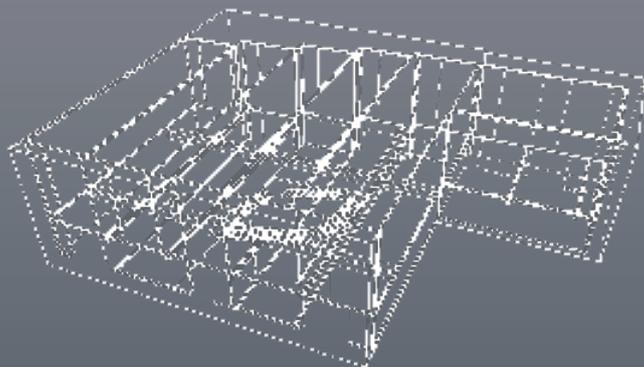


1. ANWENDERTREFFEN DER FDS USERGROUP

TAGUNGSBAND ZUSAMMENSTELLUNG DER KURZREFERATE

Datum:
07.03.2008

Ort:
hhpberlin
Rotherstraße 19
10245 Berlin



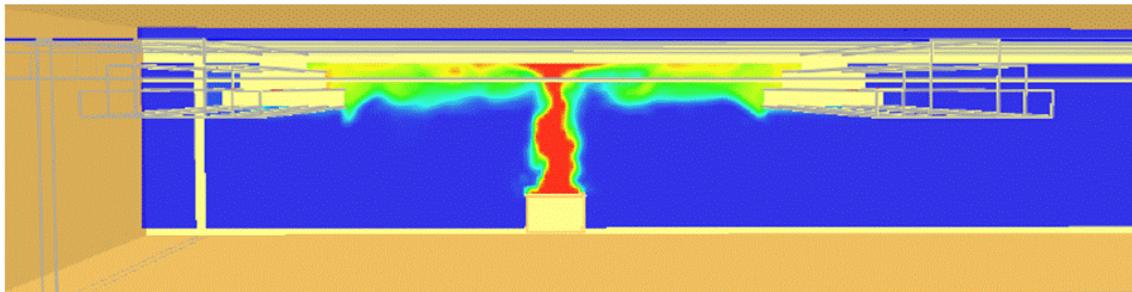
INHALT**Vorträge:**

Anwendung von FDS im Rahmen brandschutztechnischer Nachweise - Erfahrungen, Grenzen und Herausforderungen Dr. Jochen Zehfuß	2
Optimierung der Parallelisierungsstrategien von FDS - Cluster-Architektur bei hhpberlin Dr. Susanne Kilian	15
Parallelrechnung in der Praxis - Ist FDS 5 wirklich „besser“ als FDS4? Christian Rogsch	27
Vergleich FDS 4 vs. FDS 5 und die daraus resultierende Varianz bei Bauteiltemperaturen bzw. der Strahlungsintensität Boris Stock, Karl Wallasch	36
Weiterentwicklung von FDS hinsichtlich der dreidimensionalen Wärmeleitung in Bauteilen Andreas Vischer	45
Ausgewählte Szenarien zur Fehleranalyse der Rechenergebnisse aus FDS - Brand- und Rauchausbreitungssimulationen für die Versionen 4.0 und 5.0 Dimitrios Toris	57
Verifikation und Validierung bei der Softwareentwicklung - Warum Vergleiche mit Brandversuchen nicht ausreichen Matthias Münch	65
Vergleichsrechnungen zwischen einem Realbrandversuch (Straßenbahn) und einer FDS Simulation Klaus Veenker	80
Vergleich verschiedener CFD-Modelle - Anwendungsgebiete von CFX und FDS Martin Steinert	94

Dr. Jochen Zehfuß:

Anwendung von FDS im Rahmen brandschutztechnischer Nachweise - Erfahrungen, Grenzen und Herausforderungen

➤ Anwendung von FDS im Rahmen brandschutztechnischer Nachweise – Erfahrungen, Grenzen und Herausforderungen

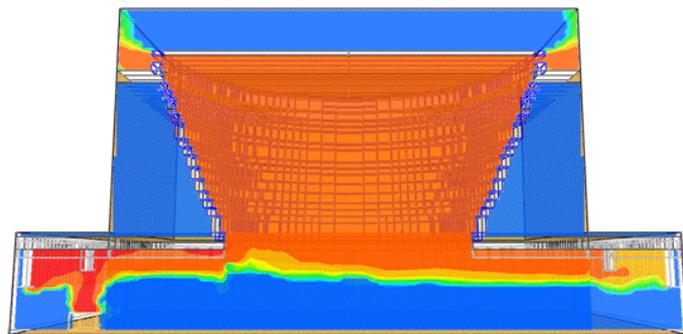


➤ Überblick

- Anwendung von FDS bei hhpberlin
- Brandschutzbemessung von Bauteilen und Tragwerken
- Bemessung der Rauchableitung
- Anwendungsbeispiele (Erfahrungen, Grenzen)
- Herausforderungen und Entwicklungspotentiale
- Vor- und Nachteile von FDS
- Motivation zur Gründung der FDS Usergroup

➤ Anwendung von FDS bei hhpberlin

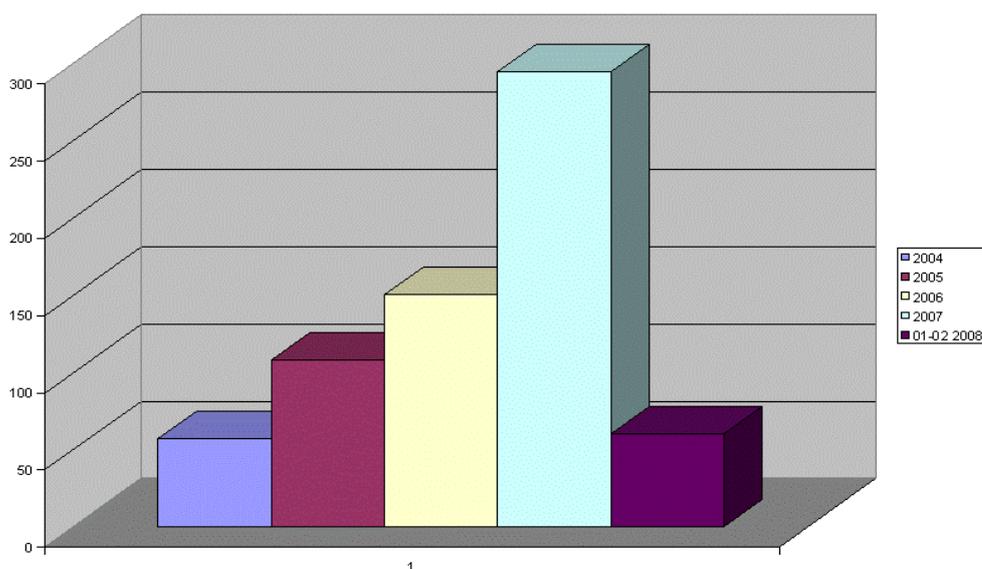
- Seit Beginn der 1990er Jahre: Anwendung von Ingenieurmethoden bei hhpberlin
→ Vollbrandmodelle, Plumemodelle (Handrechnungen)
- Seit ca. 1996: CFAST (Mehrraumzonenmodell)
- Seit 2003: Anwendung von FDS



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

➤ Anzahl FDS-Simulationen bei hhpberlin



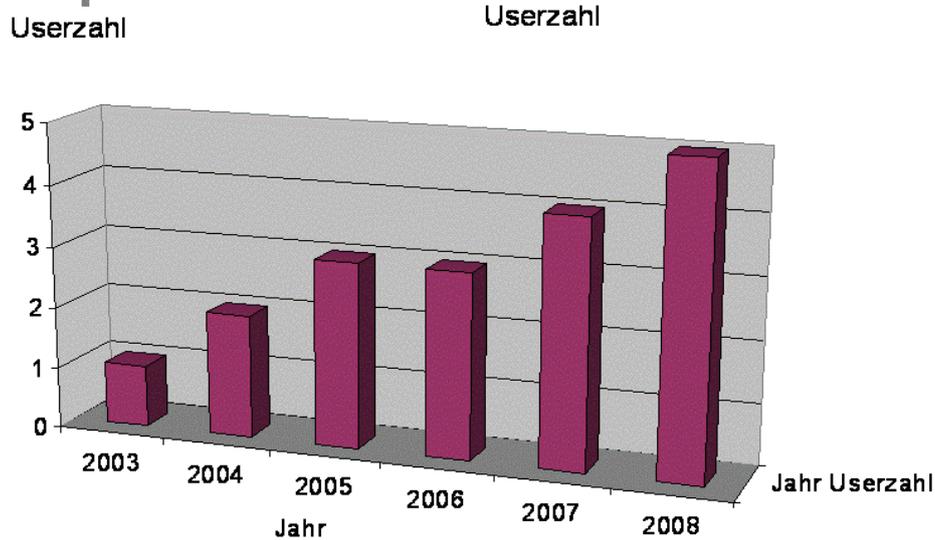
email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Entwicklung Userzahlen (Ingenieure) bei hhpberlin



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Entwicklung der Hardware-Ausstattung bei hhpberlin

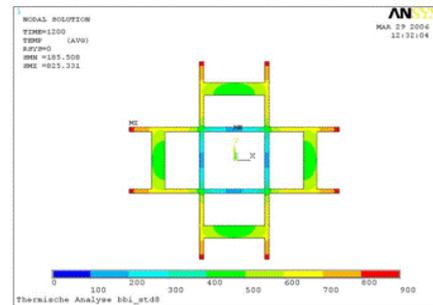
- 2003: lokal auf Arbeitsplatzrechnern simuliert, max. ca. 1 Mio. Zellen
- 2004: 3 Workstations mit jeweils 4 GB RAM, max. ca. 2,5 Mio. Zellen
- 2006: 4 Server mit jeweils 4 GB RAM, max. ca. 4 Mio. Zellen
- 2007: 12 Kerne mit insgesamt 24 GB RAM max. 8 Mio Zellen
- 2008: 36 Kerne (9*2-Proz. dual core) mit insgesamt 144 GB RAM

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Einsatzbereiche von FDS bei hhpberlin

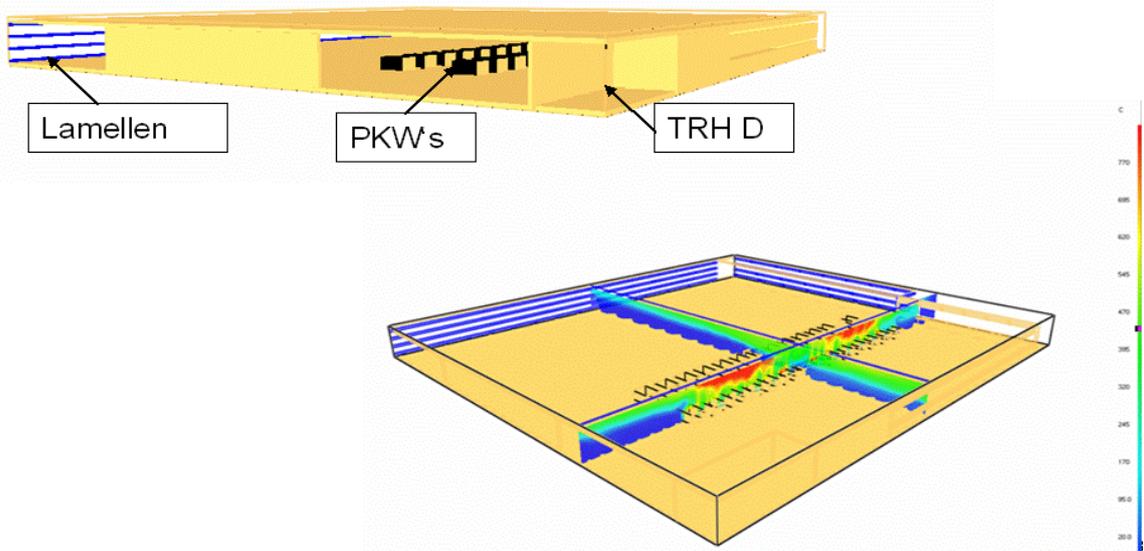
- Brandschutzbemessung von Tragwerken
 - Ermittlung der thermischen Einwirkungen für tragende Bauteile, raumabschließende Bauteile
 - (Berechnung der Brandausbreitung)
- Simulation der Rauchausbreitung
 - Natürliche Rauchableitung
 - Maschinelle Rauchableitung
 - (Auslösung Branddetektion)



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Brandschutzbemessung von Tragwerken



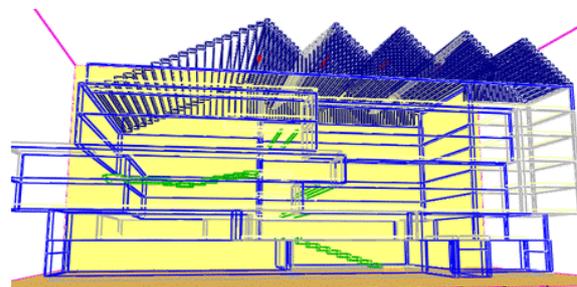
Simulation der Rauchableitung

- Vorgehensweise
 - Definition des Brandszenarios und des Bemessungsbrandes anhand anerkannter Technischer Regelwerke (vfdb-Leitfaden, VDI 6019)
 - Festlegung der Schutzziele
- Probleme
 - Abbildung komplexer Geometrien / Parallelisierung
 - Abbildung komplexer Strömungsvorgänge
 - Konvergenz der Ergebnisse / Gitterverfeinerung
 - Definition des Quellterms

→ Lösen der „Probleme“ durch Weiterentwicklung des Programms möglich ?

Abbildung komplexer Geometrien

- Beispiel mehrgesch. Verwaltungsgeb. mit Versammlungsstätte
- Vereinfachung schiefwinkliger Wände, schräges Dach, Vernachlässigung kleiner Einbauten → Ingenieurmäßiges Vorgehen → Idealisierung des Modells



→ Entwicklungspotential CAD-
Eingabeschnittstelle

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

▷ Abbildung komplexer Geometrien

- Beispiel Berliner Dom (Kuppelbauweise)
 - Entwicklungspotential adaptive Vernetzung
- Je komplexer die Geometrie desto mehr Gitter erforderlich → zur Reduzierung des Berechnungsaufwandes
 - Optimierung der Parallelisierung



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

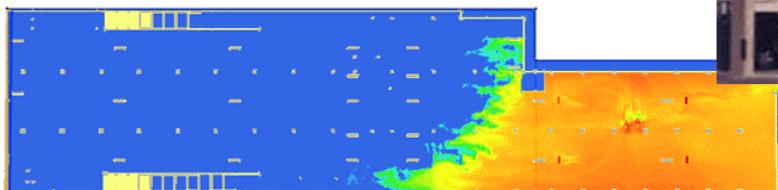
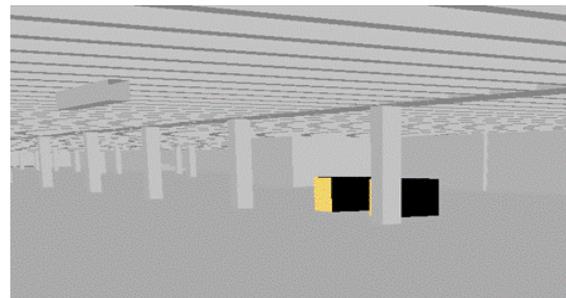
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

▷ Abbildung komplexer Strömungsvorgänge

- Jetventilatoren (impulsbehaftete Ausströmung)
- Einsatzbereiche: z. B. Tiefgaragen
- Vereinfachungen im modellhaften Rechenansatz, Kalibrierung an Messergebnissen, **Erfordernis einer feinen Diskretisierung in Bereichen mit hoher Strömungsgeschwindigkeit**

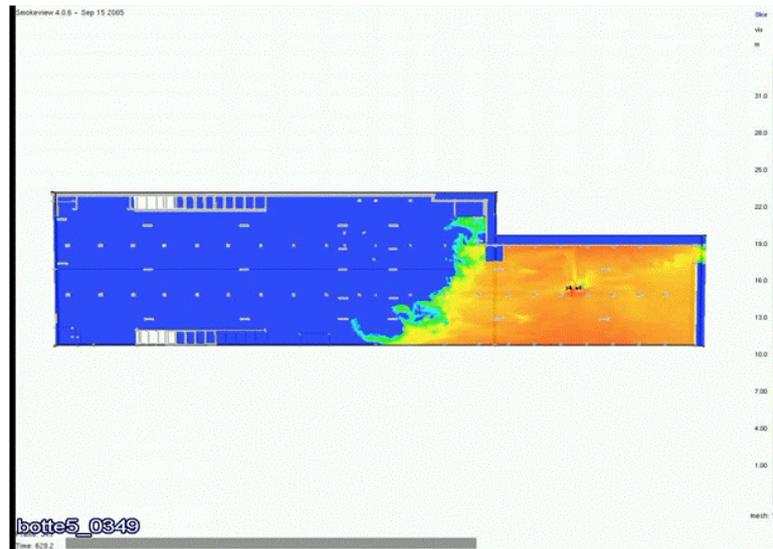


Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Abbildung komplexer Strömungsvorgänge



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

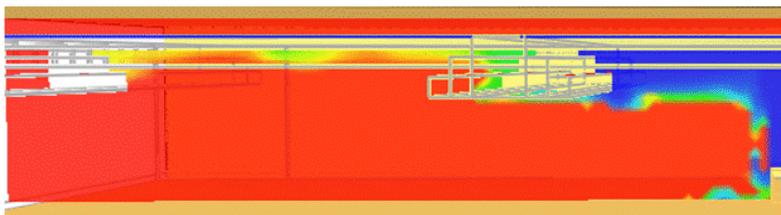
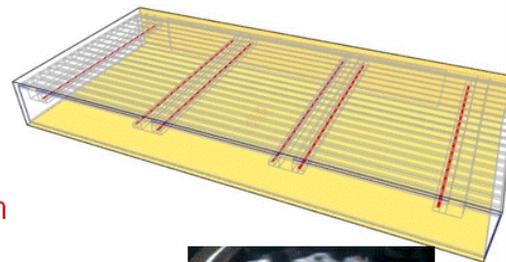
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

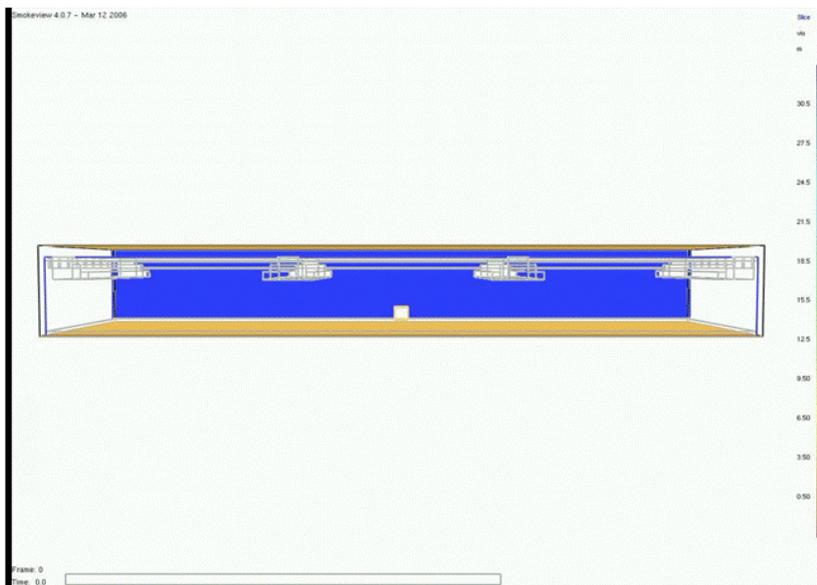
Abbildung komplexer Strömungsvorgänge

- Drallentrauchung (Abbildung des Dralls)
- Einsatzbereiche: z.B. Räume mit geringer Höhe, Ersetzen von Rauchschürzen
- Vereinfachungen im modellhaften Rechenansatz, Kalibrierung an Messergebnissen, **Erfordernis einer feinen Auflösung lokal in Bereichen mit hoher Strömungsgeschwindigkeit, Adaptivität**



Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

▷ Abbildung komplexer Strömungsvorgänge



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

▷ Konvergenz der Ergebnisse/Gitterverfeinerung

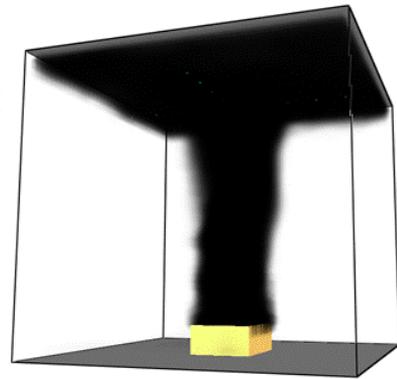
- Beispiel Raum 2. 100 m² H = 5 m ohne Rauchschürzen, linienförmige Absaugung
- 1. Rechenlauf: 25 cm Zellen => Volumenstrom 90 m³/h, ca. 1 Mio Zellen, Rechendauer ca. **3 Tage**
- 2. Rechenlauf: 12,5 cm Zellen => Volumenstrom 70 m³/h, ca. 8 Mio Zellen, Rechendauer ca. **13 Tage**
- Erfordernis hohe Leistungsfähigkeit / Performance der Hardware, effiziente Parallelisierung aber auch ingenieurmäßige Vorgehensweise
- **Problem Zeitbedarf, wie finde ich optimale Gittergröße → Konvergenz?**
- **Adaptivität**
 - **Gitterpartitionierer („ingenieurmäßig“), dynamischer Fehlerschätzer („mathematisch“)**

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

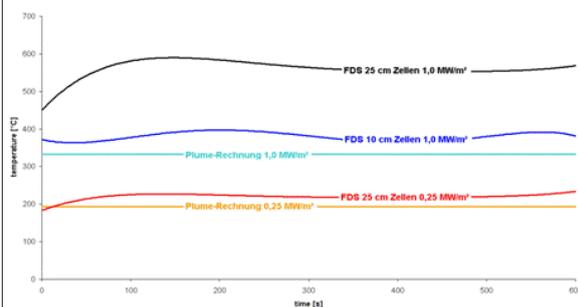
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Definition des Quellterms

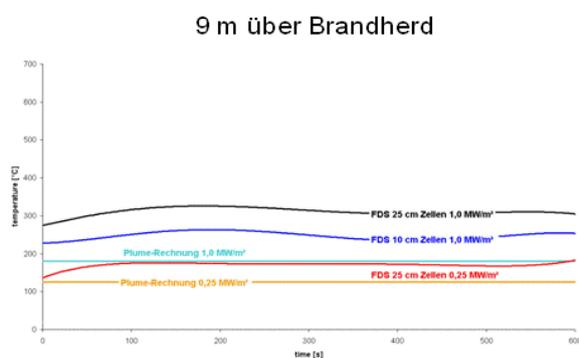
- Anordnung des Quellterms, flächenbez. RHR
- Parameterstudie mit Gesamt-RHR 5 MW
- Großer Raum h = 10 m
- Auswertung Temperaturen im Plume
- Studie 1
 - Zellengröße 10 cm
 - Flächenbez. Energiefreisetzung 1 MW/m² → Brandherd = 5 m²
- Studie 2
 - Zellengröße 25 cm
 - Flächenbez. Energiefreisetzung 1 MW/m² → Brandherd = 5 m²
- Studie 3
 - Zellengröße 25 cm
 - Flächenbez. Energiefreisetzung 0,25 MW/m² → Brandherd = 20 m²



Vergleich Temperaturen in Plumeachse



6 m über Brandherd



9 m über Brandherd

➤ Folgerungen aus Plume-Studie

- Bei Berechnung von Temperaturen ist feine Auflösung erforderlich
- Überprüfung Ergebnisse mit vereinfachten Verfahren (z. B. Plumemodell), wenn keine Konvergenzbetrachtung gemacht werden kann

➤ Anwendung von FDS für ingenieurmäßige Nachweise des Brandschutzes

- Erfahrungen von hhpberlin:
 - FDS ist für den Großteil der Fragestellungen geeignet
 - Fragestellungen, bei denen FDS an Grenzen stößt treten noch vergleichsweise selten auf, Tendenz jedoch steigend
- Sind professionelle CFD-Codes geeigneter als FDS (Vor-/Nachteile) ?
- Ist eine Weiterentwicklung von FDS möglich, auf die Einfluss genommen werden kann ?

→ Bündelung der Interessen der FDS-User im deutschsprachigen Raum

➤ Vorteile von FDS im Vergleich zu „professionellen Codes“

- FDS ist auf Brandschutzprobleme maßgeschneidert und von Brandschutzforschern mit exper. Erfahrung entwickelt
- FDS ist vielfach validiert und internat. anerkannt und bei Brandschutz-Ingenieurbüros sowie an Universitäten weit verbreitet
- Einfaches, gut handhabbares Verbrennungsmodell
- Lizenz CFX / Fluent teuer, komplizierte Eingabe → Präsentation Martin Steinert
- FDS: open source code → Mit- und Weiterentwicklung leicht möglich, vergleichsweise kleine Brandschutzgemeinde in Deutschland kann sich vergleichsweise leicht „Gehör verschaffen“
- Brandsimulation ist bei professionellen Codes eine (seltene) Anwendung unter vielen möglichen Anwendungen

➤ Nachteile FDS im Vergleich zu „professionellen Codes“

- Schnittstelle zu CAD-Programmen fehlt
- Ausschließlich Verwendung (nahezu) äquidistanter Gitter möglich
- Beschränkung auf 1 Turbulenzmodell (Large Eddy)
- „Schwächen“ bei der Parallelisierung

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

▷ Motivation Gründung FDS Usergroup

- Aus Sicht von hhpberlin überwiegen die Vorteile von FDS
- Beteiligung an der Weiterentwicklung von FDS
- Entwicklerin Dr. Susanne Kilian → Austausch mit NIST
- Kooperation mit Fachbereich Mathematik der TU Dortmund
- Usergroup soll fachlichen Austausch unter deutschen FDS-Usern fördern
- Ziel Usergroup: Bündelung dt. Interessen → Kooperation mit NIST → Einfluss auf Weiterentwicklung und Optimierung von FDS

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Dr. Susanne Kilian:

Optimierung der Parallelisierungsstrategien von FDS - Cluster-Architektur bei hhpberlin

Abstract:

Nach einer kurzen Vorstellung der Ziele der deutschen FDS Usergroup, wird die historische Entwicklung der Clusterarchitekturen bei hhpberlin bis hin zur aktuellen Ausbaustufe aufgezeigt. Weiterhin wird die in FDS verwendete Parallelisierungsstrategie zur Lösung der Druckgleichung erläutert und in Bezug auf Ihre Schwächen diskutiert. Als Alternative wird ein neues Parallelisierungskonzept vorgestellt, das aufgrund seines globalen Charakters die gebietsübergreifenden physikalischen Problemeigenschaften deutlich besser reproduziert als der herkömmliche Zugang. Die neue Strategie dient als Basis für eine Vielzahl weiterer Optimierungen, die abschließend skizziert werden.

Anmerkung von hhpberlin zur Kenntnisnahme durch die Mitglieder der FDS Usergroup:

Leider musste das Forschungsstipendium von hhpberlin nach nur 3-monatigem, vielversprechendem Verlauf krankheitsbedingt wieder abgebrochen werden. Wir bedauern diesen Umstand sehr und wünschen gute Besserung!

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Cluster-Architektur bei hhpberlin – Optimierung der Parallelisierungsstrategien von FDS



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Motivation für Gründung der FDS Usergroup

- **Plattform für intensiven wissenschaftlichen Austausch**
 - umfassendes Kontaktnetzwerk in deutschsprachiger FDS-Gemeinschaft
 - Austausch von Informationen, Erfahrungen, Anregungen und Problemen
- **Koordination deutscher FDS-Aktivitäten**
 - Definition einheitlicher Qualitätsstandards
 - Klärung des weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarfs
- **Organisation von Workshops**
 - Aufbau persönlicher Kontakte
 - Definition gemeinsamer Benchmarks
- **Einflussnahme auf die Weiterentwicklung von FDS**
 - regelmäßiger Kontakt zu den Hauptentwicklern beim NIST
 - Sprachrohr für deutsche FDS-Interessen

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Inhaltsübersicht

- **Cluster-Architektur bei hhpberlin**
 - Historische Entwicklung
 - Aktuelle und zukünftige Konfiguration
- **Optimierte Parallelisierungskonzepte für die Druckgleichung**
 - NIST-Ansatz
 - hhpberlin-Ansatz
- **Weitere Forschungsvorhaben**
 - Gitterzerlegungsstrategien
 - Verallgemeinerte Parallelisierungskonzepte

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

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Cluster-Architektur bei hhpberlin – Historie

- **bis 2/2007 (FDS4)**
 - kleine Netzwerke von Windows-Rechnern
 - Programmabstürze, da Knoten nicht exklusiv für Parallelrechnungen verfügbar
- **2/2007 – 7/2007 (FDS4)**
 - eigene Großrechenanlage SUN E10k mit 60 Ultra-Sparc II Prozessoren, 466 MHz
 - robuste Durchführung paralleler Rechnungen
 - ineffizient wegen mangelnder Skalierbarkeit von FDS4 auf hohe Prozessorzahlen
- **seit 8/2007 (FDS4 und FDS5)**
 - Linux-Cluster mit 16 Rechenkernen Intel Xeon, 2.66 GHz, 4 MB Level2-Cache
 - MPI als Parallelumgebung
 - Batchsystem Torque und Scheduler Maui zur effizienten Benutzerjob-Verteilung

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

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Cluster-Architektur bei hhpberlin

Aktuell (seit August 2007)

Produktions-Cluster (64-Bit):

12 Rechenknoten mit 24 GB Speicher

- Serverknoten
- Rechenknoten
 - 5 Dual-Core zu je 4 GB RAM
 - 2 Single-Core zu je 2 GB RAM

Entwicklungs-Cluster (32-Bit):

4 Rechenknoten mit 5 GB Speicher

- Serverknoten
- Rechenknoten
 - 1 Dual-Core zu 1 GB RAM
 - 2 Single-Core zu je 2 GB RAM

Zukünftig (gestaffelt, ab März 2008)

Produktions-Cluster (64-Bit):

36 Rechenknoten mit 144 GB Speicher

- Serverknoten
- Rechenknoten
 - 9 Doppel-Dual-Core zu je 16 GB RAM

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Pay-per-Use Zugang zum hhpberlin-Cluster

Ab Sommer 2008 können Cluster-Rechenkapazitäten angemietet werden!

Vorteile für Mieter:

- profitieren von einer voll ausgebauten und robusten Plattform
- sparen den kosten- und zeitintensiven Aufbau eigener Cluster
- können unkompliziert eigene FDS-Projekte testen und durchführen

→ nähere Informationen auf der hhpberlin-Homepage

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Optimierte Parallelisierungsstrategien für FDS

- Aus Impulsgleichung folgt nach Divergenzbildung und Vereinfachungen

Poissongleichung für Druck

$$\nabla^2 \mathcal{H} = -\frac{\partial(\nabla \cdot \mathbf{u})}{\partial t} - \nabla \cdot \mathbf{F}, \quad \mathcal{H} = \frac{|u|^2}{2} + \frac{\tilde{p}}{\rho}$$

mit gemischten Dirichlet- und Neumann-Randbedingungen

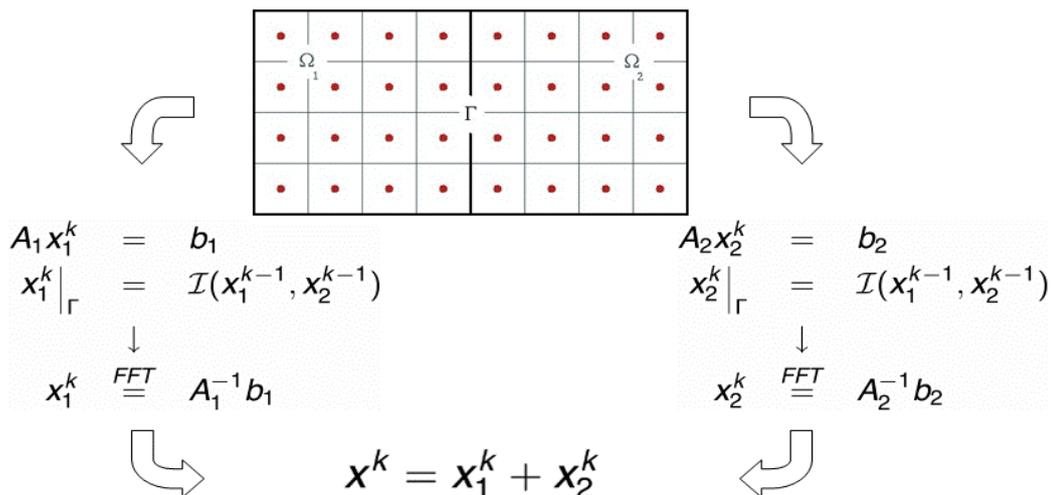
- elliptische Gleichung mit hoher Ausbreitungsgeschwindigkeit für Informationen
- paralleler Löser muss dieses Verhalten bestmöglich reproduzieren !

- Finite-Differenzen-Diskretisierung führt auf lokale Gleichungssysteme

auf Teilgebiet j :

$$A_j x_j = b_j, \quad A_j \in \mathbb{R}^{n \times n}, \quad x, b \in \mathbb{R}^n \quad n = \text{IBAR}_j * \text{JBAR}_j * \text{KBAR}_j$$

Alter NIST-Ansatz: Lokale FFT



- spezieller Interpolationsoperator entlang innerer Ränder
- gemischte Randbedingungen entlang äußerer Ränder

Neuer NIST-Ansatz: Lokale FFT + Grobgitterkorrektur

→ Gebietszerlegungsverfahren vom Typ 'additiver Schwarz'

Theorie: Abhängigkeit der Konvergenzrate von

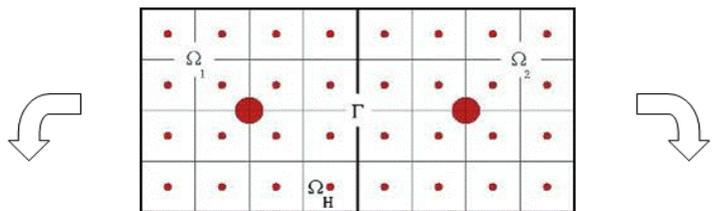
- der Überlappungsbreite der Teilgebiete ("je kleiner, desto schlechter")
- der Anzahl an Teilgebieten ("je mehr, desto schlechter")

Abhilfe: Hinzunahme einer Grobgitterkorrektur

$$A_H x_H^k = b_H \quad \Rightarrow \quad x_H^k \stackrel{GJ}{=} A_H^{-1} b_H$$

- mit speziellen Restriktionen von Matrix und rechter Seite auf das Grobgitter
- Lösung durch Gauss-Jordan-Elimination auf 1. Prozessor

Neuer NIST-Ansatz: Lokale FFT + Grobgitterkorrektur

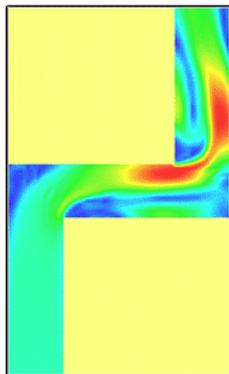


$$x_1^k \stackrel{FFT}{=} A_1^{-1} b_1 \quad x_H^k \stackrel{GJ}{=} A_H^{-1} b_H \quad x_2^k \stackrel{FFT}{=} A_2^{-1} b_2$$

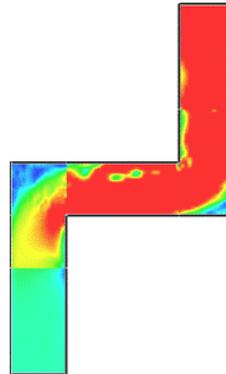
$$x^k = x_H^k + x_1^k + x_2^k$$

Beispiel 2D-Pipe

1 Gebiete



5 Teilgebiete



Bewertung FFT-Ansatz

- **Vorteil:**

- sehr schnelle Lösung der Poisson-Gleichung
- zuverlässig, langjährig getestet

- **Nachteil:**

- Beschränkung auf konstante Koeffizienten
- Beschränkung auf nahezu äquidistante Gitter

→ Vernachlässigung von Bestandteilen des Druckterms

→ keine echte Gitteradaptivität möglich

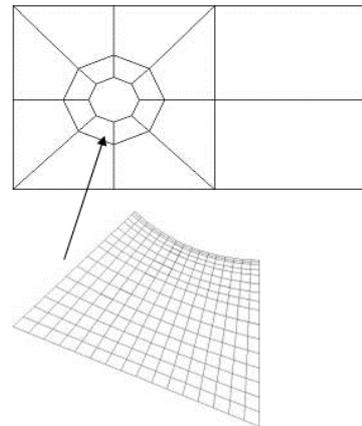
→ Hindernis bei der Verbesserung anderer Verfahrenskomponenten
(z.B. Turbulenzmodellierung)

hhpberlin-Ansatz: ScaRC

Verallgemeinertes Gebietszerlegungs-/Mehrgitterkonzept

ScaRC: scalable recursive clustering

- **Adaptivität bereits auf Teilgebietsebene**
 - sehr unterschiedliche Teilgebietsgrößen möglich
 - nicht-achsenparallele Teilgebiete möglich
- **Verallgemeinerte Tensorprodukt-Gitter**
 - zeilenweise Numerierung
 - Randparametrisierungen möglich
 - lokale Adaptivität durch Verschiebung von Knoten



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

hhpberlin-Ansatz: ScaRC

Verallgemeinertes Gebietszerlegungs-/Mehrgitterkonzept

- **Globale Diskretisierung mit (virtueller) globaler Matrix**
 - rein datentechnische, geometrisch orientierte Verteilung auf die einzelnen Prozessoren
 - KEINE künstlichen inneren Randwerte
 - automatisch konsistente Werte entlang innerer Ränder (Masse- und Volumenerhaltung!)
- **Globale Defekt-Korrektur zur Stabilisierung (iterativ !!)**

$$x_i^k = x_{i-1}^k + B(b - Ax_{i-1}^k) \quad B \sim \sum_{j=1}^N A_j^{-1}$$

i: Iterations-Index j: Teilgebiets-Index

- lokale Kommunikation zur Durchführung der Matrix-Vektor-Produkte
- **Starke lokale Vorkonditionierer**
 - innere Randwerte dienen nur der Definition der lokalen Vorkonditionierungsprobleme
 - Optimierte, problem-angepasste lokale Auswahl (z.B. lokale ILU, FFT, etc.)

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

▷ hhpberlin-Ansatz: ScaRC

Verallgemeinertes Gebietszerlegungs-/Mehrgitterkonzept

Hohes Variations- und Optimierungspotential:

- **Verwendung variabler Koeffizienten in der Systemmatrix**
- **Ersatz der globalen Basis-Defekt-Korrektur durch:**
 - globales konjugiertes Gradienten-Verfahren (datenparallel)
 - globales Mehrgitter-Verfahren (datenparallel)

→ numerische Effizienz durch starke globale Kopplung
- **Optimierte Speichertechniken und Vektoroperationen:**
 - bandweise Matrix-Speichertechniken auf Basis der zeilenweisen Numerierung
 - Vermeidung teurer Speicherzugriffe durch Optimierung der Cache-Nutzung

→ hardware-orientierte Implementierung

▷ Kooperation mit TU Dortmund:

Lehrstuhl für Angewandte Mathematik und Numerik

hhpberlin vergibt Forschungsstipendium ab April 2008

- **Finanzierung eines Doktoranden für 3 Jahre**
- **engmaschige Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Stefan Turek (CFD-Experte)**
 - gemeinsame Analyse des mathematisch-numerischen FDS-Konzeptes
 - Publikation der Ergebnisse
- **Zugriff auf zuverlässige und langjährig getestete Simulationssoftware**
 - Strömungssimulationspaket FEATFLOW
 - Hardware-orientiertes Parallelisierungspaket FEAST

Ziel 1: Entwurf eines Gitterpartitionierungstools

- **Erzeugung optimaler Gitterzerlegungen im Hinblick auf Parallelisierung**
 - Berücksichtigung geometrischer Problembeschaffenheiten
 - Möglichkeit von Randparametrisierungen
 - balancierte Lastverteilung
- **Grafik-gesteuerte Benutzeroberfläche**
 - idealerweise automatisierte Erzeugung aus dxf-Format
 - grafische Nachkorrekturmöglichkeiten

Ziel 2: Einbau adaptiver Gitterstrukturen

Hochauflösende Diskretisierungen nur in relevanten Gebietsbereichen:

- **Gitterverfeinerung (*h-Adaptivität*)**
 - lokale Gitterzellen werden gemäß Fehlerschätzer zusätzlich unterteilt
 - ständig wechselnde Gitterstruktur
 - benachbarte Knoten sind im Speicher NICHT benachbart
 - viele ungeordnete Speicherzugriffe bei Schleifenverarbeitung
- **Gitterdeformation (*r-Adaptivität*)**
 - feinere Diskretisierung nur durch räumliche Verschiebung von Gitterknoten
 - Ausmaß und Richtung der Verschiebung gemäß Monitorfunktion
 - logische Struktur des Gitters bleibt erhalten (zeilenweise Numerierung!)
 - benachbarte Knoten sind auch im Speicher benachbart
 - cache-optimale Durchführung von Schleifenoperationen

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

▷ Beispiel: Gitterdeformation

Speicherzugriffe sind teuer, nicht Rechenoperationen!

- > bestmögliche Beschränkung auf lokale Tensorprodukt-Gitter
- > Hardware-optimierte Implementierungstechniken
- > bei Bedarf aber auch h-Adaptivität möglich

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

▷ Ziel 3: Einbau von ScaRC als Black-Box-Löser

- **Implementierung geeigneter Schnittstellen**
 - zur Integration von ScaRC auf Basis des Programmpaketes FEAST
 - zur Anpassung an das Gitterpartitionierungstool
 - zur Anpassung an die Gitterdeformationstechniken
- **Umfangreiche Validierungstests**
 - Vergleiche mit Validierungsrechnungen vom NIST
- **Umfangreiche Performancetests**
 - Parallele Effizienzen
 - Lastverteilungsanalysen

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Offene Fragen

- **Auswirkungen auf andere Verfahrenskomponenten?**
 - Einfluss der Gitterdeformation
 - Einfluss der neuen Parallelisierungsstrategie
- **Weiteres Optimierungspotential durch verallgemeinerten Ansatz?**
 - Übertragung auf andere Verfahrenskomponenten
- **Parallele und numerische Effizienz für reale Anwendungen?**
- **Akzeptanz bei den Hauptentwicklern ???**
 - Fixierung auf FFT (konstante Koeffizienten und äquidistante Gitter)

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

hhpberlin
Ingenieure für Brandschutz
GmbH

Hauptsitz:
Rotherstraße 19
10245 Berlin

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

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Geschäftsführer:

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

Prokurist:

Dipl.-Ing. Harald Niemöller

Beirat:

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

Amtsgericht
Berlin Charlottenburg
HRB 78 927

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



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Christian Rogsch:

Parallelrechnung in der Praxis - Ist FDS 5 wirklich „besser“ als FDS4?

Abstract:

Vielfach angekündigt und angeblich extrem verbessert: FDS5. Doch hält die neue Version, was sie verspricht? Anhand von nachgerechneten Modellversuchen und theoretischen Untersuchungen soll gezeigt werden, ob, und wenn ja wie sich die Parallelrechnung von FDS5 verbessert hat und ob die Ergebnisse mit dem Modellversuch übereinstimmen. Zugleich werden Ergebnisse von serieller und paralleler Rechnung gegenübergestellt und diskutiert. Zudem soll gezeigt werden, ob die lebhafteste Diskussion um den Poisson-Solver überhaupt gerechtfertigt ist bzw. ob es weitaus schlimmere „Fehler“ in der parallelen Version von FDS gibt. Zuletzt sollen Lösungsansätze gezeigt werden, wie eine verbesserte parallele FDS-Version aussehen kann.

Parallelrechnung in der Praxis - Ist FDS5 wirklich "besser" als FDS4?

Christian Rogsch, 7. März 2008
christian@rogsch.de

LuFG Baustofftechnologie und Brandschutz, Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Klingsch

Inhalt

- Was ist FDS?
- Turbulenzmodell "LES"
- Parallelrechnung FDS4 und FDS5
 - Unterschiede seriell-parallel
- Zusammenfassung

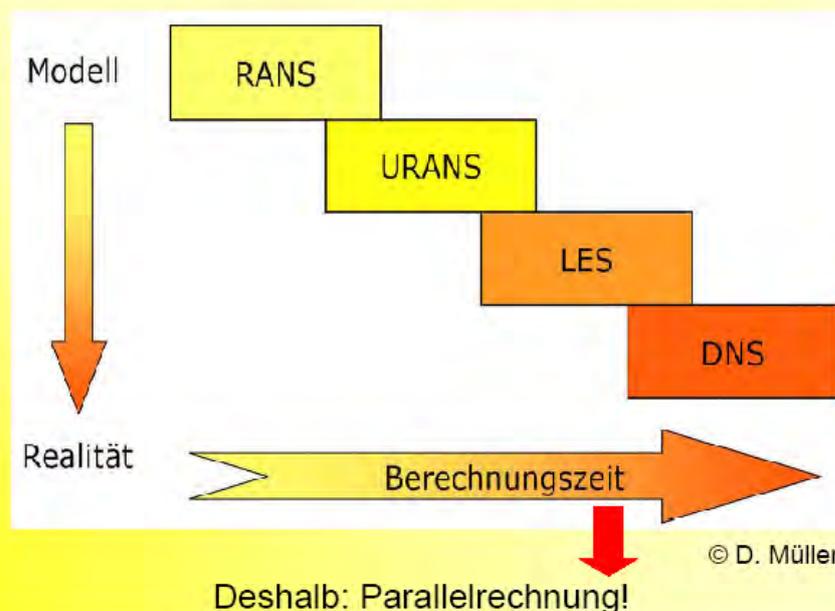
Was ist FDS?

- Fire Dynamics Simulator, www.fds-smv.net
- OpenSource CFD-Code für
 - Strömungen im Bereich Brandschutz
 - „Low-Mach-Number“-Strömungen ($Ma < 0,3$)
- kubisches Gitter
 - Zellgröße wird direkt vom Benutzer festgelegt
- LES-Turbulenzmodell mit konstanter Smagorinsky-Zahl
- DNS ebenfalls möglich
- erlaubt Zugriff auf strömungsrelevante Kennzahlen
- **Parallelrechnung möglich**

Folie Nr. 3

Dipl.-Ing. Christian Rogsch, LuFG Baustofftechnologie und Brandschutz, BU Wuppertal

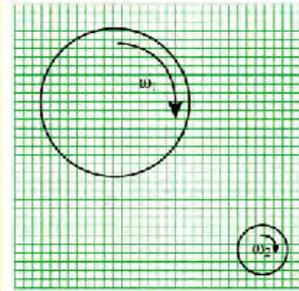
Übersicht über Turbulenzmodelle



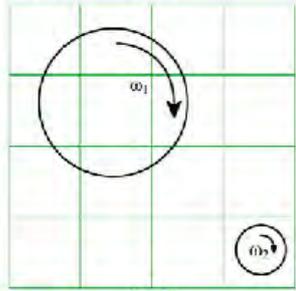
Folie Nr. 4

Dipl.-Ing. Christian Rogsch, LuFG Baustofftechnologie und Brandschutz, BU Wuppertal

LES-Turbulenzmodell



DNS



LES

© D. Müller

Grobstruktur



direkte Berechnung
der **großen** turb. Skalen

Feinstruktur



Modellierung
der **kleinen** turb. Skalen

© M. Breuer

Folie Nr. 5 Dipl.-Ing. Christian Rogsch, LuFG Baustofftechnologie und Brandschutz, BU Wuppertal

Zellgrößen

inert
0.1,1.0

open axial-symmetric

hot air input

inert

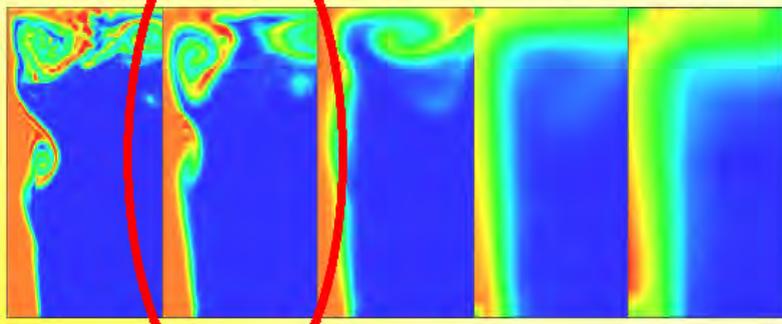
0.5cm

1cm

2cm

5cm

10cm



Folie Nr. 6 Dipl.-Ing. Christian Rogsch, LuFG Baustofftechnologie und Brandschutz, BU Wuppertal

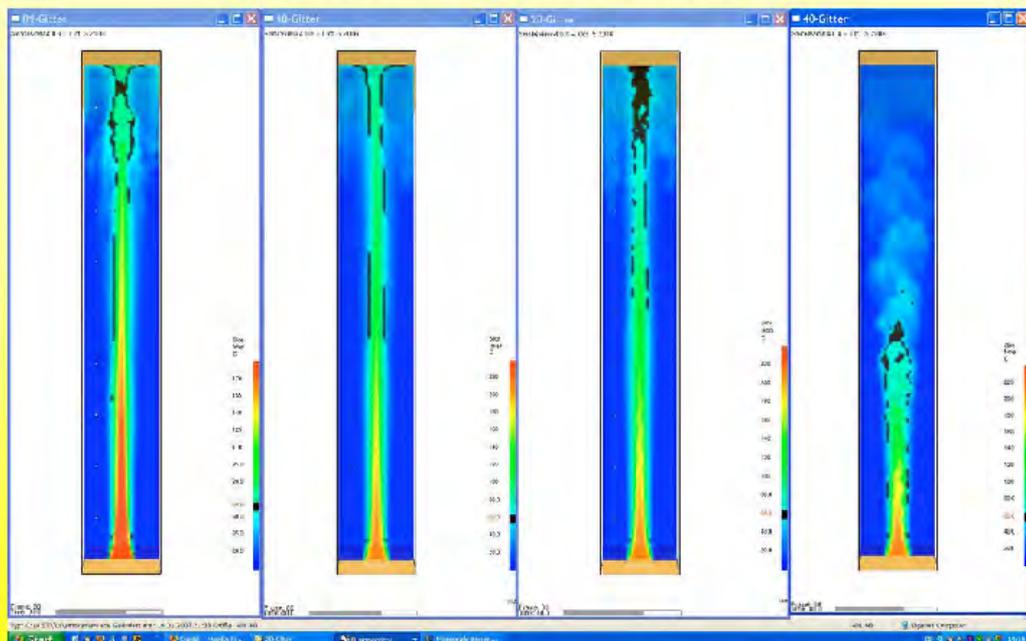
Parallelrechnung

- Parallelrechnung (=Mehrprozessornutzung) **muss** gleiches Ergebnis liefern wie eine serielle Rechnung
- Parallelisierung meistens durch „Mesh-Decomposition“
 - Grundvoraussetzung: Randbedingungen müssen richtig übertragen werden
 - Möglichkeit: Dynamische Lastverteilung (nicht FDS)
 - Vorteil: Hoher Speed-Up z. B. auf JUMP, JUBL, ALiCEnext

Folie Nr. 7

Dipl.-Ing. Christian Rogsch, LuFG Baustofftechnologie und Brandschutz, BU Wuppertal

Parallelrechnung FDS4



Folie Nr. 8

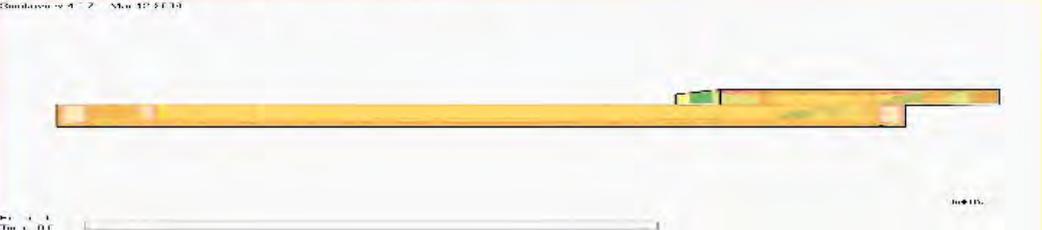
Dipl.-Ing. Christian Rogsch, LuFG Baustofftechnologie und Brandschutz, BU Wuppertal

Parallelrechnung FDS4

- 8 Gitter (= 8 Prozessoren)



- 26 Gitter (= 26 Prozessoren)



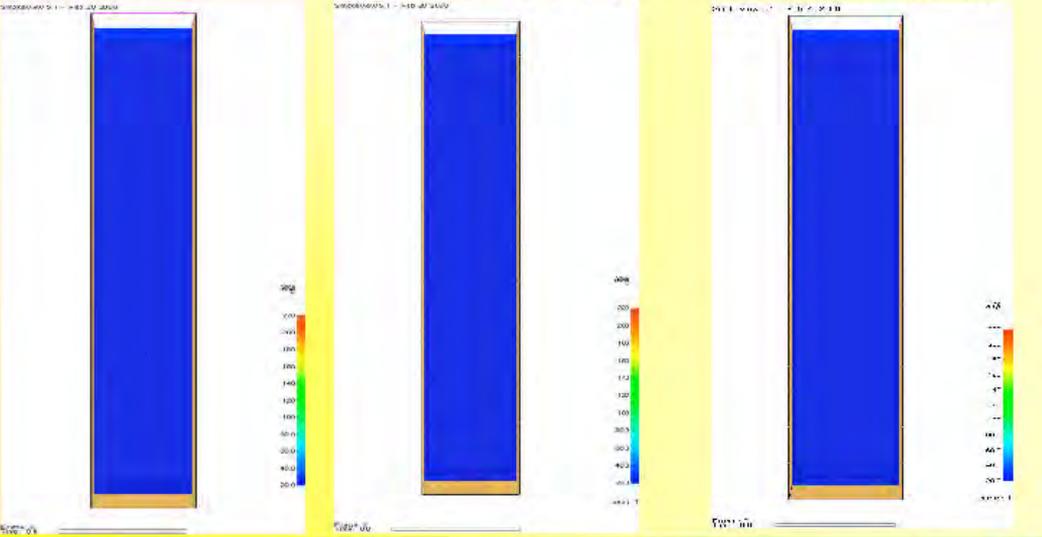
FDS4

Folie Nr. 9 Dipl.-Ing. Christian Rogsch, LuFG Baustofftechnologie und Brandschutz, BU Wuppertal

Parallelrechnung FDS5

- Ergebnis ist wesentlich besser als bei FDS4

1 Gitter	40 G. ohne P.-Corr	40 G. mit P.-Corr
----------	--------------------	-------------------



FDS5

Folie Nr. 10 Dipl.-Ing. Christian Rogsch, LuFG Baustofftechnologie und Brandschutz, BU Wuppertal

Parallelrechnung FDS5

- Pressure-Correction (nach 5 Sek)
 - 1 Gitter
 - 40 G. ohne P.C
 - 40 G. mit P.C

Folie Nr. 11
Dipl.-Ing. Christian Rogsch, LuFG Baustofftechnologie und Brandschutz, BU Wuppertal

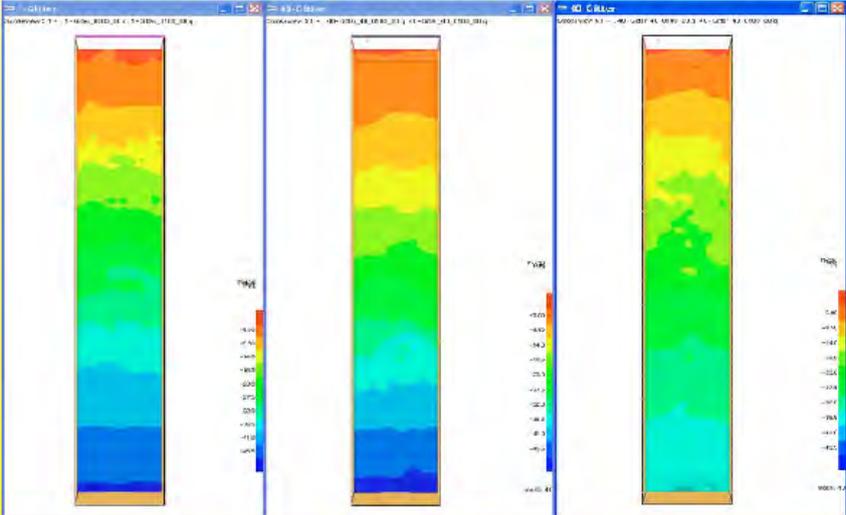
Parallelrechnung FDS5

- Pressure-Correction (nach 40 Sek)
 - 1 Gitter
 - 40 G. ohne P.C
 - 40 G. mit P.C

Folie Nr. 12
Dipl.-Ing. Christian Rogsch, LuFG Baustofftechnologie und Brandschutz, BU Wuppertal

Parallelrechnung FDS5

- Pressure-Correction (nach 100 Sek)
 - 1 Gitter
 - 40 G. ohne P.C
 - 40 G. mit P.C

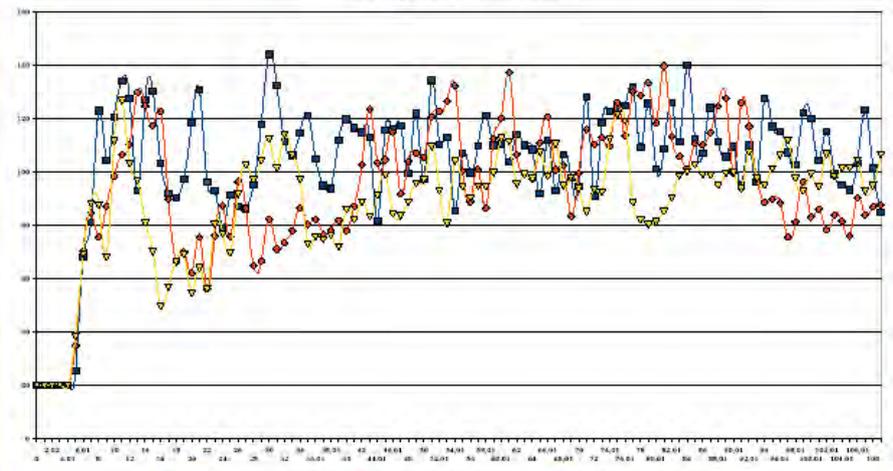


Folie Nr. 13
Dipl.-Ing. Christian Rogsch, LuFG Baustofftechnologie und Brandschutz, BU Wuppertal

Parallelrechnung FDS5

- Unterschiede Seriell-Parallel
 - 1 G: 109, 40 G. mit PC: 99, 40 Gitter ohne PC: 93

Messpunkt in 10m Höhe



■ 1 Gitter Temp (109,5)
◆ 40 Gitter mit Pressure
▼ 40 Gitter ohne Pressure

Folie Nr. 14
Dipl.-Ing. Christian Rogsch, LuFG Baustofftechnologie und Brandschutz, BU Wuppertal

Zusammenfassung

- Parallelrechnung hat sich stark verbessert
- Ergebnis ist immer noch nicht übereinstimmend mit der seriellen Version von FDS
 - Problem: Gitteraustausch
 - Problem: Poisson-Solver
- Frage: Ist die Performance wichtiger als das Ergebnis?
- Wie verhält es sich aktuell:
 - Rechnen wir, was wir bauen können, oder bauen wir, was wir rechnen können?

ENDE

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**

Fragen?

christian@rogsch.de

Boris Stock, Karl Wallasch:

Vergleich FDS 4 vs. FDS 5 und die daraus resultierende Varianz bei Bauteiltemperaturen bzw. der Strahlungsintensität

 BFT Cognos
Sachverständige
Berater
Gutachter



Zellabhängige Varianzen der Flammentemperatur, der Strahlungsintensität und der daraus resultierenden Bauteiltemperaturen

Boris Stock, BFT Cognos GmbH, Aachen

Karl Wallasch, Hoare Lea Fire Engineering, London

Berlin, 2008

FDS|USERGROUP
Unabhängiges Forum für die deutschsprachigen FDS-Anwender

Inhaltsverzeichnis

1. Grundlagen der Strahlungsenergie
2. Stefan-Boltzmann
3. Strahlungsenergie in FDS
4. Testszenario (FDS 4 mit und ohne Optimierung, FDS 5)
5. Messungen
6. Auswertung
7. Vergleich der Bauteiltemperaturen
8. Fazit

FDS|USERGROUP
Unabhängiges Forum für die deutschsprachigen FDS-Anwender

Grundlagen der Strahlungsenergie

Strahlung ist eine Form der Energieübertragung durch elektromagnetische Wellen. Betrachtung in Brandsimulationen kann sinnvoll sein ($\approx 30\%$ der Energiefreisetzung).

Entfernungsgesetz: Die von einer punktförmigen Strahlungsquelle ausgehende Strahlung nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab.

Richtungsgesetz: Die Intensität einer von einem Flächenelement dA_1 diffus ausgesandten Strahlung ist in jede Richtung des Raumes gleich groß.

Die Strahlungsdichte nimmt jedoch mit dem Cosinus des Winkels β ab.

$$\dot{q}_\beta = \dot{q}_\perp \cdot \cos(\beta)$$

Strahlungsenergie in FDS

FDS simuliert Strahlungsenergie, unterteilt in 6 oder 9 Spektralbänder.

Table 3.1: Limits of the spectral bands.

9 Band Model	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Major Species	Soot	CO ₂ H ₂ O, Soot	CH ₄ Soot	Soot	CO ₂ Soot	H ₂ O Soot	H ₂ O CH ₄ , Soot	Soot	Soot	
ν (1/cm)	10000	3800	3400	2800	2400	2174	1429	1160	1000	50
λ (μ m)	1.00	2.63	2.94	3.57	4.17	4.70	7.00	8.62	10.0	200
6 Band Model	1	2	3	4	5	6				
Major Species	Soot	CO ₂ H ₂ O, Soot	CH ₄ Soot	CO ₂ Soot	H ₂ O, CH ₄ , Soot		Soot			

Strahlungsenergie in FDS

Stefan-Boltzmann-Gesetz

$$\dot{q} = \varepsilon \cdot c_S \cdot T^4$$

\dot{q} = Strahlungsenergie [W / m^2]

ε = Emissionsverhältnis [-]

c_S = Stefan – Boltzmann – Konst.

$$\approx 5,67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$$

T = Temperatur [K]

Test-Szenario

Wie groß ist der Einfluss der Zellgröße auf die Temperatur im Nahbrand-Bereich?

- Methanbrand
- 500 kW Energiefreisetzung
- 1 m² Brandfläche
- Raumabmessungen 2 m x 2 m x 10 m
- 5 von 6 Flächen offen
- 60 s Simulationszeit (30 - 30)

Auflösung:

- | | | |
|-----------|---|------------------|
| ▪ 50 cm | → | 320 Zellen |
| ▪ 25 cm | → | 2.560 Zellen |
| ▪ 20 cm | → | 5.000 Zellen |
| ▪ 12 cm | → | 20.480 Zellen |
| ▪ 10 cm | → | 40.000 Zellen |
| ▪ 5 cm | → | 320.000 Zellen |
| ▪ 3,33 cm | → | 1.080.000 Zellen |

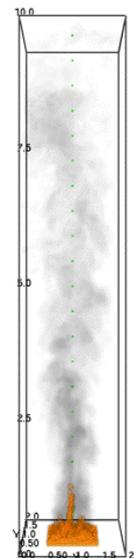


Bild 1: Der simulierte Bereich

Problembereich

Eine grobe Auflösung des Brandherdes kann große Varianzen in der HRR und der Flammhöhe verursachen.

NIST-Empfehlung: „großes“ \dot{Q} mind. 10 Zellen für D^* ,
„kleines“ \dot{Q} kann mehr Zellen erforderlich machen...

FDS 4: *AUTOMATIC_Z* – Korrektur Z_f im Verbrennungsmodell.

$$\frac{Z_{f,eff}}{Z_f} = \min\left(1, C \frac{D^*}{\delta x}\right)$$

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}} \right)$$

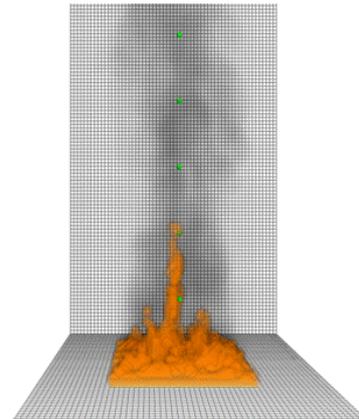


Bild 2: Zellgröße von 3,33 cm

Problembereich

AUTOMATIC_Z – Korrektur Z_f im Verbrennungsmodell:

Kleines D^* und große Zellen: Z_f wird reduziert.
Großes D^* und kleine Zellen: Korrekturfaktor tritt in den Hintergrund.

$$Z_{f,eff} = \min\left(1, C \frac{D^*}{\delta x}\right)$$

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}} \right)$$

Wirkung?

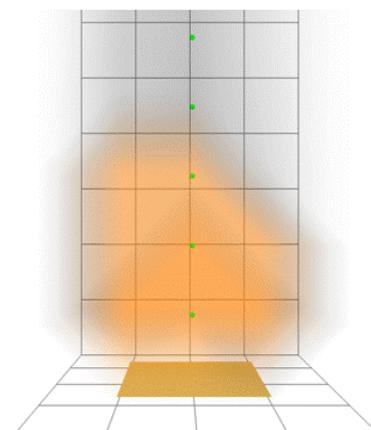
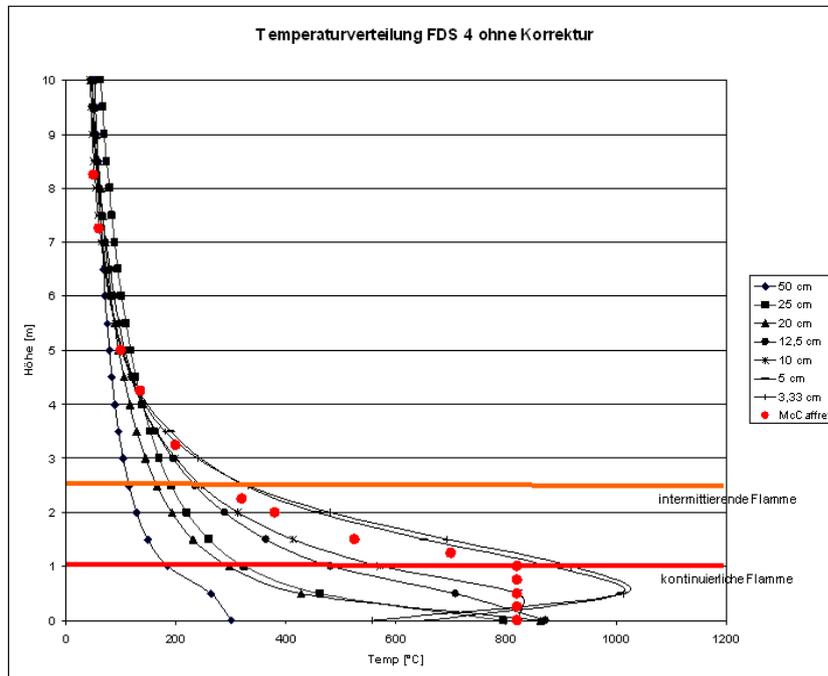
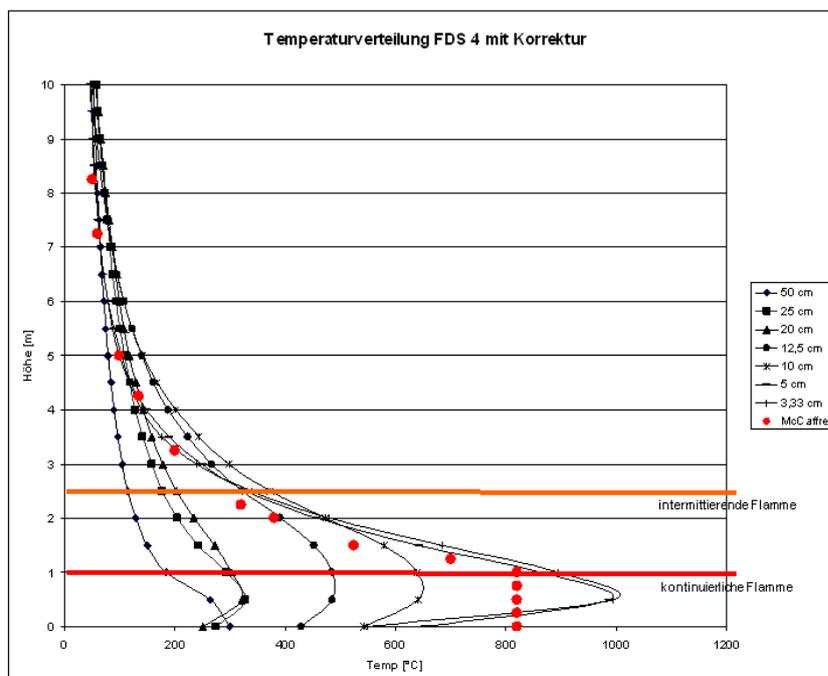


Bild 3: Zellgröße von 50 cm

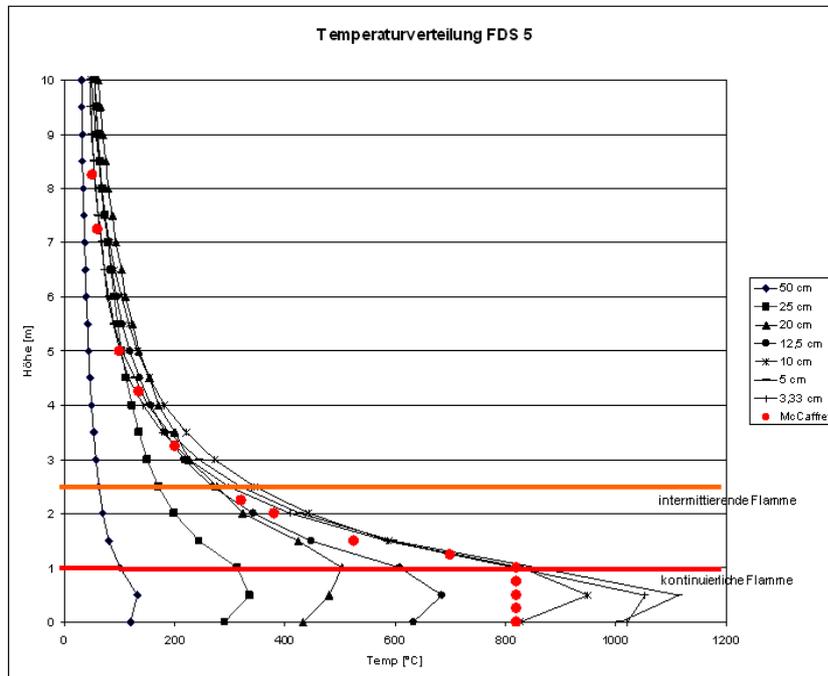
Messungen FDS 4 ohne Korrektur



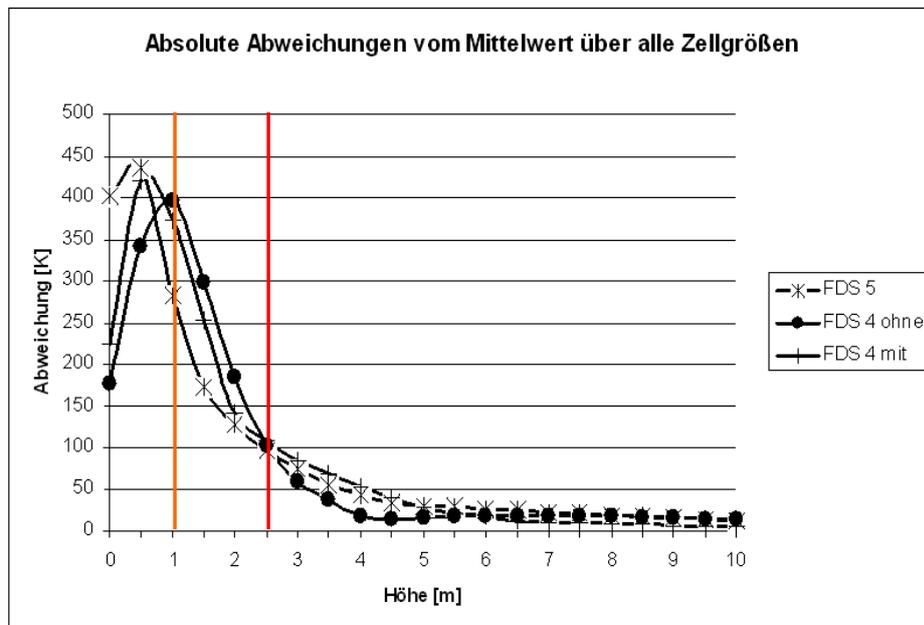
Messungen mit Korrektur



Messungen FDS 5



Auswertungen Messungen



Auswirkung auf Bauteiltemperaturen

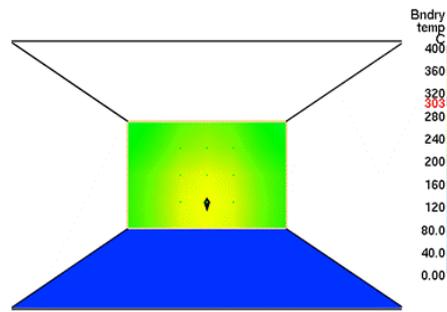


Bild 4: Oberflächentemperatur bei einer Zellgröße von 50 cm

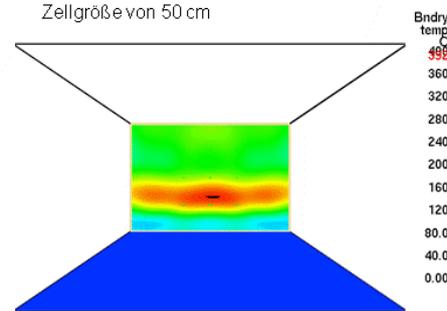


Bild 5: Oberflächentemperatur bei einer Zellgröße von 5 cm

Fazit

- Einfluss der Zellgrößen im Bereich des Flammkörpers signifikant auf die Temperatur
- Im Plume-Bereich größtenteils sehr gute Konvergenz, allerdings nicht monoton
- FDS bleibt auf „der sicheren Seite“
- Begrenzung durch `RADIATIVE_FRACTION`
- FDS 4: 3,33 und 5 cm nahezu identisch, FDS 5: 3,33, 10 und 5 cm nahezu identisch
- Problem ist bekannt:

„[...] we're still working on getting convergence in near field behavior for relatively high values of D^*/dx .“

I'd like to see another quantity like D^/dx that we can apply to flame spread problems. D^*/dx falls out of the non-dimensional form of the Navier-Stokes equations. Thus, it is really just a fluid dynamics scaling parameter. Flame spread involves additional heat transfer parameters that are not captured by D^*/dx .*

Scale modelers - have at it!“

Kevin McGrattan



BFT Cognos
Sachverständige
Berater
Gutachter



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Quellen

- Factors Affecting Grid-independent Results for Compartment Fire Modelling, K.A.M. Moinuddin and I.R. Thomas, Centre for Environmental Safety and Risk Engineering, Victoria University.
- Purely Buoyant Diffusion Flames: Some Experimental Results, Bernard J. McCaffrey
- Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide, Kevin McGrattan, Bryan Klein, Simo Hostikka, Jason Floyd,
- Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide, Kevin McGrattan, Simo Hostikka, Jason Floyd, Howard Baum, Ronald Rehm
- Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide, Kevin McGrattan
- Fire Dynamics Simulator (Version 4) User's Guide, Kevin McGrattan, Glenn Forney
- FDS-Forum

Andreas Vischer:

Weiterentwicklung von FDS hinsichtlich der dreidimensionalen Wärmeleitung in Bauteilen

Abstract:

Der Vortrag soll einen Überblick über die laufenden Weiterentwicklungen von FDS am Lehrstuhl für Mechanik und Baukonstruktionen geben.

Bisher berechnet FDS die Wärmeleitung vereinfacht eindimensional innerhalb von Layern, so dass bei Bauteilanschlüssen, insbesondere in Eckbereichen, keine Temperaturen ermittelt werden können. Weiterhin ist eine dreidimensionale detaillierte Eingabe von Einbauten (OBSTRUCTIONS) nicht möglich. Hinzu kommt, dass die Eingabe von Layern, die Zuordnung zu den sechs Seiten sowie die Angabe einer rückseitigen Eigenschaft (BACKING) von vielen Benutzern nicht in gleicher Weise interpretiert werden.

Durch die Modifizierung des Berechnungsgitters bei Einbauten und die Implementierung der entsprechenden numerischen Gleichungen in den Source Code von FDS kann die Wärmeleitung dreidimensional berechnet werden.

Weiterhin wurde ein Modell entwickelt, mit dem die dreidimensionale Eingabe von Einbauten ermöglicht wird. So können Einbauten wie Unterzüge und Stützen detaillierter auch mit Eingabe von Bewehrungen abgebildet werden.

Die Einstufung der Bauteile hinsichtlich des Brandschutzes auf Grundlage einer kritischen Temperatur oder einer nachfolgenden statischen Analyse unter Berücksichtigung der Temperaturverteilung im Innern des Bauteils wird somit ermöglicht.

Die Weiterentwicklungen können dabei parallel zu den in FDS bisher vorhandenen „vereinfachten“ Modelle genutzt werden, so dass sich Rechenzeiten nicht unnötig verlängern.

Auftakt-Treffen der FDS Usergroup

Weiterentwicklung von FDS hinsichtlich der 3-D Wärmeleitung in Bauteilen

Dipl.-Ing. Andreas Vischer
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

RWTH Aachen

Lehrstuhl für Mechanik und Baukonstruktionen

RWTHAACHEN
UNIVERSITY



1



RWTHAACHEN
UNIVERSITY

Gliederung des Vortrages

1. Einführung – Problemstellung
2. Lösungsmöglichkeiten
3. Entwicklung eines Submodells
4. Neues Modell zur 3-D Geometrieingabe von Einbauten
5. Berechnungsergebnisse
6. Fazit



1. Einführung – Motivation / Zielsetzung

- Bauteiltemperaturen aus Brandsimulationen als Schnittstelle zwischen planerischen und konstruktivem Brandschutz
- dreidimensionale Temperaturprofile der Bauteile können als Arbeitsergebnis dem Statiker übergeben werden
- Grundlage für die Heißbemessung
- Bemessung nach DIN/EC-Normen oder auf Grundlage von kritischen Temperaturen



1. Einführung – vereinfachte Berechnungen von FDS

- FDS berechnet innerhalb von Bauteilen nur eine 1-D Wärmeleitung
 - der Wärmestrom bei Verbindungen von Bauteilen und in Eckbereichen wird nicht berechnet
 - „Ghost-Temperaturen“ von Eckzellen mit mehreren Oberflächen-Zuordnungen wird mehrfach bestimmt
 - eine 3-D Geometrieingabe von Einbauten ist nicht möglich
 - Unklarheiten beim Anwender bzgl. der Wärmeleitung
- Der Wärmeverlust in Bauteile/Oberflächen wird für einfache Brandsimulationen ausreichend genau berücksichtigt !



1. Einführung – Eingabe von thermischen Randbedingungen

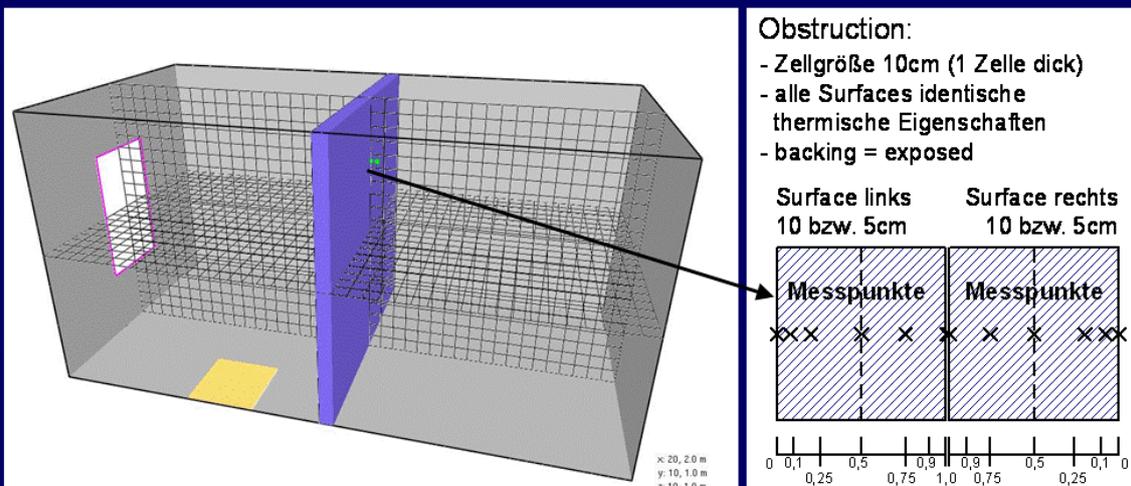
Möglichkeiten in FDS:

- ADIABATIC=TRUE.:
→ kein Wärmeverlust an der Oberfläche
eingehende Wärmeströme = ausgehende Wärmeströme
 - BACKING='INERT' (Standardfall für alle Oberflächen):
→ Wärmeverlust über die Oberfläche mit Rückseitentemperatur 20°
 - 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
- Oberflächeneingabe mit IDs oder ID6 muss mit Bedacht benutzt werden



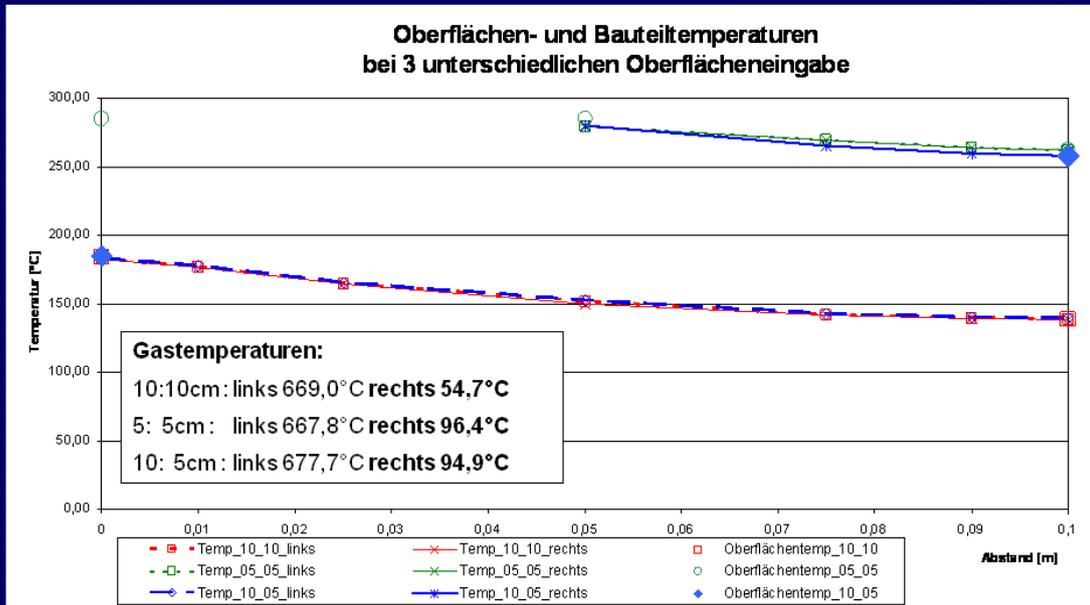
1. Einführung – vereinfachte Berechnungen von FDS

2 Räume durch Wand mit 2 Oberflächen und BACKING=EXPOSED getrennt





1. Einführung – vereinfachte Berechnungen von FDS



1. Einführung – Temperatur-(weiter-)leitung bei FDS

- nur bei thermisch dicken Oberflächen wird Wärmeleitung im Bauteil berechnet
- mit BACKING=EXPOSED werden die Gastemperaturen auf der jeweiligen Rückseite des OBSTructions für die Wärmeleitung berücksichtigt
- Konsequenzen bzw. Abhängigkeiten:
 - „Oberflächen/Bauteile“ werden doppelt berechnet
 - bei unterschiedlichen SURFACES unterschiedliche Temperaturverläufe
 - Bauteile können nur vereinfacht abgebildet werden



2. Lösungsmöglichkeiten

Anfrage beim NIST und email Austausch:

- eine 3-D Berechnung der Temperaturen in Bauteilen ist von den Entwicklern des NIST bzw. VTT nicht vorgesehen
- es wird mehr Fokus auf die Verbrennung von Bauteilen gelegt

Andere Programme

- FE-Programme
- Zonenmodelle
- Feldmodelle



2. Lösungsmöglichkeiten mit FDS

- Verfeinerung des Rechengitters
- Übertragung der von FDS berechneten Oberflächentemperaturen auf ein FE-Modell und externe thermische Analyse
- Entwicklung eines Submodells zur Berücksichtigung der 3-D Wärmeleitung
- Entwicklung eines Modells zur Eingabe von 3-D Geometrie von Einbauten



2. Übertragung der von FDS ermittelten Temperaturen auf ein FE-Modell

Vorteil

- gekoppelte statische und thermische Analyse möglich

Nachteile

- zusätzlicher Eingabeaufwand der Geometrie und Eigenschaften
- zusätzliche Rechenzeit
- Bearbeitung und Anpassung der FDS-Ergebnisdateien
- Verschiedene Möglichkeiten Temperaturen aufzubringen (Abstände, Oberflächen, interne Temperaturen)
- Temperaturen der Gaszellen und Bauteilzellen sind nicht direkt gekoppelt



3. Entwicklung eines Submodells - Eigenschaften

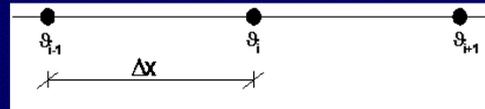
- Aufbau von Einbauten wird nicht nur in Layern, sondern in Zellen unterteilt
- Temperaturen der internen Zellen werden in 3 Richtungen gekoppelt
- Eck- und Randzellen erhalten Rand- und Übergangsbedingungen von den umliegenden Gaszellen
- Wärmestrom bzw. Wärmeleitung zwischen zwei aneinander liegenden Bauteilen wird berechnet
- die Möglichkeit einer 3-dimensionalen Materialeingabe wird direkt berücksichtigt
- Diskretisierung der 3-D Wärmeleitungsgleichung nach dem Cranck-Nicholson-Verfahren



3. Entwicklung eines Submodells – Wärmeleitungsgleichung

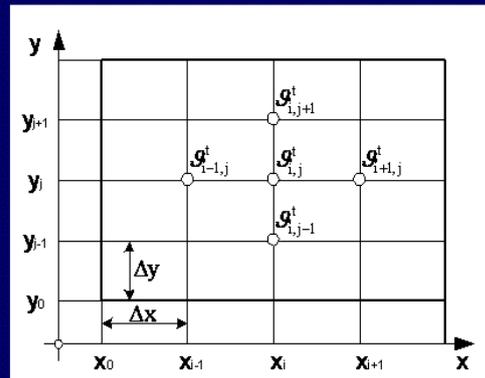
- 1-dimensional (FDS)

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



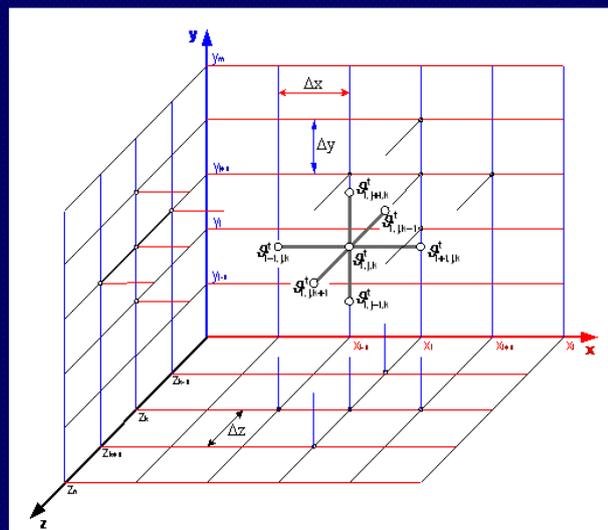
- 2-dimensional

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



3. Entwicklung eines Submodells - 3-D Wärmeleitungsgleichung

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





3. Entwicklung eines Submodells – numerische Lösungen

- 7 Unbekannte (Temperaturen) in der in 3 Dimensionen diskretisierten Wärmeleitungsgleichung
- durch geeignete Zellnummerierung ergibt sich eine Bandmatrix
- eine Lösung kann i.d.R. nur iterativ erfolgen mit
 - Gesamtschrittverfahren
 - Relaxationsverfahren
 - Block-Iterationsverfahren
 - weitere Gleichungslöser bzw. Iterationsverfahren



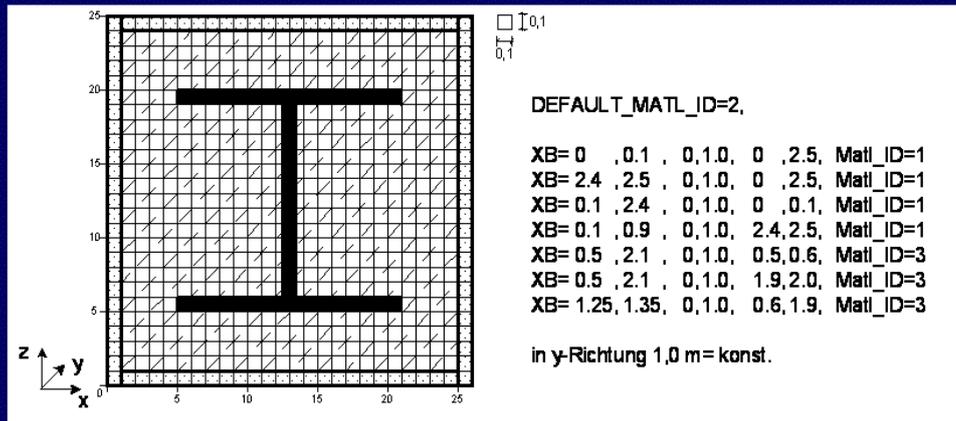
3. Entwicklung eines Submodells – Randbedingungen

- Rand- und Übergangsbedingungen
 - Wärmekonvektion $\frac{\partial T}{\partial n} + \alpha \cdot (T_G - T_W) = 0$
 - Wärmestrahlung $\frac{\partial T}{\partial n} + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_G^4 - T_W^4) = 0$
 - Wärmeleitung zwischen zwei Bauteilen
- in Randbereichen und Eckbereichen interpolierte Gastemperaturen
- Temperaturleitung an Anschlusspunkten erfolgt durch aufeinander folgende Lösung der Differentialgleichungen der Wärmeleitung beider Bauteile



4. Neues Modell zur 3-D Geometrieingabe von Einbauten

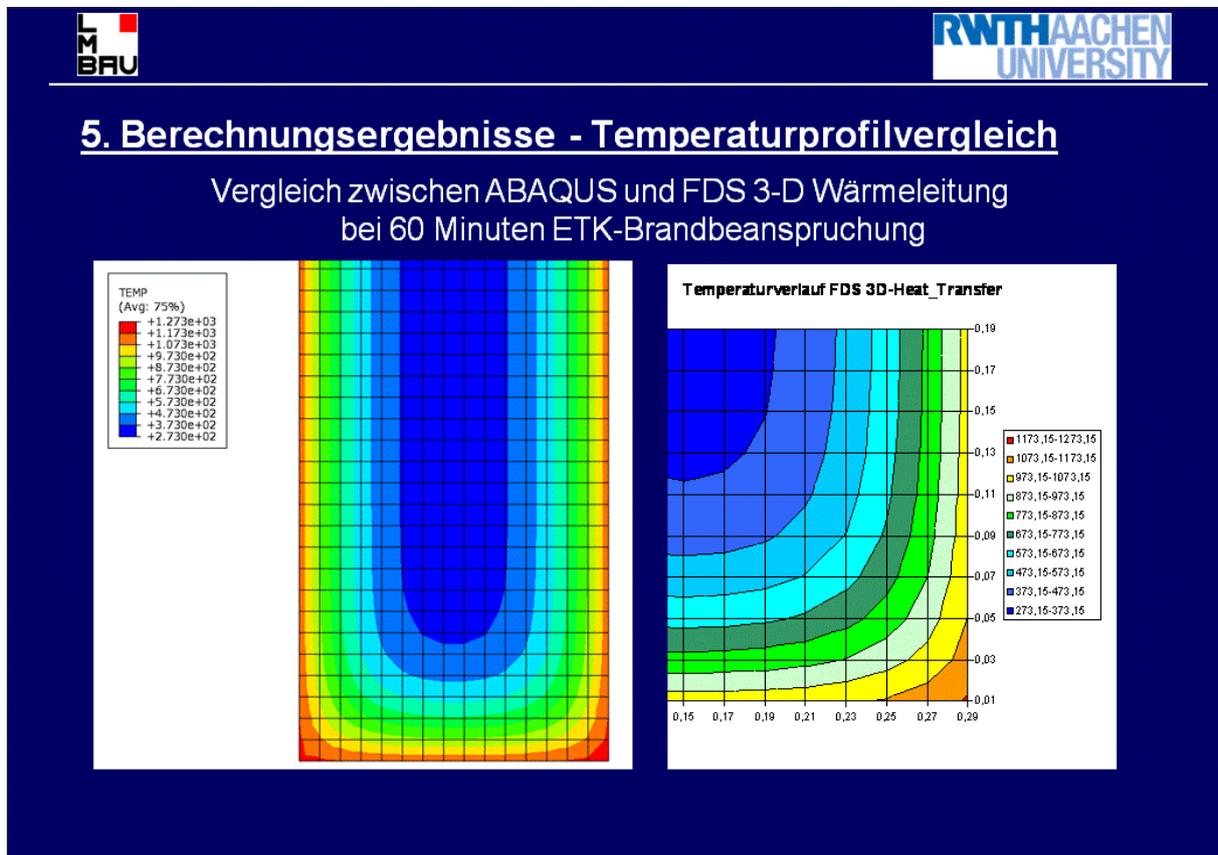
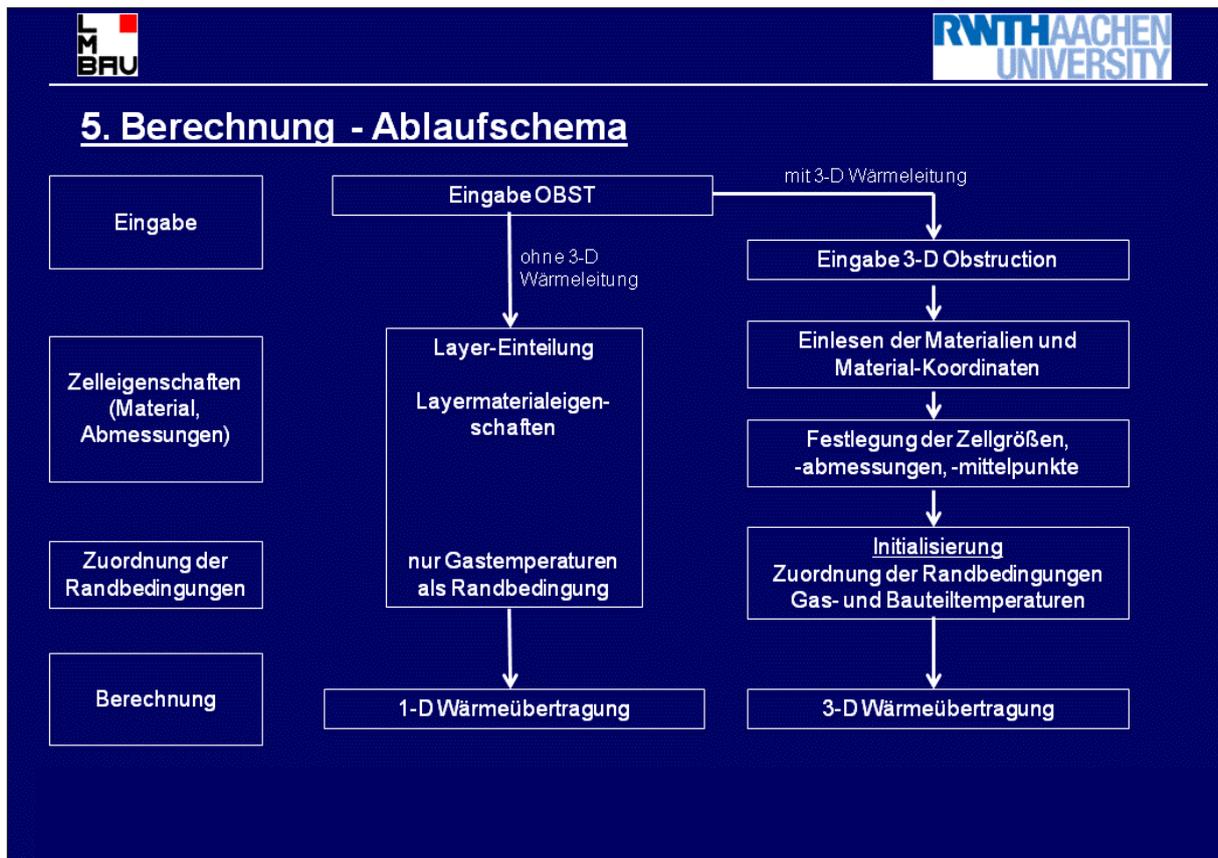
- Eingabe eines dreidimensionalen Modells über die Zuordnung von Materialien im kartesischen Koordinatensystem
- Zusätzliche Eingabe eines Standardmaterials



4. Neues Modell zur 3-D Geometrieingabe von Einbauten

- durch Eingabe eines Standardmaterials wird die Eingabe erleichtert
- nur davon abweichende Materialien müssen beschrieben werden
- Eingabe von Bewehrungsstäben oder Verbundbauteilen ist möglich
- Wärmeleitung zwischen zwei „3-D-Einbauten“ wird berechnet

→ gewohnte Eingabe von Surfaces mit Layern wird nicht ersetzt, sondern bleibt als Standard bestehen!





5. Berechnungsergebnisse – Verifikation / Validierung

- Verifikation der numerischen Umsetzung durch weitere Vergleiche mit anderen Programmen
- Validierung der Ergebnisse durch Brand- und Wärmeleitungsversuche aus der Literatur
- Versuche zur 3-D Wärmeleitung im Brandfall werden derzeit geplant
- weitere Untersuchungen hinsichtlich der Genauigkeit des Rechenverfahrens folgen
- Optimierung des Lösungsalgorithmus



6. Fazit

- dreidimensionale Wärmeleitung in Bauteilen wird realisiert
 - gerade in interessanten Bereichen (z. B. Rahmenecken) können durch die Weiterentwicklung die Temperaturen bestimmt werden
 - Wärmeleitung zwischen Bauteilen ist ermöglicht
 - durch die Entwicklung einer dreidimensionalen Geometrieingabe lassen sich auch komplizierte Geometrien wie Stahlbetonbalken eingeben und berechnen
 - Temperaturprofile können zur Heißbemessung herangezogen werden
- Die Eingabe von Bauteilen nach altem Schema mit vereinfachter eindimensionaler Wärmeleitungsberechnung wird weiterhin als Standardeinstellung beibehalten!

Dimitrios Toris:**Ausgewählte Szenarien zur Fehleranalyse der Rechenergebnisse aus FDS - Brand- und Rauchausbreitungssimulationen für die Versionen 4.0 und 5.0****Abstract:**

Auf der dualen Basis Technische Physik - Wahrscheinlichkeitsrechnung aufbauende Sicherheitskonzepte erfordern eine immer präzisere Aussage zur Modellgenauigkeit der eingesetzten Ingenieurmethode, damit die Aussagekraft der gerechneten Ergebnisse quantitativ verifizierbar und auf die Anwendungen des technischen Alltags übertragbar bleibt.

An ausgewählten Szenarien werden verschiedene Möglichkeiten der Fehleranalysen eingesetzt, um die Modellgenauigkeit von NIST FDS (v4.0 und 5.0) zu quantifizieren. Weiterhin werden darauf basierende Sicherheitselemente für die Modifikation der Simulationsergebnisse hergeleitet.

Der Beitrag soll die Diskussion um mögliche Einflussfaktoren und Prozessvariablen bei der Bestimmung der Modellgenauigkeit von NIST FDS anregen und für weitere Untersuchungen an einem vergrößerten Maßstab werben.

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL
BAUSTOFFTECHNOLOGIE UND BRANDSCHUTZ



BEITRAG ZUM AUFTAKTTREFFEN DER
DEUTSCHEN FDS-USERGROUP

Ausgewählte Szenarien zur Fehleranalyse von Ergebnissen aus Brand- und Rauchtransportsimulationen mit dem Programm NIST FDS (Versionen 4.0 und 5.0)

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL
BAUSTOFFTECHNOLOGIE UND BRANDSCHUTZ



BEITRAG ZUM AUFTAKTTREFFEN DER
DEUTSCHEN FDS-USERGROUP

Motivation

- Die szenarioübergreifende Verallgemeinerung der Aussagekraft von Rechenergebnissen bedingt eine Quantifizierung der Abweichungen!
- Die integrierte Behandlung von Modellungenauigkeiten und Anwendungsgrenzen erfordert eine multidimensionale Ausdrucksform der Ergebnisse von Validierungsrechnungen!
- Eine Zurodnung von Fehlerquellen auf die verschiedenen Einflussgrößen kann nur auf systematische Analysen von Validierungsergebnissen beruhen (rechnerorientierte Übertragbarkeit der Auswirkungen)!

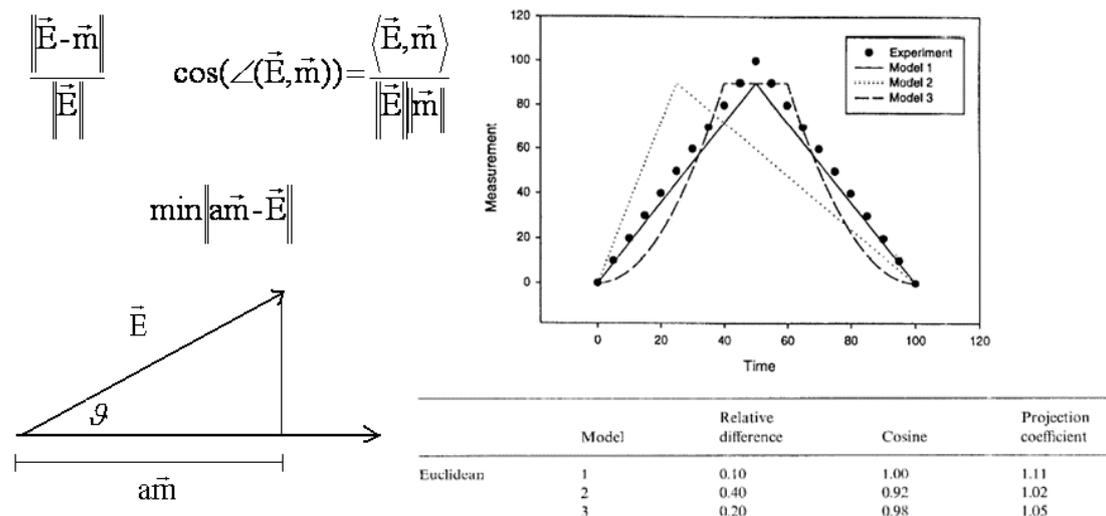


Anforderungen an die Verfahren zur Fehleranalyse

- Rechnerorientierte Ausrichtung!
- Sowohl Abweichungen als auch Modellgrenzen müssen „quantifiziert“ werden können!
- Wichtige phänomenologische Erkenntnisse müssen wiedergegeben werden!
- Parameter müssen physikalisch interpretierbar sein!



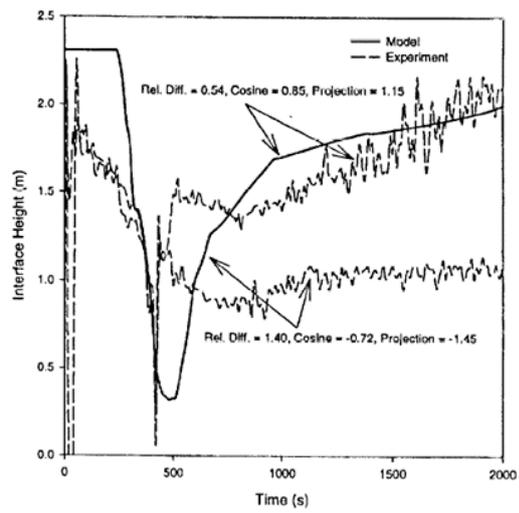
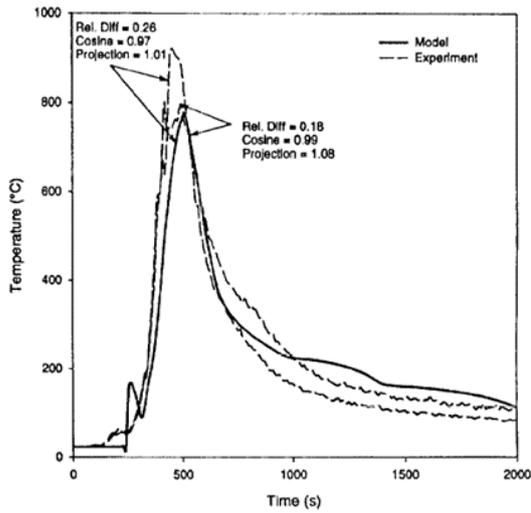
Vorschlag von Peacock & Co.*



*Fire Safety Journal 33 (1999), S. 167-184



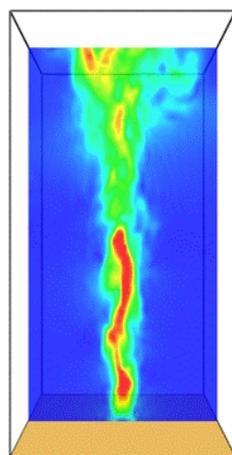
Anwendungen auf Zonenmodelle*



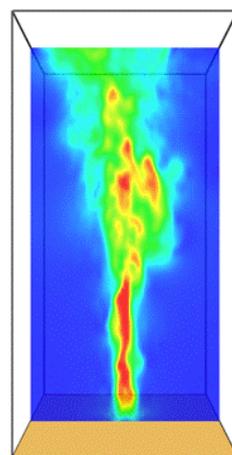
*Fire Safety Journal 33 (1999), S. 167-184



Szenario 1: pool fire – Experimente von Weckman*



FDS 4

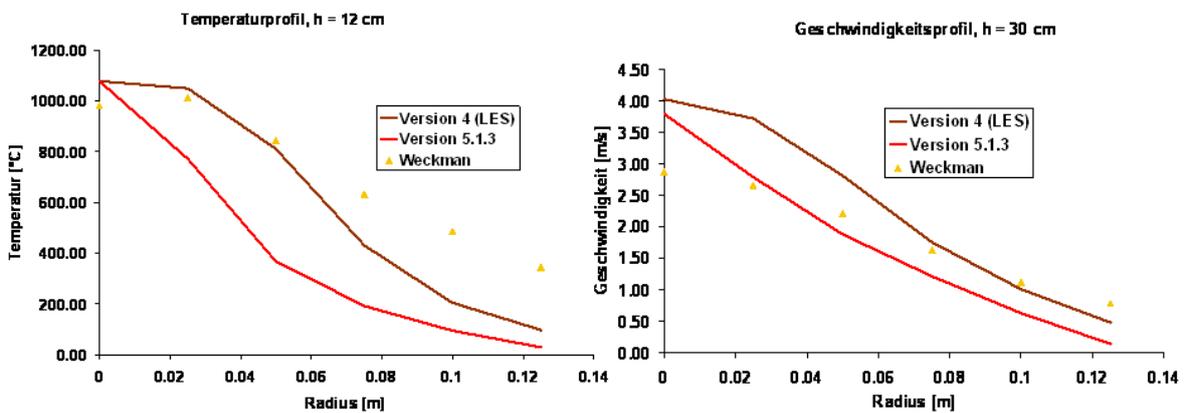


FDS 5

*Weckman EJ, Sobiesiak A. Proc Combust Inst 1988;22:1299-310



Szenario 1: Ergebnisse

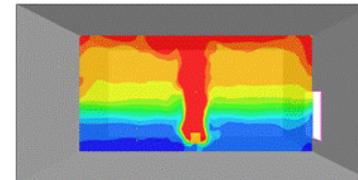
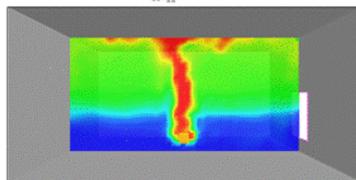
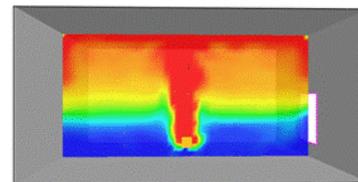
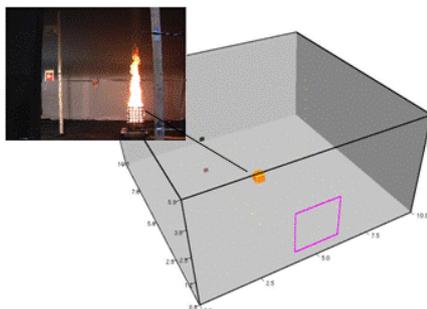


Parameter	FDS 4	FDS 5
Rel. Difference	0.236591252	0.463639171
cosine	0.971740447	0.898452401
alpha	1.01670487	1.198688336

Parameter	FDS 4	FDS 5
Rel. Difference	0.344248124	0.269957689
cosine	0.990443616	0.966850547
alpha	0.758462793	0.916906815



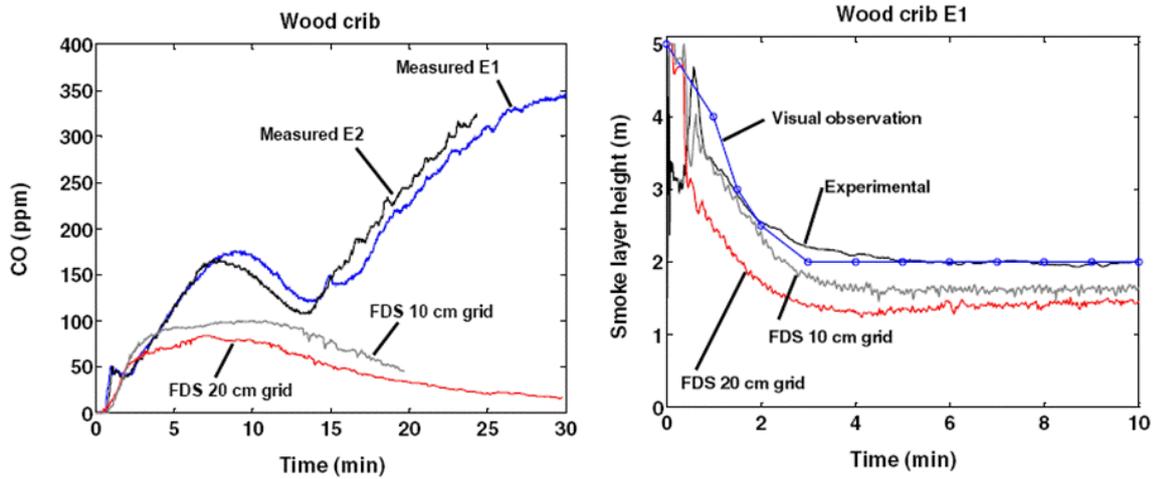
Szenario 2: Toxizität & Verrauchung



*Rinne T., Hietaniemi J., Hostikka S.: Experimental Validation of the FDS Simulations; VTT Working Papers 66, ESPOO 2007

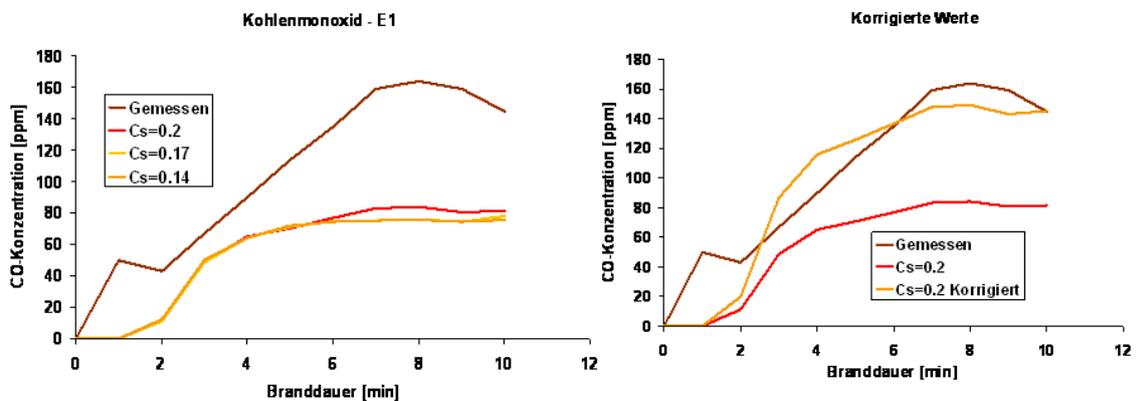


Szenario 2: Ergebnisse der Experimentatoren



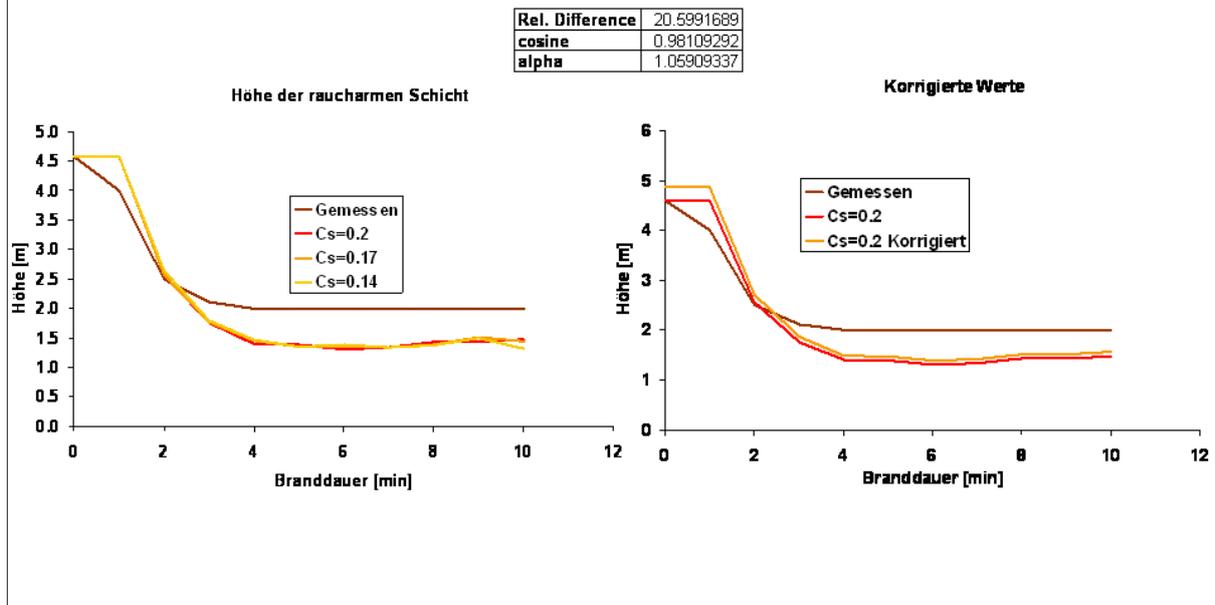
Szenario 2: Ergebnisse eigener Berechnungen (Toxizität)

Rel. Difference	0.46795788
cosine	0.98342708
alpha	1.78151127





Szenario 2: Ergebnisse eigener Berechnungen (Verrauchung)



Zusammenfassung & Fazit

- Die rel. Differenz und der Cosinus liefern Quantifizierungen für das Maß und die Art der Abweichungen!
- Der Korrekturfaktor alpha ist nicht geeignet um nicht – monotone Fehlerfunktionen zu beschreiben!
- Der Unterschied zwischen Ungenauigkeiten und Modellgrenzen kann quantifiziert werden!
- Für die Separierung verschiedener Fehlerquellen reichen die rel. Differenz und der Cosinus nicht aus da ein Vergleichsmaß nur über einen geeigneten Korrekturfaktor ermittelt werden kann!

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL
BAUSTOFFTECHNOLOGIE UND BRANDSCHUTZ



BEITRAG ZUM AUFTAKTTREFFEN DER
DEUTSCHEN FDS-USERGROUP

Ausblick

- Ein geeigneter Korrekturfaktor für die Beschreibung ortsvariabler und/oder transienter Probleme muss definiert werden!
- Ein konsensfähiger Vorschlag für die Grenze zwischen Modellgrenze und Ungenauigkeit ist zu erarbeiten!
- Statistische Verfahren werden ersatzweise oder ergänzend herangezogen!

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL
BAUSTOFFTECHNOLOGIE UND BRANDSCHUTZ



BEITRAG ZUM AUFTAKTTREFFEN DER
DEUTSCHEN FDS-USERGROUP

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Matthias Münch:

Verifikation und Validierung bei der Softwareentwicklung - Warum Vergleiche mit Brandversuchen nicht ausreichen

Abstract:

Aufgrund seiner kostenlosen Verfügbarkeit ist der Fire Dynamic Simulator (FDS) zu einer weltweit verwendeten Software zur Berechnung von brandinduzierten Strömungen geworden. In zunehmenden Umfang wird er dabei als Werkzeug im technischen Entwurfsprozess bei der sicherheitsrelevanten Planung und Auslegung von Gebäuden verwendet.

Die FDS-Autoren lehnen jedoch jede Garantie und Verantwortung für die Anwendbarkeit des Programms auf brandschutzspezifische Fragestellungen, bzw. die hierzu notwendige Fehlerfreiheit und Genauigkeit des Programms ab. Dieser Nachweis liegt somit allein in der Verantwortung des Anwenders.

Dies führt zu einer Reihe wichtiger Fragen, wie bspw. wo liegen die Anwendungsgrenzen der Software, wie vertrauenswürdig sind die Ergebnisse und welche Voraussetzungen müssen hierfür erfüllt sein?

Um diese Fragen zu beantworten wurden im Brandingenieurwesen zahlreiche Vergleiche zwischen Simulationsrechnungen und Brandversuchen durchgeführt. Obwohl jeder erfolgreiche Vergleich die Vertrauenswürdigkeit des überprüften Programms erhöht und diese Art von Untersuchung notwendig ist, kann sie dennoch nicht die Richtigkeit aller mit dem Programm berechneten Ergebnisse garantieren. Hierzu sind detailliertere Verifikations- und Validierungsuntersuchungen notwendig, wie sie im Bereich des Scientific Computings seit langem üblich und bekannt sind.

Der Vortrag erläutert die wesentlichen Begriffe und zeigt an ausgewählten Beispielen die Notwendigkeit für ein derartiges Vorgehen bei der geplanten Softwareentwicklung.

Verifikation und Validierung bei der Softwareentwicklung

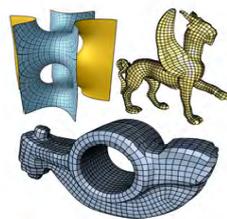
Matthias Münch

FB Mathematik & Informatik
Scientific Computing
Projekt I-G-N-I-S

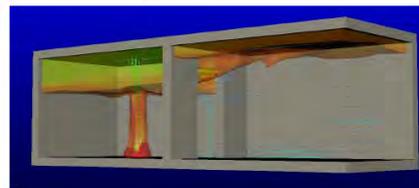
muench@math.fu-berlin.de

1. FDS-Usergroup Treffen 2008, Berlin

Scientific Computing



Numerische Mathematik
Scientific Computing



Scientific Computing

Projekt I-G-N-I-S

Verbrennungs- und Strömungsmodellierung

Ziele:

- ▶ Transfer zwischen Forschung und Anwendung
- ▶ Softwareentwicklung
- ▶ Validierung und Verifikation
- ▶ Schulung und -beratung

Kooperationspartner:



CFD-Modelle im Brandschutz

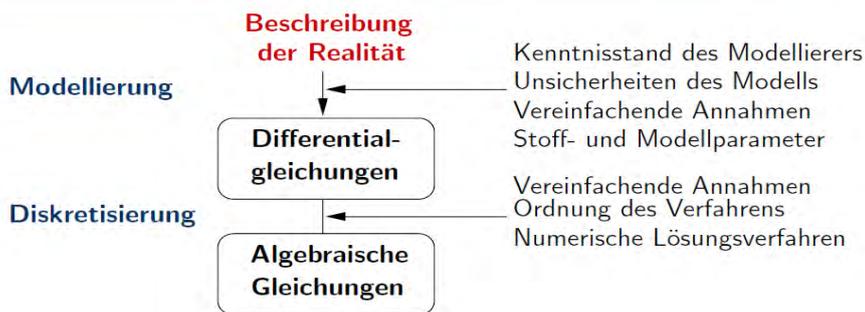
Ziele:

- ▶ Verbrennungsprozesse berechnen
 - ▶ thermische Belastung für Tragfähigkeitsberechnung
 - ▶ Schadstoffkonzentrationen
 - ▶ Rauchentwicklung
- ▶ Strömungs- / Rauchausbreitung berechnen
- ▶ Interaktion / Kopplung mit
 - ▶ Sprinkleranlagen
 - ▶ Rauchdetektion
 - ▶ Evakuierungsmodellen

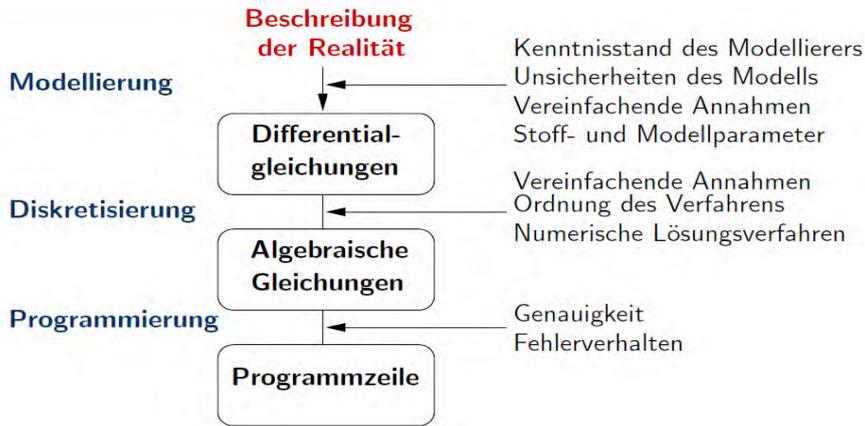
Entstehung eines CFD-Modells



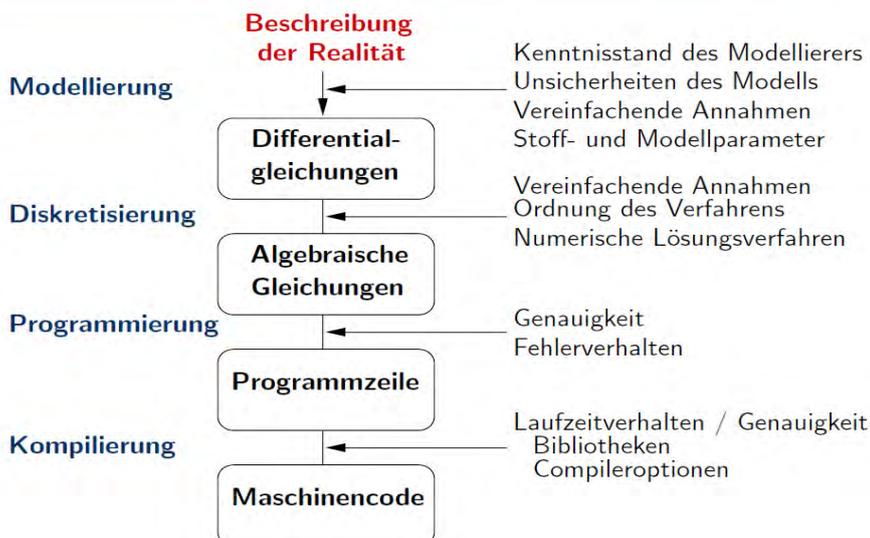
Entstehung eines CFD-Modells



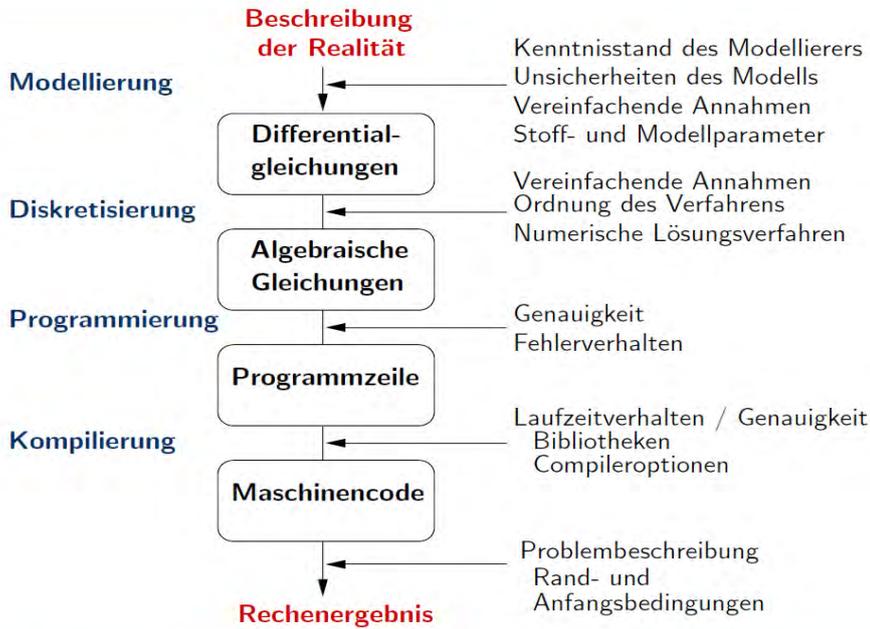
Entstehung eines CFD-Modells



Entstehung eines CFD-Modells



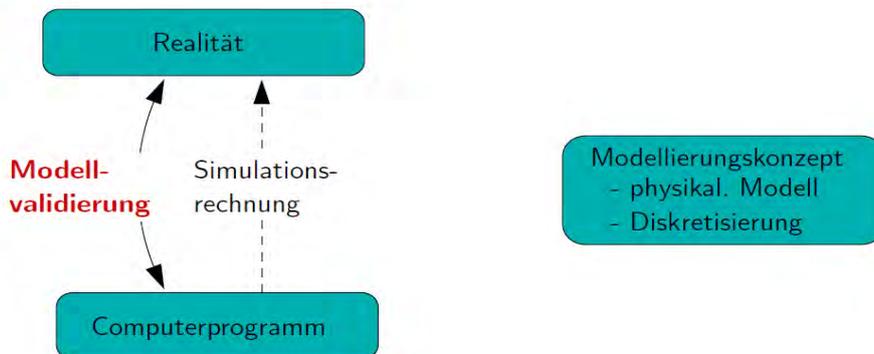
Entstehung eines CFD-Modells



Verifikation & Validierung

Begriffe

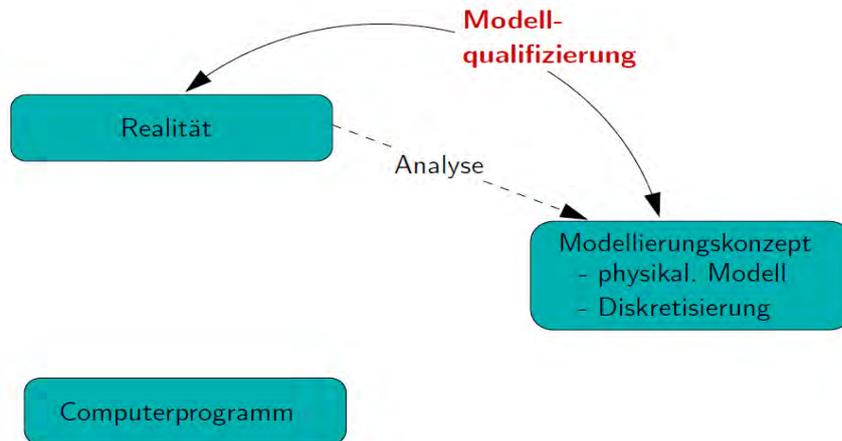
Modellvalidierung



Verifikation & Validierung

Begriffe

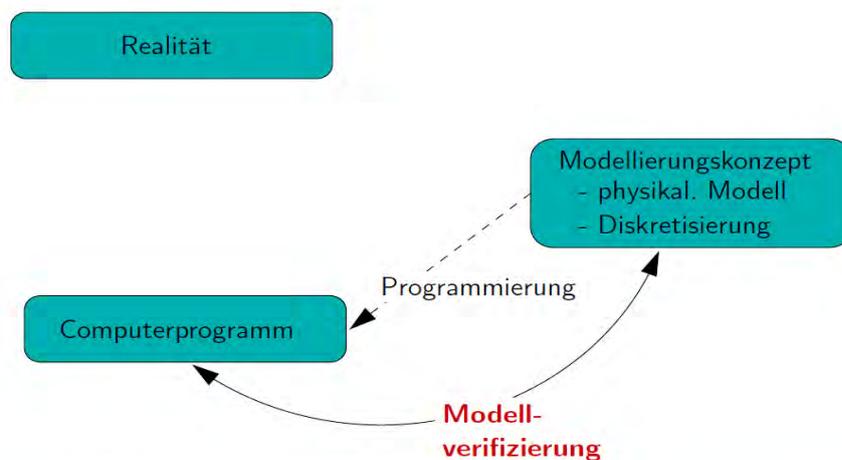
Modellqualifizierung



Verifikation & Validierung

Begriffe

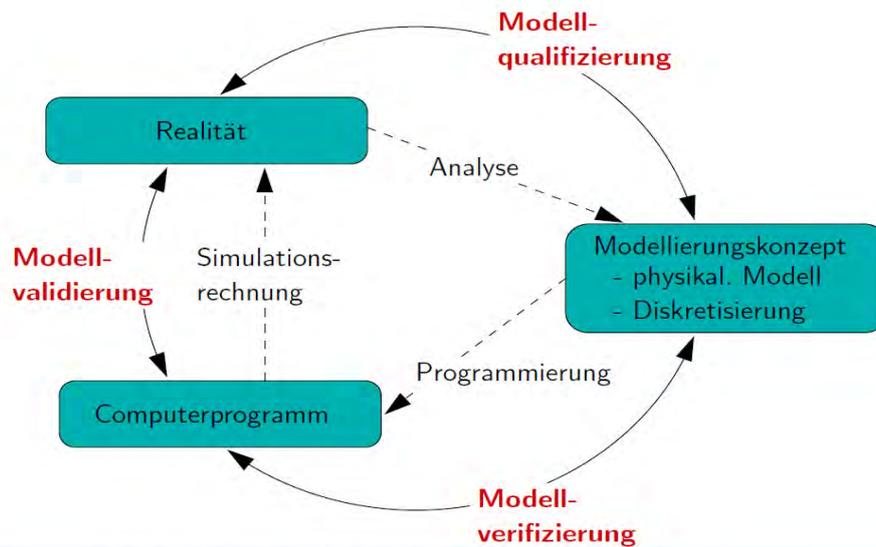
Modellverifizierung



Verifikation & Validierung

Begriffe

V & V Prozess nach [Schlesinger 1979]



Verifikation & Validierung

Validierung

Vergleich mit Brandversuchen

Kriterien:

- ▶ Güte der experimentellen Daten
- ▶ Skalierbarkeit der Problemstellung
- ▶ Gegenstand des Vergleichs



Foto: BAM

Verifikation & Validierung

Validierung

Vergleich mit Brandversuchen

Kriterien:

- ▶ Güte der experimentellen Daten
- ▶ Skalierbarkeit der Problemstellung
- ▶ Gegenstand des Vergleichs



Foto: BAM

Vergleichsprinzip:

Immer Netto-Effekt
 aller physikalischer Prozesse!
Auslöschung von Fehlern möglich

Verifikation & Validierung

Komponententest

Komponenten eines Programms

Physikalische Submodelle

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

Datenhandhabung

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

Numerische Algorithmen

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

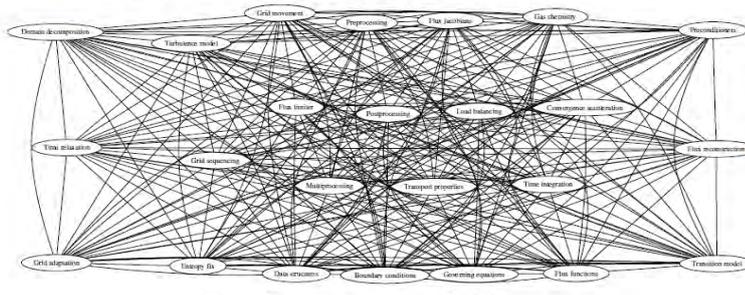
Gitterhandhabung

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

Verifikation & Validierung Komponententest

Kopplung der Komponenten

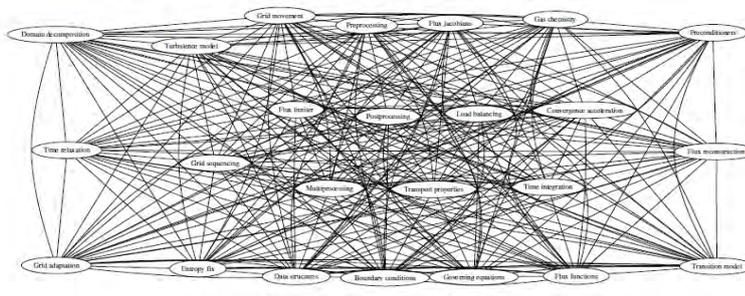
- ▶ Beispiel: FUN3D flow solver [Kleb and Wood, 2004]
 - ▶ enthält 24 Komponenten
 - ▶ Interaktion der Komponenten



Verifikation & Validierung Komponententest

Kopplung der Komponenten

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



- ▶ ≈ 1 Fehler pro 170 Programmzeilen [Hatton, 1997]

→ **isolierte Tests von Programmkomponenten**

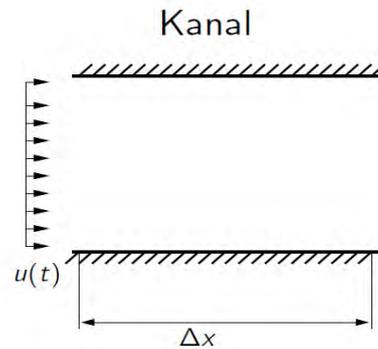
Verifikation & Validierung

Beispiel: Verifikation



Test des FDS-Hydrodynamiklösers

- ▶ ohne Turbulenzmodell
- ▶ Links: Einströmung
 $u(t) = u_0 \sin(2\pi ft)$
- ▶ Rechts: Offener Rand
- ▶ Kontrollgröße Druckänderung Δp_2



Analytische Lösung:

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \vec{v} dV = \oint_A p_2 \vec{n} dA \rightsquigarrow \Delta p_2 = \rho u_0 2\pi f \cos(2\pi ft) \Delta x$$

Verifikation & Validierung

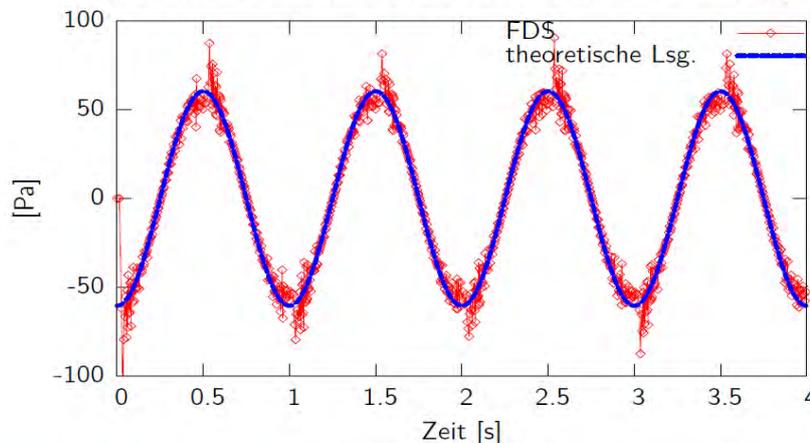
Beispiel: Verifikation



Druckänderung $\Delta p_2 = \rho u_0 2\pi f \cos(2\pi ft) \Delta x$

mit $u_0 = 8 \frac{m}{s}$, $f = 1 \text{ Hz}$, $\rho = 1.188 \frac{kg}{m^3}$, $\Delta x = 1.01m$, 100×144 Zellen

Ergebnis: Oszillation um exakte Lösung

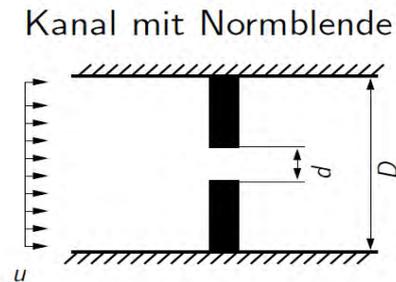


Verifikation & Validierung

Beispiel: Validierung

Test des FDS-Hydrodynamiklösers

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



Empirische Lösung:

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

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

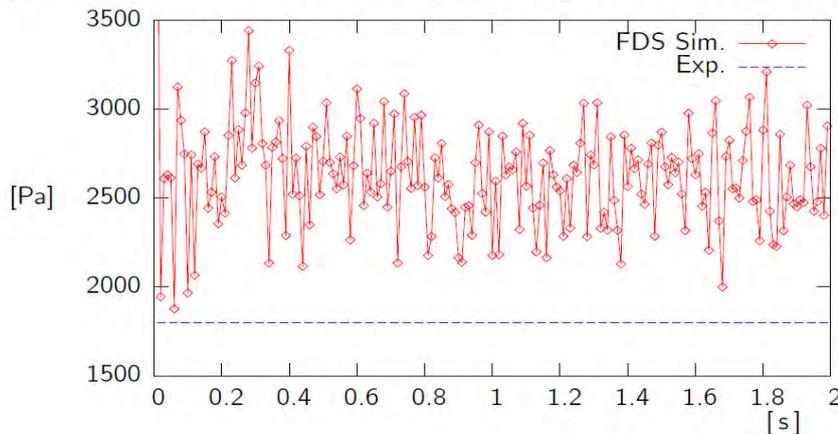
Verifikation & Validierung

Beispiel: Validierung

Druckverlust über Normblende

$$u = 7.5 \frac{m}{s}, \rho = 1.188 \frac{kg}{m^3}, \zeta \approx 55 \rightsquigarrow \Delta p_v = \zeta \rho \frac{\bar{u}^2}{2} = 1837 Pa$$

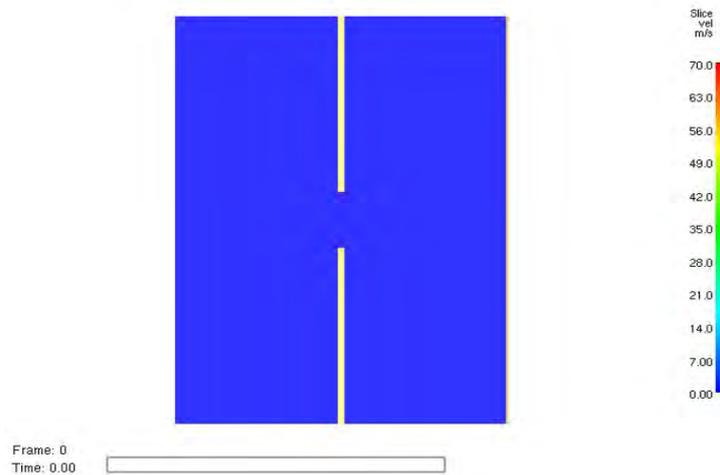
Ergebnis: $\approx 40\%$ Überschätzung des Druckverlustes



Verifikation & Validierung

Beispiel: Validierung

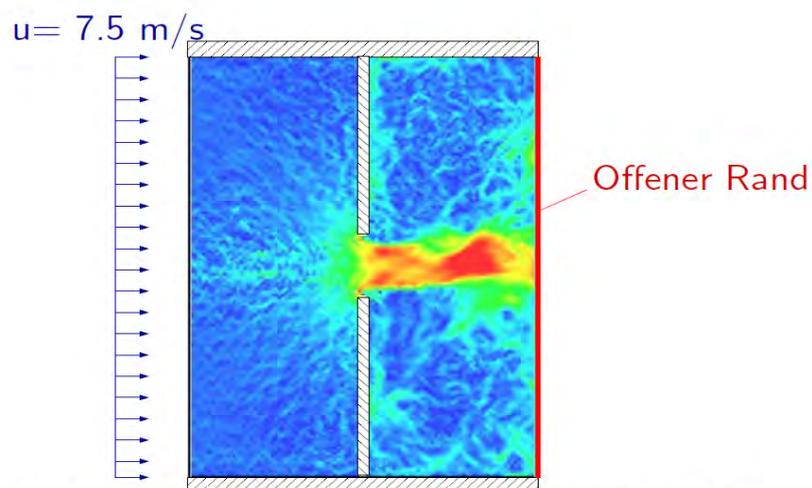
Darstellung des Geschwindigkeitsfeldes



Verifikation & Validierung

Beispiel: Validierung

Ursache: Fehlerhafte offene Randbedingung



Reflektion von Wirbeln am offenen Rand

Verifikation und Validierung

Beispiel: Qualifizierung

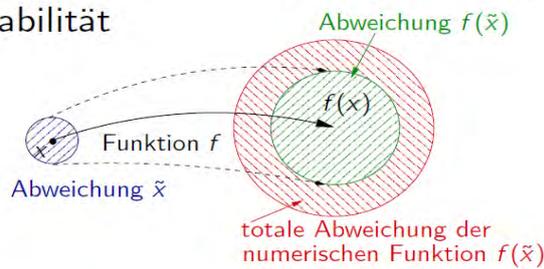
Untersuchung numerischer Qualitäten

- ▶ Ordnung des numerischen Verfahrens

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)_i \approx \frac{\Delta \phi}{\Delta x} - \underbrace{\left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}\right)_i \cdot \frac{\Delta x}{2!}}_{\text{Abbruchfehler } \mathcal{O}(\Delta x)} + \dots$$

- ▶ Konvergenzstudien $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} - \frac{\Delta \phi}{\Delta x}\right) = 0$

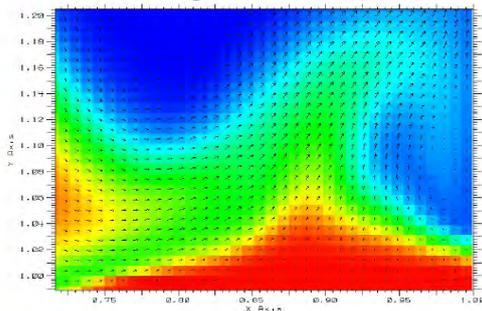
- ▶ Stabilität



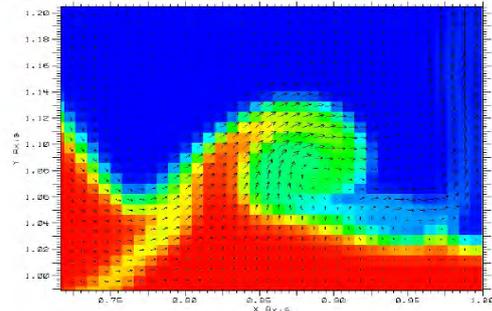
Verifikation und Validierung

Beispiel: Qualifizierung

Ordnung des numerischen Verfahrens



1. Ordnung



2. Ordnung

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)_i \approx \frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{\Delta x} - \underbrace{\left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}\right)_i \cdot \frac{\Delta x}{2!}}_{\text{Abbruchfehler } \mathcal{O}(\Delta x)} + \dots$$

Herzlichen Dank

Projekt **I-G-N-I-S**

<http://page.mi.fu-berlin.de/muench>

Klaus Veenker:

Vergleichsrechnungen zwischen einem Realbrandversuch (Straßenbahn) und einer FDS Simulation

Vergleich zwischen Ergebnissen eines Realbrandversuchs und einer FDS-Simulation eines Brandes in einem Stadtbahnwagen

Dipl.-Ing. Klaus Veenker

Gliederung

1. Realbrandversuch
2. Versuchsergebnisse
3. FDS - Modell
4. Simulationsergebnisse
5. Ausblick

Ausgangspunkt des Brandversuchs

Rechnerische Untersuchungen Essener U-Bahnhöfe

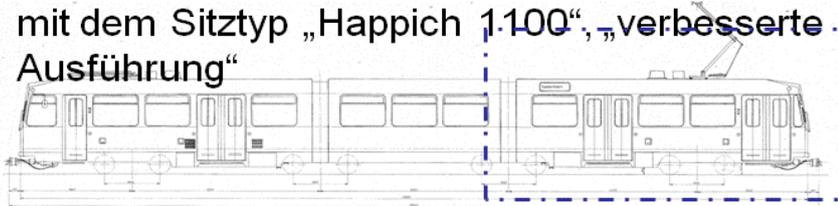
- Brandschutzkonzept mit Evakuierung und Entrauchung
 - Eingangsparameter führten zu keinem positiven Rechenergebnis
 - Ist die Energiefreisetzungsrates aus der Literatur für den Brand eines Essener Schienenfahrzeugs zutreffend?
- Bestimmung der Eingangsparameter für die Brandsimulation der U-Bahnstationen in Essen

Versuchsobjekt



Versuchsobjekt

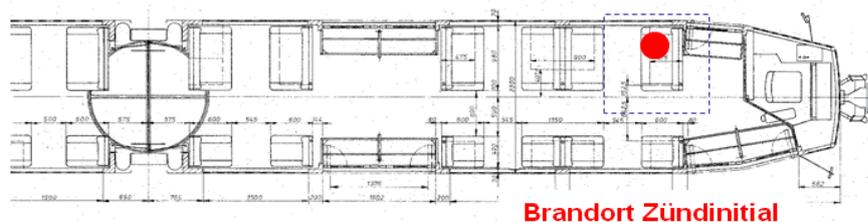
- Brandversuch mit einem 12,5 m langen Fahrzeugabschnitt (Führerstand und Fahrgastraum bis über das erste Drehgelenk hinaus)
- Schnittfläche am getrennten Ende mit Blech verschlossen
- Auf das Fahrwerk (Untergestell) wird verzichtet
- Bestuhlung unter Berücksichtigung von Vorversuchen mit dem Sitztyp „Happich 1100“, „verbesserte Ausführung“



Verwendetes Zündinitial

2 IMO-Kissen:

- Polyetherschaum mit Baumwollbezug
- Branddauer 10-15 min
- Energiefreisetzung 95 kW



Brandverlauf (nach ca. 5 min.)



Dipl.-Ing. Klaus Veenker / 07.03.2008

7 von 26

Brandverlauf (nach ca. 8 min.)



Dipl.-Ing. Klaus Veenker / 07.03.2008

8 von 26

Brandverlauf (nach ca. 18 min.)



Dipl.-Ing. Klaus Veenker / 07.03.2008

9 von 26

Erfasste Messgrößen

- Gas- und Oberflächentemperaturen
- Druckdifferenzen
- Massenverlust
- Gaskonzentrationen (O_2 , CO_2 , CO)
- Wärmestrahlung

Dipl.-Ing. Klaus Veenker / 07.03.2008

10 von 26



Bestimmung der Energiefreisetzungsrate

- Massenverlust

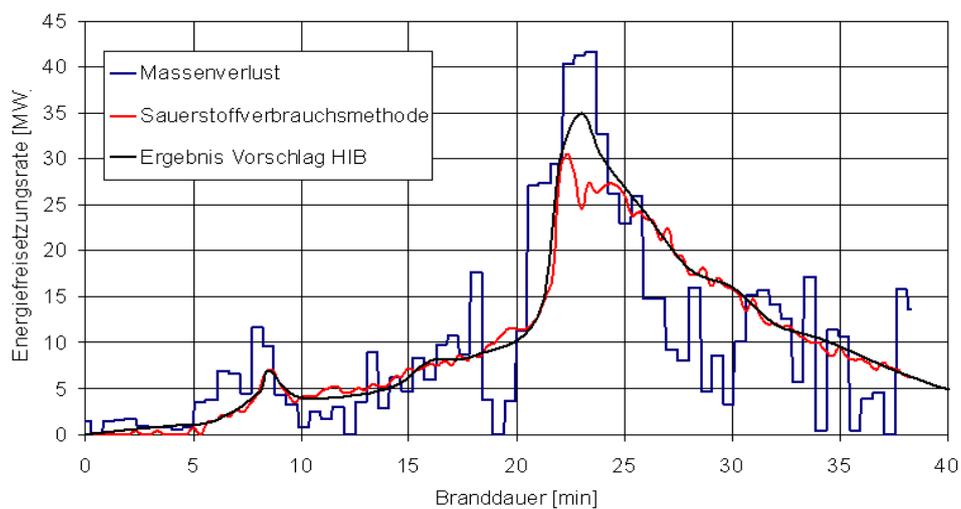
$$\dot{Q} = \dot{m}_f \cdot H_u$$

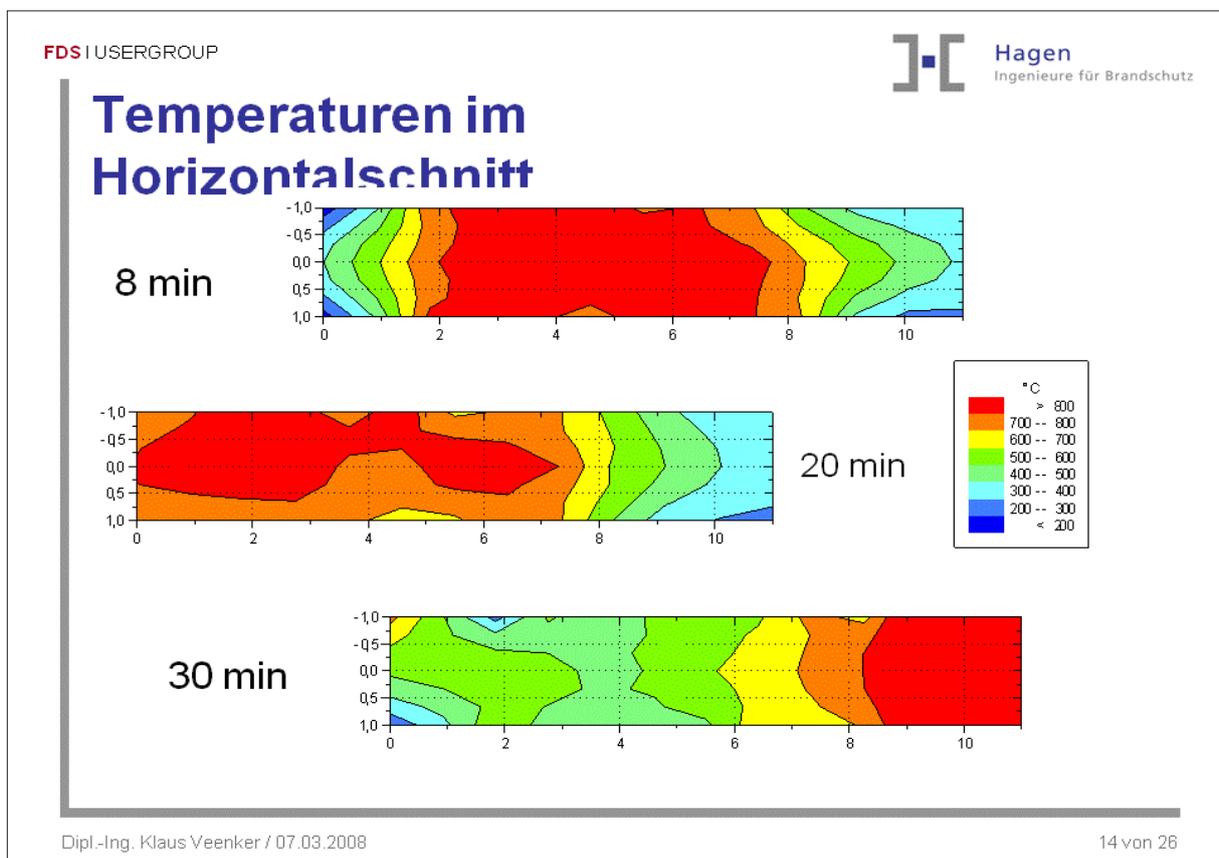
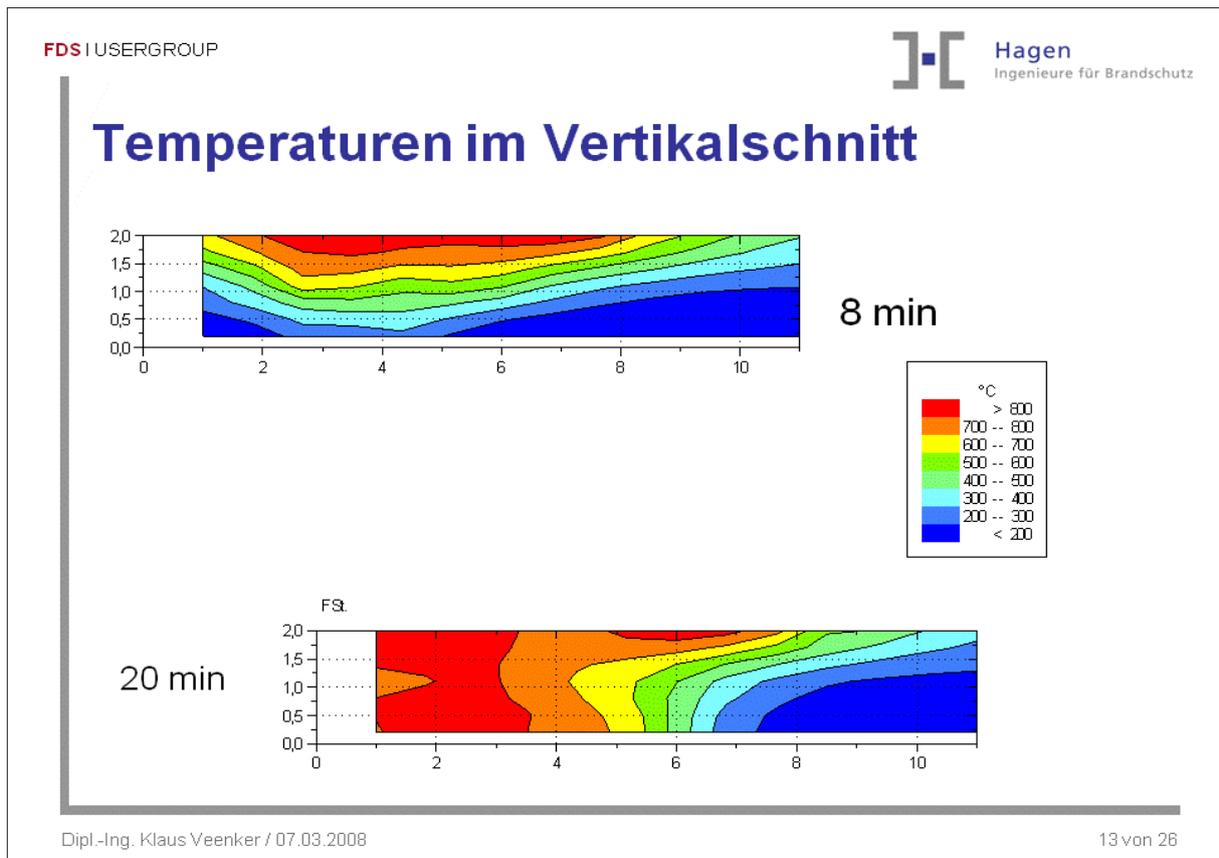
- Sauerstoffverbrauch

$$\dot{Q} = E^{O_2} (\dot{n}_0 c_0^{O_2} - \dot{n}_K c_0^{O_2}) + \frac{c_0^{CO} \dot{n}_K}{2} (E^{O_2} - E^{CO})$$



Energiefreisetzungsrate: Messergebnisse

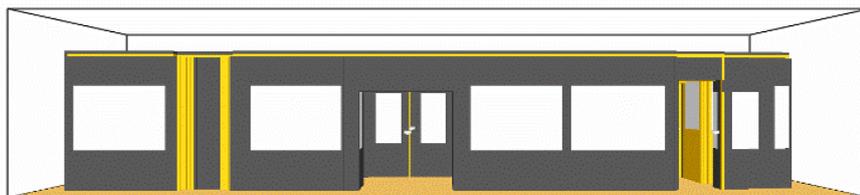




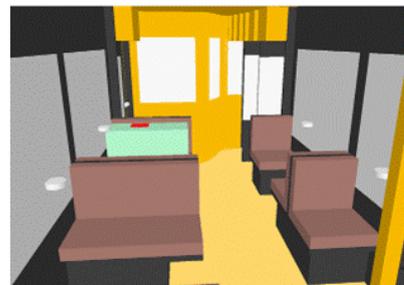
Auswirkungen auf das Brandschutzkonzept

- Gewonnene Ergebnisse dienen im Nachgang als Eingangsparemeter für die Simulationsberechnungen der unterirdischen Bahnhöfe
- Positives Ergebnis einer sicheren Evakuierung
- Aufwendige und kostenintensive bauliche Maßnahmen könnten vermieden werden

FDS – Modell - Bemessungsbrand



- Zellenanzahl: 1.458.000
- Zellengröße:
0,05m x 0,05m x 0,05m



Berücksichtigte Materialien

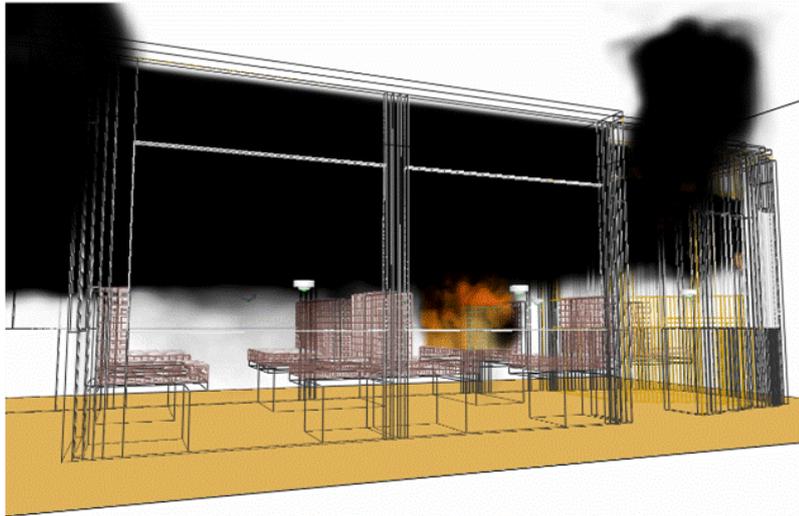
- Stahl (Fahrzeughülle)
- Holz (Einbauten, Unterdecke)
- Schaumstoff/Stoffbezug (Sitzpolster)
- Glas (Fensterscheiben)
- IMO-Kissen (Zündinitial)

Annahmen / Vereinfachungen

- Versagenstemperatur der Glasscheiben (200°C)
→ geregelt über Temperaturfühler
- Eine einfache und eine doppelflügelige Tür stehen durchgehend offen
- Nicht berücksichtigte Materialien:
GFK-Platten, HPL-Beschichtung, PVC-Böden, Kabelbrandlasten



Ergebnisse der Brandsimulation

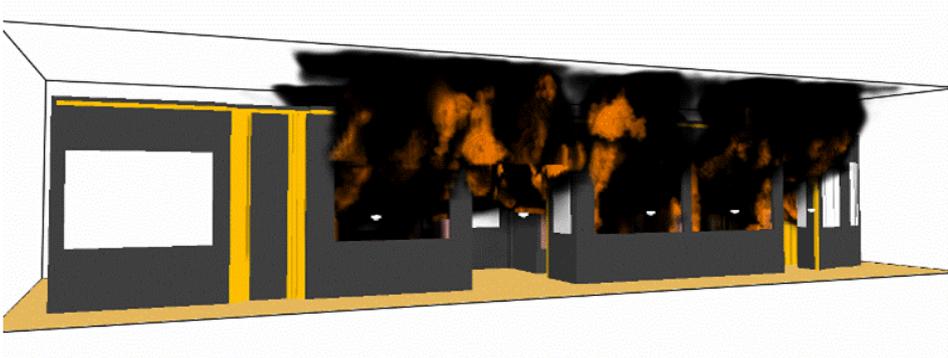


Ergebnisse der Brandsimulation



FDS | USERGROUP Hagen
Ingenieure für Brandschutz

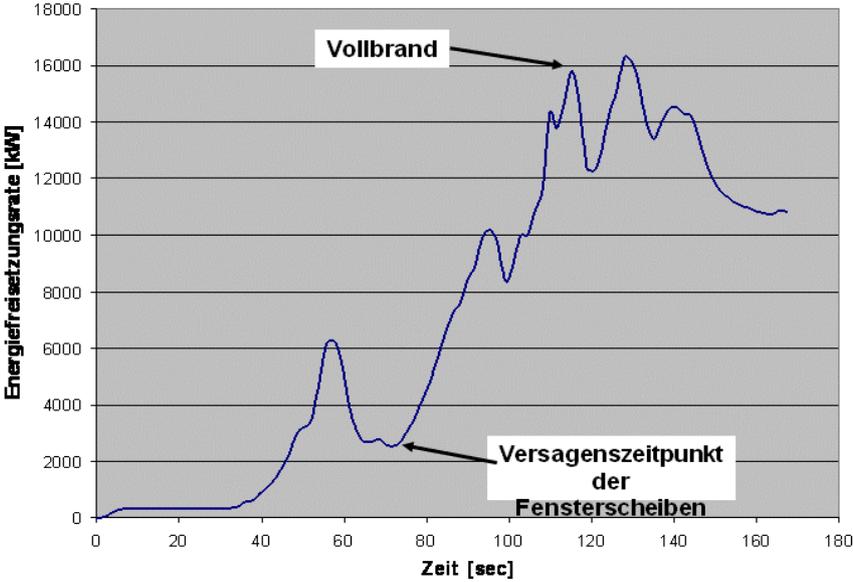
Ergebnisse der Brandsimulation



Dipl.-Ing. Klaus Veenker / 07.03.2008 21 von 26

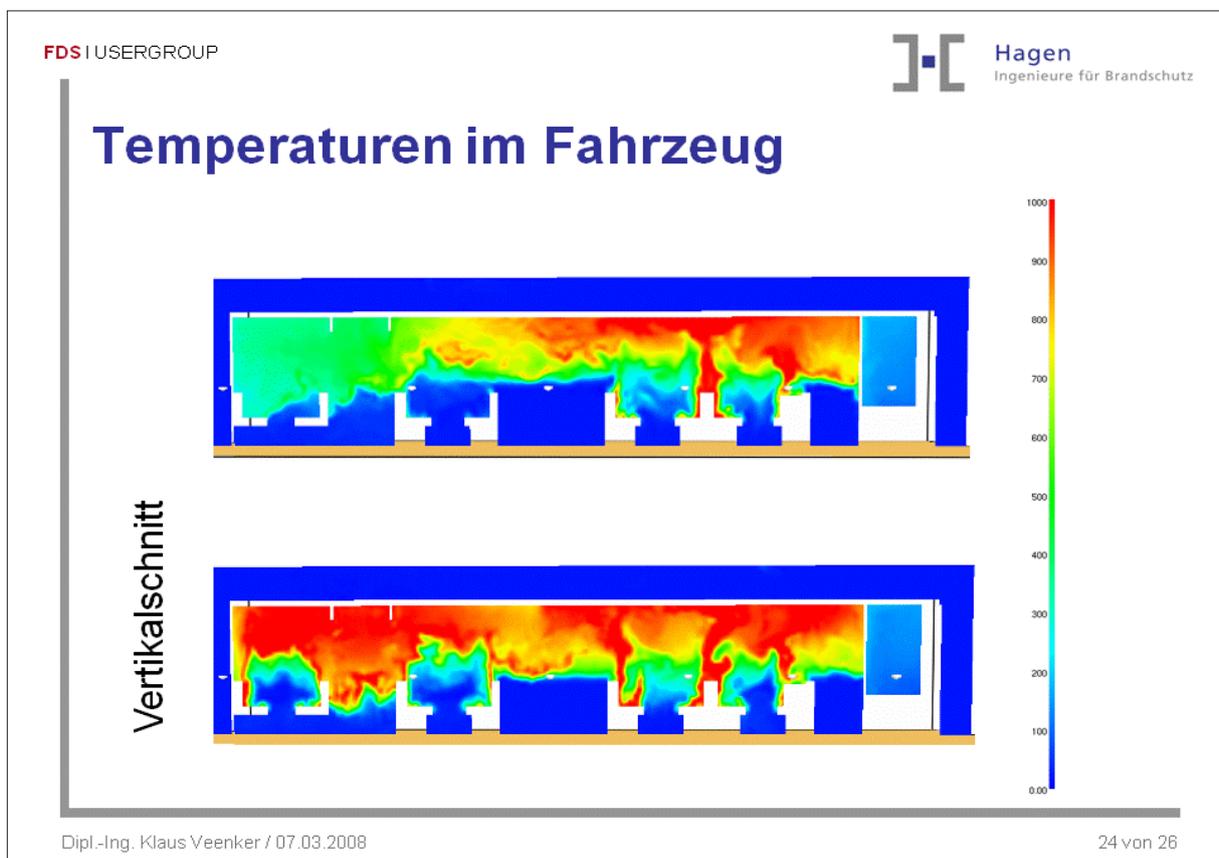
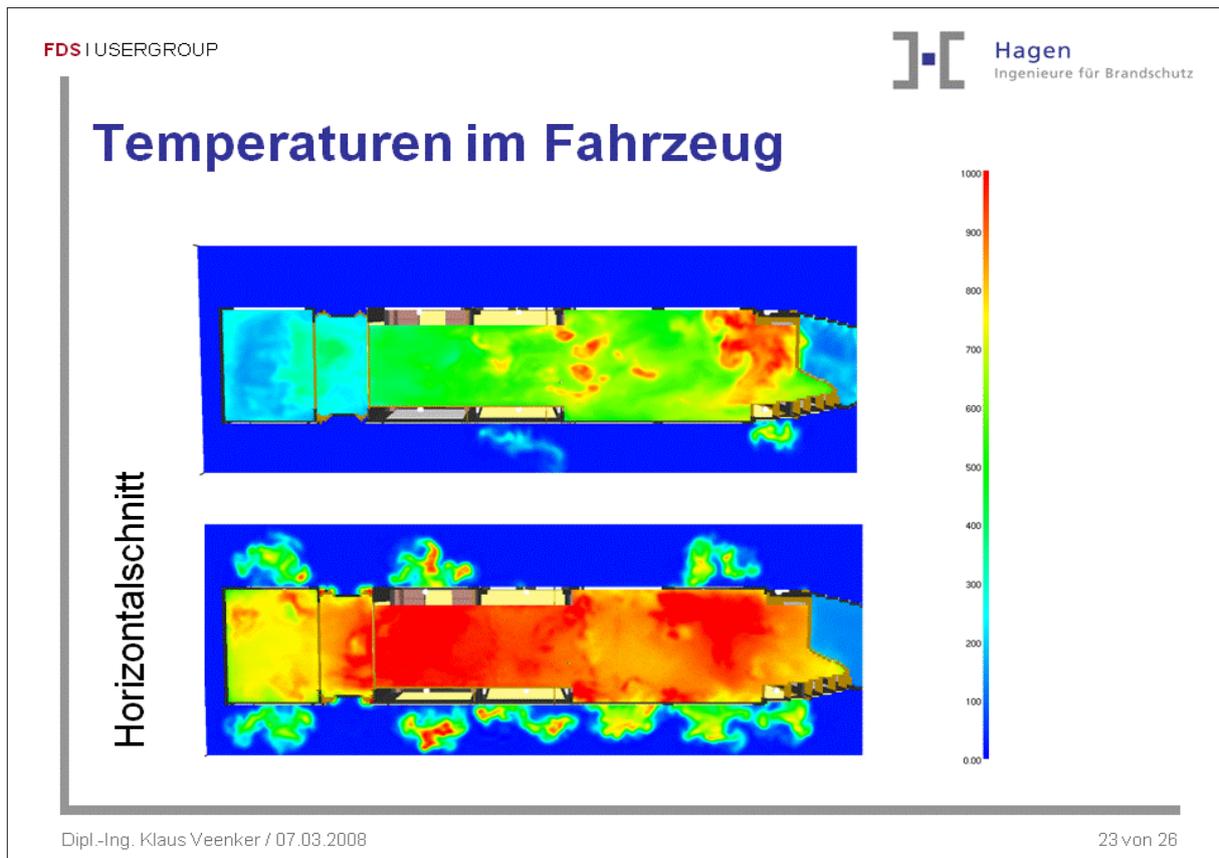
FDS | USERGROUP Hagen
Ingenieure für Brandschutz

Berechneter Verlauf der Energiefreisetzungsrate



Zeit [sec]	Energiefreisetzungsrate [kW]
0	0
20	0
40	500
55	6500
70	2500
85	7000
100	10000
115	16000 (Vollbrand)
130	16500
145	14000
160	11000
170	10500

Dipl.-Ing. Klaus Veenker / 07.03.2008 22 von 26



Ausblick auf weitere Untersuchungen

- Erhöhte Genauigkeit der Modellierung mit Berücksichtigung aller Komponenten in der Bahn (Kabelbrandlasten, Wand- und Deckenverkleidungen,...)
- Detaillierte Erfassung der im Fahrzeug verbauten Materialien
- Recherche über die Materialeigenschaften und das Brandverhalten einzelner Materialien

Zusammenfassung + Ziel

- Der Brandversuch kann qualitativ mit guter Übereinstimmung nachgerechnet werden
- Der zeitliche Verlauf sowie die Amplitude weichen von den Ergebnissen des Brandversuchs ab

→ Extrapolation auf andere Straßenbahnfahrzeuge

Martin Steinert:

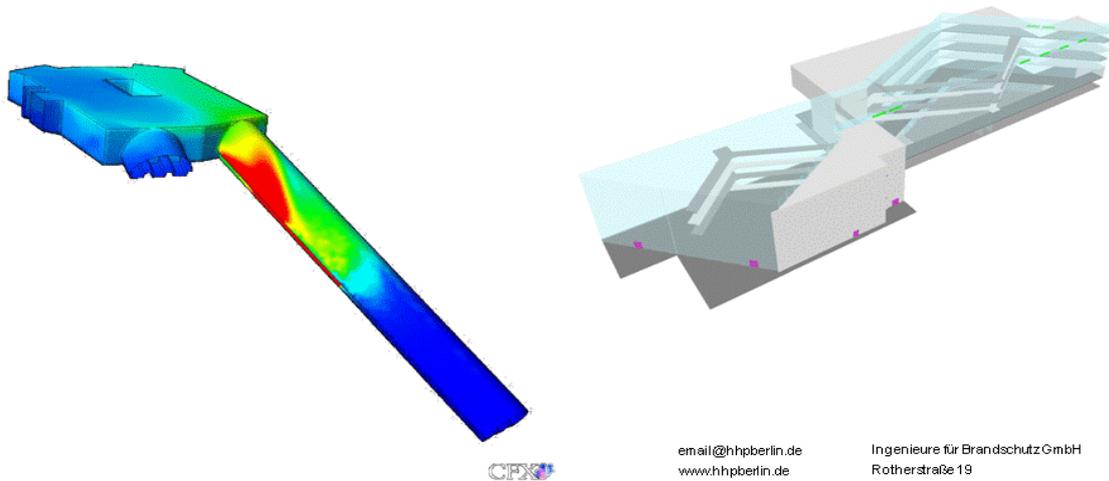
Vergleich verschiedener CFD-Modelle - Anwendungsgebiete von CFX und FDS

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Vergleich verschiedener CFD Modelle für die Simulation von Brandereignissen

Abgrenzung der Anwendungsgebiete von ANSYS CFX und FDS



Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Aufgabe

Vergleich verschiedener CFD Modelle für die Simulation von Brandereignissen

Abgrenzung der Anwendungsgebiete von ANSYS CFX und FDS

- Simulation eines bekannten und vermessenen Brandes
- Erarbeiten der Stärken und Schwächen
- Vergleich der Ergebnisse mit den Versuchsdaten

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Brandversuch

- Nachgestellter Bürobrand
- ca. 6 MW Bürotypische Brandlasten (Holz, Kunststoffe)
- Nur eine Tür als Ventilationsöffnung



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

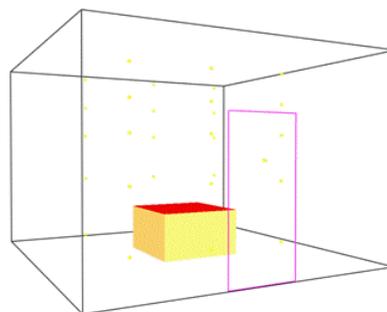
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Modellansatz

- Brandraum ohne Umfassungsbauteile modelliert
- Brandlast durch Kubus mit entsprechenden Randwerten substituiert
- Simulationsdauer auf 720 s beschränkt
 - Lüftungsanlagen und Türsturzversagen nicht abgebildet
- Turbulenzmodelle
 - CFX → SST
 - FDS → LES



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

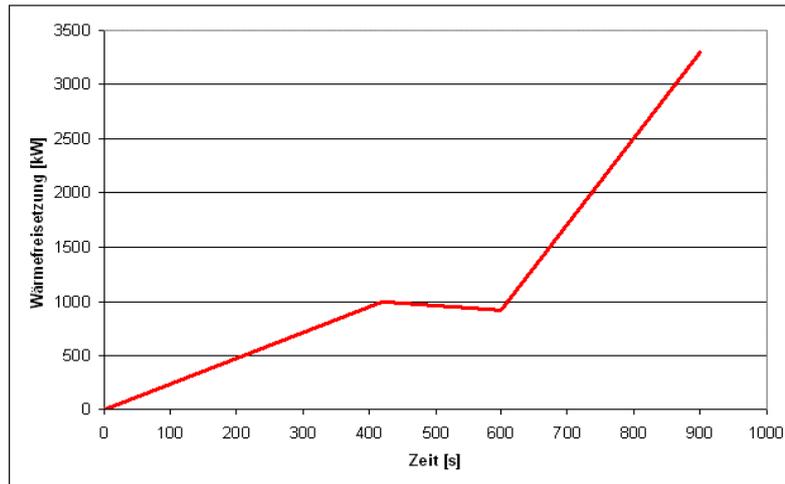
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Modellansatz

- Energiefreisetzung



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Diskretisierung

räumlich	Auflösung 1	Auflösung 2	Auflösung 3
CFX	Max 10 cm → 303 327	Max 18 cm → 54 780	Max 25 cm → 22 845
FDS	5 cm → 269 568	10 cm → 33 696	20 cm → 4 212

zeitlich	Auflösung 1	Auflösung 2	Auflösung 3
CFX	0,2 s	0,2 s	0,2 s
FDS	0.0048 s – 0,0081 s	0,016 s - 0,097 s	0,035 s – 0,19 s

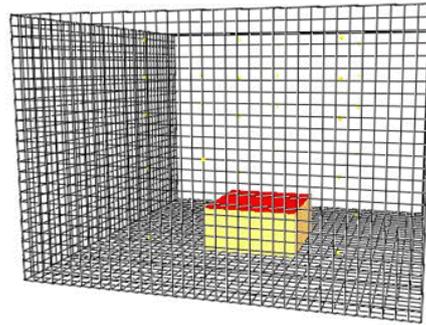
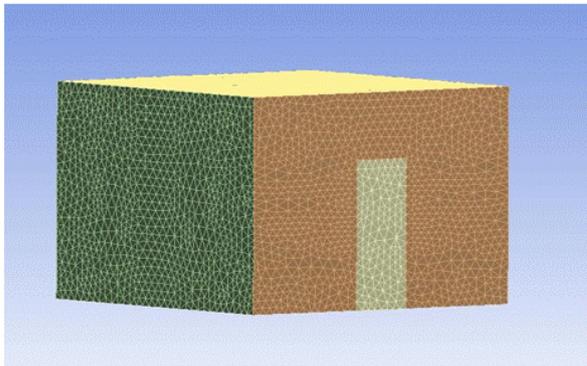
email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Diskretisierung



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

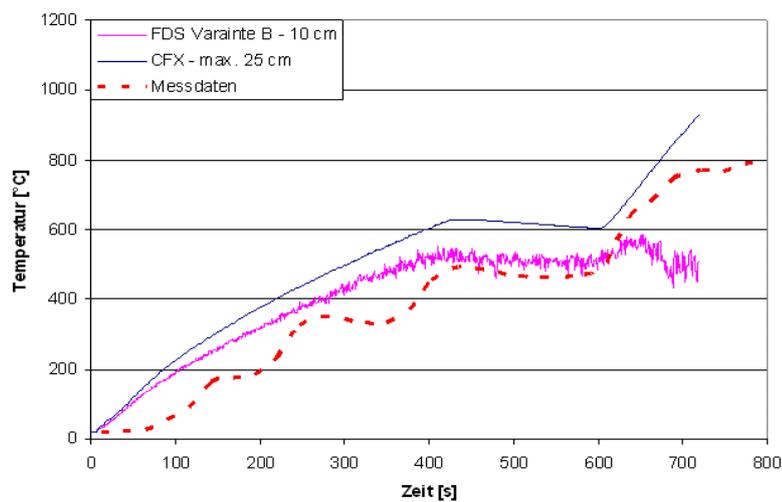
Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Ergebnisse

- Durchschnittstemperatur auf 2,5 m Höhe



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Rechenzeiten

	Elementzahl	Rechenzeit
FDS (10 cm)	33 696	162 Minuten
CFX (25 cm)	22 845	368 Minuten

Fazit

Beide Strömungscodes führen zu qualitativ gleichwertigen Ergebnissen

- **FDS**

- eingeschränkt bei Modellierung – dadurch jedoch sehr schnell
- Vorgaben für Brandszenarien vereinfachen Erstellung
- LES fordert feine Auflösung → viele Zellen, kleine Zeitschritte
- Bewertung von Temperaturen erfordert besondere Sorgfalt

- **CFX**

- benutzerfreundliche Handhabung
- Lösungsverfahren sind frei wählbar
- Brandprodukte müssen selbst definiert werden
- sich ändernde Geometrie umständlich zu Modellieren

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Diskussionsgrundlage

FDS hat Nachholbedarf bei:

- Geometrierstellung
 - Konstruktionstool oder
 - Import Schnittstelle
- Vernetzung
 - Aussparen unwichtiger Bereiche (geschlossene Räume, Wände,...)
 - Automatisches Partitionieren (evtl. aut. Vernetzen)
 - Verschiedene Auflösungen in einem Netz (mind. Anzahl Zellen je Kante)
- Kontrollmöglichkeit
 - Eingabestandards (Struktur der *.fds)
 - GUI, grafische Aufbereitung der Eingabe

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

Ingenieure für Brandschutz

hhpberlin

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

hhpberlin
Ingenieure für Brandschutz
GmbH

Hauptsitz:
Rotherstraße 19
10245 Berlin

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

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Geschäftsführer:

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

Prokurist:

Dipl.-Ing. Harald Niemöller

Beirat:

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

Amtsgericht
Berlin Charlottenburg
HRB 78 927

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



email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.de

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Rotherstraße 19
10245 Berlin

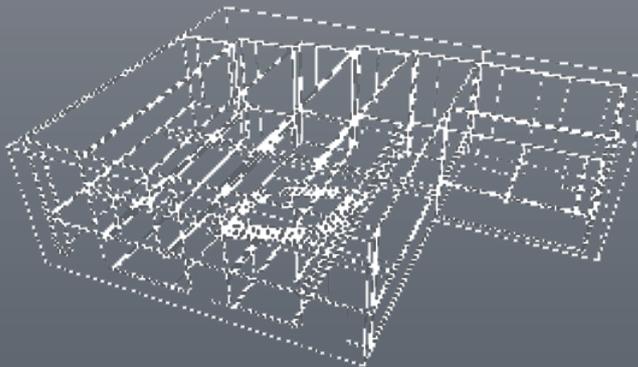
Mit der Gründung der deutschen FDS Usergroup möchte hhpberlin ein unabhängiges Forum für die deutschsprachigen FDS-Anwender initiieren. Ziel der FDS Usergroup ist es außerdem, ein umfassendes Kontakt- und Kooperationsnetzwerk aufzubauen, das den Austausch von Informationen und Erfahrungen sowie Anregungen und Unterstützung rund um das Programm FDS ermöglicht. In Workshops können die Erkenntnisse und Probleme, die sich aus der praktischen Anwendung des Programms ergeben, zusammengetragen und gebündelt an die Hauptentwickler aus den USA weitergeleitet werden. So können die Anwender direkt auf die Weiterentwicklung von FDS Einfluss nehmen und ihren Beitrag zu einem benutzerfreundlichen Programm leisten.

Die Schwerpunkte, zu deren Optimierung die FDS Usergroup beitragen will, sind:

- die technische Performance von FDS,
- die zugrunde liegenden mathematischen Modelle sowie -die Brandmodelle.

„Mir, als Mathematikerin mit dem Schwerpunkt Numerik geht es vor allem um die Optimierung des mathematischen Kerns.“, so Dr. rer. nat. Susanne Kilian, Initiatorin und Leiterin der FDS Usergroup. „Beispielsweise soll die Implementierung eines verbesserten Drucklösers zu einer deutlich verbesserten Parallelisierbarkeit des Programms beitragen. Langfristig möchte ich durch adaptive Gitterverfeinerungstechniken eine Verbesserung der Auflösungsqualität erreichen.“

Dr. Susanne Kilian
Initiatorin der FDS Usergroup



hhppress

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