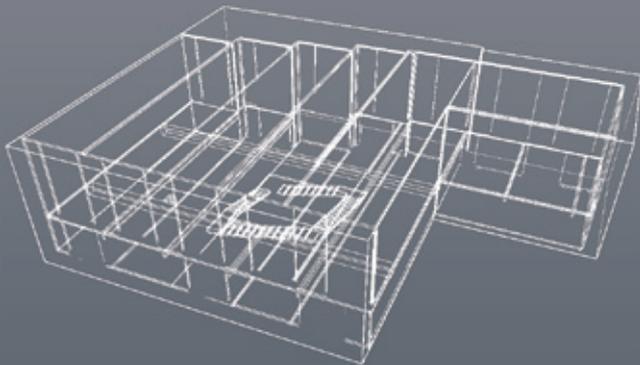


5. ANWENDERTREFFEN DER FDS USERGROUP

TAGUNGSBAND ZUSAMMENSTELLUNG DER VORTRÄGE

Datum:
10.11.-11.11.2011

Ort:
hhpberlin
Rotherstraße 19
10245 Berlin



INHALT**Vorträge 10.11.2011 (Anwendertag):**

Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt - Ergebnisse einer Parameterstudie mit unterschiedlichen Druckdifferenzen Thomas Kolb	2
FDS-Simulationen richtig auswerten Christian Kohler	26
Integration von numerischer Brandsimulation in die digitale Gebäudemodellierung für die Anwendung im Einsatzfall	43
Umgebungsbedingte und verhaltensabhängige mikroskopische Entfluchtungsanalyse basierend auf BIM und FDS Puyan Abolghasemzadeh	54
Erfahrungsbericht bei der Handhabung von FDS-EVAC im Vergleich zu ASERI Dr. Jürgen Will	58
Sicherstellung eines Zuganges für die Feuerwehr in einstöckigen, ungesprinklerten Industriebauwerken mit Dachöffnungen Tim McDonald	70

Vorträge 11.11.2011 (Forschungstag):

Comparison of inert Shaft Fire Experiment and CFD Modelling in FDS5/6 Prof. Bjarne Husted	83
Vergleichende Anwendung von FDS+Evac in den FDS-Versionen 5 und 6 Gregor Jäger	95
Ein Beitrag zur Simulation druckbelüfteter Treppenträume Boris Stock	108
Wärmeübertragung auf und in Bauteilen bei Brandsimulationen mit FDS Dr. Andreas Vischer	121
Wärmestrahlung in FDS: Wärmt es noch oder brennt es schon? Matthias Münch	134
Wie genau müssen Brandparameter sein? Probabilistische Analyse der Sensitivität von Brandsimulationen auf Basis des Latin-Hypercube-Samplings. Kathrin Grewolls	144
Vergleichsrechnungen mit FDS im Rahmen der Normungsarbeit der DIN 18230-4 Dr. Christoph Klinzmann	153
Optimierung der FDS-Drucklösung auf Basis algebraischer Mehrgittermethoden Dr. Susanne Kilian	168

Thomas Kolb:

Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt - Ergebnisse einer Parameterstudie mit unterschiedlichen Druckdifferenzen

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.

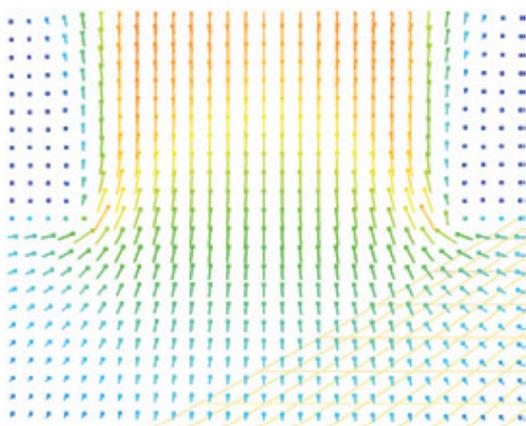
Um Störungen zu verhindern, wurde hierzu ein möglichst einfaches Modell ohne eigenen Brand und ohne Temperaturunterschiede verwendet. Es wurden dazu Parameterstudien an einem insgesamt 5,0 m langen Modell durchgeführt, bei denen unterschiedliche Druckdifferenzen an einer Variation von Öffnungsflächen angesetzt wurden. Insgesamt erfolgten 112 einzelne Berechnungen mit Zellgrößen von 5 cm bis 50 cm und Druckdifferenzen von 5 Pa bis 50 Pa. Dabei wurde neben dem Volumenstrom durch die Öffnung, auch die Strömungsgeschwindigkeit und deren vektorielle Ausrichtung sowie die Druckverteilung beurteilt.



BRANDSCHUTZ

Dipl.-Ing. Thomas Kolb

**Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt –
Ergebnisse einer Parameterstudie mit unterschiedlichen Druckdifferenzen**



Brandschutzconsult
GmbH & Co. KG

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



BRANDSCHUTZ

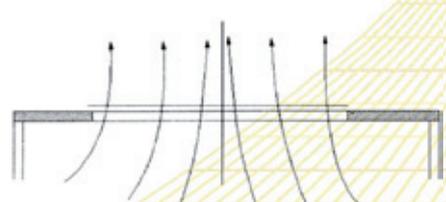
1. Einführung

Aerodynamisch wirksamer Querschnitt

Verringerung des durchströmten Querschnitts von Öffnungen durch Einschnürungseffekte

Verursacht durch Strömungsablösung, -umlenkung und Reibungseffekte

ausgedrückt durch Faktor c_v



Ermittlung erfolgt experimentell nach DIN EN 12101-2, Anhang B

Wie wird dieser Faktor bei Berechnungen mit FDS berücksichtigt?

1. Einführung

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

Durchführung von Parameterstudien mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten und Temperaturunterschieden

Variation der Zellgrößen, der Strömungsgeschwindigkeit und der Temperaturdifferenz

Zur Vermeidung störender Einflüsse möglichst einfaches Modell

Deshalb keine Brandsimulation und zunächst keine Temperaturunterschiede

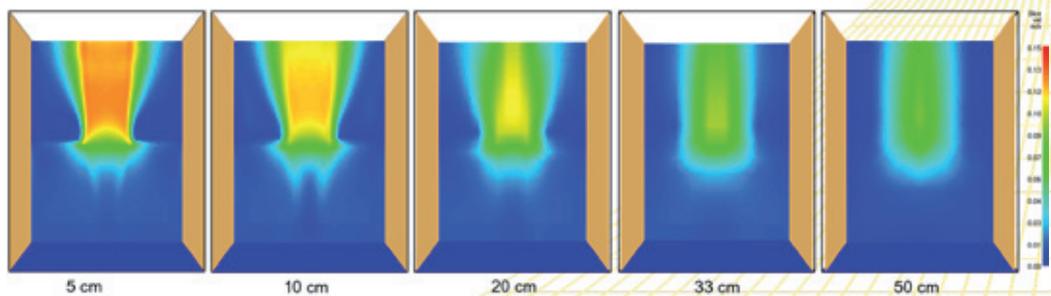
Keine besonderen Materialien

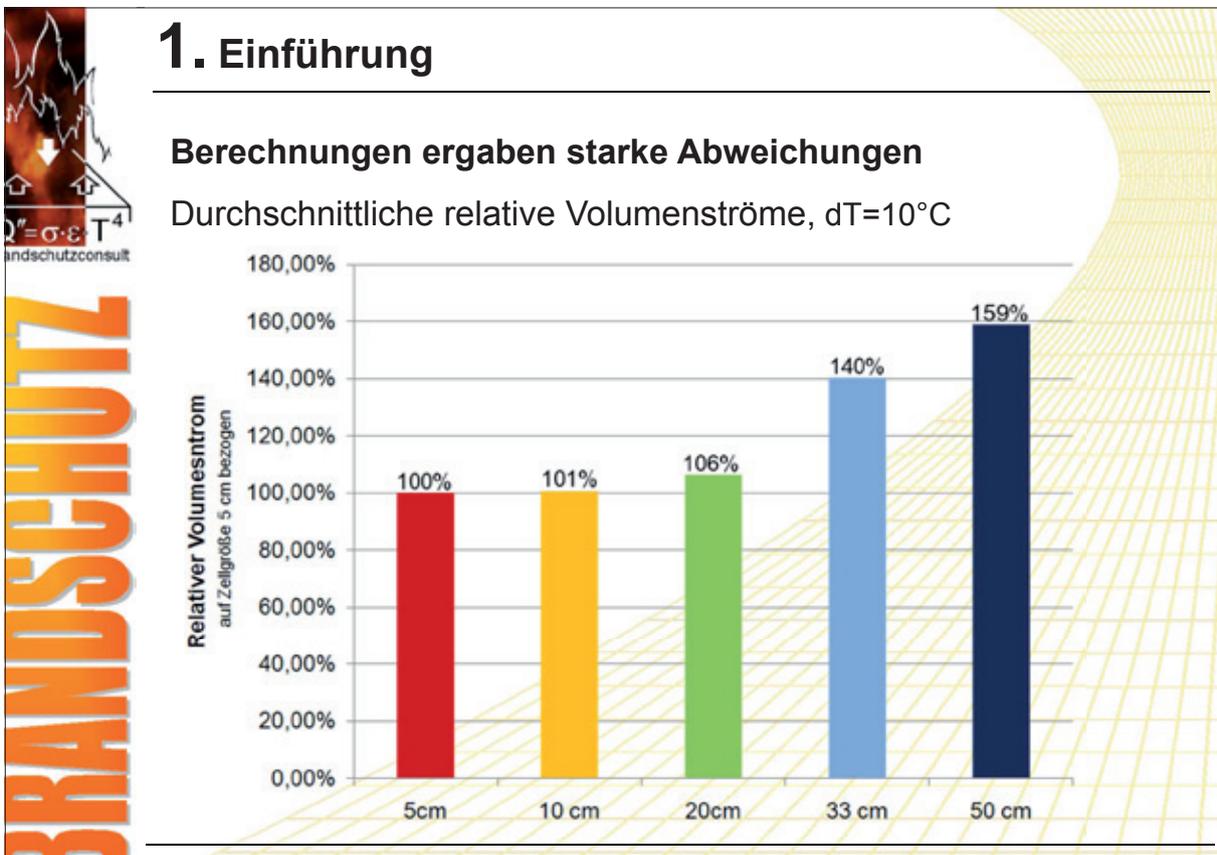
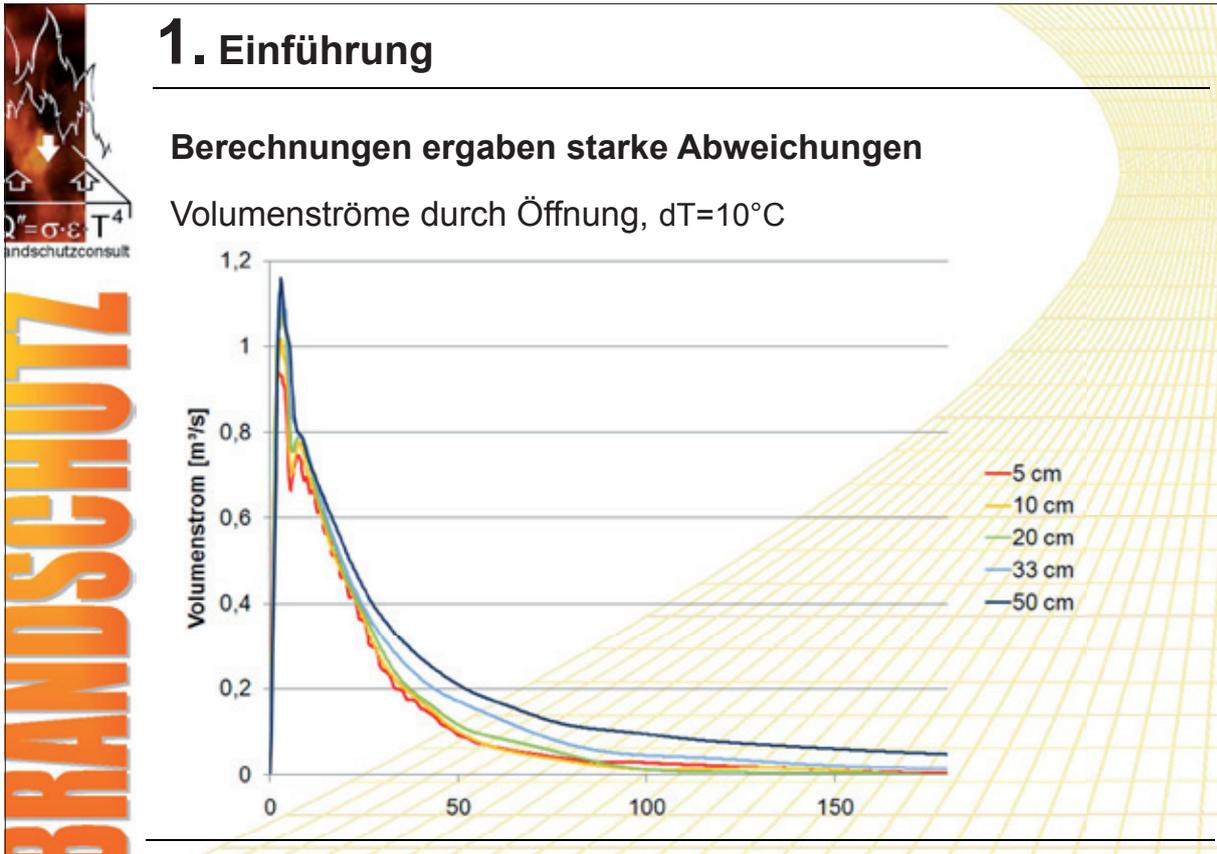
Keine Parallelrechnung

1. Einführung

Berechnungen ergaben starke Abweichungen

Strömungsbilder nach 180 Sekunden, $v=0,011$ m/s





BRANDSCHUTZ

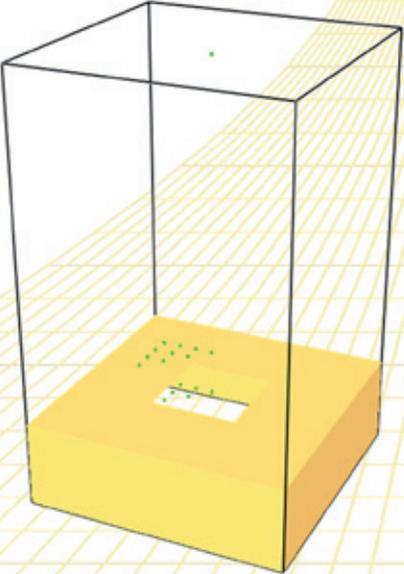
2. Modellbildung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen beim Treffen 2010

Verwendete FDS-Version: Version 5.5.3 (32-bit)

Modell:

- 5 m hohes Modell mit einem 1 m hohen Schacht unten und variierenden Öffnungen in der Mitte einer Einbaufäche
- Dicke der Einbaufäche 0,0 m
- 1 m Rand um die Öffnung, darüber Modell offen zur Umgebung



BRANDSCHUTZ

2. Modellbildung

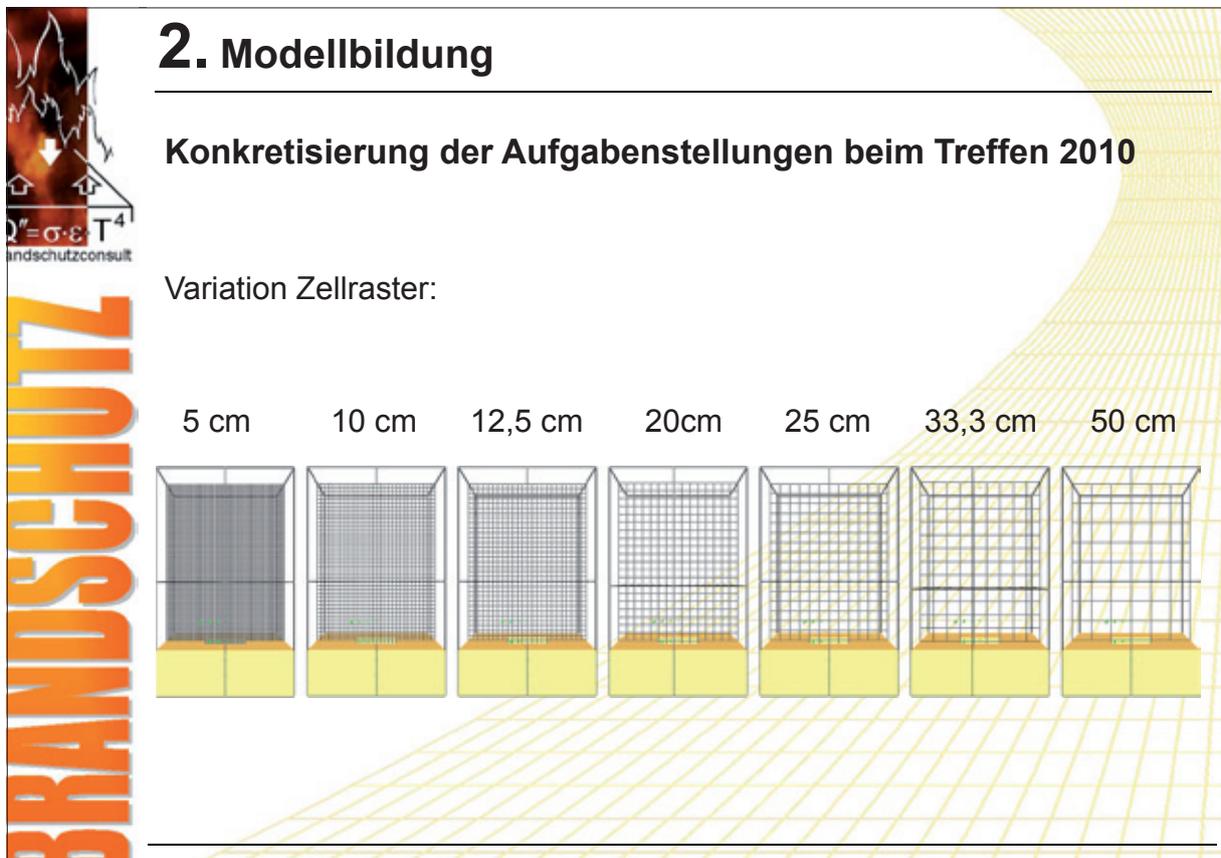
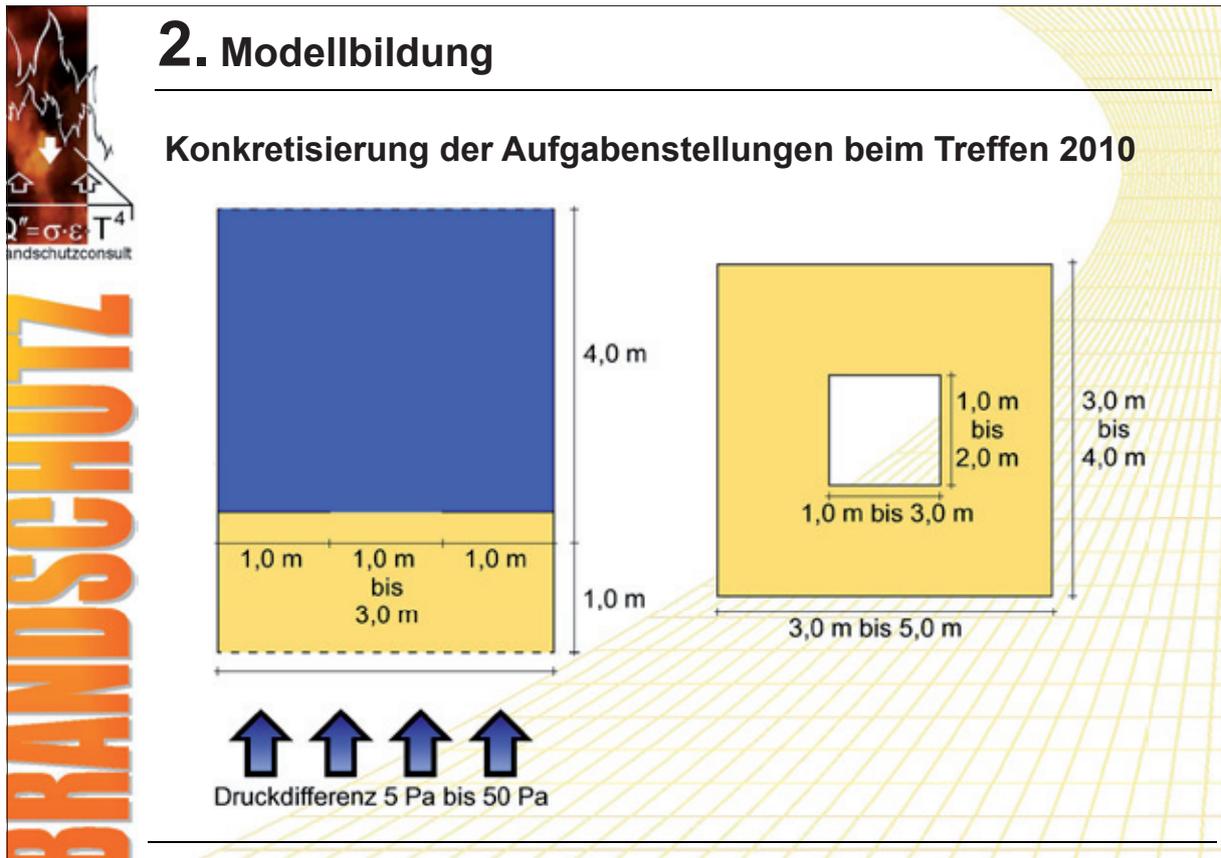
Konkretisierung der Aufgabenstellungen beim Treffen 2010

```

&MESH IJK=60,60,100,
XB=-1.5,1.5, -1.5,1.5, -1.0,4.0 /

/Schacht
&OBST XB=-1.5,-1.5, -1.5,1.5, -1.0,0.01, SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=1.5,1.5, -1.5,1.5, -1.0,0.01, SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=-1.5,1.5, -1.5,-1.5, -1.0,0.01, SURF_ID='INERT' /
&OBST XB=-1.5,1.5, 1.5,1.5, -1.0,0.01, SURF_ID='INERT', /

/NRA
&OBST XB=-1.5,1.5, -1.5,1.5, 0.0,0.01, SURF_ID='INERT' /
&HOLE XB=-0.5,0.5, -0.5,0.5, -0.1,0.1 /
          
```



2. Modellbildung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen beim Treffen 2010

Variation Öffnungsgröße:

1 m x 1 m 1 m x 2 m 1 m x 3 m 2 m x 2 m

BRANDSCHUTZ

$Q^r = \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4$
andschutzconsult

2. Modellbildung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen beim Treffen 2010

Variation Druckdifferenz:

5 Pa 10 Pa 20 Pa 50 Pa

/Ränder
&VENT MB='ZMIN', SURF_ID='OPEN', DYNAMIC_PRESSURE=05.0 /

BRANDSCHUTZ

$Q^r = \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4$
andschutzconsult

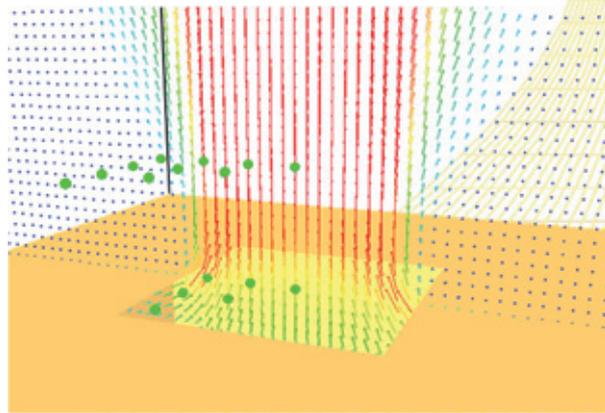


2. Modellbildung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen beim Treffen 2010

Auswertungen:

Volumenstrom durch
Öffnung



```

/Volumenströme
&DEVC ID='Vol_ges', XB=-0.5,0.5, -0.5,0.5, 0.0,0.0,
QUANTITY='VOLUME FLOW', IOR=3 /
&DEVC ID='Vol_mit', XB=-0.3,0.3, -0.3,0.3, 0.0,0.0,
QUANTITY='VOLUME FLOW', IOR=3 /
    
```

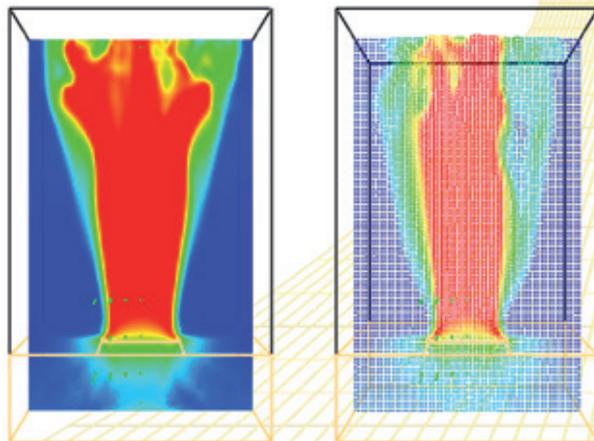


2. Modellbildung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen beim Treffen 2010

Auswertungen:

Slice 3D Geschwindigkeiten
mit und ohne Vektor



```

/Slice Files
&SLCF PBX=-0.5,QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBX=0.0,QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBX=-0.5,QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBX=0.0,QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /
    
```

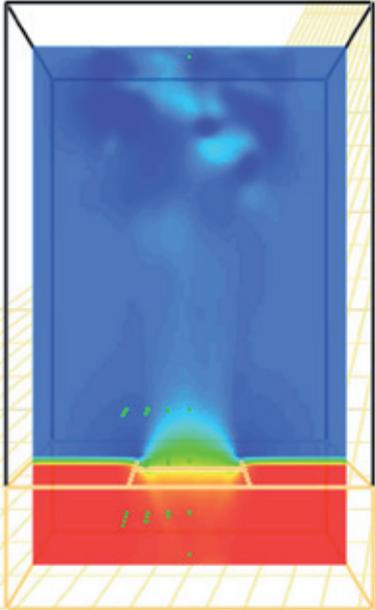
BRANDSCHUTZ

2. Modellbildung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen beim Treffen 2010

Auswertungen:
Druck als Slice-Files

```
/Slice Files
&SLCF PBX=0.0,QUANTITY='PRESSURE' /
&SLCF PBZ=-1.0,QUANTITY='PRESSURE' /
```



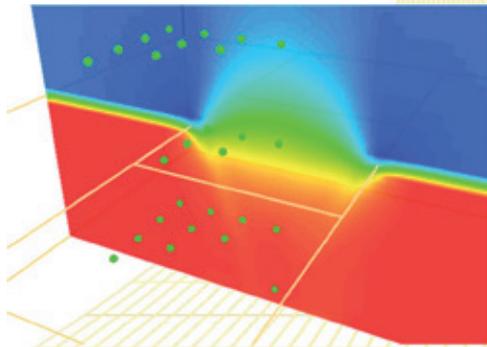
BRANDSCHUTZ

2. Modellbildung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen beim Treffen 2010

Auswertungen:
Druck und Geschwindigkeiten
(getrennt nach u, v und w-Anteil)
an insgesamt 20 Messpunkten
sowohl in Höhe der Öffnung als auch
darüber und darunter

```
/Devices
&DEVC ID='Velv-03m', XYZ=-0.4,0.0,0.0, QUANTITY='U-VELOCITY'
&DEVC ID='Velv-03m', XYZ=-0.4,0.0,0.0, QUANTITY='V-VELOCITY'
&DEVC ID='Velv-03m', XYZ=-0.4,0.0,0.0, QUANTITY='W-VELOCITY'
&DEVC ID='press-03m', XYZ=-0.4,-0.4,0.0, QUANTITY='PRESSURE'
```



3. Durchführung

Durchführung der Berechnungen

Insgesamt 112 Berechnungen mit den genannten Variationen

Nach Sondierberechnungen Beschränkung der Simulationszeit auf 20 Sekunden

Berechnungszeiten von wenigen Sekunden bei 50 cm Raster bis ca. 1 Stunde bei 5 cm Raster

Rechner (Notebook):

FDS Version 5.5.3

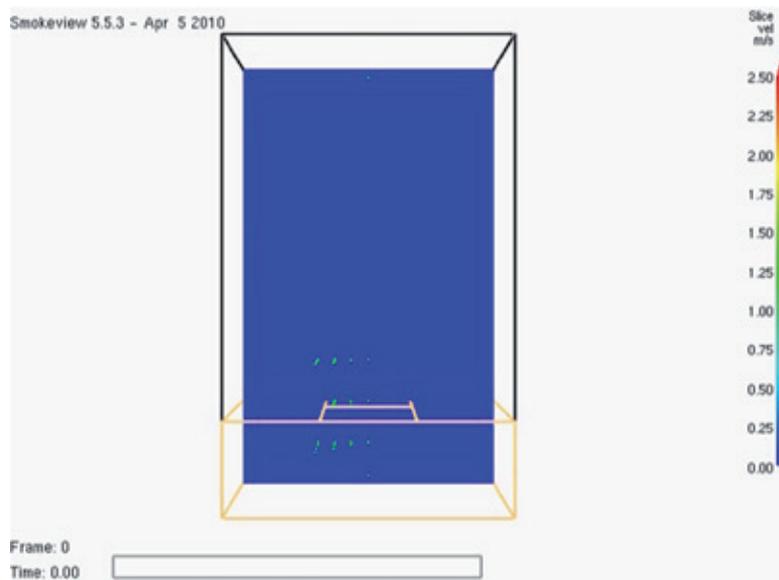
Windows Vista Ultimate 64 Bit

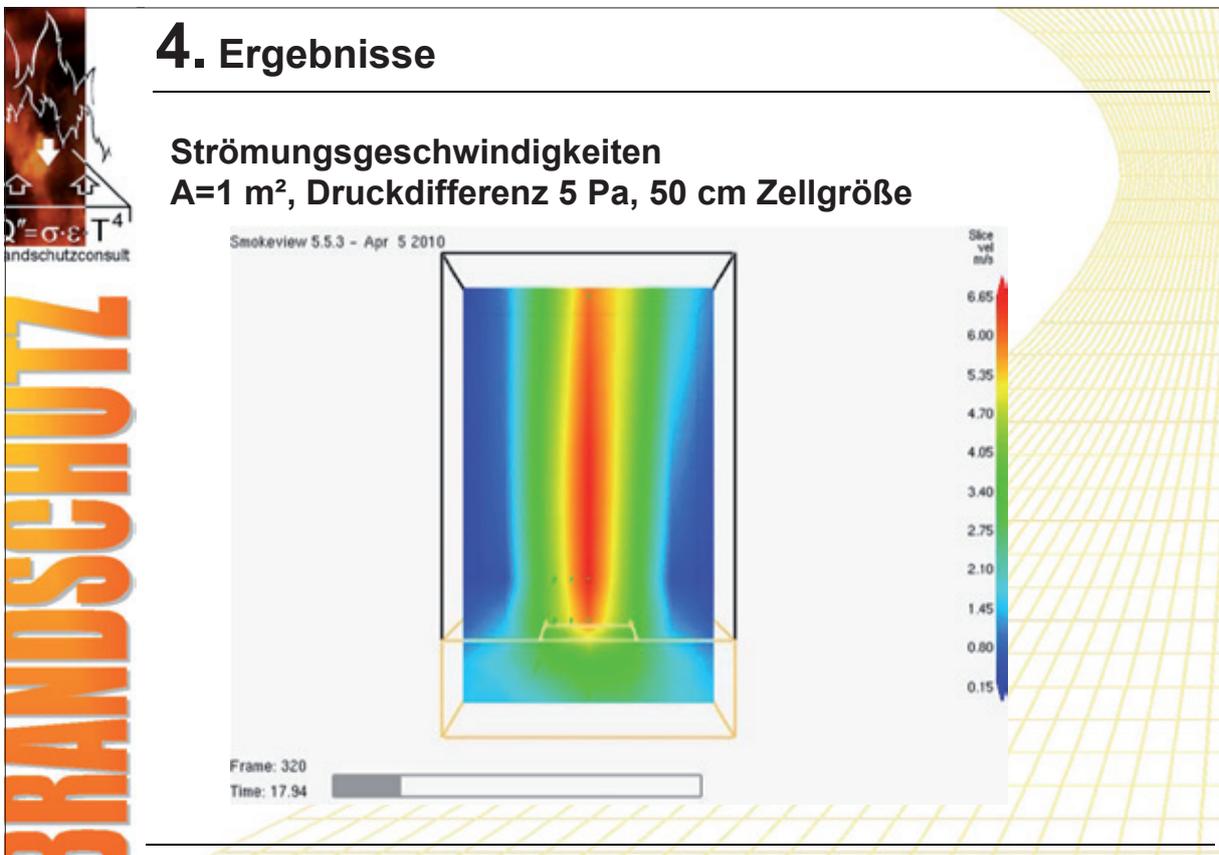
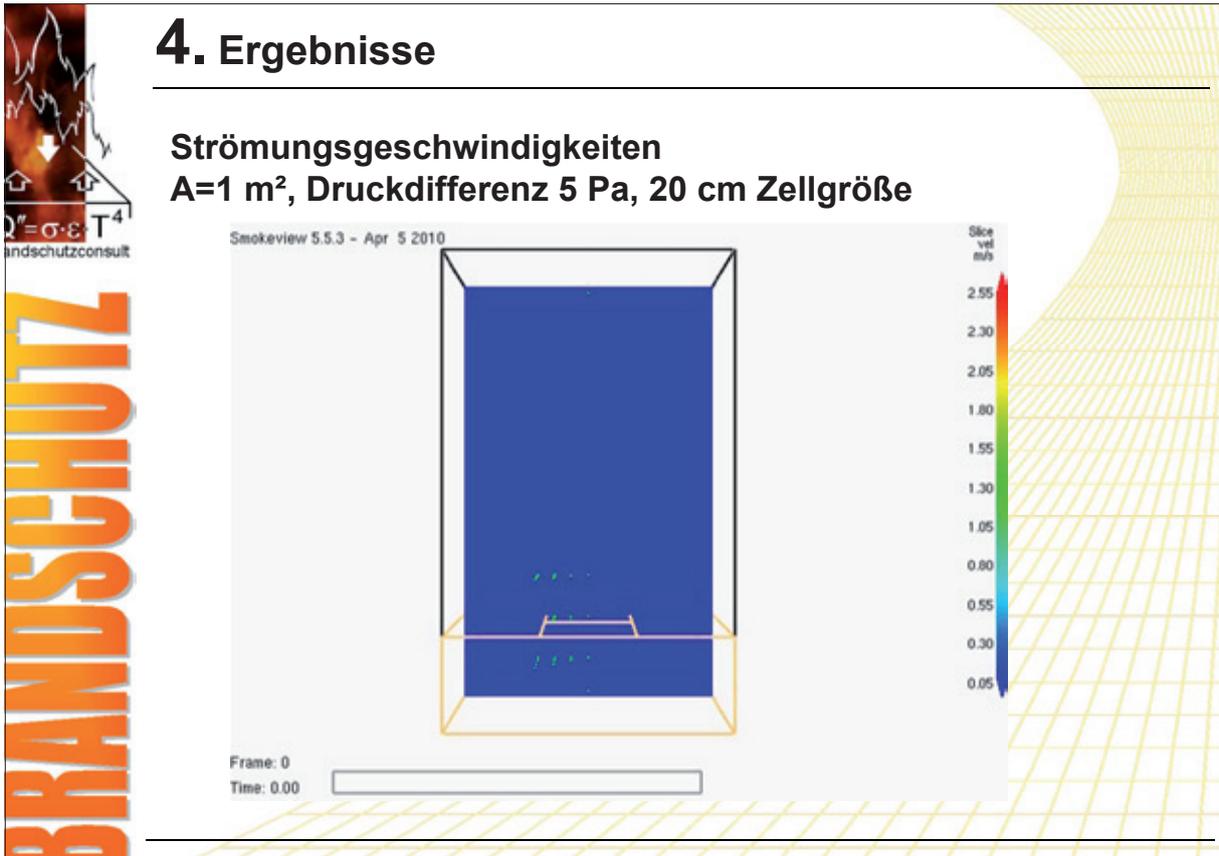
CPU: Core2Duo P9600 2x2,66 GHz mit 6 MB Cache und 1066 MHz FSB

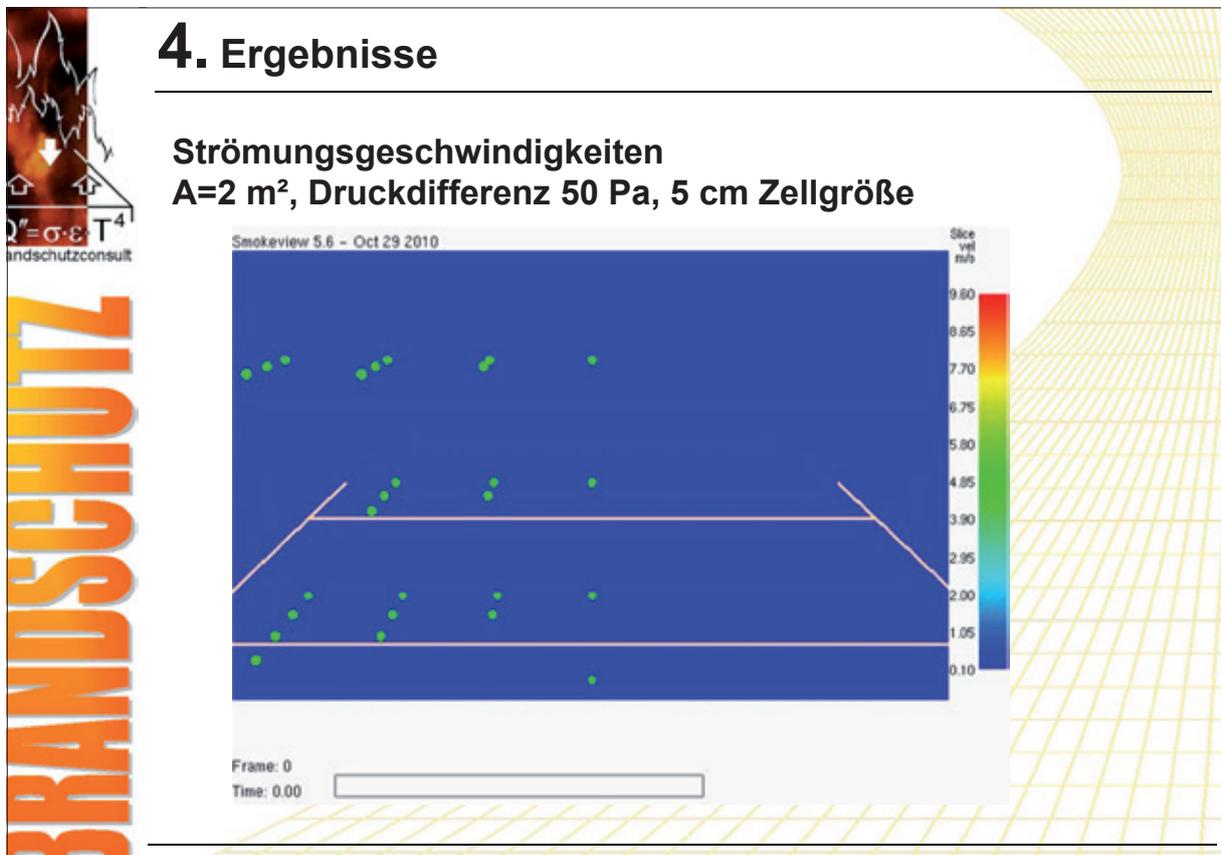
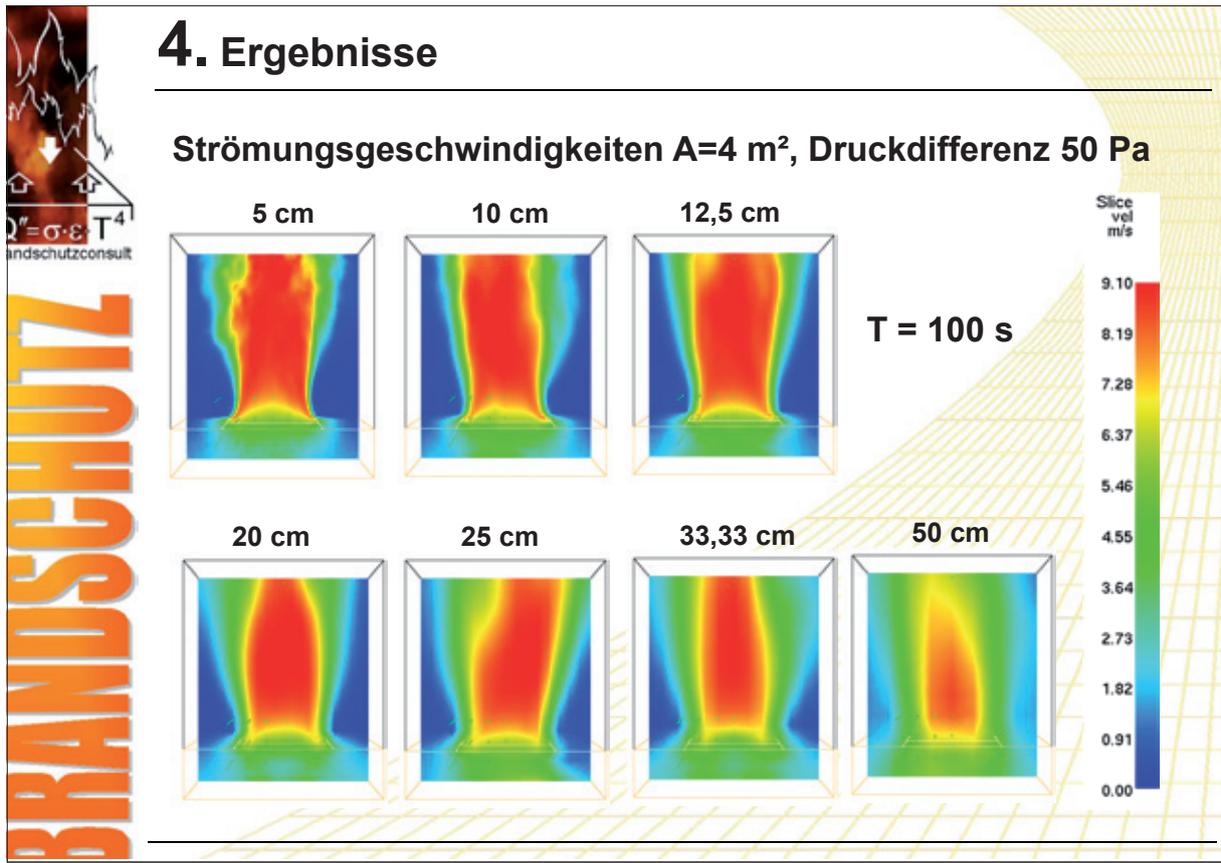
RAM: 4096 MB DDR3 1066 MHz RAM

4. Ergebnisse

Strömungsgeschwindigkeiten A=1 m², Druckdifferenz 5 Pa, 5 cm Zellgröße



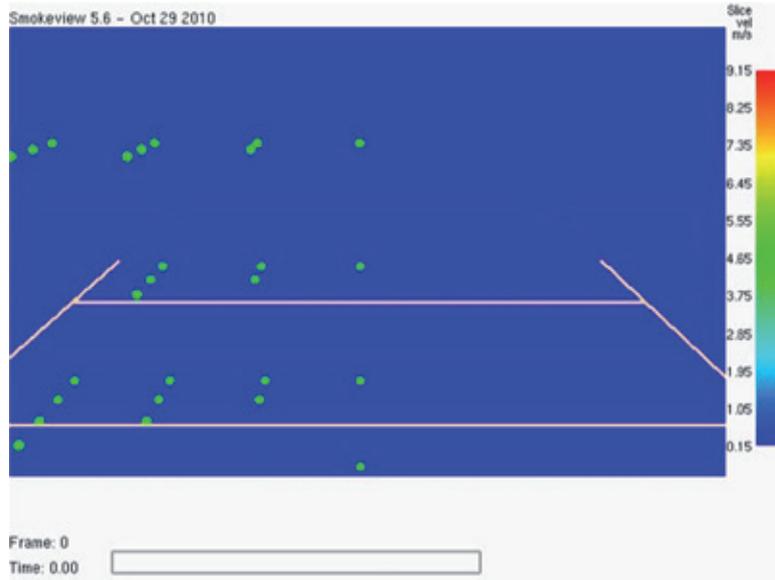






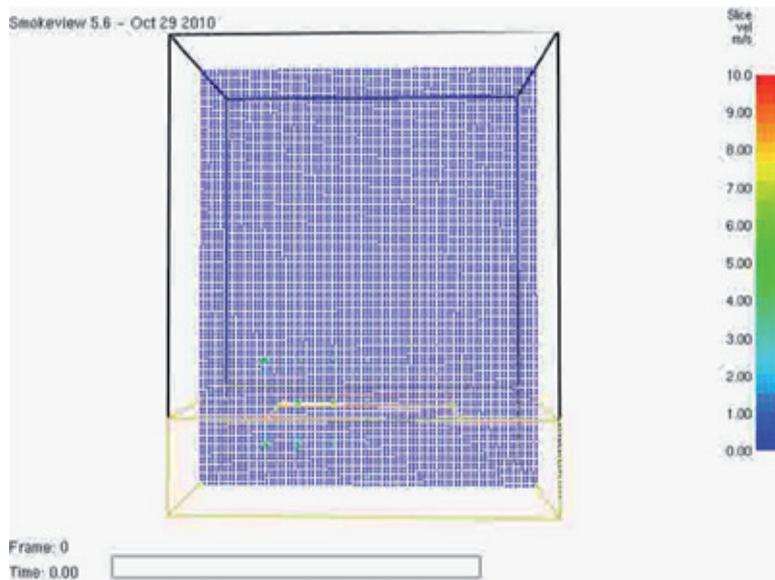
4. Ergebnisse

Strömungsgeschwindigkeiten
 A=2 m², Druckdifferenz 50 Pa, 20 cm Zellgröße



4. Ergebnisse

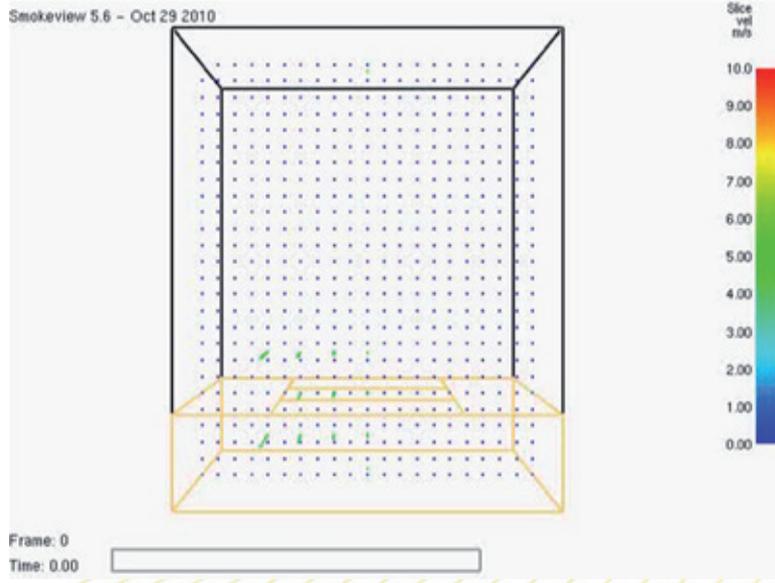
Strömungsgeschwindigkeiten
 A=2 m², Druckdifferenz 50 Pa, 5 cm Zellgröße, vektoriell





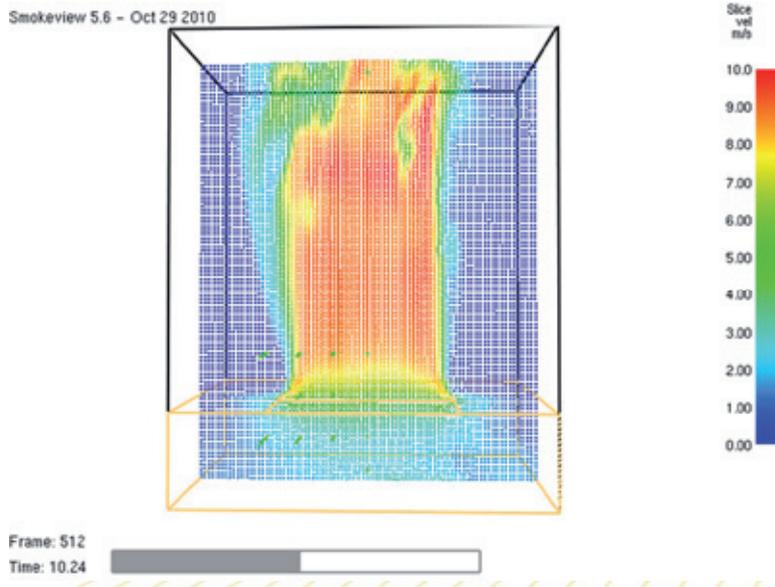
4. Ergebnisse

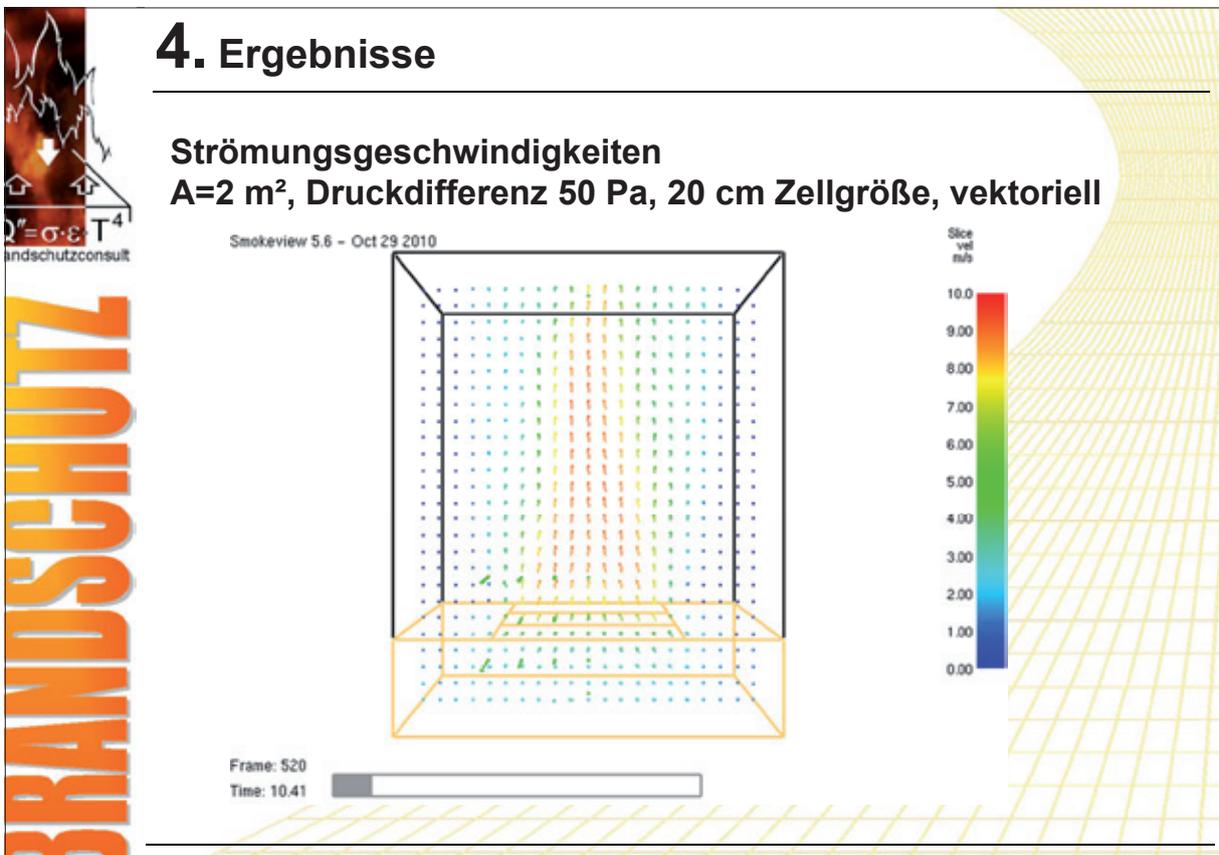
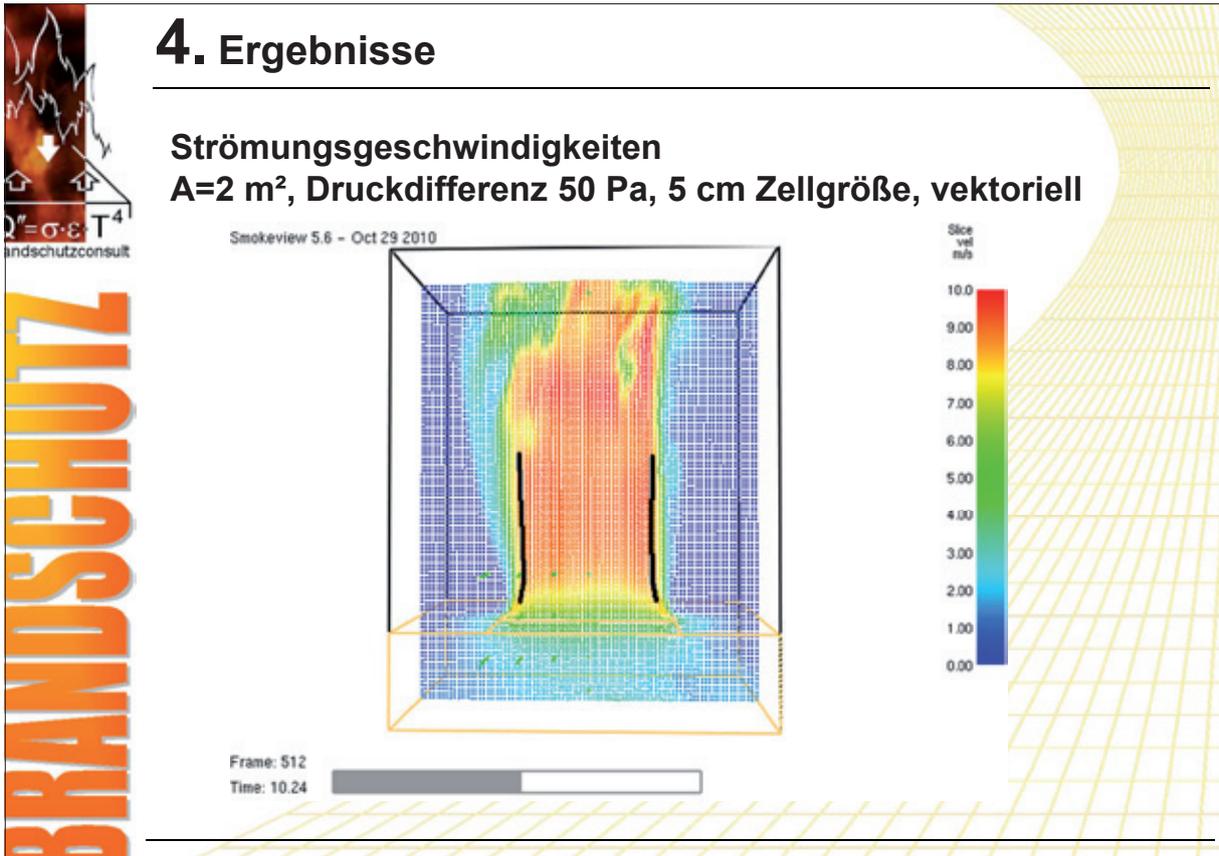
Strömungsgeschwindigkeiten
 A=2 m², Druckdifferenz 50 Pa, 20 cm Zellgröße, vektoriell

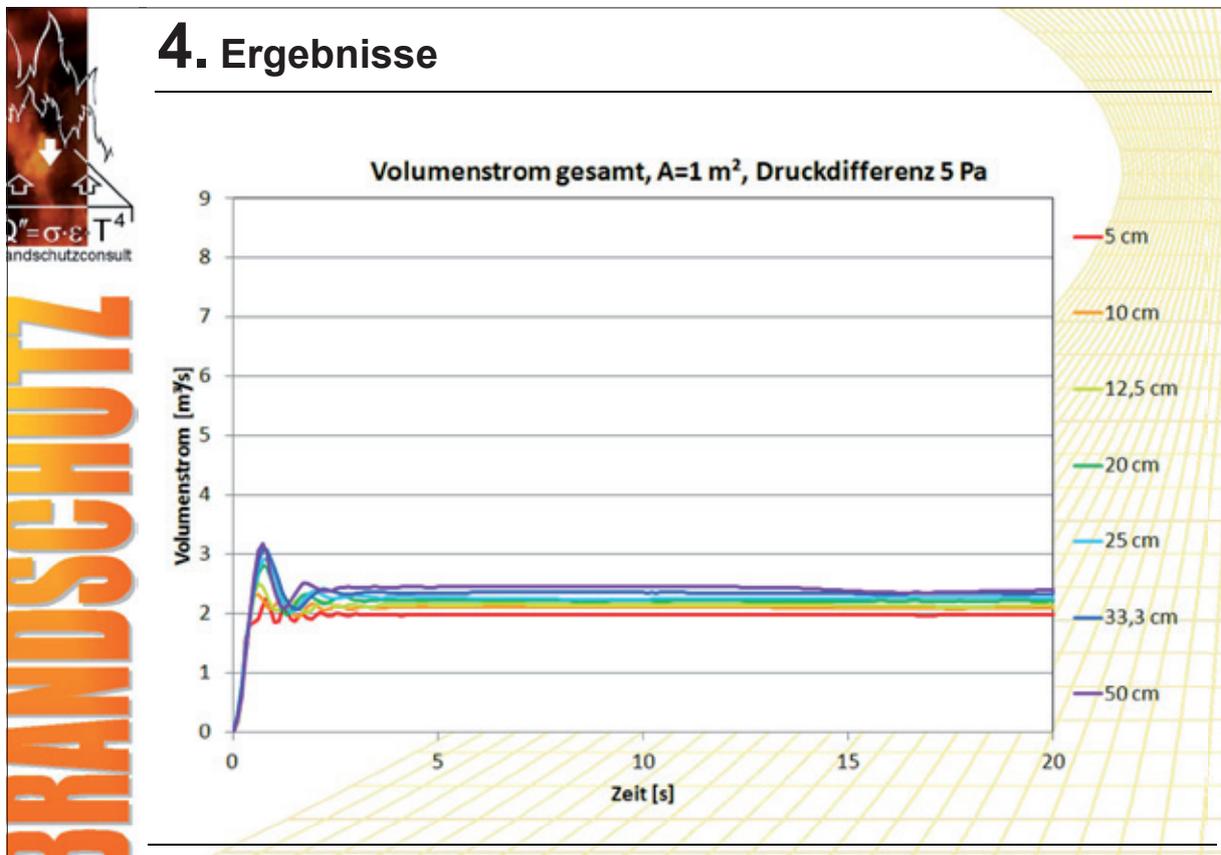
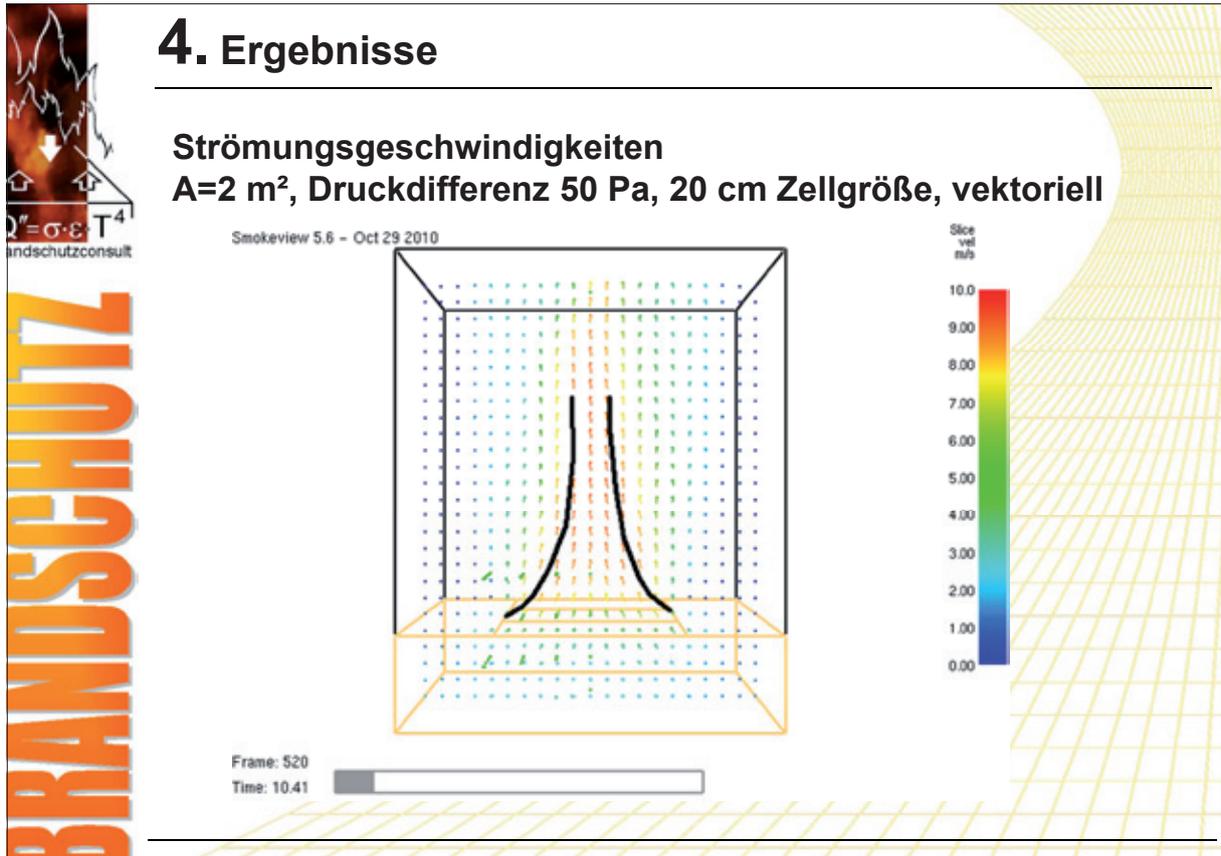


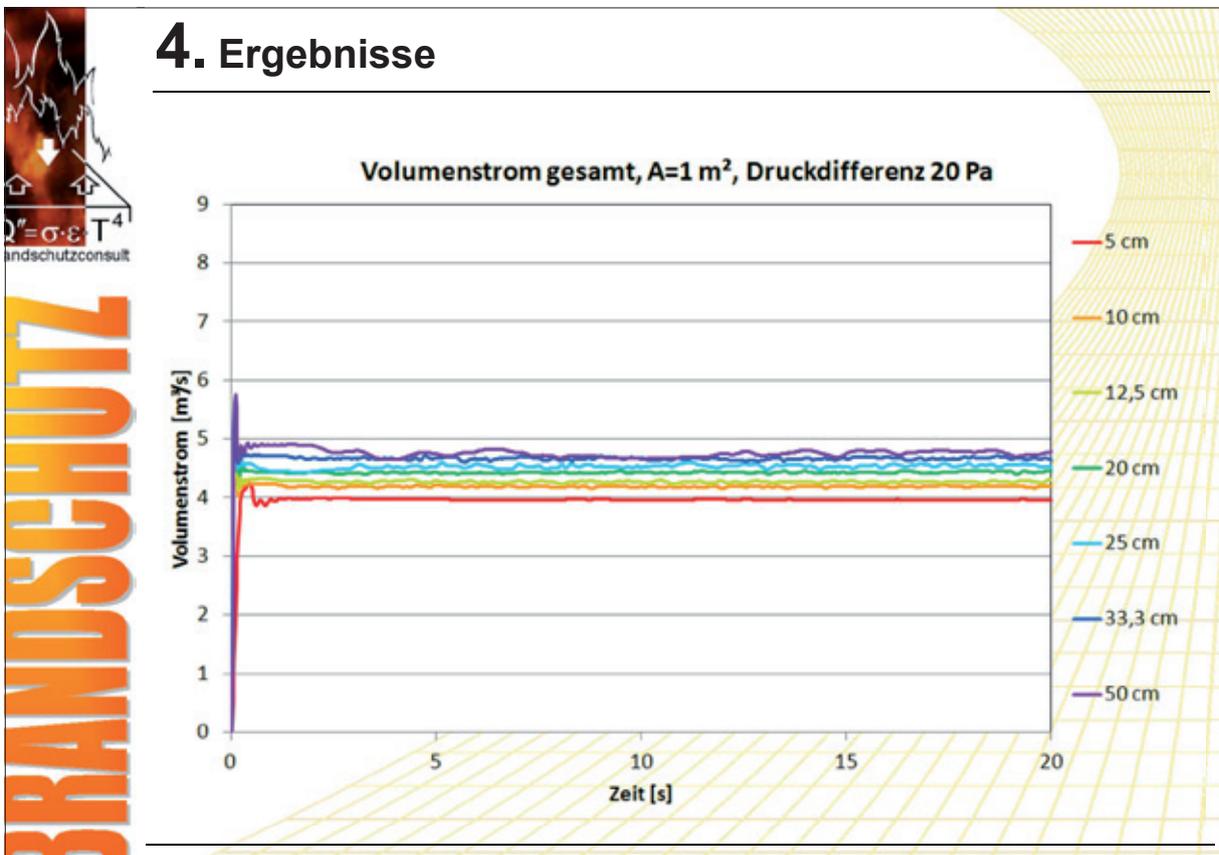
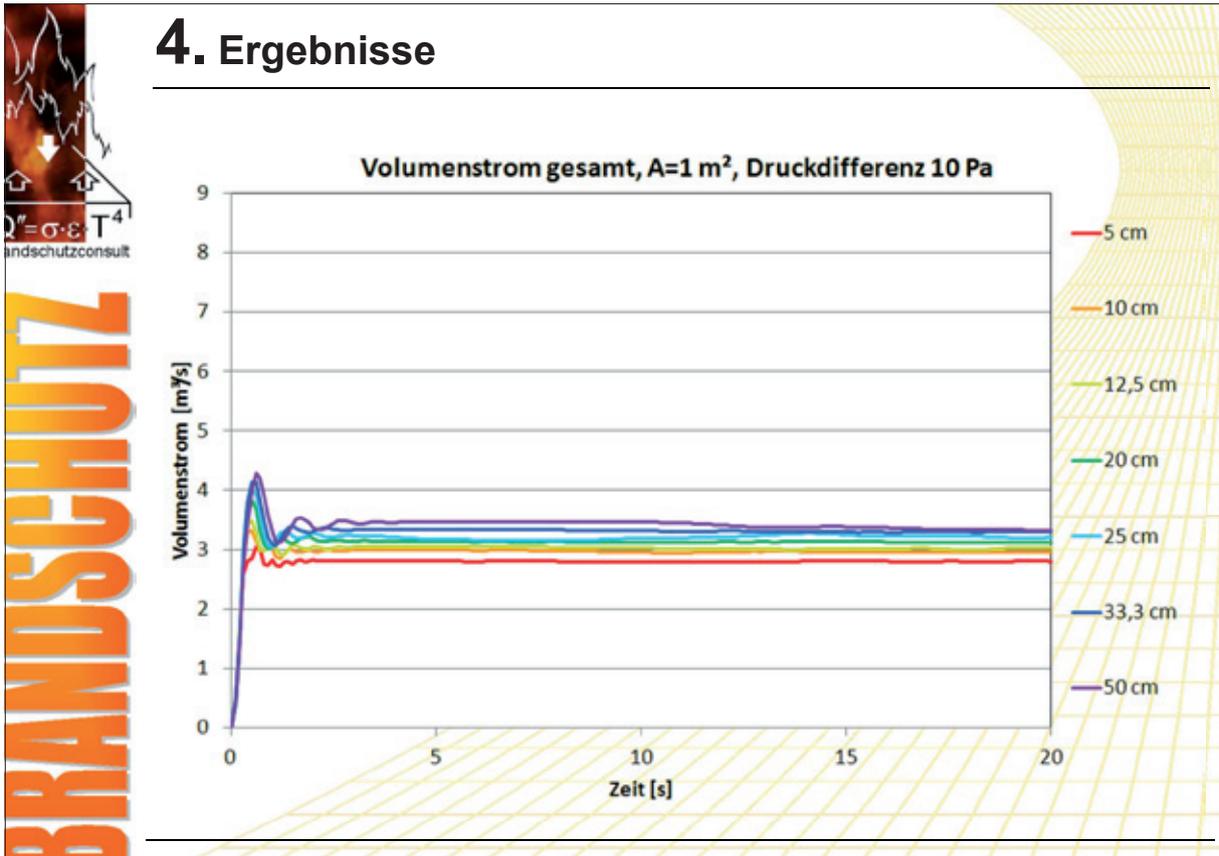
4. Ergebnisse

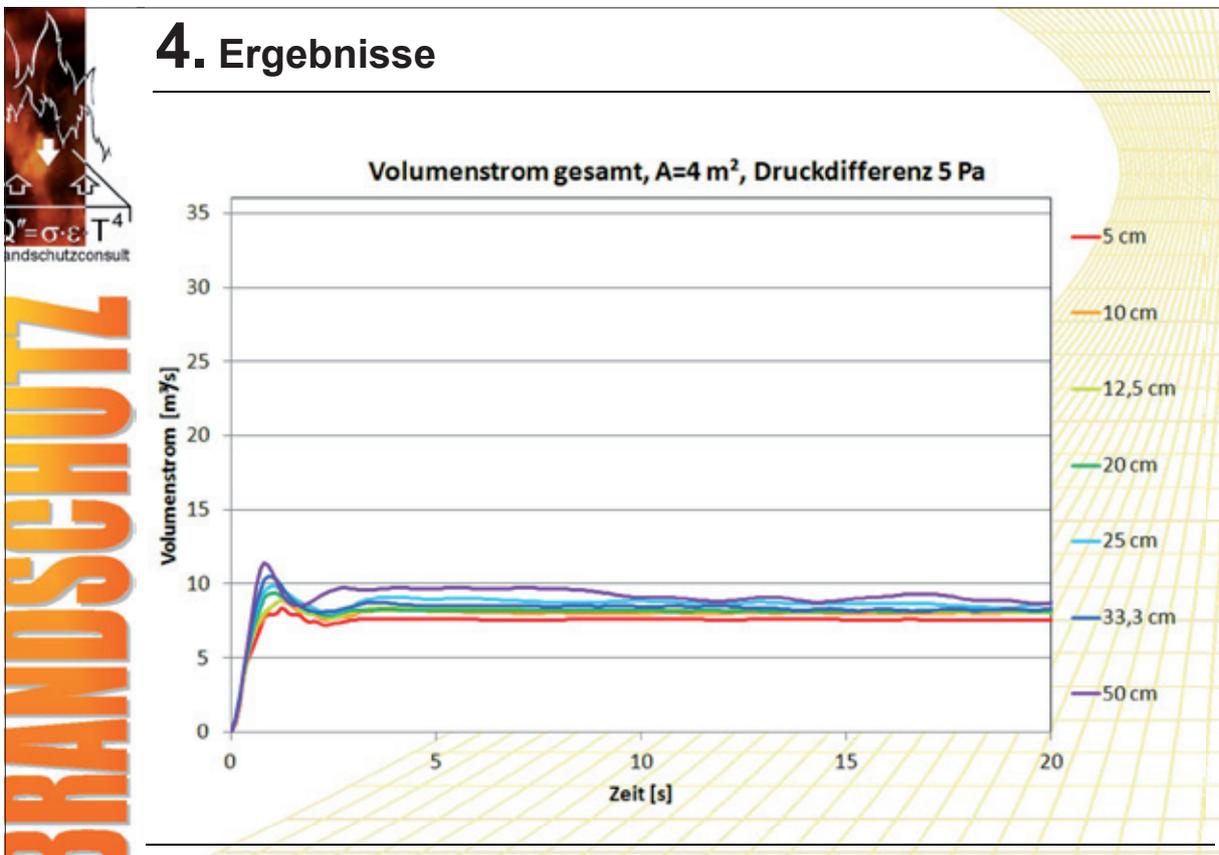
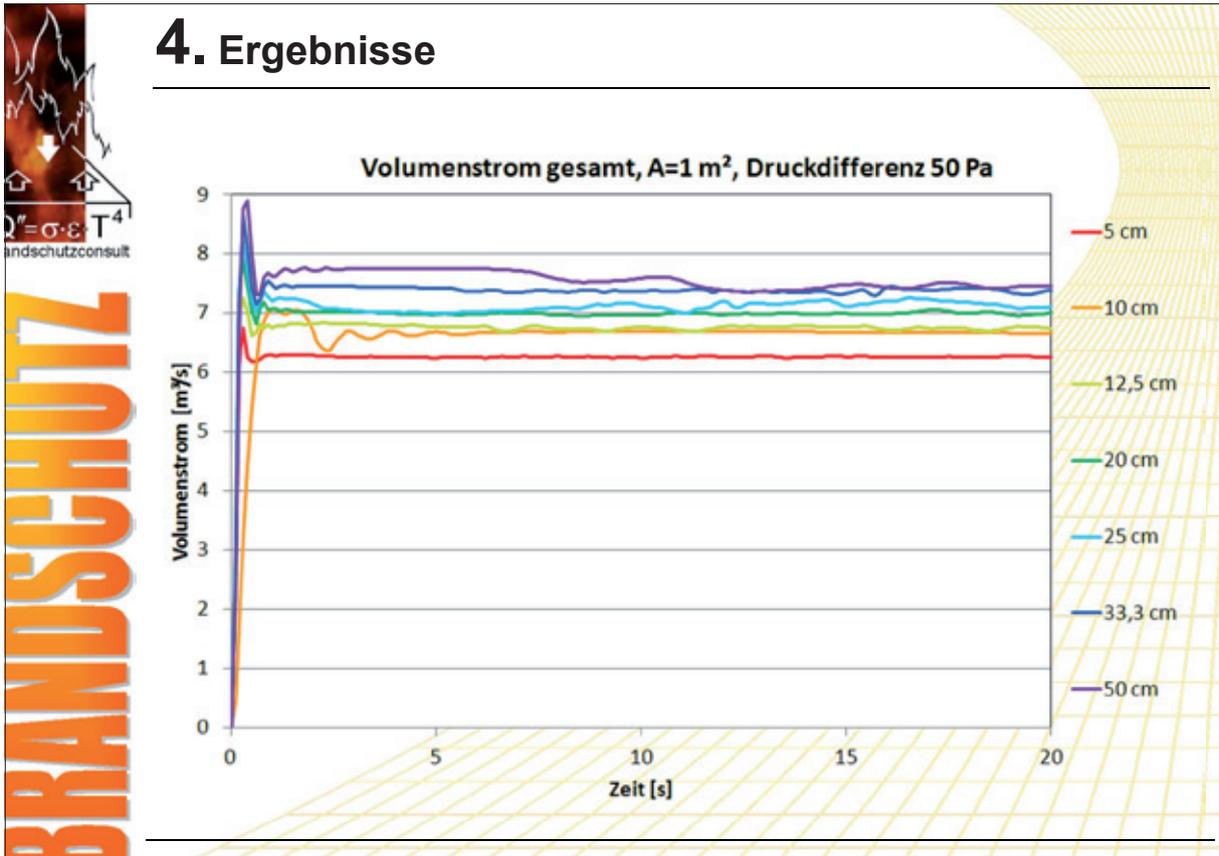
Strömungsgeschwindigkeiten
 A=2 m², Druckdifferenz 50 Pa, 5 cm Zellgröße, vektoriell

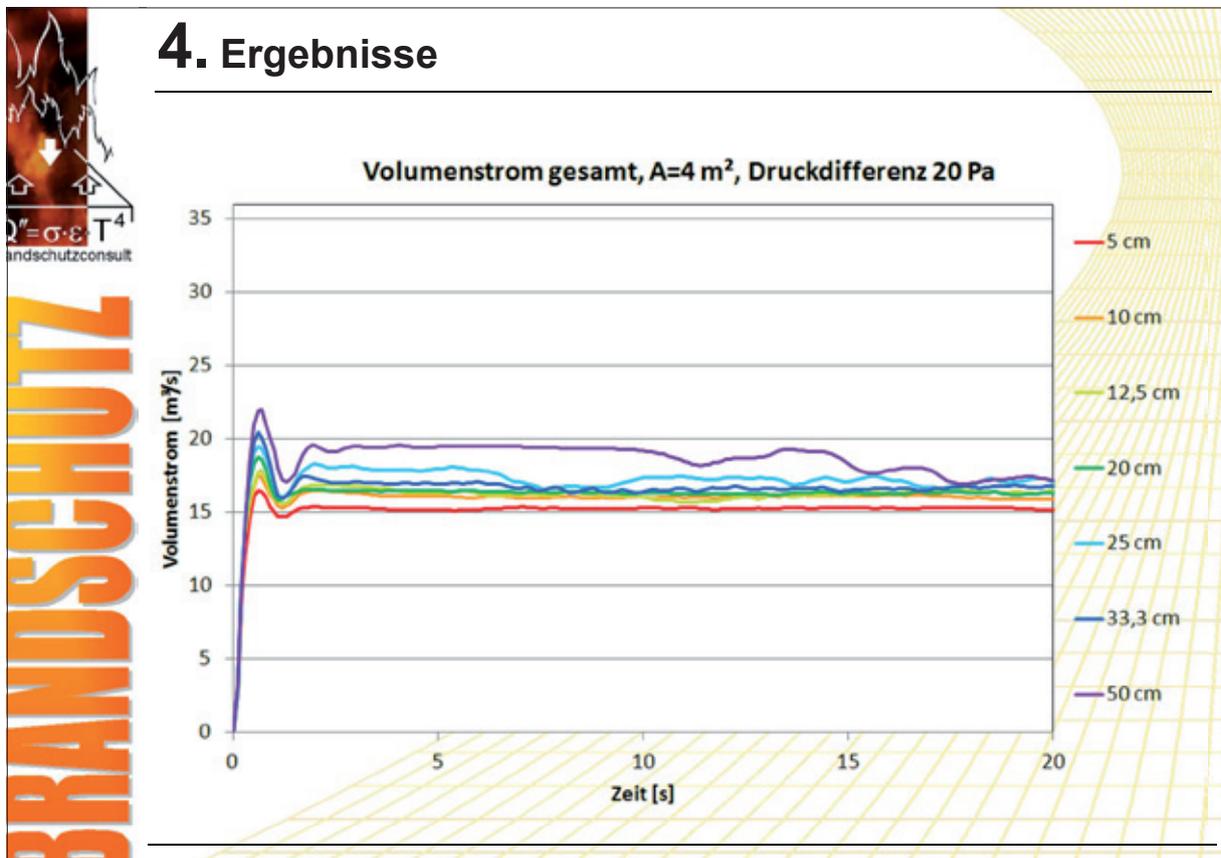
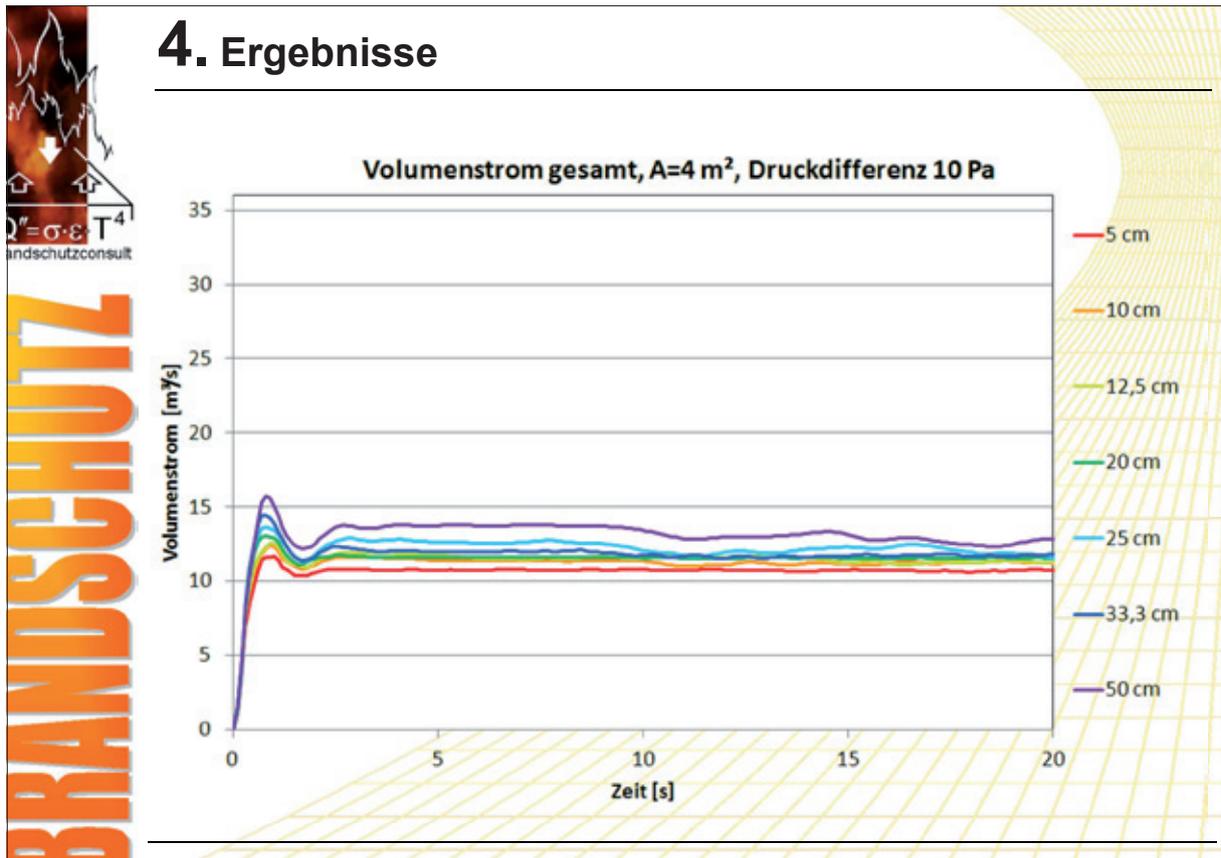


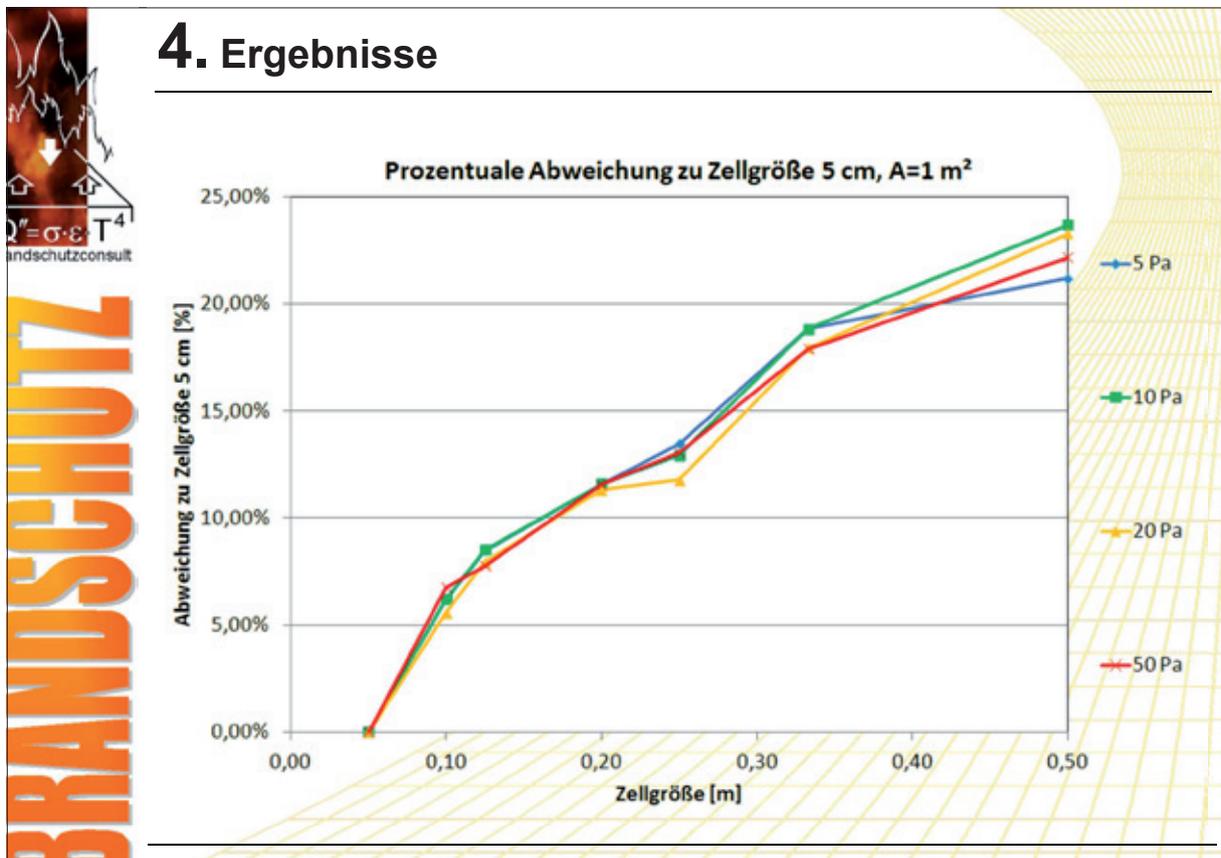
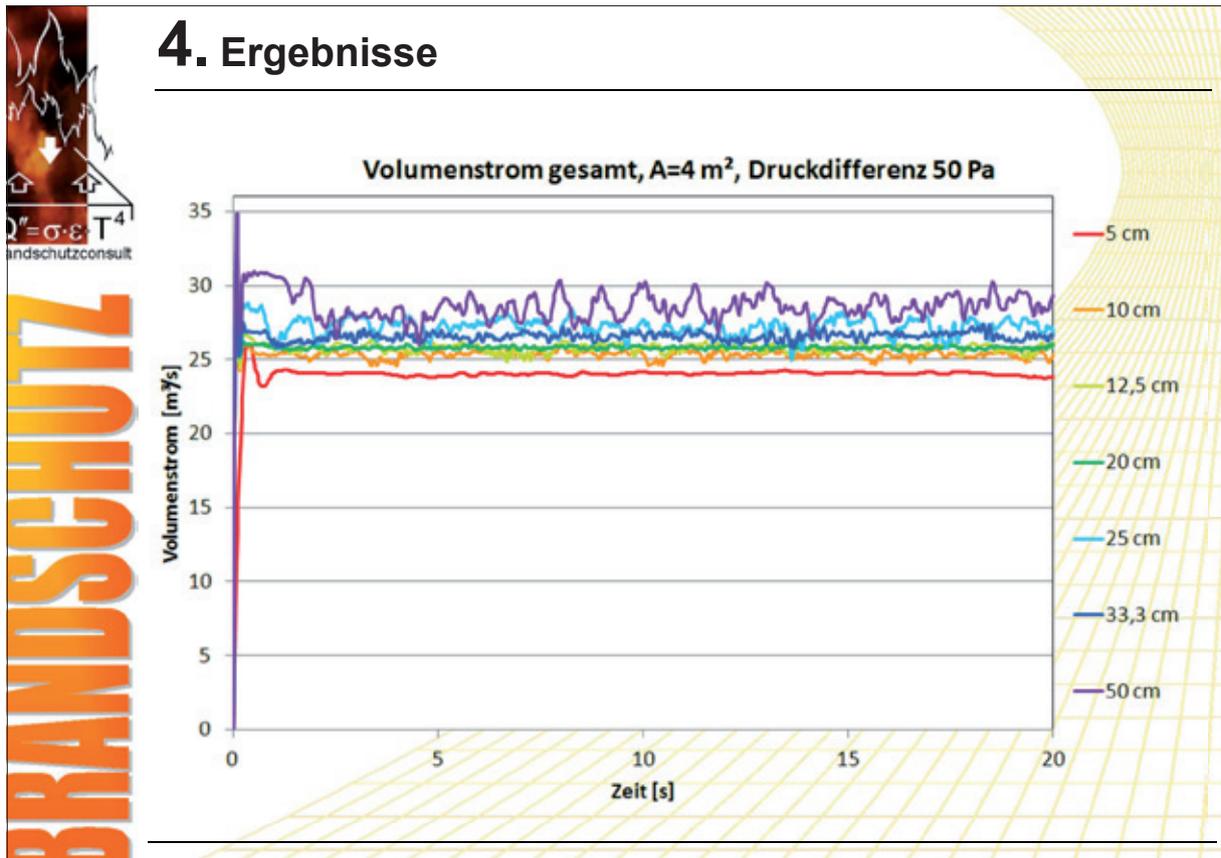


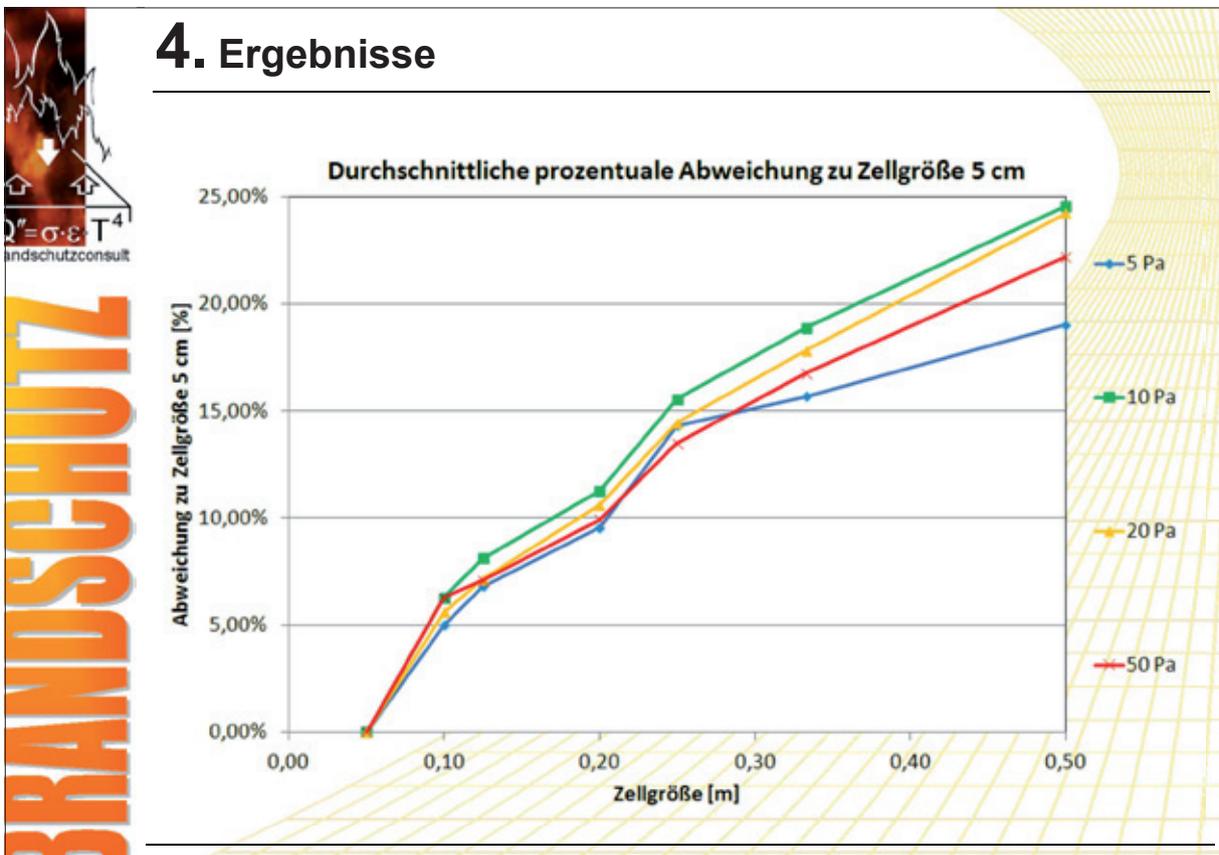
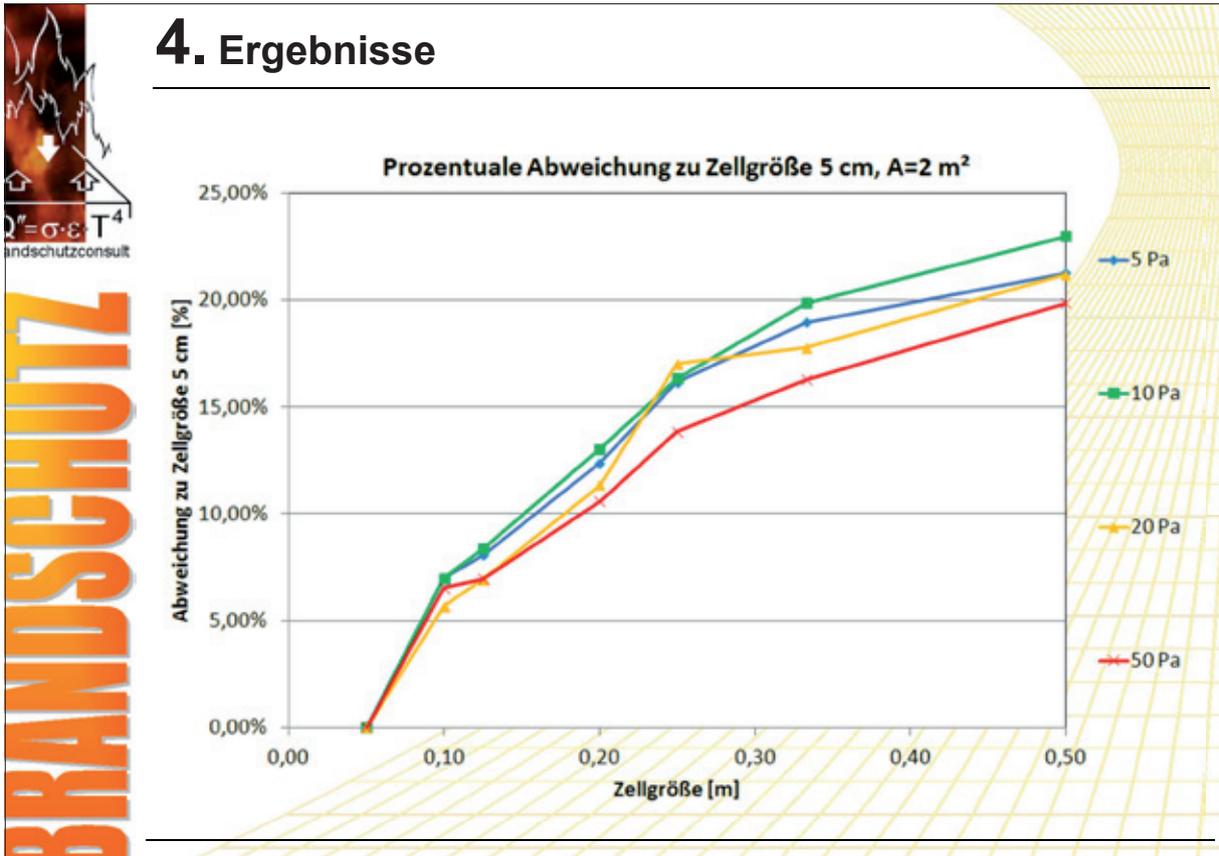


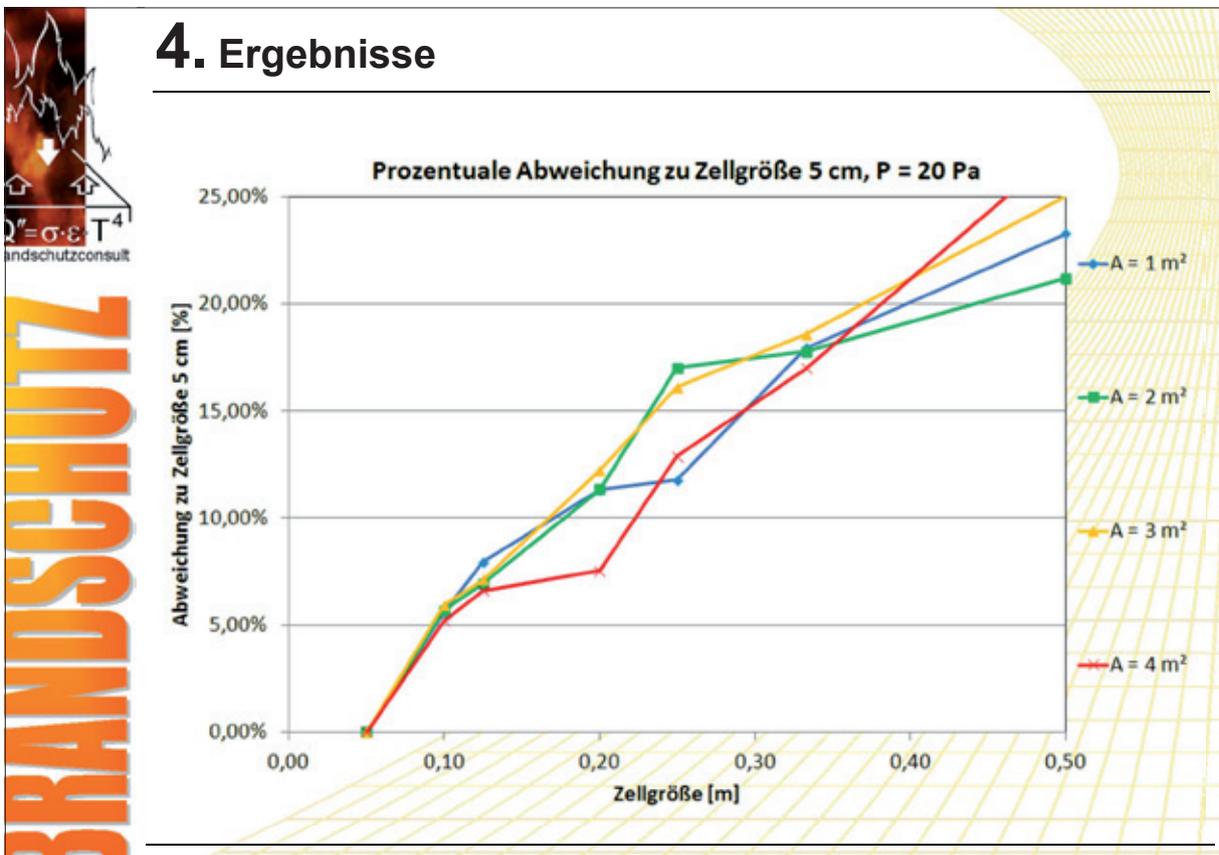
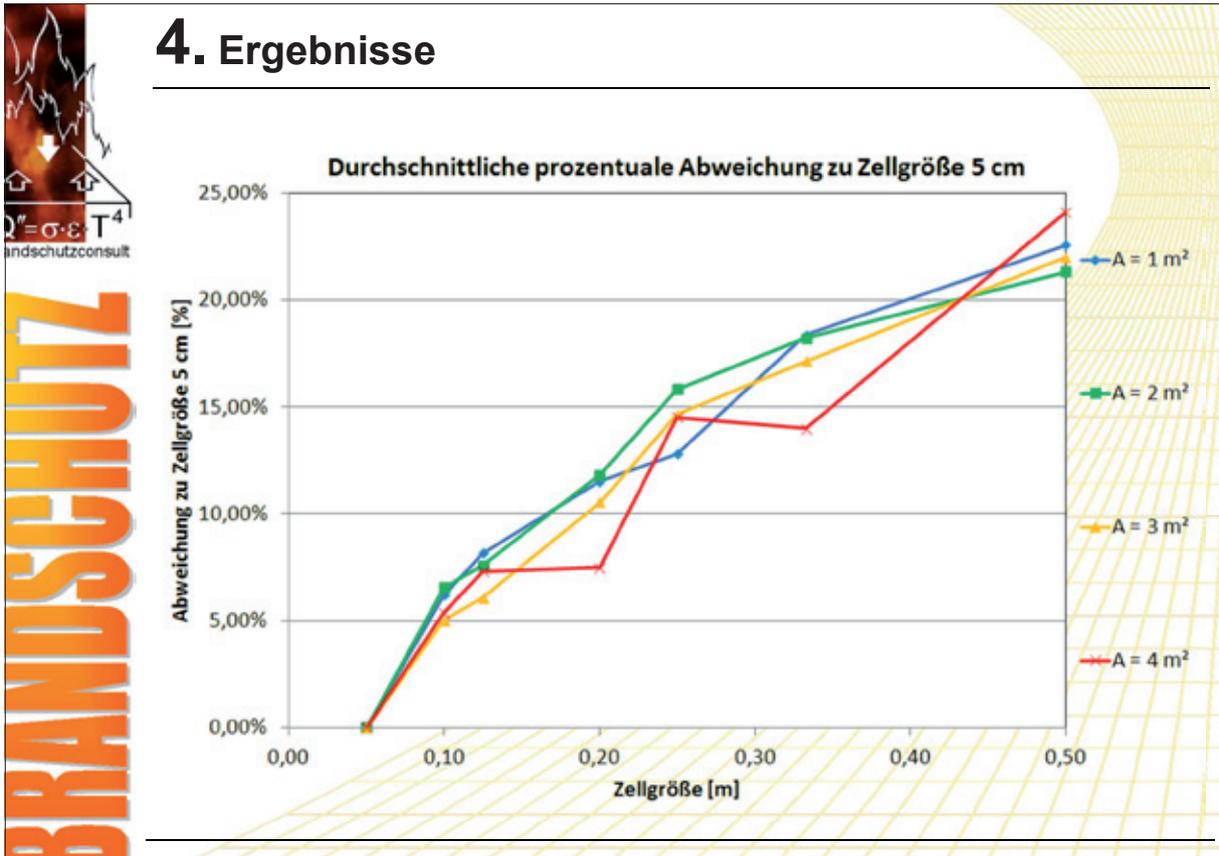




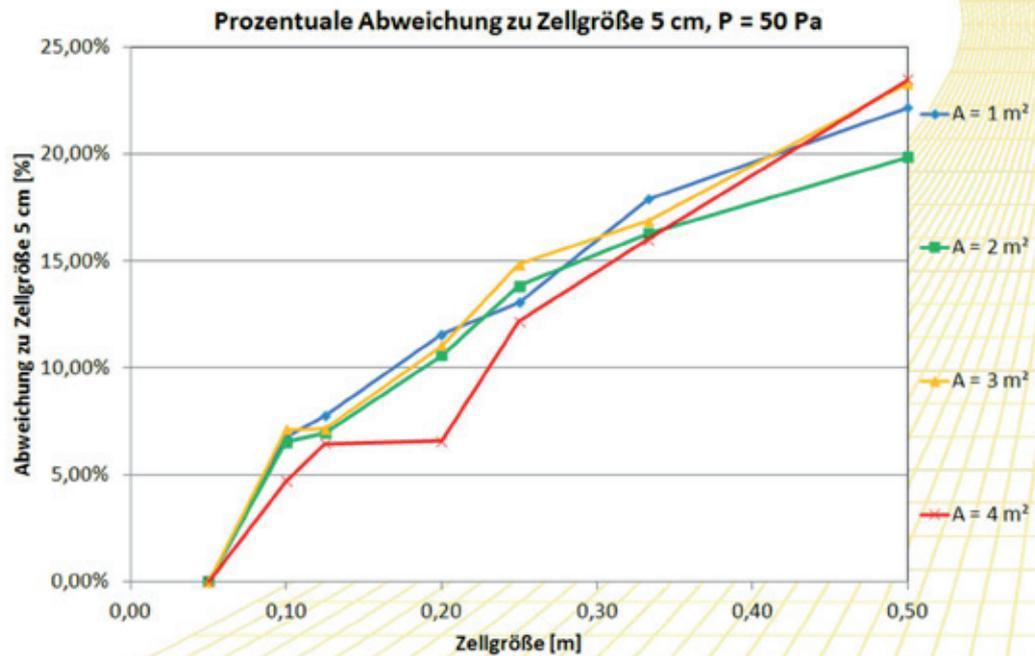








4. Ergebnisse



5. Zusammenfassung

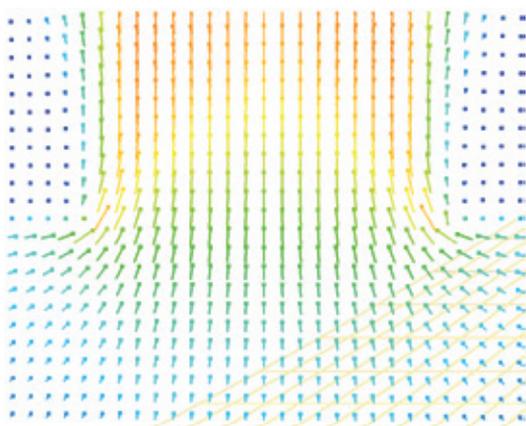
Je größer das Zellraster desto größer ist der Volumenstrom

Aber: Kaum Abhängigkeiten von der Größe der Öffnung und von der Höhe des Druckunterschieds



Dipl.-Ing. Thomas Kolb

Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt –
Ergebnisse einer Parameterstudie mit unterschiedlichen Druckdifferenzen



Brandschutzconsult
GmbH & Co. KG

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

BRANDSCHUTZ

Christian Kohler:

FDS-Simulationen richtig auswerten

Abstract:

Ziel: Die Darstellung von FDS-Resultaten im ingenieurmässigen Brandschutz ist zuweilen sehr unterschiedlich und variiert von Anwender zu Anwender stark. Dies hat zur Folge, dass neben unterschiedlichen Eingangsparametern auch völlig andere Auswertungen erstellt werden, was die Qualitätssicherung fast verunmöglicht.

Ziel ist dem Anwender Verbesserungen in Auswertungen aufzuzeigen und damit generell die Qualität von Auswertungen zu erhöhen.

Kurze Zusammenfassung: Aus der Vielfalt an Möglichkeiten, die das FDS-Auswertetool Smokeview bietet, ist für die Auswertung die richtige Darstellungsmöglichkeit zu wählen. Falls der Anwender Auswertungen erstellt, welche nicht genügend verständlich sind, kann aus der Simulation keine Aussagekraft und damit kein wirklicher Nutzen gezogen werden. Damit der Anwender Vorgaben hat, werden aus der Praxis Beispiele gezeigt, worauf es zu achten gilt, und wie eine Auswertung den höchsten Nutzen erzielt.

Fazit: Um die Qualität der FDS-Auswertungen zu verbessern, müssen folgende drei Punkte erhöht werden: Verständlichkeit, Aussagekraft und Einheitlichkeit von Auswertungen. Durch die dadurch entstehende Vergleichbarkeit von FDS-Simulationen kann der Nutzen des Programms FDS vergrössert und dadurch auch eine erhöhte Akzeptanz geschaffen werden.



Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Sicherheitsinstitut | Institut de Sécurité | Istituto di Sicurezza

5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup
10.11.-11.11.2011, Berlin

Präsentation:
FDS-Simulationen richtig auswerten



Sicherheitsinstitut Zürich
Christian Kohler
Dipl. Natw. ETH
Brandschutzfachmann CFP
christian.kohler@swissi.ch
++41 44 217 43 62

1



Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Inhaltsverzeichnis

- Zustand heute
- Ziele
- Ausgangslage
- Auswertung erstellen
- Bericht erstellen
- Fazit



2

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Zustand heute

- Darstellung von FDS-Resultaten im ingenieurmässigen Brandschutz sehr unterschiedlich je nach Anwender:
 - Unterschiedliche Eingangsparameter
 - Unterschiedliche Auswertungen
 - Qualitätssicherung fast nicht möglich
 - **Qualität von Auswertungen muss erhöht werden**



3

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Ziele

- Ziele einer guten Auswertung:
 - **Verständlichkeit**
 - **Aussagekraft**
 - **Einheitlichkeit**



4

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Ausgangslage

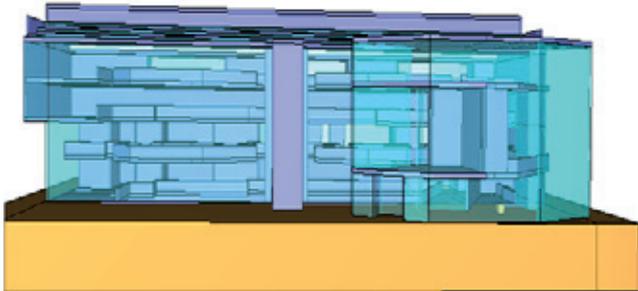
- Ingenieurverfahren Brandschutz
 - Rauchsichthöhe (Sichtweite)
 - Temperatur
 - CO₂, (CO), O₂
 - Incident Heat-Flux
 - Wall Temperature
 - Velocity

5

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

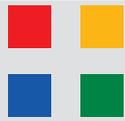
Ausgangslage

- Smokeview bietet eine Vielfalt an Auswertungen von FDS Berechnungen:
 - Smoke3D
 - Isosurfaces
 - Plot3D
 - Device
 - Boundary
 - Slice-File



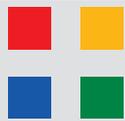
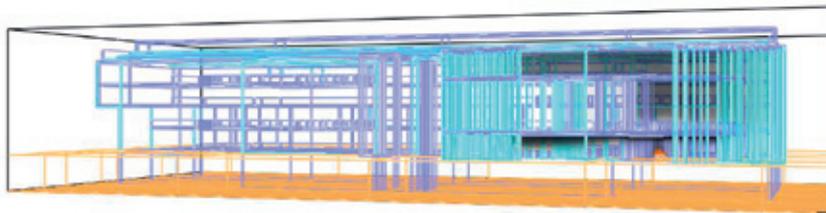
FDS 5.5.3, 5.4 Mill. Zellen, MPI,
Komplexer Atriumbau

6



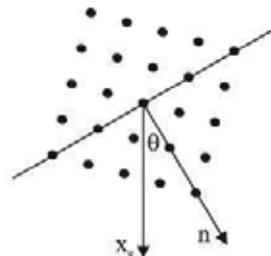
Ausgangslage

- Smoke3D
 - Verständlichkeit schwierig (Raumgeometrie)
 - Aussagekraft schwierig (wo ist die Grenze der Rauchsicht?)
 - Einheitlichkeit der Auswertung nicht möglich



Ausgangslage

- Smoke3D





Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Ausgangslage

- Isosurfaces
 - Fläche mit gleichem Wert
 - Nicht oft verwendet für Nachweisverfahren
- Device
 - Punktauswertungen im Raum
 - Nicht oft verwendet für Nachweisverfahren

9



Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Ausgangslage

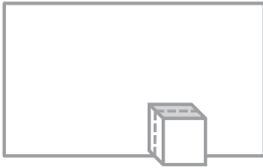
- Boundary
 - Auswertungen an Oberflächen
 - Nicht geeignet für Nachweisverfahren Entrauchung, aber geeignet für Bereich Bauwerksschutz
- Plot3D
 - Gleich wie Slice-File, aber im Raum verschiebbar und nur für einen zeitlichen Punkt (z.B. alle 300 Sekunden)
 - Gegenüber Slice-File keinen Mehrwert

10

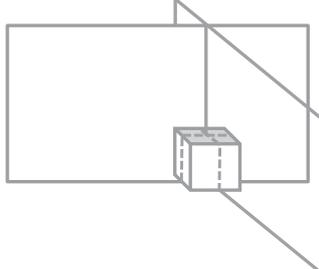
Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Ausgangslage

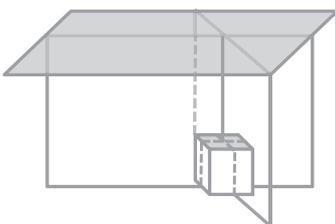
- Slice-Files



X-Ebene



Y-Ebene



Z-Ebene

→ 3 Ebenen einzeln darstellen → höchste Verständlichkeit

11

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Ausgangslage

- Slice-File
 - **Verständlichkeit** sehr gut (obwohl nur 2D):
3 Slice Files (X-,Y-,Z-Ebene) decken die ganze Raumgeometrie ab
 - **Aussagekraft** sehr gut:
Möglichkeiten zur Darstellung von Abstufungen im Bereich Rauchschichthöhe und Temperatur
 - **Einheitlichkeit** sehr gut:
Anwender-Reproduzierbarkeit gegeben

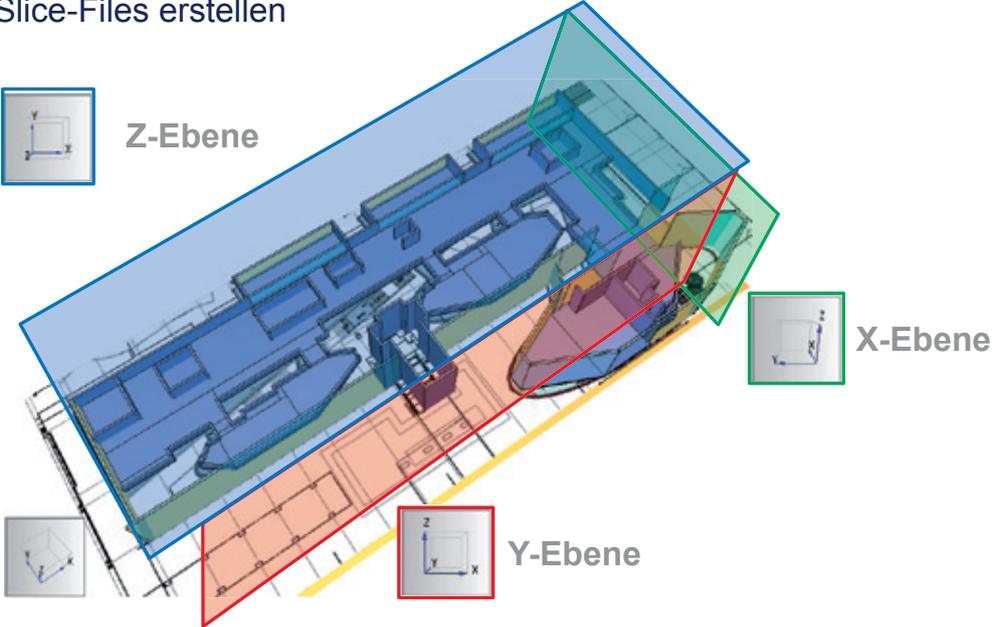
12



Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Auswertung erstellen

- Slice-Files erstellen



13



Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Auswertung erstellen

- Slice-Parameterwahl Nachweisverfahren Entrauchung:
 - Temperatur
 - Rauchschichthöhe
 - Rauchdichte (Rho Soot) [*Extra Species: Soot*] Density
 - Sichtweite [*Extra Species: Soot*] Visibility
 - Extinction Coefficient (Mixture Fraction)
 - Optical Density (OD) (Mixture Fraction)

14



Auswertung erstellen

- Rauchdichte, Extinctions-Koeffizient, OD oder Sichtweite?
 - Rauchdichte = primär berechnete Kenngrösse (andere Werte werden daraus abgeleitet)
 - Verständlichkeit Rauchdichte bedeutend grösser als bei Extinctions-Koeffizient oder OD
 - Sichtweite zusätzlich abhängig von Koeffizienten C und K_m
- **Rauchdichte bevorzugte Auswerte-Kenngrösse**

15



Auswertung erstellen

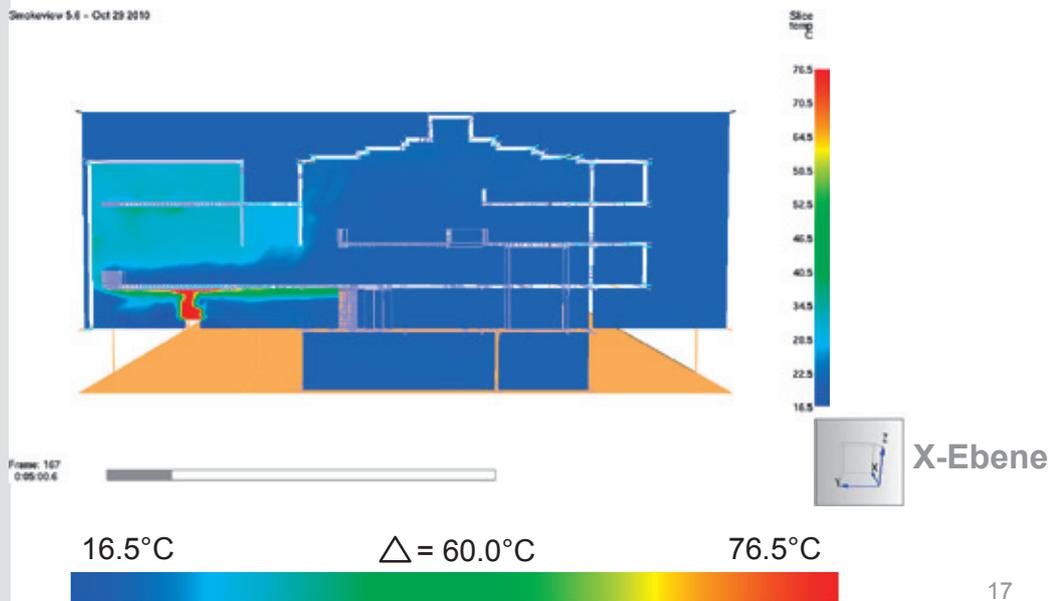
- Werte-Skala (Colorbar) richtig einteilen



16

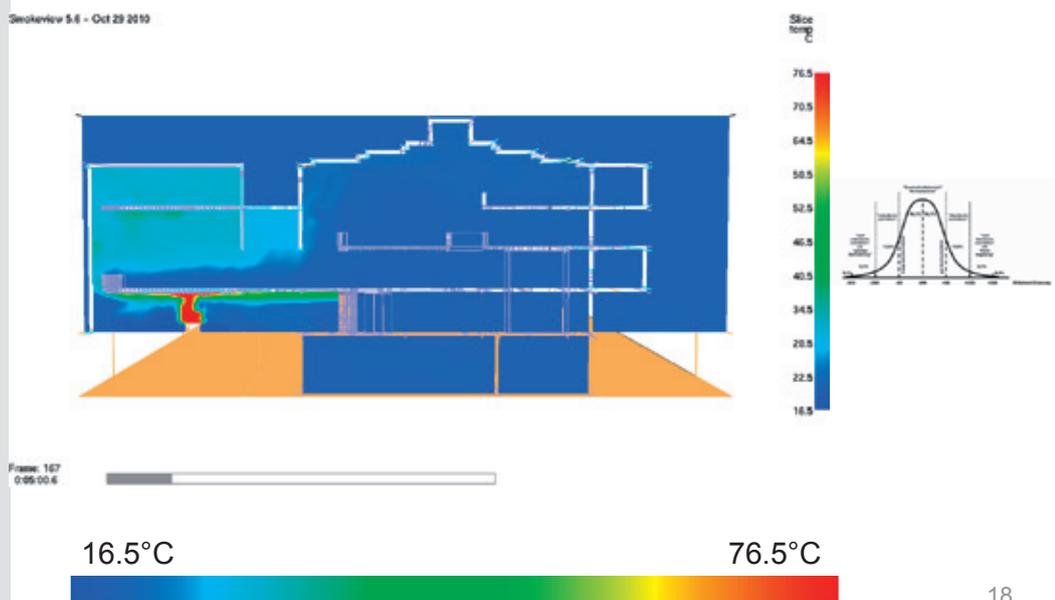
Auswertung erstellen

- Standard-Auswertung für Slice-Files (Temperatur):



Auswertung erstellen

- 95%-Perzentil



Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Auswertung erstellen

- Extreme Values

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Frame: 167
0:05:00.6

16.5°C
76.5°C

19

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Auswertung erstellen

- Werte-Skala normiert

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Frame: 167
0:05:00.6

25°C
50°C
60°C
75°C

Grenzwert

20

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Auswertung erstellen

- Werte-Skala normiert und markiert (=Werte erhöht)

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Frame: 167
0:05:00.6

Fühlbarkeit

25°C 30°C

50°C

60°C

75°C

Slice temp
75.0
70.0
65.0
60.0
55.0
50.0
45.0
40.0
35.0
30.1
25.0

21

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Auswertung erstellen

- Stepped Contour für Slice (in Entwicklung)

Smokeview Test (3400) - Nov 8 2011 - 15:17:32

Frame: 167
0:05:00.6

25°C 30°C

50°C

60°C

75°C

Slice temp
75.0
70.0
65.0
60.0
55.0
50.0
45.0
40.0
35.0
30.1
25.0

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Auswertung erstellen

- Werte-Skala für Temperatur

Grenze ab welcher die Temperatur spürbar wird während Flucht

30°C

Grenze zwischen kritisch und unkritischen Werten (Schutzziel)

60°C

Wert ist für Personen gefährlich

75°C

Werte sind erhöht, aber unbedenklich (grün)

50°C

25°C 30°C 50°C 60°C 75°C

23

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Auswertung erstellen

- Rauchdichte – Sichtweite – Ext.Koeffizient

Rauchdichte	20.0	40.0	60.0		mg/m³
Sichtweite	17.2	8.6	5.7	m	C=3
	46.0	23.0	15.0		C=8
Ext.-Koeffizient	0.17	0.35	0.52		1/m

24

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Auswertung erstellen

- Werte-Skala für Rauchdichte

Grenze ab welcher der Rauch spürbar wird während Flucht

0.40 mg/m³

Werte sind erhöht, aber unbedenklich (grün)

20 mg/m³

Grenze zwischen kritisch und unkritischen Werten (Schutzziel)

40 mg/m³

Wert ist für Personen gefährlich

60 mg/m³

25

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

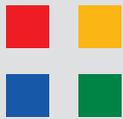
Auswertung erstellen

- Werte skaliert und normiert für Rauchdichte

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

Frame: 167
0:05:00.6

26

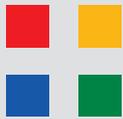


Bericht erstellen

- Slice-Files erklären:

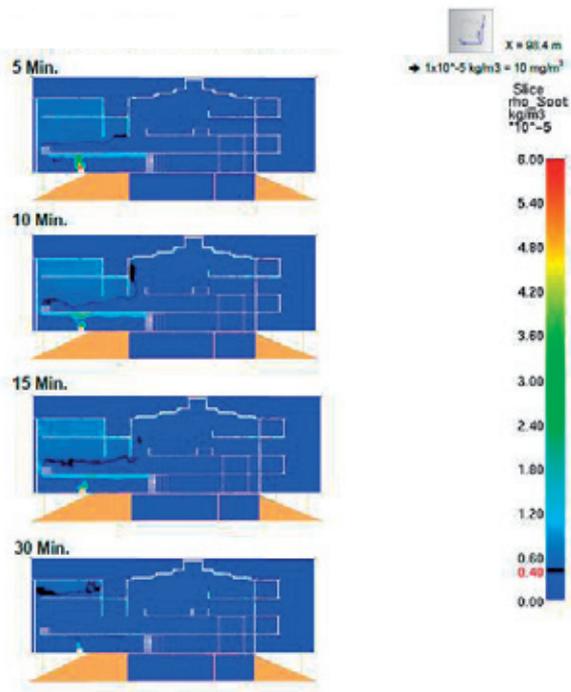
Sim Nr.	Ebene	Schnittpunkt	Parameter	Einheit
1	X-Ebene	23.2 m	Rho_Soot (= Rauchdichte)	mg/m ³ [1x10 ⁻⁵ kg/m ³ = 10 mg/m ³]
	Y-Ebene	30.8 m		
	Z-Ebene	19.4 m		
1	X-Ebene	23.2 m	Temperatur	°Celsius
	Y-Ebene	30.8 m		
	Z-Ebene	19.4 m		

27

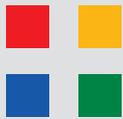


Bericht erstellen

X-Ebene



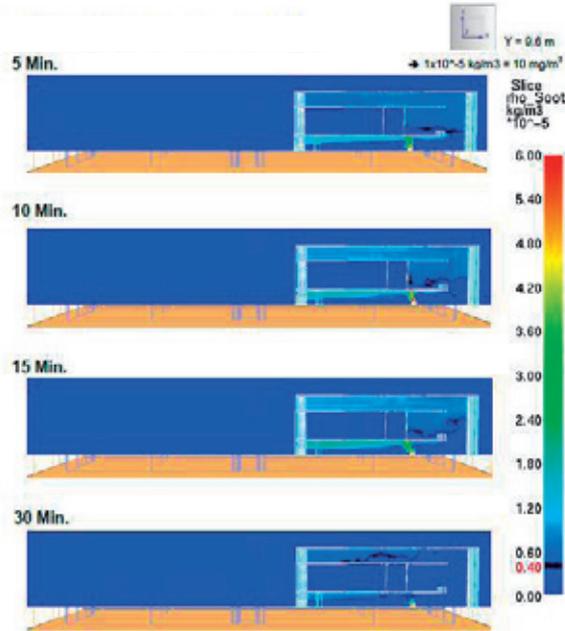
28



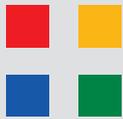
Bericht erstellen

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Y-Ebene



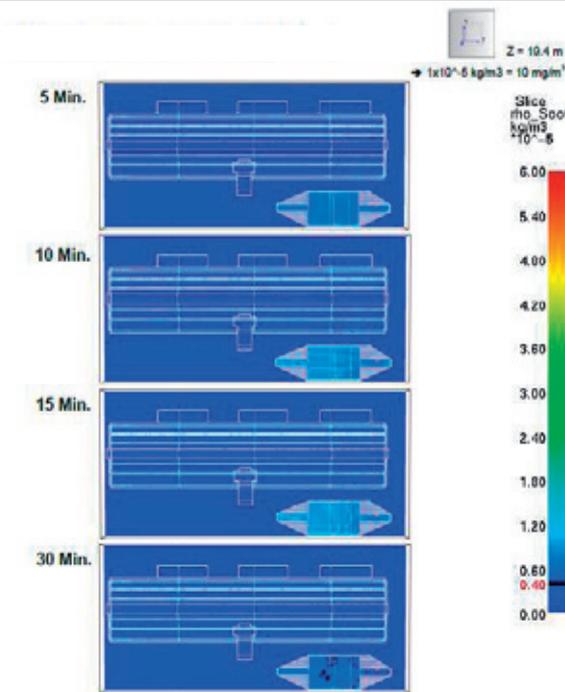
29



Bericht erstellen

Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Z-Ebene



30



Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

Fazit

- Darstellung von FDS-Resultaten im ingenieurmässigen Brandschutz muss einheitlicher werden:
 - **Verständlichkeit:** Slice-Files sehr gut lesbar, räumliches Bild für Leser ersichtlich 
 - **Aussagekraft:** Werte gelb + rot sind über Schutzziel. Aussagen werden einfacher und präziser 
 - **Einheitlichkeit:** Durch Einheitlichkeit der Auswertung wird eine Vergleichbarkeit von FDS-Simulationen möglich. 

31



Sicherheitsinstitut
Zürich Basel Neuenburg Lugano

- Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



32

Puyan Abolghasemzadeh:**Integration von numerischer Brandsimulation in die digitale Gebäudemodellierung für die Anwendung im Einsatzfall****Abstract:**

Obwohl die Einsatzkräfte während der Durchführung von Rettungs- und Brandbekämpfungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Entscheidungsfindung Unterstützungen durch IT-Technologien erfordern, werden die computer-gestützten Methoden, insbesondere Brandsimulationen, überwiegend für vorbeugenden Brandschutz entwickelt und eingesetzt. Dies liegt vor allem daran, dass die geeigneten Brandsimulationen, nämlich die numerischen Simulationen, anspruchsvolle soft- und hardwareseitige Anforderungen haben, die dazu führen, dass sie während eines Einsatzes (also in Echtzeit) nicht den realen Fall simulieren können.

Im Beitrag wird ein neuer Ansatz vorgestellt, der im Vorfeld verschiedene Brandszenarien für ein Gebäude simuliert und in eine Szenarien-Datenbank überführt, um in einem Brandereignis anhand von Informationen aus dem brennenden Gebäude das ähnlichste Brandszenario zu dem realen Fall zu finden und seine Ergebnisse dem Einsatzleiter zur Verfügung zu stellen. Damit bekommt der Einsatzleiter eine Abschätzung über den aktuellen Zustand des Brandes im Gebäude sowie eine Vorhersage über den möglichen Brandverlauf in den nächsten Minuten und wird somit bei seiner Entscheidungsfindung unterstützt.

Für die Realisierung dieses Ansatzes wurde eine Methode zur Integration der Brandsimulation in die digitale Gebäudemodellierung (BIM) entwickelt, um die erforderlichen Simulationen noch in der Planungsphase (mit FDS) durchzuführen und die Brandszenarien automatisch in eine relationale Datenbank zu überführen. Für das Finden des ähnlichsten Szenarios wird ein spezielles Suchverfahren eingesetzt, welches auf der Position der Brandquelle, dem Brennmaterial, der aufgenommenen lokalen Temperatur der Einsatzkräfte durch entsprechender Sensoren sowie ihrer Sichtweite basiert.

Umgebungsbedingte und verhaltensabhängige mikroskopische Entfluchtungsanalyse basierend auf BIM und FDS

Im Falle eines Brandereignisses in einem Gebäude hat die Sicherheit von Gebäudenutzern die höchste Priorität. Deshalb müssen im Vorfeld alle möglichen Maßnahmen getroffen werden, die dieses Risiko minimieren können. Eine der wichtigsten dieser Maßnahmen ist die Durchführung der mikroskopischen Entfluchtungsanalyse. Um diesen Prozess zu unterstützen, wurden bisher diverse Studien durchgeführt und unterschiedliche Computerprogramme entwickelt. Trotzdem gilt es immer noch, weitere wichtige Aspekte in der Entfluchtungsanalyse zu berücksichtigen, die in den vorhandenen Simulatoren bisher jedoch nicht abgebildet wurden.

Im Beitrag wird eine neue Methode zur mikroskopischen Entfluchtungsanalyse vorgestellt, welche die individuellen Verhaltenseigenschaften eines Menschen in Gefahrensituationen durch einen entsprechenden Entscheidungsalgorithmus sowie den Einfluss von Umgebungsbedingungen im Brandfall auf die Menschen durch die Anwendung von Simulationsergebnissen aus FDS berücksichtigt und diese in die digitale Gebäudemodellierung integriert. In diesem Ansatz ist der Agent (der modellierte Mensch) in der Lage bei jedem Schritt die Situation neu auszuwerten und sich an seinem Umfeld zu orientieren.

Um den Einfluss von Feuer und Rauch auf den Agenten zu modellieren, werden im Vorfeld Brandsimulationen mit FDS durchgeführt und die Ergebnisse in einer relationalen Datenbank für die Entfluchtungsanalyse aufbereitet. Außerdem wird in diesem Ansatz die Vertrautheit des Agenten mit den Fluchtwegen im Gebäude neben seinen körperlichen Eigenschaften bei der Wegfindung berücksichtigt.

5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

10. und 11. November 2011 – Berlin



Modellbasierte Anwendung von FDS für den abwehrenden und vorbeugenden Brandschutz

Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc.
Institut für Numerische Methoden
und Informatik im Bauwesen
TU Darmstadt



Agenda

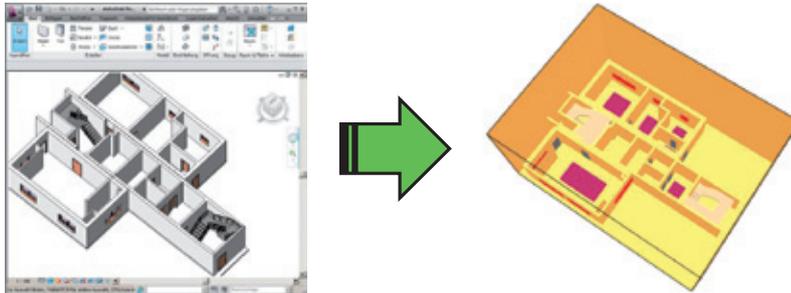


- Modellbasierte Brandsimulation
- Integration von numerischer Brandsimulation in die digitale Gebäudemodellierung für die Anwendung im Einsatzfall
- Umgebungsbedingte und verhaltensabhängige mikroskopische Entfluchtungsanalyse

Modellbasierte Brandsimulation



- Verbindung von Gebäudemodellierung (BIM) mit numerischer Brandsimulation



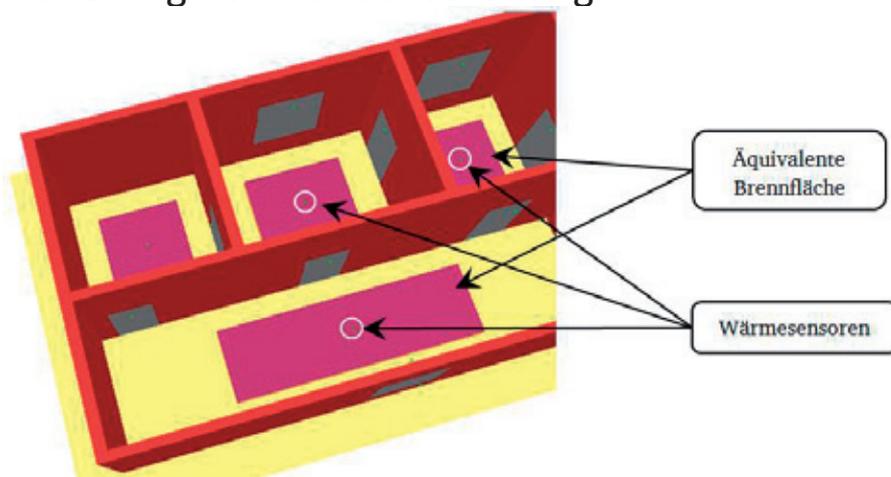
- Wände → OBST
- Räume → MESH
- Öffnungen (Türen und Fenster) → HOLE
- Brandquelle mit HRR

10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 3

Modellbasierte Brandsimulation



- Äquivalente Brennflächen in Räumen für die Modellierung der Brandausbreitung

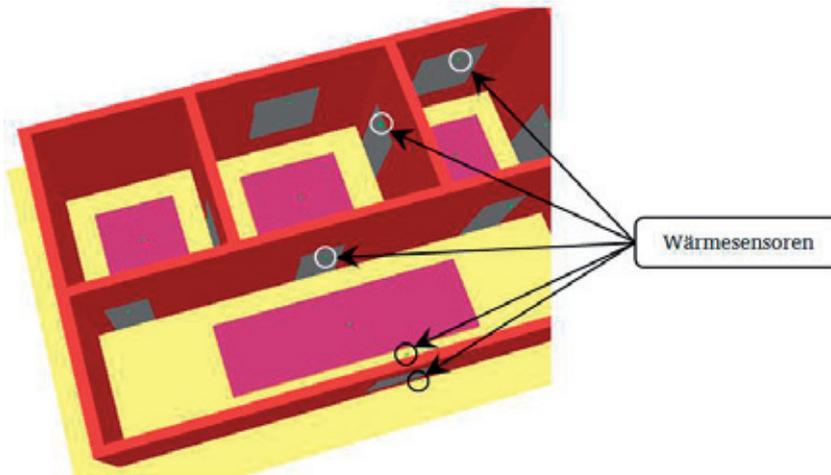


10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 4

Modellbasierte Brandsimulation



- Steuerung der Türen und Fenster im Brandmodell

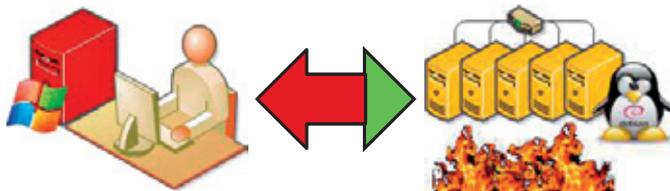


10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 5

Modellbasierte Brandsimulation



- Parallelisierung auf dem Linux-Cluster mit PelicanHPC
- Freie „Debian GNU/Linux“-Distribution als Live-System
- Keine Installation erforderlich
- Boot-Möglichkeit über das Netzwerk
- Die Compute-Nodes sind eine Kopie vom Main-Node
- Der Cluster ist heterogen und skalierbar



10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 6

Modellbasierte Brandsimulation

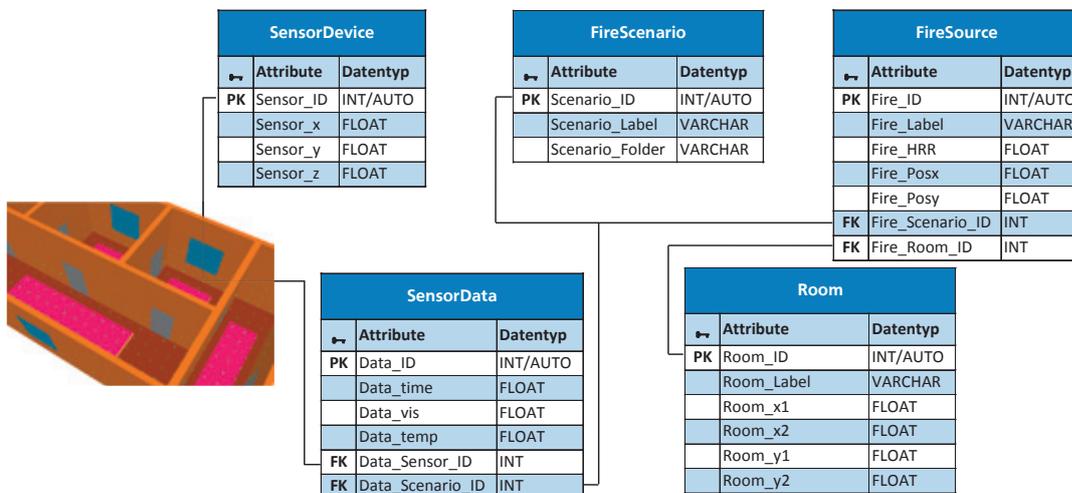


- Virtuelles Sensor-Netz zur Aufnahme der Temperatur und der Sichtweite



10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 7

Aufnahme eines simulierten Brandszenarios



10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 8

Modellbasierte Brandsimulation



■ Offene Punkte:

- Tests mit FDS-Scarc
- Kompilation von FDS auf HHLR (IBM -Rechner)



under construction

We're updating BrightStave.com to make it easier to find the best prices on the web. Please check back in just a few hours. We hope you'll like what you find.



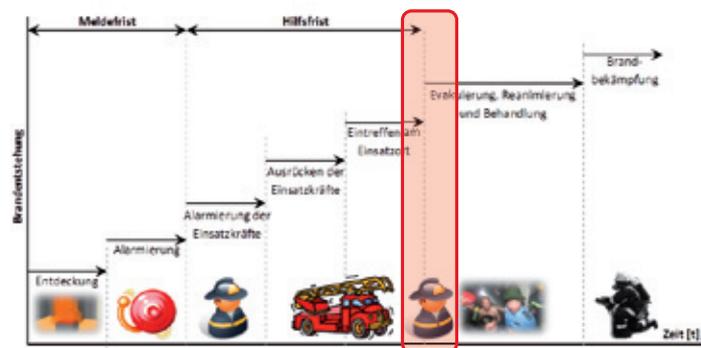
Integration von numerischer Brandsimulation in die digitale Gebäudemodellierung für die Anwendung im Einsatzfall

Entscheidungsfindung der Einsatzleitung



- Für den Einsatzleiter ist es wichtig zu wissen:
 - In welchem Zustand ist der Brand?
 - Wie wird sich der Brand in nächsten Minuten weiterentwickeln?

→ Brandsimulation in Echtzeit

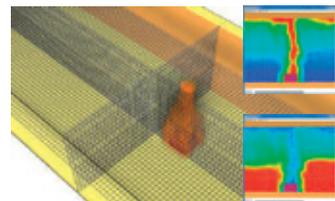


10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 11

CFD-Brandsimulation



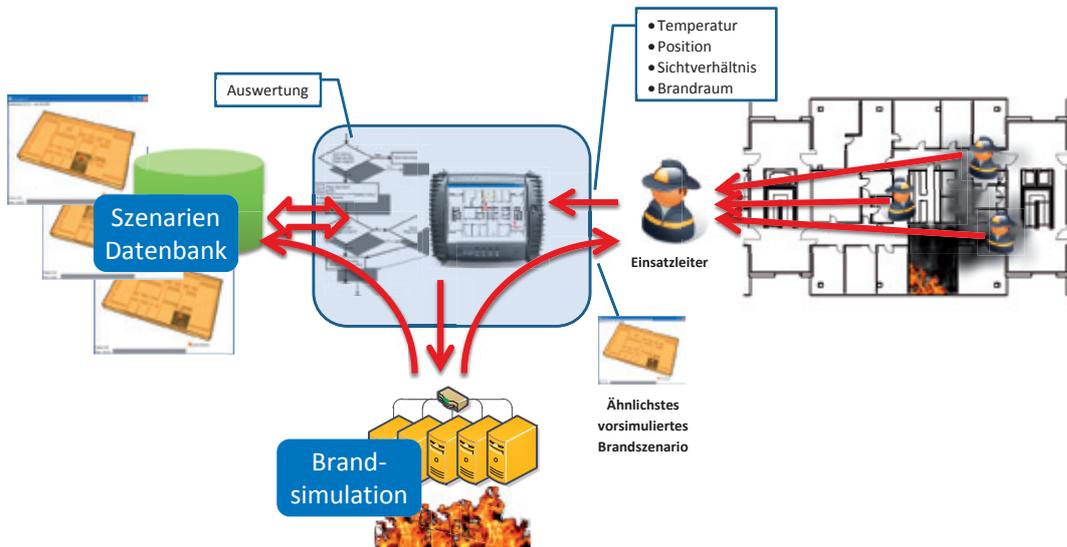
- Hohe Genauigkeit
- Steigende Anwendung im Rahmen der Brandschutz-Ingenieurmethoden
- Erfordern tiefgehende mathematische Kenntnisse
- Benötigen hohe Rechenleistung
- Lange Simulationsdauer
- Supercomputer bzw. Parallel-Computing
- Verbesserte Berechnungsalgorithmen



→ CFD-Brandsimulation in Echtzeit (z.B. während eines Einsatzes) ist gegenwärtig nicht praktikabel

10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 12

CFD-Brandsimulation in „Quasi-Echtzeit“



10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 13

Eingabedaten

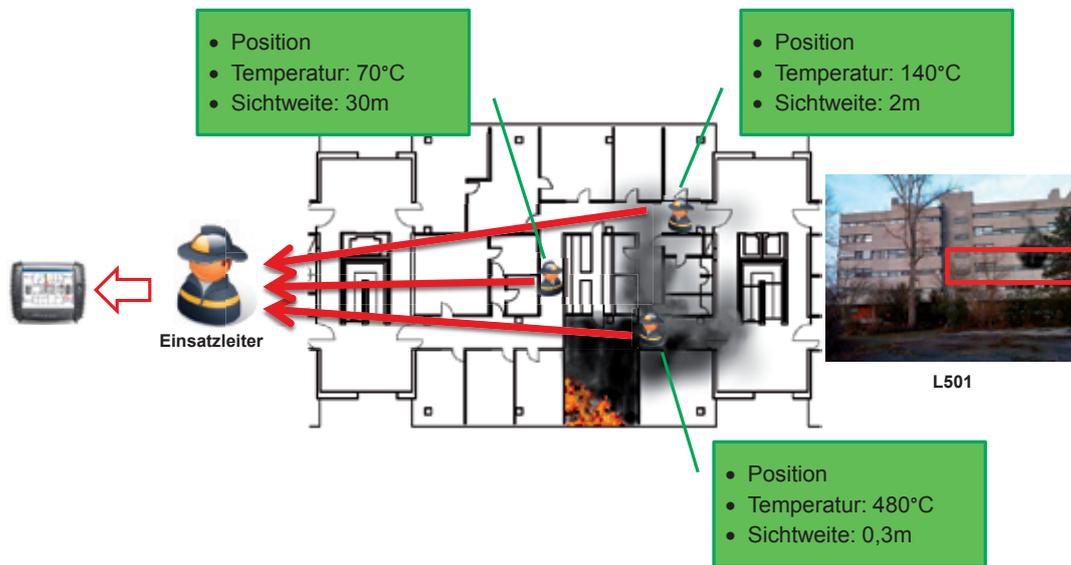


- Die Einsatzkräfte sollen berichten:
 - Wo brennt es?
 - Position des Brandherds im Gebäude
- Was brennt?
 - Welches Material?
(Holz, Chemikalien, Gas, etc.)
 - Welches Objekt?
(Möbel, Teppich, Kabel, etc.)
- Wo befindet sich der Feuerwehrmann?
(Ad-Hoc-Sensoren)
- Wie heiß ist es an der Stelle?
(Ad-Hoc-Sensoren)
- Wie ist seine Sichtweite? (Durchsage)



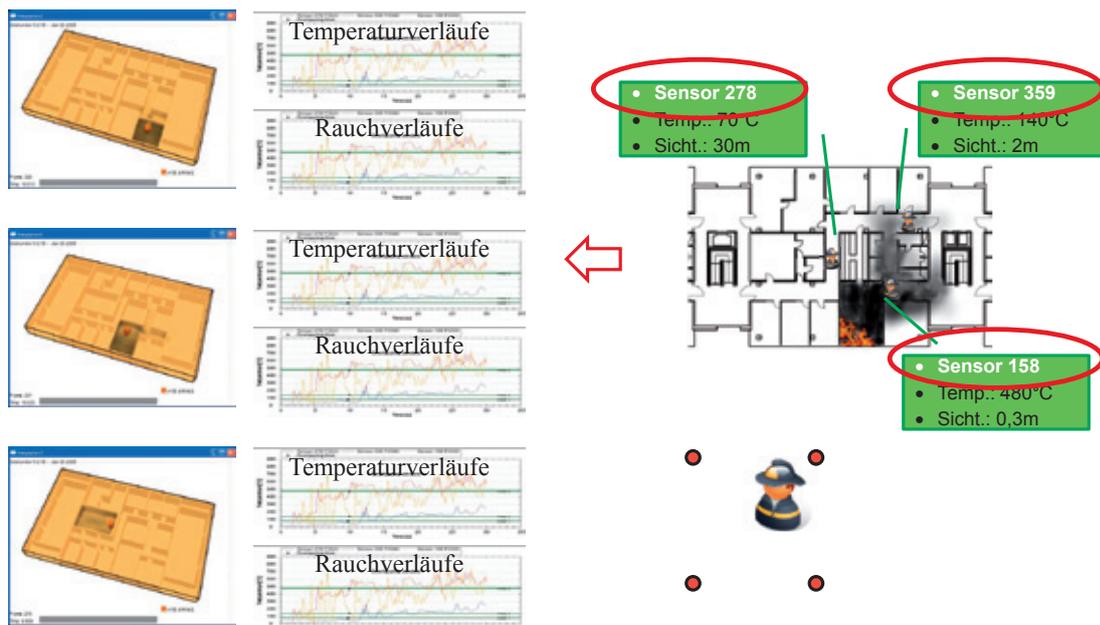
10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 14

Anwendungsbeispiel



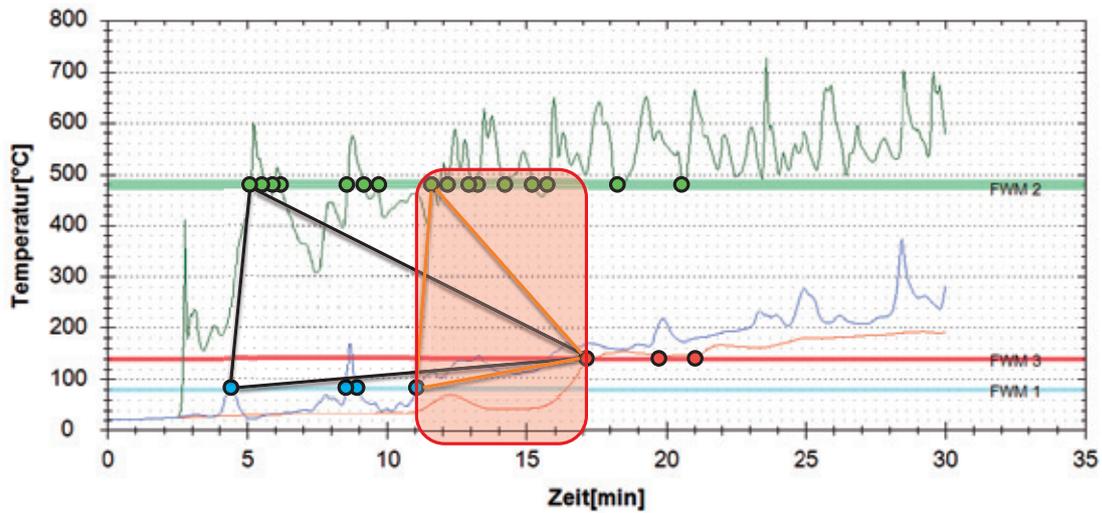
10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 15

Anwendungsbeispiel



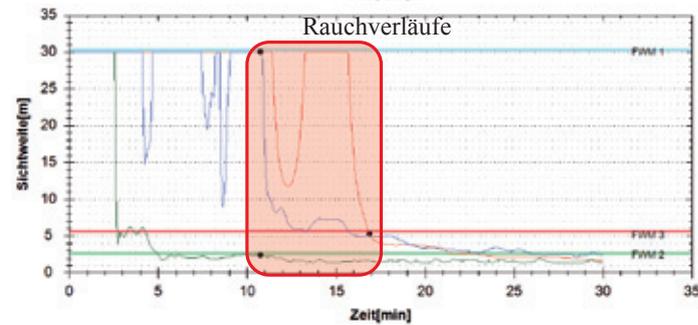
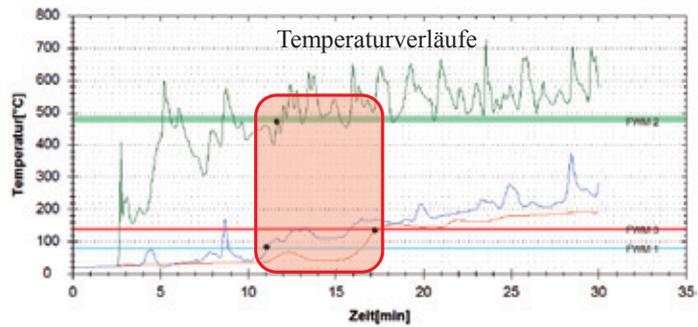
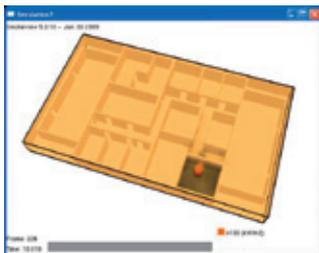
10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 16

Suchalgorithmus



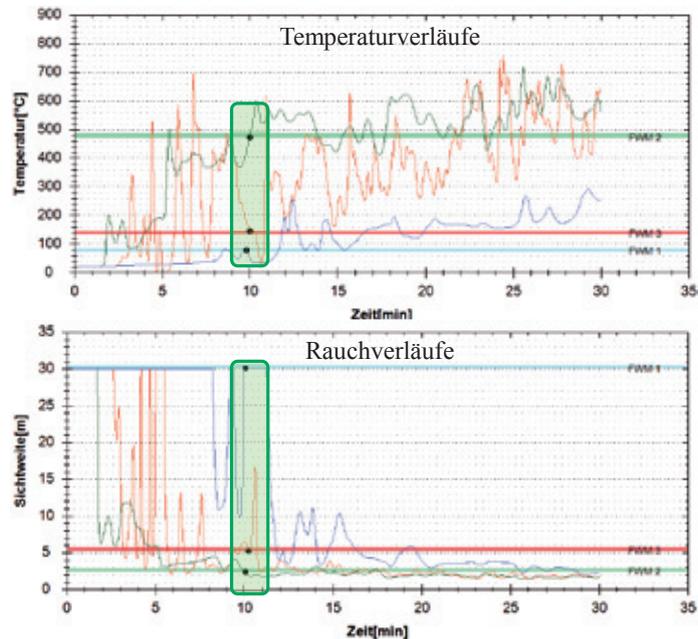
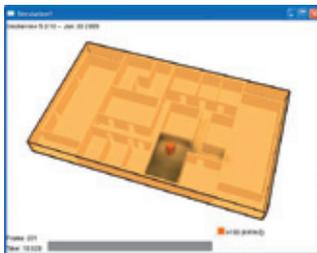
10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 17

Nicht-ähnliches Szenario zum realen Fall



10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 18

Ähnliches Szenario zum realen Fall



10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 19

CFD-Brandsimulation in „Quasi-Echtzeit“



■ Offene Punkte:

- Reale Tests
- Ankopplung an Tragwerksanalyse im Brandfall
(Standicherheit des Bauwerks)
- Ankopplung an Entfluchtungssimulation in Echtzeit
- Bildanalyse für die Helmkameras für Erfassung der Sichtweite
- Sensor-Bälle (ein Bündel von Wärme- und Indoor-Ortungssensoren)

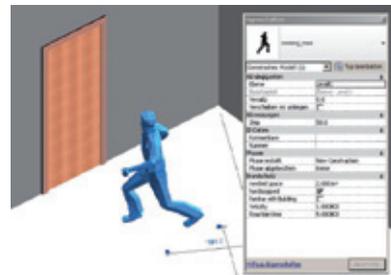


under construction
We're updating BrightStave.com to make it easier to find the best videos on the web. Please check back in just a few hours. We hope you'll like what you find.

10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 20



Umgebungsbedingte und verhaltensabhängige mikroskopische Entfluchtungsanalyse basierend auf BIM und FDS



10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 21

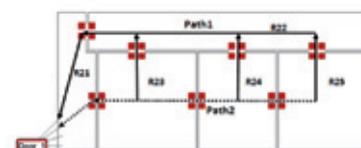
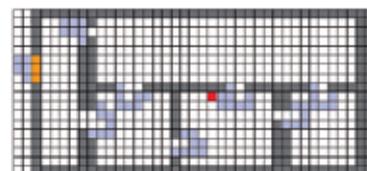
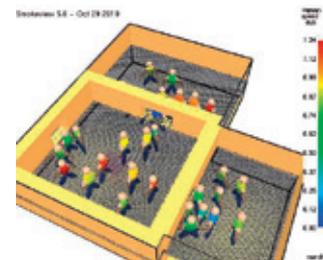


Einführung in die Entfluchtungsanalyse

- Entfluchtung → Selbstrettung
- Evakuierung → Fremdrettung

- Betrachtungen in der Entfluchtungsanalyse:
 - Mikroskopisch
 - Makroskopisch

- Entfluchtungsmodelle:
 - Strömungs- und Partikelmodelle
 - Matrizenmodelle
 - Netzwerkmodelle

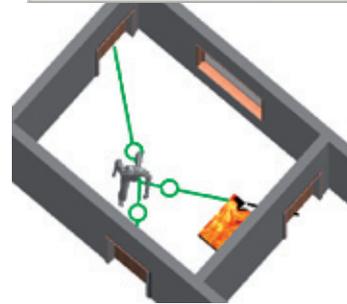
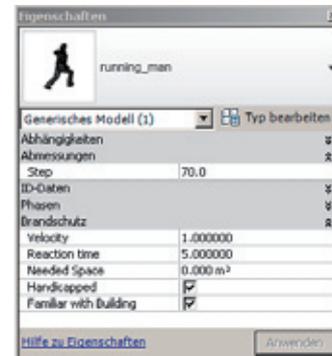


10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 22

Anforderungen an mik. Entfluchtungsanalyse



- Integration der numerischen Brandsimulation in die Entfluchtungsanalyse (Analyse in Anwesenheit der Gefahrenquelle)
- Integration der Entfluchtungsanalyse in das digitale Gebäudemodell
 - Definition eines Agenten und seiner Eigenschaften im BIM
 - Interaktion mit der Umgebung
- Ermittlung der potentiellen Fluchtwege
 - Zusammenlegung der Ansätze von Matrizen- und Netzwerkmodellen
- Permanente Ermittlung und Auswertung der potentiellen Fluchtwege in jedem Bewegungsschritt des Gebäudenutzers

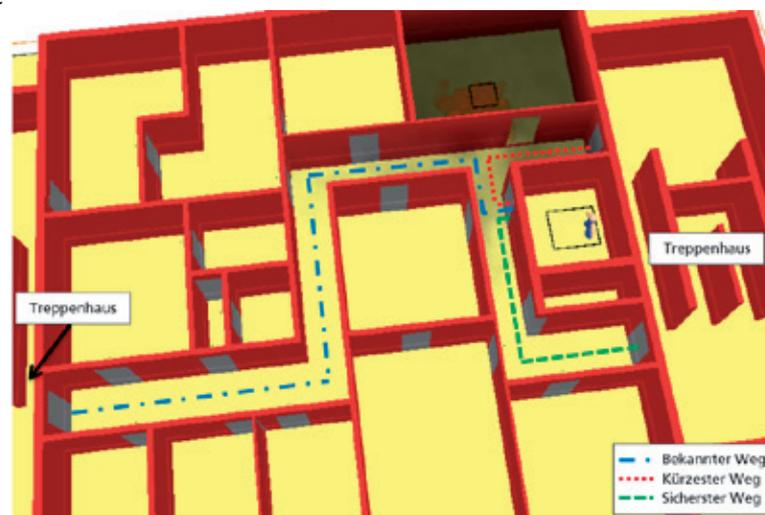


10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 23

Anforderungen an mik. Entfluchtungsanalyse

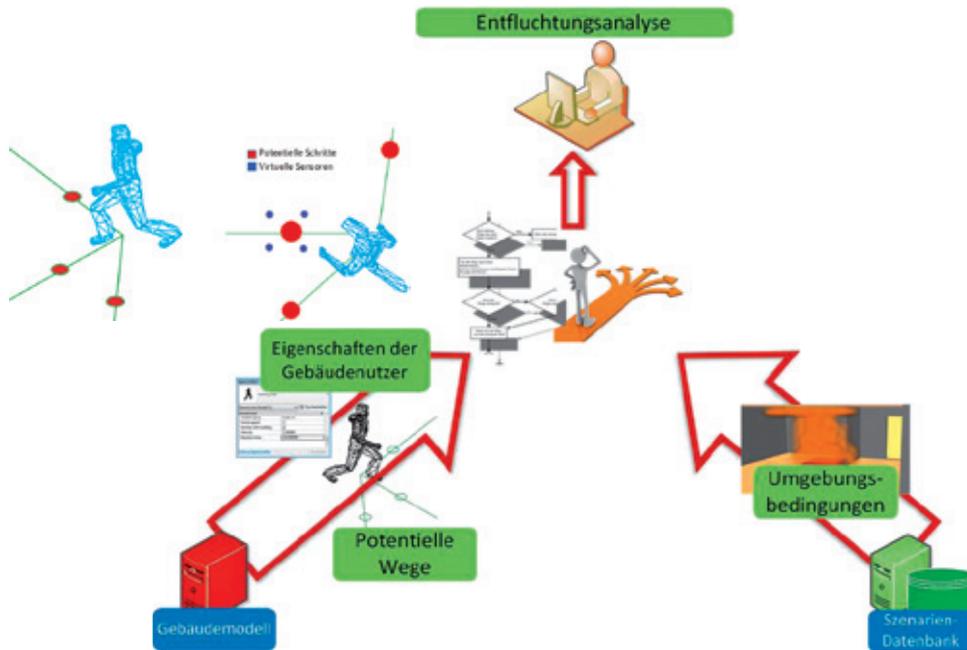


- Entfluchtungsanalyse zusätzlich für die temporären Gebäudenutzer
- Einfluss der individuellen Erfahrung des Agenten über die Fluchtwege in die Entfluchtungsanalyse



10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 24

Umgebungsbedingte und verhaltensabhängige mik. Entscheidungsanalyse



10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 25

Umgebungsbedingte und verhaltensabhängige mik. Entscheidungsanalyse



Offene Punkte:

- Anzahl erforderlicher Szenarien
→ Richtlinie für Szenarienbildung
- Makroskopische Entfluchtungsanalyse (Gruppenverhalten)
- Einfluss von Umgebungsfaktoren auf die Gesundheit
- Validierung



under construction

We're updating BrightStave.com to make it easier to find the facts videos on the web. Please check back in just a few hours. We hope you'll like what you find.

10. November 2011 | 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup | IIB@TUD | Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc. | 26

5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

10. und 11. November 2011 – Berlin



Modellbasierte Anwendung von FDS für den abwehrenden und vorbeugenden Brandschutz

Puyan Abolghasemzadeh, M.Sc.

Tel.: 06151-163644

Email: puyan@iib.tu-darmstadt.de

Institut für Numerische Methoden
und Informatik im Bauwesen

TU Darmstadt



Dr. Jürgen Will:

Erfahrungsbericht bei der Handhabung von FDS-EVAC im Vergleich zu ASERI

Abstract:

Anhand eines einfachen Beispiels (Fußgängerbrücke an einem Ausgang eines großen Volksfestgeländes) wird die Parametereingabe bei FDS - EVAC getestet. Hierbei werden einfache, aber für die Gebäudebeschreibung und Personenbelegung wesentliche Elemente verwendet. Parallel wird die gleiche Fragestellung mit ASERI bearbeitet. Neben dem Vergleich der mit den beiden Modellen gewonnenen Ergebnisse wird in diesem Erfahrungsbericht auf die unterschiedlichen Vorgehensweisen bei der Parametereingabe eingegangen und Besonderheiten bei der Eingabe für FDS - EVAC benannt.



Erfahrungsbericht bei der Handhabung von FDS-EVAC (im Vergleich zu ASERI)

5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

10. und 11. November 2011

HHP Nord/Ost Beratende Ingenieure GmbH, Braunschweig
Jürgen Will

Folie 1

Vorgeschichte



- Erfahrung mit ASERI und SIMULEX
- Erfahrung mit FDS (ab Version 2)
 - Aber keine Zeit für die Einarbeitung in FDS-EVAC
- Bewertung eines Volksfestgeländes
 - „Schwachpunkt“ bei einer Überführung
- Neue Mitarbeiterin mit „Erfahrung“ in FDS-EVAC
 - „Soll das mal mit FDS simulieren, bei ASERI und SIMULEX wissen wir ja, was rauskommt!“
 - ⇒ Eingabedatei erstellt, Simulation durchgeführt, „schöne Filmchen“
 - Sachverständiger zufrieden, fertig!
- Eingabedatei als Basis für Parametervariation und Vergleichsrechnung

Folie 2

Geometrie



hinzugefügt | Vorgabe / Fragestellung

Ausgang



Folie 3

Randbedingungen



Überführung an einem Ausgang eines Volksfestgeländes

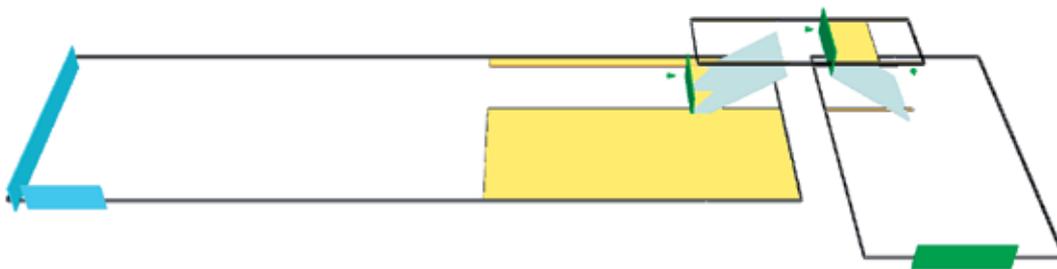
- 2 Zugänge zum „Vorplatz“
 - 15 m breit, 2400 Personen (12 Pers./s)
 - 5 m breit, 1000 Personen (5 Pers./s)
- Geometrie
 - Vorplatz: 15 m * 30 m (450 m²) mit 2 Zugängen
 - Gang zur Überführung: 5 m breit, 14 m lang
 - Überführung / Treppen: 5 m breit
 - Fläche vor dem Ausgang: 12 m * 20 m,
 - Ausgang: 6 m breit

Folie 4

Darstellung FDS-EVAC



- 3 MESH's für „Personen“
- 3 MESH's für „Strömungsfeld“
- (Mesh's für Feuer entfallen)
- 2 ENTR für Personengenerierung
- 2 Treppen mit je DOOR, ENTR, 2 VENT's
- EXIT mit 2 VENT's
- Diverse OBST (Abgrenzungen, Treppenstufen)
- Personengruppe „ADULT“



Folie 5

Darstellung ASERI

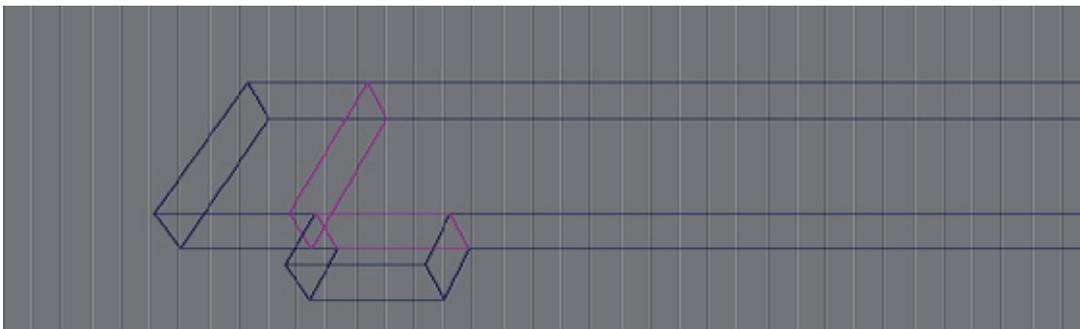


Gebäude

- Etage
 - 3 Räume + (2 Räume zur Personenplatzierung)
 - 2 Treppen
 - Außen
 - ▲ Insgesamt 7 Türen

Personenblock

- 2 Personensätze
 - Bewegungseigenschaften (DEFAULT)



Folie 6

Bewegungseigenschaften



	FDS-EVAC: ADULT	ASERI: DEFAULT
Gehgeschwindigkeit	1,25 ± 0,3 m/s	1,2 ± 0,25 m/s
Schulterbreite	51 ± 3,5 cm	52,5 ± 3,5 cm
Brustbreite	30 ± 2,1 cm	31,5 ± 2 cm

Folie 7

FDS-EVAC

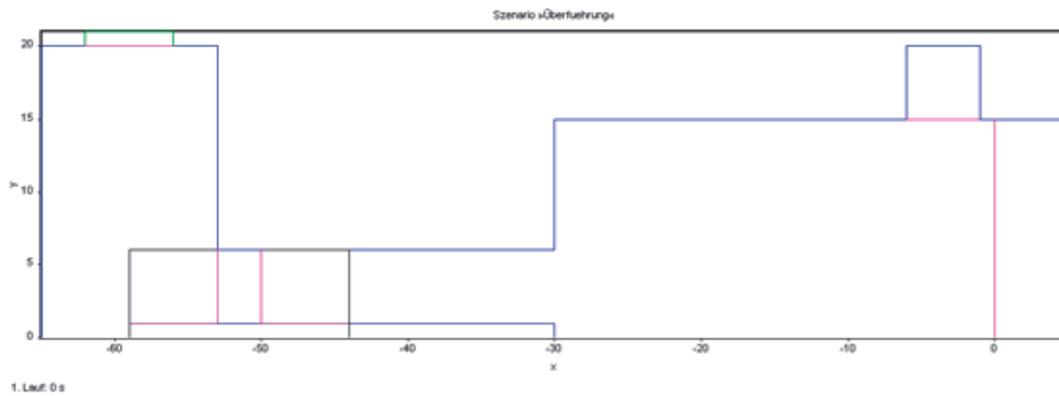


Time: 0.0



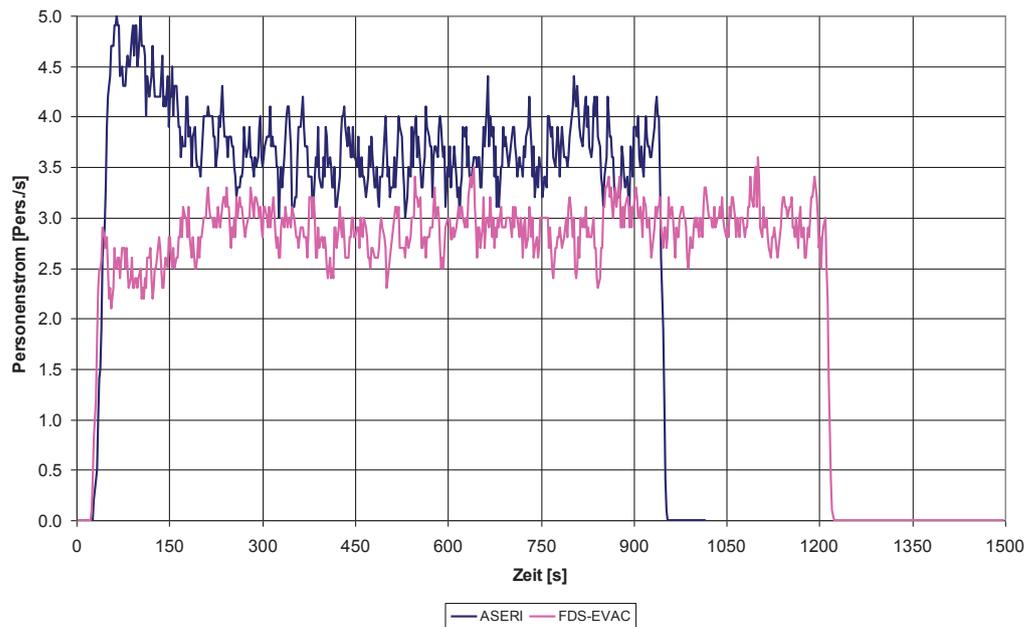
Folie 8

ASERI



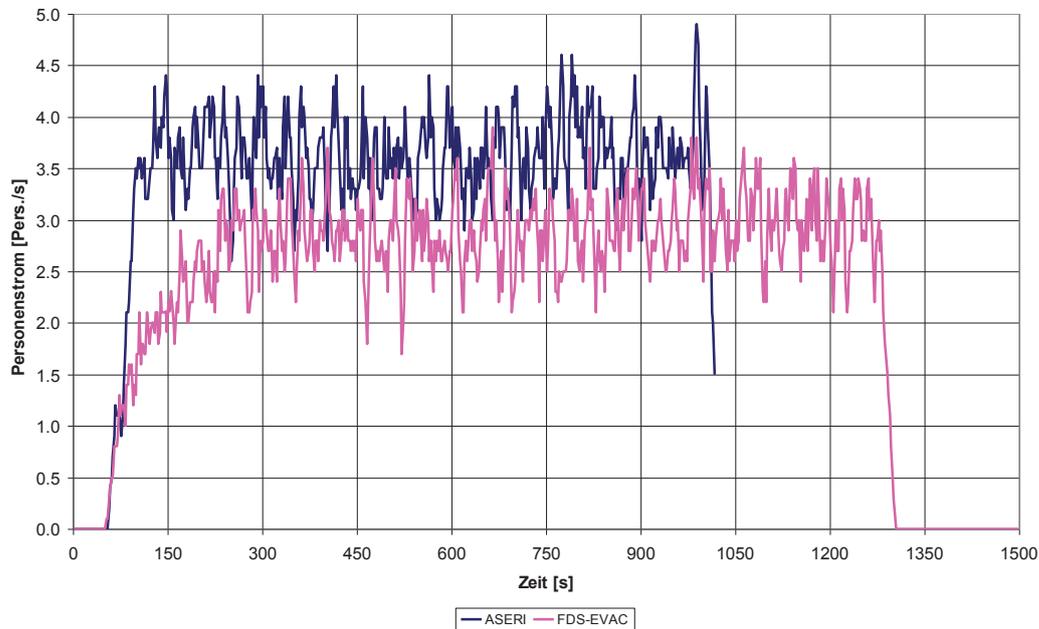
Folie 9

Personenstrom am Zugang zur Treppe



Folie 10

Personenstrom am Ausgang



Folie 11

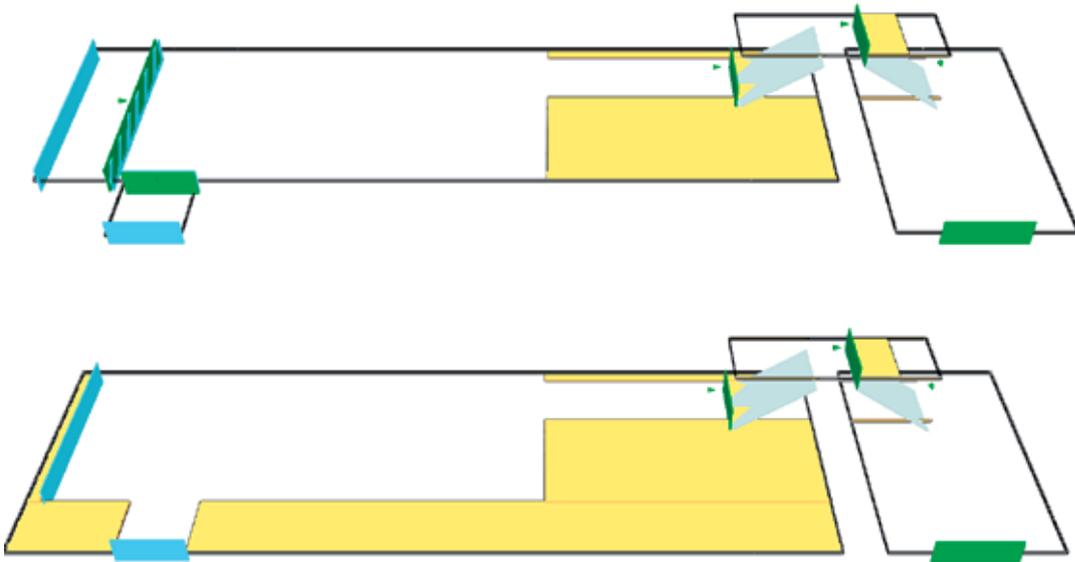
Varianten



- FDS-EVAC: Personen werden durch einen ENTR auf den „Vorplatz“ geschickt
 - ASERI: Personen werden in „eigenen“ Räumen generiert.
- ⇒ Vergleichbare Darstellung mit FDS_EVAC
- Ebenfalls „eigene“ Räume mit DOOR als Verbindung zum „Vorplatz“
 - Verlängerungen / Erweiterungen des „Vorplatz“

Folie 12

Varianten



Folie 13

Zugang über DOOR



Time: 0.0

Folie 14

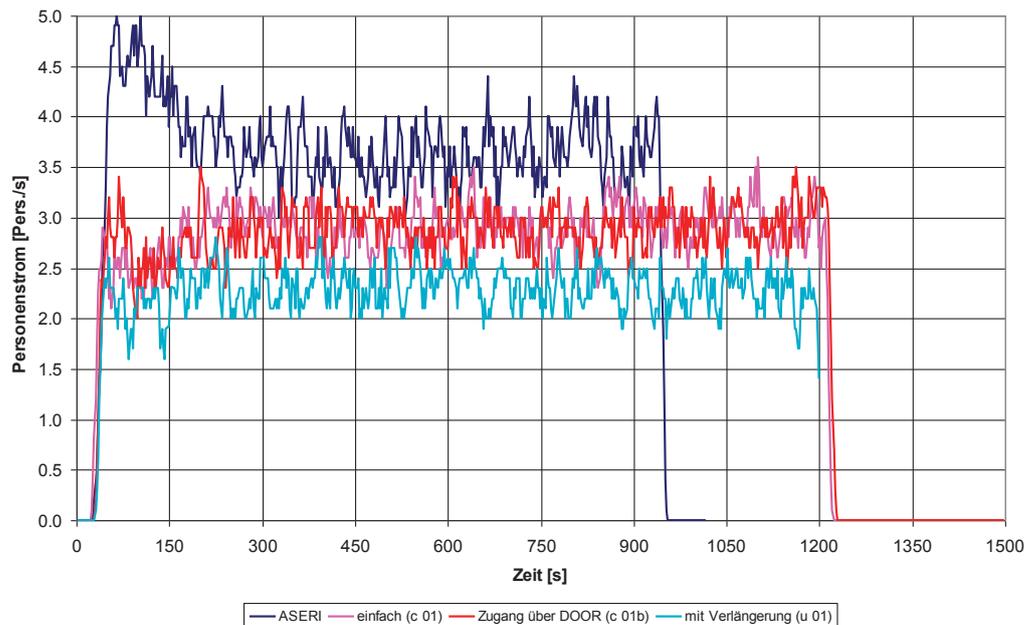
Mit Verlängerung



Time: 0.0

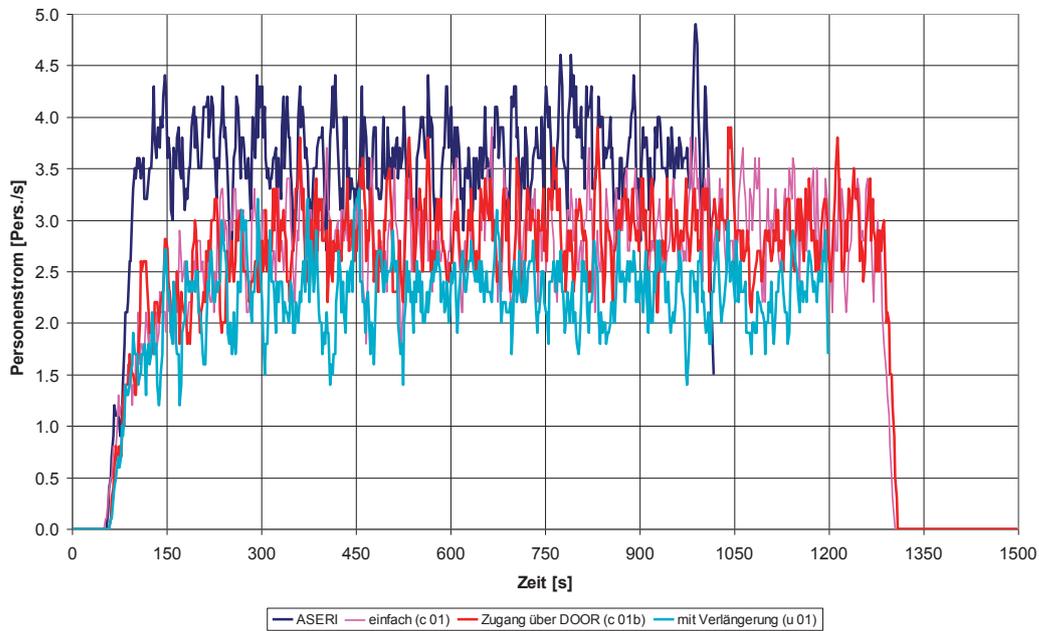
Folie 15

Personenstrom am Zugang zur Treppe



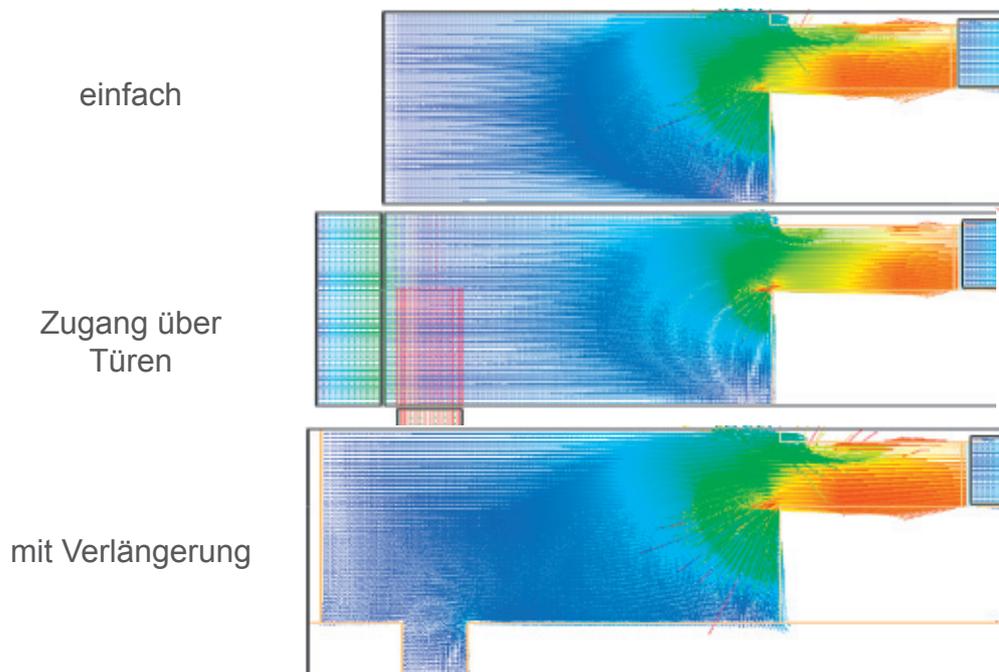
Folie 16

Personenstrom am Ausgang



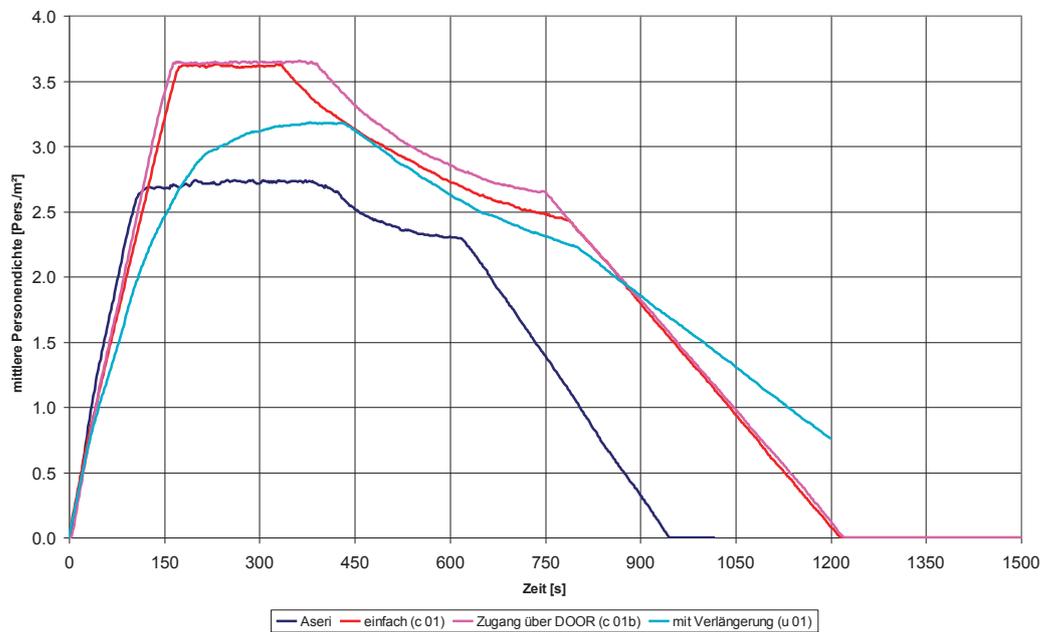
Folie 17

Strömungsfeld



Folie 18

Personendichte auf dem „Vorplatz“



Folie 19

Offene Fragen



- „Strömungsfelder“
 - Welchen Einfluss hat die „Strömungsgeschwindigkeit“ auf das Strömungsfeld und die Personenbewegung?
 - Kann man für Strömungsfelder auch „Quellen“ angeben?
- Erfahrungen bei der Variation der Personeneigenschaften
 - Gehgeschwindigkeit, Platzbedarf (Schulter-, Brustbreite)
 - Verwendung der Social force parameter, Contact force parameter, ...

Folie 20

Schlussfolgerung



- FDS-EVAC
 - Umfangreiche Eingabe, wg. MESH's für „Strömungsfelder“
 - Flexible Personenführung durch „Strömungsfelder“
 - Kleine geometrische Änderungen können wesentliche Einflüsse haben.
 - Großer „Spielraum“
 - Plausibilität bewerten (Erfahrung)
 - Aber: „Anfälligkeit für User-Effekte“
- Vergleich FDS-EVAC ↔ ASERI
 - Eingabe FDS „komplexer“
 - Mehr Möglichkeiten für die
 - ▲ Wahl der Wege / Ausgänge
 - ▲ Personeneigenschaften
 - FDS-EVAC „eher experimentell“, ASERI „praxisbezogen“

Folie 21

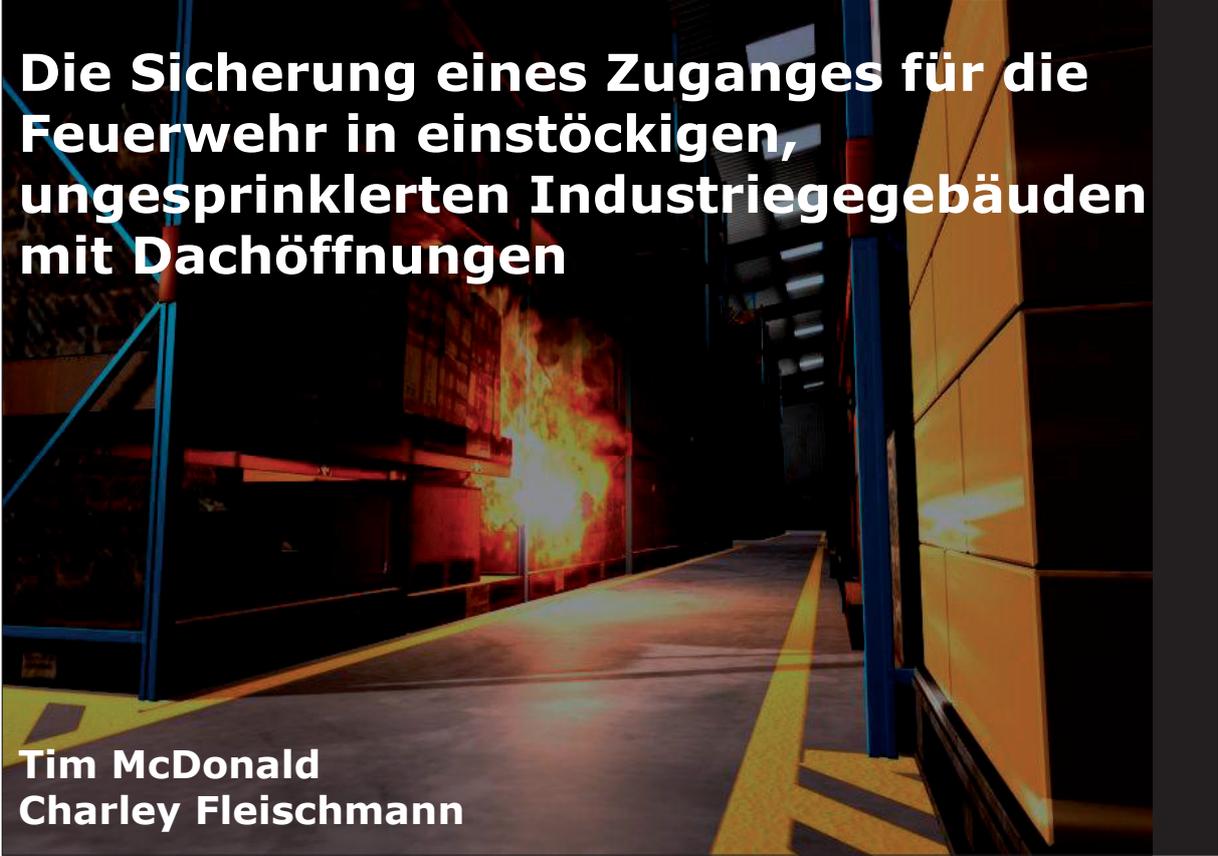
Tim McDonald:**Sicherstellung eines Zuganges für die Feuerwehr in einstöckigen, ungesprinklerten Industriegebäuden mit Dachöffnungen****Abstract:**

Lichtkuppeln oder andere Dachöffnungen werden in Industriegebäuden oft für die Entrauchung benutzt, um einen sicheren Zugang für die Feuerwehr zu gewährleisten. In Neuseeland empfiehlt die Bauordnung eine gesamte Größe der Öffnungsflächen von 15 % der Grundfläche eines einstöckigen Gebäudes, das keine Sprinkleranlage hat. Diese Öffnungsfläche muss für ein effective fire venting entworfen werden. Aus dem Bauordnung geht jedoch nicht hervor, warum die Öffnungsfläche 15 % der Grundfläche des Gebäudes betragen müssen. Weiterhin wird nicht erläutert, was ein effective fire venting ist.

FDS wurde benutzt, um unterschiedliche Entrauchungsmaßnahmen zu simulieren. Insbesondere wurden Größen der Öffnungsflächen von 15 %, 10 %, und 5 % in Industriegebäuden mit zwei unterschiedlichen Gebäudegrößen getestet. Für jede Größe der Öffnungsflächen wurden Zuluftflächen von 100 %, 50 %, und 0 % der Größe der Öffnungsflächen zur Entgasung eingestellt.

Zusätzlich wurde der Öffnungsmechanismus der Öffnung simuliert. Gleichzeitiges Auslösen von allen Öffnungen bei 100°C wurde mit fortlaufendem Auslösen von individuellen Öffnungen bei 100°C, 200°C, und 300°C verglichen.

Außerdem wurde die Rolle der Rauchschrüzen für die Wirksamkeit der Öffnungen mit Tiefen von 10 %, 20 %, und 30 % der Gebäudehöhe untersucht.



**Die Sicherung eines Zuganges für die
Feuerwehr in einstöckigen,
ungesprinklerten Industriegebäuden
mit Dachöffnungen**

**Tim McDonald
Charley Fleischmann**



**Plastik ohne Feuerwiderstand wird oft
wie eine Brandschutzmaßnahme benutzt**

Die verbindende Bauordnung

Compliance Document for
New Zealand Building Code
Clauses C1, C2, C3, C4
Fire Safety

Prepared by the Department of Building and Housing



C/AS1 (DBH, 2008) Abschnitt 4.2.4:

Die Größe der Fläche eines ungesprinkelten, einstöckigen Gebäudes, in dem die Bauteile, die die Decke unterstützen, keinen Feuerwiderstand haben, darf unbegrenzt sein, wenn mindestens **15%** der Grundfläche für *effective fire venting* entworfen ist.

WARUM 15%?

C/AS1 (DBH, 2008) Abschnitt 4.2.4:

Die Größe der Fläche eines ungesprinklerten, einstöckigen Gebäudes, in dem die Bauteile, die die Decke unterstützen, keinen Feuerwiderstand haben, darf unbegrenzt sein, wenn mindestens **15%** der Grundfläche für *effective fire venting* entworfen ist.

C/AS1 (DBH, 2008) Abschnitt 4.2.4:

Die Größe der Fläche eines ungesprinklerten, einstöckigen Gebäudes, in dem die Bauteile, die die Decke unterstützen, keinen Feuerwiderstand haben, darf unbegrenzt sein, wenn mindestens 15% der Grundfläche für *effective fire venting* entworfen ist.

WAS BEDEUTET EFFECTIVE FIRE VENTING?

C/AS1 (DBH, 2008) Abschnitt 4.2.4:

Die Größe der Fläche eines ungesprinklerten, einstöckigen Gebäudes, in dem die Bauteile, die die Decke unterstützen, keinen Feuerwiderstand haben, darf unbegrenzt sein, wenn mindestens 15% der Grundfläche für effective fire venting entworfen ist.

Die Ziele der Untersuchung:

1. Beurteile die Prozentanteile der Öffnungsflächen, die in einem ungesprinklerten, einstöckigen Gebäude benötigt werden, um die entsprechenden Kriterien für die Begehrbarkeit der Feuerwehr zu erfüllen;
2. Vergleiche die Wirksamkeit eines gleichzeitigen Auslösens von allen Öffnungen mit einem fortlaufenden Auslösen von individuellen Öffnungen; und
3. Beurteile die Verwendung von Rauchschürzen für die Verbesserung der Wirksamkeit eines solchen Entrauchungssystems.

Die Ziele der Untersuchung:

1. Beurteile die Prozentanteile der Öffnungsflächen, die in einem ungesprinklerten, einstöckigen Gebäude benötigt werden, um die entsprechenden Kriterien für die Begehbarkeit der Feuerwehr zu erfüllen;
2. **Vergleiche die Wirksamkeit eines gleichzeitigen Auslösens von allen Öffnungen mit einem fortlaufenden Auslösen von individuellen Öffnungen; und**
3. Beurteile die Verwendung von Rauchschürzen für die Verbesserung der Wirksamkeit eines solchen Entrauchungssystems.

Die Ziele der Untersuchung:

1. Beurteile die Prozentanteile der Öffnungsflächen, die in einem ungesprinklerten, einstöckigen Gebäude benötigt werden, um die entsprechenden Kriterien für die Begehbarkeit der Feuerwehr zu erfüllen;
2. **Vergleiche die Wirksamkeit eines gleichzeitigen Auslösens von allen Öffnungen mit einem fortlaufenden Auslösen von individuellen Öffnungen; und**
3. **Beurteile die Verwendung von Rauchschürzen für die Verbesserung der Wirksamkeit eines solchen Entrauchungssystems.**

Kriterien für die Begehbarkeit der Feuerwehr



Für weniger als 25 Minuten:

- Strahlung < 1 kW/m²
- Temperatur < 100°C

Für weniger als 10 Minuten:

- Strahlung < 3 kW/m²
- Temperatur < 120°C

Für weniger als 1 Minute:

- Strahlung < 4 kW/m²
- Temperatur < 160°C
- Temperatur 1 m unter die Decke < 280°C

Teil 1 – Öffnungs- und Zuluftflächen

		Öffnungsfläche (% der Grundfläche)		
		15%	10%	5%
Zuluftflächen (% der Öffnungsfläche)	100%	✓	✓	✓
	50%	✓	✓	✓
	0%	✓	✓	✓

2 Feuer: langsam & schnell t³

2 Gebäudegrößen: 60 x 30 x 6.5m & 100 x 60 x 12m

→ 36 FDS Simulationen

Teil 2 – gleichzeitiges oder fortlaufendes Auslösen

		Auslösungstemperatur		
		100°C	200°C	300°C
Art der Auslösung und Form der Öffnungen	gleichzeitig, quadratisch	✓		
	fortlaufend, quadratisch	✓	✓	✓
	fortlaufend, streifig		✓	✓

2 Feuer: langsam & schnell t^3

2 Gebäudegrößen: 60 x 30 x 6.5m & 100 x 60 x 12m

→ 24 FDS Simulationen

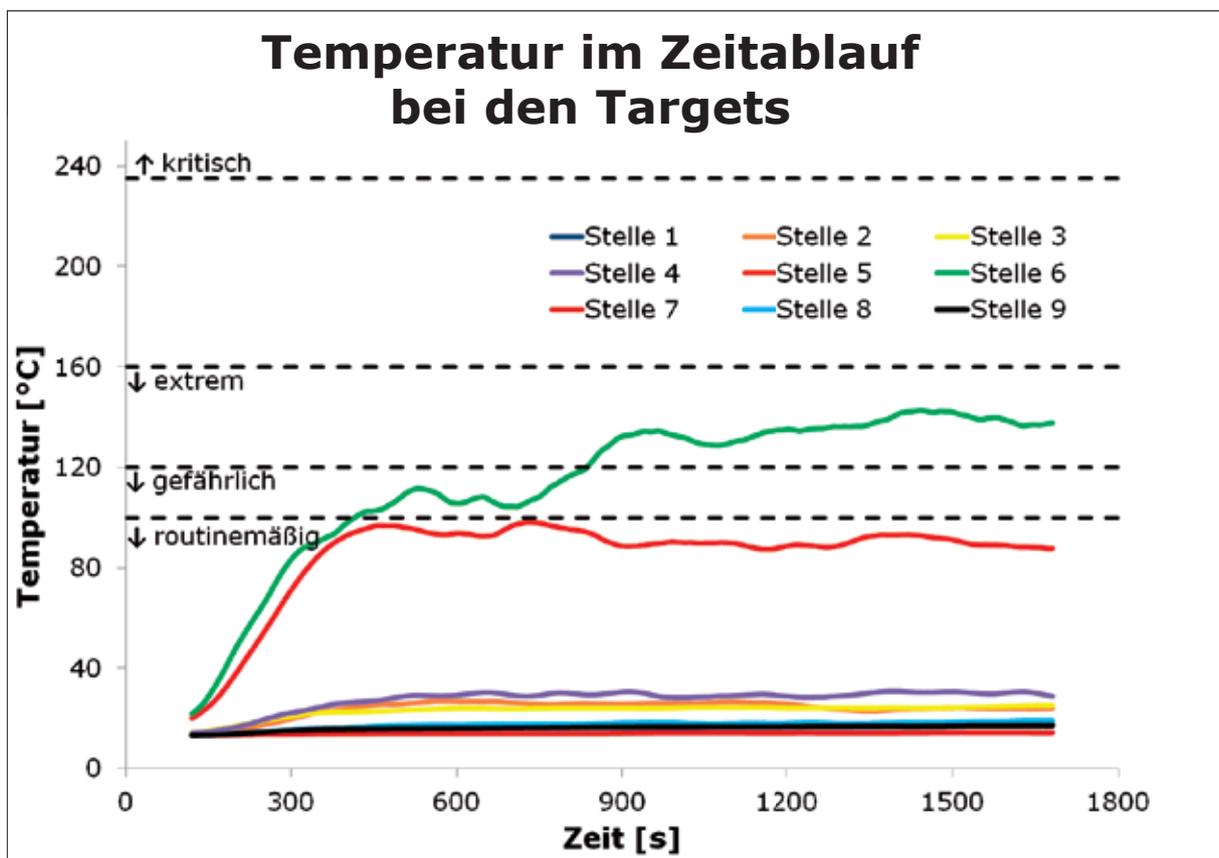
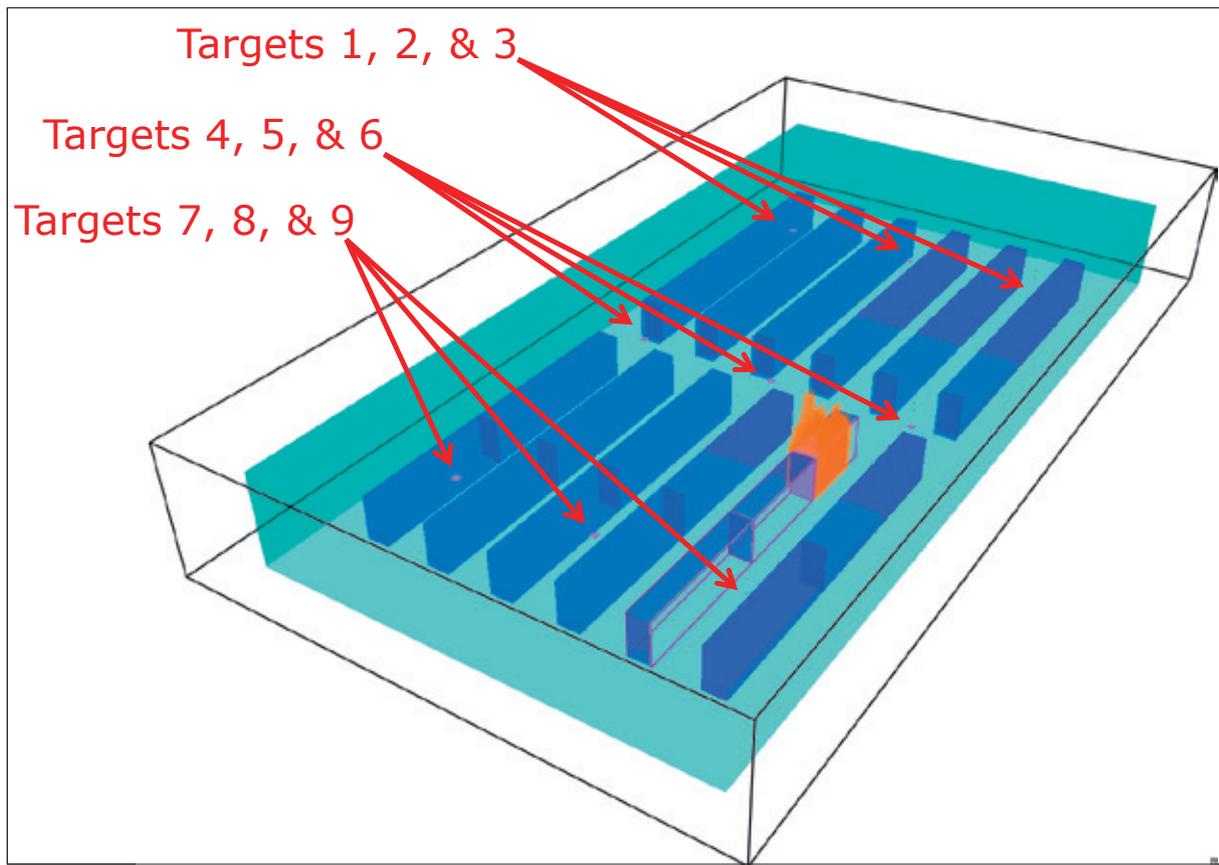
Teil 3 – Verwendung von Rauchschürzen

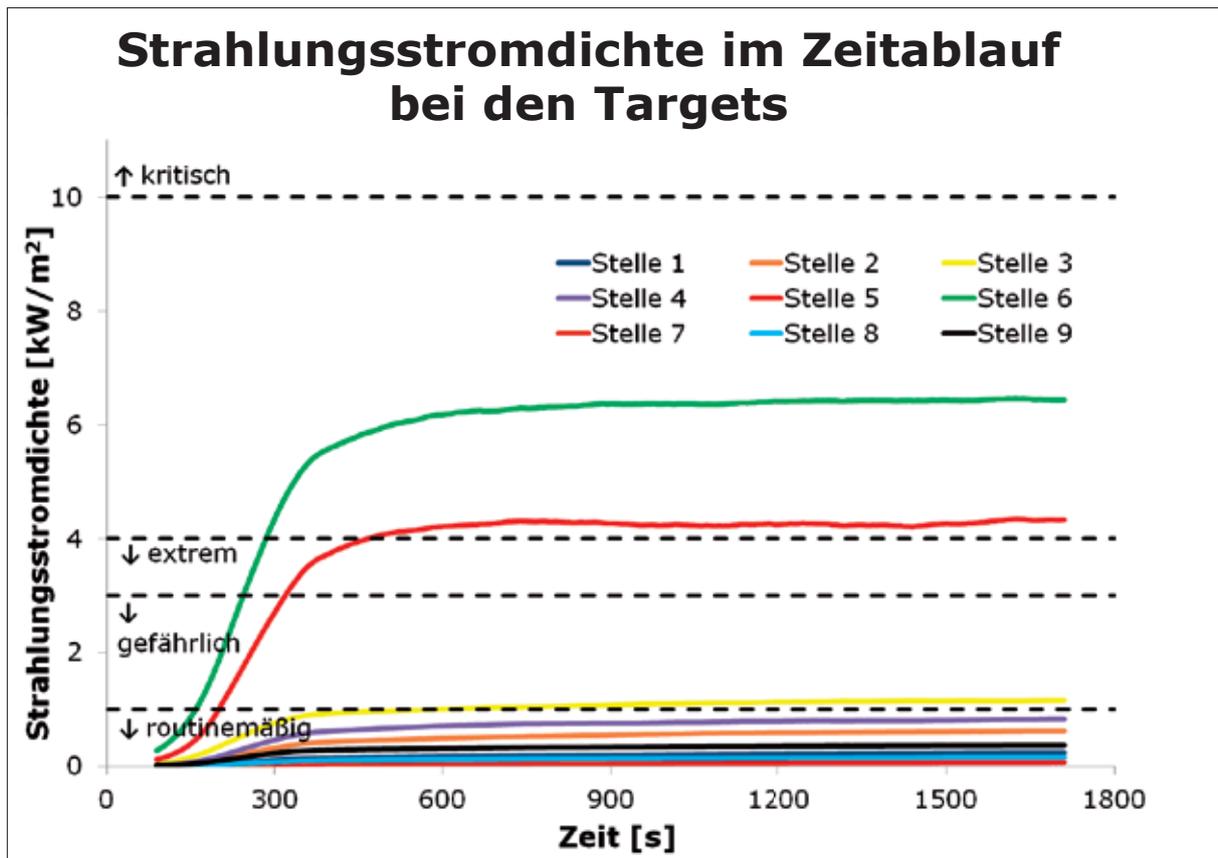
		Tiefe der Rauchschürzen (% der Höhe der Decke)		
		10%	20%	30%
Art der Auslösung und Form der Öffnungen	gleichzeitig, quadratisch	✓	✓	✓
	fortlaufend, quadratisch	✓	✓	✓
	fortlaufend, streifig		✓	✓

2 Feuer: langsam & schnell t^3

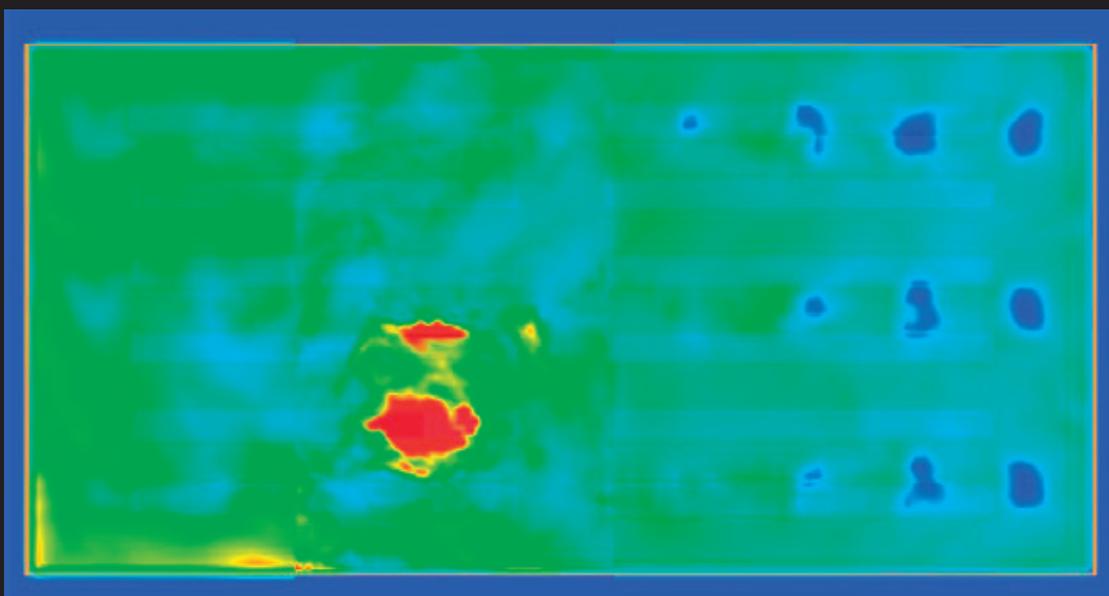
2 Gebäudegrößen: 60 x 30 x 6.5m & 100 x 60 x 12m

→ 36 FDS Simulationen





Unwirksamkeit der Öffnungen mit nicht ausreichender Zuluft



Zusammenfassung

- 15 % Öffnungsfläche bezogen auf die Grundfläche ist ausreichend um die Begehbarkeit der Feuerwehr zu erhalten.
- 10 % Öffnungsfläche ist auch ausreichend.
- 5 % Öffnungsfläche ist auch ausreichend, aber nur mit einer Zuluftfläche von mindestens 50 % der 5 % Öffnungsfläche.
- Die obengenannten Öffnungsflächen sind die aerodynamischen Flächen.

Zusammenfassung

- Wenn die Zuluftfläche nicht ausreichend ist, wird die Wirksamkeit der Öffnungen reduziert.
- Es gab unklare Ergebnisse in Bezug auf die beste Art der Auslösung.
- Rauchschürzen haben eine geringe Auswirkung auf die Bedingungen in der rauchfreien Schicht.
- Rauchschürzen von 20 % der Deckenhöhe verbessern die Wirksamkeit der Öffnungen.

Eigenschaften eines Flashhoods

Wärmekapazität: 1,3 kJ/kg °C

Wärmeleitfähigkeit: 0,047 W/m °C

Rohdichte: 310 kg/m³

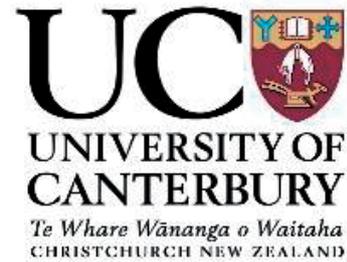


Mell & Lawson (2000) – *A Heat Transfer Model for Firefighters' Protective Clothing*. Fire Technology 36(1): 39-68

Beschreibung der Objektmodellierung

Randbedingung	das kleinere Gebäude	das größere Gebäude
Ausdehnung des Gebäudes	60 x 30 x 6,5 m	100 x 60 x 12 m
Ausdehnung des Netzes	66 x 36 x 9,0 m	120 x 72 x 15 m
Kantenlänge – mittlerer Gitter	250 mm	500 mm
Kantenlänge – äußere Gitter	500 mm	1000 mm

Master of Engineering in Fire Engineering



- **6 Fächer: 12 Monate**
 - **Thermodynamik**
 - **Aktive Brandschutzmaßnahmen**
 - **Passive Brandschutzmaßnahmen**
 - **Simulationen**
 - **Risiko**
 - **Fallstudie**
- **Abschlussarbeit: 6-12 Monate**



Prof. Bjarne Husted:

Comparison of inert Shaft Fire Experiment and CFD Modelling in FDS5/6

Abstract:

Plumbing shafts (utility shafts) have shown in some cases to be the pathway for the spread of fire in larger apartment buildings in the Czech Republic. The measured and simulated results of temperature, total heat flux and flow velocity distributions for a tall and narrow apartment plumbing shaft space are presented. A mutual comparison between the laboratory measurements and the simulation is provided and discussed.



Comparison of Shaft Fire Experiment and CFD Modelling

Marek Pokorný, Ph.D. student



Czech Technical University in Prague – Faculty of Civil Engineering
Department of Building Structures
Czech Republic

Bjarne Paulsen Husted, Ph.D., Associate Professor
Arjen Kraaijeveld, lecturer



Stord / Haugesund University College
Department of Engineering
Norway

1 / 21

Motivation
Experimental and simulation setup
Results
Summary

Outline

1) Motivation

- Plumbing shafts and fire spread risk
- Structural solution of shafts

2) Experimental and simulation setup

- Shaft model
- Measuring devices
- Simulation

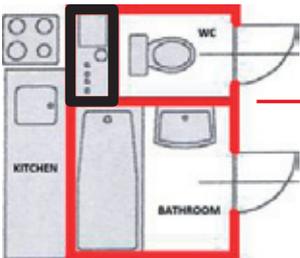
3) Results

- Temperature, flow velocity and heat flux comparison

4) Summary

2 / 21

<p style="text-align: center;">Motivation</p> <p style="text-align: center;">Experimental and simulation setup Results Summary</p>	<ul style="list-style-type: none"> Plumbing shafts and fire spread risk Structural solution of shafts
<h2 style="color: white; margin: 0;">Outline</h2>	
<p>1) Motivation</p> <ul style="list-style-type: none"> Plumbing shafts and fire spread risk Structural solution of shafts <p>2) Experimental and simulation setup</p> <ul style="list-style-type: none"> Shaft model Measuring devices Simulation <p>3) Results</p> <ul style="list-style-type: none"> Temperature, flow velocity and heat flux comparison <p>4) Summary</p>	
<p>3 / 21</p>	

<p style="text-align: center;">Motivation</p> <p style="text-align: center;">Experimental and simulation setup Results Summary</p>	<ul style="list-style-type: none"> Plumbing shafts and fire spread risk Structural solution of shafts
<h2 style="color: white; margin: 0;">Introduction to plumbing shaft issue</h2>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <ul style="list-style-type: none"> Combustible plastic materials dominate inside a tall shaft space with a small cross-section area (building services) In the Czech Republic, large-scale construction of prefabricated blocks of apartments was implemented during the 2nd half of the 20th century → highly combustible laminate-systems were used for partitions of utility cores Many serious events have been observed, where fire spreads between apartments and storeys via vertical plumbing shafts 	
<p>4 / 21</p>	

<p style="text-align: right; margin: 0;">Motivation</p> <p style="margin: 0;">Experimental and simulation setup</p> <p style="margin: 0;">Results</p> <p style="margin: 0;">Summary</p>	<ul style="list-style-type: none"> Plumbing shafts and fire spread risk Structural solution of shafts
<h2 style="margin: 0;">Structural solution of shafts</h2>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>CONTINUOUS SHAFT</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>HORIZONTALLY SEPARATED SHAFT</p> </div> </div>	
<p>5 / 21</p>	

<p style="text-align: right; margin: 0;">Motivation</p> <p style="margin: 0;">Experimental and simulation setup</p> <p style="margin: 0;">Results</p> <p style="margin: 0;">Summary</p>	<ul style="list-style-type: none"> Shaft model Measuring devices Simulation
<h2 style="margin: 0;">Outline</h2>	
<p>1) Motivation</p> <ul style="list-style-type: none"> Plumbing shafts and fire spread risk Structural solution of shafts <p>2) Experimental and simulation setup</p> <ul style="list-style-type: none"> Shaft model Measuring devices Simulation <p>3) Results</p> <ul style="list-style-type: none"> Temperature, flow velocity and heat flux comparison <p>4) Summary</p>	
<p>6 / 21</p>	

Motivation Experimental and simulation setup Results Summary	<ul style="list-style-type: none"> • Shaft model • Measuring devices • Simulation
--	--

Shaft model

- continuous empty shaft model
- non-combustible shaft covering (light-weight concrete blocks)
- fire source = 20 kW propane gas burner
- air combustion supply = inlet tunnel
- smoke exhaust = open top
- total experimental time = 30 min.

VERTICAL CROSS SECTION

HORIZONTAL PLAN

7 / 21

Motivation Experimental and simulation setup Results Summary	<ul style="list-style-type: none"> • Shaft model • Measuring devices • Simulation
--	--

Measuring devices inside the shaft model

- **TEMPERATURE** → 22 thermocouples (2-wire Type-K devices, diameter 0.8 mm, time constant less than 15 s)
- **FLOW VELOCITY** → 4 robust bidirectional probes
- **TOTAL HEAT FLUX** → 1 water-cooled heat flux sensor (Schmidt-Boelter type)

8 / 21

Motivation
Experimental and simulation setup
 Results
 Summary

- Shaft model
- **Measuring devices**
- Simulation

Measuring devices inside the shaft model

LEVEL "b" AND "c"

LEVEL "d"

LEVEL "a"

LEGEND

- T = Thermocouple
- + V = flow Velocity probe
- F = heat Flux sensor

9 / 21

Motivation
Experimental and simulation setup
 Results
 Summary

- Shaft model
- Measuring devices
- **Simulation**

FDS simulation

- Fire Dynamics Simulator (FDS) – version 5.5.2
- 2 computational meshes with cubic cells – 25 mm (10 mm)
- total simulation time = 20 min.
- LES mode, radiative fraction = 0.35

EFFICIENCY OF VARIOUS COMPUTATIONAL MESHES		
Size of cell ... dx (mm)	Number of cells	D*/dx
25 × 25 × 25	18,432	8.0
10 × 10 × 10	288,000	20.1
5 × 5 × 5	2,304,000	40.2

Optimal ratio $D^*/dx \approx 4 - 16$
 D* – characteristic fire diameter

10 / 21

Motivation Experimental and simulation setup Results Summary	<ul style="list-style-type: none"> • Temperature comparison • Total heat flux comparison • Flow velocity comparison
--	--

Outline

- 1) Motivation
 - Plumbing shafts and fire spread risk
 - Structural solution of shafts
- 2) Experimental and simulation setup
 - Shaft model
 - Measuring devices
 - Simulation
- 3) Results
 - Temperature, flow velocity and heat flux comparison
- 4) Summary

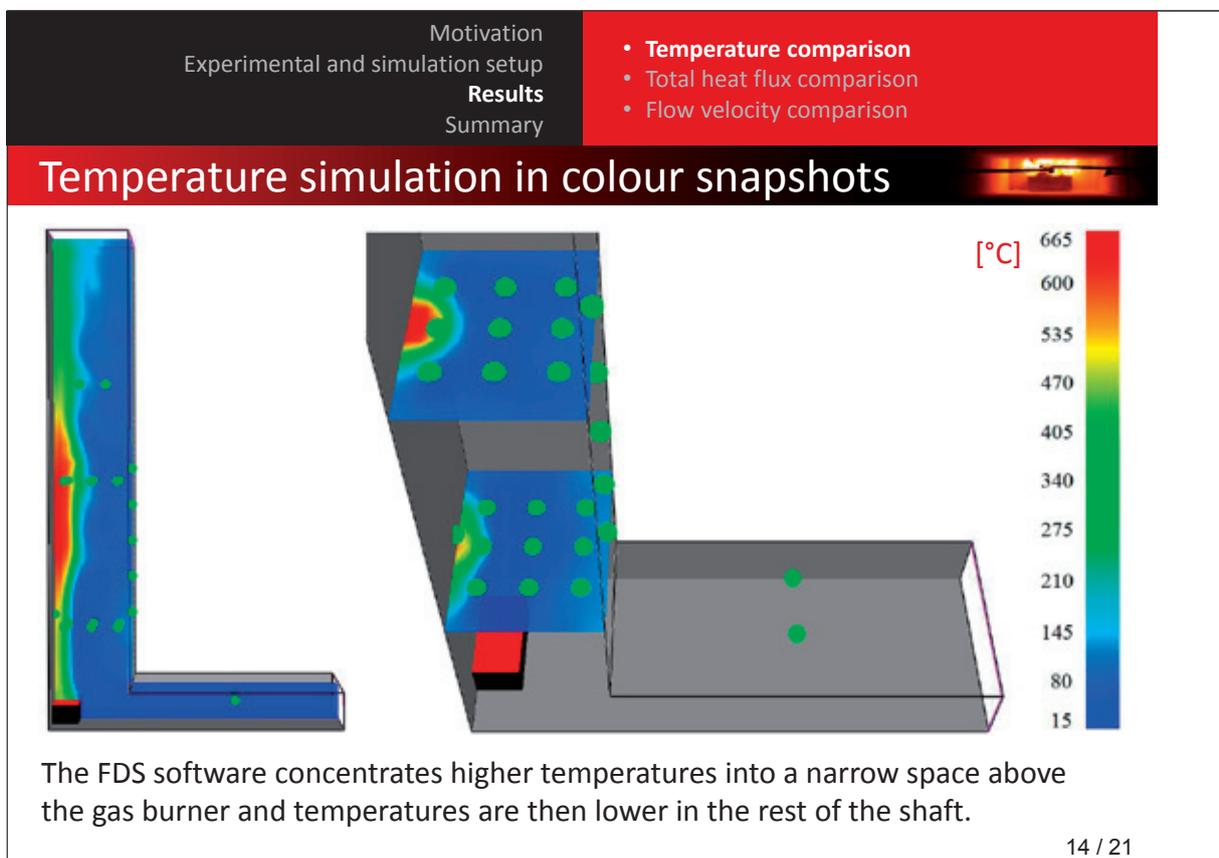
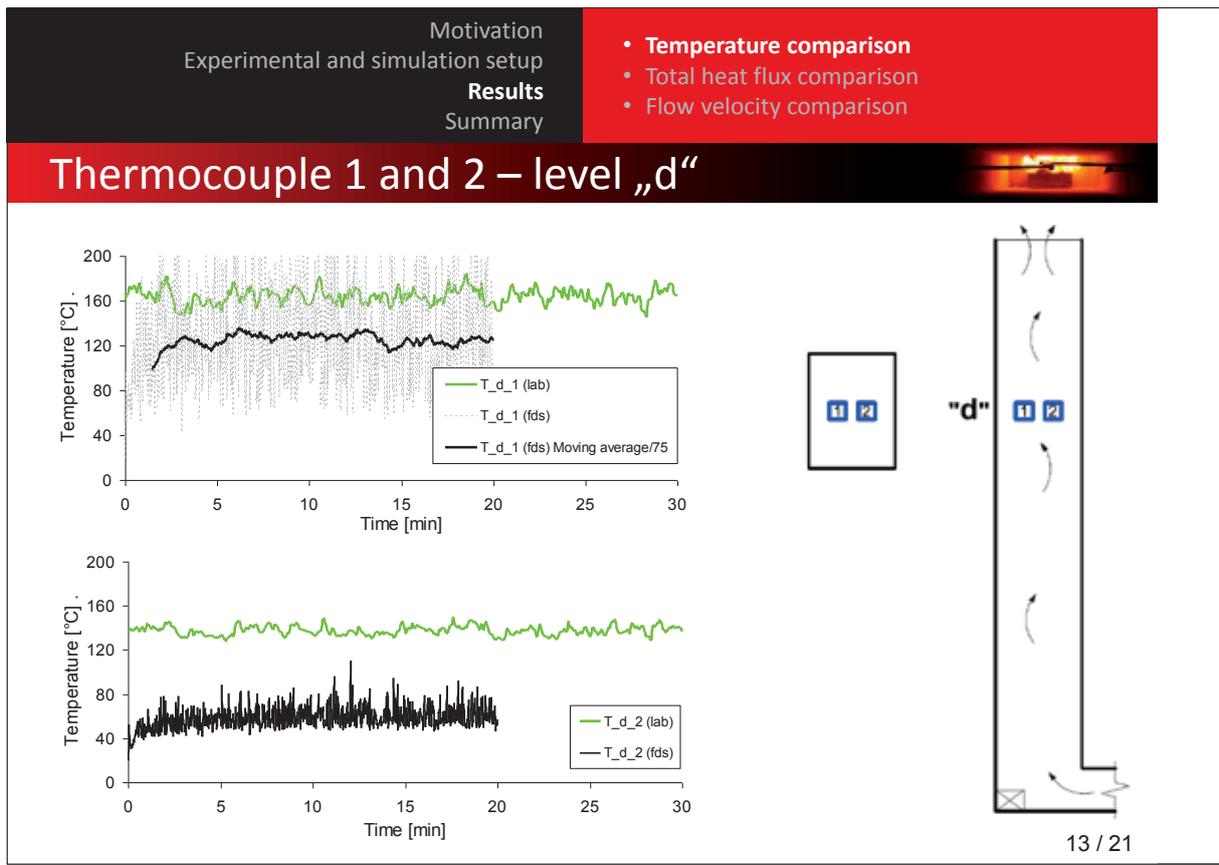
Motivation Experimental and simulation setup Results Summary	<ul style="list-style-type: none"> • Temperature comparison • Total heat flux comparison • Flow velocity comparison
--	---

Thermocouple 2 – level „b“ and „d“

→ (lab) = laboratory data
→ (fds) = simulation data

12 / 21

89



Motivation
Experimental and simulation setup
Results
Summary

- Temperature comparison
- **Total heat flux comparison**
- Flow velocity comparison

Heat flux sensor F_1 – F_5

TOTAL (GAUGE) HEAT FLUX (kW/m ²)			
Sensor position	Laboratory measurement	FDS 5.2.2 sim (20 th minute)	FDS 6 (B 9262) sim (20 th minute)
F_1	15.5	16.5	13
F_2	12.0	15.0	8.7
F_3	8.0	12.2	5.5
F_4	5.5	8.7	3.4
F_5	4	5.5	2.2

15 / 21

Motivation
Experimental and simulation setup
Results
Summary

- Temperature comparison
- Total heat flux comparison
- **Flow velocity comparison**

Flow velocity probe 1 and 2, level „d“

16 / 21

Motivation Experimental and simulation setup Results Summary	<ul style="list-style-type: none"> • Temperature comparison • Total heat flux comparison • Flow velocity comparison
--	---

Flow velocity probe 1 and 2, level „a“

17 / 21

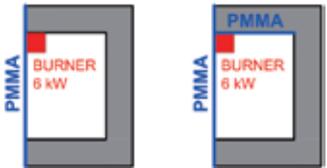
Motivation Experimental and simulation setup Results Summary	<ul style="list-style-type: none"> • Conclusion • Current work
--	--

Outline

- 1) Motivation**
 - Plumbing shafts and fire spread risk
 - Structural solution of shafts
- 2) Experimental and simulation setup**
 - Shaft model
 - Measuring devices
 - Simulation
- 3) Results**
 - Temperature, flow velocity and heat flux comparison
- 4) Summary**

18 / 21

Motivation Experimental and simulation setup Results Summary	<ul style="list-style-type: none"> • Conclusion • Current work
<h2 style="margin: 0;">Conclusion</h2>	
<p>In comparison with laboratory measurements, the FDS software predicts:</p> <ul style="list-style-type: none"> • markedly lower values of temperatures at 19 of 20 measuring points → FDS concentrates higher temperatures into a narrow fire plume above the gas burner • slightly lower values of the flow velocity at all 4 measuring points • increasing values of the heat flux at all 5 measuring points due to increasing temperatures of the shaft walls 	
19 / 21	

Motivation Experimental and simulation setup Results Summary	<ul style="list-style-type: none"> • Conclusion • Current work
<h2 style="margin: 0;">Current work</h2>	
	<p>Modification of the shaft model for:</p> <ul style="list-style-type: none"> • FLAME SPREAD PROPAGATION – a continuous shaft model with PMMA slabs installed (PolyMethyl-MethAcrylate) → front wall and front + side walls <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 10px 0;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> • SMOKE SPREAD – a separated shaft model → a ceiling barrier with an opening is installed on the top of the shaft 
20 / 21	

Motivation
Experimental and simulation setup
Results
Summary

- Conclusion
- **Current work**

Current work at HSH



- **Inlet part** –
Extended to improve flow conditions
- **Other changes**
- Fuel types:
 - Methane
 - Propane
- 4 new heat flux meters (better accuracy) and shorter time

21 / 21

Gregor Jäger:

Vergleichende Anwendung von FDS+Evac in den FDS-Versionen 5 und 6

Abstract:

Im Rahmen dieses Beitrags werden Neuerungen zwischen FDS 5 und FDS 6 vorgestellt und deren Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse anhand von Detailuntersuchungen vergleichend erläutert.

Eine Basis-Untersuchung zur Bewegung von Personen entlang von Wänden unterschiedlicher Ausführung (gerade Wand, Sägezahn-Wand) ermöglicht grundlegende Aussagen zur Bewertung von Wandtypen hinsichtlich der Bewegungsgeschwindigkeit.

Bereits seit Evac 2.2.0 (FDS 5) ist ein counterflow-Modell zur Betrachtung von Gegenströmen implementiert. Es ermöglicht die Nutzung von Fluren durch Personen mit unterschiedlichen Fluchrichtungen (vgl. Abb. 1).

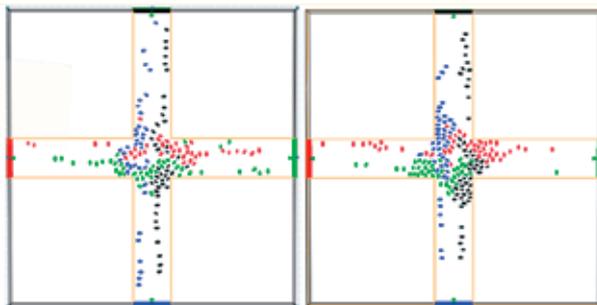


Abbildung 1: counterflow-Modell - Kreuzung, links in FDS 5, rechts in FDS6

Mit Einführung von FDS 6 wurde die Nutzung von Türen ohne Tür-Auswahl-Algorithmus dahingehend geändert, dass bei vollständig sichtbaren Türen diese direkt angesteuert werden. Die Akteure weichen dann vom Strömungsfeld ab und bewegen sich direkt auf die Tür zu, so dass sich i. d. R. ein realistischeres Bewegungsbild als in vorangegangenen Versionen ergibt.

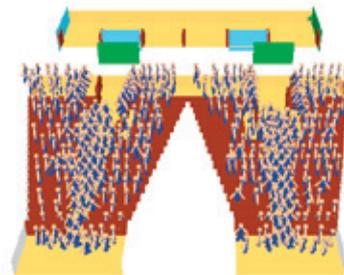
Neu ist zudem die Verschließbarkeit vordefinierter Ausgänge. Das Warten vor verschlossenen Türen kann dann über Aufenthaltsflächen definiert werden. Dieses Modell soll u. a. die Verwendung von Aufzügen im Rahmen von Personenstromsimulationen ermöglichen.

Derzeit noch nicht zur Anwendung geeignet ist ein so genanntes falling down model. Dieses ist ein aktueller Forschungsbestandteil, der jedoch einen interessanten Ausblick auf die praktische Auswertung von interpersonellen Kräften gibt, die der Bewertung der Evakuierungssicherheit in Zukunft dienen könnten.

Die Autoren zeigen durch verschiedene Detailbetrachtungen, dass die zukünftige Version von FDS 6 + FDS+Evac deutliche Verbesserungen in der Personenstrombewegung gegenüber FDS 5 + FDS+Evac beinhaltet.



Vergleichende Anwendung von FDS+Evac 2.3.1 (FDS 5) und 2.4.1 (FDS 6)



Gregor Jäger, BFT Cognos GmbH, Aachen
Sören Schelter, BFT Cognos GmbH, Aachen

Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

FDS-Usergroup 12/2008



VORLÄUFIGE ERGEBNISSE EA-Projekt Analyse

Analyse senden an:	email@rimea.de
Betreffzeile:	Analyse

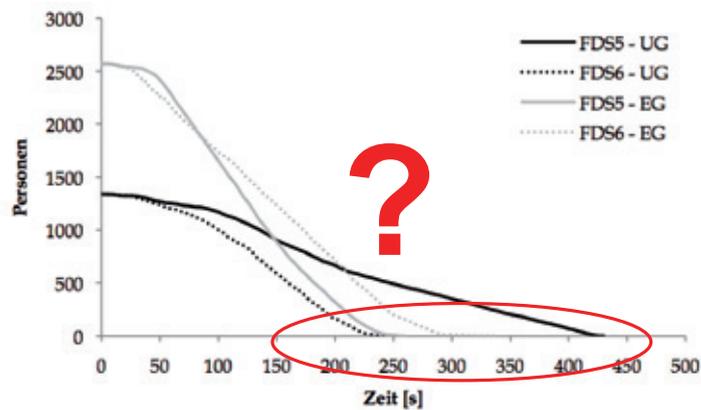
Absender	
Name:	Gregor Jäger
Unternehmen:	Fachhochschule Köln
Adresse:	Betzdorfer Str. 2
Land, PLZ, Ort:	Deutschland, 50679 Köln
URL:	http://www.f09.fh-koeln.de/institute/iav
Email:	gregor.jaeger@smail.fh-koeln.de
Datum:	03.06.2008

Softwaredaten	
Programmname:	FDS+Evac
Hersteller:	NIST, VVT
Version:	FDS 5.1.6 Serial, FDS+Evac 1.10 (SVN 1673 + 1710)

Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

Motivation



Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

Grundlage



Geometrie:

Raum mit
8 Ausgängen



Berlin, 10. - 11. November 2011

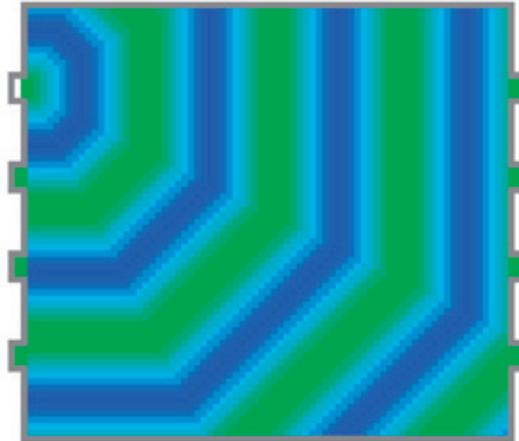
FDS|USERGROUP

Grundlage



Diskretisierung:

Beispiel PedGo



Berlin, 10. - 11. November 2011

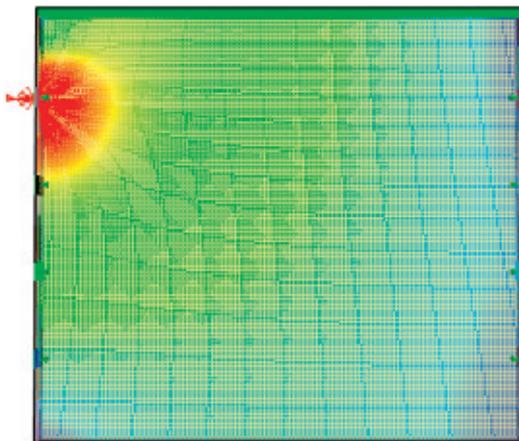
FDS|USERGROUP

Grundlage



Diskretisierung:

Beispiel FDS+Evac



Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

Türauswahl



FDS 5:

KNOWN_DOOR =

KNOWN_DOOR_PROBS =

Person folgt Strömungsfeld und spieltheoretischem Ansatz

Präferenz	sichtbar	vertraut	störende Bedingungen
1	ja	ja	nein
2	nein	ja	nein
3	ja	nein	nein
4	ja	ja	ja
5	nein	ja	ja
6	ja	nein	ja
keine	nein	nein	nein
keine	nein	nein	ja

Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

Türauswahl



FDS 6 - Herdenverhalten

&PERS

I_HERDING_TYPE =

- 0: Person folgt dem Strömungsfeld, sobald keine Tür gefunden werden kann, werden andere Personen auf mögliche gefundene Türen überprüft
- 1: erste Wahl einer der gewählten Tür über eine andere Person wird beibehalten - kein weiterer Abgleich
- 2: Person bleibt so lange stehen, bis eine Tür ermittelt werden kann - keine weiterer Abgleich
- 3: Person bleibt so lange stehen, bis eine Tür über eine andere Person ermittelt werden kann - Wahl wird beibehalten

Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

Türauswahl



FDS 6 - Türauswahl

&EVAC

AGENT_TYPE =

- 1: rational handelnde Person: bekannte und sichtbare Tür
- 2: zunächst wird die bekannte, danach die sichtbare Tür gewählt
- 3: es wird der Türauswahl anderer Personen gefolgt, wenn keine bekannte Tür gefunden wurde

Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

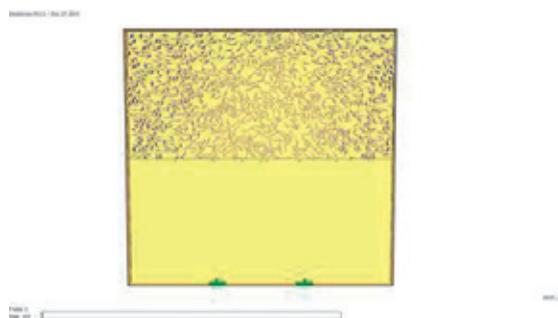
Türauswahl - Standard



FDS 5



FDS 6



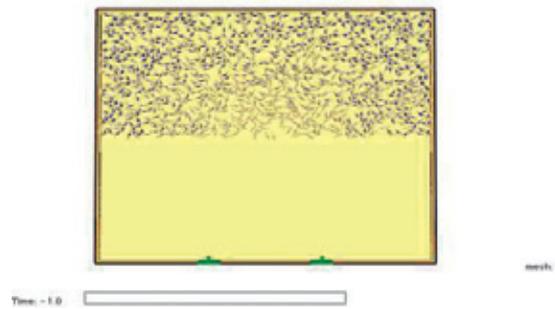
Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

Türauswahl - Herdenphänomen



FDS 6



Berlin, 10. - 11. November 2011

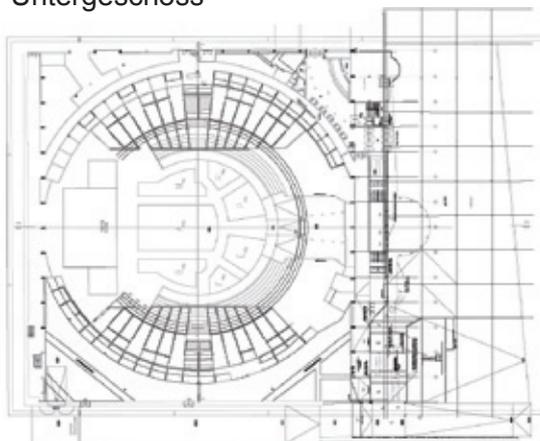
FDS|USERGROUP

Anwendungsbeispiel

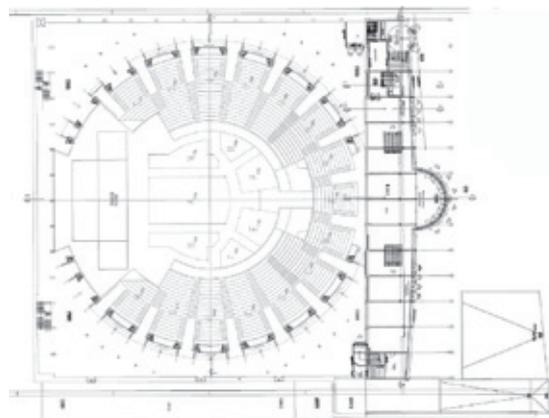


Mehrgeschossige Versammlungsstätte

Untergeschoss



Erdgeschoss



Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

Anwendungsbeispiel



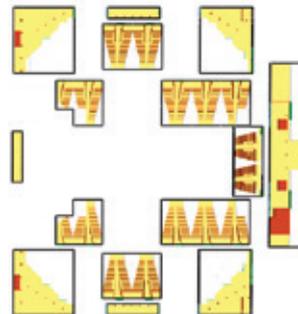
Mehrgeschossige Versammlungsstätte - Geometrie in FDS

Untergeschoss

Smokeview 5.8.2 - Dec 27 2011



Erdgeschoss



Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

Anwendungsbeispiel



Mehrgeschossige Versammlungsstätte – Vergleich Untergeschoss

FDS 5.5.3 + FDS+Evac 2.3.1

Smokeview 5.8.2 - Dec 27 2011



Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

Anwendungsbeispiel



Mehrgeschossige Versammlungsstätte – Vergleich Untergeschoss

FDS 6 + FDS+Evac 2.4.x



Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

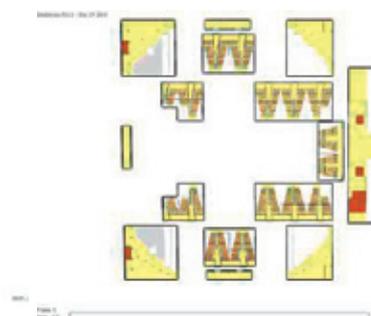
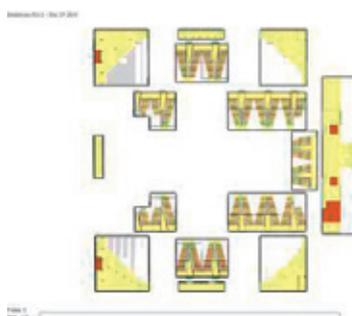
Anwendungsbeispiel



Mehrgeschossige Versammlungsstätte – Vergleich Erdgeschoss

FDS 5.5.3 + FDS+Evac 2.3.1

FDS 6 + FDS+Evac 2.4.x



Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

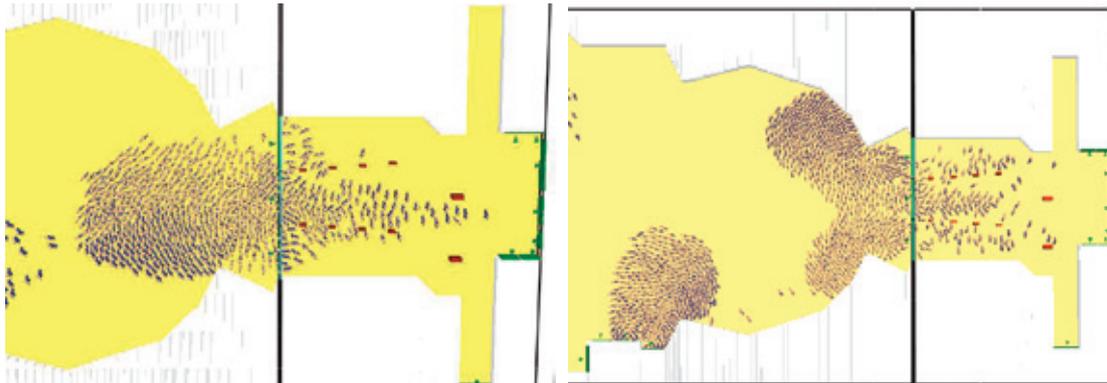
Anwendungsbeispiel



Mehrgeschossige Versammlungsstätte - Vergleich

FDS 5.5.3 + FDS+Evac 2.3.1

FDS 6 + FDS+Evac 2.4.x



Berlin, 10. - 11. November 2011



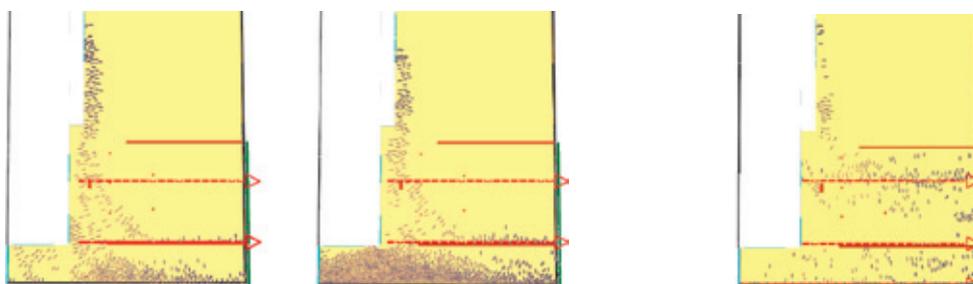
Anwendungsbeispiel



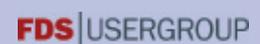
Mehrgeschossige Versammlungsstätte - Vergleich

FDS 5.5.3 + FDS+Evac 2.3.1

FDS 6 + FDS+Evac 2.4.x



Berlin, 10. - 11. November 2011



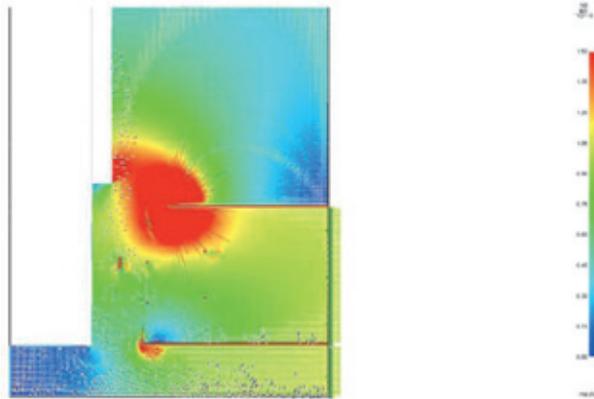
Anwendungsbeispiel



Mehrgeschossige Versammlungsstätte - Vergleich

FDS 5.5.3 + FDS+Evac 2.3.1

FDS 6 + FDS+Evac 2.4.x



Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

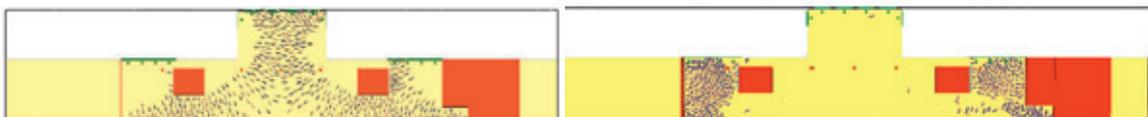
Anwendungsbeispiel



Mehrgeschossige Versammlungsstätte - Vergleich

FDS 5.5.3 + FDS+Evac 2.3.1

FDS 6 + FDS+Evac 2.4.x



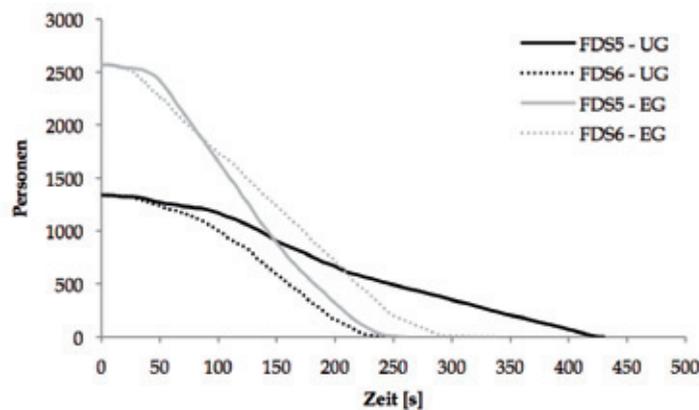
Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

Anwendungsbeispiel



Mehrgeschossige Versammlungsstätte - Vergleich



Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP

Fazit



- Berechnungen mit FDS+Evac 2.2.1 und FDS+Evac 2.4.1 führen zu deutlich voneinander abweichenden Ergebnissen, insbesondere in der
 - Türauswahl
 - Wegwahl
- Augenscheinlich erscheinen die Ergebnisse mit FDS+Evac 2.4.x plausibel und realistischer als mit FDS+Evac 2.2.1
- Steigende Anforderungen an
 - Anwender,
 - Sachverständige,
 - abnehmende Stelle (Brandschutzdienststelle, Behörde)

Berlin, 10. - 11. November 2011

FDS|USERGROUP



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Berlin, 10. - 11. November 2011

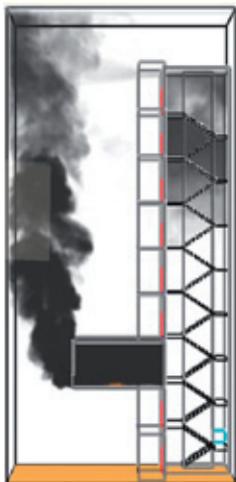
FDS|USERGROUP

Boris Stock:

Ein Beitrag zur Simulation druckbelüfteter Treppenräume

Abstract:

Druckbelüftete Treppenräume stellen beispielsweise bei Erneuerungen von Bestandsbauten oder Neubau von Hochhäusern eine wichtige Möglichkeit der Ausbildung sicherer Fluchtwege dar.



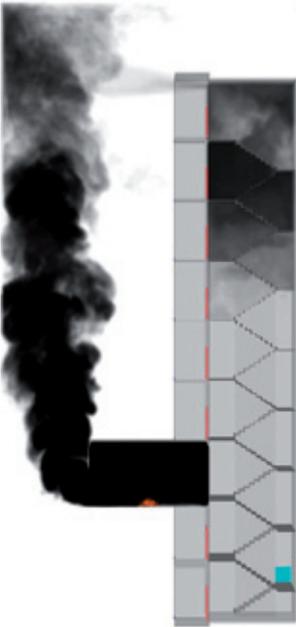
Dabei spielt bereits in der Planungsphase die Bemessung des erforderlichen Volumenstroms bzw. der grundsätzliche Funktionsnachweis bei Abweichungen von den Vorgaben zur Ausbildung der Anlage eine entscheidende Rolle.

Im Rahmen des Vortrags wird anhand eines Beispiels aus der Praxis untersucht, inwiefern die Simulationssoftware FDS geeignet ist, den erforderlichen Volumenstrom zu bemessen.

Die folgenden Punkte werden behandelt:

- Kann FDS die automatische Regelung der Anlage steuern?
- Wie genau kann FDS die bei der Abnahme gemessenen Druckverläufe abbilden?
- Praktische Hinweise für den Anwender
- Zusammenfassung der bestehenden Probleme

Ein Beitrag zur Simulation druckbelüfteter Treppenträume mit Fire Dynamics Simulator

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

Berlin, 10. - 11. November 2011
FDS|USERGROUP

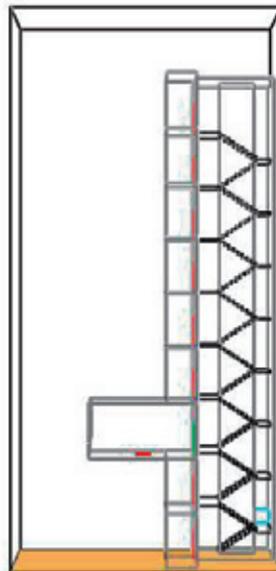
Fragestellung

- Welche Genauigkeit ist bei der Auslegung von Rauchschutzdruckanlagen mit FDS erreichbar?
- Besteht die Möglichkeit die Drucksteuerung automatisiert umzusetzen?



FDS|USERGROUP

Hintergrund



FDS|USERGROUP

Hintergrund



DIN EN 12101-6: 2005 „Rauch- und Wärmefreihaltung Festlegungen für Differenzdrucksysteme“ definiert die Anforderungen an verschiedene Klassen von Differenzdrucksystemen

Anlagenklasse	Anwendungsbeispiele
Klasse A-System	für Eigenrettungsmaßnahmen, Schutz vor Ort
Klasse B-System	für Eigenrettungsmaßnahmen und zur Brandbekämpfung
Klasse C-System	für Eigenrettungsmaßnahmen bei gleichzeitiger Fremdrettung
Klasse D-System	für Eigen-Rettungsmaßnahmen über längeren Zeitraum
Klasse E-System	für Eigenrettungsmaßnahmen bei in Phasen gesteuerter Fremdrettung
Klasse F-System	Brandbekämpfungssystem und Eigen-Rettungsmaßnahmen

Kriterien:

- Strömungsgeschwindigkeit durch die offene Tür 0,75 m/s bis 2,0 m/s
- Druckdifferenz max. 50 Pa \pm 10%
- mit oder ohne Schleuse

FDS|USERGROUP

Bemessung



Verwaltungsvorschrift NRW (ausgelaufen)

> 20.000 m³/h

Seegersche Formel: $V_L = k \cdot b \cdot h^{1,5}$ [m³/s] (mit Schleuse)

k mit notwendigem Flur 1,5,
ohne notwendigen Flur 1,8

b · h Breite · Höhe

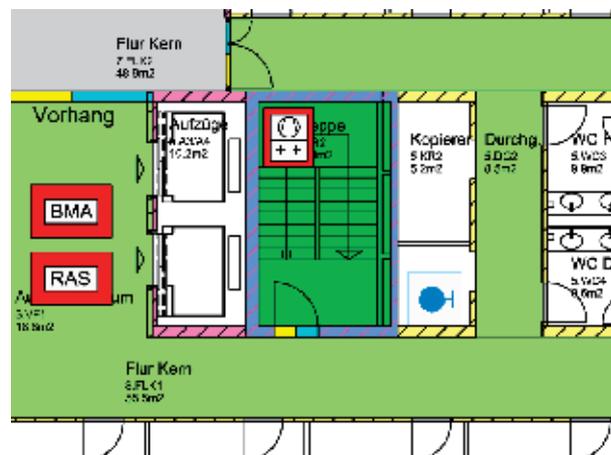
DIN EN 12101-6

RDA-Arbeitskreis kritisiert DIN weitgehend, bauaufsichtlich nicht eingeführt.

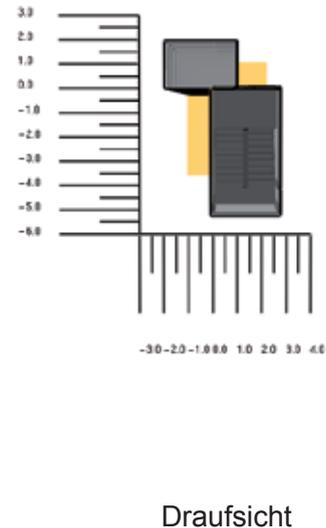
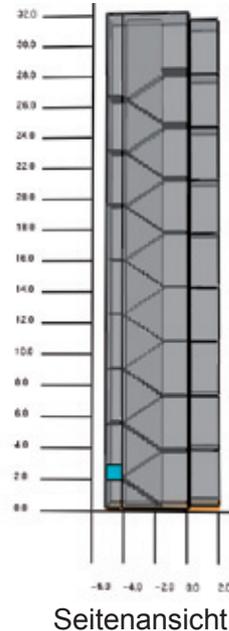
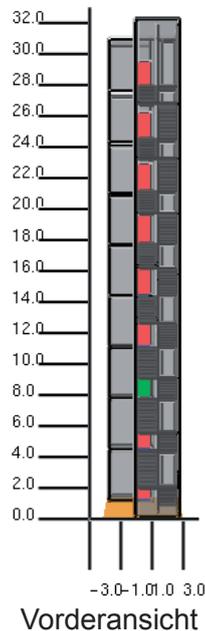
Testobjekt



- Bestehendes Verwaltungsgebäude
- Baujahr abschnittsweise zwischen 1965 und 1996
- Länge ca. 66,75 m, Breite ca. 13,3 m,
- Höhe Fußboden 8. Obergeschoss ca. 29,5 m
- 1 Untergeschoss, 8 Obergeschosse
- Abnahme der RDA 2011 mit Messung des Druckverlaufs
- Volumenstrom 15.000 m³/h
- Druckhaltung über Regelung des Ventilators



Modell



FDS|USERGROUP

Modellparameter



- 1 MESH → Drucklöser
- Ausbildung von Druckzonen → Erhöhung des Hintergrunddrucks (ZONE)

$$p(\mathbf{x}, t) = \bar{p}_m(z, t) + \tilde{p}(\mathbf{x}, t)$$

- Definition von Leckageraten → Undichtigkeiten (LEAK)
- anstatt 30x OBST, 1x MULT

```
&MULT ID='Stufe', DX=+0.2, I_LOWER=0., I_UPPER=6.,
      DZ=+0.1, K_LOWER=0., K_UPPER=3. /
&OBST XB=0.0,0.2,1.0,2.0,0.0,0.1, SURF_ID='CONCRETE', MULT_ID='Stufe' /
```

FDS|USERGROUP

Auswertung und Interaktion

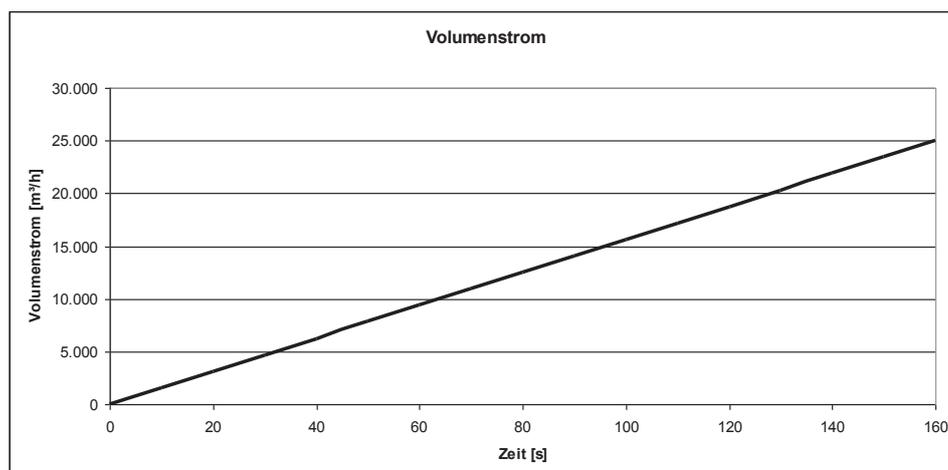


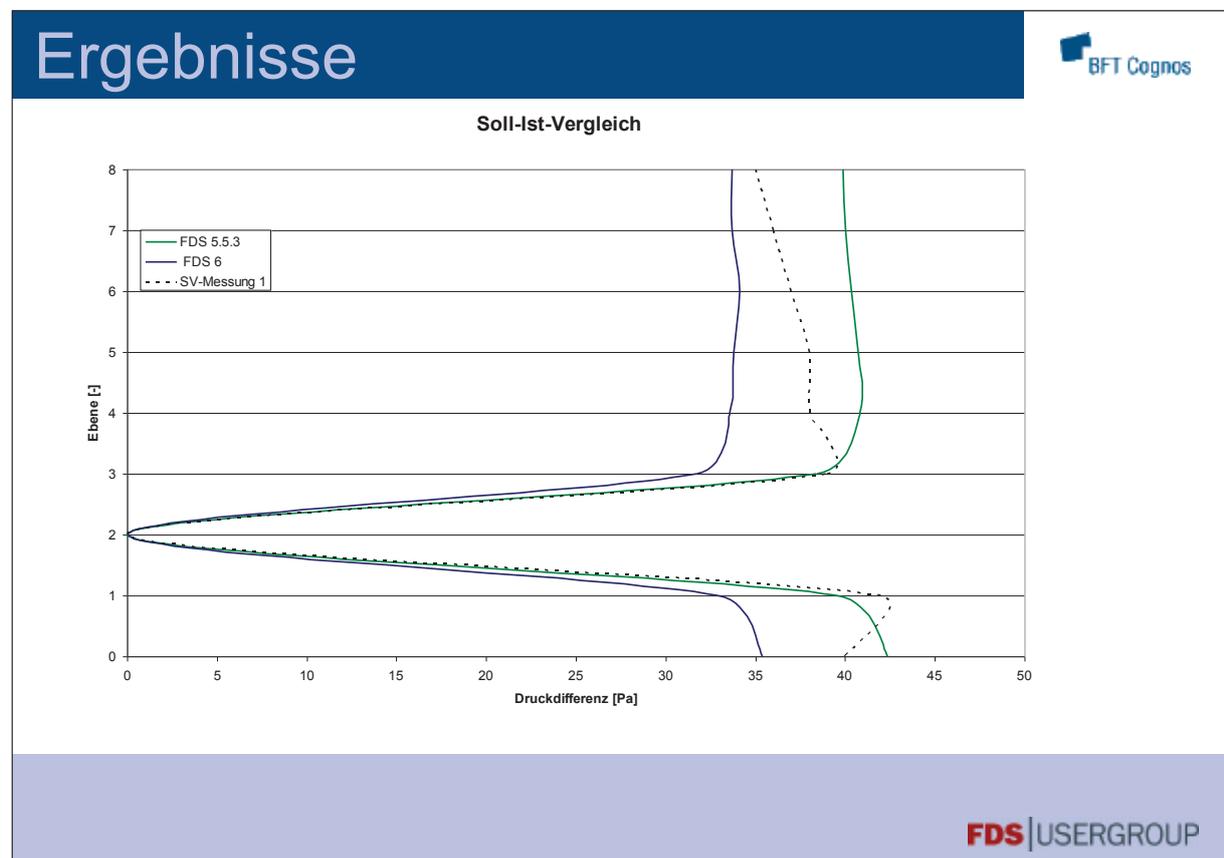
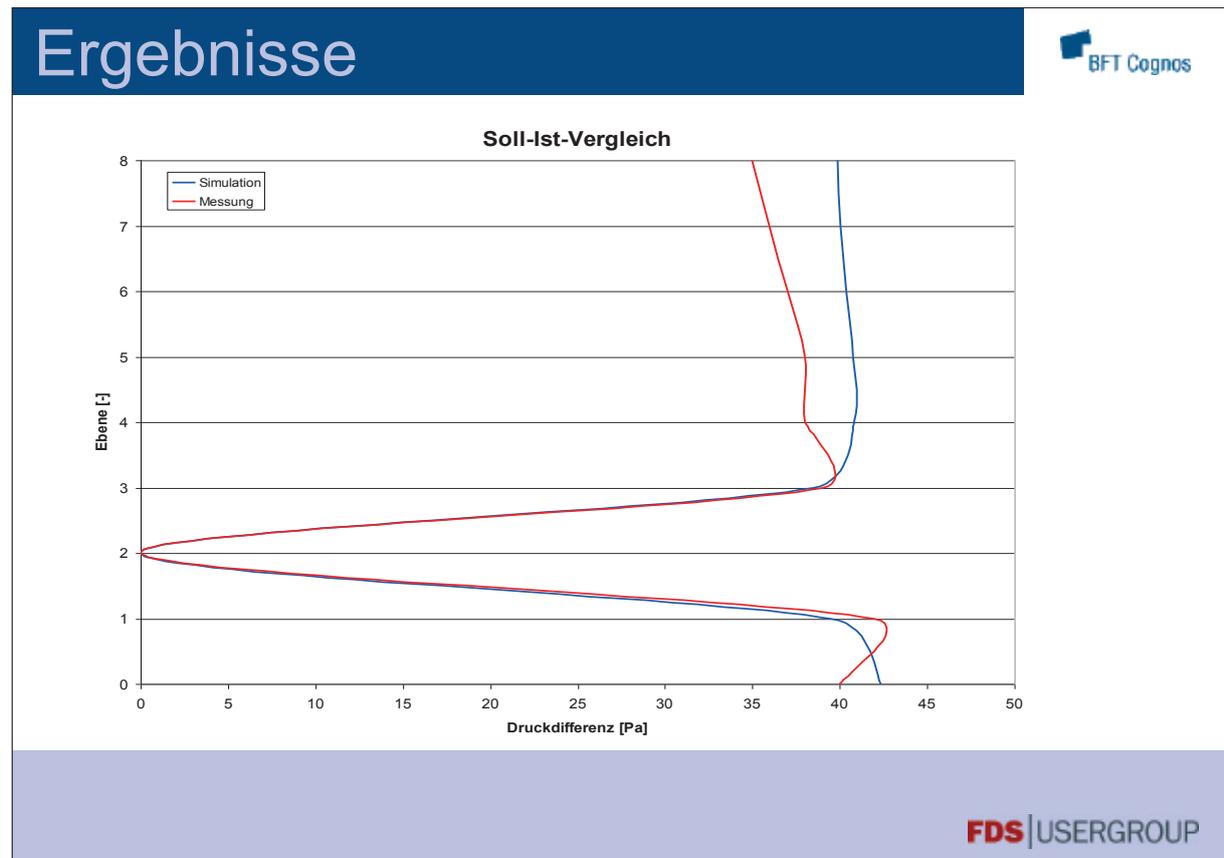
- Statistische Auswertung:
&DEVC XB=2.3,4.5,2.8,6.7,3.6,7.8, QUANTITY='PRESSURE', ID='maxP',
STATISTICS='MAX' / 'MIN', 'MEAN', 'VOLUME MEAN', ...
- Interaktion/automatisches Einregeln durch Ansteuerung der Klappe oder des Volumenstroms: CTRL sehr leistungsfähig (ANY, ALL, ONLY, AT_LEAST), funktioniert nicht per se, sondern erfordert Vorentscheidungen vom Nutzer.
→ Druckstöße
- KILL wäre eine Lösung, aber wenig elegant.

Auswertung und Interaktion



- Lösung: Volumenstrom kontinuierlich anwachsen lassen und Druckdifferenzen bzw. Strömungsgeschwindigkeiten messen (Abströmfläche respektive)





Ergebnisse



„Die Leckrate der Tür bei einer Druckdifferenz während der Prüfung zwischen 10 Pa und 50 Pa darf nach DIN EN 135012 sowohl bei Umgebungstemperatur als auch bei einer Temperatur des Prüfmediums Luft von 200°C nicht größer sein als 20 m³/h bei einflügeligen Rauchschutztüren,...“

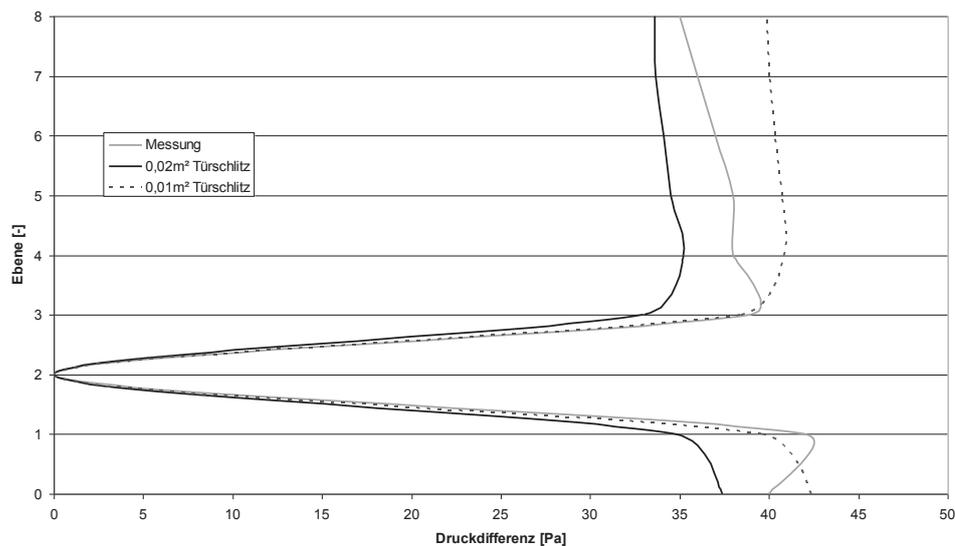
$$\dot{V}_{\text{leak}} = A_L \text{sign}(\Delta p) \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho_{\infty}}}$$

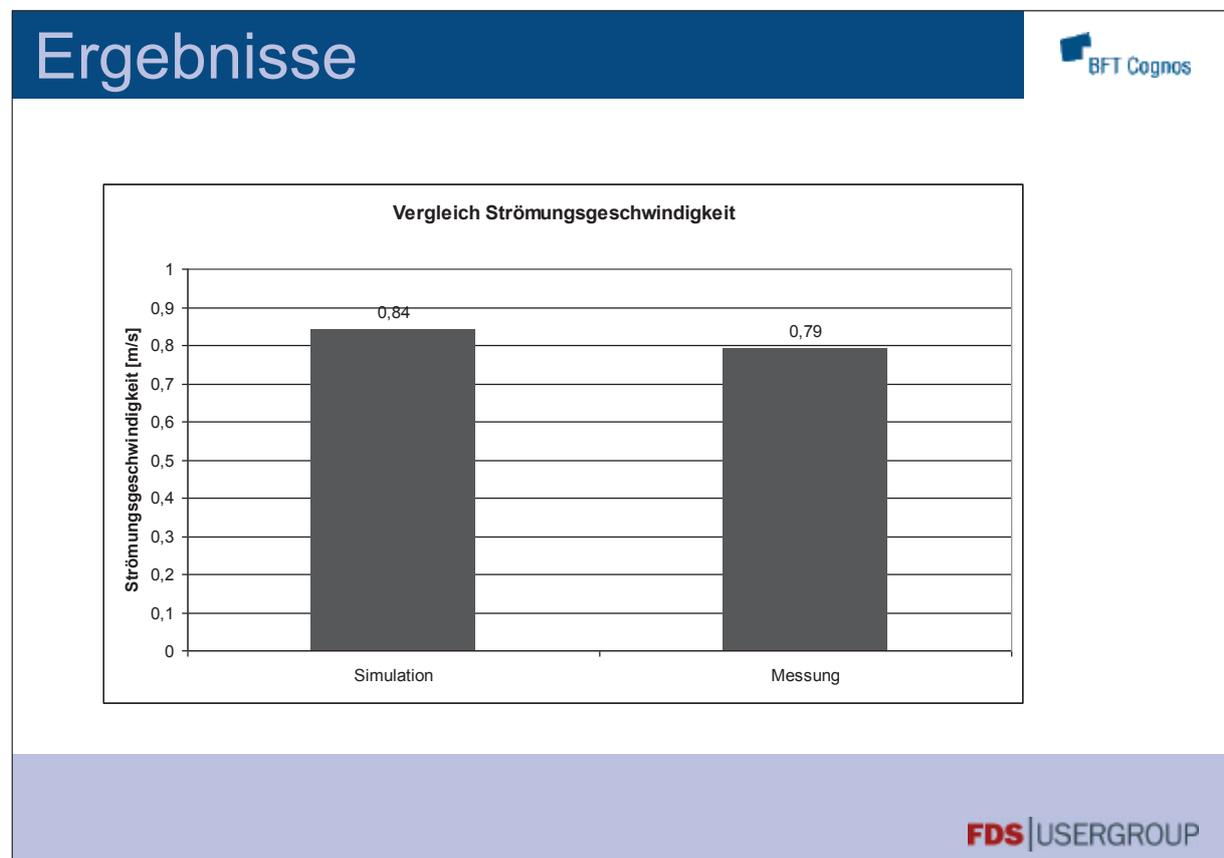
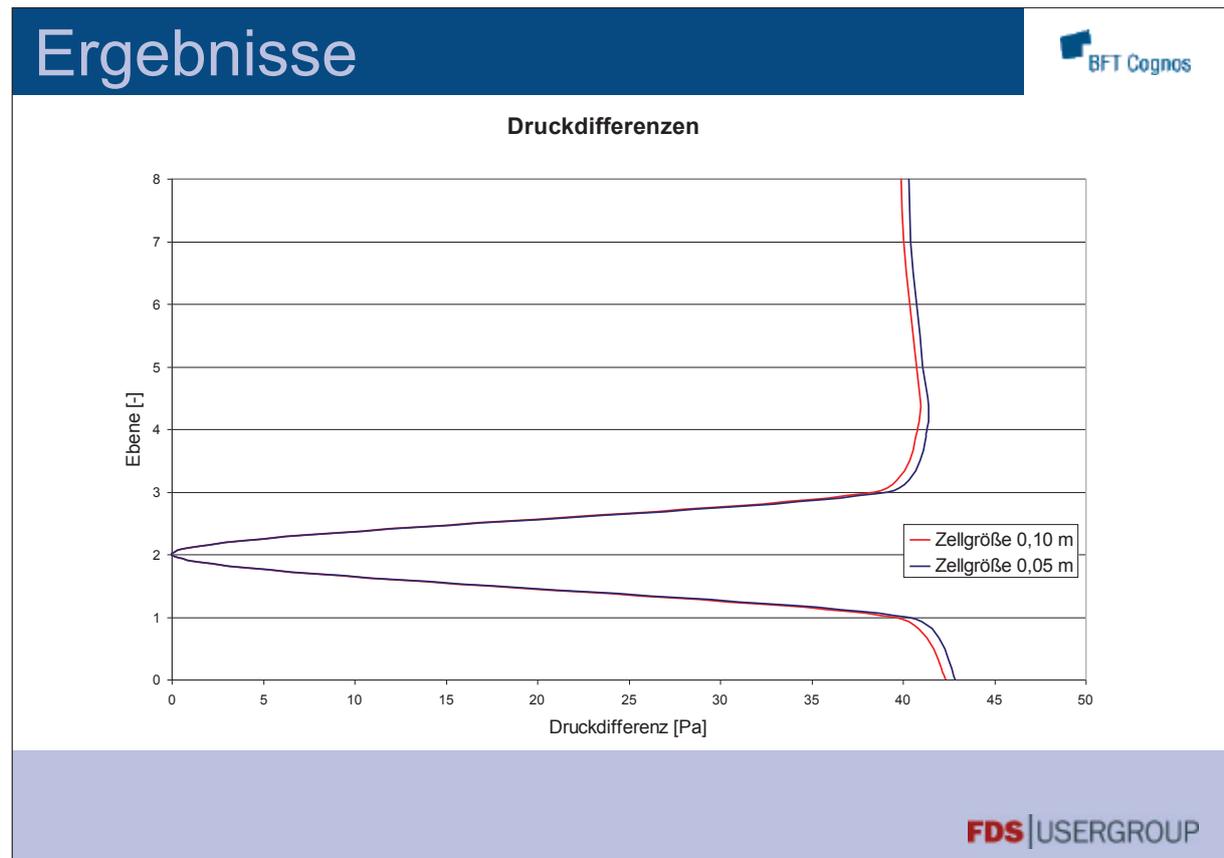
$$A_L \approx 6,3 \text{ cm}^2$$

Ergebnisse

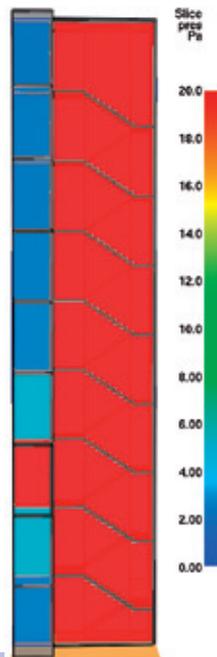


Druckdifferenz in Abhängigkeit von Leckagen





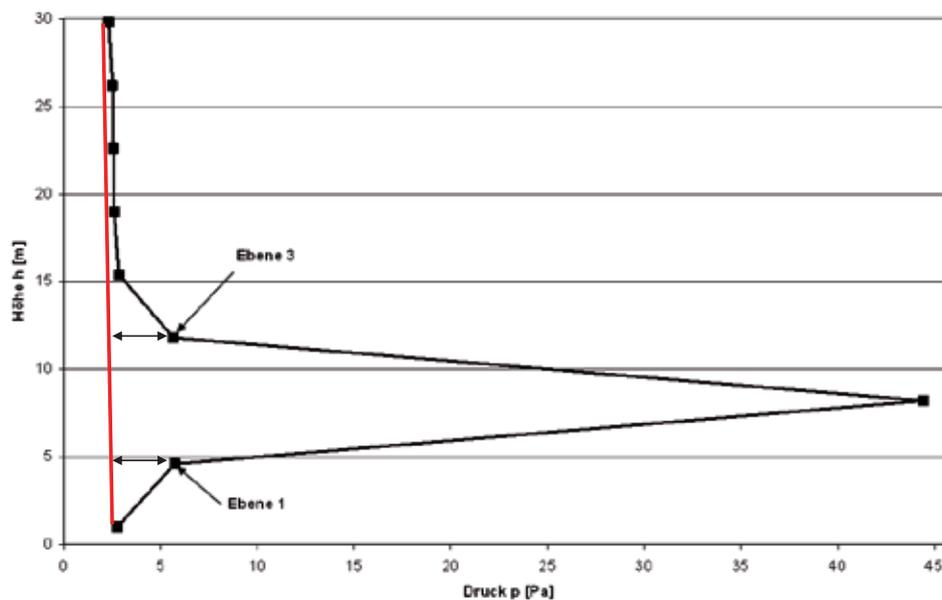
Druckproblem

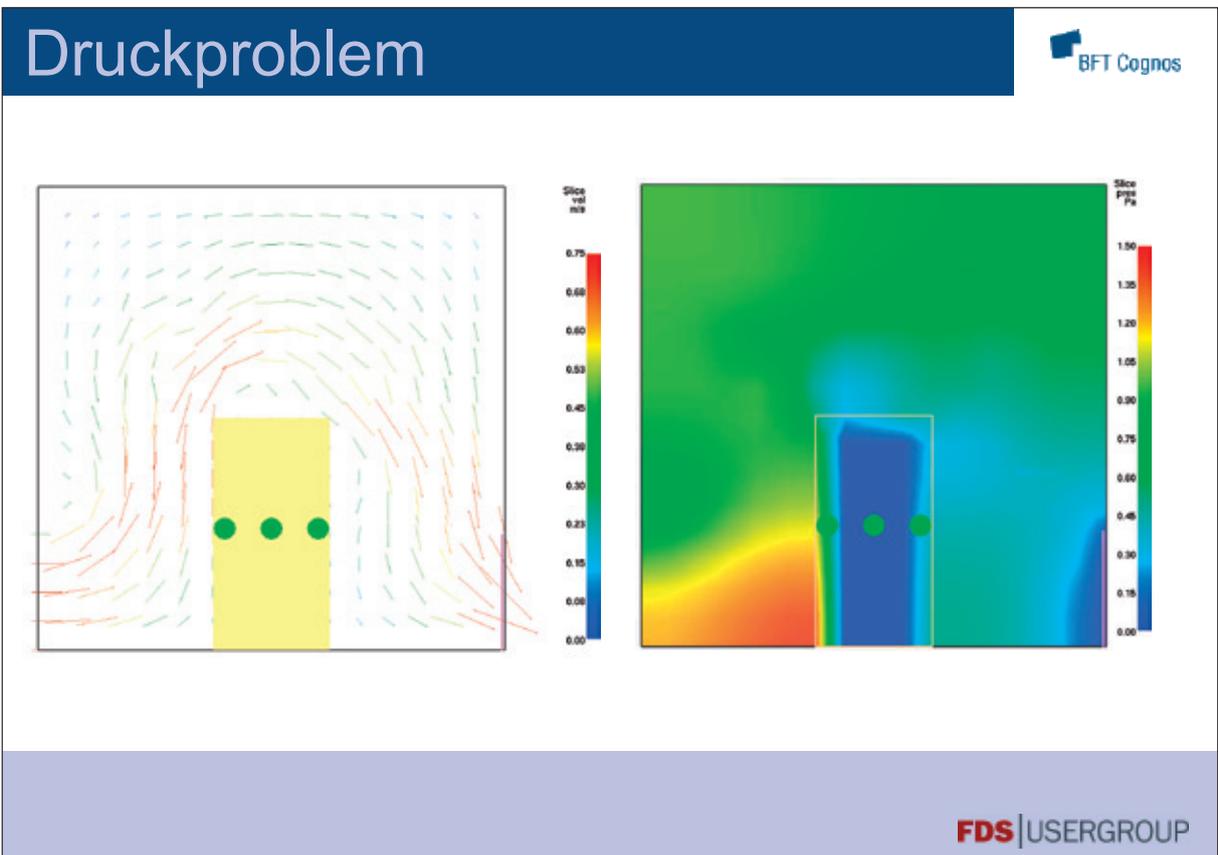
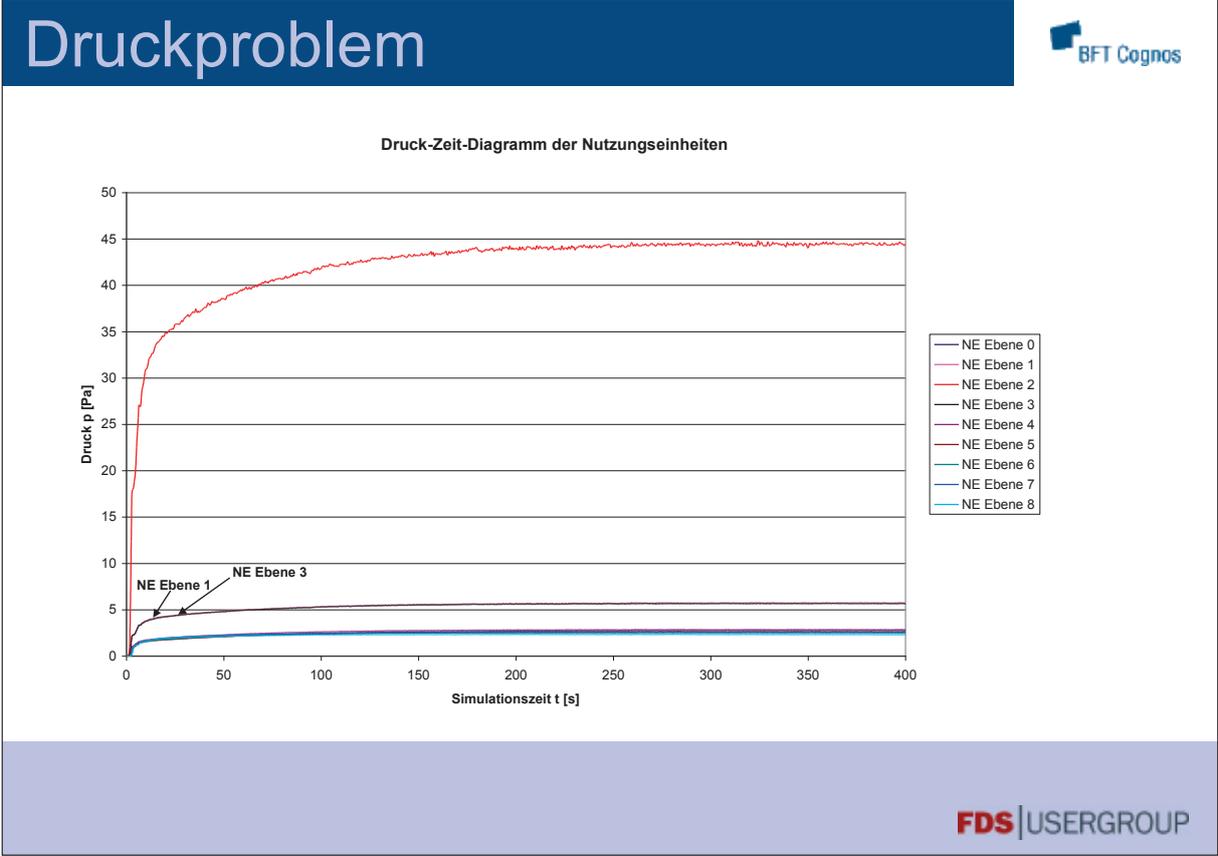


Druckproblem



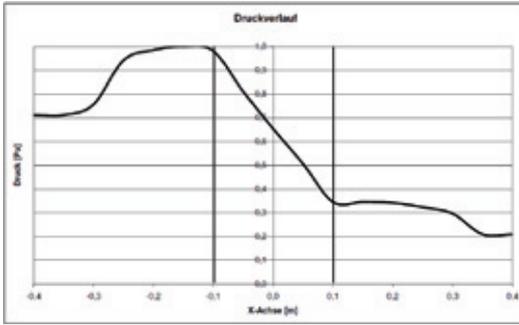
Druckverlauf in den Nutzungszeiten über Höhe h

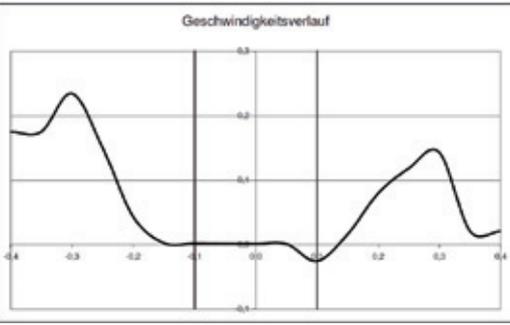


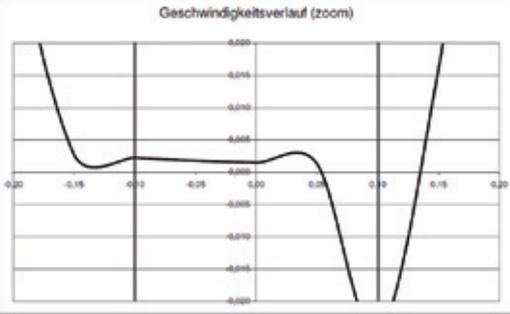


Druckproblem











Druckproblem



„The pressures above and below the room increase slightly. This is due to the fact that the pressure solver used in FDS allows us to specify the exact boundary conditions only at the external boundaries of the computational domain (the XB on your MESH line). Inside the domain, the pressure boundary condition is only approximate. When the door to the room opens, there is a fairly sudden increase in the room pressure. Because the boundary conditions are not perfect at the floor and ceiling of this room, there is also a slight increase in pressure across the solid obstructions.
 Susan Kilian can provide some more details of this phenomena if you are interested. She is working on ways to improve the pressure solver.“

Kevin McGrattan

1 - 1 of 1 List | Grid

ID	Type	Status	Priority	Milestone	Owner	Summary + Labels
★ 1423	Defect	WontFix	Medium	----	mcgra...@gmail.com	Question about pressure zones: pressure rise



Fazit



- Fehler im Bereich von < 5 Pa im Vergleich zu der Messung
- Randbedingungen können einen signifikanten Einfluss haben.
- Weitere Untersuchung: Schrägen in FDS 6.x, Interaktion, HVAC, ROUGHNESS, ...
- Eine echte Automatisierung ist den Autoren bisher nicht gelungen (Druckstöße).
- Im Bereich großer Druckgradienten bestehen Probleme.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Andreas Vischer:

Wärmeübertragung auf und in Bauteilen bei Brandsimulationen mit FDS

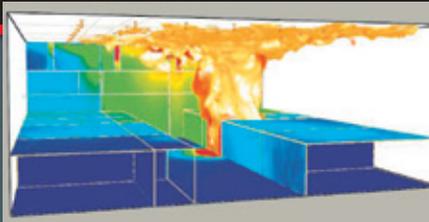
Abstract:

Die Auswirkungen der Wärmeübertragung auf Bauteile bei Brandsimulationen sowie die Eingabe- und Einflussparameter bzgl. der Bauteilerwärmung sind nach wie vor ein gefragtes Thema vieler FDS-User.

Nach einer kurzen Einleitung werden im folgenden Vortrag zunächst die in FDS implementierten Modelle der Wärmeübertragung zwischen Fluid und Festkörper sowie in Festkörpern erläutert. Dabei wird insbesondere auf die Eingabe- und Einflussparameter eingegangen. Die verwendeten Modelle der Wärmeübertragung beim neuen entwickelten Sub-Modell zur Berechnung der 3D-Wärmeübertragung in Bauteilen werden ebenfalls vorgestellt.

Weiterhin wird im Vortrag erläutert, welche Fragestellungen von FDS hinsichtlich der Wärmeübertragung bisher nicht berechnet werden können und daraus resultierende mögliche weitere Entwicklungsschritte aufgezeigt und zur Diskussion gestellt. Abschließend wird der Vortrag noch einmal zusammengefasst sowie ein Ausblick für mögliche zukünftige Entwicklungen hinsichtlich der Wärmeübertragung in Bauteilen gegeben.

5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup



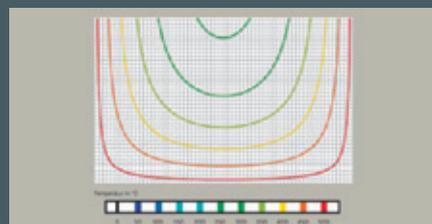
Brandsimulationen



Rauchsimulationen



Evakuierungssimulationen



Heißbemessung von Tragwerken

www.wijnveld-partner.de

5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Wärmeübertragung auf und in Bauteilen bei Brandsimulationen mit FDS

– Aufgaben, Lösungen und Weiterentwicklungen

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

www.wijnveld-partner.de

- 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Inhalt

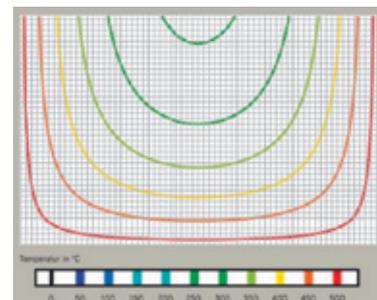
1. Einleitung
2. Modelle zur Wärmeübertragung – Von der Realität zur Lösung
3. Stand der Implementierung der entwickelten 3D-Modells
4. Weitere mögliche Entwicklungsschritte
5. Zusammenfassung und Ausblick

- 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

1. Einleitung

Warum ist die Berechnung der Wärmeübertragung auf und in Bauteilen so wichtig?

- Entziehung von Wärmeenergie im Brandraum
- Beeinflussung der Strömung
- Ermittlung der Oberflächen- und Bauteiltemperatur
- Bestimmung der Temperaturprofile in Bauteilen
- Berechnung des Wärmedurchganges durch Bauteile
- Entzündung von Bauteilen
- Nachweis / Heißbemessung von Bauteilen

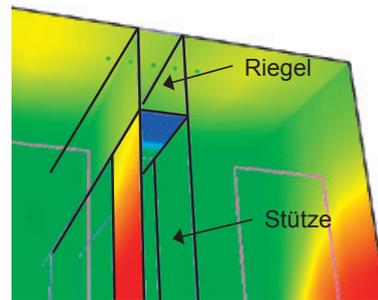
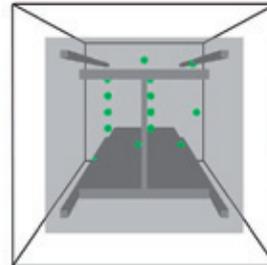


■ 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

1. Einleitung

Was berechnet FDS?

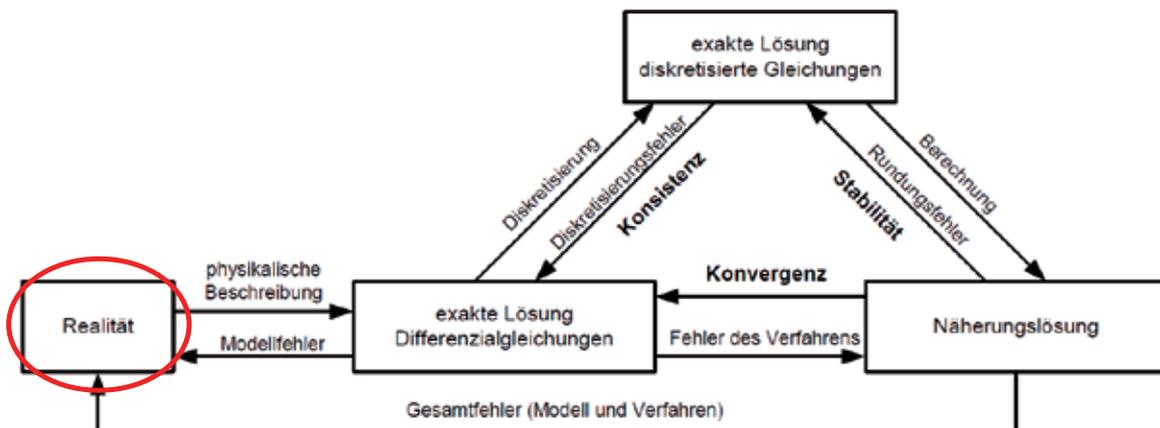
- Entzug der Wärmeenergie im Brandraum
- 1-dimensionale Wärmeleitung
- Wärmedurchgang durch Bauteile nur, wenn diese 1 Zelle dick
- Wärmeübertragung durch Konvektion, Strahlung und Leitung
- Wärmeübertragung zwischen zwei Bauteilen wird nicht berechnet



■ 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

2. Modelle zur Wärmeübertragung

von der Wirklichkeit zur Lösung des Modells:



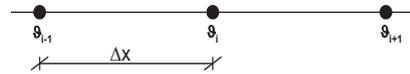
2. Modelle zur Wärmeübertragung – DGL

- Effekte der Wärmeübertragung werden in Wärmeleitung, Wärmekonvektion und Wärmestrahlung aufgelöst
- Wärmeleitung:
- Allgemeine DGL der Wärmeleitung (Temperaturgradient+Fourier+Energieerhaltung):

$$c(\vartheta) \rho \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \lambda(\vartheta) \nabla^2 \vartheta + \frac{d\lambda}{d\vartheta} \text{grad}^2 \vartheta + \dot{W}$$

- diskretisierte Gleichung in 1-D (Crank-Nicolson):

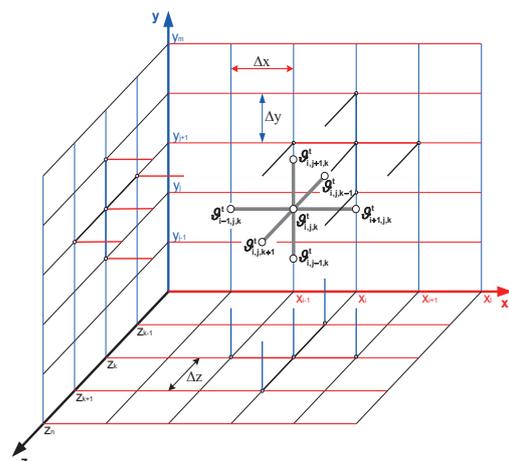
$$\frac{T_i^+ - T_i^-}{\Delta t} = \frac{1}{2 \cdot \rho \cdot c \cdot dx} \left(k_{i-,j} \frac{T_{i-1}^+ - T_i^+}{dx_-} + k_{i+,j} \frac{T_i^+ - T_{i+1}^+}{dx_-} + k_{i-,j} \frac{T_{i-1}^- - T_i^-}{dx_-} + k_{i+,j} \frac{T_i^- - T_{i+1}^-}{dx_-} \right)$$



- Lösung mit Rundungsfehlern, Berechnungsfehlern etc.

2. Modelle zur Wärmeübertragung – Diskretisierung

$$\begin{aligned} \frac{T_{i,j,k}^+ - T_{i,j,k}^-}{\Delta t} = & \frac{1}{2 \cdot \rho \cdot c \cdot dx} \left(k_{i-,j,k} \frac{T_{i-1,j,k}^+ - T_{i,j,k}^+}{dx_-} + k_{i+,j,k} \frac{T_{i,j,k}^+ - T_{i+1,j,k}^+}{dx_+} \right. \\ & \left. + k_{i-,j,k} \frac{T_{i-1,j,k}^- - T_{i,j,k}^-}{dx_-} + k_{i+,j,k} \frac{T_{i,j,k}^- - T_{i+1,j,k}^-}{dx_+} \right) \\ & + \frac{1}{2 \cdot \rho \cdot c \cdot dy} \left(k_{i,j,k-} \frac{T_{i,j-1,k}^+ - T_{i,j,k}^+}{dy_-} + k_{i,j,k+} \frac{T_{i,j,k}^+ - T_{i,j+1,k}^+}{dy_+} \right. \\ & \left. + k_{i,j,k-} \frac{T_{i,j-1,k}^- - T_{i,j,k}^-}{dy_-} + k_{i,j,k+} \frac{T_{i,j,k}^- - T_{i,j+1,k}^-}{dy_+} \right) \\ & + \frac{1}{2 \cdot \rho \cdot c \cdot dz} \left(k_{i,j,k-} \frac{T_{i,j,k-1}^+ - T_{i,j,k}^+}{dz_-} + k_{i,j,k+} \frac{T_{i,j,k}^+ - T_{i,j,k+1}^+}{dz_+} \right. \\ & \left. + k_{i,j,k-} \frac{T_{i,j,k-1}^- - T_{i,j,k}^-}{dz_-} + k_{i,j,k+} \frac{T_{i,j,k}^- - T_{i,j,k+1}^-}{dz_+} \right) \end{aligned}$$



7 Unbekannte in 3 Dimensionen

→ Lösung mit ADI-Verfahren nach Brian

■ 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

2. Modelle zur Wärmeübertragung

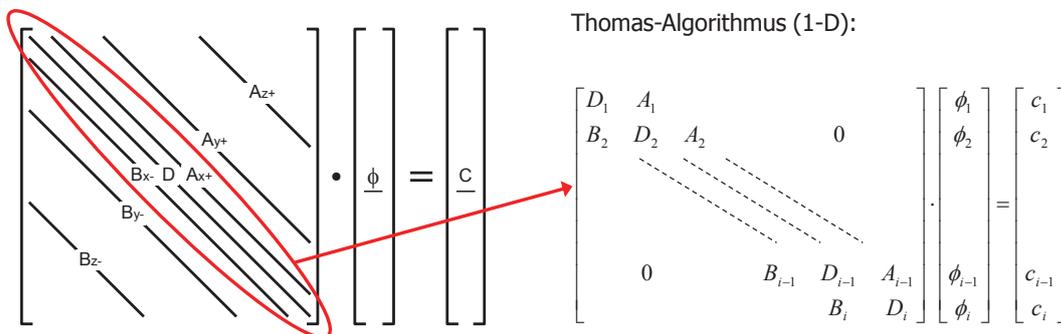
von der Wirklichkeit zur Lösung des Modells:



■ 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

2. Modelle zur Wärmeübertragung - Lösungsalgorithmus

ϕ = Unbekannte aller Knotenpunkte (Temperaturen)
 A, B, D = Koeffizienten C = Konstanten

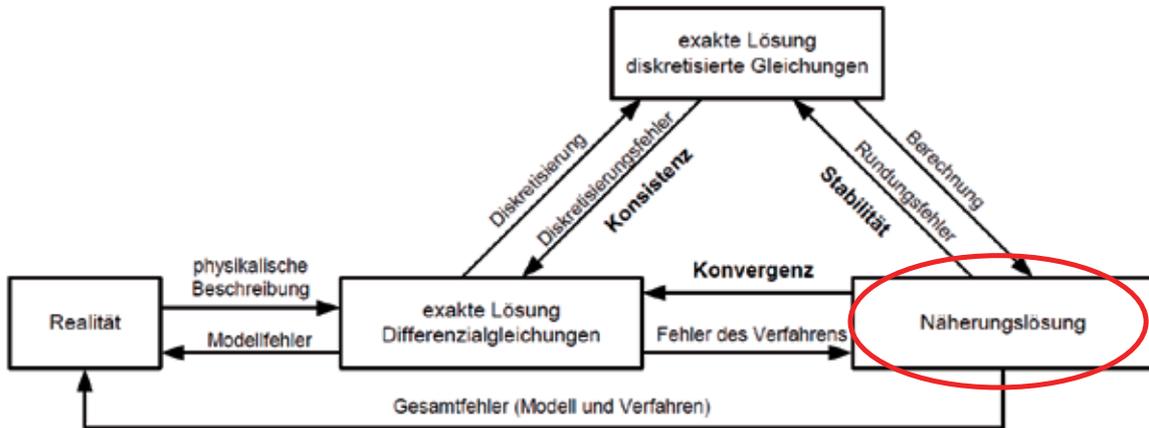


- Alternating Direction Implicit- (ADI)-Verfahren sehr effizient bei geordneten Gittern
- Lösung der einzelnen Richtungen mit Thomas-Algorithmus für Tridiagonalmatrizen

■ 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

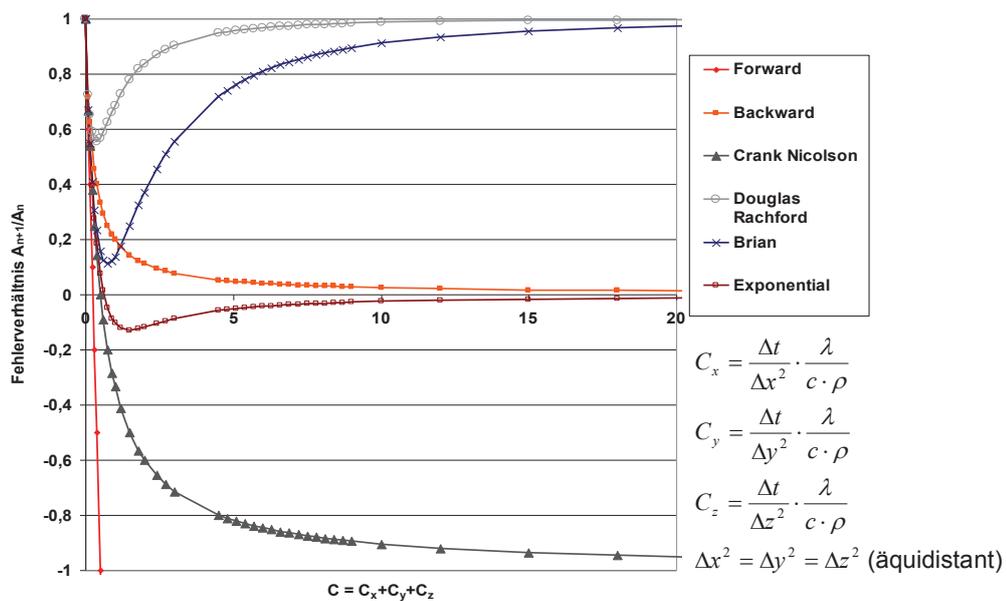
2. Modelle zur Wärmeübertragung

von der Wirklichkeit zur Lösung des Modells:



■ 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

2. Modelle zur Wärmeübertragung - Stabilität



- 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

2. Modelle zur Wärmeübertragung - Ergebnisse

- Temperaturen in Bauteilen werden in den Mittelpunkten der Layer ausgegeben!
- Standard: Zellgröße verdoppelt sich (STRETCH_FACTOR=2)
- Zellgröße mit CELL_SIZE_FACTOR (CSF) und STRETCH_FACTOR (SF) steuerbar
- Dicke des 1. Layers:
- Berechnet sich aus der Gesamtdicke dividiert durch die Anzahl der Schichten:

```
SHRINK_LOOP: DO N=1,999
  DDSUM = 0._EB
  SUM_LOOP: DO I=1,N
    DDSUM = DDSUM + STRETCH_FACTOR**(MIN(I-1,N-I))
  ENDDO SUM_LOOP
  IF ((THICKNESS/DDSUM < CELL_SIZE_FACTOR*SQRT(DIFFUSIVITY)) .OR. (N==999)) THEN
    N_CELLS = N
    DX_MIN = THICKNESS/DDSUM
    EXIT SHRINK_LOOP
  ENDIF
ENDDO SHRINK_LOOP
```

$$DIFFUSIVITY = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$$

- 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

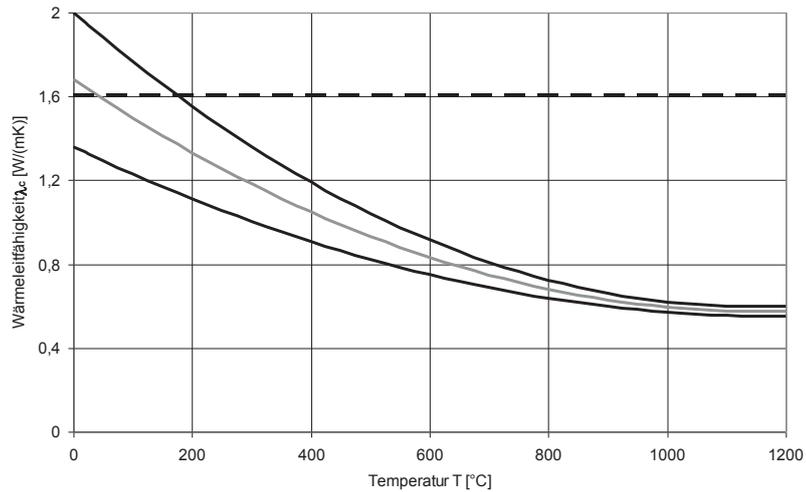
2. Modelle zur Wärmeübertragung - Ergebnisse

- Beispiel: 10cm dickes Stahlbauteil (Standard: CSF=1.0, SF=2.0)
- $\sqrt{DIFFUSIVITY} = \sqrt{\frac{\lambda}{c \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{46}{440 \cdot 7850}} \cong 0,00365$ (z.B. Stahl)
- $DSUM = 31 \cdot (1+2+4+8+16) \cdot 0,10/31 = 0,0032m < 1,0 \times 0,00365$
→ Dicke des 1. Layers: 3,2mm und insgesamt 5 Layer
- mit CSF und SF lässt sich die Layerdicke einstellen
- Beispiele:
- Layerdicke 5mm → SF = 1 und CSF = $0,005/0,00365=1,37$
(100mm/5mm = 20 Layer mit gleichen Layerdicken SF=1)
- Layerdicke 1. Layer 5mm → SF = 1,484 und CSF = 1,37 (5 Layer)

2. Modelle zur Wärmeübertragung

- Temperaturabhängige Bauteileigenschaften – Wärmeleitfähigkeit Beton

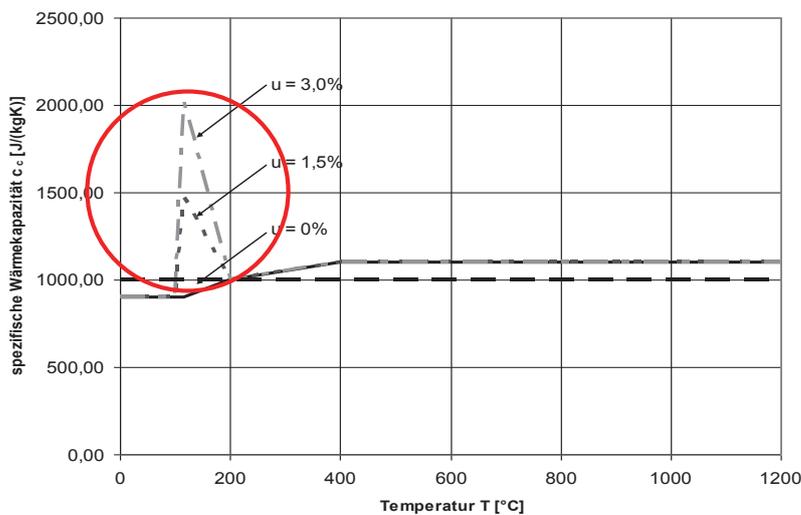
- Schneller Abfall der Wärmeleitfähigkeit führt ohne Iteration zu weiteren Ungenauigkeiten



2. Modelle zur Wärmeübertragung

- Temperaturabhängige Bauteileigenschaften – spezifische Wärmekapazität

Beton

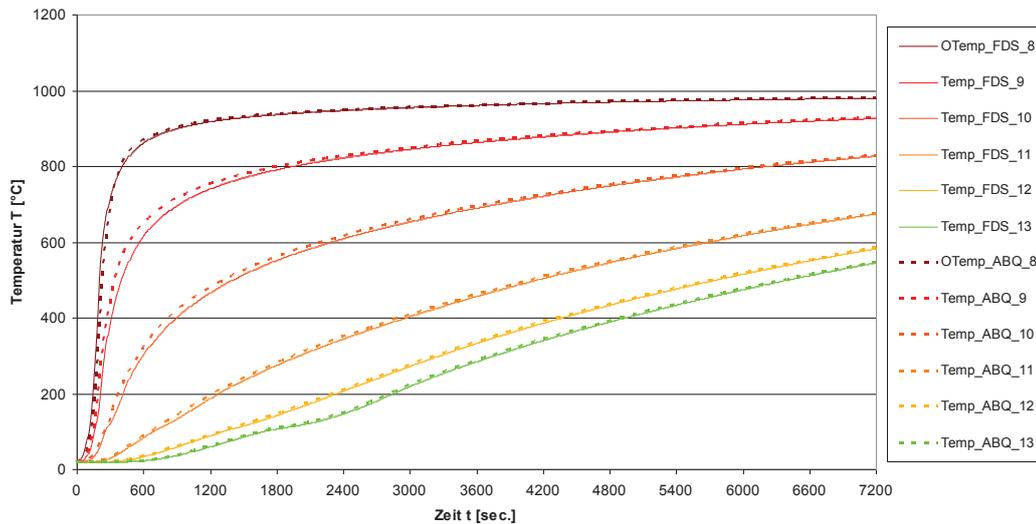


Problem bei großer Temperaturänderung:

→ Spitzenwerte bei werden nicht immer komplett erfasst

2. Modelle zur Wärmeübertragung

- Temperaturabhängige Bauteileigenschaften – spezifische Wärmekapazität



2. Modelle zur Wärmeübertragung - Wärmestrahlung

- spez. Ausstrahlung:

$$M(T) = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \int_{\varphi=0}^{2\pi} L_{\lambda}(\lambda, \beta, \varphi, T) \cdot \cos \beta \, d\varphi \, d\lambda$$

- Gesetze von Stefan-Boltzmann (σ) und Kirchhoff (ε)

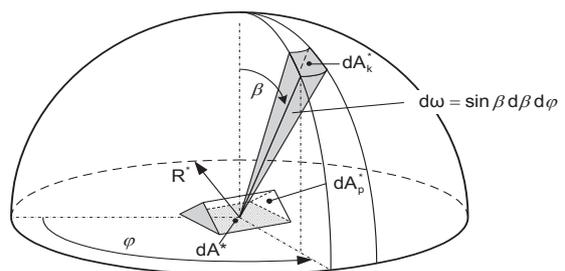
$$M(T) = \varepsilon(T) \cdot M_s(T) = \varepsilon(T) \cdot \sigma \cdot T^4$$

- FDS-Modell:

– Integral über 100 Raumwinkel (Standard, weitere Einstellungen z.B. 6 oder 9 Band)

$$- \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_{n+1}^4 = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_n^4 + 4 \cdot T_n^3 (T_{n+1} - T_n))$$

- Näherungslösung mit Rundungs-, Linearisierungs- und Berechnungsfehlern



■ 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup



2. Modelle zur Wärmeübertragung

- Temperaturabhängige Bauteileigenschaften – Emissionsgrade

Stoff	Temperatur [°C]	Emissionsgrad [-]
Beton, rau	20	0,94
Beton	höhere Temperaturen (Brandfall)	0,333 – 0,9
Betonplatten	1000	0,63
Stahl, poliert	100	0,066
Stahl, weich	230 – 1070	0,2 - 0,3
Stahl	höhere Temperaturen (Brandfall)	0,5 – 0,9
Holz, Eiche	20	0,90
Holz, Buche	70	0,91
Ziegelstein, rot	20	0,93
Schamottstein	1000	0,75
Ton, gebrannt	70	0,86
Aluminium, walzblank	170 - 500	0,039 – 0,05
Aluminiumblech	100	0,09
Eisen, blank geätzt	150	0,158
Eisen, poliert	-70...700	0,06...0,25
Kupfer, oxidiert	130	0,725
Glas	90	0,876
Papier weiß, matt	95	0,90
Gips	20	0,92
Nickel, poliert	100	0,053

■ 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup



2. Modelle zur Wärmeübertragung

Randbedingungen in FDS:

- ADIABATIC=.TRUE.:
→ kein Wärmeverlust an der Oberfläche
 eingehende Wärmeströme = ausgehende Wärmeströme
- BACKING= `INERT` (Standardfall für alle Oberflächen):
→ Wärmeverlust über die Oberfläche mit Rückseitentemperatur 20° bzw. Einstellung
- BACKING= `EXPOSED` :
→ Wärmeverlust über eine Oberfläche mit
 Rückseitentemperatur = Temperatur der Gaszelle auf der Rückseite
- BACKING= `INSULATED` :
→ Wärmeverlust in die Oberfläche, aber kein Wärmeverlust an der Rückseite

- 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

3. Stand der Implementierung 3D-Modell

- bisher Implementierung in neue Version FDS6 erfolgreich
- 1. Berechnungstest ebenfalls erfolgreich abgeschlossen
- weitere Testrechnungen und Verhalten insbesondere im Zusammenspiel mit den neuen vorhandenen Subroutines sind zu untersuchen
- Parallel wird geprüft, ob eine vorab Implementierung in das Programm sinnvoll ist
- Kontakt zu den Entwicklern beim NIST ist zu intensivieren

- 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

4. Weitere mögliche Entwicklungsschritte

- Berechnung von Verbrennungsvorgängen **Einfache Umsetzung**
- Berechnung von Verdampfungsvorgängen **Grundlagenarbeit**
- Berechnung der internen 3-D Strahlung in Hohlkörpern
- Temperaturveränderliche Emissionsgrade
- Berücksichtigung von Änderung des Emissionsgrades bei Russablagerungen an Bauteilen
- Optimierung des Lösungsalgorithmus durch Parallelisierungstechniken (OpenMP, parallele Zerlegung der Lösung)
- Gleichzeitige kombinierte thermische und statische Berechnung durch neue Modelle

- 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

5. Zusammenfassung und Ausblick

- Berechnung von Wärmeübertragung auf Bauteile bei Brandsimulationen ist für zahlreiche Fragestellungen wesentlich
 - Kenntnisse über implementierte Modelle, deren Zusammenhänge und Anwendungsgrenzen sind wichtig bei Verwendung von Programmen
 - mögliche Fehlerquellen müssen ausgeschlossen werden bzw. der Fehler muss minimiert werden
- Fragen des Anwenders:
- Sind die in FDS vorhandenen Modelle für meine Fragestellung ausreichend?
 - Welche Einstellungen liegen für meine Fragestellung auf der sicheren Seite?

- 5. Anwender-Treffen der FDS Usergroup



Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit!

Matthias Münch:

Wärmestrahlung in FDS: Wärmt es noch oder brennt es schon?

Abstract:

Die Simulation von Brandvorgängen ist sehr wesentlich mit dem Wärmetransport verbunden. Den Konstrukteur interessiert die Erwärmung der Bauteile, um die Versagenswahrscheinlichkeit für den Lastfall Brand abzuschätzen, der Brandschützer möchte Aussagen über die Brandausbreitung oder die für die Evakuierung wesentliche thermisch getriebene Rauchausbreitung abschätzen.

Innerhalb der Wärmetransportprozesse nimmt die Wärmestrahlung eine besondere Position ein. Sie ist nicht an ein Transportmedium gebunden und wirkt über große Entfernungen. Gleichzeitig wird die Strahlungsintensität von zahlreichen Faktoren beeinflusst, die hohe Anforderungen an die Modellbildung stellen. Eine hohe Präzision im Strahlungsmodell verursacht jedoch einen sehr hohen Rechenaufwand. Grund genug die Implementierung des Wärmestrahlungsmodells im Fire Dynamics Simulator einmal näher zu untersuchen. Der Vortrag stellt die ersten Ergebnisse des INURI FuE-Projektes "FDS V&V Strahlungslöser" vor und diskutiert die Auswirkungen.



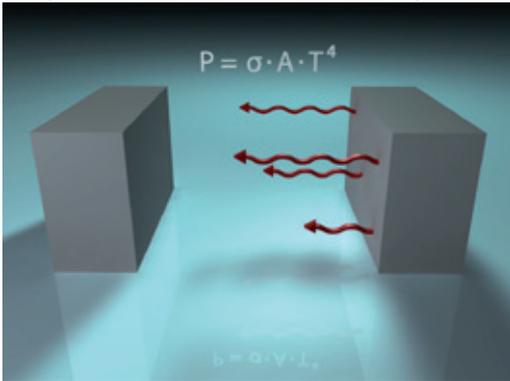
Experten für
Simulationsmethoden
im Brandschutz
und der Gefahrenabwehr

Wärmestrahlung in FDS

Wärmt es noch oder brennt es schon?

Matthias Münch

Projekt: FDS V&V Strahlungslöser



INURI GmbH
Haderslebener Str. 9
12163 Berlin

www.inuri.de
info@inuri.de



5. FDS-Usergroup Treffen
Berlin, 10.-11. November 2011

Eignungsüberprüfung von CFD-Programmen

Konzeptvorstellung



Experten für
Simulationsmethoden
im Brandschutz
und der Gefahrenabwehr

Inhaltsübersicht:

1. **Bedeutung der Wärmestrahlung**
2. **Numerische Modellierung und andere Widrigkeiten**
3. **Testfälle**
4. **Zusammenfassung**

INURI GmbH Haderslebenerstr. 9, 12163 Berlin www.inuri.de info@inuri.de Seite 2

Bedeutung der Wärmestrahlung

Einführung



Wärmetransportprozesse:

1. **Wärmeleitung**
stoffgebunden, aber ohne Materialtransport
2. **Wärmekonvektion**
Transport innerer Energie in einem Fluid
3. **Wärmestrahlung**
Transport durch diskrete Photonen als Energieträger

**Wärmestrahlung ist ein wesentlicher
Transportmechanismus im Brandfall**

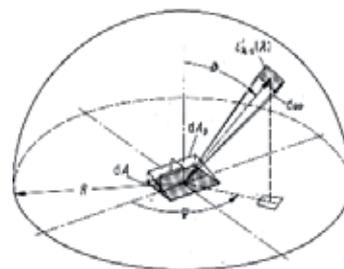
Numerische Modellierung

Mathematisches Modell



Komplexes mathematisches Modell

- ▶ zahlreiche Abhängigkeiten
wie z.B. Material, Frequenz, ...
- ▶ komplizierte Physik
wie z.B. Streuung, Reflexion, ...
- ▶ vereinfachte quasi-stationäre
Strahlungstransportgleichung



Quelle: Siegel et al

$$\dot{q}_{Str} = \int_{\lambda=0}^{\infty} \int_{\omega=0}^{4\pi} \frac{dl'_{\lambda}}{ds} d\omega d\lambda$$

$$\text{mit } \frac{dl'_{\lambda}}{ds} = -K_{\lambda,s} l'_{\lambda}(s) + \frac{\sigma_{Streu,\lambda,s}}{4\pi} \int_{\omega=0}^{4\pi} l'_{\lambda}(s, \omega) d\omega + \alpha_{\lambda,s} l'_{\lambda,schw}(\lambda, T)$$

Numerische Modellierung

Mathematisches Modell



Implementierung in FDS5

- ▶ Transportgleichung für graue Strahlungsmedien
Approximation der Spektralabhängigkeit
- ▶ Begrenzung auf diskrete Winkelsegmente
- ▶ Vernachlässigung von Streueffekten
- ▶ ...

**Vereinfachtes Strahlungsmodell
dennoch rechenintensiv
≈ 20 % der CPU-Leistung**

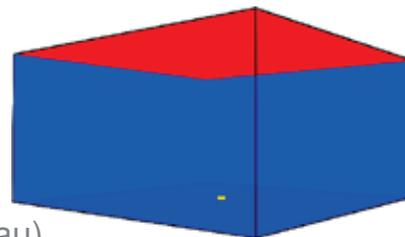
Offizieller FDS-Verifikationstest

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



FDS-Testfall: plate_view_factor

- ▶ Simulationsgebiet:
 - 2 m x 2 m x 1 m
 - Mittiger Meßpunkt (gelb)
 - 0 Kelvin kalte Seitenwände (blau)
 - 1273 Kelvin heiße Deckenplatte (rot)
 - 3d-kartesisches Gitter $\Delta h = 10$ cm
- ▶ Analytische Lösung:
Wärmestrahlung im Meßpunkt $\dot{Q}''_{Rad} = 81,8 \text{ kW/m}^2$
- ▶ Testkriterium:
 - Anzahl der Strahlungswinkel n

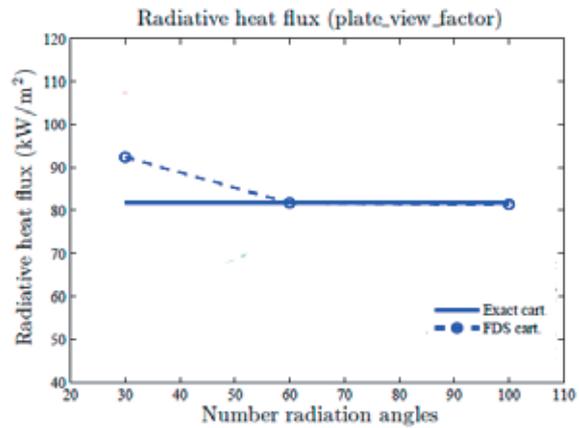


Offizieller FDS-Verifikationstest
 INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



FDS Verifikationsguide

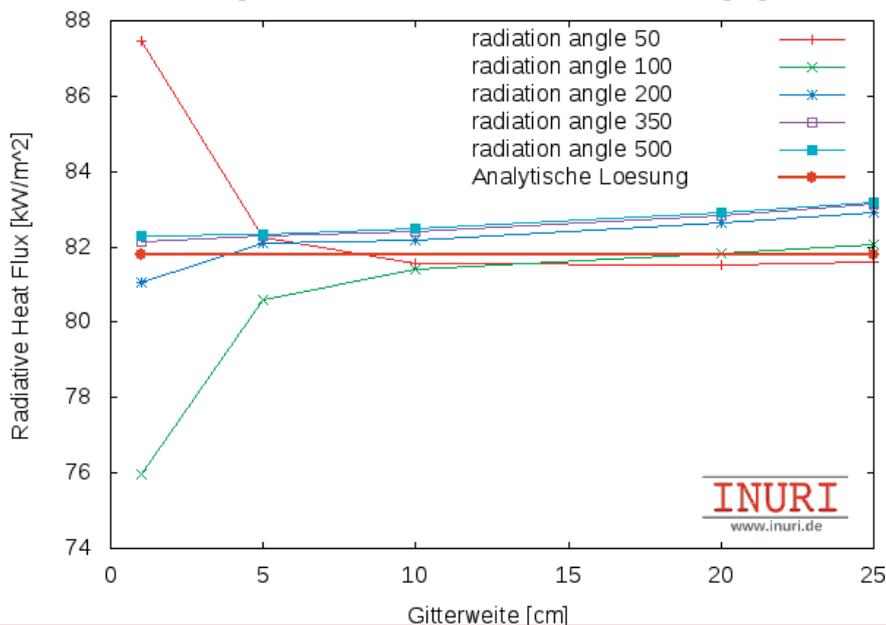
- ▶ Analytische Lösung
 $\dot{Q}''_{Rad} = 81,8 \text{ kW/m}^2$
- ▶ Variation der Anzahl der Strahlungswinkel n
 - Konvergenz : n= 60
 - Defaultwert : n=100
- ▶ konstante Gitterweite $\Delta h = 10 \text{ cm}$



Erweiterter FDS-Verifikationstest
 INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



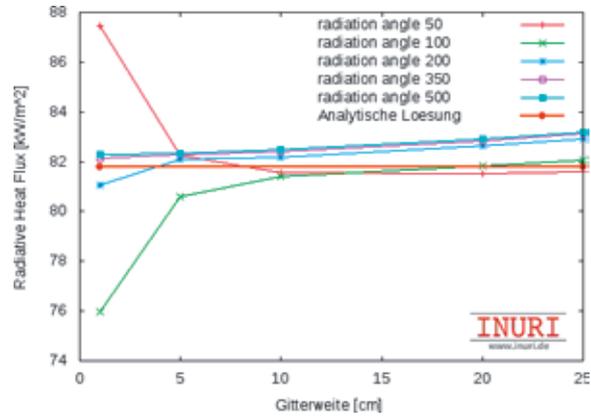
Betrachtung der Gitterweitenabhängigkeit



Erweiterter FDS-Verifikationstest
 INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



Betrachtung der Gitterweitenabhängigkeit von n

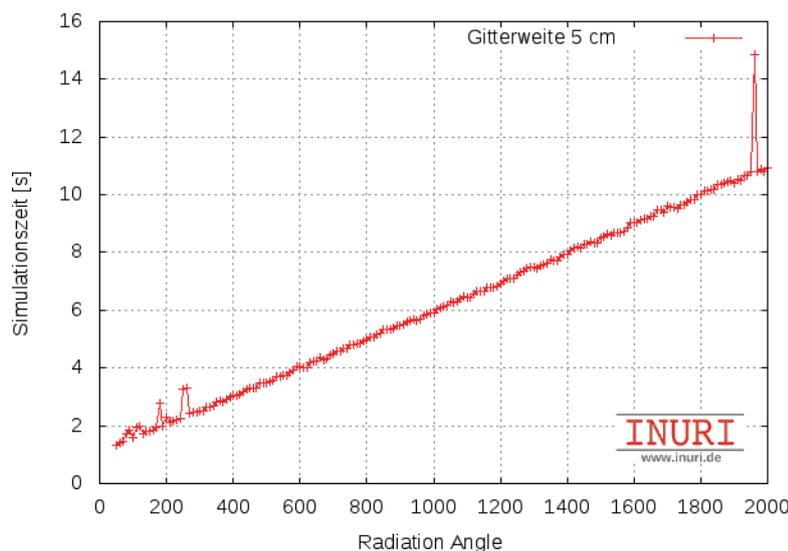


- ▶ Analytische Lösung
 $\dot{Q}''_{Rad} = 81,8 \text{ kW/m}^2$
- ▶ Modell ist gitterabhängig
- ▶ $\Delta h < 10 \text{ cm}$ starke Abweichungen für \dot{Q}''_{Rad}
- ▶ gitterunabhängiger ab ca. $n = 350$

Erweiterter FDS-Verifikationstest
 INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



Einfluss der Strahlungswinkelanzahl n



$n = 100 \rightarrow 350$: Simulationszeit steigt um das 1,8 fache

Gitterabhängigkeit Strahlungsmodell INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



Testfall: Parallelfleichen

► Simulationsgebiet:

- keine Gravitation
- Flächenabstand 1 m
- Flächen 1,2m x 0,6 m
- 0 Kelvin kalte Wände (blau)
- 1273 Kelvin heiße Strahlerplatte (rot)
- 3d-kartesisches Gitter $\Delta h = 2, 5, 10$ und 20 cm
- Emissivität 1, keine Wärmeübergang



► Analytische Lösung:

- Wärmestrahlung auf kalte Platte $\dot{Q}''_{Rad} = 22 \text{ kW/m}^2$

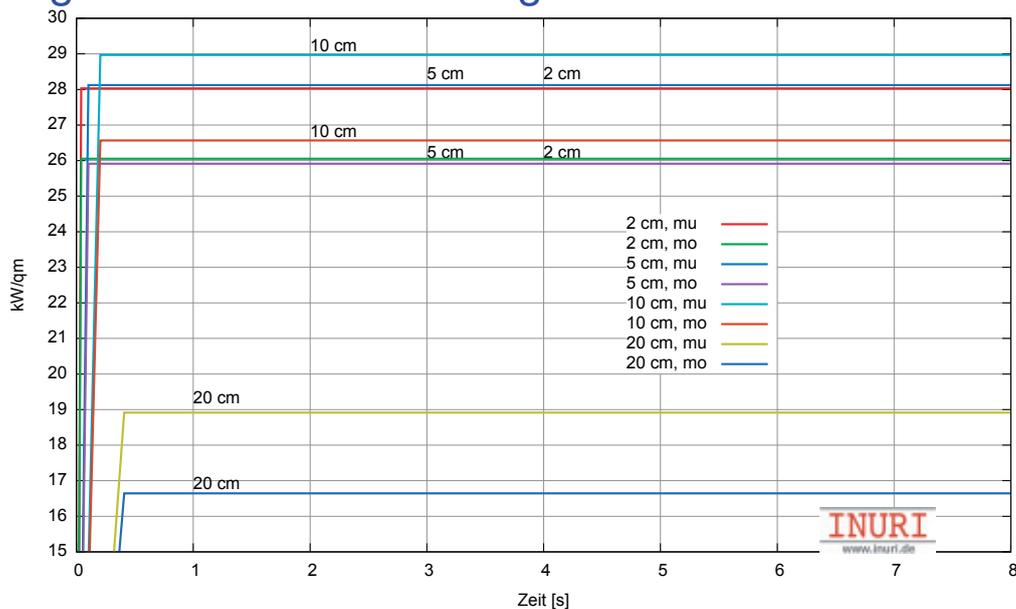
► Testkriterium:

- Strahlungsfluß \dot{Q}''_{Rad} auf Zielfläche

Gitterabhängigkeit Strahlungsmodell INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



Ergebnis: Wärmestrahlung auf kalte Platte



Praktische Bedeutung

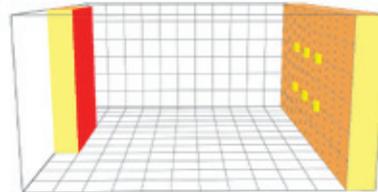
INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



Testfall: Bestrahlte Brandoberfläche

► Simulationsgebiet:

- Freie Ränder
- Flächenabstand 1 m
- FDS-Defaulteinstellungen
- Strahlerplatte 1000 °C (rot)
- Rechts brennbare Oberfläche
- Zündtemperatur 300 °C, dann HRRPUA-Kurve
- 3d-kartesisches Gitter $\Delta h = 2, 5, 10$ und 20 cm



► Testkriterium:

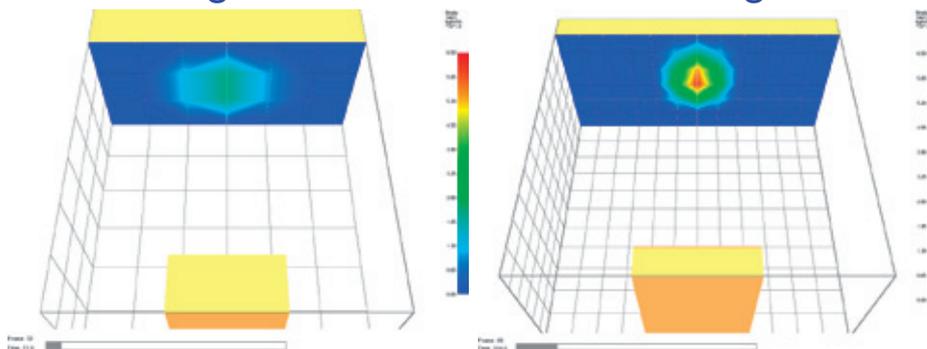
- Zündzeitpunkt auf der Zielfläche

Praktische Bedeutung

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



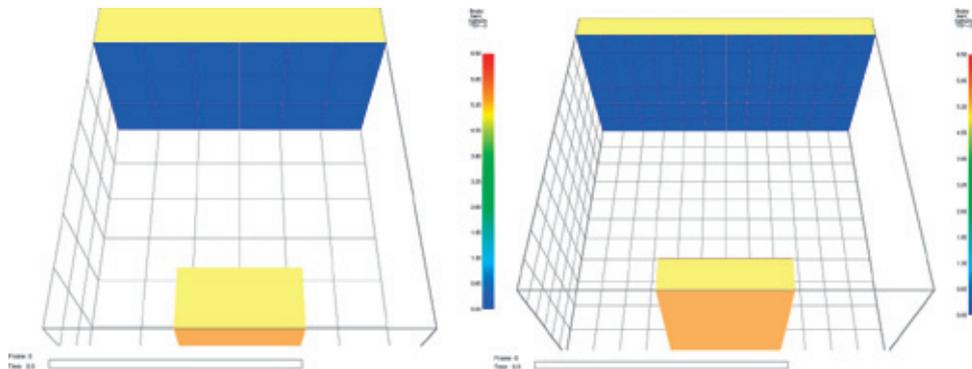
Entzündungsverhalten bei Bestrahlung



Δh	Zündzeit
2 cm	247 s
5 cm	334 s
10 cm	202 s
20 cm	76 s

Praktische Bedeutung

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell



Zusammenfassung

INURI - FuE-Projekt V&V Strahlungsmodell

1. Erkenntnisse zum Strahlungslöser

- ▶ produziert gitterabhängige Lösungen
- ▶ noch unklare Wechselwirkung der Parameter
- ▶ Wärmestrahlungsdominierte Simulationen sind kritisch

2. Ausblick

- ▶ Testfälle für ISSUE-Tracker aufbereiten
- ▶ detaillierte Untersuchung weiterer Parameter und ihrer Wechselwirkung
- ▶ Gegenrechnung mit anderen Softwaremodellen



Herzlichen Dank

www.inuri.de
info@inuri.de

INURI GmbH
Haderslebener Str. 9, 12163 Berlin

Eine Ausgründung der
Freien Universität Berlin



Kathrin Grewolls:**Wie genau müssen Brandparameter sein? Probabilistische Analyse der Sensitivität von Brandsimulationen auf Basis des Latin-Hypercube-Samplings.****Abstract:**

In den letzten Jahren haben Computersimulationen im vorbeugenden Brandschutz sehr stark an Bedeutung gewonnen - ihre Zuverlässigkeit und Akzeptanz sind gewachsen. Voraussetzung dafür waren wichtige Fortschritte in der Leistungsfähigkeit der Rechentechnik, der numerischen Methoden und bei der Modellierung von Bränden.

Die Genauigkeit der Simulation ist entscheidend abhängig von der Qualität der zugrundeliegenden Eingangsparameter, welche das Materialverhalten, die Eigenschaften der Brandgase und die Anfangs- und Randbedingungen beschreiben.

Diese Parameter unterliegen natürlichen Streuungen, deren Einfluß auf das Ergebnis der Simulation nicht quantitativ bekannt ist. Um die Qualität der Simulationsergebnisse bewerten zu können und um zu entscheiden, für welche Eingangsparameter kostenaufwendige genaue Messungen sich lohnen, wurden Sensitivitätsanalysen auf der Basis probabilistischer Methoden durchgeführt.

Die Randbedingungen und Parameter von Simulationen im Brandschutzingenieurwesen werden immer starken Streuungen unterliegen. Eine effektive Methode zur probabilistischen Untersuchung von Problemen mit vielen streuenden Parametern ist das Latin Hypercube Sampling. Dieses Verfahren wurde entwickelt, um die Anzahl der Stichproben gegenüber der Monte-Carlo-Methode stark zu reduzieren, ohne die Aussagekraft signifikant einzuschränken. Durch dieses Verfahren ist es möglich, alle Eingangsparameter mit ihrer Streubreite zu berücksichtigen. Das Ergebnis ist eine statistische Auswertung, die zeigt, welche Eingangsparameter den größten Einfluß auf die einzelnen Ergebnisgrößen besitzen.

Die Ergebnisse der Studie können auch eingesetzt werden, um die Plausibilität von Simulationsergebnissen zu prüfen.

Einleitung
Stochastisches Modell
Zusammenfassung

Wie genau müssen Brandparameter sein?

Probabilistische Analyse der Sensitivität von Brandsimulationen auf Basis des Latin-Hypercube-Samplings.

Kathrin Grewolls

Ingenieurbüro für Brandschutz, Ulm

11. November 2011, Berlin



Kathrin Grewolls

Einleitung
Stochastisches Modell
Zusammenfassung

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung
 - FED.
 - Fehlerquellen.
 - Reaktionsgleichungen.
- 2 Stochastisches Modell
 - Parameter
 - Ergebnisse
- 3 Zusammenfassung



Kathrin Grewolls

Einleitung Stochastisches Modell Zusammenfassung	FED. Fehlerquellen. Reaktionsgleichungen.	
--	---	---

Ingenieurmethoden.

Ziel der Simulation.

- Vorbeugender BS: Sichere Evakuierung.
- Vorbeugender BS: Standsicherheit im Brandfall.
- Investigativer Brandschutz: Brandursachenforschung.

Kathrin Grewolls

Einleitung Stochastisches Modell Zusammenfassung	FED. Fehlerquellen. Reaktionsgleichungen.	
--	---	---

Evakuierungsbedingungen.

Brandtote sind Rauchgastote.

Verfügbare Evakuierungszeit = Zeit der Fluchtfähigkeit.

- Physische Konstitution jeder einzelnen Person.
- Aktivität
- Entwicklung der Bedingungen in der Umgebung.

Fractional Effective Dose (Purser):

$$FED_{\text{Purser}}(t) = \max \left\{ \sum_{t=0}^{t^*} \left[(F_{\text{CO}}(t) + F_{\text{HCN}}(t) + FLD_{\text{irr}}(t)) \cdot V_{\text{Hyp}}(t) + F_{\text{O}_2}(t) \right], \sum_{t=0}^{t^*} F_{\text{CO}_2}(t) \right\} < 0.3$$

Kathrin Grewolls

Einleitung
Stochastisches Modell
Zusammenfassung
FED.
Fehlerquellen.
Reaktionsgleichungen.

Modellfehler

Fehler im Simulationsprozeß.

- Modellungenauigkeiten (Geometrie, Randbedingungen, Brandszenarium)
- Physikalisch-chemische Modelle
- Mathematische Modelle
- Numerische Modelle (Diskretisierungsfehler)
- Programmierfehler (2 Fehler pro 1000 Programmierzeilen)

Kathrin Grewolls

Einleitung
Stochastisches Modell
Zusammenfassung
FED.
Fehlerquellen.
Reaktionsgleichungen.

Toxizitätsmodell

Einfache Reaktionsgleichung

$$Z_1 = \frac{Y_F}{Y_F^I}$$

$$Z_2 = \frac{W_F}{[x - v_{CO} - (1 - X_H)v_s] W_{CO_2}} \frac{Y_{CO_2}}{Y_F^I}$$

- Ausbeuten von CO und Ruß variieren nicht
- Ausbeuten basieren auf Werten optimal ventilierter Tests

Zwei-Schritt-Reaktion.

$$Z_1 = \frac{Y_F}{Y_F^I}$$

$$Z_2 = \frac{W_F}{[x - (1 - X_H)v_s] W_{CO}} \frac{Y_{CO}}{Y_F^I}$$

$$Z_3 = \frac{W_F}{[x - (1 - X_H)v_s] W_{CO_2}} \frac{Y_{CO_2}}{Y_F^I}$$

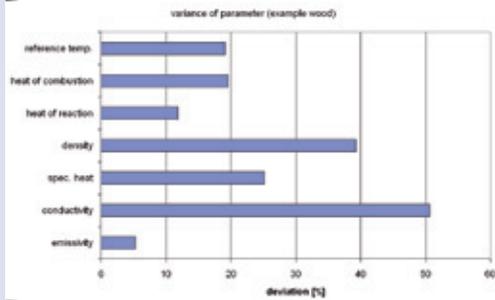
- Zweiter stöchiometrischer Koeffizient für CO
- CO kann unter günstigen Bedingungen in CO₂ umgewandelt werden

Kathrin Grewolls

Beispiel einer Parametervariation.

Holz

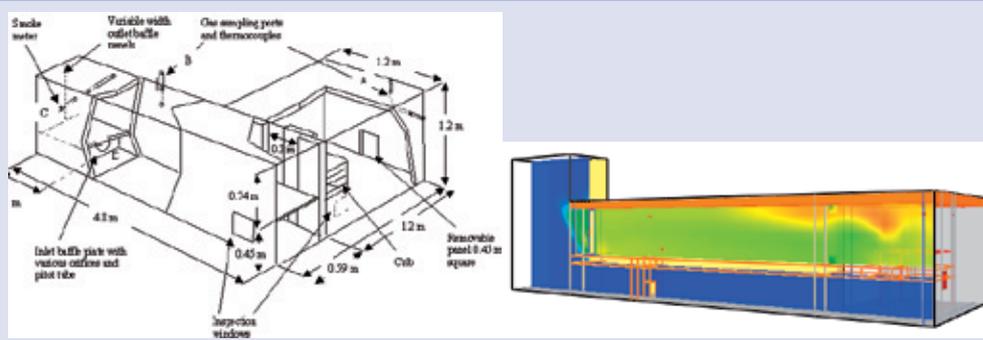
- Emissivity (0.8 ... 0.96)
- Conductivity (0.04 ... 0.4 W m⁻¹ K⁻¹)
- Specific heat (1.2 ... 2.9 kJ kg⁻¹ K⁻¹)
- Density (170 ... 815 kg/m³)
- Heat of reaction (300 ... 450 kJ kg⁻¹)
- Heat of combustion (13000 ... 25000 kJ kg⁻¹)
- Reference temperature (280 ... 370°C)



Kathrin Grewolls

Model

UCLan Fire Toxicity Facility: ISO 9705 half scale room and corner test.



Kathrin Grewolls

Einleitung
Stochastisches Modell
Zusammenfassung

Parameter
Ergebnisse

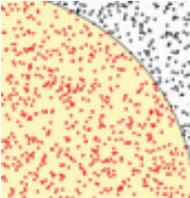
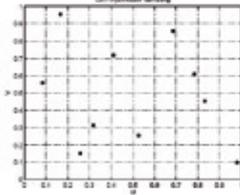
Statistische Methoden.

Monte Carlo.

- voneinander unabhängige Werte
- sehr viele Simulationen nötig

Latin Hypercube.

- Intervalle gleicher Wahrscheinlichkeit
- Zufällige Werte innerhalb der Intervalle
- Gleichverteilte Werte über Wahrscheinlichkeitsfunktion
- Wenige Simulationen notwendig

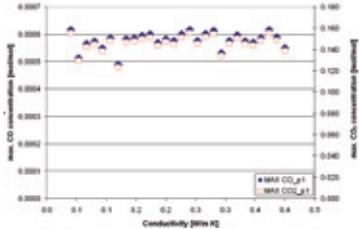
Kathrin Grewolls

Einleitung
Stochastisches Modell
Zusammenfassung

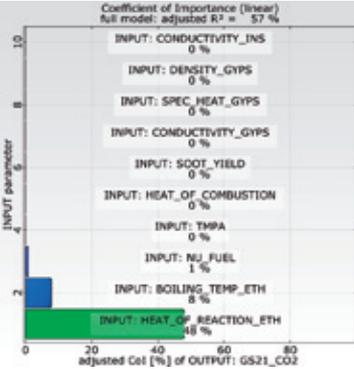
Parameter
Ergebnisse

Sensitivitätsstudie

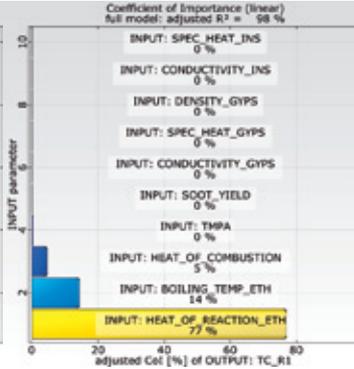
Coefficient of Importants (COI)



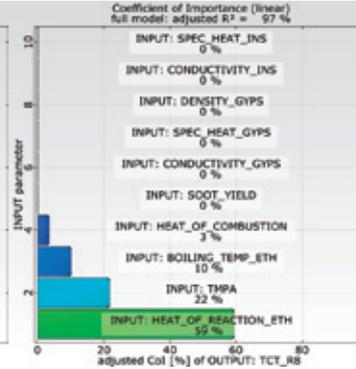
Coefficient of Importance (linear)
full model: adjusted R² = 57 %



Coefficient of Importance (linear)
full model: adjusted R² = 98 %



Coefficient of Importance (linear)
full model: adjusted R² = 97 %



Kathrin Grewolls

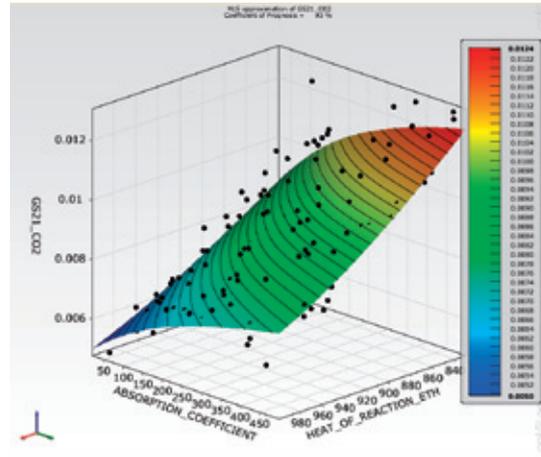
Metamodel of Optimal Prognosis (MOP)

Rekonstruktion von
Response Surfaces
aus Basisdatensatz

Methode: Moving least squares

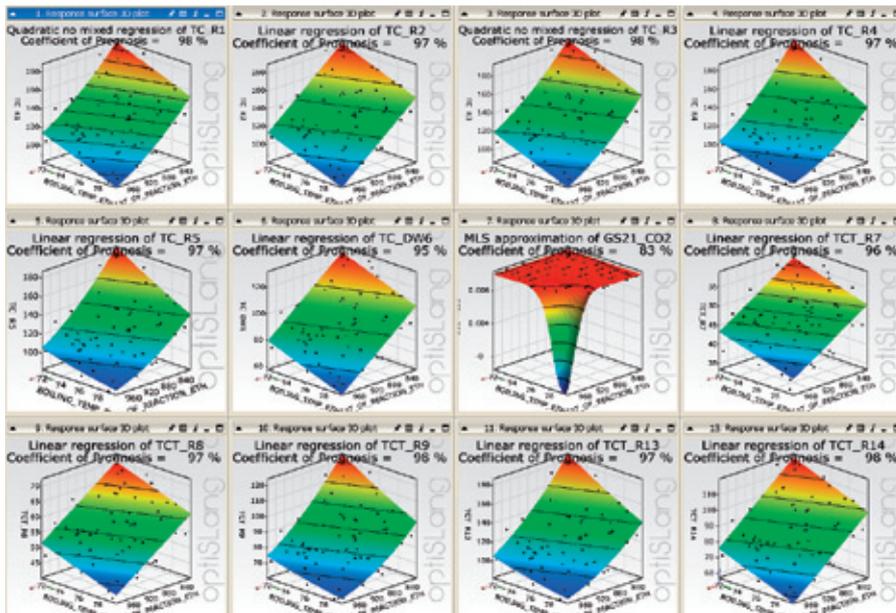
Stichprobe mit Testsatz

Coefficient of Prognosis



Kathrin Grewolls

Metamodel of Optimal Prognosis (MOP)



Kathrin Grewolls

Einleitung
Stochastisches Modell
Zusammenfassung

Parameter
Ergebnisse

Metamodel of Optimal Prognosis (MOP)

Kathrin Grewolls

Einleitung
Stochastisches Modell
Zusammenfassung

Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Mittels stochastischen Methoden kann die Zuverlässigkeit von Brandsimulationen bewertet und verbessert werden.
- Signifikante Sensitivität der Ergebnisse im untersuchten Modell nur gegenüber **heat of combustion, heat of reaction, boiling temperature** des Brennstoffs.
- Aufwand für genaue Identifikation dieser Brennstoffparameter lohnt sich, um Genauigkeit zu erhöhen.
- Kein signifikanter Einfluß anderer Parameter beim untersuchten Modell.

Kathrin Grewolls

Einleitung
Stochastisches Modell
Zusammenfassung

Ferit Boysen, President & CO Fluent Inc.:

It is now possible for more people to get bad results from CFD faster and cheaper than ever before.



www.brandschutz-simulation.de



University of Central Lancashire



Kathrin Grewolls

Dr. Christoph Klinzmann:

Vergleichsrechnungen mit FDS im Rahmen der Normungsarbeit der DIN 18230-4

Abstract:

Zukünftig soll es möglich sein, im Rahmen des Nachweises von Industriebauten gemäß der Industriebaurichtlinie für die Berechnung der äquivalenten Branddauer t_a bzw. des Wärmeabzugsfaktors w auch Ingenieurmethoden einzusetzen. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn die der DIN 18230-1 zugrunde liegenden Randbedingungen, etwa

- Bei Überschreitung der maximal zulässigen Brandabschnittsgröße
- Bei ungleichmäßig verteilten Öffnungsflächen

Aus diesem Grund wird gegenwärtig eine Norm DIN 18230-4 entwickelt, die das Verfahren der DIN 18230-1 auch für solche von den klaren Anforderungen der Norm abweichende Gebäude anwendbar macht.

Die Norm macht daher Vorgaben für die anzuwendenden Ingenieurmethoden. Folgende Angaben sind in der Norm enthalten:

- Vorgabe des Brandszenarios und der anzusetzenden Brandfläche
- Vorgabe zulässiger Abweichungen bei der Berechnung von Brandwirkungen in Bauteilen
- Vorgaben zu berücksichtigende Randbedingungen und Parameter, etwa Materialgesetze
- Anwendungsrichtlinien für die verschiedenen Modelltypen

Auf Basis von Berechnungsergebnissen an ebenfalls in der Norm festgelegten Stellen werden unter Annahme eines imaginären Referenzbauteiles in der tatsächlichen Gebäudegeometrie die tatsächlichen Brandwirkungen berechnet und anschließend t_a für dieses Bauteil bestimmt. In Analogie zur DIN 18230-1 wurde das Referenzbauteil beibehalten, d. h. maßgeblich für die Bestimmung von t_a ist die Temperaturentwicklung in 3,5 cm Tiefe in einem Betonbauteil. Jeder Anwender der Norm ermittelt daher nach Berechnungen der Brandwirkungen im Gebäude, auch die Temperaturentwicklung im Referenzbauteil. Auf Basis von in der Norm enthaltenen Temperaturkurven für die Erwärmung des Referenzbauteiles infolge der Einheitstemperaturzeitkurve kann dann t_a ermittelt werden und in den Berechnungsgang von Abschnitt 7 der Industriebaurichtlinie einfließen.

In den im Rahmen der Normungsarbeit wurden Vergleichsrechnungen mit verschiedenen Brand-simulationsmodellen durchgeführt. Es wurden sowohl Zonen als auch Feldmodelle angewendet. Diese Vergleichsrechnungen, speziell der Vergleich der Zonen- und Feldmodelle sowie spezielle Erkenntnisse der Feldmodellberechnungen sind Gegenstand des Vortrages.

Brandschutz der nächsten Generation

hhpberlin

▷ Vergleichsrechnungen mit FDS im Rahmen der Normungsarbeit der DIN 18230-4

Dr.-Ing. Christoph Klinzmann
hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH
Niederlassung Hamburg
Geschäftsbereich Ingenieurmethoden

Brandschutz der nächsten Generation

hhpberlin

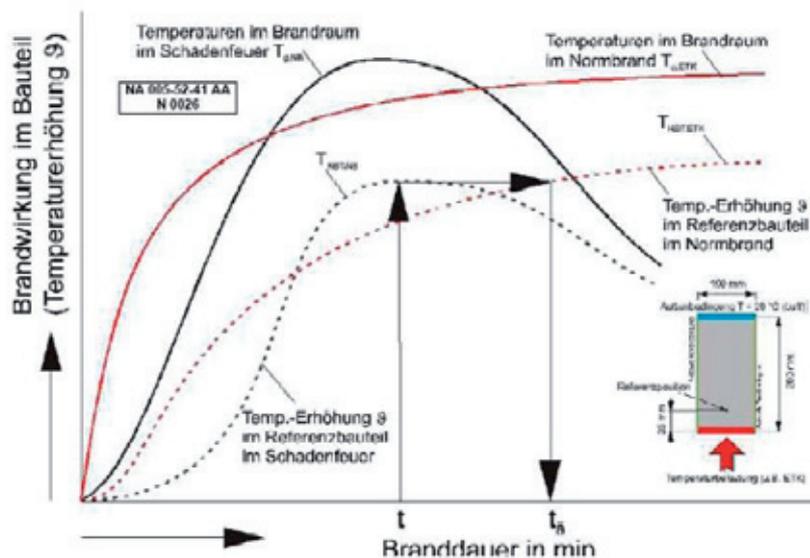
▷ Überblick

- Einführung – Sinn und Zweck der DIN 18230-4
- Notwendigkeit von Vergleichsrechnungen
- Referenzbeispiele der DIN 18230-4
- Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Vergleichsrechnungen
- Zukünftiges Arbeitsprogramm
- Zusammenfassung und Fazit

▷ Sinn und Zweck der Norm DIN 18230-4

- Die DIN 18230-1 stellt ein vereinfachtes Verfahren zur Brandschutzbemessung dar, für das klare Randbedingungen definiert sind.
 - Die Elemente des Berechnungsverfahrens wurden durch Verallgemeinerung bzw. Extrapolation der Ergebnisse von Berechnungen mit Zonenmodellen abgeleitet.
- ➔ komplexere Bauwerke verletzen die Randbedingungen, sodass diese Verallgemeinerungen nicht immer gültig sind

▷ Abhilfe durch Anwendung der DIN 18230-4

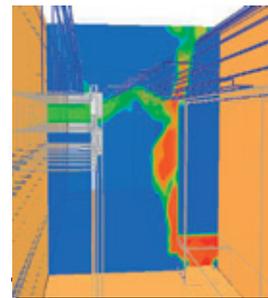


➤ Mögliche Vorteile

- Nutzung des Verfahrens der DIN 18230 außerhalb der Anwendungsgrenzen im Industriebau
 - bei komplexen Gebäudegeometrien, z. B. ungleichmäßig verteilten Öffnungsflächen und
 - bei sehr großen Brandbekämpfungsabschnitten z. B. größer als 60.000 m².
 - Vorgabe von erforderlichen Feuerwiderstandsdauern für Bauprodukte wie Schottungen, Türen, etc. bei Anwendung von Brandsimulationen
- Die DIN 18230-4 soll die Eingangsparameter regeln und Anwendungsrichtlinien für die Simulation und für die Berechnung von t_a vorgeben.

➤ Notwendigkeit der Vergleichsberechnungen

- Für die Berechnung der Brandwirkung können verschiedene Modelltypen eingesetzt werden
 - Plume-Modelle (DIN EN 1991-1-2, Anhang C)
 - Wärmebilanzmodelle (MRFC, CFast)
 - CFD-Modelle (FDS, ANSYS CFX, etc.).
- Die Modelle sind unterschiedlich gut für die Bewertung der relevanten Fragestellungen geeignet und berechnen die Brandwirkung auf andere Art und Weise und Genauigkeit.
 - ➔ Auswirkung auf die Berechnung von t_a ?
 - ➔ Untersuchung durch Vergleichsrechnungen erforderlich!



▷ Fragestellungen bei der Ermittlung von $t_{\ddot{a}}$

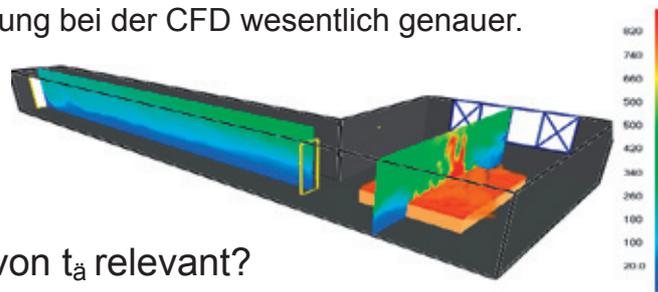
- Berechnung der Brandwirkungen im Brandraum
- Berechnung der Temperaturentwicklung im Referenzbauteil aufgrund des Normbrandes
- Berechnung der Temperaturentwicklung im Referenzbauteil aufgrund des konkreten Bemessungsbrandes
- Ermittlung von $t_{\ddot{a}}$
 - An welchen Stellen sind signifikante Abweichungen zu erwarten?

▷ Fragestellungen bei der Ermittlung von $t_{\ddot{a}}$

- Berechnung der Brandwirkungen im Brandraum
 - Vorgabe des Brandszenarios durch die Norm
 - Vorgabe der Materialgesetze durch die Norm
 - Vorgabe der Berücksichtigung der Ventilationsverhältnisse durch die Norm
 - Anzuwendender Modelltyp nicht vorgegeben (Anwendung reiner Plumemodelle nicht vorgesehen)
- Es sind nur aufgrund der unterschiedlichen Modelltypen signifikante Abweichungen zu erwarten.

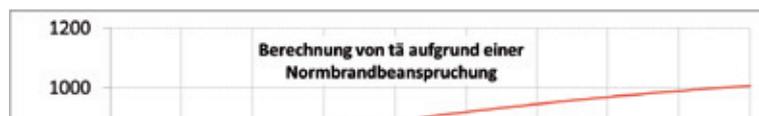
Fragestellungen bei der Ermittlung von $t_{\ddot{a}}$

- Berechnung der Brandwirkungen im Brandraum
 - Modelltypen: CFD vs. Wärmebilanzmodelle
 - berechnete Ergebnisse sind zunächst nicht vergleichbar, da bei der CFD keine explizite Heißgas- / Kaltgasschicht ermittelt wird
 - Geometriemodellierung bei der CFD wesentlich genauer.

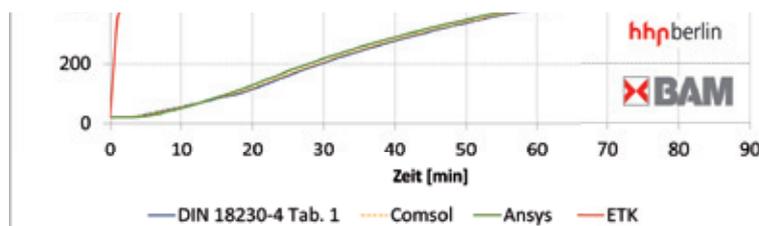


→ Für die Ermittlung von $t_{\ddot{a}}$ relevant?

Fragestellungen bei der Ermittlung von $t_{\ddot{a}}$



- Maximale Abweichung 2 Minuten (~4 %)
- Die Ermittlung von Brandwirkungen im Bauteil ist als unkritisch anzusehen



➤ Spezielle Fragestellungen bei CFD-Anwendung

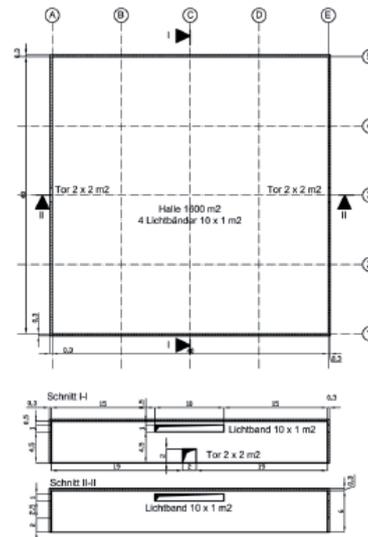
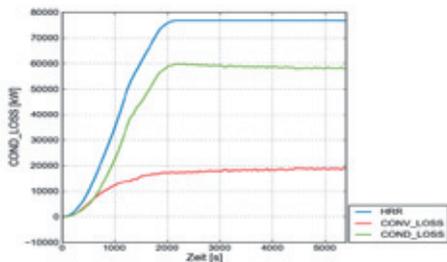
- Mit Wärmebilanzmodellen vergleichbare Ergebnisgrößen
 - Temperaturen im Brandraum werden bei der CFD in den Mittelpunkten aller Zellen des Gitters ermittelt, andere Werte werden interpoliert
 - Temperatur in Heißgas-/Kaltgasschicht nur als Sekundärgröße über zusätzliche Modelle/Annahmen oder alternativ über Mittelung berechenbar.
- Besonderheit Geometriemodellierung:
Welches ist eine sinnvolle maximale Zellgröße der Gitter?
- Welcher Punkt im Gitter (z. B. unterhalb der Decke) ist repräsentativ für eine Berechnung nach DIN 18230-4?

➤ Referenzbeispiele/ Vergleichsrechnungen

- Dienen der Validierung und dem unmittelbaren Vergleich von verschiedenen Simulationsprogrammen und der Festlegung der erforderlichen Randbedingungen für die unterschiedlichen Modelltypen im Rahmen der Normungsarbeit.
- Referenzbeispiel 1 – einfache Hallengeometrie, Vollbrand.
- Referenzbeispiel 2 – komplexe Hallengeometrie, lokaler Brand.

Vorstellung Referenzbeispiel 1

- Halle mit 40 m x 40 m x 6 m.
- Brandszenario mit 48 kWh/m², Ausbreitungsgeschwindigkeit 1 m/min (gemäß DIN 18230-4).
- Maximal HRR 76,8 MW.



Vorgehensweise Vergleichsrechnungen

- Verwendete Programme
 - MRFC, Argos, Branzfire, Ozone, CFast
 - FDS.
- Zielstellung
 - Vergleich der unterschiedlichen Programme und Modellansätze
 - Variation der Randbedingungen des CFD-Modells, z. B. Brandort, Lage der Öffnungsflächen, Netzfeinheit, Lage der Messstelle.

Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin

Referenzbeispiel 1 – Zonenmodelle

- Ergebnisse:

Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin

Referenzbeispiel 1 – Zonen- vs. CFD-Modelle

Legend:

- CFast 6.11 - Upper Layer (McCaffrey)
- FDS 25 cm - im Raum 15 cm u. Decke
- CFast 6.11 - Upper Layer (Heskestad)
- FDS 25 cm - im Raum 15 cm u. Decke
- MRFC - Heißgasschicht
- FDS 25 cm - 5 m
- CFast 6.2.1 - Upper Layer (Heskestad)
- CFast 6.2.1 - Upper Layer (McCaffrey)

Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin

Referenzbeispiel 1 – FDS (verschiedene Zellgrößen)

Temperatur [°C]

Zeit [s]

hhpberlin

- - P1 - 12,5 cm unter Decke (25 cm) - - P2 - 12,5 cm unter Decke (25 cm)
 — P1 - 12,5 cm unter Decke (50 cm) — P2 - 12,5 cm unter Decke (50 cm)

Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin

Referenzbeispiel 1 – FDS (verschiedene Messstellen)

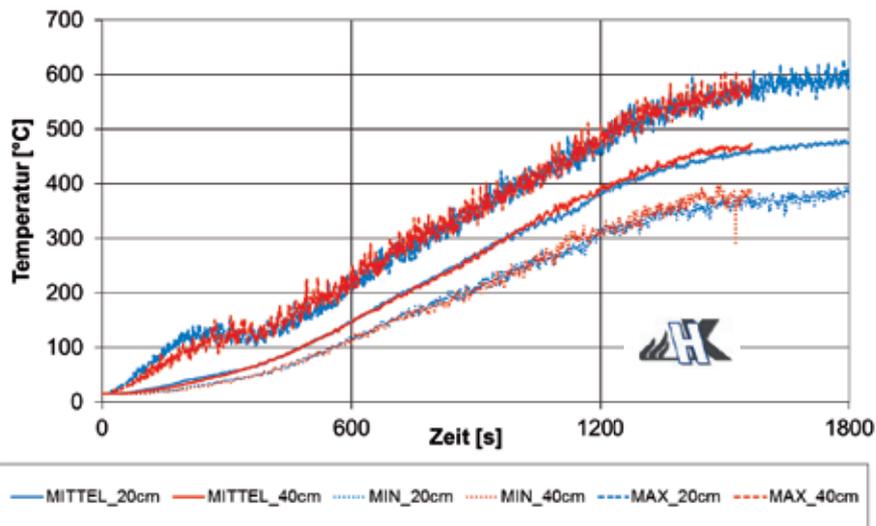
Temperatur [°C]

Zeit [s]

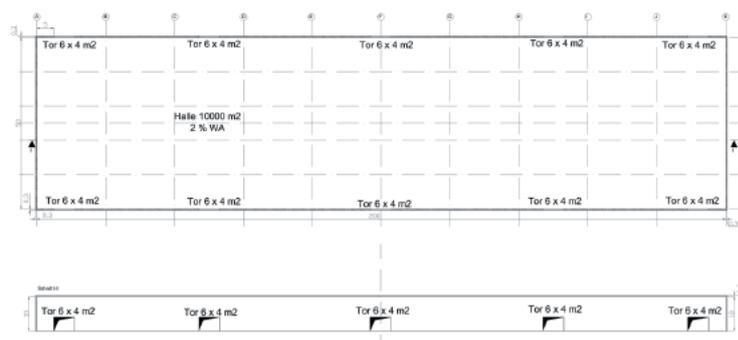
hhpberlin

- - P1 - 12,5 cm unter Decke (25 cm) - - P1 - 25 cm unter Decke (25 cm)
 — P1 - 37,5 cm unter Decke (25 cm) — P1 - 100 cm unter Decke (25 cm)

Referenzbeispiel 1 – FDS (maßgebliche Temperatur)



Vorstellung Referenzbeispiel 2



- Halle mit 200 m x 50 m x 10 m (ca. 6 Mio Zellen bei 0,3 m)
- Brandszenario auf 400 m², 240 kW/m².
- Maximal HRR 96 MW

Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin

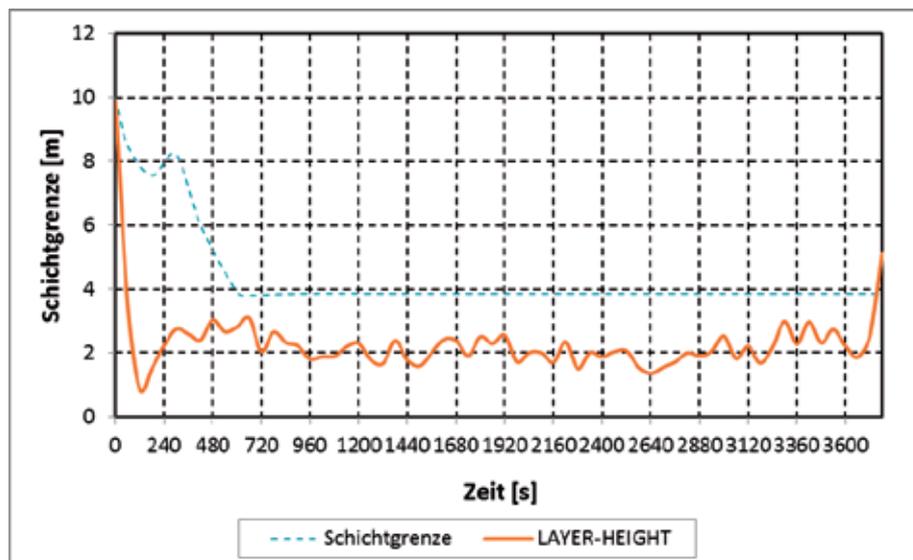
Referenzbeispiel 2: Wärmefreisetzung

- ca. 2000 h Berechnungsdauer bis 60 Minuten

Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin

Referenzbeispiel 2 – FDS (maßgebliche Temperatur)

Referenzbeispiel 2 – FDS (Layer Height)



Vergleich DIN 18230-1/DIN 18230-4 (BSP 1)

- Vergleichsberechnung in Anhang A der DIN 18230-4.
- MRFC 31,5 Minuten (HRR 30 kWh/m², H_U = 4,8 kWh/m²).
- FDS zeigt von der Zellgröße abhängige Werte:
 - Mittleres t_a zwischen 25,27 Min (1 m), 26,70 Min (0,25 m) und 30,57 Min (0,10 m)
 - Zellgrößen zwischen 0,10 m und 0,25 m geeignet.
- DIN 18230-1:2010 – 22,3 Min.
- Abweichungen durch unterschiedliche Brandregime begründet (DIN 18230-1, HHR 20 kWh/m², 3,74 kWh/m²).

Brandschutz der nächsten Generation

hhpberlin

Erkenntnisse aus den Vergleichsrechnungen

- Zonen- und CFD-Modelle sind unter Berücksichtigung der Ergebnisgröße Temperatur grundsätzlich gleichermaßen für die Anwendung mit der DIN 18230-4 geeignet.
- Die Verwendung eines CFD-Modells erfordert eine größere Sorgfalt und einen erhöhten Aufwand bei der Auswertung.
- Zur Gewährleistung von mit Zonenmodellen vergleichbaren Ergebnissen ist eine Mittelwertbildung erforderlich.
- CFD-Modelle sind für die relevanten Geometrien zu langsam
- Wenn lokale Phänomene (z. B. Stützen) relevant werden und bei komplexen Geometrien sind CFD-Berechnungen unabdingbar (im Normenkonzept DIN 18230 nicht vorgesehen)

Brandschutz der nächsten Generation

hhpberlin

Zusammenfassung und Ausblick

- DIN 18230-4 im Zusammenspiel mit der DIN 18230-1.
- Überblick über die bislang durchgeführten Vergleichsrechnungen im Rahmen der Normungsarbeit.
- Weitere Vergleichsrechnungen erforderlich (Brandszenarien über mehrere Ebenen (Zonenmodelle?), Abweichungen Teil 1 / Teil 4).

hhpberlin



BFT Cognos
Sachverständige
Berater
Gutachter



Hagen
Ingenieure für Brandschutz



BAM



H



FACH



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Brandschutz der nächsten Generation

hhpberlin

Kontaktinformationen

hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH

Rotherstraße 19
10245 Berlin

Frankfurter Straße 2
38122 Braunschweig

Kurze Mühren 20
20095 Hamburg

Wilhelm-Leuschner-Straße 41
60329 Frankfurt am Main

Rosental 5
80331 München

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 Hosser
Dr.-Ing. Karl-Heinz Schubert

Phone: +49 (30) 89 59 55-0
Fax: +49 (30) 89 59 55-9101

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Amtsgericht
Berlin Charlottenburg
HRB 78 927

Deutsche Bank P+G AG
BLZ 100 700 24
Konto-Nr. 1419100

IBAN-Nr.
DE52100700240141910000
Swift-Code: DEUTDE33HAN33

Ust-IdNr. DE217656065

Dr. Susanne Kilian:

Optimierung der FDS-Drucklösung auf Basis algebraischer Mehrgittermethoden

Abstract:

Mehrgittermethoden gehören zu den effizientesten Verfahren zur parallelen Lösung großer Gleichungssysteme wie sie typischerweise bei der numerischen Simulation physikalisch-chemischer Prozesse auftreten. Sie zeichnen sich in der Regel durch hervorragende Konvergenzeigenschaften aus und sind Bestandteil vieler heutzutage gebräuchlicher HPC-Programmpakete. Vor dem Hintergrund, dass die aktuelle Parallelisierungsstrategie für die FDS-Druckgleichung - die blockweise Durchführung lokaler FFT-Methoden - keine zuverlässige und robuste Skalierbarkeit auf hohe Prozessorzahlen gewährleistet, wurde in den vergangenen Jahren bereits erfolgreich eine sogenannte geometrische Mehrgittermethode als alternativer Drucklöser in den offiziellen FDS-Code implementiert. Motiviert durch die damit erzielten Verbesserungen der Skalierungs- und Konvergenzeigenschaften, wurde inzwischen auch eine algebraische Mehrgittervariante innerhalb von FDS entwickelt, die zu weiteren Effizienzsteigerungen führen soll. Während des Vortrags soll der aktuelle Entwicklungsstand präsentiert und anhand von Beispielen dokumentiert werden. Dabei werden die wesentlichen Grundmerkmale algebraischer Mehrgittermethoden, insbesondere in Abgrenzung zu geometrischen Mehrgittermethoden, dargelegt und weitere Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt.

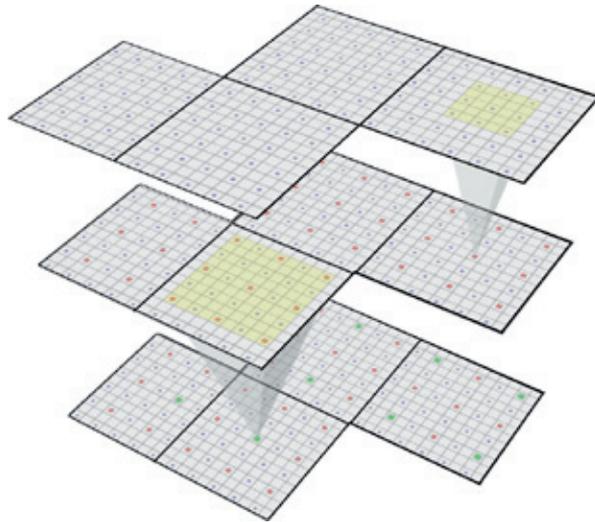
Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Optimierung der FDS-Drucklösung auf Basis algebraischer Mehrgittermethoden

Dr. Susanne Kilian

hhpberlin
Ingenieure für Brandschutz
10245 Berlin

www.hhpberlin.des.kilian@hhpberlin.de

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Optimierung der FDS-Drucklösung auf Basis algebraischer Mehrgittermethoden

Inhalt:

- Motivation
- Grundprinzipien algebraischer Mehrgittermethoden
- Weitere Optimierungsmöglichkeiten
- Aktueller Stand und zukünftige Pläne

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Motivation: Charakteristische Eigenschaft der Druckgleichung

Elliptische partielle Differentialgleichung vom Poisson-Typ:

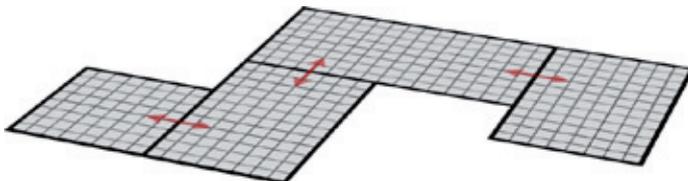
$$\nabla^2 \mathcal{H} = -\frac{\partial(\nabla \cdot \mathbf{u})}{\partial t} - \nabla \cdot \mathbf{F}$$

plus Randbedingungen

- starke globale Kopplung wegen hoher Ausbreitungsgeschwindigkeit
 - lokale Informationen breiten sich sofort überall aus
 - lokale Störungen beeinflussen die gesamte Lösung
- paralleler Löser muss dieses Verhalten so gut wie möglich reproduzieren !

Verschiedene FDS-Drucklöser im Vergleich: Reines Block-FFT-Verfahren

4-Mesh-Pipe in 2D:

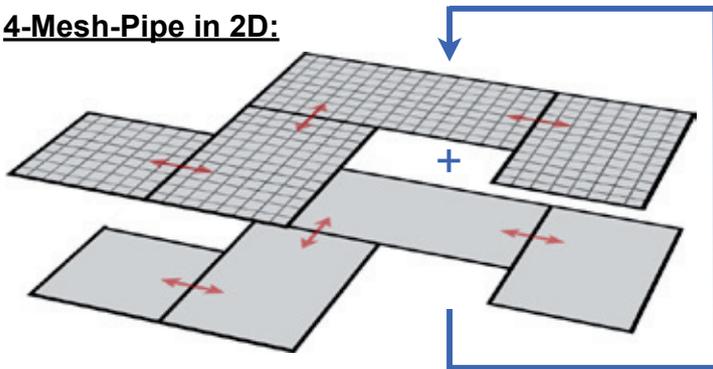


4 lokale FFT's
+ lokaler Datenaustausch

- blockweise Durchführung rein lokaler FFT-Verfahren
- künstliche Definition von Randwerten entlang innerer Ränder
- direkte Methodik mit gut vorhersehbarer Rechenzeit (auf Basis der Matrixgröße)
- nur stockender Datentransport wegen Aufbrechen des physikalischen Zusammenhangs, schlechte Skalierbarkeit auf große Mesh-Zahlen

Verschiedene FDS-Drucklöser im Vergleich: Block-FFT-Verfahren plus Grobgitterkorrektur

4-Mesh-Pipe in 2D:



Iteration

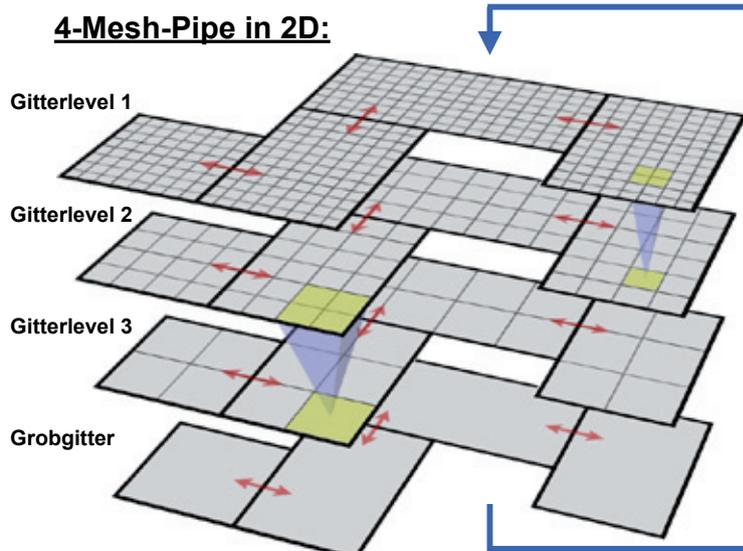
- 4 lokale FFT's**
- + lokaler Datenaustausch**
- + Grobgitterproblem**

- Einbettung der lokalen FFT-Verfahren in übergreifende Grobgitter-Iteration
- **Abbruchkriterium:** Normalkomponenten der Geschwindigkeiten $< tol$
z.B.: `&PRES VELOCITY_TOLERANCE=0.01`

→ **verbesserter globaler Datentransport, aber langsame Konvergenz und gutes Abbruch-Kriterium a-priori nicht bestimmbar**

Verschiedene FDS-Drucklöser im Vergleich: ScaRC-Variante „geometrisches Mehrgitterverfahren“

4-Mesh-Pipe in 2D:



Iteration

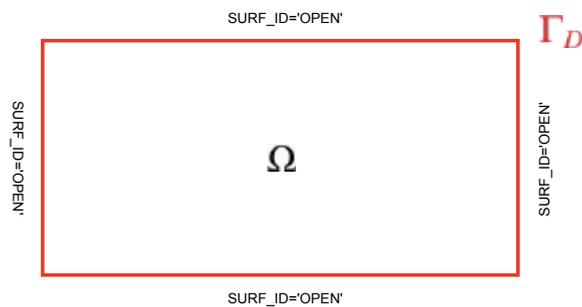
- 1 globales Mehrgitter (inkl. Gitterhierarchie)**
- + lokaler Datenaustausch**
- + Grobgitterproblem**

→ **deutlich verbessertes Konvergenz- und Skalierbarkeitsverhalten wegen starker globaler Kopplung**

Abbildung globaler Datenabhängigkeiten Beispiel: 1-Mesh-Pipe mit reinem Dirichlet-Rand

$$\nabla^2 \mathcal{H} = \text{const} \quad \text{in } \Omega$$

Dirichlet-Rand: $\mathcal{H} = 0 \quad \text{auf } \Gamma_L$



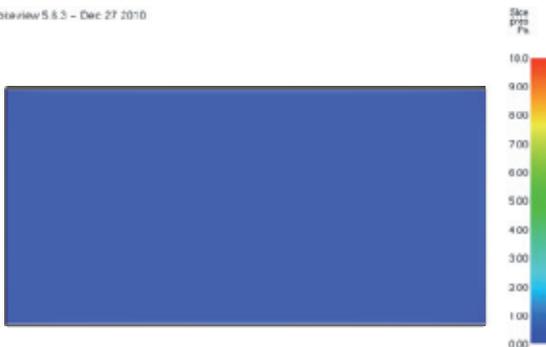
→ akademisches Standard-Beispiel: **konstante rechte Seite und Nullrand**

Darstellung globaler Abhängigkeiten: Reines Block-FFT-Verfahren

1-Mesh-Fall:

Druck in letztem Zeitschritt

Snapshot 5.5.3 - Dec 27 2010



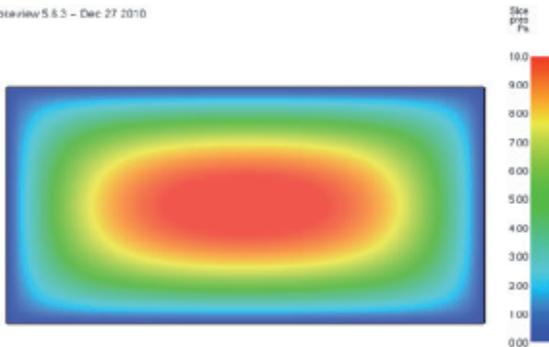
Annahme: Druckwerte aus vorangehender Zeititeration gleich Null

→ entspricht einer ‚schlechten Startnäherung‘ für die iterativen Varianten

Darstellung globaler Abhängigkeiten: Reines Block-FFT-Verfahren

1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

Snapshot 5.8.3 - Dec 27 2010

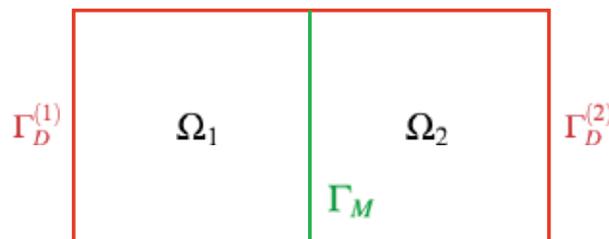


→ 1-Mesh-FFT-Verfahren berechnet korrekten Druck im neuen Zeitschritt
(unabhängig von Startnäherung wegen direkter Methodik)

Abbildung globaler Datenabhängigkeiten Beispiel: 2-Mesh-Pipe mit reinem Dirichlet-Rand

$$\begin{array}{ll} \nabla^2 \mathcal{H}^{(1)} = const & \text{in } \Omega^{(1)} \\ \mathcal{H}^{(1)} = 0 & \text{auf } \Gamma_D^{(1)} \end{array} \quad \begin{array}{ll} \nabla^2 \mathcal{H}^{(2)} = const & \text{in } \Omega^{(2)} \\ \mathcal{H}^{(2)} = 0 & \text{auf } \Gamma_D^{(2)} \end{array}$$

$$\mathcal{H}^{(i)} = \text{mean}(\mathcal{H}_{old}^{(1)}, \mathcal{H}_{old}^{(2)}) \quad \text{auf } \Gamma_M \quad (i = 1, 2)$$



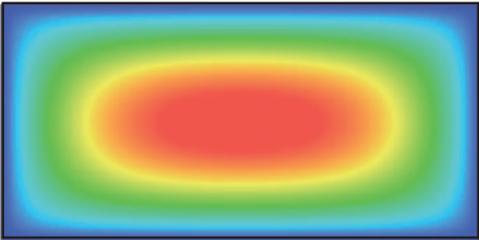
→ Mittelwert entlang innerem Rand auf Basis von Druckwerten aus letztem Zeitschritt

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Darstellung globaler Abhängigkeiten: Reines Block-FFT-Verfahren

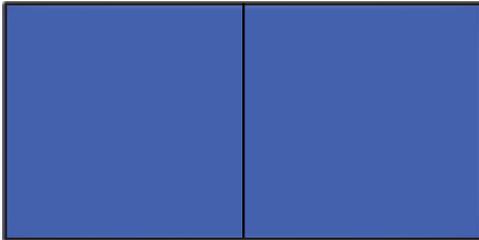
1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

Snapshot 5.6.3 - Dec 27 2010



2-Mesh-Fall:
vor der reinen Block-FFT

Snapshot 5.6.3 - Dec 27 2010



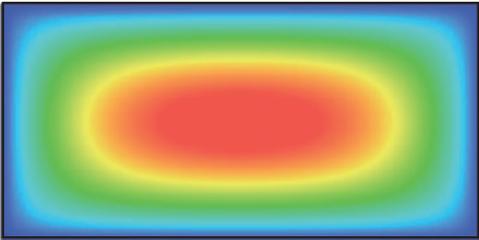
→ Mittelwert an innerem Rand wird auf Basis der schlechten Startwerte berechnet

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Darstellung globaler Abhängigkeiten: Reines Block-FFT-Verfahren

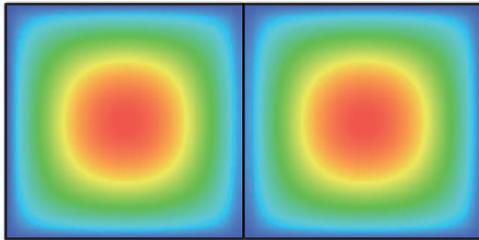
1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

Snapshot 5.6.3 - Dec 27 2010



2-Mesh-Fall:
am Ende der reinen Block-FFT

Snapshot 5.6.3 - Dec 27 2010

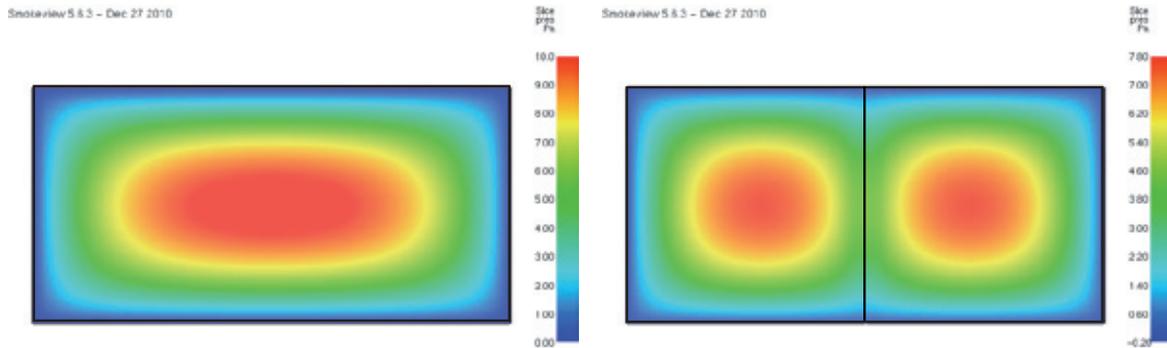


→ zwei separate Poisson-Probleme werden gelöst !

Darstellung globaler Abhängigkeiten: Block-FFT-Verfahren mit Grobgitterkorrektur

1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

2-Mesh-Fall:
zu Beginn der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur

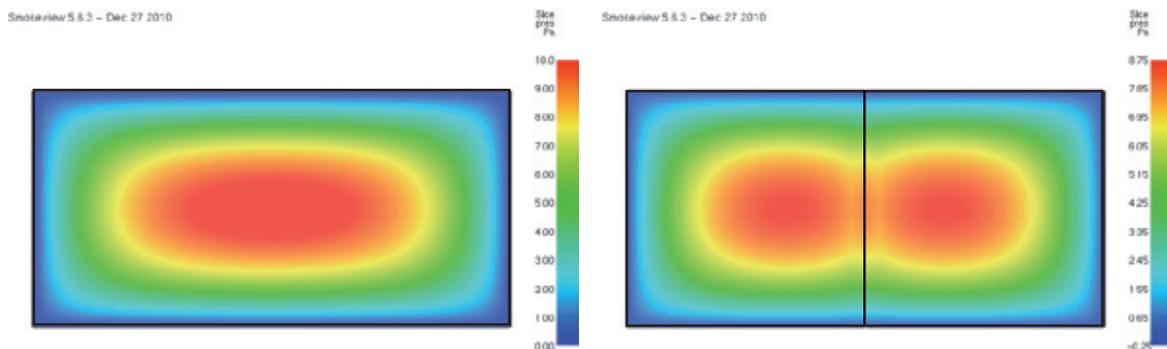


-
- Anwendung der umgreifenden Grobgitterkorrektur
 - mehrfache, iterative Durchführung der lokalen FFT-Verfahren

Darstellung globaler Abhängigkeiten: Block-FFT-Verfahren mit Grobgitterkorrektur

1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

2-Mesh-Fall:
im Verlauf der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur



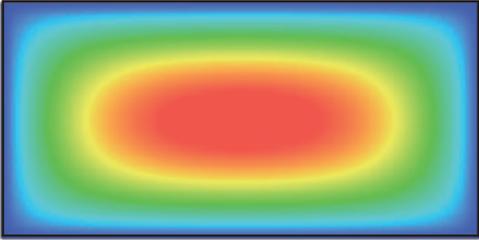
- Annäherung der lokalen Poisson-Probleme an 1-Mesh-Lösung

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Darstellung globaler Abhängigkeiten: Block-FFT-Verfahren mit Grobgitterkorrektur

1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

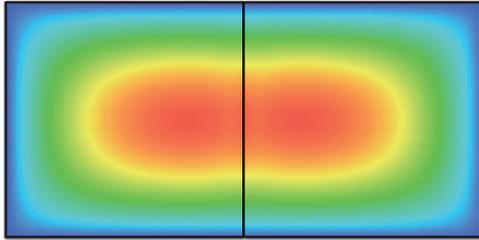
Snotaview 5.8.3 - Dec 27 2010



Slope
P122
%

2-Mesh-Fall:
im Verlauf der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur

Snotaview 5.8.3 - Dec 27 2010



Slope
P122
%

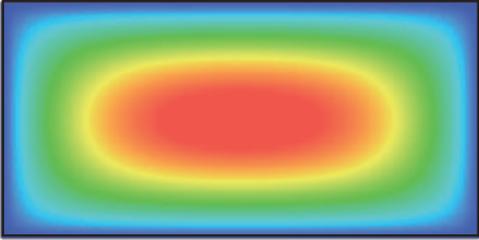
→ weitere Annäherung der lokalen Poisson-Probleme

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Darstellung globaler Abhängigkeiten: Block-FFT-Verfahren mit Grobgitterkorrektur

1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

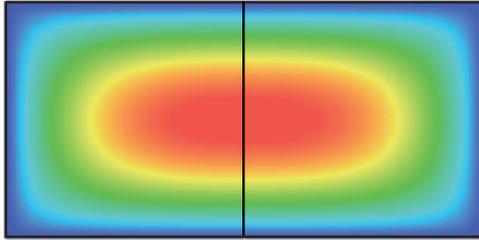
Snotaview 5.8.3 - Dec 27 2010



Slope
P122
%

2-Mesh-Fall:
am Ende der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur

Snotaview 5.8.3 - Dec 27 2010



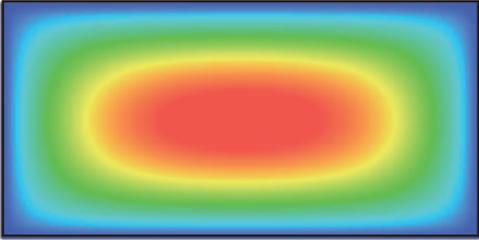
Slope
P122
%

→ Block-FFT mit Grobgitterkorrektur konvergiert nach einigen Iterationen

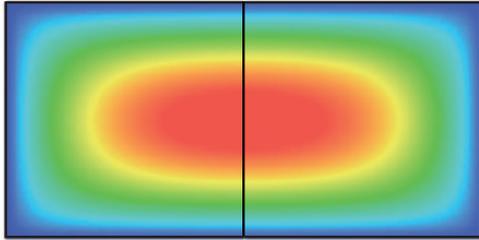
Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Darstellung globaler Abhängigkeiten: ScaRC

1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT



2-Mesh-Fall:
am Ende von ScaRC



→

- ScaRC löst unmittelbar das globale Gleichungssystem (wie 1-Mesh-Fall)
- benötigt KEINE künstlichen Randwerte an innerem Rand !
- gibt sofort übergreifende Abhängigkeiten wieder

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Darstellung der Randbedingungen: 1-Mesh-Pipe mit gemischtem Dirichlet-/Neumann-Rand

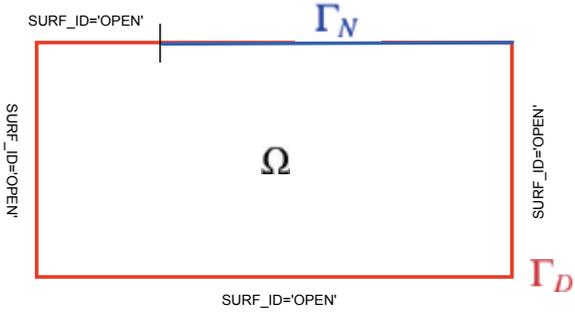
$$\nabla^2 \mathcal{H} = const \quad \text{in } \Omega$$

Dirichlet-Rand:

$$\mathcal{H} = 0 \quad \text{auf } \Gamma_D$$

Neumann-Rand:

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial n} = 0 \quad \text{auf } \Gamma_N$$



→

- FFT-Verfahren erlaubt pro Kante (2D) bzw. Fläche (3D) nur **1 Randbedingung**
- sobald ein Anteil SURF_ID='OPEN': ganze Kante/Fläche wird Dirichlet !!

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Darstellung der Randbedingungen: 1-Mesh-Pipe mit gemischtem Dirichlet-/Neumann-Rand

$$\nabla^2 \mathcal{H} = const \quad \text{in } \Omega$$

Dirichlet-Rand: $\mathcal{H} = 0$ auf Γ_D

Neumann-Rand: $\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial n} = 0$ auf Γ_N

Γ_D Γ_N ???

Ω

Γ_D

→ • Neumann-Anteil entfällt !!
• die gemischte Randbedingung wird komplett zur Dirichlet-Randbedingung

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Darstellung der Randbedingungen: Reines Block-FFT-Verfahren

1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

Shotview 5.5.3 - Dec 27 2010

→ es wird das gleiche Problem wie im reinen Dirichlet-Fall gelöst !!!

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Darstellung der Randbedingungen: 2-Mesh-Pipe mit Dirichlet-/Neumann-Rand

$\nabla^2 \mathcal{H}^{(1)} = const$ in $\Omega^{(1)}$
 $\mathcal{H}^{(1)} = 0$ auf $\Gamma_D^{(1)}$
 ~~$\frac{\partial \mathcal{H}^{(1)}}{\partial n} = 0$ auf $\Gamma_N^{(1)}$~~

$\nabla^2 \mathcal{H}^{(2)} = const$ in $\Omega^{(2)}$
 $\mathcal{H}^{(2)} = 0$ auf $\Gamma_D^{(2)}$
 $\frac{\partial \mathcal{H}^{(2)}}{\partial n} = 0$ auf $\Gamma_N^{(2)}$

→ • im linken oberen Teilgebiet reiner Dirichlet-Rand (Neumann-Anteil entfällt)
 • im rechten oberen Teilgebiet reiner Neumann-Rand (überdeckt ganze Kante)

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Darstellung der Randwerte: Reines Block-FFT-Verfahren

1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

2-Mesh-Fall:
am Ende der reinen Block-FFT

→ • die Block-FFT rechnet zwei separate Poisson-Probleme
 • links mit oberem Dirichlet-Rand, rechts mit oberem Neumann-Rand

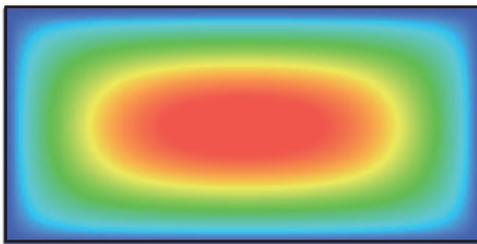
Darstellung der Randwerte: Block-FFT-Verfahren mit Grobgitterkorrektur

1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

2-Mesh-Fall:
zu Beginn der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur

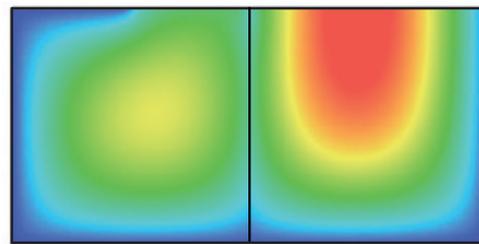
Snotaview 5.8.5 - Dec 27 2010

Size
P102
%



Snotaview 5.8.5 - Dec 27 2010

Size
P102
%



→ Durchführung weiterer Block-FFT-Verfahren im Rahmen der iterativen Grobgitterkorrektur

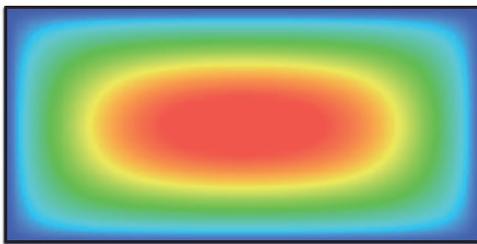
Darstellung der Randwerte: Block-FFT-Verfahren mit Grobgitterkorrektur

1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

2-Mesh-Fall:
im Verlauf der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur

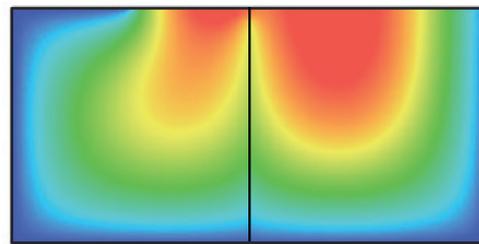
Snotaview 5.8.5 - Dec 27 2010

Size
P102
%



Snotaview 5.8.5 - Dec 27 2010

Size
P102
%



→ • sukzessive Annäherung an die korrekte Lösung
• Grobgitterkorrektur erfordert mehr Iterationen als im reinen Dirichlet-Fall

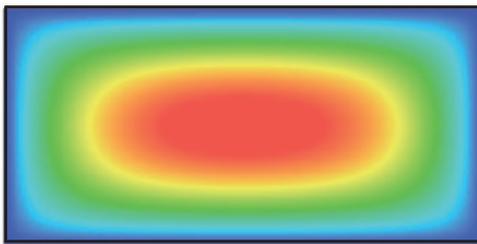
Darstellung der Randwerte: Block-FFT-Verfahren mit Grobgitterkorrektur

1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

2-Mesh-Fall:
im Verlauf der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur

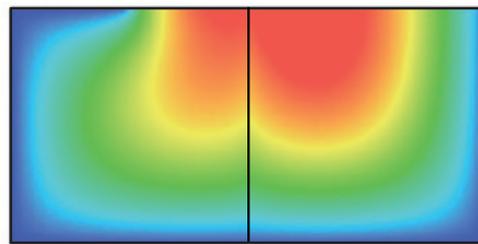
Snapshot 5.8.5 - Dec 27 2010

Size
P22
%



Snapshot 5.8.5 - Dec 27 2010

Size
P22
%



→ Kopplung mit den Geschwindigkeitswerten innerhalb der Grobgitter-Iteration führt sukzessive zur Abbildung der richtigen gemischten Randbedingungen

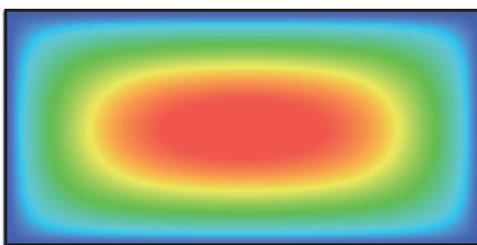
Darstellung der Randwerte: Block-FFT-Verfahren mit Grobgitterkorrektur

1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

2-Mesh-Fall:
am Ende der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur

Snapshot 5.8.5 - Dec 27 2010

Size
P22
%

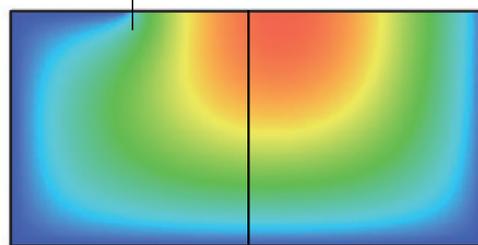


Γ_D



Snapshot 5.8.5 - Dec 27 2010

Size
P22
%



Γ_D

Γ_N



→ Block-FFT mit Grobgitterkorrektur konvergiert nach einigen Iterationen

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Darstellung der Randwerte: ScaRC

1-Mesh-Fall:
am Ende der FFT

Snapshot 5.6.5 - Dec 27 2010

2-Mesh-Fall:
am Ende von ScaRC

Snapshot 5.6.5 - Dec 27 2010

→ • ScaRC löst unmittelbar das globale Gleichungssystem
• zell-genaue Zuordnung der gemischten Randbedingungen

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Darstellung der Randwerte: ScaRC

→ • Randwerte können auch für komplexere Gebiete zell-genaue gesetzt werden
• auch über Mesh-Grenzen hinweg
• unabhängig von der Anzahl an Meshes

Konvergenzverhalten der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur: Testfall mit ständig wechselnder Einströmung

bisheriger Eindruck:

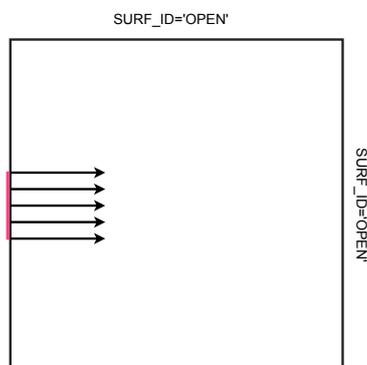
- reine Block-FFT kein adäquater Multi-Mesh-Löser
- Block-FFT mit Grobgitterkorrektur deutlich besser, aber :
 - träge Reaktion auf Änderungen des globalen Datenzusammenhangs
 - sensible Abhängigkeit von Startwerten und Abbruch-Toleranz

→ Belastungsprobe für Block-FFT mit Grobgitterkorrektur:

- häufiger Wechsel der globalen Dateninformationen

Konvergenzverhalten der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur: Testfall mit ständig wechselnder Einströmung

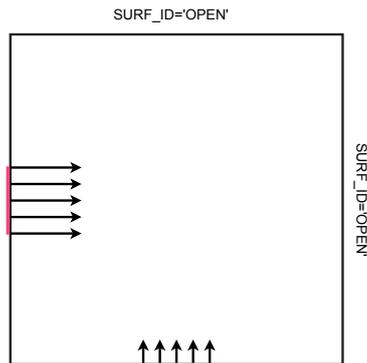
RAMP-gesteuerte Einströmung von links und unten



- volle Einströmung von links
- keine Einströmung von unten

Konvergenzverhalten der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur: Testfall mit ständig wechselnder Einströmung

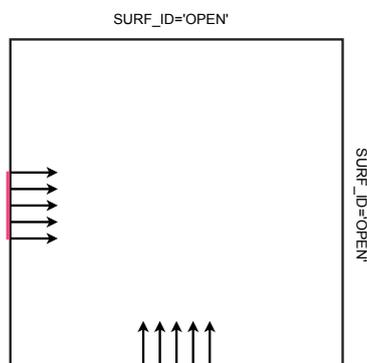
RAMP-gesteuerte Einströmung von links und unten



- Einströmung von links nimmt ab
- Einströmung von unten beginnt

Konvergenzverhalten der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur: Testfall mit ständig wechselnder Einströmung

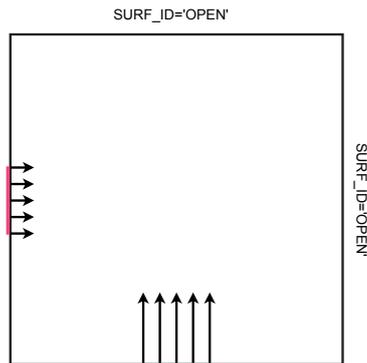
RAMP-gesteuerte Einströmung von links und unten



- Einströmung von links nimmt weiter ab
- Einströmung von unten nimmt zu

Konvergenzverhalten der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur: Testfall mit ständig wechselnder Einströmung

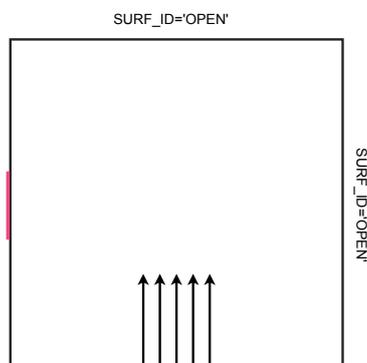
RAMP-gesteuerte Einströmung von links und unten



- Einströmung von links nimmt weiter ab
- Einströmung von unten nimmt weiter zu

Konvergenzverhalten der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur: Testfall mit ständig wechselnder Einströmung

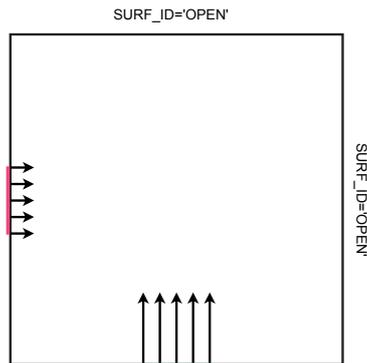
RAMP-gesteuerte Einströmung von links und unten



- keine Einströmung von links mehr
- volle Einströmung von unten

Konvergenzverhalten der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur: Testfall mit ständig wechselnder Einströmung

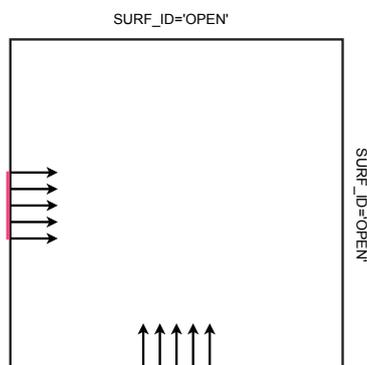
RAMP-gesteuerte Einströmung von links und unten



- Einströmung von links beginnt wieder
- Einströmung von unten nimmt ab

Konvergenzverhalten der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur: Testfall mit ständig wechselnder Einströmung

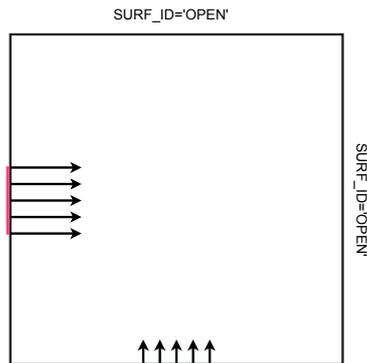
RAMP-gesteuerte Einströmung von links und unten



- Einströmung von links nimmt weiter zu
- Einströmung nimmt weiter ab

Konvergenzverhalten der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur: Testfall mit ständig wechselnder Einströmung

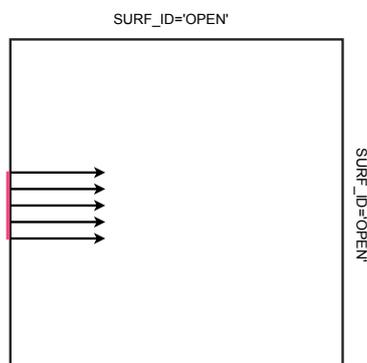
RAMP-gesteuerte Einströmung von links und unten



- Einströmung von links nimmt weiter zu
- Einströmung von unten nimmt weiter ab

Konvergenzverhalten der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur: Testfall mit ständig wechselnder Einströmung

RAMP-gesteuerte Einströmung von links und unten



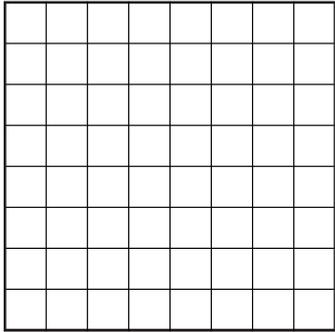
- volle Einströmung von links
- keine Einströmung von unten

→ bei jeweiligen Änderungen der Einströmsituation bieten die alten Druckwerte keine gute Grundlage zur Definition der inneren Randwerte

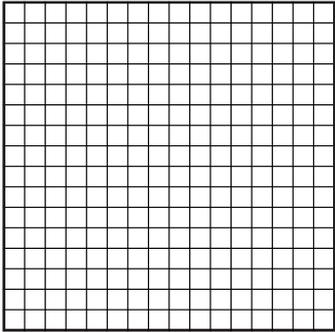
Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Konvergenzverhalten der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur: Testfall mit ständig wechselnder Einströmung

64 Meshes (8x8)
(16x16 Zellen pro Mesh)



256 Meshes (16x16)
(8x8 Zellen pro Mesh)



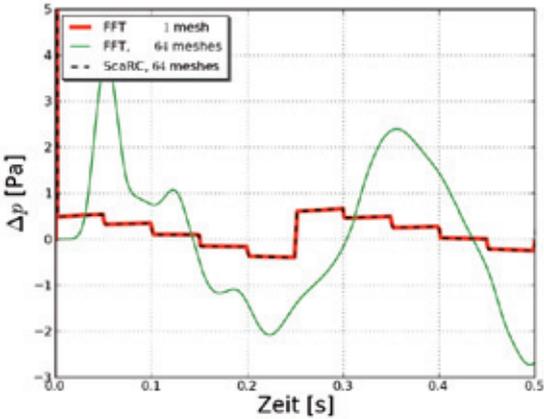
→

- 128 x 128 = 16384 Zellen insgesamt, auf Meshes verteilt
- Druckverlauf der zugehörigen 1-Mesh FFT-Rechnung als Referenzkurve

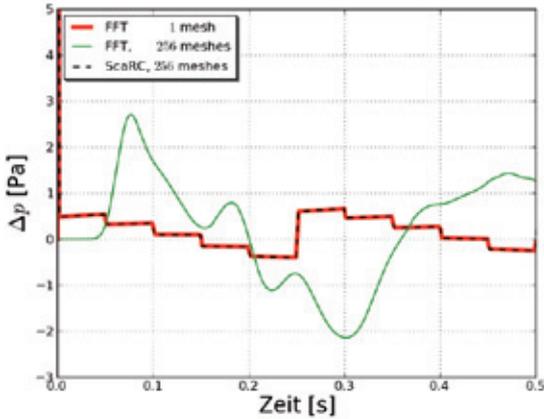
Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Konvergenzverhalten der Block-FFT mit Grobgitterkorrektur: Testfall mit ständig wechselnder Einströmung

64 Meshes (8x8)

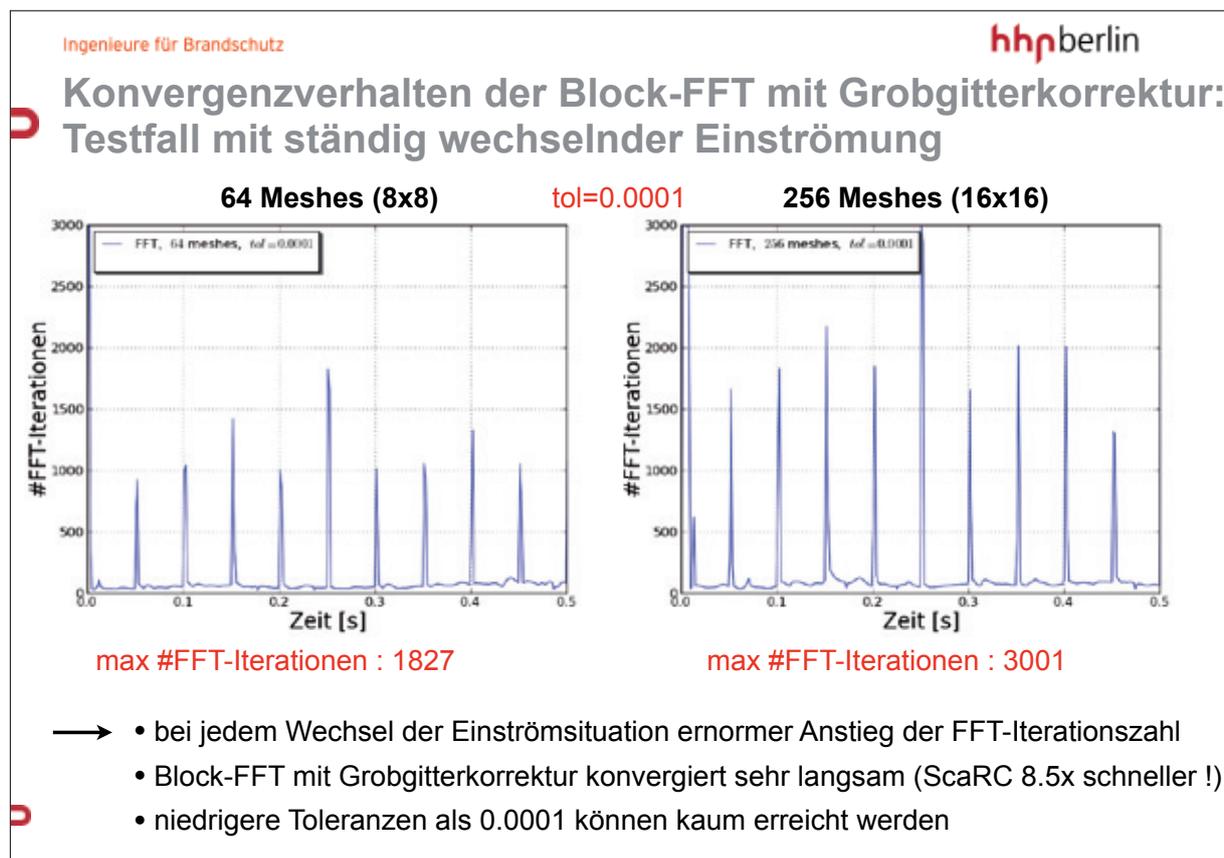
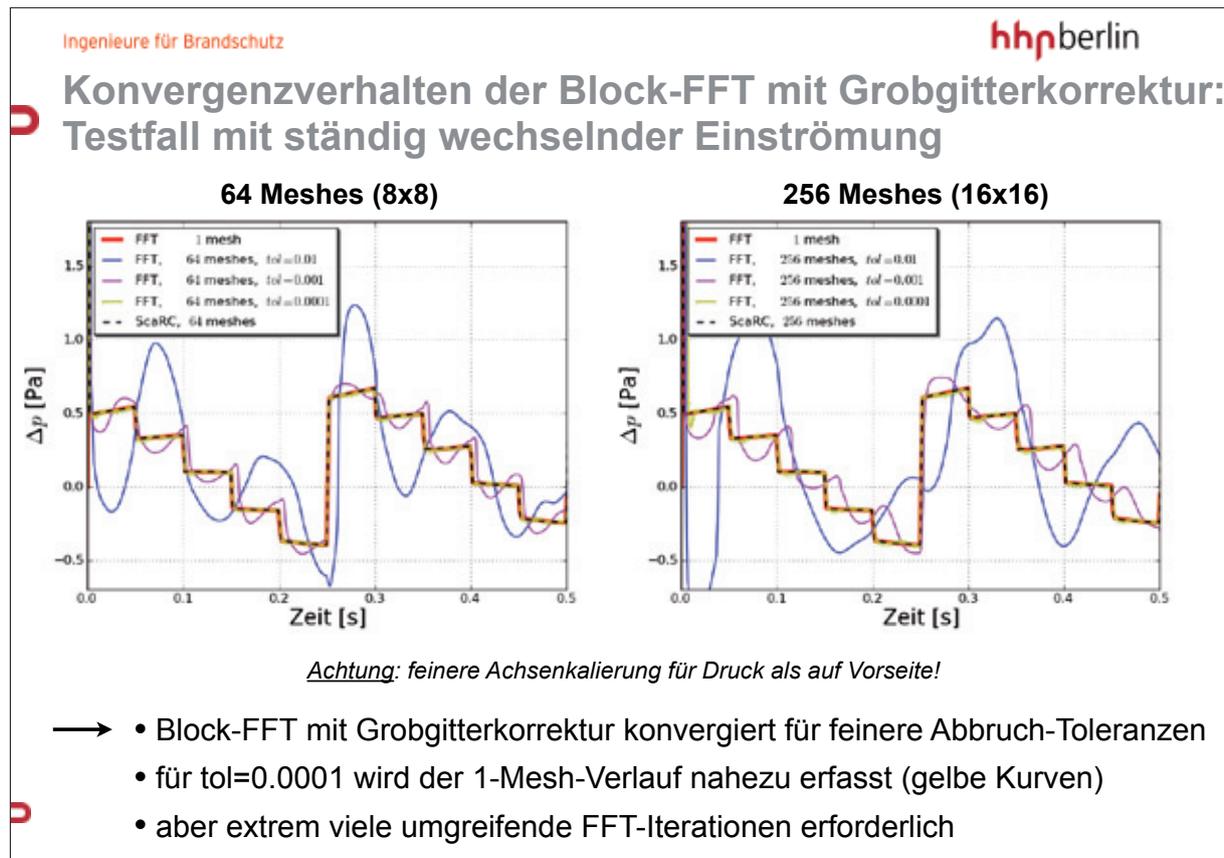


256 Meshes (16x16)



→

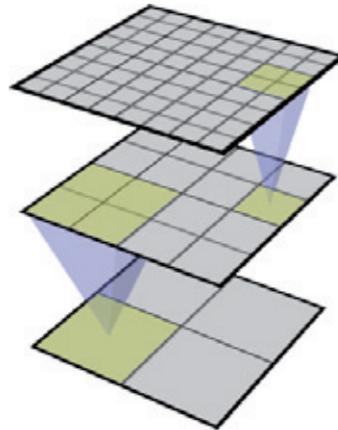
- reine Block-FFT ist nicht in der Lage, den 1-Mesh-Verlauf wiederzugeben !
- ScaRC erfasst den 1-Mesh-Verlauf exakt, unabhängig von Mesh-Zahl



Grundprinzipien von Mehrgitterverfahren

Kernkomponenten:

- **Gitterhierarchie:**
Serie von Gittern verschiedener Auflösung
- **Relaxationsverfahren pro Gitterlevel:**
$$x^{m+1} = x^m - \omega B^{-1}(Ax^m - b)$$
- **Interpolation zwischen Gitterleveln**
- **Grobgitterlöser:**
exakte Lösung des Grobgitterproblems



Kernidee: effiziente Fehlerreduktion durch Verwendung verschieden grober Gitter

$$\|d^m\| \longrightarrow 0 \quad d^m = A^m x^m - b \quad (\text{Residuum})$$

glatte Fehler, die durch weitere Relaxation nicht mehr verkleinert werden können, werden auf größeren Gittern reduziert

Eigenschaften von Mehrgitterverfahren: „geometrisch“ versus „algebraisch“

Geometrisches Mehrgitter (GMG):

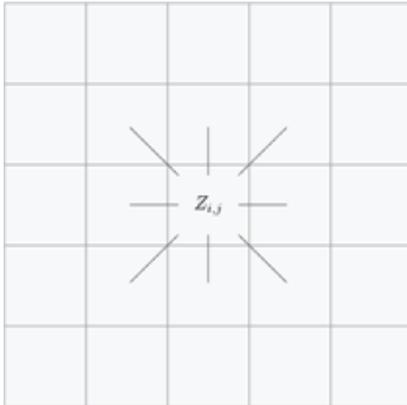
- verwendet nur die geometrische Information zur Definition der Bausteine (Gitter)
- Vergrößerung der Gitter durch Verdopplung der Schrittweite:
→ Zellanzahl pro Raumdimension üblicherweise **Zweierpotenz**
- anwendbar auf breite Problemklassen mit gewissen Regularitätseigenschaften
- dort **hervorragende Konvergenzeigenschaften**

Algebraisches Mehrgitter (AMG):

- verwendet nur die algebraische Information aus dem Gleichungssystem selbst (Matrix)
- auf allgemeinere Probleme anwendbar:
 - auch für **irreguläre geometrische Situationen**
 - insbesondere bei **adaptiver Gitterverfeinerung**
- i.a. sehr gute Konvergenz, aber **unvollständigere Konvergenztheorie** als bei GMG

Algebraische Mehrgitterverfahren Erzeugung des feinsten Gitterlevels

Diskretisierungsprozess:



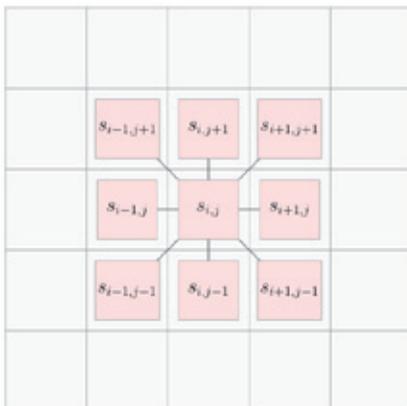
- Erzeugung eines feinen Rechengitters
- Rechenvorschriften für einzelne Gitterzellen $Z_{i,j}$ (z.B. via Differenzenverfahren)
- Überführung in Gleichungssystem

$$Ax = b$$

→ Wechselwirkungen der Zelle $Z_{i,j}$ mit Nachbarzellen

Algebraische Mehrgitterverfahren Erzeugung der größeren Gitterlevel

Allgemeiner Matrixstern: Quantifizierung der Zell-Wechselwirkungen



Heuristik zur Gittervergrößerung:

Vergrößere nur in Richtung ‚glatter‘ Daten bzw. ‚starker Datenzusammenhänge‘

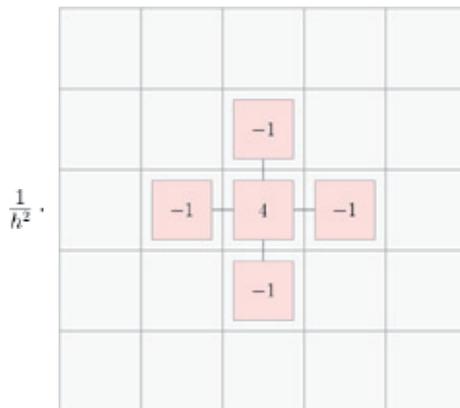
z.B.: Vergrößerung nach rechts erlaubt wenn $s_{i+1,j}$ groß im Verhältnis zu restlichen Nachbarwerten von $s_{i,j}$

Zugehörige Matrixzeile:

... $s_{i-1,j-1}$ $s_{i,j-1}$ $s_{i+1,j-1}$... $s_{i-1,j}$ $s_{i,j}$ $s_{i+1,j}$... $s_{i-1,j+1}$ $s_{i,j+1}$ $s_{i+1,j+1}$...

Algebraische Mehrgitterverfahren: Erzeugung der größeren Gitterlevel

Matrixstern für FDS-Druckproblem: zentraler Differenzenquotient



- keine Abhängigkeiten von diagonal benachbarten Zellen
- gleichförmige Abhängigkeit von Nachbarn (für äquidistante Gitter)
- Vergrößerung in alle 4 Richtungen erlaubt

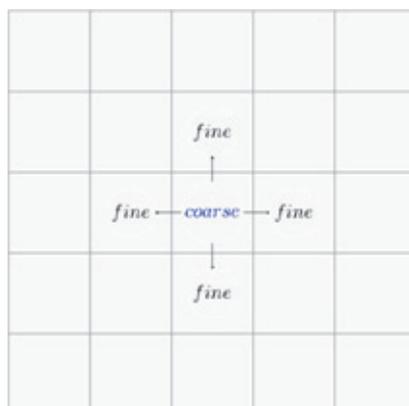
→ direkte 1-stufige Interpolation zwischen Gitterleveln möglich !!

Zugehörige Matrixzeile:

$$\frac{1}{h^2} (\dots -1 \dots -1 \quad 4 \quad -1 \dots -1 \dots)$$

Algebraische Mehrgitterverfahren Verschiedene Vergrößerungstechniken: „Ruge-Stüben“

„Ruge-Stüben“

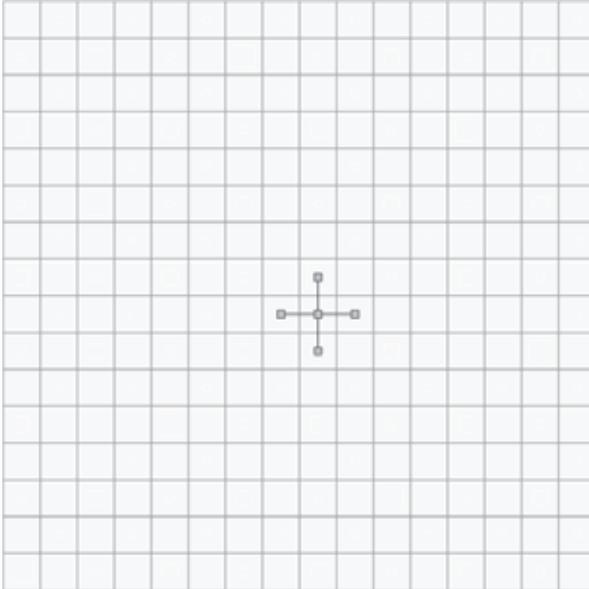


- nur Zellen aus dem Matrixstern werden betrachtet
- vergrößertes Gitter enthält noch relativ viele Zellen
- relativ große Matrixsterne auf gröberem Leveln
- sehr genaue, direkte Interpolation

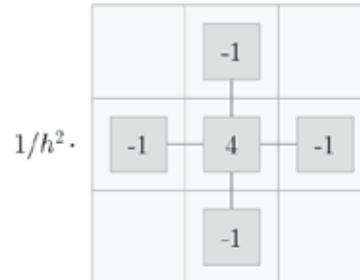
→ hohe Genauigkeit, aber auch hohe rechnerische Komplexität

Algebraische Mehrgitterverfahren Verschiedene Vergrößerungstechniken: „Ruge-Stüben“

Gitterlevel 1: Ausgangsgitter von FDS



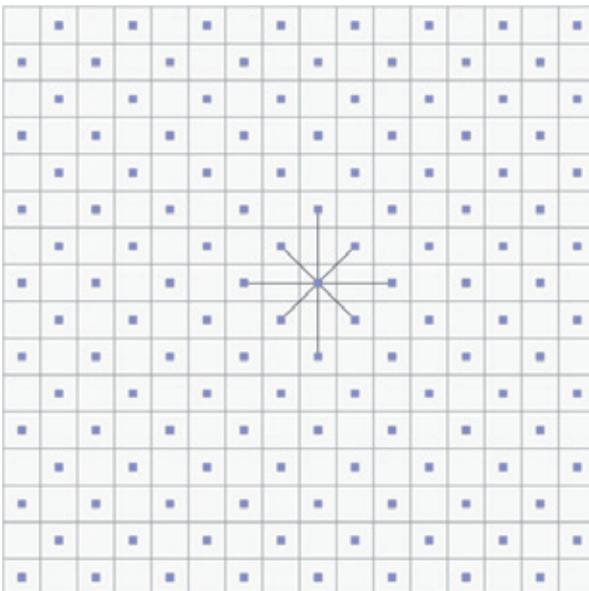
lokaler Matrixstern



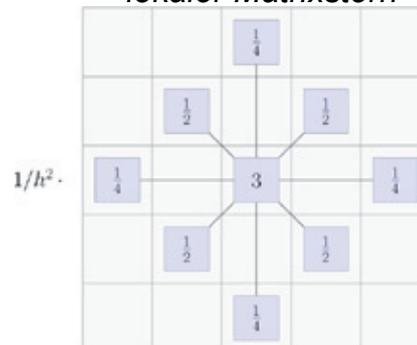
kleiner Matrixstern !

Algebraische Mehrgitterverfahren Verschiedene Vergrößerungstechniken: „Ruge-Stüben“

Gitterlevel 2: neue Gitterpunkte des vergrößerten Levels



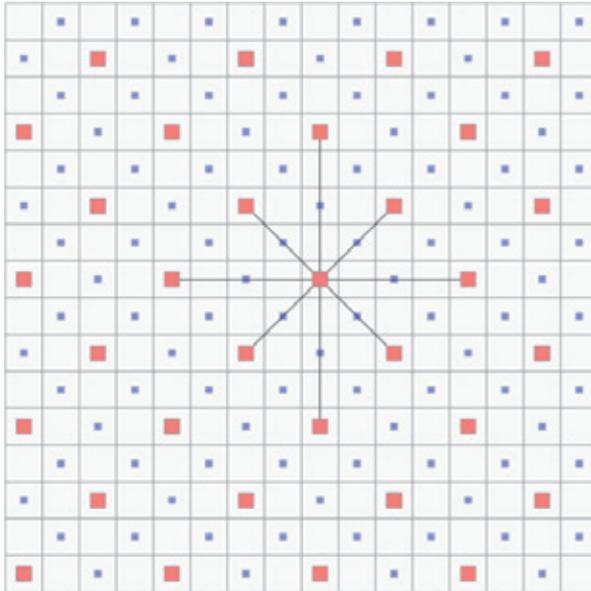
lokaler Matrixstern



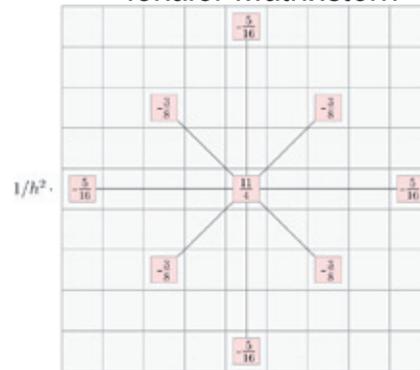
größer als auf Level 1 !

Algebraische Mehrgitterverfahren Verschiedene Vergrößerungstechniken: „Ruge-Stüben“

Gitterlevel 3: neue Gitterpunkte des vergrößerten Levels ■



lokaler Matrixstern



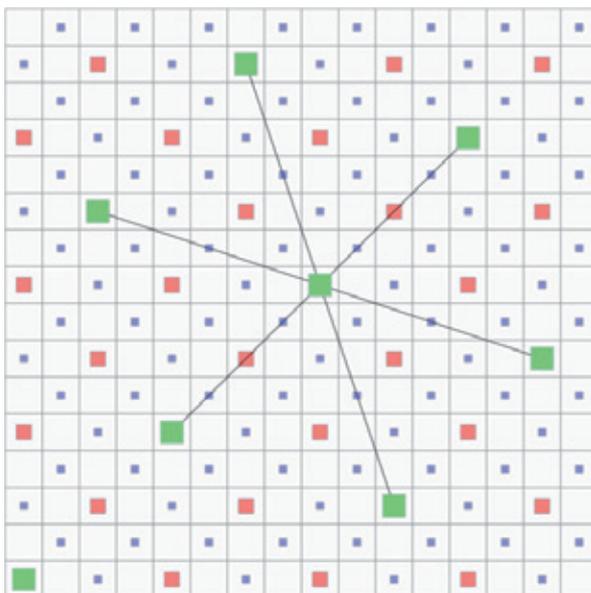
gleiche Größe wie Level 2

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Algebraische Mehrgitterverfahren Verschiedene Vergrößerungstechniken: „Ruge-Stüben“

Gitterlevel 4: neue Gitterpunkte des vergrößerten Levels ■



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

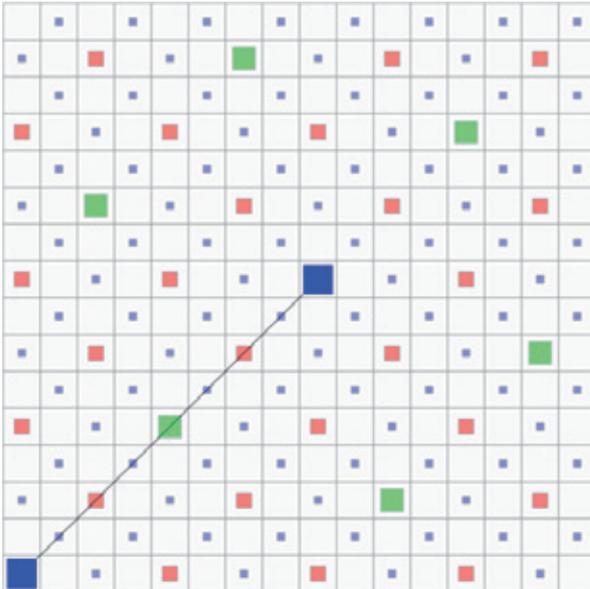
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Algebraische Mehrgitterverfahren

Verschiedene Vergrößerungstechniken: „Ruge-Stüben“

Gitterlevel 5: neue Gitterpunkte des vergrößerten Levels ■



Grobgitter erreicht

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

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Algebraische Mehrgitterverfahren

Verschiedene Vergrößerungstechniken: „Aggressiv-A2“

„Aggressiv-A2“



- Diagonalnachbarn werden auch zu Feingitterzellen
- weniger Zellen im vergrößerten Gitter

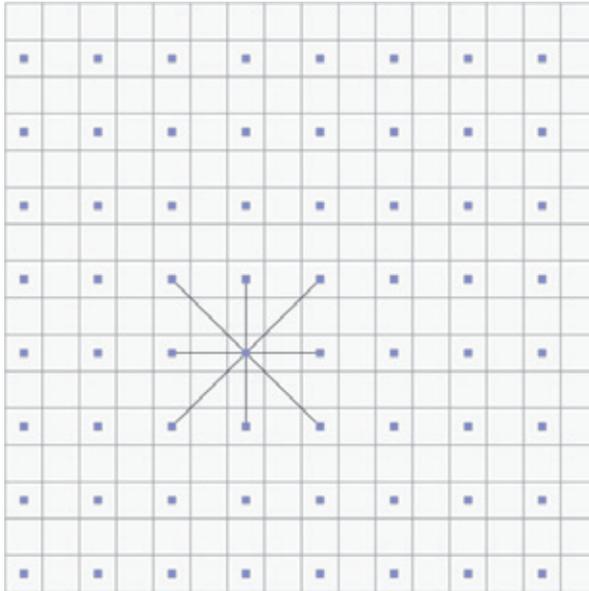
→ indirekte 2-stufige Interpolation zwischen Gitterleveln erforderlich !!

(rote Zellen müssen über den Umweg der schwarzen Zellen interpoliert werden)

→ geringere Genauigkeit, aber deutlich laufzeit-effizienter

Algebraische Mehrgitterverfahren Verschiedene Vergrößerungstechniken: „Aggressiv-A2“

Gitterlevel 2: neue Gitterpunkte des vergrößerten Levels ■

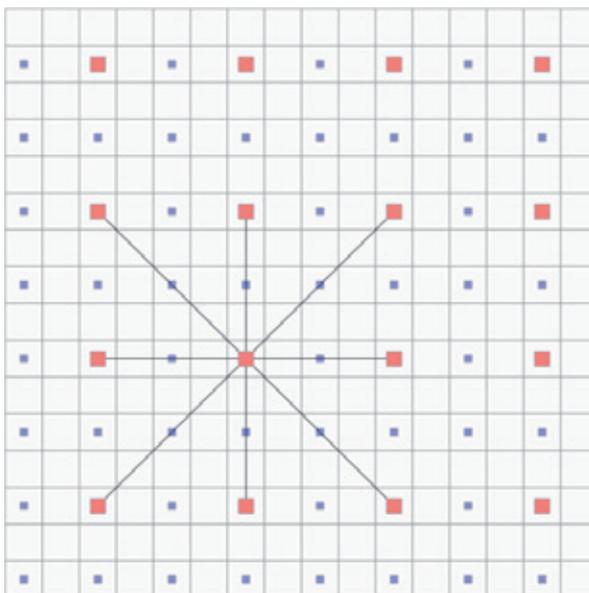


- weniger Gitterpunkte auf einzelnen Leveln (laufzeiteffizienter)
- aber ungenauere Interpolation (eventuell langsamere Konvergenz wegen geringerer Genauigkeit)

→ ausgewogene Balance nötig !!

Algebraische Mehrgitterverfahren Verschiedene Vergrößerungstechniken: „Aggressiv-A2“

Gitterlevel 3: neue Gitterpunkte des vergrößerten Levels ■



- weniger Gitterpunkte auf einzelnen Leveln (laufzeiteffizienter)
- aber ungenauere Interpolation (eventuell langsamere Konvergenz wegen geringerer Genauigkeit)

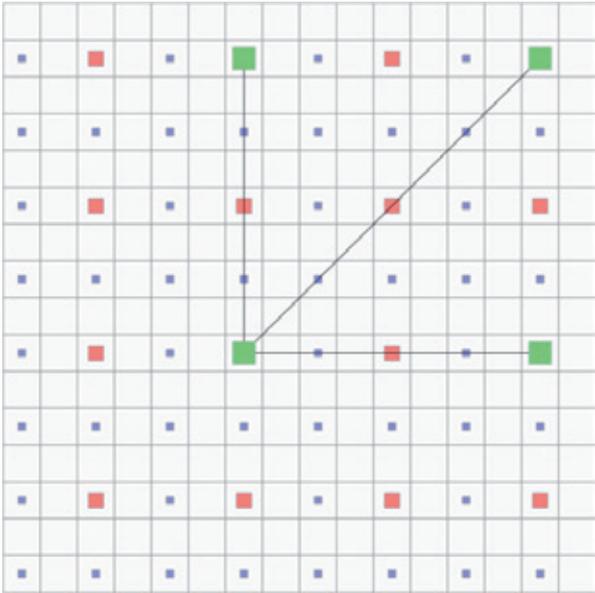
→ ausgewogene Balance nötig !!

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Algebraische Mehrgitterverfahren

Verschiedene Vergrößerungstechniken: „Aggressiv-A2“

Gitterlevel 4: neue Gitterpunkte des vergrößerten Levels ■



- weniger Gitterpunkte auf einzelnen Leveln (laufzeiteffizienter)
- aber ungenauere Interpolation (eventuell langsamere Konvergenz wegen geringerer Genauigkeit)

→ ausgewogene Balance nötig !!

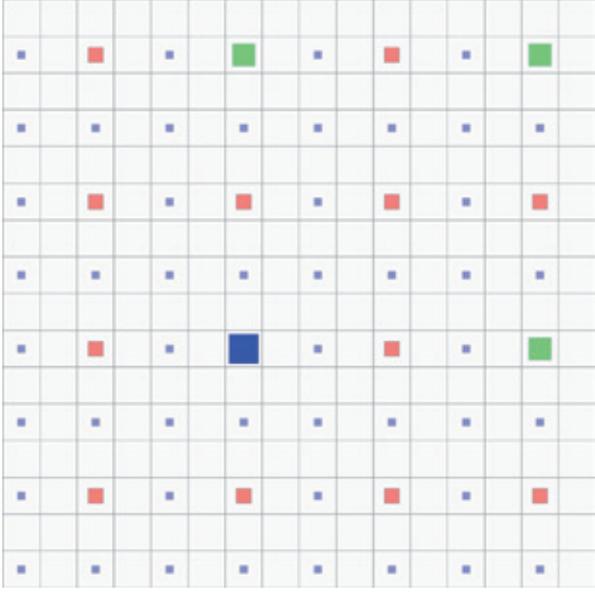
email@hhpberlin.de Ingenieure für Brandschutz GmbH
www.hhpberlin.com Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Algebraische Mehrgitterverfahren

Verschiedene Vergrößerungstechniken: „Aggressiv-A2“

Gitterlevel 5: neue Gitterpunkte des vergrößerten Levels ■



- weniger Gitterpunkte auf einzelnen Leveln (laufzeiteffizienter)
- aber ungenauere Interpolation (eventuell langsamere Konvergenz wegen geringerer Genauigkeit)

→ ausgewogene Balance nötig !

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

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Algebraische Mehrgitterverfahren Verschiedene Vergrößerungstechniken: „Anisotrop“



The diagram shows a 5x5 grid. The central cell is labeled 'coarse' with arrows pointing to the four adjacent cells, which are labeled 'fine'. This illustrates a coarse grid with finer resolution in the directions of high data variation.

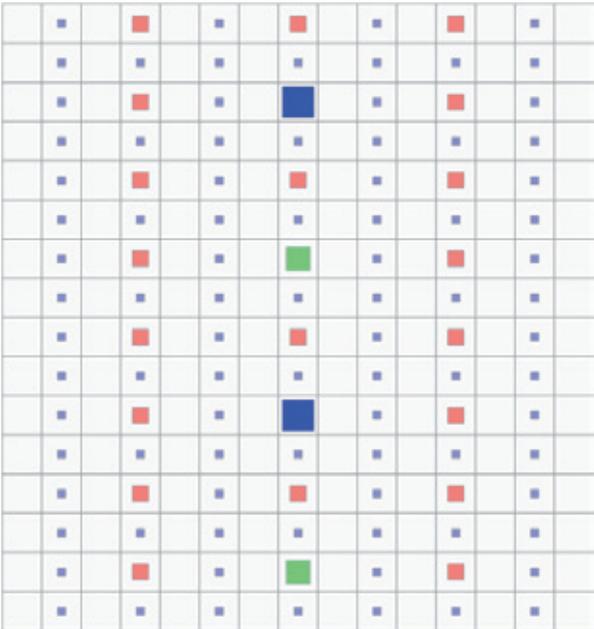
- unidirektionale Verfeinerung bei
 - anisotropen Gittern
 - richtungsabhängigen Matrixkoeffizienten
- Beibehaltung feinerer Auflösung in Richtung starker Daten-Variation

→ gute Repräsentation der Daten, aber höhere Komplexität

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Algebraische Mehrgitterverfahren Verschiedene Vergrößerungstechniken: „Anisotrop“

Gitterlevel 5:



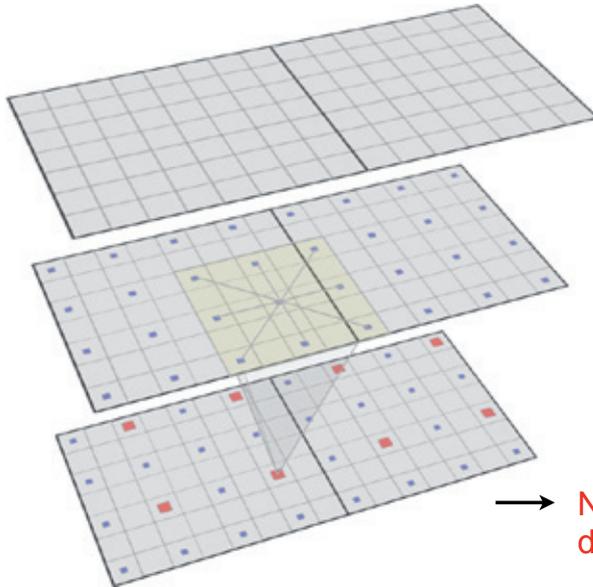
The diagram shows a 15x15 grid representing Gitterlevel 5. The grid contains several colored squares: red, blue, and green. The colors are arranged in a pattern that suggests data points or features. The grid is finer in the horizontal direction, reflecting the anisotropic nature of the data.

- unidirektionale Verfeinerung bei
 - anisotropen Gittern
 - richtungsabhängigen Matrixkoeffizienten
- Beibehaltung feinerer Auflösung in Richtung starker Daten-Variation

→ gute Repräsentation der Daten, aber höhere Komplexität

Algebraische Mehrgitterverfahren: Kommunikationsbedarf bei der Parallelisierung

Beispiel: 2-Mesh-Fall mit Vergrößerung „Aggressiv-A2“:



- bei der Matrix-Vektor Multiplikation (Matrixstern kann über mehrere Teilgebiete reichen)
- bei der Interpolation (in Randnähe können Daten vom Nachbar-Mesh erforderlich sein)
- beim Grobgitterproblem (wenige Gitterzellen sind über alle Meshes verteilt)

→ **Notwendigkeit zur sorgfältigen Analyse der Abhängigkeitsstrukturen !!**

Algebraisches Mehrgitterverfahren: Aktuelle Bewertung

- für **variable Matrix-Koeffizienten** und **adaptive Gitter** geeignet !!
- Möglichkeit zur Ausnutzung der ‚einfachen‘ FDS-Gitterstrukturen
- Notwendigkeit einer **guten Balance zwischen Laufzeiteffizienz und Genauigkeit**:
 - Vergrößerungsprozess ‚grob‘: langsamere Konvergenz, aber kürzere Laufzeit pro Iteration
 - Vergrößerungsprozess ‚fein‘: schnellere Konvergenz, aber längere Laufzeit pro Iteration
- **nicht-triviale Setup-Zeit** zum Aufbau der einzelnen Gitterlevel und zugehörigen Interpolationsoperatoren und Matrizen
 - gerechtfertigt bei Durchführung vieler Zeitschritte
- optimale Wahl der Verfahrensparameter nicht offensichtlich
 - umfangreiche Tests notwendig

Weitere Optimierungsmöglichkeiten

• Grobgitterlösung:

- † verteilte Lösung (häufiger Datenaustausch, da nur wenige Zellen pro Mesh, ineffizient)
- † **zentrale Lösung** auf Master-Mesh (Reduktion Datenaustausch, effizienter)

→ nach bisherigen Testrechnungen Einsparung von ca. 5 % der Rechenzeit

• Verwendung effizienter Matrix-Speichertechniken:

- † für GMG **bandweise Speichertechnik** (Speicherung der Matrixbänder, benötigt reguläres Gitter, optimierte Cache-Nutzung möglich)
- † für AMG **kompakte Speichertechnik** (Speicherung des Matrixsterns pro Zelle, benötigt zusätzliche Pointervektoren, weniger Cache-optimal, aber allgemeiner)

• Verwendung Intel Math Kernel Library (MKL):

- † **hochoptimierte Durchführung lokaler Standard-Operationen** wie z.B. Addition oder Skalierung von Vektoren, globale Skalarprodukte

→ nach bisherigen Testrechnungen Einsparung von ca. 10-15 % der Rechenzeit

Aktueller Stand und Ausblick

• im vergangenen Jahr implementiert:

- † kompakte Speichertechnik (bandweise bereits für GMG implementiert)
- † lokaler Grobgitterlöser
- † Einbindung der MKL-Bibliotheken
- † AMG mit verschiedenen Vergrößerungstechniken
 - in 2D und 3D für 1-Mesh-Rechnungen
 - in 2D bereits für Multi-Mesh-Rechnungen

• für nächstes Jahr geplant:

- † Fertigstellung AMG für Multi-Mesh-Rechnungen in 3D
- † Integration von Adaptivitätskonzepten
- † Parameter- und Laufzeitoptimierung
- † weitere Konsistenzchecks

Brandschutz der nächsten Generation

hhpberlin

Kontaktinformationen

hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH

Rotherstraße 19
10245 Berlin

Frankfurter Straße 2
38122 Braunschweig

Kurze Mühren 20
20095 Hamburg

Wilhelm-Leuschner-Straße 41
60329 Frankfurt am Main

Rosental 5
80331 München

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 Hosser
Dr.-Ing. Karl-Heinz Schubert

Phone: +49 (30) 89 59 55-0
Fax: +49 (30) 89 59 55-9101

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Amtsgericht
Berlin Charlottenburg
HRB 78 927

Deutsche Bank P+G AG
BLZ 100 700 24
Konto-Nr. 1419100

IBAN-Nr.
DE52100700240141910000
Swift-Code: DEUTDE33HAN33

Ust-IdNr. DE217656065

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

ISSN 2191-463X
5. Tagungsband FDS Usergroup Treffen
Jahrgang 2011