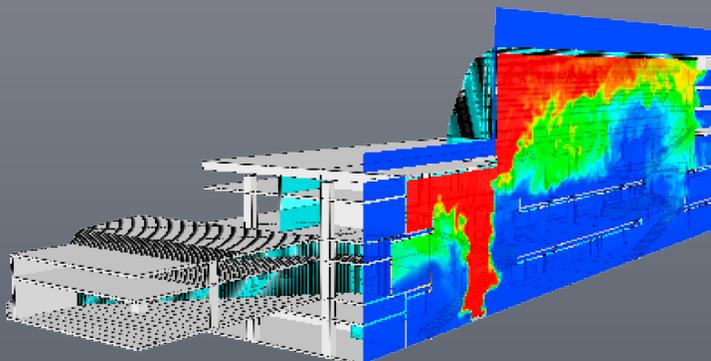


10. ANWENDERTREFFEN DER FDS USERGROUP

TAGUNGSBAND ZUSAMMENSTELLUNG DER VORTRÄGE

Datum:
10.11.2016
Ort:
hhpberlin
Rotherstraße 19
10245 Berlin



INHALT**Vorträge 10.11.2016**

Multivariate Brandsimulation am Beispiel einer unterirdischen Personenverkehrsanlage? Benjamin Schröder	2
Einfluss der 1D-Wärmeleitungsmodellierung für ausgewählte Testfälle aus der Bahn-Industrie Fabian Brännström	23
Einfluss der Pyrolyseparameter auf die Brandsimulation Teil 2 Corinna Trettin	47
Witterungseinflüsse bei Brandsimulationen - Grundlagenanalyse Andreas Vischer	59
Simulationsgestützte Ermittlung kritischer Einbausituationen von Rauchwarnmeldern Lukas Arnold	70
Compile, Link, Go - FDS on Linux Clusters Lukas Arnold	83
Protection against external fire spread - Horizontal projections or spandrels? Bjarne Husted	94
Untersuchungen von FDS-Drucklösern auf unstrukturierten Gittern Susanne Kilian	104

Benjamin Schröder:**Multivariate Brandsimulation am Beispiel einer unterirdischen Personenverkehrsanlage****Abstract:**

Eines der wissenschaftlichen Ziele des ORPHEUS Forschungsprojekts ist die Untersuchung der Störanfälligkeit eines komplexen Flucht- und Rettungswegsystems im Brandfall. Als Fallstudie dient hierfür die U-Bahn-Station Osloer Straße in Berlin. Die Grundlage der deterministischen Analyse sind Ensemble-Simulationen, die mit FDS auf dem JURECA Cluster am Forschungszentrum Jülich durchgeführt wurden. Die untersuchten Systemvariationen sind u.a. verschiedene Brandverläufe und Brandorte sowie die Berücksichtigung klimatologischer Einflüsse.

Der Beitrag gibt zunächst einen Überblick über die grundsätzlichen Gedanken beim Aufbau des Ensembles. Dabei werden sowohl fachliche Überlegungen als auch handwerkliche Themen beleuchtet. Darüber hinaus wird ein auf Felddaten basierender Vorschlag zur Modellierung klimatologischer Bedingungen beschrieben. Im Rahmen der Auswertung wird ein Verfahren angewendet, mit dem die Bestimmung der verfügbaren Räumungszeit (ASET) sowohl räumlich als auch hinsichtlich multipler Leistungskriterien aufgelöst werden kann. Aus diesem Auswertungsverfahren können Kennzahlen abgeleitet werden, mit deren Hilfe ein übergreifender Bewertung der Brandszenarien möglich wird. Diese Bewertung wird anschließend in Form einer Korrelationsanalyse durchgeführt. Abschließend wird der erforderliche Ressourceneinsatz für eine derartige Analyse diskutiert.

Multivariate Brandsimulation am Beispiel einer uPVA

Benjamin Schröder
Jülich Supercomputing Centre



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Inhalt

- ? Motivation
-  Vorarbeiten
-  Versuchsplanung
-  Berechnung
-  Analyse
-  Schlussfolgerungen

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Motivation

ORPHEUS Projekt
Fragestellungen
Methodik

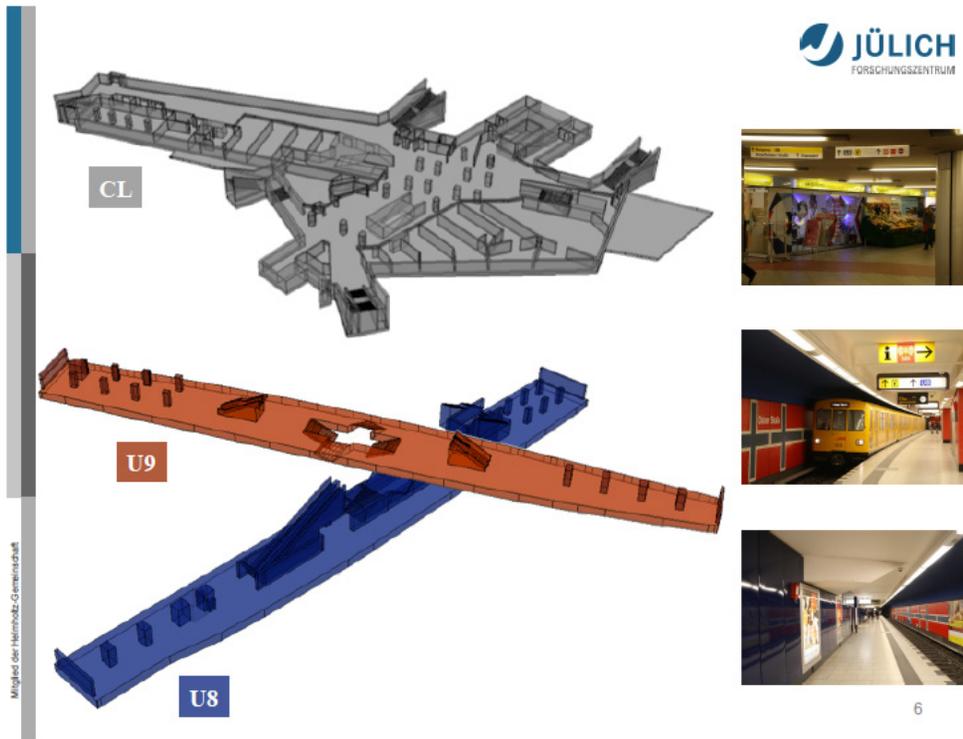
Mitglied der Heimnetz-Gemeinschaft

Fragestellungen



- AP 2.4: Flucht- und Rettungswege: *Resilienz* und besondere Nutzergruppen
- Resilienz: Widerstandsfähigkeit eines Systems gegen eine Störung.
 - System: Flucht- und Rettungswegnetzwerk
 - Störung: Brandereignis
- Einfluss der Szenarienvielfalt?
 - Brandorte, und -verläufe
 - Klimatologische Effekte
 - Deterministische Analyse

5



6

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft



Methodik

- Angelehnt an den *Performance-based Design Process* nach [Hurley und Rosenbaum, 2016]
- *Goal:* (Selbst-) Rettung von Menschen
- *Objective:* ASET > RSET + Sicherheitsspanne
- *Performance Criteria:*

Magnitude	Unit	Threshold
Extinction	m ⁻¹	0.23
Temperature	°C	45
Carbon dioxide	ppm	10,000
Carbon monoxide	ppm	100
Hydrogen cyanide	ppm	8
Hydrogen chloride	ppm	200

7

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Voruntersuchungen

Klima-Modellierung

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Klima-Modellierung

- Felddatenbasierter Ansatz
- Station umfangreich vermessen durch RUB

Verwendete Daten

- Wetterstation (Oberfläche)
 - T
- Ultrasonics (Untergrund)
 - V_x, V_y
 - T

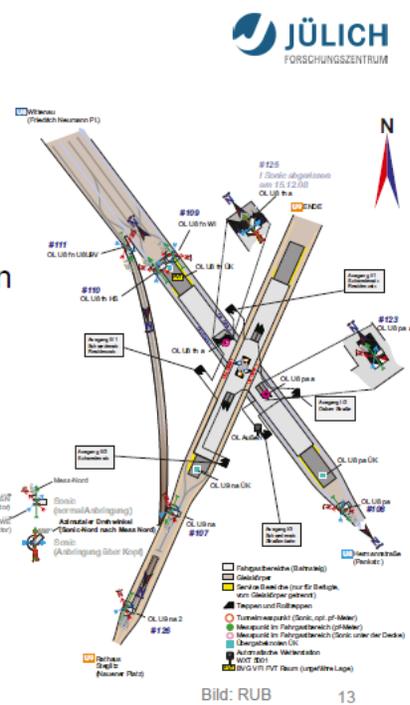
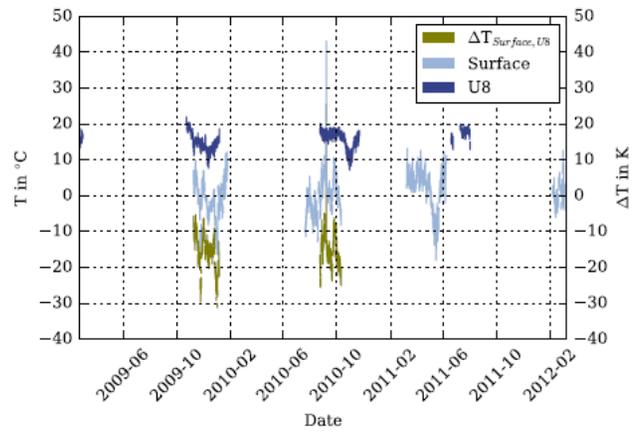


Bild: RUB 13

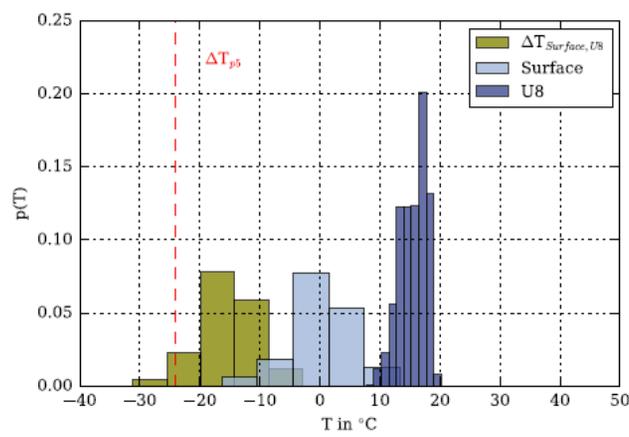
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Klima-Modellierung



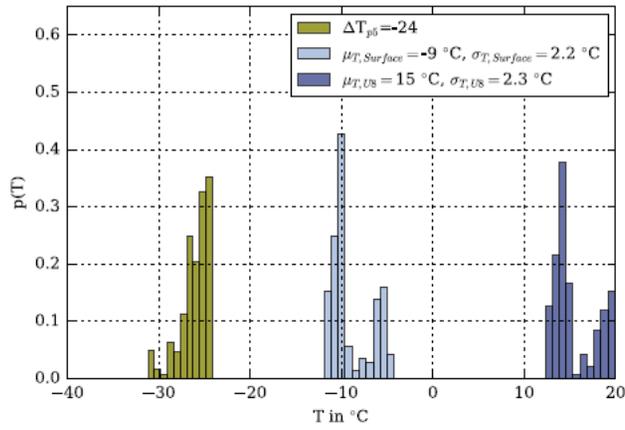
14

Klima-Modellierung



15

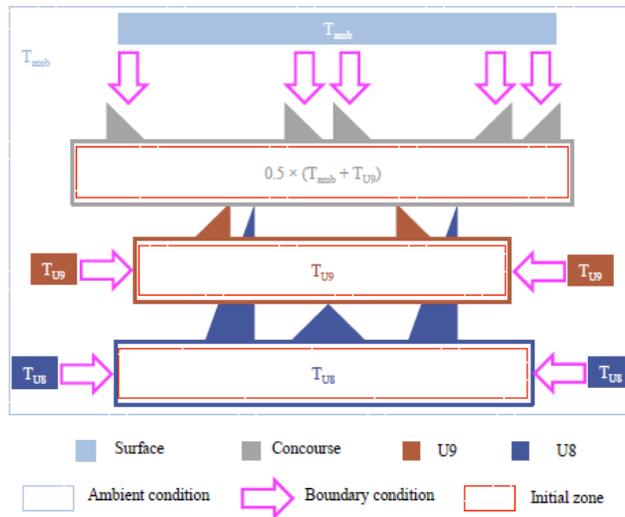
Klima-Modellierung



16

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

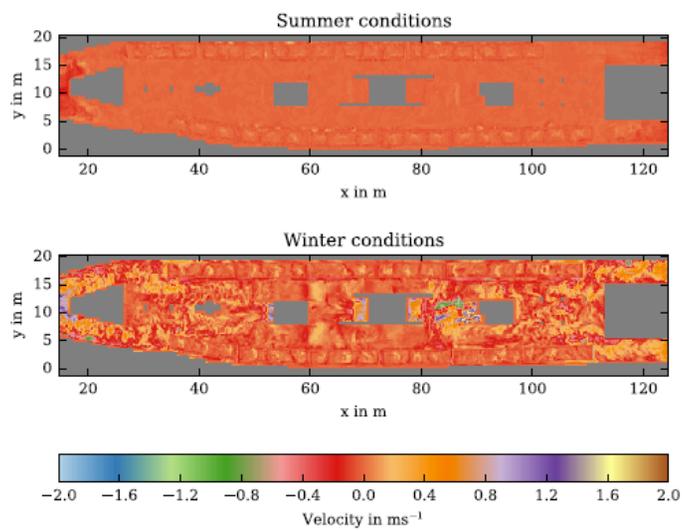
Klima-Modellierung



17

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Klima-Modellierung



18

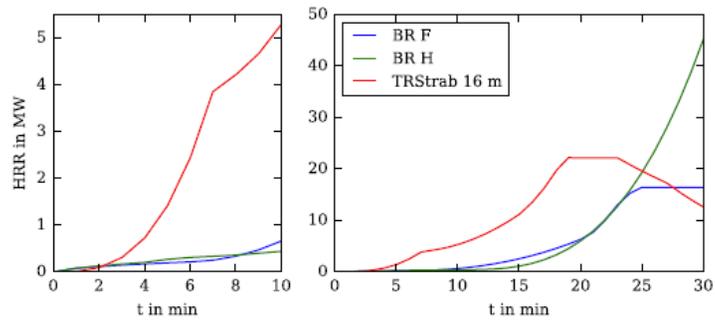
Versuchsplanung

Betrachtete Parameter
 Aufbau des Ensembles

Betrachtete Parameter

Brandverläufe

- hochenergetisch
- [Wilk, 2010] und [TRStrab BS, 2014]



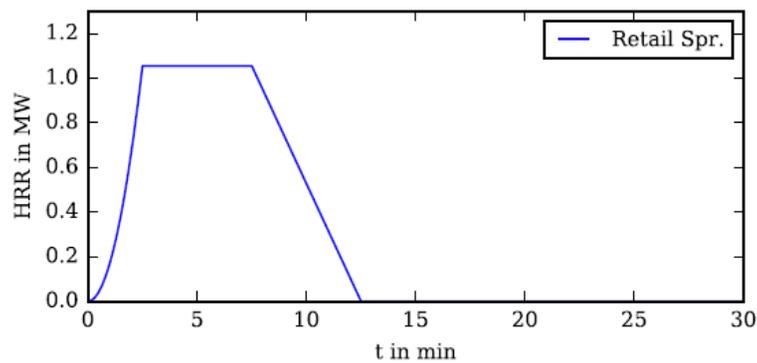
20

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Betrachtete Parameter

Brandverläufe

- mittelenergetisch



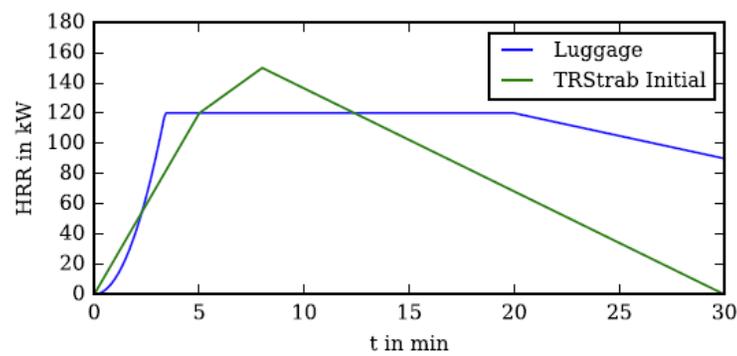
21

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Betrachtete Parameter

Brandverläufe

- niederenergetisch
- [Bulk, 2015] und [TRStrab BS, 2014]

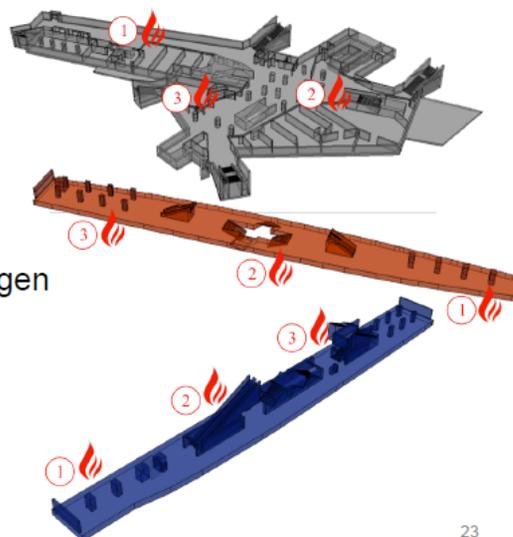


22

Betrachtete Parameter

Brandbereiche

- 3 pro Ebene
- Fahrebenen:
keine gesonderte
Betrachtung der
einzelnen Fahrrichtungen
- Zum Brandszenario
passende Platzierung



23

Aufbau des Ensembles

- 3x Full-factorial Sampling (1 Sub-Ensemble je Ebene)
- 2 Fahrebenen (**U8** + **U9**) 90 Szenarien
 - 3 + 2 Brandverläufe
 - 3 Brandbereiche
 - 3 Klimafälle
- 1 Verteilerebene (**CL**) 18 Szenarien
 - 1 + 1 Brandverläufe
 - 3 Brandbereiche
 - 3 Klimafälle

108 Szenarien

FDSgeogen

25

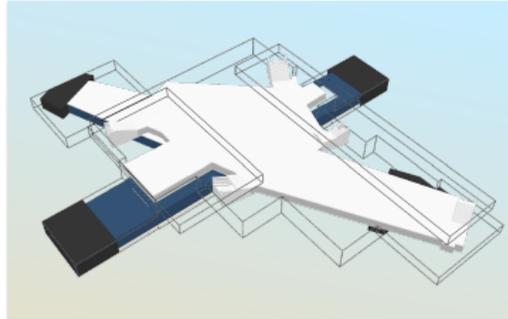
Berechnung

Gebietszerlegung

Ressourcen

Gebietszerlegung

- $dx = 0.15 \text{ m}$
- Ca. 26 Mio. Zellen
- 12 Meshes
- Alle Treppenräume innerhalb eigener Meshes
- Minimierung Schnittflächen



27

Ressourcen

FDS 6.3.2 Linux 64 bit

Parallelisierung

- Hybrider Ansatz: MPI + OpenMP
- 4 OpenMP threads je MPI Prozess
- 48 cores je Szenario (2 JURECA-Nodes)

Rechenzeiten

- Szenario: 10 – 35 d
- Ensemble: $\approx 3 \text{ Mio. core-h}$



28

Analyse

Problemstellung

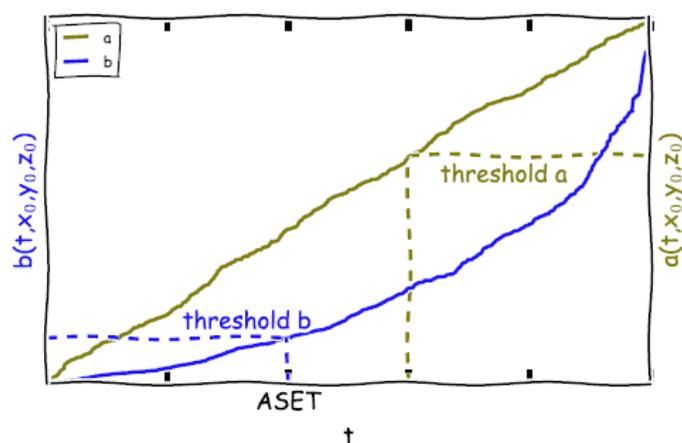
ASET-Karten

Korrelationsanalyse

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

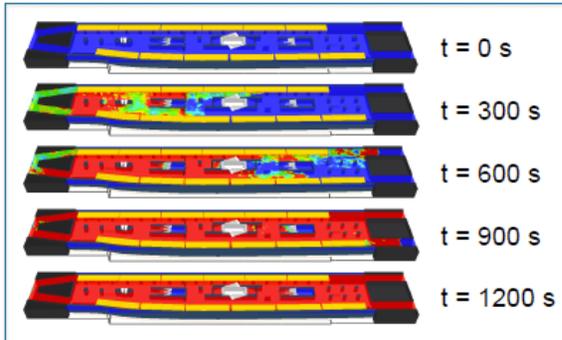
Problemstellung

Bestimmung der verfügbaren Räumungszeit (ASET)

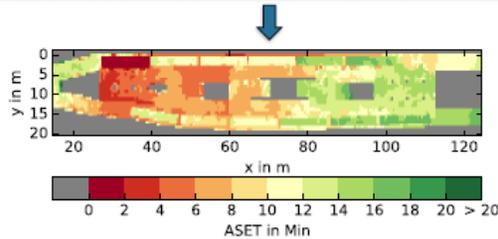


Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

ASET-Karten 1/2



- Grundlage: Slicefiles
- Hier: *Extinktion* (1.95 m)
- ASCII Konvertierung
- Stapelung der Daten über die Zeit (60 s)
- Iteration über alle Zeitschritte und Gitterpunkte
- Je Gitterpunkt: Zeitliche Bestimmung der ersten Überschreitung der Akzeptanzgrenze

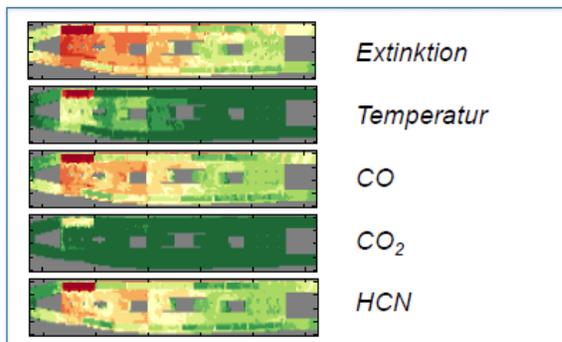


- Ausleitung einer Kartendarstellung zu ASET bzgl. Extinktion

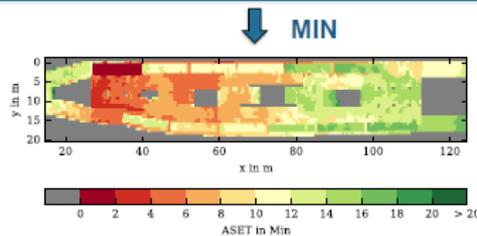
31

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

ASET-Karten 2/2



- Anwendung der Auswertung auf alle relevanten Leistungskriterien

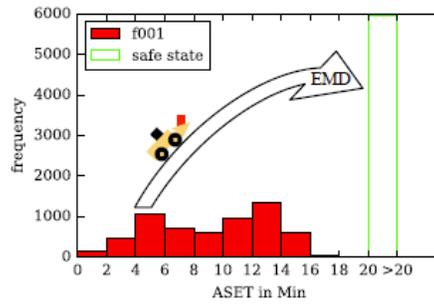
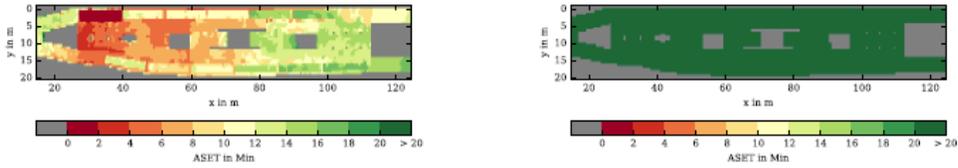


- Ausleitung einer finalen ASET-Karte, die das globale Minimum aller Einzelkarten darstellt.

32

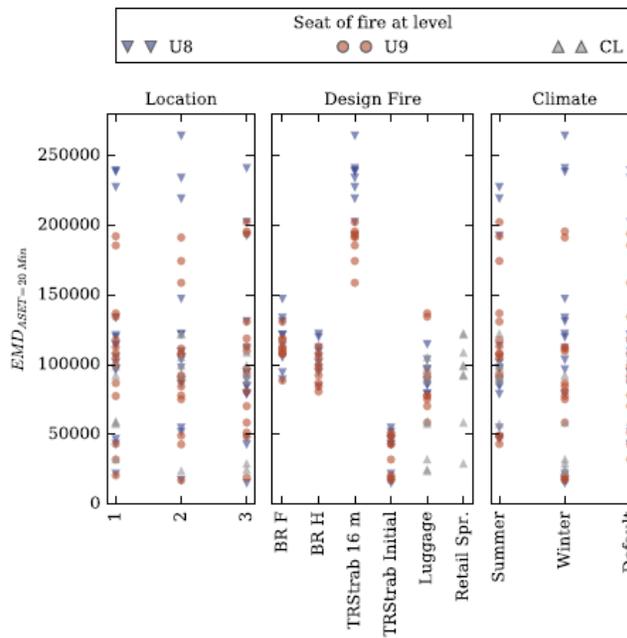
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Korrelationsanalyse



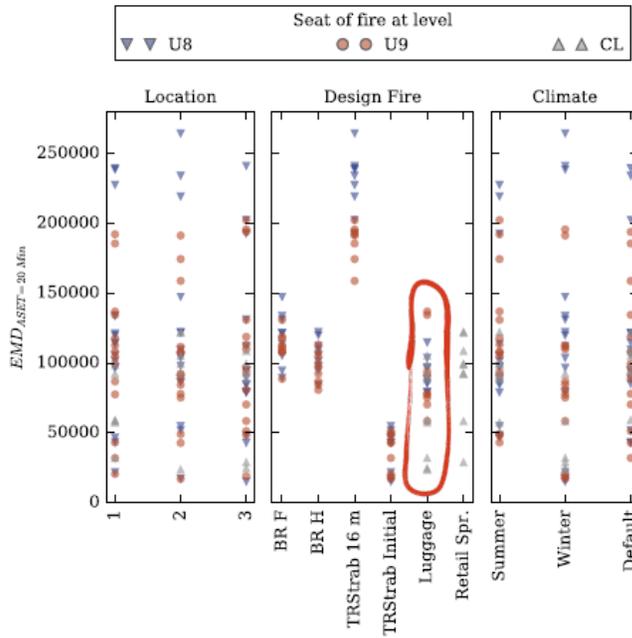
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Korrelationsanalyse



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

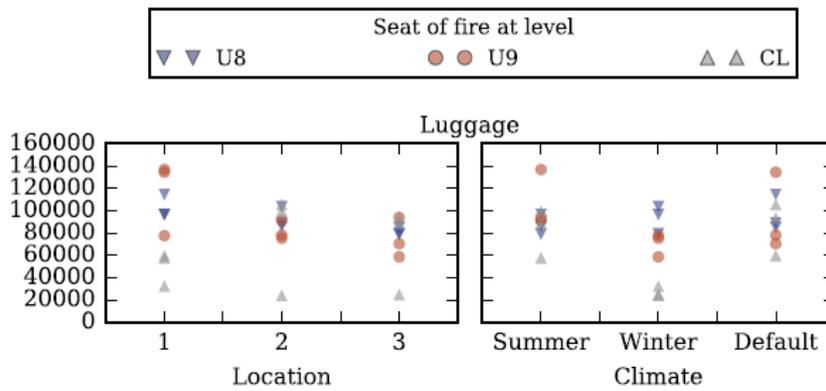
Korrelationsanalyse



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

36

Korrelationsanalyse



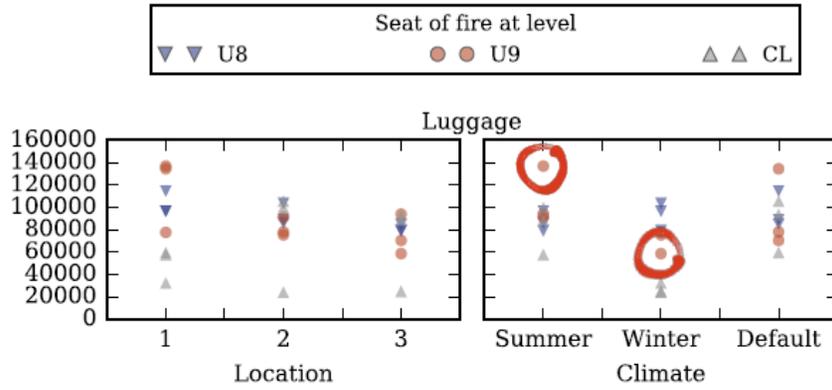
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

37

Korrelationsanalyse

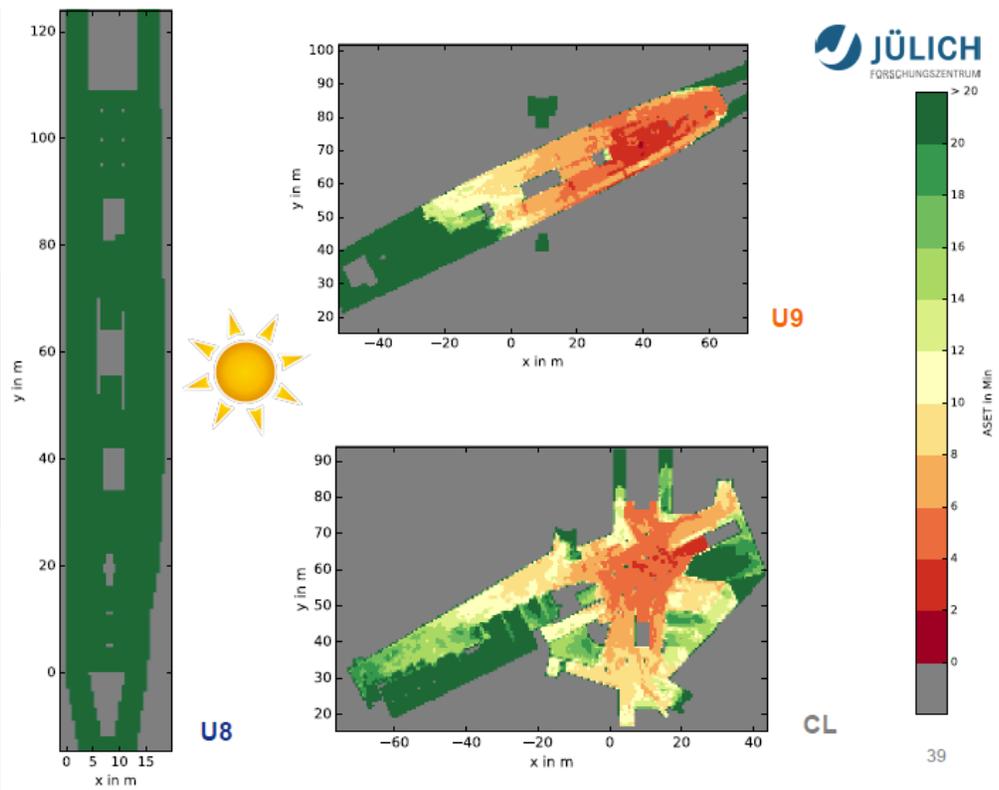


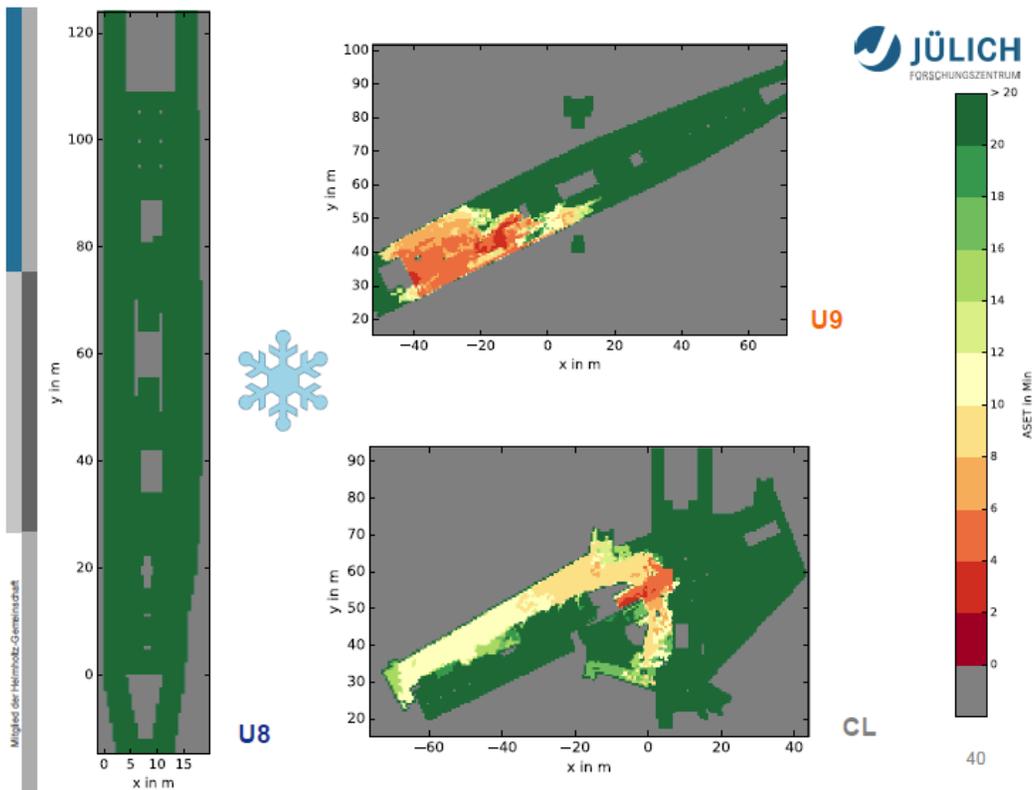
Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft



38

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft





Schlussfolgerungen

Lessons learned
Ausblick



Lessons learned

- Wesentlicher Determinante: Brandverläufe
- Klimaeinfluss entlang aller HRR Größenordnungen feststellbar.
- Rauchschrift(en): Verdünnung, Volumenvergrößerung, Unterstützung natürliche Ventilation
- Unterste Ebene nicht notwendigerweise die "konservativste" Annahme



Ausblick

- Weitergehende Auswertung der Daten
- Zusammenführung mit Räumungsszenarien
- Klassifizierung der Szenariokombinationen (Cluster-Analyse)



Herzlichen Dank!
Fragen?

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft



Literatur

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft



Literatur

[Bulk, 2015]

Bulk, J. (2015). *Brandschutz in Schienenfahrzeugen - Experimentelle und numerische Untersuchungen zu Reisegepäck als sekundäres Zündinitial*. PhD Thesis, Bergische Universität Wuppertal.

[Hurley and Rosenbaum, 2016]

Hurley, M. J. and Rosenbaum, E. R. (2016). *Performance-Based Design*. In Hurley, M., editor, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, book section 37. Society of Fire Protection Engineers, 5th edition.

[Schröder et al., 2014]

Schröder, B., Arnold, L., Brüne, M., Meunders, A., and Schmidt, S. (2014). *High parametric CFD-analysis of fire scenarios in underground train stations using statistical methods and climate modelling*. In 10th Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design, Gold Coast.

[Schröder et al., 2016]

Schröder, B., Arnold, L., Meunders, A., and Schmidt, S. (2016). *Smoke and Heat Extraction in Underground Stations*. In Interflam 2016, London.

[TRStrab BS, 2014]

TRStrab BS (2014). *Technische Regeln für Straßenbahnen – Brandschutz in unterirdischen Betriebsanlagen*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.

[Wilk, 2010]

Wilk, E. (2010). *Risikoanalyse zu brandtechnischen Eigenschaften der Schienenfahrzeuge der Berliner Verkehrsbetriebe*. Technical Report G 077 / 09, Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig.

Fabian Brännström:**Einfluss der 1D-Wärmeleitungsmodellierung für ausgewählte Testfälle aus der Bahn-Industrie****Abstract:**

In der Zugindustrie werden seit einigen Zeit Simulationen zur Unterstützung des Brandschutzes eingesetzt. Der Bedarf an Berechnungen steigt aufgrund von Kunden- und normativen Anforderungen (z.B. EN 45545) stetig an. Bei Bombardier Transportation werden seit etwa 2006 Berechnungen für den Brandschutz durchgeführt. Die Prozesse werden seitdem fortwährend weiterentwickelt. Die Berechnungen erfolgen mit Star-CCM+, fireFOAM und FDS. Insbesondere für die thermische Analyse von komplexen Schaltschränken ist FDS keine direkt Alternative. Die Wärmeleitung ist auf einzelne Obstructions beschränkt, erfolgt nur mit einer 1D-Modellierung und zudem erlaubt der aktuelle kartesische Ansatz keine detaillierte Darstellung der Komponenten. Der Vortrag wird den Einfluss einer 1D-Modellierung anhand ausgewählter Testfälle mit einer 3D-Modellierung vergleichen. Die Berechnungen für den Vortrag werden auf Star-CCM+/fireFOAM basieren und mit Ergebnissen von FDS gegenübergestellt.



Comparison of different wall heat transfer models

Fabian Brännström, 10.11.2016

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Agenda

1. INTRODUCTION
2. FIRE SIMULATION
3. TOOLS
4. CASES
5. SUMMARY

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Agenda

1. INTRODUCTION
2. FIRE SIMULATION
3. TOOLS
4. CASES
5. SUMMARY

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

3

BOMBARDIER
the evolution of mobility

BOMBARDIER Overview

1. Introduction



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Bombardier is the world's only manufacturer of both planes and trains, with a worldwide workforce of 76,400* people.

Bombardier is headquartered in Montréal, Canada. Our shares are traded on the Toronto Stock Exchange (BBD) and we are listed on the Dow Jones Sustainability World and North America indexes. In the fiscal year ended December 31, 2013, we posted revenues of \$18.2 billion USD.

4

* as at December 31, 2013 (includes 200 employees at our corporate office in Canada)

BOMBARDIER
the evolution of mobility

BOMBARDIER Our evolution

1. Introduction

1942-1973	1974-1985	1986-1993	Strategic Acquisitions	1993-2003	2003-
					
<ul style="list-style-type: none"> Company start-up Development of passenger and personal snowmobiles Vertical integration Energy crisis provoked market collapse 	<ul style="list-style-type: none"> Diversification into mass transit market Learning of new industry 1982 New York metro contract secured strong position in American market 	<ul style="list-style-type: none"> Entry into aerospace through Canadair acquisition Consolidation of North American mass transit position and reinforcement of presence in Europe 	<ul style="list-style-type: none"> Aerospace: Short Brothers (UK), Learjet (US), de Havilland (CA) Transportation: BN (BE), ANF (FR), Deutsche Waggonbau (DE), Concaril (MX), Talbot (DE), Adtranz (DE) 	<ul style="list-style-type: none"> CRJ Series, Global Express, Challenger 300 Tilting train, AGC (Autorail Grande Capacité) Sale of Recreational products business unit 	<ul style="list-style-type: none"> CRJ NextGen family, Learjet 85, Q400 NextGen, CSeries, Global 7000, Global 8000 Hybrid AGC, VHS, ECO4 Transportation's expansion into emerging markets

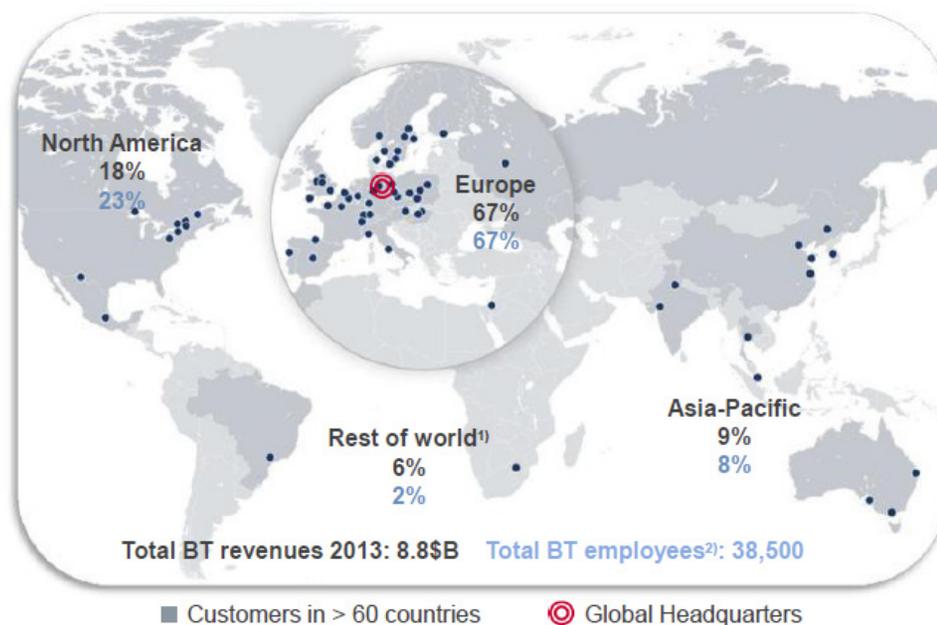
PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

5

BOMBARDIER
the evolution of mobility

BOMBARDIER TRANSPORTATION A global player with a European base

1. Introduction



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Note: As at December 31, 2013

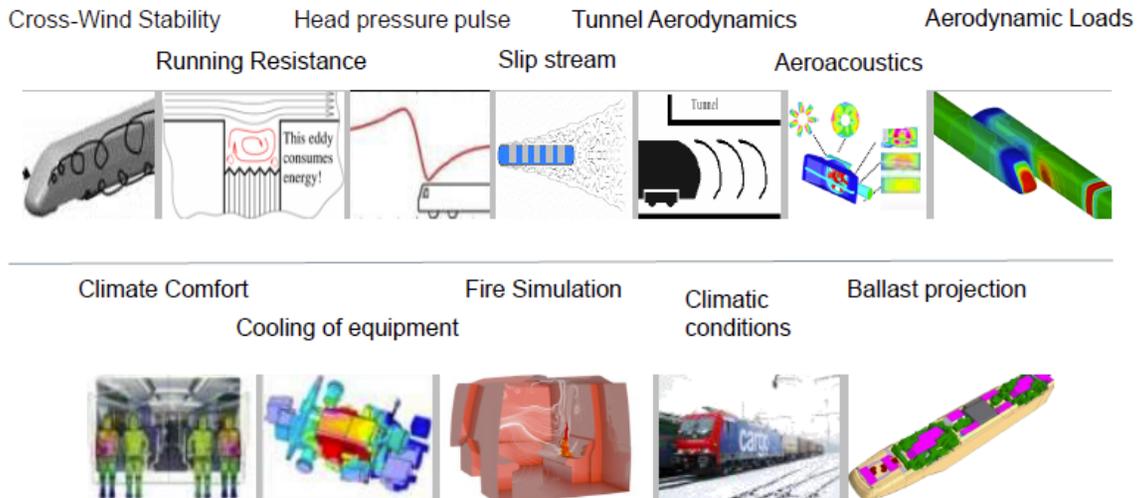
1) Rest of world includes CIS (incl. Russia), South America, Central America, Africa and the Middle East

BOMBARDIER
the evolution of mobility

6

Center of Competence for Aero-Thermodynamics

1. Introduction



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

7

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Agenda

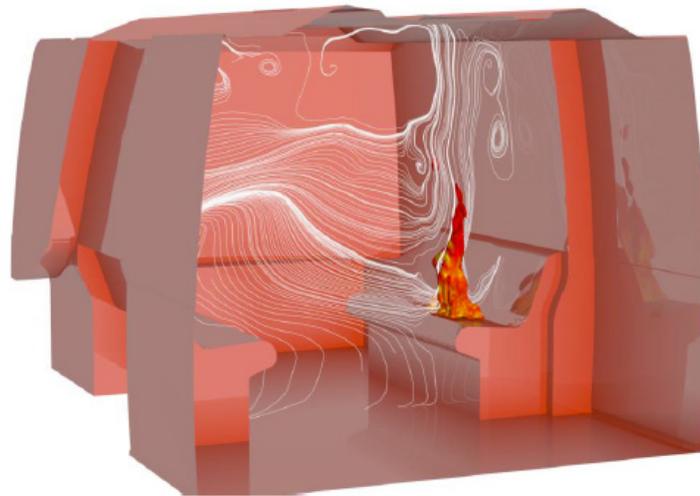
1. INTRODUCTION
2. FIRE SIMULATION
3. TOOLS
4. CASES
5. SUMMARY

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Fire Simulations in the railway industry

2. Fire Simulation

- Fire spread modelling
 - Compartment / Undercar
- Running Capability
 - Electrical cabinets
 - Car body structure
- Fire Resistance
 - Floor sections
 - Cab back walls



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

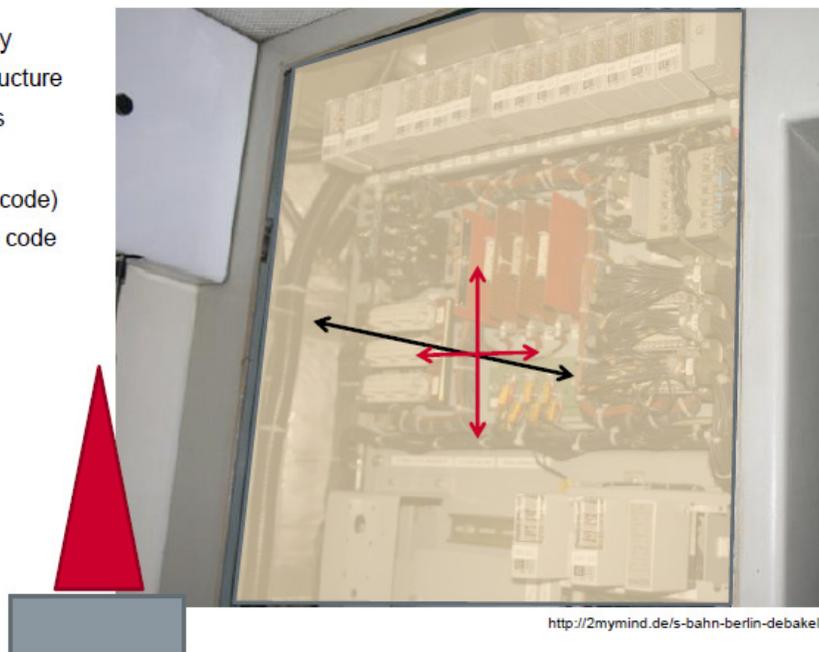
9

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Running Capability

2. Fire Simulation

- Running Capability
 - Train car body structure
 - Electrical cabinets
- Approach
 - CHT (within CFD code)
 - Input for structure code



<http://2mymind.de/s-bahn-berlin-debake/>

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

10

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Agenda

1. INTRODUCTION
2. FIRE SIMULATION
3. **TOOLS**
4. CASES
5. SUMMARY

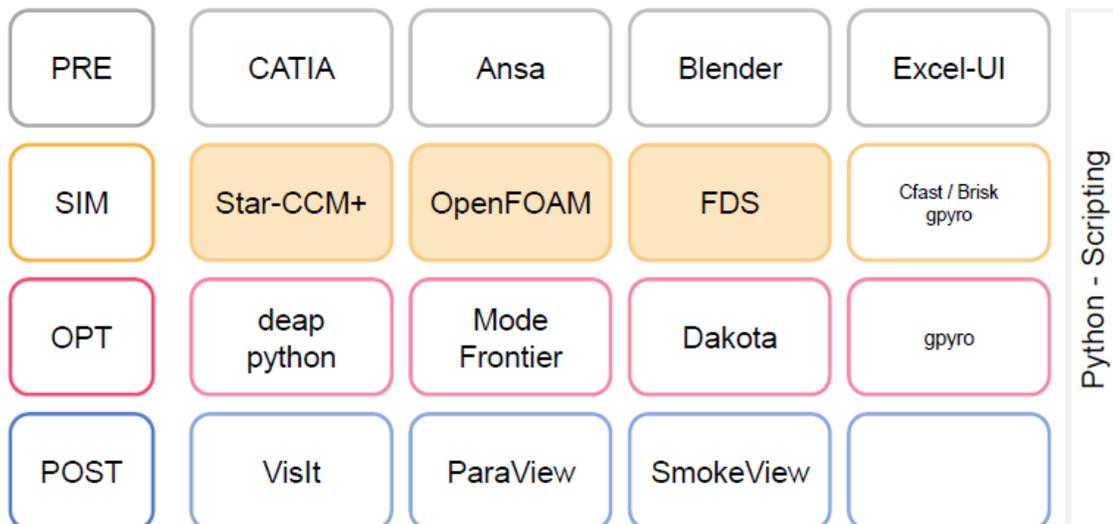
PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

11

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Tools (General + Fire Simulation)

3. Tools



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

12

BOMBARDIER
the evolution of mobility

CFD SIMULATION Tools

3. Tools

▪ FDS

- Good validation, good documentation, 'simple' to use, very fast...
- Usually strong simplification of geometry due to cartesian mesh
- Running in parallel is not robust
- Heat transfer in solids: 1D (3D option to couple with gpyro)

▪ OpenFOAM (fireFoam)

- Unstructured grid, good handling of complex geometries
- Fire spread modeling validated for complex test cases with and without sprinkler
- Documentation not good, but commercial support available
- Heat transfer in solids: 1D, 3D (CHT solver), baffle with 1D and 3D, k-Value

▪ Star-CCM+

- Unstructured grid, good handling of complex geometries
- No pyrolysis modeling available
- Combustion modeling → no option to set radiative fraction
- Heat transfer in solids: 3D (CHT solver), baffle 3D, k-Value

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

13

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Overview

1. INTRODUCTION
2. FIRE SIMULATION
3. TOOLS
4. CASES
5. SUMMARY

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

14

BOMBARDIER
the evolution of mobility

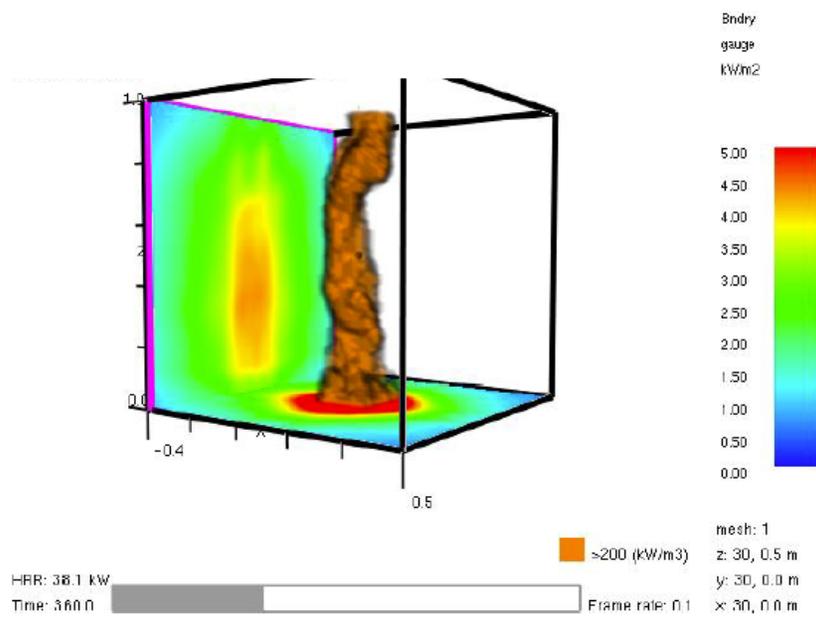
Impact of number of radiation angles

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

15

BOMBARDIER
the evolution of mobility

HRRPUA 1000kW/m² → 37kW

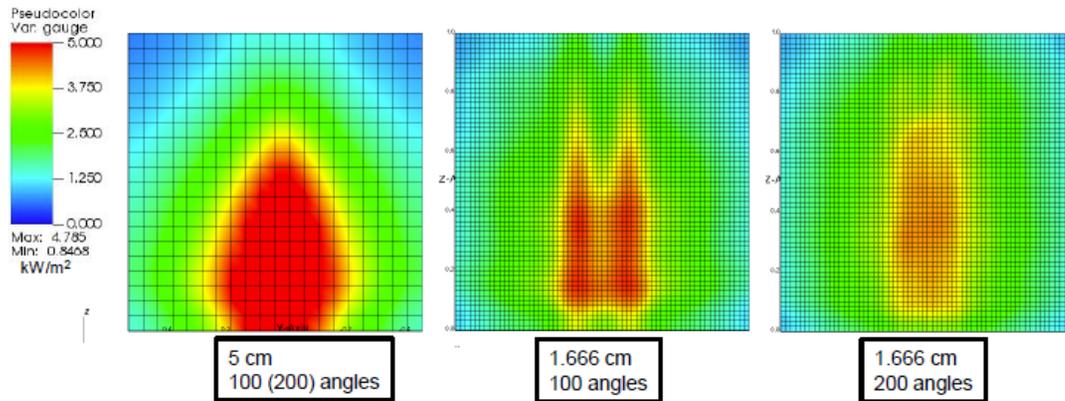


PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

16

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Impact of cell size and number of radiation angles on

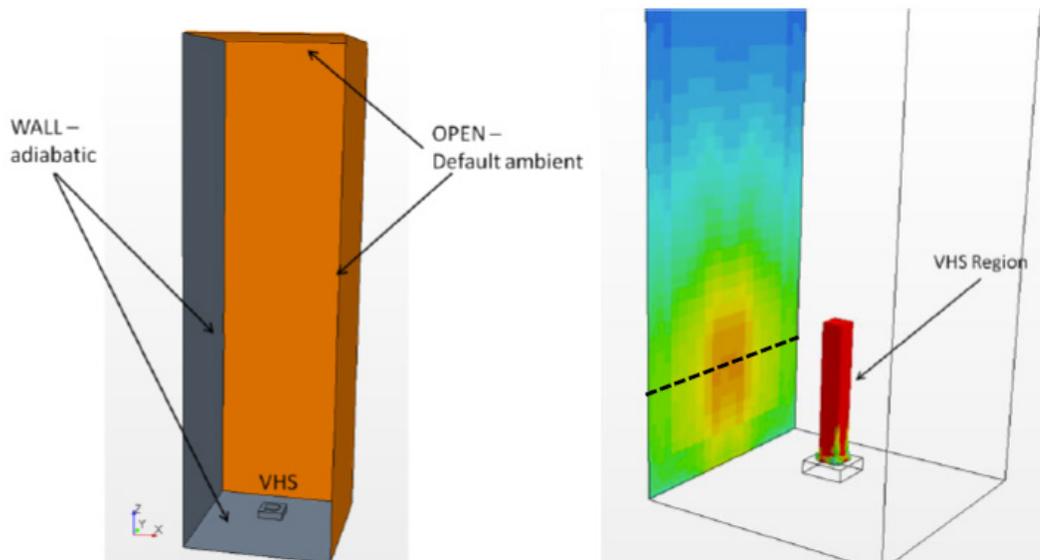


PRIVATE AND CONFIDENTIAL
 © Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

17

BOMBARDIER
 the evolution of mobility

Star-CCM+ with volumetric heat source (VHS)



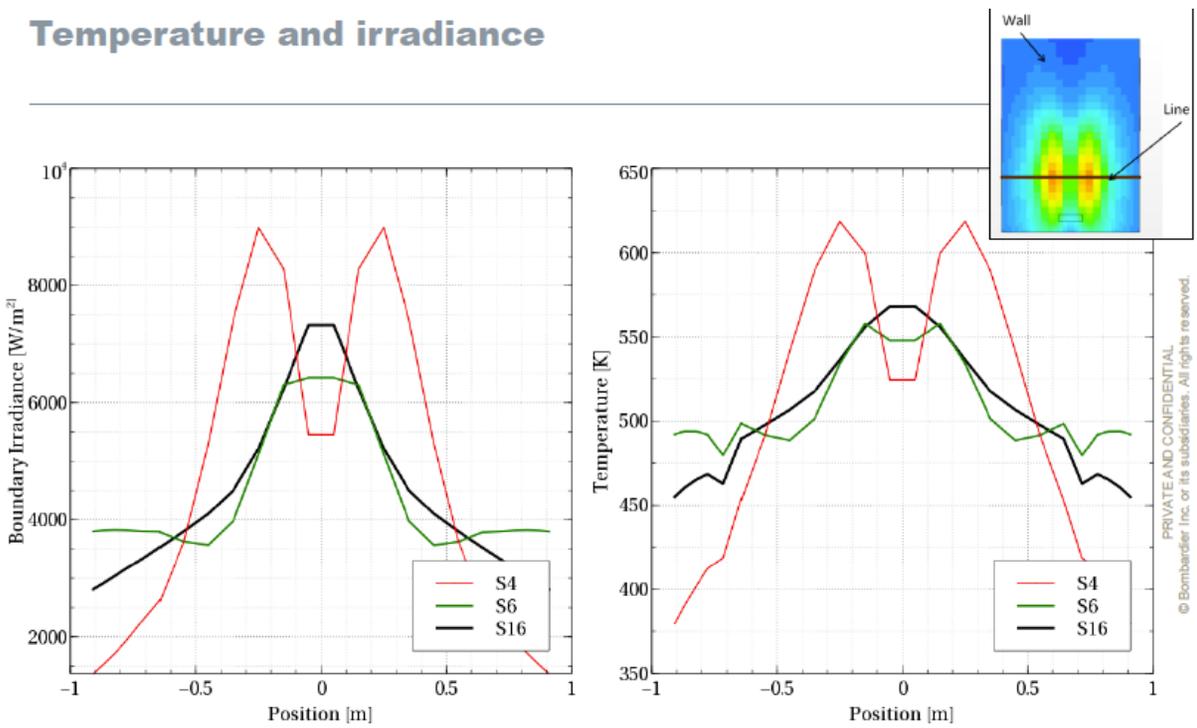
Star-CCM+ 9.02.005

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
 © Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

18

BOMBARDIER
 the evolution of mobility

Temperature and irradiance



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

19

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Results from Ferng et al. [1]

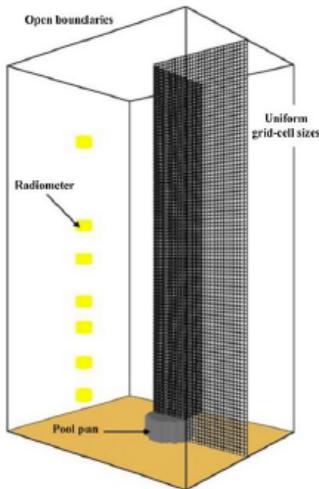
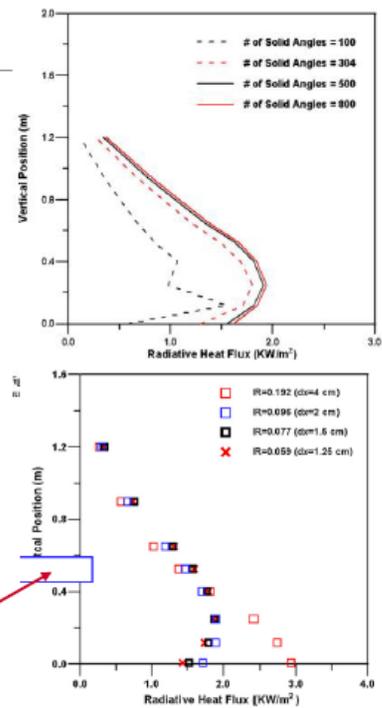


Fig. 1. Schematic of solution domain and typical mesh distribution.

... the decreasing mesh size and their distributions show little variation as R^* < 0.077. The optimal mesh resolution for the flame height and radiative heat flux is at $R^* = 0.077$ for the pool fire with the size less than 30 cm. In addition, according to the sensitivity study of



[1] Investigation of appropriate mesh size and solid angle number for CFD simulating the characteristics of pool fires with experiments assessment

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

20

BOMBARDIER
the evolution of mobility

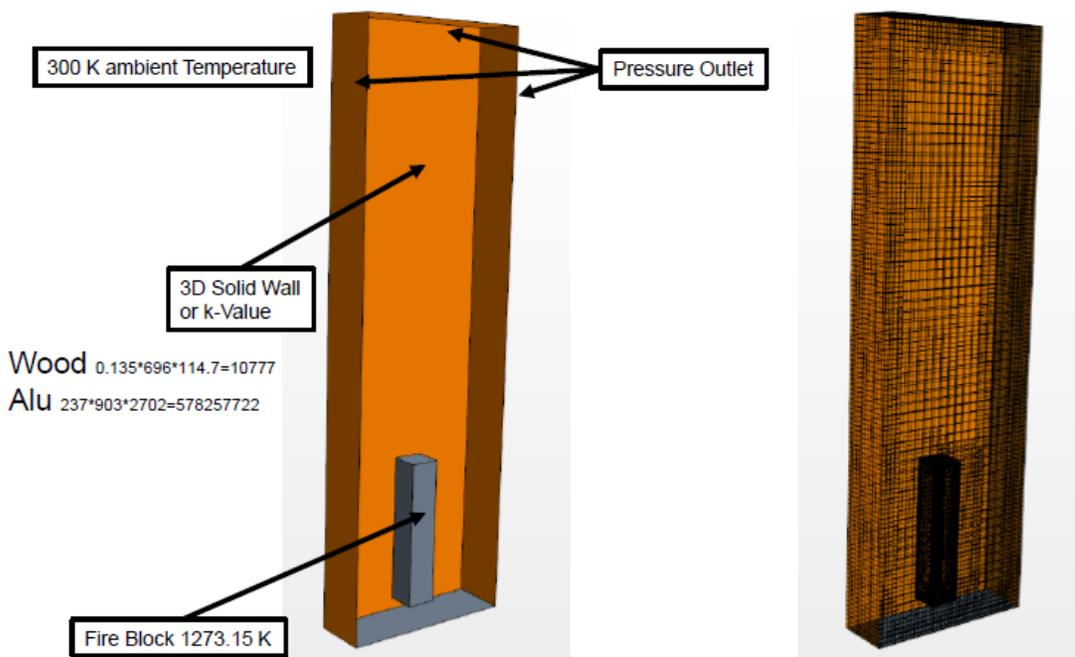
Star-CCM+ -
"Radiating Block"

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

21

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Simulation Setup

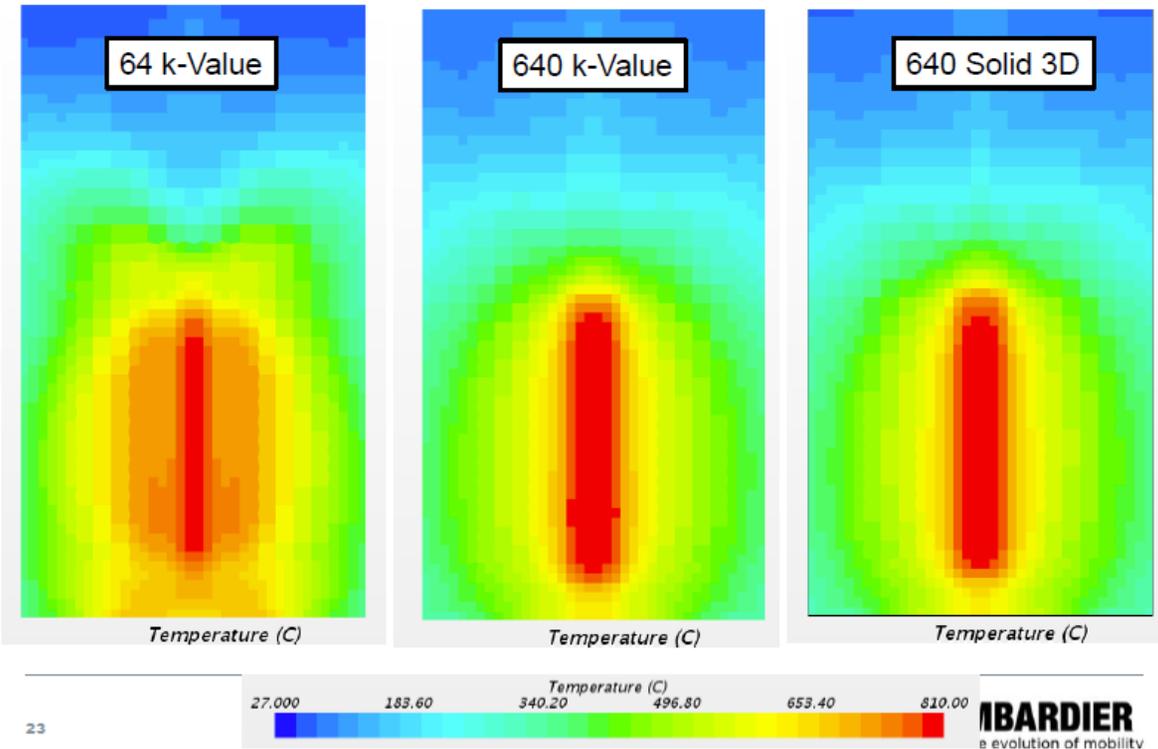


PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

22

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Temperature distribution on wall depending on number of radiation angles - WOOD



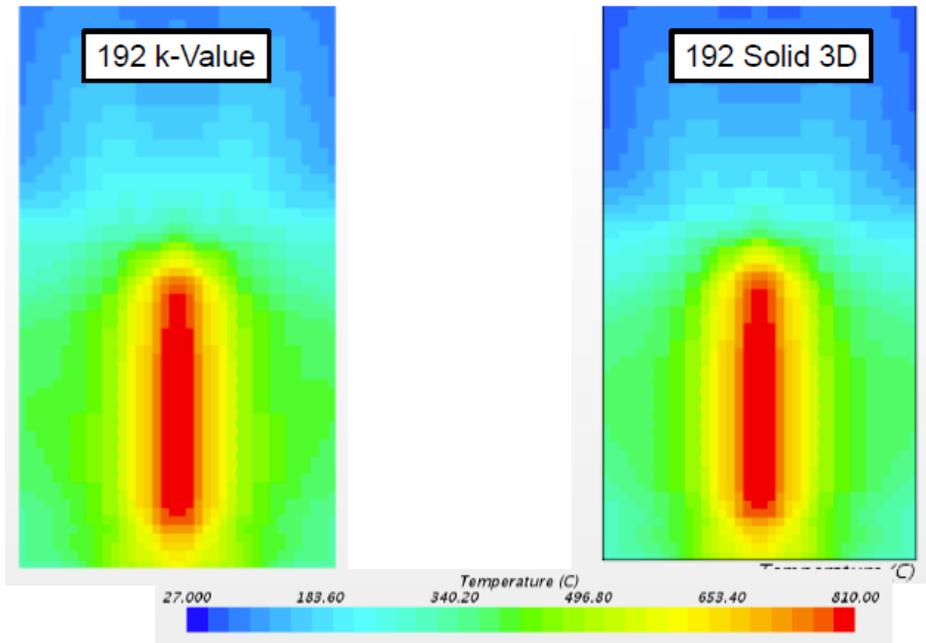
Surface temperatures (Wood k=0.137 W/mK)

Wood Type	Radiation angles	Max. Temperature [K]
k-Value	64	1080
k-Value	192	1128
k-Value	640	1115
Solid 3D	192	1083
Solid 3D	640	1109


 Differences in max. temperature
 Radiation angles: ca. 48 K
 Heat transfer: ca. 6 - 45 K

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
 © Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Temperature distribution on wall depending on number of radiation angles - Alu



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

25

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Surface temperatures (Alu k=237 W/mK)

Alu Type	Radiation angles	Max. Temperature [K]
k-Value	64	1061
k-Value	192	1095
k-Value	640	1094
Solid 3D	192	1095
Solid 3D	640	1093

➔ Differences in max. temperature
Radiation angles: ca. 33 K
Heat transfer: ca. 1 K

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

26

BOMBARDIER
the evolution of mobility

**k-Value / CHT 3D
OppositePanels**

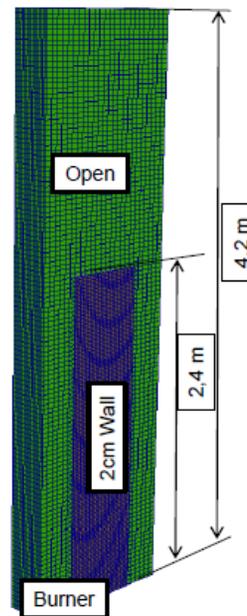
PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

27j

BOMBARDIER
the evolution of mobility

fireFoam – opposite burning panels / parallel panels

- Tools: fireFoam (ca. 6kW / StarCCM+ (ca. 48kW)
 - Heat Transfer Modelling (k-Value, 1D, 3D)
 - Material 2cm
 - Thermal Inertia (kcp ρ h)
 - > Wood $0.135 \cdot 696 \cdot 114.7 = 10777$
 - > Alu $237 \cdot 903 \cdot 2702 = 578257722$

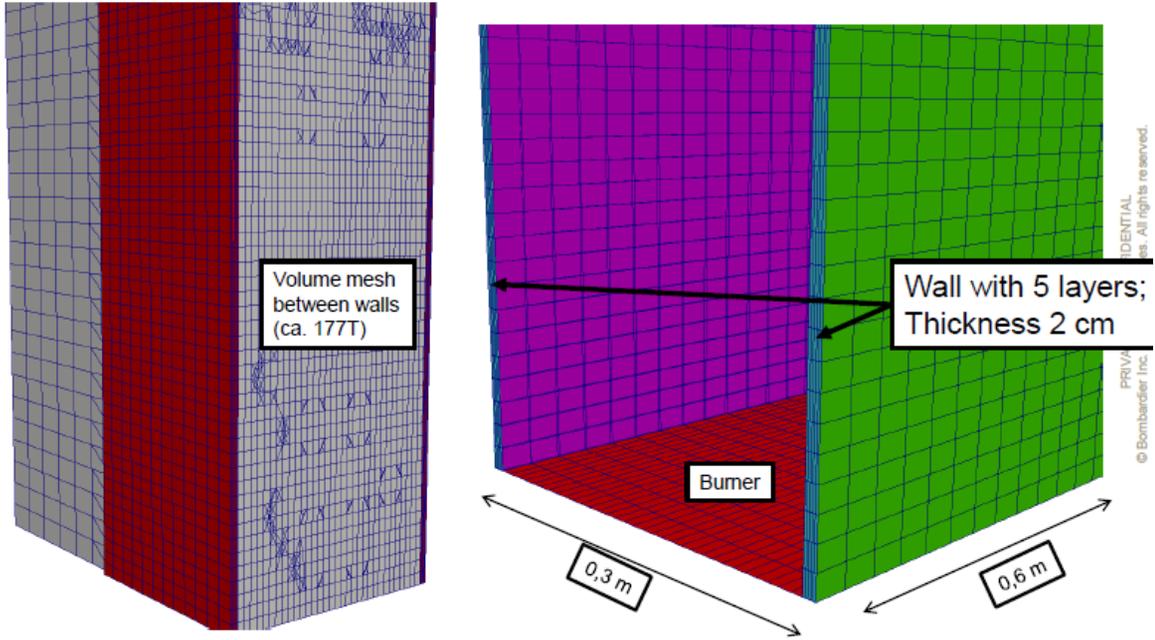


PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

28

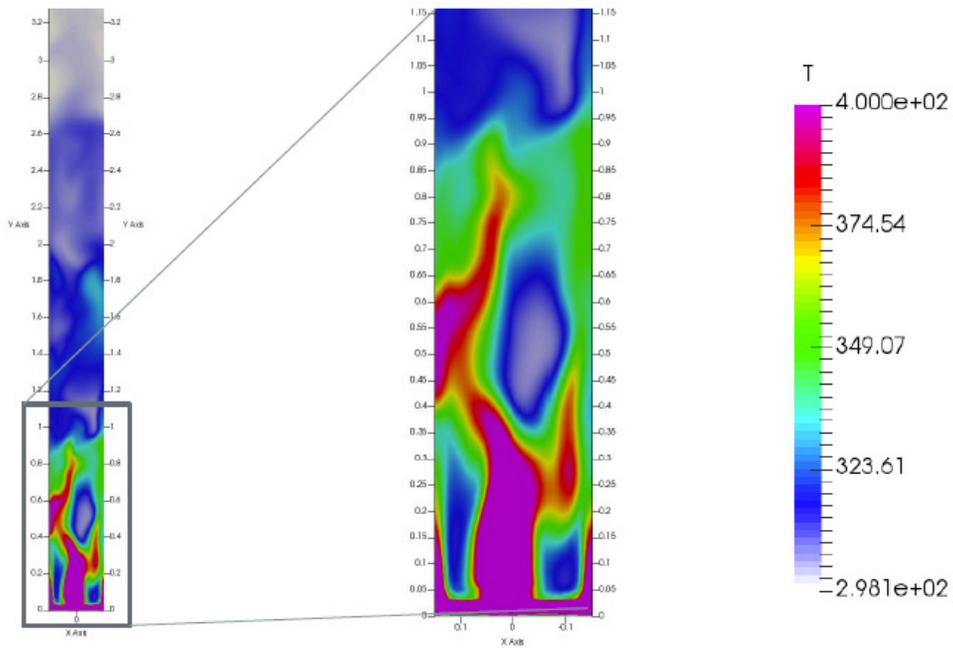
BOMBARDIER
the evolution of mobility

Mesh overview



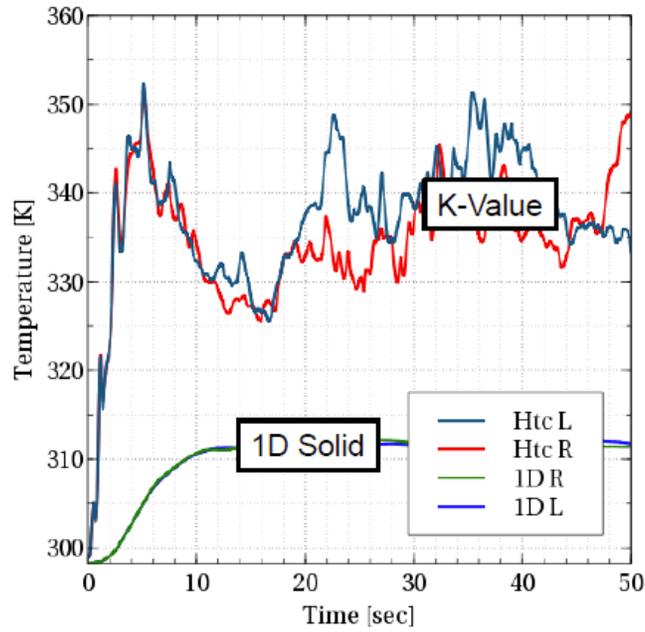
29

Temperature snapshot in symmetry plane (fireFoam)



30

Wood Front Surface Average Temperature (fireFoam)

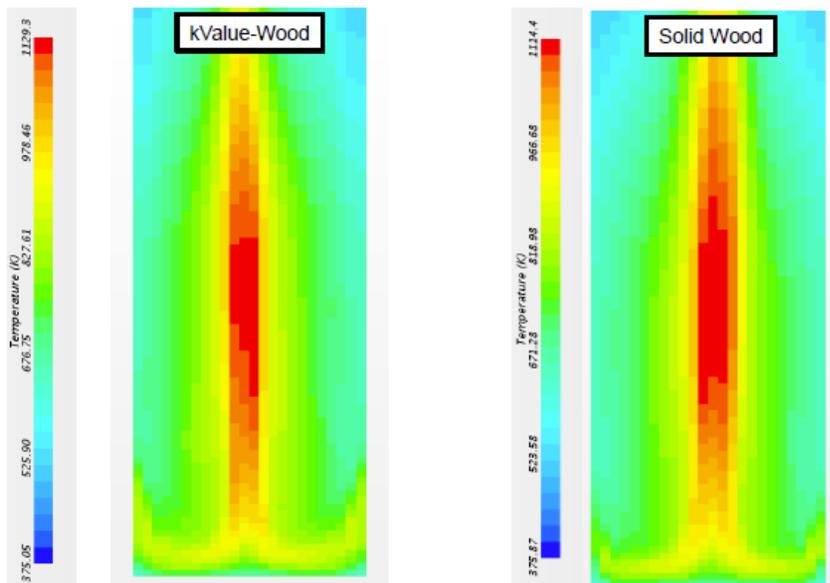


PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

31

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Star-CCM+ - Surface Temperature (Wood)

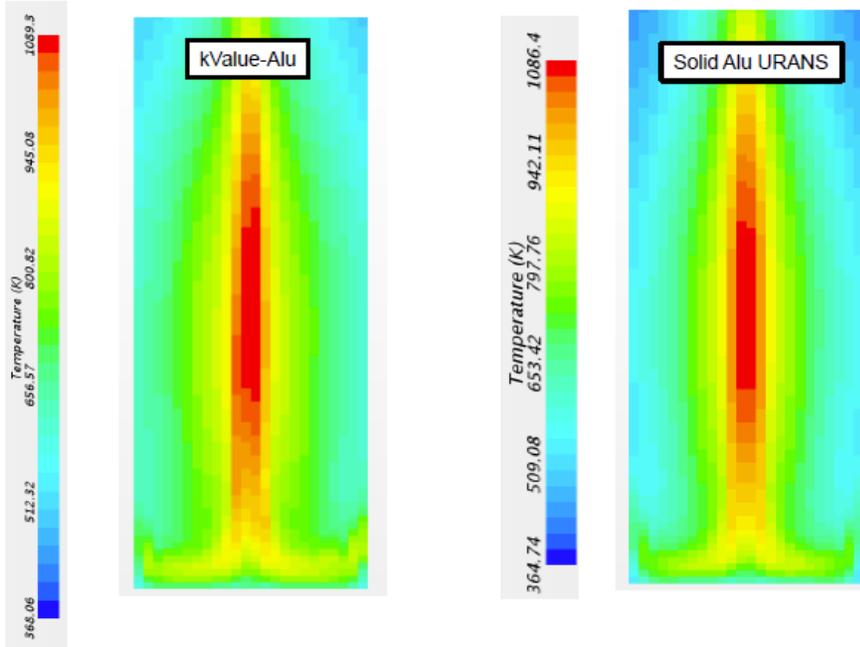


PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

32

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Star-CCM+ - Surface Temperature (Alu)

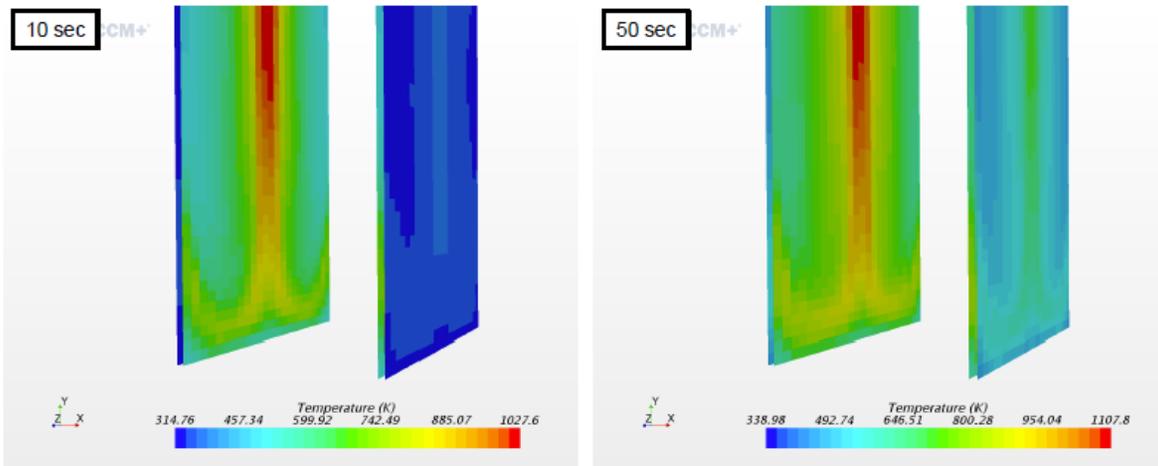


PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

33

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Star-CCM+ - Surface Temperature (Wood)



© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

34

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Star-CCM+ - Surface Temperature

- Comparison of surface temperature dependent on wall model

	Type	Radiation angles	Max. Temperature [C]	Average Temperature [C]
ALU	k-Value	192	830	370
ALU	Solid 3D	192	822	
WOOD	k-Value	192	845	410
WOOD	Solid 3D	192	840	396
WOOD	Solid 3D-LES	192	725	210

- Alu / Wood
 - Small difference between k-value and solid 3D modelling
 - LES vs URANS has for this case a higher impact

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

35

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Agenda

1. INTRODUCTION
2. FIRE SIMULATION
3. CASES
4. SUMMARY

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

36

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Summary

- Short overview of fire simulation in railway industry
- Number of radiation angles important for heat transfer
 - More important with a finer mesh
- 3D wall modelling
 - Impact not as strong as the number of radiation angles for selected cases
 - Heavily depends on scenario
- URANS conservative compared to LES (parallel panels)
 - But correct flame shape with URANS?
- Further evaluation of 3D and 1D treatment needed
 - fireFoam / Star-CCM+
 - Couple gpyro and fds
 - Evaluate fireFoam with 1D baffle, 3D baffle and 3D solid
- Not evaluated here: radiative fraction...

PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

37

BOMBARDIER
the evolution of mobility



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

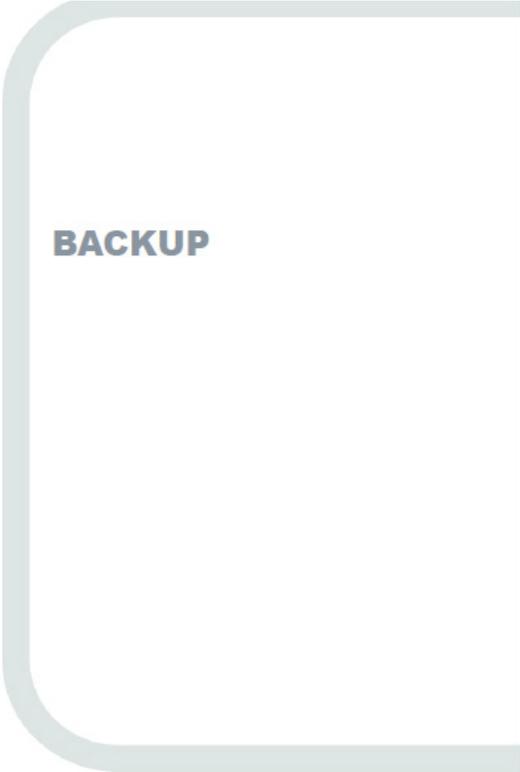
38

BOMBARDIER
the evolution of mobility

BOMBARDIER

the evolution of mobility

39

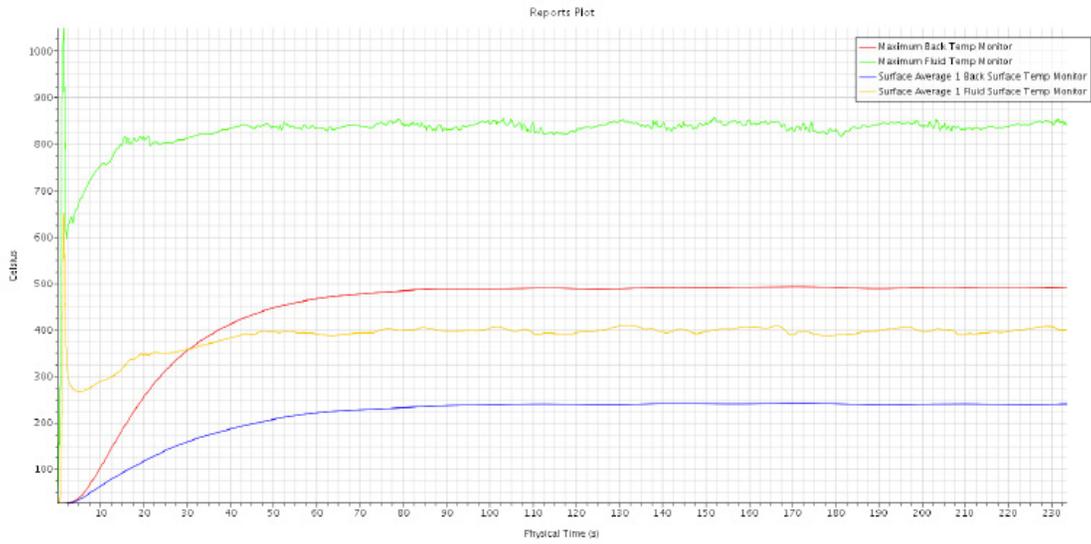


BACKUP

40

BOMBARDIER
the evolution of mobility

Star-CCM+ - Solid Wood - URANS

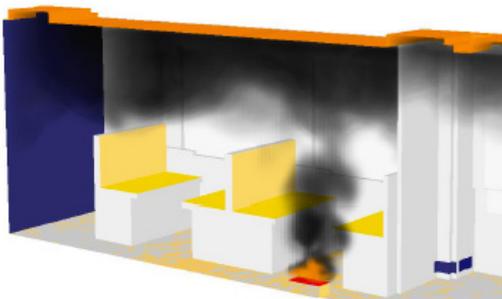
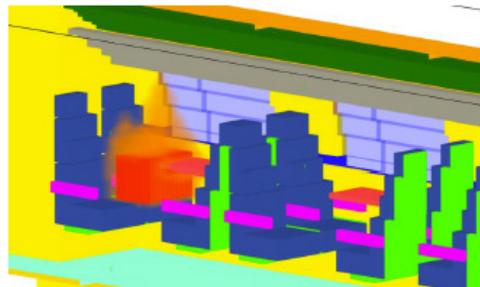


PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

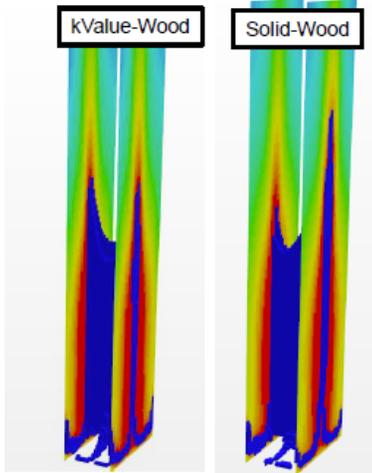
Fire Spread

2. Fire Simulation

- Often different scenarios and tasks
 - Calculation of peak heat release rate
 - Time to peak heat release rate
 - Heat release rate curve



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.



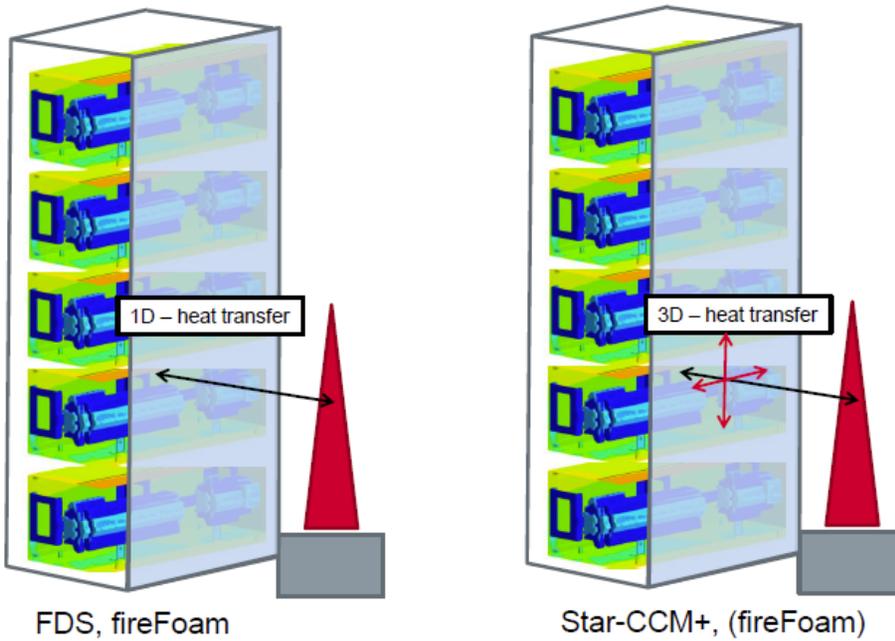
PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

43

BOMBARDIER
the evolution of mobility

1D vs 3D heat transfer

2. Fire Simulation



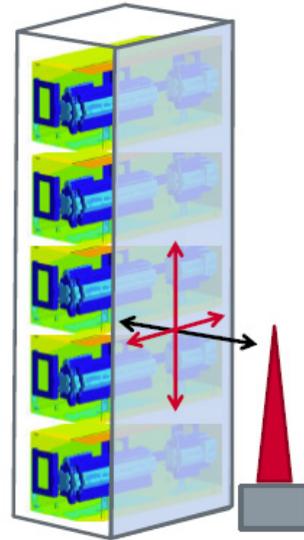
PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

44

BOMBARDIER
the evolution of mobility

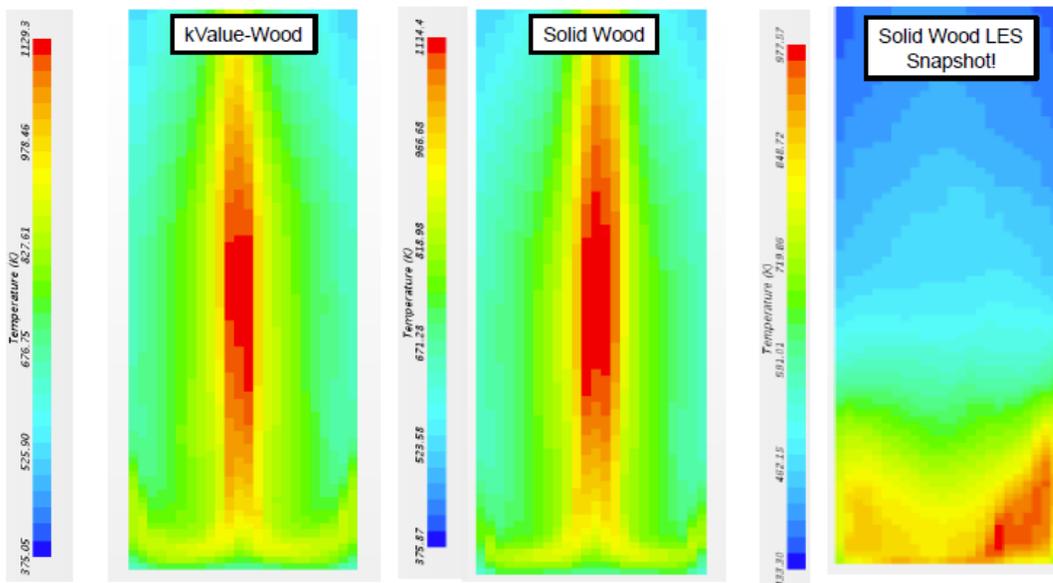
Running Capability

2. Fire Simulation



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Star-CCM+ - Surface Temperature (Wood)



PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

Corinna Trettin:

Einfluss der Pyrolyseparameter auf die Brandsimulation Teil 2

Abstract:

Aufbauend auf den Vortrag aus dem Jahr 2014 werden nun weitere Ergebnisse aus durchgeführten Experimenten unter Laborbedingungen vorgestellt. Diese sind die Grundlage zur Ermittlung von Eingabeparametern für das Pyrolysemodell des CFD Modells Fire Dynamics Simulator (FDS). Darüber hinaus dienen diese zur Validierung des Programmes. Es werden Mass Loss Cone Versuche, thermogravimetrische Analysen und ein Flamespread Test vorgestellt. Dabei werden verschiedenste Methoden zur Bestimmung der Eingabeparameter aus diesen Experimenten berücksichtigt und die Experimente mit FDS simuliert. Hierbei werden besonders die Arbeitsschritte von der Ermittlung der Eingabeparameter über die Möglichkeiten zur Erstellung der Pyrolysereaktionen in dem FDS-Input-File bis zur Validierung der Simulationen aufgezeigt und diskutiert.

Ziel ist es, die Sensibilität der Eingabeparameter und deren Variation aufzuzeigen.

Stichwörter: Thermogravimetrische Analyse; Mass Loss Cone; Flame Spread Test; Eingabeparameter; Validierung

10. Anwender-Treffen 2016



Einfluss der Pyrolyseparameter auf die Brandsimulation Teil 2

C. Trettin, F.-W. Wittbecker
Bergische Universität Wuppertal

trettin@uni-wuppertal.de

1

Einfluss der Pyrolyseparameter auf die Brandsimulation Teil 2



Inhalt

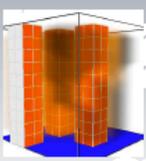
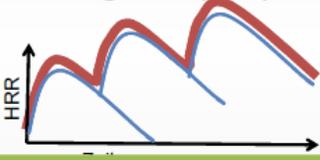
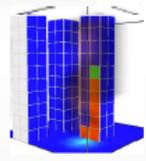
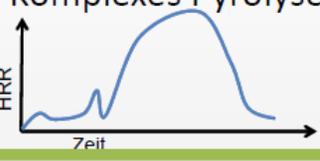
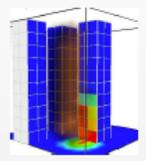
- Einführung
- Laborexperimente
 - Thermogravimetrische Analyse
 - Mass Loss Calorimeter
 - Flame Spread
- FDS-Simulation
- Fazit

trettin@uni-wuppertal.de

2

Einführung BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Brandausbreitung

- Einfaches Pyrolyse-Modell
 

- Bedingtes Pyrolyse-Modell
 

- Komplexes Pyrolyse-Modell
 


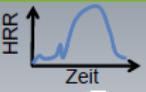
kg/m²s
*10⁻²

2.50
2.25
2.00
1.75
1.50
1.25
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00

trettin@uni-wuppertal.de 3

Einführung BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Brandausbreitung



- Welche Größen sind notwendig?

Thermische Eigenschaften:

- Dichte, spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Emissivität

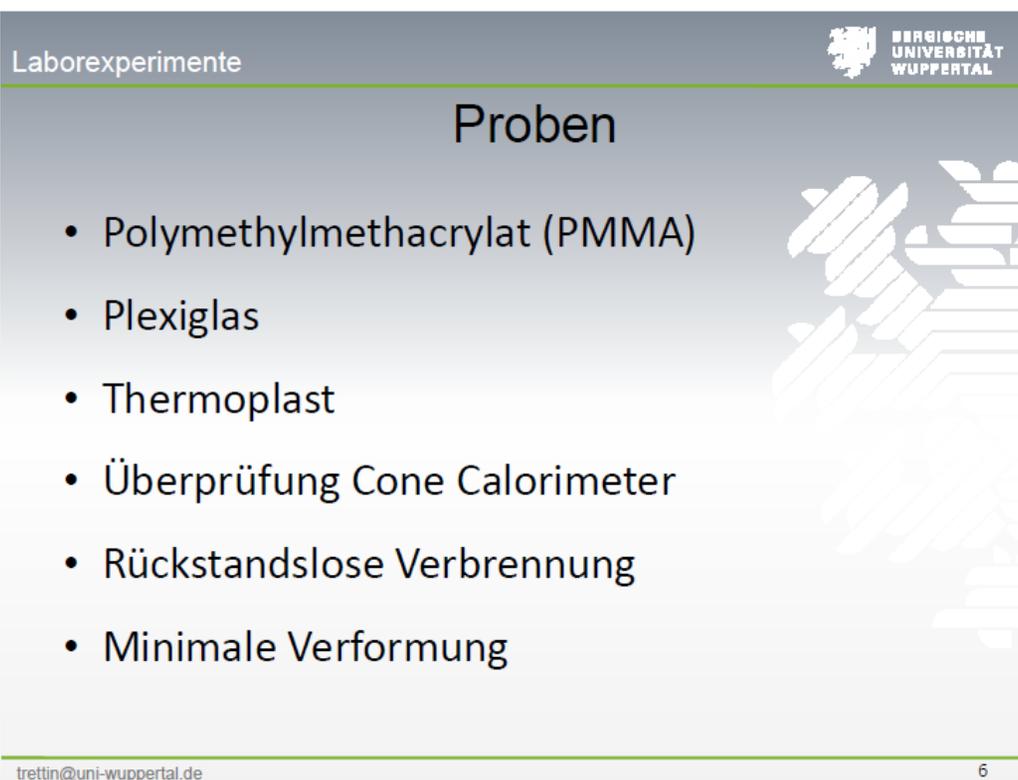
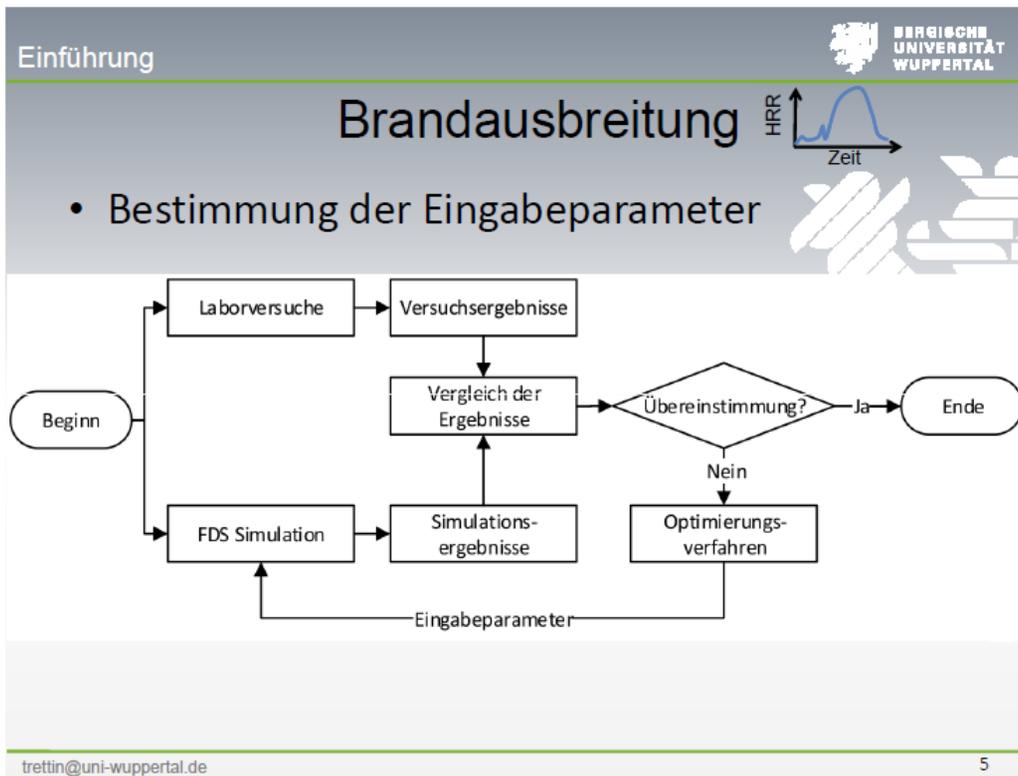
Reaktionskinetik:

- Präexponentieller Faktor, Aktivierungsenergie

Verbrennung:

- Reaktionsenthalpie

trettin@uni-wuppertal.de 4

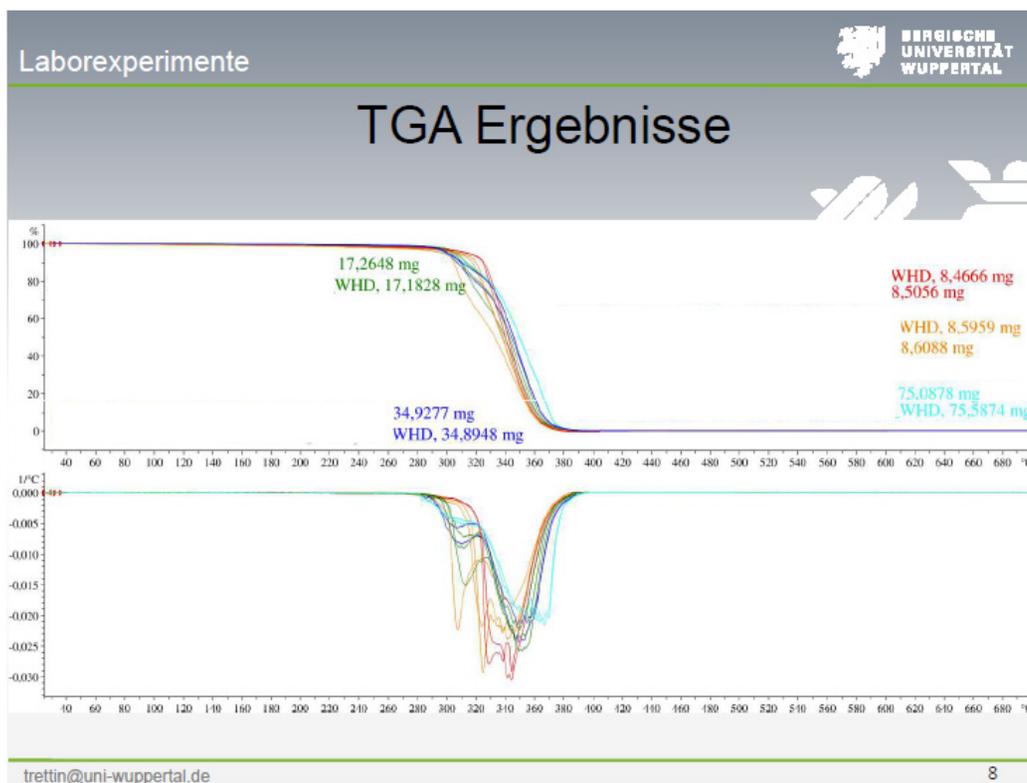


Laborexperimente BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Thermogravimetrische Analyse (TGA)

- Heizrate: 2K/min bis 60K/min
- Umgebungsbedingungen: 21% und annähernd 0% O₂
- PMMA
- 70 µl

treffin@uni-wuppertal.de 7



Laborexperimente BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

TGA Ergebnisse

Laborexperimente BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Mass Loss Calorimeter (MLC)

- Bestrahlungsstärken von 20 kW/m² bis 75 kW/m²
- Variierende Untergrundmaterialien
- 21% O₂

tretin@uni-wuppertal.de 10

Laborexperimente BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

MLC Ergebnisse

Verstärkte - PMMA

30 kW	4044 =
Kübel 34	37
den 35	38
Wolle 36	39

Laborexperimente BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Reduced Scale Flame Spread

- Bestrahlungsverlauf von 50 kW/m² bis 5 kW/m²
- Variierende Untergrundmaterialien
- 21% O₂

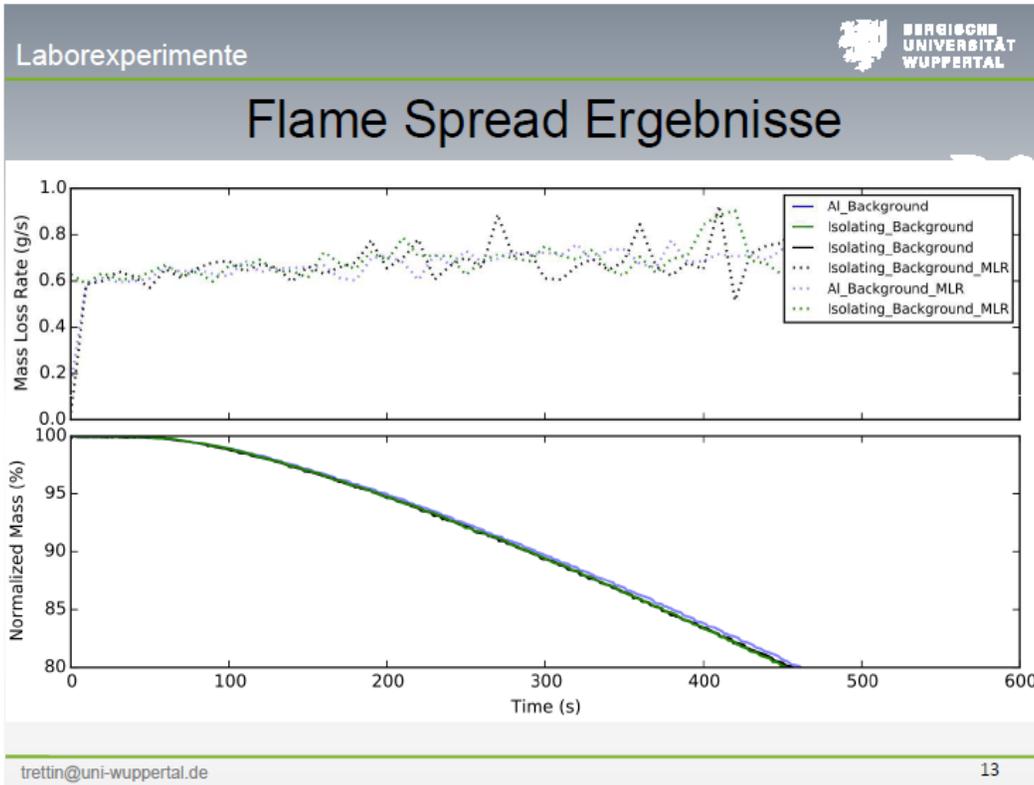


PMMA vertical 60°



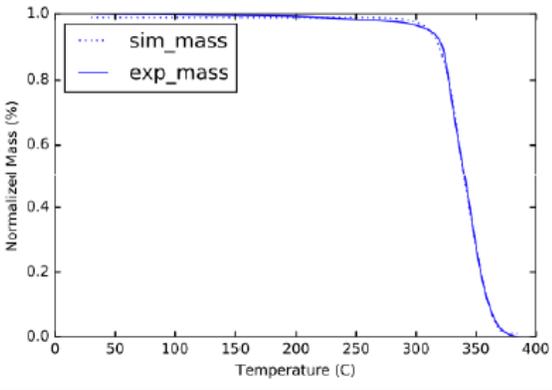
PMMA horizontal 60°

trettin@uni-wuppertal.de 12



FDS-Simulation BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Vergleich FDS und TGA Experimente



Normalized Mass (%)

Temperature (C)

5 K/min

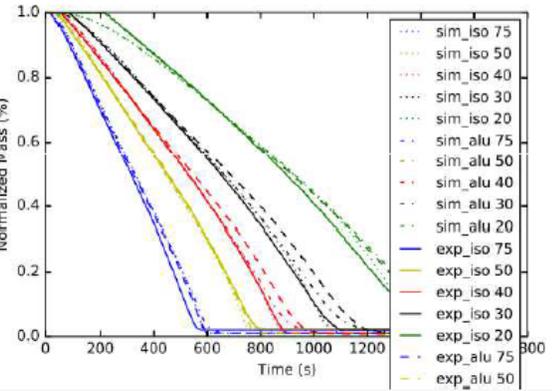
Optimierungsgrößen:
thermische
Eigenschaften, A, E

Zielgröße:
Massenverlust

trettin@uni-wuppertal.de 15

FDS-Simulation BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Vergleich FDS und MLC Experimente



Normalized Mass (%)

Time (s)

Optimierungsgrößen:
thermische
Eigenschaften, A, E

Zielgröße:
Massenverlust

trettin@uni-wuppertal.de 16

FDS-Simulation BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Gegenüberstellung Eingabeparameter

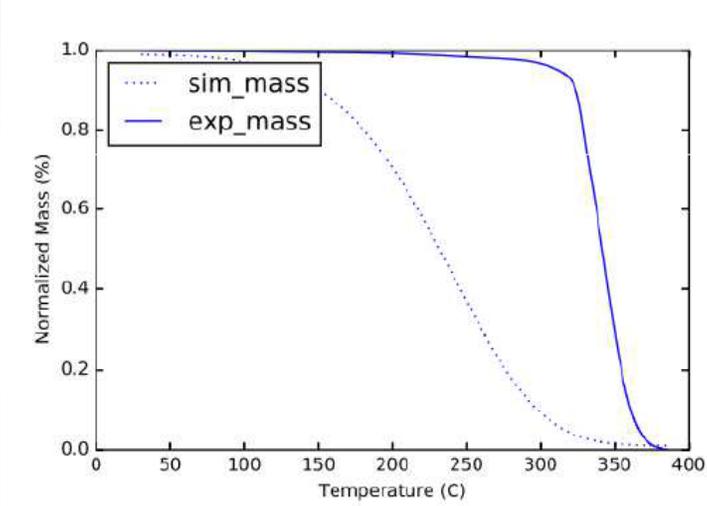
	ρ (kg/m ³)	c_p (J/gK)	λ (W/mK)
Hersteller	1190	1.47	0.19
TGA	48	0.327	0.00626
MLC	2197	1.063	0.139
FS	2407	0.1538	2.47

trettin@uni-wuppertal.de 17

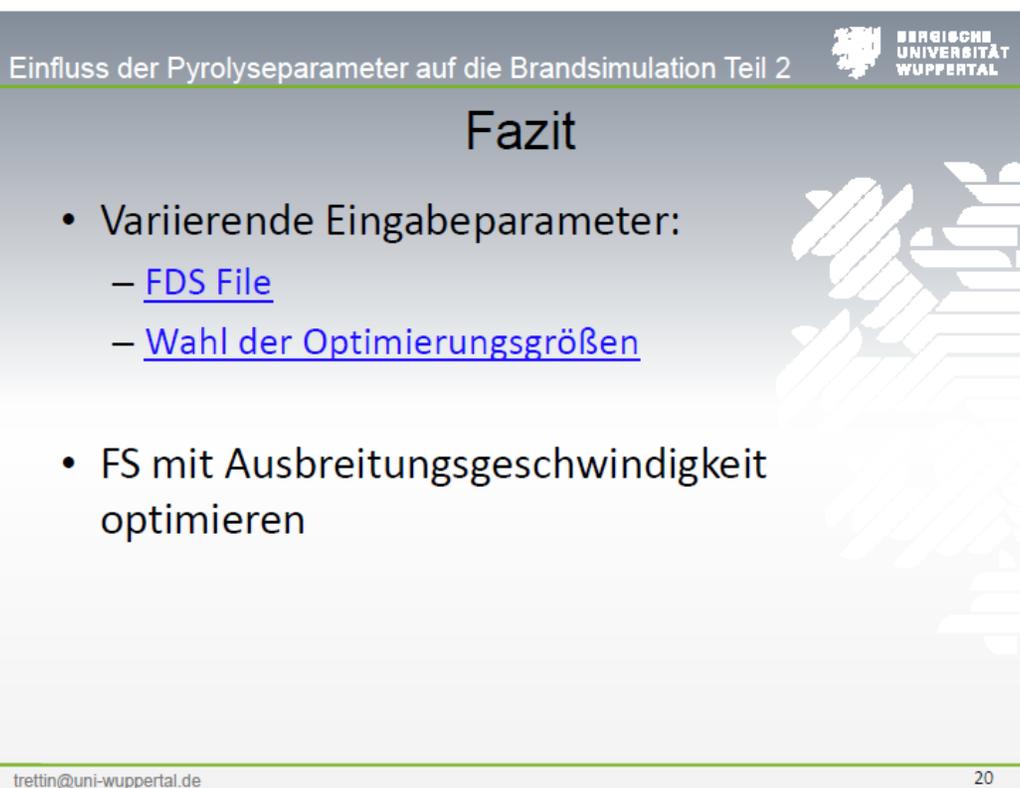
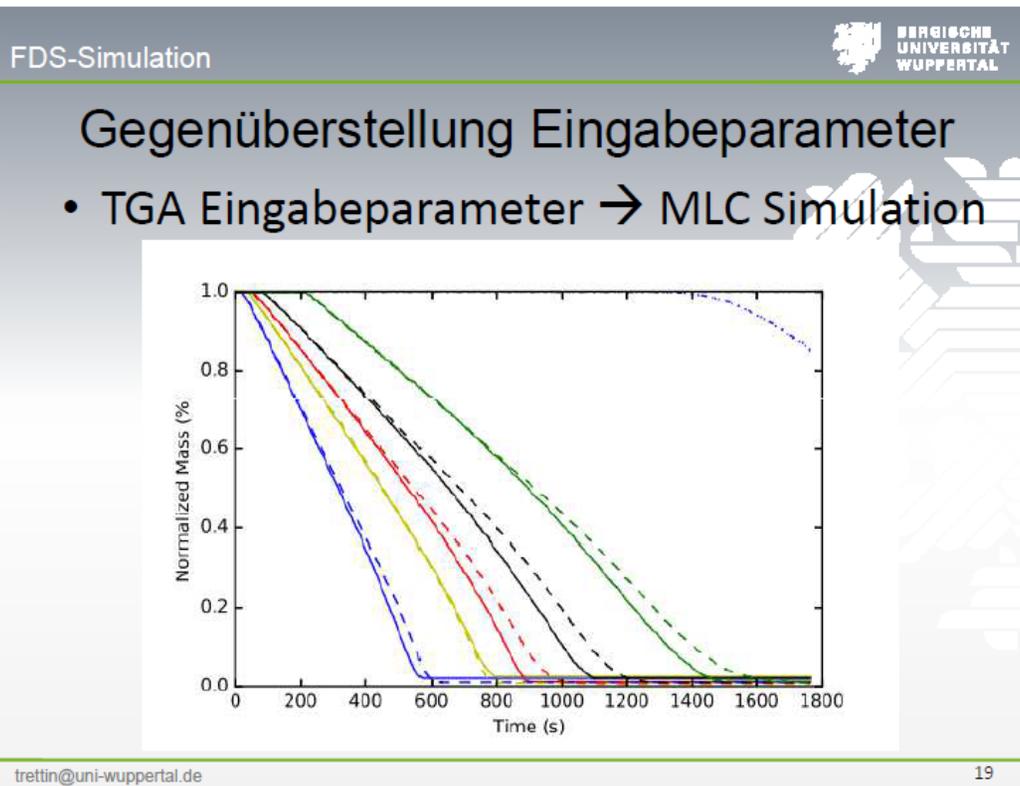
FDS-Simulation BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Gegenüberstellung Eingabeparameter

- MLC Eingabeparameter → TGA Simulation



trettin@uni-wuppertal.de 18



Einfluss der Pyrolyseparameter auf die Brandsimulation Teil 2



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Ende.

Danke.



tretin@uni-wuppertal.de

21

Andreas Vischer:

Witterungseinflüsse bei Brandsimulationen - Grundlagenanalyse

Abstract:

Die Witterung außerhalb sowie die Bedingungen innerhalb von Gebäuden bestimmen und beeinflussen die Luftströmung maßgebend und können somit auch die Strömung von Brandgasen beeinflussen. Im Brandfall können Witterungseinflüsse und Umgebungsbedingungen einen großen Einfluss auf die Temperaturverteilung im Raum sowie auf die Rauchableitung haben, so dass dies durch den Anwender numerischer Brand- und Rauchsimulationen zu berücksichtigen und im Einzelfall zu untersuchen ist.

Der Vortrag stellt zunächst mögliche Witterungseinflüsse im Außenbereich sowie Umgebungsbedingungen innerhalb der Gebäude zusammen, die einen Einfluss auf die Luftströmung/Brandgasströmung haben können. Anschließend erfolgt eine Analyse welche Umgebungsbedingungen im Rahmen von Brand und Rauchsimulationen (mit FDS) berücksichtigt werden müssen und wie diese in FDS angesetzt werden können. Anhand ausgewählter Praxisbeispiele werden mögliche Szenarien mit Berücksichtigung von Umgebungs- bzw. Witterungsbedingungen vorgestellt bzw. entwickelt. Im Vortrag wird darauf aufbauend ein Konzept zur Entscheidungsfindung und zur Berücksichtigung von Witterungseinflüssen bei numerischen Brand- und Rauchsimulationen vorgeschlagen.

Abschließend erfolgt ein Ausblick auf weitergehende Forschung und Analyse.

10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Witterungseinflüsse bei Brandsimulationen

- Grundlagenanalyse

Dr.-Ing. Andreas Vischer
Sachverständiger für Brandschutz
und Ingenieurmethoden



- 10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Inhalt

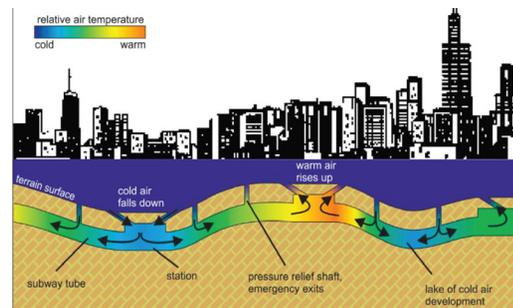
1. Witterungseinflüsse bei Brandsimulationen
2. Analyse der Witterungseinflüsse
3. Analyse von Testbeispielen
4. Konzept zur Entscheidungsfindung
5. Fazit

- 10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Witterungseinflüsse bei Brandsimulationen

Umgebungsbedingungen

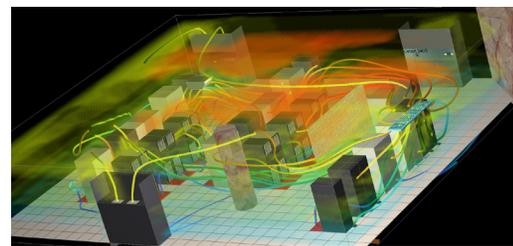
- Temperatur (-entwicklung)
- Dichte
- maschinelle Belüftung



Quelle: Pflitch et al. 2013

Witterungseinflüsse

- Sonne
- Wind
- Schnee/Frost



Quelle: www.pressebox.de

Dr.-Ing. Andreas Vischer, Sachverständiger für Brandschutz und Ingenieurmethoden

3

- 10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Analyse der Witterungseinflüsse - Sonneneinstrahlung

- höhere Temperaturen der Außenluft als im Gebäudeinnenraum
- ggf. Ausströmen der „schwereren“ Kaltluft höherer Dichte bei hohen Außentemperaturen über Zuluftöffnungen
- Außenluft strömt dann ggf. durch NRA ins Gebäude
- Aufheizen des Innenraumes
- ggf. Entstehung von Wärmepolstern
- Verschattungseffekte durch Nachbarbebauung, Bäume etc.?
- Begünstigung / Behinderung der Rauchableitung?
- Vielzahl möglicher Beeinflussungsparameter!
- Eingabe in FDS z.B. Initialtemperatur:
&INIT XB=0.0,10.0, 0.0,10.0, 0.0,10.0, TEMPERATURE=40. / (Standard: AMBIENT, TMPA = 20°C)



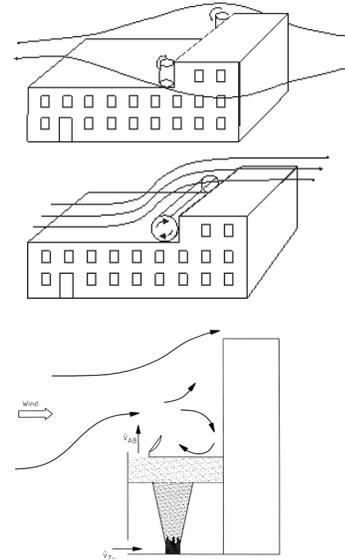
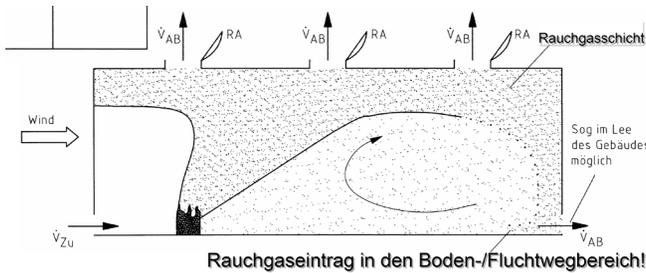
Dr.-Ing. Andreas Vischer, Sachverständiger für Brandschutz und Ingenieurmethoden

4

■ 10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Analyse der Witterungseinflüsse - Wind

- Zwangsströmungen im Gebäude bei Öffnungen
- Rauch wird ggf. in das Gebäude zurückgedrückt
- NRW / Zuluftöffnungen nicht wirksam
- Konzeptionelle Berücksichtigung in Brandschutzkonzepten
- z.B. Lee-Luv Steuerung nach DIN 18232-2 / VdS 3122



■ 10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Windeinfluss

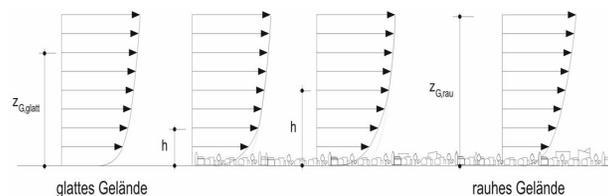
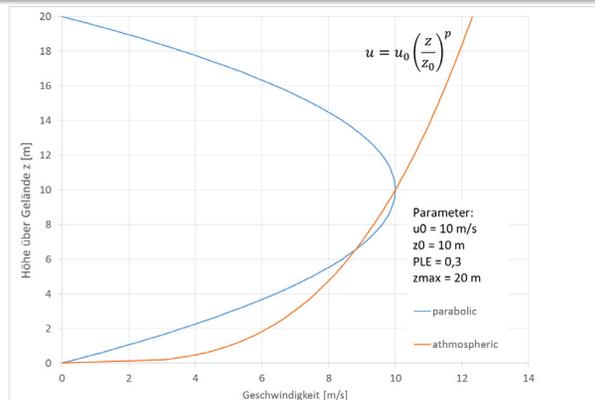
FDS Eingabe Windströmung RB:

- &SURF
 - PROFILE='PARABOLIC'
 - VEL = „maximum velocity“
- oder

- PROFILE='ATHMOSPHERIC'

$$u = u_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^p$$

- VEL = u_0 → Standard = 0 m/sec.
- Z0 = z_0 → Standard: 10 m
- PLE = p → Standard: 0,3
- z = 0 entspricht Boden



- 10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Analyse der Witterungseinflüsse - Schnee/Frost

- geringere Temperatur der Außenluft als im Gebäudeinnenraum
- Schneelasten blockieren ggf. Entrauchungs-/Zuluftöffnungen
- Schnee und Vereisung verringern Öffnungsquerschnitte
- Schnee schmilzt bei Temperaturen $>0^{\circ}\text{C}$



- 10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

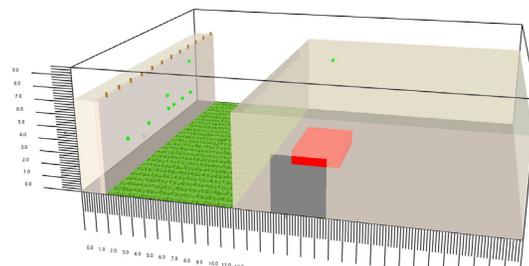
Berücksichtigung des Windeinflusses - Beispiel

Objekt:

- zwei gegenüberstehende Lagerhallen
- Forderung: Erstellung einer Brandwand auf der Grundstücksgrenze

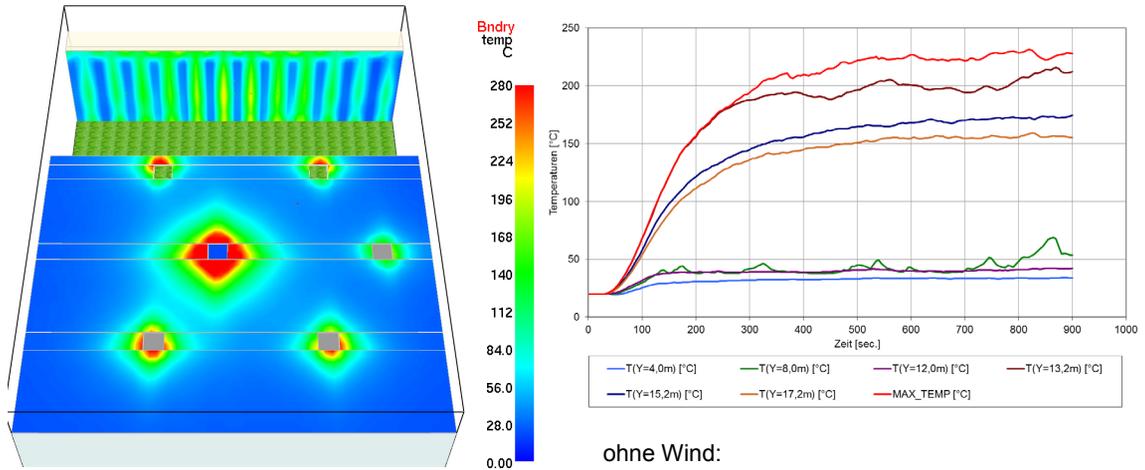
Aufgabenstellung:

- Nachweis:
Verhinderung des Brandüberschlages
- Brandsimulationen unter Berücksichtigung der Kompensation:
Einbau von Sprühflutanlagen an den Außenwänden



10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Berücksichtigung des Windeinflusses - Beispiel

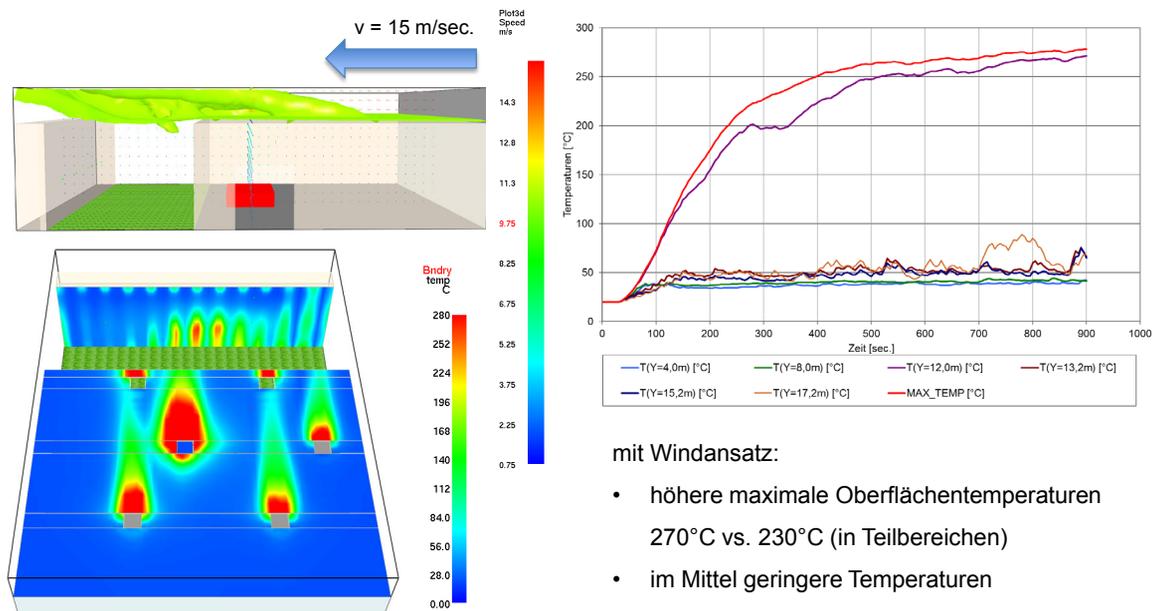


Dr.-Ing. Andreas Vischer, Sachverständiger für Brandschutz und Ingenieurmethoden

9

10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Berücksichtigung des Windeinflusses - Beispiel



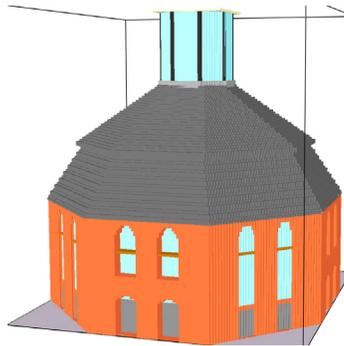
Dr.-Ing. Andreas Vischer, Sachverständiger für Brandschutz und Ingenieurmethoden

10

- 10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

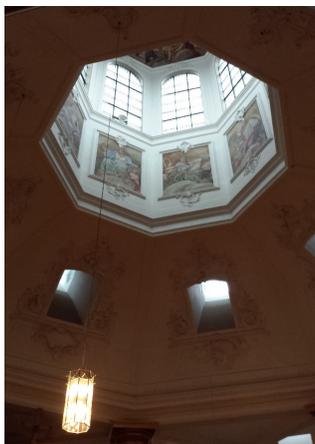
Brand- und Rauchsimulation - Beispiel 2

- Alte Barockkirche mit Lichtturm
 - Lichte Höhe der Kuppel: 28,0 m
 - Nutzung für Konzerte → Versammlungsstätte
 - Sicherstellung/Nachweis der Entrauchung
 - Berücksichtigung von Witterungsbedingungen?
- Sonneneinstrahlung im Sommer?

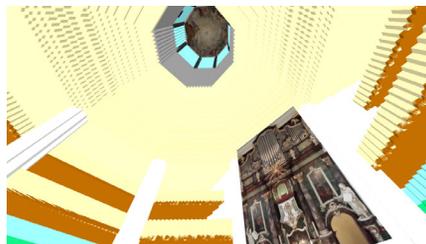


- 10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Brand- und Rauchsimulation - Beispiel 2

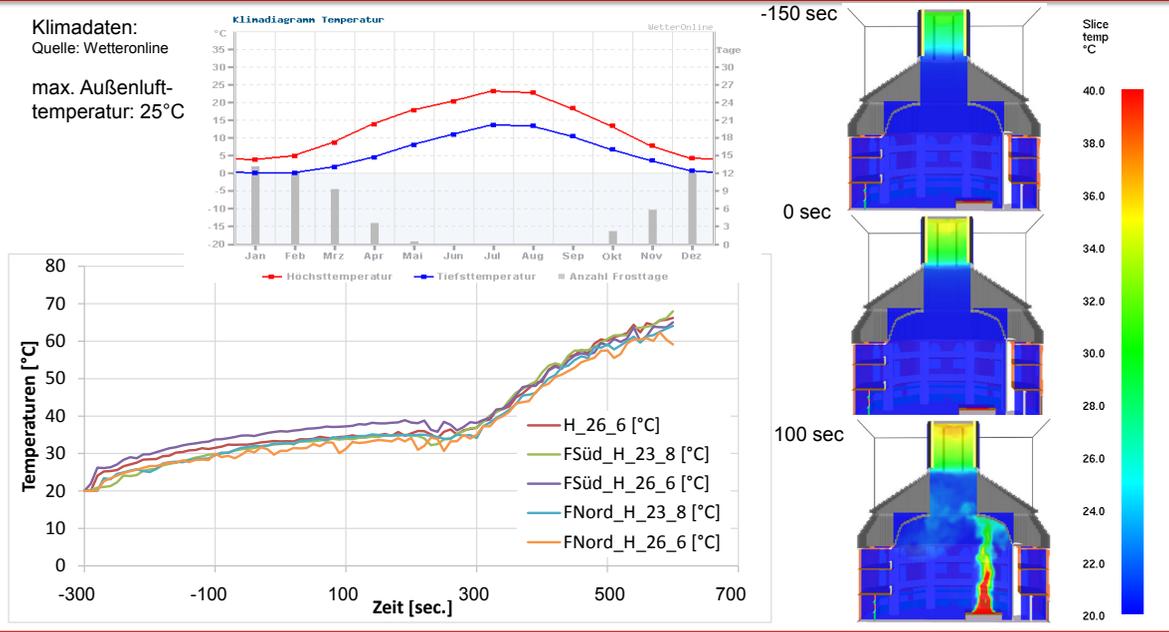


Einzig vorhandene Öffnung in der Außenhülle des Lichtturms



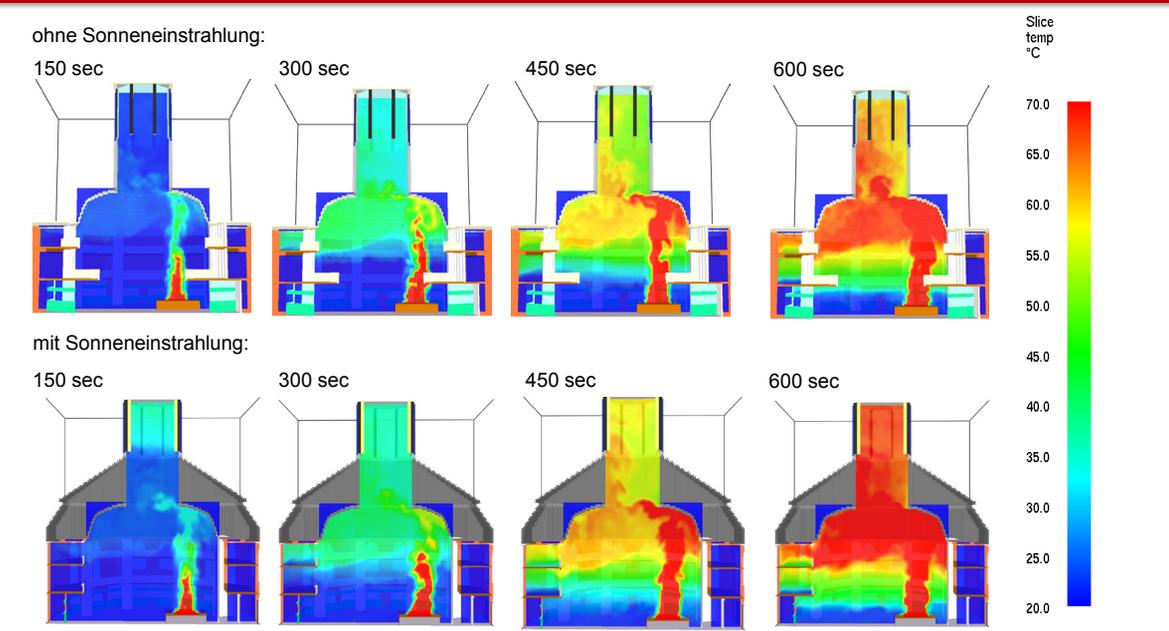
10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Brand- und Rauchsimulation - Temperatur

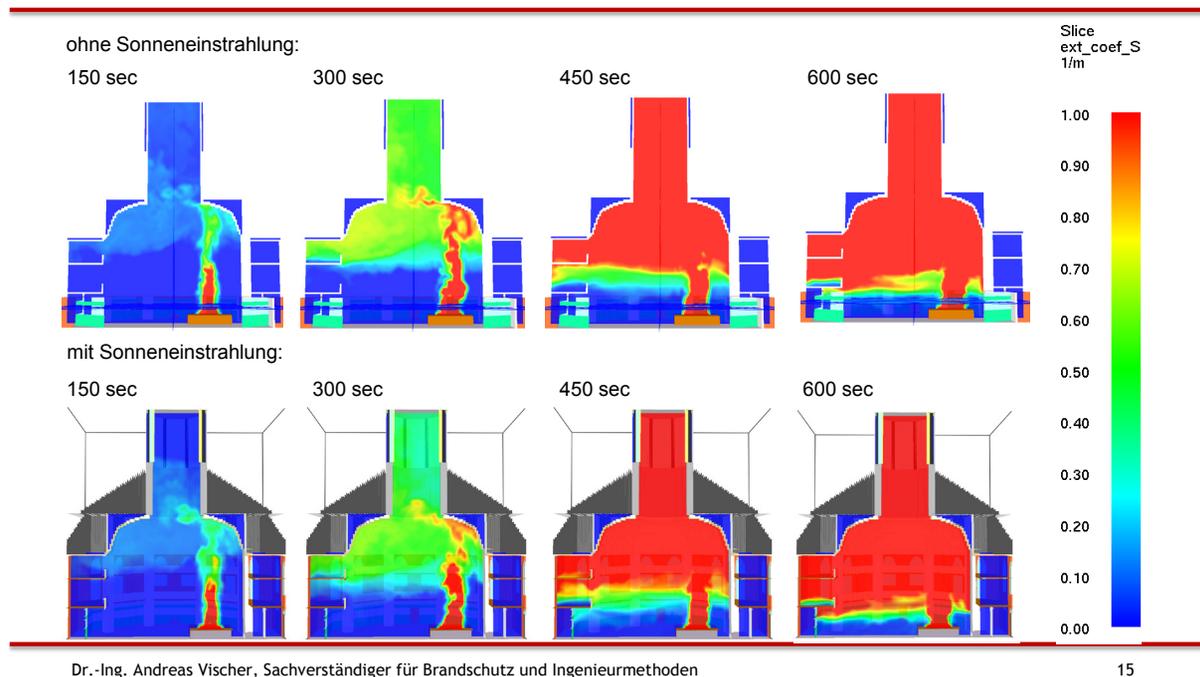


10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Brand- und Rauchsimulation - Temperatur



Brand- und Rauchsimulation - Soot Extinction Coefficient



Einwirkungskombinationen nach Eurocode

- Kombination für die außergewöhnliche Bemessungssituation nach Eurocode:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}^*) Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- i.d.R. $\psi_{2,1} Q_1$ quasi ständige Größe
nicht für Bauteile mit Leiteinwirkung Wind $\rightarrow \psi_{1,1} Q_1$ für Wind verwenden

Einwirkung	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Schneelasten im Hochbau (siehe EN 1991-1-3) ^a			
— Finnland, Island, Norwegen, Schweden	0,7	0,5	0,2
— Für Orte in CEN-Mitgliedstaaten mit einer Höhe über 1 000 m ü. NN	0,7	0,5	0,2
— Für Orte in CEN-Mitgliedstaaten mit einer Höhe niedriger als 1 000 m ü. NN	0,5	0,2	0
Windlasten im Hochbau (siehe EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperaturanwendungen (ohne Brand) im Hochbau, siehe EN 1991-1-5	0,6	0,5	0
ANMERKUNG Die Festlegung der Kombinationsbeiwerte erfolgt im Nationalen Anhang.			
^a Bei nicht ausdrücklich genannten Ländern sollten die maßgebenden örtlichen Bedingungen betrachtet werden.			

- 10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Konzept zur Berücksichtigung von Witterungseinflüssen

Bei Gebäuden mit hohem Schutzinteressen

- Berücksichtigung von Witterungseinflüssen sinnvoll bzw. erforderlich
- 1. Ziel konzeptionelle Berücksichtigung:
 - Anordnung der NRA
 - Anordnung der Zuluftöffnungen
 - Lee-Luv-Steuerung
 - Verschattungen / Klimatisierung (z.B. Atriumverglasung)

- 10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Konzept zur Berücksichtigung von Witterungseinflüssen

- 2. Ziel Berücksichtigung in der Simulation durch Variantenrechnung
 - je nach Schutzziel: Versagenswahrscheinlichkeiten Tragfähigkeit od. Gebrauchstauglichkeit
 - Grenzzustand der Tragfähigkeit: 1×10^{-6}
 - Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit: 1×10^{-3}
 - Auftretenswahrscheinlichkeit eines Brandes: 5×10^{-3} (DIN EN 1991-1-2)
 - Auftretenswahrscheinlichkeit krit. Witterung:
(Temperaturen > 25°C, Wind > 1 m/sec.) ca. 5% im Jahr (Daten des DWD)
 - Zielversagenswahrscheinlichkeit Gebrauchstauglichkeit: $0,05 \times 5 \times 10^{-3} = 2,5 \times 10^{-4} < 1 \times 10^{-3}$
 - Zielversagenswahrscheinlichkeit Tragfähigkeit: $2,5 \times 10^{-4} > 1 \times 10^{-6}$!
- für Brandsimulationen Nachweis der Tragfähigkeit im Brandfall z.B.:
 - Faktor (Kombinationsbeiwert) Wind: $\psi_1 = 0,2$
 - Faktor (Kombinationsbeiwert) Temperatur: $\psi_1 = 0,5$

- 10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Fazit

- Berücksichtigung von Witterungseinflüssen:
konzeptionell (sinnvoll) und/oder simulationstechnisch (möglich)
- **Aber:** hoher Aufwand alle zu untersuchenden Phänomene
Gebäudeumströmung, -durchströmung und Brandereignis zu simulieren
→ gesellschaftlich akzeptiertes Restrisiko?!
- Änderung der Randbedingungen
(Nachbargebäude, Grünanlagen, Wachsen von Bäumen)?
- Bei ausgedehnten Gebäuden mit hohen Schutzinteressen, komplexer
Geometrie bzw. hoher Personenbelegung kann Berücksichtigung von
Witterungseinflüssen sinnvoll bzw. erforderlich werden!

- 10. Anwender-Treffen der FDS Usergroup



Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit!

Lukas Arnold:

**Simulationsgestützte Ermittlung kritischer Einbausituationen
von Rauchwarnmeldern**

Simulationsgestützte Ermittlung kritischer Einbausituationen von Rauchwarnmeldern

FDS User Group Meeting
Berlin, 10. November 2016

Lukas Arnold & Ullrich Spor

email: l.arnold@fz-juelich.de

Jülich Supercomputing Centre, Forschungszentrum Jülich



Disclaimer

- ▶ Vorgestellt werden die Inhalte der von Ullrich Spor erstellten Masterarbeit an der Bergischen Universität Wuppertal (Sicherheitstechnik)
- ▶ Die Arbeit erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Branderkennungslabor der Uni Duisburg-Essen
- ▶ Dieser Vortrag deckt nicht alle durchgeführten Arbeiten und Diskussionen ab



Ullrich Spor

Rauchmelder und Installation

DIN 14676 Rauchwarnmelder für Wohnhäuser, Wohnungen und Räume mit wohnungsähnlicher Nutzung – Einbau, Betrieb und Instandhaltung

Land	Wandabstand [cm]	Deckenabstand [cm]
Australien	30	30 – 50
Deutschland	>50	30 – 50
Neu Seeland	<20	—
USA	10 – 30	10

Zielsetzung

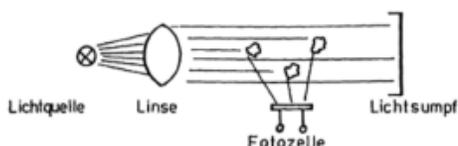
Generelle Fragestellung zum Einbau von Rauchmeldern:

- ▶ Welche Stellen im Raum sind günstig / ungünstig?
- ▶ Beeinflussen Möbel und Deckenbauten die Funktionsweise?

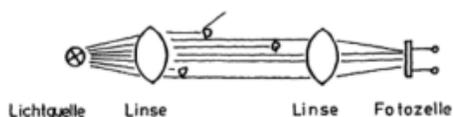
Konkrete Arbeiten mit FDS:

- ▶ Simulation von bereits durchgeführten Experimenten (TF4 und TF5) an der Universität Duisburg-Essen
- ▶ Globale Analysemöglichkeiten der Funktionsweise von Rauchmeldern
- ▶ Definition, Umsetzung und Auswertung charakteristischer Szenarien

Funktionsweise von Rauchmeldern



Detektion durch Lichtstreuung



Detektion durch Extinktion

Auslösezeit im Allgemeinen abhängig von

- ▶ der räumlichen Partikelverteilung,
- ▶ der Partikelgrößenverteilung,
- ▶ den Partikeleigenschaften, und
- ▶ dem verwendeten Lichtspektrum.

Dieser komplexe Zusammenhang wird in numerischen Simulationen typischerweise auf die Auswertung der effektiven Dichte reduziert.

Einfaches Rauchmeldermodell

Alle Analysen beruhen auf einer geräteunabhängigen Betrachtung der Schwächung der Lichtintensität.

$$\frac{I}{I_0} = e^{-K \cdot d} = 10^{-D \cdot d}$$

(I : Intensität, K : Extinktionskoeffizient, D : optische Dichte, d Strecke)

Der effektive Extinktionskoeffizient K ergibt sich aus dem Spezifischen K_m und der Konzentration der Rußpartikel M_s :

$$K = K_m \cdot M_s$$

Schwellwerte für photoelektrische Rauchmelder bei einer Verbrennung mit Flammenbildung. In dieser Arbeit wird folgender Schwellwert angenommen:

$$D_c = 0.14 \text{ dB/m}$$

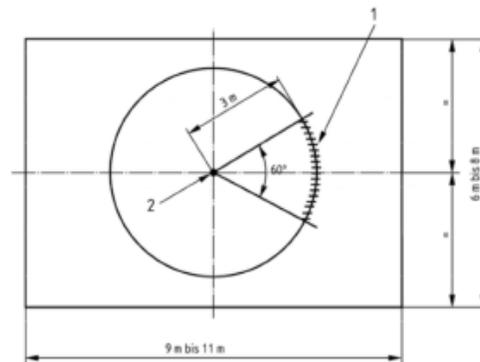
Stoff	K_m [m^2/g]
Holz	8.5
Heptan	7.8
Polyurethan	8.1

Perzentil	D [dB/m]
20%	0.031 ± 0.016
50%	0.063 ± 0.029
80%	0.106 ± 0.039

Prüfverfahren nach DIN EN 54-7 (I)

Prüfraum

- ▶ rechteckig, flache Decke
- ▶ Länge × Breite × Höhe:
9 – 11 m × 6 – 8 m × 3.8 – 4.2 m



Diagnostik

- ▶ Messionskammer
- ▶ Temperaturmessgerät
- ▶ Durchlichtmessgerät, zur Messung der optischen Dichte D

$$D = \frac{10}{d} \cdot \log \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

Prüfverfahren nach DIN EN 54-7 (II)

Schwelbrände (hier nicht betrachtet):

- ▶ Pyrolyseschwelbrand
- ▶ Glimmschwelbrand

Offener Kunststoffbrand TF4

- ▶ 3 gestapelte Matten Polyurethanschaumstoff, $\rho = 20 \text{ kg m}^{-3}$
- ▶ Mattengröße: 50 cm × 50 cm × 20 cm
- ▶ Entzündung an einer Ecke der untersten Matte

Offener Flüssigkeitsbrand TF5

- ▶ Stahlwanne mit folgenden Abmessungen: 33 cm × 33 cm × 5 cm
- ▶ 650 g n-Heptan Toluol Mischung

Wärmefreisetzungsrate

Die Wärmefreisetzungsrate \dot{Q} wird aus der Änderung der Masse \dot{m} bestimmt:

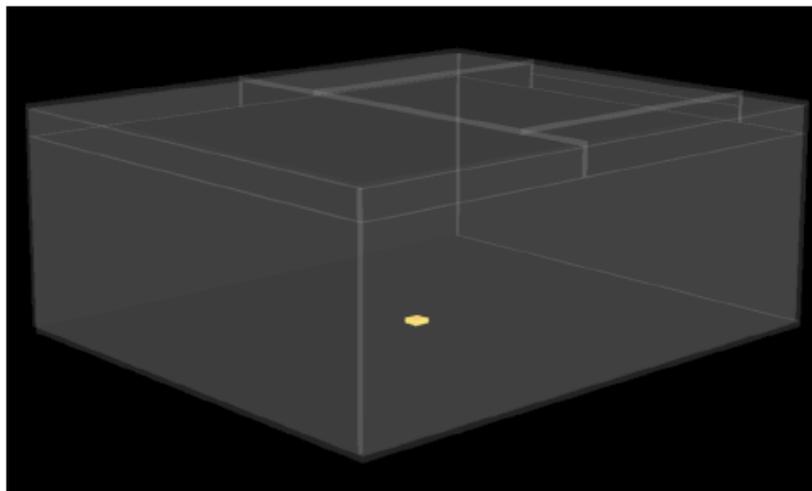
$$\dot{Q} = \chi \cdot \Delta h_c \cdot \dot{m}$$

- ▶ Die Werte für die Verbrennungseffektivität χ und den Heizwert wurden der Literatur entnommen.
- ▶ Der Rußanteil Y_s , hier als einziger freier Parameter, wurde manuell angepasst um die gemessenen optischen Dichten zu reproduzieren.

Szenario	\dot{Q}_{max} [kW]
TF4X1	95.1
TF4X2	84.7
TF5X1	214.1
TF5X2	214.0
TF5X3	231.2

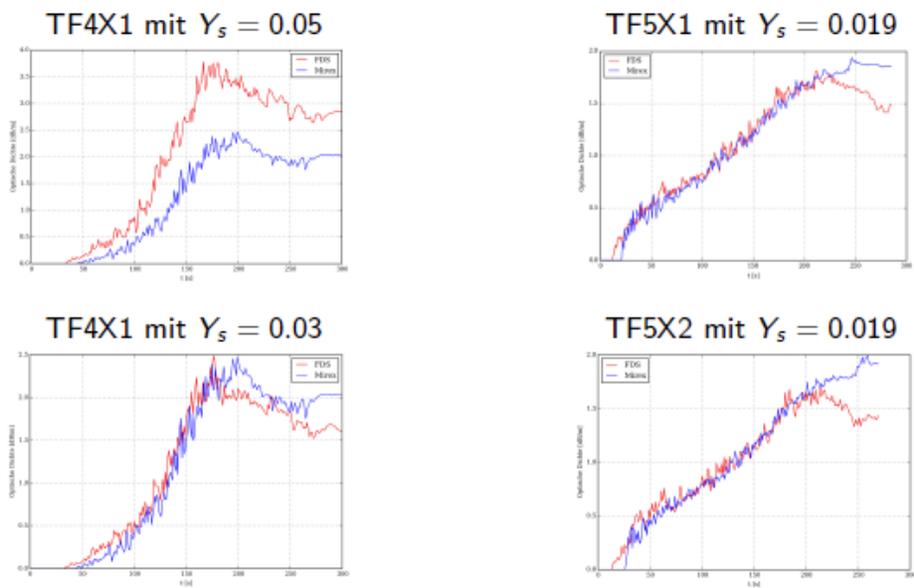
Quellen: Knaust; Grosshandler; SHPE

Modell



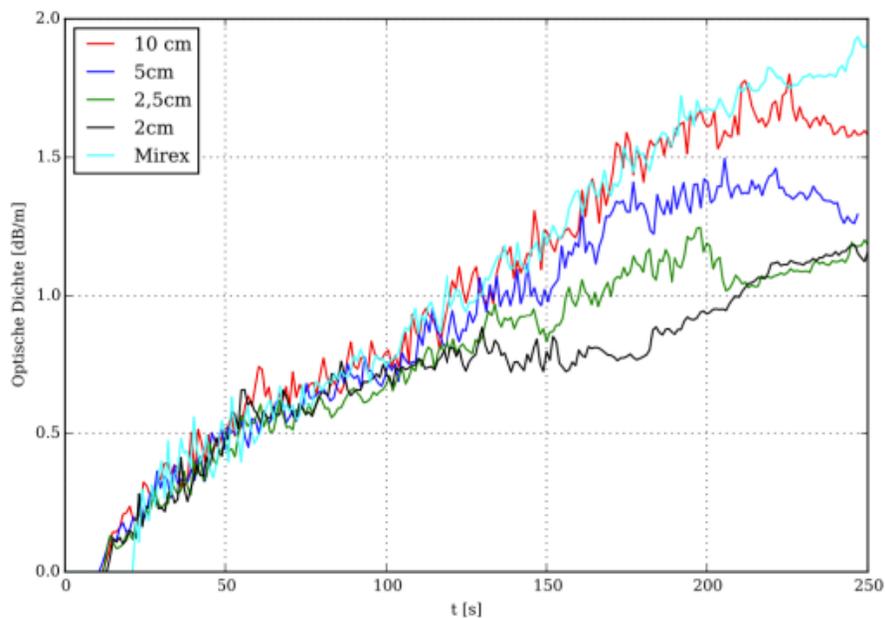
- ▶ FDS 6.2.0
- ▶ Raumgröße: 10.5 m × 9 m × 4 m bzw. 3 m
- ▶ Gebietzerlegung in zwei Auflösungsbereiche: Deckennahbereich ($\Delta x = 2.5$ cm) und restliches Volumen ($\Delta x = 10$ cm)

Ableich mit Realdaten



- ▶ hoher Einfluss von Y_s
- ▶ gleicher Wert von Y_s für jeweils alle Variationen von TF4 und TF5

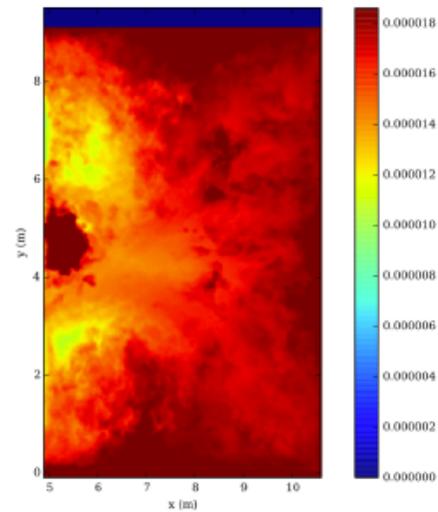
Einfluss der Gitterauflösung



Auswertung – Virtuelle Rauchmelder (I)

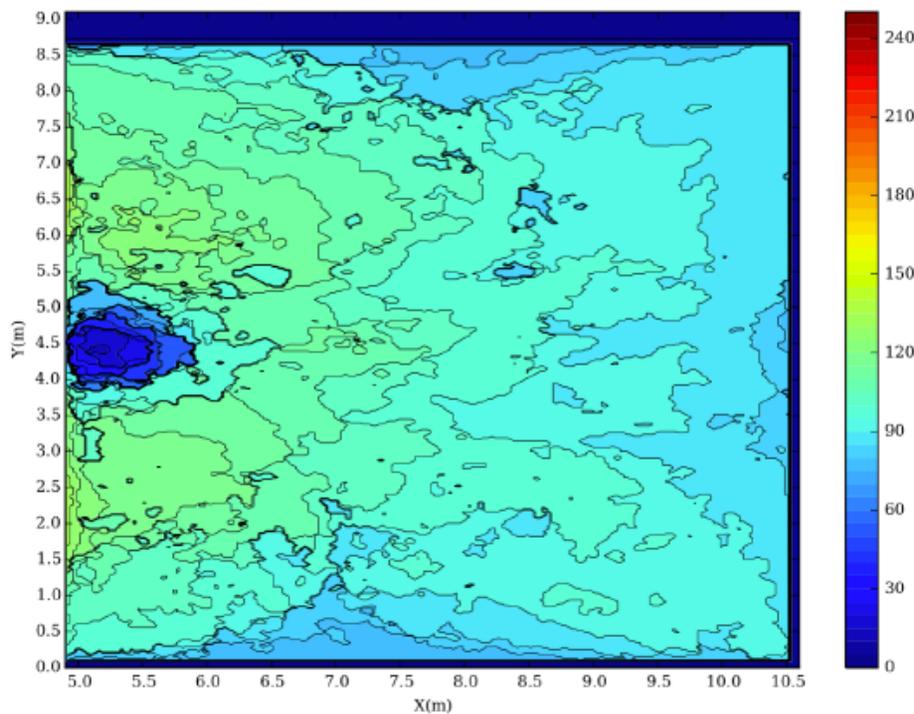
Zur Auswertung der Auslösezeiten werden keine punktuellen Messungen (devices) gesetzt, sondern direkt ganze Ebenen (slices) ausgewertet.

1. Einlesen der Rußkonzentrationen in Python
2. Bestimmung der lokalen optischen Dichten
3. Bestimmung des Zeitpunkts der Überschreitung des Auslösewertes für jeden Messpunkt der optischen Dichte



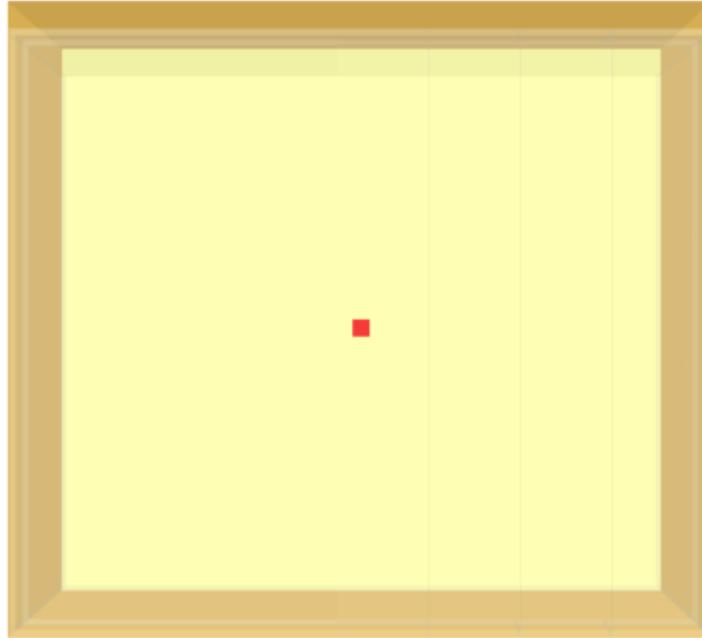
Rauchdichte [kg m^{-3}]

Auswertung – Virtuelle Rauchmelder (II)

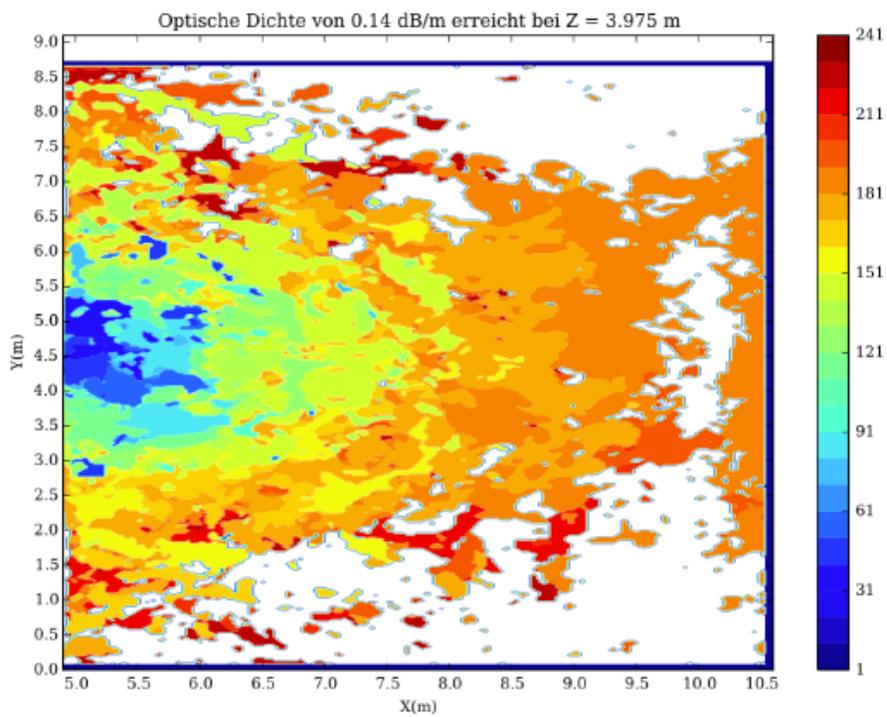


Szenario 1 – Aufbau

- ▶ deckenhöhe: 4 m

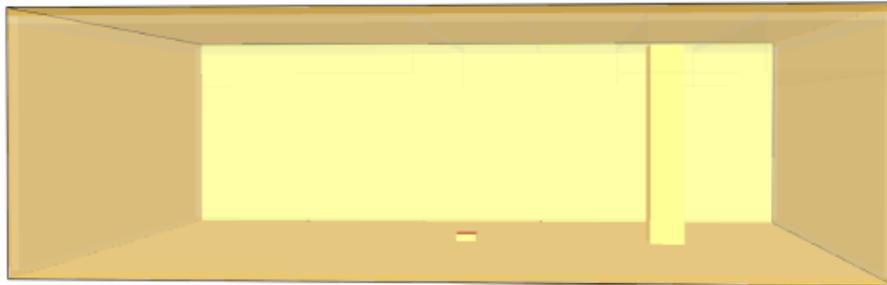


Szenario 1 – Ergebnisse



Szenario 3 – Aufbau

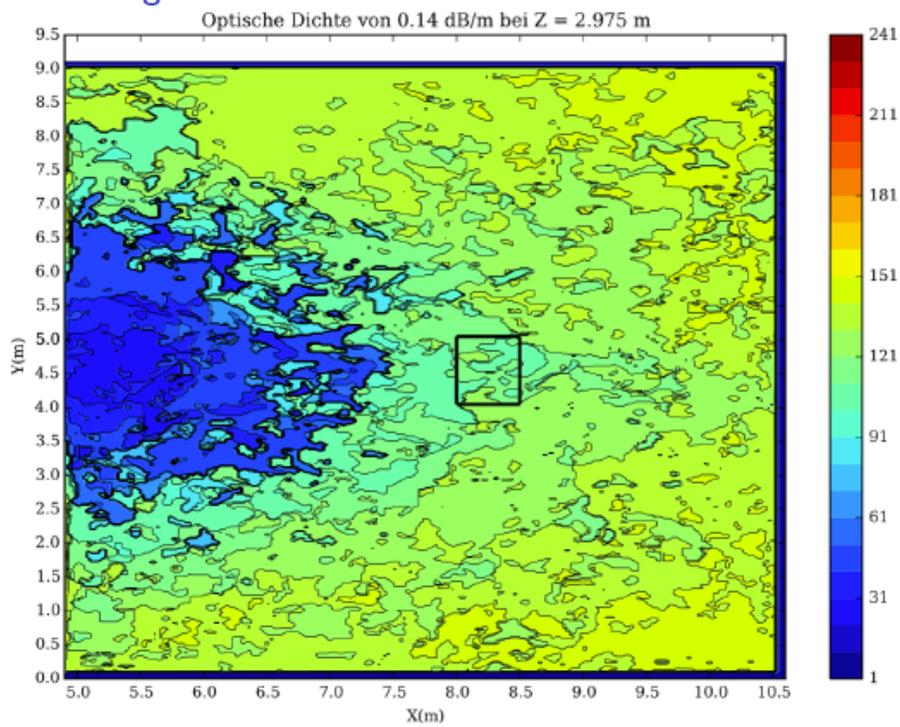
Szenario 3.2



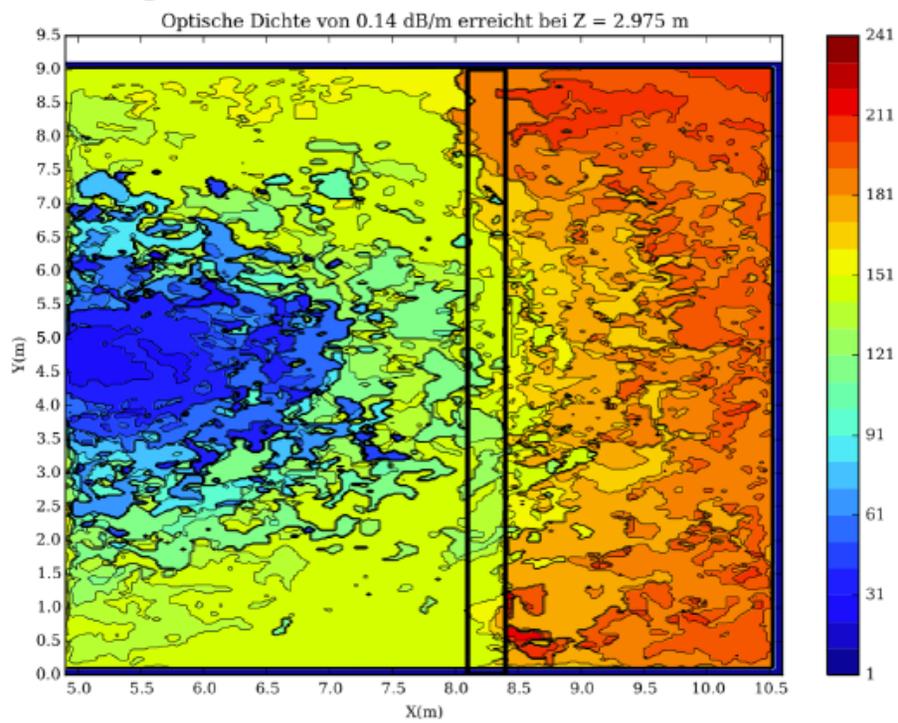
Szenario 3.3



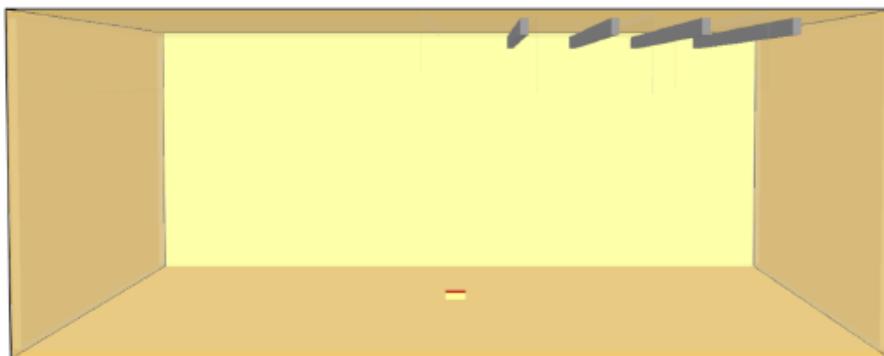
Szenario 3.2 – Ergebnisse



Szenario 3.3 – Ergebnisse



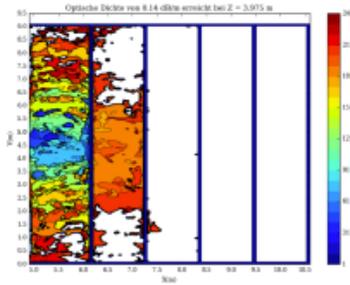
Szenario 4 – Aufbau



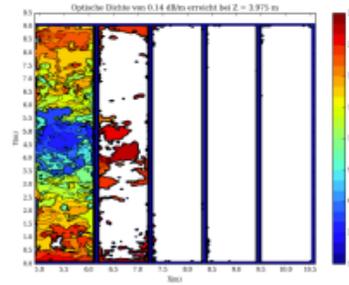
- ▶ Verschiedene Unterzüge, zwischen 5 cm und 20 cm
- ▶ Verschiedene Auslöseschwellwerte, 0.14 dB/m und 0.063 dB/m

Szenario 4 – Ergebnisse

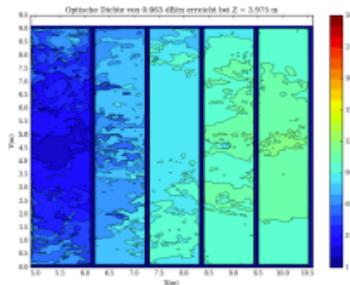
Unterzughöhe 10 cm, $D_c = 0.14 \text{ dB/m}$



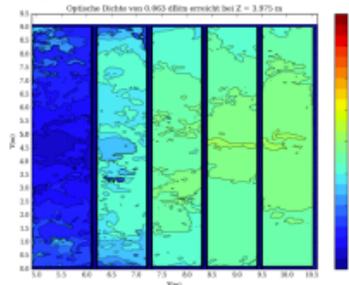
Unterzughöhe 20 cm, $D_c = 0.14 \text{ dB/m}$



Unterzughöhe 10 cm, $D_c = 0.063 \text{ dB/m}$



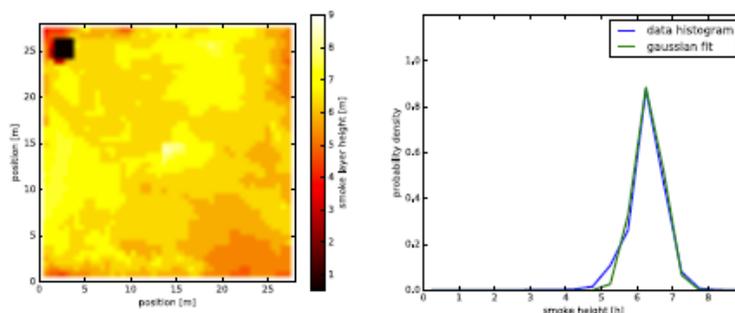
Unterzughöhe 20 cm, $D_c = 0.063 \text{ dB/m}$



Auswertung von Plot3D Daten

Die Analyse des gesamten Rechengebiets erlaubt es sich komplett von lokalisierten Aussagen zu trennen. So kann z.B. die Rauchschithöhe nicht nur an einem / wenigen ausgewählten Punkten bestimmt werden, sondern im gesamten Gebiet.

Wir haben ein kleines Werkzeug entwickelt, welches das Einlesen von (multi-mesh) Plot3D Daten erleichtert und einen einfachen Zugriff in Python erlaubt. Selbstverständlich ist dieses Werkzeug frei verfügbar (momentan nur auf Anfrage).



Diskussion

- ▶ Die Vorgabe eines Abstands von 50 cm von der Wand (Deckenmontage) zeigte in den Simulationen teilweise eine zu geringe Rußkonzentration auf, so dass es zu keine Auslösung gekommen wäre.
- ▶ Objekte haben einen Einfluss auf die Auslösezeiten, teils positiv, teils negativ.
- ▶ Unterzüge von weniger als 20 cm werden in der Norm nicht berücksichtigt, haben jedoch starken Einfluss auf die Auslösezeiten.
- ▶ Die direkte Auswertung ganzer Datenfelder anstatt einzelner Punkte eröffnet eine erweiterte Analysemöglichkeit.

Lukas Arnold:

Compile, Link, Go - FDS on Linux Clusters

Abstract:

Precompiled software might in general be easier to use, however it may not fit the environment of a general purpose Linux system. Hardware and operating system optimisations as well as (vendor) optimised libraries, like MPI, are only possible if the software is compiled on or for the target system. This contribution outlines the compilation and linkage process for a Linux cluster and provides background information for each step, including discussion on tools like ssh, make, gnu compiler and MPI implementations. As most Linux cluster are managed with a queueing system, an introduction and first steps on how to run FDS jobs is given, with the focus on the free and open source job scheduler SLURM. The given examples include the execution of pure MPI, pure OpenMP and hybrid jobs, as well as chain jobs with automated restart mechanism. The talk is concluded by performance measurements and tools to prepare and execute ensemble simulations with FDS on Linux clusters.

Compile, Link, Go

—
FDS on Linux Clusters

FDS User Group Meeting
Berlin, 10. November 2016

Lukas Arnold

email: l.arnold@fz-juelich.de

Jülich Supercomputing Centre, Forschungszentrum Jülich



Disclaimer

- ▶ The only aim of this talk is to give a short education on the compilation, linkage and execution process.
- ▶ This is not a recipe on how to prepare FDS on your individual cluster, however, it should give you the keywords to use with your admins.
- ▶ As always, the presented topics are shortened to their principal ideas due to the time restrictions.

Who is the Fire Dynamics Group?

- ▶ 1 Post-Doc, 3 PhDs, 4 students + Lukas
- ▶ Safety, civil and mechanical engineers, mathematicians and physicists



How to Get Simulation Results from Source Code?

1. Source code: human readable information of what to do
2. Compilation: translate the source code to instructions (object files) for the computer
3. Linkage: place the object files into the operating system and other library context (executable file)
4. Pre-processing: prepare application specific environment, e.g. input files
5. Execution: create a process that is executed by the operating system on the target computer architecture
6. Post-processing: analyse the application's output

What is a Source Code?

Computer programs are in general written by humans, therefore the source code is a pure text file.

There exist many programming languages that define the syntax and semantic. They may be very general but also domain specific. The language is defined in a standard.

```

1  SUBROUTINE RNG_EDDY_VISCOSITY (MU_EFF , MU_DNS_RNG , RHO , STRAIN_RATE , DELTA )
2
3  REAL (EB) , INTENT (INOUT) :: MU_EFF
4  REAL (EB) , INTENT (IN)  :: MU_DNS_RNG , STRAIN_RATE , DELTA , RHO
5  REAL (EB) :: MU_S , MU2 , MU3 , MU_EFF_OLD
6
7  [...]
8
9  MU_S = RHO * (C_RNG * DELTA) ** 2 * STRAIN_RATE
10 IF (MU3 > TWO_EPSILON_EB) THEN
11   DO ITER = 1 , MAX_IT
12     MU_EFF_OLD = MU_EFF
13     MU_EFF = MU_DNS_RNG * ( 1 + \
14       MAX (0 , MU2 * MU_EFF / MU3 - C_RNG_CUTOFF) ) ** ONTH
15     IF (ABS ((MU_EFF - MU_EFF_OLD) / MU_EFF_OLD) < TOL) EXIT
16   ENDDO
17 ENDIF
18
19 END SUBROUTINE RNG_EDDY_VISCOSITY

```

What is a Compiler?

A compiler interprets, based on the according language standard and extensions, the source code and creates object files.

Compilers may extend the language standards and offer additional functionality, which in general breaks the compatibility with other compilers.

Common FORTRAN compilers:

- ▶ GNU compiler collection
- ▶ Intel
- ▶ PGI
- ▶ IBM

→ example: compile turb.f90

What is an Object File?

An object file contains data and instructions for the target computer architecture. These files are not human readable.

General contents of an object file:

- ▶ Header (descriptive and control information)
- ▶ Code segment ("text segment", executable code)
- ▶ Data segment (initialized static variables)
- ▶ External definitions and references for linking
- ▶ Dynamic linking information

The content may be displayed with the `nm` command.

u: undefined; t: code; s: data

→ examples: `file` and `discover turb.o`

What is a Linker?

The linker combines all object files, adds the operating systems objects and other external libraries to form a single object – the executable file.

In general an executable file incorporates not all routines and data, but points to dynamic libraries. This saves space and makes updates easier.

To see which dynamical libraries are needed, i.e. pointed to, use the `ldd` command.

→ example: link all object files to an executable and check with `ldd`

What is a Library?

A library is a collection of routines and data sets. Libraries are designed in a generalistic way to be used in various applications.

Hardware and software vendors offer specialised and optimised versions of libraries.

Common examples:

- ▶ basic math operations
- ▶ linear algebra solver
- ▶ Fourier transformations
- ▶ message passing interface

What is MPI?

The message passing interface (MPI) is a standard, currently in version 3.1, that has various implementations (MPICH, OpenMPI, Intel MPI, SGI MPI, etc.).

It is not part of any programming language and offers an easy way to manage groups of processes and provide communication routines inbetween them. The communication works on shared and distributed memory systems.

1. spawn process group (`mpirexec`), uses `ssh` and list of hosts
2. each group member gets an identifier (MPI rank)
3. each MPI process executes w.r.t. the given rank
4. MPI processes can communicate on a point-to-point and global level

What is an Operating System?

Besides of many user-evident properties, an operating system is just a software that provides an environment for other software to be run.

It provides all libraries to cover

- ▶ memory allocation
- ▶ terminal and file in- and out-put

What is Linux?

The UNIX based operating systems, which covers Linux, have the following philosophy:

1. write computer programs, that solve a single task, but very efficient
2. write computer programs, such that they can work together
3. write computer programs, that process simple text streams

Therefore the whole OS is a collection of a zoo of small specialised applications. The combination of all of them creates a complex and mighty system.

The base system of an UNIX-like OS can be used with text based terminals. However, most systems have a graphical system on top.

What is a Makefile?

Mostly, all compilation and linkage stages do not need any manual interaction.

A common way / pipeline on Linux for these steps is the make command, which typically comes together with a configure stage. The latter one is done manually in FDS.

In a makefile rules are defined how to compile and link the source code.

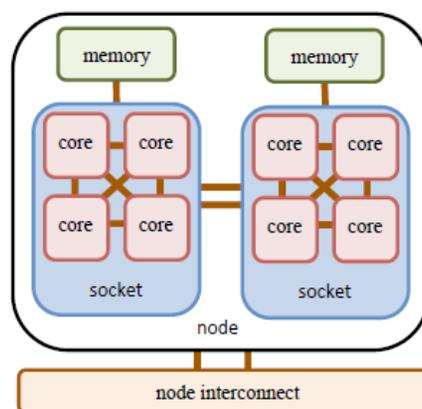
```

1  [...]
2
3  obj_mpi = prec.o cons.o devc.o data.o type.o mesh.o turb.o [...]
4
5  [...]
6
7  .f90.o:
8      $(FCOMPL) -c $(FFLAGS) $<
9
10 [...]
11
12 mpi_gnu_linux_64 : FFLAGS = -O3 $(GITINFOGNU)
13 mpi_gnu_linux_64 : FCOMPL = mpifort
14 mpi_gnu_linux_64 : FOPENMPFLAGS =
15 mpi_gnu_linux_64 : obj = fds_mpi_gnu_linux_64
16 mpi_gnu_linux_64 : setup $(obj_mpi)
17     $(FCOMPL) $(FFLAGS) $(FOPENMPFLAGS) -o $(obj) $(obj_mpi)
18
19 [...]
```

What is a Linux Cluster?

A cluster is a set of computers, that are connected via a network system.

The resource management is based on any cluster management software (Ganglia, Moab, SLURM, etc.)



In general a user connects only to the front-end nodes, where he copies data to and from, compiles the application and submits jobs.

The compute nodes themselves are out of reach for a normal user and are managed by the cluster system.

How to Connect to a Linux Cluster and Copy Files?

The common way to login to a cluster is via `ssh`. While `ssh` is a standard tool on Linux / macOS, you will need tools like `puTTY` on a Windows operating system.

`ssh` can be used with simple password authentication or a public-private key pair.

Hint: use the `ssh` config file to make typing easy (username, host, port, etc.)

There are a couple of ways to copy data to and from a remote host. The simplest one is `scp`, which is a direct copy. A synchronization with tools like `rsync` allow more options: copy, update, resume.

→ example: login to JURECA

What are modules?

Cluster systems host many users with different requirements. The `module` environment allows for different versions of software to be installed at the same time. Each individual user can choose freely which compiler, MPI, etc. to use.

The chosen compiler and library combinations at compile and link time must be kept same at execution time.

→ example: compile FDS

How to Execute Jobs with SLURM?

slurm.fds.job

```

1  #!/bin/bash
2  #SBATCH --job-name=FDS_S1A
3  #SBATCH --ntasks=96
4  #SBATCH --ntasks-per-node=12
5  #SBATCH --cpus-per-task=2
6  #SBATCH --output=stdout_%j.out
7  #SBATCH --error=stderr_%j.err
8  #SBATCH --time=24:00:00
9
10 # load the module environment for latest FDS version
11 module use /usr/local/software/jureca/OtherStages
12 module load Stages/Devel
13 module load Intel/2016.2.181-GCC-4.9.3-2.25 IntelMPI/5.1.3.181
14 module load FDS/6.5.1-r17-259
15
16 export OMP_NUM_THREADS=2
17
18 echo "Current working directory: " `pwd`
19 echo "Time simulation started: " `date`
20
21 srun fds ./S1A.fds
22
23 echo "Time simulation stopped: " `date`

```

→ example: submit a job on JURECA

Which Compiler is the Fastest?

- ▶ It is not just the compiler, but also the used libraries, here MPI.
- ▶ Benchmark setup: 96 meshes, 192 cores on 8 nodes
- ▶ $\Delta x = 0.2 \text{ m}$, 2.3 M cells, 50 s simulation time

The following table is a very simple timing analysis.

compiler	MPI library	wall clock time [s]	time DIVG [s]	time PRES [s]
GNU 5.3.0	ParaStation 5.1.5	1547	374	297
Intel 2017.0	Intel 2017.0	1090	207	257
Intel 2017.0	ParaStation 5.1.5	1343	334	277

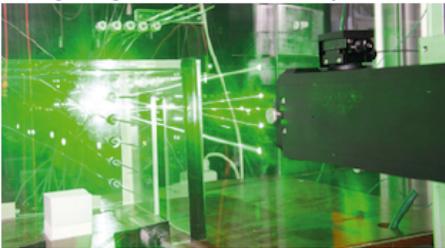
Ready to Go?

- ▶ If in trouble with compiling software, contact your admin!
- ▶ Try out different compilers and libraries to find the best combination.
- ▶ We have a couple of tools to ease the work with Linux clusters. Please feel free to contact us and we are happy to share our efforts.

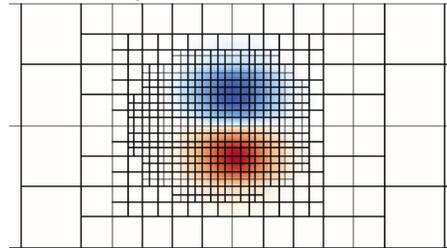
Webpage: <http://www.fz-juelich.de/ias/jsc/firesim>

Research Topics @ Fire Dynamics Group

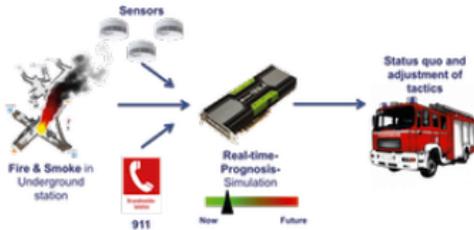
Buoyancy Driven Flow Experiments



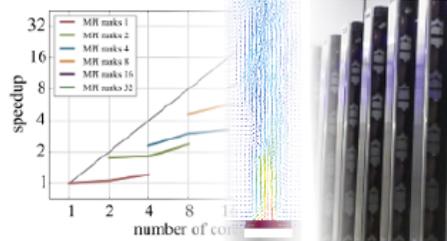
Adaptive Mesh Methods



Real-Time Predictions on GPUs



Fire Simulation on HPC



Webpage: <http://www.fz-juelich.de/ias/jsc/firesim>

Bjarne Husted:**Protection against external fire spread - Horizontal projections or spandrels?****Abstract:**

The impact of horizontal projections on external fire spread was investigated using the numerical tool Fire Dynamics Simulator (FDS). The numerical study was divided into a validation study and a comparative analysis. The validation study was performed to evaluate FDS as a calculation tool for modelling external fire spread and was conducted using experimental results from a large-scale fire test done on a SP FIRE 105 test rig in Borås, Sweden. A previous validation study on FDS version 5.5.3 showed promising results, which was further developed in order to validate FDS 6.2.0. It was concluded that FDS 6.2.0 could reproduce the experimental results. In the comparative analysis the impact on the external fire from a smaller apartment was studied in FDS with different configurations of horizontal projections and spandrels in the building exterior. The analysis showed that at least a 60 cm deep horizontal projection results in lesser consequences at the facade compared with scenarios built up by different spandrel heights.

Protection against external fire spread - Horizontal projections or spandrels?

Markus Nilsson, Brandskyddslaget AB, Sweden

Bjarne Husted, Lund University, Sweden

Axel Mossberg, Brandskyddslaget AB, Sweden

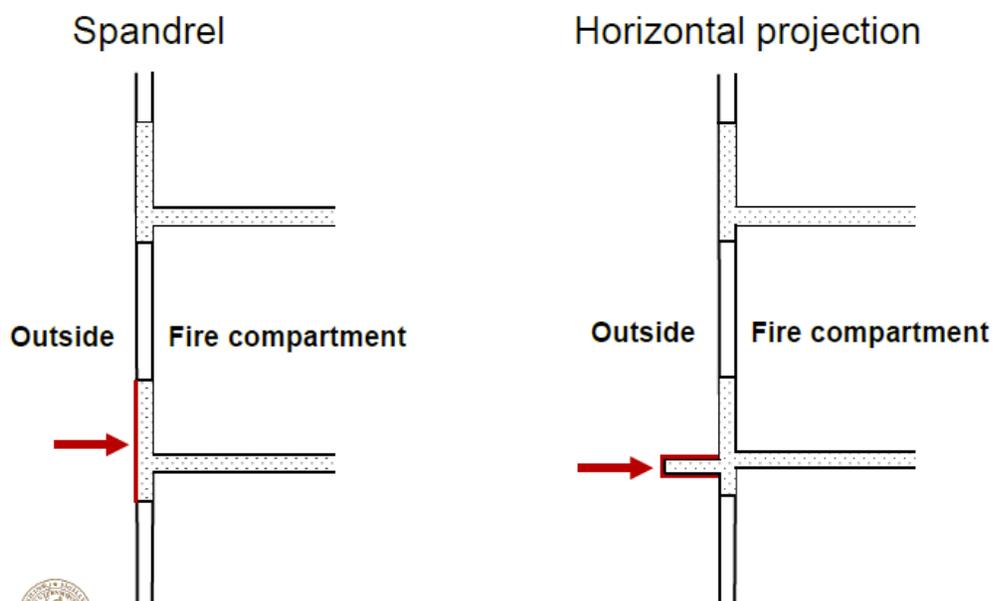
Johan Anderson, SP Sweden



1



Introduction

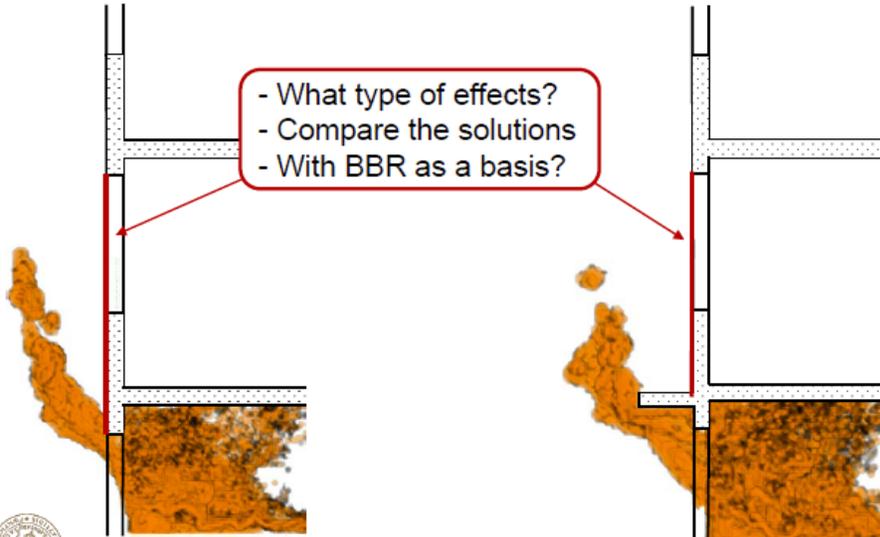


2



Purpose and Aim

Spandrel Vs Horizontal projection



BRANDSKYDDSLAGET

3



BRANDSKYDDSLAGET

4



Comparison of protections requirements between countries

Country/Region	Spandrel (m)	Horizontal projection (m)
Australia	0.9	1.1
Denmark	1.2	-
Finland	1.0	-
France	0.6 - 1.3	0.6 - 1.3
Hong Kong	0.9	0.5
New Zealand	1.5	0.6
Norway	1.2	1.2
Portugal	1.1	1.1 - the depth of the horizontal projection
Spain	1.0	1.0 - the depth of the horizontal projection
Sweden	1.2	-
USA	<i>The International Codes: 0.914</i>	<i>The International Codes: 0.762</i>

LUND
UNIVERSITY

BRANDSKYDDSLAGET

5



Adiabatic Surface Temperature

- “The Adiabatic Surface Temperature is defined as the temperature of a surface which cannot absorb or lose heat to the environment, i.e. a perfect insulator.”
- “Accordingly, the AST is a weighted mean temperature of the radiation temperature and the gas temperature depending on the heat transfer coefficients.”
- [Wickström, U., 2011. The Adiabatic Surface Temperature and the Plate Thermometer. *Fire Safety Science* 10: 1001-1011. \[10.3801/IAFSS.FSS.10-1001\]\(#\)](#)

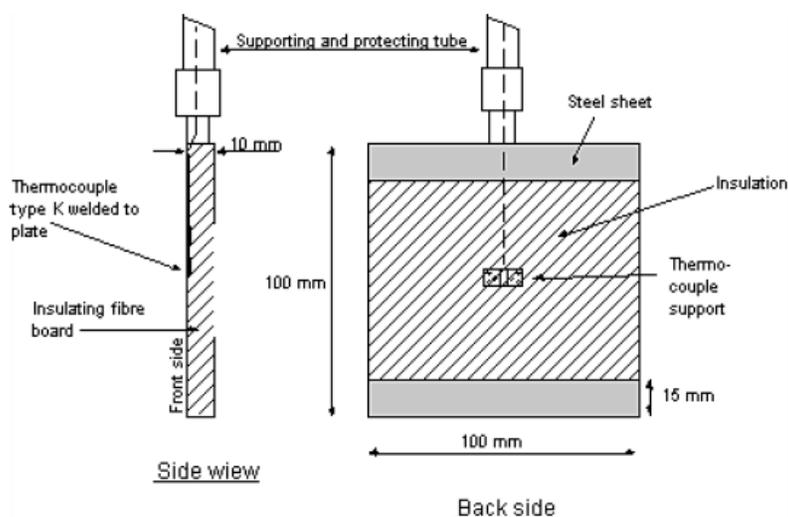
LUND
UNIVERSITY

BRANDSKYDDSLAGET

6



The plate thermometer



BRANDSKYDDSLAGET

7



Validation study

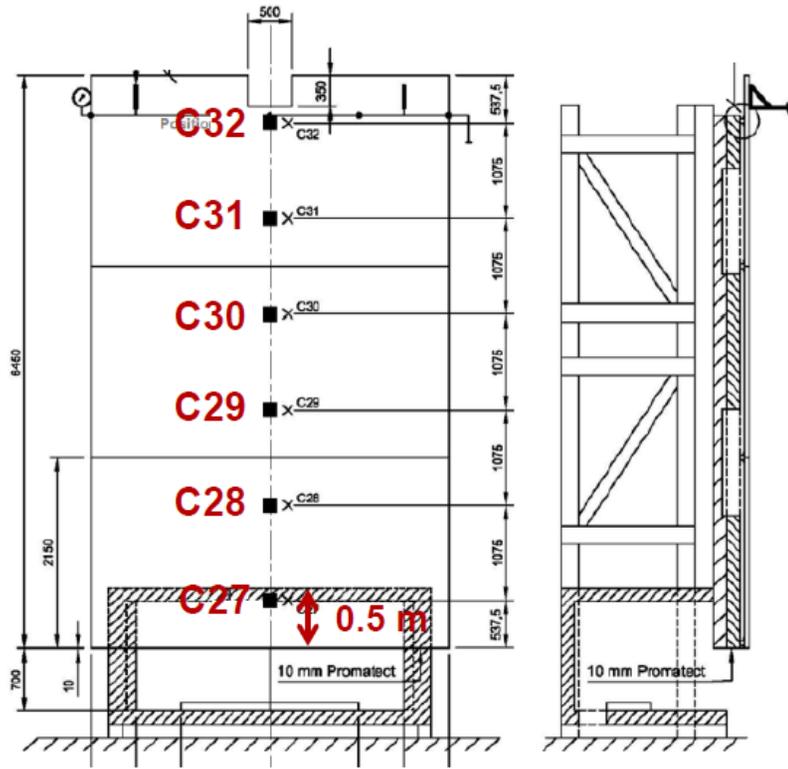
- Need of a calculation tool to express the consequence on the facade
- Validating FDS 6.2.0 for the area of external fire spread
- Large-scale fire test on a SP Fire 105 test rig
- Simulates a fire on ground floor of a three-storey building
- Reference test with non-combustible facade



BRANDSKYDDSLAGET

8



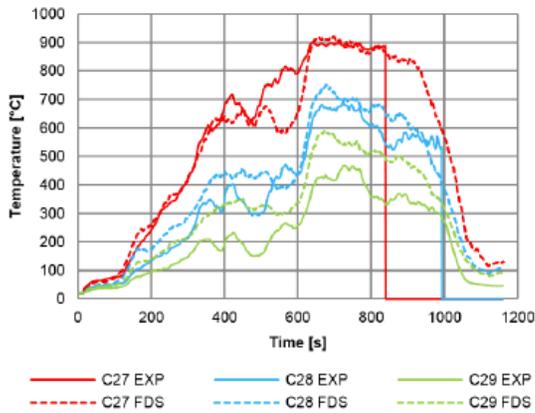


BRANDSKYDDSLAGET

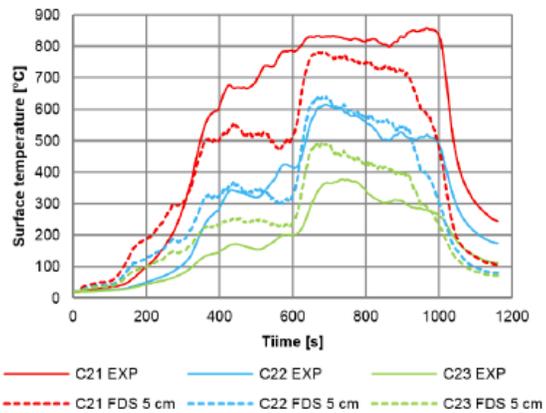
9



Validation study - Results



Gas temperature (5 cm grid)



Adiabatic surface temperature (5 cm grid)

Main conclusion: mesh resolution $\frac{D^*}{\delta_x}$ of at least 30



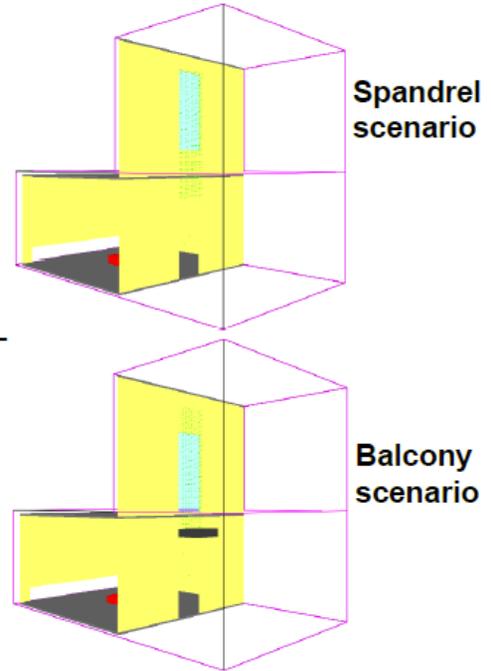
BRANDSKYDDSLAGET

10



Comparative analysis

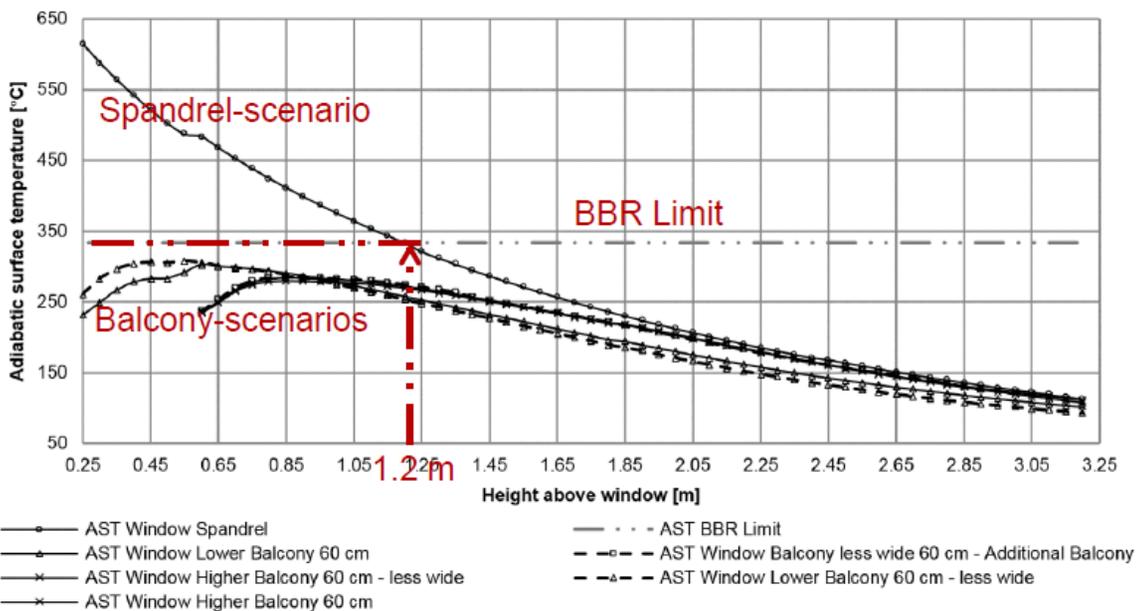
- Simulating a fire in a small apartment in FDS
- Two opening configurations, Door & Window
- Non-combustible building materials
- 20 cm thick rectangular non-combustible balconies with open sides and no separation walls
- This study: fixed balcony depth of 60 cm



BRANDSKYDDSLAGET



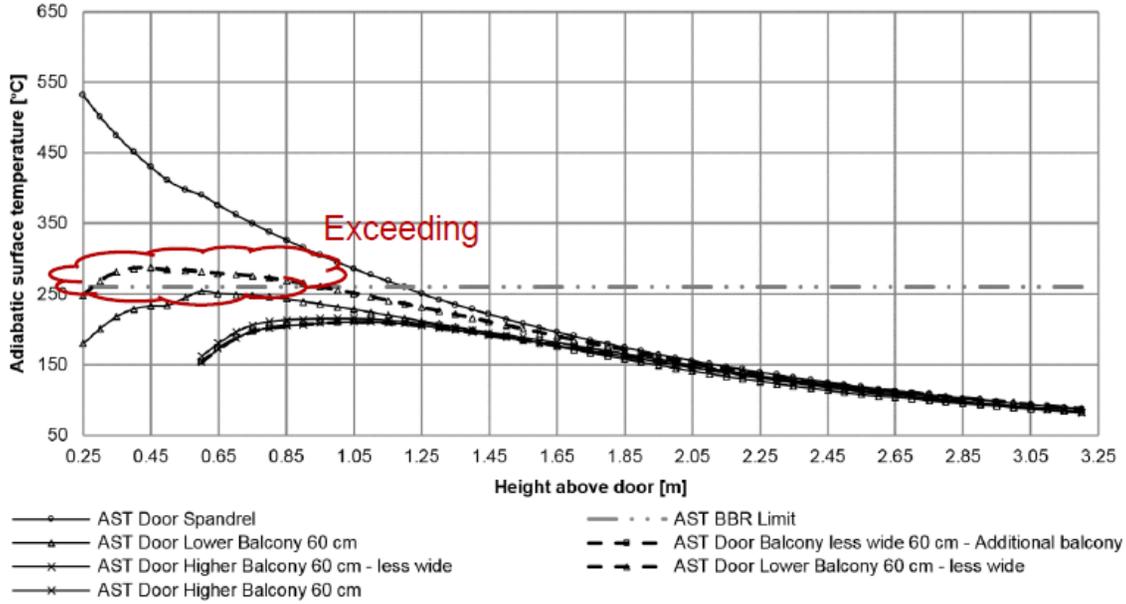
Results - Window



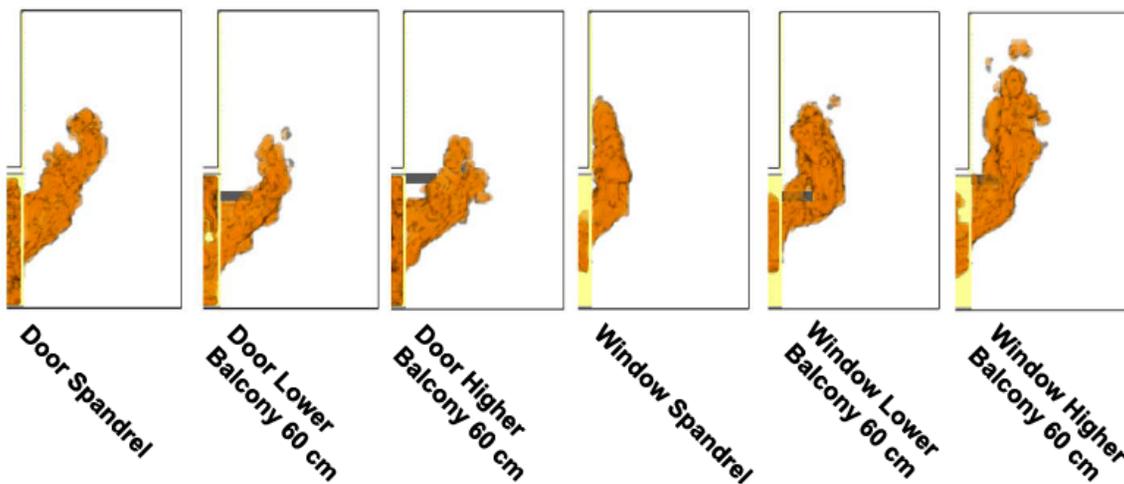
BRANDSKYDDSLAGET



Results - Door



Results – External flames



Conclusion

- Results further shows that a 60 cm deep horizontal projection results in lesser consequences above the projection compared with scenarios built up by different spandrel heights
- The results *suggest* that a 60 cm deep balcony generally results in lesser consequences at the facade compared with the accepted level in the prescriptive part of the Swedish building regulations



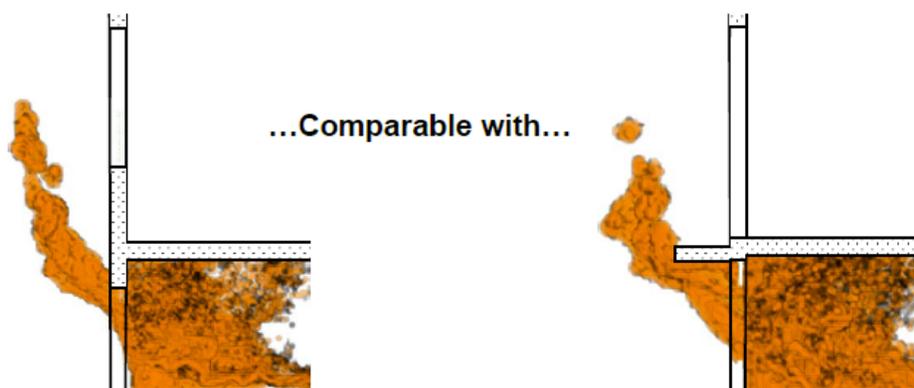
BRANDSKYDDSLAGET

15



Conclusion

- *Given the previous*, a spandrel height of 1.2 m (BBR) can generally be replaced by a 60 cm deep balcony positioned at any height above the underlying opening **Exception**



BRANDSKYDDSLAGET

16



Thank you

Nilsson, M., et al., *Protection against external fire spread - Horizontal projections or spandrels?*, in *Interflam 2016 : 14th International Conference*. 2016, Interscience Communications: Royal Holloway College. p. 1163-1174



Susanne Kilian:

Untersuchungen von FDS-Drucklösern auf unstrukturierten Gittern

Abstract:

Many presently employed Poisson solvers which offer a sufficient amount of computational efficiency and robustness are limited to the use of regular geometries and corresponding grid structures. This restriction can affect the precise representation of complex fire scenarios involving complex bodies and flow obstructions. Usually, their parallel application in the context of multi-core architectures contributes to a further impairment. The current solver for the Poisson equation in FDS is based on the use of local FFT methods on the single meshes of the underlying domain decomposition. This approach has proven to be computationally efficient and accurate in a multitude of cases. But due to its restriction to rectilinear meshes and its purely local character, there are two possible drawbacks, namely the presence of velocity errors based on penetrations into immersed obstacles as well as possibly large velocity errors along mesh interfaces.

In order to face this challenge several alternative Poisson solvers of direct and iterative type are examined which basically apply global solution strategies spanning over the whole domain decomposition. Furthermore, their ability to deal with unstructured grids along with the exact setting of boundary conditions on internal obstacle surfaces shall be analyzed. The talk is intended to give some insights into the current state of development and to compare the pros and cons of the different Poisson approaches with respect to their efficiency and accuracy.

Untersuchungen von FDS-Drucklösern auf unstrukturierten Gittern

Dr. Susanne Kilian
hhpberlin - Ingenieure für Brandschutz
10245 Berlin

Next Generation Fire Engineering



Agenda

1
Diskretisierung
Poisson-Gleichung

2
Poisson-Löser

3
Testreihen

4
Fazit

Next Generation Fire Engineering



Diskretisierung der Poisson-Gleichung

Strukturierte versus unstrukturierte kartesische Gitter

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

Druckgleichung in FDS

Elliptische partielle Differentialgleichung Typ „Poisson“

$$\nabla^2 \mathcal{H} = -\frac{\partial(\nabla \cdot \mathbf{u})}{\partial t} - \nabla \cdot \mathbf{F} \quad + \quad \text{Randwerte}$$

Quellterme aus dem vorangehenden Zeitschritt
(Strahlungstransport, Verbrennung, etc.)

- eng gekoppelt mit dem Strömungsfeld
- mindestens 2x pro Zeitschritt zu lösen

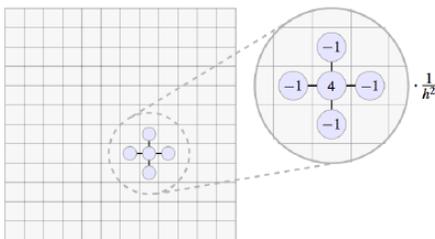
Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

Finite Differenzen Diskretisierung

Diskretisierungsstern in 2D:

$$\frac{1}{h^2} (-\mathcal{H}_{i,k-1} - \mathcal{H}_{i-1,k} + 4\mathcal{H}_{i,k} - \mathcal{H}_{i,k+1} - \mathcal{H}_{i+1,k}) = R_{i,k}$$



- zell-zentriert
- spezifiziert die physikalischen Relationen zwischen den Zellen
- führt auf dünn-besetzte Matrix (nur wenige Nicht-Null-Einträge)

Next Generation Fire Engineering

1

Diskretisierung
Poisson-Gleichung

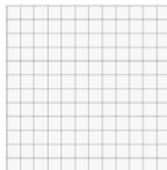
hhpberlin

Finite Differenzen Diskretisierung

Single-Mesh:

1 globales Gleichungssystem

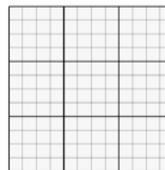
$$Ax = b$$



Multi-Mesh:

M lokale Gleichungssysteme

$$A_m x_m = b_m$$



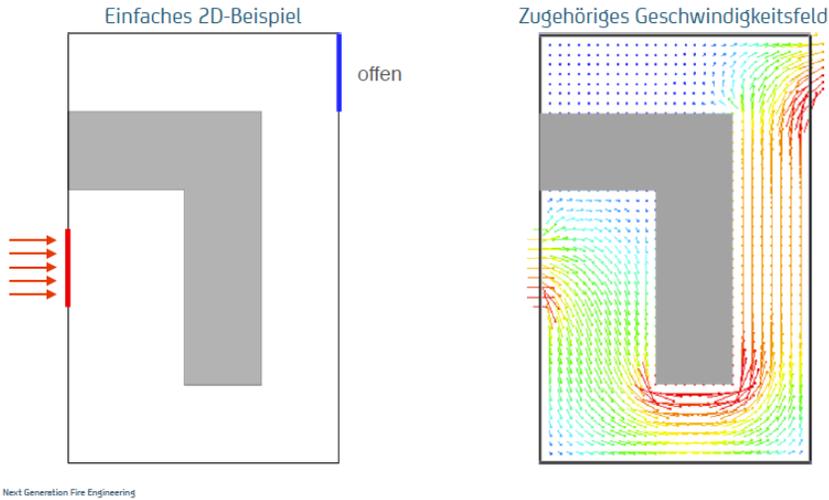
Next Generation Fire Engineering

1

Diskretisierung
Poisson-Gleichung

hhpberlin

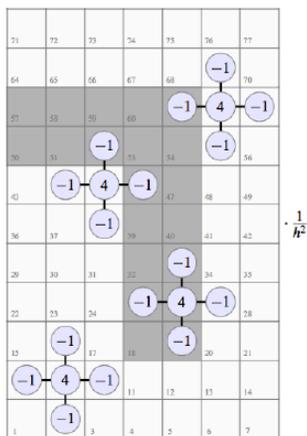
Behandlung interner Objekte



1
Diskretisierung
Poisson-Gleichung



Strukturierte kartesische Gitter



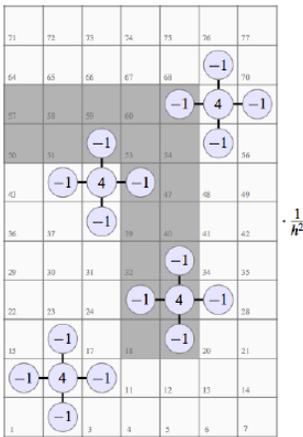
„Gasphase“ und „Solid“-Zellen:

- gleichförmige Matrixsterne unabhängig von inneren Objekten
- Zellen innerhalb der Objekte werden ins Gleichungssystem übernommen

1
Diskretisierung
Poisson-Gleichung



Strukturierte kartesische Gitter



Next Generation Fire Engineering

Vorteil:

- sehr reguläre Matrixstruktur (einheitliche Nachbarschaftsverhältnisse zwischen Zellen)
- kann im Lösungsprozess effizient ausgenutzt werden (Beispiel FFT)

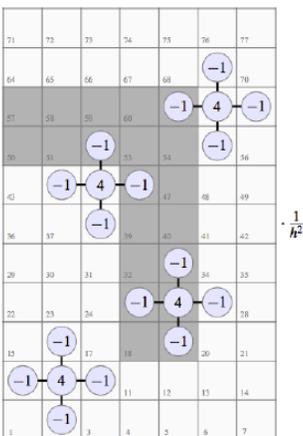
Einsatz hoch-optimierter Löser möglich

1

Diskretisierung
Poisson-Gleichung

hpbberlin

Strukturierte kartesische Gitter



Next Generation Fire Engineering

Nachteil:

- inkorrekte Behandlung innerer Randwerte
- mögliche Verletzung der Erhaltungseigenschaften (Penetration in innere „Solids“)
- iterative Korrektur an inneren Rändern nötig

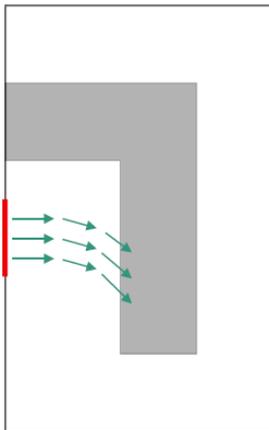
Effizienz-/Genauigkeitsverluste

1

Diskretisierung
Poisson-Gleichung

hpbberlin

Strukturierte kartesische Gitter



Next Generation Fire Engineering

FFT(tol): „Direct Forcing Method“

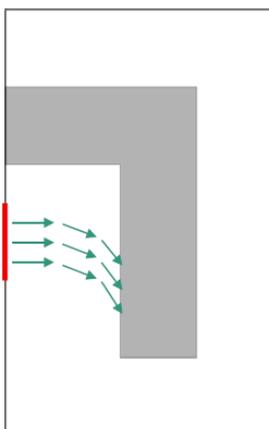
- „Eindringen“ in innere Objekte soll verhindert werden

1

Diskretisierung
Poisson-Gleichung

hnpberlin 

Strukturierte kartesische Gitter



Next Generation Fire Engineering

FFT(tol): „Direct Forcing Method“

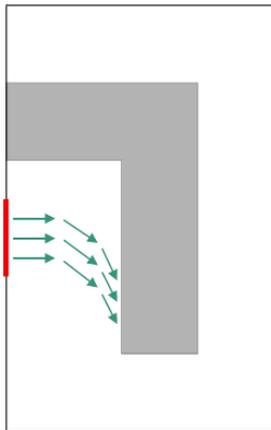
- „Eindringen“ in innere Objekte soll verhindert werden
- Normalableitung der Geschwindigkeit muss gegen Null gehen

1

Diskretisierung
Poisson-Gleichung

hnpberlin 

Strukturierte kartesische Gitter



Next Generation Fire Engineering

FFT(tol): „Direct Forcing Method“

- „Eindringen“ in innere Objekte soll verhindert werden
- Normalableitung der Geschwindigkeit muss gegen Null gehen
- es wird so lange iteriert bis vorgegebene Toleranz **tol** unterschritten ist

Eingabe in FDS-Geometrie, z.B.:

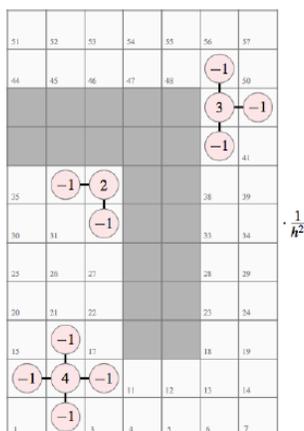
&PRES VELOCITY_TOLERANCE = 0.001

1

Diskretisierung
Poisson-Gleichung

hhpberlin

Unstrukturierte kartesische Gitter



Next Generation Fire Engineering

Nur „Gasphase“-Zellen:

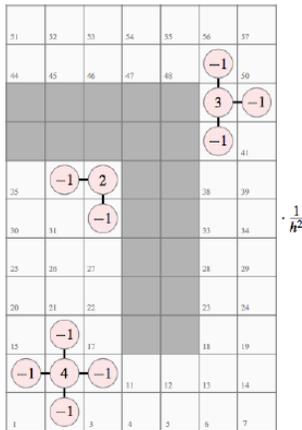
- unterschiedliche Matrixsterne unter Aussparung innerer Objekten
- Zellen innerhalb der Objekte werden **nicht** ins Gleichungssystem übernommen

1

Diskretisierung
Poisson-Gleichung

hhpberlin

Unstrukturierte kartesische Gitter



Next Generation Fire Engineering

Vorteil:

- Korrekte Setzung der Randwerte (**homogene Neumann-Bedingung**)
- geringere Anzahl an Unbekannten

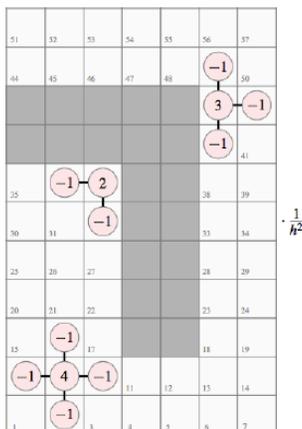
Höhere Genauigkeit,
keine zusätzliche Korrektur

1

Diskretisierung
Poisson-Gleichung



Unstrukturierte kartesische Gitter



Next Generation Fire Engineering

Nachteil:

- Verlust der regulären Matrixstruktur
- keine spezialisierten Löser mehr anwendbar (Beispiel: FFT)

Einsatz optimierter Löser schwieriger

1

Diskretisierung
Poisson-Gleichung



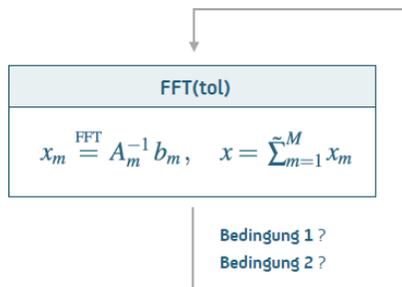
Lösung der Poisson-Gleichung Präsentation verschiedener Lösungsansätze

Next Generation Fire Engineering



Fast Fourier Transformation: FFT(tol) mit Geschwindigkeits-Korrektur

2
 Poisson-Löser



Bedingung 1: Innere Objekte

Geschwindigkeits-Normalkomponenten < tol

Bedingung 2: Innere Meshgrenzen

Differenz Geschwindigkeits-Normalkomponenten < tol

- ein einzelner FFT-Durchlauf ist hoch-effizient und robust
- aber nur für strukturierte Gitter anwendbar !

Next Generation Fire Engineering



Parallele LU-Zerlegung: MKL Interface Intel MKL Pardiso

MKL - Initialisierung
$LU = \sum_{m=1}^M A_m$

MKL - Poisson Lösung
$Ly = b, \quad Ux = y$

Initialisierung

- zunächst „Reordering“ der Matrixstruktur
- verteilte Berechnung der globalen LU-Zerlegung

Poisson-Lösung pro Zeitschritt:

- Einfache Lösung des Poisson-Problems durch lokales Vorwärts-/Rückwärts-Einsetzen

- ebenfalls als sehr effizient und robust angepriesen
- für strukturierte und unstrukturierte Gitter anwendbar

Next Generation Fire Engineering



hhpberlin 

ScaRC-Varianten: Block-CG und -GMG Verfahren

ScaRC-CG / ScaRC-GMG
<u>Vorkonditionierung/Glättung:</u> Block-SSOR, Block-MKL
<u>Grobknoten-Lösung:</u> CG, MKL

Konjugierte Gradientenverfahren (CG):

- Lösung eines äquivalenten Minimierungs-Problems

Geometrisches Mehrgitterverfahren (GMG):

- Verwendung einer kompletten Gitterhierarchie mit exakter Lösung auf größtem Gitter

Blockweise Durchführung mit 1 Zelle Überlapp

- meist gute Konvergenz, aber abhängig von Verfahrensparametern
- für strukturierte und inzwischen auch für unstrukturierte Gitter anwendbar

Next Generation Fire Engineering



hhpberlin 

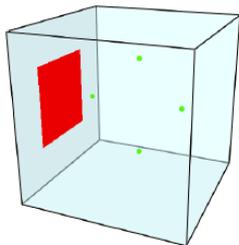
Numerische Testreihen Vergleich für verschiedene Geometrien

Next Generation Fire Engineering

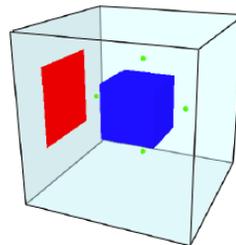


Basis-Geometrien

Cube⁻
Würfel ohne Hindernis



Cube⁺
Würfel mit Hindernis



Gitterweiten:
24³, 48³, 96³
für gesamten Würfel



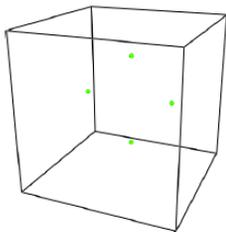
- zyklische Einströmung von links via Ramp, offene Ausströmung rechts
- Vergleich FFT(tol) auf strukturiertem Gitter versus MKL und ScaRC auf unstrukturiertem Gitter

Next Generation Fire Engineering

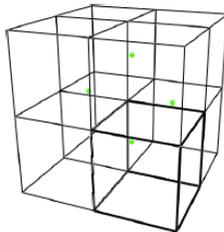


Mesh-Zerlegungen

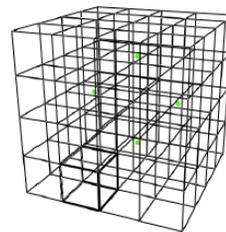
1-Mesh



8-Mesh



64-Mesh



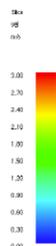
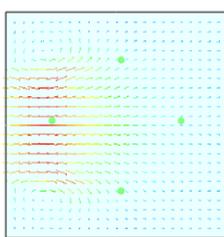
- Notationen: $\text{Cube}^-(M)$ und $\text{Cube}^+(M)$ für jeweilige M-Mesh-Zerlegung
- Anzahl an Zellen pro Mesh wird weniger mit wachsender Anzahl an Meshes

Next Generation Fire Engineering



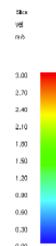
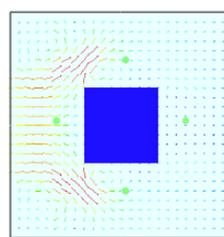
Genauigkeits-Check

Cube^-



Time: 1.520

Cube^+



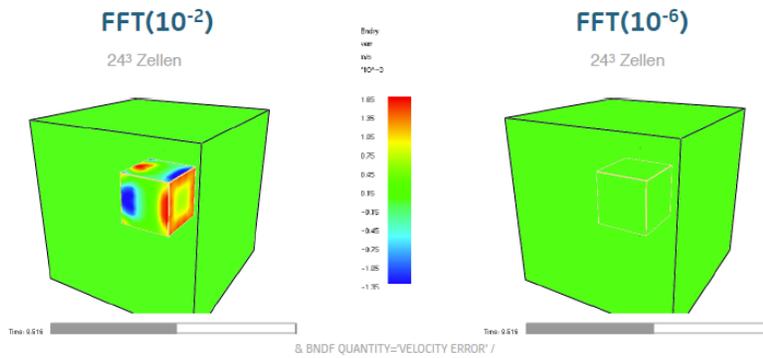
Time: 1.520

- Messung des Volumenstrom-Differenzen „Einströmung versus Ausströmung“
- Messung der Druckverläufe an gekennzeichneten Messstellen

Next Generation Fire Engineering



Cube+(1): Penetration des Hindernisses



- Geschwindigkeits-Korrektur reduziert den Fehler entlang des Hindernisses (beiden Fällen liegt gleiche Skala zugrunde)

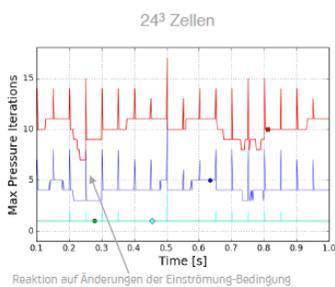
Next Generation Fire Engineering



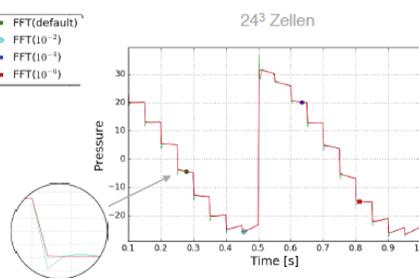
Cube+(1): FFT(tol), tol = 10⁻², 10⁻⁴, 10⁻⁶



Anzahl Poisson-Lösungen pro Zeitschritt



Geschwindigkeits-Fehler entlang Hindernis

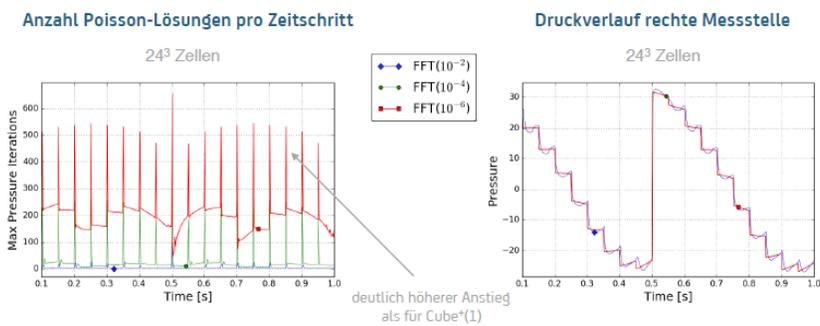


- mehr Poisson-Lösungen pro Zeitschritt erforderlich (~ 4 für tol=10⁻⁴, ~ 10 für tol=10⁻⁶)
- zum Vergleich: nur 1 Poisson-Lösung pro Zeitschritt für **Cube+(1)**, unabhängig von tol

Next Generation Fire Engineering



Cube+(8): FFT(tol), tol = 10⁻², 10⁻⁴, 10⁻⁶

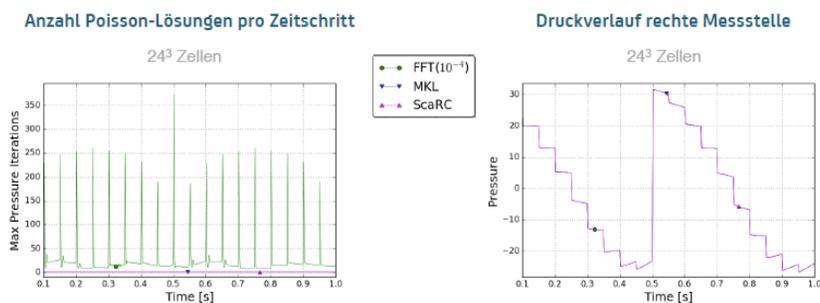


- Geschwindigkeits-Korrektur an Mesh-Grenzen deutlich aufwändiger als entlang Hindernis
- Anzahl der Poisson-Lösungen pro Zeitschritt: ~ 25 für tol=10⁻⁴, ~ 200 für tol=10⁻⁶

Next Generation Fire Engineering



Cube+(8): Alle Verfahren im Überblick

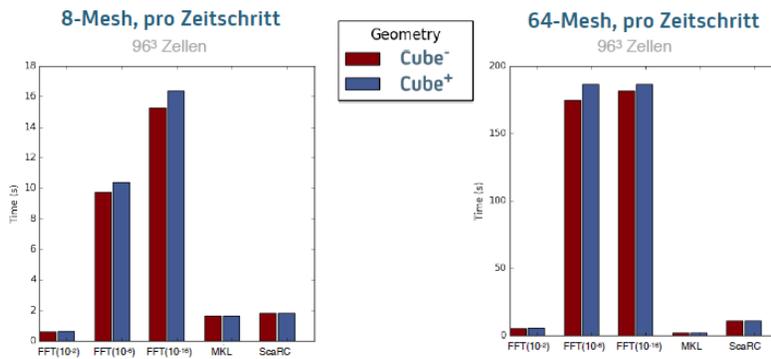


- Konsistenter Verlauf für alle Verfahren (für FFT(tol) ab tol=10⁻⁴)
- FFT(10⁻⁴) benötigt ~ 25 Poisson-Lösungen pro Zeitschritt, MKL/ScaRC genau je 1

Next Generation Fire Engineering



Cube⁻ versus Cube⁺: Dauer 1 Poisson-Lösung

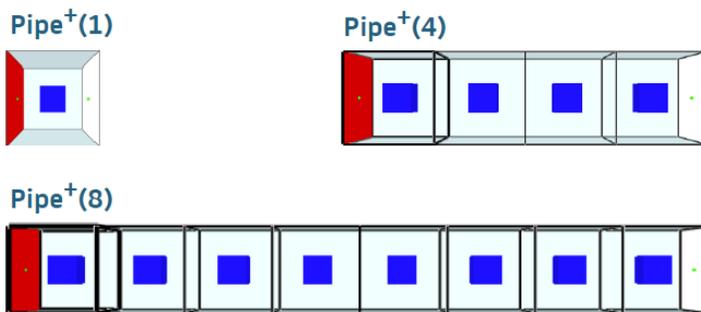


- jeweils deutlicher Anstieg der FFT-Laufzeiten für feiner werdende Toleranz
- Laufzeiten für MKL und ScaRC für beide Geometrien gleich, ScaRC für 8-Mesh konkurrenzfähig

Next Generation Fire Engineering



Pipe⁺: Kanal mit Hindernissen



- zyklische Einströmung links, offener Rand rechts, Messung der Volumenströme
- Gitterweiten 24³, 48³, 72³, 96³ pro Mesh (Zell-Anzahl wächst proportional zu Mesh-Anzahl)

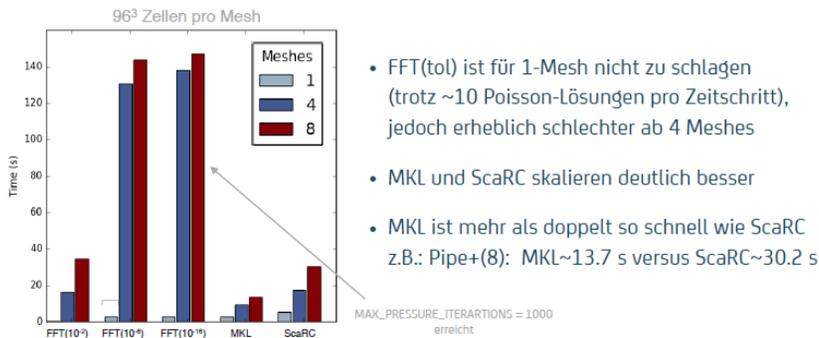
Next Generation Fire Engineering



Pipe+ (M), M=1, 4, 8: Zeitvergleich Löser



Zeit für 1 Poisson-Lösung pro Zeitschritt



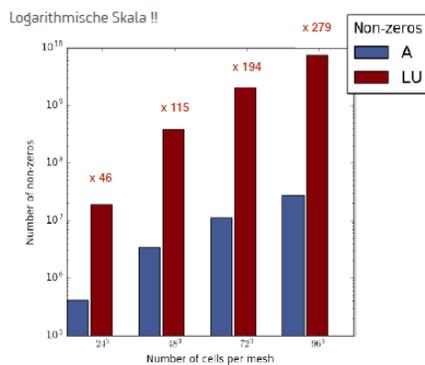
- FFT(tol) ist für 1-Mesh nicht zu schlagen (trotz ~10 Poisson-Lösungen pro Zeitschritt), jedoch erheblich schlechter ab 4 Meshes
- MKL und ScaRC skalieren deutlich besser
- MKL ist mehr als doppelt so schnell wie ScaRC z.B.: Pipe+(8): MKL~13.7 s versus ScaRC~30.2 s

- grundsätzlich schlechte Skalierung auf Rechner (Intel(R) Xeon, 2.67GHz, 8 CPUs zu je 8 Kernen)

Next Generation Fire Engineering



Pipe+(8): Kosten MKL-Methode



Speicherbedarf:

- sehr hoher Speicherbedarf durch „Fill-in“: LU hat viel mehr Nicht-Null-Einträge als A

Laufzeit: Beispiel 8 Meshes mit je 96³ Zellen

- Initialisierung: 2192.7 s
- eine Poisson-Lösung: 13.7 s

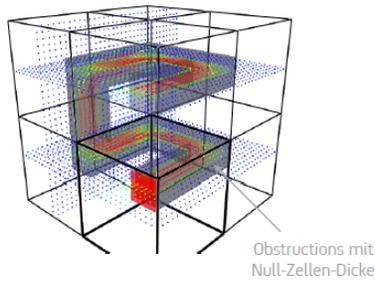
FFT und ScaRC können auf gleichen Ressourcen feinere Probleme rechnen (Bsp: 288³ pro Mesh für FFT und ScaRC noch rechenbar, für MKL bereits 240³ nicht mehr)

Next Generation Fire Engineering



DUCT_FLOW: Kanaldurchströmung

aus FDS-Verification-Guide:



8 Meshes, 128³ Zellen

Methode	Zeit pro Poisson-Lösung
FFT(10 ⁻⁴)	41.3 s
MKL	4.4 s
ScaRC	7.5 s



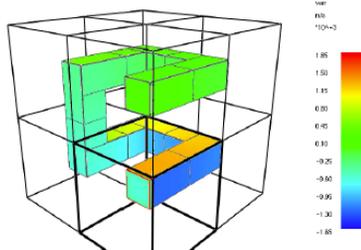
- Vergleich FFT(tol) auf strukturiertem Gitter versus MKL und ScaRC auf unstrukturiertem Gitter

Next Generation Fire Engineering

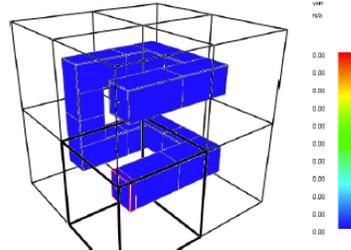


DUCT_FLOW: Fehler an Kanalwänden

FFT(10⁻⁴), 8-Mesh
64³ Zellen



MKL / ScaRC, 8-Mesh
64³ Zellen



- FFT konvergiert ausgesprochen langsam: in 1000 Schritten nur tol=10⁻⁴
- MKL und ScaRC liefern Null-Fehler an Kanalwänden unabhängig von Mesh-Anzahl in je 1 Schritt

Next Generation Fire Engineering



Fazit

Next Generation Fire Engineering



Zusammenfassung

4 Ausblick

Methode	Diskretisierung		zusätzliche Geschwindigkeits- Korrektur	zusätzlicher Speicherbedarf	Laufzeit-Effizienz
	strukturiert	unstrukturiert			
FFT(tol)	ja	nein	ja	gering	für Single-Mesh sehr hoch, aber schlechte Skalierbarkeit
MKL	ja	ja	nein	hoch	teure Initialisierung, gute bis moderate Skalierbarkeit
ScaRC	ja	ja	nein	gering	moderate Skalierbarkeit, noch Optimierungspotential

Next Generation Fire Engineering





hhpberlin
Ingenieure für Brandschutz GmbH

Hauptsitz
Rotherstraße 19 · 10245 Berlin

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

Geschäftsführung:
Dipl.-Ing. Karsten Foth
Dipl.-Inf. BW [VWA] Stefan Truthän

Beirat:
Dipl.-Ing. Margot Ehrlicher
Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hossler
Dr.-Ing. Karl-Heinz Schubert

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

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

"Mir, als Mathematikerin mit dem Schwerpunkt Numerik geht es vor allem um die Optimierung des mathematischen Kerns. Das vorrangige Ziel besteht darin, durch das Design und die Implementierung eines optimierten Drucklösers die Qualität und Zuverlässigkeit der parallelen Programmversion erheblich zu verbessern, sodass mittelfristig der Übergang auf massiv parallele Anwendungen möglich ist. Langfristig möchte ich durch adaptive Gitterverfeinerungstechniken eine Verbesserung der Auflösungsgenauigkeit erreichen."

Dr. Susanne Kilian
Initiatorin der FDS Usergroup

hhpberlin 

hhpberlin
Ingenieure für
Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin
email@hhpberlin.de

ISSN 2191-463X
10. Tagungsband
FDS Usergroup
Jahrgang 2016