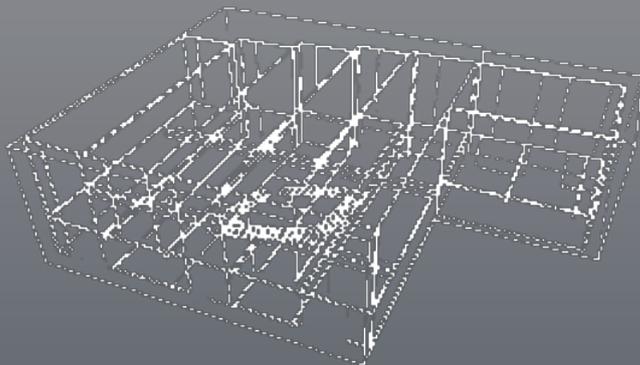


3. ANWENDERTREFFEN DER FDS USERGROUP

TAGUNGSBAND ZUSAMMENSTELLUNG DER KURZREFERATE

Datum:
29.10.-30.10.2009

Ort:
hhpberlin
Rotherstraße 19
10245 Berlin



INHALT**Vorträge 29.10.2009 (Anwendertag):**

Simulation von Atriumbränden, Ringvergleich und Parameterstudie Dr. Volker Schneider	2
Comparison of numerical simulations with large scale experiments (blind simulations) Xavier Deckers	23
Qualitätssichernde Kriterien bei der Anwendung von FDS: Untersuchungen zum Einfluss der Modellierung und Diskretisierung von natürlichen Rauchabzugsanlagen Boris Stock, Karl Wallasch	34
Mechanische Entrauchung Markus Kraft	46
Strahlung, Wärmeübergang, Einfluss von Bauteilen Florent Lushta	67
Brandherdmodellierung Klaus Veenker	76
Vergleich von FDS und Star CCM+ anhand des Steckler Room Fires Sebastian Metzger	91
Sprinkler und Nozzles in FDS-Simulationen Benjamin Kloss	106

Vorträge 30.10.2009 (Forschungstag):

Dokumentation von CFD-Studien Oliver Krüger	125
Korrektur der Vergleichsgrundlagen bei der Validierung des Fire Dynamic Simulator (FDS) durch die Mc Caffrey-Versuche Michael Grünewald	140
Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen - Nachrechnung von Brandversuchen Andreas Vischer	152
Richtig schnell rechnen - Vorstellung einer neuen Initiative Matthias Münch	170
FDS-ScaRC: Ein optimierter Parallelisierungsansatz für die FDS-Druckgleichung auf Basis adaptiver Gittervernetzungsstechniken Dr. Susanne Kilian	182
FDS und OpenMP - Erfahrungen bei der Entwicklung Christian Rogsch	206
Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt Thomas Kolb	215
Parameterstudie zur Modellierung von Entfluchtungsszenarien im Rahmen einer Sicherheitsanalyse für Seilbahnen Gregor Jäger	242
Building Information Model (BIM) basierte Evakuierungssimulation Puyan Abolghasemzadeh	253

Dr. Volker Schneider:

Simulation von Atriumbränden, Ringvergleich und Parameterstudie

Abstract:

Der vfdB-Leitfaden „Ingenieurmethoden des Brandschutzes“ enthält in seinem Kapitel „Modelle für die Brandsimulation“ auch einen Abschnitt, in dem zusammenfassend über die Ergebnisse eines Ringvergleichs berichtet wird. An dieser Studie waren sowohl mathematische Nachweisverfahren (vor allem CFD-Modelle) als auch unterschiedliche physikalische Modelle beteiligt. Es wurden spezielle Experimente durchgeführt, welche die beteiligten Modelle und ihre Anwender durch Vorab- bzw. Nachrechnungen reproduzieren sollten. Die Ergebnisse dieser Vergleichsstudie sollen hier zusammen mit ergänzenden Untersuchungen, in denen der Vergleich zwischen zwei der beteiligten Verfahren (FDS und Kobra-3D) im Mittelpunkt steht, vorgestellt werden.

Die Experimente wurden mit Isopropanol-Lachenbränden an der Außenstelle der MFPA Leipzig in Laue in einem etwa 10 m hohen Gebäude („Turm“) durchgeführt. Es sollten zunächst vor der Versuchsdurchführung Rechnungen bzw. Modellversuche für den vorgegebenen Versuchsaufbau und eine vorab abgeschätzte Wärmefreisetzungsrate durchgeführt und dokumentiert werden. Nach den Versuchen gab es Gelegenheit, mit der gemessenen Abbrandrate Nachrechnungen durchzuführen. Die im Leitfaden veröffentlichten Tabellen zeigen für die CFD-Modelle (Feldmodelle) eine insgesamt sehr gute Übereinstimmung untereinander sowie mit dem Experiment. Auch die physikalischen Modelle waren in der Lage, bestimmte Brandkenngrößen gut zu reproduzieren.

Bei den Feldmodellen (CFX, FDS, Fluent, KOBRA-3D) kamen recht unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Festlegung des Simulationsgebietes und der Gitterstruktur zum Einsatz, so dass sich die diesbezüglichen Auswirkungen im direkten Vergleich der Simulationen gut analysieren ließen. Als Vertreter der Zonenmodelle war das Mehrraum-Zonenmodell MRFC beteiligt.

Für die experimentell bestimmte Abbrandrate wurden anschließend Vergleichsrechnungen mit den CFD-Modellen KOBRA-3D und FDS durchgeführt, welche die vorherigen Studien im Sinne einer Sensitivitätsanalyse weiterführten und vertieften. Dabei wurde u. a. der Einfluss der Maschenweite auf das Simulationsergebnis untersucht sowie unterschiedliche Programmversionen verglichen.

Simulation von Atriumbränden

Ringvergleich und Parameterstudie

Dr. Volker Schneider
IST GmbH, Frankfurt / Main

FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH



Ringvergleiche Brandmodelle (Auswahl)

- 1985 ... HDR-Versuche und Nachrechnungen
- 1995 ... CIB W14 round robin
- 2002 ... International Collaborative Fire Modeling Project (GRS summary report 2008)
- 2006 ... Dalmarnock fire tests
- 2008 ... PROMESIS consortium (18 europ. Teilnehmer) unterventilierter Brand in Versuchsanlage CORIA, France - Ablauf in 3 Stufen (a priori, blind, open)

FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH



Diskussion im FDS-Forum (2008) und Edinburgh Fire Research Blog (2009)

- „Using models as part of the decision-making may be dangerous.“
- „The basic message was clear: a predicted result from a model cannot be assumed to be accurate; ie to reflect the real world.“ (Alan Beard, April 2008)
- „I know the topic is not popular in some circles of the fire community but I think that users of fire models need to be more involved in the 'a priori' vs. 'a posteriori' debate.“
- „We need more a priori comparisons of fire modelling to reflect on the strengths and limitations of current tools.“ (G. Rein, April 2008)
- „... the 'a priori' vs. 'a posteriori' debate is still not too popular in the fire modelling community.“ (G. Rein, August 2009)



- „"blind" validation exercises, however you define them, can be of value to the end user and the fire authorities, but they are of less value to developers. I would prefer ... that a series of increasingly complex fire scenarios be part of any validation exercise. Then we learn what the model does well and not well. If you just jump to the fully-furnished building and set it alight, then we cannot make progress. Worse, it says to the skeptics that fire models are all wrong and should not be trusted.“ (K. McGrattan, April 2008)
- „The Dalmarnock exercise was focused on "user effects" -- that is, how different modelers can choose a wide variety of input parameters and then get a wide range of results.“
- „Blind or "a priori" exercises rarely provide the modelers with enough information about the test.“
- „I would hesitate to place a greater value on so-called blind studies over "open" because the vast majority of our validation database is open. We cannot just throw away thirty years of experimental measurements because they no longer provide us with "blind" results.“ (K. McGrattan, September 2009)



vfdb Leitfaden

“Ingenieurmethoden des Brandschutzes”

vfdb Referat 4 (Prof. Hosser, TU Braunschweig)

- 1995 - Beginn
- 2001 – 9. Int. Brandschutz-Symposium
- **2002 – Phys. Brandsimulationsmodelle ?**
- 2005 – 10. Int. Brandschutz-Symposium
- 2006 – 1. Auflage (Tech. Bericht 04/01)
- 2009 – 2. Auflage



Ad hoc 2

“Physikalische Brandsimulationsmodelle”

Dr. Wolfram Arndt / Dr. Reinhold Dobbernack (iBMB)

Erhardt Wilk (BCL)

Prof. Dr. Rüdiger Detzer (Imtech)

Prof. Dr. Hans-Joachim Gerhardt (I.F.I. Institut)

Dr. Carola Steinert (DMT)

Dr. Ulrich Max (Ing.-Büro für Brandsicherheit)

Olaf Riese (iBMB)

Dr. Volker Schneider (IST)

Thomas Hegger



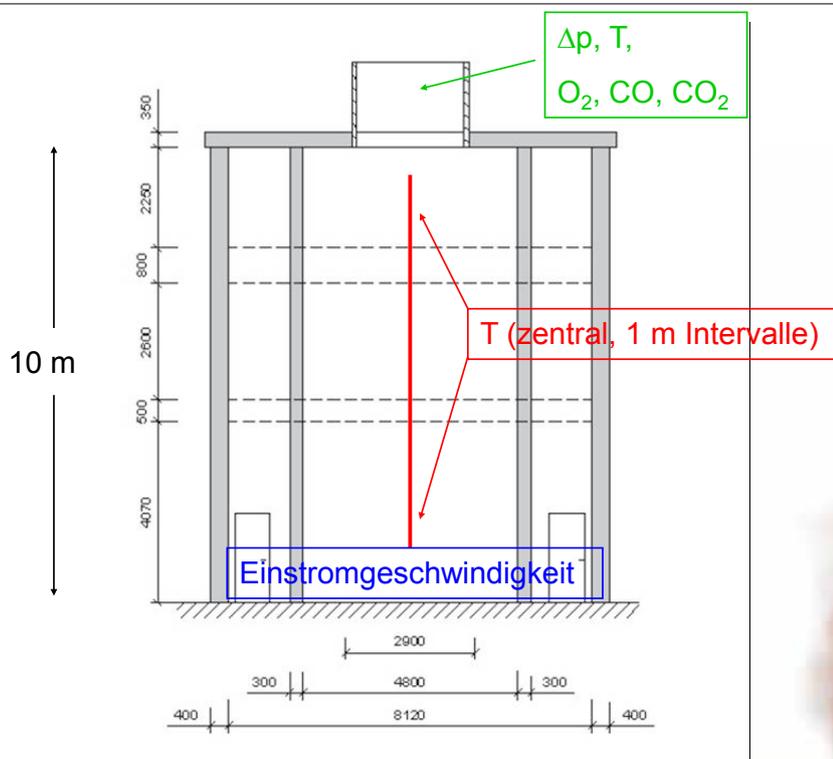
Brandversuch „Atrium“ (vfdb Ref. 4, ad hoc 2)



FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH

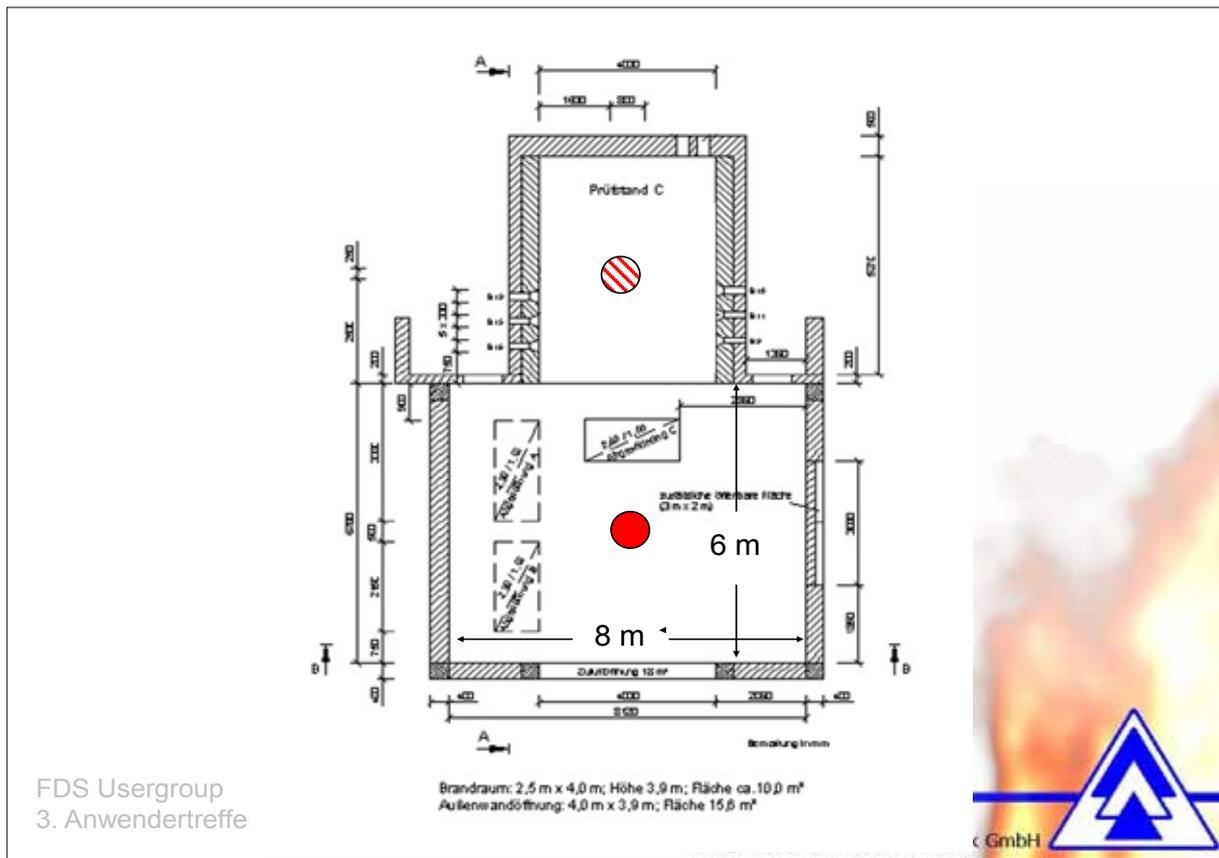


FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH





FDS Usergroup
3. Anwendertreffen



FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

Modellvergleich

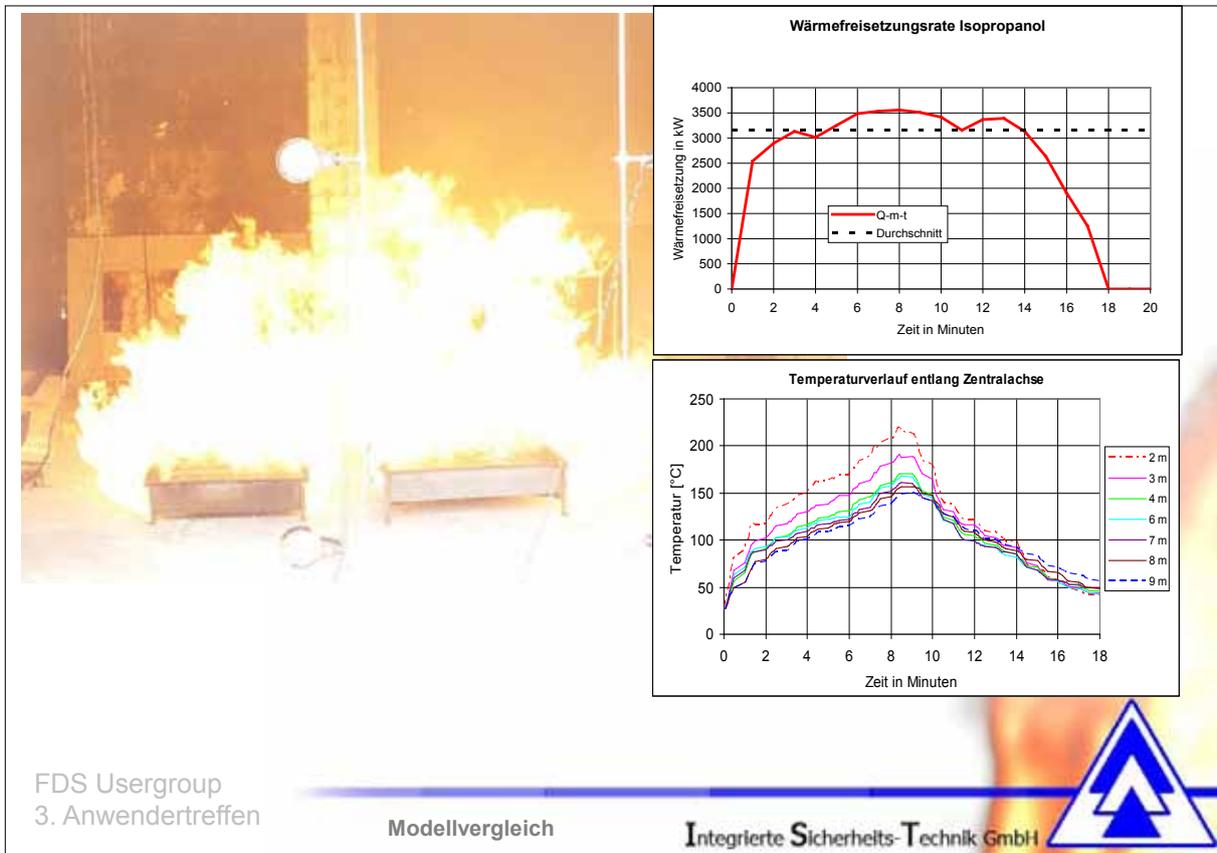
Integrierte Sicherheits-Technik GmbH



FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH



FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH



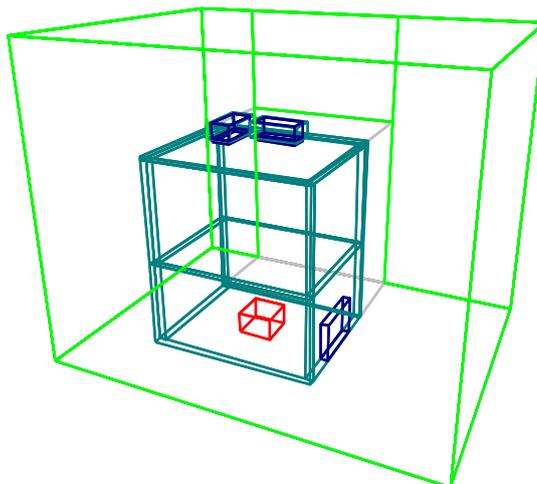
Mathematische und physikalische Modelle

- CFX (Imtech)
- FDS (Dr. Steinert/IST)
- FLUENT (I.F.I.)
- KOBRA-3D (IST)
- MRFC (Dr. Max)
(Zonenmodell)
- 1:4 scale (Imtech)
- 1:5 scale (BCL)
- 1:20 scale (I.F.I.)



Brandversuch "Atrium" (KOBRA-3D Simulation)

Laue 22.05.2003 - Versuch 2 (kleines Tor)

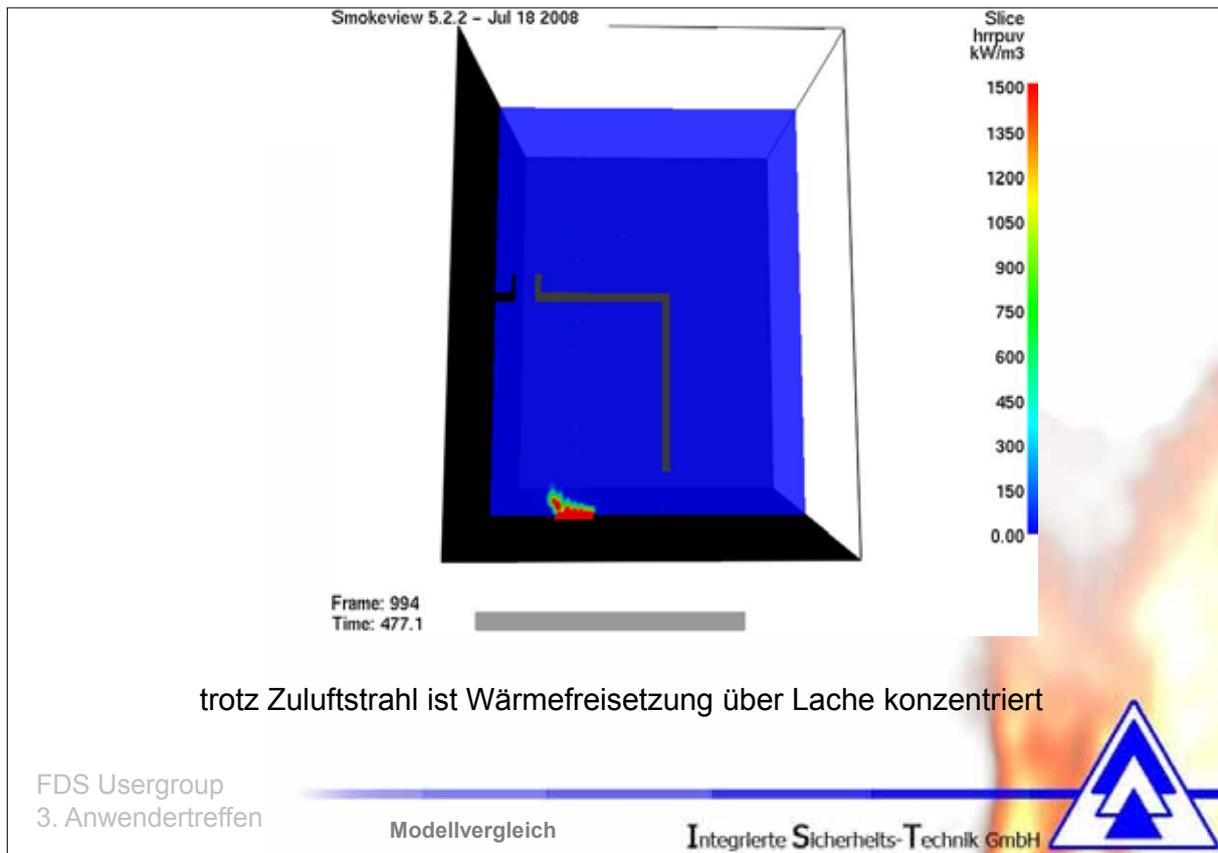
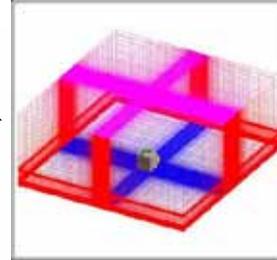


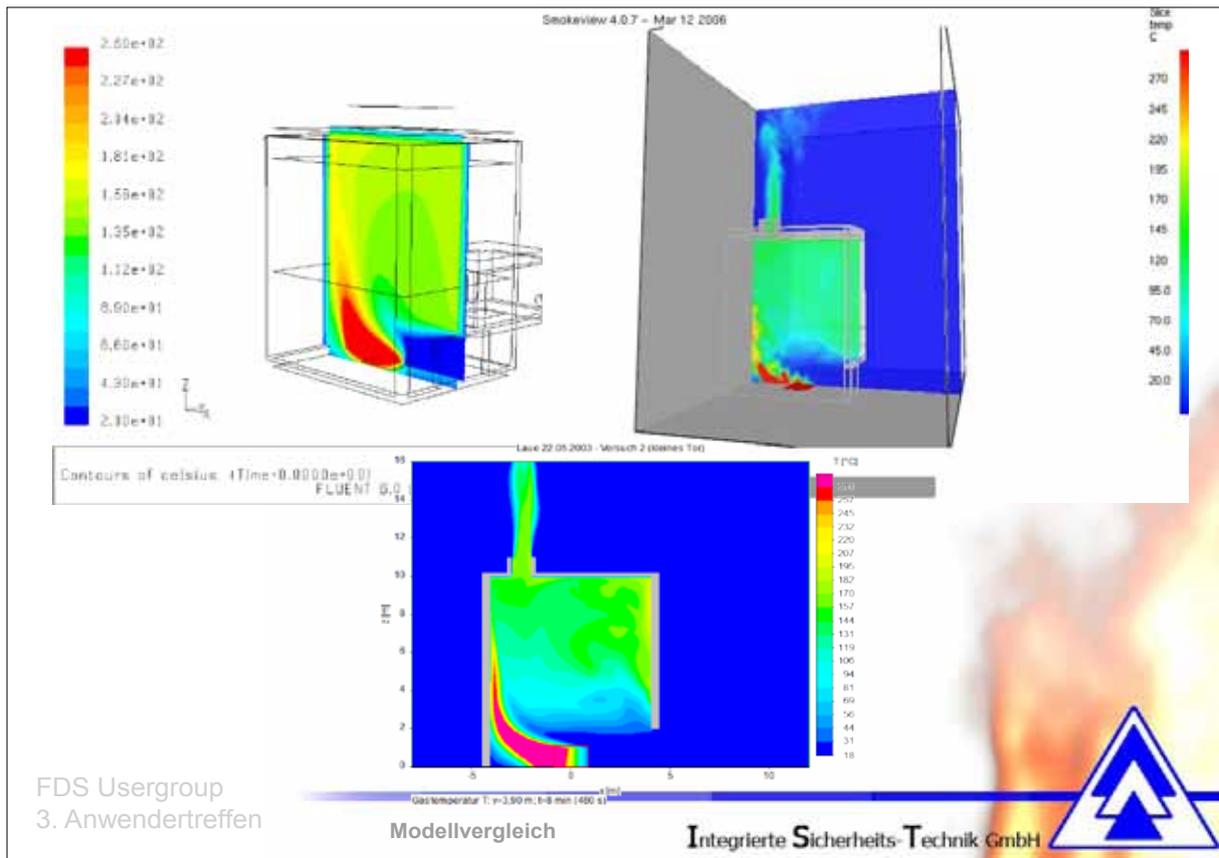
BRANDQUELLE Isopropanol
 Quader Mitten
 0 3,25 0,55 1,8 1,8 1,1 // m
 Ende_Quader
 hc= 32000 // [kJ/kg]
 r_air= 10,3 // [g/g] :
 Rauchpotential= 0,3 // [m²/g]
 y_Rauch= 0,015 // [g/g]
 y_CO2= 2,01 // [g/g]
 y_CO= 0,003 // [g/g]
 Q_RATE // [kW]
 0 0
 30 3167



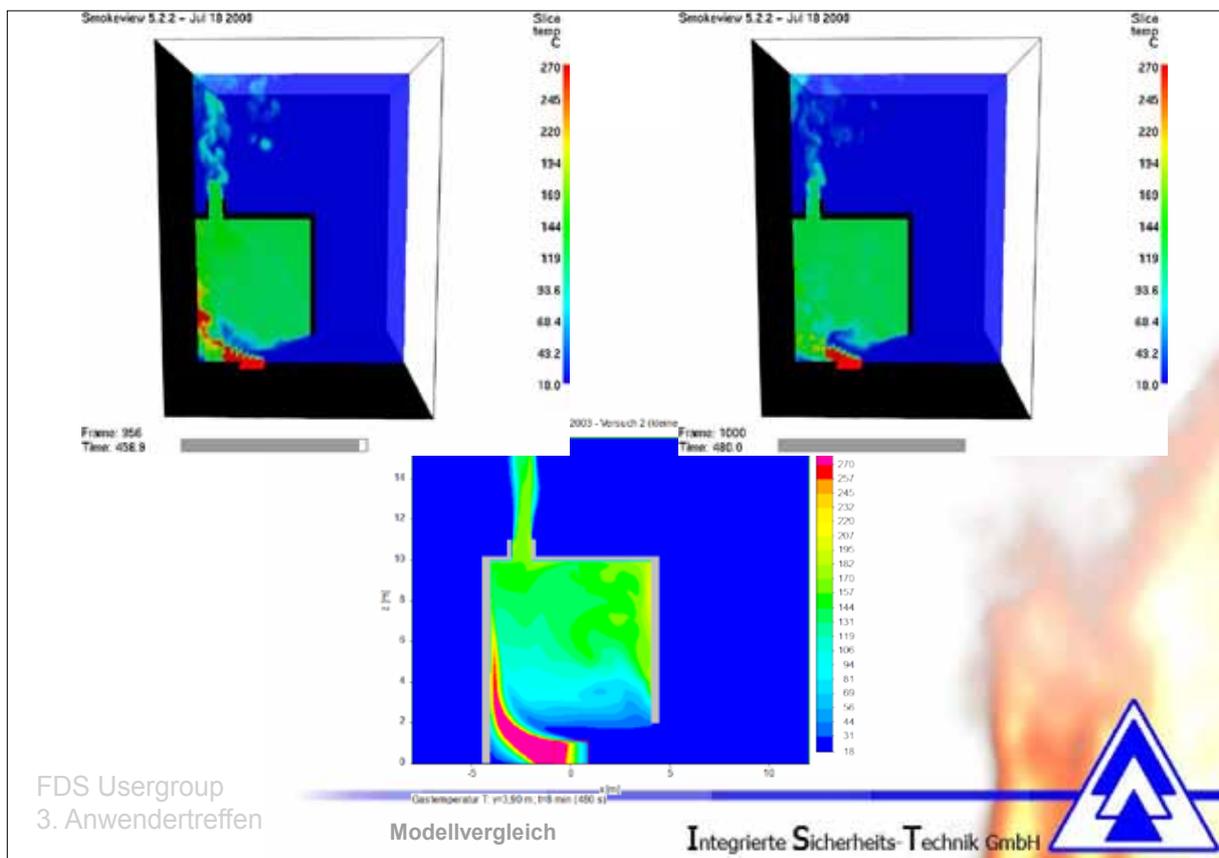
CFD Modellvergleich

- CFX (5.0×10^6 Zellen)
- FDS (1.7×10^6 Zellen)
- FLUENT (0.6×10^6 Zellen)
- KOBRA-3D (0.3×10^6 Zellen / 2.0×10^6 Zellen)
- Strahlungsanteil von 0.2
- Volumetrische Wärmequellen (außer FDS mit mixture fraction Verbrennungsmodell)

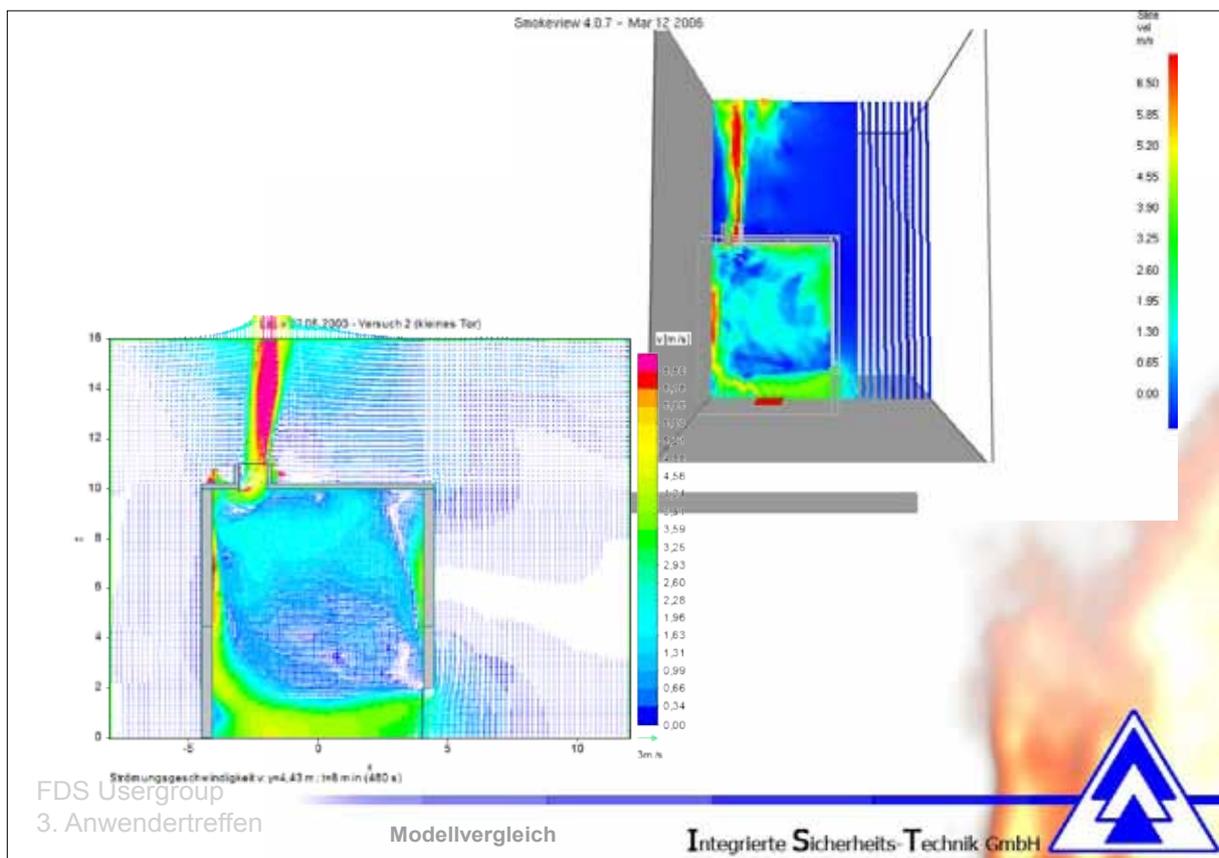
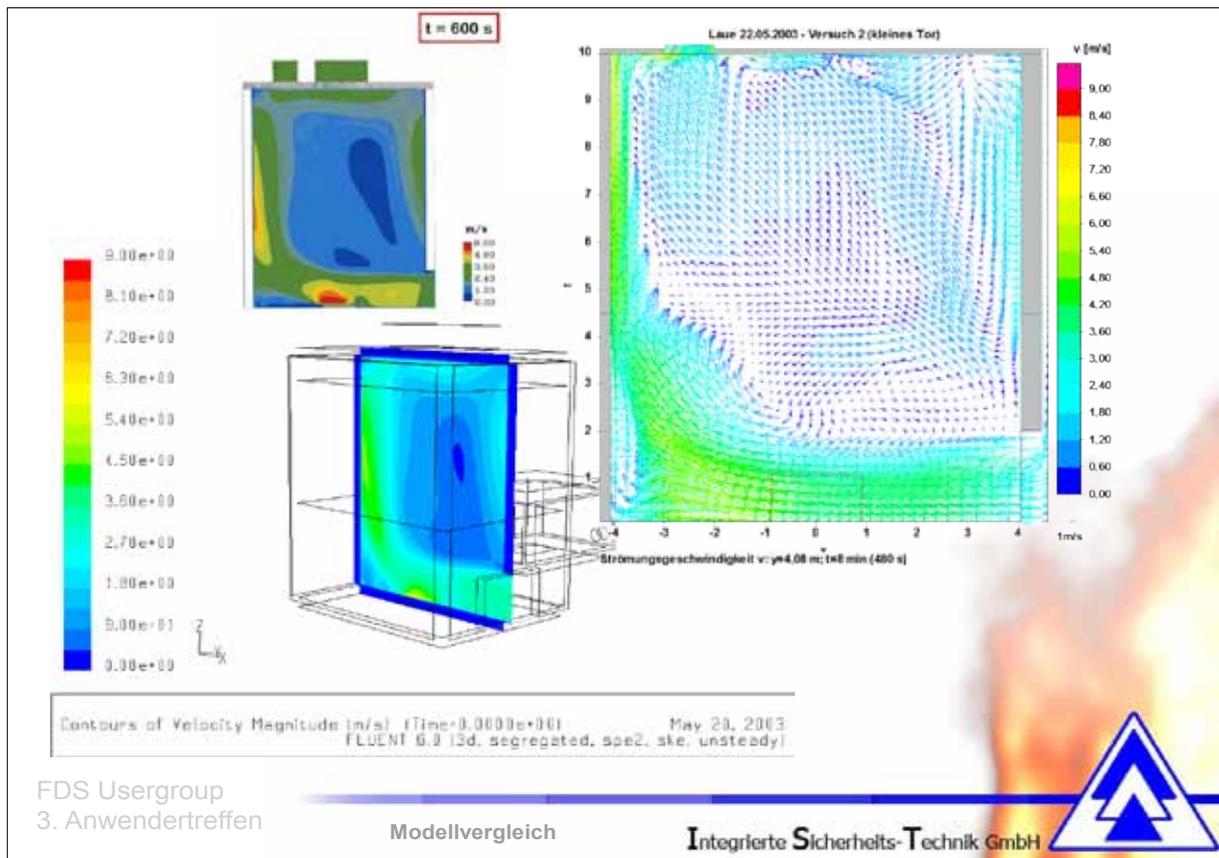


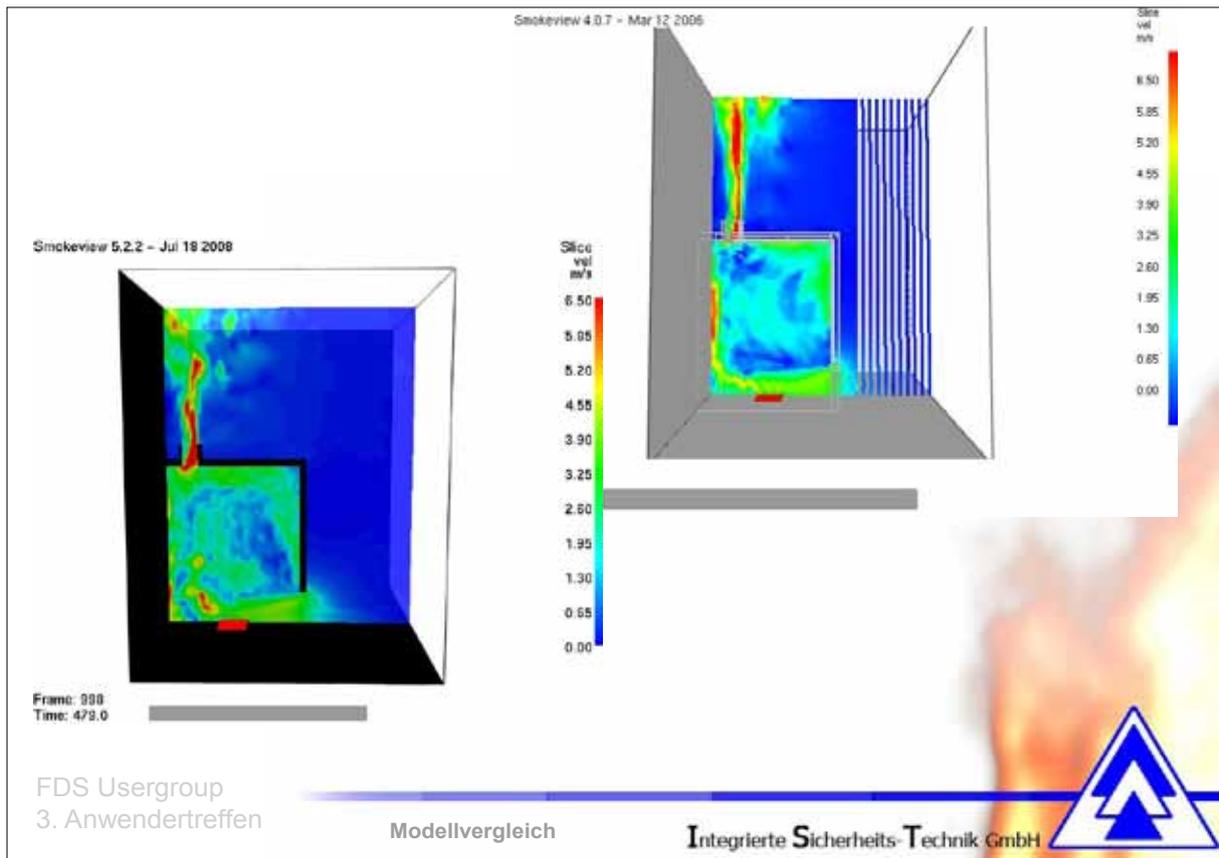


FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

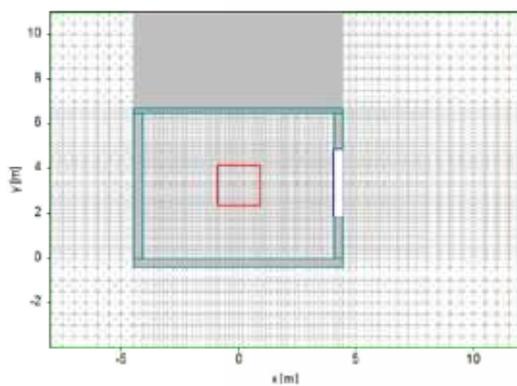


FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

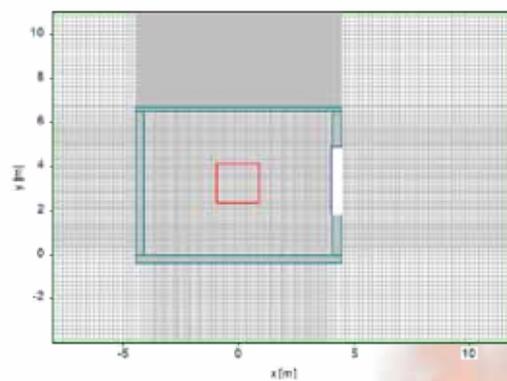




Brandversuch "Atrium" (Gitterstruktur)



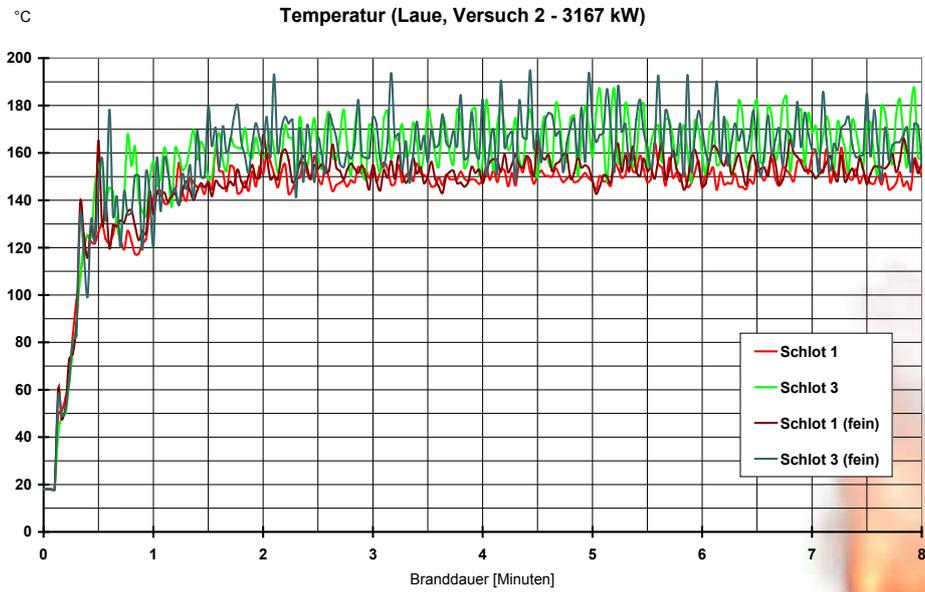
270.000 Zellen



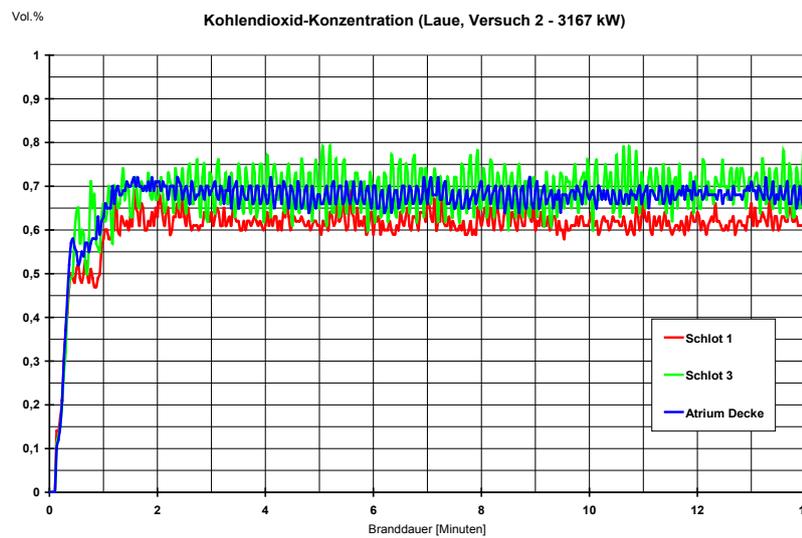
2.000.000 Zellen



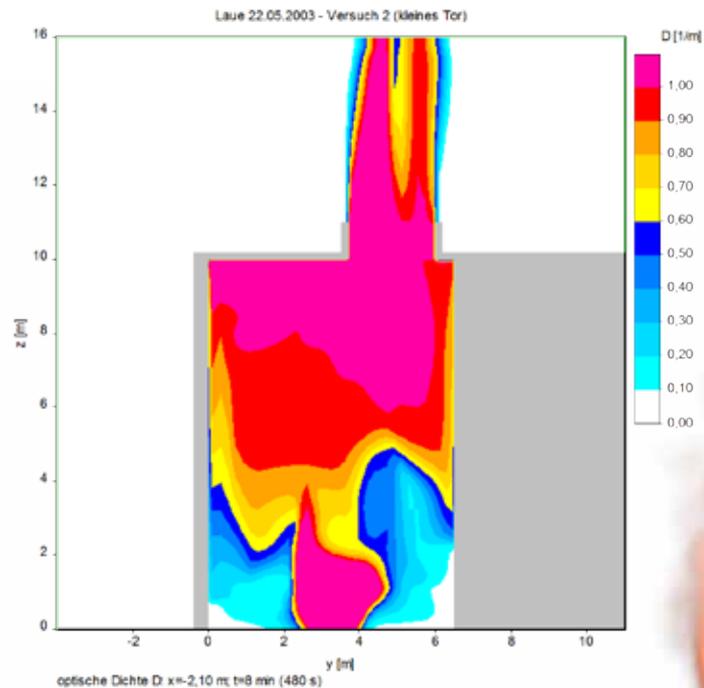
Brandversuch "Atrium" (Gitterkonvergenz)



Brandversuch "Atrium" (CO₂)



Brandversuch "Atrium" (optische Rauchdichte pro Weglänge)



FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

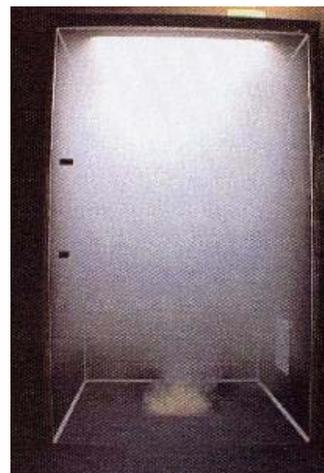
Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH



Physikalische Modelle (1)

- Imtech - 1:4 Maßstab (Heißluft-Freistrahler)
- gleiche Archimedes-Zahl Ar



FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

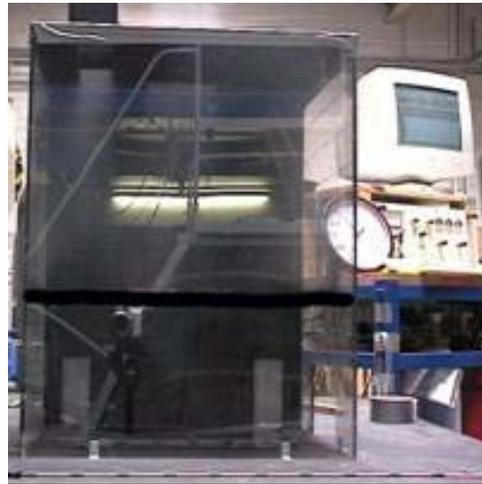
Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH



Physikalische Modelle (2)

- I.F.I. - 1:20 Maßstab
(Helium/Luft
Gemisch)
- gleiche Archimedes-
Zahl Ar



FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH



Physikalische Modelle (3)

- BCL - 1:5 Maßstab
(offene Flamme)
- gleiche Temperatur

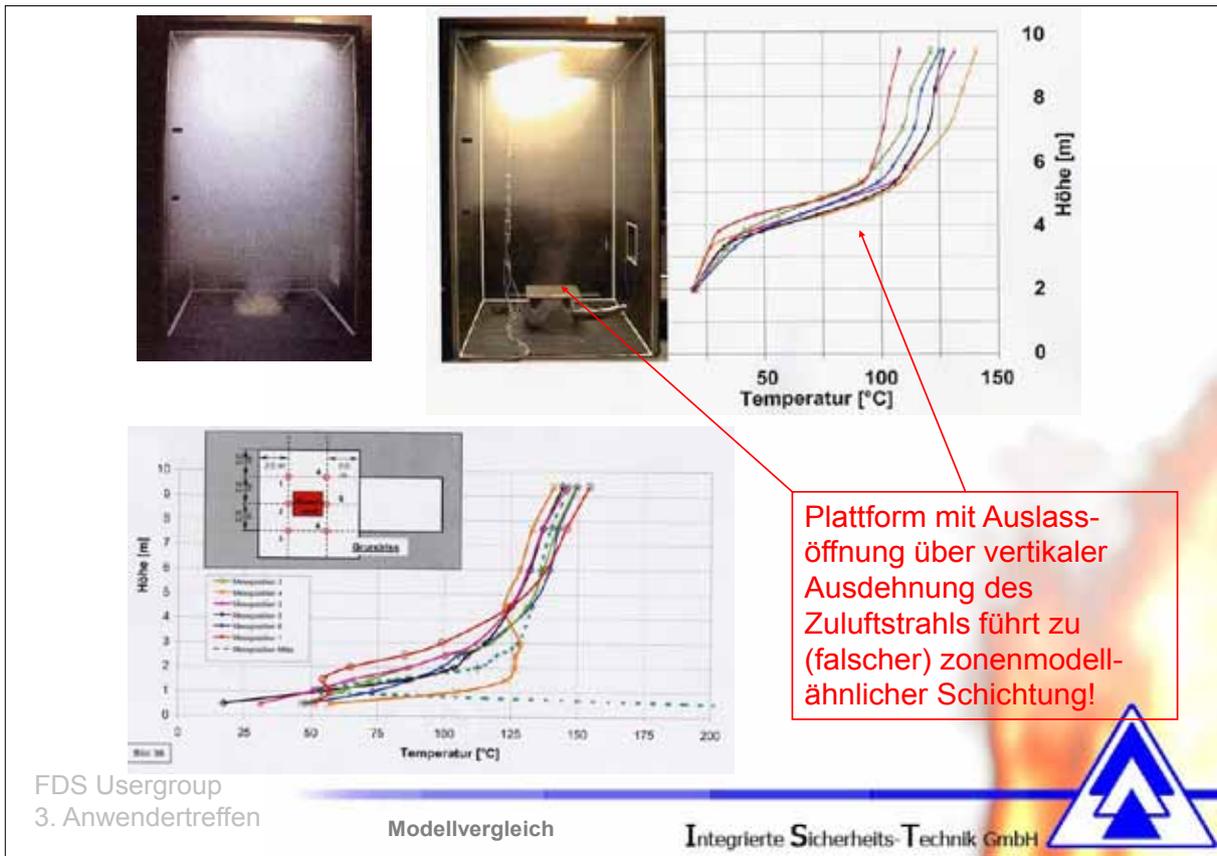


FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH





Mathematische Modelle - Experiment (vfdb Leitfaden)

	KOBRA-3D	CFX	FLUENT	FDS	MRFC	Experiment
Brandleistung [kW]	3590	3590	3240	4500	3590	3167
Temperatur Schlot 1 [°C]	160	140	139	180	-	140
Temperatur Schlot 3 [°C]	170	133	140	180	-	160
Geschwindigkeit Schlot 1 [m/s]	4 - 7	4.7	5.3	5.9	6.0	5.5
Geschwindigkeit Schlot 3 [m/s]	4 - 7	4.2	5.6	6.2	6.0	5.5
Rauchgastemperatur [°C]	185	140	130	180	220	180
Dicke raucharme Schicht [m]	0 - 2	1.5 - 2	0 - 2	0 - 4	5	0 - 2
Zuluftgeschwindigkeit [m/s]		3.1	2.9	3.5		3.5
CO ₂ -Konzentration [Vol.-%]	0.8		3.2	0.9	1.0	1

Physikalische Modelle - Experiment (vfdb Leitfaden)

		phys. Mod. Imtech	phys. Mod. I.F.I.	phys. Mod. BCL	Experiment
Brandleistung	[kW]	3590	3170	3590	3167
Temperatur Schlot 1	[°C]	159	125	155	140
Temperatur Schlot 3	[°C]	158	125	165	160
Geschwindigkeit Schlot 1	[m/s]	5.2	4.2	5 - 6	5.5
Geschwindigkeit Schlot 3	[m/s]	3.8	4.2	5 - 6	5.5
Rauchgastemperatur	[°C]	140	120		180
Zuluftgeschwindigkeit	[m/s]	3.1		3.4	3.0
CO ₂ -Konzentration	[Vol.-%]				1
Modellmaßstab		1:4	1:20	1:5	1:1



Nachrechnung des Experiments mittels CFD

	KOBRA-3D (Version 5)	KOBRA-3D (feines Gitter)	KOBRA-3D (Version 6)	FDS (Version 4)	FDS (Version 5)	Experiment
Brandleistung	3167 kW	3167 kW	3167 kW	3167 kW	3167 kW	3167 kW
Temperatur Schlot 1	150 °C	155 °C	135 °C	120 °C	120 °C	140 °C
Temperatur Schlot 3	165 °C	165 °C	145 °C	140 °C	130 °C	160 °C
Geschwindigkeit Schlot 1	4 - 7 m/s	4.0 - 7.0 m/s	4.0 - 6.5 m/s	4.5 - 6.5 m/s	5.0 - 7.0 m/s	5.5 m/s
Geschwindigkeit Schlot 3	4 - 7 m/s	4.0 - 7.0 m/s	4.0 - 6.0 m/s	4.5 - 6.5 m/s	4.5 - 6.5 m/s	5.5 m/s
Temperatur unter Decke	130-145 °C	130-145 °C	130-140 °C	120-140 °C	120-130 °C	130-140 °C
Zuluftgeschwindigkeit	3 m/s	3 m/s	3 m/s	3 - 3.5 m/s	3 - 3.5 m/s	3 m/s
CO ₂ -Konzentration	0.7 Vol.-%	0.7 Vol.-%	0.8 Vol.-%	0.7 Vol.-%	0.7 Vol.-%	1 Vol.-%



Brandquelle im Nebenraum



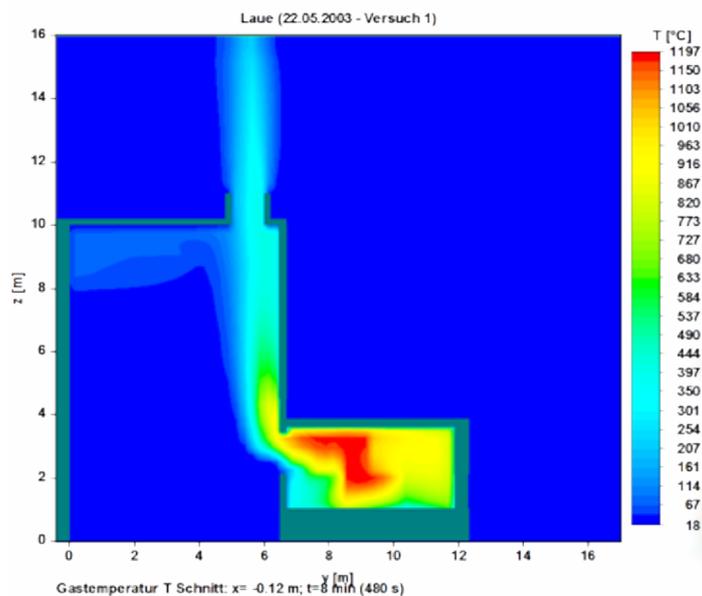
FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH



Brandquelle im Nebenraum KOBRA-3D (V.6.0c)



FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

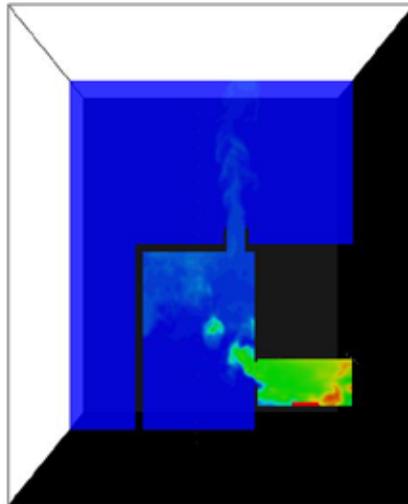
Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH



Brandquelle im Nebenraum FDS (V.5.4.1)

Smokeyview 5.2.2 - Jul 18 2008



Slice temp C



Frame: 1000
Time: 480.0

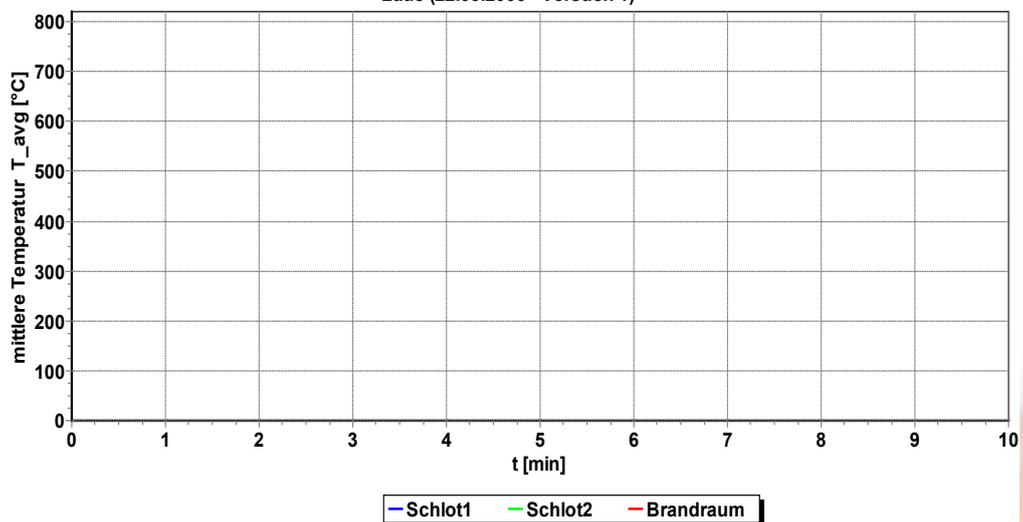
FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH



Laue (22.05.2003 - Versuch 1)



Kobra-3D CFD-Simulation

FDS Usergroup
3. Anwendertreffen

Modellvergleich

Integrierte Sicherheits-Technik GmbH



Verbrennung nur innerhalb Brandraum → zu hohe Temperaturen



	MRFC (...)	CFX (...)	FDS (Version 3)	FDS (Version 5)	KOBRA-3D (Version 6)	Experiment
Brandleistung	3590 kW	3590 kW	4500 kW	4450 kW	4450 kW	4450 kW
Temperatur Schlot 1		176 °C	130 °C	120 °C	200 °C	200 °C
Temperatur Schlot 3		122 °C	110 °C	110 °C	100 °C	150 °C
Geschwindigkeit Schlot 1	6.0 m/s	4.4 m/s	4.5 m/s	4 - 6 m/s	3 - 7 m/s	5.5 m/s
Geschwindigkeit Schlot 3	6.0 m/s	2.6 m/s	3.5 m/s	3 - 4 m/s	2 - 3 m/s	5.5 m/s
Dicke raucharme Schicht	5.8 m	6.8 m	6.0 m	5.0 m	7.0 m	6.0 m
Temperatur Brandraum	800 °C		800 °C	800 °C	800 °C	800 °C
Zuluftgeschwindigkeit		2.2 m/s	2.3 m/s	2.5 m/s	2.0 - 2.4 m/s	2.6 m/s



Zusammenfassung (1)

- Alle CFD-Modelle im Ringversuch zeigen im wesentlichen gute Übereinstimmungen mit den experimentellen Daten und liefern (bei vergleichbaren Anfangs- und Randbedingungen) ähnliche Resultate.



Zusammenfassung (2)

- Ringvergleiche (mit Blindsimulationen) sind eine hilfreiche Bewertungsmethode
 - für die Anwendung („User“)
 - für Behörden
 - mit Einschränkungen für den Entwickler



Xavier Deckers:

Comparison between CFD-simulations and large scale experiments

Abstract:

This article focuses on the use of different physical submodels, as used by fire safety engineers, and their impact on the accuracy of numerical simulations. Several CFD-packages (FDS 5, SMARTFIRE and FLUENT) are used to study the smoke spread and gas temperature. Blind comparisons are made with results from 3 large scale experiments (an atrium, different rooms with a corridor, and a large tunnel). In the scenarios of both the atrium and the corridor, a good correlation is found between the CFD-model and the experimental results. The importance of the assumptions for boundary conditions (walls) and material properties (specific heat) is clearly shown. The tunnel-scenario (naturally ventilated 20 MW fire with an inclination of 3.2 % over 853 m) showed the importance of checking that parallel calculations give the same results as serial calculations. Only then a grid refinement analysis can be performed. In the model with a volumetric heat source, the choice of appropriate boundary conditions is clearly shown. As a main conclusion we mention the importance of a systematic grid sensitivity study to be able to compare the submodels on a more quantitative basis.



COMPARISON BETWEEN CFD-SIMULATIONS AND LARGE-SCALE EXPERIMENTS

ir. Xavier Deckers

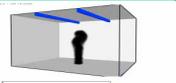
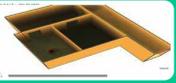
Anwender-Treffen der FDS Usergroup
Berlin 2009

Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009

Xavier Deckers
IFSET n.v.

Setting

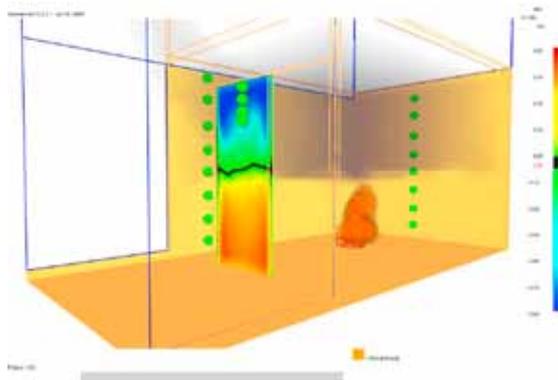
- Reliability of computer models in « fire safety design »
using CFD (Computational Fluid Dynamics)
- Use of CFD-software:
 - Forensic investigation: reconstruction scenario
 - Design SHC-system: fixed scenario
- Validation of model = comparison with experiments
 - 'a priori'
 - 'blind simulation' →
 - 'a posteriori'
- Engineering approach
 - Local grid refinement (CPU-time)
 - Simple sub models (where possible)

ISO 9705 (1/3)	ATRIUM	ROOMS/CORRIDOR	TUNNEL
<h2>Approach</h2>			
<ul style="list-style-type: none"> • Small experiment: 'ad hoc' test 			
			
<ul style="list-style-type: none"> • Blind simulations of previously performed experiments 			
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div> <p>Atrium (24 m x 30 m x 26.3 m)</p> <ul style="list-style-type: none"> Ct HRR 1300 kW No ventilation </div> </div>			
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div> <p>Multiple rooms with a corridor</p> <ul style="list-style-type: none"> Ct HRR: 300 kW Ventilation through door </div> </div>			
<div style="display: flex; align-items: center;">  <div> <p>Tunnel (853 m x 7.8 m x 9 m)</p> <ul style="list-style-type: none"> HRR: 20MW Natural longitudinal ventilated </div> </div>			
		Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009	
		Xavier Deckers IFSET n.v.	
			3

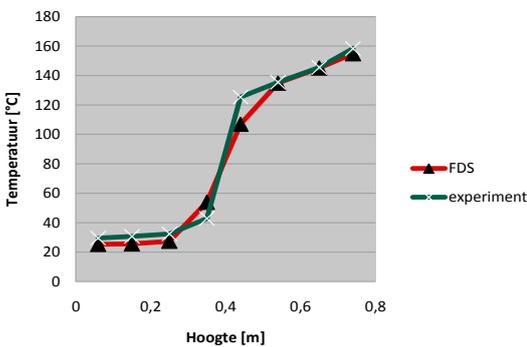
ISO 9705 (1/3)	ATRIUM	ROOMS/CORRIDOR	TUNNEL
<h2>'Ad hoc' experiment</h2>			
Parameters:			
<ul style="list-style-type: none"> • Postiton burner • HRR: 11 kW – 19 kW • Burner surface • Dooropening 			
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>0.8 m</p> <p>1.2 m</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>			
		Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009	
		Xavier Deckers IFSET n.v.	
			4

ISO 9705 (1/3)	ATRIUM	ROOMS/CORRIDOR
----------------	--------	----------------

'Ad hoc' experiment



- Influence ventilation
- Neutral plane: 0.35 m
- Temp / height

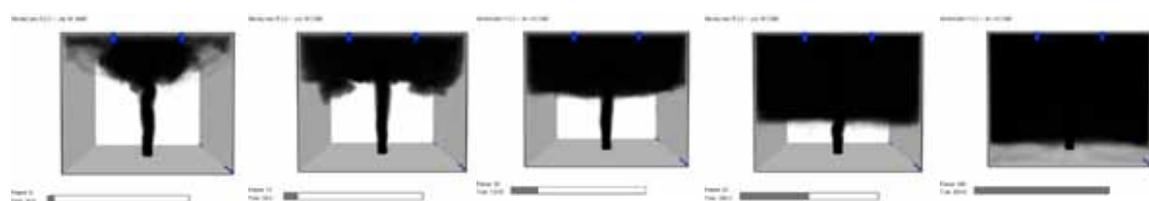



	Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009	Xavier Deckers IFSET n.v.
		5

ISO 9705 (1/3)	ATRIUM	ROOMS/CORRIDOR	TUNNEL
----------------	--------	----------------	--------

Atrium

Time= 0,5-1-2-5-10 min



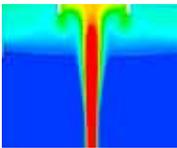
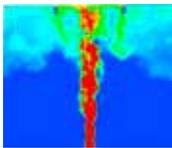
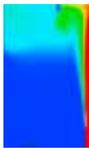
FDS: effect radiation model
 SMARTFIRE: effect VHS + symmetry planes
 FLUENT: conv HRR – adiabatic
 Ozone: small rooms

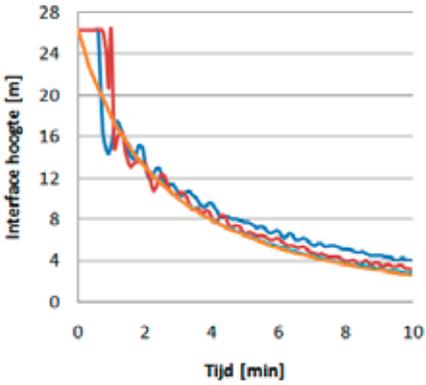
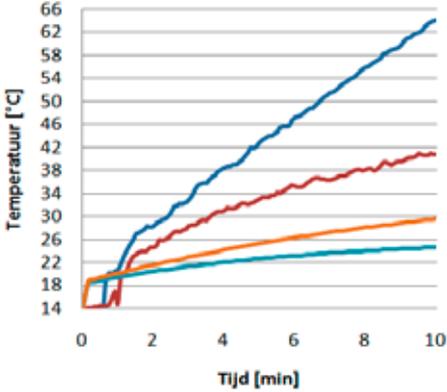
- 24 m x 30 m x 26.3 m
- HRR=1300 kW
- No SHC

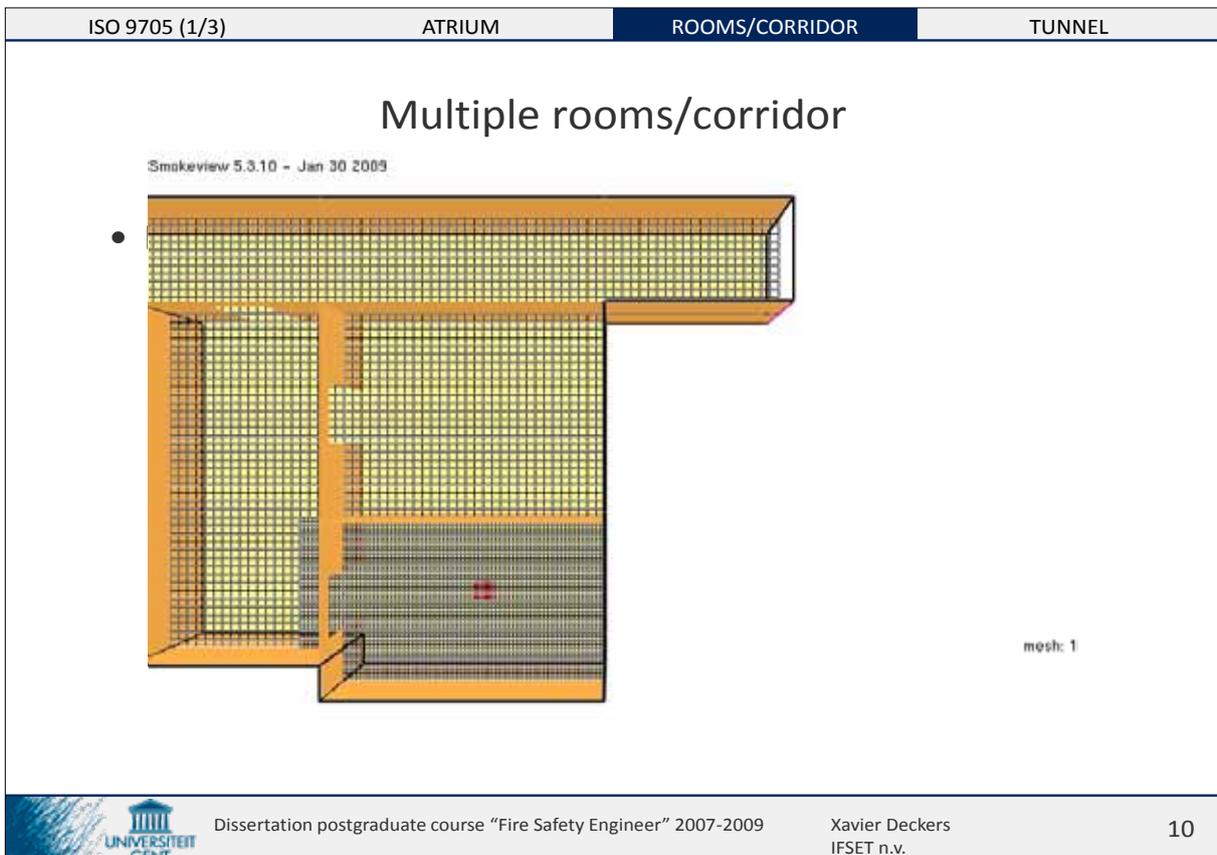
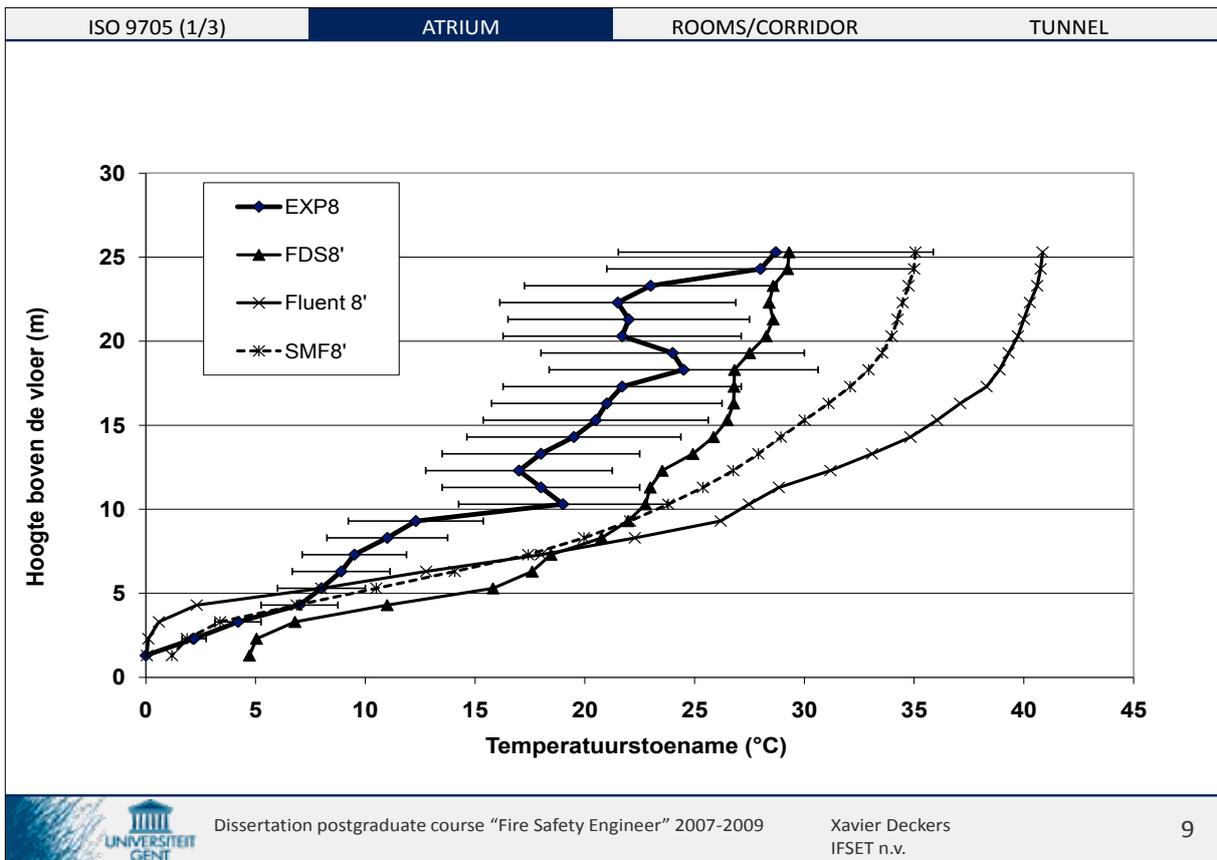


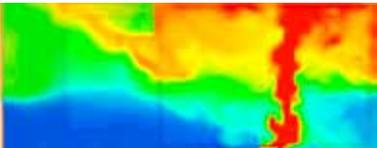
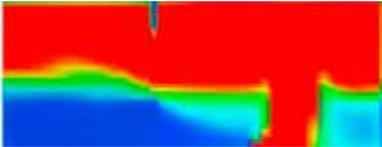
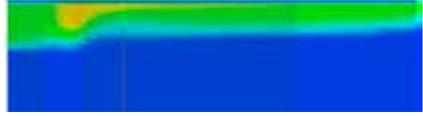
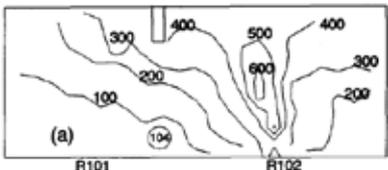
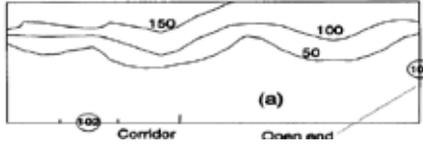
Analysis Name:

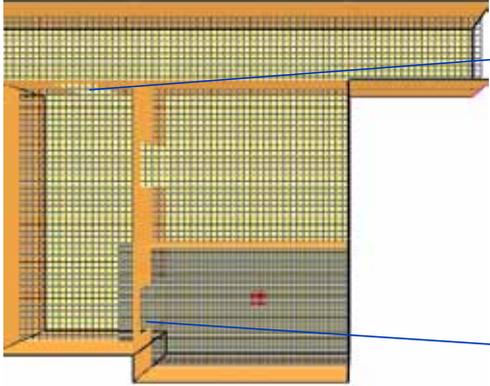
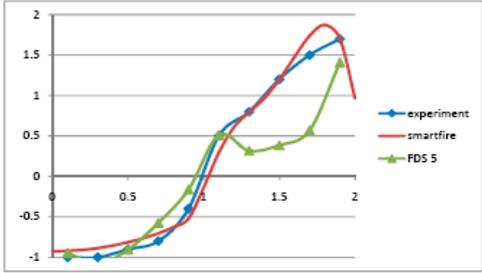
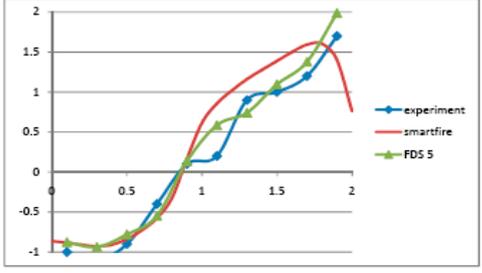
	Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009	Xavier Deckers IFSET n.v.
		6

	ISO 9705 (1/3)	ATRIUM	ROOMS/CORRIDOR	TUNNEL	
		FLUENT	FDS 5	SMARTFIRE	
•1 min					
•2 min		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: #008000; color: white; padding: 10px; border-radius: 10px; width: 30%;"> <h3 style="text-align: center;">Fluent</h3> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">RANS</div> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Eddy-dissipation model</div> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">no</div> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Wall functions</div> </div> <div style="background-color: #008000; color: white; padding: 10px; border-radius: 10px; width: 30%;"> <h3 style="text-align: center;">FDS 5</h3> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">LES</div> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Mixture fraction + flame sheet</div> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">% HRR</div> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Artificial wall roughness</div> </div> <div style="background-color: #008000; color: white; padding: 10px; border-radius: 10px; width: 30%;"> <h3 style="text-align: center;">Smartfire</h3> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">RANS</div> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Volumetric heat source</div> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">6-flux model</div> <div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Wall functions/ symm plane</div> </div> </div>			
•4 min				<div style="background-color: #cccccc; padding: 10px; border-radius: 10px;"> <div style="background-color: #000000; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Turbulence</div> <div style="background-color: #000000; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Combustion</div> <div style="background-color: #000000; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Radiation</div> <div style="background-color: #000000; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Boundary conditions</div> </div>	
•8 min					
		Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009	Xavier Deckers IFSET n.v.	7	

	ISO 9705 (1/3)	ATRIUM	ROOMS/CORRIDOR	TUNNEL
	 <p>Interface hoogte [m]</p> <p>Tijd [min]</p> <ul style="list-style-type: none"> 85%conv - adiab straling (15%) Heskestad Heskestad h=9 W/m²K 			
			 <p>Temperatuur [°C]</p> <p>Tijd [min]</p> <ul style="list-style-type: none"> 85%conv - adiab straling (15%) Heskestad Heskestad h=9W/m²K 	
		Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009	Xavier Deckers IFSET n.v.	8



ISO 9705 (1/3)	ATRIUM	ROOMS/CORRIDOR	TUNNEL
	<p>•Temperature cross section fire room</p>	<p>•Temperature longitudinal section corridor</p>	
•FDS 5			
•SMARTFIRE			
•experiment			
		Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009	Xavier Deckers IFSET n.v.
			11

ISO 9705 (1/3)	ATRIUM	ROOMS/CORRIDOR	TUNNEL
		<p>•Longitudinal velocity in door opening (as a function of height)</p>	
			
			
		Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009	Xavier Deckers IFSET n.v.
			12

ISO 9705 (1/3)	ATRIUM	ROOMS/CORRIDOR	TUNNEL
----------------	--------	----------------	--------

Tunnel

20 MW
From South portal:
853 m to North portal
238 m to the fire

26 m
Fan room
7.9 m
4.33 m
South portal

3.2 % slope

Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009

Xavier Deckers
IFSET n.v.

13

ISO 9705 (1/3)	ATRIUM	ROOMS/CORRIDOR	TUNNEL
----------------	--------	----------------	--------

Important parameters in model

- Average cold gas velocity (Handbook of Tunnel fire safety)

$$u = \sqrt{\frac{2g\Delta h(1 - \frac{T_a}{T_g})}{\frac{T}{T_a} + K_1 + \frac{f_D}{D_h} [L + L_T (\frac{T}{T_a} - 1)]}}$$

$$\bar{T} = T_0 + \frac{2}{3} \frac{Q}{PhL_S}$$
- Physical parameters:
 - geometry
 - wall roughness: no fire (warm air + coarse grid)
 - convective losses
 - inclination
 - baroclinic generation of vorticity
 - boundary conditions
 - initial conditions
- Numerical parameters:
 - grid
 - fictive wall roughness =f(grid)
 - multiple mesh: synchronise (same time step per mesh)
 - result multiple CPU = result single CPU

Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009

Xavier Deckers
IFSET n.v.

14

ISO 9705 (1/3)	ATRIUM	ROOMS/CORRIDOR	TUNNEL
<p>- Temperature longitudinal section @ 1, 2, 4, 12 and 18 min (serial calculation) contour = 37°C (100F)</p>			
		Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009	Xavier Deckers IFSET n.v.
			15

ISO 9705 (1/3)	ATRIUM	ROOMS/CORRIDOR	TUNNEL
<p>- Temperatur longitudinal section @ 4 and 18 min (serial calculation) contour = 37°C (100F)</p>			
<ul style="list-style-type: none"> - Too coarse grid far away from fire + influence wall roughness - Parallel calculation with finer mesh -> problem 			
		Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009	Xavier Deckers IFSET n.v.
			16

ISO 9705 (1/3)	ATRIUM	ROOMS/CORRIDOR	TUNNEL
----------------	--------	----------------	--------

- Without combustion model (FLUENT):

- Source term mass equation
- Source term energy equation

Stratification downstream:
lower h_{conv}

-> choice of boundary conditions!

Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009

Xavier Deckers
IFSET n.v.

17

Conclusion (1/2)

- Correlation numerical simulation and own experiment: GOOD.
- Correlation blind simulations and results earlier performed experiments:

	BAD	INTERMEDIATE	GOOD
ATRIUM	•conv-adiab*	•zone-model** • $c^{te} c_p$	•Comb+radiation (local refinement)
ROOMS		• $c^{te} c_p$	•Comb+radiation (local refinement)
TUNNEL	•parallel***	•serial**** •without comb*****	

* Most important (only) loss term

** when adapting boundary conditions

*** with chosen combinations of physical submodels

**** due to too coarse grid

***** bad choice boundary conditions

- Tunnel:
 - check parallel-serial calc + sensitivity analysis grid ($D^* \leq 10 \Delta$)
 - importance radiation model (backlayering)
 - importance choice boundary cond (wall roughness + conv heat coeff)

Dissertation postgraduate course "Fire Safety Engineer" 2007-2009

Xavier Deckers
IFSET n.v.

18

Conclusion (2/2)

- Importance of blind simulations:
 - representative for design-situations
 - “good model”= desired accuracy/ acceptable time
 - need for well documented large scale experiments
 - accuracy of measured parameters
 - Clear description of boundary conditions
- Importance of assumptions more important with simple submodels.
- Comparison of physical submodels:
 - “grid independent” solution
 - **Importance sensitivity analysis grid (LES: good starting point $D^*=10 \Delta$)**

QUESTIONS?



Boris Stock, Karl Wallasch:

Qualitätssichernde Kriterien bei der Anwendung von FDS: Untersuchungen zum Einfluss der Modellierung und Diskretisierung von natürlichen Rauchabzugsanlagen

Abstract:

Einer der in der Praxis regelmäßig auftretenden Anwendungsfälle des numerischen Simulationsprogrammes Fire Dynamics Simulator (FDS) ist der Nachweis einer effektiven natürlichen Entrauchung. Aufgrund der vielfältigen, die Strömung beeinflussenden Parameter bei der Modellierung und Diskretisierung der natürlichen Rauchabzugsanlagen (NRA) können sich jedoch hinsichtlich der Simulationsergebnisse signifikante Varianzen ergeben.

Im Rahmen einer Reihe von Untersuchungen zur Qualitätssicherung bei der Verwendung von Fire Dynamics Simulator im Zuge von brandschutztechnischen Nachweisen, soll der Einfluss verschiedener Modellierungsvarianten untersucht und in Simulationsreihen unterschiedlicher Diskretisierung quantifiziert werden.

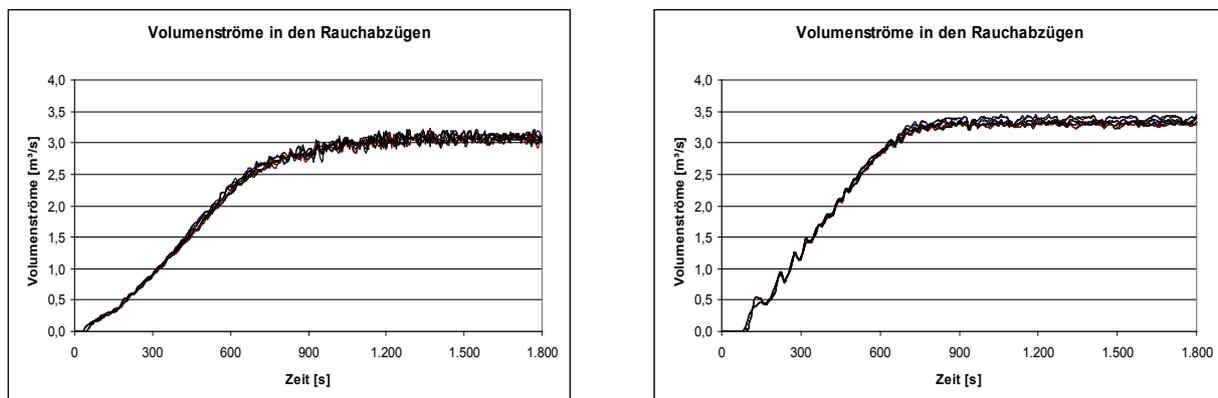


Abbildung 1: Volumenströme in NRA bei unterschiedlicher Diskretisierung (niedrige Auflösung links, hohe Auflösung rechts)

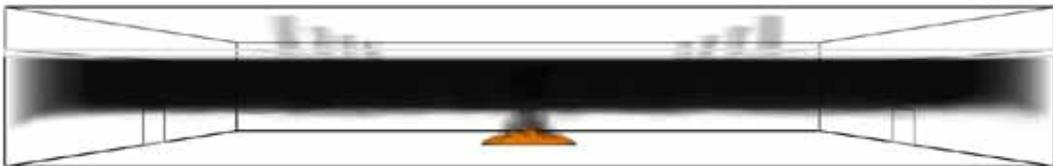
Die Bewertung der Abweichungen erfolgt im Vergleich zu allgemein anerkannten Bemessungsregeln oder empirisch ermittelten Formeln.

Als Ergebnis sollen einfache Vorgaben präsentiert werden, die eine ausreichende Genauigkeit bei der Simulation von natürlichen Rauchabzugsanlagen ermöglichen.

BFT Cognos
Sachverständige
Berater
Gutachter

**HOARE
LEA**

Untersuchungen zur Modellierung von Rauchabzügen in FDS



Boris Stock, BFT Cognos GmbH, Aachen
Karl Wallasch, Hoare Lea Fire Engineering, London

Berlin, 2009

FDS|USERGROUP

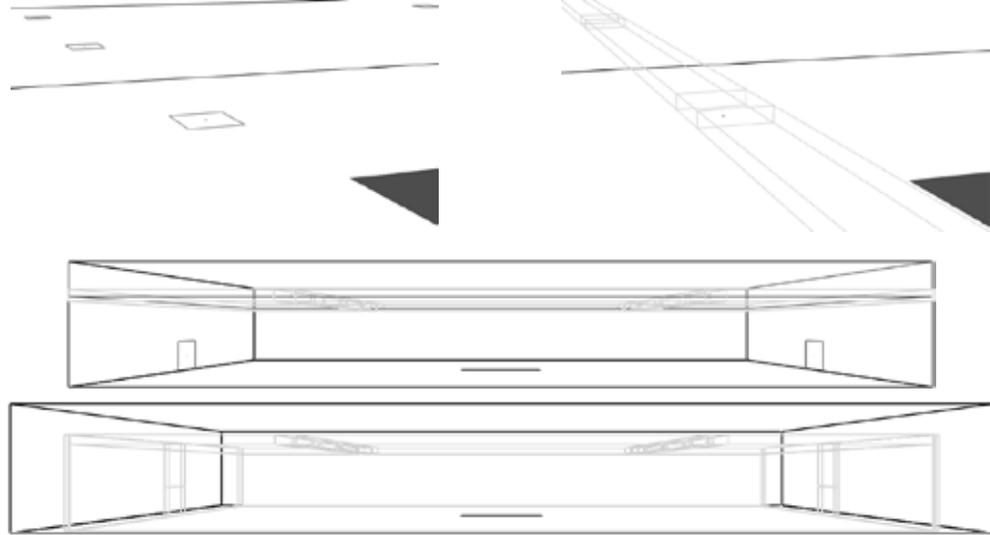
Fragestellung:

- Wie sind natürliche Rauchabzüge zu modellieren, um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erzielen?
- Wie groß sind die potentiellen Abweichungen?
- Darf ich NRWG ohne Umgebung simulieren?

Das Testszenario

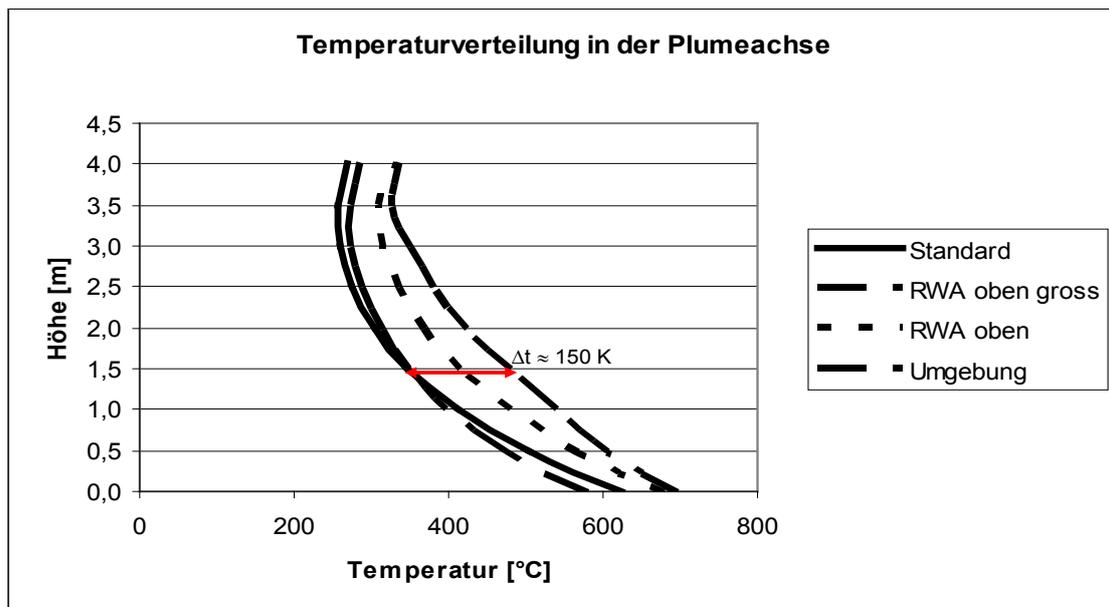
12 Testfälle:

- Auflösung von 12,5 bis 50 cm
- 4 verschiedene Geometrien



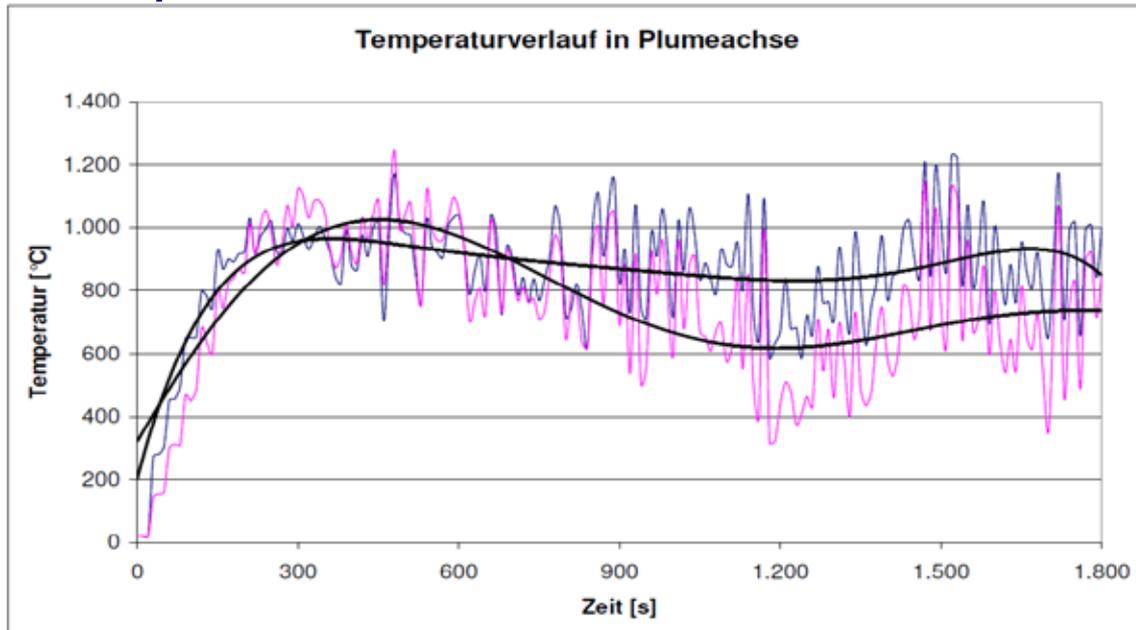
FDS|USERGROUP

Sicherstellung einer Vergleichbarkeit



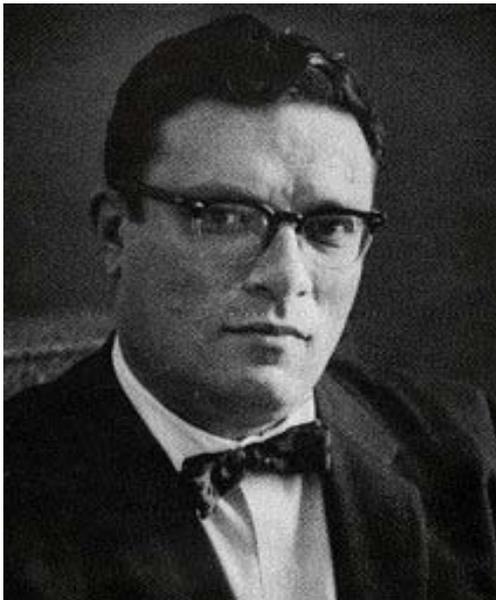
FDS|USERGROUP

Plausibilitätsprüfung: Temperaturen in der Plumeachse



FDS|USERGROUP

Grundgedanke



„Die aufregendste
Äußerung in der
Wissenschaft, der
Ausdruck, der die
meisten wissenschaft-
lichen Entdeckungen
verkündet, ist nicht
"Heureka*", sondern
"Das ist komisch...„

Issac Asimov

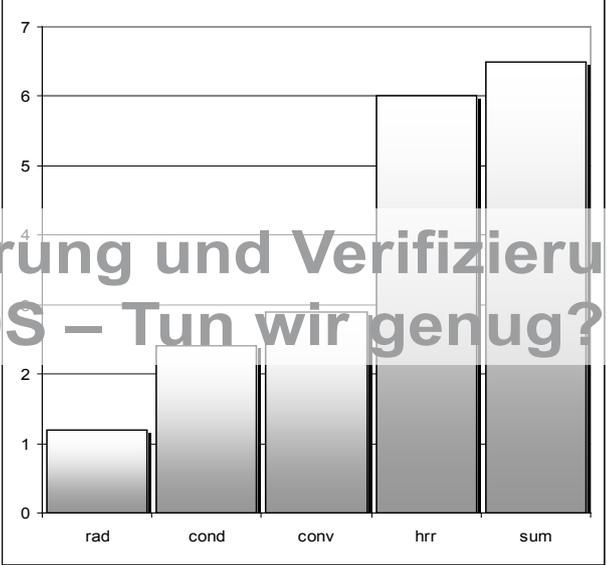
* griech.: Ich hab's (gefunden).

FDS|USERGROUP

BFT Cognos
Sachverständige
Berater
Gutachter







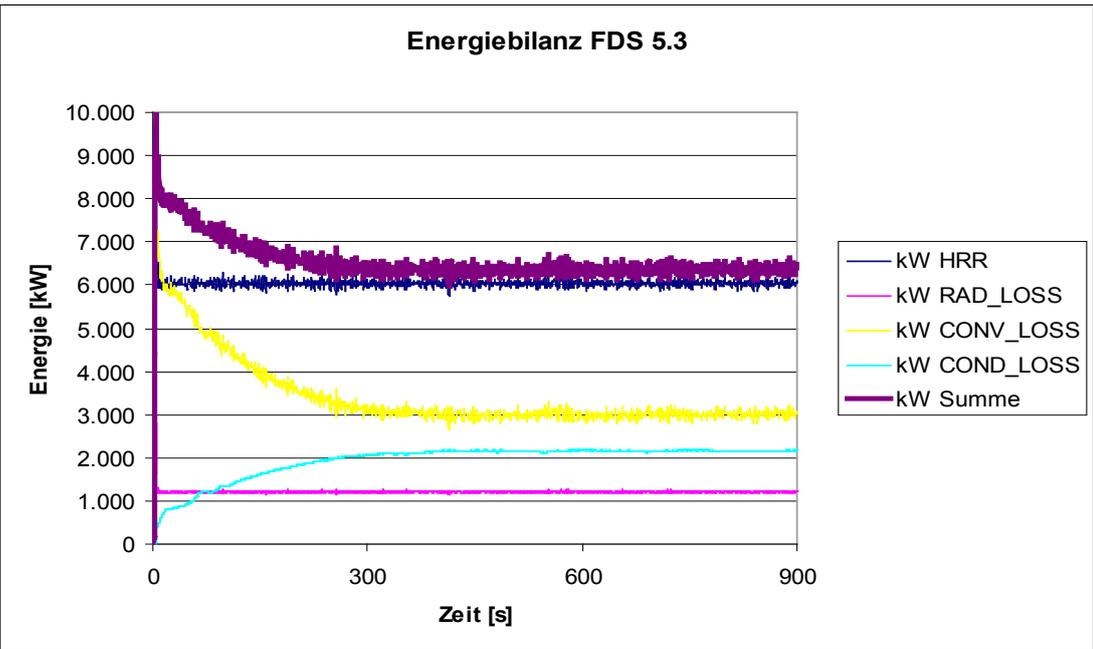
Validierung und Verifizierung von FDS – Tun wir genug???

Boris Stock, BFT Cognos Aachen
Karl Wallasch, Hoare Lea Fire Engineering, London
Gregor Jäger, Ingenieurbüro Huber, Weiler

Berlin, 2009
FDS|USERGROUP

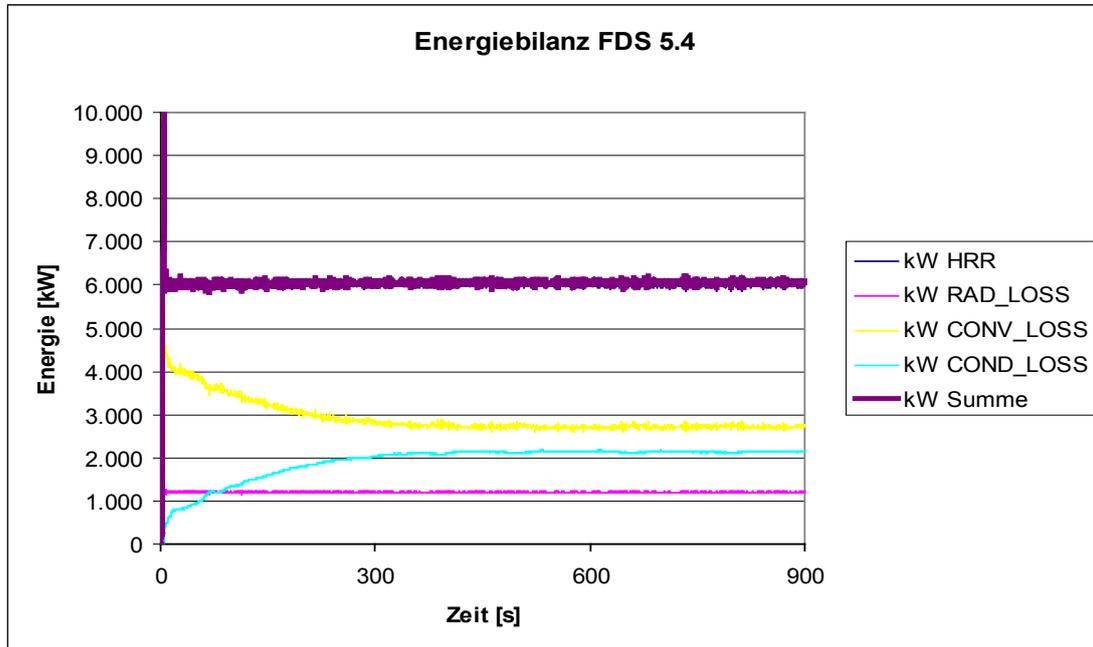
Plausibilitätsprüfung: Energiebilanz

Energiebilanz FDS 5.3

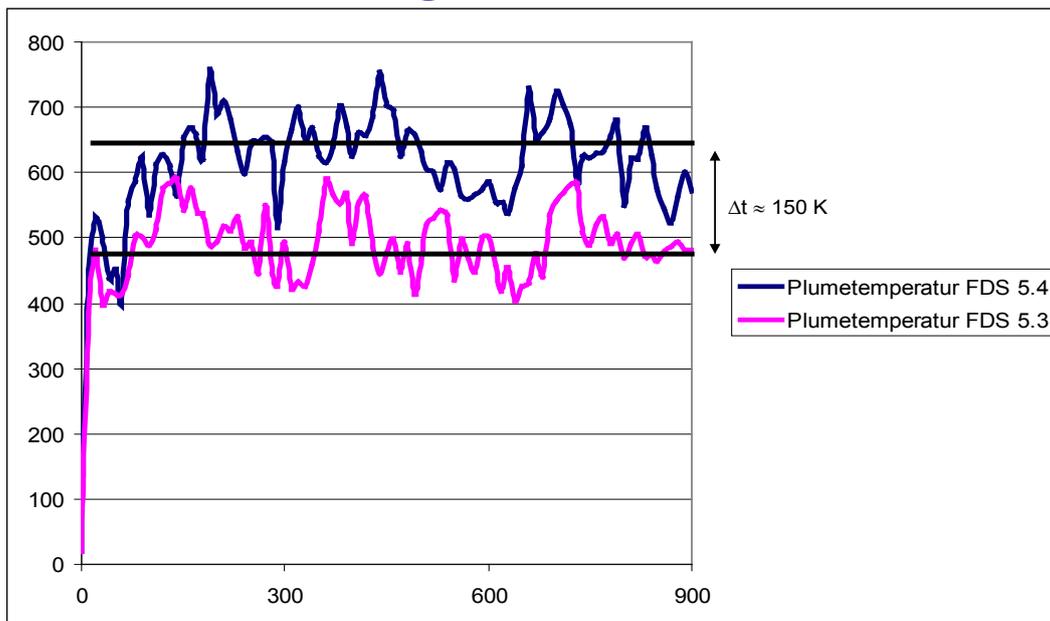


FDS|USERGROUP

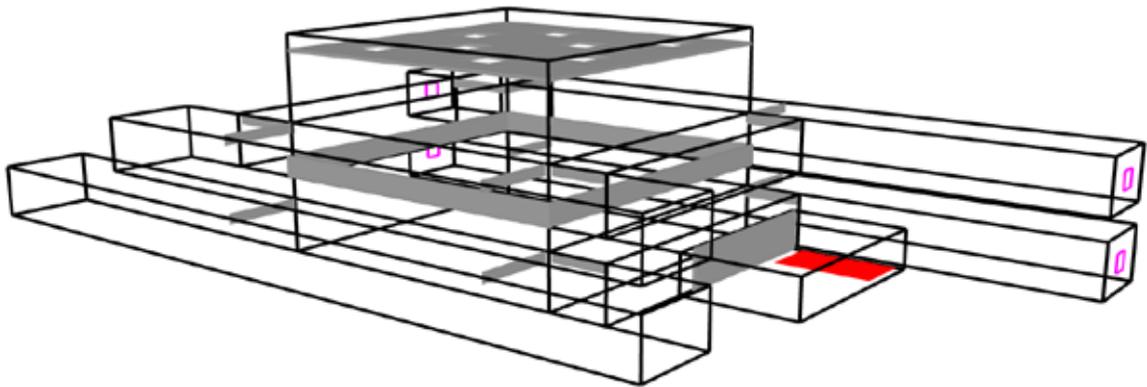
Plausibilitätsprüfung: Energiebilanz



Plausibilitätsprüfung: Temperaturen in Heiß- und Kaltgasschicht

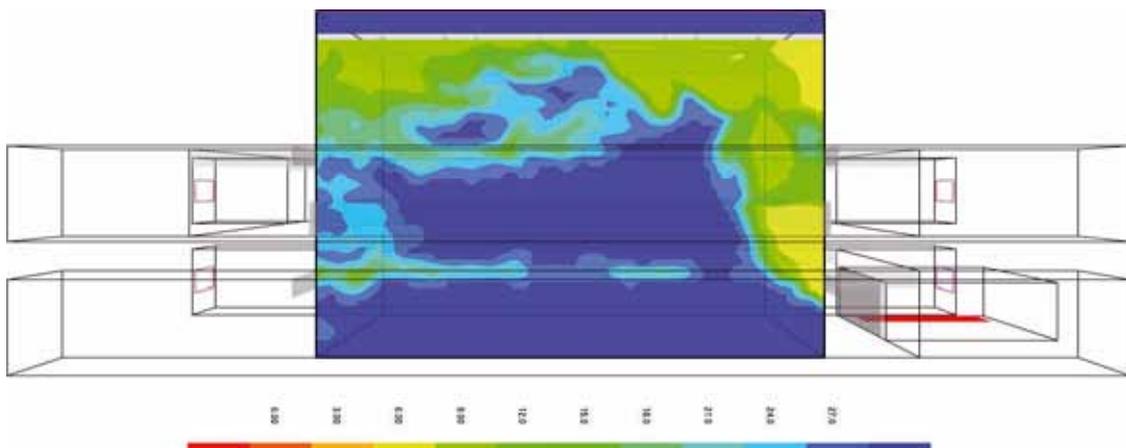


Beispiel 2: Sicherstellung der Rettungswege in einem Atrium



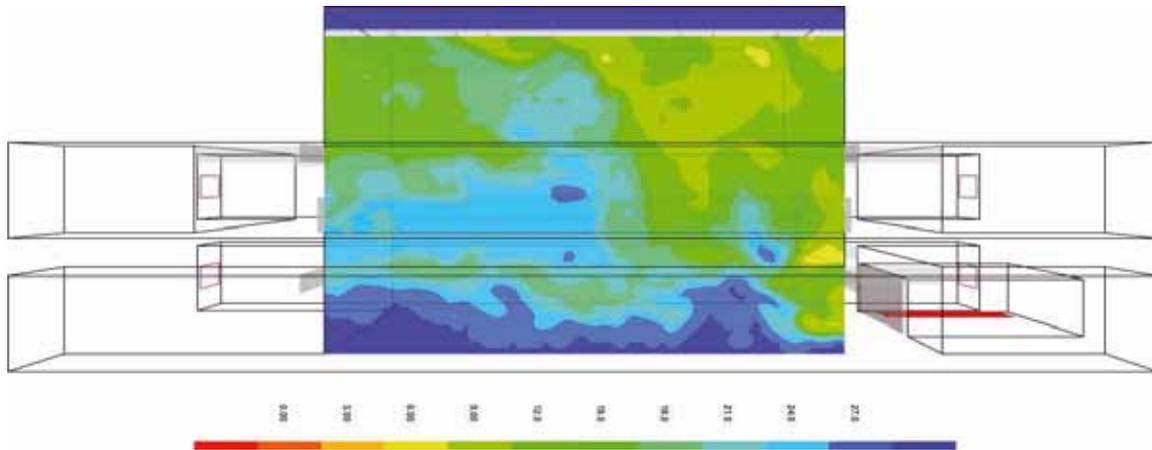
FDS|USERGROUP

Simulation mit FDS 5.2 (und FDS 5.4)

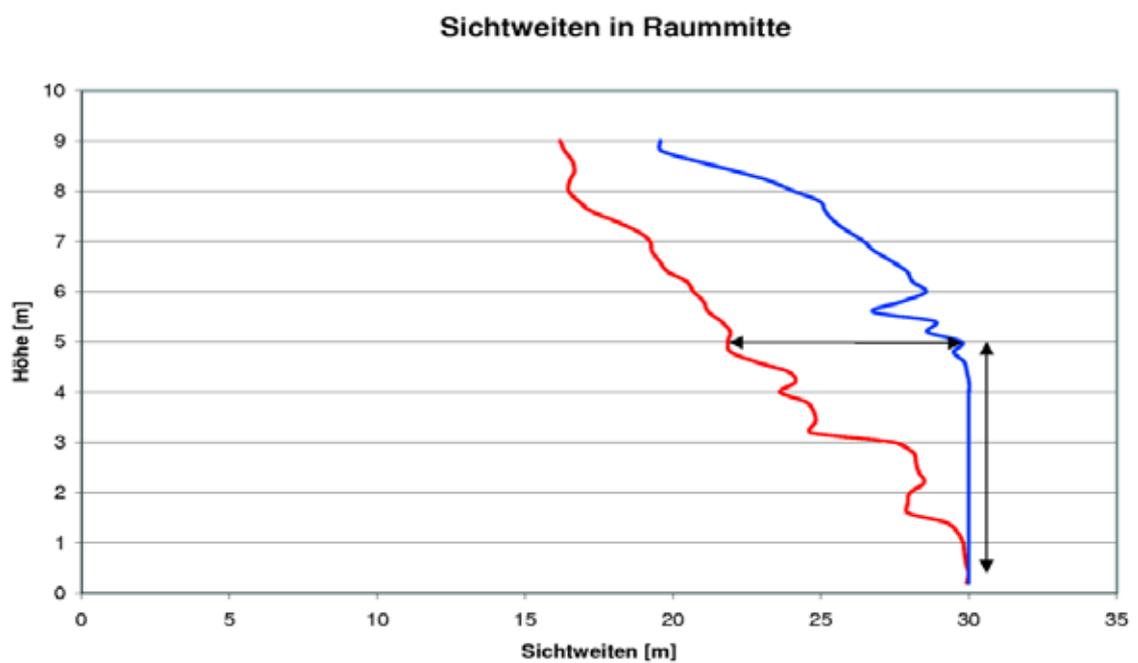


FDS|USERGROUP

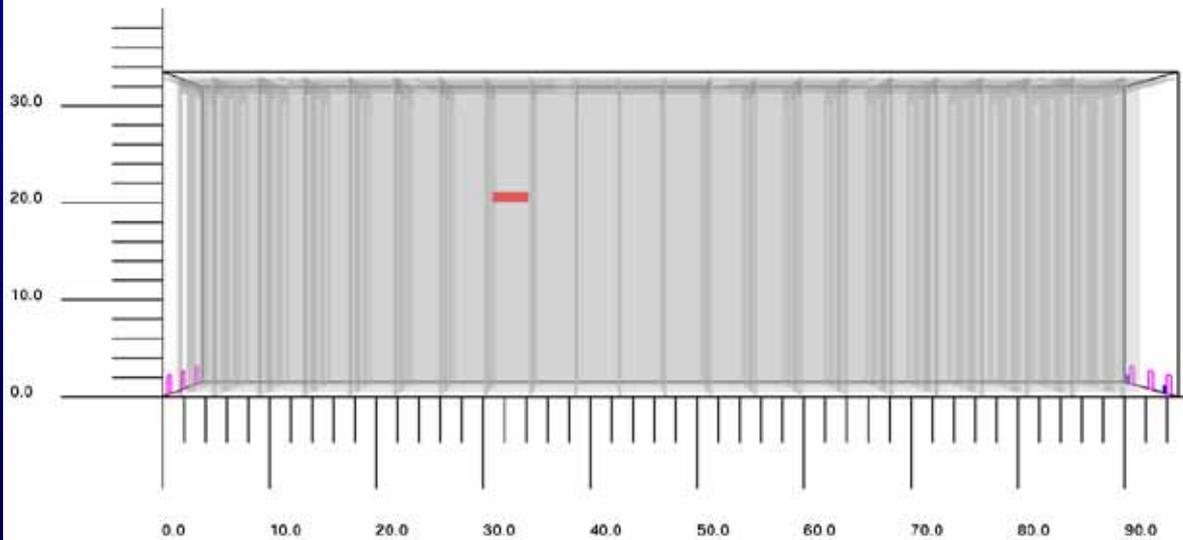
Simulation mit FDS 5.3



FDS 5.2 vs FDS 5.3

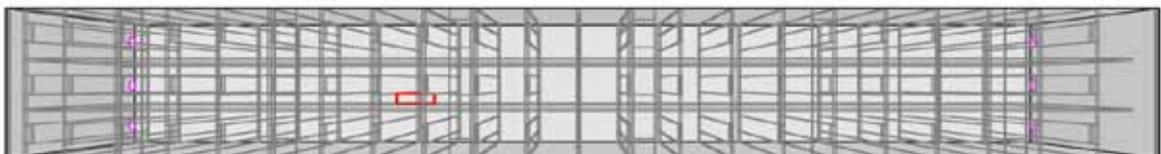


Beispiel 3: Entrauchung eines Hochregallagers



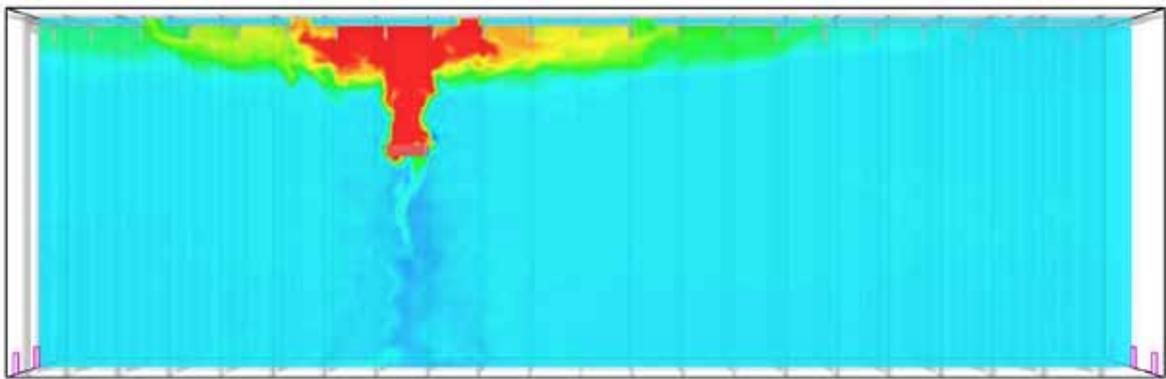
FDS|USERGROUP

Draufsicht



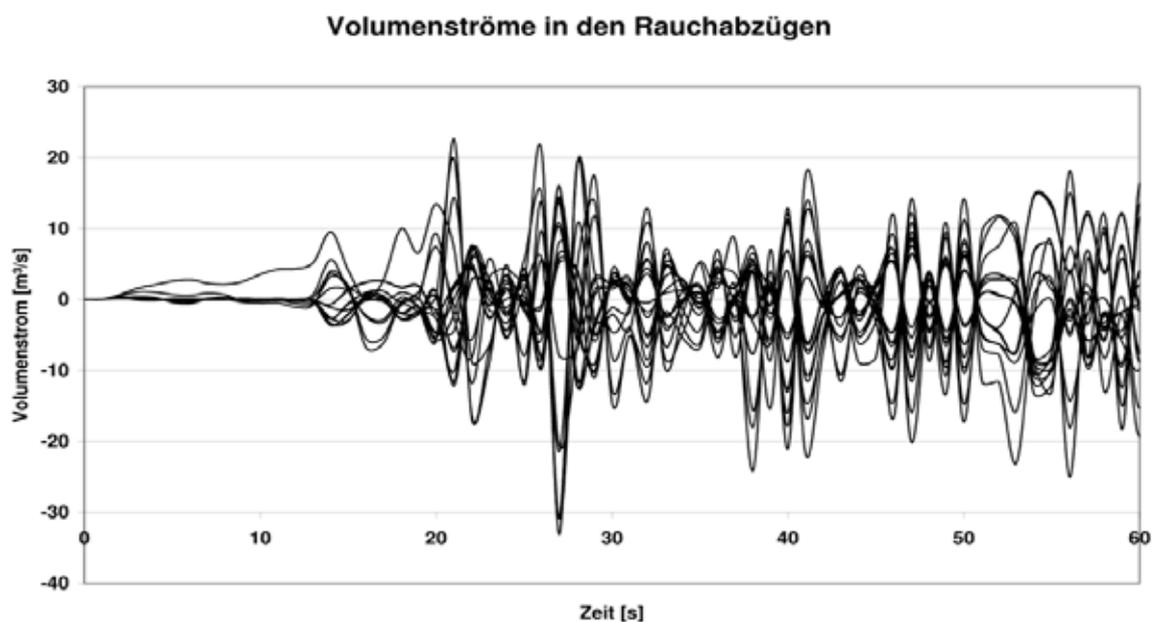
FDS|USERGROUP

Auswertung der Temperaturen in einer Schnittebene



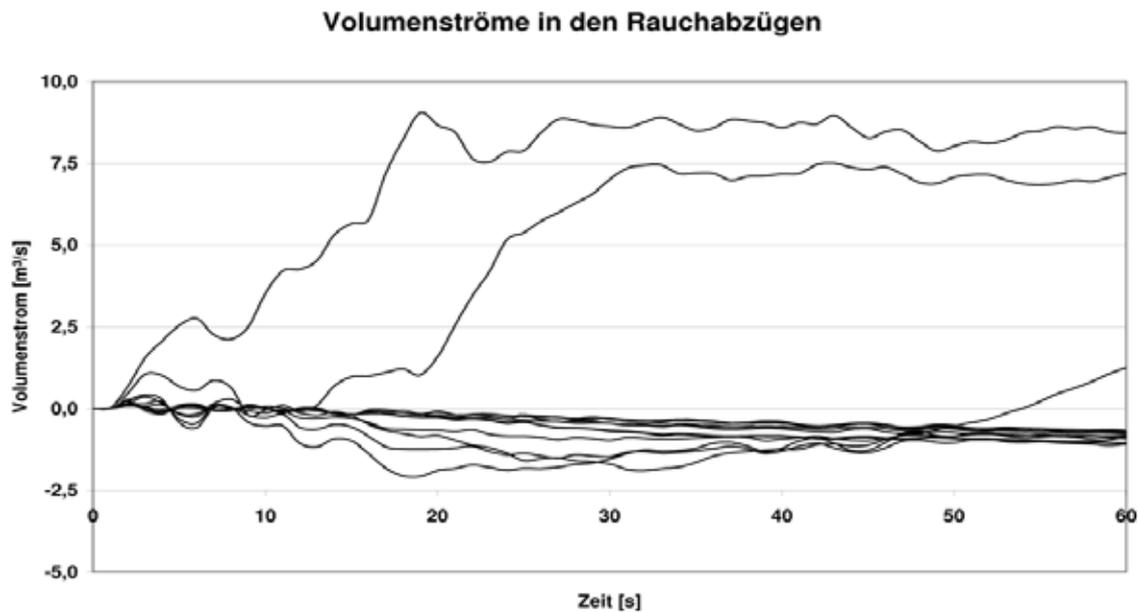
FDS|USERGROUP

Volumenströme mit wenigen Partikeln (100)



FDS|USERGROUP

Volumenströme mit vielen Partikeln (1.000)



FDS|USERGROUP

Fazit

- 3 exemplarische Beispiele von **vielen möglichen...**
- FDS 5.3 liefert Ergebnisse, die deutlich von FDS 5.2 und 5.4 **abweichen**
- Die Probleme sind **struktureller Natur**, nicht FDS immanent.
- Eine **kritische Prüfung** der Ergebnisse ist wesentliche Voraussetzung zur **Sicherstellung von Qualität**.
- FDS kann **sehr gute oder grob falsche** Ergebnisse liefern.
- Kann eine ausreichende Qualität nach dem heutigen System überhaupt sichergestellt werden?
- Wie soll der Prüfprozess sichergestellt werden?

FDS|USERGROUP



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Boris.Stock@BFT-Cognos.de
KarlWallasch@HoareLea.com
Gregor.Jaeger@ihw.at

Markus Kraft:

Mechanische Entrauchung

Abstract:

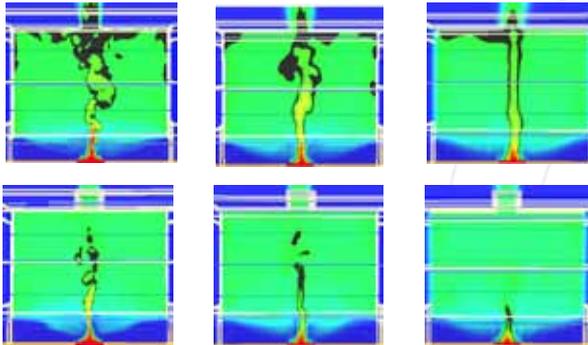
Im Rahmen von Parameterstudien wurden die unterschiedlichen Anwendungsparameter für die mechanische Entrauchung im Simulationsprogramm FDS untersucht.

Ziel war es die verschiedenen möglichen Eingabegrößen und die Wirkung der Entrauchung unter Berücksichtigung der Gittergröße zu untersuchen und zu vergleichen. Hierbei wurden Ventilatoren über die Parameter Volumenstrom und Strömungsgeschwindigkeit modelliert und bei verschiedenen Zellengrößen die Höhen der raucharmen Schichten sowie die Strömungsbilder verglichen.

Weiterhin wurde untersucht, welchen Einfluss der Parameter V_Tau für einen sanften Ventilatoranlauf auf das Ergebnis hat.

Abschließend wurde untersucht, ob die erforderlichen Vents direkt unter der Decke des Brandraums anzuordnen sind oder ob positive Effekte bei der Ausbildung von virtuellen Entrauchungskanälen zwischen Decke und Vent beobachtet werden können.

Untersuchung verschiedener Modellierungsmöglichkeiten zur Rauchabfuhr



Markus Kraft

Dipl.-Ing. Sicherheitstechnik
Staatlich anerkannter Sachverständiger
zur Prüfung des Brandschutzes



Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spittthöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 . 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

Zielsetzung

- Anwenderorientierte Parameterstudie
- Aufgabe des 2. Anwendertreffens 2008
- Auswertung unterschiedlicher Modellierungsmöglichkeiten zur Rauchabfuhr bei verschiedenen Zellengrößen bei ansonsten gleichbleibenden Randbedingungen
- Kooperation von
 - Sachverständigenpartnerschaft Halfkann+Kirchner, Erkelenz
 - Hagen – Ingenieurgesellschaft für Brandschutz mbH, Kleve
 - BSCON Brandschutzconsult Spittthöver GmbH, Essen



Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spittthöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 . 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.



Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Untersuchte Szenarien

- A: quaderförmiges Gebäude in Luftwanne
 - A1: natürliche Entrauchung bei unterschiedlichen Zellengrößen
 - A2: mechanische Entrauchung bei unterschiedlichen Zellengrößen (über Volume_Flux)
 - A3: mechanische Entrauchung bei unterschiedlichen Zellengrößen (Vergleich: VEL x Vent-Fläche)
- B: Industriehalle
 - B1: mechanische Entrauchung mit Vent an Simulationsgrenze
 - B2: mechanische Entrauchung mit Vent über Kanal

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

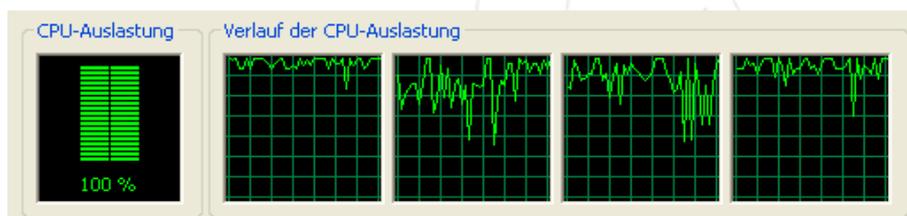


Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Parallelrechnung

- Berechnung mit 4 Prozessoren bei maximaler Ausnutzung
- Die Nutzung der „Multiple Processor Version“ zur Beschleunigung des Rechenprozesses wird durch das MPI (**M**essage **P**assing **I**nterface) ermöglicht, das einen Auftrag auf mehrere Prozessoren verteilt



3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.



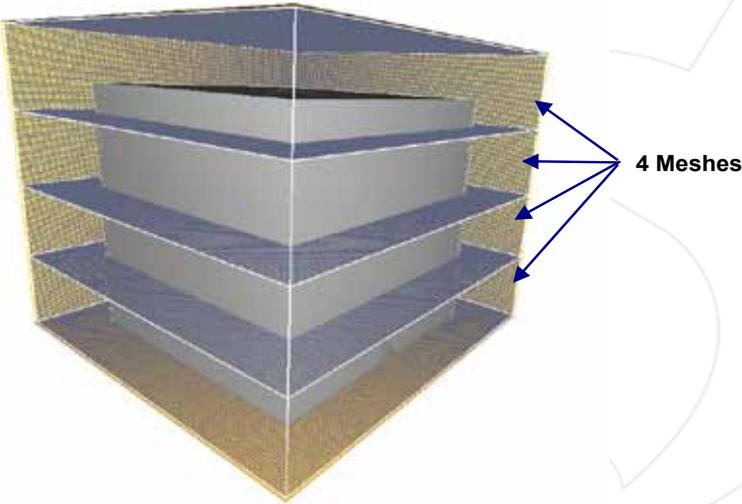
BSCON
BRANDSCHUTZCONSULT

Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Simulationsmodell A

- Unterteilung des Modells in 4 Meshes mit nahezu gleichen Abmessungen



3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.



BSCON
BRANDSCHUTZCONSULT

Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Simulationsmodell A

- Simulationsvolumen
 - $V_{\text{Sim}} = 14,40 \text{ m} \times 14,40 \text{ m} \times 12,20 \text{ m} = 2529,792 \text{ m}^3$
- Raumvolumen
 - $V_{\text{Raum}} = 10,00 \text{ m} \times 10,00 \text{ m} \times 10,00 \text{ m} = 1000,000 \text{ m}^3$
- Untersuchte Zellgrößen
 - 10 cm x 10 cm x 10 cm
 - 20 cm x 20 cm x 20 cm
 - 30 cm x 30 cm x 30 cm

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.



BSCON
BRANDSCHUTZCONSULT

Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Beschreibung der Brandquelle A

- Lage - mittig im Raum, auf dem Boden ($Z = 0 \text{ m}$)
- Form - Quadratisch ($1.80 \text{ m} \times 1.80 \text{ m} = 3.24 \text{ m}^2$)
- HRRPA - $300 \text{ KW} / \text{m}^2$
- Max. Wärmefreisetzungsrate – 972 KW
- Keine Ramp und $T_Q \rightarrow$ Wärmefreisetzungsrate konstant



FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

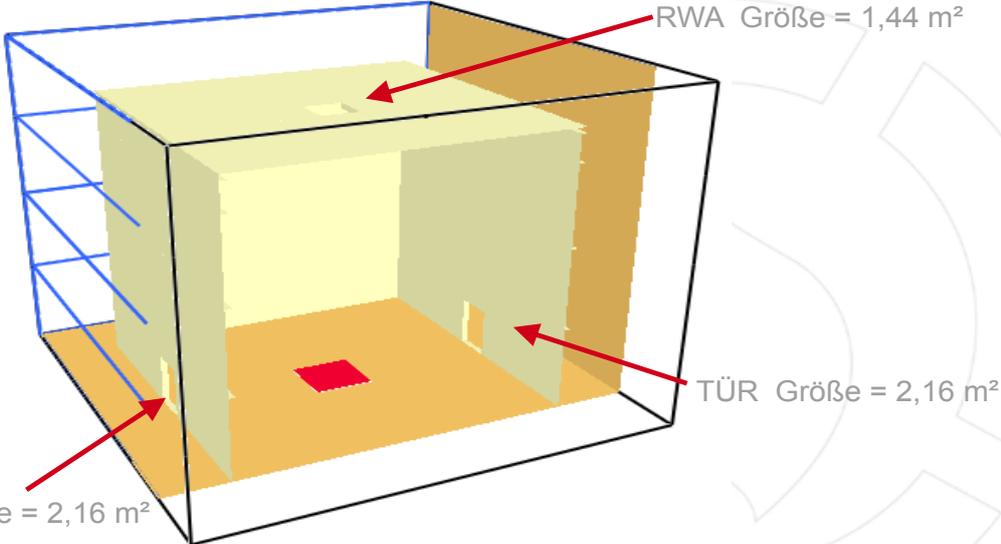


BSCON
BRANDSCHUTZCONSULT

Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Simulationsmodell A1 – natürliche Rauchabfuhr





FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

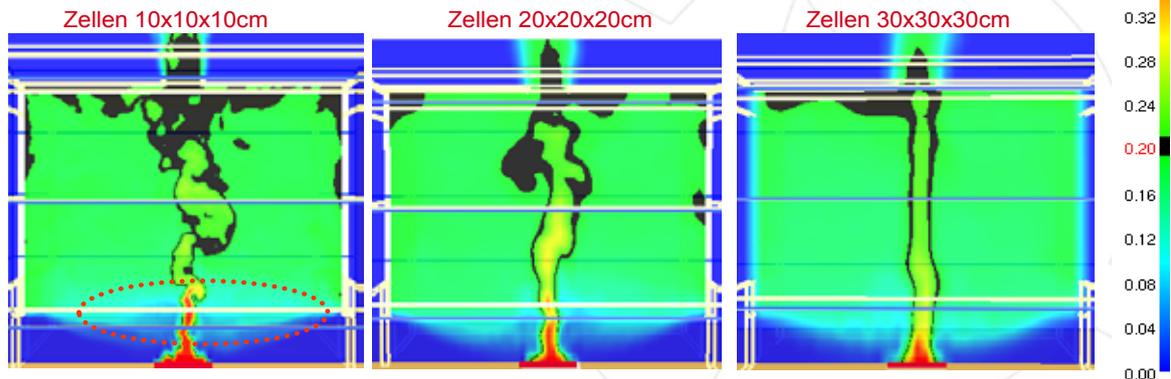


Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Szenario A1 – natürliche Rauchabfuhr

- Auswertung: extinction coefficient – 180 s
- Feststellungen:
 - Laminarer Effekt nimmt mit größeren Zellen zu
 - weniger Turbulenzen
 - Rauchkonzentration bei sehr kleinen Zellen geringfügig besser



3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

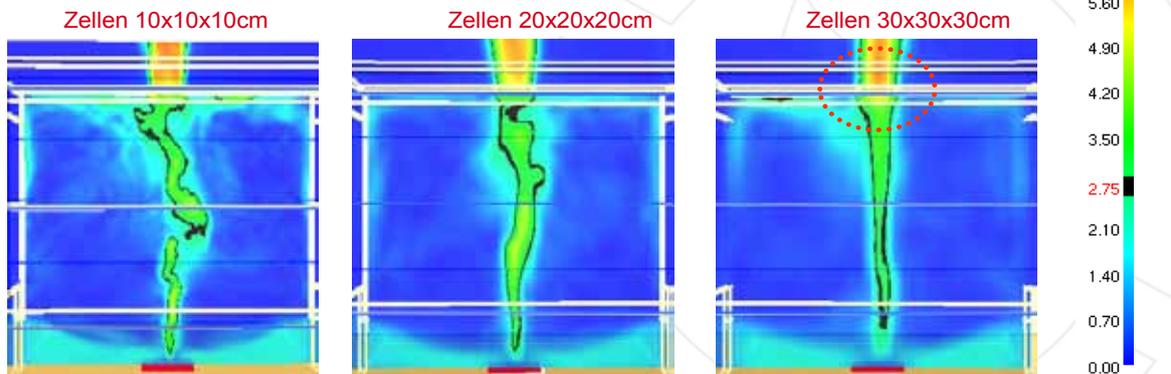


Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Szenario A1 – natürliche Rauchabfuhr

- Auswertung: Strömungsgeschwindigkeit – 180 s
- Feststellungen:
 - Laminarer Effekt nimmt mit größeren Zellen zu
 - weniger Turbulenzen / Abströmgeschwindigkeiten gleich
 - Abströmstrahl an RWA bei großen Zellen weniger aufgeweitet



3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin



Szenario A1 – natürliche Rauchabfuhr

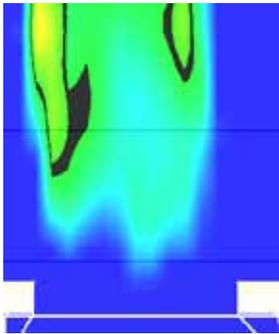
- Auswertung: Strömungsgeschwindigkeit – 180 s – Detail RWA-Öffnung
- Feststellungen:
 - Mit zunehmender Zellengröße wird Abströmgeschwindigkeit oberhalb der RWA-Öffnung kleiner (gelb 6,5 m/s → schwarz 6 m/s)



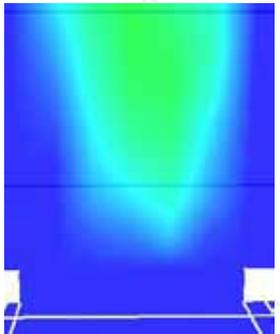
Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spittthöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

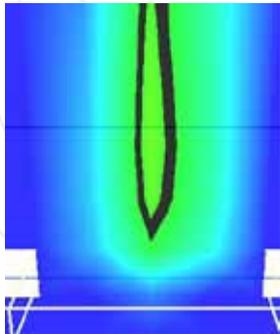
Zellen 10x10x10cm



Zellen 20x20x20cm



Zellen 30x30x30cm





vel
m/s

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin



Szenario A1 – natürliche Rauchabfuhr

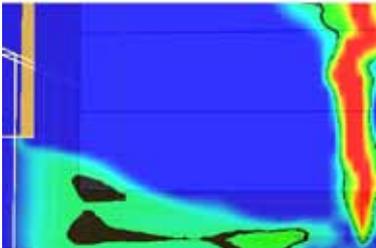
- Auswertung: Strömungsgeschwindigkeit – 180 s – Detail Zuluft-Öffnung
- Feststellungen:
 - Mit zunehmender Zellengröße wird Nachströmgeschwindigkeit hinter der Zuluft-Öffnung kleiner (grün 2,2 m/s → schwarz 1,8 m/s)



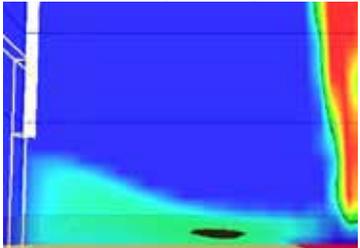
Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spittthöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

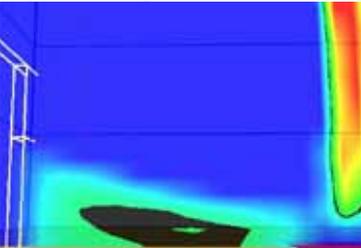
Zellen 10x10x10cm

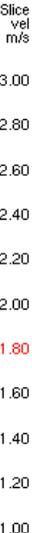


Zellen 20x20x20cm



Zellen 30x30x30cm





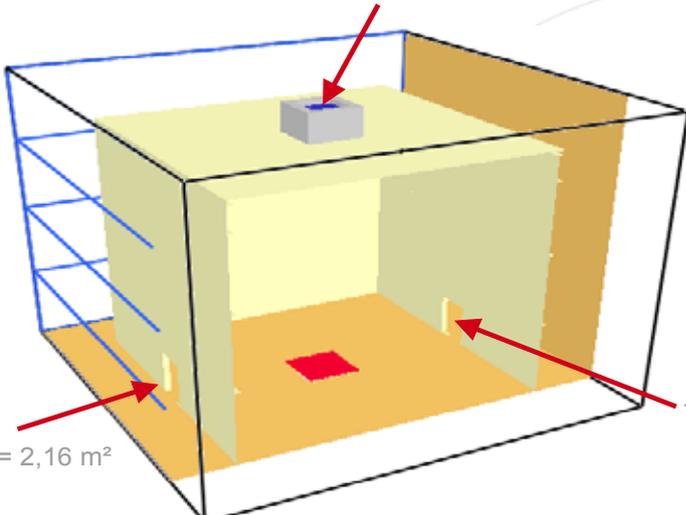
Slice
vel
m/s

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin



Simulationsmodell A2 – mechanische Rauchabfuhr

Ventilator Größe = 1,44 m², Luftvolumenstrom 8.33 m³/s (30.000 m³/s)



TÜR Größe = 2,16 m²

TÜR Größe = 2,16 m²



BSCON
BRANDSCHUTZCONSULT

Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

Entrauchung Eigenschaften

- Szenario A2 - mechanische Rauchabfuhr
 - 1.44 m² Abzugsfläche
 - Volumenstrom (VOLUME_FLUX) = 8.33 m³/s
 - Kanal 1.40 m lang
 - Ventilator Start mit Tau_V = -10,0



BSCON
BRANDSCHUTZCONSULT

Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

Szenario A2 – mechanische Rauchabfuhr Volumenstrom

- Auswertung: extinction coefficient– 180 s
- Feststellungen:
 - Mit zunehmender Zellengröße wird die diffuse Verrauchung im Bereich zw. 2-4 m über dem Boden stärker
 - feinere Gitterstrukturen liefern günstigere Ergebnisse

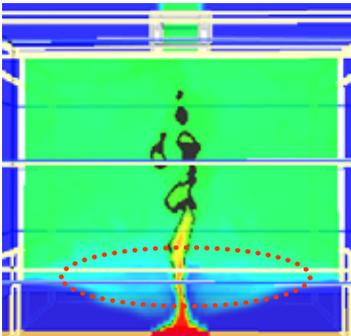


BSCON
BRANDSCHUTZCONSULT

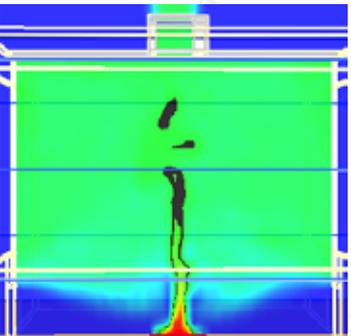
Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spittthöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

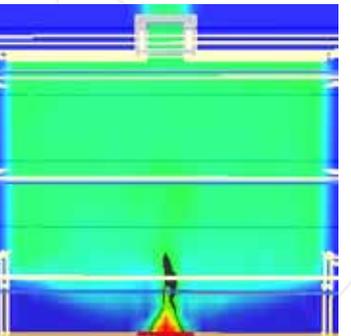
Zellen 10x10x10cm



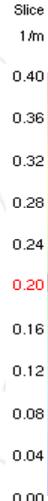
Zellen 20x20x20cm



Zellen 30x30x30cm



Slice
1/m



3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin



FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

Szenario A2 – mechanische Rauchabfuhr Volumenstrom

- Auswertung: Strömungsgeschwindigkeit – 180 s
- Feststellungen:
 - Laminarer Effekt nimmt mit größeren Zellen zu - weniger Turbulenzen
 - Abströmgeschwindigkeiten im Kanal vor dem Ventilator nimmt mit zunehmender Zellengröße ab (rot 6,5 m/s □orange 5,8 m/s)
 - Zuluftöffnung wird bei feineren Gittern besser genutzt (weniger Einschnürung)

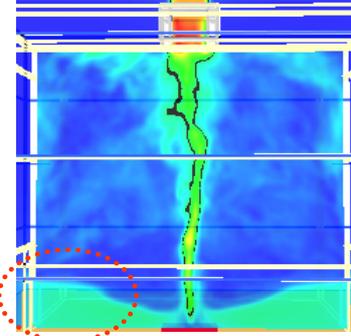


BSCON
BRANDSCHUTZCONSULT

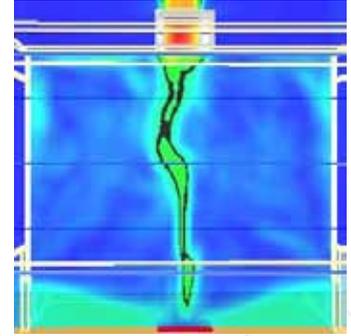
Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spittthöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

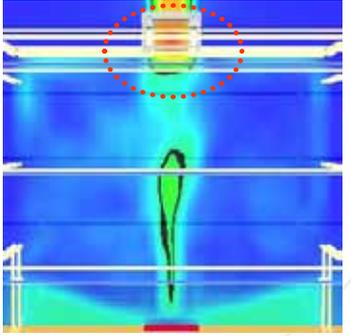
Zellen 10x10x10cm



Zellen 20x20x20cm



Zellen 30x30x30cm



Slice
vel
m/s



3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin



FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

Szenario A2 – mechanische Rauchabfuhr Volumenstrom

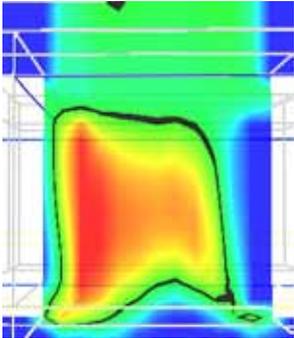
- Auswertung: Strömungsgeschwindigkeit – 180 s – Detail Ventilator
- Feststellungen:
 - Mit zunehmender Zellengröße wird Abströmgeschwindigkeit über den Ventilator kleiner (rot 6,5 m/s → schwarz 6 m/s)
 - bei größeren Zellen nimmt die Einschnürung oberhalb des Ventilators zu (?)



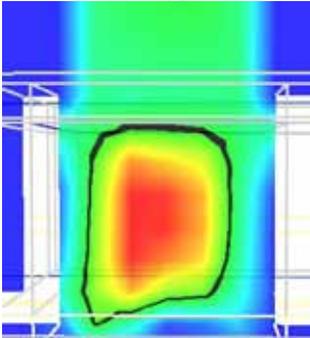
Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spittthöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

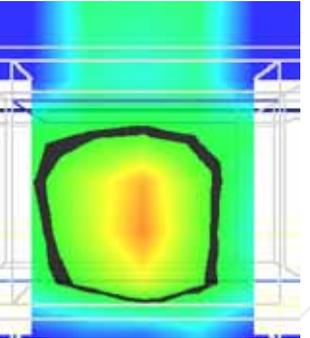
Zellen 10x10x10cm



Zellen 20x20x20cm



Zellen 30x30x30cm



Slice
vel
m/s



3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin



ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

Szenario A2 – mechanische Rauchabfuhr Volumenstrom

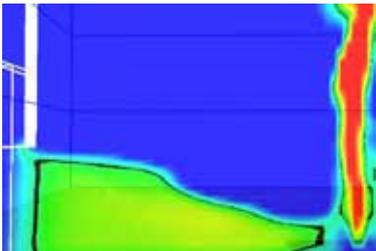
- Auswertung: Strömungsgeschwindigkeit – 180 s – Detail Zuluft-Öffnung
- Feststellungen:
 - Mit zunehmender Zellengröße wird Nachströmgeschwindigkeit hinter der Zuluft-Öffnung kleiner (grün 2,2 m/s → schwarz 1,8 m/s)
 - Die Strömungsgeschwindigkeiten im Plume sind bei feinen Gittern deutlich höher (ca. 0,5 m/s)



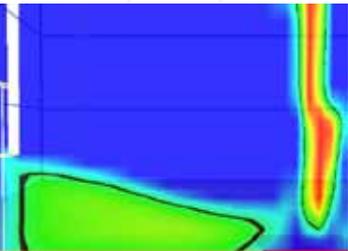
Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spittthöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

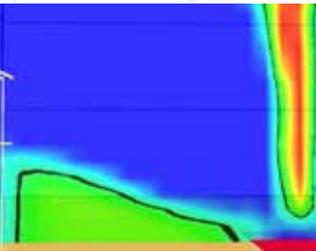
Zellen 10x10x10cm



Zellen 20x20x20cm



Zellen 30x30x30cm



Slice
vel
m/s



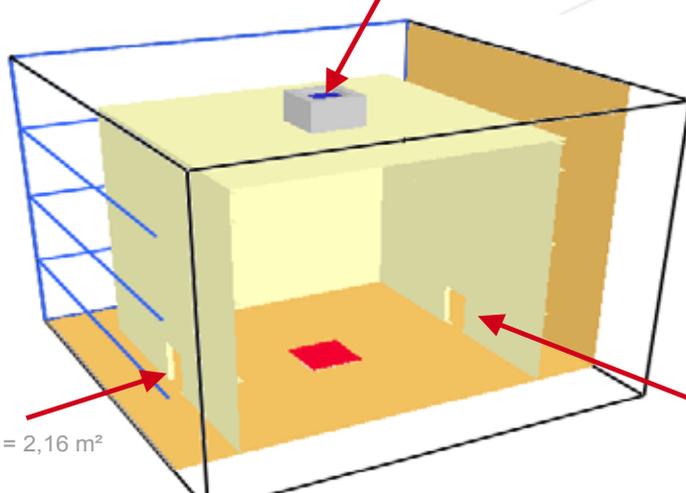
3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin



ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

Simulationsmodell A3 – mechanische Rauchabfuhr

Ventilator Größe = 1,44 m², Strömungsgeschwindigkeit 5,78 m/s = 30.000 m³/h



TÜR Größe = 2,16 m²

TÜR Größe = 2,16 m²



BSCON
BRANDSCHUTZCONSULT

Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

Entrauchung Eigenschaften A3

- Parameter - mechanische Rauchabfuhr
- 1.44 m² Abzugsfläche
- Strömungsgeschwindigkeit (VEL) = 5.78 m/s
- 1.44 m² x 5.78 m/s x 3600 = 29.963 m³/h
- Kanal 1.40 m lang
- Ventilator Start mit Tau_V = -10,0



BSCON
BRANDSCHUTZCONSULT

Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

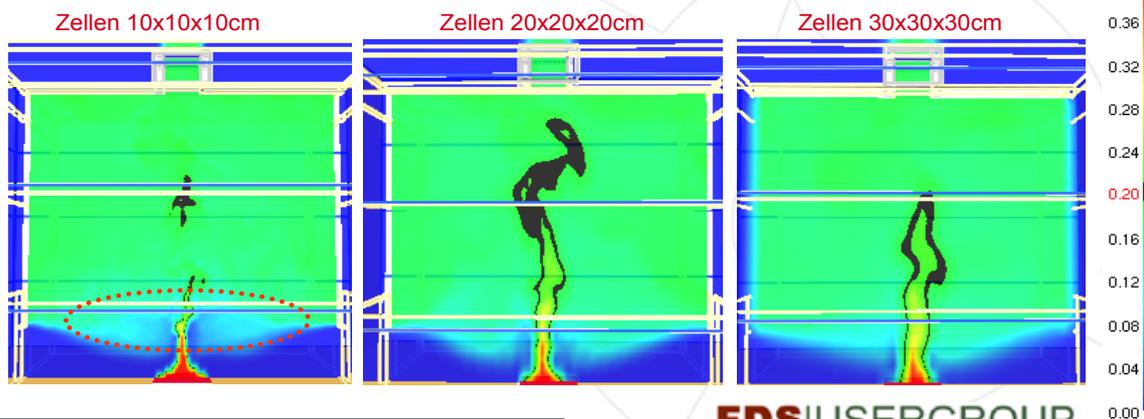


Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spittthöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Szenario A3 – mechanische Rauchabfuhr Luftströmungsgeschwindigkeit

- Auswertung: extinction coefficient– 180 s
- Feststellungen:
 - Mit zunehmender Zellengröße wird die diffuse Verrauchung zw.2-4 m über dem Boden stärker
 - feinere Gitterstrukturen liefern günstigere Ergebnisse



3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

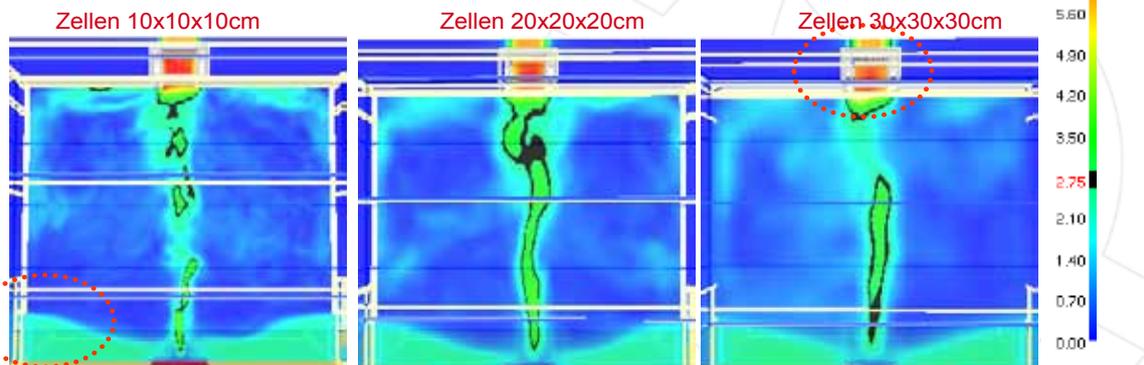


Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spittthöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Szenario A3 – mechanische Rauchabfuhr Luftströmungsgeschwindigkeit

- Auswertung: Strömungsgeschwindigkeit – 180 s
- Feststellungen:
 - Laminarer Effekt nimmt mit größeren Zellen zu - weniger Turbulenzen
 - Abströmgeschwindigkeiten im Kanal vor dem Ventilator nimmt mit zunehmender Zellengröße ab (rot 6,5 m/s → orange 5,8 m/s)
 - Zuluftöffnung wird bei feineren Gittern besser genutzt (weniger Einschnürung)



3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin



Szenario A3 – mechanische Rauchabfuhr Luftströmungsgeschwindigkeit

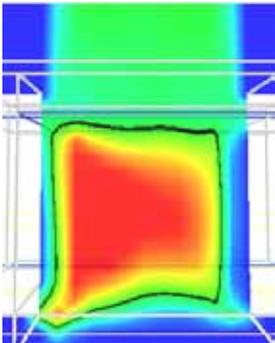
- Auswertung: Strömungsgeschwindigkeit – 180 s – Detail Ventilator
- Feststellungen:
 - Mit zunehmender Zellengröße wird Abströmgeschwindigkeit über den Ventilator kleiner (rot 6,8 m/s → schwarz 6 m/s)
 - bei größeren Zellen nimmt die Einschnürung oberhalb des Ventilators zu (?)



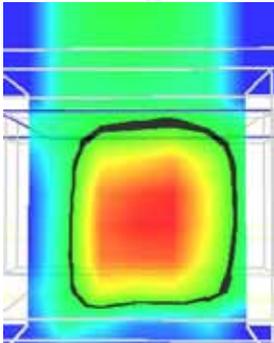
Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spittthöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

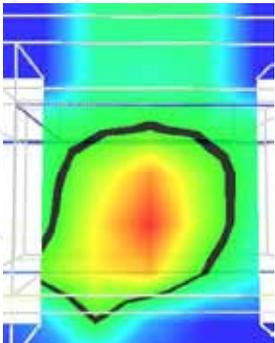
Zellen 10x10x10cm



Zellen 20x20x20cm



Zellen 30x30x30cm







ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

Szenario A3 – mechanische Rauchabfuhr Luftströmungsgeschwindigkeit

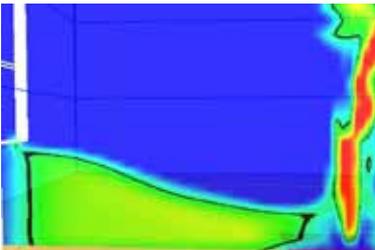
- Auswertung: Strömungsgeschwindigkeit – 180 s – Detail Zuluft-Öffnung
- Feststellungen:
 - Mit zunehmender Zellengröße wird Nachströmgeschwindigkeit hinter der Zuluft-Öffnung größer
 - Die Strömungsgeschwindigkeiten im Plume sind vergleichbar



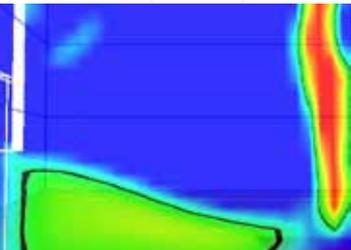
Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spittthöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

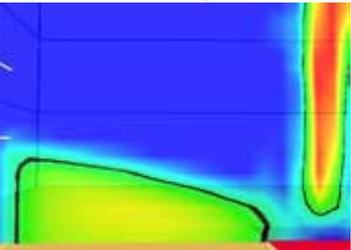
Zellen 10x10x10cm



Zellen 20x20x20cm



Zellen 30x30x30cm



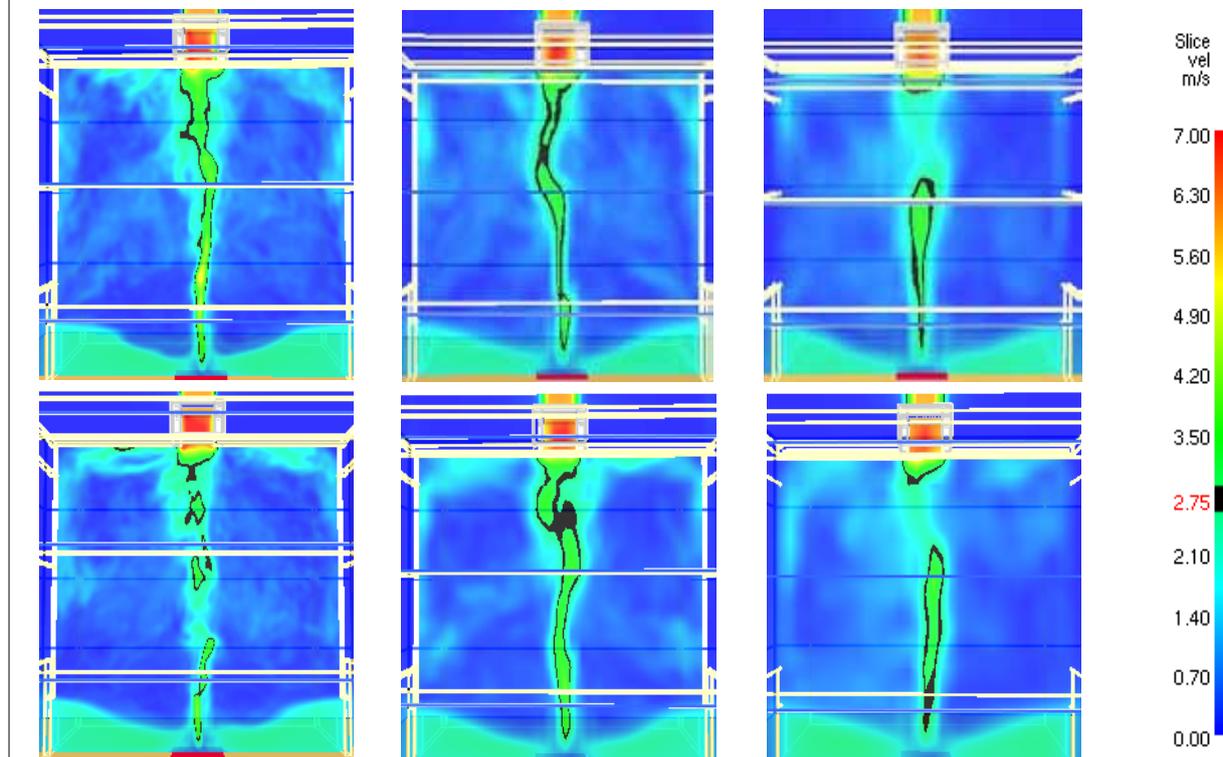




ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

Vergleich Szenarien A2/A3 – VolumeFlux | Vel x Vent-Fläche



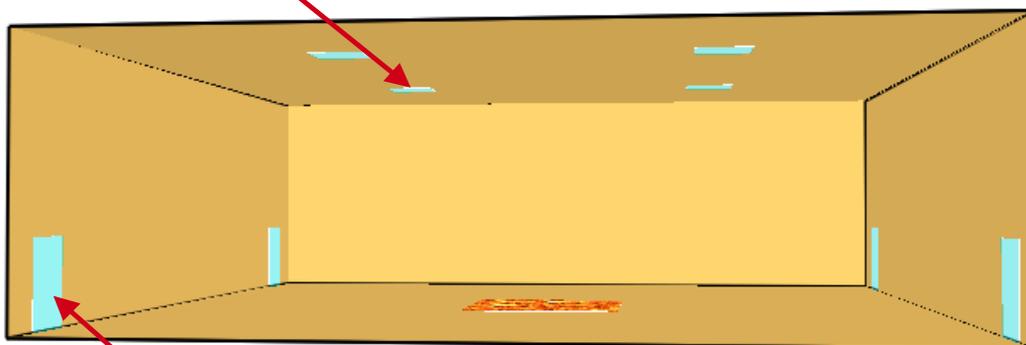
Simulationsmodell Szenario B1



Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

4 x Ventilatoren Größe = 1,00 m²



4 x TÜR Größe = 1,6 m²



BSCON
BRANDSCHUTZCONSULT

Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Simulationsmodell B1

- Simulationsvolumen
 - $V_{\text{Sim}} = 15,00 \text{ m} \times 15,00 \text{ m} \times 5,00 \text{ m} = 1125,00 \text{ m}^3$
- Raumvolumen
 - $V_{\text{Raum}} = 15,00 \text{ m} \times 15,00 \text{ m} \times 5,00 \text{ m} = 1125,00 \text{ m}^3$
- Zellrasterung
 - 10 cm x 10 cm x 10 cm
 - 15 cm x 15 cm x 15 cm
 - 20 cm x 20 cm x 20 cm

FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin



BSCON
BRANDSCHUTZCONSULT

Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Beschreibung der Brandquellen

- Lage - mittig im Raum, auf dem Boden ($Z = 0 \text{ m}$)
- Form - Quadratisch ($3,00 \text{ m} \times 3,00 \text{ m} = 9,00 \text{ m}^2$)
- HRR - $300 \text{ KW} / \text{m}^2$
- Max. Wärmefreisetzungsrate – 2.7 MW
- Keine Ramp und T_Q Wärmefreisetzungsrate Konstant

FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin



Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

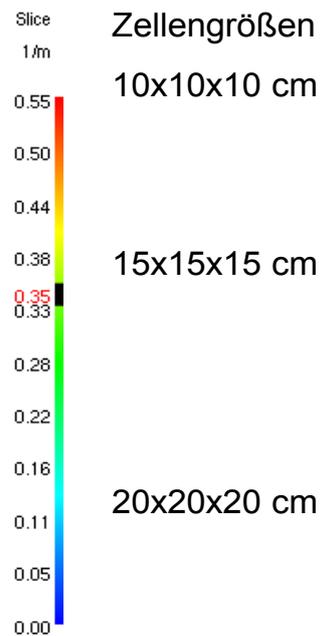
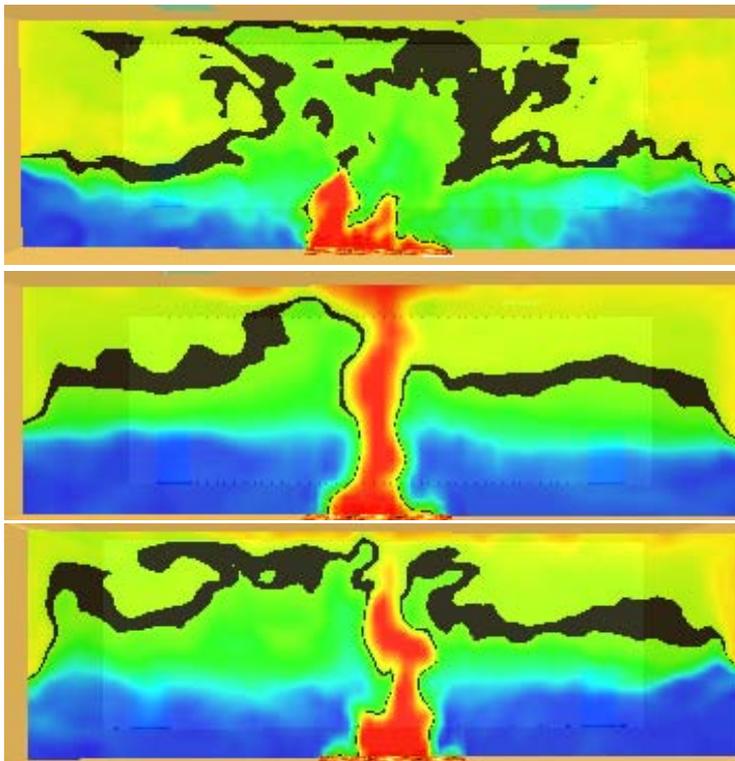
Entrauchung Eigenschaften

- Szenario B1 - mechanische Entrauchung
 - 4 x 1 m² Abzugsfläche
 - 4 x 1,6 m² Nachströmung über Türen
 - Abluft 4 x 3.2 m³/s = 12.8 m³/s
 - Vent im Hallendach an der Simulationsgrenze
 - Ventilator Start mit Tau_V = -10.0



3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

Szenario B1 - extinction coefficient – 300 s

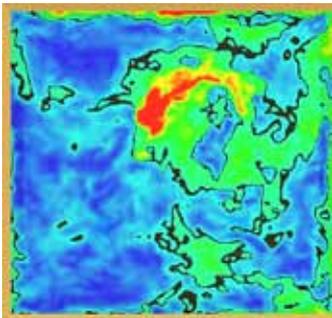


t = 300 sec

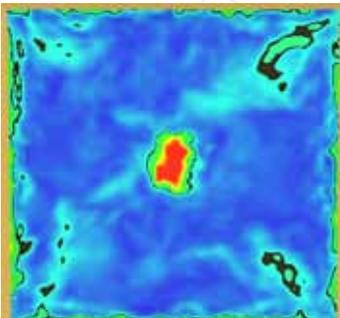
Szenario B1

- Strömungsgeschwindigkeit H = 3 m – 180 s

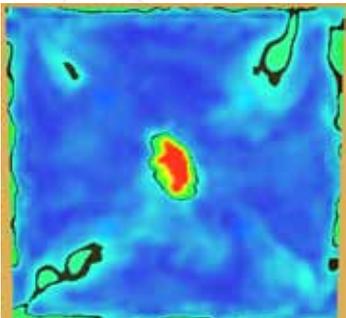
Zellen 10x10x10cm



Zellen 20x20x20cm



Zellen 30x30x30cm





Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de



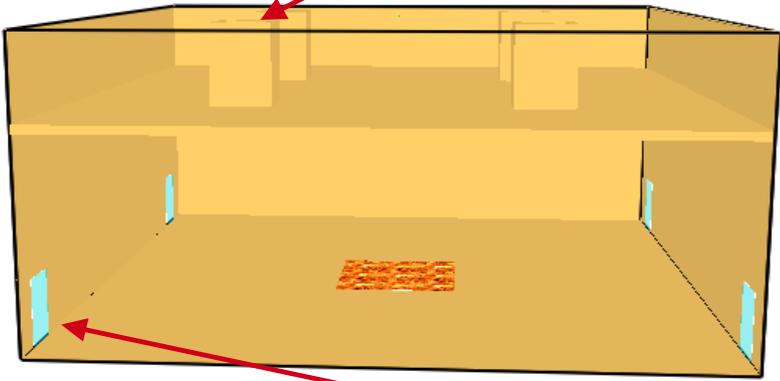


ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

Simulationsmodell Szenario B2

4 x Ventilatoren Größe = 1,00 m²
Kanallänge = 2,20 m



4 x TÜR Größe = 1,60 m²



Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de



ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

Simulationsmodell B2

- Simulationsvolumen
 - $V_{\text{Sim}} = 15,00 \text{ m} \times 15,00 \text{ m} \times 7,20 \text{ m} = 1620,00 \text{ m}^3$
- Raumvolumen
 - $V_{\text{Raum}} = 15,00 \text{ m} \times 15,00 \text{ m} \times 5,00 \text{ m} = 1125,00 \text{ m}^3$
- Zellrasterung
 - 10 cm x 10 cm x 10 cm
 - 15 cm x 15 cm x 15 cm
 - 20 cm x 20 cm x 20 cm



BRANDSCHUTZCONSULT

Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin



ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

Entrauchung Eigenschaften B2

- Szenario 2 - mechanische Entrauchung
 - 4 x 1 m² Abzugsfläche
 - 4 x 1,6 m² Nachströmung über Türen
 - Abluft 4 x 3,2m³/s = 12.8 m³/s
 - Kanal 2,2 m lang zw. Hallendach und Vent
 - Ventilator Start mit $\tau_{V} = -10,0$



BRANDSCHUTZCONSULT

Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin



ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

Szenario B2 - extinction coefficient

Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Slice
1/m

0.55
0.50
0.44
0.38
0.35
0.33
0.28
0.22
0.16
0.11
0.05
0.00

Zellengrößen
10x10x10 cm
15x15x15 cm
20x20x20 cm

t = 300 sec

FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

Szenario B2

- Strömungsgeschwindigkeit H = 3 m – 300 s

Staatlich anerkannte Sachverständige zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Slice
vel
m/s

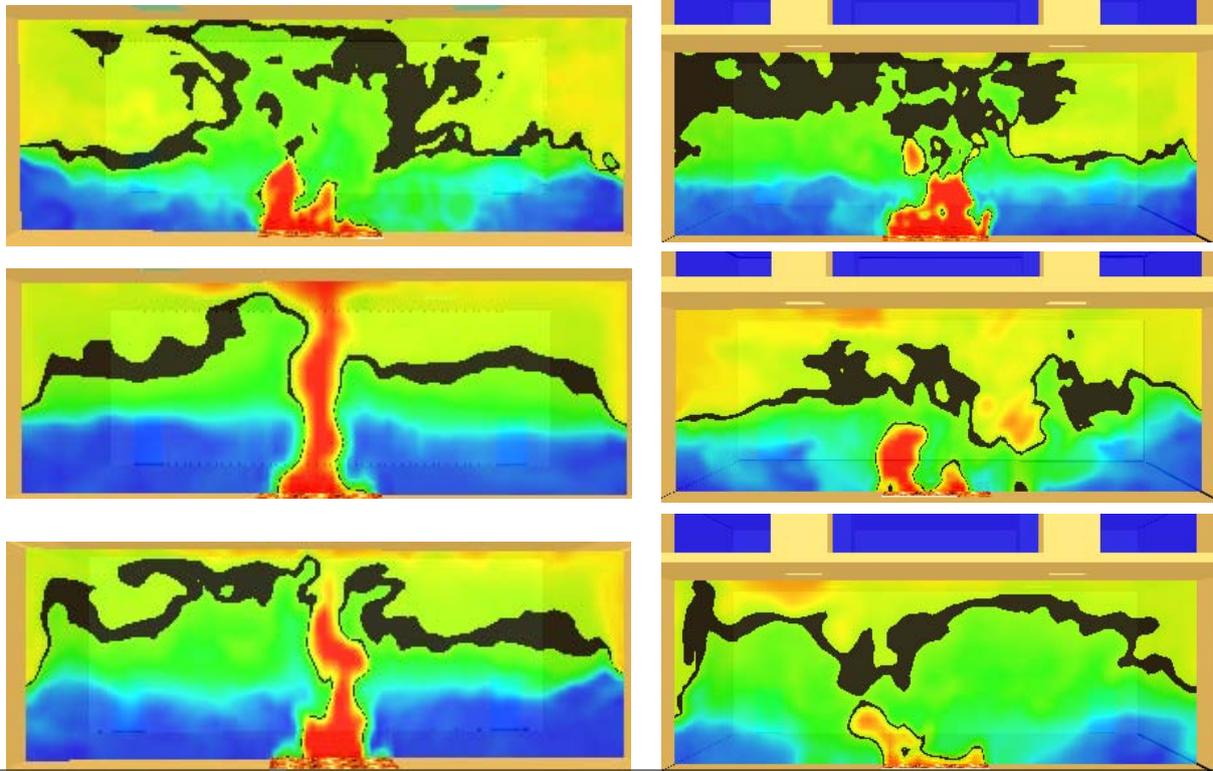
3.60
3.25
2.90
2.55
2.20
1.85
1.50
1.15
1.05
0.80
0.45
0.10

Zellen 10x10x10cm Zellen 15x15x15cm Zellen 20x20x20cm

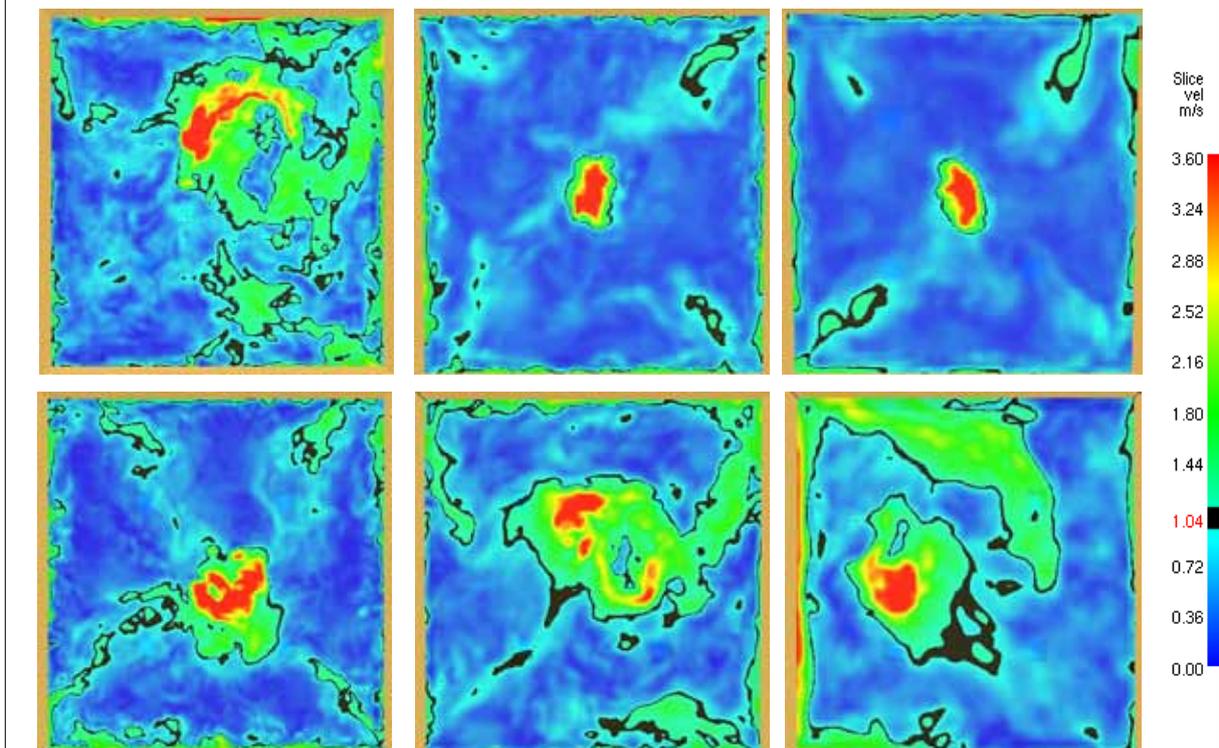
FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD.RHEIN.WESTFALEN.

3. Anwendertreffen FDS Usergroup 29.10.2009 & 30.10.2009, Berlin

Vergleich Szenarien B1/B2 – mit | ohne Kanal



Vergleich Szenarien B1/B2





Staatlich anerkannte Sachverständige
zur Prüfung des Brandschutzes

Brandschutzconsult Spithöver GmbH
Am Uhlenkrug 45 · 45133 Essen
www.brandschutz-in-nrw.de

Fazit

- Bei mech. Entrauchung hat der Parameter Flux Vorteile, da hier immer die vorgegebene Abluftmenge abgeführt wird. Dies gilt auch, wenn die Öffnung wegen Gitteränderungen geringfügig kleiner ist
- Die Auswirkungen der unterschiedlichen Zellengrößen auf die Höhe der Rauchsicht sind kleiner als erwartet (kann auch modellbedingt sein)
- mech. Entrauchung zeigt mit/ohne Kanal Unterschiede, die in diesem Modell kaum zu erklären sind

Florent Lushta:

Strahlung, Wärmeübergang, Einfluss von Bauteilen

Abstract:

Bei einer Entrauchungsstudie ist es ggf. erforderlich die bauphysikalischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile (Dicke, Dichte, Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit) und die hierdurch hervorgerufenen Wechselwirkungen innerhalb der Innenraumströmungen zu berücksichtigen.

Im Zuge einer CFD-Parameterstudie wurde der durch FDS berechnete instationäre Wärmedurchgang bei Bauteilen während eines Brandereignisses analysiert. Hierzu wurden Bauteile mit verschiedenen Eigenschaften und Bauteildicken untersucht. Zur Ermittlung von möglichst vielen experimentellen Streudaten wurden hierbei Baustoffe (Mauerwerk, Beton und Stahlblech) mit kleiner, mittlerer und großer Wärmeleitfähigkeit gewählt.

Zur Darstellung des Strahlungseinflusses bei den oben beschriebenen Untersuchungen wurden die Bauteile im Nahbereich eines Brandherdes angeordnet, wobei die Intensität der Wärmefreisetzung bei allen Simulationen konstant angesetzt wurde.

Weiterhin sollen durch die o. g. CFD-Studie Erkenntnisse über Thermikverluste im Brandraum in Abhängigkeit der Umfassungsbauteile gewonnen werden. Dieser Zusammenhang ist insbesondere für die Stabilität einer Rauchgasschicht von Bedeutung.

Die durchgeführten FDS-Simulationsberechnungen wurden im Nachgang mittels analytischen Methoden auf Plausibilität überprüft. Hierzu werden im Rahmen des Vortrages die Grundlagen der Plausibilitätsprüfung dargestellt und erläutert.



Verifizierung von FDS-Ergebnissen durch analytische Verfahren



ARBEITSGRUPPE NORDRHEIN-WESTFALEN

- Wärmestrahlung, Wärmeleitung und Einfluss von Bauteilen -

Halfkann + Kirchner Brandschutzsachverständige
Dipl.-Ing. (FH) Florent Lushta

Firmensitz und Zentrale

Richard-Lucas-Str. 4
41812 Erkelenz
T. 02431 - 96 50 – 0
F. 02431 – 96 50 – 90
E. info@hk-brandschutz.de

Niederlassungen:

- Berlin
- Dresden
- Frankfurt / M.
- Stuttgart
- Nürnberg

1

3. Anwender-Treffen der FDS Usergroup / 29-30.10.2009 Berlin

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



Verifizierung von FDS-Ergebnissen durch analytische Verfahren



ARBEITSGRUPPE NORDRHEIN-WESTFALEN

Vortragsinhalt

- 1. Einführung**
- 2. Grundlagen für die Plausibilitätsüberprüfung**
- 3. Versuchsreihen**
- 4. Ergebnisse der Simulationen und Vergleich**
- 5. Auswertung / Zusammenfassung**

2

3. Anwender-Treffen der FDS Usergroup / 29-30.10.2009 Berlin

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



Verifizierung von FDS-Ergebnissen durch analytische Verfahren



Vorüberlegungen im Rahmen von Entrauchungsstudien

- Wärmeübergang und Wärmeleitung durch Bauteile

- Thermik innerhalb einer Rauchgasschicht
→ wirksame Rauchableitung

- Bauphysikalische Eigenschaften von Bauteilen
 - Dichte
 - Spezifische Wärmekapazität
 - Wärmeleitfähigkeit

3. Anwender-Treffen der FDS Usergroup / 29-30.10.2009 Berlin

3

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure

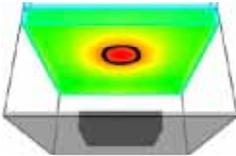
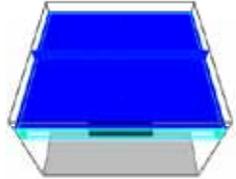


Verifizierung von FDS-Ergebnissen durch analytische Verfahren

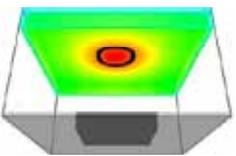
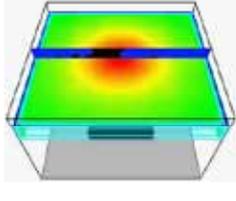


FDS-Parameter BACKING

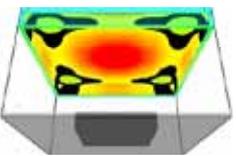
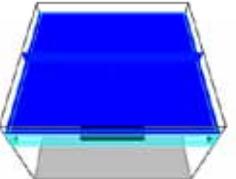
VOID

EXPOSED

INSULATED

Frame: 250
0:15:00.0



Bndry temp
°C



3. Anwender-Treffen der FDS Usergroup / 29-30.10.2009 Berlin

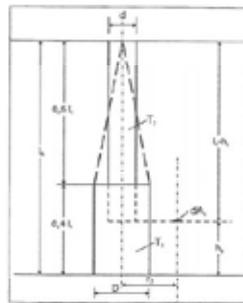
4

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



Grundlagen für die Plausibilitätsüberprüfung

- Geometrie der Flamme [McCaffrey]
- Berechnung der Flammentemperatur [Quintiere]
- Einstrahlzahlen



Darstellung der Flamme mit den Zylindern für den kontinuierlichen und den intermittierenden Bereich



Grundlagen für die Plausibilitätsüberprüfung

Analytische Berechnungen für instationäres Bauteilverhalten

- Zeitdiskrete Temperaturfelder in Grenzschichten (Laplace-Transformation)
 - Baukörper einseitig unendlich ausgedehnt
 - Wärmeaustausch - homogene Temperaturverteilung
 - Ermittlung der Temperatur im Abstand x von der Bauteiloberfläche

Analytische Berechnungen von Bauteilen mit großer Wärmeleitfähigkeit

- Energiebilanz
- Verhältnis Wärmeleitwiderstand im Bauteil / Wärmeübergangswiderstand
 - Biot-Zahl [$Bi = \alpha_i \times s / \lambda$]
- Verhältnis geleitete Wärme / gespeicherte Wärme
 - Fourier-Zahl [$Fo = \alpha_t \times t / s$]



Verifizierung von FDS-Ergebnissen durch analytische Verfahren

Versuchsreihen

Versuchsreihe I

- Wand aus Beton mittlerer Dichte $d = 0,1 \text{ m}$
- Wand aus Ziegelmauerwerk $d = 0,1 \text{ m}$

Versuchsreihe II

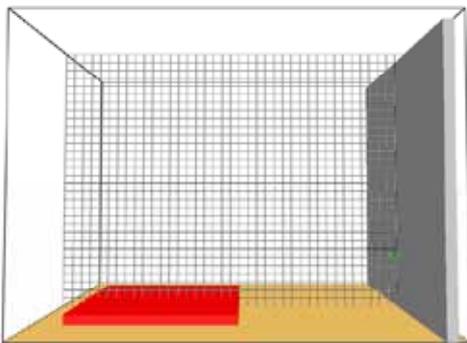
- Wand aus Stahlblech $d = 0,75 \text{ mm}$
- Wand aus Edelstahl $d = 0,75 \text{ mm}$



Verifizierung von FDS-Ergebnissen durch analytische Verfahren

Versuchsraum

- Abmessungen $4,0 \text{ m} \times 3,0 \times 3,1 \text{ m}$
- Seitenlänge der Gitterzellen je $0,1 \text{ m}$ ($\Sigma 37.200$ Gitterzellen)
- Abstand Brandherdmitte zur Referenzwand $2,3 \text{ m}$



Brandereignis

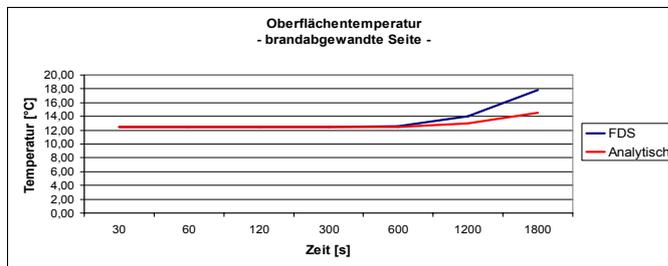
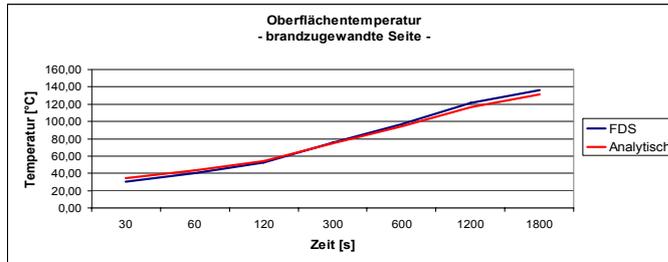
- Brandfläche $3,0 \text{ m}^2$
- Wärmeleistung $q = 250 \text{ kW/m}^2$
- max. Wärmefreisetzung $Q = 750 \text{ kW}$
- Branddauer 30 min.
- Brandausbreitung nicht angesetzt
- Brandgut Propan



Verifizierung von FDS-Ergebnissen durch analytische Verfahren

Ergebnisse der Simulationen und Vergleich

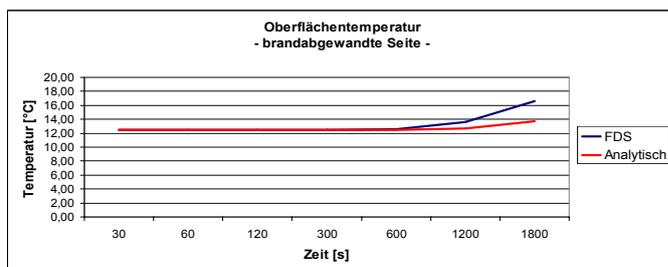
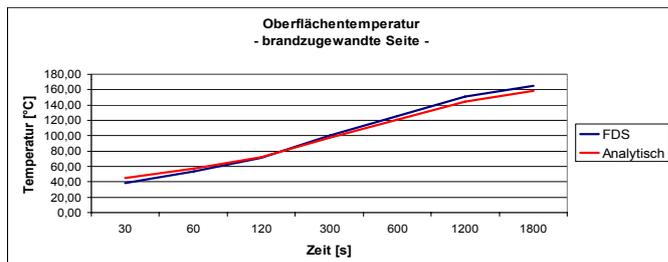
Wand aus Beton



Verifizierung von FDS-Ergebnissen durch analytische Verfahren

Ergebnisse der Simulationen und Vergleich

Wand aus Ziegelmauerwerk

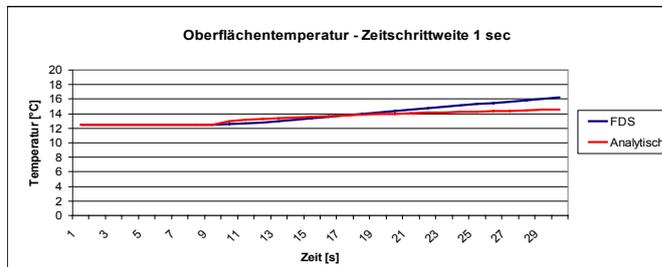
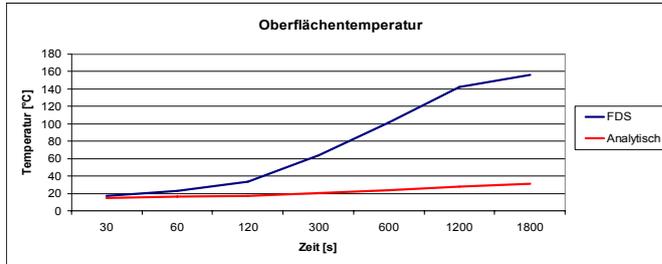




Verifizierung von FDS-Ergebnissen durch analytische Verfahren

Ergebnisse der Simulationen und Vergleich

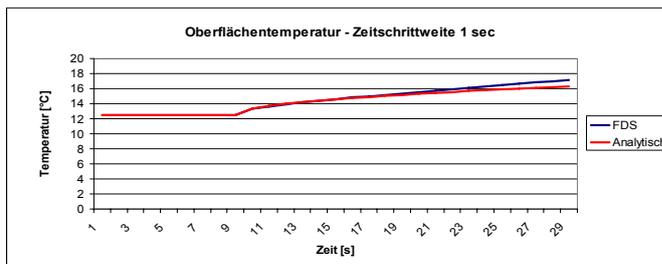
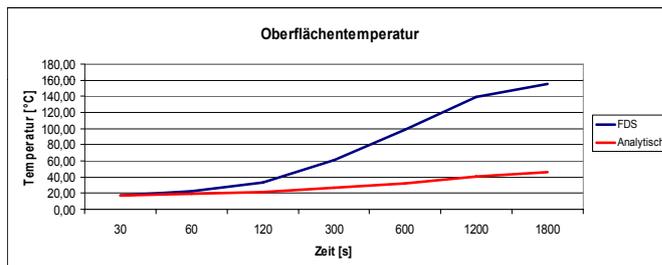
Wand aus Stahlblech



Verifizierung von FDS-Ergebnissen durch analytische Verfahren

Ergebnisse der Simulationen und Vergleich

Wand aus Edelstahl





Auswertung / Zusammenfassung

Versuchsreihe I

- max. Abweichung der Oberflächentemperatur
ca. 5°C bei Betonwand bzw. ca. 7°C bei Ziegelmauerwerk
- max. Abweichung der Temperatur auf der Wandrückseite
ca. 4°C bei Betonwand bzw. ca. 3°C bei Ziegelmauerwerk

Versuchsreihe II

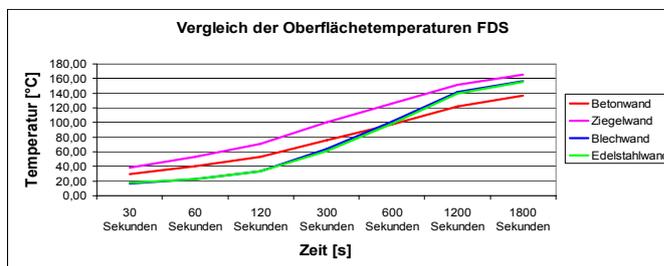
- max. Abweichung der Bauteiletemperatur
ca. 125°C bei Stahlblechwand bzw ca. 108°C bei Edelstahlwand
- kleinere Zeitschrittweiten → geringere Abweichungen

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



Auswertung / Zusammenfassung

Oberflächentemperatur bei Bauteilen mit großer Wärmeleitfähigkeit in FDS?



Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



Auswertung / Zusammenfassung

Ausblick

- weitergehende Untersuchungen innerhalb der Usergroup
- Verrauchungsverhältnisse in einer Halle
 - unterschiedliche Raumgrößen
 - unterschiedliche Bauteileigenschaften
 - unterschiedliche klimatische Randbedingungen



ENDE

Klaus Veenker:

Brandherdmodellierung

Abstract:

Im Rahmen einer Studie wurden die Auswirkungen verschiedener Brandeingaben im Simulationsprogramm FDS untersucht.

Hierfür wurden Brände unterschiedlicher Flächengröße, Flächenform beziehungsweise mit verschiedener Höhenlage bei jeweils gleicher Energiefreisetzungsrate hinsichtlich der Verrauchung und der Strömungsverhältnisse im Versuchsraum miteinander verglichen. Zudem wurden die verschiedenen Ausbreitungsformen, wie die Vorgabe einer Rampfunktion, einer Ausbreitungsgeschwindigkeit oder durch zeitlich versetztes Aktivieren von einzelnen Flächen einer unterteilten Brandfläche, bezüglich Unterschiede im Ergebnis untersucht.

Untersuchung unterschiedlicher Modellierungen von Brandflächen

Klaus Veenker
Dipl.-Ing.

3. Anwender-Treffen der FDS Usergroup
29./30.10.2009, Berlin

Brandflächeneingabe

- Flächengröße
- Flächenform
- Höhenlage der Brandfläche
- Ausbreitungsform

Vergleich - Brandflächengröße

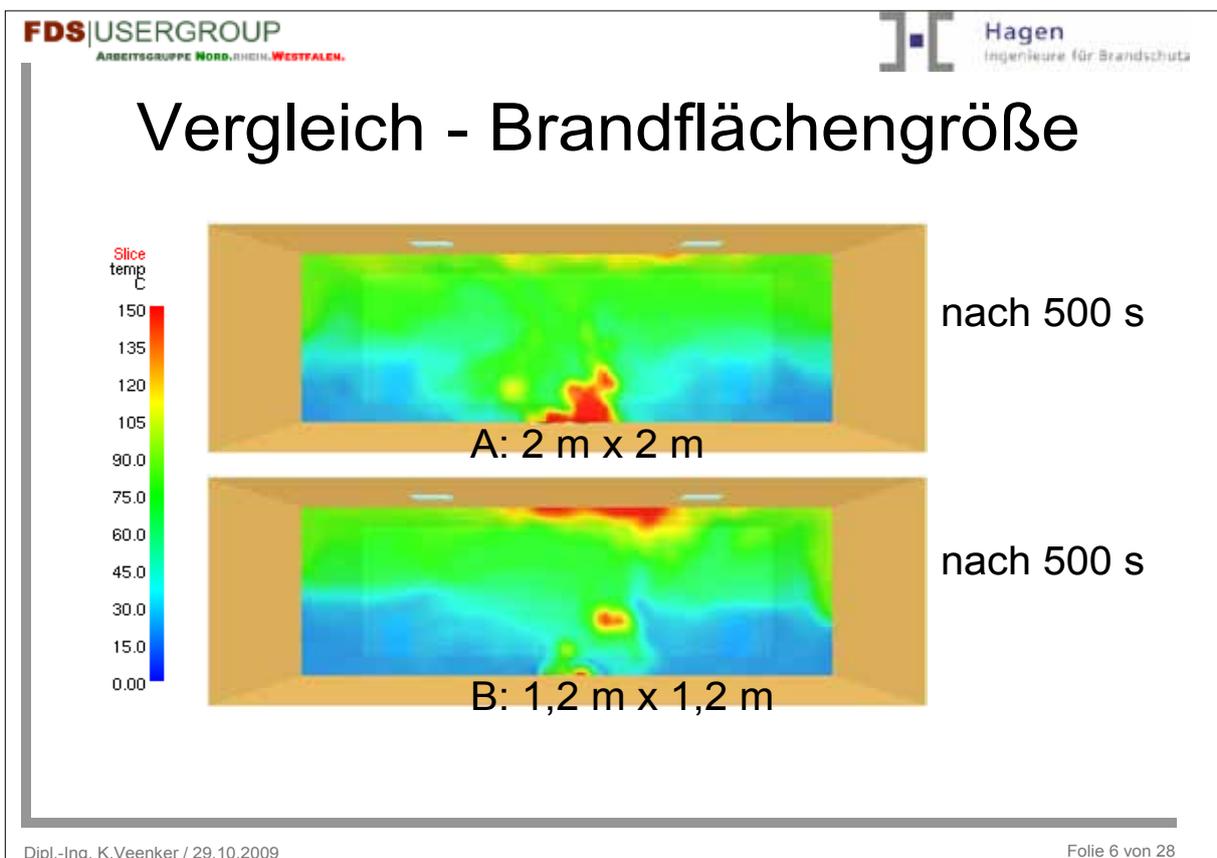
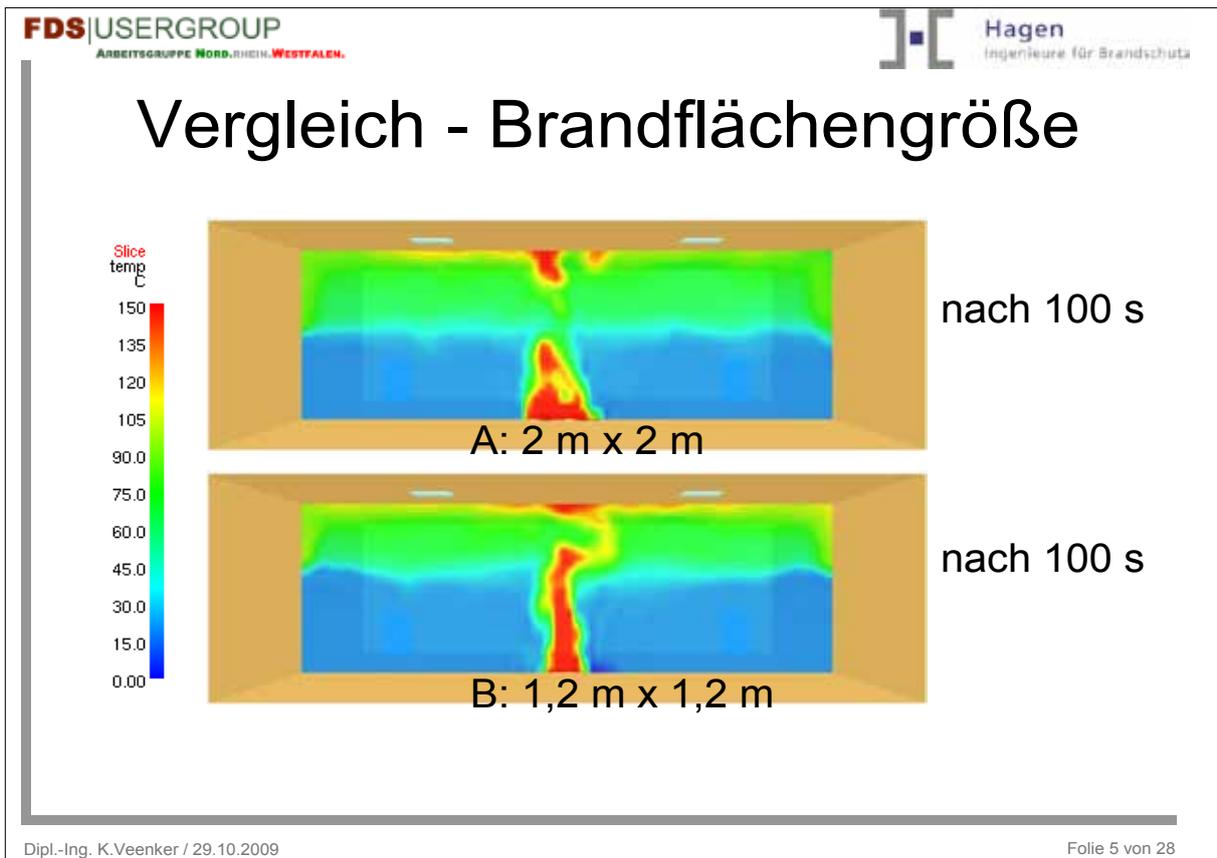
- Szenario A: 2 m x 2 m = 4 m²
mit 300 kW/m²
→ 1200 kW
- Szenario B: 1,2 m x 1,2 m = 1,44 m²
mit 833 kW/m²
→ 1200 kW

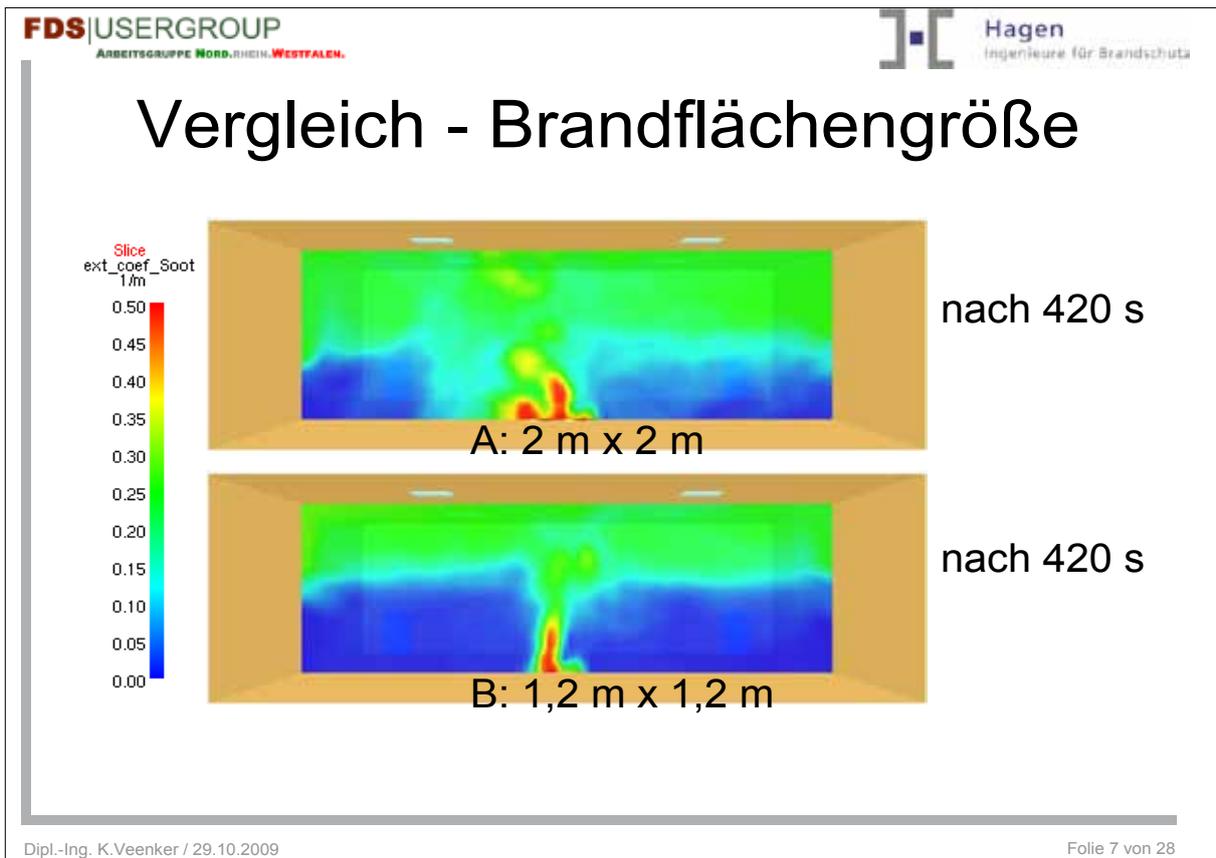
$$\dot{Q} = \dot{q} \cdot A$$

Modell

- Fläche 15 m x 15 m
- 5 m hoch
- 6,4 m² Zuluftfläche
- 4 m² Abluftfläche
- Gitterzellen 20 cm







FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORDRHEIN-WESTFALEN

Hagen
Ingenieure für Brandschutz

Vergleich - Brandflächengröße

durch kleinere Brandfläche:

- Geringere Verrauchung
- Konstanz der Schichtung über einen längeren Zeitraum

Dipl.-Ing. K.Veenker / 29.10.2009

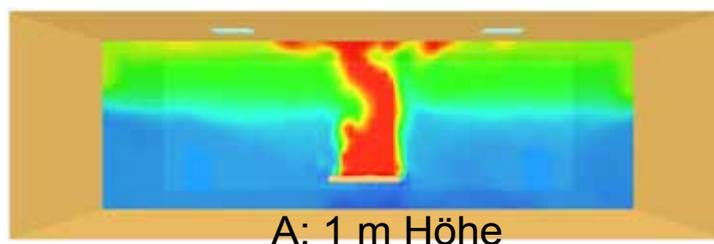
Folie 8 von 28

Höhelage der Brandfläche

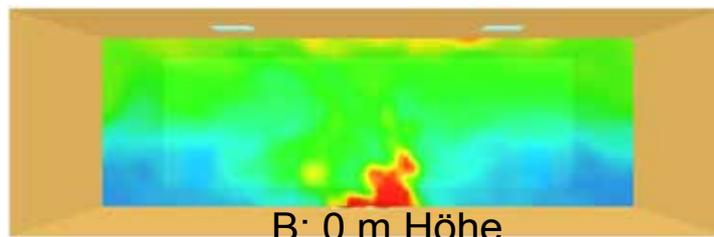
- Szenario A:
Höhe der Brandfläche auf 0 m
- Szenario B:
Höhe der Brandfläche auf 1 m

Alle weiteren Randbedingungen sind bei beidem Szenarien identisch

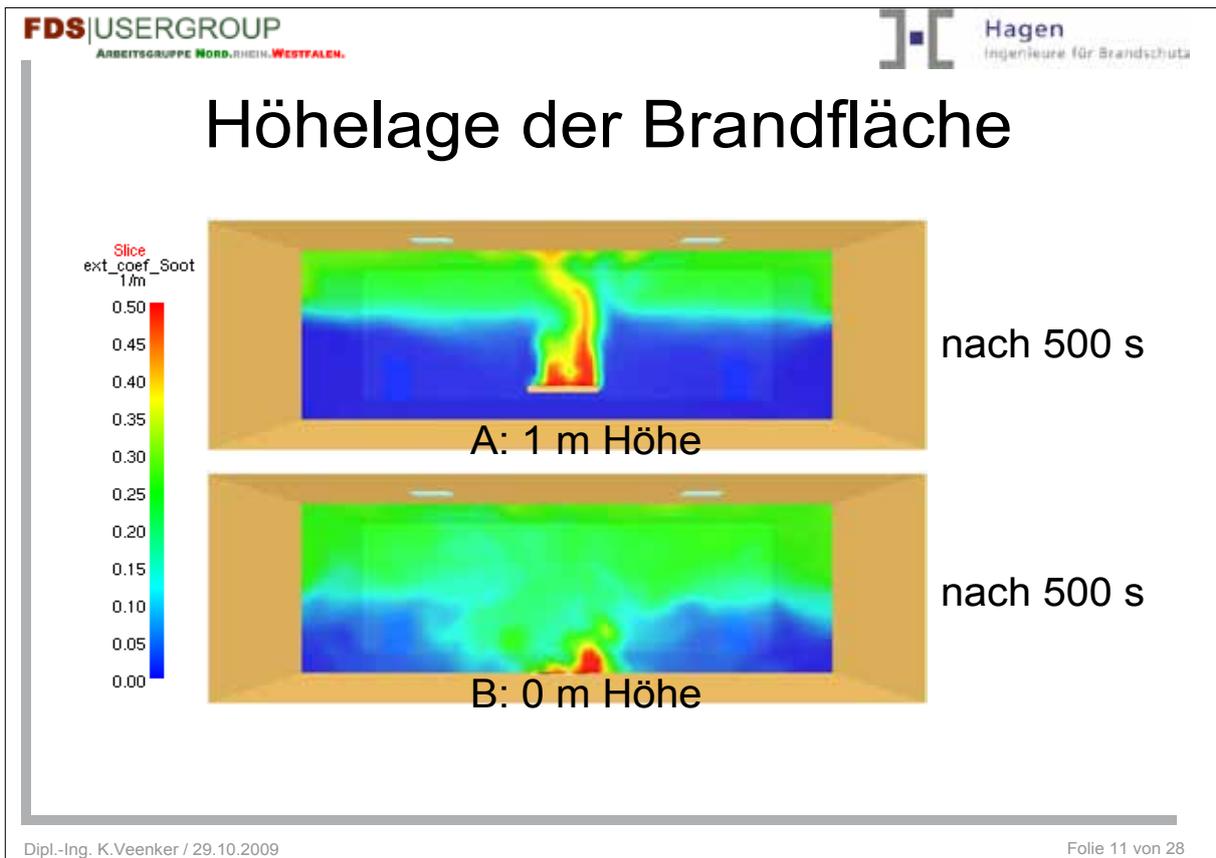
Höhelage der Brandfläche



nach 500 s



nach 500 s



FDS|USERGROUP
ARBEITSGRUPPE NORD-RHEIN-WESTFALEN

Hagen
Ingenieure für Brandschutz

Höhelage der Brandfläche

durch die unterschiedliche Höhe
der Brandfläche:

- Stabilere Schichtung im Allgemeinen
- Konstanz der Schichtung über einen längeren Zeitraum
- Höhe der Rauchsicht

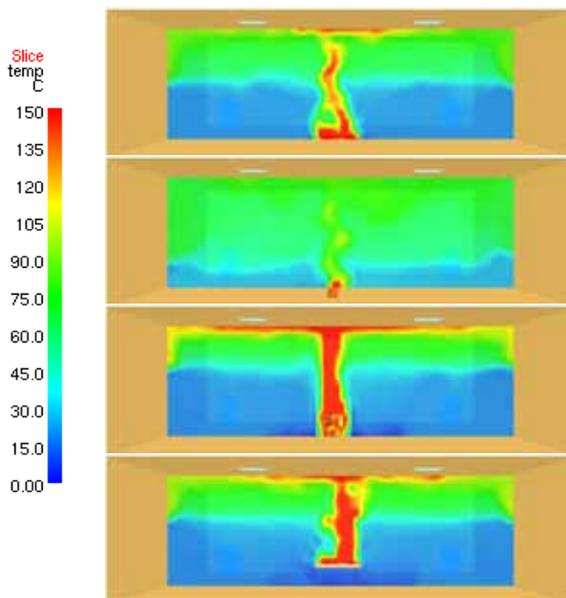
Dipl.-Ing. K.Veenker / 29.10.2009

Folie 12 von 28

Vergleich Brandflächenform

- Szenario A: Quadratisch (2 m x 2 m)
- Szenario B: längliche Fläche (0,4 m x 10 m)
- Szenario C: Würfel (1 m x 0,8 m x 0,8 m)
- Szenario D: Brandfläche auf 1 m Höhe, Quadratisch (2 m x 2 m)

Vergleich Brandflächenform



A: 2 m x 2 m
nach 100 s

B: 0,4 m x 10 m
nach 100 s

C: Würfel
nach 100 s

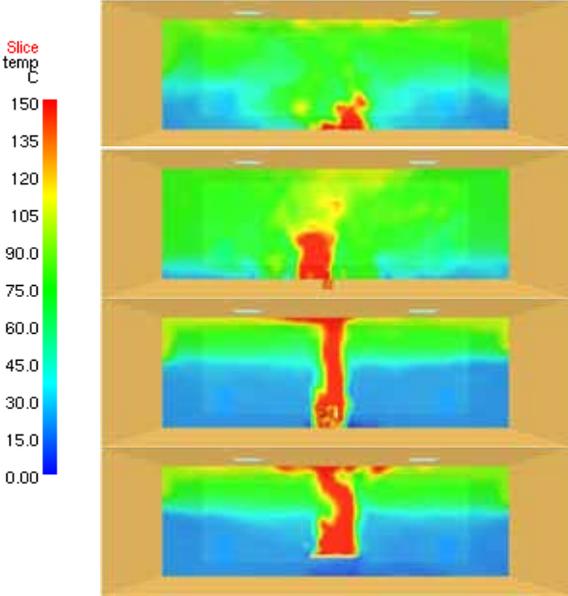
D: 2 m x 2 m
nach 100 s



ARBEITSGRUPPE NORDRHEIN-WESTFALEN



Vergleich Brandflächenform



Slice temp °C

150.0

135.0

120.0

105.0

90.0

75.0

60.0

45.0

30.0

15.0

0.00

A: 2 m x 2 m
nach 500 s

B: 0,4 m x 10 m
nach 500 s

C: Würfel
nach 500 s

D: 2 m x 2 m
nach 500 s

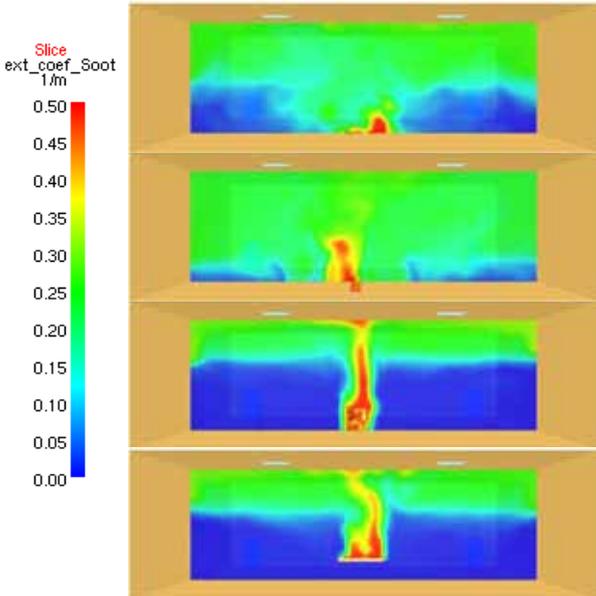
Dipl.-Ing. K.Veenker / 29.10.2009
Folie 15 von 28



ARBEITSGRUPPE NORDRHEIN-WESTFALEN



Vergleich Brandflächenform



Slice ext_coef_Soot 1/m

0.50

0.45

0.40

0.35

0.30

0.25

0.20

0.15

0.10

0.05

0.00

A: 2 m x 2 m
nach 500 s

B: 0,4 m x 10 m
nach 500 s

C: Würfel
nach 500 s

D: 2 m x 2 m
nach 500 s

Dipl.-Ing. K.Veenker / 29.10.2009
Folie 16 von 28

Vergleich Brandflächenform

Bei länglicher Fläche:

- frühzeitiges Absinken der Schichtgrenze

Bei einem Würfel:

- stabilere Schichtung
~ vergleichbar mit einem Brand auf
Höhe der Oberseite
- über einen längeren Zeitraum

Vergleich der Brandausbreitungseingabe

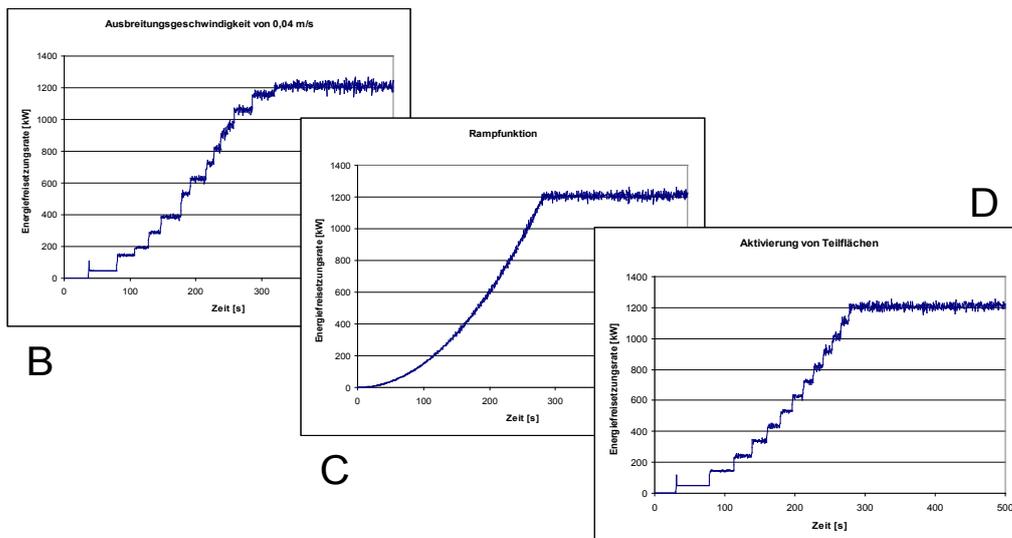
- Szenario A: Ohne Anlaufzeit
- Szenario B:
Ausbreitungsgeschwindigkeit
0,004 m/s
- Szenario C: Rampfunktion
- Szenario D: zeitlich versetztes Anlaufen
von Teilflächen

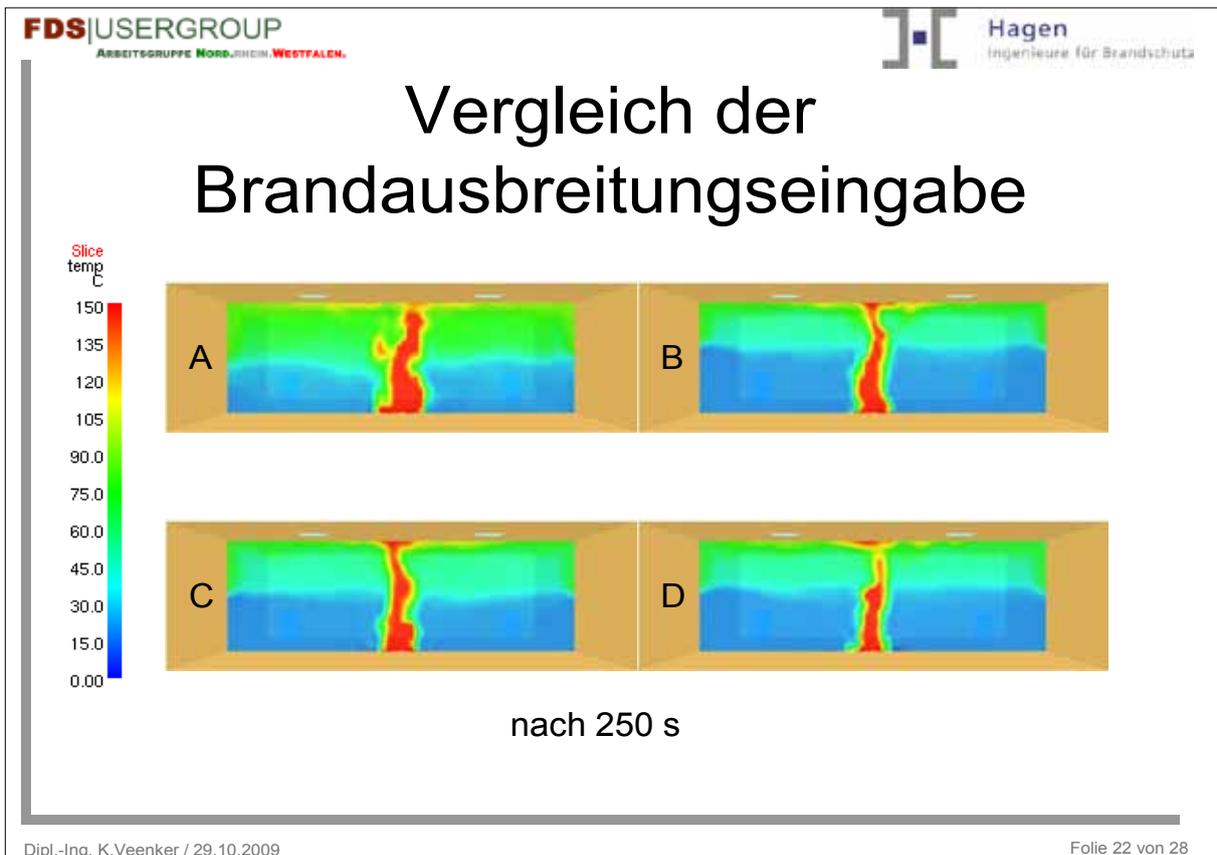
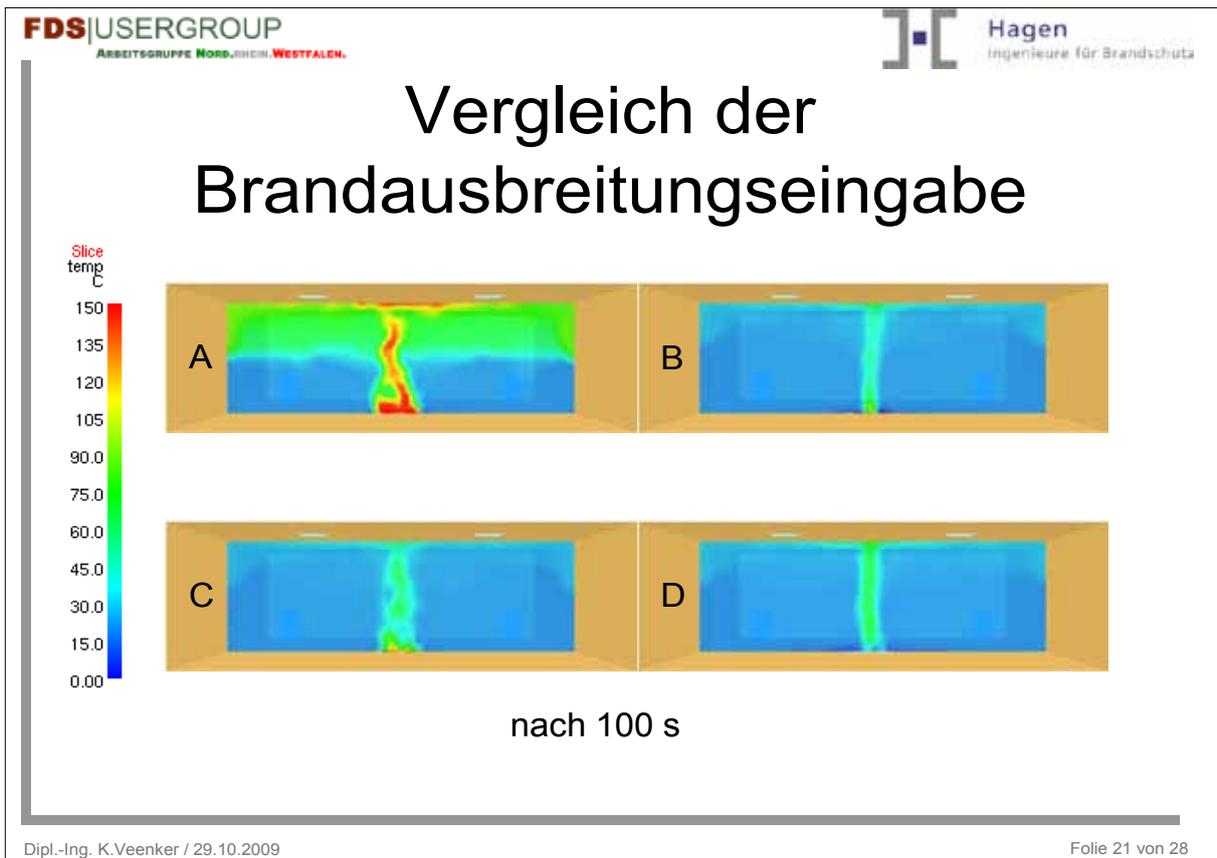
Vergleich der Brandausbreitungseingabe

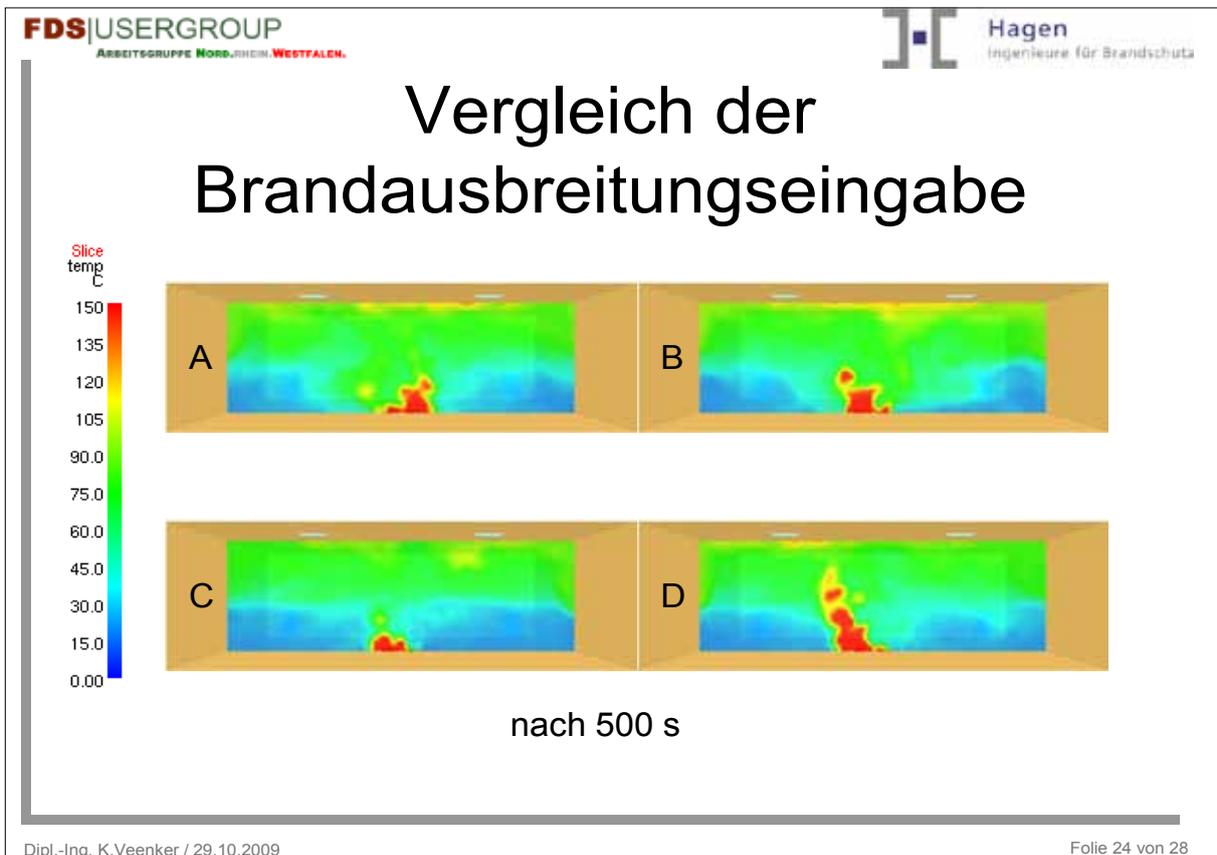
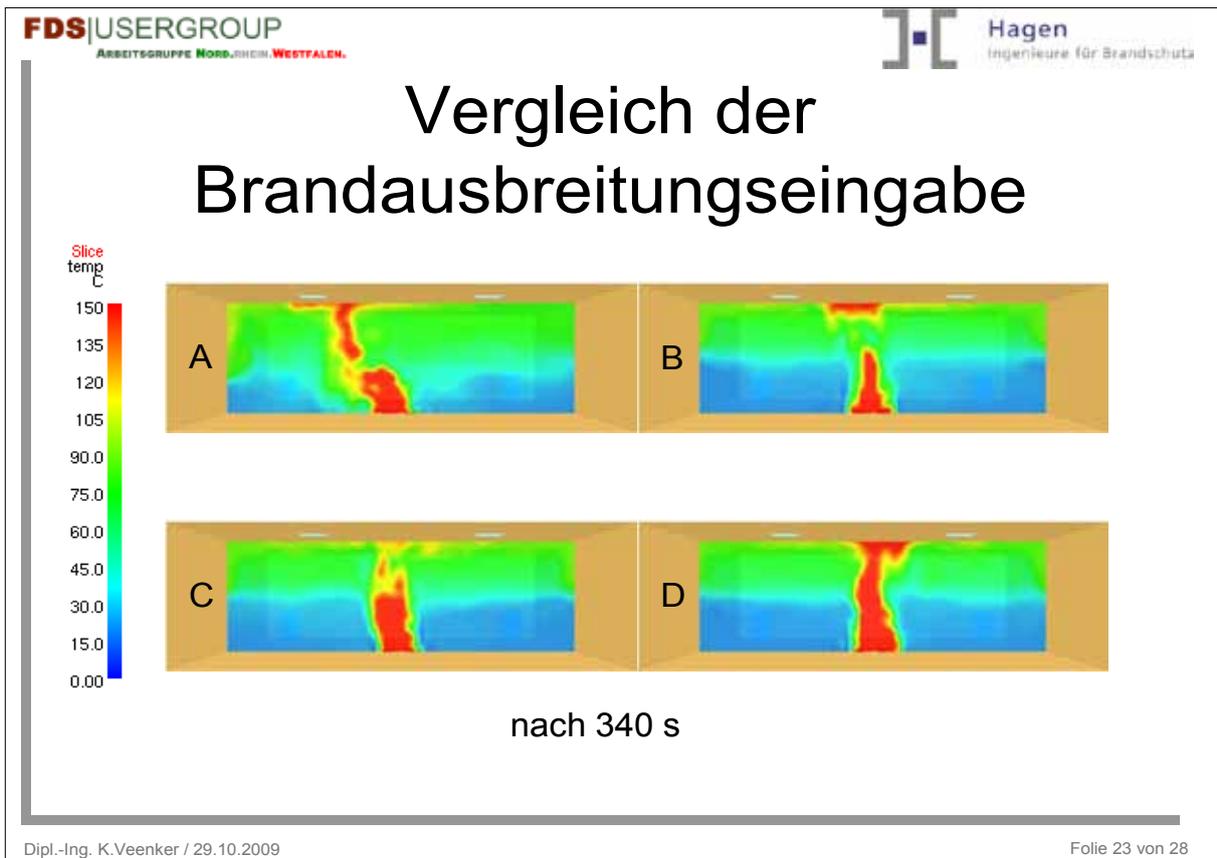
Aktivierung der Teilflächen im Szenario D

13	9	7	10	12
11	5	3	4	8
6	2	1	2	6
8	4	3	5	11
12	10	7	9	13

Vergleich der Brandausbreitungseingabe







Vergleich der Brandausbreitungseingabe

Rampfunktion:

- geringfügig stärkere Verrauchung in der Anfangsphase

Vergleichbarkeit der Ergebnisse:

- 200 s nach der vollständigen Ausbreitung

Fazit

- Effekt auf das Ergebnis ergaben sich aus der:
 - Flächenform
 - Flächengröße
 - Höhenlage
- Die Höhenlage hatte hier den größten Einfluss
- Würfelbrand entspricht etwa einem Brand auf Höhe der Oberseite

Fazit

- Ausbreitungsformen sind ~ 200 s nach der vollständigen Ausbreitung vom Ergebnis vergleichbar mit einem Lauf ohne Ausbreitungsform

Weiter fraglich

- Bei einer anderen Raumgröße könnte sich eine andere Relevanz zwischen den Einflussfaktoren ergeben
 - höherer Raum

Sebastian Metzger:**Vergleich von FDS und Star CCM+ anhand des Steckler Room Fires****Abstract:**

Unter dem Titel „Flow induced by fire in a compartment“ erschien im Jahr 1979 ein Labor Versuch von Steckler, Quintiere und Rinkinen, der heute als Benchmark unter dem Begriff „Steckler Room Fire“ bekannt ist.

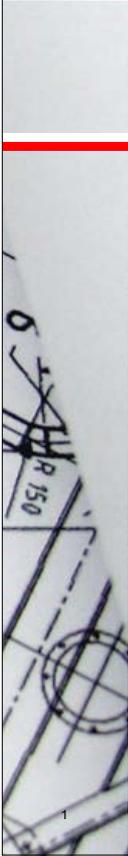
Ziel der Untersuchung war im stationären Zustand die durch das Feuer induzierte Strömung in Abhängigkeit der Energiefreisetzungsrate, des Brandortes und des Öffnungsgrades zu bestimmen.

Insgesamt wurden 55 Versuche durchgeführt bei denen das Temperaturprofil und die Strömungsgeschwindigkeit im Türausschnitt gemessen wurden.

Das Steckler Room Fire wird zur Validierung von CFD Programmen verwendet, unter anderem von McGrattan für FDS. Die „Fire Safety Engineering Group“ der University of Greenwich entwarf einen Benchmark für Brandsimulationssoftware auf Grundlage des Steckler Room Fires.

Bei dem Vergleich von FDS und Star CCM+ wird das Steckler Room Fire als Grundlage verwendet, Versuchsaufbau und - anordnung werden übernommen.

Die sich einstellenden Temperaturen und Strömungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Zellgröße und Zellart von FDS und Star CCM+ werden gegenübergestellt.



S. Metzger

Dr. P. R. Bailey

E. Schnell

Vergleich von FDS und Star CCM+ anhand des Steckler Room Fires

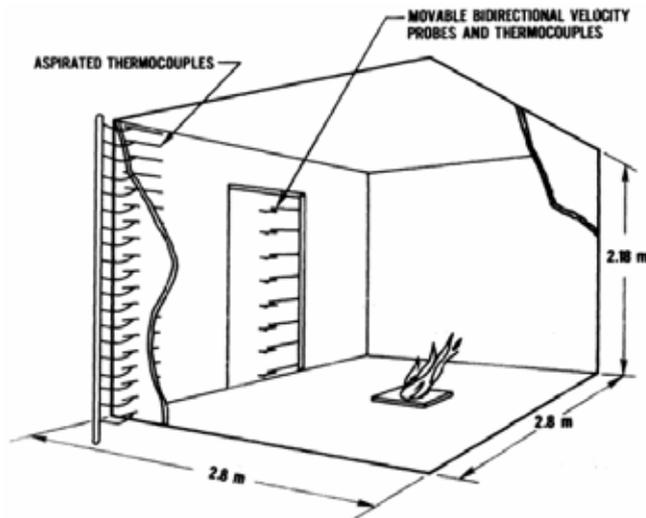
gruner >

Vergleich von FDS und Star CCM+ anhand des Steckler Room Fires

1. Labor Modell Steckler
2. FDS Modell
3. STAR CCM+ Modell
4. Diskretisierung
5. Temperatur
6. Strömungsgeschwindigkeit
7. Vergleich FDS und STAR CCM+
8. Vergleich FDS Gas / Thermocouple
9. Zusammenfassung

gruner >

1. Labor Modell Steckler



1. Labor Modell Steckler

Table 8-8
 Test 14; 4/6 door, 42.0 kW, location A

TEMPERATURE (°C)									
21									
20	129.15								
19	129.26								
18	129.32								
17	30.33	129.60	130.72	130.98	129.89	120.58	120.31	129.63	126.27
16	29.52	129.19	129.78	127.61	125.52	124.36	124.63	125.26	125.77
15	28.99	126.77	122.47	120.61	121.63	122.18	122.98	125.54	121.84
14		120.80	110.88	127.12	122.93	120.48	122.11	123.54	117.54
13		120.37	90.79	124.68	126.67	117.83	119.81	120.78	88.35
12		127.28	90.43	118.16	189.92	188.55	187.88	187.55	83.81
11		122.82	58.85	64.71	74.71	75.98	68.86	53.81	47.93
10		98.39	41.18	38.97	44.48	43.44	35.85	31.49	21.87
9		66.22	33.70	32.97	31.34	31.61	30.66	29.71	19.59
8		56.68	37.12	32.14	32.16	30.00	30.12	29.58	29.59
7		51.77	39.70	32.82	32.72	31.28	31.64	29.48	29.68
6		48.29	33.61	32.29	32.53	31.73	30.71	29.67	28.05
5		46.73	32.93	32.82	31.48	30.97	29.38	29.42	28.71
4		45.18	32.97	31.78	31.54	30.66	29.25	29.22	28.87
3		44.14	35.64	32.84	33.34	32.84	32.27	31.37	29.48
2		44.28	36.19	32.98	31.43	33.48	32.96	31.29	30.86
1									

VELOCITY (m/s)									
10	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
17	0.	2.39	2.25	2.18	2.15	2.21	2.14	2.42	0.
16	0.	1.94	1.73	1.66	1.62	1.67	1.75	1.95	0.
15	0.	1.61	1.51	1.43	1.37	1.45	1.54	1.62	0.
14	0.	1.27	1.25	1.16	1.15	1.24	1.32	1.34	0.
13	0.	1.16	0.96	0.94	0.91	0.88	0.97	0.83	0.
12	0.	0.93	0.73	0.76	0.76	0.78	0.71	0.67	0.
11	0.	0.23	0.32	0.25	0.23	0.37	0.25	0.22	0.
10	0.	-0.17	-0.31	-0.28	-0.28	-0.31	-0.40	-0.34	0.
9	0.	-0.42	-0.49	-0.45	-0.47	-0.51	-0.59	-0.57	0.
8	0.	-0.73	-0.58	-0.55	-0.58	-0.64	-0.78	-0.74	0.
7	0.	-0.82	-0.69	-0.62	-0.64	-0.70	-0.78	-0.74	0.
6	0.	-0.99	-0.75	-0.72	-0.75	-0.76	-0.85	-0.89	0.
5	0.	-0.94	-0.79	-0.73	-0.74	-0.77	-0.86	-0.91	0.
4	0.	-0.99	-0.85	-0.79	-0.77	-0.83	-0.91	-1.00	0.
3	0.	-1.03	-0.89	-0.76	-0.79	-0.83	-0.95	-0.95	0.
2	0.	-1.07	-0.93	-0.84	-0.82	-0.86	-0.99	-0.95	0.
1	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

$\Delta x = 0.106 \text{ m}$
 $\Delta z = 0.114 \text{ m}$
 $\tau_{in} = 1.027 \text{ s}$
 Outflow rate = 0.571 kg/s
 Inflow rate = 0.334 kg/s
 Outdoor temperature = 17.229 °C



2. FDS Modell

Randbedingungen ?!

>

Materialkennwerte !?

➤ Methan Brenner

d = 30 cm; HRR = 62.9 KW

➤ Fussboden

12.7 mm Holz Balken
+ 19 mm Calciumsilikat-Platte

CONDUCTIVITY	= 0.96
SPECIFIC_HEAT	= 1.0
DENSITY	= 2100.
EMISSIVITY	= 0.8
ABSORPTION_COEFFICIENT	= 0.315

➤ Wand + Decke

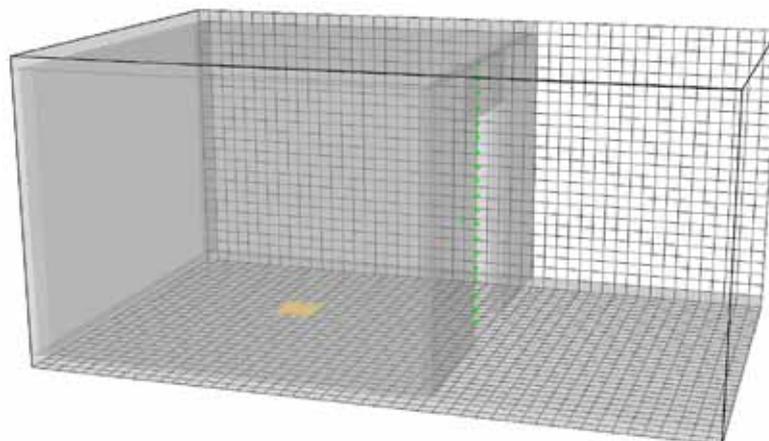
Holzbalken + 0.66 mm Alublech
+ 12.7 mm Keramikfaser Platte

➤ Umgebungstemperatur

27.2 - 29.6 °C (Test Nr. 14)

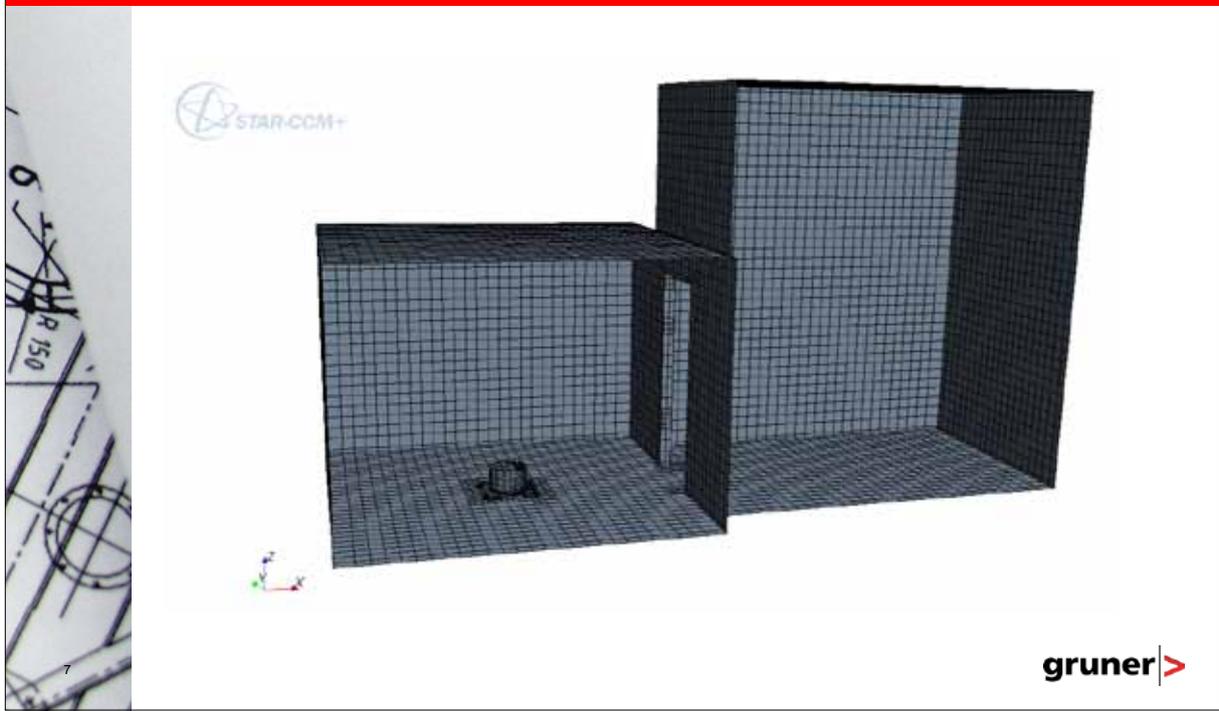
gruner >

2. FDS Modell



gruner >

3. STAR CCM+ Modell



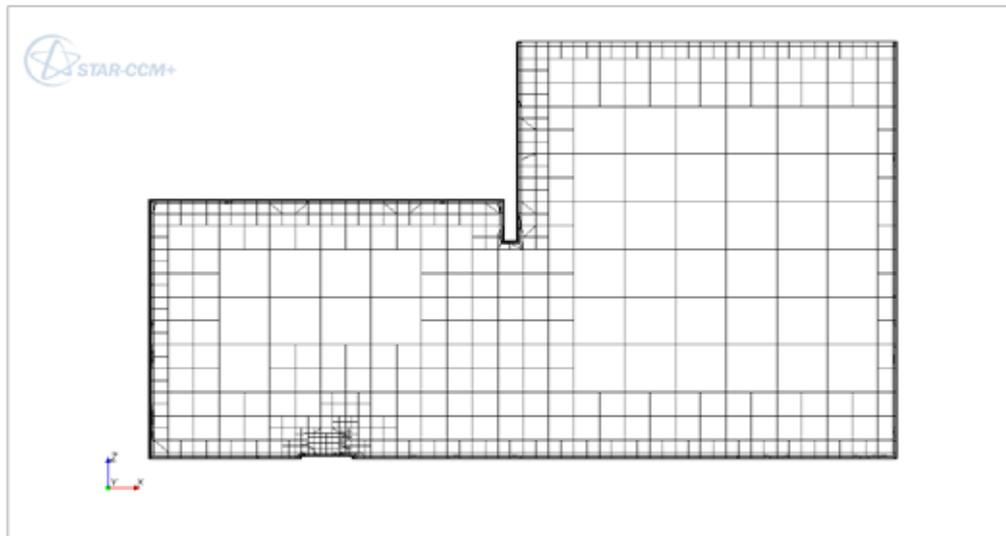
gruner >

4. Diskretisierung

Zellgrösse [cm]	10	10 grob	6.5	5	2.5
STAR CCM+	73'000	49'900	292'000	564'000	
FDS	35'280			282'240	2'257'920

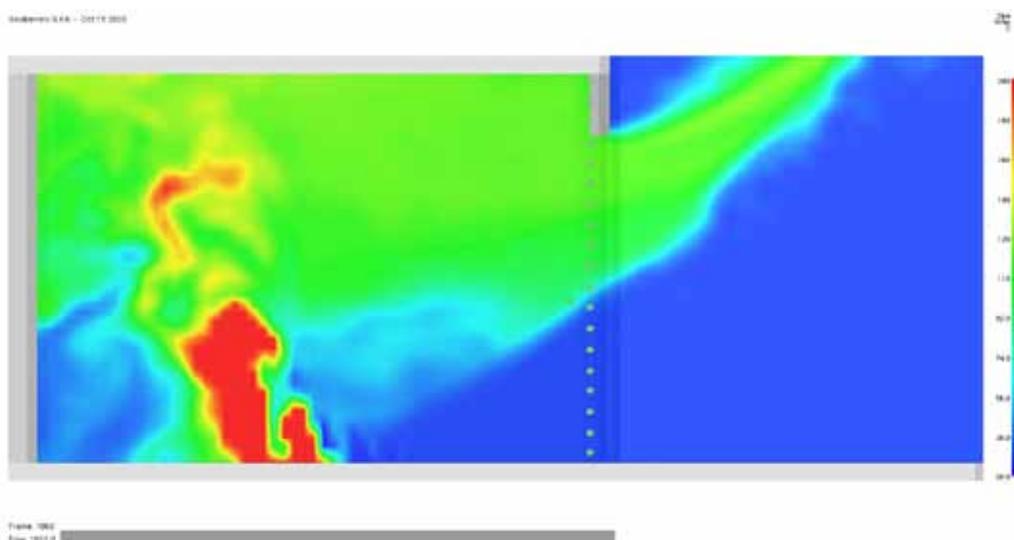
gruner >

4. Diskretisierung



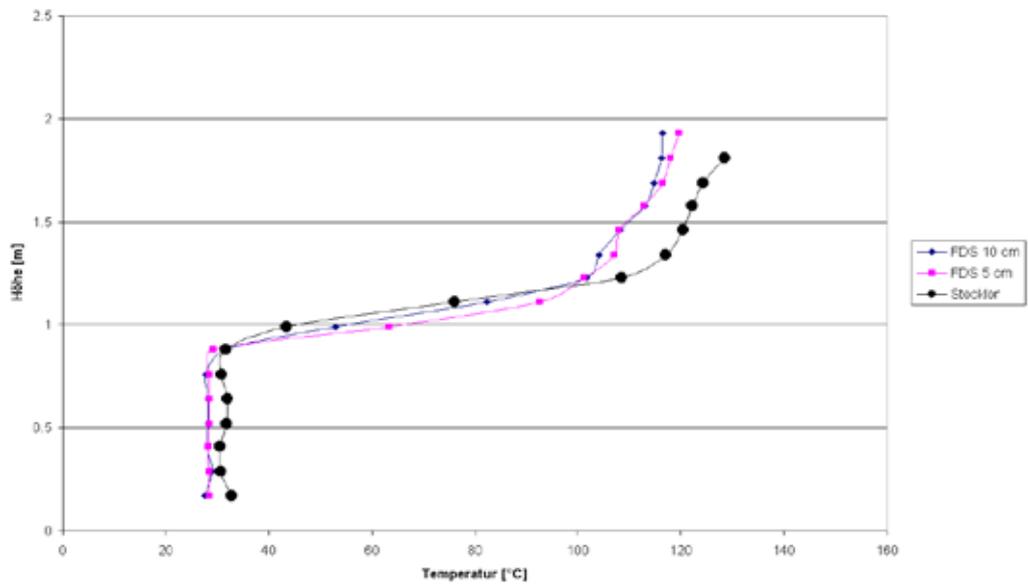
gruner >

5. FDS Temperatur



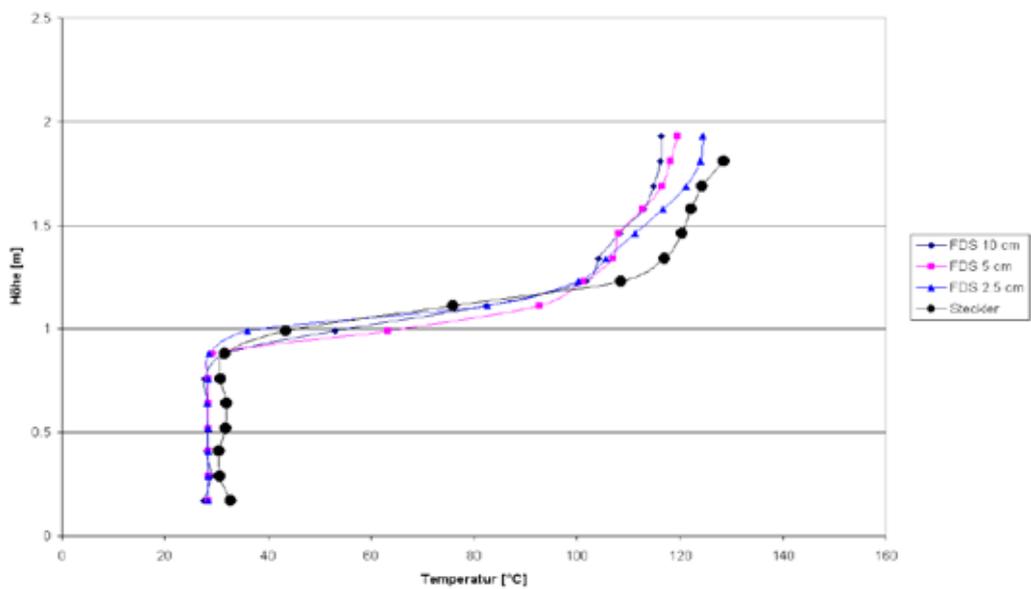
gruner >

5. FDS Temperatur



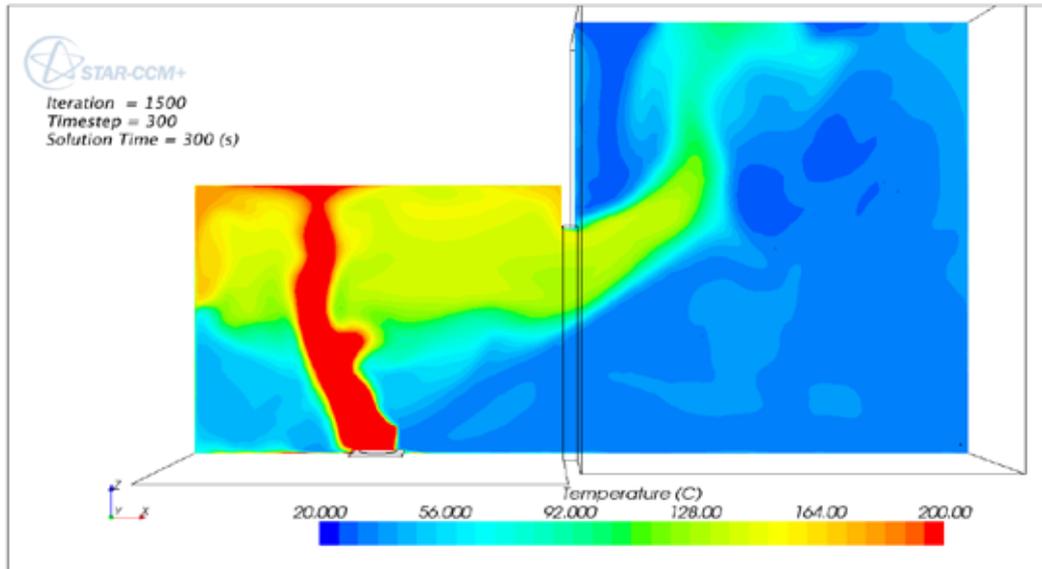
gruner >

5. FDS Temperatur



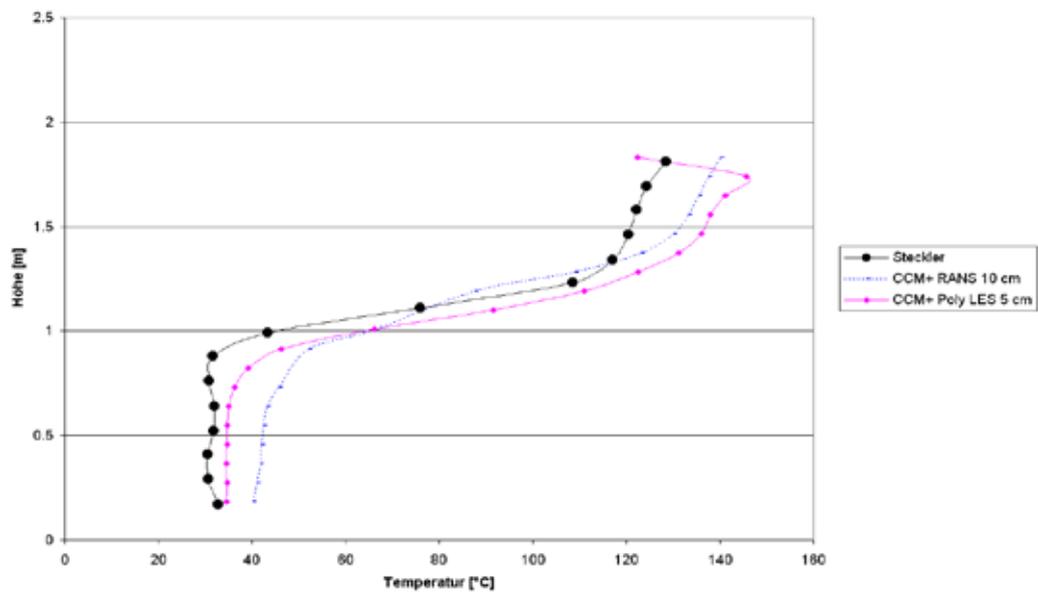
gruner >

5. STAR CCM+ Temperatur



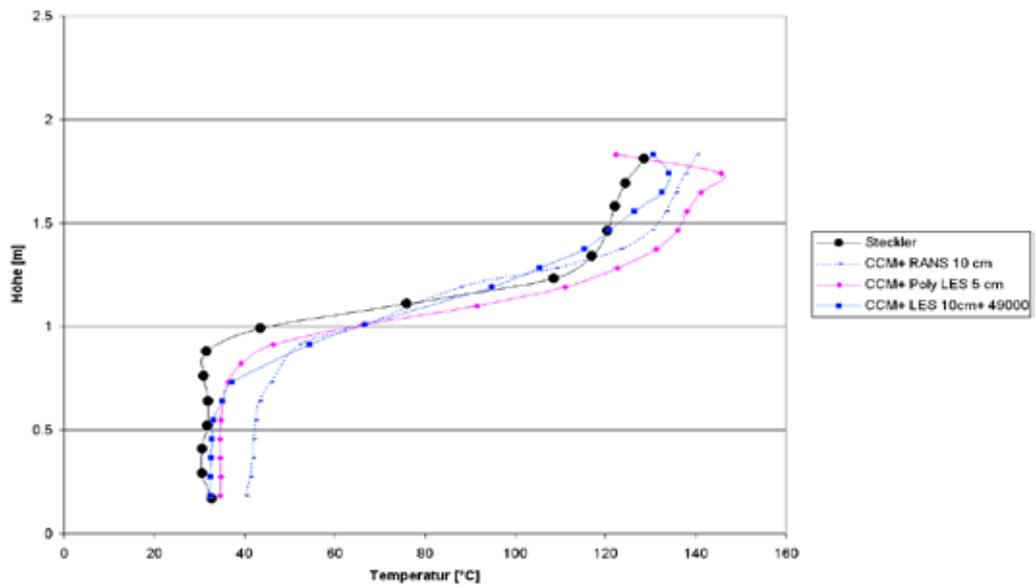
gruner >

5. STAR CCM+ Temperatur



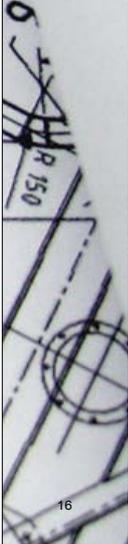
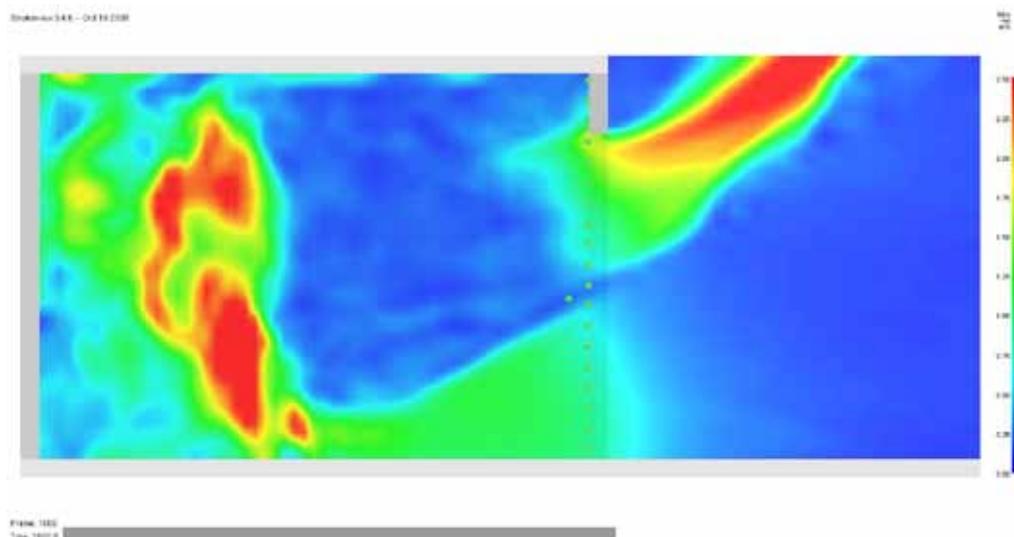
gruner >

5. STAR CCM+ Temperatur



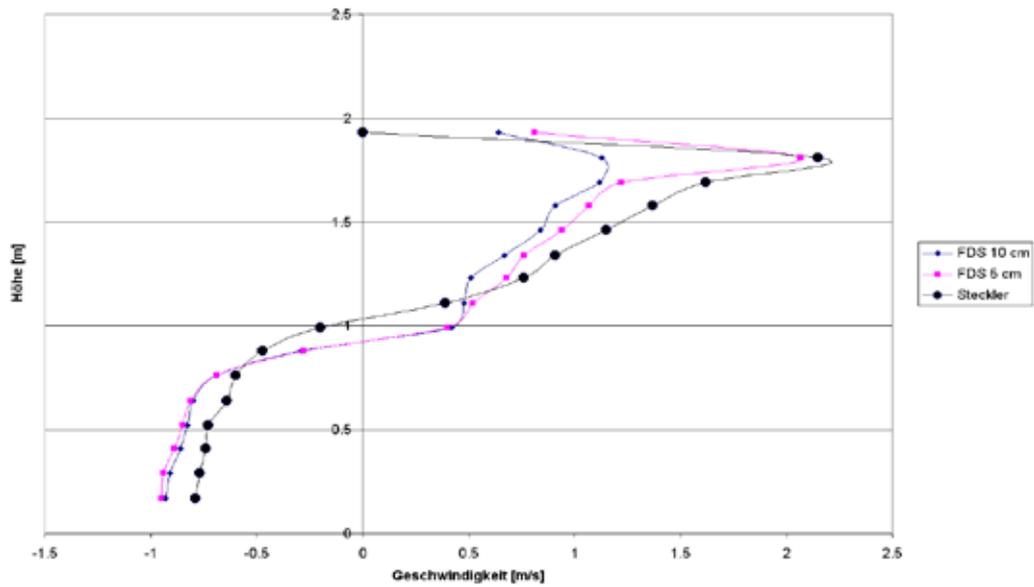
15

6. FDS Strömungsgeschwindigkeit



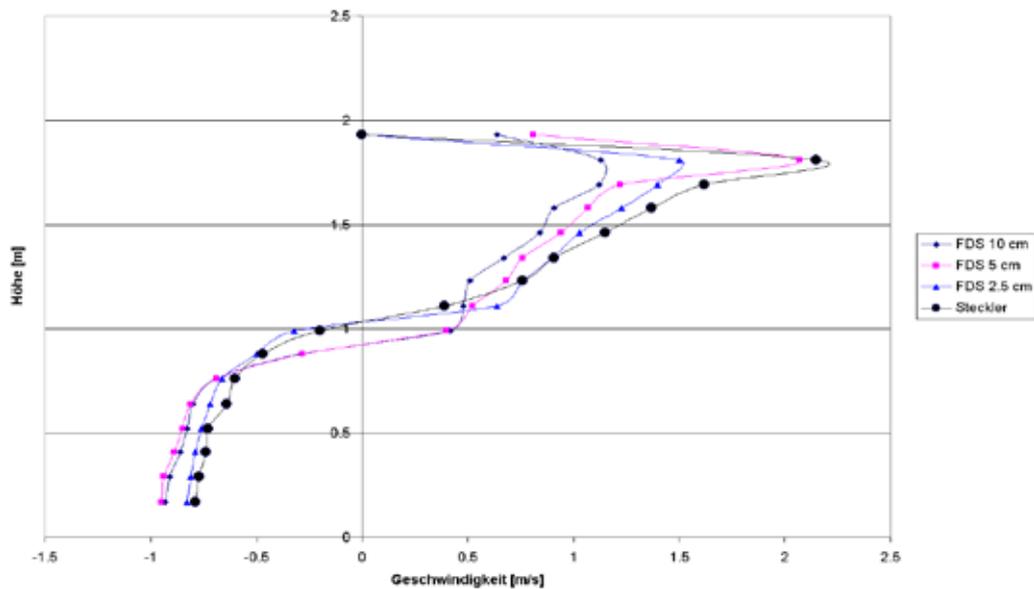
16

6. FDS Strömungsgeschwindigkeit



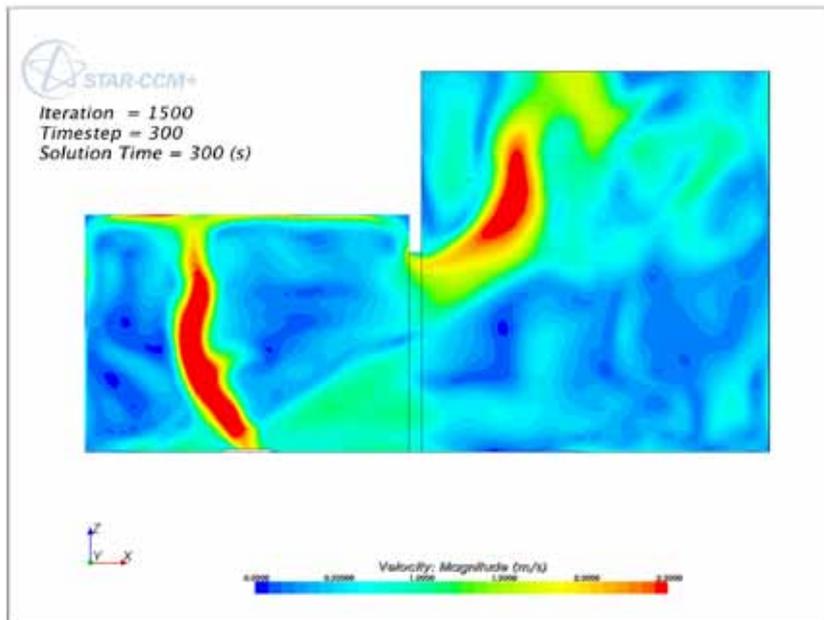
17

6. FDS Strömungsgeschwindigkeit



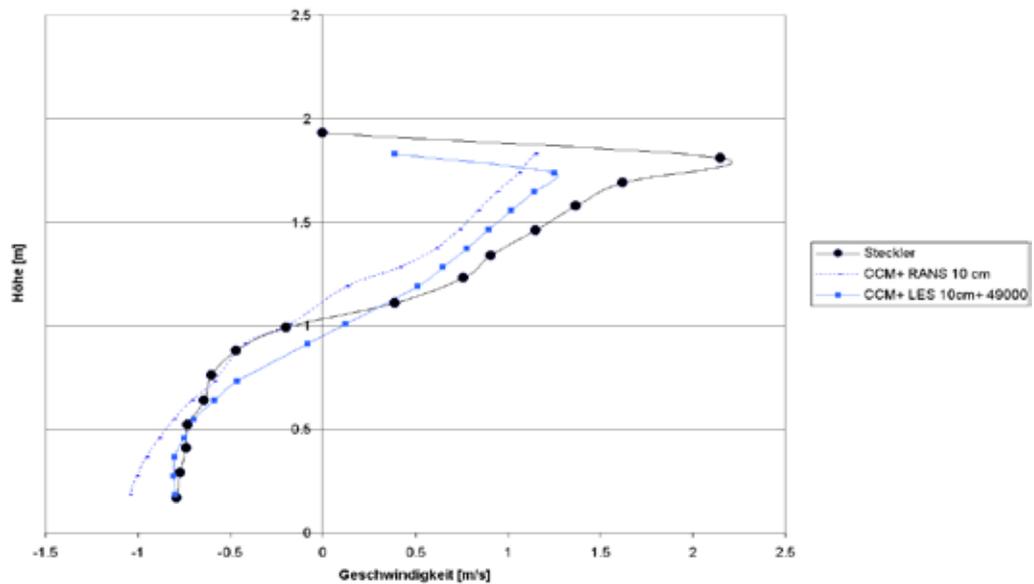
18

6. STAR CCM+ Strömungsgeschwindigkeit



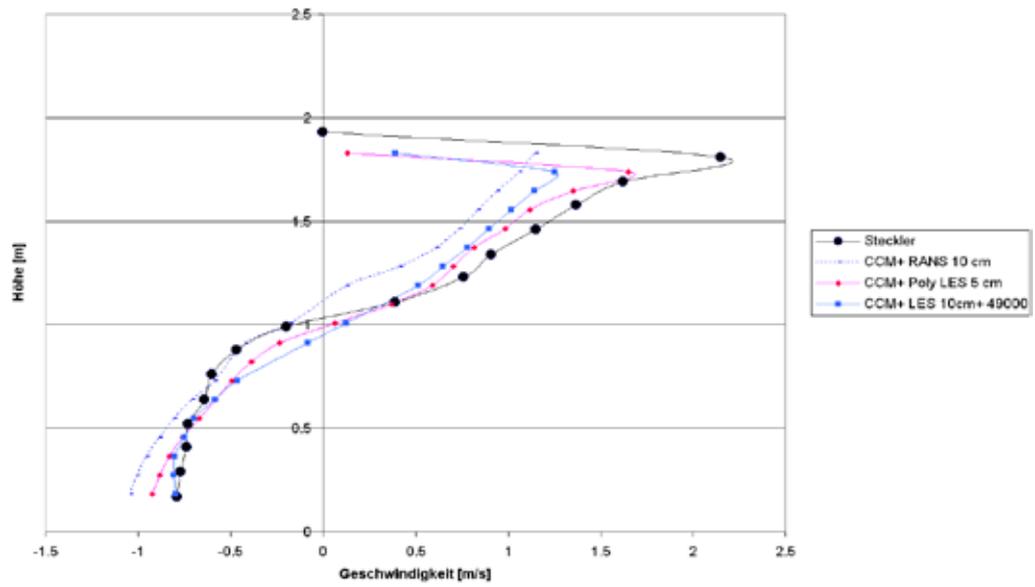
gruner >

6. STAR CCM+ Strömungsgeschwindigkeit



gruner >

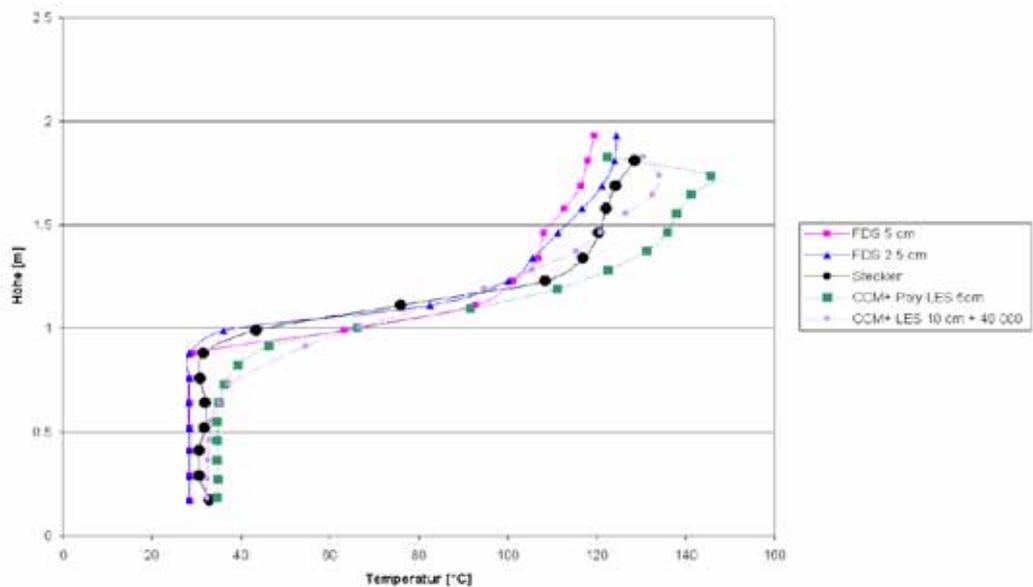
6. STAR CCM+ Strömungsgeschwindigkeit



21

gruner >

7. Vergleich FDS und STAR CCM+ Temperatur

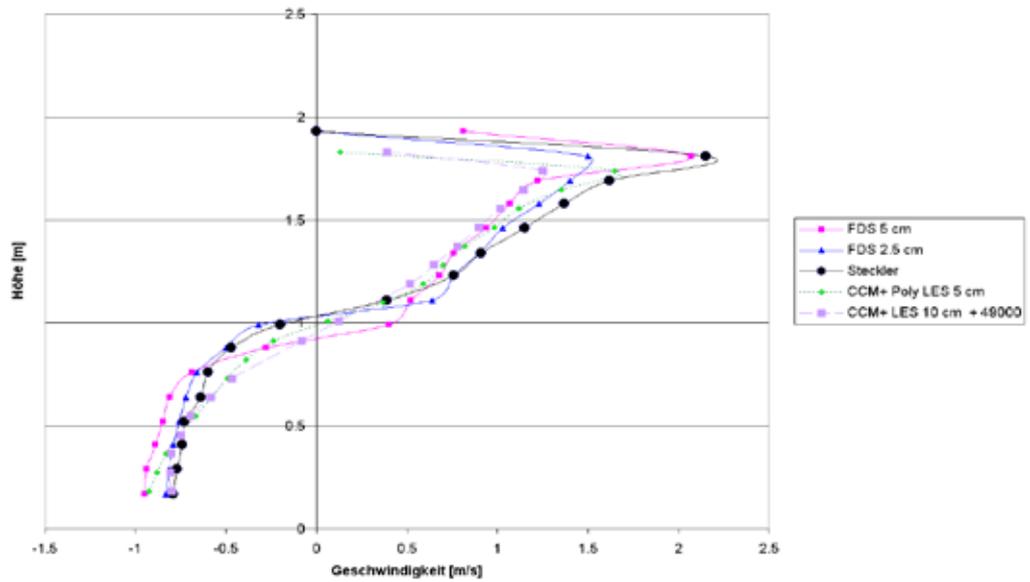


22

gruner >

7. Vergleich FDS und STAR CCM+

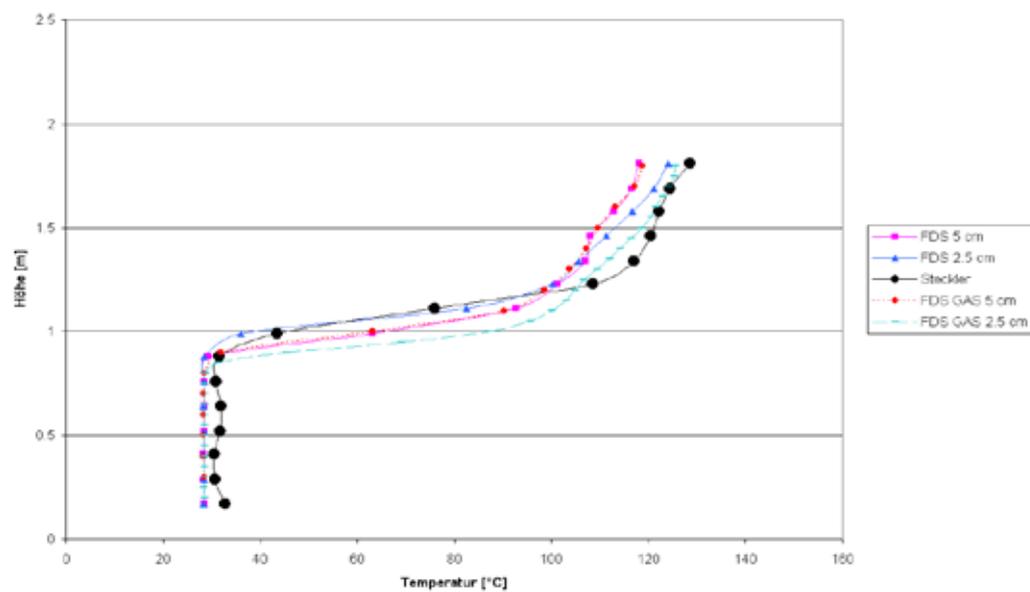
Geschwindigkeit



23

gruner >

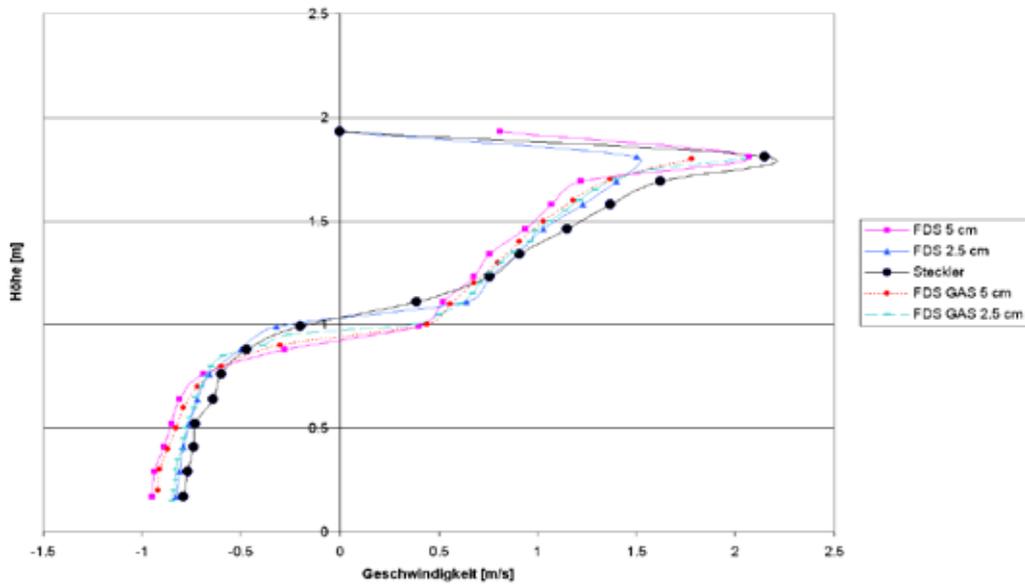
8. Vergleich FDS Thermocouple und Gas Temperatur



24

gruner >

8. Vergleich FDS Thermocouple und Gas Geschwindigkeit



9. Zusammenfassung

Qualitativ gleichwertige Ergebnisse

STAR CCM+

- + Geometrie wird exakt erfasst
- + automatisches Vernetzen
- + sehr schnell (RANS)
- + Brandsim. nur ein Teil der Software
- Lizenzkosten

FDS

- + Open Source
- + spez. Brandsim.
- grosse Modelle (Mesh / Zellen)
- komplexe Geometrien



→ bauklimatik, simulationen



team & work

von links nach rechts:

→ **Erwin Schnell** Dipl.-Ing. (TU) Luft- und Raumfahrttechnik
Senior Strömungssimulationen, Entrauchungssimulationen
erwin.schnell@gruner.ch +41-61-3176-275

→ **Peter Bailey** Dr.-Ing. Fluidynamik, Dipl.-Ing. (TU) Maschinenbau
Strömungssimulationen, Entrauchungssimulationen
peter.bailey@gruner.ch +41-61-3176-466

→ **Andreas Masch** Dipl.-Ing. (TU) Bauingenieurwesen
Strömungssimulationen, Entrauchungssimulationen, Bauphysik, Wärme- und Feuchteschutz
im konstruktiven Hochbau
andreas.masch@gruner.ch +41-61-3176-212

→ **Axel Seerig** Dr.-Ing. Thermodynamik Dipl.-Ing. (TU) Verfahrenstechnik
Abteilungsleiter Bauklimatik, Simulationen
axel.seerig@gruner.ch +41-61-3176-454

→ **Christian Dietrich** Dipl.-Ing. (FH) Gebäudetechnik
Entrauchungssimulationen, dynamische Gebäude- und Anlagensimulationen, Verschattungs-
und Energieertragsanalysen, Tageslichtsimulation
christian.dietrich@gruner.ch +41-61-3176-229

→ **Carina Sagerscheig** Dipl.-Ing. (FH) Gebäudetechnik
Energiekonzepte, dynamische Gebäude- und Anlagensimulationen, Gebäudetechnik
carina.sagerscheig@gruner.ch +41-61-3176-471

→ **Sebastian Metzger** Dipl.-Ing. (FH) Bauingenieurwesen
Entrauchungssimulationen
sebastian.metzger@gruner.ch +41-61-3176-459

gruner >

Benjamin Kloss:

Sprinkler und Nozzles in FDS-Simulationen

Abstract:

Die Untersuchung der Eingabeparameter und der Auswirkungen von Sprinklern mittels FDS-Simulationen wurde als dringendes Ziel in unserem letzten FDS Usergroup Treffen formuliert. Hierzu führten wir im Laufe des letzten Jahres mehrere Testrechnungen durch, die nun in einer Studie zusammengefasst dargestellt sind.

Im Rahmen dieser Studie wurden insbesondere folgende Aspekte untersucht: Eingabeparameter für Sprinkler und Nozzles, Auswirkungen von Sprinklern auf Rauchschichtungen, Auswirkungen von Sprinklern auf Brandherd und Energiefreisetzungsrate und Kühlung von Bauteilen.

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Sprinkler & Nozzles in FDS Simulationen



Benjamin Kloss

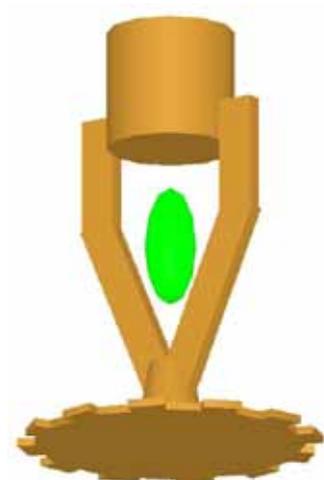
email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.deIngenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Inhaltsübersicht

- Eingabeparameter
- Auswirkungen auf den Brandherd
- Auswirkungen auf die Rauchschiichtung
- Auswirkungen auf die Temperatur
- Beispiele



Benjamin Kloss

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.deIngenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

&PART ID Eingabeparameter

Beispiel:

```
&PART ID = 'water drops',
  WATER = .TRUE.,
  QUANTITIES(1:3)='DROPLET_DIAMETER','DROPLET_TEMPERATURE','DROPLET_AGE',
  DROPLETS_PER_SECOND = 1000,
  DIAMETER = 500.,
  SAMPLING_FACTOR = 1 ,
  AGE = 5.,
  DT_INSERT = 0.05,
  EVAPORATE = .TRUE.
  INITIAL_TEMPERATURE = 20.,/
```

Benjamin Kloss

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

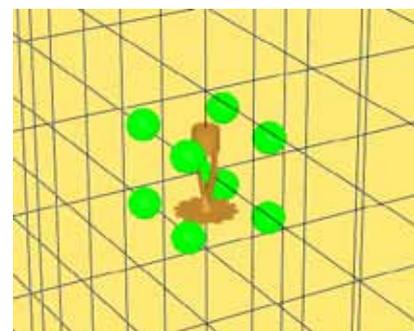
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

&DEVC ID Eingabeparameter

Beispiel:

```
&DEVC ID = 'Spr_1_01',
  XYZ = 2.4, 3.0, 9.6,
  PROP_ID = 'sprk', (oder 'nozzle')
  ORIENTATION = 1.0,0.0,0.5,/
```

- Default-Wert für Orientation: **0, 0, -1**
(nach unten ausgerichtet)



Benjamin Kloss

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

&PROP ID Auslösearten

- Folgende Auslösearten sind möglich:
 - Auslösung nach einer bestimmten Zeit, Beispiel:


```
&DEVC ID='Sprk', XYZ=3.0,3.0,4.0, PROP_ID='SPRK', QUANTITY='TIME', SETPOINT=1./
```

Eingabe hier direkt in der DEVC-Zeile
 - Auslösung nach sprinklerspezifischen Parametern (gilt nicht für Nozzles):
 - Auslösetemperatur (Activation Temperature)
 - Response Time Index (RTI)
 - C-Faktor

Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

&PROP ID Auslösetemperatur

- Eingabe:


```
&... ACTIVATION_TEMPERATURE = 68., .../
```

 - Einheit: [°C]
 - Default-Wert: 74 °C
 - Standardwerte:

orange	-	57 °C
rot	-	68 °C
gelb	-	79 °C
grün	-	93 °C
blau	-	141 °C
malve	-	182 °C
schwarz	-	260 °C




Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

&PROP ID

Trägheitsindex / Response Time Index (RTI)

- Eingabe:
 - &... RTI = 50.0, .../
- Einheit: $[\sqrt{(m \cdot s)}]$
- Default-Wert: 100 $\sqrt{(m \cdot s)}$
- RTI wird bei einem Sprinkler durch die Dicke der Glasampulle bestimmt
- Standardwerte:

Fast-Response	-	< 50	→	3 mm
Special-Response	-	50 – 80	→	4 mm
Standard-Response	-	80 – 200	→	5 mm



Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

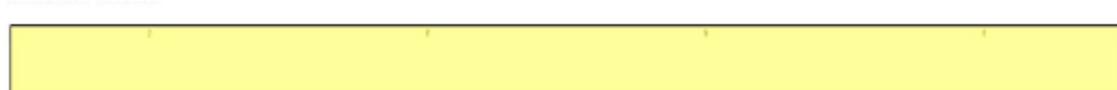
Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

&PROP ID

Response Time Index (RTI)

- Testrechnung mit vier unterschiedlichen RTI-Werten (v.l.n.r.)
 - RTI 50
 - RTI 80
 - RTI 120
 - RTI 165 (Default-Wert)

Smokeview 5.3.18 - Jan 30 2009



File: 1
Time: 0:2

DEVICE Activation Times

1 Sprk_50	22.4 s
2 Sprk_80	34.6 s
3 Sprk_120	50.8 s
4 Sprk_165	69.2 s

Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

&PROP ID

Wärmeleitfaktor (C-Faktor)

- Eingabe:

&... C_FACTOR = 0.0, .../

- Einheit: $[\sqrt{\text{m/s}}]$
- Default-Wert: 0
- C-Faktor gibt die Menge an Wärme an, die durch die Halterung vom Messelement (Glasampulle, Schmelzlot) abgeführt wird.
- In der VDI 6019 wurden die Auslösezeiten mit einem C-Faktor von 0,7 bestimmt



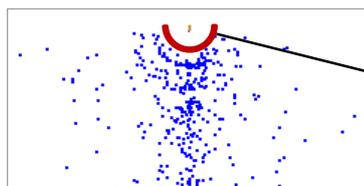
&PROP ID

Offset

- Eingabe:

&... OFFSET = 0.10, .../

- Offset gibt den Abstand vom Sprinklerkopf an, ab dem sich einzelne Tropfen ausbilden
- Einheit: Meter [m]
- Default-Wert: 0,05 m



Darstellung in Smokeview

OFFSET



Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

&PROP ID Sprühwinkel

- Eingabe:
 - `&... SPRAY_ANGLE = 30.,80., .../`
 - Werte geben den Bereich an, in dem die Partikel abgesetzt werden
 - Einheit: [°]
 - Default-Wert: 60., 75.

Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

&PROP ID Beispiele Sprühwinkel 1,2 s nach Auslösung

SPRAY_ANGLE=0.,0.

SPRAY_ANGLE=90.,90.

SPRAY_ANGLE=0.,90.

SPRAY_ANGLE=60.,75.
(default)

Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

&PROP ID Sprühwinkel

- Eingabe komplexer Sprühbilder:

```
&... SPRAY_PATTERN_TABLE = ' TABLE1', .../  
&TABL ID = ' TABLE1', TABLE_DATA = 40, 50, 95, 10, 0.5 /  
&TABL ID = ' TABLE1', TABLE_DATA = 40, 50,195, 10, 0.5 /
```

- Anwendungsbeispiel: Weitwurf-Wandsprinkler



&PROP ID Volumenstrom

- Eingabe:

```
&... FLOW_RATE = 100.0, .../
```

- Gibt den Durchfluss pro Minute an
- Einheit: [l/min]
- Default-Wert: ---
- Alternative Eingabe über

```
&... K_FACTOR = 80, OPERATING_PRESSURE = 1.0 , .../
```

- K-Faktor laut Herstellangaben
- Betriebsdruck in bar

&PROP ID

Betriebsdruck

- Simulation eines Druckabfalls beim Öffnen mehrerer Sprinklerköpfe möglich
- Eingabe über:

```
&... PRESSURE_RAMP = 'PR1', ...      /  
&RAMP ID = 'PR1', T = 1, F = 16.0    /  
&RAMP ID = 'PR1', T = 2, F = 10.0    /  
&RAMP ID = 'PR1', T = 3, F = 8.0     /
```

- Löst ein Sprinkler aus, so ist der Druck am Sprinkler 16.0 bar
- Lösen zwei Sprinkler aus, so liegt der Druck bei 10.0 bar
- Lösen drei oder mehr Sprinkler aus, ist der Druck an den Köpfen 8,0 bar

&PROP ID

Tropfen-Geschwindigkeit

- Eingabe:

```
&... DROPLET_VELOCITY = 10.0, .../
```

- Gibt die Anfangs-Geschwindigkeit der Wassertropfen an
- Einheit: [m/s]
- Default-Wert: 5 m/s

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Eingabeparameter

Beispiel Minimax Sprinkler 21: SP – 24 – K80

```

&PART ID = 'water drops',
  WATER = .TRUE.,
  DIAMETER = 750.,
  SAMPLING_FACTOR = 1, /

&PROP ID = 'sprk',
  QUANTITY = 'SPRINKLER LINK TEMPERATURE',
  PART_ID = 'water drops',
  ACTIVATION_TEMPERATURE = 68.0,
  RTI = 50.0,
  C_FACTOR = 0.7,
  K_FACTOR = 80,
  OFFSET = 0.1,
  FLOW_RATE = 113.14,
  DROPLET_VELOCITY = 11.0,
  SPRAY_ANGLE = 10., 90. /

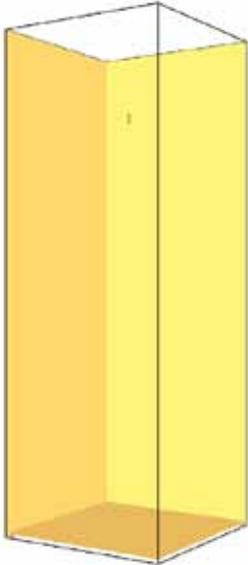
&DEVC ID = 'Spr_1_01', XYZ = 2.4, 3.0, 9.6, PROP_ID = 'sprk' /
    
```

Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Netzauflösung

Vergleich unterschiedlicher Zellengrößen



- Untersuchung der Auslösezeiten in Abhängigkeit der Netzauflösung
- Aktivierungstemperatur: 68°C
- RTI-Wert: 50 $\sqrt{(m \cdot s)}$
- Ergebnisse:

Zellengröße [cm]	Auslösezeit [s]
5	41,6
10	41,8
20	41,8
25	42,0
50	42,3

Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Einfluss auf Energiefreisetzungsrate

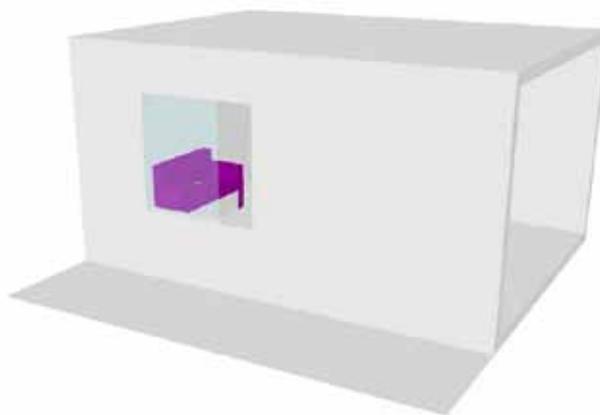
Mixture Fraction

- Sprinkler haben in FDS keinen Einfluss auf die Energiefreisetzungsrate im Mixture Fraction Modell
- übliches Vorgehen:
 - Errechnen einer korrigierten Energiefreisetzungsrate mit Hilfe des vfdb-Leitfadens und der VDI 6019
- Auslösezeiten nach VDI 6019 (mit FDS 2 ermittelt) sind etwas länger als mit FDS 5 nachgerechnet

Einfluss auf Energiefreisetzungsrate

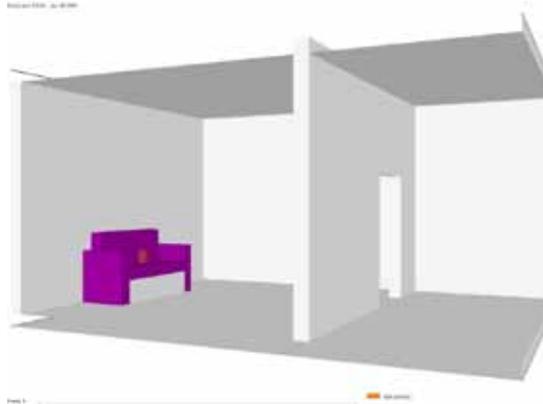
Pyrolysemodell

- Beispieldatei *couch.fds* wurde in einen Raum mit Sprinklerschutz integriert
- Vergleichsrechnung ohne Sprinklerung

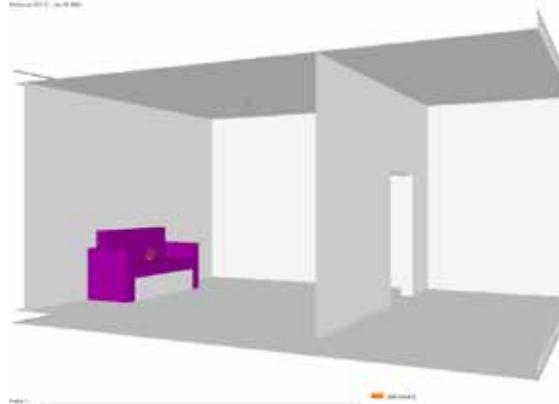


Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Einfluss auf Energiefreisetzungsrate Pyrolysemodell



- Simulation ohne Sprinklerung
- Darstellung von *HRRPUV* und *soot MASS FRACTION*



- Simulation mit Sprinklerung
- Darstellung von *HRRPUV*, *soot MASS FRACTION* und *PARTICLES*

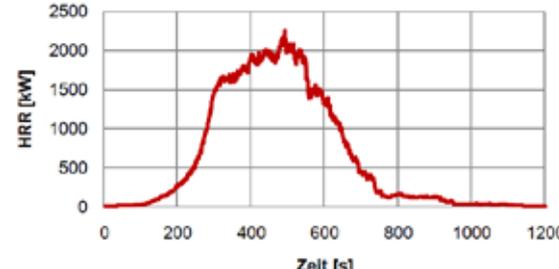
Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

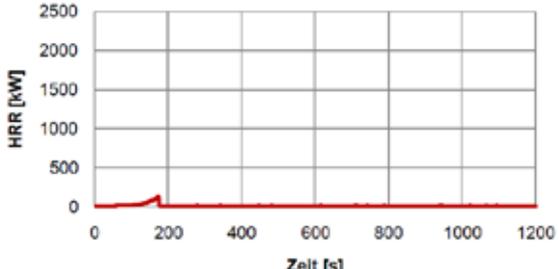
Einfluss auf Energiefreisetzungsrate Pyrolysemodell

- Vergleich der HRR-Kurven

ohne Sprinklerung



mit Sprinklerung

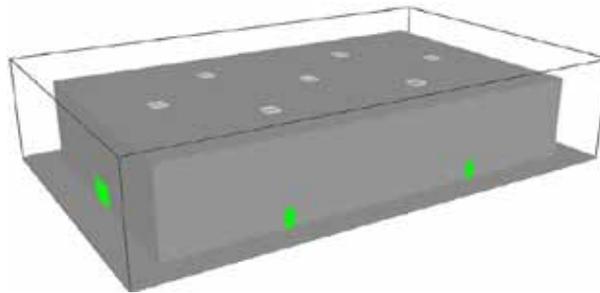


Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Einfluss auf Rauchschichtungen

Geometrie der untersuchten Halle

- Grundfläche: 1.500 m²
- Höhe: 10 m
- Zuluft (geom.): 29 m²
- NRA (geom.): 18 m²
- Bemessungsgruppe (DIN 18232): 4



Einfluss auf Rauchschichtungen

Brandherd

allgemein:

- Brandausbreitungsgeschwindigkeit: 0,25 m/min
- spezifische Energiefreisetzung: 300 kW/m²

„unkorrigiert“:

- Größe: 41 m²
- Brandentwicklungsdauer: 15 min

Einfluss auf Rauchschichtungen

Sprinkler

Einbauhöhe: 10 cm unter der Decke

Eingabeparameter:

- Aktivierungstemperatur: 68°C
- RTI: 50 $\sqrt{(\text{m}\cdot\text{s})}$
- Sprühwinkel: 10° / 90°
- K-Faktor: 80
- Durchfluss: 113 l/min

→ Aus der Simulation ergeben sich folgende Auslösezeiten der Sprinkler:

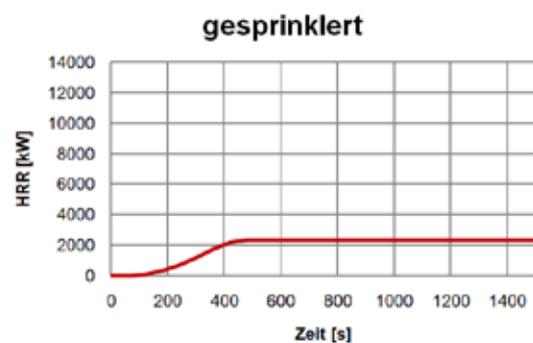
1. Sprinklerkopf (Spr_4_06): 316,0 s
2. Sprinklerkopf (Spr_4_05): 440,6 s

Einfluss auf Rauchschichtungen

Brandherd (gesprinklertes Szenario)

„korrigiert“:

- Größe: 7,84 m²
- Brandentwicklungsdauer: 336 s

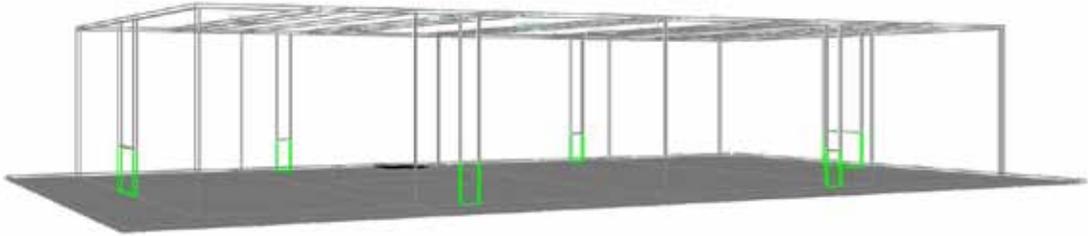


Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Einfluss auf Rauchschichtungen Vergleich der Szenarien

ungesprinklerter Szenario

Skizze 9.3.19 - Jan 30 2019



Frame 1
Time: 20

SOOT MASS FRACTION

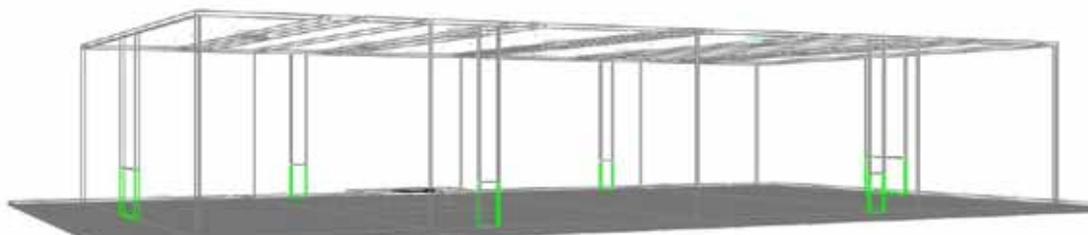
Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Einfluss auf Rauchschichtungen Vergleich der Szenarien

gesprinklerter Szenario

Skizze 9.3.19 - Jan 30 2019



Frame 1
Time: 20

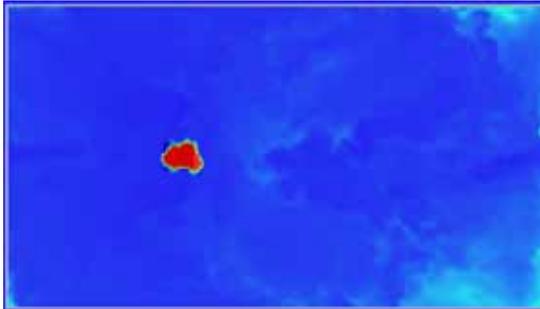
SOOT MASS FRACTION

Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

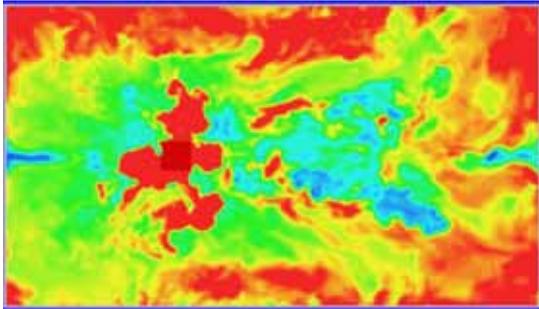
Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Einfluss auf Rauchschichtungen Vergleich der Szenarien

Ansicht der optischen Dichte im Horizontalschnitt bei $z = 2,6$ m und $t = 1200$ s



Simulation ohne Sprinklerung mit
Brandverlaufskurve wie gesprinklertes Szenario



Simulation unter Berücksichtigung der Sprinkler

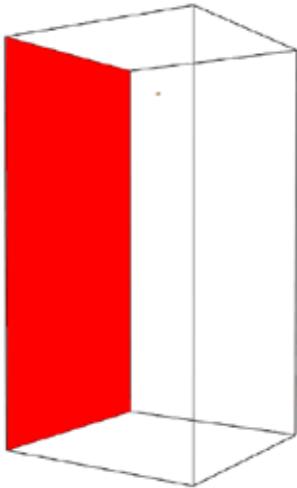


Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Einfluss auf Temperaturen Beispiel water-cooling

Smokeview 5.9.10 - Jan 30 2005



Frame: 1
Time: 0.00



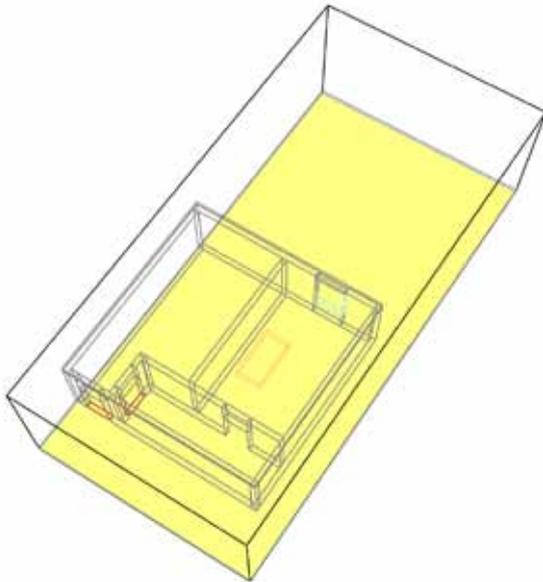
Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Beispiel Hydraulische Entlüftung

Eingabeparameter:

```
&DEVC XYZ=6.0,2.0,1.2, PROP_ID='nozzle',
ORIENTATION=1,0,0.5,
QUANTITY='TIME',
SETPPOINT=490.,
ID='noz_1' /
&PROP ID='nozzle'
PART_ID='water drops'
FLOW_RATE=400.
OPERATING_PRESSURE = 5.0
DROPLET_VELOCITY=15.0
SPRAY_ANGLE=0.,25. /
&PART ID='water drops', WATER=.TRUE.,
DROPLETS_PER_SECOND=2000,
DIAMETER=500.,
SAMPLING_FACTOR=1 /
```

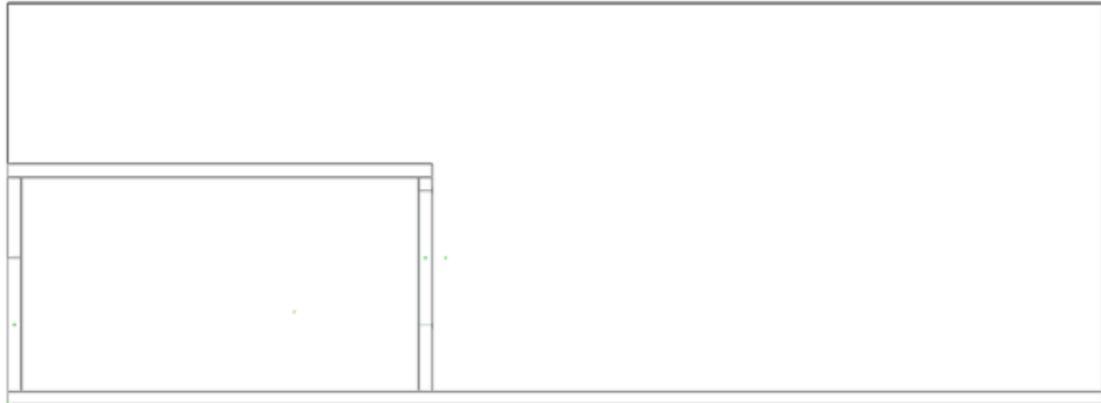


Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Beispiel Hydraulische Entlüftung

Spektrator 5.3.18 - Jan 28 2019



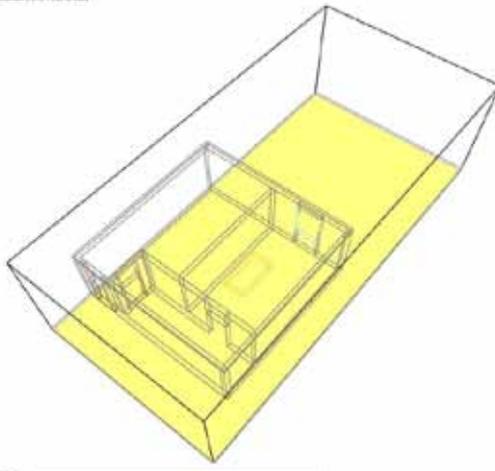
Frank 0
Time: 0.0

Sprühbild

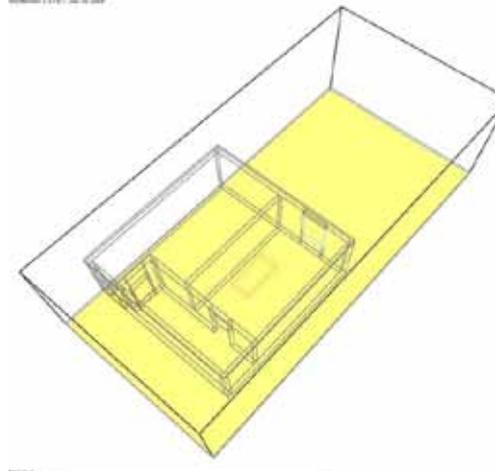
Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Beispiel Hydraulische Entlüftung



ohne NOZZLE



mit NOZZLE

Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Fazit

- Es ist vorher abzuwägen, ob die Simulation von Sprinklern notwendig und sinnvoll ist
- Sprinklerparameter müssen bekannt sein
- Bei Anwendung des Pyrolysemodells müssen Verbrennungsparameter und Materialien bekannt sein
- Konservativen Ansatz wählen → „kontrollierter“ Brandverlauf
- Bei Temperaturbemessung: Ausfallwahrscheinlichkeit von Sprinklern berücksichtigen

Benjamin Kloss email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

hhpberlin
Ingenieure für Brandschutz
GmbH

Hauptsitz:
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Phone: +49 (0)30 895955-0
Fax: +49 (0)30 895955-100

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Geschäftsführer:

Dipl.-Ing. Margot Ehrlicher
Dipl.-Inf. BW (VWA) Stefan Truthän
Dipl.-Ing. Karsten Foth

Prokurist:

Dipl.-Ing. Harald Niemöller

Beirat:

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hossler
Dr.-Ing. Karl-Heinz Schubert

Amtsgericht
Berlin Charlottenburg
HRB 78 927

Deutsche Bank P+G AG
BLZ 100 700 24
Konto-Nr. 1419100
IBAN-Nr. DE52100700240141910000
Swift-Code: DEUTDE33HAN
Ust-IdNr. DE217656065



Benjamin Kloss

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Oliver Krüger:

Dokumentation von CFD-Studien

Abstract:

In Rahmen der Erstellung von Brandschutzkonzepten werden immer häufiger Ingenieurmethoden eingesetzt. Insbesondere das Programm FDS wird vermehrt zur Dimensionierung von Entrauchungsanlagen eingesetzt. Hier ergibt sich nun das Problem, dass die mit der Prüfung von Brandschutzkonzepten beauftragten Personen die Dimensionierungsschritte, die zur Auslegung einer Entrauchungsanlage geführt haben, oft nicht nachvollziehen können. Dies führt dann sehr häufig dazu, dass die Funktionalität des entwickelten Entrauchungskonzeptes in Frage gestellt wird. Hieraus resultieren dann häufig strenge Auflagen in den Baugenehmigungen bzw. ein erhöhter Prüfungsaufwand durch weitere Prüfer.

Um Verzögerungen in der Genehmigungsphase zu vermeiden, ist daher eine Dokumentation von FDS-Studien erforderlich, die bei den eingeschalteten Prüfinstanzen eine deutlich höhere Akzeptanz bewirkt. Der Vortrag beschreibt die mindestens erforderlichen Angaben, die einer Prüfinstanz vorgelegt werden müssen und gibt Hinweise, welche zusätzlichen Angaben hilfreich sein können, um eine zügige Genehmigung eines auf Basis von FDS entwickelten Entrauchungskonzeptes zu erlangen. Hierbei stützt sich der Vortragende auf mehr als 100 entwickelte Entrauchungskonzepte, anhand derer beispielhaft die jeweils erfolgreiche Dokumentation vorgestellt wird.



Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Dokumentation von CFD-Studien
Im Rahmen von Entrauchungskonzepten

Dipl.-Ing. Oliver Krüger

Halfkann + Kirchner

Firmensitz und Zentrale
Richard-Lucas-Str. 4
41812 Erkelenz
T. 02431 - 96 50 – 0
F. 02431 – 96 50 – 90
E. info@hk-brandschutz.de
www.hk-brandschutz.de

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Vortragsinhalt

1. Vorüberlegungen bei CFD-Projekten
2. Eingabeparameter
3. Auswertungsparameter
4. Literatur
5. erforderliche Dokumentation
6. Zusammenfassung

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure

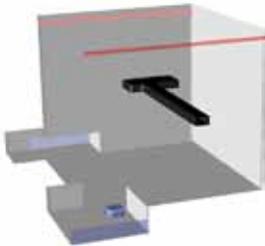


Dokumentation CFD-Studien

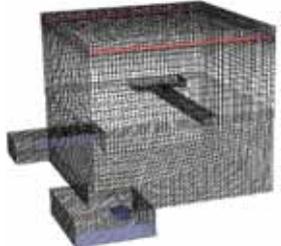
www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Prinzip CFD-Studien

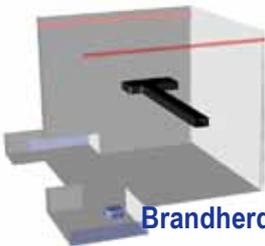
Geometrie



Netz



Modelle und Randbedingungen



Brandherd

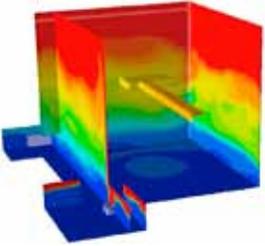
Berechnung

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = S_m$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i(\rho E + p)) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_j h_j J_j + u_j(\tau_{ij} k_{eff}) \right) + S_h$$

Auswertung



Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

CFD-Studien: Vorüberlegungen

- **Schutzzieldefinition**
- **Umgebungseinflüsse**
- **klimatische Einflüsse**
- **geometriespezifische Einflüsse**
- **anlagentechnische Einflüsse**
- **nutzungsspezifische Einflüsse**
- **Bemessungsbrandfall**

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Schutzzieldefinition

- Selbststretungsphase
- Einsatz der Feuerwehr
- raucharme Schichten
- rauchfreie Räume, Bereiche
- stationäre Bedingungen
- temporäre Bedingungen

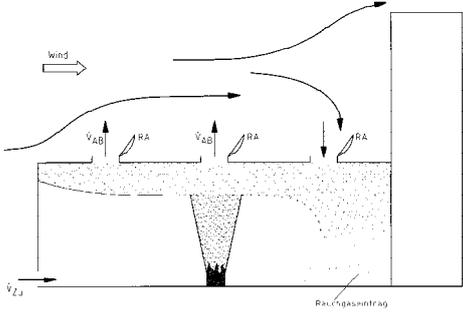
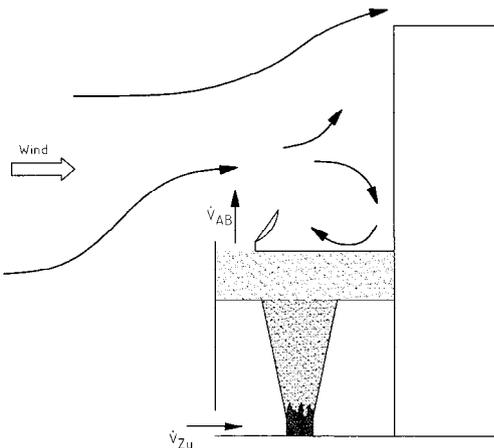
Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



Dokumentation CFD-Studien

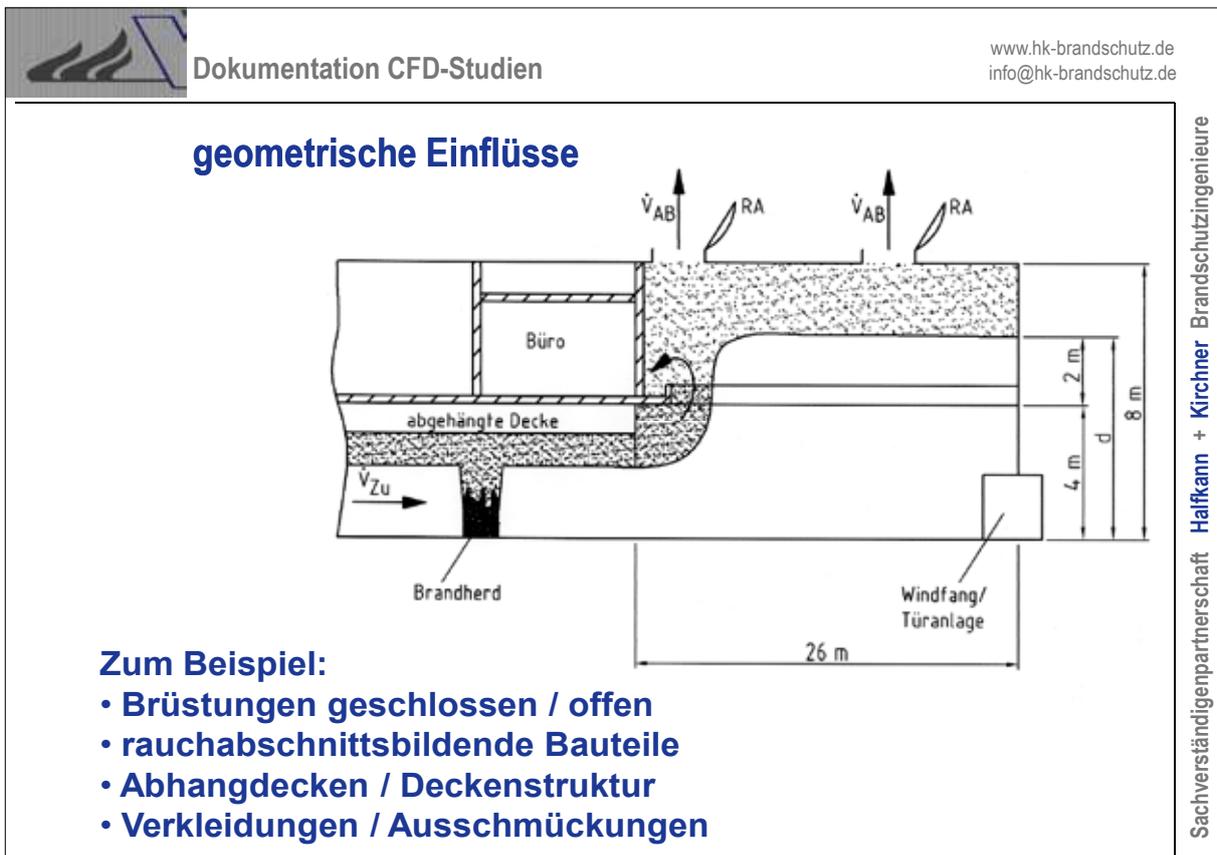
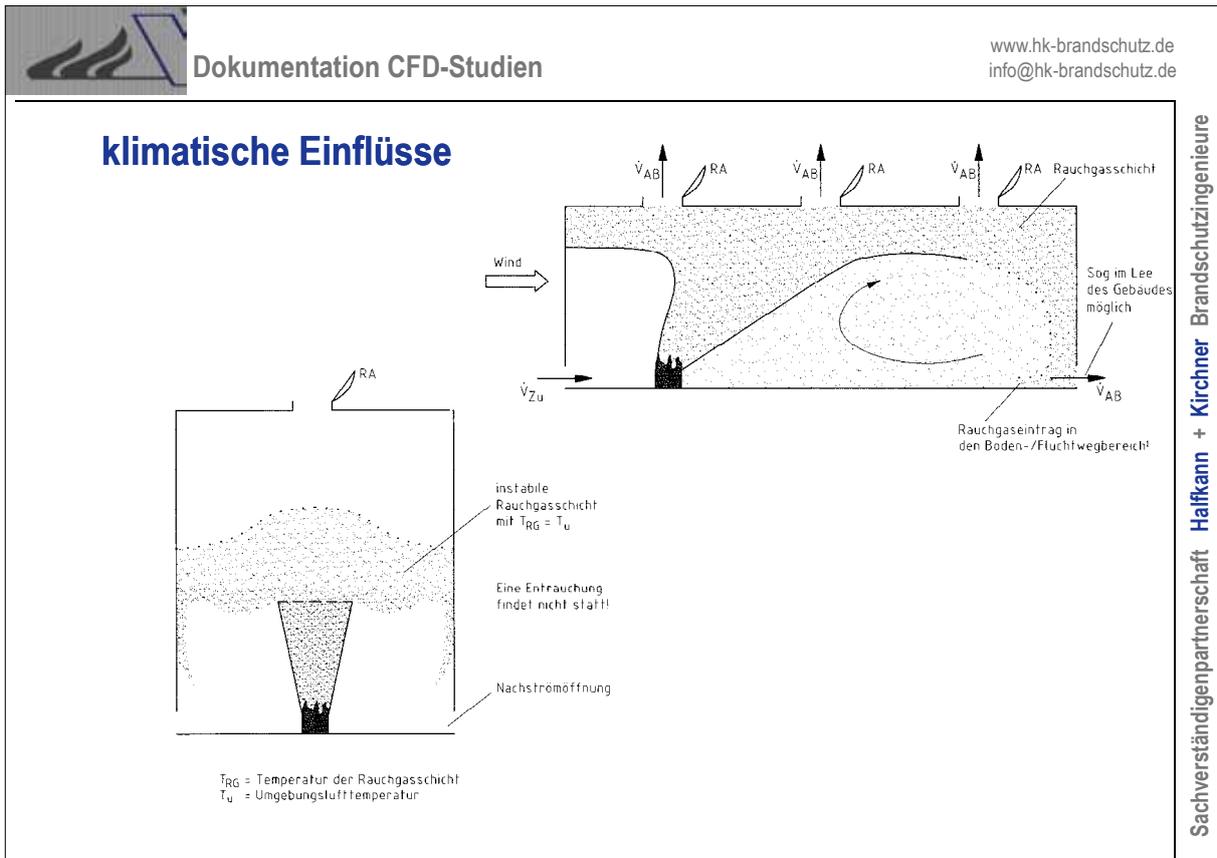
www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Umgebungseinflüsse

- auf der grünen Wiese ?
- innerstädtisch ?

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure

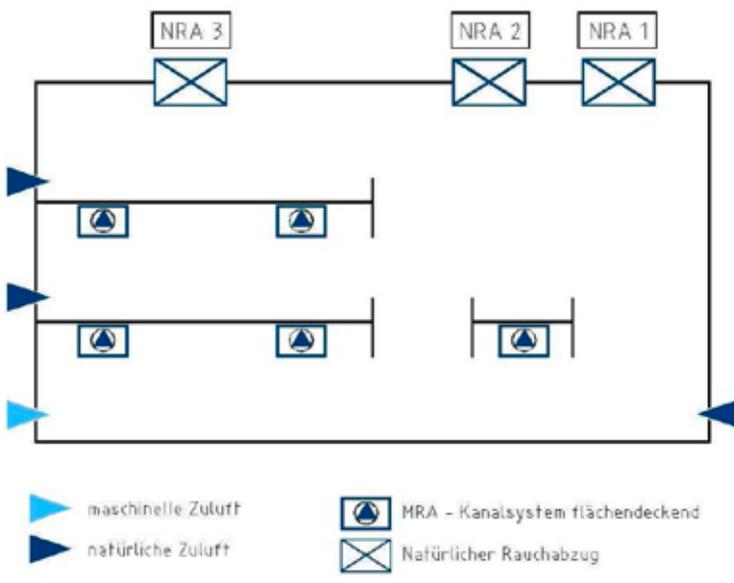




Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

anlagentechnische Einflüsse



The diagram shows a schematic of a mechanical ventilation system. It features three Natural Residual Air (NRA) units labeled NRA 1, NRA 2, and NRA 3. The system includes mechanical supply air (maschinelle Zuluft) and natural supply air (natürliche Zuluft) paths. A legend indicates that blue triangles represent mechanical supply air, dark blue triangles represent natural supply air, blue circles with a triangle represent an HRA (Heat Recovery Air) system covering the area, and squares with an 'X' represent natural smoke extraction (Natürlicher Rauchabzug).

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure

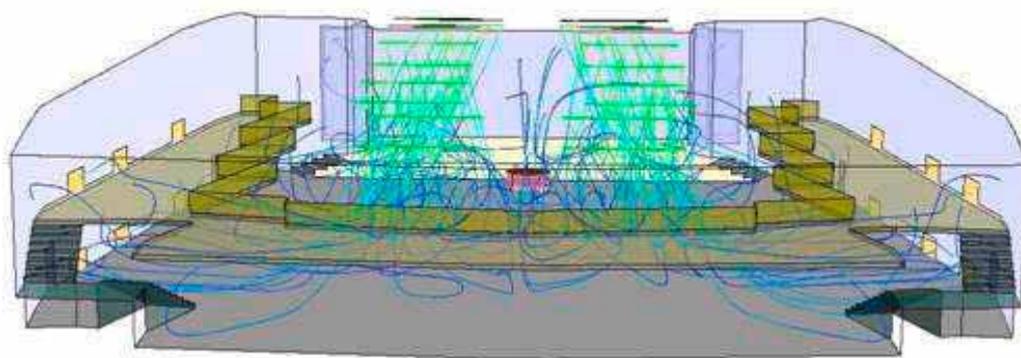


Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

weitere Einflüsse:

- Lüftungsanlagen



The 3D simulation shows a cross-section of a building interior with complex airflow patterns. Green and blue streamlines represent air flow, showing how cold air is discharged from glass and metal components. The simulation also illustrates the impact of ventilation systems on the overall air circulation within the space.

- Kaltluftabfall an Glas-/ Metallumfassungsbauteilen

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



nutzungsspezifische Einflüsse

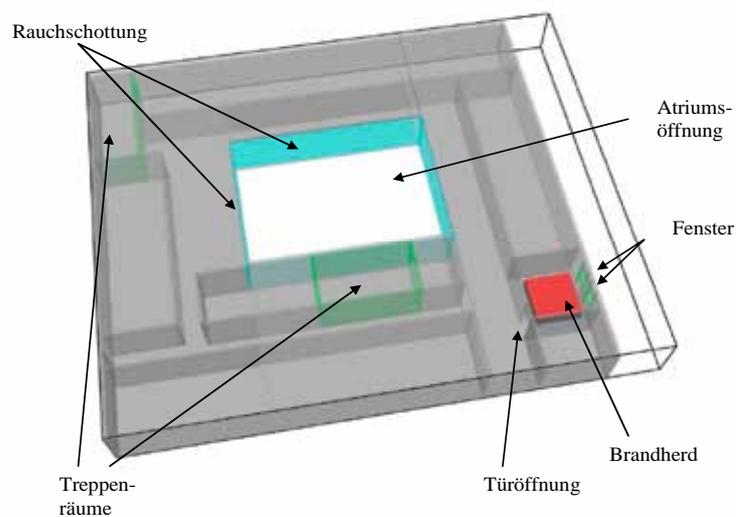
- Nutzungsvarianten Konzert, Ausstellung, Sportveranstaltung
- parallele Nutzungen möglich?
- eingewiesenes Personal

Bemessungsbrände

- Brandgut, Kenngrößen
- ggf. Brandmasse
- Brandfläche
- spez. Wärmefreisetzung
- Brandausbreitungsgeschwindigkeit



Darstellung der relevanten geometrischen Randbedingungen

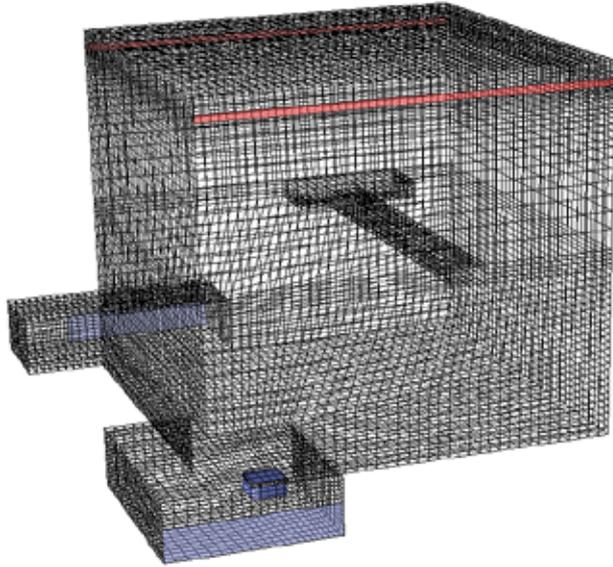




Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Darstellung der relevanten Netzstrukturen



Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure

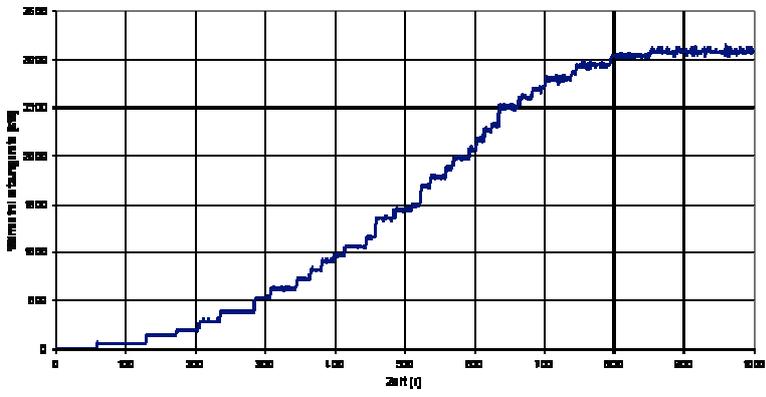


Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Darstellung der Brandverlaufskurven

Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzungsrate bei langsamer Brandausbreitungsgeschwindigkeit;
A_{max, max} = 40 m²



Zeit [s]	Wärmefreisetzungsrate [kW]
0	0
100	10
200	20
300	30
400	40
500	50
600	60
700	80
800	100
900	150
1000	200
1100	1500
1200	2000
1300	2100
1400	2150
1500	2180
1600	2200
1700	2200
1800	2200
1900	2200
2000	2200

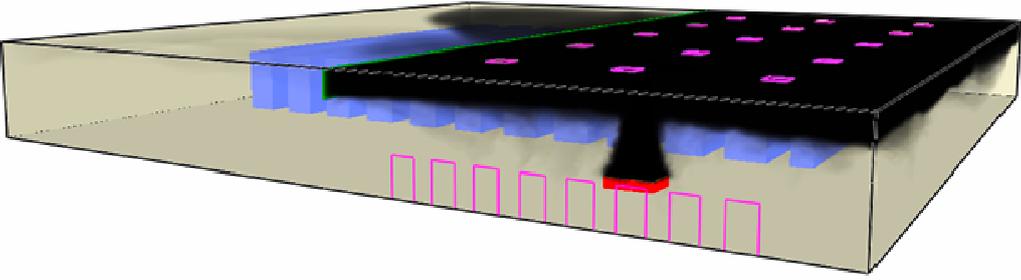
Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Ergebnisdarstellung: smoke 3D



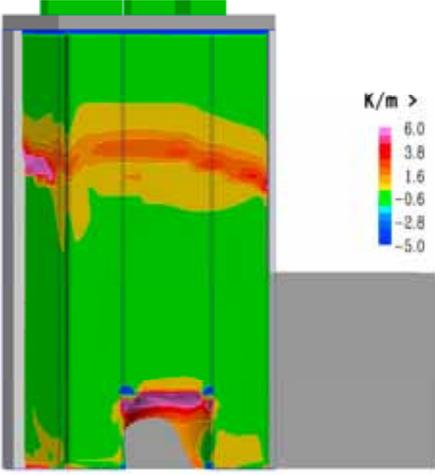
Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



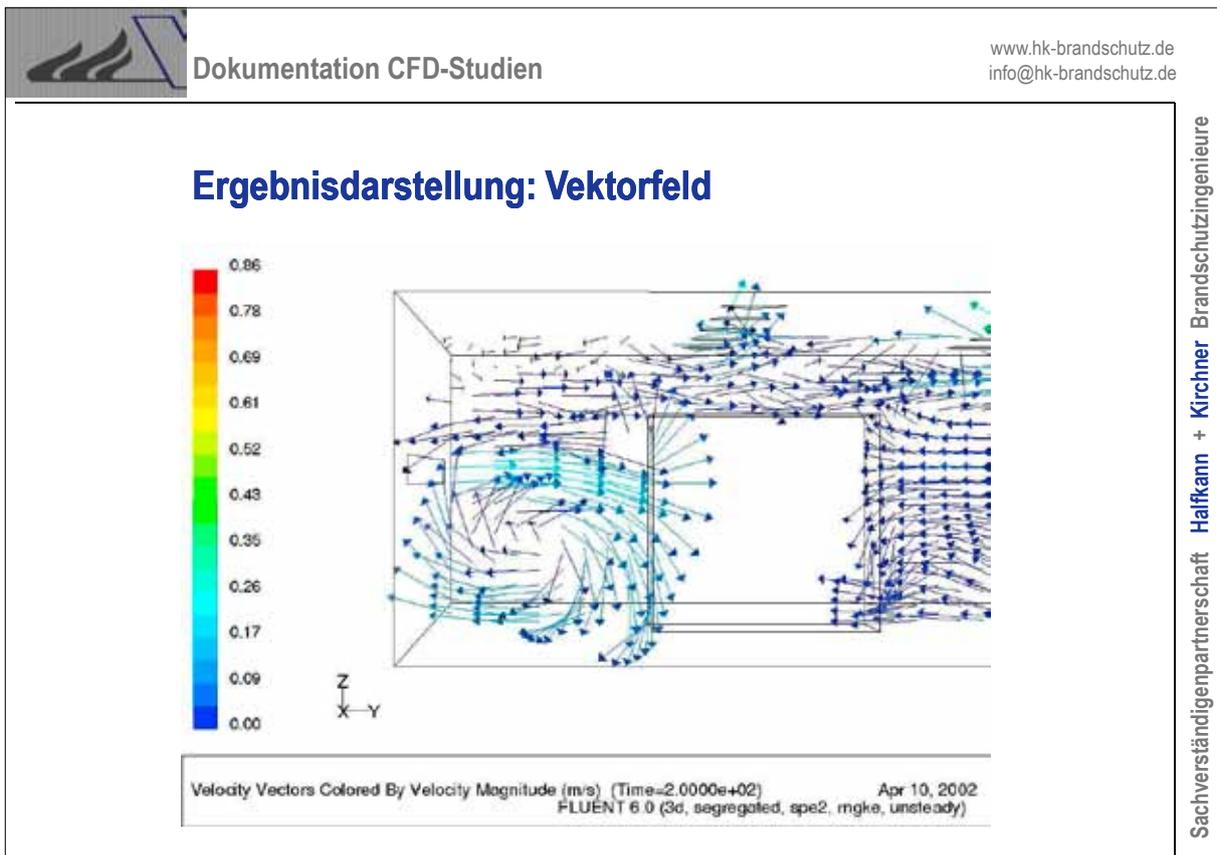
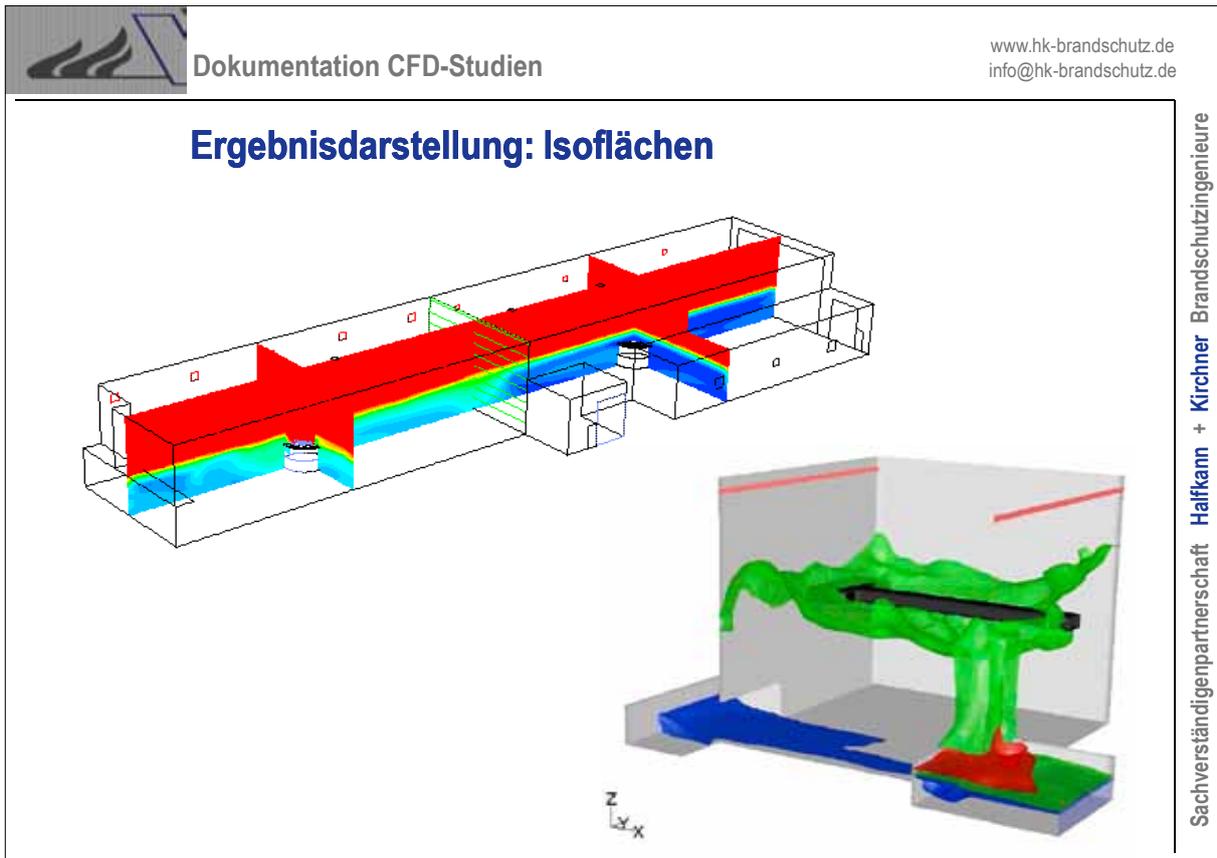
Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Bewertung raucharme Schicht / Sichtweiten

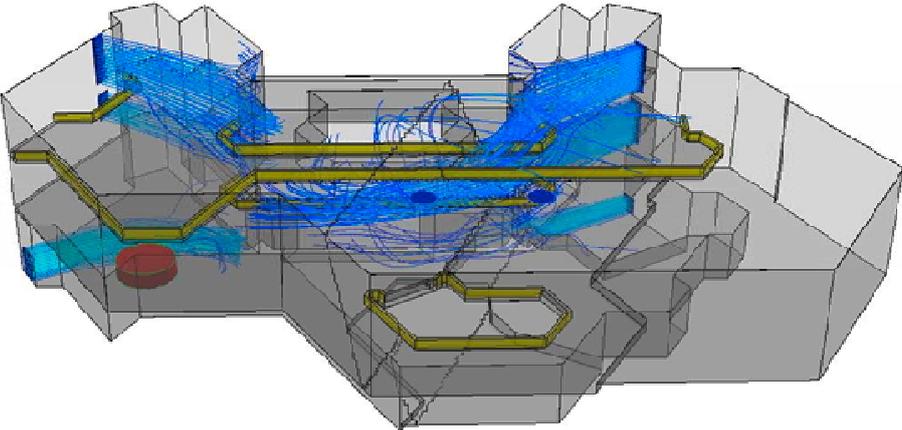



Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



 Dokumentation CFD-Studien www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Ergebnisdarstellung: Pathlines, Trajektorien



Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure

 Dokumentation CFD-Studien www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

anwendbare Literatur

vfdb Leitfaden 2. Auflage, Mai 2009
VDI 6019 Blatt 1, Mai 2006
VDI 6019 Blatt 2, Juli 2009

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure



Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure

vfdb Leitfaden

Mindestanforderungen an die Dokumentation:

- Benennung Nutzung und Brandlasten
- Brandverlaufskurven, Quelldaten
- Geometriebeschreibung
- Brand- / Steuerungsszenarien
- Ergebnisdarstellung
- Auslegungsmaßnahmen



Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure

VDI 6019 Blatt 2

<p>Allgemeine Angaben:</p> <p>Bezeichnung des Objektes:</p> <p>Bauort:</p> <p>Bauherr (BH):</p> <p>Entwurfsverfasser (EV):</p> <p>Nachweisführender (NF):</p> <p>Brandschutzdienststelle (BDS):</p> <p>Bauaufsichtsbehörde (BOA):</p> <p>Abstimmungsprotokolle:</p> <p>Beschreibung des Schutzziels (Personenschutz, Brandbekämpfung, Sachschutz, Nachbarschutz, etc.)</p> <p>Angaben zum CFD-Modell:</p> <p>Bezeichnung des Modells/Version:</p> <p>Modelltyp:</p> <p>Softwarehersteller:</p> <p>Beschreibung der Objektmodellierung</p> <p>Netzgenerierung:</p> <p>Art des verwendeten Netzes:</p> <p>Anzahl der Netzelemente</p> <p>Anfangs- und Randbedingungen:</p> <p>Anfangsbedingung aller im Modell definierten Oberflächen und Volumen</p> <p>Randbedingung aller im Modell definierten Oberflächen:</p>	<p>Simulationsdauer:</p> <p>Zeitschrittweite:</p> <p>Definition der Fluideigenschaften</p> <p>Dichte:</p> <p>Viskosität:</p> <p>Wärmeleitfähigkeit:</p> <p>Wärmekapazität:</p> <p>Physikalisch-/chemische Modelle</p> <p>Turbulenzmodell – Feld:</p> <p>Turbulenzmodell – Wand:</p> <p>Verbrennungsmodell:</p> <p>Strahlungsmodell:</p> <p>Numerisches Verfahren</p> <p>Diskretisierung:</p> <p>Verwendete Ortsdiskretisierungsmethode</p> <p><input type="checkbox"/> FDM <input type="checkbox"/> FVM</p> <p><input type="checkbox"/> FEM <input type="checkbox"/> andere:</p> <p>Diskretisierungsansatz:</p> <p>Ordnung des Diskretisierungsansatzes:</p> <p>Verwendete Zeitdiskretisierungsmethode</p> <p>Diskretisierungsansatz:</p> <p>Ordnung des Diskretisierungsansatzes:</p> <p>Konvergenzkriterien:</p>
--	--

Dokumentation CFD-Studien		www.hk-brandschutz.de info@hk-brandschutz.de
<h2 style="margin: 0;">VDI 6019 Blatt 2</h2>		
Brandverlaufskurven:		
<input type="checkbox"/> nach VDI 6019 Blatt 1 <input type="checkbox"/> Abbrand-/Verbrennungsmodell: <input type="checkbox"/> Sonstiges:		
Kennwerte des Bemessungsbrandes/der Bemessungsbrände:		
Brandintensitätskoeffizient:		
max. spezifische Wärmefreisetzungsrate in kW/m ² :		
Brandausbreitungsgeschwindigkeit in m/s:		
Anteil der Strahlungsleistung in %:		
max. Wärmefreisetzungsrate in kW:		
max. Brandfläche in m ² :		
Rauchkennwerte:		
Kennwerte des Abbrandmodells:		
Sonstiges:		
Die Darstellung der Brandverlaufskurven erfolgt gesondert.		
Brandschutztechnische Infrastruktur:		
Sprinkleranlagen:		
RTI in $\sqrt{m \times s}$:	Abstand zwischen Plumeachse und Sprinklerkopf in m:	
Nennauslösetemperatur in °C:	Abstand zwischen Brandherd und Decke in m:	
Spezifische Wasserbeaufschlagung in mm/s:	Auslösezeitpunkt in s:	
Brandmeldeanlagen:		
Brandkenngröße:		
Zeitpunkt Detektion in s:		
Sonstiges:		

Sachverständigenpartnerschaft **Halfkann** + **Kirchner** Brandschutzingenieure

Dokumentation CFD-Studien		www.hk-brandschutz.de info@hk-brandschutz.de
<h2 style="margin: 0;">VDI 6019 Blatt 2</h2>		
Rauchabzugsanlagen:		
NRA:	MRA:	
aerodynamische Öffnungsfläche in m ² :	Gesamtvolumenstrom an den Absaugstellen in m ³ /s:	
wirksame Zuluftfläche in m ² :	wirksame Zuluftfläche in m ² :	
mittlere Zuluftgeschwindigkeit in m/s:	mittlere Zuluftgeschwindigkeit in m/s:	
Auslösezeitpunkt Abluft in s:	Auslösezeitpunkt Abluft in s:	
Auslösezeitpunkt Zuluft in s:	Auslösezeitpunkt Zuluft in s:	
Art der Auslösung:	Art der Auslösung:	
Klassifizierung der NRWG:	Klassifizierung der Brandgasventilatoren:	
Sonstiges	Sonstiges:	
Die Lage der Zuluftflächen sowie der Abluftflächen bzw. der Absaugstellen wird gesondert dargestellt.		
Bei Mischsystemen sind die relevanten Kenndaten der Rauchabzugsanlage sinngemäß zu bestimmen und gesondert aufzuführen.		
Brandschutztechnische Interaktionen:		
Die Beschreibung der relevanten brandschutztechnischen Interaktionen erfolgt gesondert (z.B. mit einem Zeitstrahl).		
Sonstiges:		
- Lüftungsanlage - Umgebungsbebauung - Windeinfluss - Klimaeinfluss		
Simulationsergebnisse:		
Die Auswertung und Darstellung der Simulationsergebnisse erfolgt gesondert.		

Sachverständigenpartnerschaft **Halfkann** + **Kirchner** Brandschutzingenieure

Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Fazit / Zusammenfassung

- Gebäude / die Umgebung gesamtheitlich beschreiben
- Randbedingungen deutlich darstellen
- Alle denkbaren Einflüsse diskutieren
- Allgemein akzeptierte Bemessungsbrände verwenden

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure

Dokumentation CFD-Studien

www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Vergleich CFD - Rauchversuch

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure

 Dokumentation CFD-Studien www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure

 Dokumentation CFD-Studien www.hk-brandschutz.de
info@hk-brandschutz.de


Haben Sie noch Fragen..?

Sachverständigenpartnerschaft Halfkann + Kirchner Brandschutzingenieure

Michale Grünewald:

Korrektur der Vergleichsgrundlagen bei der Validierung des Fire Dynamic Simulator (FDS) durch die Mc Caffrey-Versuche

Abstract:

Die Validierung von FDS wird unter anderem durch die Mc Caffrey-Versuche vorgenommen. Bei dem Vergleich der Temperaturen in der Flamme, im intermittierenden Bereich und im Plume kommt es darauf an, einerseits die korrekten Versuchswerte zu verwenden und andererseits Vergleichstemperaturen durch auf die Versuche angepasste Simulationsparameter mit Hilfe von FDS zu generieren. Die im Validation Guide von FDS dargestellten Temperaturen der Versuche beruhen auf der Formel, die aus den Versuchsergebnissen abgeleitet wurde. Sie geben nicht die tatsächlichen Versuchsergebnisse wieder. Weiterhin entsprechen die im Validation Guide von FDS generierten Temperaturen den gemessenen Gastemperaturen. Richtigerweise müssten jedoch auch in FDS die mit Thermoelementen gemessenen Temperaturen verwendet werden, da diese vor allem im Flammenbereich nicht mit den Gastemperaturen übereinstimmen.

Am Beispiel des Mc Caffrey-Versuches mit einer Energiefreisetzung von 57,5 kW wird deutlich gemacht, dass die Versuchswerte und die von FDS generierten Werte für die Temperaturen über der Brandquelle weniger differieren als bisher festgestellt.

Ferner wird auf Grundlage dieser Ergebnisse eine Sensitivitätsanalyse vorgenommen, bei der die durch FDS generierten Temperaturen für unterschiedliche Diskretisierungen bestimmt werden.

KORREKTUR DER VERGLEICHSGRUNDLAGEN BEI DER VALIDIERUNG DES FIRE DYNAMIC SIMULATOR (FDS) DURCH DIE MC CAFFREY-VERSUCHE

Dipl.-Ing. Michael Grünewald

19.10.2009



Bergische Universität Wuppertal Fachbereich
Sicherheitstechnik Fachgebiet Brand- und
Explosionsschutz

Inhalt

2

- (1) Definition einer Validierung
- (2) Ergebnisse der Mc Caffrey Versuche
- (3) Korrektur der Validierungssimulation
- (4) Sensitivitätsanalyse der Validierungssimulation durch veränderte Diskretisierung
- (5) Zusammenfassung
- (6) Fazit

Definition von Validierung

3

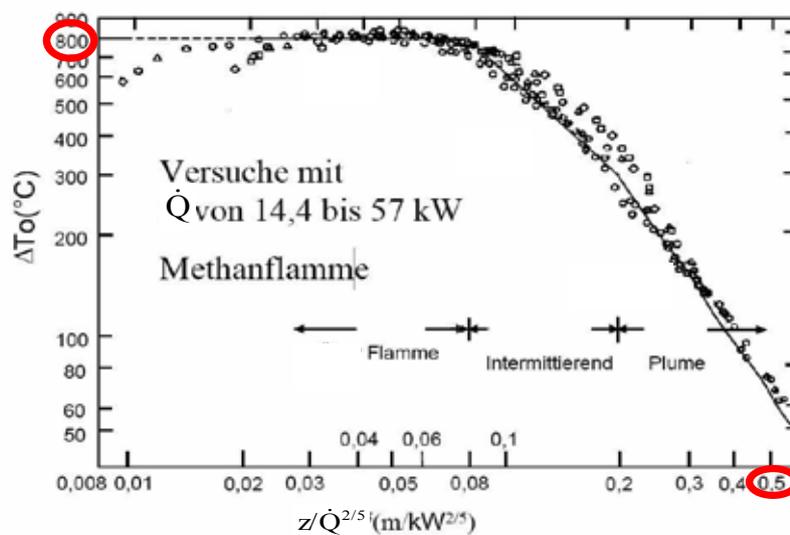
- Validierung ist der Prozess zur Bestimmung inwieweit das Modell die Realität abbildet
- Zu vergleichen sind demnach die Versuchsergebnisse mit den durch das Modell (hier FDS) prognostizierten Werten

Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik
Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz

19.10.2009

Mc Caffrey Versuche

4



Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik
Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz

19.10.2009

Mc Caffrey Versuche

5

$$\Delta T_0 = \left(\frac{\kappa}{0,9 \sqrt{2g}} \right)^2 \left(\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} \right)^{2\eta-1} T_\infty$$

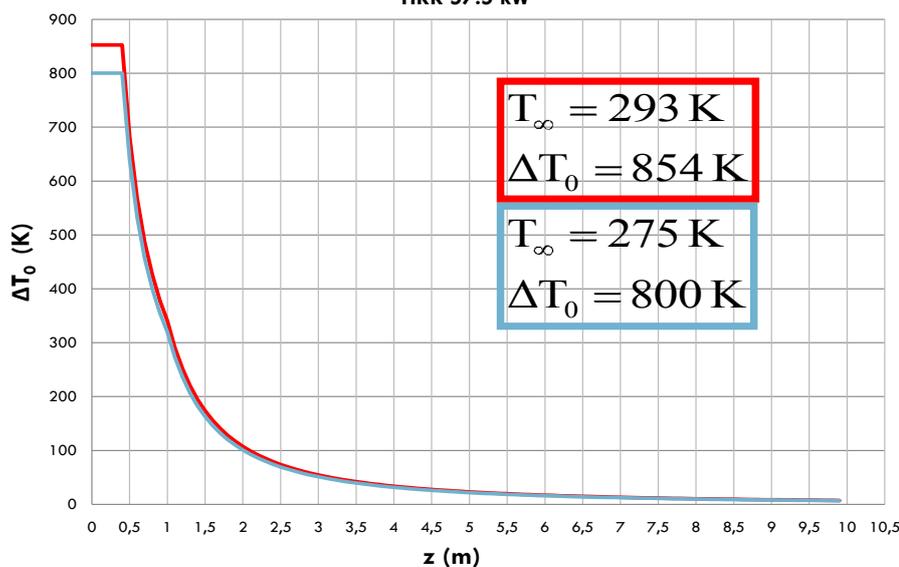
Plumbereich	$\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} \left(\frac{m}{kW^{2/5}} \right)$	η	κ
Flamme	< 0,08	$\frac{1}{2}$	$6,8 \frac{m^{1/2}}{s}$
intermittierend	0,08 bis 0,2	0	$1,9 \frac{m}{kW^{1/5}s}$
Plume	> 0,2	$-\frac{1}{3}$	$1,1 \frac{m^{4/3}}{kW^{1/3}s}$

Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik 19.10.2009
 Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz

Mc Caffrey Versuche

6

HRR 57.5 kW



Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik 19.10.2009
 Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz

Mc Caffrey Versuche

7

- T_{∞} entspricht in der Mc Caffrey Formel nicht der Umgebungstemperatur, sondern beschreibt eine Konstante von $T = 275 \text{ K}$ (gilt für die beim Versuch vorhandenen Bedingungen)

$$\Delta T_0 = \left(\frac{\kappa}{0,9 \sqrt{2g}} \right)^2 \left(\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} \right)^{2\eta-1} * 275$$

Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik 19.10.2009
 Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz

Mc Caffrey Versuche

8

- Aus dem Versuchsdiagramm:
 $z/\dot{Q}^{(2/5)} = 0.5 \text{ m/kW}^{(2/5)}$
- Für $Q = 57,5 \text{ kW}$ bedeutet dies:
 $z = 2.5 \text{ m}$
- Die Messungen innerhalb der Versuche wurden nur bis ca. 2.5 m durchgeführt

Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik 19.10.2009
 Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz

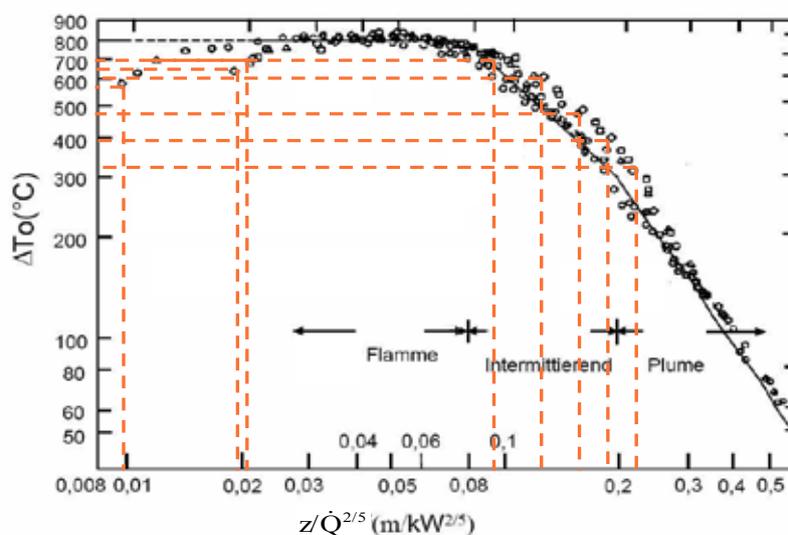
Mc Caffrey Versuche

9

- Die Formelwerte entsprechen nur teilweise den in den Versuchen gemessenen Werten
- Für den 57,5 kW Versuch werden die stark abweichenden Werte aus dem Diagramm abgelesen und als Validierungsgrundlage festgelegt

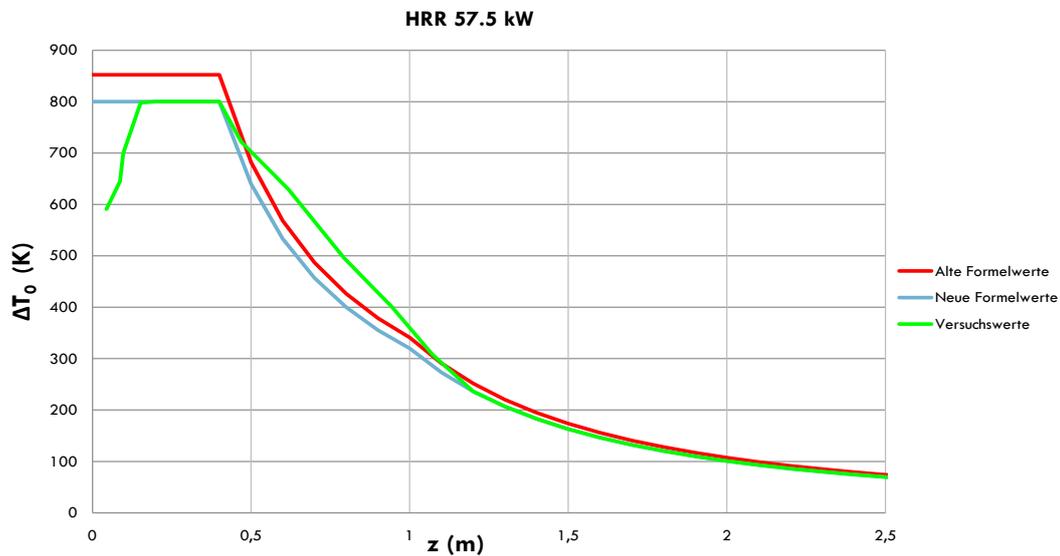
Mc Caffrey Versuche

10



Mc Caffrey Versuche

11



Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik
 Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz 19.10.2009

Validierungssimulation

12

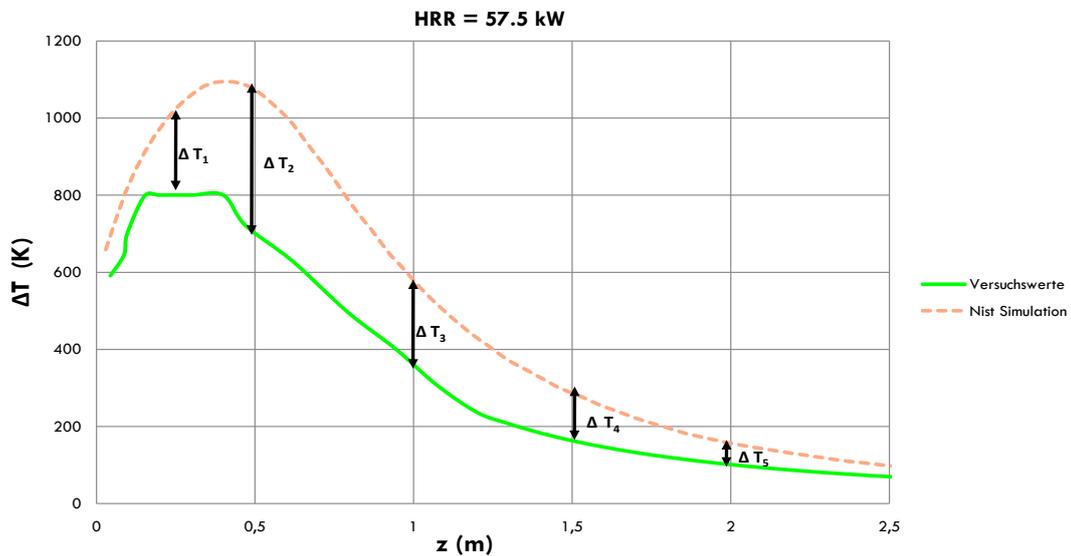
- Charakteristischer Durchmesser:

$$D^* = (Q / (c_p \rho T \sqrt{g}))^{2/5}$$
- Mit: $Q = 57,5 \text{ kW}$; $c_p = 1 \text{ kJ/kg/K}$; $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$;
 $T = 293 \text{ K}$; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- $D^* = 0,3$
- Zellgröße $dx = 3 \text{ cm}$
- $D^*/dx = 10$

Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik
 Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz 19.10.2009

Validierungssimulation

13



Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik
 Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz 19.10.2009

Validierungssimulation

14

Temperaturvergleich: NIST Simulation ↔ Versuchsdaten

Messstelle	Höhe (m)	Temperaturdifferenz (K)	Abweichung von Versuchen (%)
ΔT_1	0.25	220	27
ΔT_2	0.5	350	47
ΔT_3	1	250	77
ΔT_4	1.5	130	73
ΔT_5	2	50	40

Gemittelte Abweichung: 53 %

Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik
 Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz 19.10.2009

15

- Die zu vergleichenden Temperaturen sind mit einem Thermocouple zu messen
- Die Thermocouple-Temperatur unterscheidet sich von der Gastemperatur
- In FDS wird die Thermocouple-Temperatur iterativ über die folgende Gleichung ermittelt:

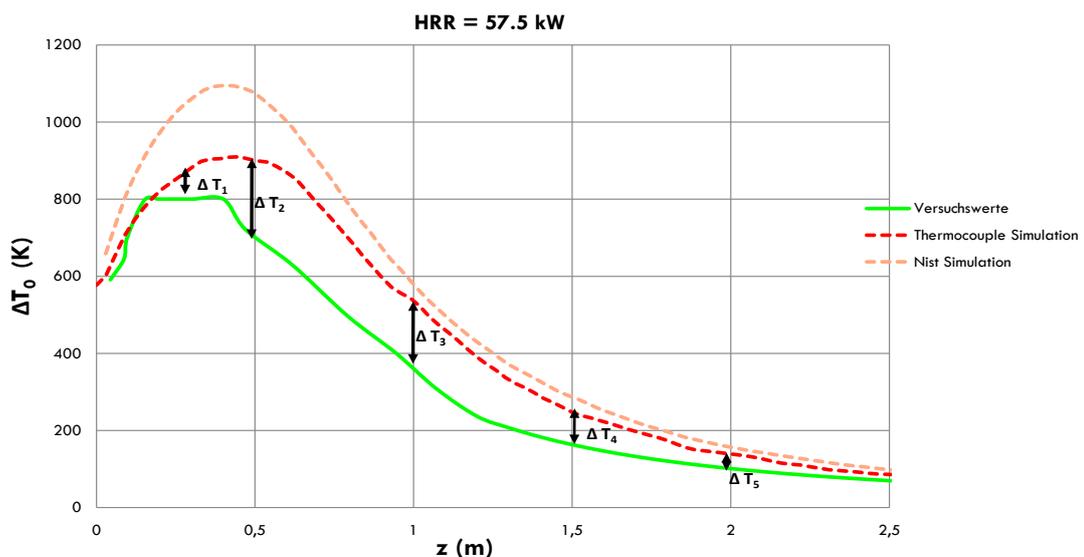
$$\varepsilon_{TC}(\sigma T_{TC}^4 - U/4) + h(T_{TC} - T_G) = 0$$

Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik
Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz

19.10.2009

Validierungssimulation

16



Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik
Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz

19.10.2009

Validierungssimulation

17

Temperaturvergleich: Thermocouple ↔ Versuchsdaten

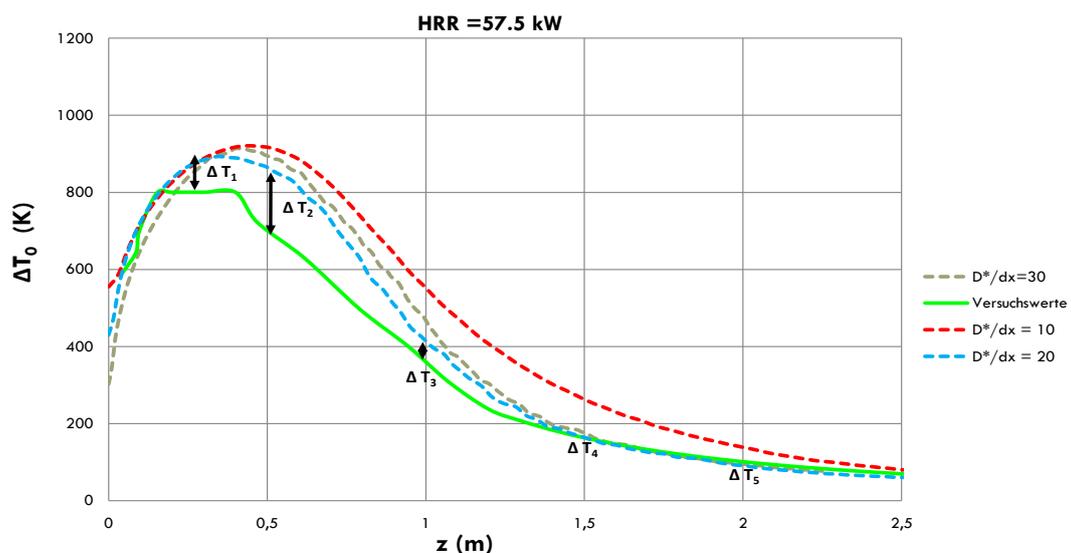
Messstelle	Höhe (m)	Temperaturdifferenz(K)	Abweichung von Versuchen (%)
ΔT_1	0.25	45	6
ΔT_2	0.5	170	26
ΔT_3	1	220	65
ΔT_4	1.5	85	47
ΔT_5	2	40	33

Gemittelte Abweichung: 35 %

Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik
 Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz 19.10.2009

Sensitivitätsanalyse zur Diskretisierung

18



Bergische Universität Wuppertal Fachbereich Sicherheitstechnik
 Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz 19.10.2009

Sensitivitätsanalyse zur Diskretisierung

19

Temperaturvergleich: $D^*/dx=20 \leftrightarrow$ Versuchsdaten

Messstelle	Höhe (m)	Temperaturdifferenz (K)	Abweichung von Versuchen (%)
ΔT_1	0.25	70	8
ΔT_2	0.5	130	17
ΔT_3	1	100	30
ΔT_4	1.5	0	0
ΔT_5	2	10	8

Gemittelte Abweichung: 13 %

Zusammenfassung

20

- (1) Die Werte der Mc Caffrey Versuche unterscheiden sich von denen der angegebenen Formel
- (2) In der Validierungssimulation ist die Thermocouplemessung zu bewerten
- (3) Die Simulationsergebnisse sind für den 57,5 kW Versuch bei einem $D^*/dx = 20$ den Versuchsergebnissen am nächsten
- (4) Für die „neue“ Validierungs-simulation von ca. 13 % (vorher 53% Abweichung)

Fazit

21

- Das „neue“ Validierungsergebnis für die Temperaturdifferenzen im Mc Caffrey Plume beim 57,5 kW Versuch sind erheblich näher an den Versuchsergebnissen als die bisherige Validierungssimulation
- Für die weiteren Versuche (44.9 kW; 33 kW; 21.7 kW; 14.4 kW) müssen hinsichtlich der Temperatur die gleichen Anpassungen vorgenommen und ausgewertet werden

Andreas Vischer:**Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen - Nachrechnung von Brandversuchen****Abstract:**

Durch die Nachrechnung von Brandversuchen mit ETK und anhand eigener Versuche wird die Eignung des neu entwickelten Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen gezeigt. Zunächst werden die Eigenschaften und Besonderheiten des neuen Sub-Modells vorgestellt. Anschließend erfolgt die Beschreibung der Wärmeübertragung, insbesondere wird auf die Wärmeübertragung durch Konvektion und Strahlung zwischen Fluid und Festkörper bei höheren Temperaturen eingegangen. Die Annahmen von FDS beim Austausch von Wärmeenergie zwischen Fluid- und Festkörper und die dabei auftretenden Fehler werden dargestellt und eine verbesserte Lösung erläutert. Die Validation und Verifikation des entwickelten Modells erfolgt u.a. durch Nachrechnungen von Versuchen aus der Literatur und durch Simulation von eigenen durchgeführten Versuchen. Die wesentlichsten Parameter der aus der Literatur nachgerechneten Versuche werden vorgestellt und eine Auswahl von Temperaturverläufen aus Berechnung und Versuchen werden verglichen und diskutiert. Anschließend werden der Aufbau und die eingesetzte Messtechnik des eigenen entwickelten Versuchsstandes sowie dessen Nachbildung und Eingabe in FDS eingehend erläutert. Es folgt die Darstellung des Vergleichs zwischen einigen ausgewählten Temperaturverläufen aus Versuchen und Berechnung sowie die Diskussion der Ergebnisse. Abschließend werden die durchgeführten Untersuchungen zusammengefasst und die Eignung des Programms zur Berechnung der 3-D Wärmeübertragung in Bauteilen bei Brandsimulationen erörtert.

3. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Dipl.-Ing. Andreas Vischer
Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH
Nordhorn



RWTH Aachen



Lehrstuhl für Mechanik und Baukonstruktionen



1



Gliederung des Vortrages



1. Einführung - Eigenschaften des neuen Sub-Modells



2. Wärmeübertragung auf Bauteile in FDS



3. Nachrechnung von Versuchen aus der Literatur



4. Eigener Versuchsstand und Abbildung mit FDS



5. Vergleich von Versuchsergebnissen



6. Zusammenfassung und Fazit



1. Einführung – Eigenschaften des neuen Sub-Modells



- 3-D Effekte bei der Wärmeleitung lassen sich berechnen
- detaillierte Eingabe in 3-D möglich (z.B. Stahlverbundträger)



- Bauteile werden als Ganzes berechnet und nicht 6 Seiten separat
- Wärmeleitung zwischen zwei 3-D Bauteilen wird berechnet



- Verbesserung der Berücksichtigung temperaturabhängiger Baustoff-Parameter durch Iteration



- Eingabe eines frei definierten Gastemperaturverlaufs möglich
- Ergebnisausgabe durch Eingabe von Messketten vereinfacht
- Wahl größerer Zeitschritte bei gleich bleibender Genauigkeit



- Reduzierung der Berechnungsdauer



- bisheriges Modell bleibt aber erhalten!

Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

Folie 3



1. Einführung – Definition von 3-D Objekten



1. Möglichkeit: gewohnte Eingabe über SURF-Layer (nur Schichtenmodell) z.B. bei einer mehrschaligen Mauerwerk etc. sinnvoll:



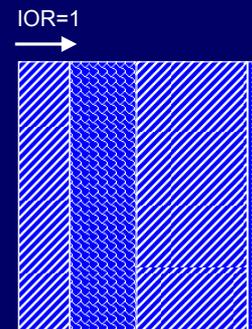
```
&SURF ID = 'WALL'
      MATL_ID (1,1) = 'BRICK'
      MATL_ID (2,1) = 'INSULATION'
      MATL_ID (3,1) = 'BRICK'
      MATL_ID (4,1) = 'PLASTER'
      THICKNESS = 0.115, 0.15, 0.24, 0.025 /
```



```
&OBST ID = 'OUTSIDE_WALL'
      SURF_ID = 'WALL'
```



```
D3HT = .TRUE.
XB = 0.0, 1.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.53
IOR = 3
```



Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

Folie 4

1. Einführung – Definition von 3-D Objekten



2. Möglichkeit Eingabe als 3-D Objekt
z.B. bei Stahlverbundträgern, komplexen Bauteilen etc.:



```
&OBST XB = 0.0,1.0, 0.0,0.2, 0.0,0.2,
      D3HT = .TRUE.,
      OB3D_ID = 'HEB_100',
      MATL_DEFAULT = 'CONCRETE' /
```



relative Koordinaten der Komponenten:



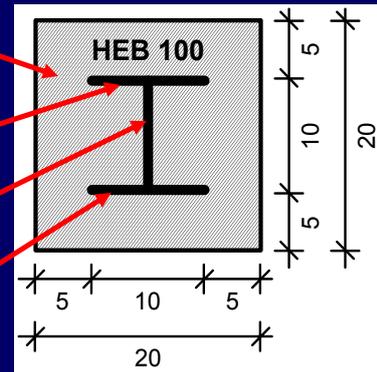
```
&OB3D ID='HEB_100', MATL_ID = 'STEEL',
      XB= 0.0,1.0, 0.05,0.15, 0.14,0.15 /
```



```
&OB3D ID='HEB_100', MATL_ID = 'STEEL',
      XB= 0.0,1.0, 0.072,0.078, 0.06,0.14 /
```



```
&OB3D ID='HEB_100', MATL_ID = 'STEEL',
      XB= 0.0,1.0, 0.05,0.15, 0.05,0.06 /
```

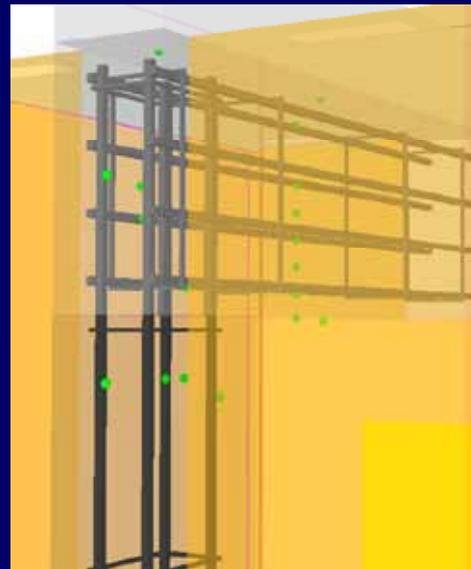
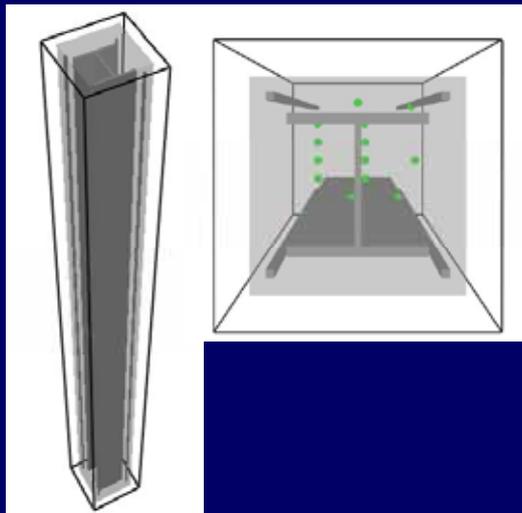


Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung
in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 5

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

1. Einführung – Beispiele 3-D Eingabe



Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung
in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 6

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

2. Wärmeübertragung auf Bauteile in FDS



Wärmeübertragung durch Wärmestrahlung:

- Linearisierung des Strahlungsstroms mit Ergänzung (Summe=0):



$$\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{n+1}^4 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{n+1}^4 - T_n^4 + T_n^4) \quad \begin{matrix} n: \text{alter} \\ n+1: \text{neuer Zeitschritt} \end{matrix}$$

- mit der Annahme $T_{n+1}^3 + T_{n+1}^2 \cdot T_n + T_{n+1} \cdot T_n^2 + T_n^3 \cong 4 \cdot T_n^3$ folgt:



$$\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{n+1}^4 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_n^4 + 4 \cdot T_n^3 (T_{n+1} - T_n)) \quad \text{Linearisierung der neuen Temperatur}$$



- Iteration der Wärmeleitung bei zu großer Temperaturdifferenz erforderlich!
- diese wurde in dem neuen Sub-Modell verbessert bei maximaler Temperaturänderung von 2 % von altem zu neuem Zeitschritt:



$$\frac{T(t_{n+1})^4 - [-3 \cdot T(t_n)^4 + 4 \cdot T(t_n)^3 \cdot T(t_{n+1})]}{T(t_{n+1})^4} = 1,0 + \frac{3}{1,02^4} - \frac{4 \cdot 1,02}{1,02^4} = 0,00225$$



- maximaler Fehler: 0,225 % (FDS: 20% Änderung → 13,2% maximaler Fehler)

2. Wärmeübertragung auf Bauteile in FDS



Wärmeübertragung durch Wärmekonvektion:

- In FDS bisher empirische Formeln für den **Wärmeübergangskoeffizienten α**
- freie Konvektion (nach Holman* bei moderaten Temperaturen):



Vertikale Oberfläche: $\alpha = 1,31 \cdot (\Delta T)^{1/3}$ Vorfaktor (VF) = 1,31

Horizontale Oberfläche: $\alpha = 1,52 \cdot (\Delta T)^{1/3}$ VF = 1,52



- Erzwungene Konvektion (üblich mehrere Literaturquellen**):



$$\alpha_{\text{erzwungen}} = \frac{\lambda}{L} \cdot 0,037 \cdot \text{Re}^{4/5} \cdot \text{Pr}^{1/3}$$

- in FDS maßgebend Maximum aus beiden Werten!



- aber: Bei freier Konvektion Unterschied ob kalte oder warme Oberfläche nach oben oder nach unten zeigt!



* Holman, J. P.: Heat Transfer. 7th Edition, McGraw-Hill, 1990

** z.B. Baehr, H. D.; Stephan, K.: Wärme- und Stoffübertragung. Springer-Verlag, Berlin, 2006

2. Wärmeübertragung auf Bauteile in FDS



Nusselt-Zahl: $\overline{Nu} = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} = C \cdot (Gr \cdot Pr)^m$ (Zusammenhang Wärmekonvektion/-leitung)

Gebräuchliche empirische Formeln bei freier Konvektion:



$$\alpha_{\text{frei}} = \begin{cases} \frac{\lambda}{L} \cdot 0,13 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/3} & (1) \\ \frac{\lambda}{L} \cdot 0,15 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/3} & (2) \\ \frac{\lambda}{L} \cdot 0,27 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4} & (3) \end{cases}$$

vertikale Oberflächen

horizontal warme Oberfläche zeigt nach oben bzw. kalte nach unten

horizontal warme Oberfläche zeigt nach unten bzw. kalte nach oben



Grashof-Zahl: $Gr := \frac{g \cdot \beta \cdot (T_W - T_F) \cdot L^3}{\nu^2}$

Prandtl-Zahl: ca. 0,7 für Luft über einen großen Temperaturbereich



Vorfaktor aus Zusammenhang Nusselt-Zahl und Grashof-Prandtl-Zahl:



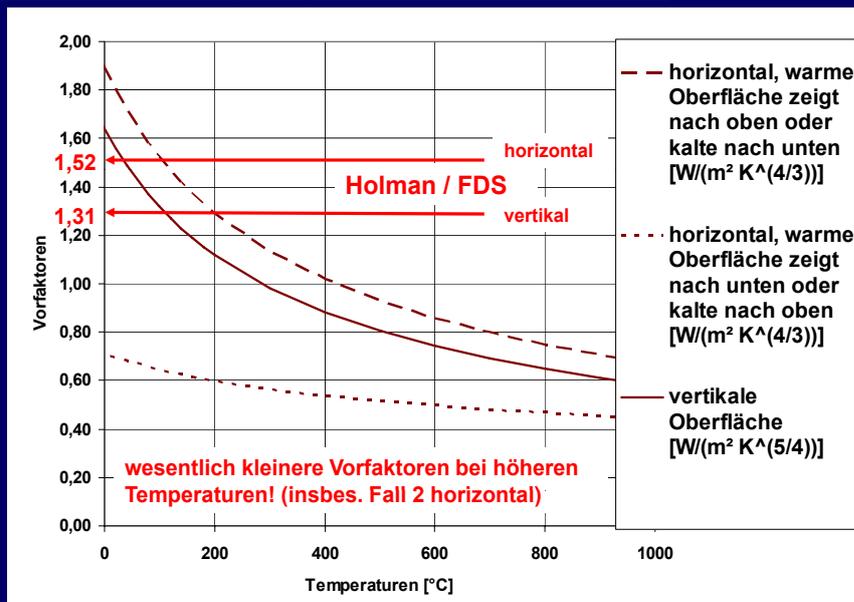
$$\overline{Nu} = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} = C \cdot (Gr \cdot Pr)^m \Rightarrow \alpha = VF \cdot (\Delta T)^m = C \cdot \frac{\lambda}{L} \left(\frac{g \cdot \beta \cdot L^3}{\nu^2} \cdot Pr \right)^m \cdot (\Delta T)^m$$

Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 9

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

2. Wärmeübertragung auf Bauteile in FDS



Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 10

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

3. Nachrechnung von Versuchen aus der Literatur



Nachgerechnet wurden Versuche mit Stahlbeton-Verbundstützen unter 4-seitiger ETK-Einwirkung*



- 8 verschiedene Versuchsreihen mit unterschiedlichen Geometrien



- Variation der Stahlträgergrößen, sowie a_y , a_z , c_1 und c_2



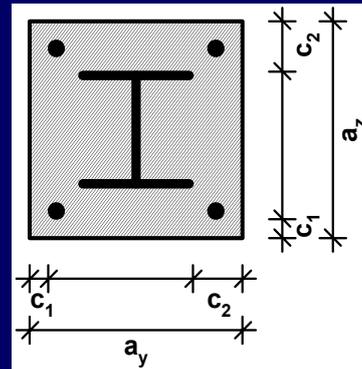
- Ergebnisse in digitaler Form zum besseren Vergleich



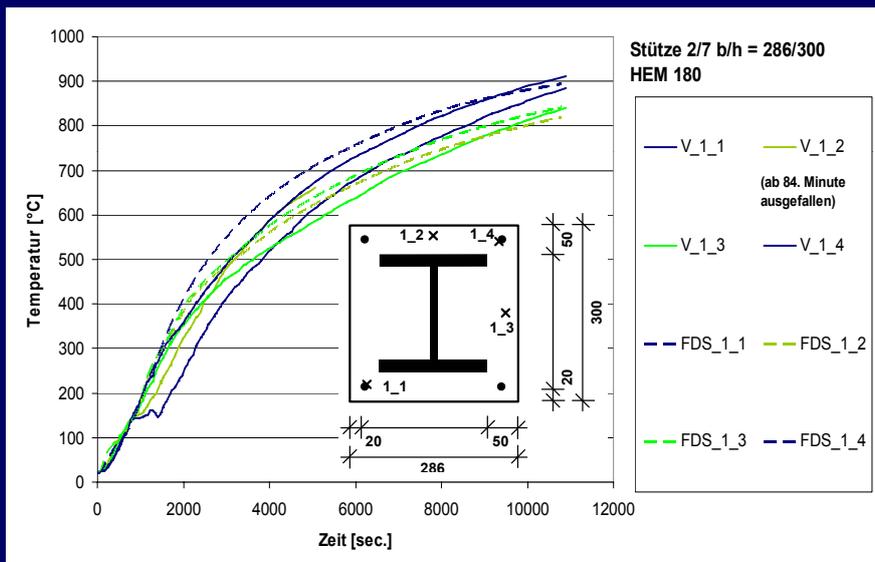
- Benutzung der erweiterten Analysefunktion für Temperatur nach ETK mit RAMP_AGT und ASSUMED_GAS_TEMPERATURE



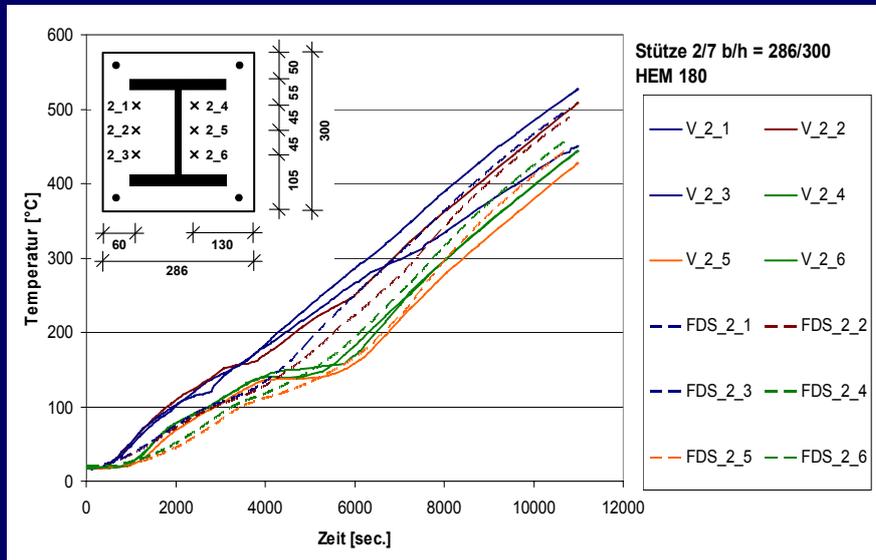
* Kordina, K., Klingsch, W. : Brandverhalten von Stahlstützen im Verbund mit Beton und von massiven Stahlstützen ohne Beton; Forschungsbericht Studiengesellschaft für Anwendungstechnik von Eisen und Stahl e.V.; 12/1983



3. Stahlbeton-Verbundstütze 2/7 – Temperaturen nahe Oberflächen



3. Stahlbeton-Verbundstütze 2/7 – Temperaturen Beton

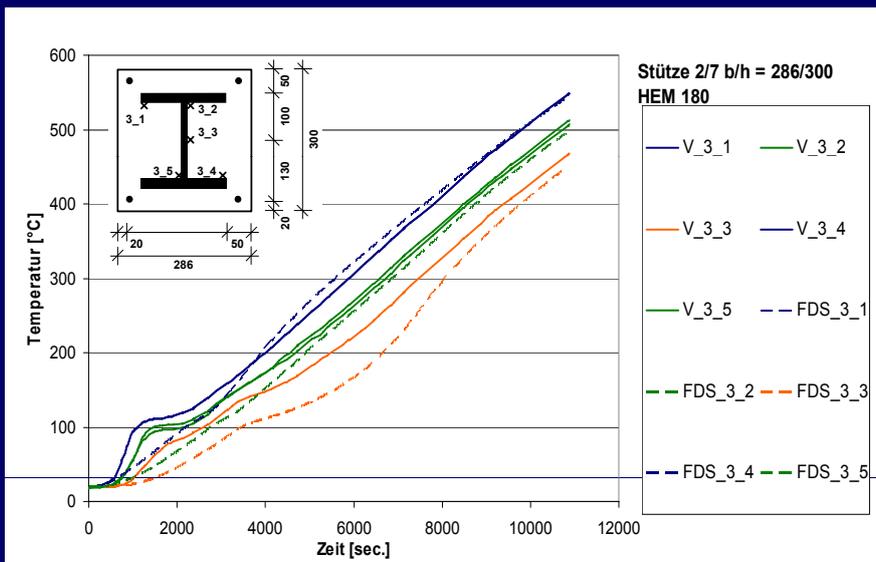


Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 13

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

3. Stahlbeton-Verbundstütze 2/7 - Temperaturen Stahlträger



Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 14

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

4. Eigener Versuchsstand und Abbildung mit FDS



Bau eines Brandofens

- Abmessungen: ca. 0,9 x 0,8 x 1,0m (B x T x H; Innenmaß)



Material:

- Schamottsteine und Platten
- hochtemperaturbeständige Wärmedämmung aus dem Industrieofenbau



Brenner:

6 Gasbrenner mit Propangas und regelbarer Luftzufuhr



Messtechnik:

- Schwebekörper-Durchflussmessung (Gas)
- Manometer (Luftzufuhr)
- 2 Temperaturfühler (Gas- / Oberflächentemperatur)
- 15 Temperaturfühler (Ni-Cr-Ni)
- 3 Temperaturfühler (Pt100 Widerstand)



Versuch
/. FDS

Versuchskörper:

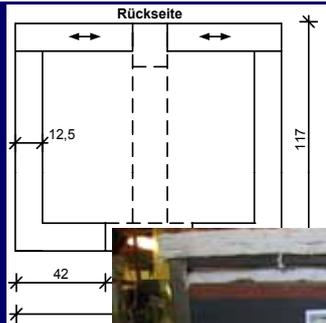
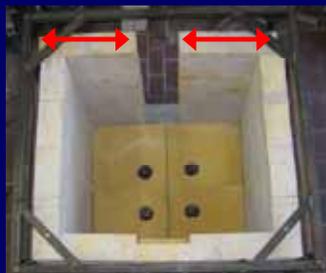
- Stahlbetonwinkel
- Stahlverbundträger

Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 15

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

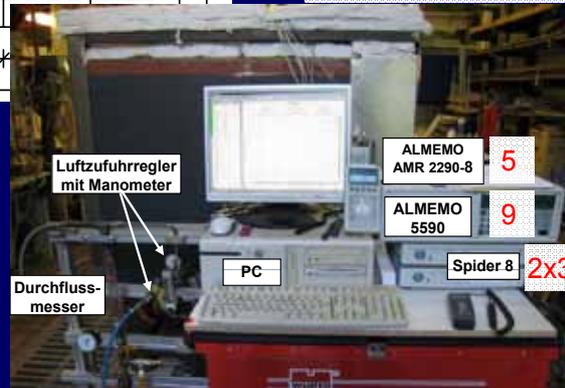
4. Eigener Versuchsstand und Abbildung mit FDS



20 Temperaturfühler



Versuch
/. FDS



Luftzufuhrregler mit Manometer

Durchflussmesser

ALMEMO AMR 2290-8 5

ALMEMO 5590 9

Spider 8 2x3

PC

Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 16

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

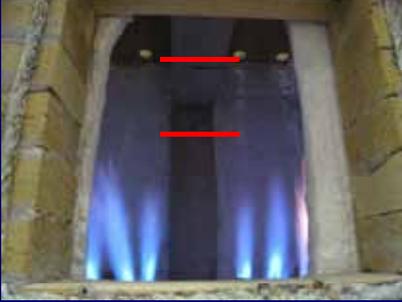




4. Versuchskörper: Stahlbeton-Winkel und Stahlbeton-Verbundträger









Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 17
Dipl.-Ing. Andreas Vischer





4. Abbildung des Versuchsstandes mit FDS

- 

Brenner: gemessener Durchfluss: im Mittel 3,8 m³/h (Propangas)
 → 3,8 m³/h x 2,01 g/m³ x 12,874 kWh/kg x 1,0 = 98,33 kW
- 

FDS: 4 Flächen à 0,015m², Anstieg der HRR bis max. 1640 kW/m²
 → 4 x 0,015 x 1640 = 98,4 kW
- 

Luftzufuhr: nahezu stöchiometrische Verbrennung bei 0,25bar (3,8 m³/h)
 Messung der Geschwindigkeit an Trichteröffnung Ø 2cm bei 0,25bar:
 im Mittel 3,5 m/s (bei 6 Brennern)
 → 6 x π x 0,01² x 3,5 m/s = ca. 0,007 m³/s
- 

FDS: 2 Flächen à 0,075m² mit Volumenstrom 0,0035m³/s
 → 2 x 0,0035 m³/s = 0,007 m³/s
- 

Öffnungen: insg.: 0,028 m² (Decke) und 0,03 m² (Boden um Brenner)
- 

FDS: 0,05m² Decke (Stb.-Winkel inkl. Undichtigkeiten entlang Versuchskörper)
 0,03m² Decke (Stahlverbundträger inkl. kleinerer Undichtigkeiten)
 0,03m² im Boden

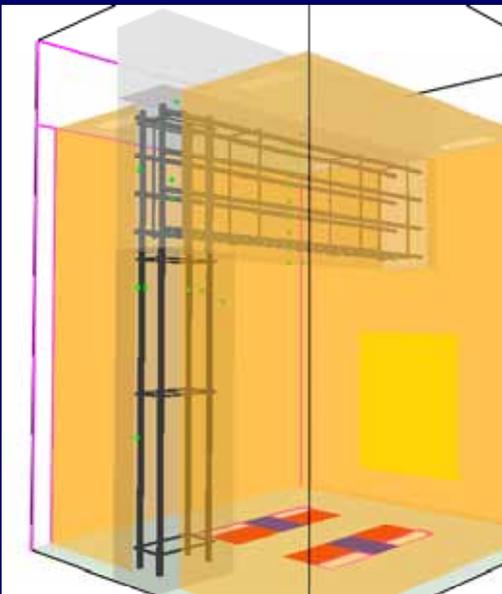
Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

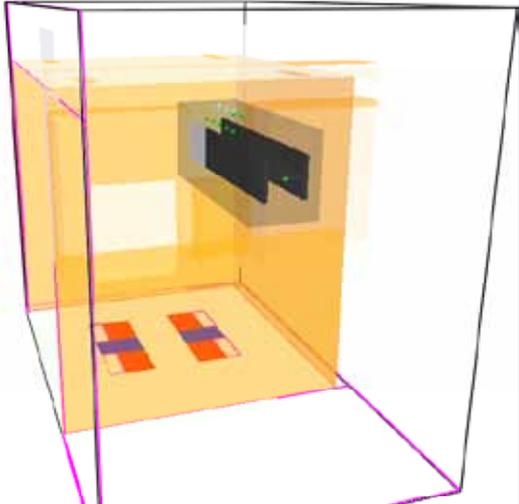
Folie 18
Dipl.-Ing. Andreas Vischer





4. Eigener Versuchsstand und Abbildung mit FDS





Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

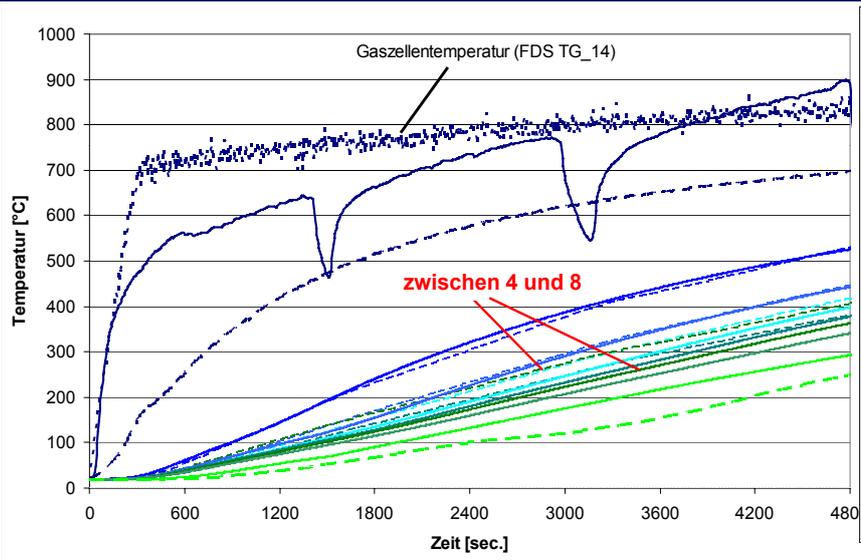
Folie 19

Dipl.-Ing. Andreas Vischer





5. Vergleich von Ergebnissen – Stb.-Winkel Riegel



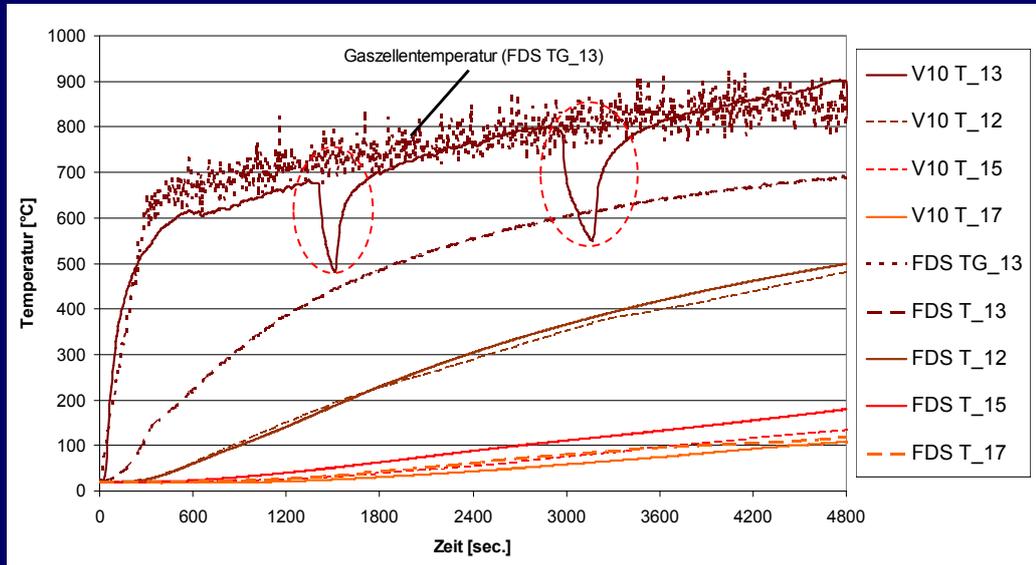
- V10 T_14
- - - V10 T_01
- - - V10 T_02
- - - V10 T_03
- - - V10 T_04
- - - V10 T_05
- V10 T_20
- ... FDS TG_14
- - - FDS T_14
- FDS T_01
- FDS T_02
- FDS T_03
- FDS T_04
- FDS T_05
- FDS T_08
- FDS T_20

Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 20

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

5. Vergleich von Ergebnissen – Stb.-Winkel Stütze

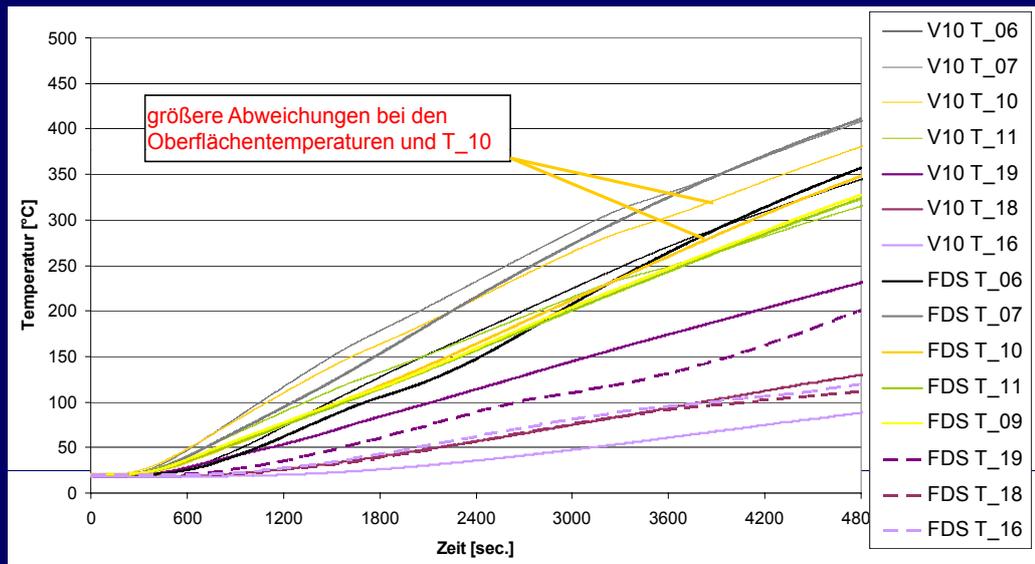


Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 21

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

5. Vergleich von Ergebnissen – Stb.-Winkel Ecke



Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 22

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

6. Zusammenfassung und Fazit



- 3-D Effekte lassen sich mit dem neuen Sub-Modell berechnen
- Wärmeübertragung durch Konvektion wird korrigiert durch detaillierte Unterscheidung der Richtung des Wärmestroms



- Reduzierung des max. Fehlers bei der Linearisierung des Strahlungswärmestroms durch schärferes Iterationskriterium



- Versuche aus der Literatur mit ETK Beanspruchung konnten mit hohem Übereinstimmungsgrad nachgerechnet werden



- Bau einer eigenen Versuchskammer mit variablen und exakt bekannten Versuchsrandbedingungen



- weitere Validierung des entwickelten Sub-Modells durch sehr gute Übereinstimmung zwischen Versuchs- und Berechnungsergebnissen



- Kontakt mit Haupt-Entwicklern vom NIST besteht und Modell soll kurz- bis mittelfristig implementiert werden!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

1. Einführung – neue Eingabeparameter



- Ausgabe der Temperaturen an der Oberfläche und im 3D-Objekt

Eingabe einer Messkette von einem Punkt aus möglich

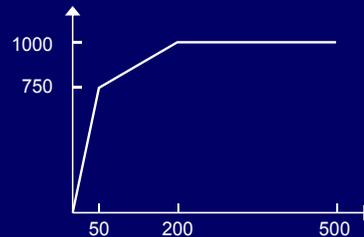
```
&DEVC      XYZ = 0.25, 0.6, 0.15,
           IOR = 3,
           QUANTITY = 'WALL3D TEMPERATURE',
           ID = '7_Messpunkte',
           PATH = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.06, 0.08 /
```



- Überprüfung des Modells durch Erweiterung der RAMP-Funktion möglich

```
&MISC RAMP_AGT = 'LIN' ,
      ASSUMED_GAS_TEMPERATURE = 1000.
```

```
&RAMP ID = 'LIN', T= 0.0, F=0.0 /
&RAMP ID = 'LIN', T=50.0, F=0.75 /
&RAMP ID = 'LIN', T=200.0, F=1.0 /
&RAMP ID = 'LIN', T=500.0, F=1.0 /
```



Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 25

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

3. Versuchen aus der Literatur - Übersicht



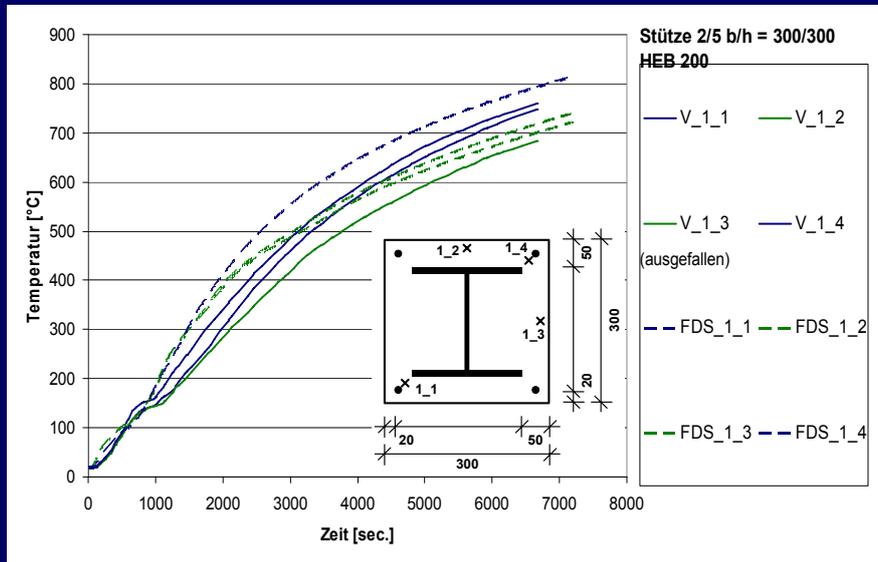
Versuch	Stahlträger Profil	Betondeckung Stahlträger	Stützenbreite	Stützenbreite	Bewehrung	Betondeckung Bewehrung
	[-]	c ₂ [mm]	a _y [mm]	a _z [mm]	[-]	c ₁ [mm]
2/1	HEB 200	50	300	300	4 Ø 12	20
2/2	HEB 200	75	350	350	4 Ø 12	20
2/3	HEB 200	100	400	400	4 Ø 12	20
2/5	HEB 200	50	300	300	4 Ø 12	20
2/7	HEM 180	50	286	300	4 Ø 12	20
2/8	HEM 120	50	226	240	4 Ø 12	20

Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 26

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

3. Stahlbeton-Verbundstütze 2/5 – Temperaturen nahe Oberflächen

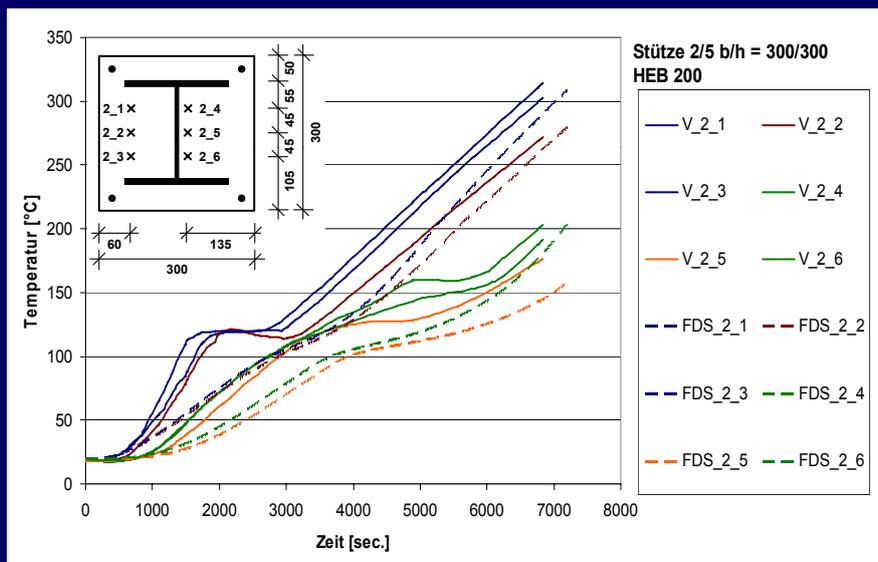


Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 27

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

3. Stahlbeton-Verbundstütze 2/5 – Temperaturen Beton

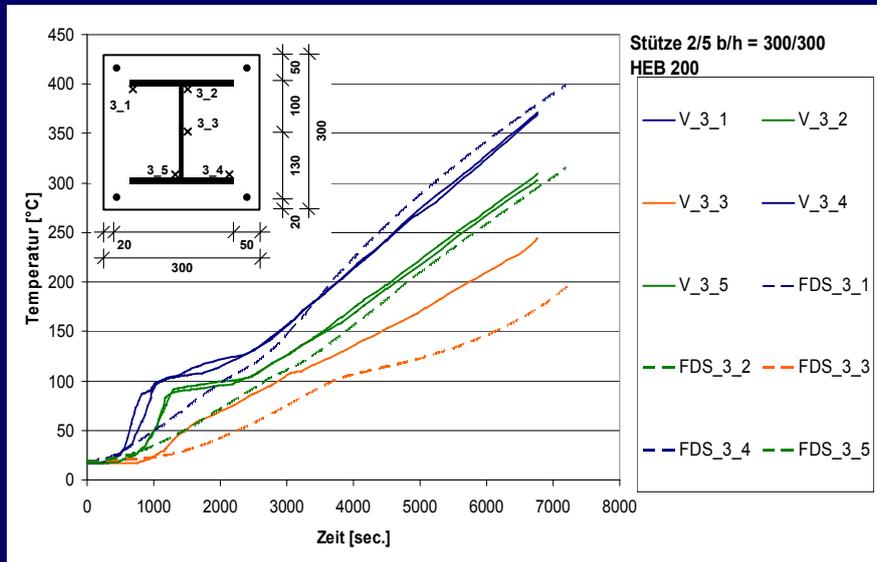


Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 28

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

3. Stahlbeton-Verbundstütze 2/5 - Temperaturen Stahlträger

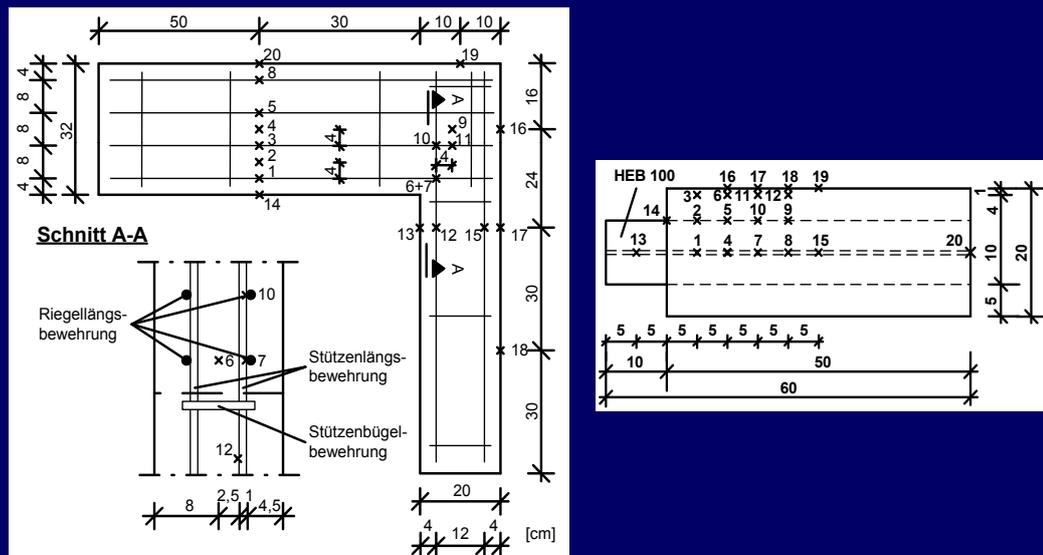


Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 29

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

4. Eigener Versuchsstand und Abbildung mit FDS

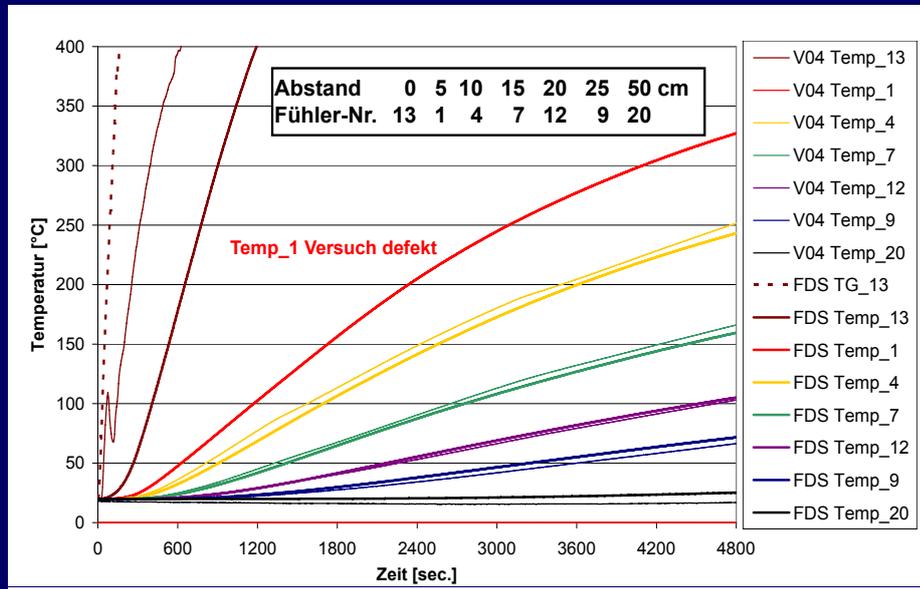


Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 30

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

5. Vergleich von Ergebnissen – Verbundträger – Stahlträgersteg

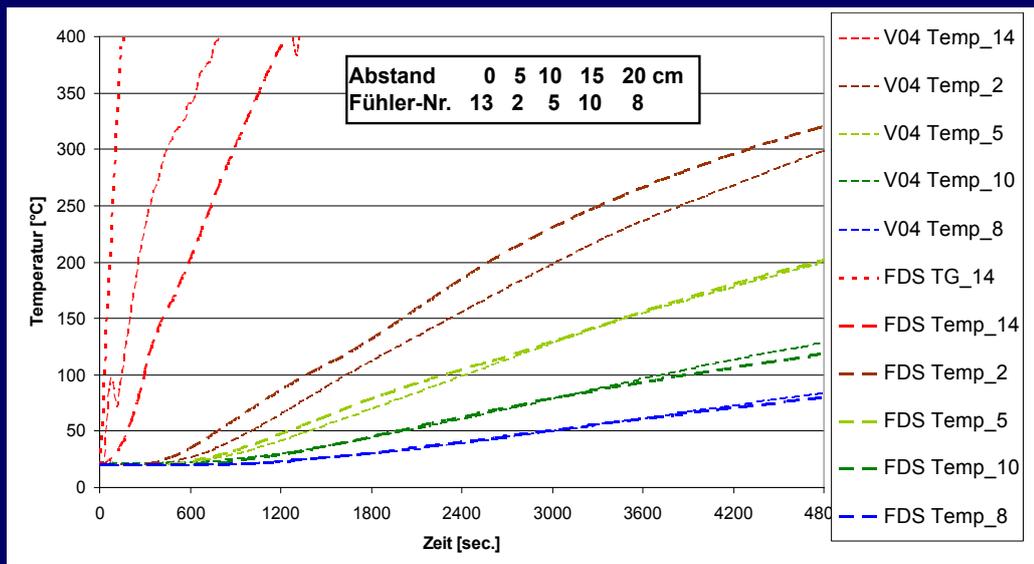


Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 31

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

5. Vergleich von Ergebnissen – Verbundträger – Beton Flanschende

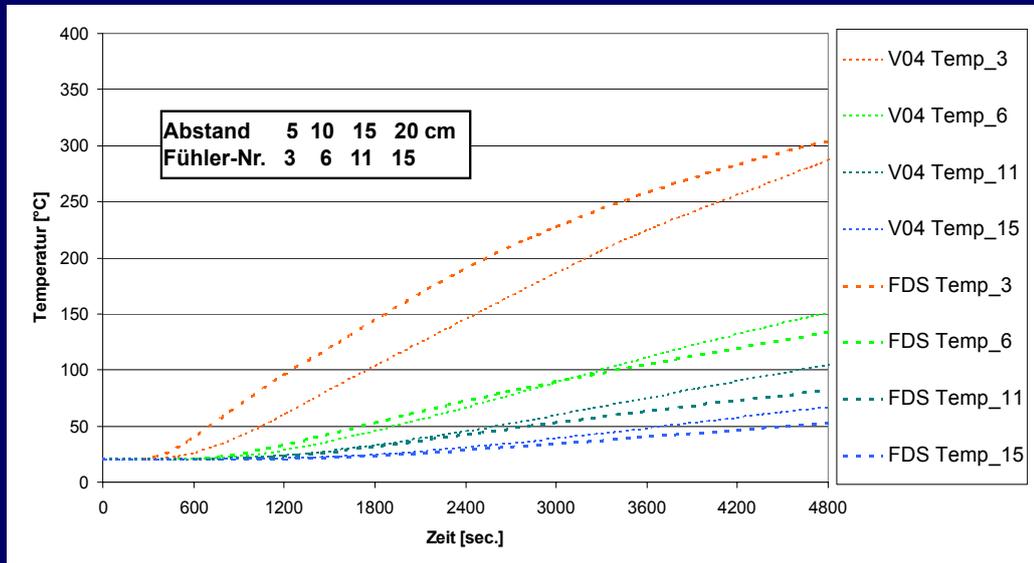


Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 32

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

5. Vergleich von Ergebnissen – Verbundträger – 1cm unter Oberfl.

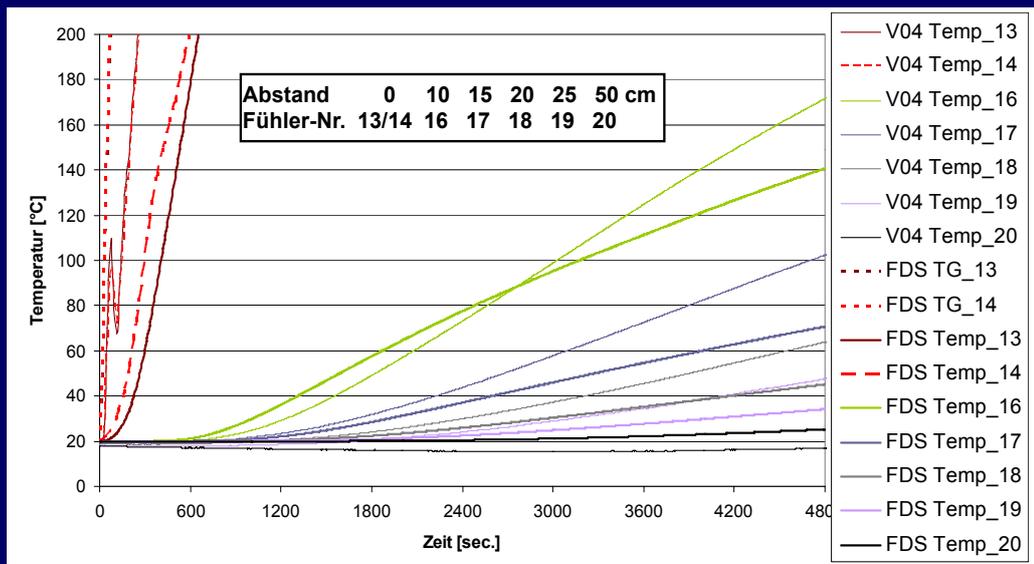


Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 33

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

5. Vergleich von Ergebnissen – Verbundträger – Oberfläche



Verifikation und Validation des neuen Sub-Modells zur Berechnung der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen – Nachrechnung von Brandversuchen

Folie 34

Dipl.-Ing. Andreas Vischer

Matthias Münch:

Richtig schnell rechnen - Vorstellung einer neuen Initiative

Abstract:

In dem Vortrag wird eine neue gemeinsame Initiative von hhp Berlin und der Interessengruppe Numerische Risikoanalyse (INURI) vorgestellt. Die Initiative will die von den FDS-Entwicklern begonnene Verifikations- und Validierungsarbeit unterstützen und substantielle Verbesserungen des Fire Dynamics Simulator auf den Weg bringen.

Wie bereits in zahlreichen Vorträgen durch verschiedene Autoren der FDS Usergroup demonstriert, blockiert insbesondere eine unzureichende Parallelisierungsmethodik des Drucklösers die Anwendung des Fire Dynamics Simulators auf Parallelrechnern für Simulationen mit mehreren Gitternetzen. Nach bisherigem Kenntnisstand verletzen alle FDS-Programmversionen auf Parallelrechnern die mathematisch begründbare Anforderung, dass die Lösung nicht von der Art und Weise der Gebietszerlegung abhängen darf. Dies ist für die praktische Anwendung von hoher Relevanz, da hiermit die effiziente Nutzung von Parallelrechnern verhindert wird. Dank des von Christian Rogsch gestarteten Vorhabens mit Hilfe der OpenMP Bibliothek programmintern Funktionsabläufe auf Shared-Memory Rechnern parallel abzuarbeiten, werden in Zukunft Parallelrechnungen mit einem Gitternetz zuverlässig durchgeführt werden können. Doch auch dieser Ansatz behebt nicht das Problem der unzureichenden Parallelisierungsmethodik des Drucklösers auf mehreren Gitternetzen.

Aufbauend auf den bereits von Susanne Kilian präsentierten Implementierungsarbeiten des neuen Drucklösers ScaRC ist eine neue FDS-Version FDS-ScaRC entstanden. Für die Verifikation und Validierung dieser Entwicklung wird eine Testreihenhierarchie entwickelt, die in einzelnen Testsets die spezifische Eigenschaften der numerischen Verfahren des Fire Dynamics Simulators gezielt abprüft. Diese Testhierarchie gliedert Verifikations- und Validierungstests entsprechend der jeweiligen Prüfkriterien und Methodiken. Sie greift hierzu auch auf die von den FDS-Entwicklern bereits dokumentierten Testfälle zurück. Hierzu notwendige Erweiterungen des Fire Dynamics Simulators, die nicht zwingend für die praktische Anwendung benötigt werden, jedoch für zuverlässige Test unabdingbar sind, sind in Arbeit. Hierzu gehört bspw. die Verfügbarkeit periodischer Randbedingungen. Erste Testergebnisse der begonnenen Arbeiten liegen bereits vor und demonstrieren die Überlegenheit des neuen Verfahrensansatzes von FDS-ScaRC. Sie werden im Vortrag von Frau Kilian vorgestellt.

Eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Programmentwicklung, Fehlersuche sowie Verifikations- und Validierungsarbeiten ist die Möglichkeit, im Programm berechnete Daten unverändert ausgeben und vielfältig auswerten zu können. Zu diesem Zweck wurde eine FDS-Schnittstelle zur Programmbibliothek SILO entwickelt. Hiermit ist es nun möglich die Daten unverändert mit Hilfe der Visualisierungssoftware ViSiT darzustellen. Das Programm ViSiT wurde vom Lawrence-Livermore National Laboratory entwickelt und wird von den Mitarbeitern von INURI seit vielen Jahren in der Softwareentwicklung erfolgreich verwendet.

Richtig schnell rechnen

Vorstellung einer neuen Initiative

Matthias Münch

Interessengruppe **N**umerische **R**isikoanalyse
INURI GmbH, Haderslebener Str. 9, 12163 Berlin

3. FDS Usergroup Treffen
Berlin, 29.-30. Oktober 2009

Richtig schnell rechnen

Inhalt



Inhaltsübersicht:

- 1. Motivation**
- 2. Ziele der Initiative**
- 3. Verifikation und Validierung**
(Struktur- und Konzeptvorstellung)
- 4. Publikationen**

Motivation

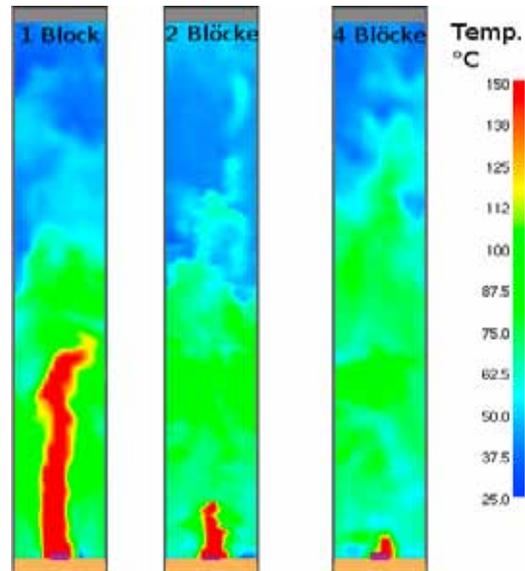
Beispiel: Schacht



INURI
Interessengruppe
Numerische Strömungsanalyse

Gebietszerlegung

- ▶ Fire Dynamics Simulator
- ▶ Schachtgeometrie
- ▶ Wärmequelle am Boden
- ▶ Meßgröße Temperatur
- ▶ horizontale Zerlegung



Ziele der Initiative

Richtig schnell rechnen



INURI
Interessengruppe
Numerische Strömungsanalyse

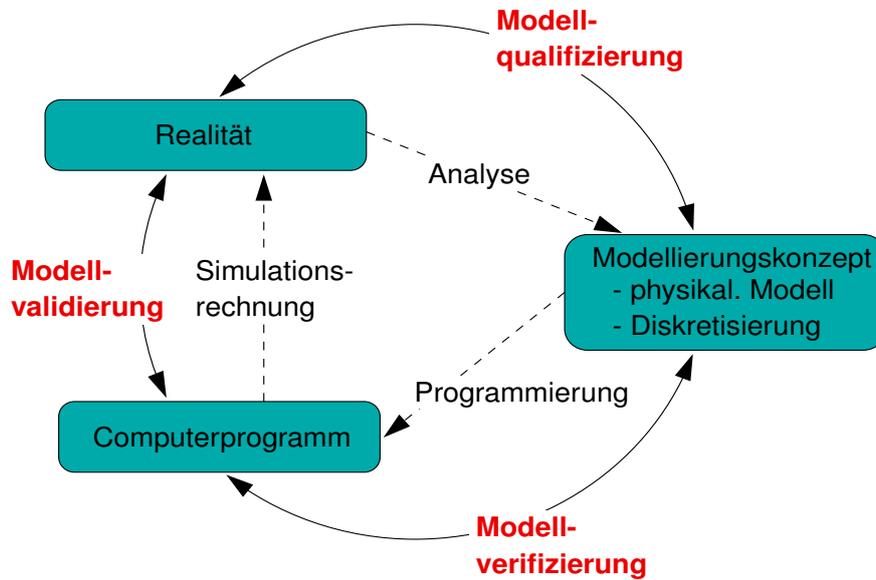
- 1. Implementierung von ScaRC in den FDS Sourcecode**
 - ▶ Programmierung (Susanne Kilian, hhpberlin)
 - ▶ Identifikation von Fehlern / Querabhängigkeiten
- 2. Verifikation und Validierung von FDS-ScaRC**
 - ▶ Definition einer Testmatrix
 - ▶ Vergleich mit anderen Codes
 - ▶ Identifikation weiterer Fehler
 - ▶ Zusammenarbeit mit FDS-Entwicklern (NIST)
- 3. Publikation von Basis-Artikeln zu FDS-ScaRC**

Verifikation & Validierung

Begriffe



V & V Prozess nach [Schlesinger 1979]



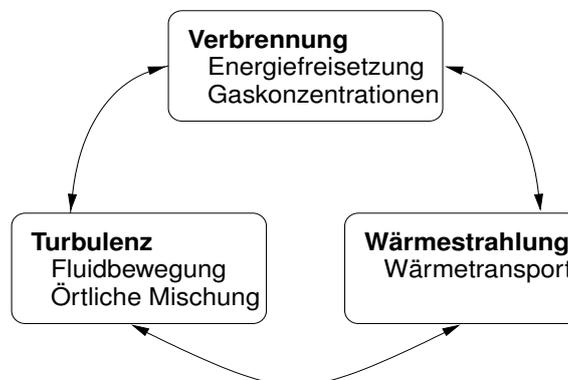
Verifikation & Validierung

Kopplung von physikal. + chem. Prozessen



Kopplung: Turbulenz - Strahlung - Verbrennung

- ▶ Hohe räumliche und zeitliche Auflösung erforderlich
- ▶ Nichtlineare Kopplung



Verifikation & Validierung

Komponententest



Komponenten eines Programms

Physikalische Submodelle

- ▶ Turbulenz
- ▶ Strahlung
- ▶ Offene Randbedingungen
- ▶ ...

Datenhandhabung

- ▶ Strukturen
- ▶ Parallelisierung
- ▶ Lastverteilung
- ▶ ...

Numerische Algorithmen

- ▶ Flusslimiter
- ▶ Zeitintegration
- ▶ Lineare algebraische Löser
- ▶ ...

Gitterhandhabung

- ▶ Gitterstruktur
- ▶ Gebietszerlegung
- ▶ Gitterverfeinerung
- ▶ ...

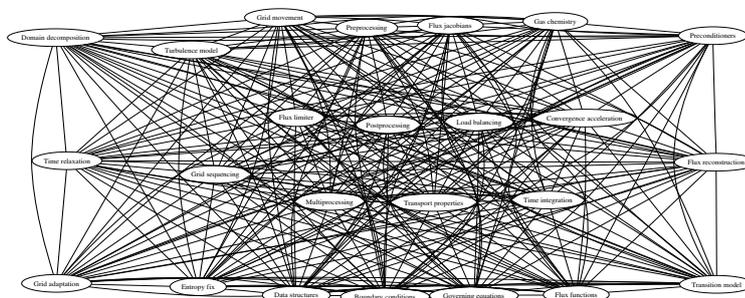
Verifikation & Validierung

Komponententest



Kopplung der Komponenten

- ▶ Beispiel: FUN3D flow solver [Kleb and Wood, 2004]
 - ▶ enthält 24 Komponenten
 - ▶ Interaktion der Komponenten



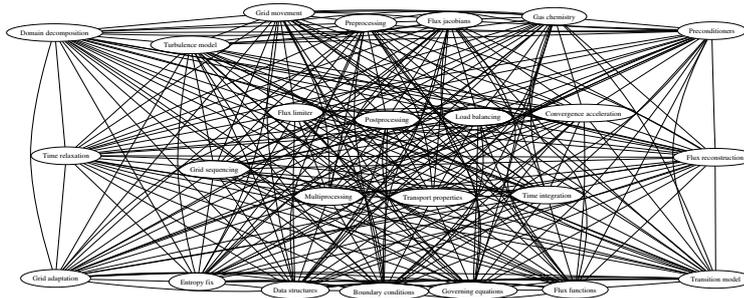
Verifikation & Validierung

Komponententest



Kopplung der Komponenten

- ▶ Beispiel: FUN3D flow solver [Kleb and Wood, 2004]
 - ▶ enthält 24 Komponenten
 - ▶ Interaktion der Komponenten



- ▶ ≈ 1 Fehler pro 170 Programmzeilen [Hatton, 1997]
- **isolierte Tests von Programmkomponenten**

Verifikation & Validierung

Testmatrix



Klassifizierung der Vergleichsdaten

A Analytische Tests

Aufgrund theoretischer Überlegungen ist das Ergebnis bekannt.

SE Semi-experimentelle Tests

Experimentelle Untersuchungen spezieller Konfigurationen für einzelne physikalische Prozesse.

N Numerische Tests

Numerische Vergleichsrechnungen mit qualitativ hochwertigeren Programmen.

E Experimentelle Tests

Experimente / Brandversuche, Small- als auch Full-Scale.

Verifikation & Validierung

Testmatrix



Klassifizierung des Testziels

Festlegung der abzutestenden Programmeigenschaften hinsichtlich:

- G:** Gebietszerlegung / Multiblock
- K:** Ordnung und Konvergenz
- P:** Parallelisierung
- R:** Randbedingung
- S:** Symmetrie

...

Verifikation & Validierung

Testmatrix



Testmatrix (Beispiel)

Test	Typ	Physikal. Komponenten								
		Gasdynamik	Gravitation	Viskosität	Diffusion	Turbulenz	Strahlung	Wärmeübergang	Verbrennung	Strukturtest
Pipe	A	✓								G,K
Orifice	SE	✓		✓		✓				R,K
Orifice	N	✓		✓		✓				R,K

Verifikation & Validierung

Beispiel: Pipe



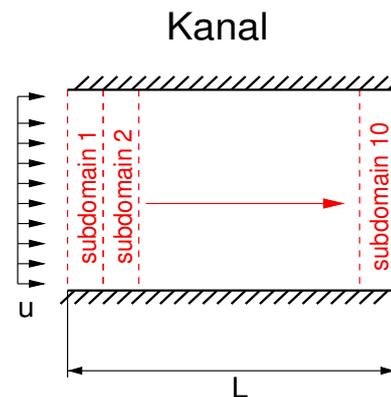
INURI
Interessengruppe
Numerische Strömungsanalyse

Test FDS-Hydrodynamik (Kanal)

- ▶ ohne Turbulenzmodell
- ▶ Links: Einströmung
 $u(t) = u_0 \sin(2\pi ft)$
- ▶ Rechts: Offener Rand
- ▶ Kontrollgröße **Druckänderung $\Delta\tilde{p}$**

Analytische Lösung:

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \vec{v} dV = \oint_A \tilde{p} \vec{n} dA \rightsquigarrow \Delta\tilde{p} = \rho u_0 2\pi f \cos(2\pi ft) L$$



Verifikation & Validierung

Beispiel: Orifice



INURI
Interessengruppe
Numerische Strömungsanalyse

Test FDS-Hydrodynamik (Normblende)

- ▶ ohne Turbulenzmodell
- ▶ Links: konstante Einströmung
- ▶ Rechts: Offener Rand
- ▶ Kontrollgröße **Druckverlust**

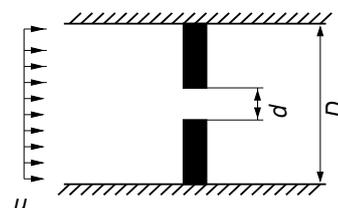
Empirische Lösung:

$$\Delta p_v = \zeta \rho \frac{\bar{u}^2}{2}$$

Widerstandszahl $\zeta = f(d/D)$
experimentell ermittelt

Keine geeigneten Experimentalwerte verfügbar!

Kanal mit Normblende

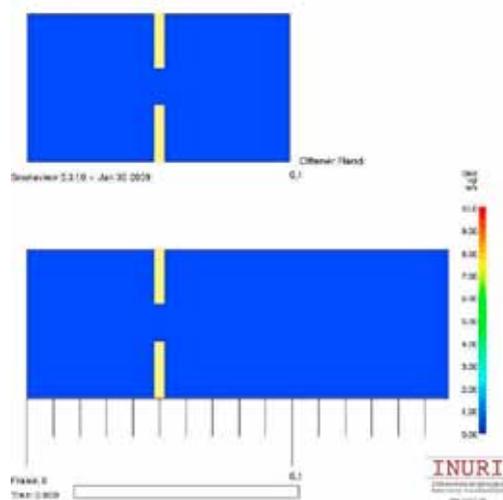


Verifikation & Validierung

Beispiel: Orifice



Test FDS-Hydrodynamik (Normblende)



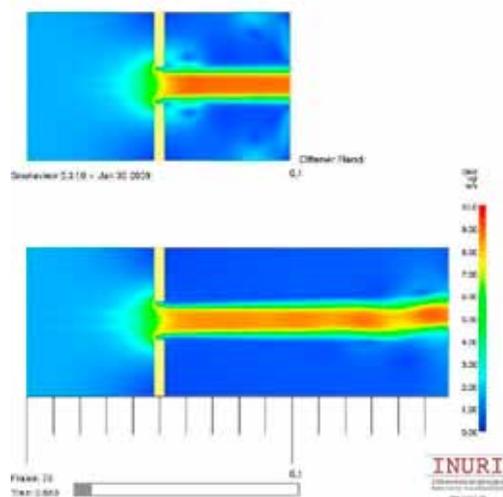
Darstellung des Geschwindigkeitsfeldes

Verifikation & Validierung

Beispiel: Orifice



Test FDS-Hydrodynamik (Normblende)



Reflektion von Wirbeln am offenen Rand
Ursache: Fehlerhafte Randbedingung

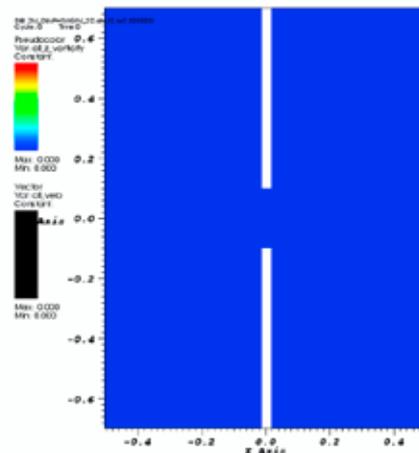
Verifikation & Validierung

Beispiel: Orifice



INURI
Interessengruppe
Numerische Strömungsanalyse

Test MOLOCH: Hydrodynamik (Normblende)



Darstellung des Geschwindigkeitsfeldes

Verifikation und Validierung

Datenausgabe



INURI
Interessengruppe
Numerische Strömungsanalyse

Problem

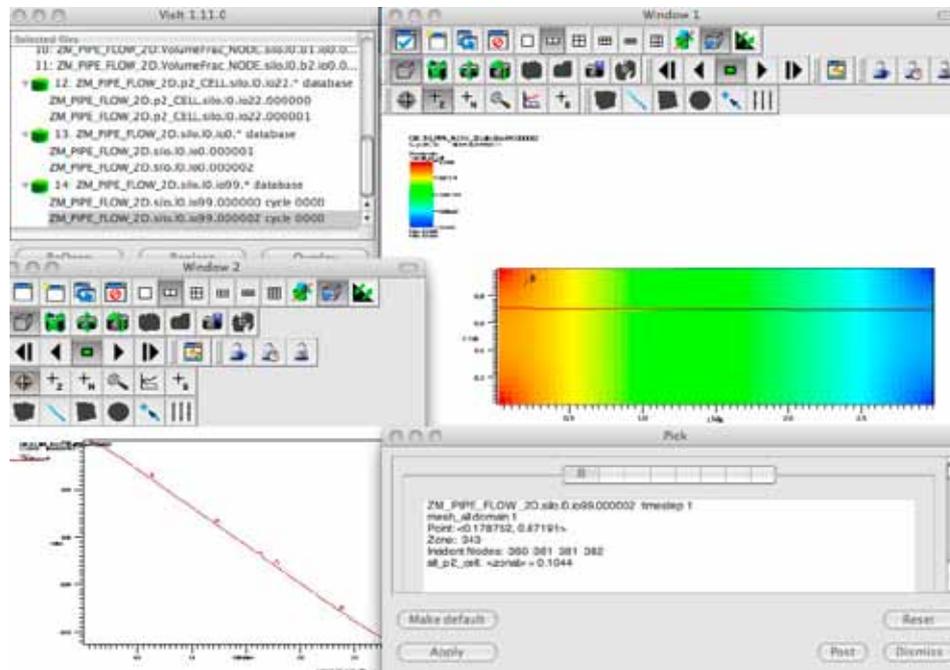
Ausgabe und Visualisierung der FDS Daten
teilweise ungeeignet

Lösung

Implementierung einer eigenen Datenausgabe
im SILO-Datenformat

Verifikation und Validierung

Datenausgabe



Verifikation und Validierung

Offen



Ausblick

- ▶ Ausbau der Testmatrix
- ▶ Einbindung der vorhandenen NIST-Testfälle
- ▶ Automatisierung von V&V Überprüfungen
- ▶ Zielgruppen gerechte Publikationen

Publikationen

Richtig schnell rechnen



INURI
Interessengruppe
Numerische Strömungsanalyse

Ziele

- ▶ **Dokumentation**
- ▶ **Veröffentlichung**
 - ▶ Vorträge und Artikel
 - ▶ Sprache: Deutsch und Englisch

1. Kilian, S.; Münch, M.:

A new generalized domain decomposition strategy for the efficient parallel solution of the FDS-pressure equation. Part I: Theory, Concept and Implementation., Konrad-Zuse Zentrum für Informationstechnik, 2009, 30 p., ZIB-Report 09-19, ISBN: 1438-0064

2. In Vorbereitung: *Part II: Verification and Validation*

Matthias Münch

Richtig schnell rechnen

Seite 21



INURI
Interessengruppe
Numerische Strömungsanalyse

Herzlichen Dank

www.inuri.de
info@inuri.de

INURI GmbH
Haderslebener Str. 9, 12163 Berlin

Eine Ausgründung der
Freien Universität Berlin

Matthias Münch

Richtig schnell rechnen

Seite 22

Dr. Susanne Kilian:

FDS-ScaRC: Ein optimierter Parallelisierungsansatz für die FDS-Druckgleichung auf Basis adaptiver Gittervernetzungstechniken

Abstract:

Der aktuelle Parallelisierungsansatz zur Lösung der FDS-Druckgleichung basiert auf einer lokalorientierten Vorgehensweise, bei der fast ausschließlich benachbarte Teilgebiete Daten untereinander austauschen. Auf den ersten Blick scheint FDS daher mühelos auf große Prozessorzahlen zu skalieren. Die unzureichende globale Kopplung hat jedoch zur Folge, dass übergreifende physikalische Zusammenhänge nicht immer adäquat erfasst werden, sodass die parallelisierte Variante die Konvergenzordnung der korrespondierenden seriellen Variante nicht erhält. Je nach Komplexität des betrachteten Szenarios können sich Fehlereinflüsse im Verlauf einer Simulation bedenklich aufsummieren und zu unphysikalischen Resultaten bzw. im schlimmsten Fall zur Divergenz führen.

Während des Forschertages wird der aktuelle Entwicklungsstand der neuen Parallelisierungsstrategie FDS-ScaRC präsentiert, die auf einer ausgeklügelten Symbiose aus modernen Gebietszerlegungs- und Mehrgitterkonzepten basiert. Die wesentliche Philosophie besteht darin, unter Auffindung lokal strukturierter Blöcke ein Höchstmass an Datenlokalität zu bewahren bei gleichzeitig starker globaler Kopplung durch ein umgreifendes Korrekturverfahren. Dies involviert einen hohen Prozentsatz an arithmetischer Arbeit, die in hardwareoptimierter Weise rein lokal durchgeführt werden kann. In Kooperation mit Randall McDermott vom NIST werden zur Zeit erste adaptive Gitterverfeinerungstechniken und deren Integration in FDS-ScaRC diskutiert und bereits implementiert. Erste vergleichende Testreihen haben sich als sehr viel versprechend erwiesen. So wurde bereits auf den vorangehenden Anwendertreffen belegt, dass FDS-ScaRC die serielle Konvergenzordnung erhält. Weiterhin hat sich eine zuverlässigere Skalierbarkeit auf höhere Prozessorzahlen sowie eine hohe physikalische Genauigkeit gezeigt. In engmaschiger Zusammenarbeit mit Herrn Münch, INURI GmbH, wird aktuell ein umfassendes Konzept zur Verifikation des neuen Ansatzes auf Basis einer fein abgestimmten Hierarchie von Testreihen erstellt, dessen erste Resultate vorgestellt werden.

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

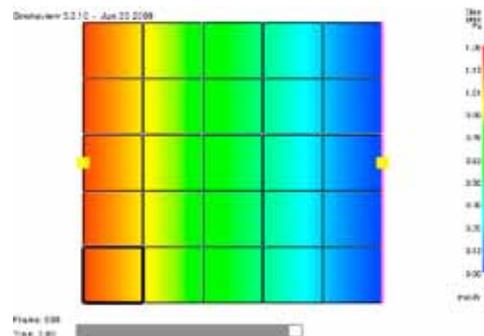
FDS-ScaRC: Ein optimierter Parallelisierungsansatz für die FDS-Druckgleichung auf Basis adaptiver Gittervernetzungstechniken

Dr. Susanne Kilian

hhpberlin
Ingenieure für Brandschutz
10245 Berlin

www.hhpberlin.de
www.fds-usergroup.de

s.kilian@hhpberlin.de



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

FDS-ScaRC: Ein optimierter Parallelisierungsansatz für die FDS-Druckgleichung auf Basis adaptiver Gittervernetzungstechniken

Inhalt:

- Erläuterung der Kernbestandteile von ScaRC
- Vergleichender Verifikationstest FFT- versus ScaRC-Drucklöser

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

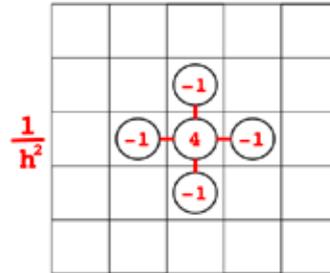
Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Diskretisierung der FDS-Druckgleichung

Poisson-Gleichung für den Druck:

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



Finite Differenzen-Diskretisierung (2D):

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

⇒ **Ersetzung der 2. Ableitung durch Differenzenquotienten (zellweise)**

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Iterative Lösung der FDS-Druckgleichung

Lineares Gleichungssystem:

$$Ax = b, \quad A \in \mathbb{R}^{n \times n}, \quad x, b \in \mathbb{R}^n$$



Basisiteration:

$$x^{m+1} = x^m - \omega B^{-1}(Ax^m - b)$$

mit: **Vorkonditionierungsmatrix** $B \in \mathbb{R}^{n \times n}$, "B ~ part(A)"

- ⇒
- dichtere Eigenwertverteilung innerhalb der Systemmatrix
 - Verbesserung der Kondition des Gesamtsystems

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Interpretation als Defektkorrektur-Verfahren

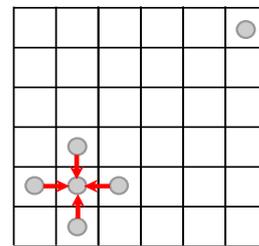
Defekt:
$$d^m := Ax^m - b$$

⇒ misst, wie gut $Ax = b$ durch die aktuelle Iterierte x^m erfüllt ist

Charakteristische Eigenschaft der Basisiteration:

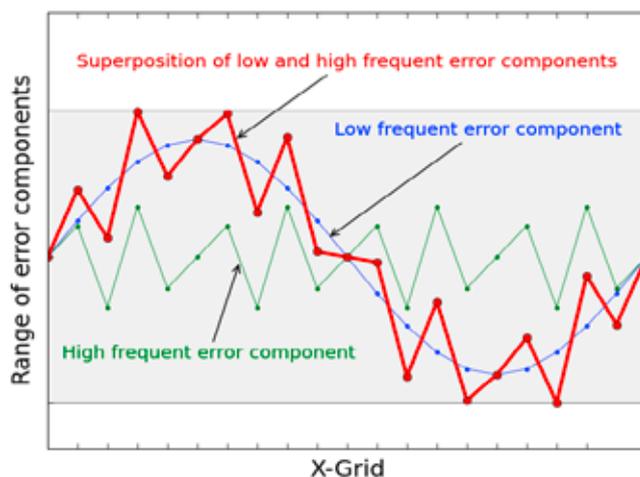
Vertreter (z.B. Jacobi, Gauss-Seidel) bilden neue Werte durch Mittelwertbildung aus umliegenden Werten

- ⇒
- stockender Transport von Informationen
 - üblicherweise langsame Konvergenz
 - aber: **Glättungseigenschaft !!!!**



ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Erläuterung der Glättungseigenschaft am 1D-Beispiel

Initialer Defekt:
$$d^0 := Ax^0 - b$$

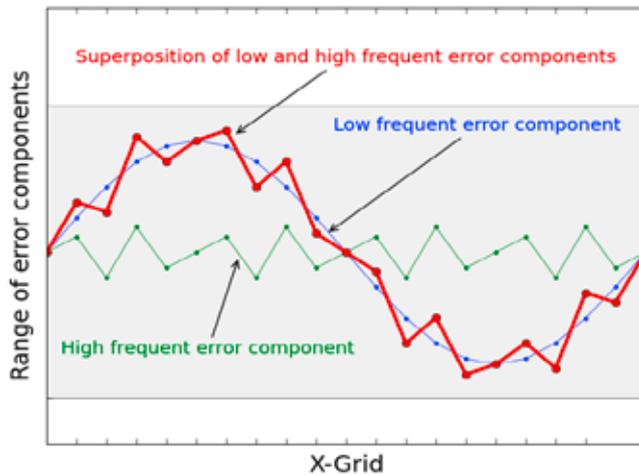


⇒ setzt sich aus hoch- und niederfrequenten Anteilen zusammen

⇒ soll durch Anwendung eines Glättungsverfahrens möglichst schnell ausgedämpft werden

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Erläuterung der Glättungseigenschaft am 1D-Beispiel

1. Iteration: $d^1 := Ax^1 - b$

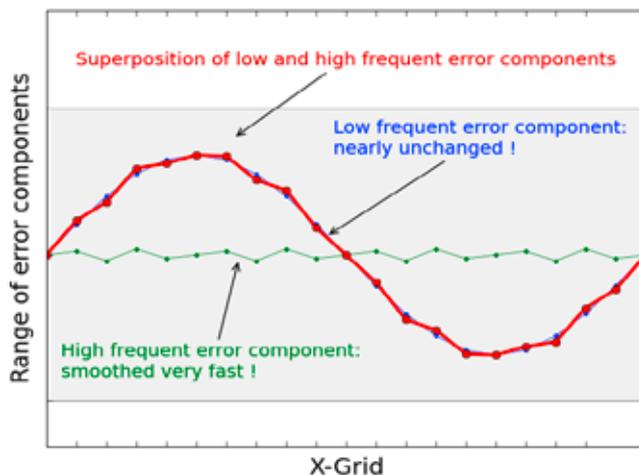


⇒ schnelles Ausdämpfen der hochfrequenten Fehleranteile

⇒ langsames Ausdämpfen der niederfrequenten Fehleranteile

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Erläuterung der Glättungseigenschaft am 1D-Beispiel

m. Iteration: $d^m := Ax^m - b$



⇒ hochfrequente Fehleranteile bereits nach wenigen Iterationen ausgedämpft

⇒ niederfrequente Fehleranteile nahezu unverändert

⇒ Fehler ist glatt, aber eventuell noch sehr groß !!!

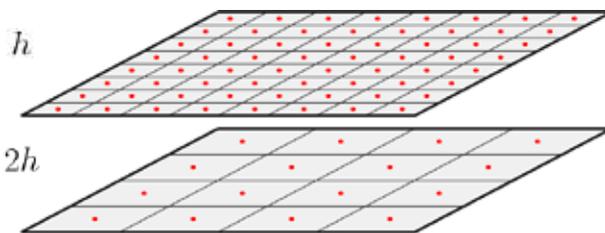
Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): 2-Gitter-Zyklus

⇒ Lösung eines Korrekturproblems auf größerem Gitter

- niederfrequenter Anteil erscheint dort als hochfrequent
- weitere Glättung durch Basisiteration möglich
- deutlich niedrigere Berechnungskosten !!!



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): 2-Gitter-Zyklus

⇒ • Restringiere Defekt auf größeres Gitter:

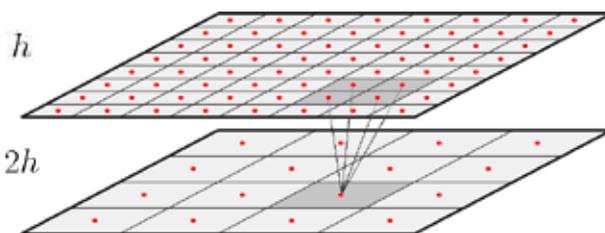
$$d_{2h}^m = I_h^{2h} d^m$$

• Löse Defektgleichung mit ‚grober‘ Matrix:

$$A_{2h} y = d_{2h}^m$$

• Addiere prolongierte Korrektur:

$$x^m = x^m + I_{2h}^h y$$



Restriktion: fein → grob

$$I_h^{2h} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \cdot & \cdot \\ 1 & 1 \end{bmatrix}_{2h}^h$$

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

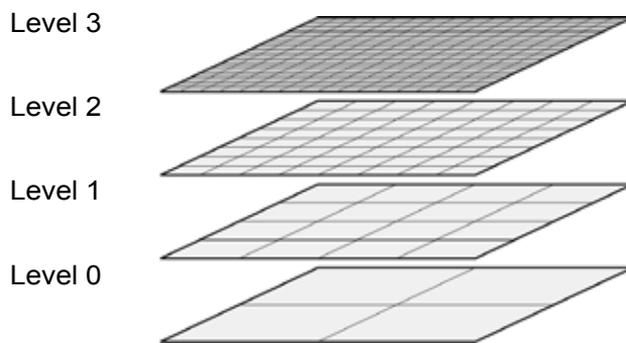
Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

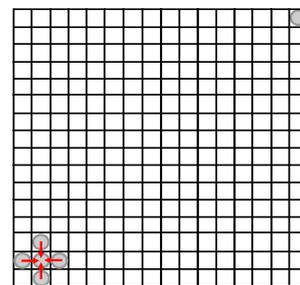
ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Voller Mehrgitter-Zyklus

i : m_i Glättungsschritte auf Level i
0 : exakte Grobgitterlösung auf Level 0
 : Restriktion : Prolongation

3



schlechte globale Kopplung



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

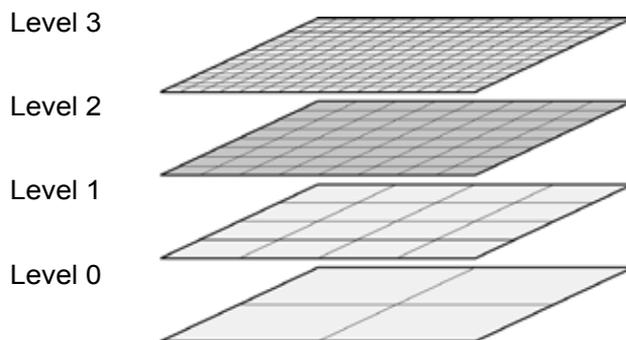
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

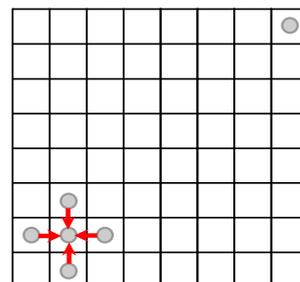
hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Voller Mehrgitter-Zyklus

i : m_i Glättungsschritte auf Level i
0 : exakte Grobgitterlösung auf Level 0
 : Restriktion : Prolongation



mäßige globale Kopplung



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

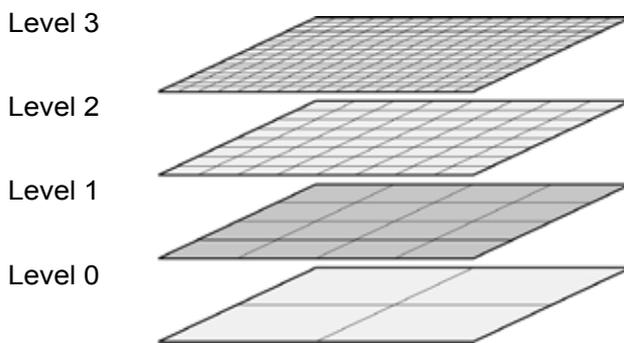
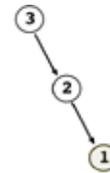
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

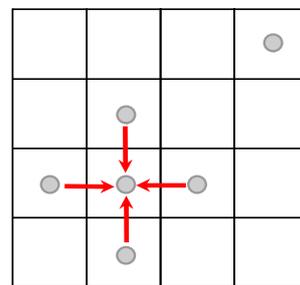
hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Voller Mehrgitter-Zyklus

i : m_i Glättungsschritte auf Level i
0 : exakte Grobgitterlösung auf Level 0
 : Restriktion : Prolongation



gute globale Kopplung



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

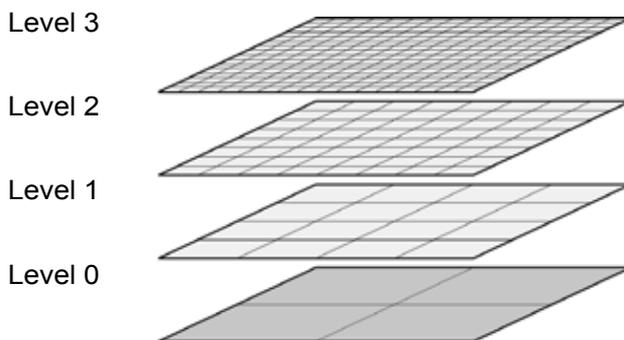
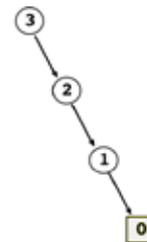
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

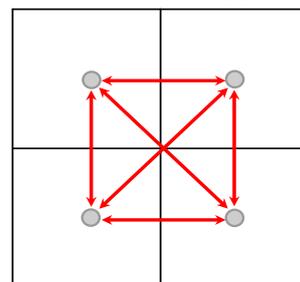
hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Voller Mehrgitter-Zyklus

i : m_i Glättungsschritte auf Level i
0 : exakte Grobgitterlösung auf Level 0
 : Restriktion : Prolongation



starke globale Kopplung



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

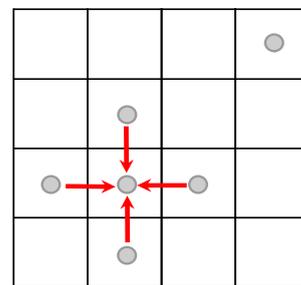
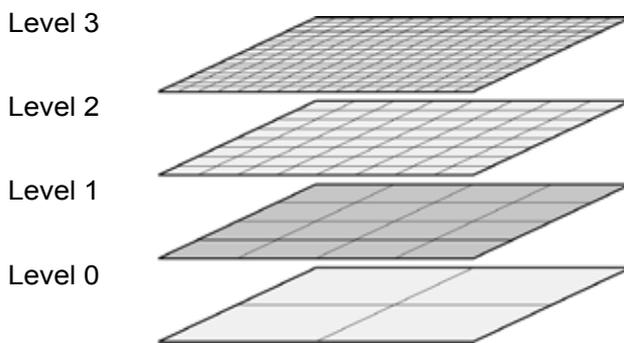
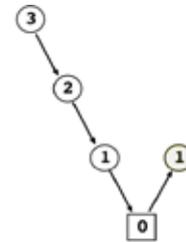
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Voller Mehrgitter-Zyklus

i : m_i Glättungsschritte auf Level i
0 : exakte Grobgitterlösung auf Level 0
 : Restriktion : Prolongation



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

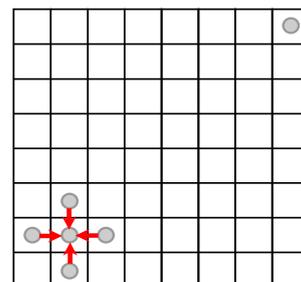
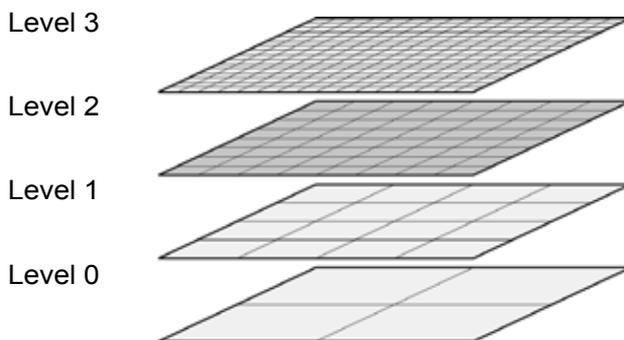
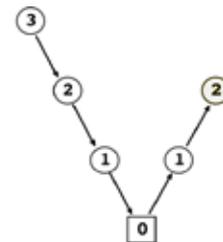
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Voller Mehrgitter-Zyklus

i : m_i Glättungsschritte auf Level i
0 : exakte Grobgitterlösung auf Level 0
 : Restriktion : Prolongation



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

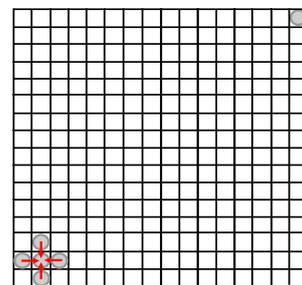
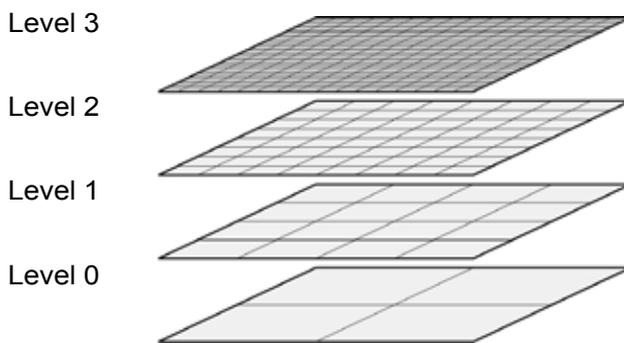
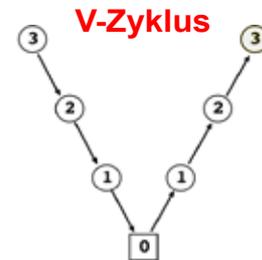
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Voller Mehrgitter-Zyklus

i : m_i Glättungsschritte auf Level i
0 : exakte Grobgitterlösung auf Level 0
 : Restriktion : Prolongation



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

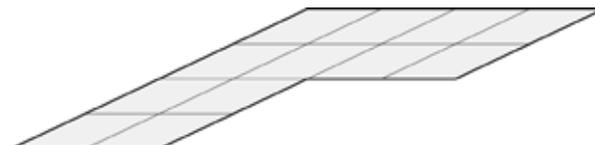
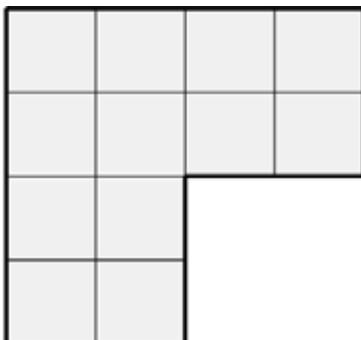
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Anwendung auf adaptive Gitterzerlegungen

Grobgitter Gesamtgebiet:



➔ Erste globale Grobzerlegung

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

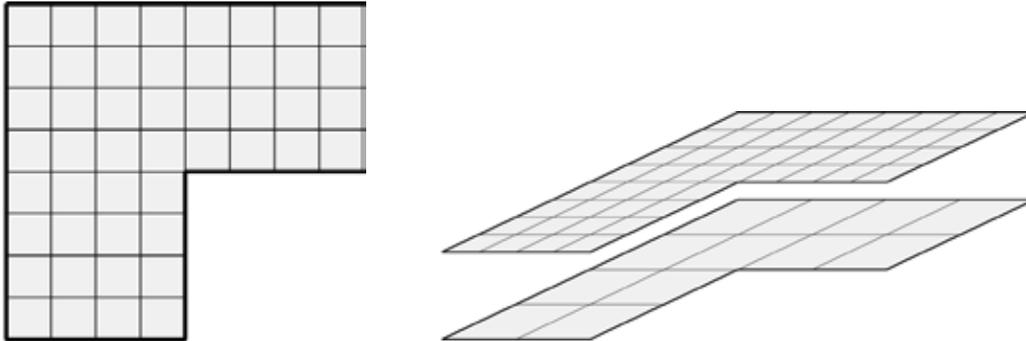
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Anwendung auf adaptive Gitterzerlegungen

Feingitter Gesamtgebiet:



➔ Noch relative grobe Verfeinerung des Gesamtgebietes

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

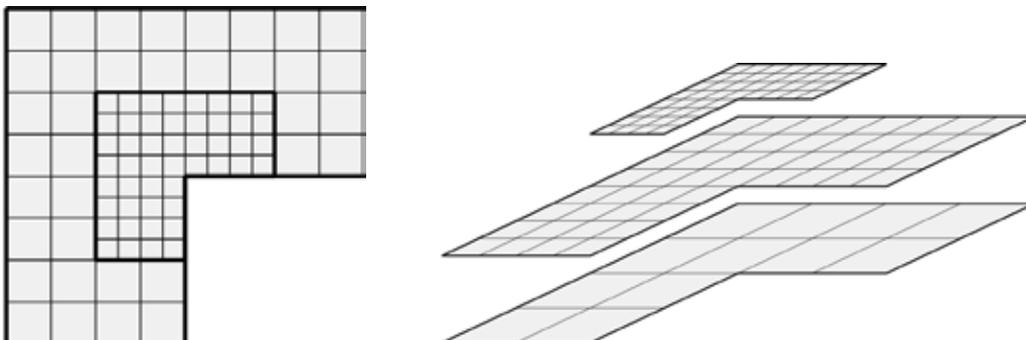
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Anwendung auf adaptive Gitterzerlegungen

1. lokale Verfeinerung:



➔ Erste, lokal feinere Auflösung des kritischen Bereiches

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

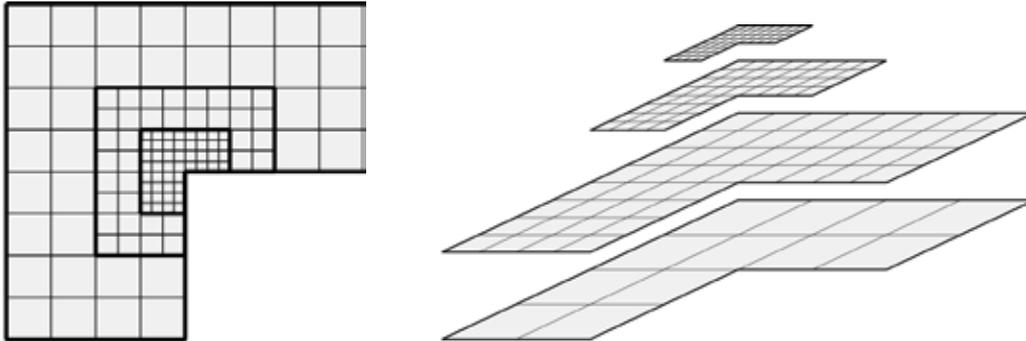
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Anwendung auf adaptive Gitterzerlegungen

2. lokale Verfeinerung:



➔ Nochmalige lokale Verfeinerung des kritischen Bereiches

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

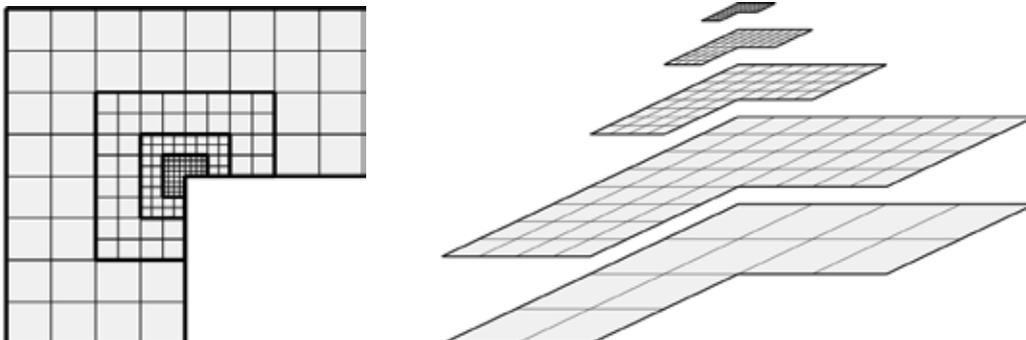
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Anwendung auf adaptive Gitterzerlegungen

3. lokale Verfeinerung:



➔ Lokale Feinstauflösung des kritischen Bereiches

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

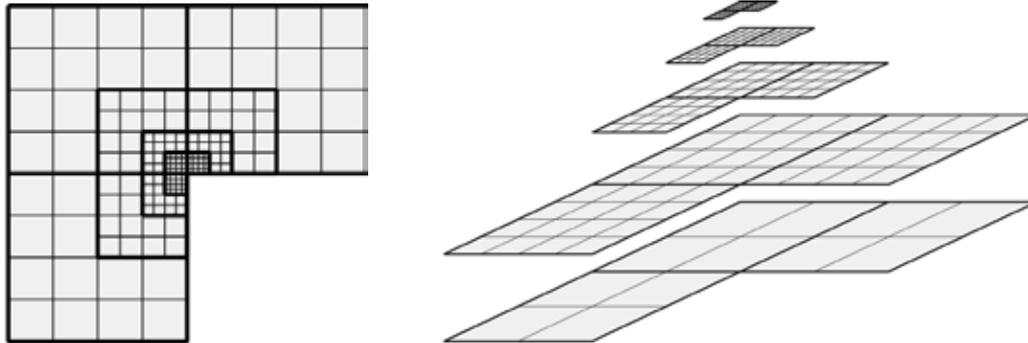
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Anwendung auf adaptive Gitterzerlegungen

zusätzliche Unterteilung in Teilgebiete:



⇒ "Parallele Zerlegung" des adaptiv verfeinerten Gitters

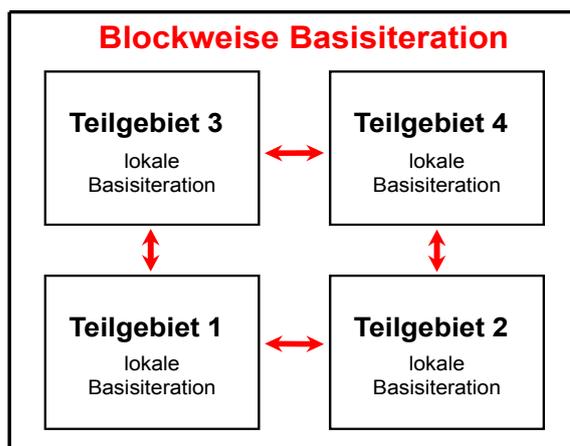
email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Einfache Basisvariante mit lokaler Kommunikation



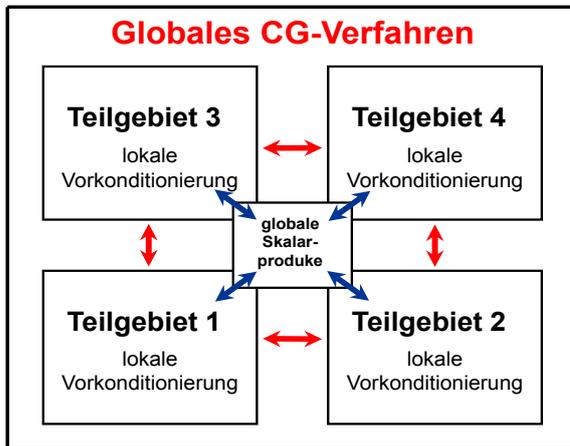
↔ : lokaler Datenaustausch

⇒ • vergleichbar mit FFT-FDS ohne Druckkorrektur
• Schwache globale Kopplung

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Daten-paralleles CG-Verfahren mit Block-Vorkonditionierung



3	4
1	2

↔ : lokaler Datenaustausch

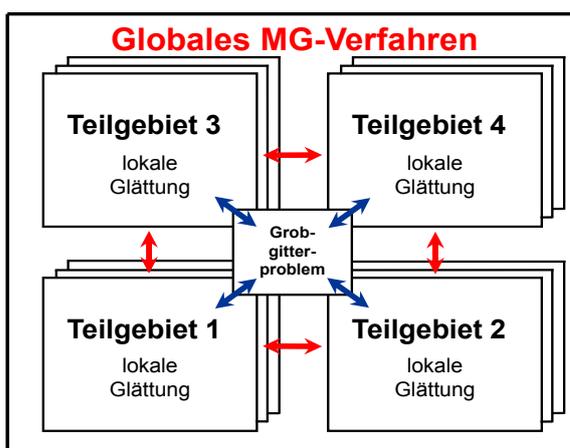
↔ : globaler Datenaustausch

- ➔ • Beschleunigung der Basisiteration durch globales CG-Verfahren
- stärkere globale Kopplung durch Skalarprodukte
- aktuelle Version

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Daten-paralleles MG-Verfahren mit Block-Glättung



3	4
1	2

↔ : lokaler Datenaustausch

↔ : globaler Datenaustausch

- ➔ • Beschleunigung der Basisiteration durch globales MG-Verfahren
- starke globale Kopplung bei hoher numerischer und rechnerischer Effizienz
- aktuell in Arbeit

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

ScaRC (Scalable Recursive Clustering): Daten-paralleles MG-Verfahren mit Block-Mehrgitter

Globales MG-Verfahren

3	4
1	2

↔ : lokaler Datenaustausch
↔ : globaler Datenaustausch

➔

- Beschleunigung der Basisiteration durch globales MG-Verfahren
- weitere Effizienzsteigerung durch lokale MG-Verfahren
- Zielversion

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Test des parallelen FDS-Drucklösers: Kanal durchströmung mit vorgegebener Einströmung

Kontrollgröße:

Druckdifferenz zwischen Aus- und Einflussrand:

$$\Delta \tilde{p} := \tilde{p}_{out} - \tilde{p}_{in}$$

Verschiedene Gebietszerlegungen:

Mesh01

Mesh02x

Mesh05x

Mesh10x

(ohne Turbulenzmodell !)

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

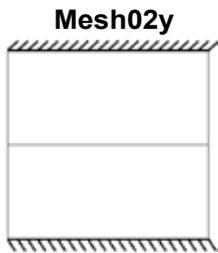
**Test des parallelen FDS-Drucklösers:
Kanal durchströmung mit vorgegebener Einströmung**

Kontrollgröße:

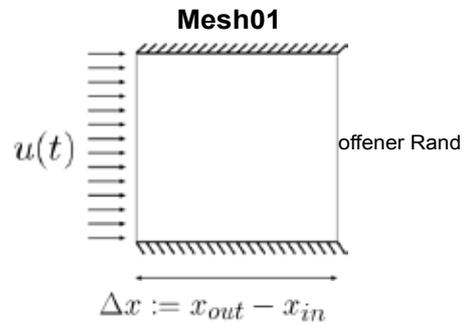
Druckdifferenz zwischen Aus- und Einflussrand:

$$\Delta \tilde{p} := \tilde{p}_{out} - \tilde{p}_{in}$$

Verschiedene Gebietszerlegungen:



(ohne Turbulenzmodell !)



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

**Test des parallelen FDS-Drucklösers:
Kanal durchströmung mit vorgegebener Einströmung**

Analytische Lösung:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = - \nabla \tilde{p}$$

Fall 1: Lineare Einströmung

$$u(t) = c_1 t \quad \Rightarrow \quad \Delta \tilde{p} = -\rho c_1 \Delta x$$

Fall 2: Sinus-Einströmung

$$u(t) = c_2 \sin(2\pi t) \quad \Rightarrow \quad \Delta \tilde{p} = -\rho c_2 2\pi \cos(2\pi t) \Delta x$$

mit: $c_1, c_2 = 1 \text{ m/s}$, $\rho = 1.188 \text{ kg/m}^3$, $\Delta x = 1.0 \text{ m}$, $t_{end} = 4.0$, 100×100 Gitter

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

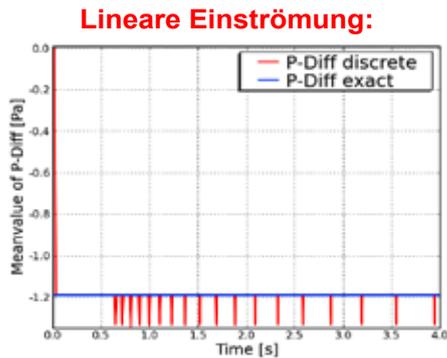
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

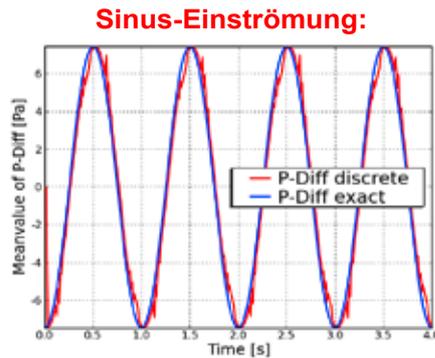
hhpberlin

Test des parallelen FDS-Drucklösers: Korrekte Druckdifferenz für beide Einströmbedingungen

Volume Mean'-Druckdifferenz: 1-Mesh diskret versus exakt



maximaler Fehler : 0.149 bei t=0.80



maximaler Fehler : 1.931 bei t=0.64

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

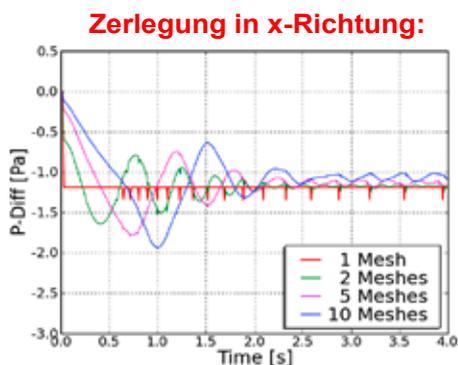
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

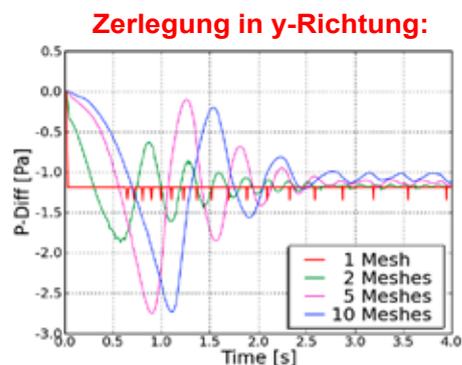
hhpberlin

Test des parallelen FDS-Drucklösers: Fall 1: Lineare Einströmung mit FFT ohne Druckkorrektur

Volume Mean'-Druckdifferenz: Vergleich der Multi-Mesh-Fälle



maximaler Fehler : 0.940 bei t=1.11



maximaler Fehler : 1.544 bei t=1.11

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

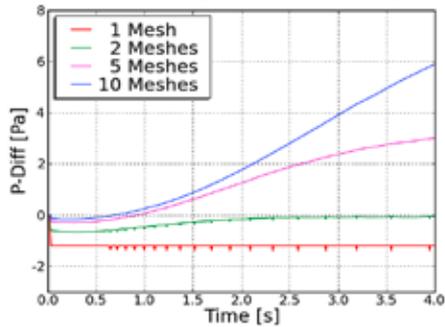
Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Test des parallelen FDS-Drucklösers: Fall 1: Lineare Einströmung mit FFT mit Druckkorrektur

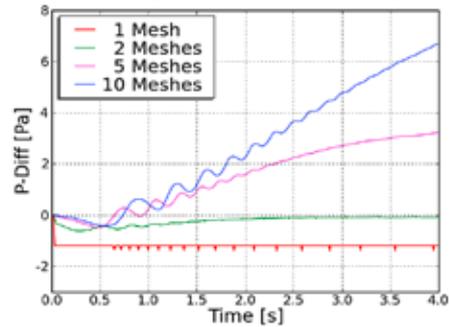
Volume Mean'-Druckdifferenz: Vergleich der Multi-Mesh-Fälle

Zerlegung in x-Richtung:



maximaler Fehler : 7.090 bei t=4.00

Zerlegung in y-Richtung:



maximaler Fehler : 7.892 bei t=4.00

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

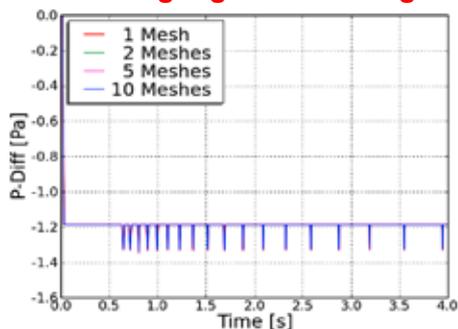
Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Test des parallelen FDS-Drucklösers: Fall 1: Lineare Einströmung mit ScaRC

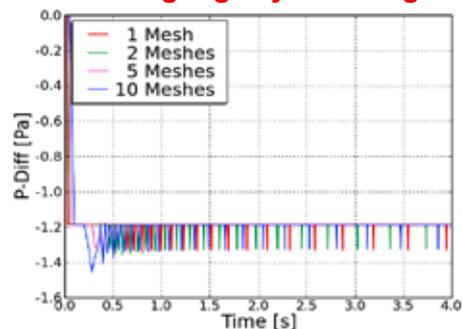
Volume Mean'-Druckdifferenz: Vergleich der Multi-Mesh-Fälle

Zerlegung in x-Richtung:



maximaler Fehler : 0.149 bei t=0.80

Zerlegung in y-Richtung:



maximaler Fehler : 0.265 bei t=2.82

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Test des parallelen FDS-Drucklöser: Fall 1: Lineare Einströmung, Vergleich der y-Zerlegungen

FFT ohne Druckkorrektur

FFT mit Druckkorrektur

ScaRC

Smokeview: PRESSURE

Smokeview: PRESSURE

Smokeview: PRESSURE

email@hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
 www.hhpberlin.com Hauptsitz:
 Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Test des parallelen FDS-Drucklöser: Fall 1: Lineare Einströmung mit FFT ohne Druckkorrektur

Punktweise-Geschwindigkeitsdifferenz für Mesh05y

- punktweise Differenz für alle entsprechenden Werte auf Ein- und Auströmrund
- detaillierte Analyse des Durchströmungsverhaltens

Mesh05y

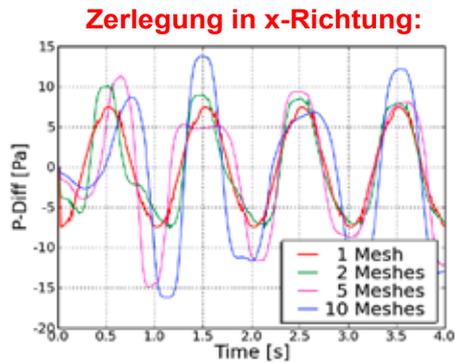
Time=1.636

➔ **deutliche Einbuchtungen an Meshgrenzen !!!**

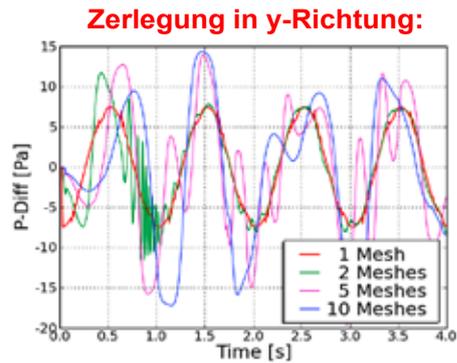
email@hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
 www.hhpberlin.com Hauptsitz:
 Rotherstraße 19, 10245 Berlin

**Test des parallelen FDS-Drucklösers:
Fall 1: Sinus-Einströmung mit FFT ohne Druckkorrektur**

Volume Mean'-Druckdifferenz: Vergleich der Multi-Mesh-Fälle



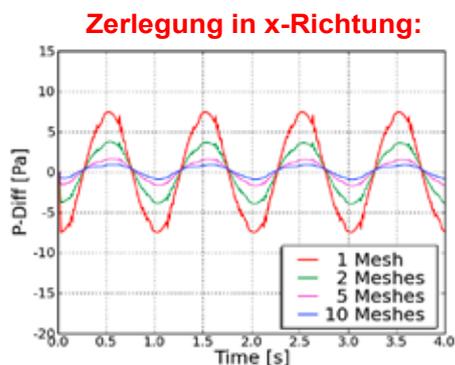
maximaler Fehler : 13.250 bei t=1.20



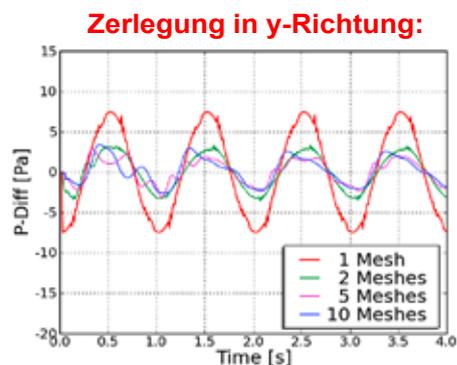
maximaler Fehler : 14.001 bei t=1.19

**Test des parallelen FDS-Drucklösers:
Fall 1: Sinus-Einströmung mit FFT mit Druckkorrektur**

Volume Mean'-Druckdifferenz: Vergleich der Multi-Mesh-Fälle



maximaler Fehler : 6.682 bei t=0.99



maximaler Fehler : 6.149 bei t=0.92

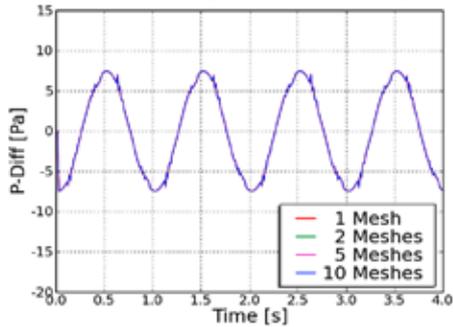
Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Test des parallelen FDS-Drucklösers: Fall 1: Sinus-Einströmung mit ScaRC

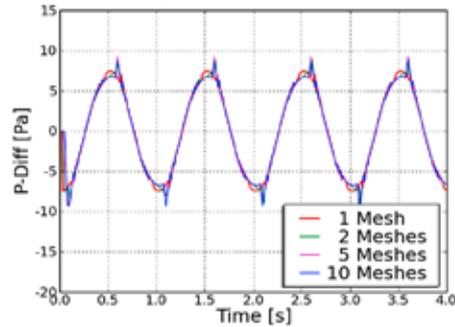
Volume Mean'-Druckdifferenz: Vergleich der Multi-Mesh-Fälle

Zerlegung in x-Richtung:



maximaler Fehler : 1.931 bei t=0.64

Zerlegung in y-Richtung:



maximaler Fehler : 2.753 bei t=1.09

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

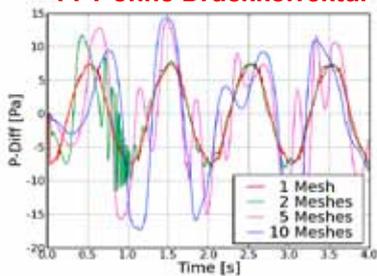
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

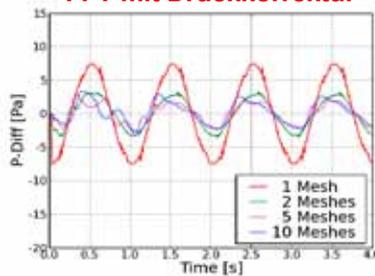
hhpberlin

Test des parallelen FDS-Drucklösers: Fall 2: Sinus-Einströmung, Vergleich der y-Zerlegungen

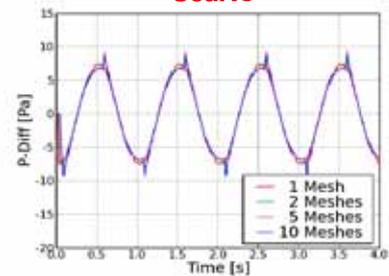
FFT ohne Druckkorrektur



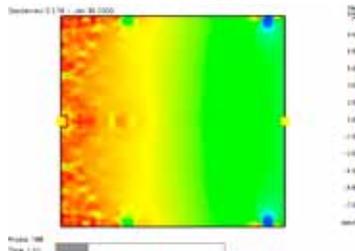
FFT mit Druckkorrektur



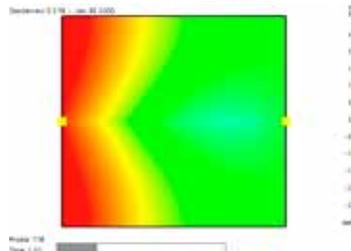
ScaRC



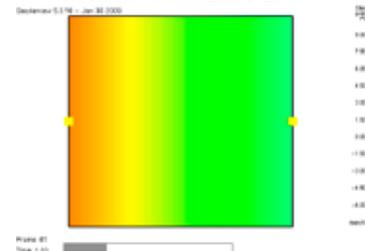
Smokeview: PRESSURE



Smokeview: PRESSURE



Smokeview: PRESSURE



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

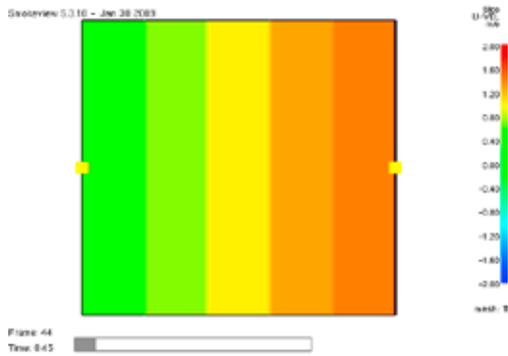
Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

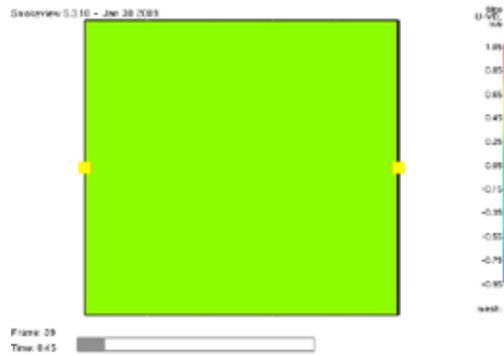
Test des parallelen FDS-Drucklösers: Fall 2: Sinus-Einströmung, Vergleich FFT versus ScaRC

Smokeview: U-VELOCITY für Mesh05x

FFT ohne Druckkorrektur:



ScaRC:



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

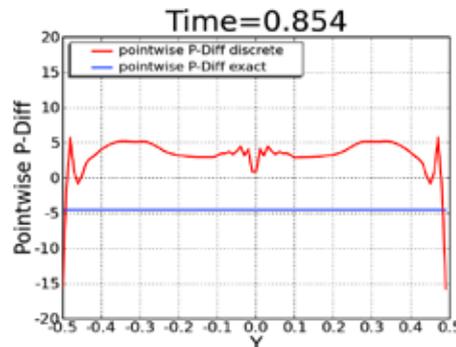
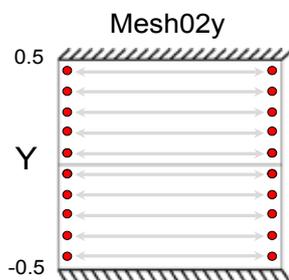
Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Test des parallelen FDS-Drucklösers: Fall 1: Sinus-Einströmung mit FFT ohne Druckkorrektur

Punktweise-Druckdifferenz für Mesh02y

- punktweise Differenz für alle entsprechenden Werte auf Ein- und Auströmrund
- detaillierte Analyse des Durchströmungsverhaltens



➔ **oszillierendes Verhalten mit Einbuchtungen an Meshgrenzen !!!**

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Test des parallelen FDS-Drucklösers: Schlussfolgerungen

• FFT-FDS

- ✦ deutliche Unterschiede je nach Zerlegungstyp (x- oder y-Zerlegung)
- ✦ Variante mit Druckkorrektur liefert vollkommen unphysikalische Ergebnisse
- ✦ Anzahl der Zeititerationen je nach Anzahl an Teilgebieten unterschiedlich
- ✦ inkonsistentes Ein- und Ausströmverhalten (Ausbuchtungen an Mesh-Grenzen)

• ScaRC-FDS

- ✦ Multi-Mesh-Fälle mit x-Zerlegung vollkommen konsistent zum 1-Mesh-Fall
- ✦ schwache Oszillationen für y-Zerlegungen (wegen umgreifender Parallelisierung ?)
- ✦ konsistente Anzahl an Zeititerationen für verschiedene Teilgebiets-Anzahlen
- ✦ konsistentes Ein- und Ausströmverhalten

⇒ **Dringende Notwendigkeit für einen Wechsel !**

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Kooperationen

• Kevin McGrattan, Randall McDermott, NIST:

- ✦ Einbau des ScaRC-Drucklösers in den offiziellen Code
- ✦ Integration entsprechender Adaptivitätskonzepte

• Matthias Münch, Projekt IGNIS:

- ✦ Erarbeitung umfassender FDS-Verifikations-Testreihen
- ✦ Veröffentlichung gemeinsamer Basis-Artikel

• Prof. Bjarne Husted, Haugesund Universität Norwegen:

- ✦ gemeinsame Analyse paralleler Konzepte bei der Bestimmung der Rauchsichthöhe in CFD-Simulationen

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Christian Rogsch:**FDS und OpenMP - Erfahrungen bei der Entwicklung****Abstract:**

Seit Anfang September ist FDS in der Version 5.4 erschienen. Erstmals wurde ein neuer Parallelisierungsansatz mittels OpenMP implementiert. Erste Testversionen der neu parallelisierten Version sind auf der offiziellen Downloadseite zu finden.

Der Vortrag soll zeigen, wie der aktuelle Entwicklungsstand der OpenMP Version ist und welche Schritte noch notwendig sind, um FDS vollständig mit OpenMP parallelisieren zu können. Weiterhin werden erste Performance-Messungen dargestellt, zudem wird auf Probleme bei der Entwicklung eingegangen. Es wird zudem gezeigt, wie sich die neue Parallelisierung auf unterschiedlichen PC-Systemen verhält.

FDS und OpenMP – Erfahrungen bei der Entwicklung



Christian Rogsch
christian@rogsch.de

30. Oktober 2009

Gliederung

- Parallelisierungsstrategien
- Aktueller Stand der OpenMP Entwicklung
- Probleme
- Weiteres Vorgehen
- Performance-Messungen auf unterschiedlichen Systemen

Parallelisierungsstrategien

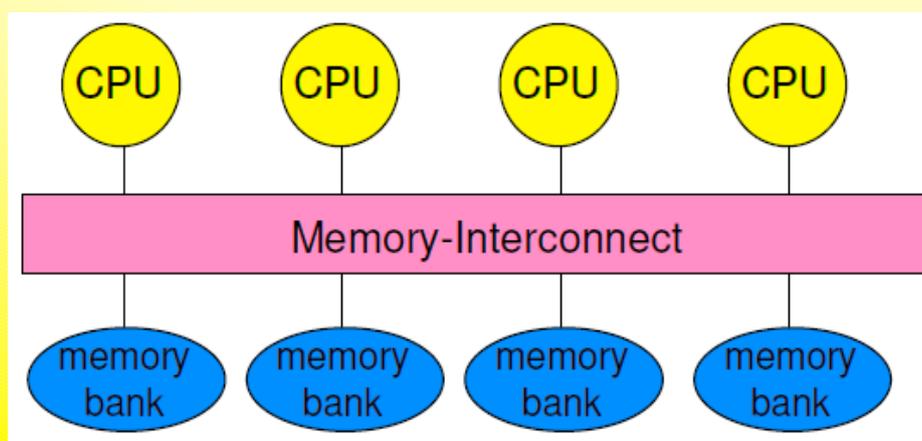
- Diverse Ansätze, am bekanntesten:
 - OpenMP
 - MPI
 - Kombinationen OpenMP-MPI
- Unterschiede (vereinfacht):
 - OpenMP = Shared Memory (mehrere Kerne)
 - MPI = Distributed Memory (mehrere Rechner)

Folie Nr. 3

Dipl.-Ing. Christian Rogsch, Bergische Universität Wuppertal

Parallelisierungsstrategien

- OpenMP-Ansatz:



Quelle:

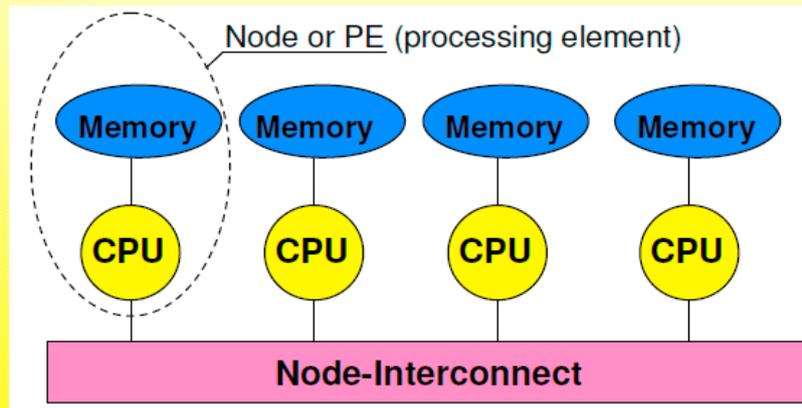
http://www.hlr.de/organization/par/par_prog_ws/2008B/02_arch_models_which_2to1.pdf

Folie Nr. 4

Dipl.-Ing. Christian Rogsch, Bergische Universität Wuppertal

Parallelisierungsstrategien

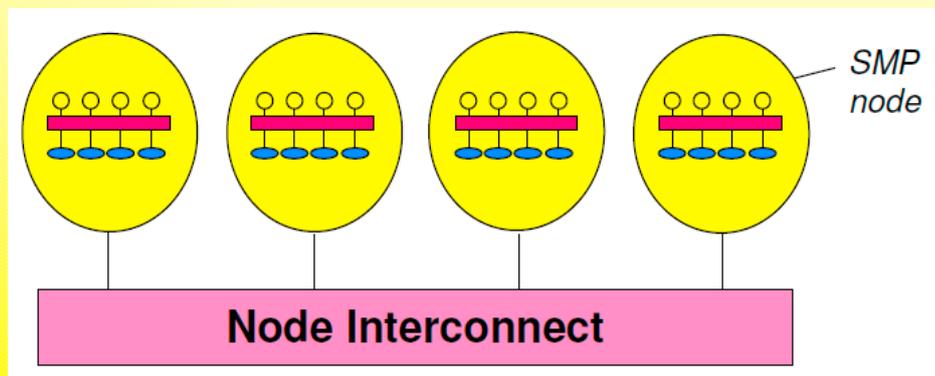
- MPI-Ansatz:



Quelle:
http://www.hlr.de/organization/par/par_prog_ws/2008B/02_arch_models_which_2to1.pdf

Parallelisierungsstrategien

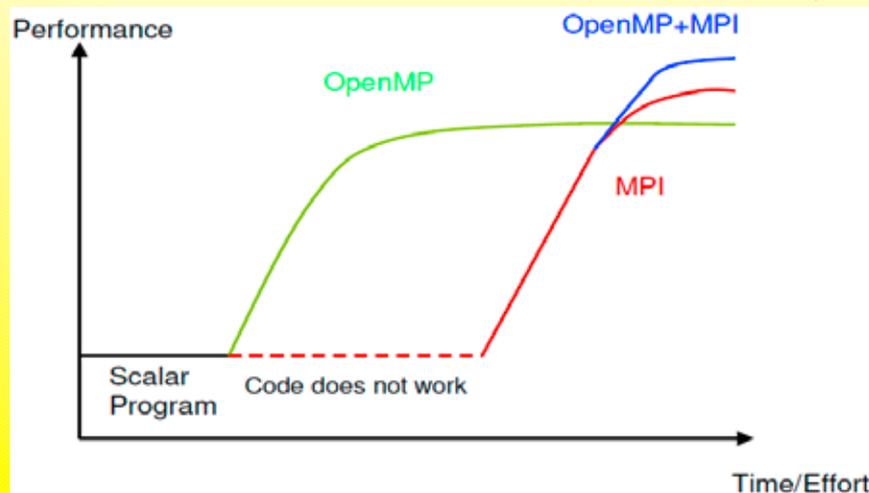
- Kombination OpenMP-MPI



Quelle:
http://www.hlr.de/organization/par/par_prog_ws/2008B/02_arch_models_which_2to1.pdf

Parallelisierungsstrategien

- Aufwand für OpenMP und MPI Implementierung



Quelle:

http://www.hlrs.de/organization/par/par_prog_ws/2006F/07_openmp-intro12.pdf

Aktueller Stand der OpenMP Entwicklung

- FDS ist teilweise mit OpenMP parallelisiert
 - DIVG
 - MASS
 - VELO
 - PART
 - TURB
- VELO erreicht einen Parallelisierungsgrad von ca. 90%

Aktueller Stand der OpenMP Entwicklung

- Berechnung des Parallelisierungsgrades
- „Amdahl's Law“:

$$\frac{\text{Zeit für Ein-Thread-Berechnung}}{\text{Anzahl Threads} * \text{Zeit bei Anzahl Threads}} = \text{Faktor}$$

Aktueller Stand der OpenMP Entwicklung

- Parallelisierungsgrad anhand einer einfachen Datei:
 - 86 Zeitschritte
 - Rev. 5000
 - 64 x 64 x 128 Zellen (= 524.288 Zellen)

	1 Thread	2 Threads	4 Threads
DIVG	17,12	12,36 (69%)	8,46 (51%)
MASS	27,23	18,87 (72%)	13,93 (49%)
VELO	32,72	18,66 (88%)	10,52 (78%)

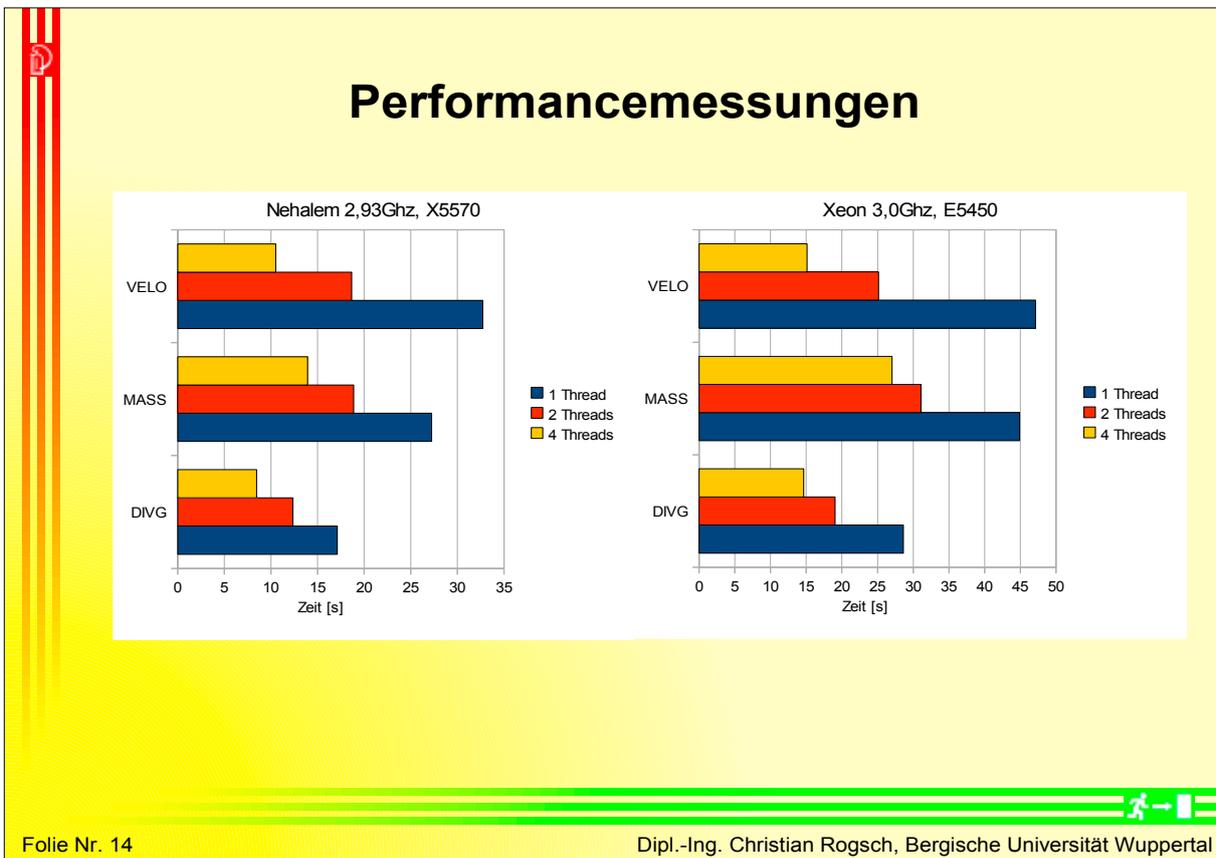
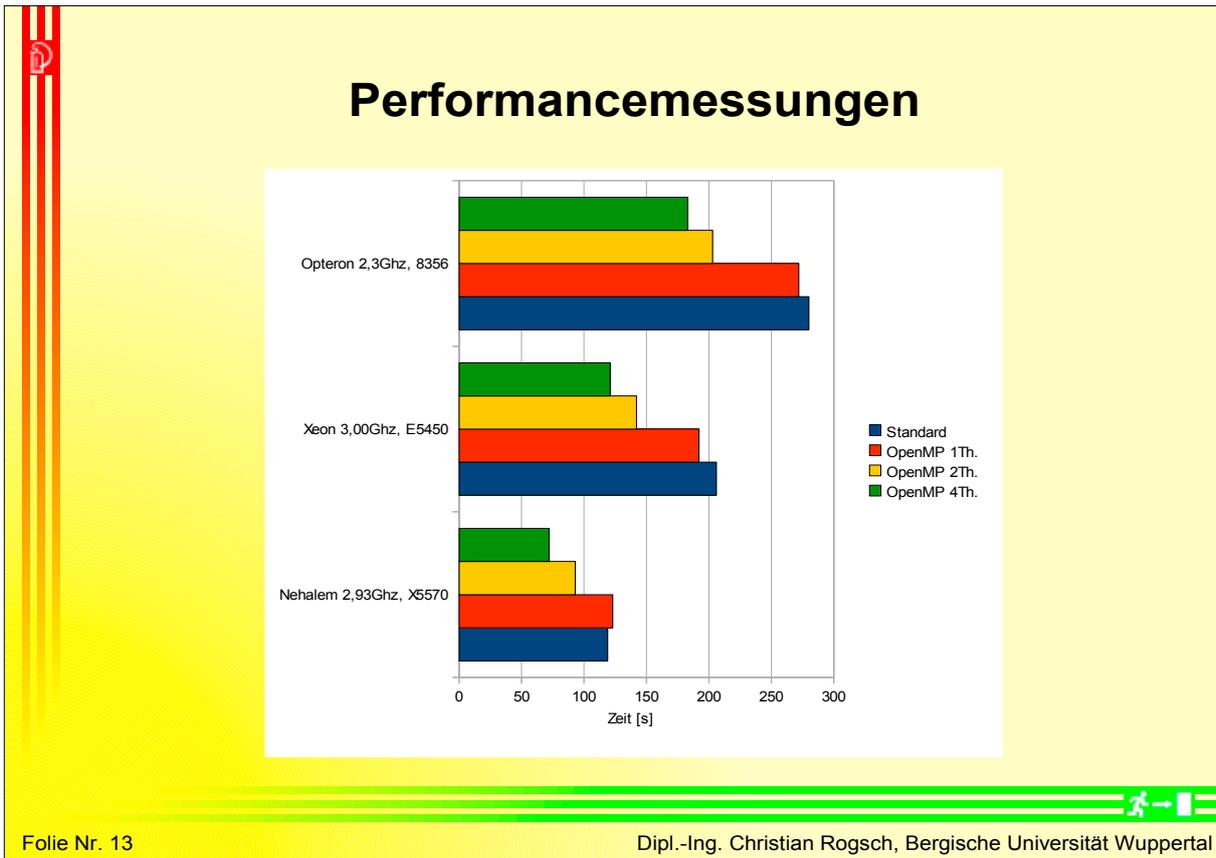
Probleme

- Compiler, Compiler, Compiler
 - Code wird ohne Fehlermeldung erzeugt, läuft aber nicht
 - Code kann manchmal nicht kompiliert werden:
 - Meldung: „Code ist zu komplex“
 - Code wird falsch kompiliert
 - Beispiel aus dem FDS-Forum
 - Problem mit Optimierungsmethoden

Weiteres Vorgehen

- Teilweises Erweitern des Codes um ihn „multi-thread-fähig zu machen“
- Experimente bzgl. der Parallelisierung des aktuellen Pressure Solvers (→ Probleme beim Compiler)
- Erhöhung des Parallelisierungsgrades für andere Routinen
- Paralleler Radiation Solver
- Dynamische Lastverteilung

- Andere multi-threaded Parallelisierungsansatz (CUDA, FireStream)



Performancesteigerungen

- Compiler kann die Performance nicht nennenswert steigern
 - ipo – flag
 - xSSE4.2 – flag
- Die Speziell auf den Nehalem abgestimmten Flags haben keinen schnelleren Code hervorgebracht
- Man muss den Compiler „zwingen“, dadurch kann u. U ein schnellerer Code entstehen
 - „Zwangsvektorisierung“ von Schleifen
 - !DEC\$ VECTOR ALWAYS
 - Neuordnung von Schleifeninhalten

**Vielen Dank für
Ihre
Aufmerksamkeit!**

Fragen?

Thomas Kolb:

Auswirkungen der Zellgröße auf de aerodynamisch wirksamen Querschnitt

Abstract:

Wird eine Öffnung durch ein Fluid durchströmt, kommt es aufgrund der Umlenkung des Stromes und der Reibung an den Rändern der Öffnung zu Einschnürungseffekten, die dazu führen, dass nicht der komplette Querschnitt frei durchströmt wird. Bei unterschiedlichen Zellgrößen werden bei CFD-Berechnungen die Effekte, die diese Einschnürung verursachen, unterschiedlich genau abgebildet. Aus diesem Grund soll untersucht werden, wie sich die Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt bei CFD-Berechnungen mit FDS auswirkt. Um Störungen zu verhindern, wurde hierzu ein möglichst einfaches Modell ohne eigenen Brand verwendet. Es wurde ein insgesamt 4,0 m langer Kanal mit einem quadratischen Querschnitt von 3,0 m x 3,0 m bei unterschiedlichen Zellgrößen modelliert, in dessen Mitte eine 1,0 m x 1,0 m große Öffnung eingebaut wurde. Durch diese Öffnung wurde unter Variation der Strömungsgeschwindigkeit ein Luftstrom geführt. Neben der Strömungsgeschwindigkeit wurde auch die Deckendicke um die Öffnung variiert.

In einer zweiten Studie wurde anstelle der vorgegeben Strömung unterhalb der Öffnung ein Temperaturfeld vorgegeben, das eine gegenüber dem Rest des Modells und auch der Umgebung höhere Temperatur besaß. Hier wurden neben der Zellgröße der Temperaturunterschied und auch wieder die Deckendicke um die Öffnung variiert.

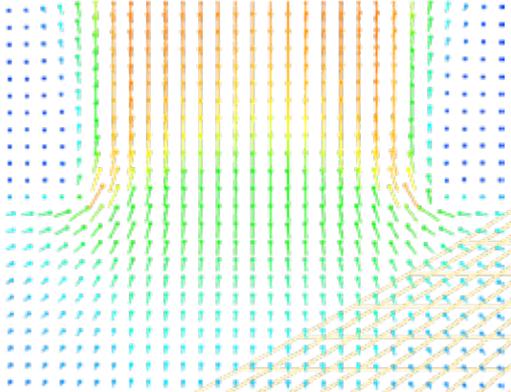
Insgesamt wurden 60 Berechnungen mit Zellgrößen von 5 cm bis 50 cm durchgeführt und neben dem Volumenstrom durch die Öffnung auch die Strömungsgeschwindigkeiten an unterschiedlichen Stellen der Öffnung verglichen.



BRANDSCHUTZ

Dipl.-Ing. Thomas Kolb

Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt bei CFD-Berechnungen mit FDS



Brandschutzconsult
H.-P. Schreiner

In der Rohrmatt 1
77955 Ettenheim

Tel.: 0 78 22 / 44 71 - 0
Fax: 0 78 22 / 44 71 - 29

e-mail: info@brandschutzconsult.de
www.brandschutzconsult.de

Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt



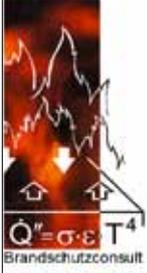
BRANDSCHUTZ

Übersicht

- Einführung
- Modellbildung Volumenstrom
- Beschreibung der Variationsparameter
- Ergebnisse Variation Volumenstrom
- Modellbildung Temperaturdifferenz
- Ergebnisse Variation Temperaturdifferenz
- Zusammenfassung

Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

BRANDSCHUTZ



1. Einführung

Aerodynamisch wirksamer Querschnitt

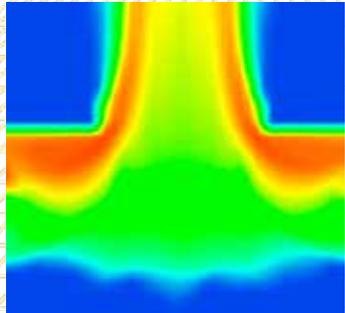
Verringerung des durchströmten Querschnitts von Öffnungen durch Einschnürungseffekte

Verursacht durch Strömungsablösung, -umlenkung und Reibungseffekte
ausgedrückt durch Faktor c_v

Ermittlung erfolgt bei NRA-Anlagen experimentell z.B. nach
DIN EN 12101-2, Anhang B

exemplarische Werte für c_v :

NRA-Geräte: ca. 0,65,
normale Türen und Fenster: ca. 0,7 und
große Tore: ca. 0,9



Dipl.-Ing. Thomas Kolb:
Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

BRANDSCHUTZ



1. Einführung

Problemstellung

Wie verhalten sich Öffnungsflächen bei CFD-Berechnungen?

Werden Einschnürungen abgebildet?

Welchen Einfluss hat die Zellgröße?

Dazu Bildung einer Arbeitsgruppe beim Treffen der
FDS-Usergroup im Dezember 2008

Dipl.-Ing. Thomas Kolb:
Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

BRANDSCHUTZ



2. Modellbildung

Grundmodell

- Large-Eddy-Simulation (LES), keine direkte numerische Simulation (DNS)
- Zur Vermeidung störender Einflüsse möglichst einfaches Modell
- Deshalb keine Brandsimulation und zunächst keine Temperaturunterschiede
- Keine besonderen Materialien
- Keine Parallelrechnung

Dipl.-Ing. Thomas Kolb:
Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

BRANDSCHUTZ



2. Modellbildung

Grundmodell

4,0 m langer Kanal mit einem Querschnitt von 3,0 m x 3,0 m

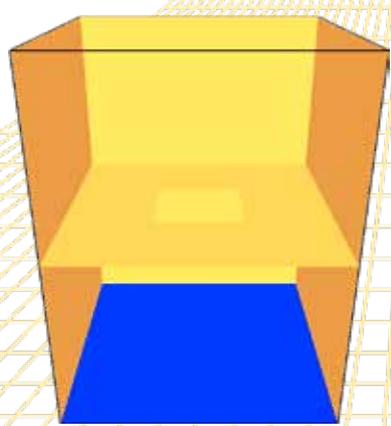
Einbau einer 1,0 m x 1,0 m großen Einengung in der Mitte

```

&MESH IJK=60,60,80, XB=0.0,3.0, 0.0,3.0, 0.0,4.0 /

/Ränder
&VENT MB='XMIN', SURF_ID='INERT' /
&VENT MB='XMAX', SURF_ID='INERT' /
&VENT MB='YMIN', SURF_ID='INERT' /
&VENT MB='YMAX', SURF_ID='INERT' /
&VENT MB='ZMIN', SURF_ID='OPEN' /
&VENT MB='ZMAX', SURF_ID='OPEN' /

/NRA
&OBST XB=0.0,3.0, 0.0,3.0, 2.0,2.01,
SURF_ID='INERT' /
&HOLE XB=1.0,2.0, 1.0,2.0, 1.9,2.1 /
  
```



Dipl.-Ing. Thomas Kolb:
Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

BRANDSCHUTZ

2. Modellbildung

Grundmodell

Vorgegebene Strömung durch den Kanal,
Eintritt am Boden des Modells

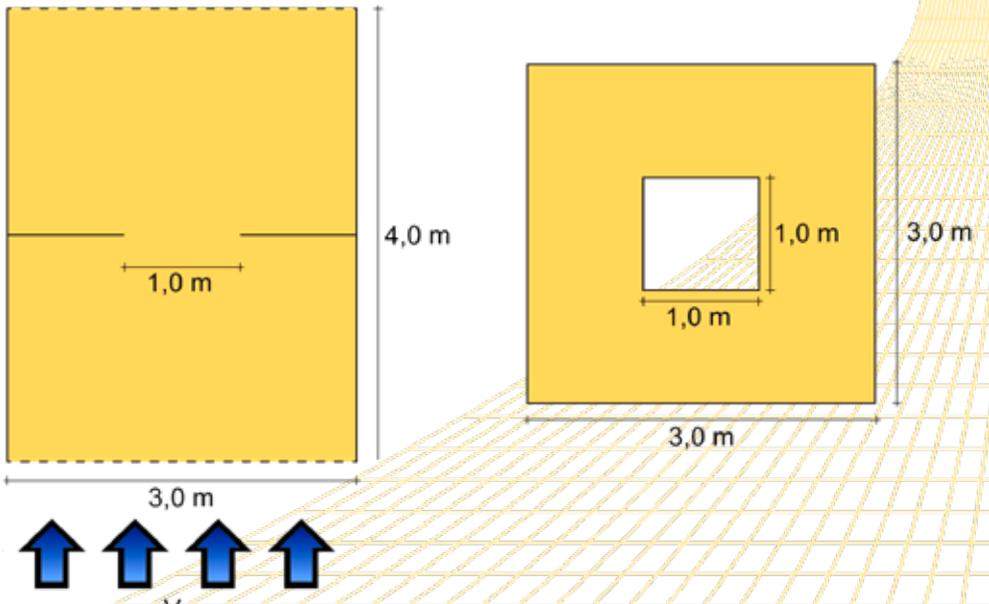
```
/Luftzufuhr
&SURF ID='ZULUFT', VEL=-0.011 /
&OBST XB=0.0,3.0, 0.0,3.0, 0.0,0.01, SURF_IDS='ZULUFT',
'INERT','INERT',RGB=0,0,255 /
```

Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

BRANDSCHUTZ

2. Modellbildung

Grundmodell



Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt



2. Modellbildung

Grundmodell

Berechnungszeit 180 s
da dann annähernd stationärer Zustand

Temperatur konstant 20 °C

```
&TIME TWFIN=180.0 /
&MISC TMPA=20., SURF_DEFAULT='INERT' /
```

Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt



2. Modellbildung

Auswertungen

Strömungsgeschwindigkeit im Schnitt durch die Mitte und am Rand,
jeweils mit und ohne Vektor-Darstellung

```
&SLCF PBX=1.0, QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBX=1.5, QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBY=1.0, QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBY=1.5, QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBZ=2.0, QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBX=1.0, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBX=1.5, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBY=1.0, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBY=1.5, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBZ=2.0, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /
```

Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

BRANDSCHUTZ

2. Modellbildung

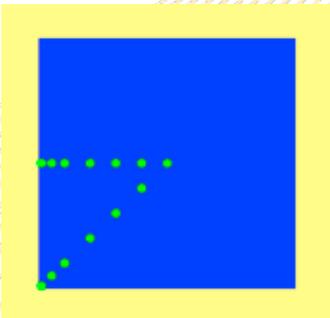
Auswertungen

Messung der u, v und w-Komponenten der Strömungsgeschwindigkeit an 13 Stellen in der Verengung

```

&DEVC ID='VelU-Rand-001', XYZ=1.01,1.01,2.0,
QUANTITY='U-VELOCITY' /
&DEVC ID='VelV-Rand-001', XYZ=1.01,1.01,2.0,
QUANTITY='V-VELOCITY' /
&DEVC ID='VelW-Rand-001', XYZ=1.01,1.01,2.0,
QUANTITY='W-VELOCITY' /

```



Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

BRANDSCHUTZ

3. Variationen

Variation der Strömungsgeschwindigkeit

durchschnittlich 0,1 m/s durch Öffnung (0,011 m/s im Kanal):

```

&SURF ID='ZULUFT', VEL=-0.011 /

```

durchschnittlich 1,0 m/s durch Öffnung (0,111 m/s im Kanal):

```

&SURF ID='ZULUFT', VEL=-0.111 /

```

durchschnittlich 3,0 m/s durch Öffnung (1,0 m/s im Kanal):

```

&SURF ID='ZULUFT', VEL=-1.0 /

```

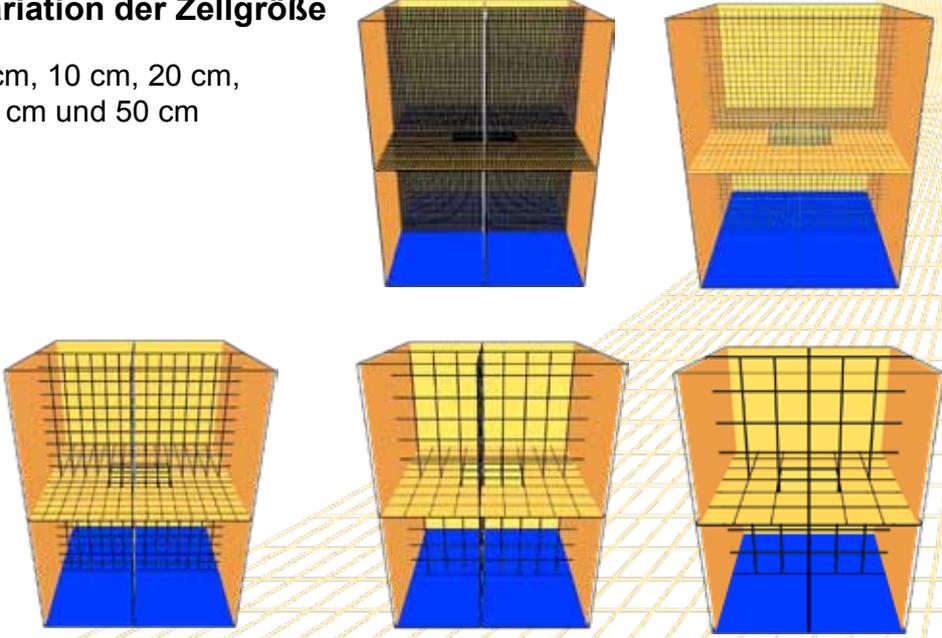
Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

BRANDSCHUTZ

3. Variationen

Variation der Zellgröße

5 cm, 10 cm, 20 cm,
33 cm und 50 cm



Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

BRANDSCHUTZ

3. Variationen

Durchführung der Berechnungen

Insgesamt 15 Berechnungen mit den genannten Variationen

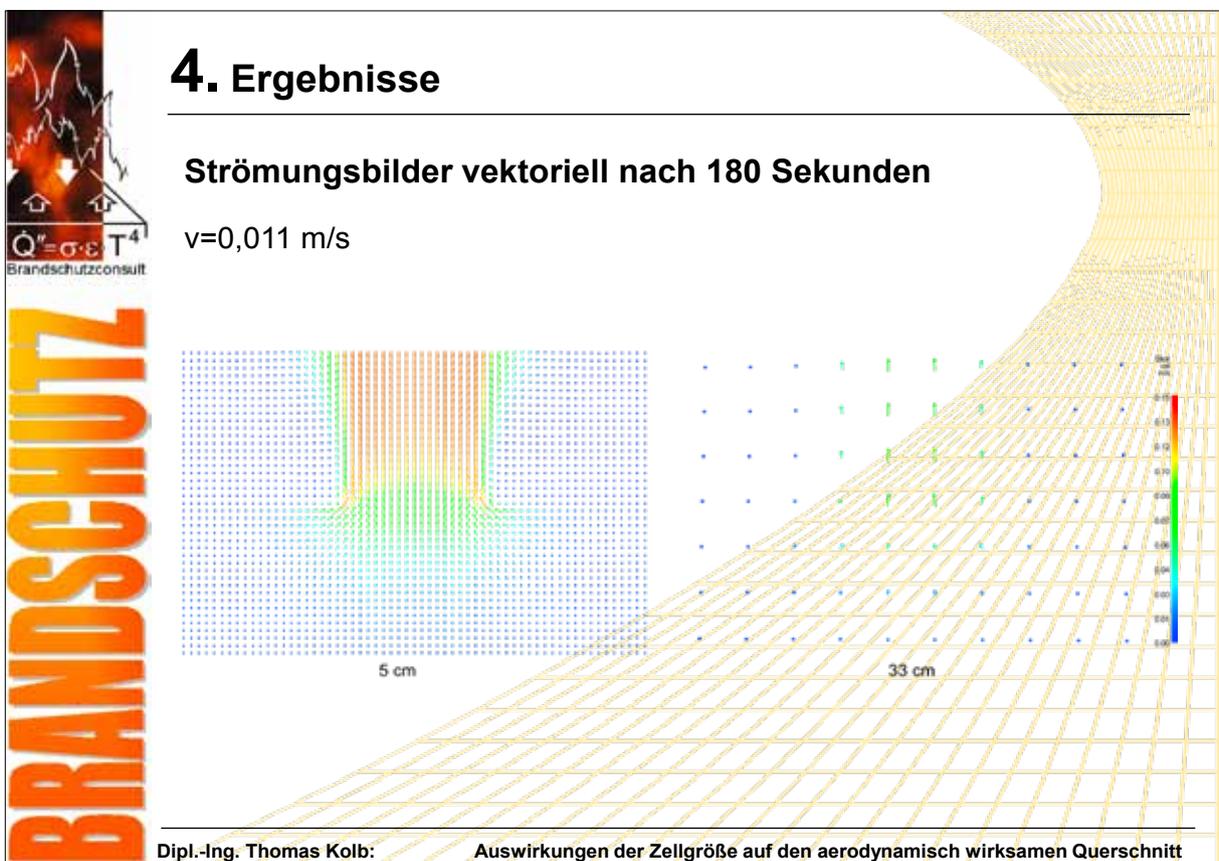
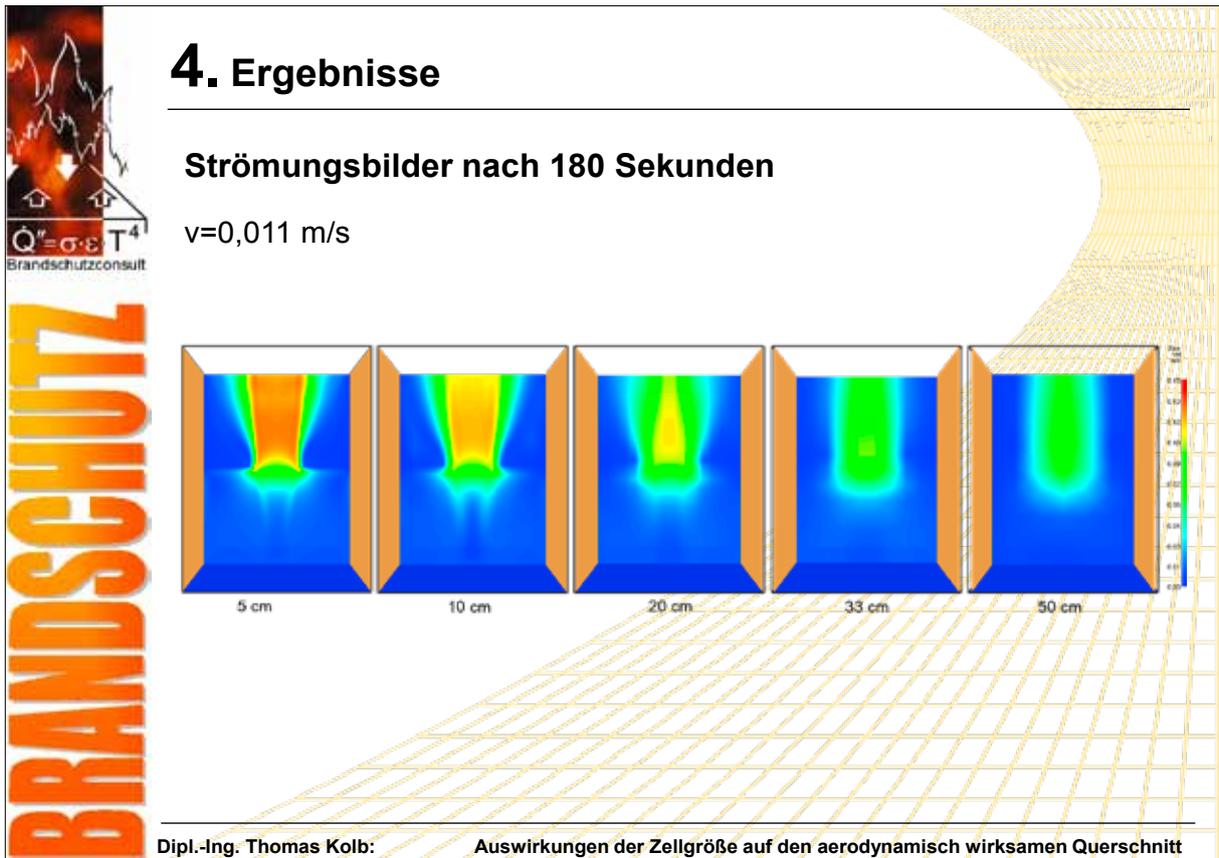
Berechnungszeiten von wenigen Sekunden bei 50 cm Raster
bis ca. 10 Stunden bei 5 cm Raster

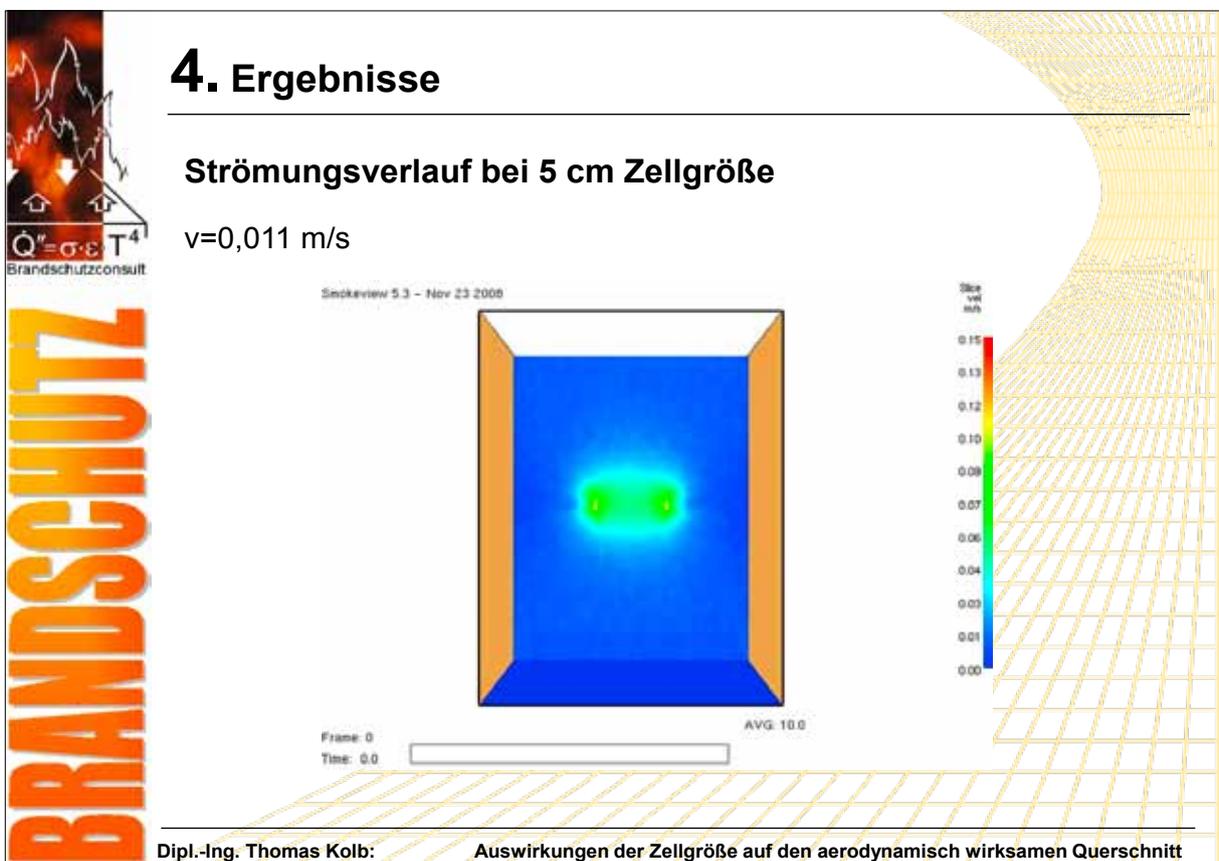
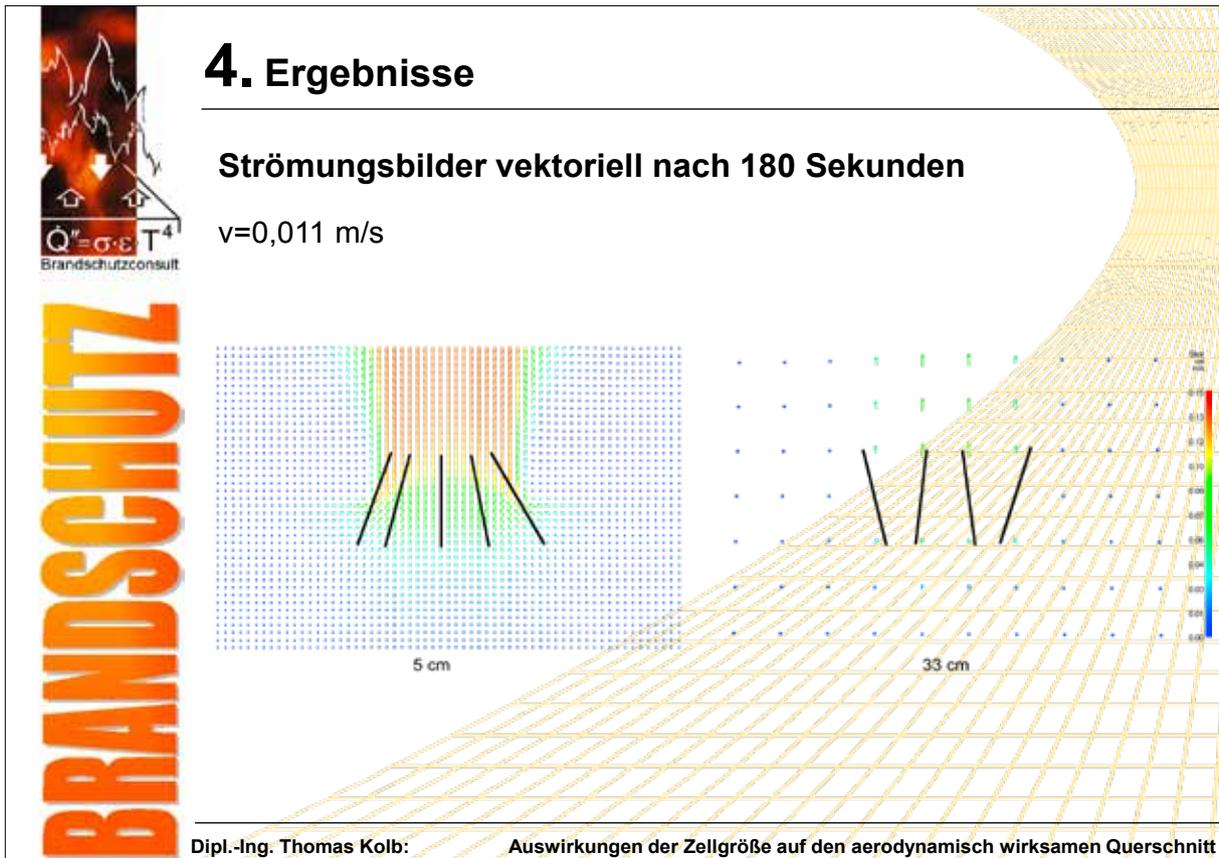
Rechner (Notebook):

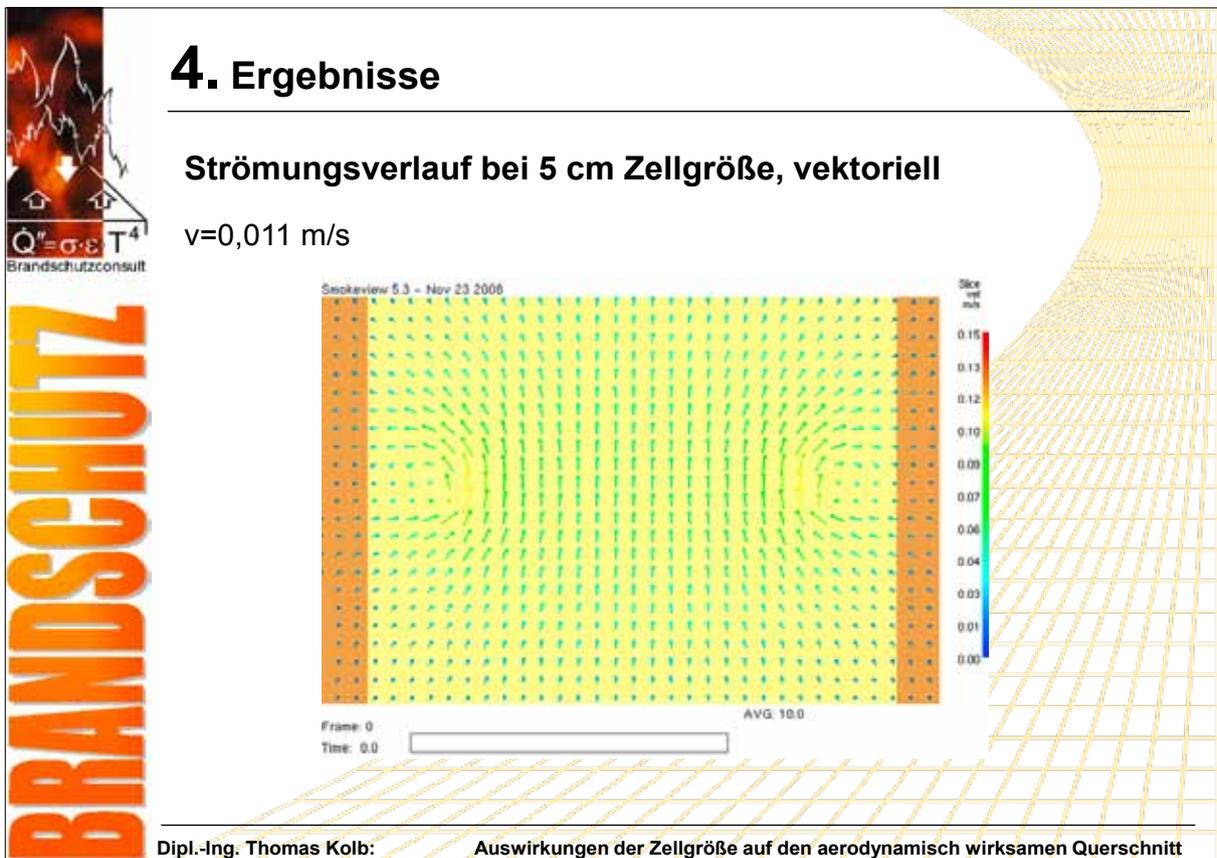
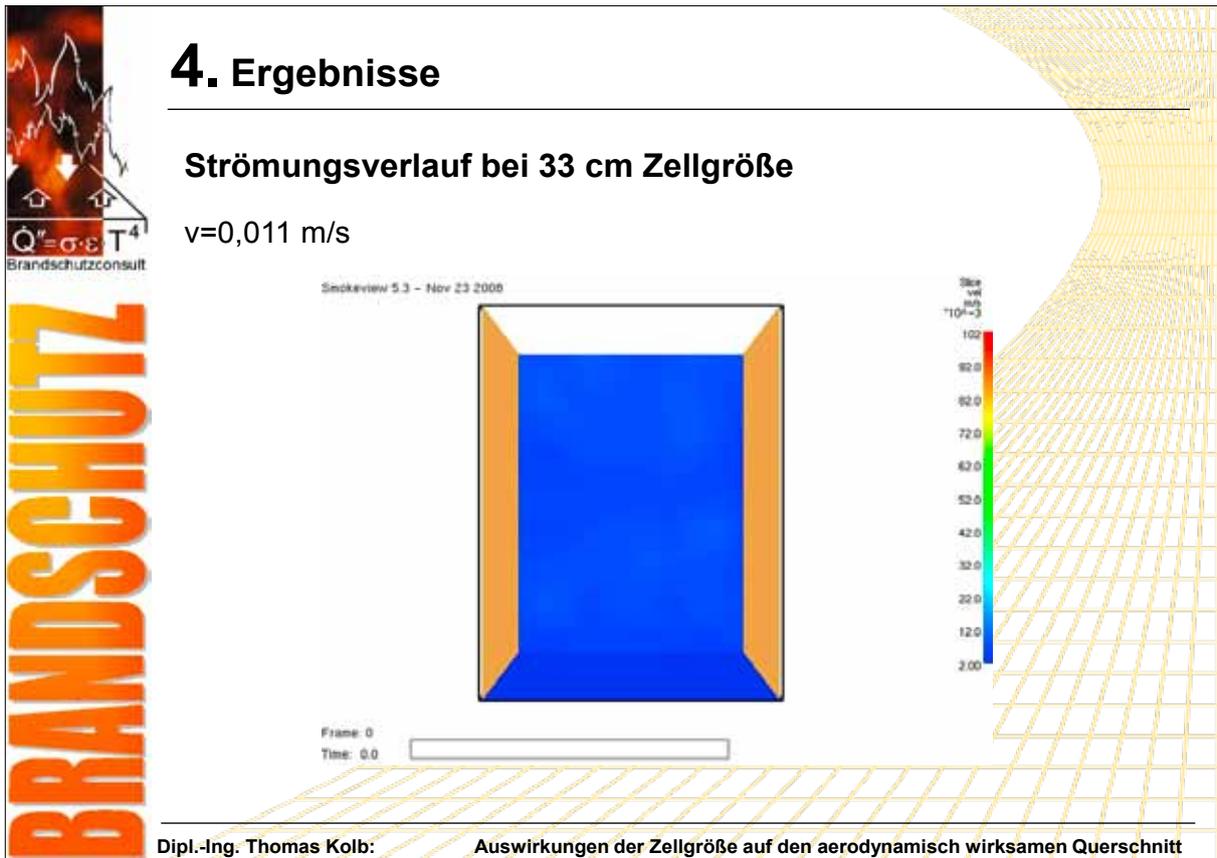
FDS Version 5.2.4
Windows Vista Ultimate 64 Bit

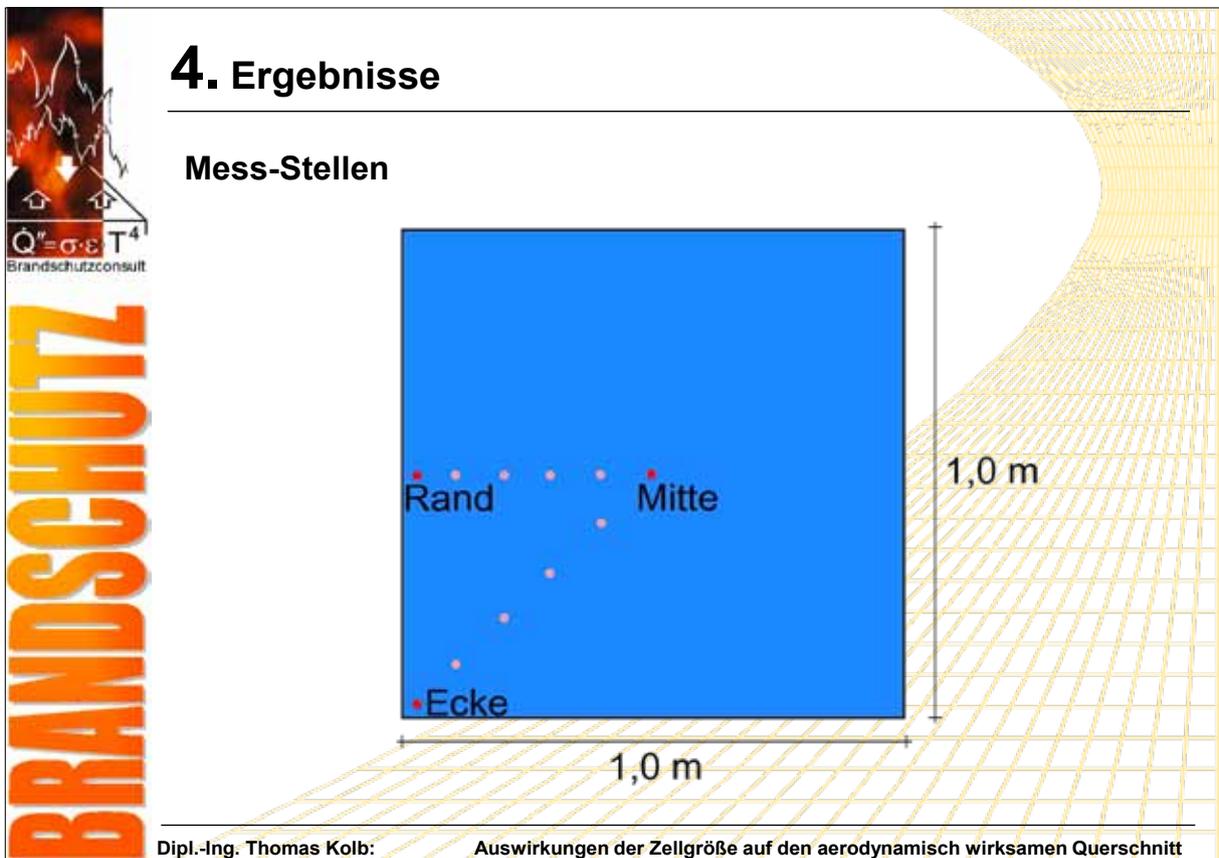
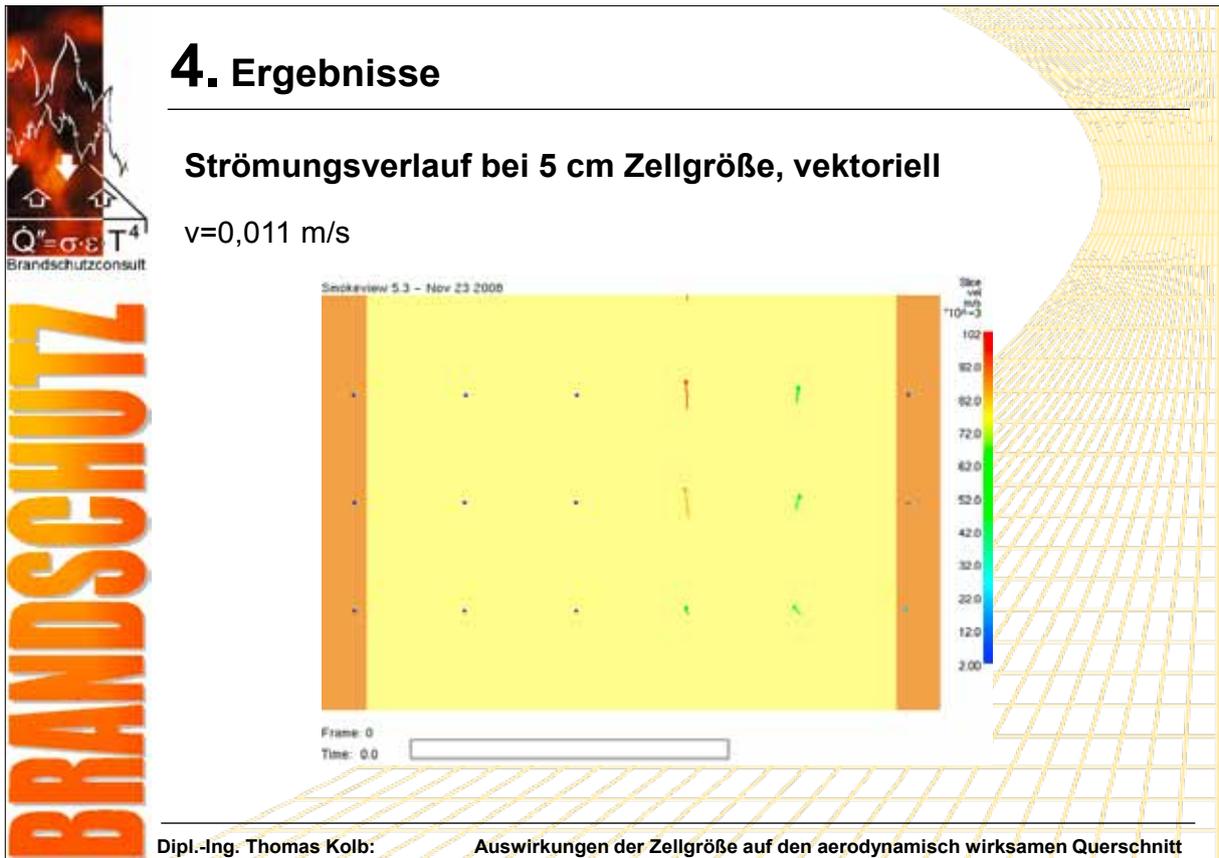
CPU: Core2Duo P9600 2x2,66 GHz mit 6 MB Cache und 1066 MHz FSB
RAM: 4096 MB DDR3 1066 MHz RAM

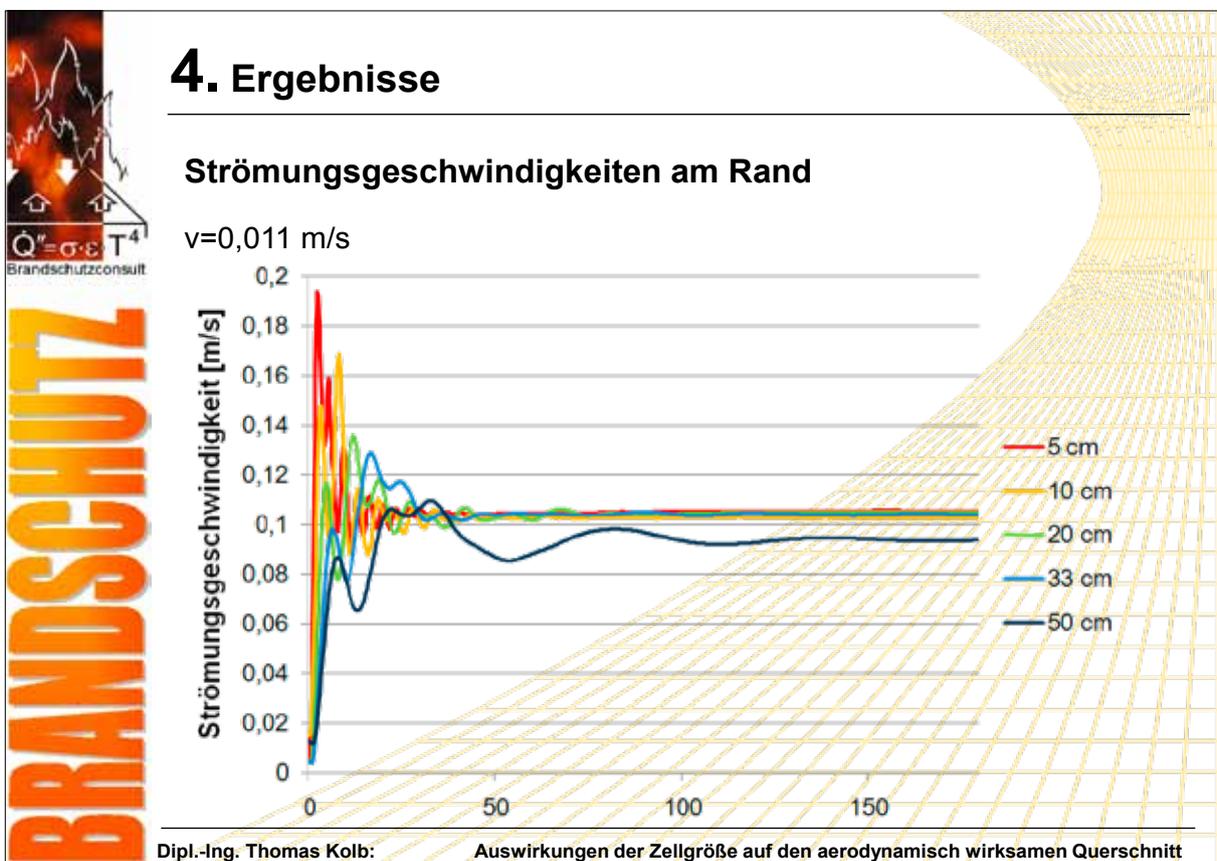
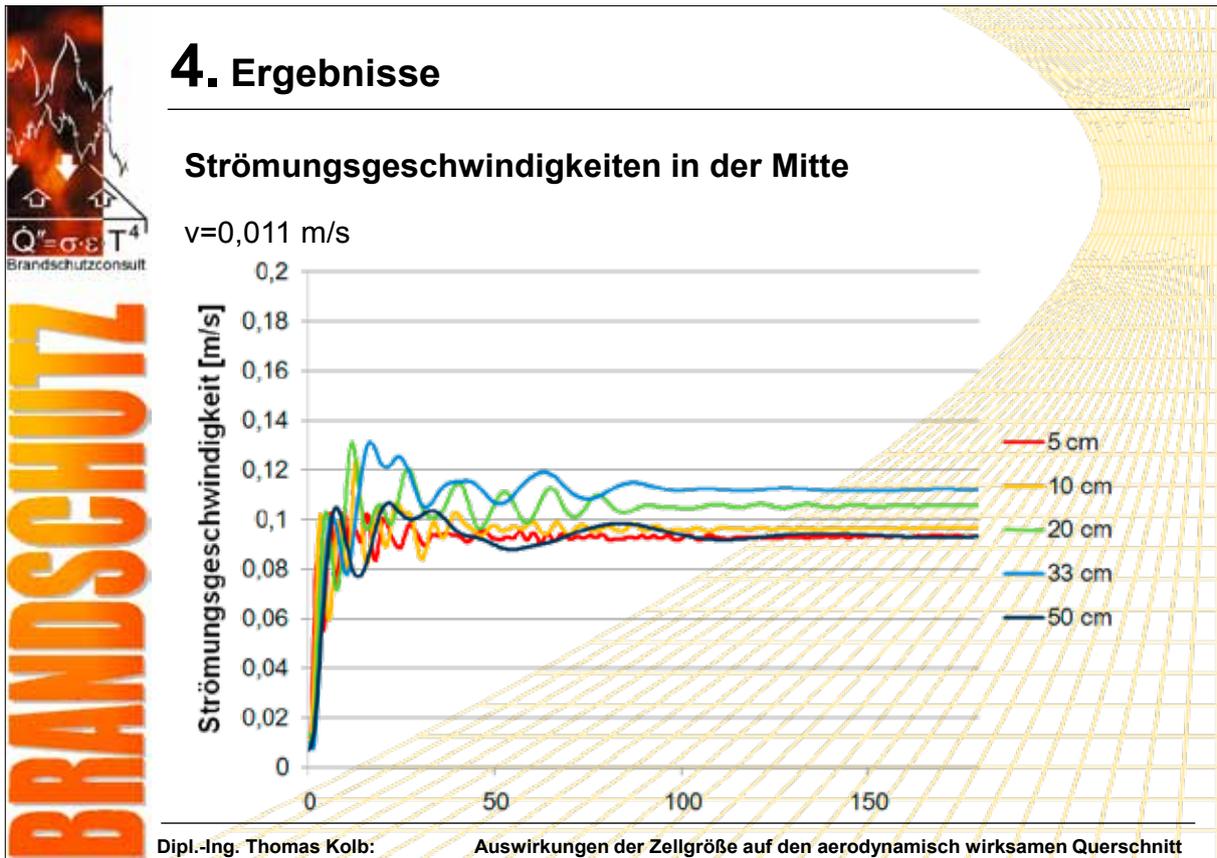
Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

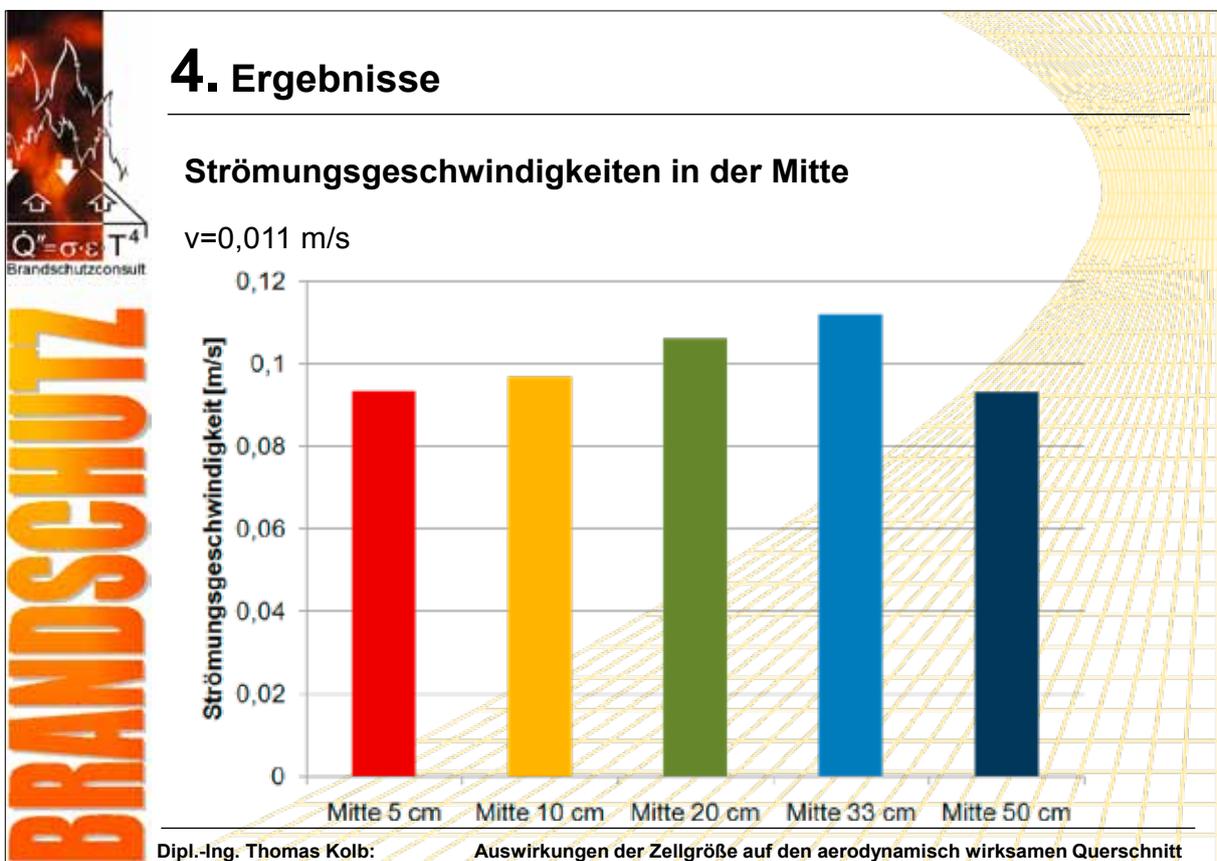
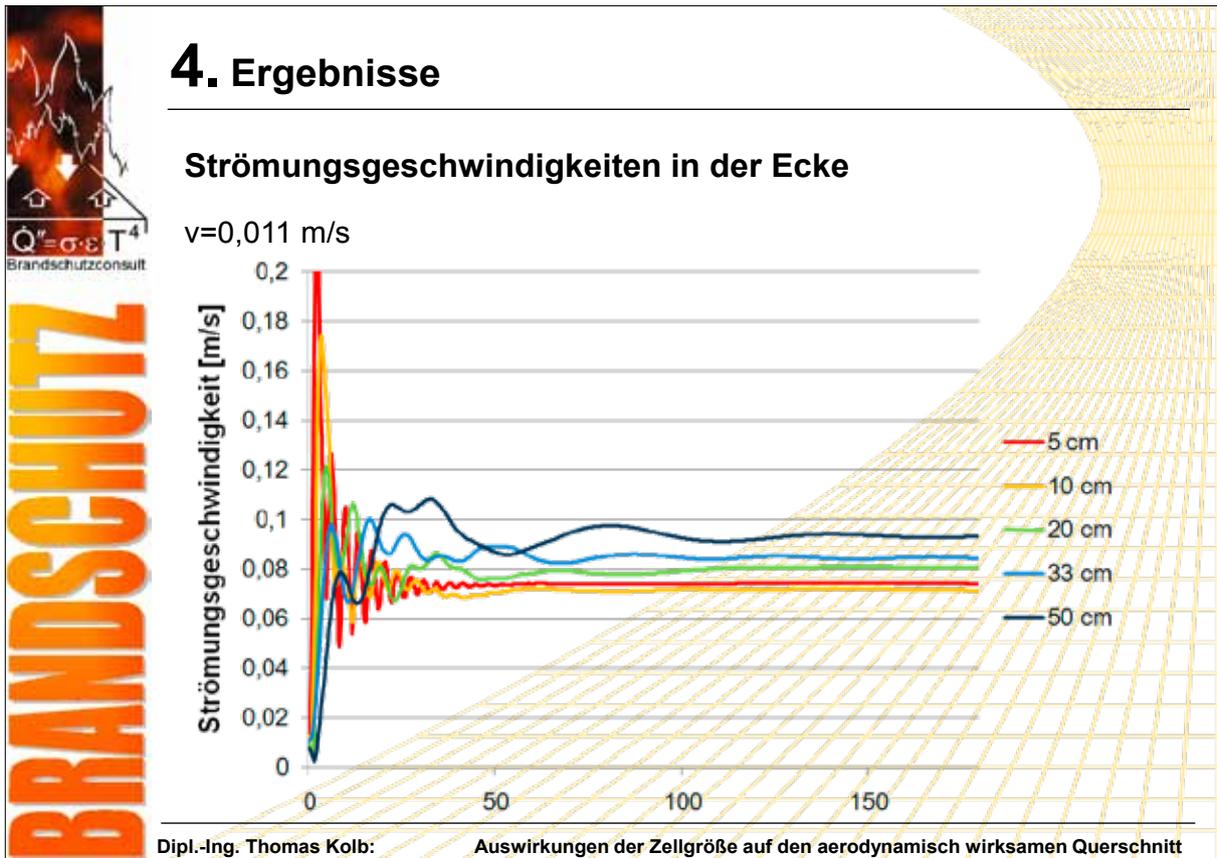


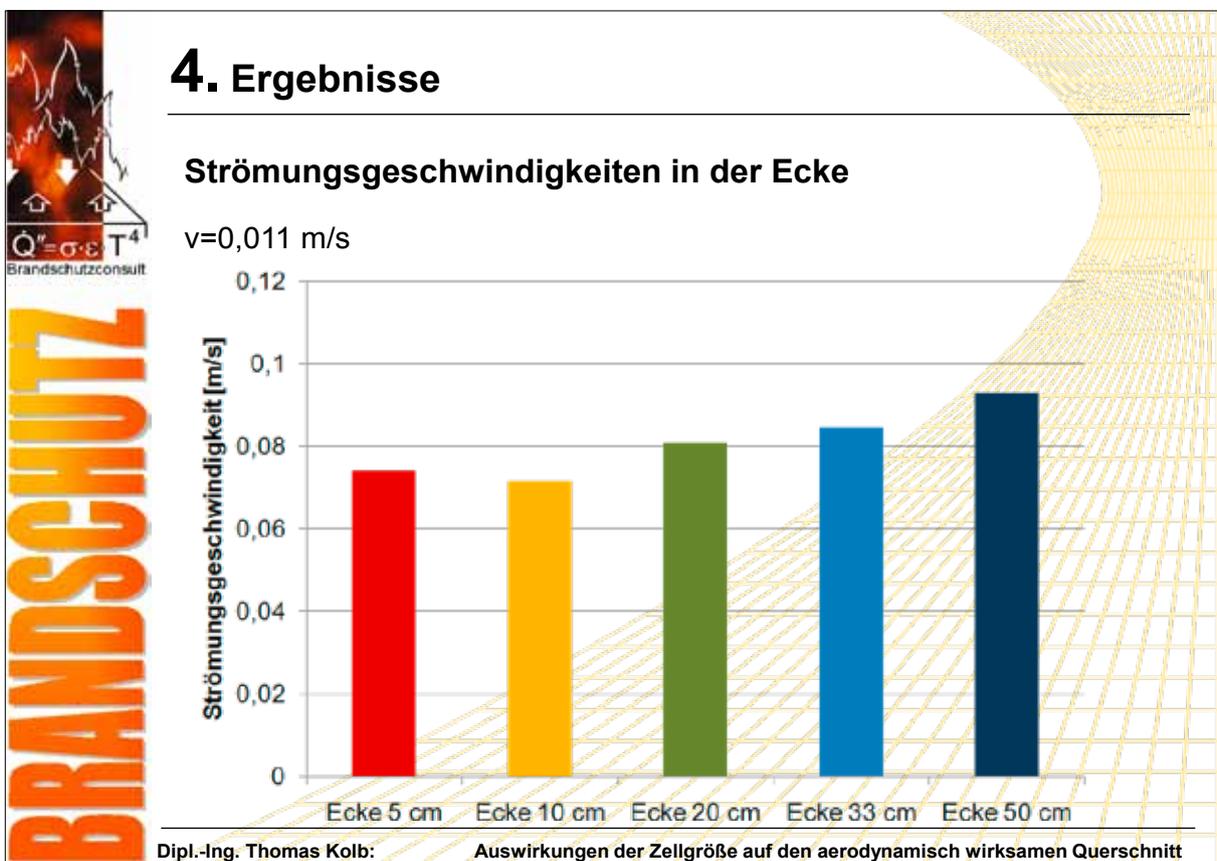
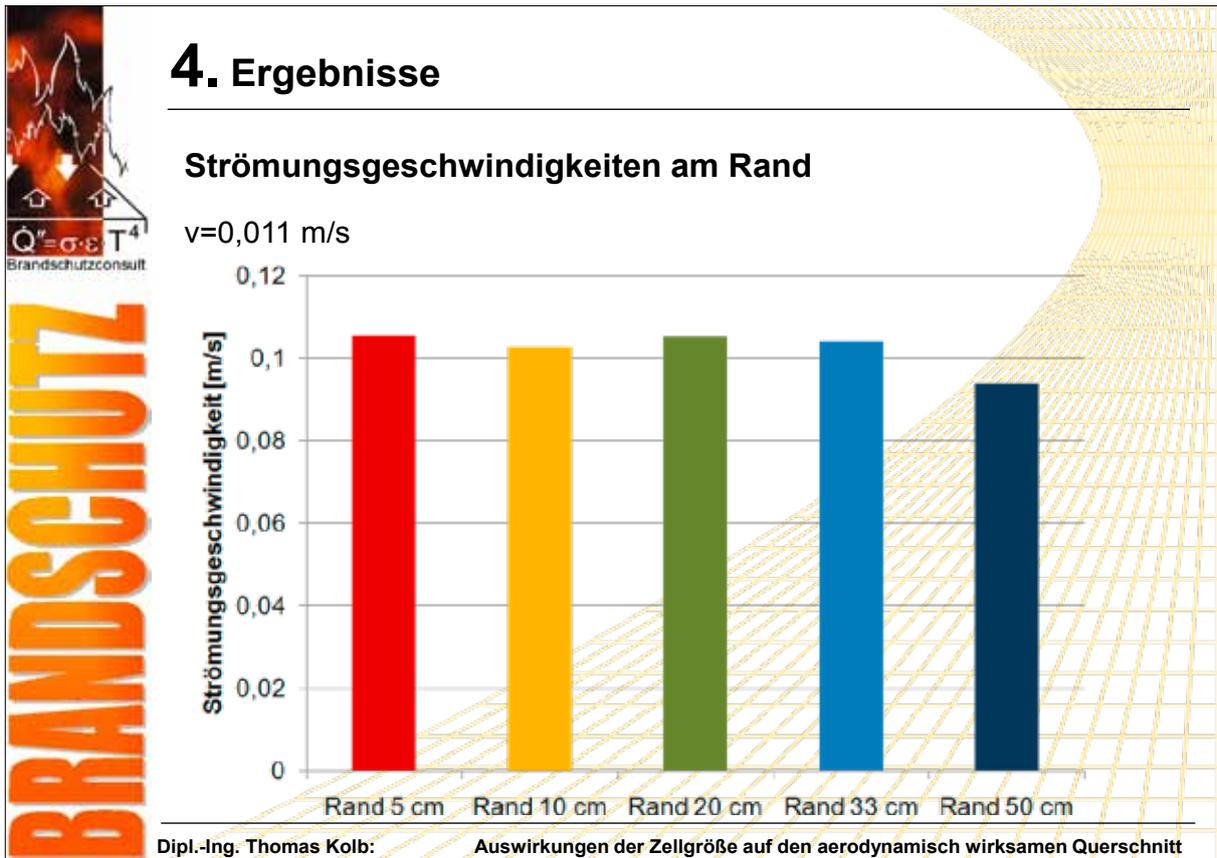


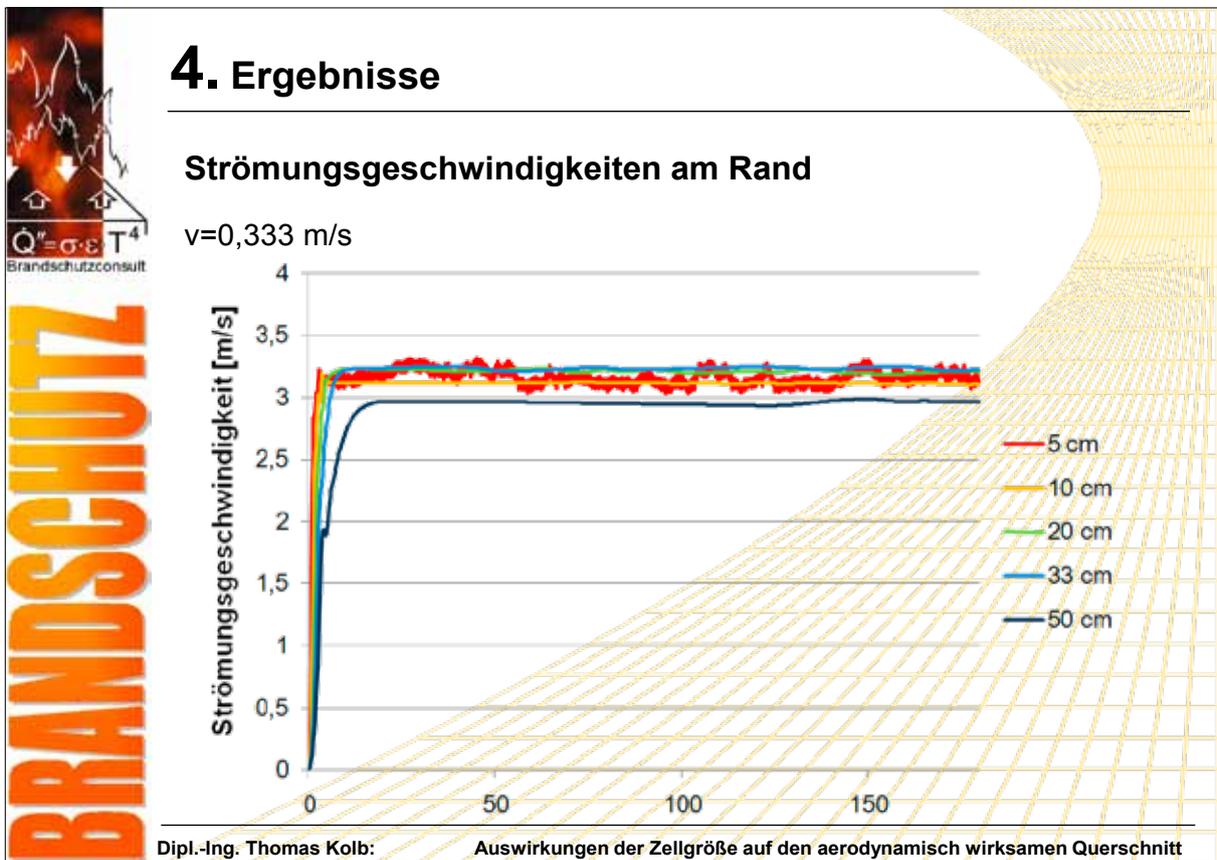
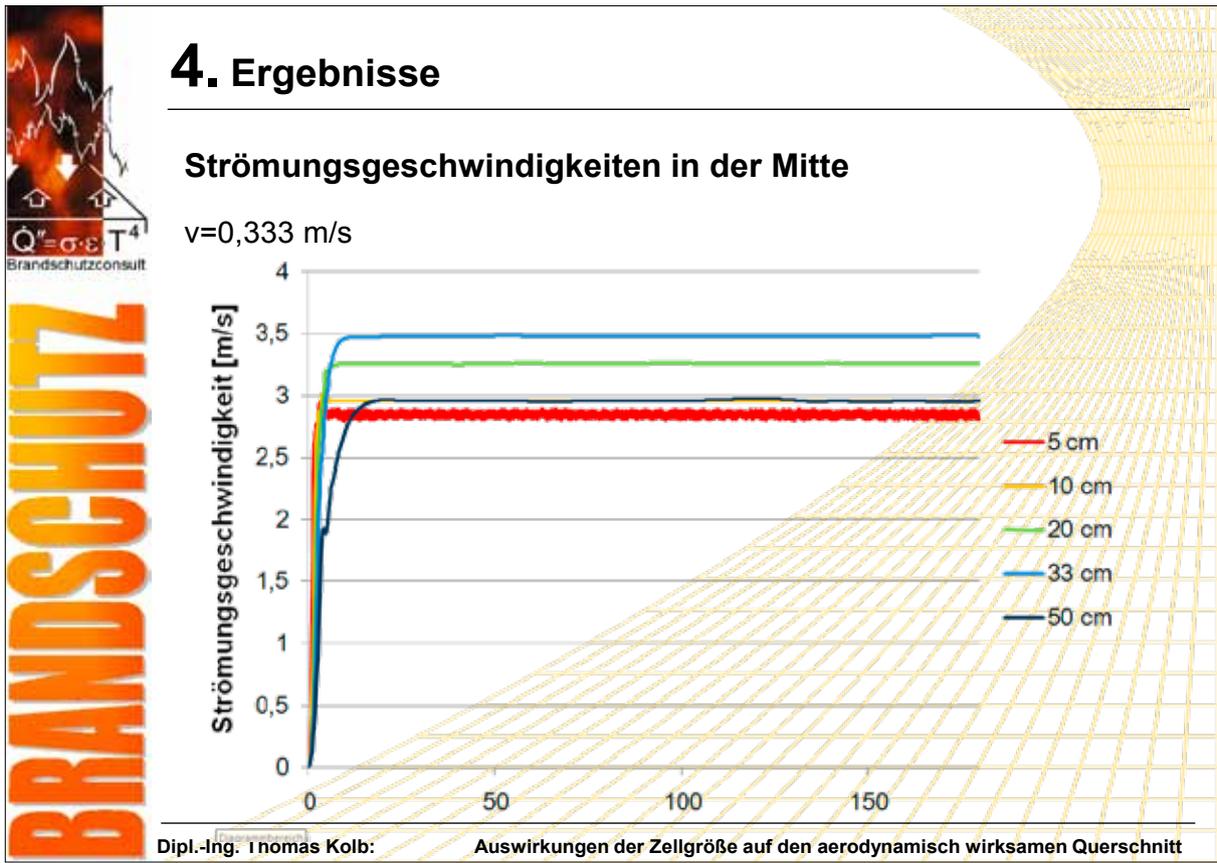


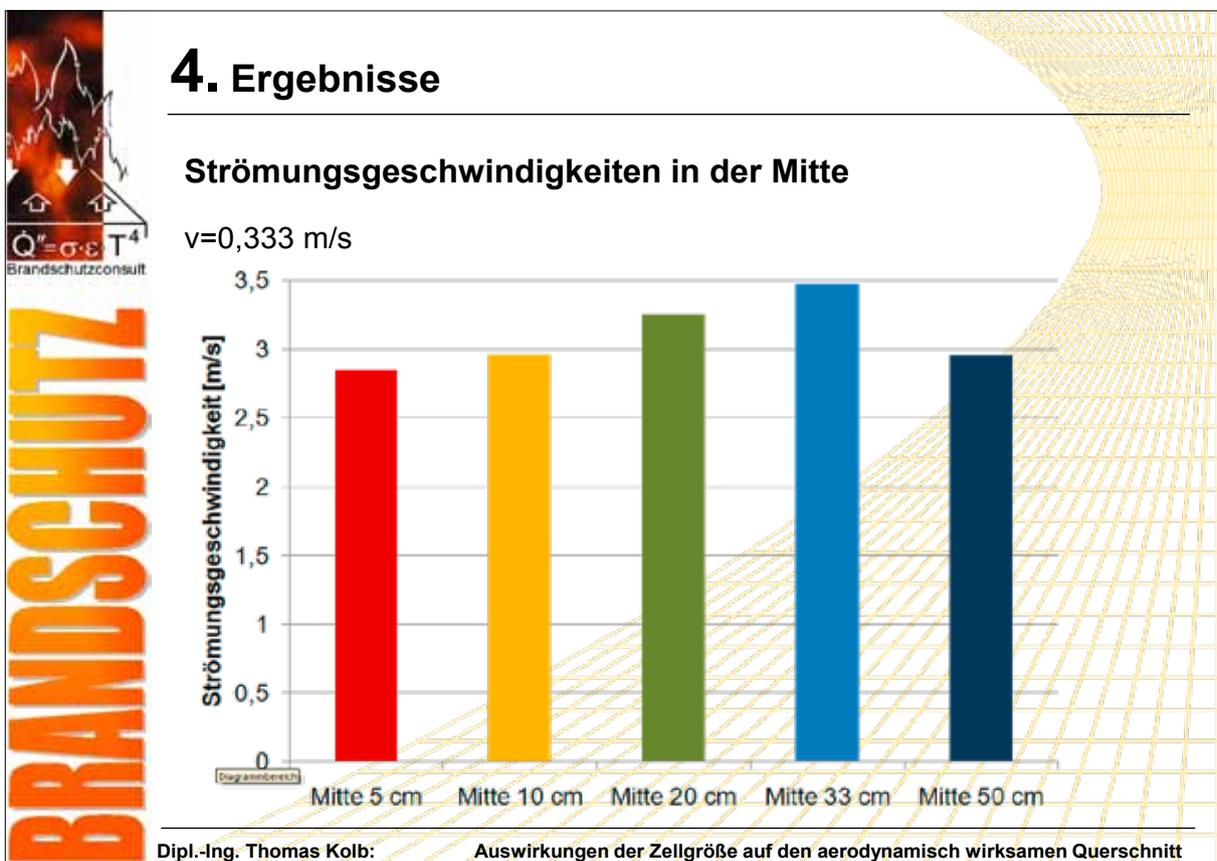
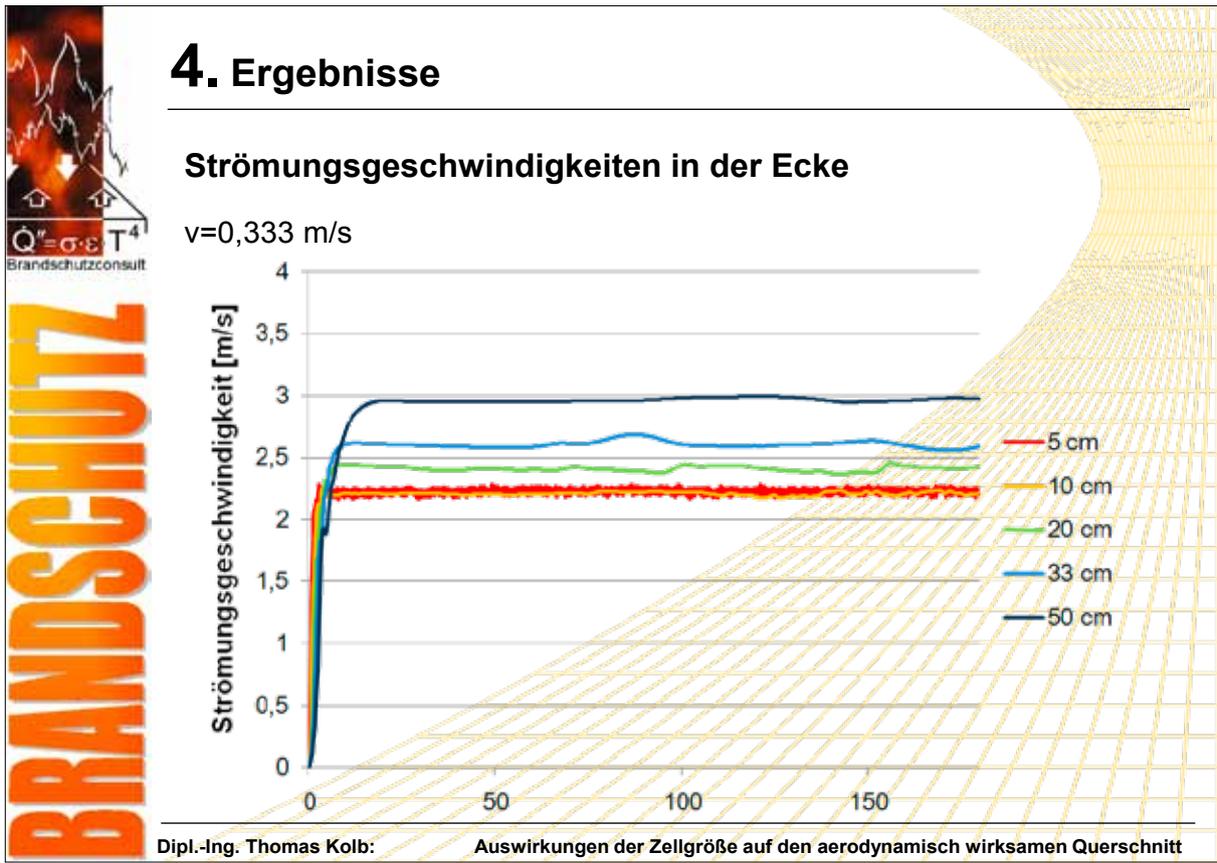


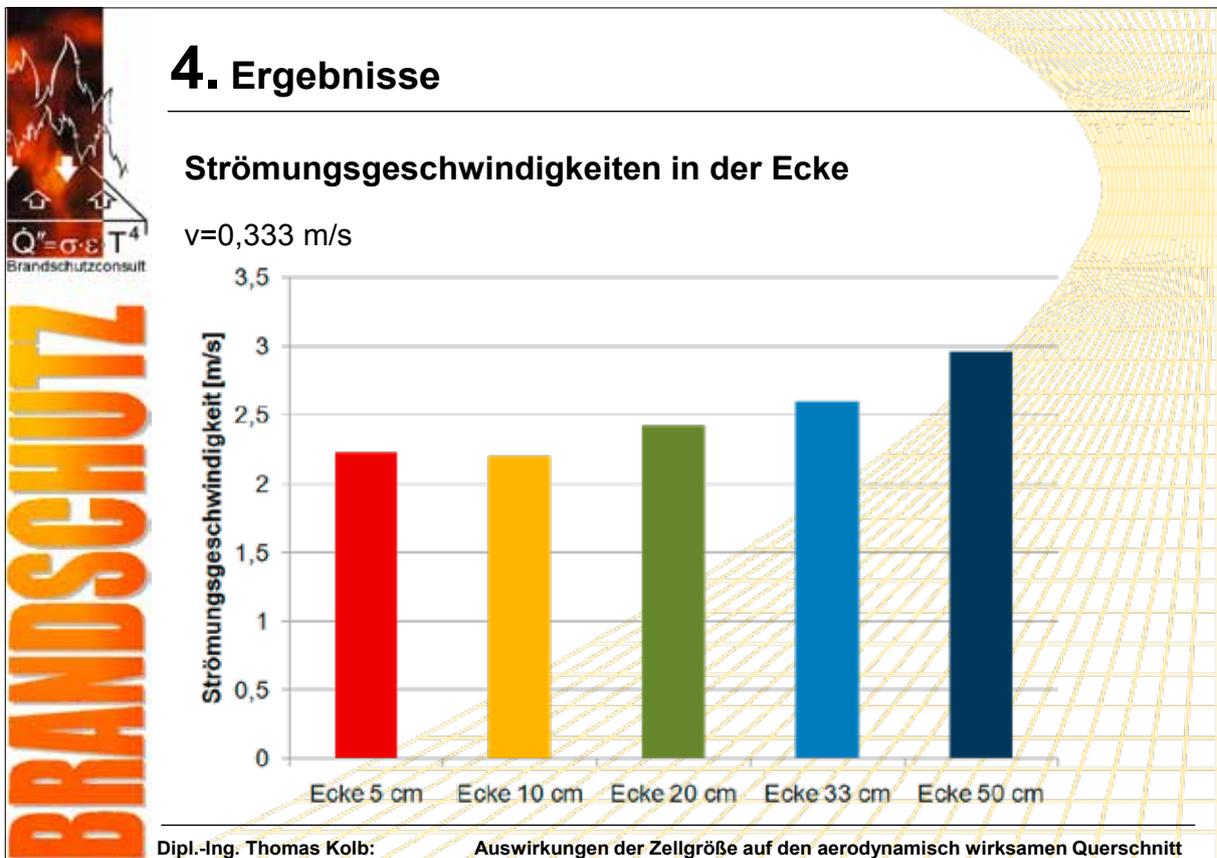
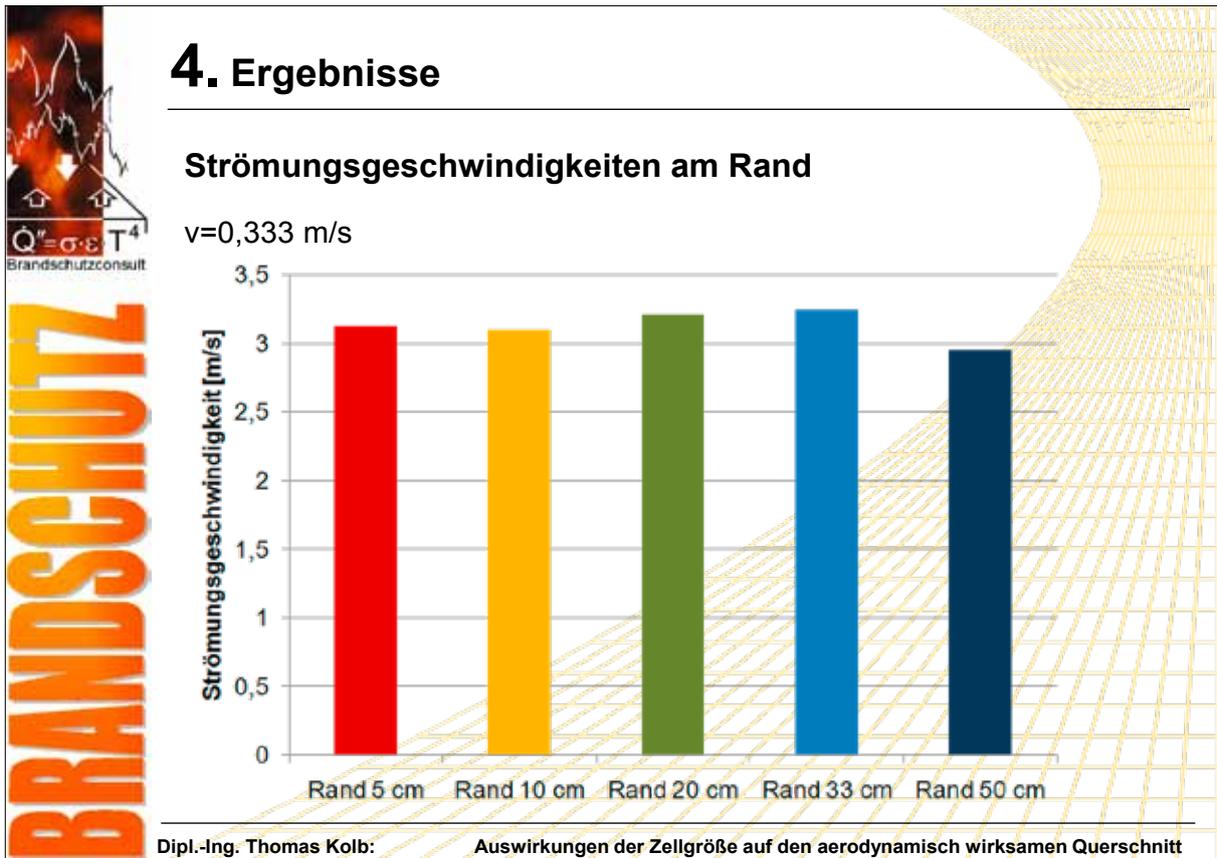














5. Modellbildung Temperaturdifferenz

Untersuchung der Auswirkung bei gegebener Temperaturdifferenz ober- und unterhalb der Öffnung

Im wesentlichen Beibehaltung des Modells

Volumenstrom entfällt

Bildung einer Temperaturschicht unterhalb der Öffnung mit einer höheren Temperatur als im Rest des Modells und der Umgebung

Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt



5. Modellbildung Temperaturdifferenz

Variation des Temperaturunterschiedes

Temperatur unterhalb der Öffnung um 1K erhöht:

```
/Temperaturfeld
&INIT XB=0.0,3.0, 0.0,3.0, 0.0,2.0, TEMPERATURE=21.0 /
```

Temperatur unterhalb der Öffnung um 5K erhöht:

```
/Temperaturfeld
&INIT XB=0.0,3.0, 0.0,3.0, 0.0,2.0, TEMPERATURE=25.0 /
```

Temperatur unterhalb der Öffnung um 10K erhöht:

```
/Temperaturfeld
&INIT XB=0.0,3.0, 0.0,3.0, 0.0,2.0, TEMPERATURE=30.0 /
```

Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

5. Modellbildung Temperaturdifferenz

Untersuchung der Auswirkung bei gegebener Temperaturdifferenz ober- und unterhalb der Öffnung

$Q'' = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4$
 Brandschutzconsult
BRANDSCHUTZ

Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

5. Modellbildung Temperaturdifferenz

Zusätzliche Auswertungen

Neben der Auswertung der Strömungsgeschwindigkeit auch die der Temperatur im Schnitt durch die Mitte und am Rand

```

&SLCF PBX=1.0,QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBX=1.5,QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBY=1.0,QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBY=1.5,QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBZ=2.0,QUANTITY='TEMPERATURE' /
  
```

Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

BRANDSCHUTZ

5. Modellbildung Temperaturdifferenz

Zusätzliche Auswertungen

Sowie an den bereits beschriebenen Mess-Stellen

```

&DEVC ID='Temp-Rand-001', XYZ=1.01,1.01,2.0,
QUANTITY='TEMPERATURE' /

[...]

&DEVC ID='Temp-Mitte-001', XYZ=1.01,1.50,2.0,
QUANTITY='TEMPERATURE' /

[...]

&DEVC ID='Temp-Mitte-050', XYZ=1.50,1.50,2.0,
QUANTITY='TEMPERATURE' /

```

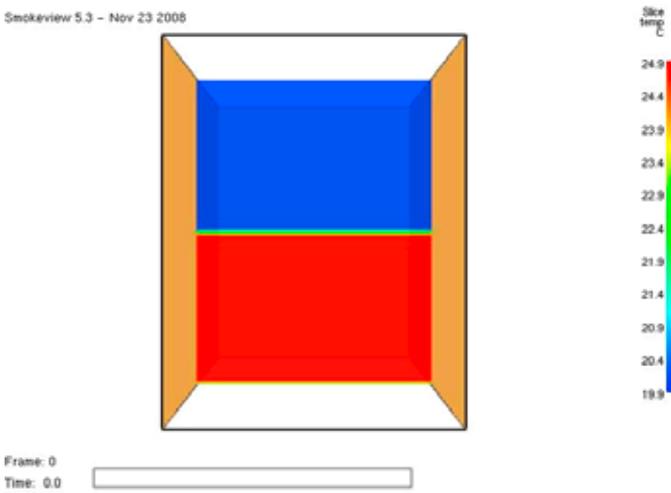
Dipl.-Ing. Thomas Kolb:
Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

BRANDSCHUTZ

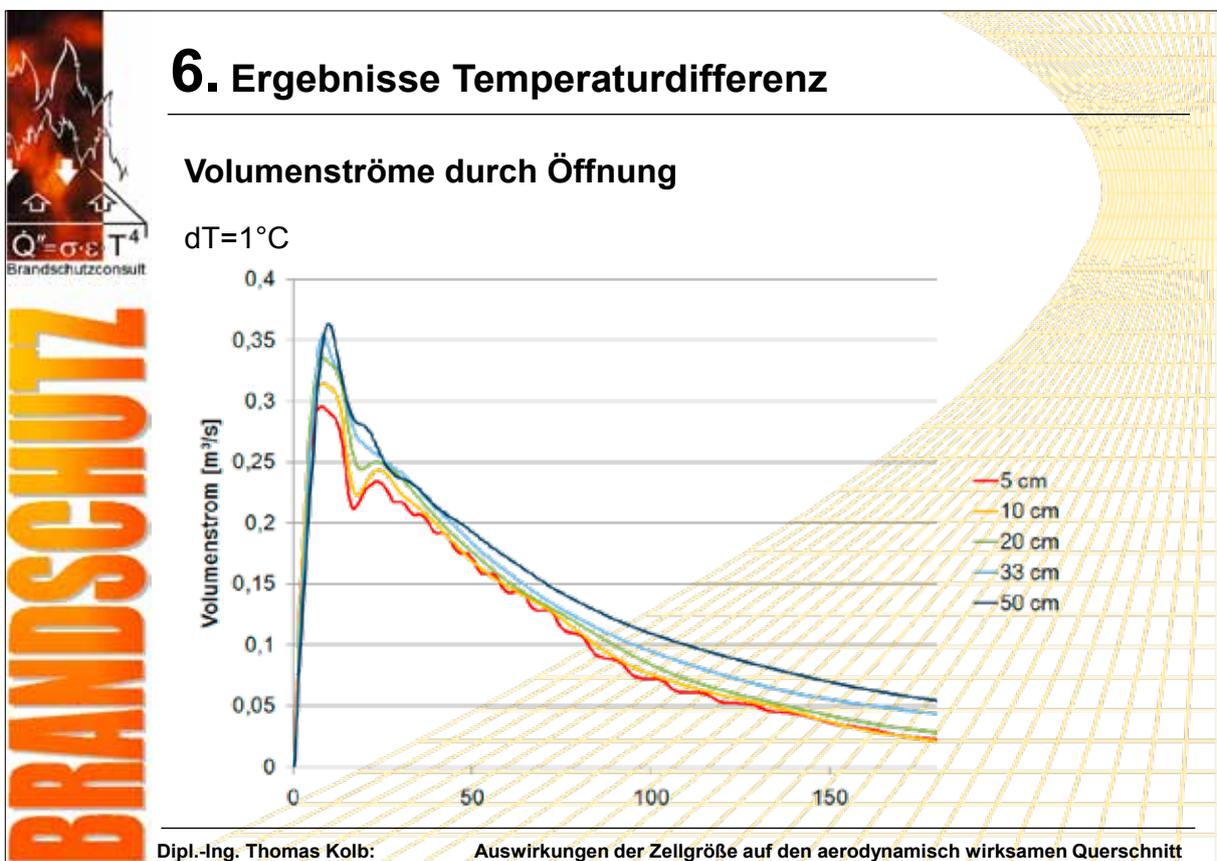
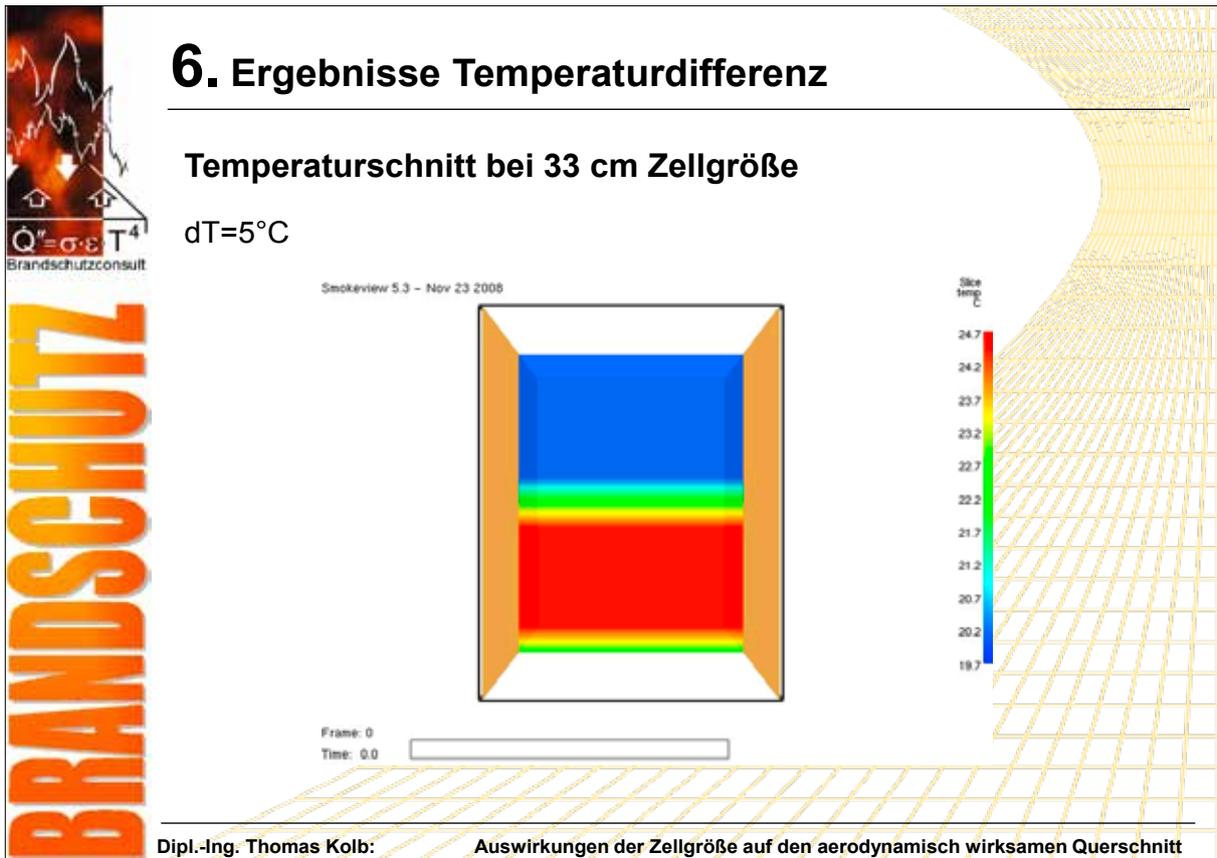
6. Ergebnisse Temperaturdifferenz

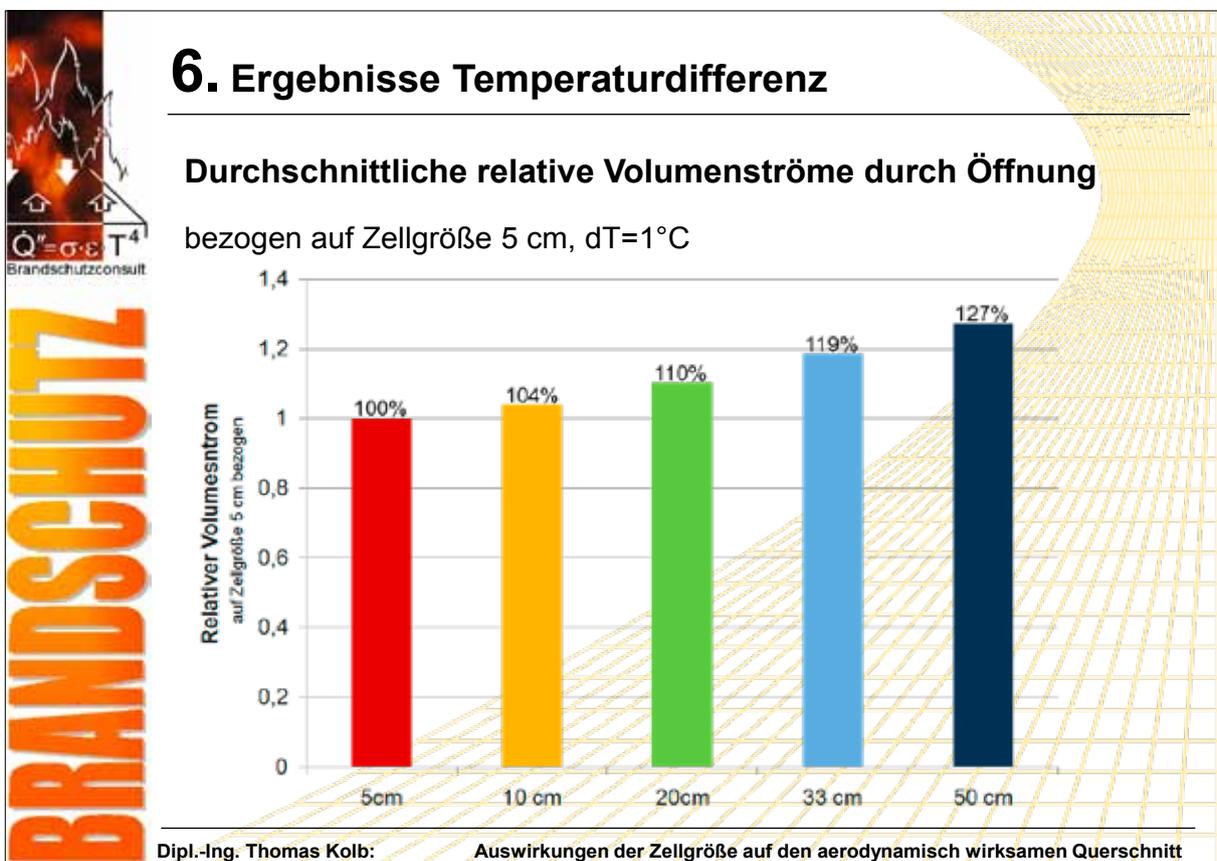
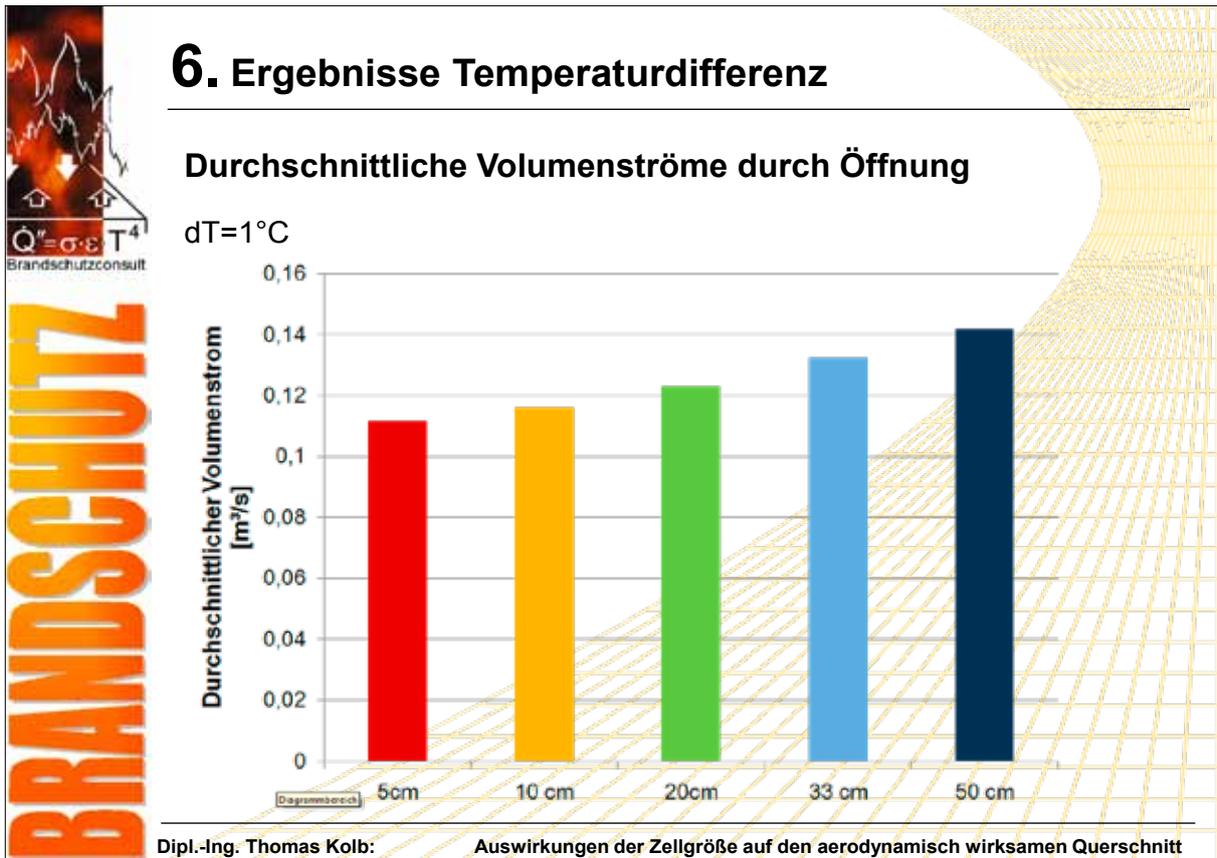
Temperaturschnitt bei 5 cm Zellgröße

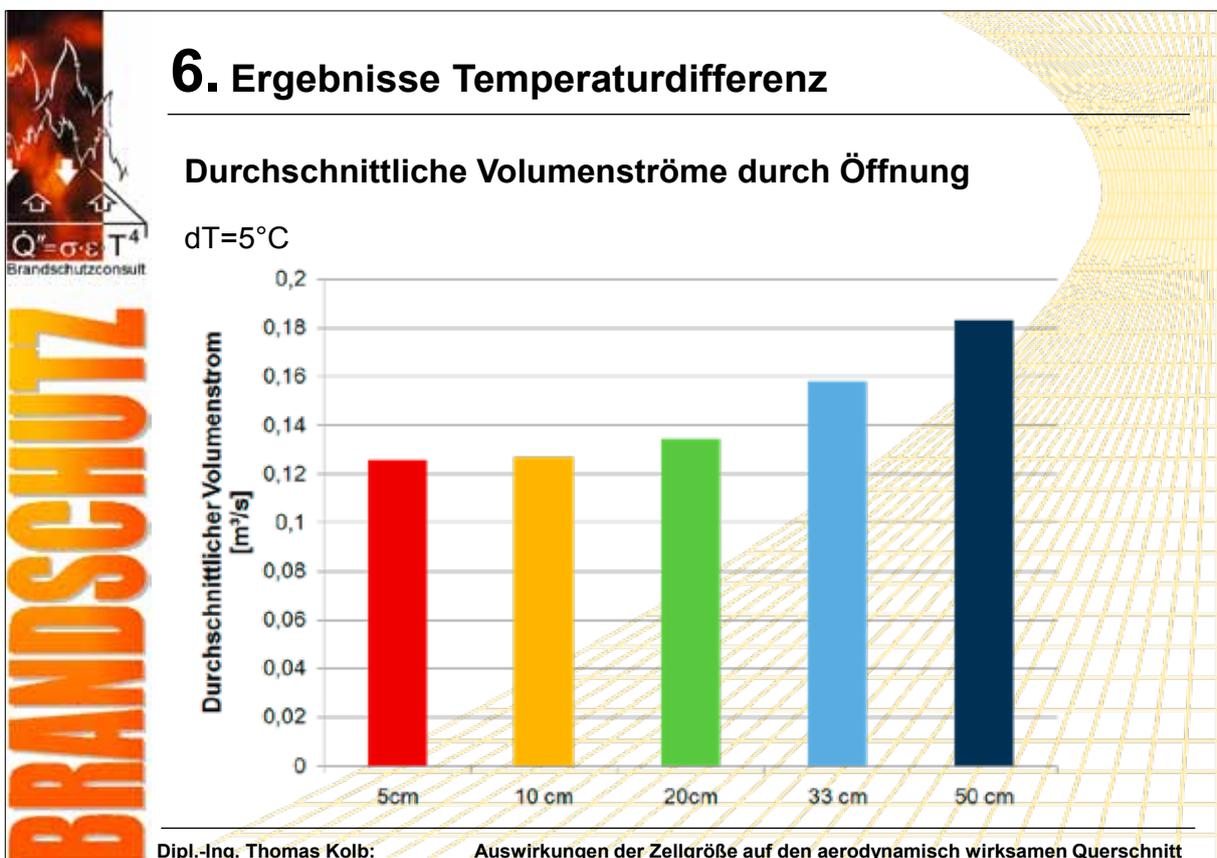
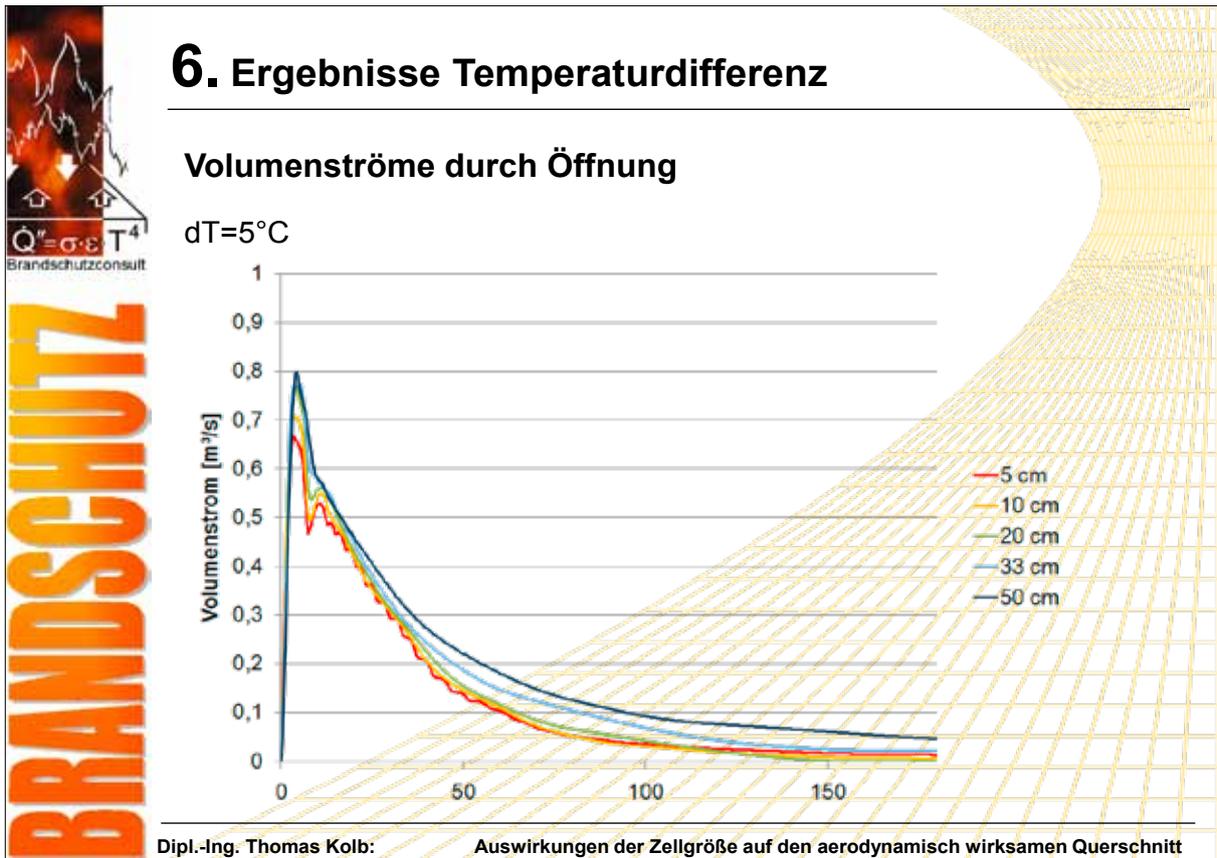
$dT=5^{\circ}\text{C}$

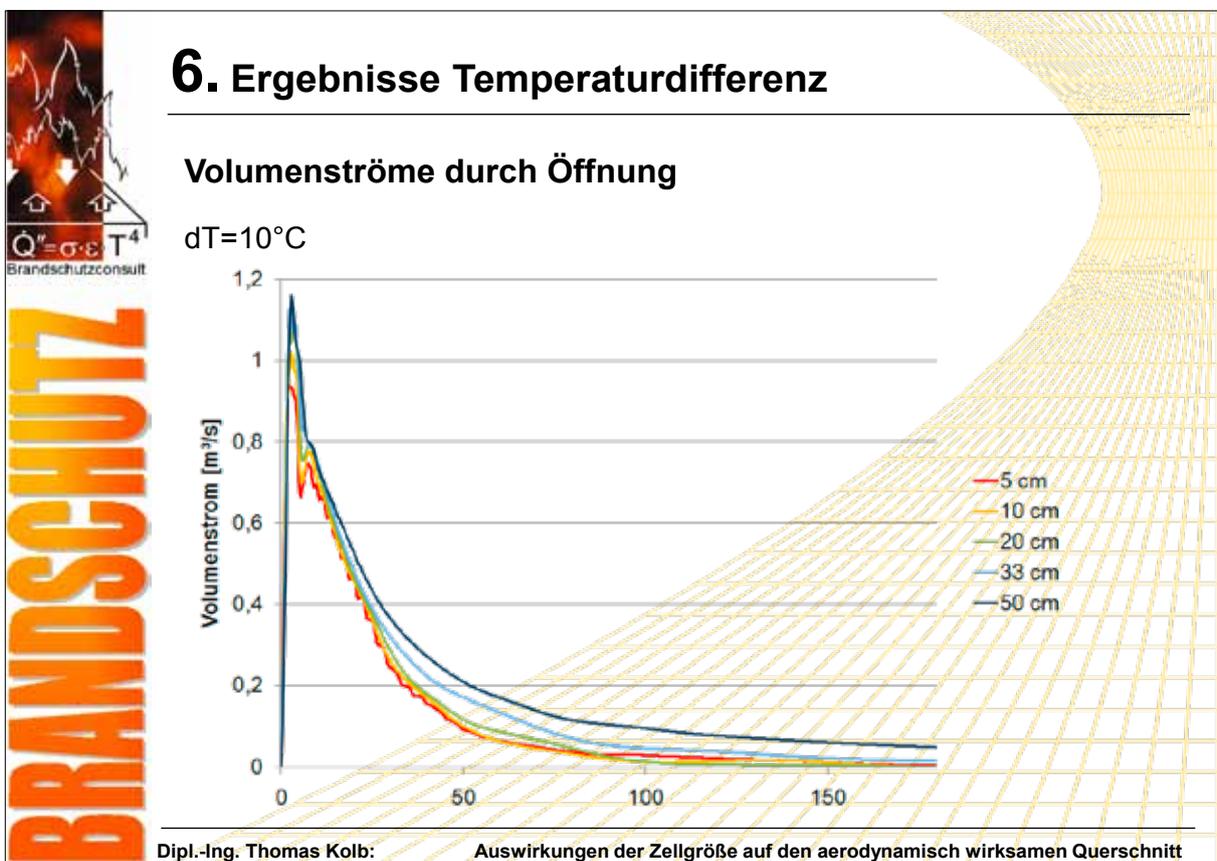
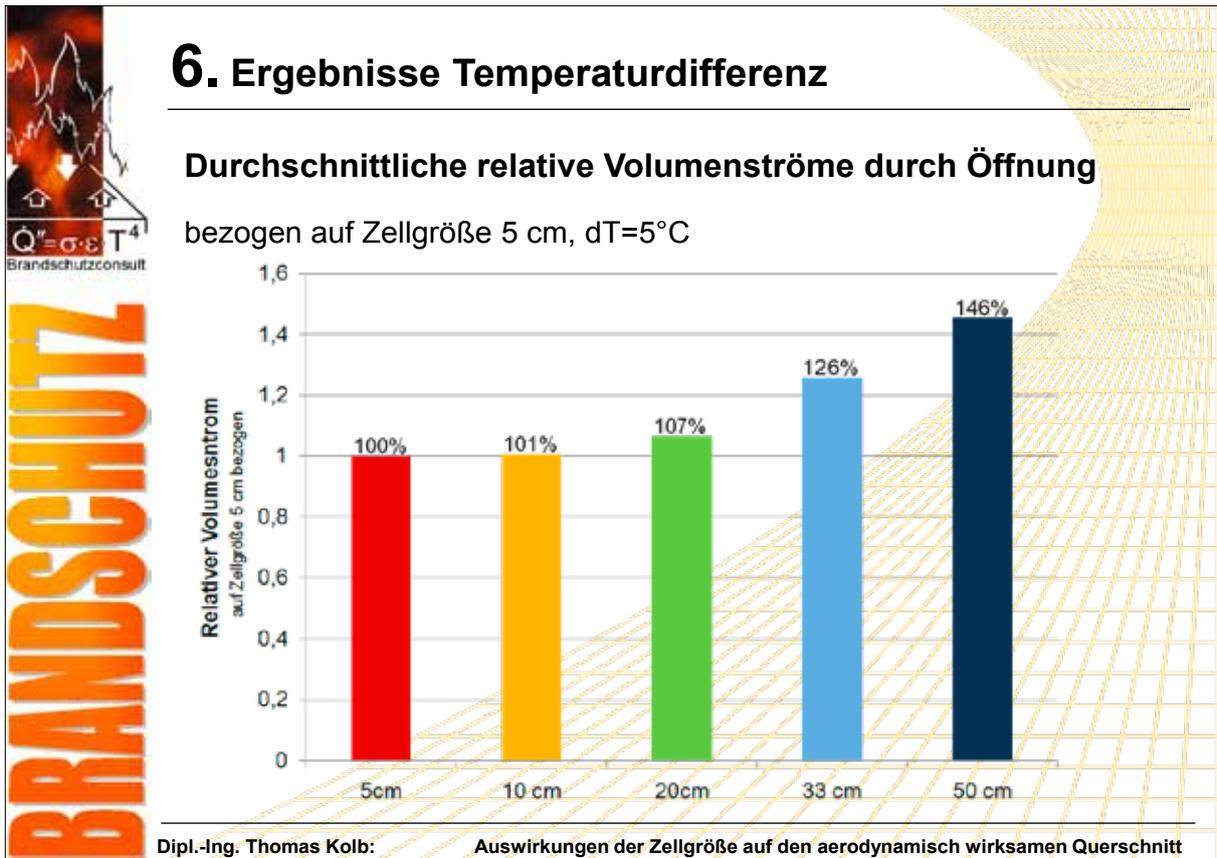


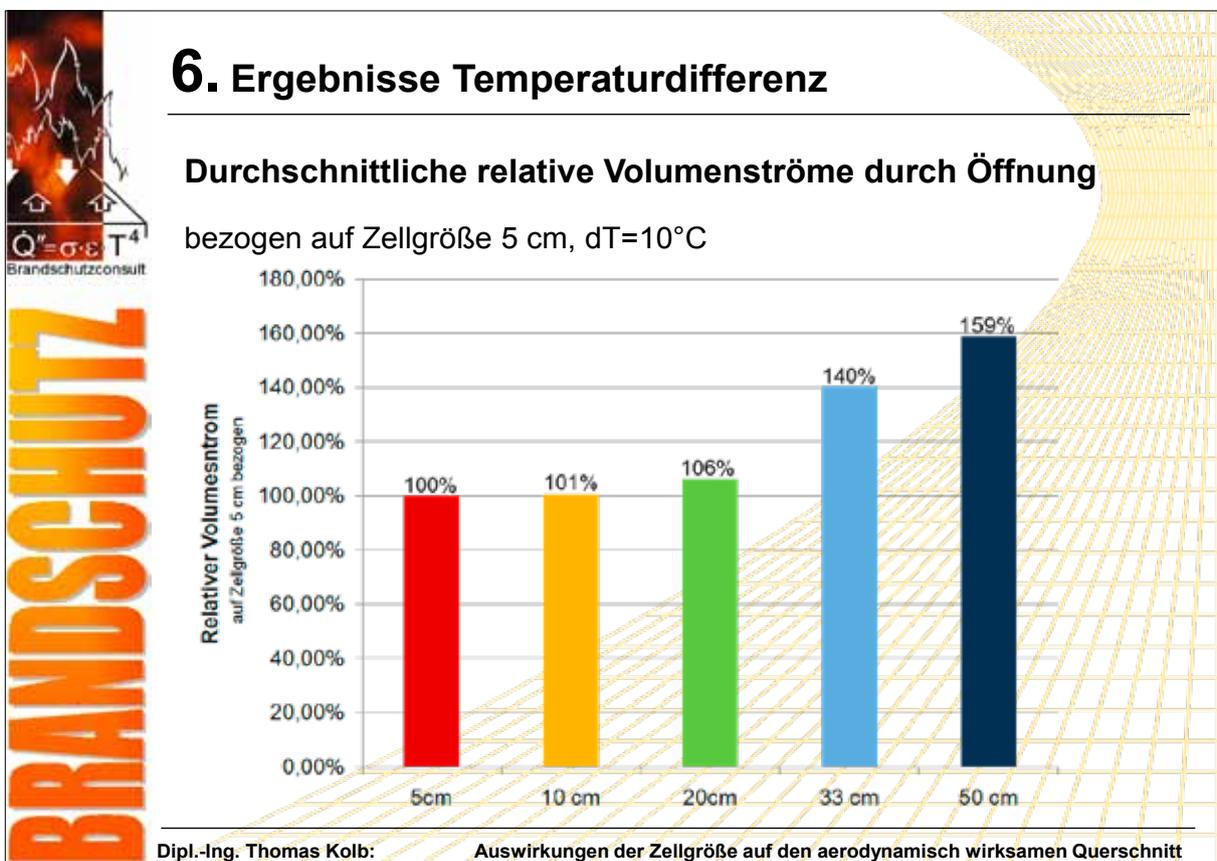
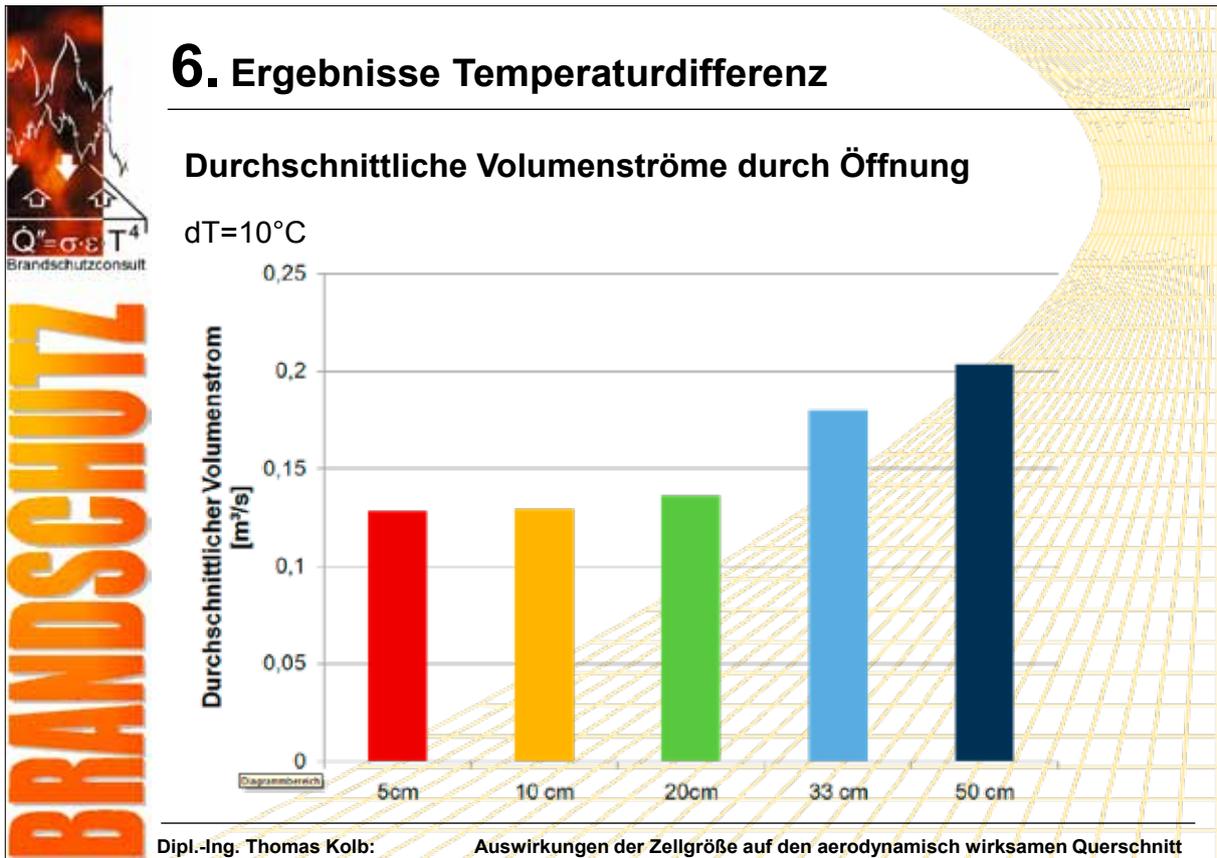
Dipl.-Ing. Thomas Kolb:
Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt













7. Zusammenfassung

Je größer das Zellraster desto ...

- ... geringer sind die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Rand und Mitte
- ... schneller baut sich der Temperaturunterschied oberhalb und unterhalb der Öffnung ab
- ... effektiver ist der Durchfluss durch die Öffnung
- ... mehr liegt die Berechnung auf der unsicheren Seite

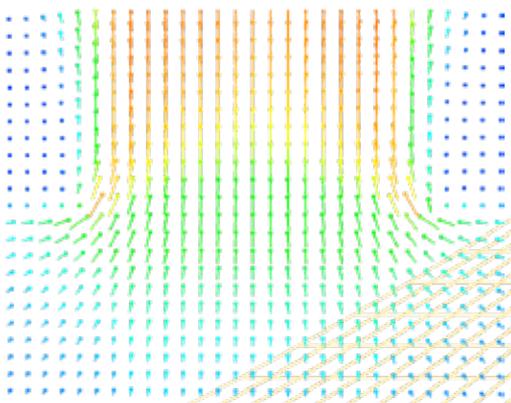
Dies gilt grundsätzlich bei allen Strömungsgeschwindigkeiten und Temperaturunterschieden

Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt



Dipl.-Ing. Thomas Kolb

Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt bei CFD-Berechnungen mit FDS



Brandschutzconsult
H.-P. Schreiner

In der Rohrmatt 1
77955 Ettenheim

Tel.: 0 78 22 / 44 71 - 0
Fax: 0 78 22 / 44 71 - 29

e-mail: info@brandschutzconsult.de
www.brandschutzconsult.de

Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

Gregor Jäger:

Parameterstudie zur Modellierung von Entfluchtungsszenarien im Rahmen einer Sicherheitsanalyse für Seilbahnen

Abstract:

Darstellung der Ergebnisse einer Untersuchung zum Einfluss verschiedener Parameter in FDS+Evac auf die Entfluchtung eines komplexen Gebäudes am Beispiel einer Talstation für eine 8-EUB und 6-EUB mit FDS+Evac.

Gemäß § 57 Abs. 1 Seilbahngesetz 2003 ist für geplante Seilbahnanlagen sowie für jeden Umbau von Sicherheitsbauteilen und Teilsystemen oder der Infrastruktur eine Sicherheitsanalyse zu erstellen. Die zu erstellende Sicherheitsanalyse bezieht sich unter anderem auf den Bereich des Brandschutzes und wird durch den Sicherheitsbericht-Ersteller in den Sicherheitsbericht übernommen. Bestandteil der Sicherheitsanalyse „Brandschutz“ ist u.a. die Beurteilung der Fluchtwege in den Stationen. Die Durchführung einer Sicherheitsanalyse muss nach einer anerkannten oder feststehenden Methode erfolgen, wobei der Stand der Technik und die Komplexität der Anlage zur berücksichtigen sind.

Neben der bereits zur Anwendung kommenden numerischen Berechnungen mit FDS zur Beurteilung der Auswirkungen eines Brandes auf die Sicherheit der Seile, soll untersucht werden, ob FDS+Evac zur Beurteilung der Fluchtwege angewendet werden kann.

Die aufgezeigten Ergebnisse verdeutlichen, dass weiterer Entwicklungsbedarf zur Verbesserung der zugrundeliegenden Algorithmen besteht und entsprechende Beobachtungen zur Verifizierung und Festlegung von Parametern notwendig sind.

Parameterstudie zur Modellierung von Entfluchtungsszenarien im Rahmen einer Sicherheitsanalyse für Seilbahnen



FDS-Usergroup,
3. Anwendertreffen, 29.-30.10.2009, Berlin
Gregor Jäger

Projekt Grafenberg I und II



- Projekt
- These
- Parameterstudie
- Projekt - Beispiel
- Zusammenfassung

Bergbahnen AG Wagrain

Neubau Grafenberg II

Bahnsystem		8-EUB
Antrieb		Berg
Spannung		Tal
Spurweite	m	5,20 m
Höhe Talstation	m.ü.M.	862,60
Höhe Bergstation	m.ü.M.	1236,30
Höhenunterschied	m	373,70
Horiz. Bahnlänge	m	843,22
Mittlere Neigung	%	44,32
Fahrstrecke	m	947,91

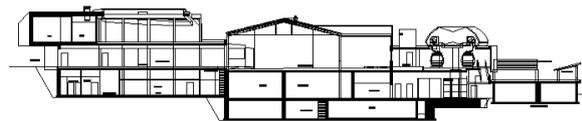
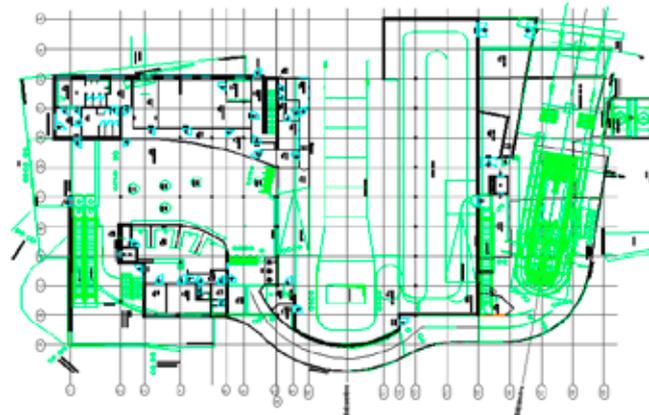


Projekt Grafenberg I und II

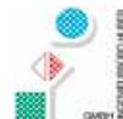


- Projekt
- These
- Parameterstudie
- Projekt - Beispiel
- Zusammenfassung

Umbau Talstation Grafenberg I und II



Rahmenbedingungen



- Projekt
- These
- Parameterstudie
- Projekt - Beispiel
- Zusammenfassung

Rechtliche Grundlagen

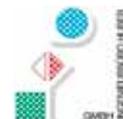
<p>2000/09/EG</p> <p>SeilbG 2003</p> <p>Brandschutz Seilbahnen</p> <p>OIB-Richtlinie 2</p> <p>OIB-Richtlinie 2.1</p>	<p>Richtlinien über Seilbahnen für den Personenverkehr</p> <p>Österreichisches Seilbahngesetz, Nov. 2003</p> <p>Leitfaden der österreichischen Brandverhütungsstellen, März 2003, Stand April 2007</p> <p>Brandschutz</p> <p>Brandschutz bei Betriebsbauten</p>
--	---

Sicherheitsanalyse



<p>Projekt</p> <p>These</p> <p>Parameterstudie</p> <p>Projekt - Beispiel</p> <p>Zusammenfassung</p>	<p>Richtlinie 2000/09/EG</p> <p>Artikel 4 Abs. 1</p> <p>Für jede geplante Anlage ist im Auftrag des Bauherrn oder seines Bevollmächtigten eine Sicherheitsanalyse gemäß Anhang III durchzuführen, bei der alle sicherheitsrelevanten Aspekte des Systems und seiner Umgebung im Rahmen der Planung, der Ausführung und der Inbetriebnahme berücksichtigt und anhand der bisherigen Erfahrungen alle Risiken ermittelt werden, die während des Betriebs auftreten können.</p> <p>Anhang II, Pkt. 2.6.5</p> <p>Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, damit die Auswirkungen eines Brandes in der Anlage die Sicherheit der beförderten Personen und des Personals nicht beeinträchtigen.</p> <p>Umsetzung in nationales Recht: Österreichisches Seilbahngesetz 2003 § 57 Abs. 1 und 2 SeilbG</p>
---	---

Anforderungen an Fluchtwege



<p>Projekt</p> <p>These</p> <p>Parameterstudie</p> <p>Projekt - Beispiel</p> <p>Zusammenfassung</p>	<p>Leitfaden Brandschutz Seilbahnen (herausgegeben von den österreichischen Brandverhütungsstellen)</p> <p>Fluchtwege, Gänge und Ausgänge in Stationen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ausreichend Fluchtwege und Ausgänge ▪ leicht erkennbar, entsprechend gekennzeichnet und jederzeit ohne fremde Hilfsmittel benutzbar ▪ Gehweglänge zu einem Ausgang ins Freie oder in ein brandschutztechnisch abgeschlossenes Stiegenhaus oder in gesicherte Fluchtwegbereiche jeweils mit Ausgang ins Freie darf 40 Meter nicht überschreiten ▪ Fixe Leitsystemen erfordern leicht öffnbare Elemente <p>Fluchtwege – nutzbare Mindestbreiten/ Ausgangsanordnung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ bis zu 10 Personen 1,0 m ▪ bis zu 120 Personen 1,2 m ▪ je weitere 10 Personen 0,1 m ▪ bei mehr als 200 Personen, mindestens zwei möglichst weit voneinander entfernte Ausgänge
---	--

These



Projekt

Sicherheitsanalyse Brandschutz

These

Parameterstudie

Anforderung:

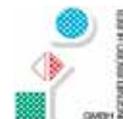
Projekt - Beispiel

Durchführung nach einer anerkannten oder feststehenden Methode, wobei der Stand der Technik und die Komplexität der Anlage zu berücksichtigen sind.

Zusammenfassung

- Beurteilung der Auswirkungen eines Brandes auf die Sicherheit der Seile
 - => Strahlungsberechnung mit FDS
- Beurteilung der Fluchtwege in den Stationen
 - => Evakuierungsberechnung mit FDS+Evac?
 - => Abbildung Flucht- und Rettungskonzept?
 - => Eignung als Methode?

Parameterstudie



Projekt

Beurteilung der Fluchtwege in Stationen

These

Parameterstudie

Untersuchung der Modellierung von:

Projekt - Beispiel

- Stiegenhaus
- Zugangskontrollen

Zusammenfassung

Untersuchung der Parameter:

- Geschwindigkeit
- Körperabmessungen
- Gruppenverhalten

Parameterstudie



Projekt

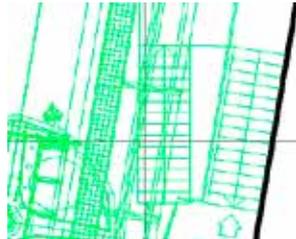
Stiegenhaus

These

Parameterstudie

Projekt - Beispiel

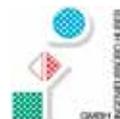
Zusammenfassung



Anforderungen:

- Abbildung von Stiegenhäusern und Fluchttreppen in Abhängigkeit der Anforderungen gemäß „Leitfaden Brandschutz Seilbahnen“ (Mindestbreiten)
- Verbindung von Ebenen

Parameterstudie



Projekt

Stiegenhaus

These

Parameterstudie

Projekt - Beispiel

Zusammenfassung

BRUNNEN - 03.10.2009



BRUNNEN

0000-6

entnommen aus:

FDS+Evac Miscellaneous Examples

http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/fdsevac/examples_fds5.html

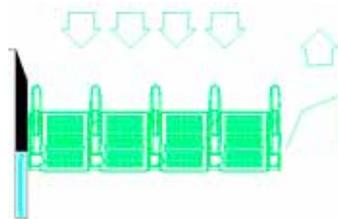
Seit Version 2.2.0 besteht die Möglichkeit der Modellierung von Stiegen mit &STRS (noch nicht dokumentiert)

Parameterstudie



- Projekt
- These
- Parameterstudie**
- Projekt - Beispiel
- Zusammenfassung

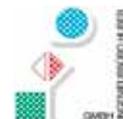
Zugangskontrolle



Anforderungen:

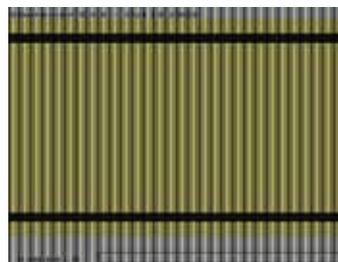
- Personenzählung
- Verzögerung im Personenstrom

Parameterstudie



- Projekt
- These
- Parameterstudie**
- Projekt - Beispiel
- Zusammenfassung

Zugangskontrolle



Modellierung:

in Anlehnung an auf dem Markt befindlichen Zugangssystemen:

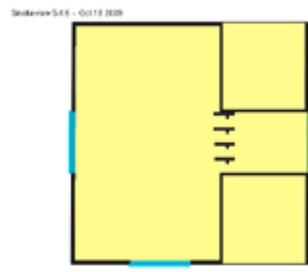
- min. lichte Durchgangsbreite: 60 cm (Drehkreuz)
- max. lichte Durchgangsbreite: 80 cm (Zugangskontrolle)
- Kapazität pro Minute: 15-20 Personen

Parameterstudie

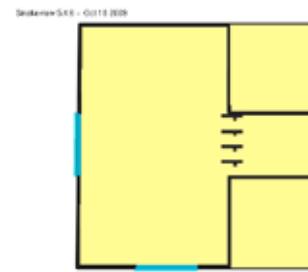


- Projekt
- These
- Parameterstudie
- Projekt - Beispiel
- Zusammenfassung

Zugangskontrolle



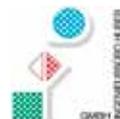
mesh size: 0.2 m



mesh size: 0.1 m

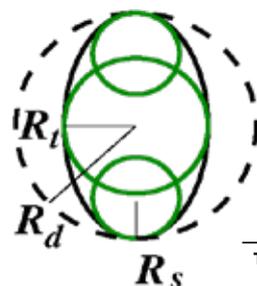
Ergebnis: Personen „verhaken“ sich in der Zugangskontrolle

Parameterstudie



- Projekt
- These
- Parameterstudie
- Projekt - Beispiel
- Zusammenfassung

Körperabmessungen



Anforderungen:

- Anpassungen an Zielgruppe
 - Wintersportler mit Sportgeräten

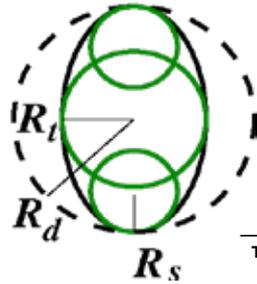
Typ	R_d [m]	R_t / R_d	R_s / R_d	d_s / R_d
Adult	$0,255 \pm 0,035$	0,5882	0,3725	0,6275
Male	$0,270 \pm 0,020$	0,5926	0,3704	0,6296
Female	$0,240 \pm 0,020$	0,5833	0,3750	0,6250
Child	$0,210 \pm 0,015$	0,5711	0,3333	0,6667
Elderly	$0,250 \pm 0,020$	0,600	0,3600	0,6400

Parameterstudie



- Projekt
- These
- Parameterstudie
- Projekt - Beispiel
- Zusammenfassung

Körperabmessungen

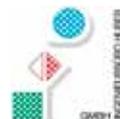


Modellierung:

Abmessungen von Menschen/
beanspruchte Fläche

Typ	FDS+Evac [m ²]	P&M [m ²]	Weidmann [m ²]
Adult	0,120	0,100 - 0,125	0,085 - 0,150
Male	0,136		
Female	0,106		
Child	0,079	0,04 - 0,06	
Elderly	0,118		
Erwachsener mit Rucksack		0,260	

Parameterstudie



- Projekt
- These
- Parameterstudie
- Projekt - Beispiel
- Zusammenfassung

Körperabmessungen



Adult: FDS+Evac (0,120 m²)



Adult: Erwachsener mit Rucksack (0,0227 m²)
in Annäherung an P&M 0,260 m²

Einstellung: &PERS ...
 DIAMETER_DIST = 0
 DIA_MEAN = 2 R_d
 D_TORSO_MEAN = 2 R_t
 D_SHOULDER_MEAN = 2 R_s

Ergebnis: von Ellipse zum Kreis (max. R_d)

Parameterstudie



Projekt **Gruppenverhalten**

These

Parameterstudie

Projekt - Beispiel

Zusammenfassung

```
&PERS
...
GROUP_DENS      = 1.00
GROUP_EFF       = 0.15
RADIUS_COMPLETE_0 = 0.20
RADIUS_COMPLETE_1 = 0.50
...

&EVAC
...
GN_MIN          = 1
GN_MAX          = 1
...
```

Anforderungen:

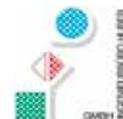
Abbildung von Personengruppen

- Familien
- Skikurse
- sonstige Personengruppen

Hinweis:

Funktion bereits in FDS+Evac implementiert, noch fehlen Experimente zur Überprüfung.

Parameterstudie



Projekt **Gruppenverhalten**

These

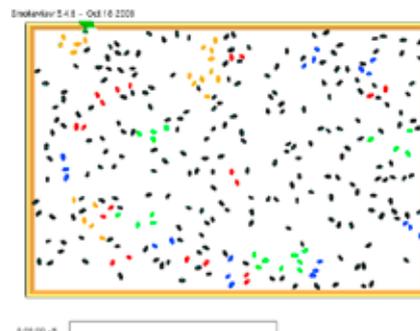
Parameterstudie

Projekt - Beispiel

Zusammenfassung

```
&PERS
...
GROUP_DENS      = 1.00
GROUP_EFF       = 0.15
RADIUS_COMPLETE_0 = 0.20
RADIUS_COMPLETE_1 = 0.50
...

&EVAC
...
GN_MIN          = 1 ... 5
GN_MAX          = 1 ... 5
...
```



Gruppengröße:

rot: 2 Personen
blau: 3 Personen

grün: 4 Personen
orange: 5 Personen

Zusammenfassung



Projekt

+ positiv

These

Parameterstudie

Projekt - Beispiel

Zusammenfassung

- Modellierung komplexer Geometrien möglich
- Bestimmung der signifikanten Gesamtfluchtdauer
- Definition der Populations-Zusammensetzung und Verteilung
- Abbildung des Flucht- und Rettungswegkonzeptes
- Identifizierung von Stauungen (qualitativ)

- negativ

- Durchführung von verschiedenen Simulationsdurchläufen umständlich
- Dichteverläufe (qualitativ, räumlich, zeitlich) nicht möglich
- Verzögerungspassagen bedingt möglich
- Abbildung von Gruppen bedingt möglich



Filmsequenzen und Eingabedateien
auf <http://www.f-sim.de>

Puyan Abolghasemzadeh:

Building Information Model (BIM) basierte, Evakuierungssimulation

Abstract:

Der Vortrag befasst sich mit der Notwendigkeit der Feuer- und Evakuierungssimulationen und deren aktuellen Entwicklungen in der Bauinformatik. Vor allem wird die Durchführung der hierfür benötigten CFD Simulationen basiert auf digitale Gebäudeinformation Modellen (BIM) thematisiert. Außerdem werden die Schnittstellen des BIM Programms Revit Architecture und die Verwendungsmöglichkeiten des CFD Simulators FDS bzw. FDS+Evac beschrieben. Dabei werden auch die Schwierigkeiten und Einschränkungen der obigen Simulatoren diskutiert. Anschließend wird ein Softwarekonzept vorgestellt, das bei der Brandschutzplanung eines Gebäudes die Durchführung der Feuer- und Entfluchtungssimulation direkt aus dem BIM Programm ermöglicht. Somit werden die eventuellen Datenverluste durch Export von Gebäudedaten vermieden und Betrachtung der Brandschutzaspekte in der Planungsphase eines Gebäudes erleichtert. Zum Schluss wird die „Virtual Reality“ Anlage des Instituts für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen an der TU Darmstadt vorgestellt, wo die Darstellung der Simulationsergebnisse in immersiver Umgebung eine visuelle Beurteilung des Brandschutzkonzeptes ermöglicht.

3. Anwender-Treffen der FDS Usergroup Berlin, 29. und 30. Oktober 2009



BIM basierte Evakuierungssimulation

Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc.

16. November 2009 | Fachbereich 13 | Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 1

Gliederung



- Motivation
- Building Information Model (BIM)
- Anforderungen zur Feuer- und Evakuierungssimulatoren
- Vorführung des ISEE-Tools
- Offene Themen
- Zusammenfassung

16. November 2009 | Fachbereich 13 | Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 2

Motivation



- Veränderte Sicherheitslage in der Welt nach dem 9/11
- Ziel der Anschläge sind:
 - nicht mehr die militärische Einrichtungen oder politische Gebäude
 - sondern die öffentliche Infrastrukturen mit hoher Populationsdichte: Flughäfen, Hotels, Verkehrssystem, Krankenhäuser, Schulen usw.



➤ Computergestützte Brandschutzplanung

16. November 2009 | Fachbereich 13 | Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 3

Motivation – Brandschutzplanung



- Papierbasiert
- Checklisten
- Computersimulationen sind selten
- Zusätzliche Überprüfung bei besonderen Gebäuden mit ungewöhnlicher Architektur

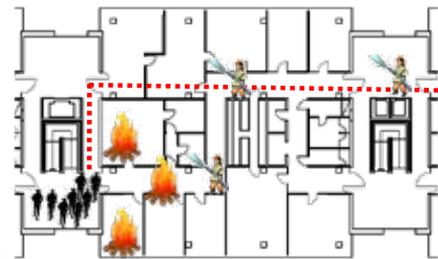


16. November 2009 | Fachbereich 13 | Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 4

Problemstellung



- Gegenseitige Einflüsse zwischen den benötigten Simulationen:
 - Feuer- und Rauchausbreitung
 - Standsicherheit von Gebäuden
 - Verhalten der gefährdeten Personen
- Zusammenführung von Gebäudeinformationsmodellen (BIM) und den erforderlichen Simulationen
- Visualisierung zur visuellen Beurteilung sowie virtuellen Schulung

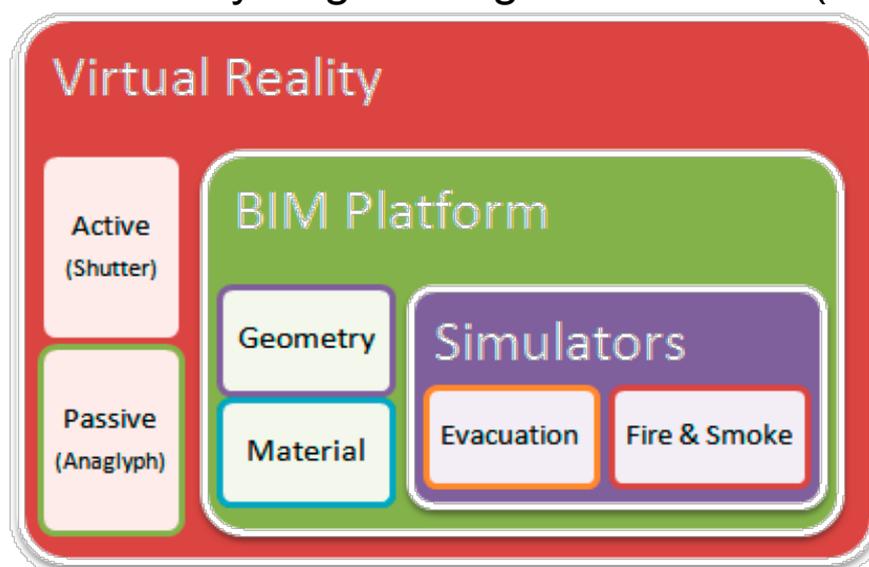


16. November 2009 | Fachbereich 13 | Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 5

Konzept



- Immersive Safety Engineering Environment (ISEE)



16. November 2009 | Fachbereich 13 | Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 6

Building Information Model (BIM)

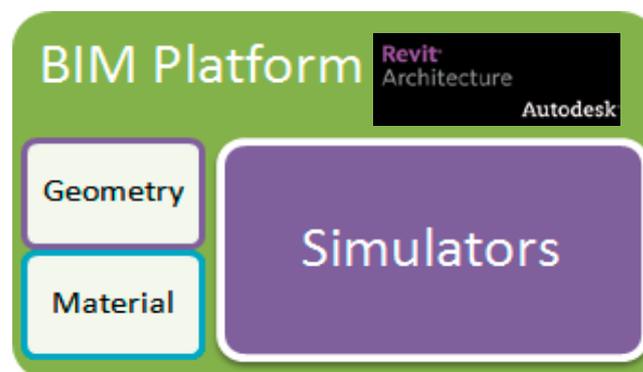


- ist der Prozess der Generierung, Verwaltung und Nutzung von Gebäudedaten während des Lebenszyklus eines Gebäudes
- CAD + dynamische Modellierung in Echtzeit
- beinhaltet u.a. Informationen über Geometrie und Baumaterialien
 - Randbedingungen für Simulationen



16. November 2009 | Fachbereich 13 | Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 7

Building Information Model (BIM)



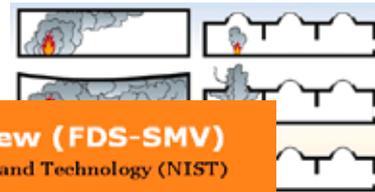
16. November 2009 | Fachbereich 13 | Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 8

Simulation von Feuer- und Rauchausbreitung



■ Anforderungen:

- Numerische Strömungsmechanik (CFD)

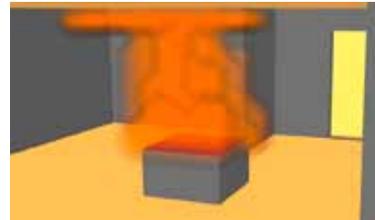


■ Fire Dynamics Simulator and Smokeview (FDS-SMV)

Official Website, Hosted at the National Institute of Standards and Technology (NIST)

und Zeitabhängigkeit)

- Definition von Rauch und seinen Eigenschaften (Rauchtempo und Rauchdichte)



- Stereo-Output in VR

Simulation von Evakuierungssimulation



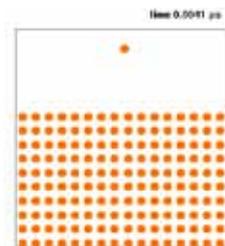
■ Anforderung:

- Molekulardynamik Methode (MD)

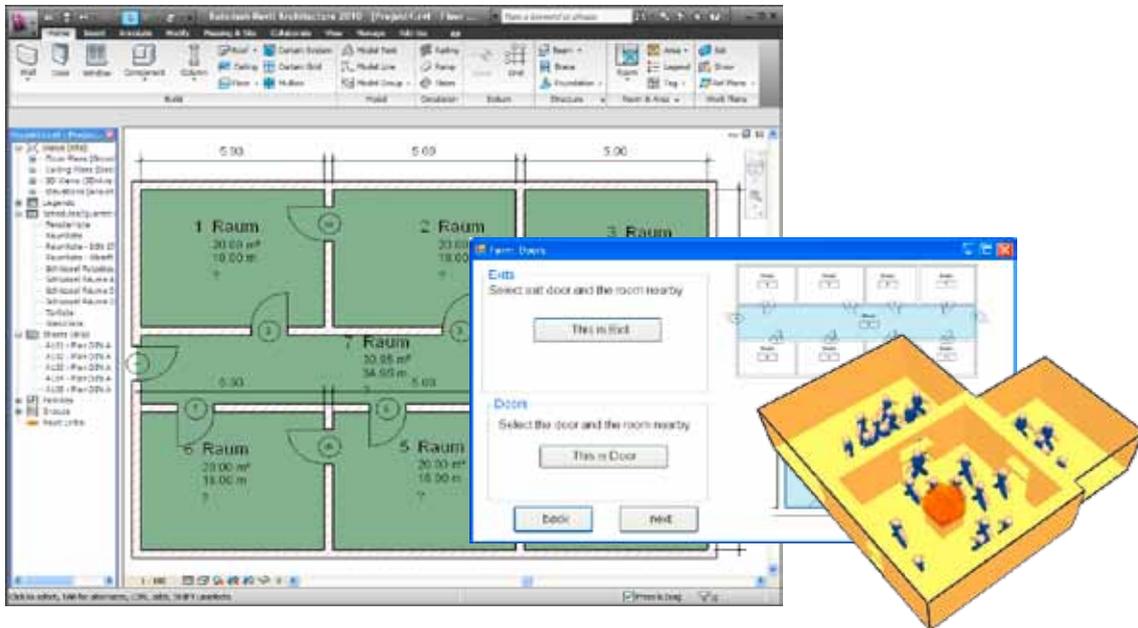


- Simulation der:

- Person
- Interakt (social forces)
- Interaktion zwischen Mensch und Bauelementen
- Interaktion zwischen Mensch und Feuer und Rauch



Vorführung des ISEE-Tools

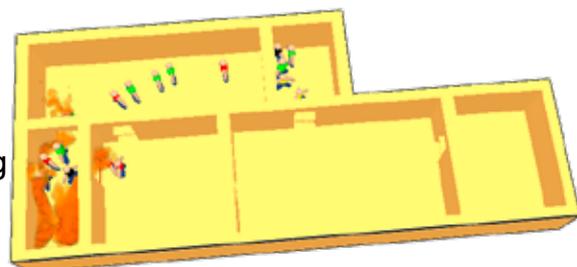


16. November 2009 | Fachbereich 13 | Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 11

Offene Themen



- Automatische Anpassung von Meshes
- Mensch – Feuer Interaktion
- Auswahl aus mehreren bekannten Türen
- Die Beziehung zwischen OUTFLOW-VENT, Wänden und Türen
- Bestimmung der tatsächlich nicht passierbaren Durchgänge
- Einfluss der Temperatursausbreitung auf Bauelemente

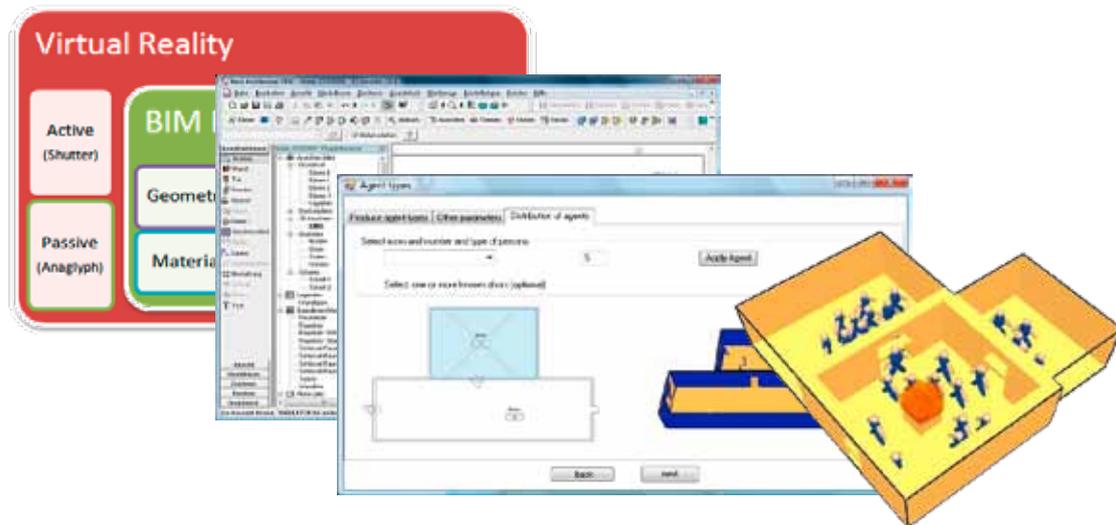


16. November 2009 | Fachbereich 13 | Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 12

Zusammenfassung



- Immersive Safety Engineering Environment (ISEE)



16. November 2009 | Fachbereich 13 | Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 13

BIM basierte Evakuierungssimulation

Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc.

puyan@iib.tu-darmstadt.de

Tel: 06151 / 16-36 44

Petersenstr. 13 – 64287 Darmstadt



Vielen Dank!

Fragen?

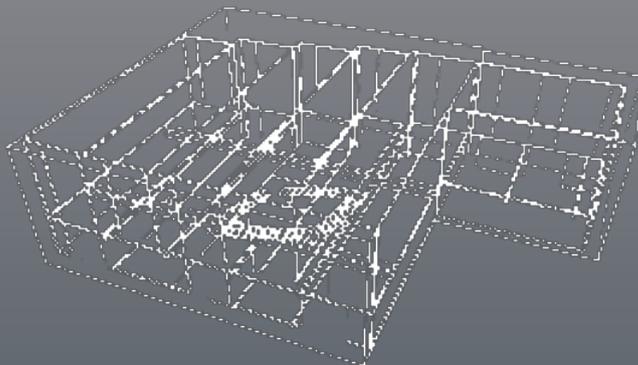
16. November 2009 | Fachbereich 13 | Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 14

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



hhppress

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