- /beegfs/Tools/lmod/lmod/modulefiles/Core -----

lmod      settarg

----- /beegfs/larnold/modules -----
FDS/6.5.3_IntelComp_IntelMPI      FDS/6.7.4_IntelComp_IntelMPI      mpi4py/py3.9_IMPI_3.1.1
FDS/6.6.0_IntelComp_IntelMPI      FDS/6.7.5_IntelComp_IntelMPI      python/3.9.7
FDS/6.7.0_IntelComp_IntelMPI      FDS/6.7.6_IntelComp_IntelMPI      python_common_modules/py3.9_2021.09.05
FDS/6.7.0_SPEC_FIX_IntelComp_IntelMPI      FDS/6.7.6_spec_fix_IntelComp_IntelMPI (D)      spotipy/1.5.14
FDS/6.7.1_IntelComp_IntelMPI      GCC/11.2.0
```

CoBra | Lukas Arnold | Folie 16



CoBra

JÜLICH
ForschungszentrumComputational
Civil EngineeringBERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Lehre – Vorlesung Numerische Brandsimulationen

WIP

Field Models

While zone models decompose the domain of interest into four regions, field models discretize the volume with a three-dimensional mesh, see Fig. 1.10. This discretization is needed to numerically solve a set of partial differential equations for quantities like density, velocity, pressure and enthalpy in each node of the mesh.

Fig. 1.10 Illustration of the domain discretization in a field model.

Fig. 1.10 Illustration of the temperature values in each element node of the domain discretization.

The main content of this lecture are the numerical models and solution approaches applied in field models. The methodology is in general called computational fluid dynamics (CFD), where the simulations are a specialized topic with a very broad range of applications. The simulation model discretized

Single Job on the CoBra-Cluster

A sample script to submit a Jupyter Notebook on a given input file is as follows:

```
#!/usr/bin/env python
# Import the necessary modules
import os
import sys
import subprocess

# Define the input file name
input_file = "input_file.txt"

# Submit the job to the CoBra-Cluster
subprocess.run(["sbatch", "--job-name=CoBra", "--output=/dev/null", "--error=/dev/null", "--time=1:00:00", "--mem=1000000000", "--cpus-per-task=1", "--mail-user=larnold@fugg1", "--mail-to=larnold@fugg1", "--", "python", "script.py", input_file])
```

As there is a limit of 24 hours on JURECA, each job has to restart after this time. The following script automates the process for FDS on JURECA. It is important that the FDS input file has the `NOISY` parameter defined, typically initially set to `FALSE`.

The main idea is to create multiple jobs. These jobs are submitted with a dependency, i.e. a chain is created, so that the jobs are executed sequentially.

Chain Jobs

```
#!/usr/bin/env python
# Import the necessary modules
import os
import sys
import subprocess

# Define the input file name
input_file = "input_file.txt"

# Submit the job to the CoBra-Cluster
subprocess.run(["sbatch", "--job-name=CoBra", "--output=/dev/null", "--error=/dev/null", "--time=1:00:00", "--mem=1000000000", "--cpus-per-task=1", "--mail-user=larnold@fugg1", "--mail-to=larnold@fugg1", "--", "python", "script.py", input_file])
```

The individual jobs (`python=script.py`) are similar to the above script setting. However, they add the functionality to create a `COBRA` file to stop FDS.



CoBra | Lukas Arnold | Folie 17

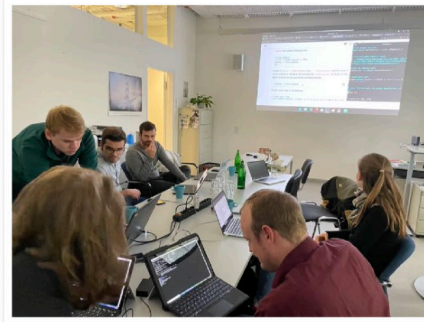
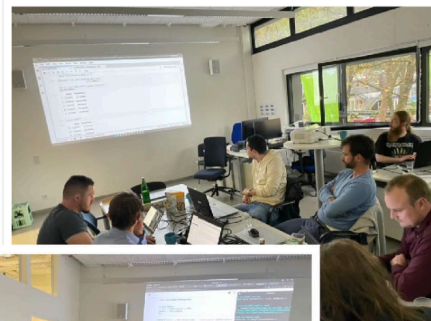


CoBra

JÜLICH
ForschungszentrumComputational
Civil EngineeringBERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Workshops

- Expertenrunde zum aktuellen Ausbildungsstand und Bedarfsanalyse
- FDS auf Parallelrechnern (September 2022)
- Datenanalyse mit Python (Oktober 2022)
- Automatisierung (November 2022)
- Alle Materialien frei verfügbar
- Nachfolgeveranstaltungen?



CoBra | Lukas Arnold | Folie 18



CoBra



JÜLICH
Forschungszentrum



Computational
Civil Engineering



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



Prof. Dr. Lukas Arnold

@ Forschungszentrum Jülich

Email: l.arnold@fz-juelich.de

Phone: 02461 61 2301

@ Bergische Universität Wuppertal

Email: arnold@uni-wuppertal.de

Phone: 0202 439 4241

@ Twitter

@LukasArnoldFire

Kontakt

CoBra | Lukas Arnold | Folie 19



CoBra



JÜLICH
Forschungszentrum



Computational
Civil Engineering



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Tássia Lins da Silva Quaresma:

The influence of thermophysical parameters on the heat release rate of a simplified cone calorimeter simulation

Abstract:

Commonly used methods for modelling fire scenarios are based on design fires, where quantities such as the heat release rate are prescribed by the user. In order to obtain heat release rates that are instead estimated by the simulation itself, a number of input parameters is often required. In many cases, those parameters are not available and might be difficult to estimate from experiments.

In optimisation techniques for parameter estimation, data from cone calorimeter experiments are commonly used as target. The input parameters required by the model are estimated such that the model result is close to the experimental data. One of the difficulties for an efficient optimisation procedure lies on the lack of knowledge of the model sensitivity to the multiple input parameters to be estimated.

In this study, a sensitivity analysis method is applied in order to identify the parameters that are important to the heat release rate of a simplified cone calorimeter simulation setup. Sensitivities to a set of thermophysical parameters are evaluated on the basis of the total-effect sensitivity (ST) indices. The indices are able to provide a broad picture of the model sensitivity to each input parameter, because it is capable of taking into account interaction effects between the indices.

The sensitivity analysis has the potential to improve both the efficiency of the optimisation procedure and the understanding of the uncertainties related to the estimated parameters.



INFLUENCE OF INPUT PARAMETERS ON THE HRR of a simplified cone calorimeter simulation

November 3, 2022 | Tássia Quaresma | Division Fire Dynamics - IAS 7

Member of the Helmholtz Association



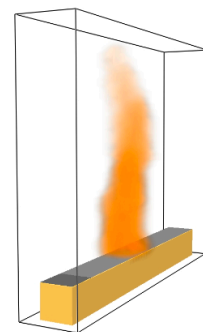
Context and motivation

Simple pyrolysis models

- Modelling fire scenarios: commonly based on **design fires**
- Heat release rates: **prescribed** by the user
- **No coupling** between pyrolysis rates and local **temperatures** of the material
- **No influence** of material **properties** on the heat release rate

Complex pyrolysis models

- Heat release rates are **calculated by the model** itself
- **Coupling** between pyrolysis rates and local **temperatures** of the material
- **Influence** of material **properties** on heat transfer inside the material
- Require multiple input parameters!

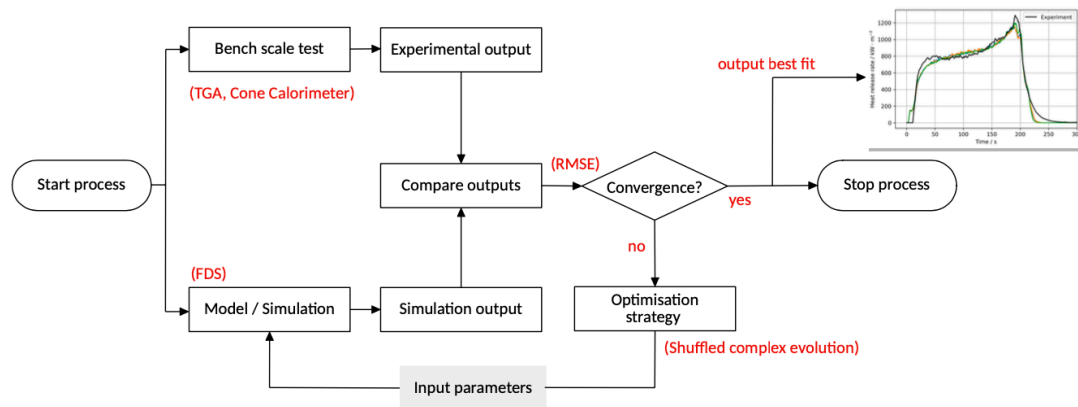


Member of the Helmholtz Association

Slide 1



Parameter estimation: inverse modelling and optimisation



Adapted from: Lauer et al., 2016.

Parameter estimation: inverse modelling and optimisation

Some issues

- Computationally expensive: obtaining a good fit can take **several weeks**
- Computational cost increases with number of parameters to be estimated
 - Kinetic parameters
 - Thermophysical parameters
- Model **sensitivity to input parameters** is often unknown:
 - Which input parameters are **more important** to the output?
 - Which input parameters are **less important**?
- Less important parameters will be poorly estimated

Sensitivity analysis

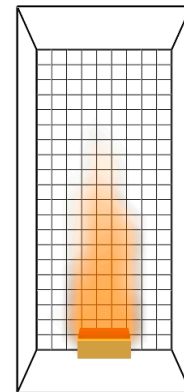
- Sensitivity analysis is the study of how the uncertainty in the output of a model can be apportioned to different sources of uncertainty in the model input (Saltelli, 2002).
- In other words, it helps to understand how the model's output is influenced by the model's inputs
- Local SA
 - based on varying one parameter at a time;
 - cannot effectively explore a multi-dimensional space;
 - interactions among input factors cannot be detected;
 - only valid for linear models.
- Global SA
 - any approach that is based on moving the factors together;
 - explore efficiently the multi-dimensional space;
 - capable of detecting interactions among factors;
 - valid for non-linear models.

Sobol sensitivity indices

- Measure sensitivity by determining how much the uncertainty in the output could be reduced if a given x_i parameter could be fixed
 - $S1_{x_i}$: first-order index, measures the effect on the output when x_i is varied alone (main effect)
 - $S2_{x_i, x_j}$: second-order index, measures the effect of varying x_i and x_j simultaneously, giving interaction effects between x_i and x_j
 - ST_{x_i} : total-order index, measures the total effect of x_i on the output, as the sum of x_i main effect and all interaction effects, providing a broad picture of model behaviour
- Sensitivity indices are computed to every input parameter
- The indices vary from 0 to 1. The greater the index is to 1, the larger is the importance
- Interaction indices such as $S2_{x_i, x_j}$ count both to ST_{x_i} and to ST_{x_j} , meaning that the sum of all ST's will not add up to 1 if interaction between inputs exist

Case study: simplified cone calorimeter setup

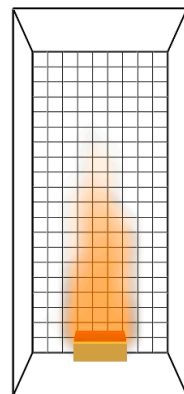
- The setup is used in the optimisation to generate thermophysical parameters
- The model is simplified to decrease computational cost; relatively coarse grid is considered
- External heat flux of $65 \text{ kW} / \text{m}^2$
- Solid phase solution is updated at every time step
- 8 pyrolysis reaction rates
- Kinetic parameters were previously estimated from TGA data and are fixed during optimisation



Cone calorimeter setup

Case study: simplified cone calorimeter setup

- For the estimation of the sensitivity indices, a large number of simulations need to be conducted
- An accordingly large number of samples of input parameters need to be created out of sampling ranges
- The sample ranges are defined as 15% of variation around the best parameter set coming from the optimisation



Cone calorimeter setup

Input parameters, their sampling ranges and units

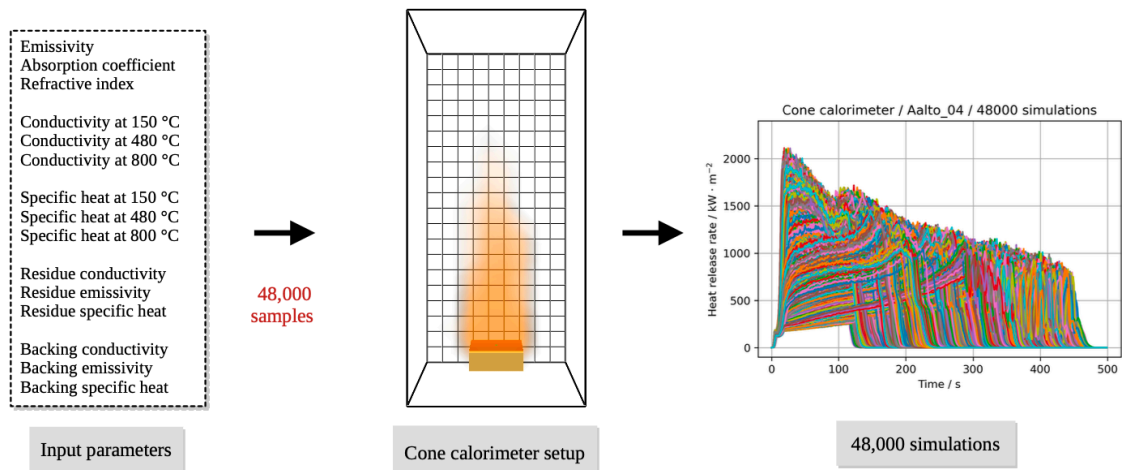
	Parameters	Ranges	Units
1	Emissivity	[0.799 ; 0.999]	-
2	Absorption coefficient	[6782 ; 9176]	m^{-1}
3	Refractive index	[2.426 ; 3.281]	-
4	Conductivity at 150°C	[0.322 ; 0.436]	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
5	Conductivity at 480°C	[0.021 ; 0.028]	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
6	Conductivity at 800°C	[3.687 ; 4.988]	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
7	Specific heat at 150°C	[0.658 ; 0.890]	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
8	Specific heat at 480°C	[3.237 ; 4.380]	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
9	Specific heat at 800°C	[6.183 ; 8.366]	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
10	Residue emissivity	[0.469 ; 0.635]	-
11	Residue conductivity	[3.833 ; 5.186]	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
12	Residue specific heat	[5.009 ; 6.777]	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
13	Backing emissivity	[0.375 ; 0.507]	-
14	Backing conductivity	[2.047 ; 2.769]	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
15	Backing specific heat	[3.457 ; 4.677]	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Member of the Helmholtz Association

Slide 8



Running multiple simulations

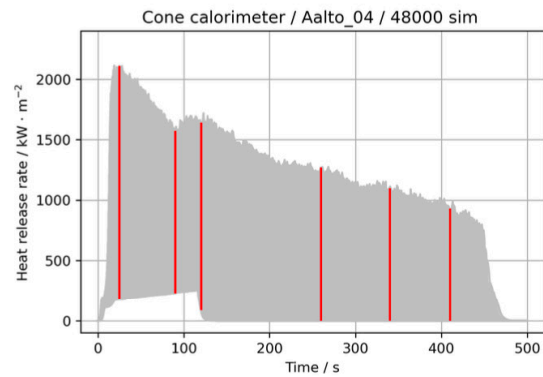
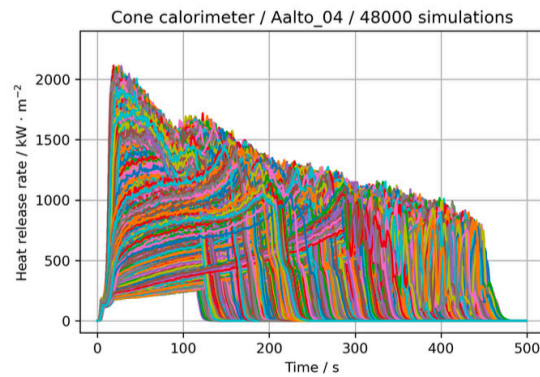


Member of the Helmholtz Association

Slide 9



Analysis of outputs: every point in time

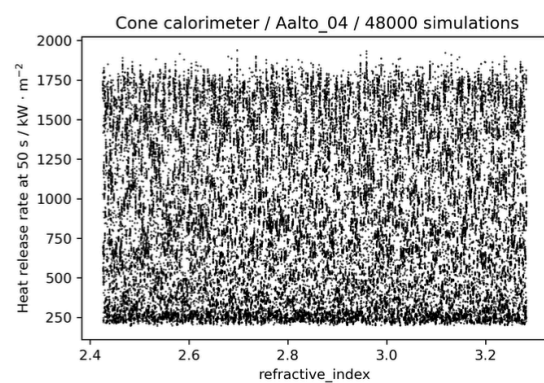
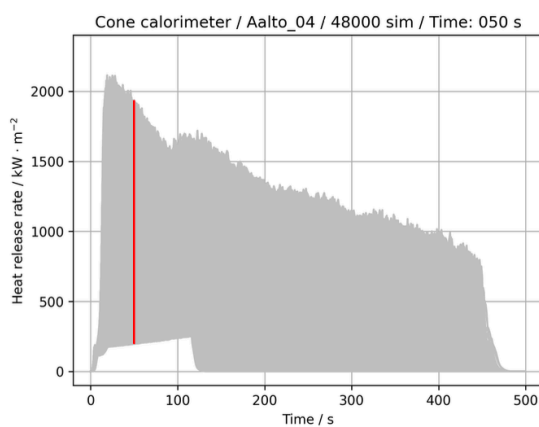


Member of the Helmholtz Association

Slide 10



Qualitative sensitivity analysis: scatter plots

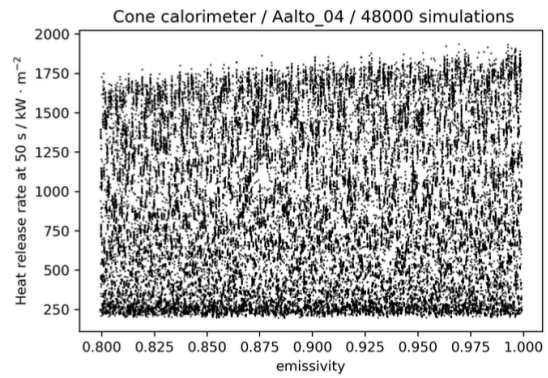
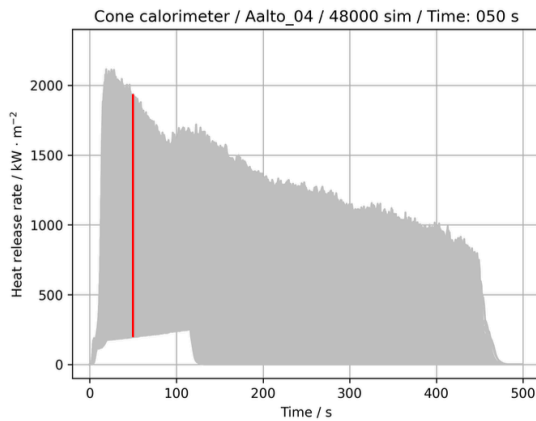


Member of the Helmholtz Association

Slide 11



Qualitative sensitivity analysis: scatter plots

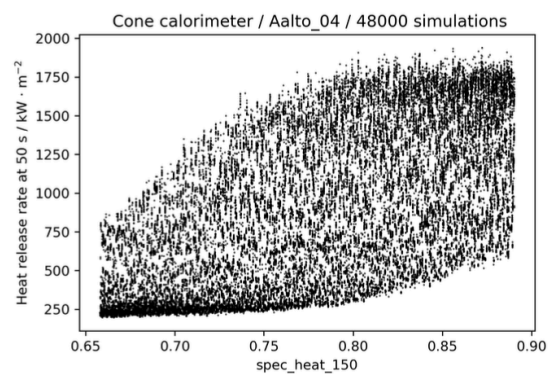
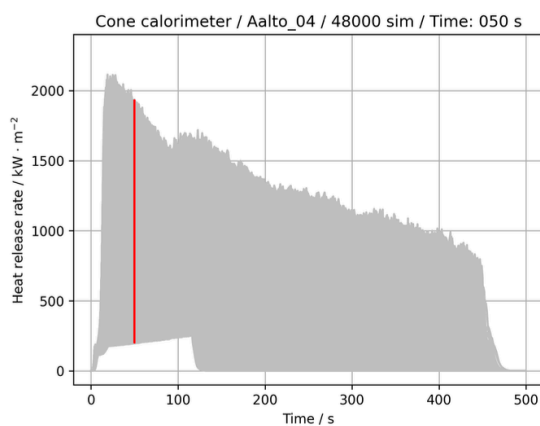


Member of the Helmholtz Association

Slide 12



Qualitative sensitivity analysis: scatter plots

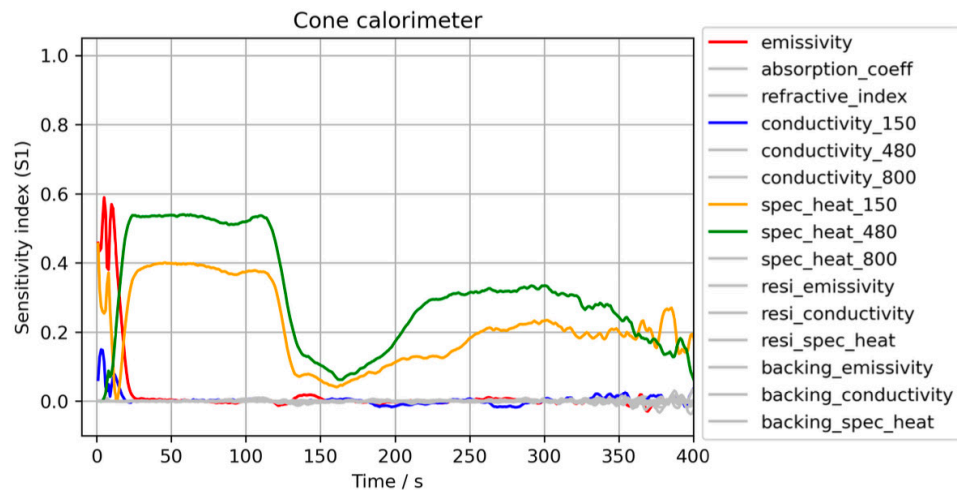


Member of the Helmholtz Association

Slide 13



Sobol sensitivity indices: S1

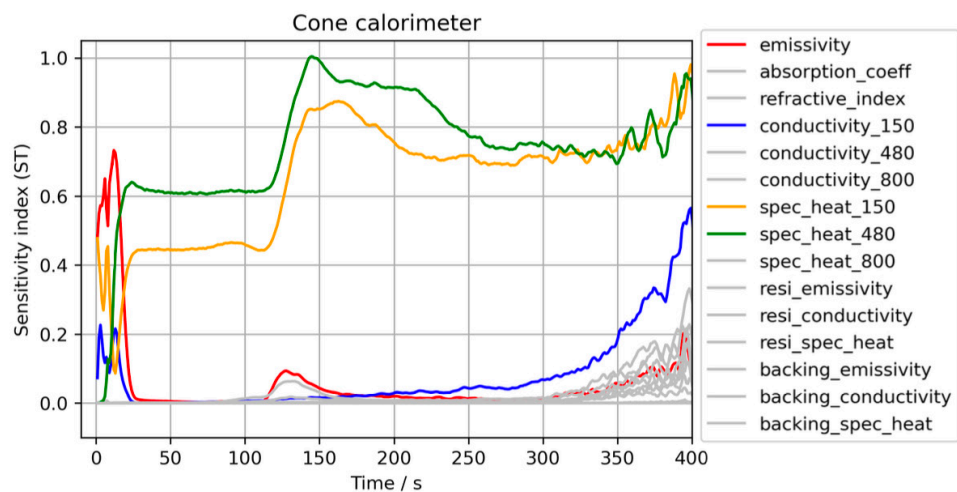


Member of the Helmholtz Association

Slide 14



Sobol sensitivity indices: ST

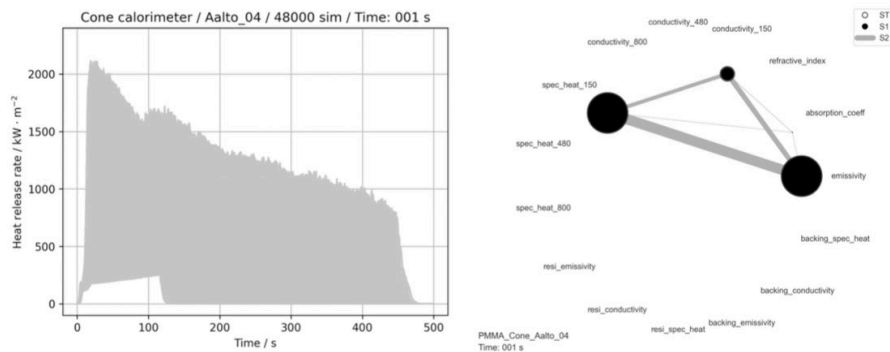


Member of the Helmholtz Association

Slide 15



Video: sensitivity indices over time



Member of the Helmholtz Association

Slide 16



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

file:///Users/christophpape/Downloads/
FDS_UG16/Talks/T2_V4_Tassia/video/
indices_in_circles.mp4



Some conclusions

- The sensitivity analysis was able to identify which parameters had little or no importance to the heat release rate of the cone calorimeter simulation
- This helped to identify which parameters were poorly estimated
- Poorly estimated parameters can compromise the results of the simulations to which they are applied
- Some of the parameters with no importance could afterwards be excluded from the optimisation
- The identification of parameters which were very important (specific heat ramp points) helped with the choosing of improved ramp points in future optimisation runs
- Sensitivities can depend on the chosen sampling ranges, broader ranges should be considered in future sensitivity analyses

Member of the Helmholtz Association

Slide 17



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



Thank you!

Questions?

Kathrin Grewolls:

Einfluß von Personal Distance auf Stau- und Evakuierungszeiten

Objective of this Work ooo	Model Data oooooo	Example of Evaluation oooo	Results, Global Evaluation oooooo
-------------------------------	----------------------	-------------------------------	--------------------------------------

Influence Of Enforced Social Distance On Jam And Exit Times

Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

16. Anwender-Treffen der FDS Usergroup, 2022



Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work ooo	Model Data oooooo	Example of Evaluation oooo	Results, Global Evaluation oooooo
-------------------------------	----------------------	-------------------------------	--------------------------------------

Contents

Objective of this Work

Model Data

Example of Evaluation

Results, Global Evaluation



Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work
●○○

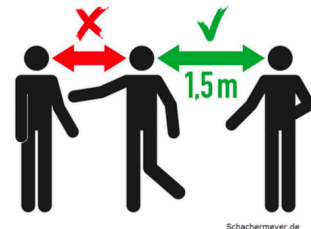
Model Data
○○○○○

Example of Evaluation
○○○

Results, Global Evaluation
○○○○○

Social Distance Behaviour

Thunderhead Engineering introduced social distance behaviour to Pathfinder in August 2020 as a method to address pandemic safety in evacuation simulations.



Objective of this work was to evaluate jam and evacuation times of agents or groups:

- ▶ with forced social distances in contrast to personal distances,
- ▶ that keep different social distances from relatively small (1.0 m) to large (3.0 m).

SIMTEGO
Computersimulation & Optimierung

Navigation icons: back, forward, search, etc.

Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work
●○○

Model Data
○○○○○

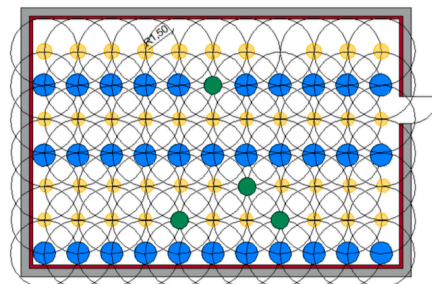
Example of Evaluation
○○○

Results, Global Evaluation
○○○○○

Objective of this Work

Effects of Forced Social Distances on:

- ▶ The flow,
- ▶ Exit times,
- ▶ Jam times.



Application: calculation of

- ▶ Waiting time and length of queues,
- ▶ Time to change rooms, for example in high schools, universities, cinemas.

in pandemic situations.

SIMTEGO
Computersimulation & Optimierung

Navigation icons: back, forward, search, etc.

Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work ○○●	Model Data ○○○○○	Example of Evaluation ○○○○	Results, Global Evaluation ○○○○○
-------------------------------	---------------------	-------------------------------	-------------------------------------

Test-Model 250 m²

- ▶ Room 250 m²
- ▶ 28 Agents
- ▶ Social distance: 0 m, 1.0 m, 1.5 m, 2 m, 3 m, 1...2 m, 1,5...2 m

Table of variants with 28 occupants [P] per room

Social distance [m]	Exit time [s]
0	20
1	20
1.5	27
2	50
3	50
1.0 ... 2.0	31
1.5 ... 2.0	31



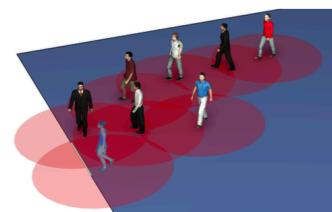
Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work ○○○	Model Data ●○○○○	Example of Evaluation ○○○○	Results, Global Evaluation ○○○○○
-------------------------------	---------------------	-------------------------------	-------------------------------------

Implementation in Pathfinder

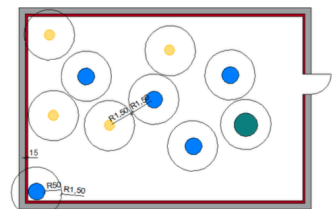
Personal distance:

- ▶ Desired distance one occupant will try to maintain with others in a queue or jam
- ▶ Gap distance between the occupants' shapes
- ▶ Shoulder-to-shoulder / not strictly enforced / max. 1 m



Social distance:

- ▶ Constant value or a distribution of values
- ▶ Center-to-center / enforced / > 1 m
- ▶ Movement groups do not perform social distancing with other members of their group by default



Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work
○○○Model Data
○●○○○Example of Evaluation
○○○○Results, Global Evaluation
○○○○○

Variation

Social distance:

- ▶ Without social distance
- ▶ Constant social distance:
1.5 m, 2.0 m, 3.0 m
- ▶ Uniform social distance:
1.0 m to 2.0 m / 3.0 m

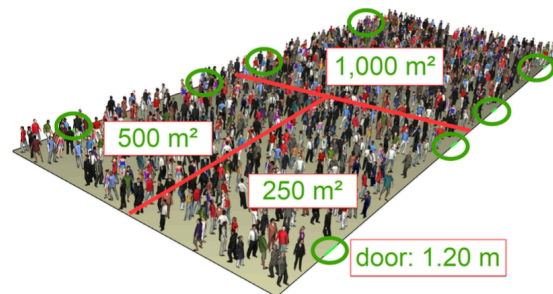


Table of variants with number of occupants [P] per room

	room 250 m ²	room 500 m ²	room 1000 m ²
without social distance (2 pers./ m ²)	500	1,000	2,000 and 442
social distance, constant: 1.5 m	104	221	459
social distance, uniform: 1.0 to 2.0 m	104	221	442 and 459
social distance, uniform: 1.0 to 3.0 m		150	126 and 300
social distance, constant: 2.0 m	60	130	260
social distance, constant: 3.0 m	28	130	126

Computersimulation & Optimierung

Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work
○○○Model Data
○●○○○Example of Evaluation
○○○○Results, Global Evaluation
○○○○○

DIN 33402-2:2020-12

Tabelle 11 — Schulterbreite (bideltoid)

A line drawing of a human figure from the waist up, facing forward. A vertical double-headed arrow is positioned above the figure's head, indicating the measurement of shoulder width (bideltoid) across the shoulders.

Altersgruppen	Schulterbreite (bideltoid)					
	mm					
	Männer			Frauen		
	Perzentil					
Jahre	5	50	95	5	50	95
18-65	440	480	525	395	435	485
18-25	425	470	515	385	420	455
26-40	440	480	525	395	435	490
41-60	445	480	525	400	445	495
61-65	435	475	520	395	440	480

Stochastic Parameters

- ▶ Occupant speed: 0.5 to 2.0 m/s
- ▶ Shoulder width: 0.40 to 0.55 m
- ▶ Groups: 4 different with stochastic / constant parameters

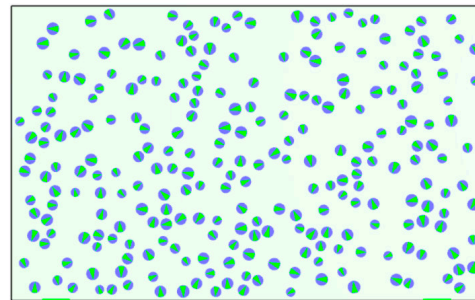
Computersimulation & Optimierung

Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work ○○○	Model Data ○○●○○	Example of Evaluation ○○○○	Results, Global Evaluation ○○○○○○
-------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------------------------

Model 250 m²

- ▶ Room 250 m²
- ▶ 500, 104, 60, 28 Agents
- ▶ Social distance: 0 m, 1.5 m, 2 m, 3 m, 1...2 m



SIMTEGO
Computersimulation & Optimierung

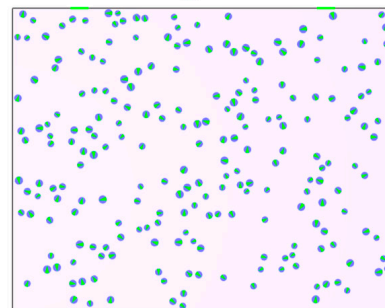


Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work ○○○	Model Data ○○○○●○○	Example of Evaluation ○○○○	Results, Global Evaluation ○○○○○○
-------------------------------	-----------------------	-------------------------------	--------------------------------------

Model 500 m²

- ▶ Room 500 m²
- ▶ 63, 130, 150, 221, 1,000 Agents
- ▶ Social distance 0 m, 2 m, 1.5 m, 1...2 m, 1...3 m



SIMTEGO
Computersimulation & Optimierung

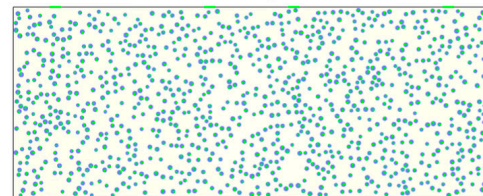


Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work ○○○	Model Data ○○○○○●	Example of Evaluation ○○○○	Results, Global Evaluation ○○○○○
-------------------------------	----------------------	-------------------------------	-------------------------------------

Model 1,000 m²

- ▶ Room 1,000 m²
- ▶ 300, 244, 1,000 and 2,000 Agents
- ▶ Social distance: 0 m, 1...2 m, 1...3 m



SIMTEGO
Computersimulation & Optimierung



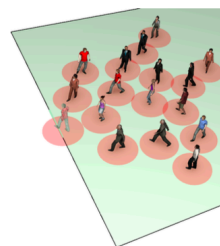
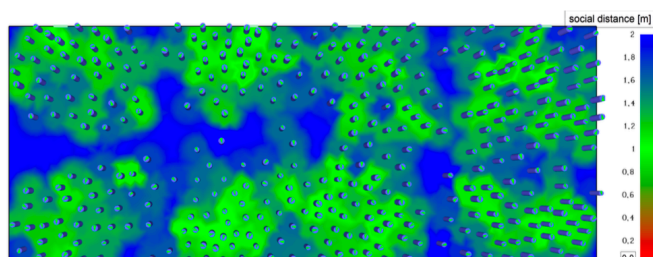
Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work ○○○	Model Data ○○○○○	Example of Evaluation ●○○○	Results, Global Evaluation ○○○○○
-------------------------------	---------------------	-------------------------------	-------------------------------------

Results in Pathfinder

Generating occupants contours / heat maps:

- ▶ **Social distance:** Spacing disks full / half size - overlap of disks
- ▶ **Social linkage:** Number of agents within radius R of an occupant
- ▶ **Social usage:** Number of all agents within radius R for any spot on the floor, without regard to occupant movement groups
- ▶ **Analysis of approach:** Over what period of time are how many occupants closer than a given distance



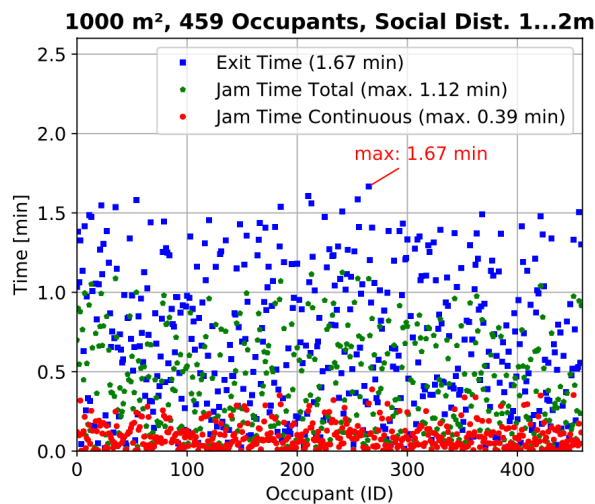
SIMTEGO
Computersimulation & Optimierung



Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work
○○○Model Data
○○○○○Example of Evaluation
●○○Results, Global Evaluation
○○○○○

Example for Results Evaluation



- ▶ 1 Sample
- ▶ Room 1,000 m²
- ▶ 300 Agents
- ▶ Social distance: 1...3 m

Distribution of exit times and jam times

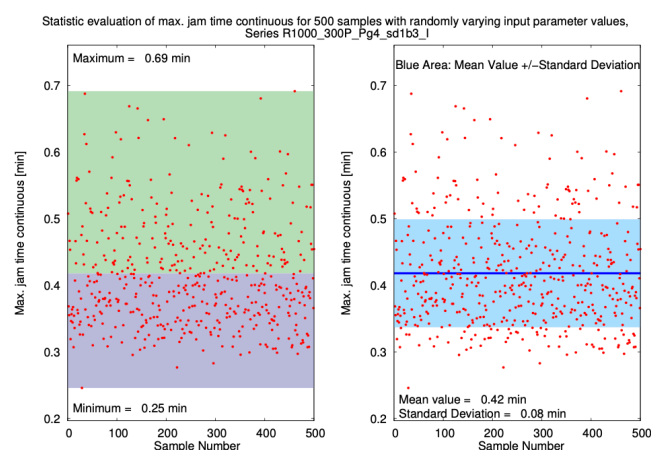


Navigation icons: back, forward, search, etc.

Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work
○○○Model Data
○○○○○Example of Evaluation
●○○Results, Global Evaluation
○○○○○

Monte Carlo Simulation



- ▶ 500 Samples with statistically distributed parameter values
- ▶ Room 1,000 m²
- ▶ 300 Agents
- ▶ Social distance: 1...3 m

Distribution of max. jam time continuous

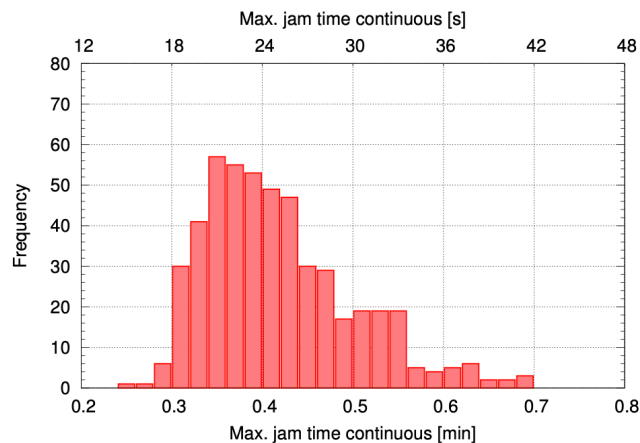


Navigation icons: back, forward, search, etc.

Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work
○○○Model Data
○○○○○Example of Evaluation
○○●Results, Global Evaluation
○○○○○

Monte Carlo Simulation



- ▶ 500 samples with statistically distributed parameter values
- ▶ Room 1,000 m²
- ▶ 300 agents
- ▶ Social distance: 1...3 m

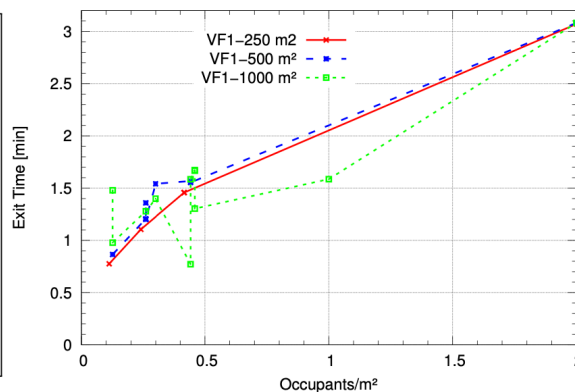
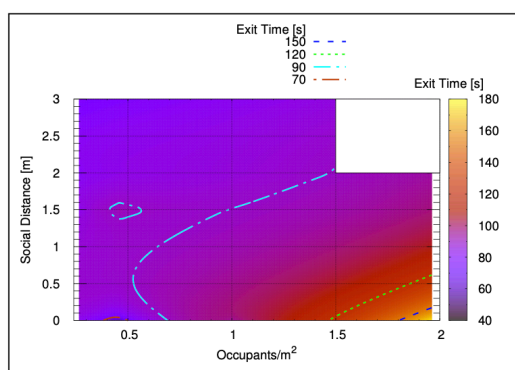
Histogram of max. jam time continuous

Computersimulation & Optimierung

Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work
○○○Model Data
○○○○○Example of Evaluation
○○○Results, Global Evaluation
●○○○○

Exit time as a function of social distance (sd) vs. global density



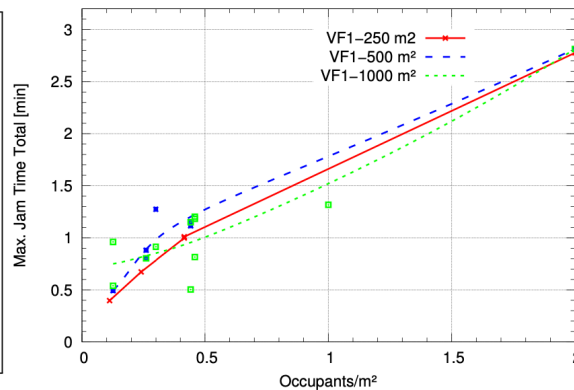
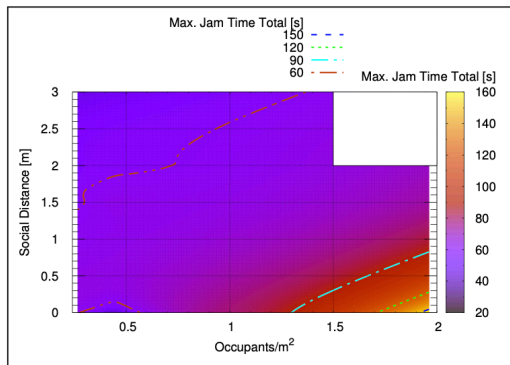
The bigger the social distance $\uparrow$ in the same room the smaller are density $\downarrow$ and exit time $\downarrow$.

Computersimulation & Optimierung

Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work
○○○Model Data
○○○○○Example of Evaluation
○○○○Results, Global Evaluation
○●○○○

Max. total jam time as a function of social distance (sd) vs. global density



The bigger the social distance $\uparrow$ in the same room the smaller are density $\downarrow$ and max. total jam time $\downarrow$.

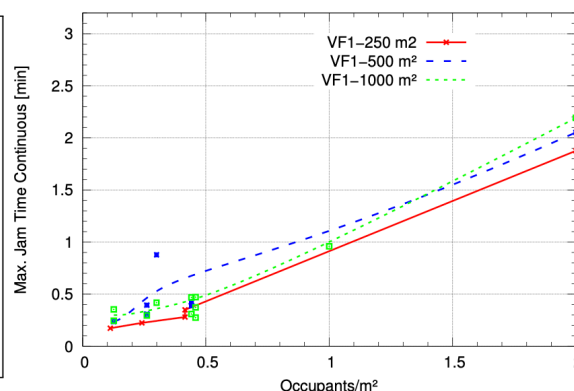
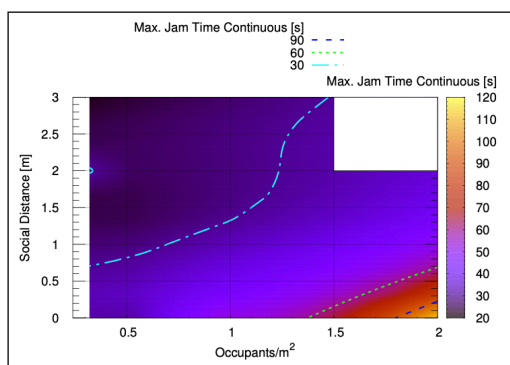
SIMTEGO
Computersimulation & Optimierung

Navigation icons: back, forward, search, etc.

Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work
○○○Model Data
○○○○○Example of Evaluation
○○○○Results, Global Evaluation
○●○○○

Max. jam time continuous as a function of sd vs. global density



The bigger the social distance $\uparrow$ in the same room the smaller are density $\downarrow$ and max. jam time continuous $\downarrow$.

SIMTEGO
Computersimulation & Optimierung

Navigation icons: back, forward, search, etc.

Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work ○○○	Model Data ○○○○○	Example of Evaluation ○○○○	Results, Global Evaluation ○○○●○○
-------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------------------------

Times Normalised by Number of Occupants

$$t_{\text{exit},n} = \frac{t_{\text{exit},\text{max}}}{P}$$

$t_{\text{exit},n}$... Normalised exit time
 $t_{\text{exit},\text{max}}$... Max. exit time
 P ... Number of Occupants

The **normalised exit time** per occupant with a social distance (sd):

- ▶ of 1,5 m is 2.3 times bigger,
- ▶ of 2,0 m is 3.0 times bigger,
- ▶ of 3,0 m is 4.5 times bigger than without sd.

The normalised jam times per agent is increasing ↑ with an increasing social distance ↑.



Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work ○○○	Model Data ○○○○○	Example of Evaluation ○○○○	Results, Global Evaluation ○○○○●○
-------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------------------------

Conclusion

For evacuation simulations with social distances in  **Pathfinder**

- ▶ Density and social distance have an influence on exit times and total jam times.
- ▶ The bigger the social distance ↑ in the same room with the max. possible number of occupants, the smaller are exit ↓ and jam times ↓.
- ▶ The normalised exit times per agent are increasing ↑ with an increasing social distance ↑ by factor 2.3 - 4.5 and for jam times by factor 1.8 - 3.0.
- ▶ There is no significant difference between a constant social distance to a uniform distribution for the same density.



Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Objective of this Work ○○○	Model Data ○○○○○	Example of Evaluation ○○○○	Results, Global Evaluation ○○○○●
-------------------------------	---------------------	-------------------------------	-------------------------------------

Thank you for your attention.



Thanks to:

- ▶ Katharina Schwab (Bachelor Thesis, OTH Regensburg, 2020)



- ▶ Dr. Gerald Grewolls, SIMTEGO



Prof. Dr. Kathrin Grewolls, Katharina Schwab, Dr. Gerald Grewolls

Angelika Kneidl:

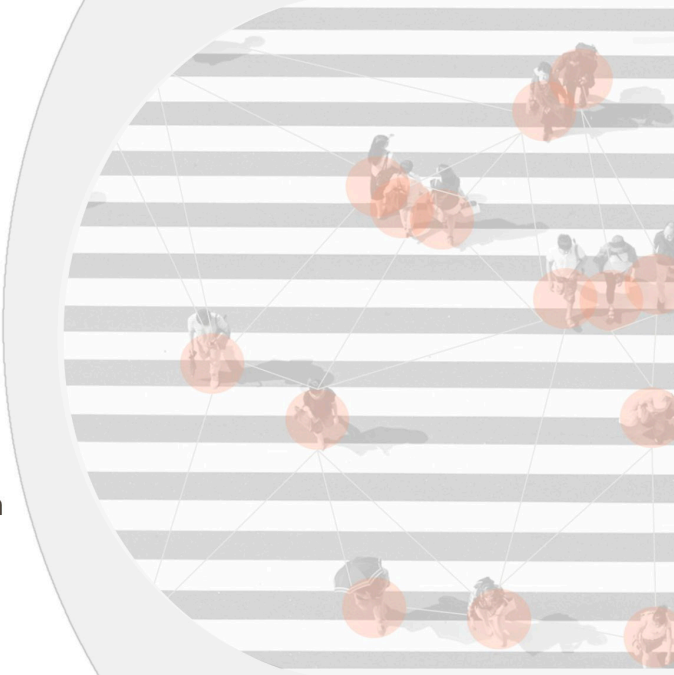
crowd:it – ein vielseitiges Tool zur Simulation von Personenströmen

accu:rate
Institute for crowd simulation

crowd:it

Ein versatiles Tool zur Simulation von Personenströmen

03.11.2022 – FDS User Group Treffen Berlin,
Angelika Kneidl



Über mich



Dipl.-Inf.
Promotion zum Thema
Fußgängersimulation



2014:
Gründung accu:rate GmbH



> 35 Veröffentlichungen in
(internationalen) Journals and
Büchern.



Dozentin an der Eureka, IBIT
GmbH, DEApplus, TU München



Mitarbeit in Gremien und
Forschungsprojekten



accu:rate

„We create livable and safe spaces.“

crowd:it

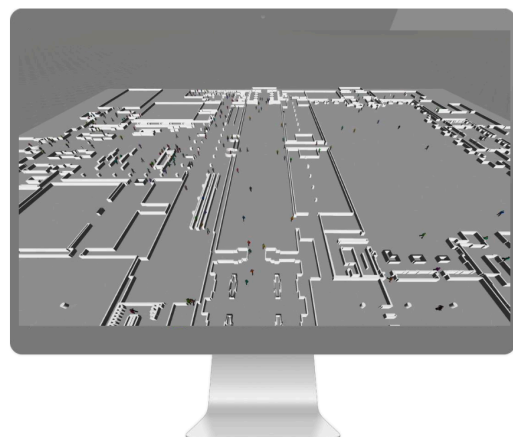
„Software for modern crowd managers.“

Warum brauchen wir
Personenstrom-
simulationen?

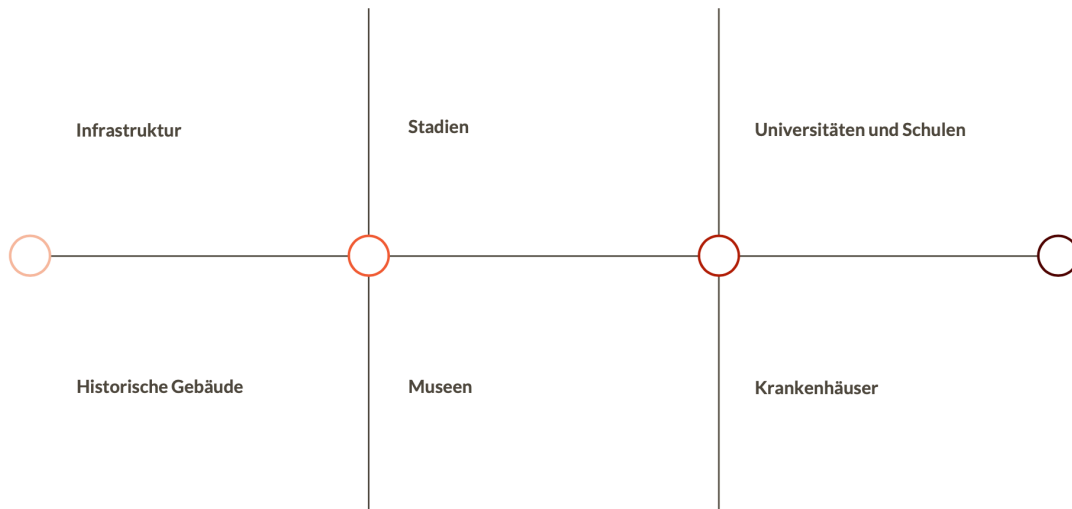


Personenstromsimulationen können eingesetzt werden...

- um einen Überblick über die Dynamik von Mensch und Raum zu bekommen.
- räumlich-zeitliche Zusammenhänge zu verstehen.
- Räumungsverläufe und -zeiten zuverlässig zu ermitteln.
- objektive Kommunikation mit allen Beteiligten effizient zu gestalten.



Sie helfen überall dort, wo **Mensch und Raum** interagieren.



5

accu:rate – Institute for crowd simulation

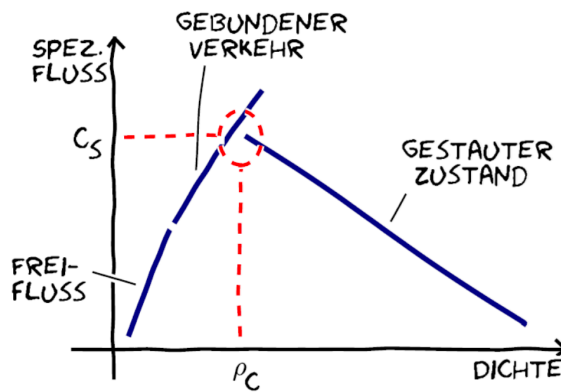
Dieses Material ist urheberrechtlich geschützt und darf nicht weiterverwendet werden ohne Einverständnis der Autorin

accu:rate
Institute for
crowd simulation

Grundlegende
Ansätze



Grundlage für alle Modelle: Das Fundamentaldiagramm



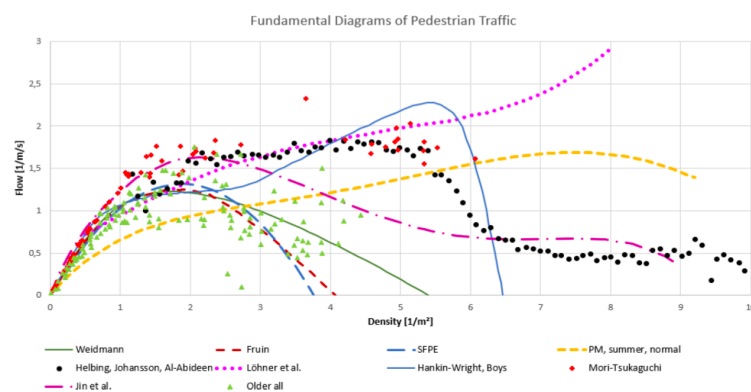
Grundannahme:

$$F_s = D \times v$$

F_s : spezifischer Personenfluss
 D : Personendichte
 v : Personengeschwindigkeit

Aus: Holl, Stefan: „Methoden für die Bemessung der Leistungsfähigkeit multidirektional genutzter Fußverkehrsanlagen“, Dissertation 2016

Fundamentaldiagramme können unterschiedliche Ausprägungen haben

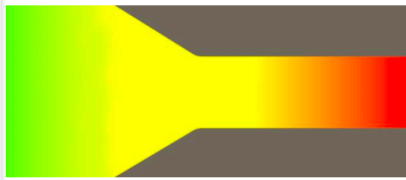


Aus: Kretz, T.: An analytical solution of the Social Force Model for uni-directional flow, Juli 2019, Conference: Traffic and Granular Flow 2019, Pamplona

Simulationsmodelle im Vergleich

Makroskopische Modelle

- › Personen werden aggregiert als Personenfluss abgebildet
- › Analogie von Fußgängerbewegungen zu Flüssigkeiten
- › Ganzheitliche Sicht



VS.

Mikroskopische Modelle

- › Personenbewegungen werden für jede Person einzeln betrachtet und berechnet
- › Individuelle Bewegungsunterschiede werden aufgelöst (unterschiedliche Geschwindigkeiten, Verhalten etc.)
- › Abbildung von lokalen Phänomenen (Bahnenbildung, Staus vor Engstellen)



9

accu:rate – Institute for crowd simulation

Dieses Material ist urheberrechtlich geschützt und darf nicht weiterverwendet werden ohne Einverständnis der Autorin

accu:rate
Institute for crowd simulation

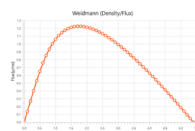
Simulationsmodelle im Vergleich

Makroskopische Modelle

Modelle:

- › Kapazitätsanalysen
- › Hydraulische Modelle (PM)
- › Netzwerkflussmodelle

Input:



Fundamentaldiagramm

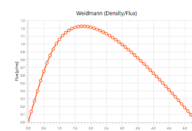
VS.

Mikroskopische Modelle

Modelle:

- Raumdiskret
 - › Zellularautomat
- Raumkontinuierlich
 - › Optimal Steps Model
 - › Social Force Model

Output:



Fundamentaldiagramm

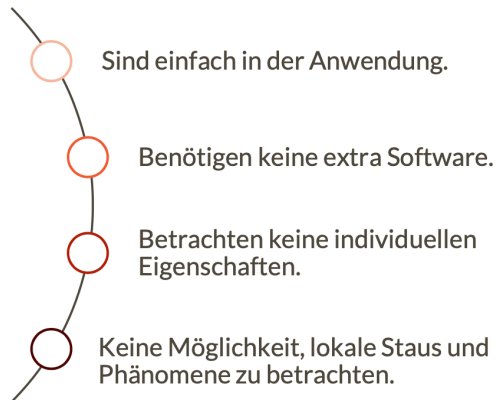
10

accu:rate – Institute for crowd simulation

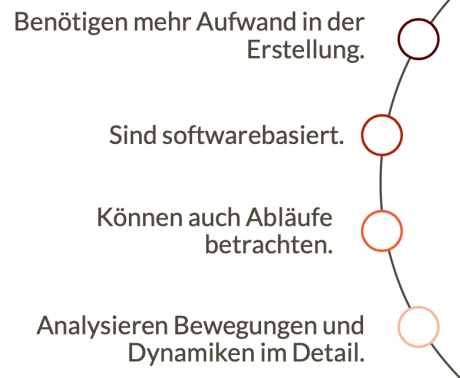
Dieses Material ist urheberrechtlich geschützt und darf nicht weiterverwendet werden ohne Einverständnis der Autorin

accu:rate
Institute for crowd simulation

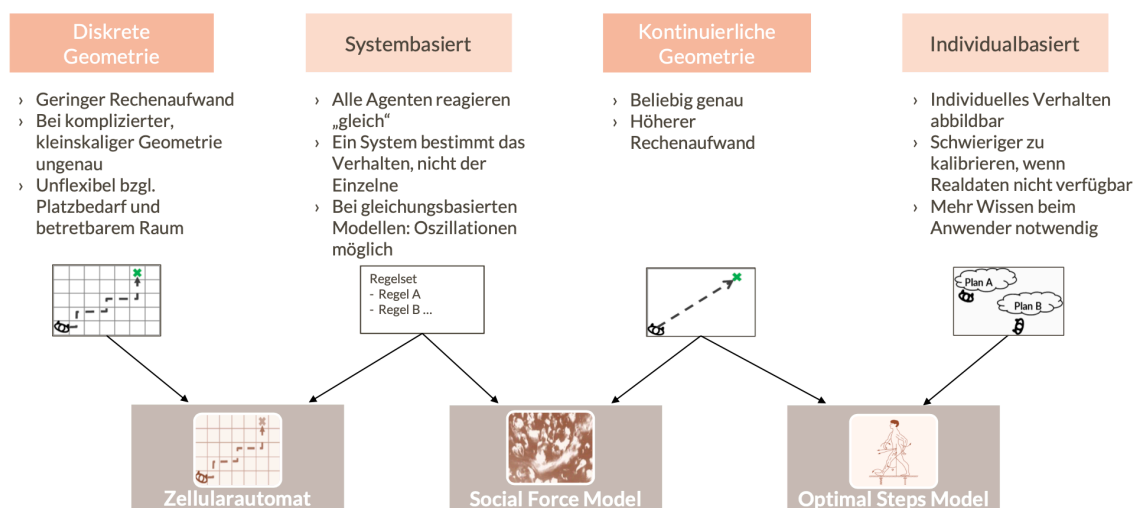
Makroskopische Modelle ...



Mikroskopische Modelle...



Mikroskopische Modelle können wie folgt kategorisiert werden



Vorstellung crowd:it

Wie funktioniert crowd:it?



Grundlegende Aspekte des Modells

- › crowd:it ist ein mikroskopisches Simulationsmodell zur Simulation von Personenströmen.
- › Jeder Agent bekommt ein Ziel zugewiesen, in Richtung dessen er sich während der Simulation bewegt.
- › Auf dem Weg zum Ziel können gewisse Points of Interest abgelaufen werden; diese werden in einem Pfad zusammengefasst und können individuell zugewiesen werden.
- › Die räumliche Auflösung ist kontinuierlich, d.h. jeder Punkt im Raum ist betretbar.
- › Den Agenten werden individuelle Eigenschaften zugewiesen: Dazu gehören u.a. die Wunschgeschwindigkeit, der Platzbedarf sowie der „Geburtsort“.
- › Jeder Agent wird mit einem Kreis angenähert (siehe Abbildung rechts).

Platzbedarf eines Agenten:



crowd:it besteht aus unterschiedlichen Ebenen



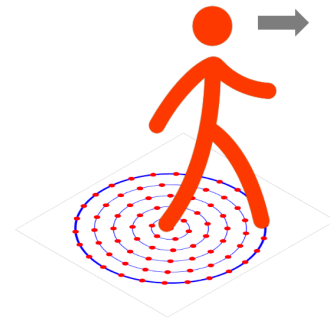
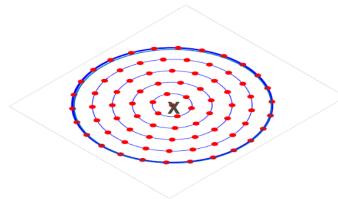
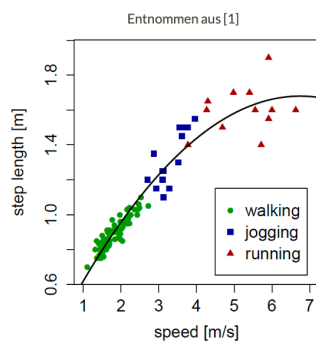
Strategieebene:
Was ist der Anlass?

crowd:it besteht aus unterschiedlichen Ebenen



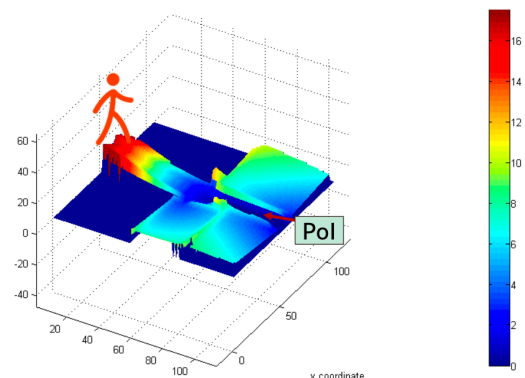
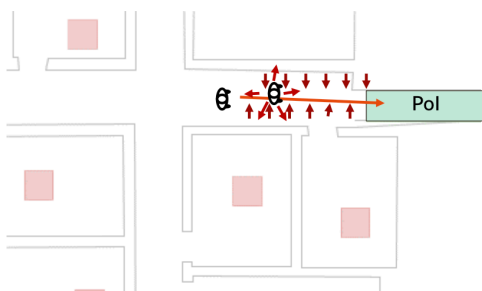
Strategieebene:
Was ist der Anlass?

Das grundlegende Bewegungsmodell – Optimal Steps Model (1/2)



- › Das OSM imitiert das Schrittverhalten des Menschen
- › Es stützt sich auf die Korrelation zwischen Geschwindigkeit und Schrittlänge
- › Für jeden Schritt wird ein Kreis erstellt mit Radius der maximalen Schrittlänge
- › Auf dieser Kreisscheibe werden mögliche Punkte ausgewertet
- › Aus allen möglichen Punkten wählt der Agent den für ihn bestmöglichen aus

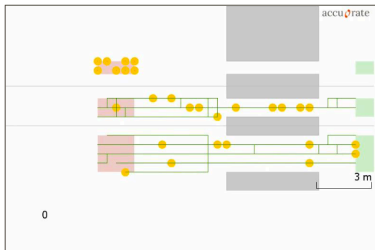
Das grundlegende Bewegungsmodell – Optimal Steps Model (2/2)



- › Navigationsfelder bestimmen die Werte für die einzelnen Punkte im Raum
- › Die Agenten laufen entlang des Gradienten der überlagerten Navigationsfelder und suchen sich immer den Punkt mit den niedrigsten Wert aus

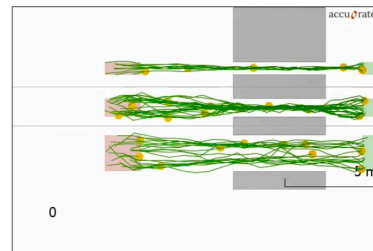
Lokomotionsebene

Beispiele für unterschiedliche Ergebnisausprägungen abhängig vom gewählten Modell



Diskrete Geometrie

- › Bewegungsrichtung eingeschränkt
- › Artefakte bei engen Gängen

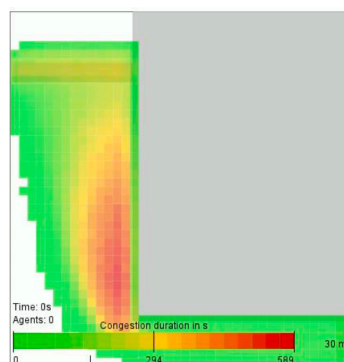


Kontinuierliche Geometrie

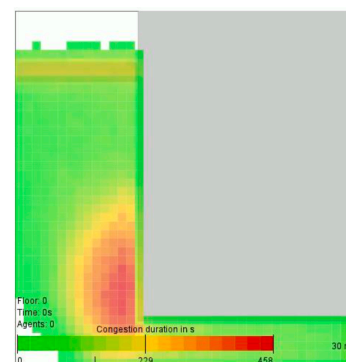
- › Keine Einschränkung der Bewegungsrichtung
- › Der Schritt wird nachgeahmt

Lokomotionsebene

Beispiele für unterschiedliche Ergebnisausprägungen abhängig vom gewählten Modell



Statisches Navigationsfeld: Personen steuern alle auf die selbe Ecke hin

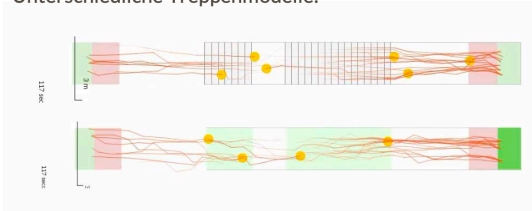


Dynamisches Navigationsfeld: Personen weichen aus, um so schneller um die Ecke zu kommen

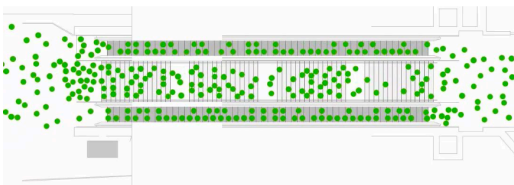
Lokomotionsebene

Spezielle Geometrie

Unterschiedliche Treppenmodelle:



Fahrtreppen



Treppen werden exakt modelliert:

- › Personen gehen gerade
- › Schrittlänge an die Laufbreite angepasst

Treppenmodell mit Skalierungsflächen:

- › Stufen können nicht abgebildet werden, weshalb Personen zick-zack laufen

Agenten bewegen sich nicht selbst sondern werden durch die Fahrtreppen bewegt

Die Lokomotionsebene von crowd:it zusammengefasst

Realitätsnahe Bewegungsabläufe:

zeigt verschiedene Bewegungsmuster (gehen, stehen, laufen), Kollisionsvermeidung, ahmt Schrittgröße und -richtung nach.

Vorteile:

- ✓ Das Schrittverhalten von Personen wird nachgeahmt.
- ✓ Personen werden automatisch verlangsamt, wenn sie den optimalen Schritt nehmen, der nicht immer der größte Schritt sein muss.
- ✓ Ausweichverhalten wird einbezogen (Hindernisse, andere Personen).
- ✓ Personen können ihren nächsten Schritt nur in einem bestimmten Winkel von ihrer Position aus setzen, abhängig von ihrer Gehgeschwindigkeit. Dies verhindert abrupte Richtungsänderungen.

crowd:it besteht aus unterschiedlichen Ebenen



23 accurate – Institute for crowd simulation

Dieses Material ist urheberrechtlich geschützt und darf nicht weiterverwendet werden ohne Einverständnis der Autorin

accurate
Institute for
crowd simulation

Individuelle Eigenschaften können über sog. Personas zusammengefasst und beliebig eingestellt werden



24 accurate – Institute for crowd simulation

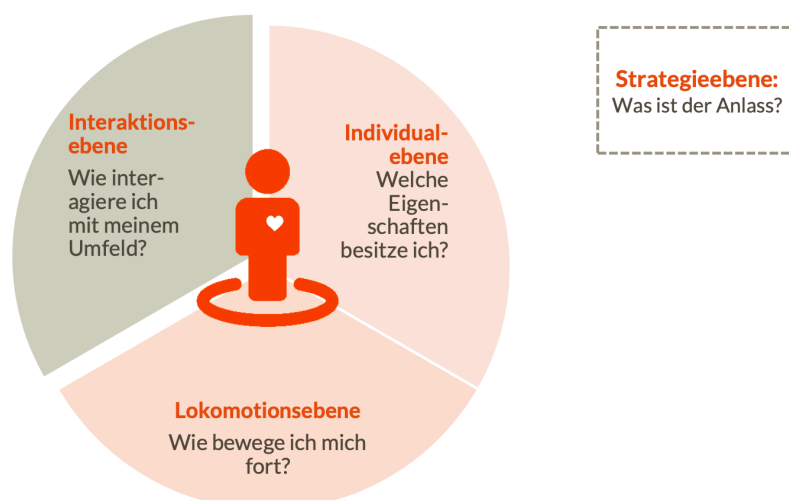
Dieses Material ist urheberrechtlich geschützt und darf nicht weiterverwendet werden ohne Einverständnis der Autorin

accurate
Institute for
crowd simulation

Übersetzen von individuellem Verhalten ins Modell

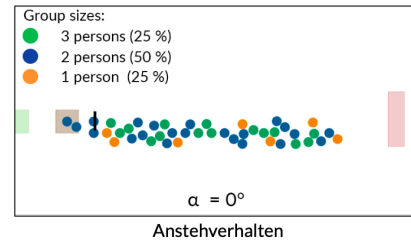


crowd:it besteht aus unterschiedlichen Ebenen

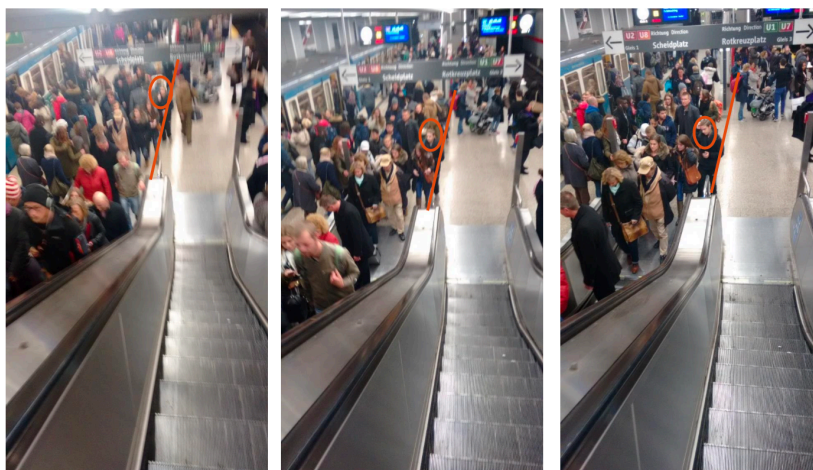


Details zur Interaktionsebene

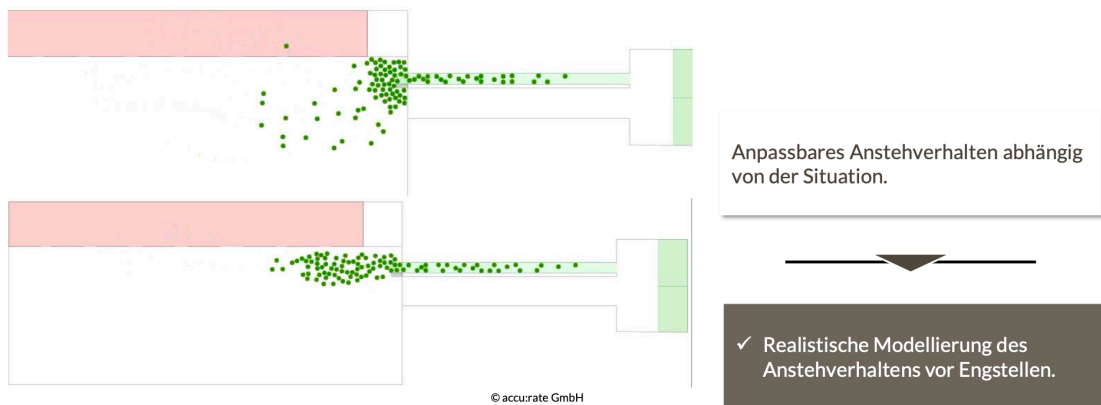
- › Die Interaktionsebene bildet die Interaktion zwischen Agenten auf einer kognitiven Ebene ab
- › Wann immer Agenten miteinander kommunizieren oder koordinieren, muss das modelliert werden:
 - › Anstehverhalten
 - › Gruppen: Großgruppen vs. Kleingruppen
 - › Warten
- › Es werden ebenfalls spezifische Schnittstellen für spezielle Umwelteigenschaften abgebildet, wie bspw.:
 - › Fahrpläne
 - › Abläufe (z.B. Spielzeiten, Sicherheitschecks an Flughäfen, Aufzüge etc.)



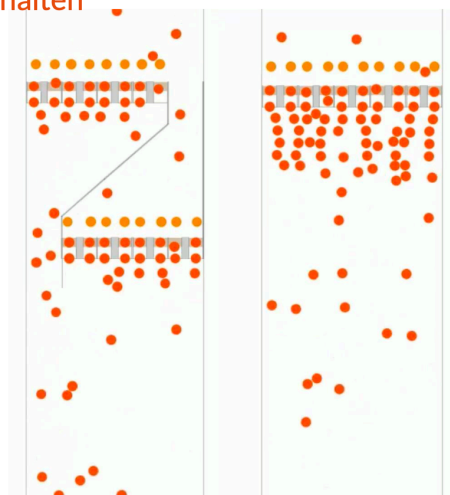
Beispiel: Anstehen vor einer Fahrtreppe



Beispiele für unterschiedliche Ergebnisausprägungen abhängig vom gewählten Modell (Verhaltensebene)

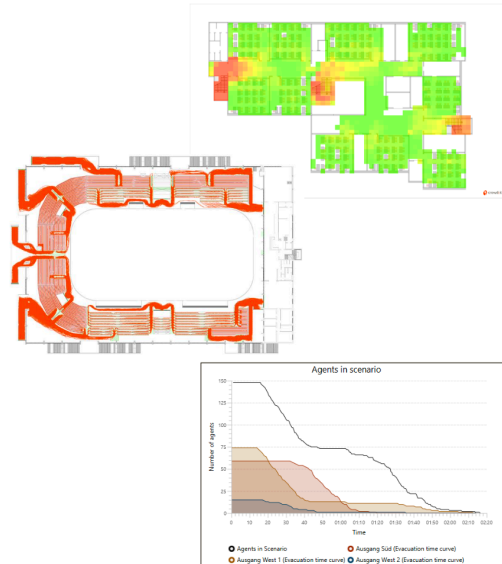


Mikroskopische Modelle - Interaktionsebene: Beispiel für Anstehverhalten



Zusammenfassung

- › Das Optimal Steps Model ermöglicht eine sehr realistische Abbildung von Personen. Auch besondere Elemente wie Treppen oder Fahrtreppen können darüber sehr intuitiv und realitätsnah abgebildet werden
- › Durch die Möglichkeit, Personen sehr individuelle Charaktereigenschaften und Pläne zuzuweisen (sog. Persona-Ansatz) ist von der Ablaufplanung bis zur Entfluchtung alles abbildbar
- › Wir validieren unser Modell laufend anhand der RiMEA Testfälle, Abgleich mit Realdaten sowie Integration aktuellster Forschungsergebnisse durch Kooperation mit Universitäten.
- › Auswertungen der Ergebnisse sind in der Oberfläche integriert und können auf Knopfdruck erstellt werden, um die Ergebnisse schnell und wiederholbar für alle Beteiligten zugänglich zu machen.



Manuel Osburg:

Rekonstruktion eines Brandes in einem Tiefkühlager mit Hilfe des Fire Dynamics Simulator



Rekonstruktion eines Brandes in einem Tiefkühlager mit Hilfe des Fire Dynamics Simulator

16. Treffen der FDS Usergroup
am 3. und 4. November 2022

Manuel Osburg, M.Sc.

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



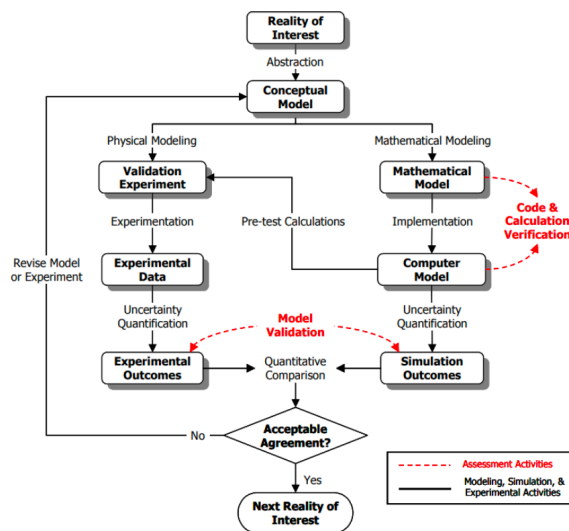
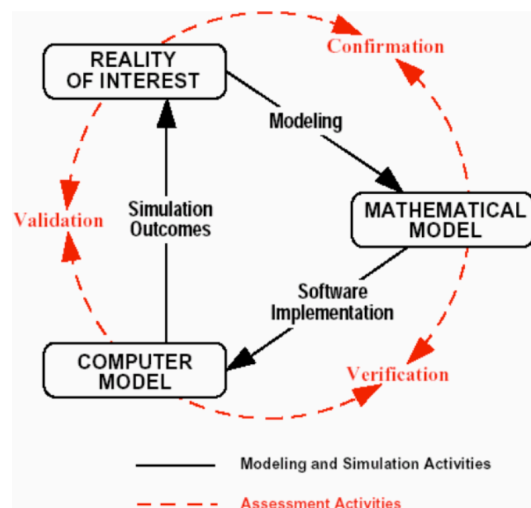
Vorbemerkungen

04.11.2022

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

2

Validation & Verification



Bildquellen: Concepts of Model Verification and Validation
Los Alamos National Laboratory, October 2004

04.11.2022

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

3

Typen von Validierungsberechnungen (ASTM E 1355:2012)



Blind Calculation

- Der Modellbenutzer erhält eine grundlegende (nicht exakte) Beschreibung des zu modellierenden Szenarios; er ist verantwortlich für die Entwicklung geeigneter Modelleingaben aus der Problembeschreibung.



Specified Calculation

- Der Modellbenutzer erhält eine vollständige und detaillierte Beschreibung der Modelleingaben, einschließlich Geometrie, Materialeigenschaften und Brandbeschreibung.



Open Calculation (z. B. FDS Validation Guide)

- Dem Modellbenutzer werden die vollständigsten Informationen über das Szenario zur Verfügung gestellt, einschließlich der Geometrie, der Materialeigenschaften, der Beschreibung des Brandes und der Ergebnisse von experimentellen Tests.

04.11.2022

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

4

Rekonstruktion tatsächlicher Brände



Laut ASTM E 1355 kann ein Modell durch den Vergleich mit „dokumentierter Branderfahrung“ bewertet werden, die Folgendes umfasst:

- Augenzeugenberichte von realen Bränden,
- bekanntes Verhalten von Materialien bei Bränden (z.B. Schmelztemperaturen von Materialien) und
- beobachtete Bedingungen nach dem Brand, wie z. B. das Ausmaß der Brandausbreitung.

Häufig wird der Begriff „Rekonstruktion“ verwendet, da das Modell dazu dient, die Ereignisse auf der Grundlage der während und nach dem Brand gesammelten „Beweise“ zu rekonstruieren.

Beispiele (Brandrekonstruktionen beim NIST):

- McGrattan, et al. simulated the fires within the World Trade Center towers and Building 7 on September 11, 2001
- Grosshandler et al. investigated the fire that occurred at the Station Nightclub in Rhode Island in February, 2003
- Madrzykowski and Vettori examined a fire in a townhouse in Washington, D.C., where **two fire fighters were killed** and one severely injured in 1999
- Vettori, Madrzykowski, and Walton simulated a fire in a Houston restaurant that **killed two fire fighters** in 2000
- Madrzykowski, Forney and Walton simulated a fire that **killed three children and three fire fighters** in a two story duplex house in Iowa in 1999
- Madrzykowski and Walton investigated the fire in the Cook County (Chicago) Administration Building in October, 2003, that **killed six people** trapped in a stairwell
- Bryner et al. simulated a fire in a large furniture store that occurred in June, 2007, **killing nine fire fighters**

04.11.2022

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

5

Rekonstruktion eines Brandes

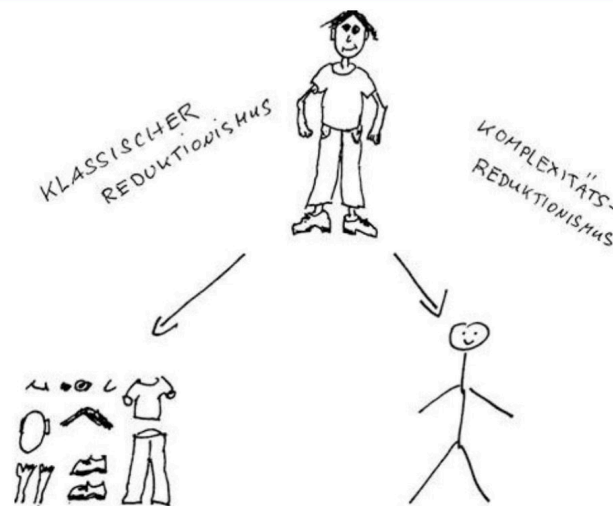


04.11.2022

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

6

Der Brand als komplexes System



Dirk Brockmann: Im Wald vor lauter Bäumen:
Unsere komplexe Welt besser verstehen (2021)

04.11.2022

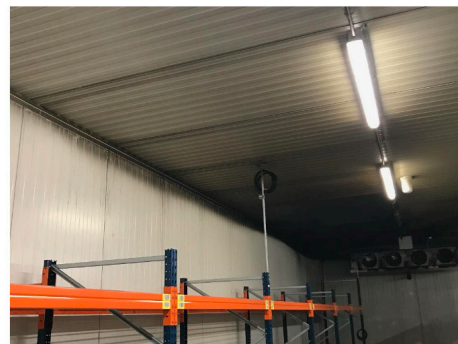
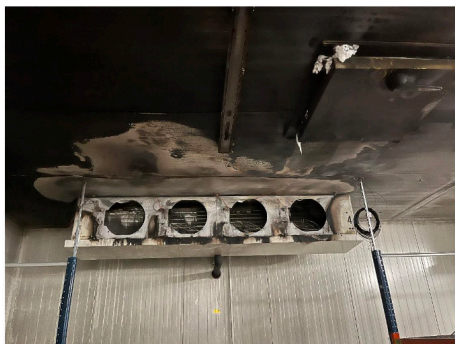
www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

7

Ausgangssituation



- Brandausbreitung blieb auf die Brandausbruchsstelle (Kühlaggregat) begrenzt
- Thermisch bedingte Beschädigungen im unmittelbaren Umfeld des lokalen Brandes
- Fragestellung: Welchen Temperaturen waren die gelagerten Produkte ausgesetzt?



04.11.2022

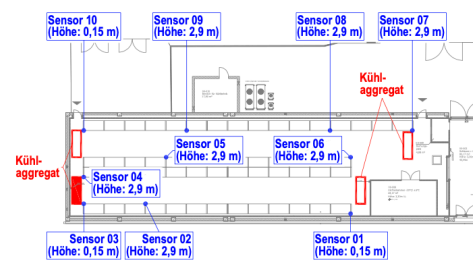
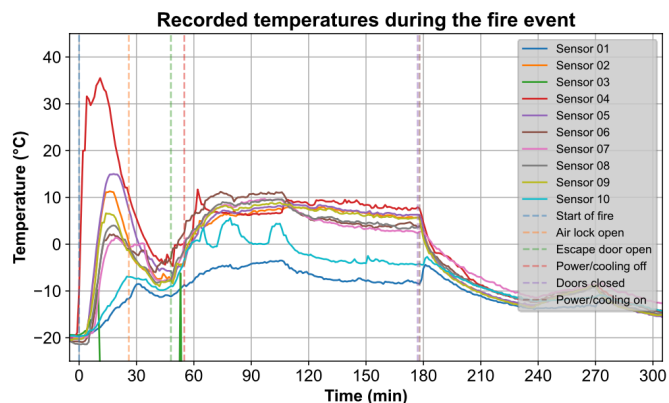
www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

8

Ausgangssituation



- Kontinuierliche Temperaturaufzeichnungen lassen bereits Rückschlüsse auf die globalen Brandeinwirkungen innerhalb des Tiefkühlagers zu.



*Hinweis: Ausfall des Sensors 3 während des Brandes.

04.11.2022

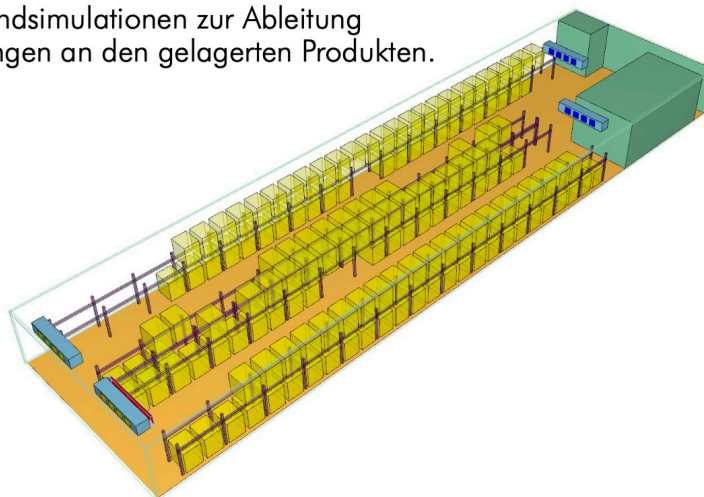
www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

9

Methodik und Vorgehensweise



- Durchführung von Brandsimulationen zur Ableitung lokaler Brandeinwirkungen an den gelagerten Produkten.

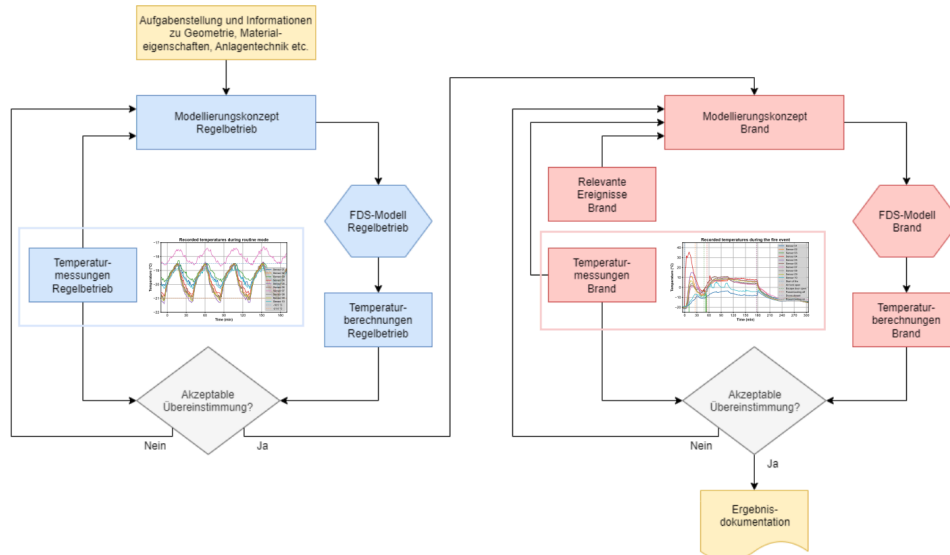


04.11.2022

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

10

Methodik und Vorgehensweise



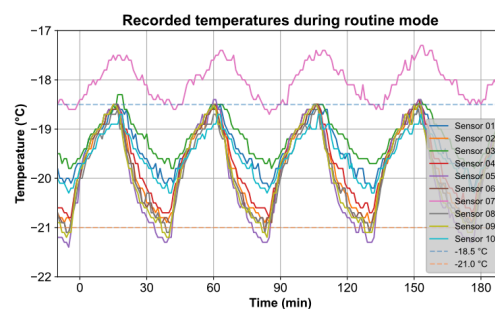
04.11.2022

11

Identifizierung der Wärmequellen und -senken



- Der Temperaturverlauf während des Routinebetriebs ist gekennzeichnet durch
 - Aufwärmphasen (verursacht durch Wärmequellen während deaktivierter Kühlung) und
 - Abkühlphasen (verursacht durch Wärmesenken während aktivierter Kühlung)
 in Form periodischer Schwingungen.
- Der Mittelwert liegt bei $\vartheta \approx -20\text{ °C}$.
- Die Temperaturen schwanken überwiegend zwischen -21 °C und $-18,5\text{ °C}$.
- Die Periodendauer beträgt ca. 45 Minuten.
- Die nachfolgenden Folien beinhalten bereits die Simulationsparameter, welche im Ergebnis der Iterationen hergeleitet wurden.



04.11.2022

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

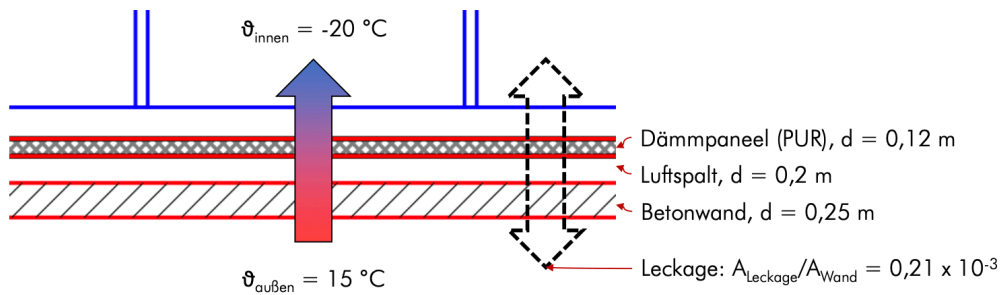
12

Identifizierung der Wärmequellen und -senken



Umfassungsbauteile als Wärmequellen:

Wand- und Deckenaufbau:



Fußboden: Annahme einer konstanten Oberflächentemperatur (Fußbodenheizung): $\vartheta_{\text{Fußboden}} = -16,5\text{ °C}$

04.11.2022

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

13

Identifizierung der Wärmequellen und -senken



Kühlaggregate als Wärmesenke:

- Volumenstrom je Ventilator: $2.400\text{ m}^3/\text{h}$
- Wärmeaustauschrate: $0,6\text{ kW}$
- Aktivierung bei $\vartheta = -18,5\text{ °C}$ | Deaktivierung bei $\vartheta = -21\text{ °C}$

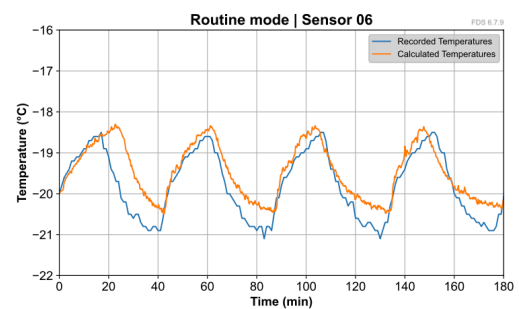
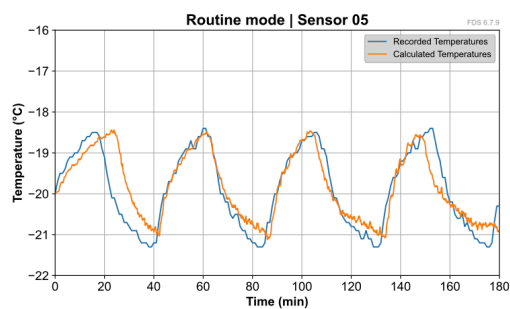
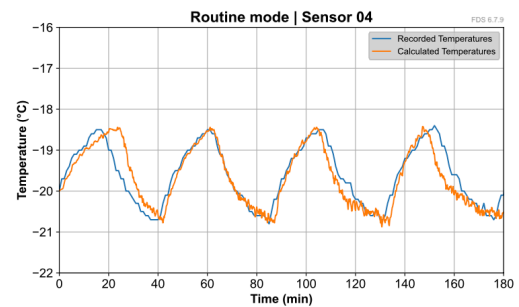
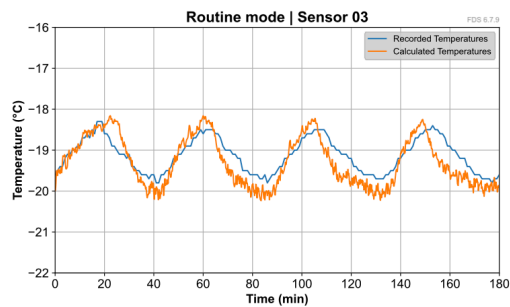
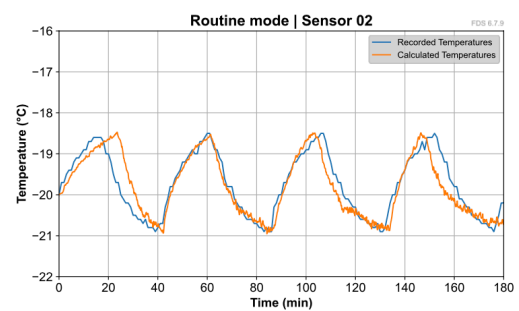
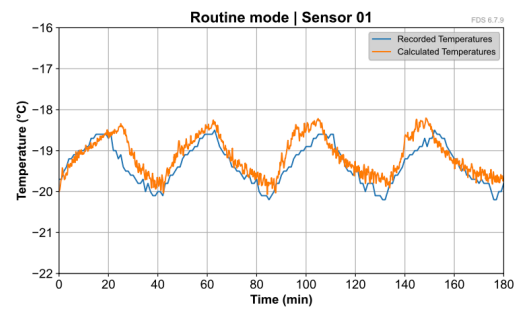
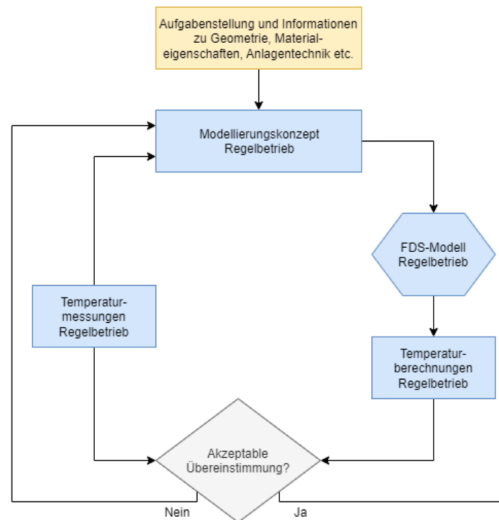


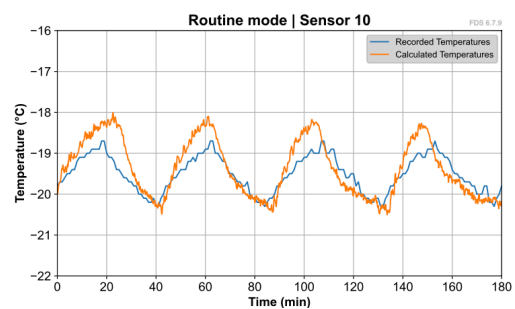
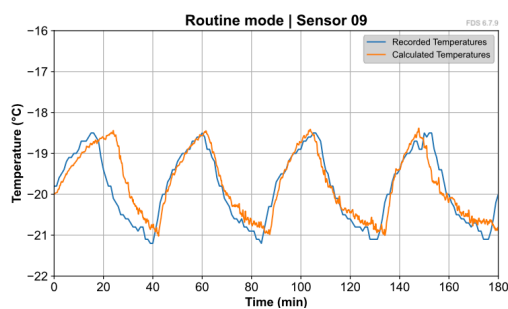
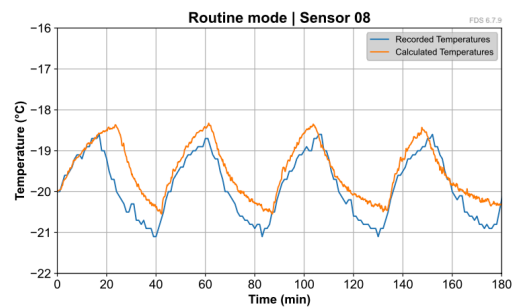
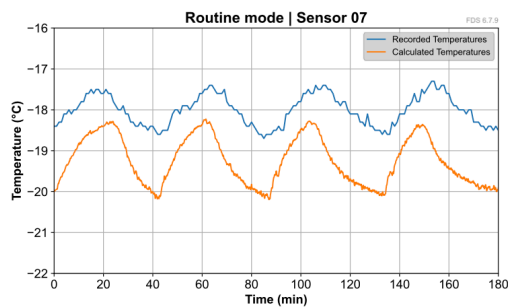
19.09.2022

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

14

Ergebnisse Regelbetrieb

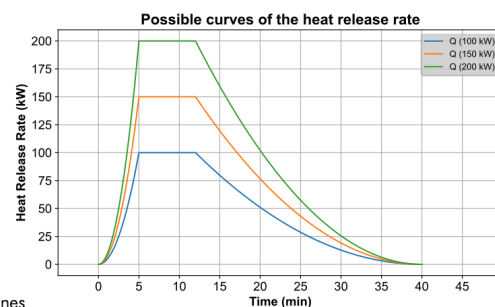
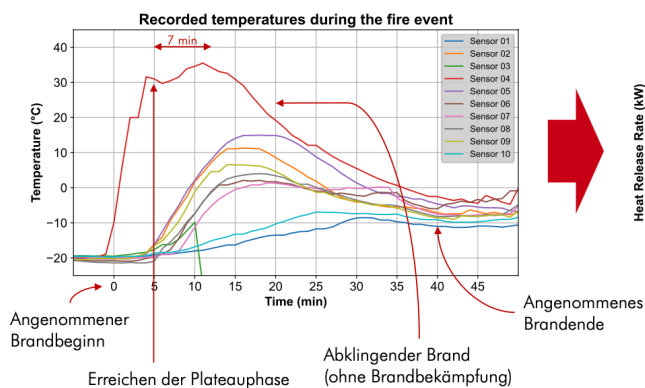




Herleitung des Brandverlaufs

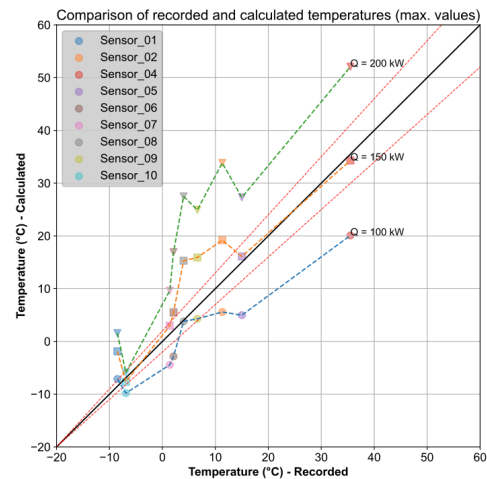
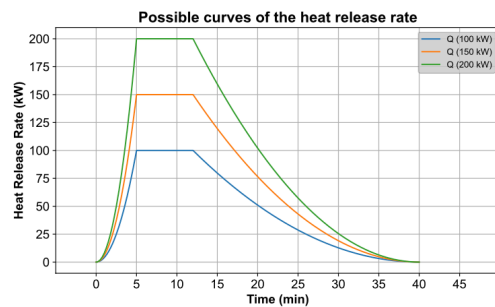


- Theoretische Herleitung eines idealisierten Verlaufs der Wärmefreisetzung anhand des Abgleichs mit den Temperaturaufzeichnungen für den Brandfall
- Iteration für verschiedene Werte für die Wärmefreisetzungsrate ($Q = 100 \dots 500 \text{ kW}$)



Brandlast entstammt nur den brennbaren Bestandteilen des Kühlaggregats. Das Kältemittel R449A ist nicht brennbar.

Herleitung des Brandverlaufs



04.11.2022

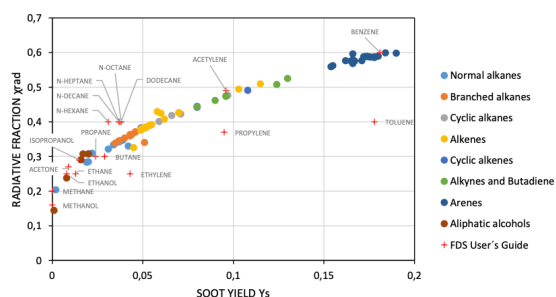
www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

19

Herleitung des Brandverlaufs



- Verwendung „Simple Pyrolysis Model“ und „Single-Step, Mixing-Controlled Combustion“
- Berücksichtigung der Vollständigkeit der Verbrennung (→ Strahlungsanteil) und dessen Einfluss auf die Temperaturentwicklung:

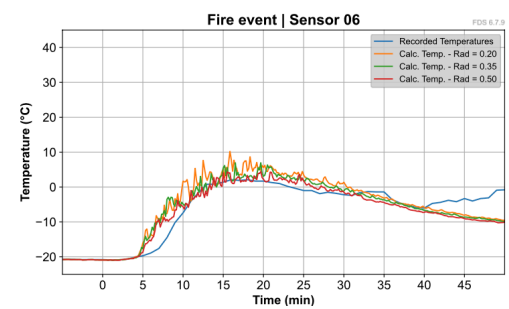
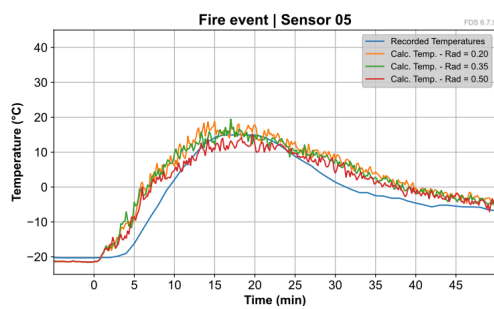
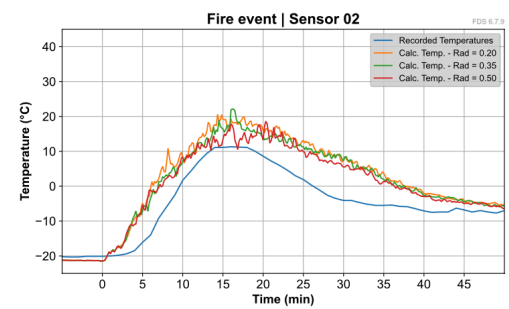
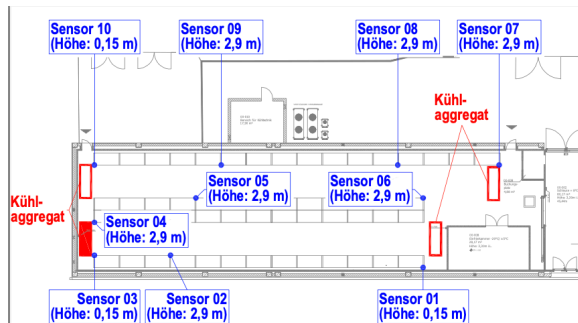
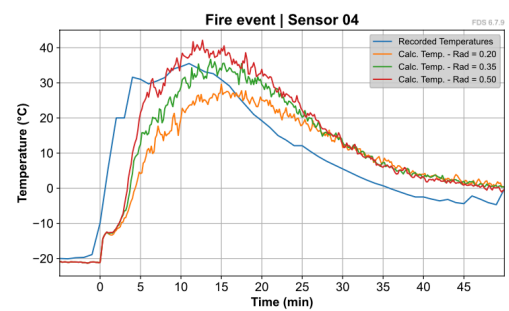
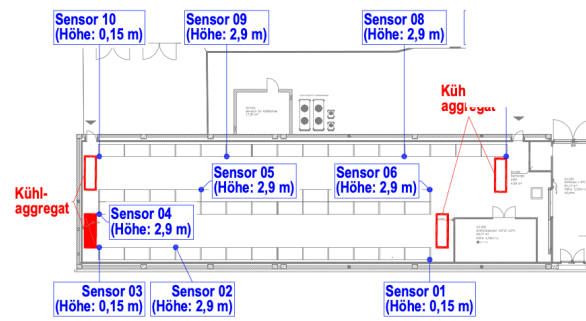
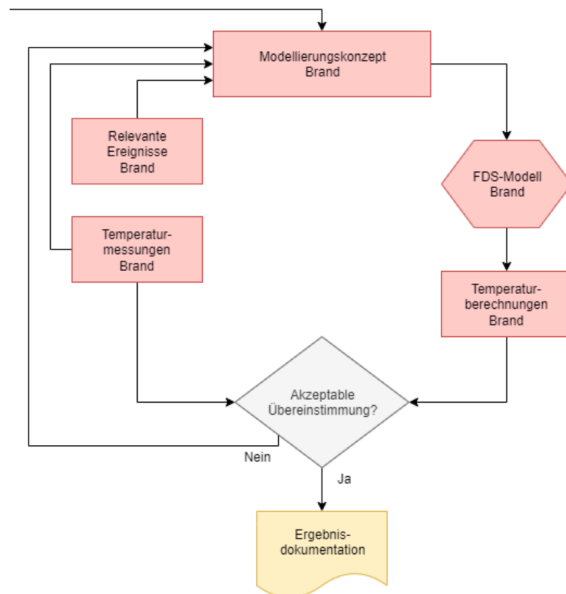


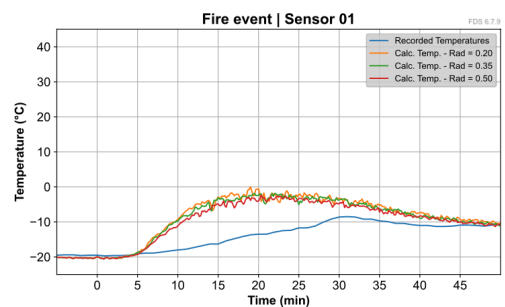
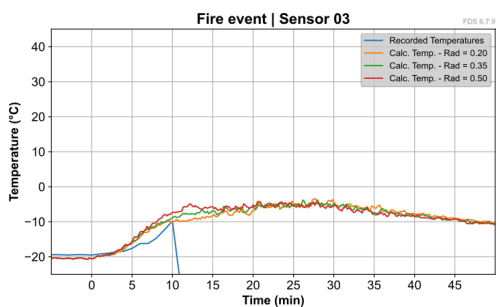
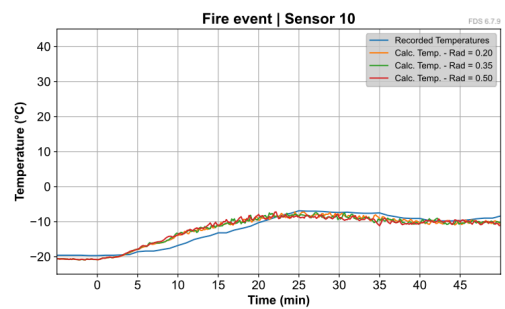
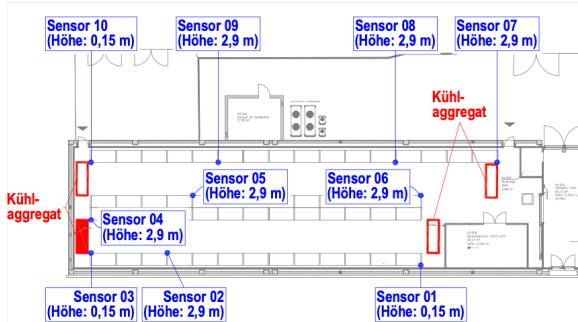
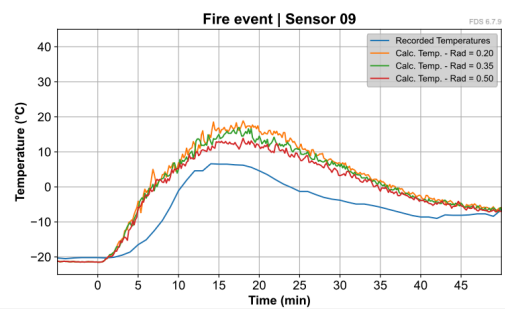
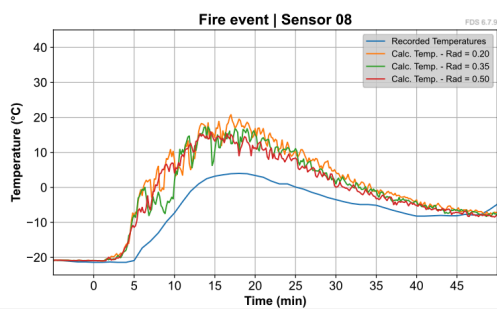
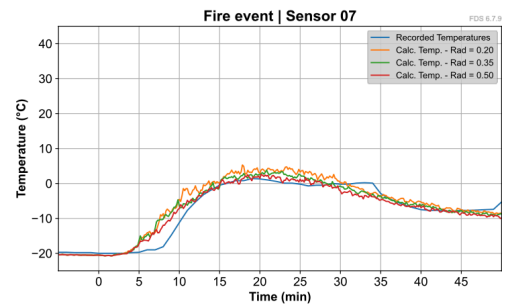
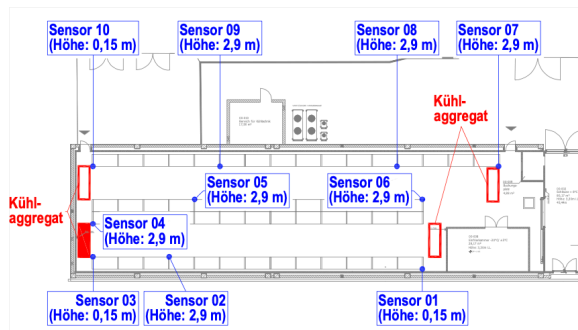
Variante	Strahlungsanteil X_r
A	0,20
B	0,35
C	0,50

04.11.2022

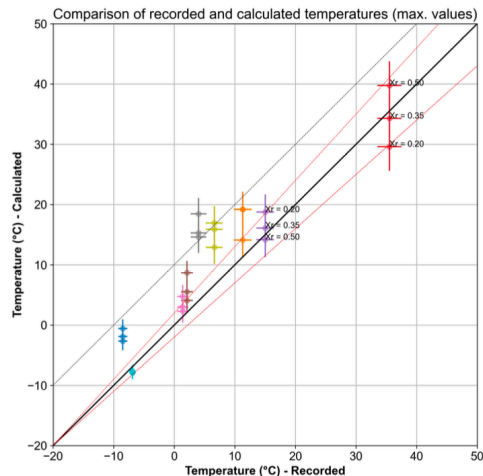
www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

20





Ergebnisse Brandsimulationen



- Fehlerbalken vertikal: $\pm 10\%$
- Fehlerbalken horizontal: $\pm 5\%$
- Insgesamt zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Temperaturen.
- Berechnete Temperaturen liegen überwiegend „auf der sicheren Seite“, im „+10-Kelvin-Korridor“.
- Der Strahlungsanteil hat einen signifikanten Effekt auf die Maximaltemperaturen.

04.11.2022

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

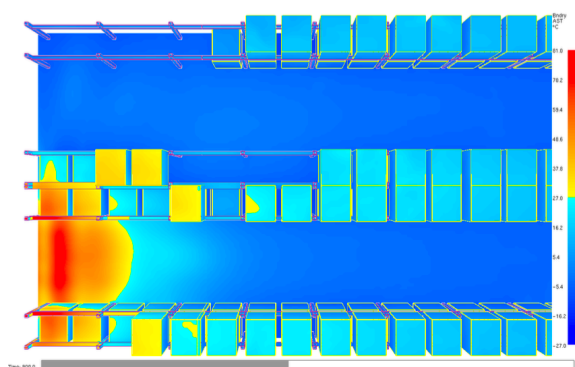
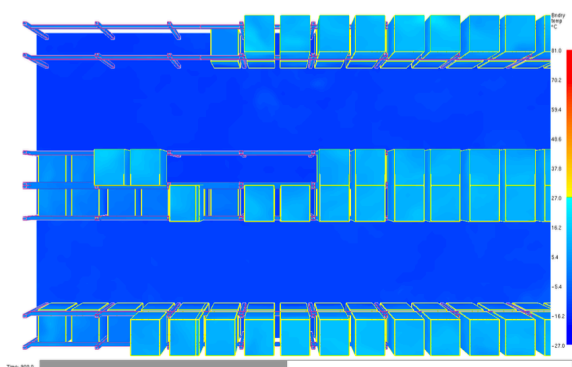
25

Ergebnisse Brandsimulationen



„TEMPERATURE“

„ADIABATIC SURFACE TEMPERATURE“

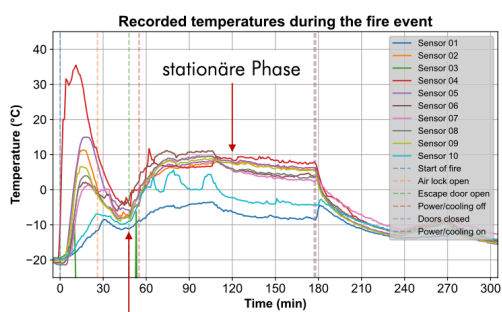


04.11.2022

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

26

Simulation des Luftwechsels aufgrund geöffneter Türen bei deaktivierter Kühlung (> 45 Minuten)



Erneuter Temperaturanstieg als Ergebnis geöffneter Türen und deaktivierter Kühlung.

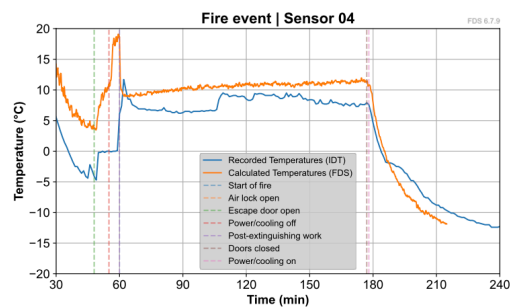
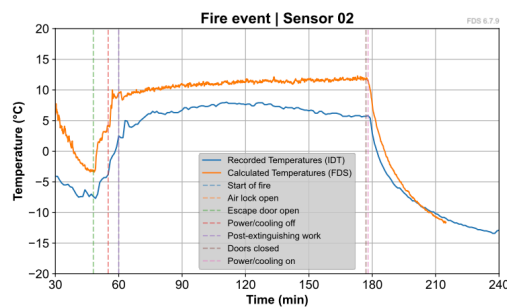
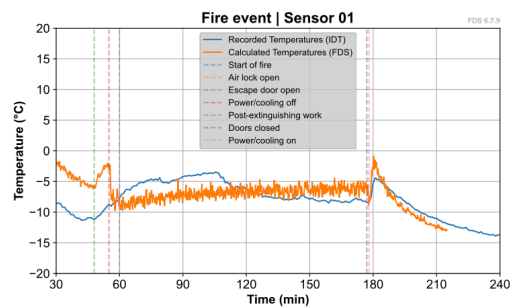
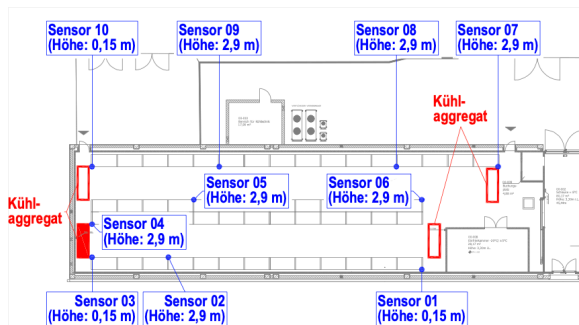
Zusammenfassung relevanter Ereignisse:

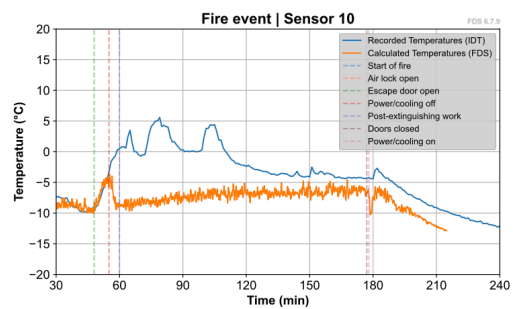
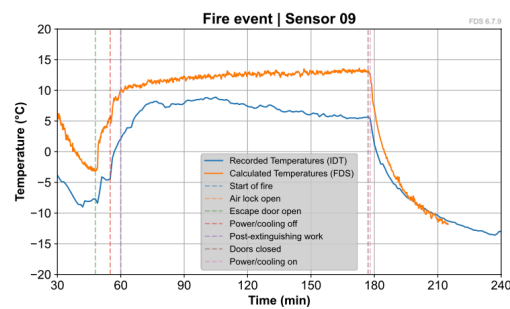
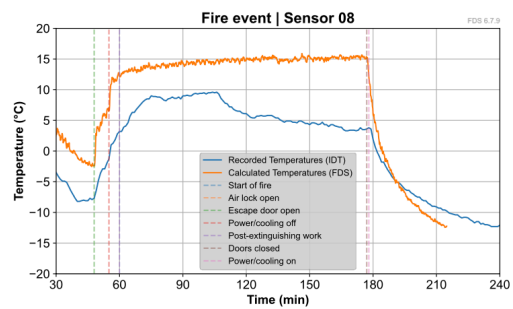
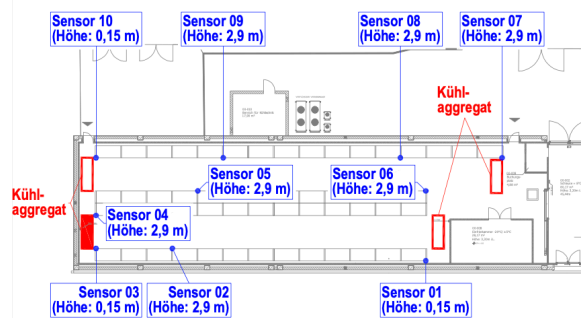
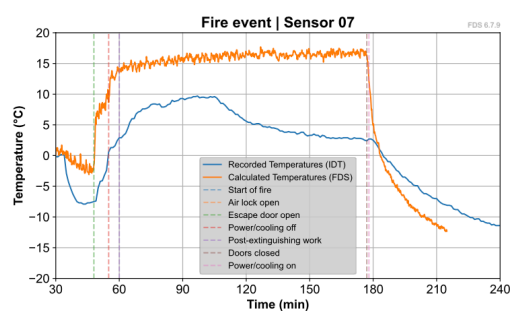
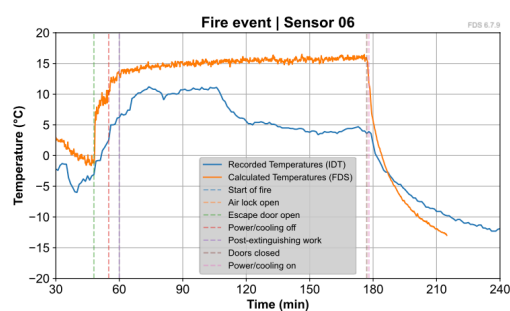
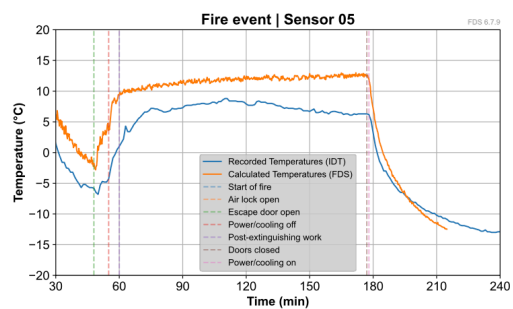
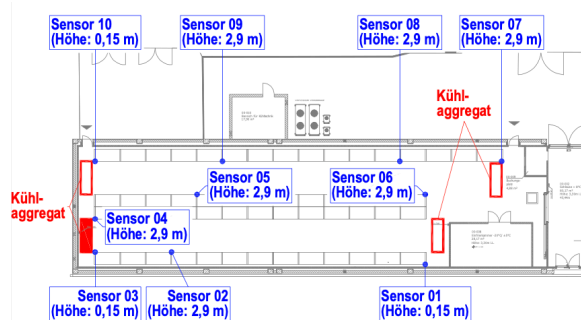
Zeit (absolut)	Zeit (relativ)	Ereignis
15:42	0 min	Brandbeginn
16:08	26 min	Geöffnete Schleuse
16:22	40 min	Feuer aus
16:30	48 min	Geöffneter Notausgang
16:37	55 min	Strom/Kühlung aus
16:42	60 min	Nachlöscharbeiten
18:39	177 min	Türen geschlossen
18:40	178 min	Strom/Kühlung an

04.11.2022

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

27







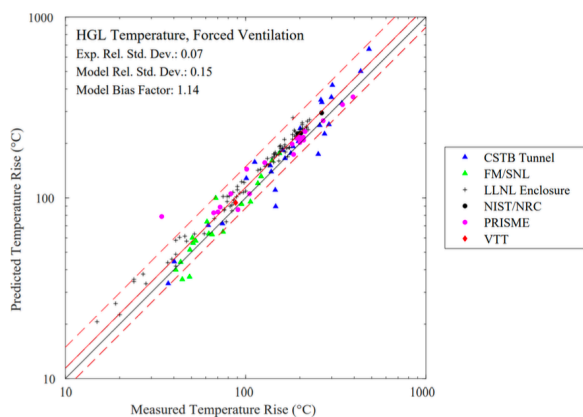
Quantifizierung der Unsicherheiten

04.11.2022

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

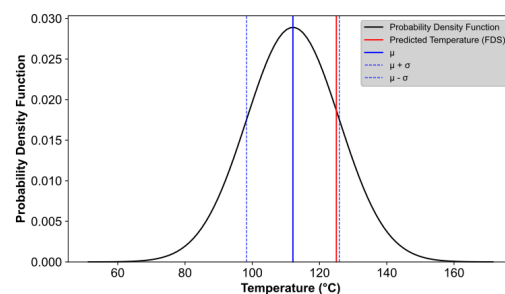
31

Quantifizierung der Unsicherheiten (FDS Validation Guide)



$$\mu = 20 + \frac{M}{\delta} = 20 + \frac{125 - 20}{1,14} = 112 \text{ °C}$$

$$\sigma = \tilde{\sigma}_M \cdot \frac{M}{\delta} = 0,15 \cdot \frac{125 - 20}{1,14} = 13,8 \text{ °C}$$



04.11.2022

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

32

Quantifizierung der Unsicherheiten (FDS Validation Guide)



Ermittelte Temperatur: $T = 27\text{ °C}$

Kritische Temperatur: $T_c = 27\text{ °C}$

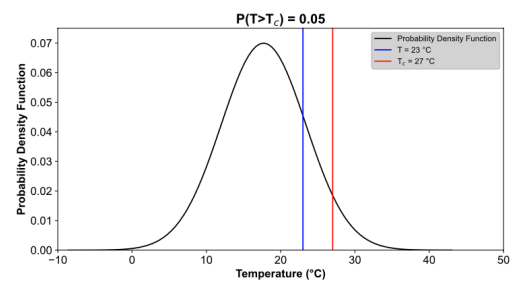
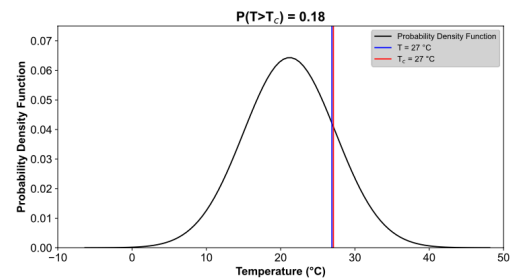
$$\mu = -20 + \frac{M}{\delta} = -20 + \frac{27 - (-20)}{1,14} = 21,2\text{ °C}$$

$$\sigma = \tilde{\sigma}_M \cdot \frac{M}{\delta} = 0,15 \cdot \frac{27 - (-20)}{1,14} = 6,2\text{ °C}$$

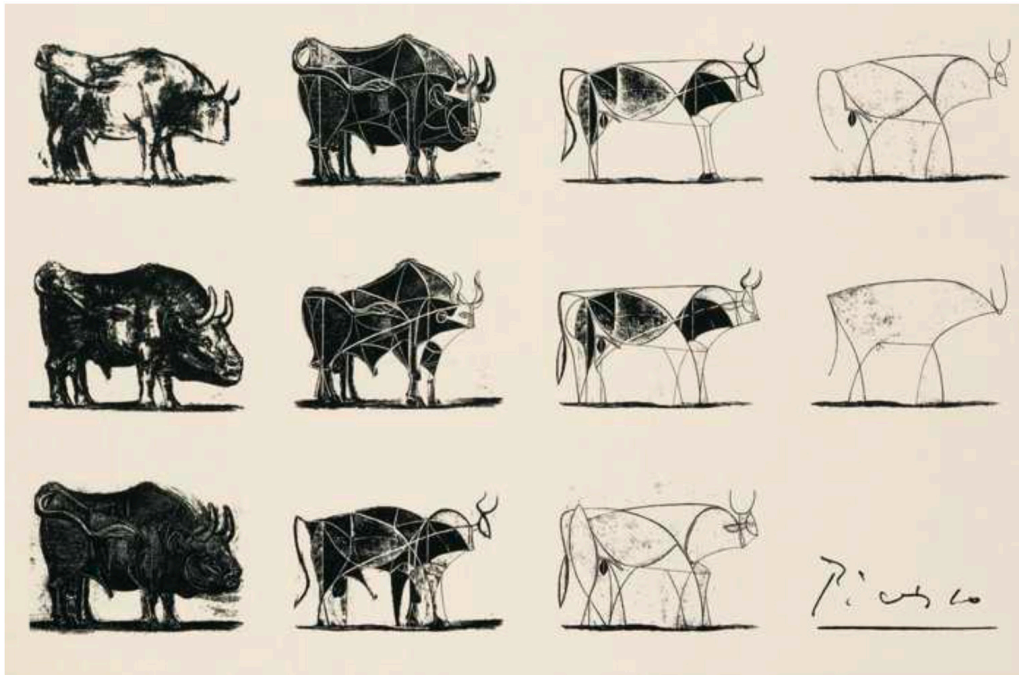
$$P(T > T_c) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{T_c - \mu}{\sigma \sqrt{2}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{27 - 21,2}{6,2 \cdot \sqrt{2}} \right) \approx 0,18$$

$$P(T > T_c) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{T_c - \mu}{\sigma \sqrt{2}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{23 - 17,7}{5,7 \cdot \sqrt{2}} \right) \approx 0,05$$

→ entspricht $T \approx 23\text{ °C}$



Schlussbemerkungen



Bull Study by Pablo Picasso (1946)

Frank Markert:

Modellierung von der Brandausbreitung in Parkhäusern

Abstract:

Brände in Parkhäusern sollten laut den internationalen Richtlinien auf wenige gleichzeitig brennende Fahrzeuge begrenzt sein. Leider sieht man häufiger Großbrände, die sehr viele Fahrzeuge zerstören. Beispiele hierfür sind die Brände in den Park-häusern der Liverpool Echo Arena in England 2018 mit 1400 geschädigten Fahrzeugen und des Stavanger Airport Sola in Norwegen 2020 mit 300 geschädigten Fahrzeugen. Um die Sicherheit dieser Anlagen besser bewerten zu können wird mit Hilfe von FDS die Brandausbreitung simuliert. Dazu wurden mehrere Fahrzeuge mit steigender Komplexität modelliert. Diese repräsentieren auch Autos mit Batterie - elektrischen sowie Wasserstoff/Feststoffzellen- elektrischen Antrieben. Der Stand dieser Simulationen mit den diesbezüglichen Validierungen sowie ausgewählte Ergebnisse werden in diesem Vortrag vorgestellt.



Frank Markert - DTU Construct
Email: fram@dtu.dk

Modellierung von der Brandausbreitung in Parkhäusern

Berlin, 03 – 04. November 2022 DTU Construct Frank Markert (fram@dtu.dk) 16. Treffen der FDS User Groups 1



Modellierung von der Brandausbreitung in Parkhäusern

16. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

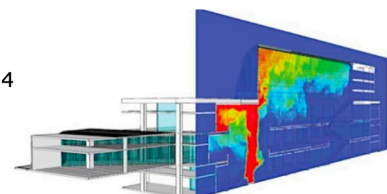
Zeit:

Donnerstag, 3. November 2022, 11:00 Uhr bis

Freitag, 4. November 2022, 16:00 Uhr (MEZ)

Gastgeber:

hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH, Otto Ostrowski Str. 5, 1024





Acknowledgements

Die gezeigten Modelle sind das Ergebnis von verschiedenen Bachelor, Master und PhD Projekten.

Herzlichen Dank für den guten Einsatz:

Pascal Q. Christiansen, Daniel G.J.C. Eriksen, Wenqian Liu, Albert Perez, Albert Prous, Francesc Gerard Riba Clascà, Bjarne Mikalsen, Denice Søgaard, Henrik Tang Lauridsen, Bo Sommer Nielsen. Sowie prof. Luisa Giuliani.

Ein Teil der Forschung ist über das **HyTunnel CS** Projekt finanziert (Periode: 03/2019 - 07/2022).

Das HyTunnel CS Projekt

(Pre-normative Forschung zur Sicherheit von Wasserstofffahrzeugen in Tunnelanlagen und begrenzten Räumen), untersuchte u.a. das Brand- und Explosionsrisiko von Wasserstoffautos in Tunnelanlagen und unterirdischen Parkanlagen. Die Forschung beinhaltet Experimente, analytische und numerische Berechnungen



Acknowledgements

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826193. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.



Hintergrund der Forschung

Das theoretische Wissen über ein sicheres Design von Parkanlagen bei Fahrzeugbränden ist relativ alt (Ende '90er-Anfang '00er)

- Moderne nachhaltige Fahrzeuge haben einerseits einen grösseren Anteil von brennbaren Leichtbauteilen.
- Andererseits sind neue Antriebe mit neuen gasförmigen und flüssigen Treibstoffen sowie elektrischen Batterien in der Entwicklung und z.T. schon im Einsatz.
- Auch die Bauweise von Parkanlagen hat sich geändert in Richtung einer grösseren Brandanfälligkeit, z.B. durch nicht isolierter Stahlbauweise.

Diese kombinierten Tendenzen könnten zusammen zu grösseren Brandschäden führen.



Resistance classes für Parkhäuser in Europa

(Pustorino et al., 2006)

	B	CH	D	F	I	L	NL	FIN	E	UK
Closed	120	60	90	30-90	90	60	-	60	90	120
Open	60	0	0	30-90	90	90	60	60	90	15*

*Side open car park less than 30 m high (Approved Document B, 2006)

Anwendung von nicht isoliertem Stahl ist möglich!



Calorimetric hood

HRR peak nach 10 min

HRR > 7.5 MW (Shipp&al., 1995)

Moderne Autos haben höheren Brennwert



Grossskala Versuche von CTICM

In Offenen und geschlossenen Parkhäusern:

Max. 3-4 Autos Brennen gleichzeitig

12 min Fire spread zu Nachbarauto

(Joyeux et al., 2002)



Historische Brände in Parkhäusern

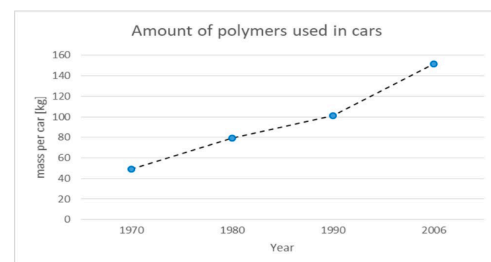
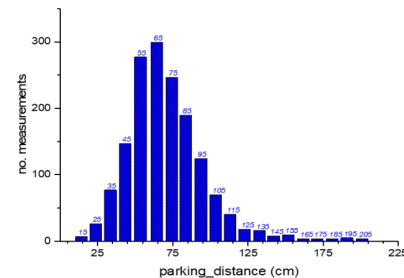
Beispiele

Datum	Ort	Geschädigte Fahrzeuge	
09/2001	Fasanvænget Kokkedal, DK	30	Liverpool Echo Arena - 7-story car park one Land Rover bursted in flame
10/2002	Schipol Airport Fire, NL	52	
08/2010	Stansted Airport, UK	24	
10/2013	Sidney Olympic Park fire, AU	80	
04/2014	Edinburgh Parking Facility, UK	21	
01/2018	Liverpool Echo Arena, UK	1400	
01/2020	Stavanger Airport Sola, NO	300	



Einflüsse zur Brandausbreitung

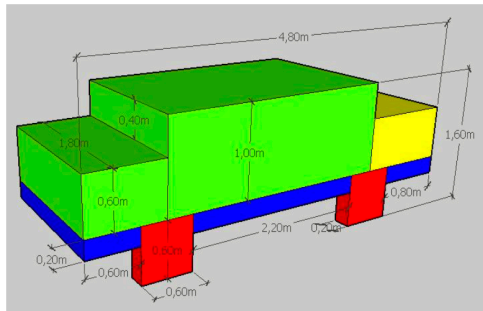
- Abstand der Fahrzeuge
- Layout des Parkplatzes
- Thermal feedback von Geschossdecke lightweight
- Leichtbau moderner Autos
- Nachhaltige Treibstoffe (hydrogen, electric, batteries, etc.)
 - Wie ist der Einfluss bei HFC's?
 - Wie ist der Einfluss bei Batteriebränden?



Entwicklung von Automodellen in FDS



Car model (simple)



Comparable with:

- Toyota Avensis, Toyota Mirai, ...

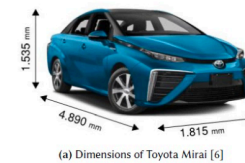
Car dimensions:

- Length: 4,8m
- Width: 1,8m
- Height: 1,6m

car model is inspired by some former work by Noordijk and Lemaire [24]

Simple car model used in FDS

- 1) Rubber For the tires (**Red**)
- 2) Polyurethane foam (PU) For seats in the middle, and back part of the car (**Green**)
- 3) Polyvinyl chloride (PVC) For the plastic parts in the middle and back part of the car (**Green**)
- 4) Polypropylene (PP) For the engine cover in the front part of the car (**Yellow**)
- 5) Polycarbonate (PC) For the bumpers (**Blue**)



Materialeigenschaften

Parameters	Unit	Rubber	PU	PVC	PP	PC	Ref.
k	W/(m K)	0.13	0.03	0.19	0.15	0.19	[25]
C	kJ/ kg K	2.01	1.8	1.0	1.92	1.2	[25]
ρ	Kg/m ³	1100	30	1390	900	1200	[25]
Hc	kJ/kg	32600	19800	20000	46000	31000	[26] [27]
T_{ig}	°C	289	205	238	211	450	[28] [29]
HRRPUA_{peak}	kW/m ²	538.76	296	183	1170	429	[30] [31]
Q_{total}	MJ/m ²	216.18	128	90.8	231.3	120	[30] [31]
h	m	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	
m_{total}	kg	77.44	14.43	668.92	147.53	441.60	

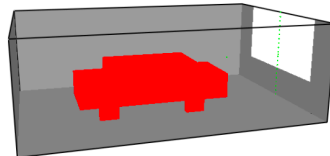


Scenario 1

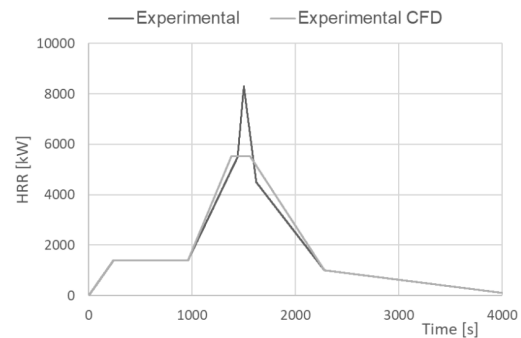
1. Scenario: REFERENCE - one car in a simple room.

Fire starts in the back right tire and spreads to the whole car.

Used to calibrate the car model against experimental HRR curve.



Calibration curve:
Experimental curve
by EU Guideline 1997

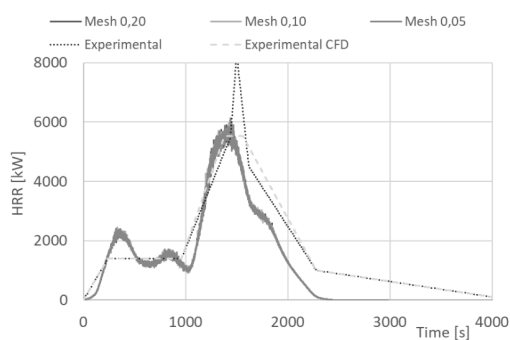


Scenario 1

REFERENCE - one car in a simple room: Fire starts in the back right tire and spreads to the whole car. Used to calibrate the car model against experimental HRR curve.

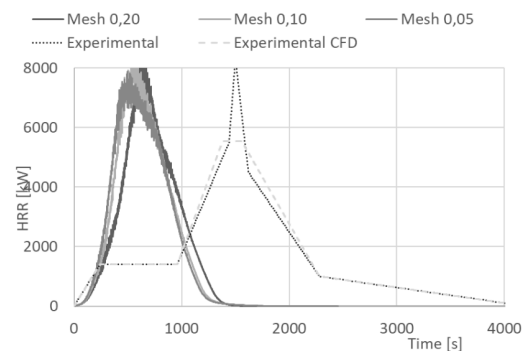
METHOD A: controlled ignition

- ignition time of car parts calibrated to fit the standard curve



METHOD B: free spread

- based on ignition temperature

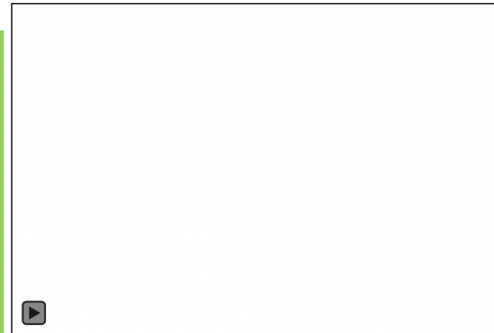




Scenario 2 (Fire spread to second car)

Das Brandverhalten von einem Auto konnte zufriedenstellend simuliert werden. Auch die Ausbreitung hin zu einem weiteren Fahrzeug. Das Brandverhalten war aber zu schnell.

Entwicklung von einem detaillierten Model das u.a. auch pyrolyse Prozesse berücksichtigt .
→ Einfluss der wachsenden Raumtemperatur



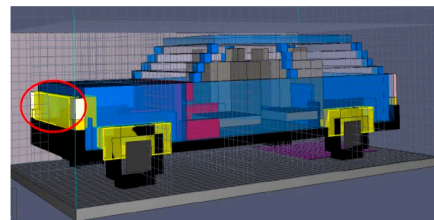
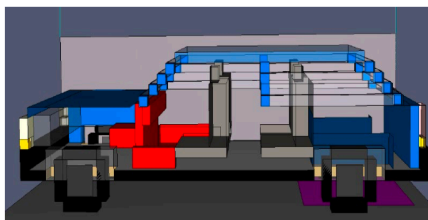
Car 1 model: METHOD A

Car 2 model: METHOD B

Ignition of car 2 after 8 min



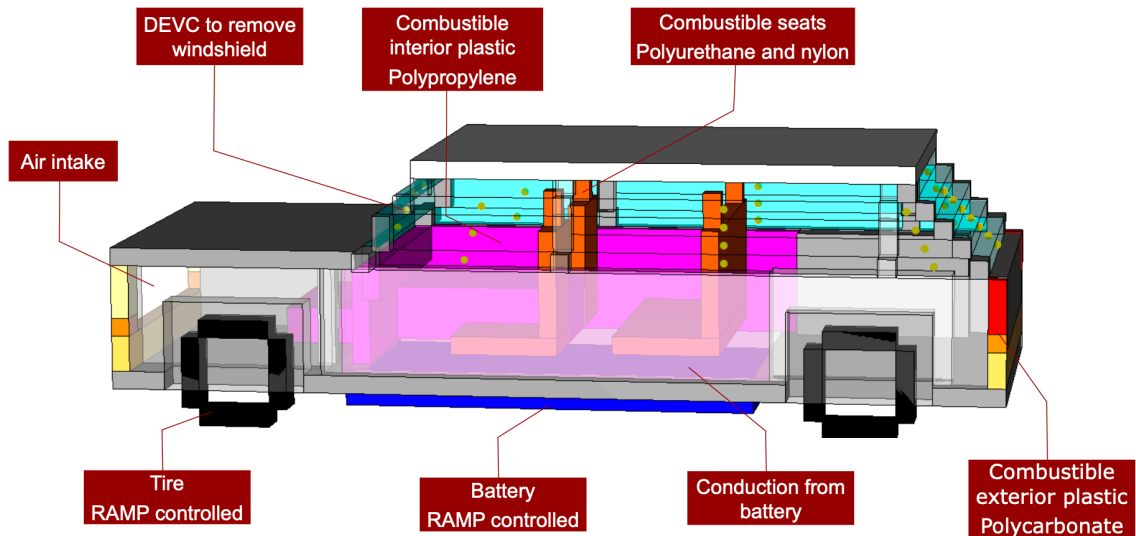
Advanced car model



Material	Density [kg/m ³]	Heat capacity [kJ/(kg K)]	Thermal conduction [W/(m K)]
Steel	7850	0.46	45.8
Rubber	650	2.01	0.13
Aluminium	2710	0.91	205
Glass	2500	0.8	0.8
Foam	65	1.0	0.05
Fabric	100	1.0	0.1
Air (Cavity)	100	1.0	0.1
Polypropylene (PP)	910	1.7	0.22



Schema eines Auto mit Batterieelektrischem Antrieb



Berlin, 03 – 04. November 2022 DTU Construct Frank Markert (fram@dtu.dk)

16. Treffen der FDS User Groups 15



CAR INPUT Excel sheet

- Multiple vehicles (repetitive work)
 - Varying dimensions
 - Varying positions
- Multiple combustible materials
 - Multiple **&REAC** vs. surrogate fuel
- Ignition of combustible materials
- Pre-defined fuel loads
 - Mass of combustible materials
 - Mass of fuel (gasoline or battery)

Overall geometry

Property	Car type	EV, L, TESLA MODEL S	UPDATE VALUES	Remarks:
HEIGHT (EXCL. CLEARANCE)	[m]	1,3	Limitations	Determines the overall height of the car by raising the roof and expanding the pillars and glass.
Width	2	Min: 1.6		Determines the width of the car. Be aware that this changes the surface area of burnable material in the car, which is compensated by the bulk density.
Length	5	Min: 4		Determines the length of the car by prolonging or shorten the trunk.
Tire diameter	0,6	Range: 0.4 - (0.6)		Changes the tire diameter and wheel well. If greater than 0.6, door height must be changed to.
Tire thickness	0,2			-
Tire wall height	0,1			-
Door Height	0,6			Height of doors. Doors are lateral fixpoints for most compon
Clearance	0,2			Chassis clearance from ground
Distance: Front-Engine_PP	0,9			
Distance: Front-wheel center	0,7			

Car orientation

x	0,1			
y	0,2	Components of origo		Car origo must be used to place the vehicle in regards of global coordinates and origo. Car origo is at front-left headlight.
z	0	(arcDEG)		Revolves around the z-axis.
Rotation angle	0			
Ignition	No ignition source			

Essential properties

Property	Magnitude	Unit	
Burning surface area of all tires	2,88	(m ²)	
Max HRR from all tires	400	(kW)	
Burning surface area of a single	0,72	(m ²)	
Burning battery surface area	4,46	(m ²)	
Peak HRR from battery	3817,3	(kW)	
Energy of battery	100	(kJ)	
Gasoline spill fire area	3	(m ²)	
Peak HRR from gasoline spill fire	1444	(kW)	
Gasoline spill fire volume	100	(l)	
Total amount of plastics	295,45	(kg)	
Nylon	27,45	(kg)	
Polyurethane	37,49	(kg)	
Polypropylene	197,37	(kg)	
Polycarbonate	32,94	(kg)	

Berlin, 03 – 04. November 2022 DTU Construct Frank Markert (fram@dtu.dk)

16. Treffen der FDS User Groups 16

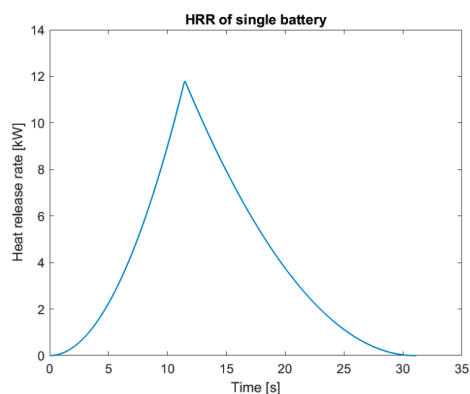
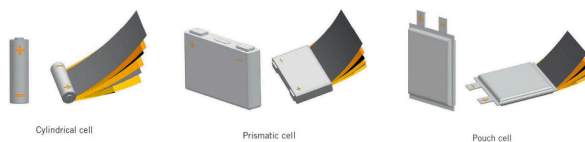


Verification of sub-models

- One sub-model per combustible material
- Each model is scaled down compared to the full scale models
- Grid sizes: 0.10, 0.05 and 0.025.
- Ramp controlled
 - Battery
 - Gasoline
 - Tires
- Pyrolysis: `BURNAWAY=, TRUE .`
 - Polycarbonate
 - Polypropylene
 - Polyurethane and nylon



EV - HRR



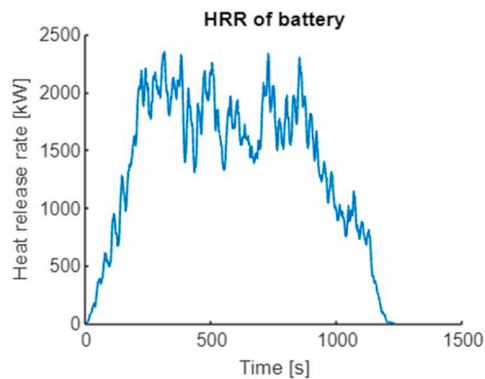
$$\dot{Q} = 0.09 t^2 \left[\frac{\text{kW}}{\text{s}^2} \text{s}^2 \right] \quad \text{for } 0 \leq t < t_{\max}$$

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\max} [\text{kW}] \quad \text{for } t = t_{\max}$$

$$\dot{Q} = 0.031 (31 - t)^2 \left[\frac{\text{kW}}{\text{s}^2} \text{s}^2 \right] \quad \text{for } t_{\max} < t \leq 30 [s]$$



Battery pack HRR random model



$$\dot{Q}_n = n^a \alpha t^2$$

with

n = no. battery cells;

$a = 1.26$

ignition of a single cell :

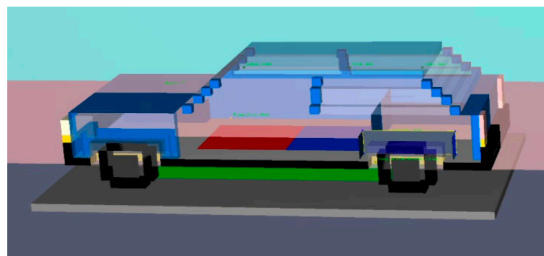
$$0 \leq t_{\text{ignition}} \leq 30 \text{ [s]}$$



Wasserstoff - TPRD activation

For the release of **hydrogen after activating the TPRD a simple burner is assumed.**

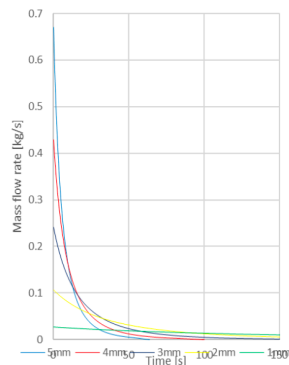
The momentum jet that will appear at the initial phase of the activation cannot be directly modelled in FDS, but it is assumed that the **release is directed vertical downwards and impacting the floor**, which turns the release into a kind of a “pool fire”.



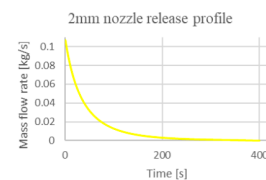
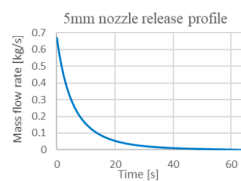


FDS input parameters

H2 release profiles contrast



- The identical cars contains 5 kg of hydrogen each
- The hydrogen is released through different sized TPRD pipe diameters: 5mm, 4mm, 3mm, 2mm, 1mm
- The 3 m² area representing the gas cloud underneath the car is modelled using the VENT parameter.
- To define the hydrogen gas, the &SPEC parameter has been used.
- The parameter MASS_FLUX has been used to introduce the release of the gas.
- Using the &DEVC parameter, the activation of the TPRD when temperature near the gas cylinder reaches 110°C has been modelled to activate and release the hydrogen.



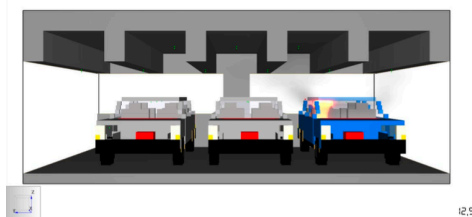
Francesc Gerard Riba Clascà, Hydrogen fuel cell vehicles fire spread in semi open car parks, DTU byg (2020) final degree thesis IQS Barcelona

Berlin, 03 – 04. November 2022 DTU Construct Frank Markert (fram@dtu.dk)

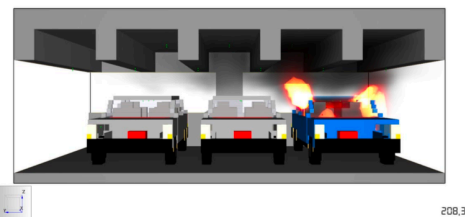
16. Treffen der FDS User Groups



5 mm nozzle size



12,9



208,3

Fig. 22 (Left) Front view – The right front seat of the first car sets on fire at 12,9 s.

Fig. 23 (Right) Front view – Fire spreads through all the interior of the first car at 3 min. 28 s.



425,4



428,4

Fig. 24 (Left) Front view – Biggest possible flame of the H2 blowdown captured escaping the bottom of the first car right after the TPRD activation at 7 min. 5 s.

Fig. 25 (Right) Front view – Biggest possible flame of the H2 blowdown captured escaping the bottom of the three cars right after the TPRDs activations at 7 min. 8 s.

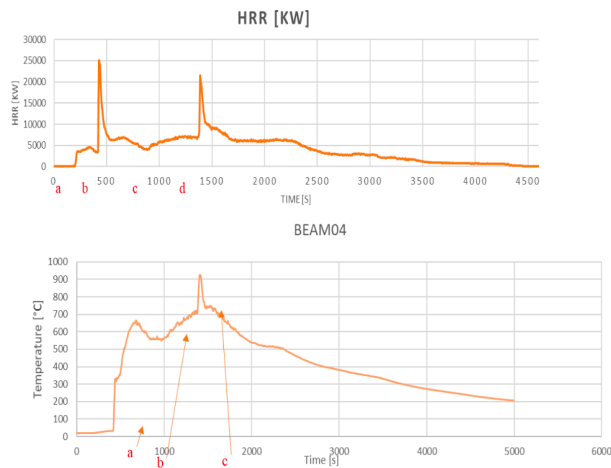
Francesc Gerard Riba Clascà, Hydrogen fuel cell vehicles fire spread in semi open car parks, DTU byg (2020) final degree thesis IQS Barcelona

Berlin, 03 – 04. November 2022 DTU Construct Frank Markert (fram@dtu.dk)

16. Treffen der FDS User Groups



4mm nozzle diameter results



4mm	TPRD Car n° 1	TPRD Car n° 2	TPRD Car n° 3
Activation time [s]	420,9	427	1382,9

- HRR starts to raise once the fire spreads through all the car cabin.
- There is a great HRR peak when the TPRDs of the cars n°1 and n°2 activate together in a very short span of time.
- HRR starts to slowly raise again when the third car catches fire
- An HRR peak occurs when the TPRD of the car n°3 activates due to the cabin bursting into flames.

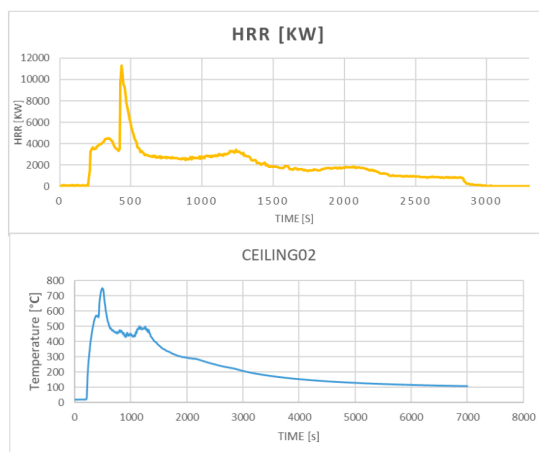
Francesc Gerard Riba Clascà, Hydrogen fuel cell vehicles fire spread in semi open car parks, DTU byg (2020) final degree thesis IQS Barcelona

Berlin, 03 – 04. November 2022 DTU Construct Frank Markert (fram@dtu.dk)

16. Treffen der FDS User Gruppe



2 mm nozzle



This scenario is almost an exact copy of what happens in the 3mm nozzle scenario. The only difference is that the HRR peak is approx. 3 kW lower, indeed, a smaller section nozzle reduces the initial peak gas mass flow.

2 mm	TPRD Car n° 1	TPRD Car n° 2	TPRD Car n° 3
Activation time [s]	420,9	None	None

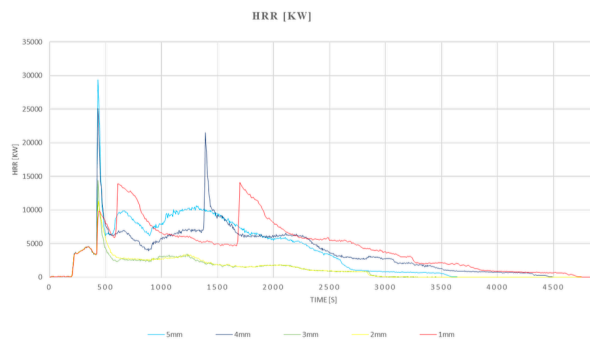
Francesc Gerard Riba Clascà, Hydrogen fuel cell vehicles fire spread in semi open car parks, DTU byg (2020) final degree thesis IQS Barcelona

Berlin, 03 – 04. November 2022 DTU Construct Frank Markert (fram@dtu.dk)

16. Treffen der FDS User Gruppe



Comparison

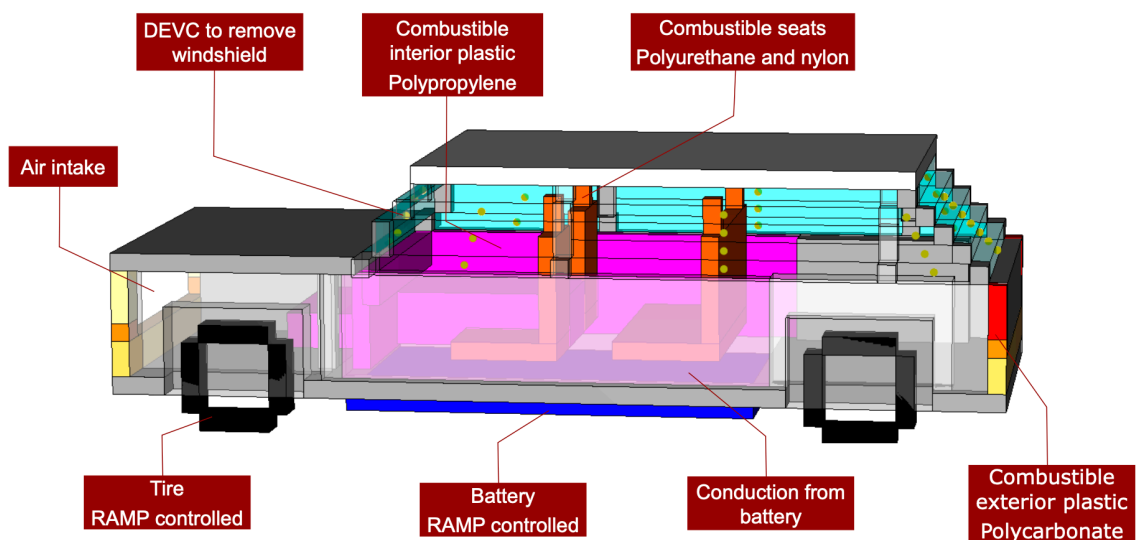


activation time [s]	TPRD Car n° 1	TPRD Car n° 2	TPRD Car n° 3
5 mm	420,9	426	428,5
4 mm	420,9	427	1382,9
3 mm	420,9	None	None
2 mm	420,9	None	None
1 mm	420,9	595,2	1684,6

Francesc Gerard Riba Clascà, Hydrogen fuel cell vehicles fire spread in semi open car parks, DTU byg (2020) final degree thesis IQS Barcelona



Schema eines Auto mit Batterieelektrischem Antrieb





CAR INPUT Excel sheet

- Multiple vehicles (repetitive work)
 - Varying dimensions
 - Varying positions
- Multiple combustible materials
 - Multiple &REAC vs. surrogate fuel
- Ignition of combustible materials
- Pre-defined fuel loads
 - Mass of combustible materials
 - Mass of fuel (gasoline or battery)

Overall geometry

Property	Car type	EV L TESLA MODEL S	UPDATE VALUES	Remarks
HEIGHT (EXCL. CLEARANCE)	1,3			Determines the overall height of the car by raising the roof and expanding the pillars and glass.
Width	2	Min: 1.6		Determines the width of the car. Be aware that this changes the surface area of burnable material in the car, which is compensated by the bulk density.
Length	5	Min: 4		Determines the length of the car by prolonging or shorten the trunk.
Tire diameter	0,6	Range: 0.4 - (0.6)		Changes the tire diameter and wheel well. If greater than 0.6, door height must be changed to.
Tire thickness	0,2			
Tire wall height	0,1			
Door Height	0,6			Height of doors. Doors are lateral fixpoints for most compon
Clearance	0,2			Chassis clearance from ground
Distance: Front-Engine_PP	0,9			
Distance: Front-wheel center	0,7			

Car orientation

x	0,1	Components of origo	Car origo must be used to place the vehicle in regards of global coordinates and origo. Car origo is at front-left headlight.
y	0,2		
z	0		
Rotation angle	0	(arcDEG)	Revolves around the z-axis.
Ignition	No ignition source		

Essential properties

Property	Magnitude	Unit	
Burning surface area of all tires	2,88	(m ²)	
Max HRR from all tires	400	(kW)	
Burning surface area of a single	0,72	(m ²)	
Burning battery surface area	4,46	(m ²)	
Peak HRR from battery	3817,3	(kW)	
Energy of battery	100	(kWh)	
Gasoline spill fire area	3	(m ²)	
Peak HRR from gasoline spill fire	1444	(kW)	
Gasoline spill fire volume	100	(l)	
Total amount of plastics	295,45	(kg)	
Nylon	27,45	(kg)	
Polyurethane	37,49	(kg)	
Polypropylene	197,57	(kg)	
Polycarbonate	32,94	(kg)	



FDS: Validation, Test 1

- Validation against full-scale experiments from [BRE, 2010].
- Test ability to capture flame spread to neighboring vehicles.
- Validate flame temperatures.
- 100 mm mesh resolution.
- Height of hot gas layer.

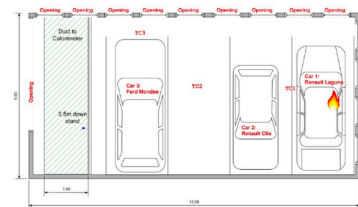


Figure 4.17: Plane view of test setup, reproduced from figure 2.8.1 in [BRE, 2010].

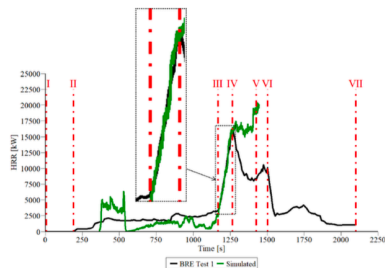


Figure 4.21: HRR curve from Test 1, reproduced from Figure 2.9.2 in [BRE, 2010] referred to as 'BRE' (see also Figure 4.18) along with simulated data referred to as 'FDS'. Note that step growth in HRR is zoomed in on the discontoured cut out.

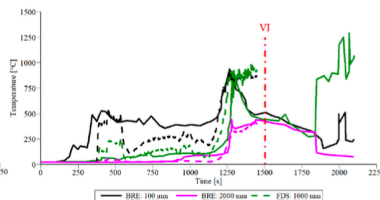


Figure 4.22: Data from TC tree 2 reproduced from Test 1 [BRE, 2010] referred to as 'BRE' along with simulated data referred to as 'FDS'. Distances in the legend names are measured from the ceiling. Note that data after stage VI indicated by the vertical red dot-dashed line are not to be considered, as active measures were taken to extinguish the fire in the BRE experiment.

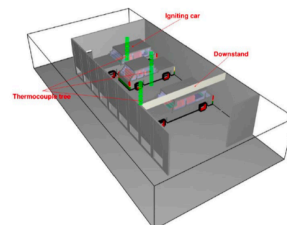


Figure 4.19: Simulated domain in the validation studies of BRE Tests, reproduced from [BRE, 2010]. Green dashed lines are depictions of thermocouple trees, as indicated by TC-TCS in Figure 4.17.

Pascal Q. Christiansen & Daniel G.J.C. Eriksen; Fire spread in underground parking facilities; DTU by Special project 2020



FDS: Validation, Test 2

- Validation against full-scale experiments from [BRE, 2010].
- Test the extinguishing capability in FDS.
- Validate flame temperatures.
- 100 mm mesh resolution.
- Height of hot gas layer.
- Temperature of hot gas layer.

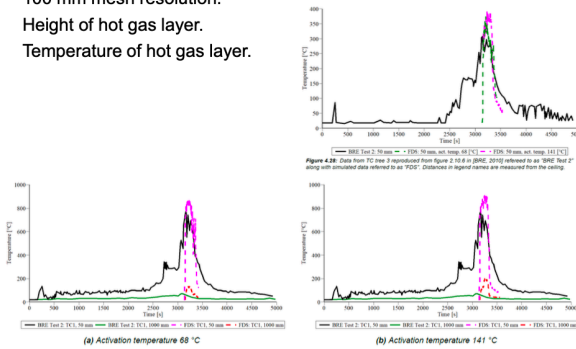


Figure 4.27: Data from TC tree 1 reproduced from figure 2.10.4 in [BRE, 2010] referred to as "BRE Test 2" along with simulated data referred to as "FDS". Distances in legend names are measured from the ceiling.

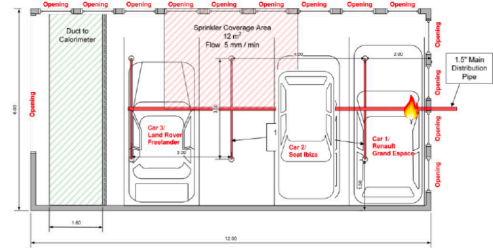


Figure 4.24: Plane view of test setup, reproduced from Figure 2.10.2 in Test 2 [BRE, 2010].

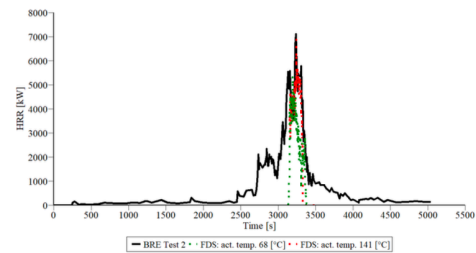


Figure 4.26: HRR curve from Test 2, reproduced from figure 2.10.3 in [BRE, 2010] referred to as "BRE Test 2" along with simulated data referred to as "FDS".



Enclosed domain

Danish legislative requirements

- Compartments smaller than 1000 m², requires no active fire protection measures.
- Compartments smaller than 2000 m², requires only mechanical fire ventilation.



Evaluated domain

- 605 m² enclosed floor area (577.5 m² excluding the entrance ramp).
- 26 parking booths.
- Opening area of 13 m² (entrance ramp).
- Two vehicle layouts:
 - Anticipated: 17 vehicles.
 - Maximum: 26 vehicles.

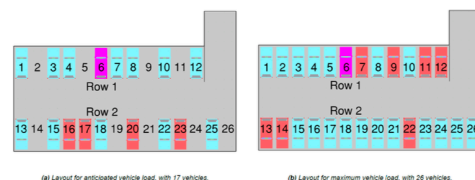
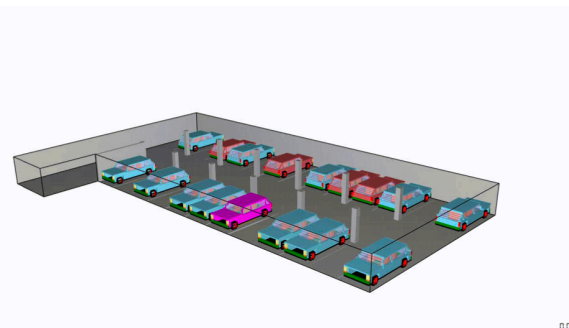


Figure 3.2: Layout of the two load capacities. Numbers in the figures are throughout the project, used as a reference to the position of the cars. The igniting vehicle, an EV, are in both cases number 6 (magenta). Red vehicles are EVs and blue are ICE vehicles. Layout is defined by a randomizing Matlab script in Appendix Code-App 6.





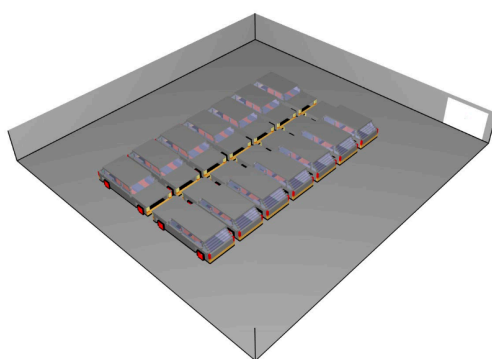
Scenarios base case S2 & S4 (ICE vehicles)

ID	ICE-cars			E-cars			P-spot width [m]	Ignition	Description
	S	M	L	S	M	L			
S1	-	-	-	-	-	14	2.3	Thermal runaway	EV base scenario.
S2	-	-	14	-	-	-	2.3	Gasoline spillfire	ICE base scenario
S3	-	-	-	6	5	3	2.3	Thermal runaway	EV - mixed vehicle sizes
S4	6	5	3	-	-	-	2.3	Gasoline spillfire	ICE - mixed vehicle sizes
S5	-	-	9	-	-	5	2.3	Thermal runaway	Mixed fuels - only large sizes
S6	4	3	2	2	2	1	2.3	Thermal runaway	Mixed fuels and sizes
S7	-	-	-	-	-	14	2.3	Thermal runaway	EV base + extended height of beams, acting as smoke skirts.
S8	-	-	-	-	-	14	2.5	Thermal runaway	EV base + extended width between cars.
S9	-	-	-	-	-	14	2.6	Thermal runaway	EV base + extended width between cars.
S10	-	-	-	-	-	14	2.3	Thermal runaway	EV base + minor sectioning by concrete wall.

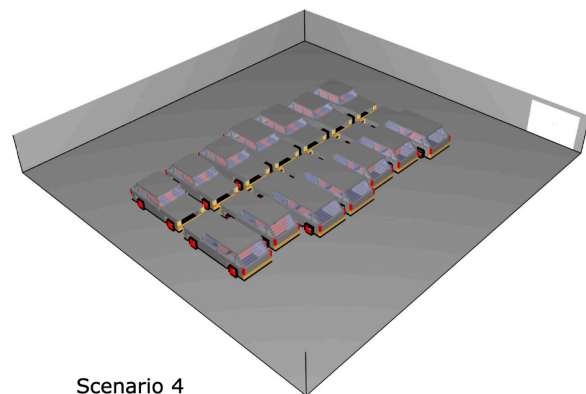
Pascal Q. Christiansen & Daniel G.J.C. Eriksen; Fire spread in underground parking facilities; DTU by Special project 2020



Scenario 2 + 4



Scenario 2



Scenario 4

Pascal Q. Christiansen & Daniel G.J.C. Eriksen; Fire spread in underground parking facilities; DTU by Special project 2020



FDS: Group 0, base layout results and discussion

Table 5.1: Scenario group 0: Base scenarios. Primary thermal effects and simulated consequences.

Scenario	THR [GJ]	tPHRR [s]	PHRR [kW]	HOC [MJ/kg]	Concrete area destroyed [m ²]	No. of vehicles involved [-]
0A	42.7	851	24,818	38.53	18.6	5
0B	≥ 151.5	829	27,846	37.74	≥ 351.8	≥ 21

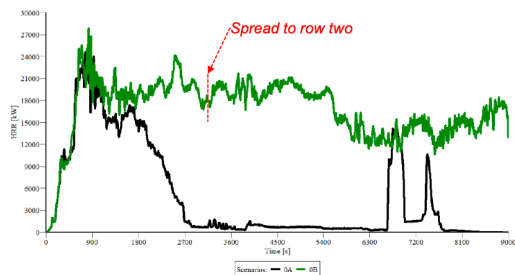
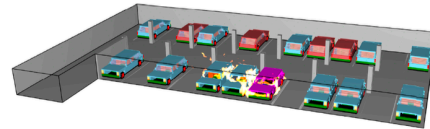
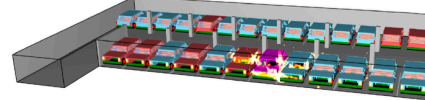


Figure 5.1: HRR curves of scenario group 0: Base scenarios. Scenario 0A is the anticipated vehicle load of 17 vehicles. Scenario 0B is the maximum vehicle load of 26 vehicles.



(a) HRRPUV [kWm²] in scenario 0A during tPHRR (851 s) - isometric view



(b) HRRPUV [kWm²] in scenario 0B during tPHRR (829 s) - isometric view

Figure 6.2: Illustrations of HRRPUV during peak in Scenario 0A and Scenario 0B. Lower level for visible HRRPUV is 600 kWm².

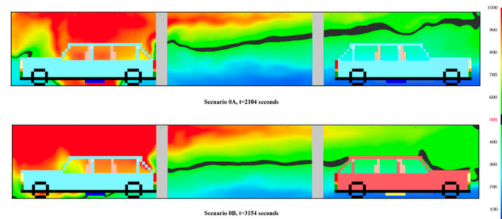


Figure 6.1: Comparison between hot gas layers during peak temperatures in scenario 0A at 2,104 s and scenario 0B at 3,154 s. Fire spread to row two, occurred at 3,154 s in 0B. The black band depicts a temperature front of 500 ± 25 °C.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Bjarne Husted:

Modellierung eines Gebäudebrandes verursacht durch Brandstiftung

Abstract:

Das Feuerexperiment von Guldborgsund ist Teil einer Reihe von Brandexperimenten, die im Süden von Dänemark stattfinden. Die Brandexperimente werden in verlassenen Häusern durchgeführt und das Hauptziel des Projektes besteht darin, Brandermittler an einem Tatort zu schulen, der sowohl auf ein Verbrechen als auch einen Unfall zurückzuführen ist.

Das Projekt wurde erstmals während des 15. Anwendertreffens der deutschsprachigen FDS Usergroup im Jahr 2021 vorgestellt und es wurde gezeigt, wie man die mit LIDAR gescannte Geometrie eines Hauses automatisch in FDS einführen kann.

Dieser Vortrag konzentriert sich auf die Modellierung des Brandes und den Vergleich mit den experimentellen Ergebnissen.

MODELLIERUNG EINES BRANDSTIFTUNG IN EINEM VERLASSENEN GEBÄUDE

Bjarne P. Husted, Karlis Livkiss, Ana Sauca
bph@dbigroup.dk / bphu@dtu.dk



OUTLINE

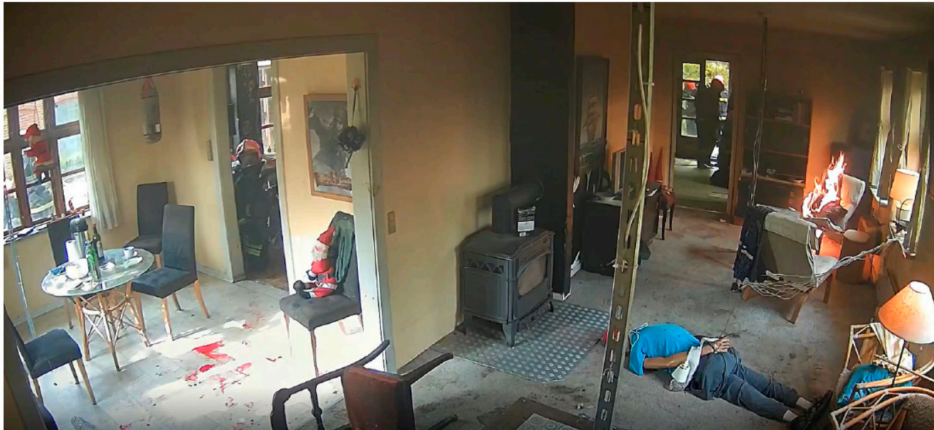
Review of the data gathered by the Danish Institute of Fire and Security Technology (DBI)

- Use of LIDAR scans in creating FDS models (recap from last years talk)
- Application of zone models: calibrate HRR, predict temperature rise, detection times, smoke layer
- Application of fds version 6.7.9



GULDBORGSUND DATA DBI

Movie from Guldborgsund, House Elle



Source: (DBI/Bjarne Husted)

04-11-2022



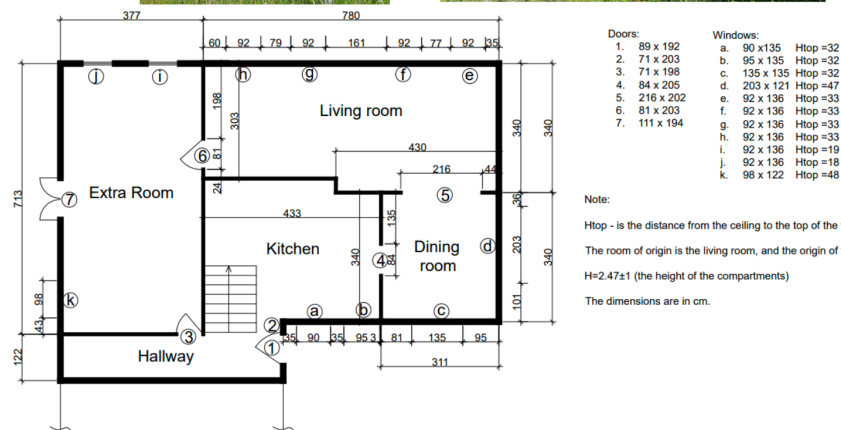
IR MOVIE USING A DRONE DURING THE FIRE



04-11-2022



Test 1 - House description



5

Test 1 - House pictures, empty



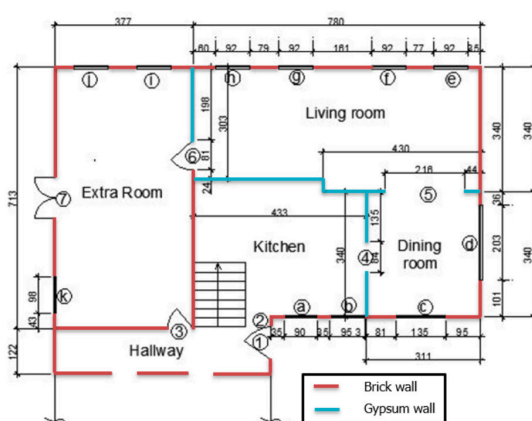
6

Test 1 - House pictures, furnished

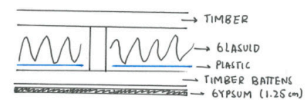


7

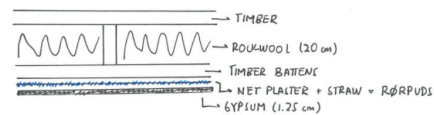
Test 1 - House materials



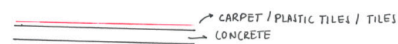
- CEILING EXTRA ROOM



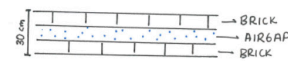
- CEILING LIVING ROOM + KITCHEN



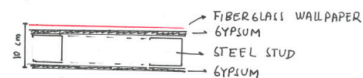
- FLOOR LIVING ROOM / EXTRA ROOM / KITCHEN AND DINNING



- OUTER WALLS

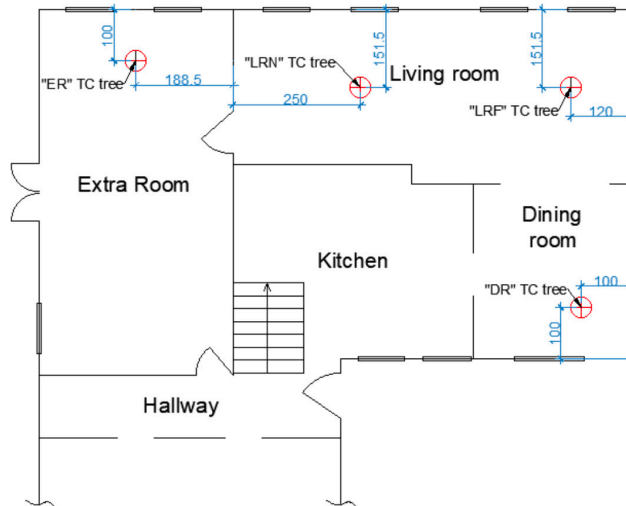


- INNER WALL



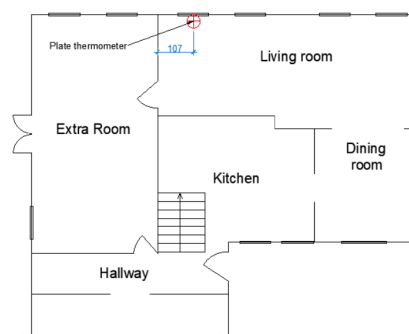
8

Test 1 – TC tree



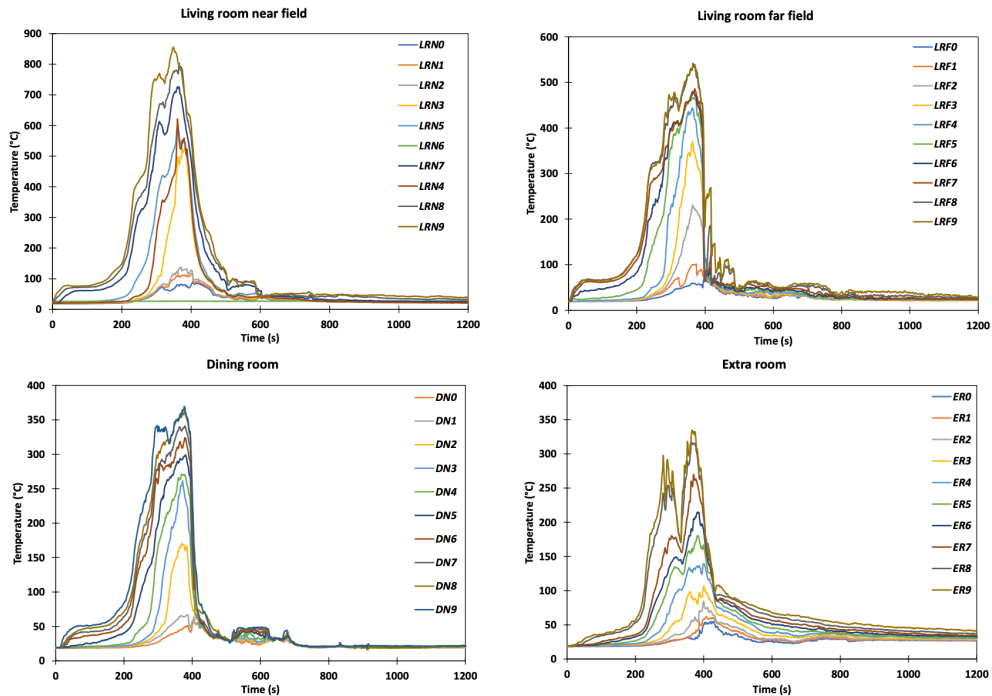
9

Test 1 – Plate Thermometer and windows



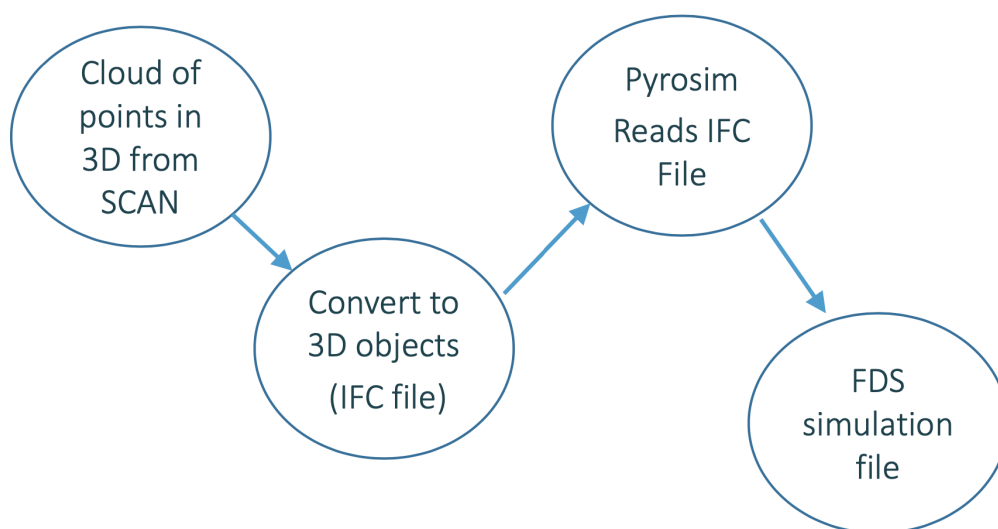
10

Test 1 – Gas temperature

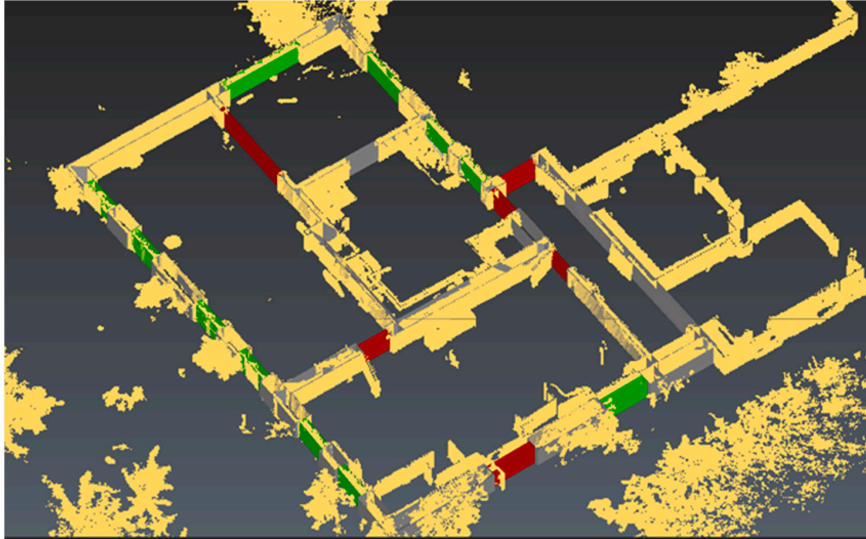


11

WORKING PROCESS



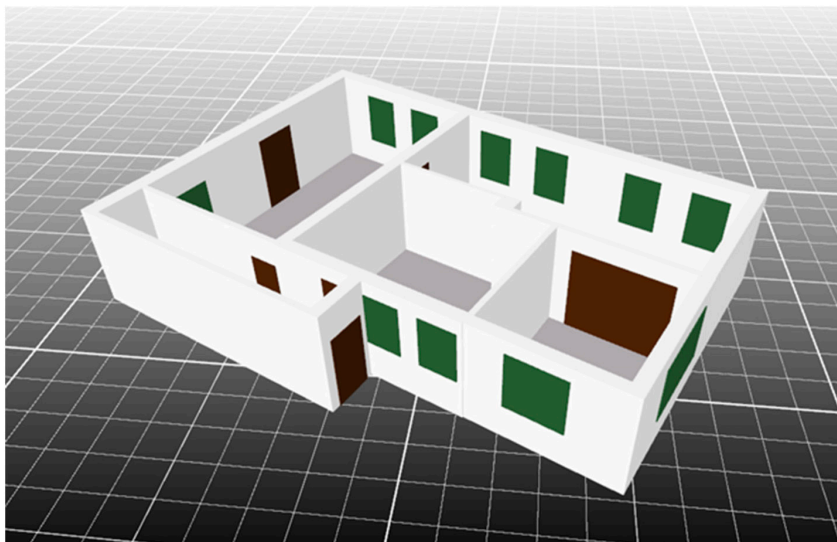
POINT CLOUD



Source: (Hexagon AB, Sweden)



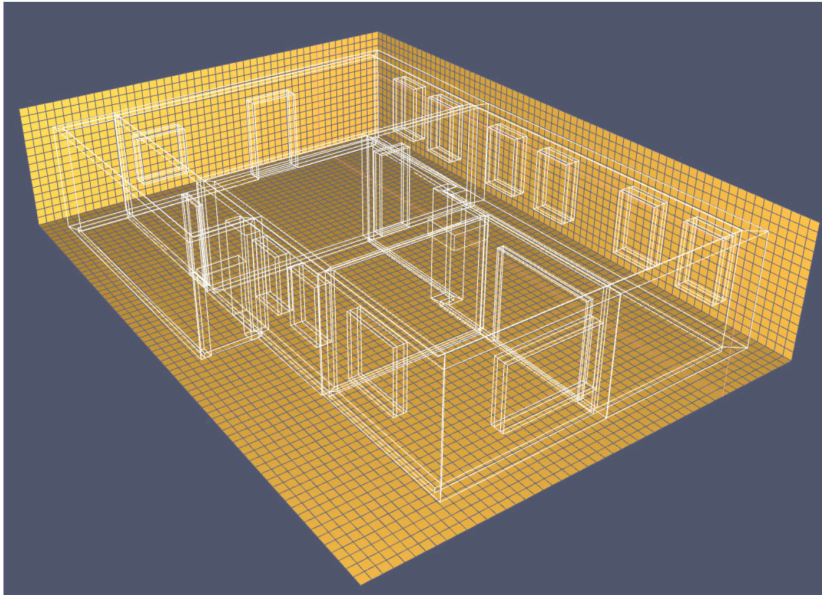
IFC FILE FROM POINT CLOUD (USING POINTFUSE)



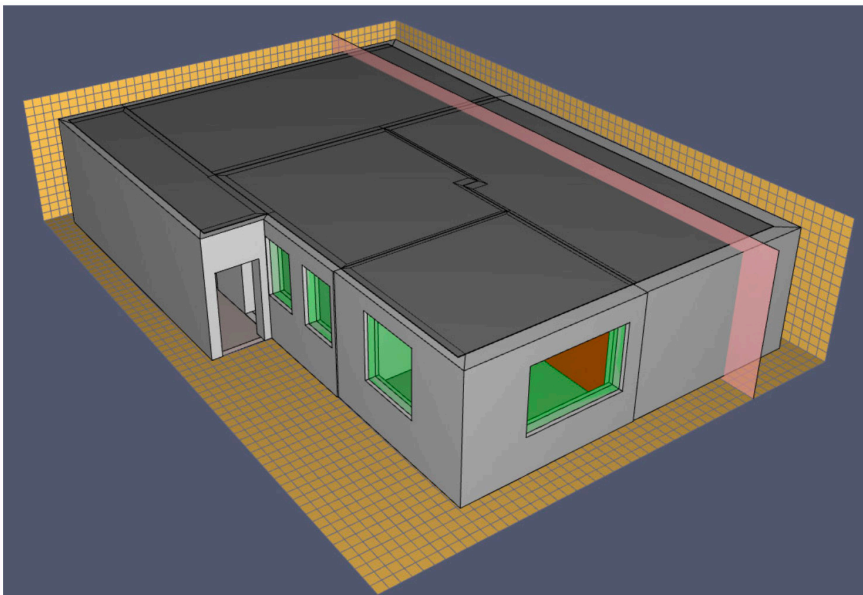
Source: (Hexagon AB, Sweden)



IFC FILE IMPORTED INTO PYROSIM



ORIGINAL MODEL FROM PYROSIM

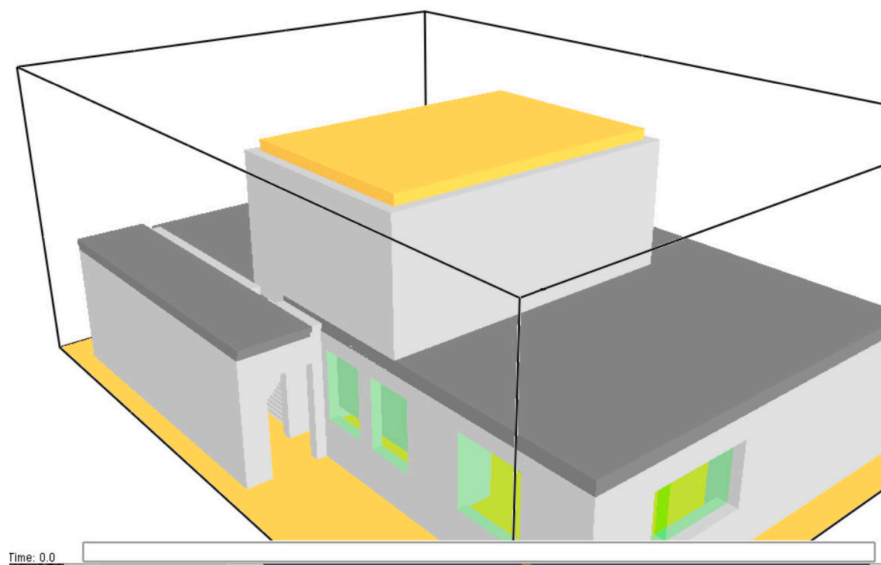


COMPARISON BETWEEN MANUAL MEASUREMENTS AND LIDAR

		Manual measurements (cm)	LEICA (cm)
Living room	Length	780	760
	Width (Wide section)	340	339
	Width (Narrow Section)	303	303
Dining room	Length	311	312
	Width	340	339
Kitchen	Length	433	431
	Width	340	339
Doors are important for the flow			
Doors	Living room to extra room	81	79
	Living room to dinning room	216	237
	Kitchen to Hallway	71	79

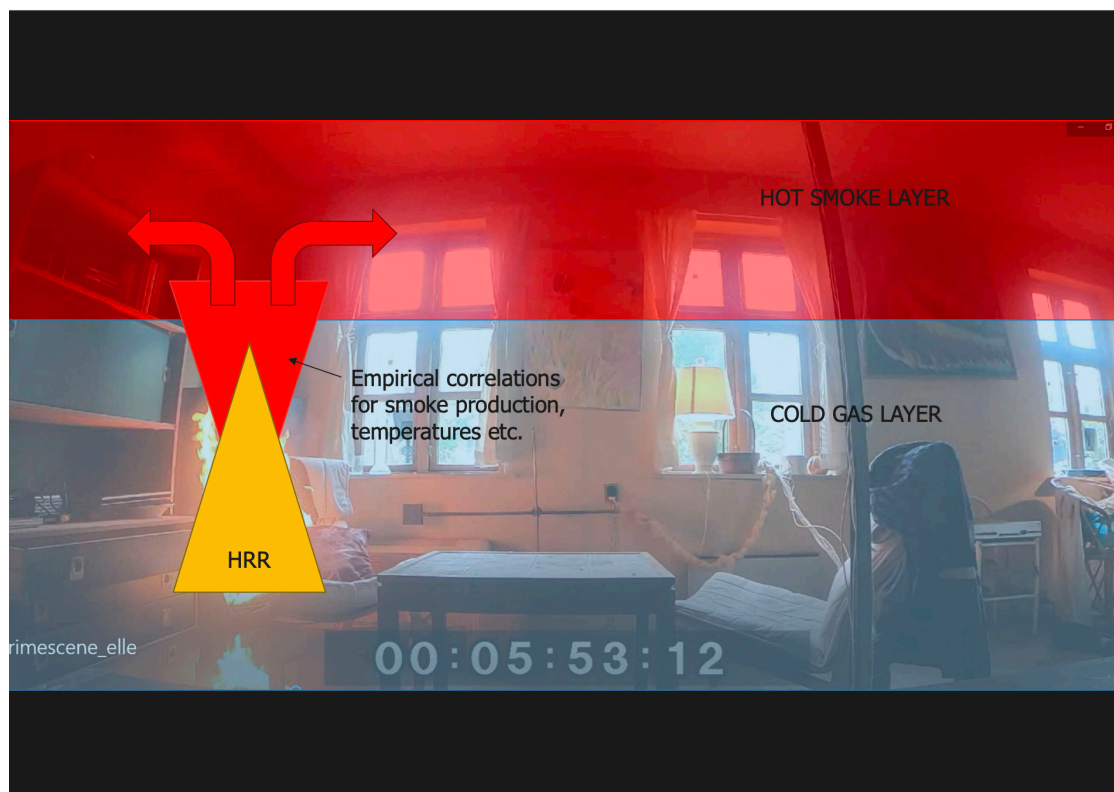
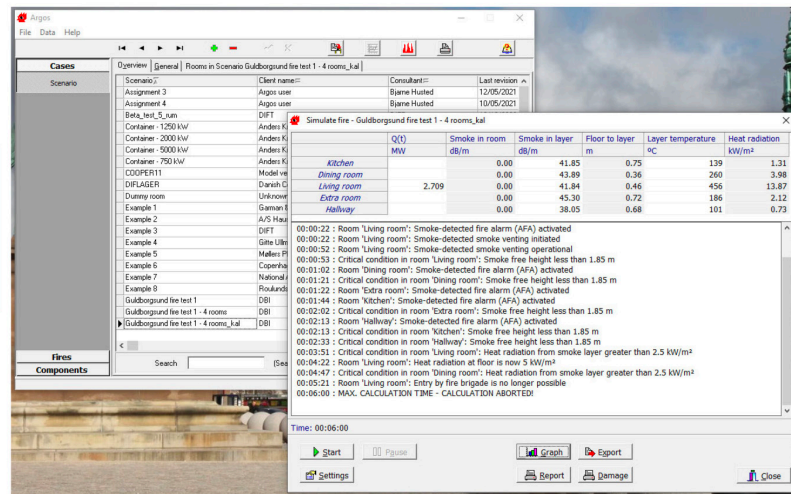


ADJUSTED MODEL

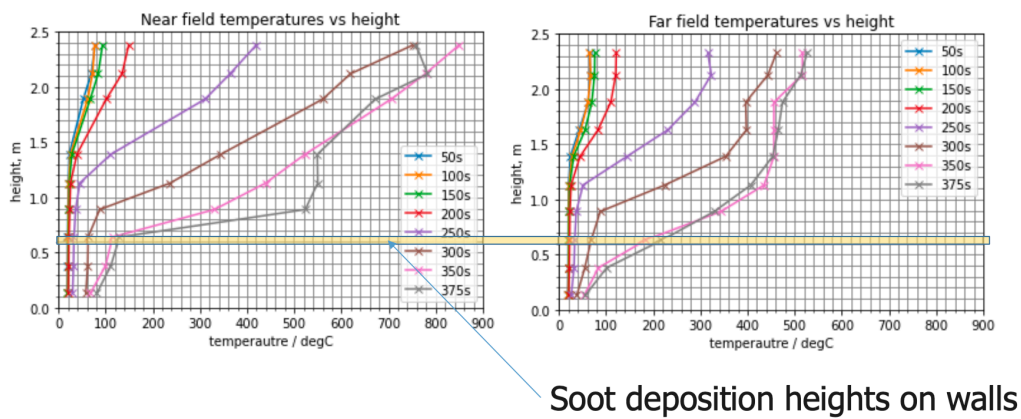


APPLICATION OF ZONE MODEL ARGOS

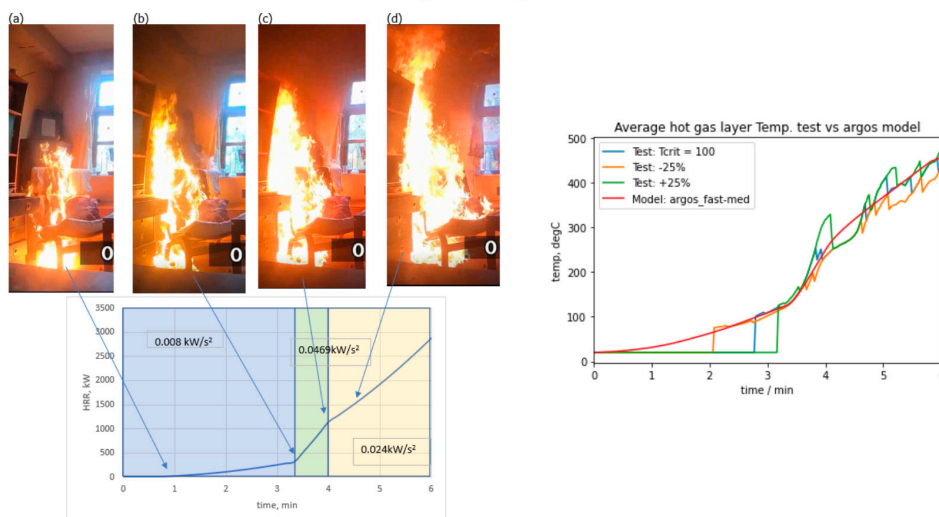
Zone model Argos. Fit HRR of fire based on hot smoke layer temp in living room.



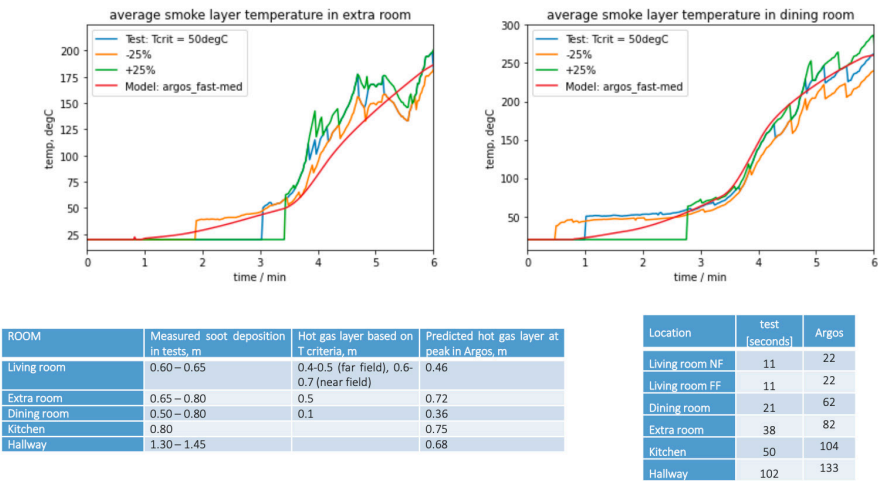
HOT SMOKE LAYER – LIVING ROOM



HEAT RELEASE RATE (HRR)



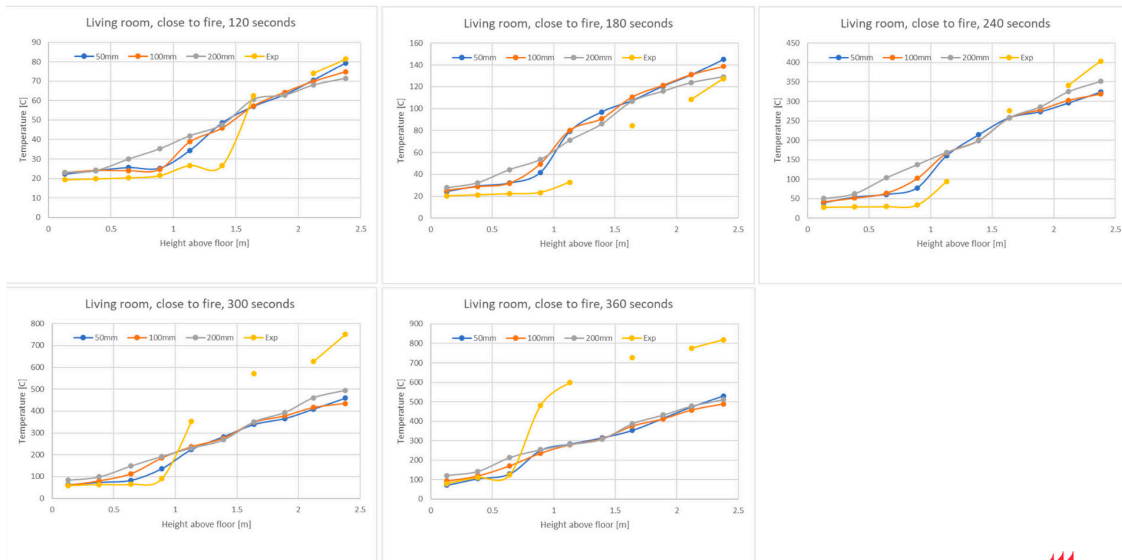
RESULTS COMPARING ARGOS WITH EXPERIMENTS



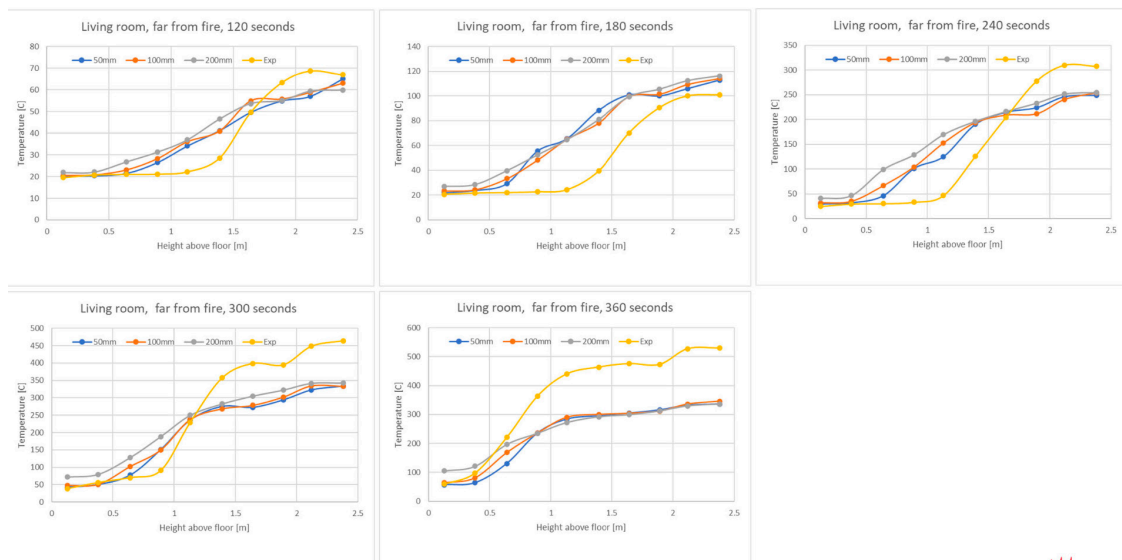
MODELLING IN FDS 6.7.9 USING GRID SIZE OF 50 MM, 100 MM, 200 MM



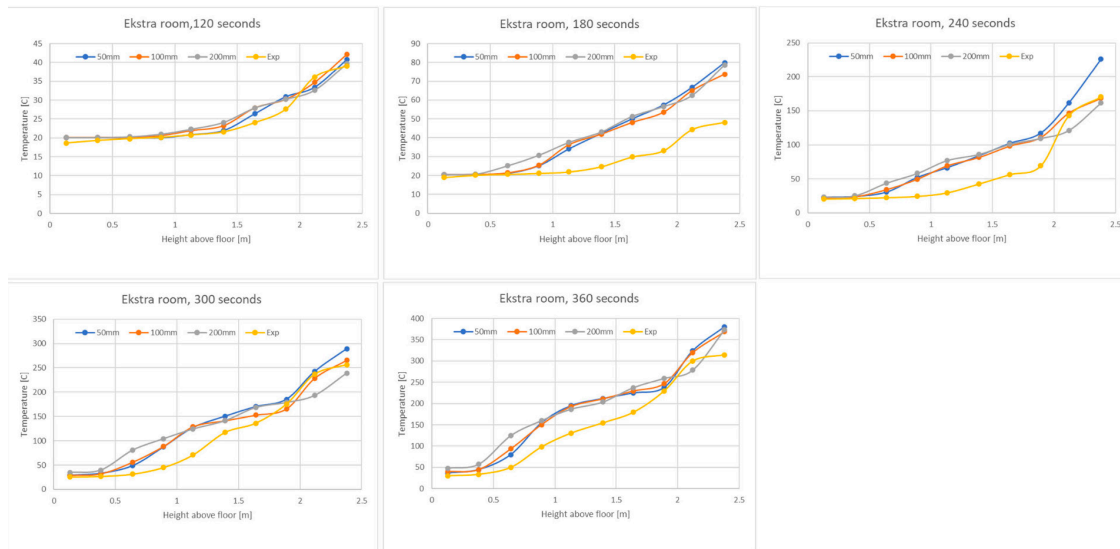
COMPARISON WITH EXPERIMENTS (LIVING ROOM, NEAR FIELD)



COMPARISON WITH EXPERIMENTS (LIVING ROOM, FAR FIELD)



COMPARISON WITH EXPERIMENTS (EKSTRA ROOM)



SIMULATION OF WINDOW TEMPERATURES USING BREAK1 (SINGLE GLASS)



Test 1 – Pictures after the experiment



29

CONCLUSIONS

- LIDAR scans can be used in creating the FDS models
- 2-zone simulation can be used to establish the heat release rate
- 2-zone model predicted well the temperatures in other rooms (extra room, dining room)
- Measurement of smoke layer height using markings on the wall underpredicts the actual hot gas layer height measured by thermocouples
- Preliminary results with FDS shows that a grid size of 100 mm is a sufficient fine grid
- Temperature predictions in the adjacent rooms need to be studied further



ACKNOWLEDGEMENT

The following partners contributed to the Udgård research project, and their participation is acknowledged:

- Guldborgsund Municipality
- Lolland-Falster Fire Service
- The Danish National Police
- The Danish Emergency Management Agency
- University of Dundee
- Consilium
- Leica
- Danish Institute of Fire and Security Technology



Kristian Börger:

Vorstellung eines Wegpunkte basierten Verfahrens zur Bewertung der Sichtweite im Rahmen leistungsorientierter Brandschutznachweise

Abstract:

Die sichere Benutzbarkeit von Flucht- und Rettungswegen innerhalb eines Gebäudes ist für die Selbstrettung von Personen und für die Fremdrettung durch die Feuerwehr unerlässlich. Maßgebende Faktoren, welche die Passierbarkeit dieser Bereiche im Falle eines Brandereignisses beeinträchtigen sind u.a. die Exposition betroffener Personen durch toxische Rauchgase oder thermische Einwirkungen aus Konvektion und Wärmestrahlung. Ausgehend von einem definierten Bemessungsbrand können die genannten Parameter mit Hilfe von CFD- Modellen wie FDS in einer räumlichen und zeitlichen Auflösung berechnet werden. Der Nachweis der geforderten Leistungskriterien kann anschließend auf unterschiedliche Weise erfolgen. Neben dem lokalen Abgleich mit zulässigen Grenzwerten kann z.B. über das FED- Modell (Fractional Effective Dose) eine zeitlich kumulierte Exposition von Personen ermittelt werden. In Verbindung mit einer Räumungssimulation kann mit Hilfe des ASET/ RSET-Modells eine Gegenüberstellung der vorhandenen (ASET) bzw. erforderlichen (RSET) Zeit zur Räumung eines Gebäudes erfolgen.

Die lichttrübende Wirkung von Brandrauch lässt sich über die oben genannten Modelle jedoch nur bedingt oder mit erheblichem Aufwand berücksichtigen. Die Sichtweite kann mit dem empirischen Modell nach Jin in Abhängigkeit der Rauchdichte als lokale Größe ermittelt und mit entsprechenden Grenzwerten abgeglichen werden. Komplexe Nachweisverfahren unter Anwendung des ASET/RSET-Modells berücksichtigen darüber hinaus den Einfluss der Sichtweite auf die Wahl von Fluchtrouten oder die Fortbewegungsgeschwindigkeit.

In diesem Beitrag soll ein alternativer und vereinfachter Ansatz zur Bewertung der Nutzbarkeit von Flucht- und Rettungswegen im Falle einer brandbedingten Verrauchung vorgestellt werden. Das Verfahren beruht auf der ortsbezogenen Berechnung der vorhandenen bzw. erforderlichen Sichtweite auf Basis der mit FDS berechneten Rauchdichte. Die Fluchtwegschilder entlang einer potentiellen Route dienen dabei als Referenzpunkte für die Berechnung. Ziel des Verfahrens ist die Erstellung von einfach verständlichen Grundrisskarten, welche die Passierbarkeit von Flucht- und Rettungswegen in einem zeitlichen Kontext darstellen.

Vorstellung eines Wegpunkte basierten Verfahrens zur Bewertung der Sichtweite im Rahmen leistungsorientierter Brandschutznachweise



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



JÜLICH
Forschungszentrum

Gliederung

1. Was ist Sichtweite?
2. Sichtweite im Rahmen leistungsorientierte Nachweise
3. Beispiel für einen Wegpunkte basierten Nachweis der Sichtweite
4. Zusammenfassung
5. Ausblick

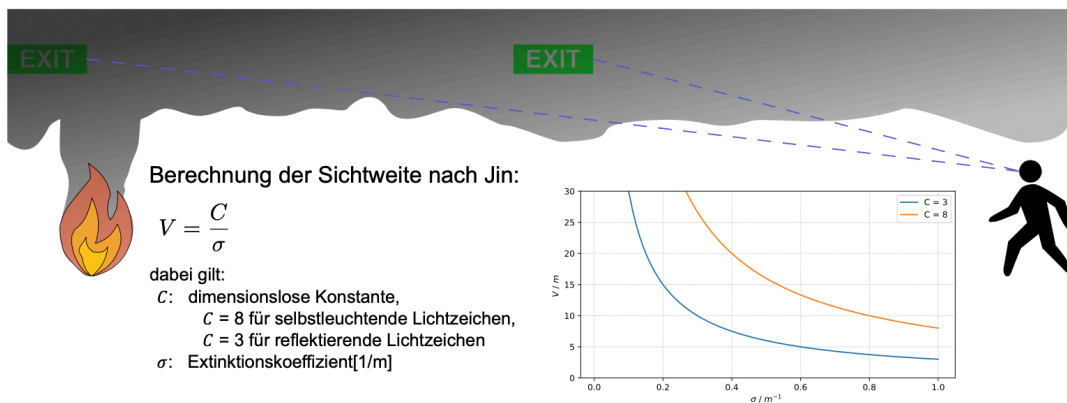


BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



JÜLICH
Forschungszentrum

Was ist Sichtweite?



16. Treffen der FDS Usergroup
Kristian Börger

Folie 3



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



Leistungsorientierter Nachweis

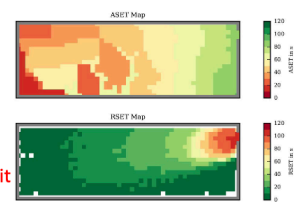
Schutzziel	Funktionale Anforderung und qualitativer Nachweis	Leistungskriterien für einen quantitativen Nachweis
Öffentliche Sicherheit und Ordnung - Schutz von Leben und Gesundheit - Rettung von Menschen und Tieren ermöglichen	Sichere Benutzbarkeit der Rettungswege für eine definierte Zeitdauer durch: - Erfüllung materieller Anforderungen an die Rettungswege und / oder - Nachweis der Räumung des Gebäudes vor Eintreten kritischer Zustände <i>Insamung < Feuergefahr</i> <i>→ siehe Kapitel 5</i>	- Zwei unabhängige Rettungswege - Maximal zulässige Rettungsweglänge - Umfassungsbauteile mit Feuerwiderstand - Mindestbreiten von Rettungswegen und Ausgängen - Mindestanforderungen an Baustoffe - Räumung gemäß Handrechnung oder Räumungssimulation - Verfügbar als Vorgabe oder nach Brandsimulation <i>→ siehe Kapitel 5</i>
Sicherheit der Personen bei Einwirkung von Rauch	- (Alarm-)Gefährdung - hohen Temperaturen Nachweis mittels - analytischer Gleichungen - Zonenmodell (Rauch, Temperatur) - Feldmodell (alle) → siehe Kapitel 5	- Raucharme Schichthöhe oder optische Rauchdichte oder Sichtweite - maximaler FED-Wert - maximale Gastemperatur oder maximale Wärmestrahlung → Beurteilungswerte siehe Kapitel 8

Technischer Bericht vdb TB 04-01, vdb, 2020

ASET / RSET
(global)

Berücksichtigung der Sichtweite über:

- Bewegungsgeschwindigkeit
- Wahl der Fluchroute



A map representation of the ASET-RSET concept, Schröder et al., 2020

Beurteilungsgröße	längere Aufenthaltsdauer (< 30 min)	mittlere Aufenthaltsdauer (ca. 15 min)	kurze Aufenthaltsdauer (< 5 min)
CO-Konzentration	100 ppm	200 ppm	500 ppm
CO ₂ -Konzentration	1 Vol.-%	2 Vol.-%	3 Vol.-%
HCN-Konzentration ⁽¹⁾	8 ppm	16 ppm	40 ppm
Wärmestrahlung	1,7 kW/m²	2,0 kW/m²	< 2,5 kW/m²
Gastemperatur ⁽²⁾	45 °C	50 °C	50 °C
Rauchdichte D _L ⁽³⁾	0,1 m ⁻¹	0,1 m ⁻¹ / 0,15 m ^{-1 (4)}	0,1 m ⁻¹ / 0,2 m ^{-1 (4)}
Erkennungsweite ^{(5), (6)}	10 m – 20 m	10 m – 20 m	10 m – 20 m

Abgleich mit Leistungskriterien (lokal)

16. Treffen der FDS Usergroup
Kristian Börger

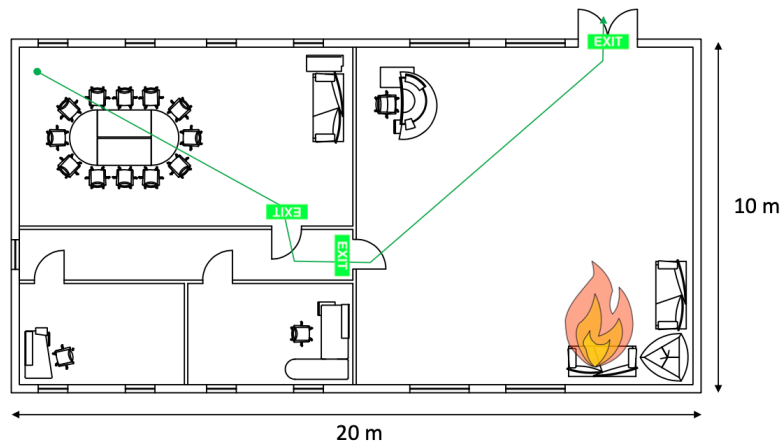
Folie 4



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



Beispiel



16. Treffen der FDS Usergroup
Kristian Börger

Folie 5

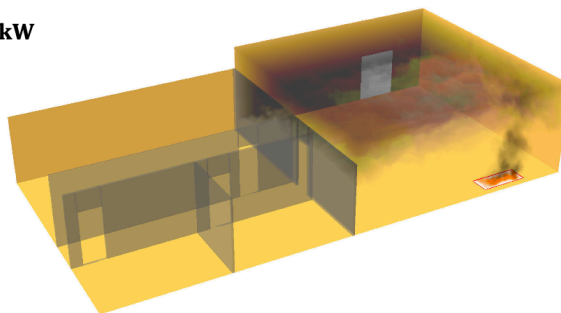


BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



FDS Modell

- Konstante Energiefreisetzung: **$HRR = 150 \text{ kW}$**
- Soot yield: **$Y_s = 0.037$** (SFPE Handbook)
- Masse spezifischer Extinktionskoeffizient:
 $K_m = 8700 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}}$ (Standard für $\lambda = 633 \text{ nm}$)
- Extinktionskoeffizient wird durch FDS in
Abhängigkeit der lokalen Rauchdichte
berechnet: **$\sigma = K_m \cdot \rho \cdot Y_s$**



16. Treffen der FDS Usergroup
Kristian Börger

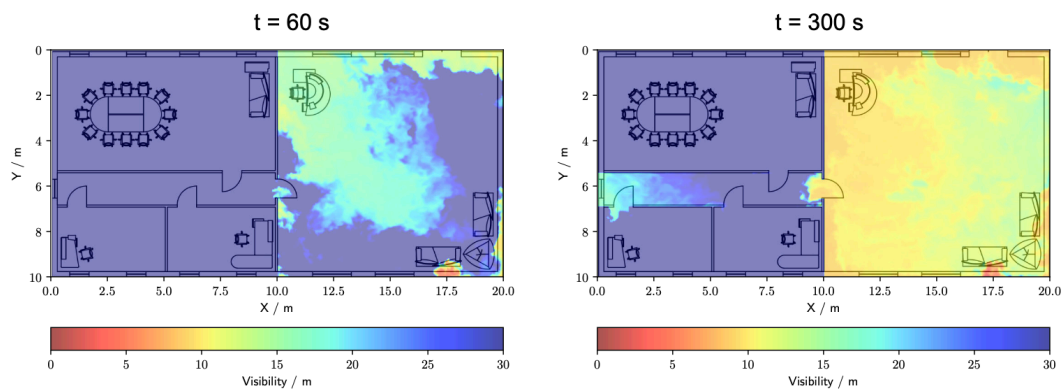
Folie 6



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



Nachweis der Sichtweite



16. Treffen der FDS Usergroup
Kristian Börger

Folie 7



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

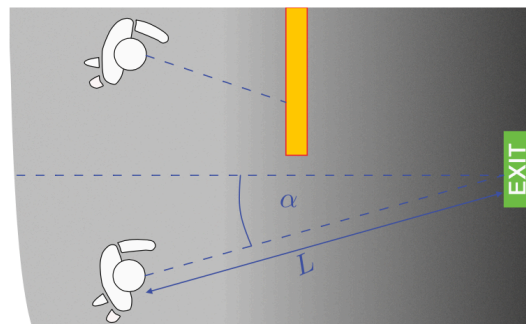


Ein Wegpunkte basierter Ansatz

Entwicklung eines **FDS** basierten Modells zur automatisierten Berücksichtigung von:

- Lage im Raum, Abstand und Betrachtungswinkel zu Lichtzeichen,
- inhomogener Rauchverteilung,
- beschränkter Sicht durch Hindernisse

entlang einer potentiellen Fluchtroute



16. Treffen der FDS Usergroup
Kristian Börger

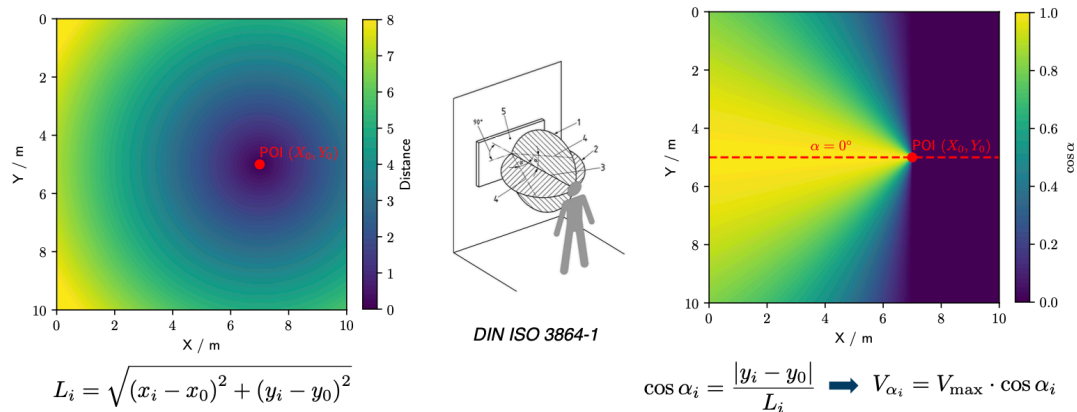
Folie 8



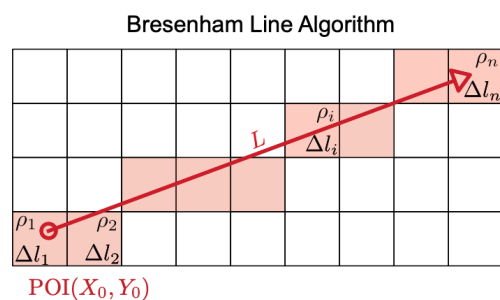
BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



Winkel- und Wegabhängigkeit



Berechnung der mittleren Extinktion



1. Berechnung des Extinktionskoeffizienten für inhomogene Rauschicht

$$\bar{\sigma} = \frac{K_m(\lambda) \int_0^L \rho_{s,i} dl}{L}$$

2. Diskretisierung unter vereinfachter

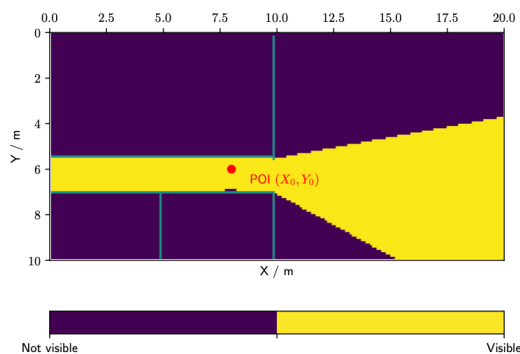
Annahme konstanter Δl

$$\bar{\sigma} = \frac{K_m(\lambda)}{n_{\text{cells}}} \times \sum_{i=1}^{n_{\text{cells}}} \rho_{s,i}$$

3. Berechnung der resultierenden Sichtweite

$$V = \frac{C}{\bar{\sigma}}$$

Berücksichtigung von Hindernissen



- Collision detection mittels Raycasting anhand FDS OBSTRUCTIONS in Sichthöhe (angenommen: 2 m)
 - Sichtbare Bereiche:
 $O_i = 1$
 - Nicht sichtbare Bereiche:
 $O_i = 0$

Verwendung des Python Moduls FDSVisMap

```

from FDSVisMap import VisMap  → Import des Moduls

sim_dir = '../FDS_simulation_directory'
bg_img = '../floorplan.png'    → Relative Pfade des Simulationsverzeichnisses
                                und Hintergrundbild (Grundriss)

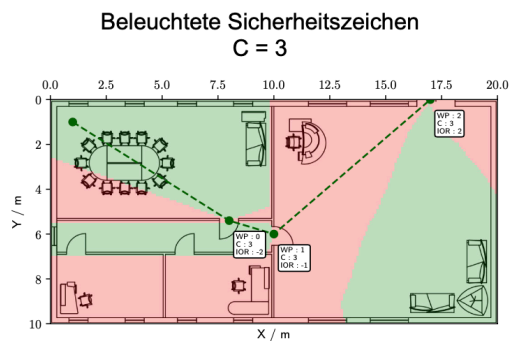
vis = VisMap(sim_dir)          → Erzeugen einer Instanz von VisMap

vis.add_background_image(bg_img) → Hinzufügen des Hintergrundbildes

vis.set_start_point(1, 1)      → Festlegen des Startpunktes (X, Y)
vis.set_way_point(8, 5.4, 3, -2)
vis.set_way_point(10, 6, 3, -1)
vis.set_way_point(17, 0, 8, 2) → Festlegen der Wegpunkte (X, Y, C, IOR)

vis.plot_time_aggl_abs_bool_vismap() → Plot der Zeit agglomerierten Sichtweiten Karte
  
```

Nachweis der Sichtweite



- Berechnung der örtlich aufgelösten Sichtweite:

$$V_i = V_{\max,i} \cdot \cos \alpha_i \cdot O_i$$

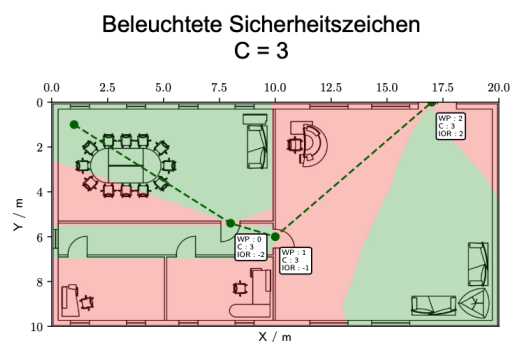
- Sichtbare Bereiche:

$V_i \geq L_i$: Lichtzeichen sichtbar

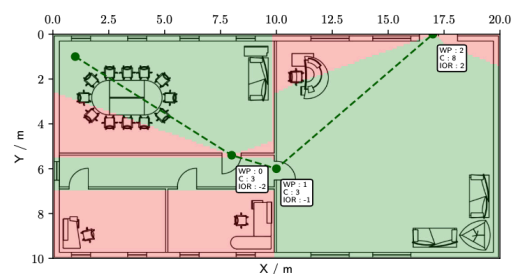
$V_i < L_i$: Lichtzeichen **nicht** sichtbar

Sichtweite auf Fluchtweg ist nicht durchgehend sichergestellt!

Nachweis der Sichtweite



Beleuchtete + hinterleuchtete Sicherheitszeichen
C = 3, C = 8



Zusammenfassung

- Wegpunkte basierter Ansatz ist intuitiv
- Berechnung eines mittleren Extinktionskoeffizienten erlaubt Berücksichtigung inhomogener Rauchverteilung
- Gegenüberstellung von vorhandener und erforderlicher Sichtweite erlaubt "eindeutigen" leistungsorientierten Nachweis



fdsvismap
auf github

Ausblick

- Erweiterung der Sichtachsen auf räumliche Ebene
- Berücksichtigung anderer Einflussgrößen auf die Sichtweite wie z.B. Reizwirkung und Art des Rauches



fdsvismap
auf github

Vielen Dank!



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



JÜLICH
Forschungszentrum

Susanne Kilian:

Konzepte zur Lösung der FDS Druckgleichung - ein Überblick

Abstract:

Die Lösung der FDS Druckgleichung stellt trotz umfangreicher Anstrengungen noch immer eine große Herausforderung dar. Hauptgrund ist der immanent globale Charakter des Drucks, der eine gleichermaßen ‚numerisch exakte‘ als auch ‚rechnerisch effiziente‘ Berechnung auf HPC-Systemen maßgeblich erschwert.

Im Laufe der Jahre wurden diverse FDS Drucklöser auf Basis verschiedener algorithmischer Ansätze entwickelt, die sich hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile sowie Einsatzmöglichkeiten grundlegend unterscheiden. Die einzelnen Löser werden im FDS User Guide mit Hilfe einer tabellarischen Übersicht einander gegenübergestellt, sind in ihrer Gesamtheit jedoch nur noch schwer zu überblicken.

Der aktuelle Vortrag soll dazu beitragen, die zugrunde liegenden Konzepte einzuordnen und geeignete Anwendungsempfehlungen/-grenzen für die einzelnen Löser aufzuzeigen.

Konzepte zur Lösung der FDS Druckgleichung

Ein Überblick

Dr. Susanne Kilian
hhpberlin – Ingenieure für Brandschutz
10249 Berlin



Drucklöser-Tabelle im FDS User Guide



Solver	Allows				Handles Errors		
	Refinement	Stretching	Add/ Remove	Zones	Velocity @Mesh	Velocity @Solid	Inseparability
FFT (default)	?				?		
ULMAT							
GLMAT							
UGLMAT							
UScaRC							

„Allows“



Solver	Allows				Handles Errors		
	Refinement	Stretching	Add/ Remove	Zones	Velocity @Mesh	Velocity @Solid	Inseparability
FFT (default)	✓	2 directions	✓	✓	iterative	iterative	iterative
ULMAT	✓	Welche zusätzlichen Funktionalitäten bieten die einzelnen Löser?	✓	✓	iterative	exact	iterative
GLMAT	✗		✓	✓	exact	iterative	iterative
UGLMAT	✗		✗	✗	exact	exact	iterative
UScaRC	✗	✓	✓	✓	exact	exact	exact

„Allows“



Solver	Allows				Handles Errors		
	Refinement	Stretching	Add/ Remove	Zones	Velocity @Mesh	Velocity @Solid	Inseparability
FFT (default)	✓	2 directions	✓	✓	iterative	iterative	iterative

konstante Ratio, große Zelle muss durch kleine abgedeckt sein!

Stretching in 2 Raumdimensionen möglich
stückweise linear oder polynomial

dynamisches Erscheinen und
Verschwinden von Obstructions

Unterschiedlicher Hintergrunderdruck
in verschiedenen Meshes

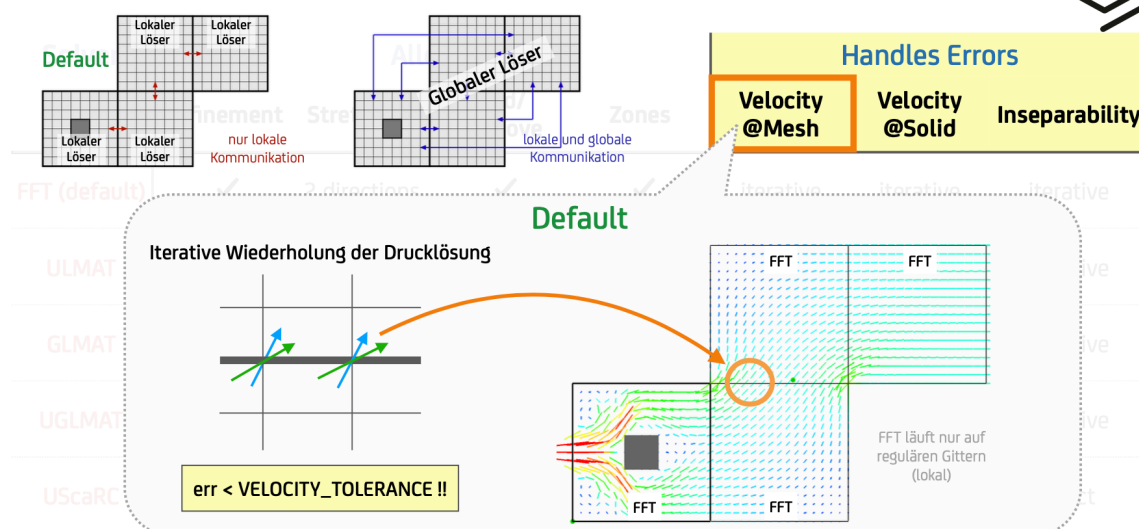
'Handles Errors'



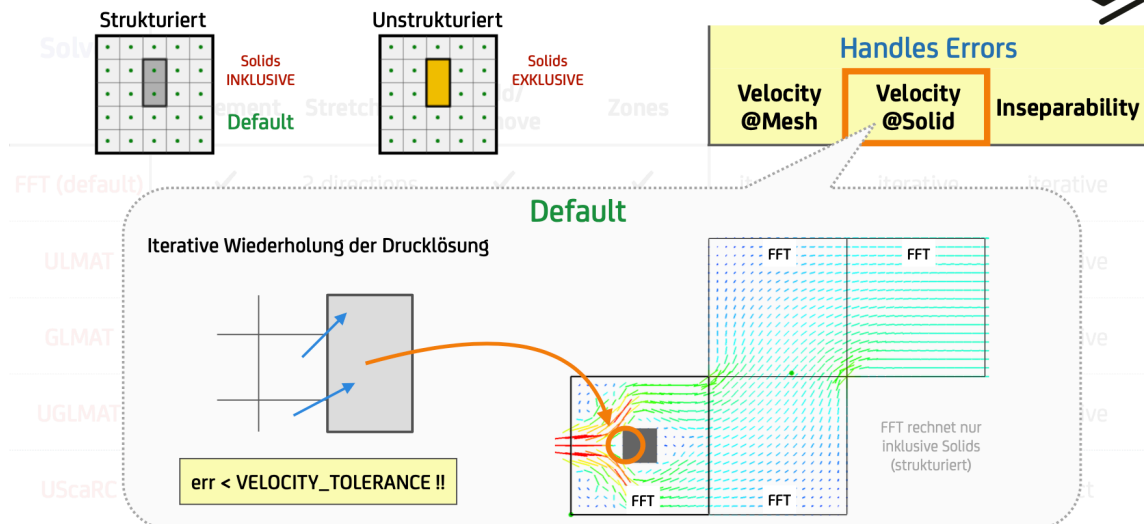
Solver	Allows				Handles Errors		
	Refinement	Stretching	Add/ Remove	Zones	Velocity @Mesh	Velocity @Solid	Inseparability
FFT (default)	✓	2 directions	✓	✓	iterative	iterative	iterative
ULMAT	✓	✓	✓	✓	iterative	exact	iterative
GLMAT	✗	✗	✓	✓	exact	relative	iterative
UGLMAT	✗	✗	✗	✗	exact	exact	iterative
UScaRC	✗	✓	✓	✓	exact	exact	exact

Wie gehen
die einzelnen Löser mit
Fehlereinflüssen um?

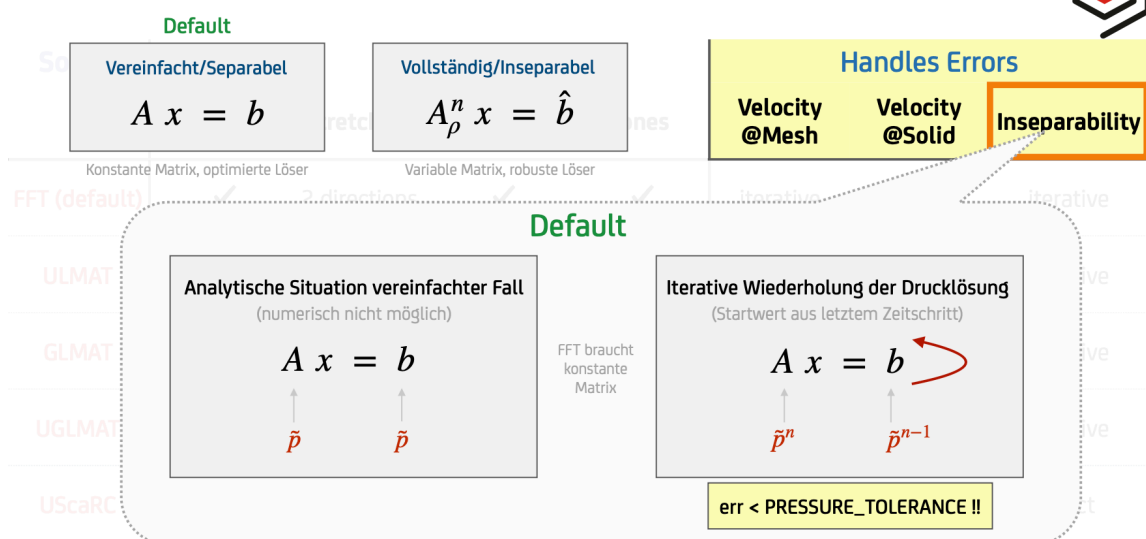
'Handles Errors' - Mesh Interfaces



'Handles Errors' - Solids



'Handles Errors' - Inseparability



Was können die einzelnen Drucklöser?



Solver	Allows				Handles Errors		
	Refinement	Stretching	Add/ Remove	Zones	Velocity @Mesh	Velocity @Solid	Inseparability
FFT (default)	✓	2 directions alle zusätzlichen Funktionalitäten	✓	✓	iterative lokal	iterative strukturiert	iterative vereinfacht
ULMAT	✓	✓ alle zusätzlichen Funktionalitäten	✓	✓	iterative lokal	exact unstrukturiert	iterative vereinfacht
GLMAT Hoher Speicherbedarf!	✗	✗ teilweise zusätzliche Funktionalitäten	✓	✓	exact global	iterative strukturiert	iterative vereinfacht
UGLMAT Hoher Speicherbedarf!	✗	✗ keine zusätzliche Funktionalitäten	✗	✗	exact global	exact unstrukturiert	iterative vereinfacht
USCaRC Experimentell!	✗	✓ viele zusätzliche Funktionalitäten	✓	✓	exact global	exact unstrukturiert	exact vollständig

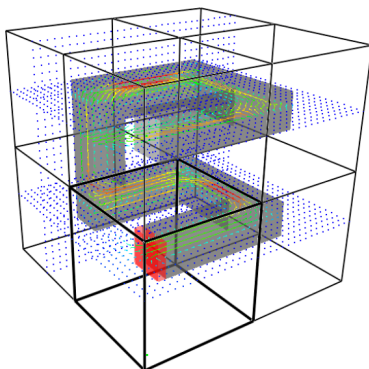
Kurz zusammengefasst



Solver	Allows				Handles Errors		
	Refinement	Stretching	Add/ Remove	Zones	Velocity @Mesh	Velocity @Solid	Inseparability
FFT (default)	alle zusätzlichen Funktionalitäten: Interfaces, Solids und Druckdifferenzen NICHT exakt						iterative
ULMAT	alle zusätzlichen Funktionalitäten: nur Solids exakt				iterative	exact	iterative
GLMAT Hoher Speicherbedarf!	kein Stretching und Refinement: nur Interfaces exakt				exact	iterative	iterative
UGLMAT Hoher Speicherbedarf!	keine zusätzlichen Funktionalitäten: Solids und Interfaces exakt					exact	iterative
USCaRC Experimentell!	kein Refinement: Interfaces, Solids UND Druckdifferenzen exakt					exact	exact

Internal Flows

duct_flow case

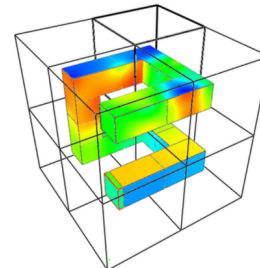


Strömung über viele Meshes ‚eingeschlossen‘,
zusätzlich komplexe innere Strukturen

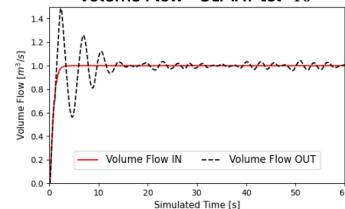
Fehler an
inneren Strukturen
für strukturierte Löser

Verzögerte Ausbreitung &
inkorrekter Volumenfluss
für lokale Löser

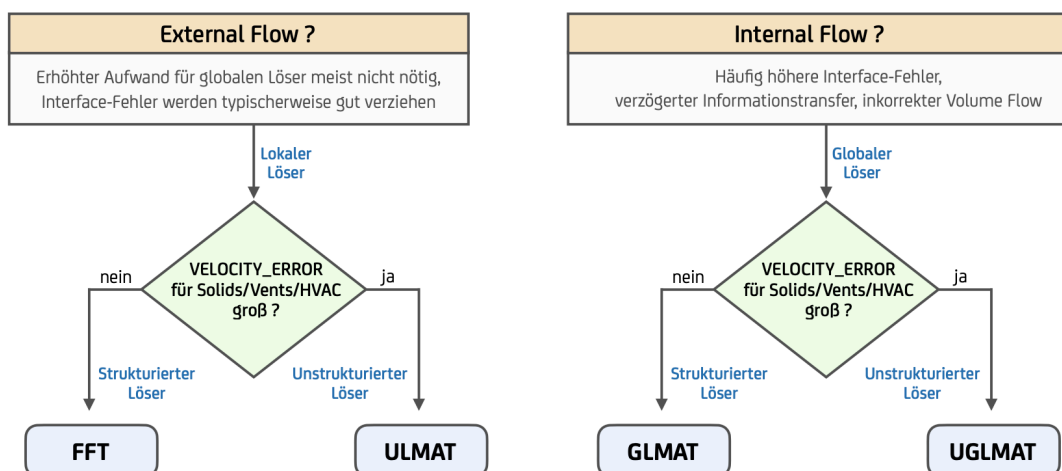
Velocity Error - FFT tol= 10^{-3}



Volume Flow - ULMAT tol= 10^{-3}



Anwendungshinweise

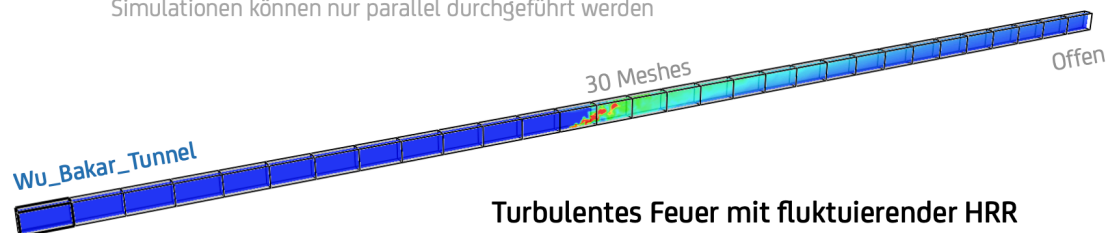


Lange Tunnel - Spezialfall ‚internal flow‘



Typischerweise sehr großskalig

Simulationen können nur parallel durchgeführt werden



Turbulentes Feuer mit fluktuierender HRR

Massenstrom, Geschwindigkeits- und Druckfeld stark oszillierend

Strömung ist ‚gefangen‘

Druck kann nur an den Enden entweichen

Wu_Bakar_Tunnel case



Erinnerung: Iterative Druckkorrektur

Vereinfachter Drucklöser

$$A x = \tilde{b}$$

$\uparrow$ $\uparrow$
 $\tilde{p}^n$ $\tilde{p}^{n-1}$

Druckfelder aufeinanderfolgender Zeitschritte sehr unterschiedlich wegen starker Oszillationen !

Fehlerstatistik in chid.out:

FFT: Default

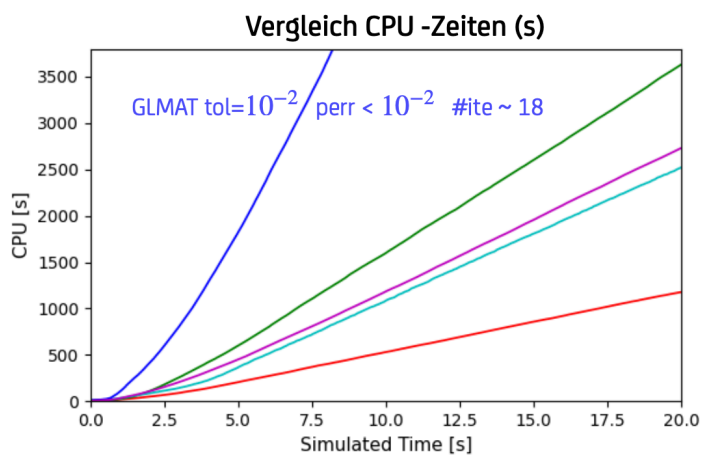
Pressure Iterations: 9
 Maximum Velocity Error: 0.43E-02 on Mesh 13 at (50,1,12)
 Maximum Pressure Error: 0.18E+06 on Mesh 13 at (24,10,1)

FFT: PRESSURE_TOLERANCE = 10⁻²

Pressure Iterations: 117
 Maximum Velocity Error: 0.18E-07 on Mesh 14 at (50,6,24)
 Maximum Pressure Error: 0.88E-02 on Mesh 13 at (32,6,1)

Beachte: Default für PRESSURE_TOLERANCE: 20/δx²s⁻² (Einheit ist NICHT Pascal !!)

Wu_Bakar_Tunnel case



FFT tol= 10^{-2} perr $< 10^{-2}$ #ite ~ 117

USCARC perr $< 10^{-8}$ #ite = 1 !!
GLMAT default perr $\sim 10^5$ #ite ~ 6

FFT default perr $\sim 10^5$ #ite ~ 9

Beachte:

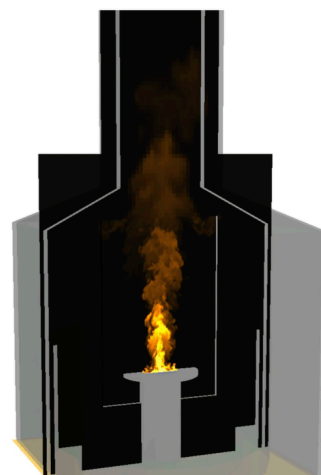
perr : 'Maximum Pressure Error' aus chid.out
#ite : 'Pressure Iterations' aus chid.out

FDS 7 beta planned January 2023

NIST

Planned major changes include:

- Complex geometry option (the GEOM namelist)
- 3D heat transfer (includes thin OBST, implicit time step, independent from gas phase resolution)
- HVAC duct heat transfer and network visualization in Smokeview
- Ability to specify multiple simple chemistry reactions
- Identification of problematic void pressure zones and automatic pressure relief

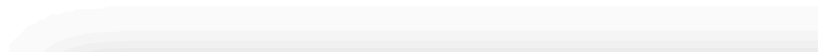


FDS 7 alpha simulation of a 1 m helium plume inside the Sandia FLAME facility



Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit !

Fragen ?



Als umfassende Kontakt- und Kooperationsplattform für alle deutschsprachigen Anwender des Fire Dynamics Simulators bietet die FDS Usergroup die Möglichkeit zum intensiven Austausch von Informationen, Anregungen und Hilfestellungen rund um das Programm FDS.

Bei FDS handelt es sich um ein Computational Fluid Dynamics (CFD) Modell zur Simulation brandinduzierter Strömungen mit niedriger Geschwindigkeit, wobei das Hauptaugenmerk auf der Vorhersage der entstehenden Rauch- und Wärmeausbreitung liegt. Die erzielten Simulationsergebnisse können mit Hilfe des zugehörigen Grafikprogramms Smokeview in unterschiedlichen zwei- sowie dreidimensionalen Ansichten visualisiert werden.

Die Entwicklung von FDS, dessen Anfänge bereits in das Jahr 2000 zurückreichen, wird im Rahmen einer internationalen Kooperation durch das National Institute of Standards and Technology (NIST) und das VTT Technical Research Centre of Finland kontinuierlich vorangetrieben. Als maßgebliche Hauptentwickler sind Kevin McGrattan, Simo Hostikka, Jason Floyd, Randall McDermott, Marcos Vanella sowie Glenn Forney zu nennen. Hinzu kommt eine stetig wachsende Zahl von Kollaborateuren weltweit.

Interessierte FDS-Nutzer können sich unverbindlich und kostenlos in der FDS Usergroup registrieren und von der Zusammenarbeit mit anderen Mitgliedern profitieren. Auf jährlich organisierten Anwendertreffen können persönliche Netzwerke gestärkt und Erfahrungen untereinander ausgetauscht werden. Die dort präsentierten Beiträge werden in Form eines referenzierbaren Jahresbandes zusammengefasst.

Dr. Susanne Kilian
Initiatorin der FDS Usergroup



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

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