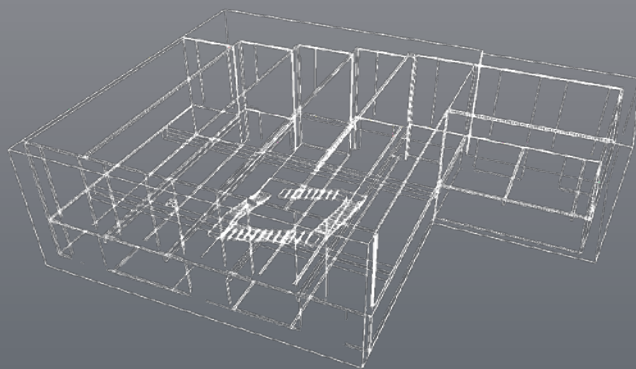


7. ANWENDERTREFFEN DER FDS USERGROUP

TAGUNGSBAND ZUSAMMENSTELLUNG DER VORTRÄGE

Datum:
14.11.-15.11.2013

Ort:
hhpberlin
Rotherstraße 19
10245 Berlin



INHALT

Vorträge 14.11.2013:

Fire Simulation Manager - intelligente Verwaltung von FDS-Brandsimulationen Sirko Höer	2
Werkzeuge des Brandschutzingenieurs aus der Cloud - ein Statusbericht Stefan Truthän	13
fireAnalytics - Einsatz moderner Software-Technologien zur Auswertung von FDS Daten Sascha Gottfried	24
Simulation of the activation of pressure line detectors placed under roof eaves and comparison with experimental data Prof. Bjarne Husted	47
Vorstellung der Ergebnisse des Arbeitskreises ‚Aerodynamisch wirksamer Querschnitt‘ Thomas Kolb	61
Brandversuch an der FFB in Karlsruhe - Versuchsauswertung und Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse Andreas Meunders	90

Vorträge 15.11.2013:

Untersuchung der Prognosefähigkeit von FDS am Beispiel eines Mehrraumszenarios Prof. Dr. Jochen Zehfuß, Matthias Siemon, Dr. Olaf Riese	110
Ermittlung der äquivalenten Branddauer durch Brandsimulation Gregor Jäger	130
Glaubwürdige Brandsimulationen - Nachweisbar richtig simuliert Dr. Matthias Münch	142
Wärmestrahlung in FDS 6 - eine Analyse Dr. Andreas Vischer	152
Vergleichende Betrachtung von FDS 5 und FDS 6 an einem „Multi-Mesh“-Beispiel Dr. Jürgen Will	165
Die FDS-Drucklösung - Einblicke in eine numerische Qualitätssicherung Dr. Susanne Kilian	181

Sirko Hörer:

Fire Simulation Manager – intelligente Verwaltung von FDS-Brandsimulationen

Abstract:

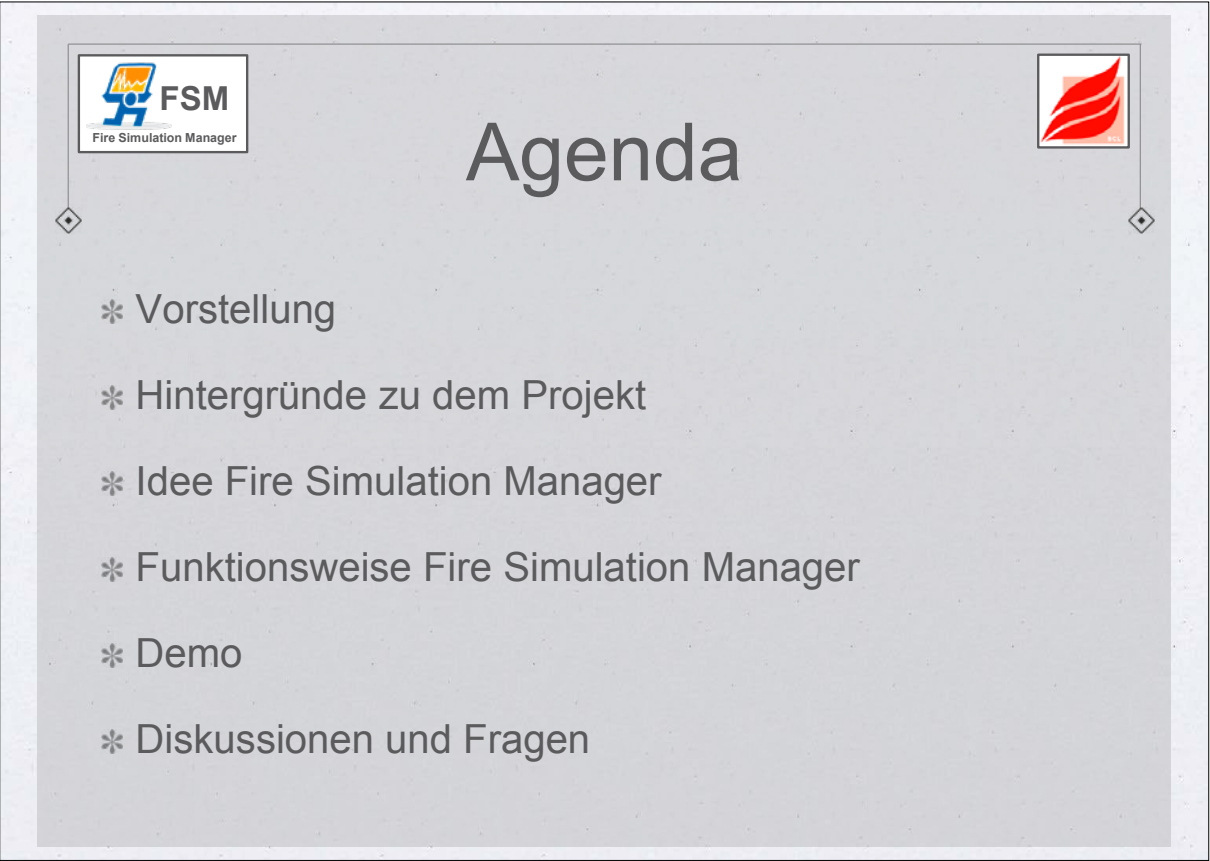
„Fire Simulation Manager“ ist ein System, um die Prozesse der Brandsimulationen mit dem Programm FDS zu optimieren. Die Optimierung bezieht sich auf die Organisation von Projekten sowie deren Simulationen und die verbesserte Auslastung der Simulationsrechner.

In der Einleitung stellt sich der Vortragende vor dem Plenum vor und stellt die Agenda vor. Danach wird die Firma Brandschutz Consulting Leipzig in wenigen Sätzen vorgestellt.

In dem Hauptteil wird das Projekt Fire Simulation Manager vorgestellt. Dabei wird zunächst erläutert, wie das Projekt entstanden ist. Dabei wird erläutert, welche Schwächen die bisherigen Prozesse in Bezug auf Brandsimulationen bestehen. Die Schwächen beziehen sich in erster Linie auf den Startprozess der Simulationen auf den Simulationsrechner sowie das Organisieren und Administrieren der Simulationen. Danach wird die Idee und das Ziel des Projektes vorgestellt. Ferner werden die Kernbestandteile des Systems anhand von Grafiken veranschaulicht und erklärt. Danach werden die Vorteile des Systems präsentiert.

In der Live-Demo wird die Web-Anwendung „Fire Simulation Manager“ sowie ein Bestandteil der Simulationsrechner vorgestellt und anhand von einem Beispiel erklärt. Während der Live-Demo geht der Vortragende nur auf die wichtigsten Elemente der Web-Anwendung ein. Die Kernelemente sind die Verwaltung der Projekte und Simulationen, das Starten von Simulationen und das Überwachen von laufenden Simulationen. Optional kann auf die Auswertung der Simulationen eingegangen werden. Außerdem werden noch Zusatzelemente wie Verwaltung und Übersichten gezeigt. Wenn es die Zeit noch zulässt, kann ein Beispielprojekt angelegt und gestartet werden.

In dem Schlussteil werden die wichtigsten Inhalte noch einmal zusammengefasst. Zusätzlich wird der aktuelle Entwicklungsstand vorgestellt und voraussichtliches Release des Produktes. Daran folgt die Diskussions- und Fragerunde über das Projekt.








Agenda

- * Vorstellung
- * Hintergründe zu dem Projekt
- * Idee Fire Simulation Manager
- * Funktionsweise Fire Simulation Manager
- * Demo
- * Diskussionen und Fragen





Vorstellung

- * Sirko Höer (28)
- * IT - Entwickler / Programmierer
- * Spezialisierung
 - * C / C++ , Web-Anwendung (PHP, HTML, CSS3 ...)
- * Linux, MacOS







Vorstellung BCL

Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

- * Gründung Dezember 1992
- * Sitz in Leipzig
- * Zusammenarbeit an dem Projekt seit November 2012

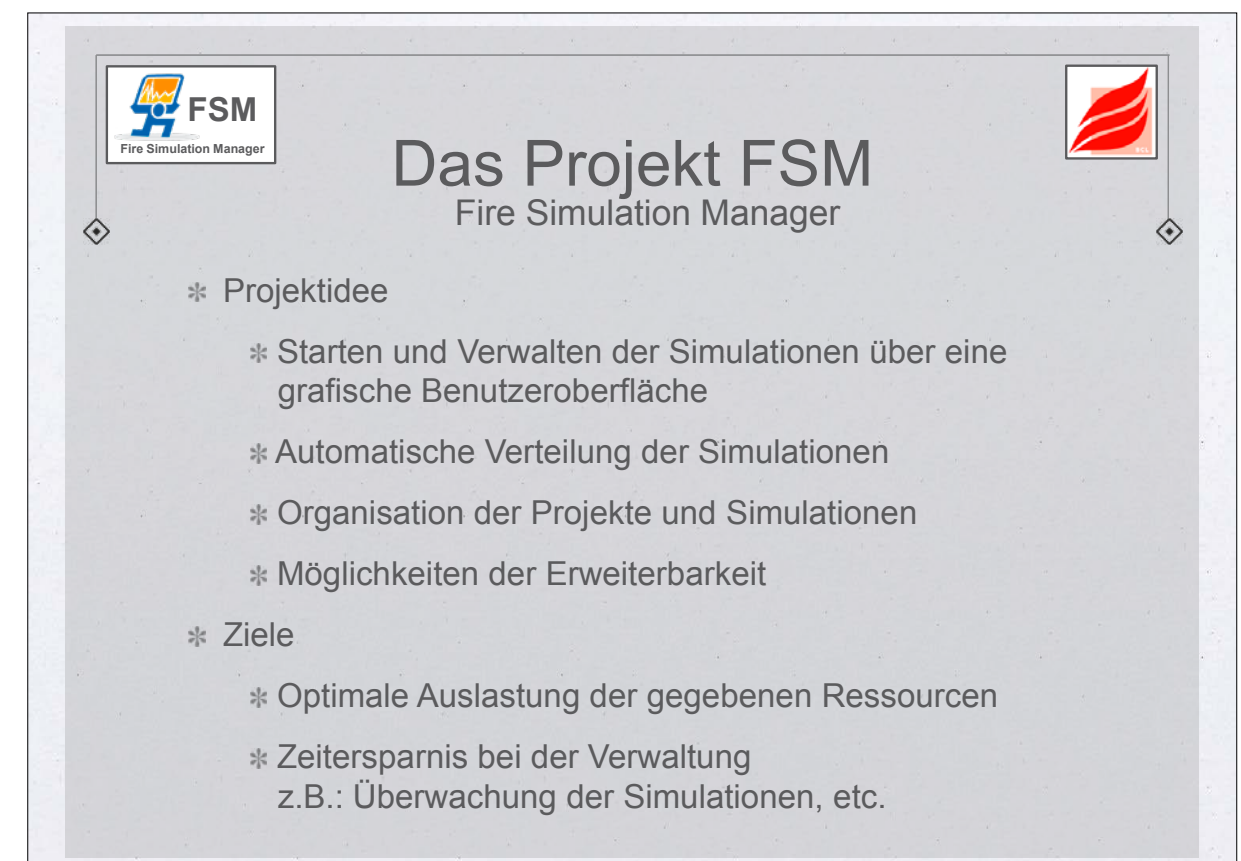
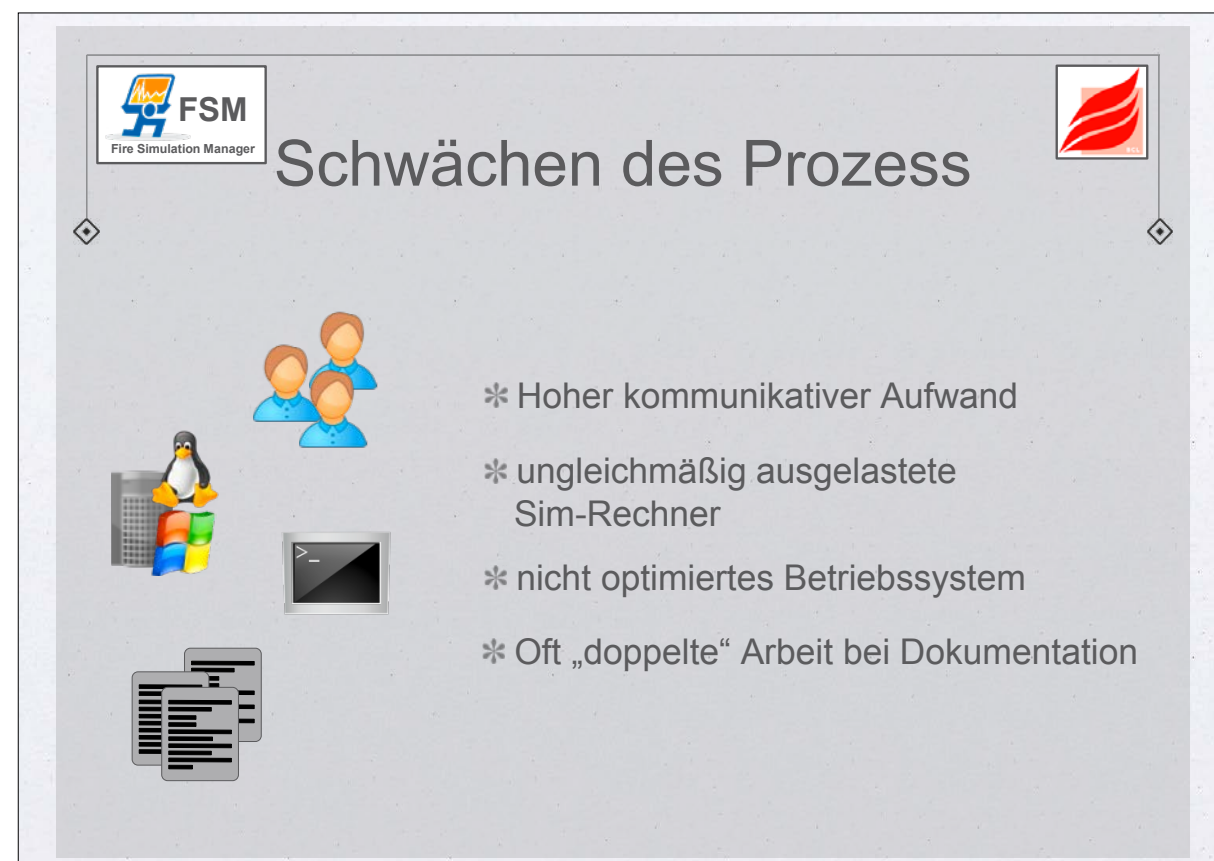
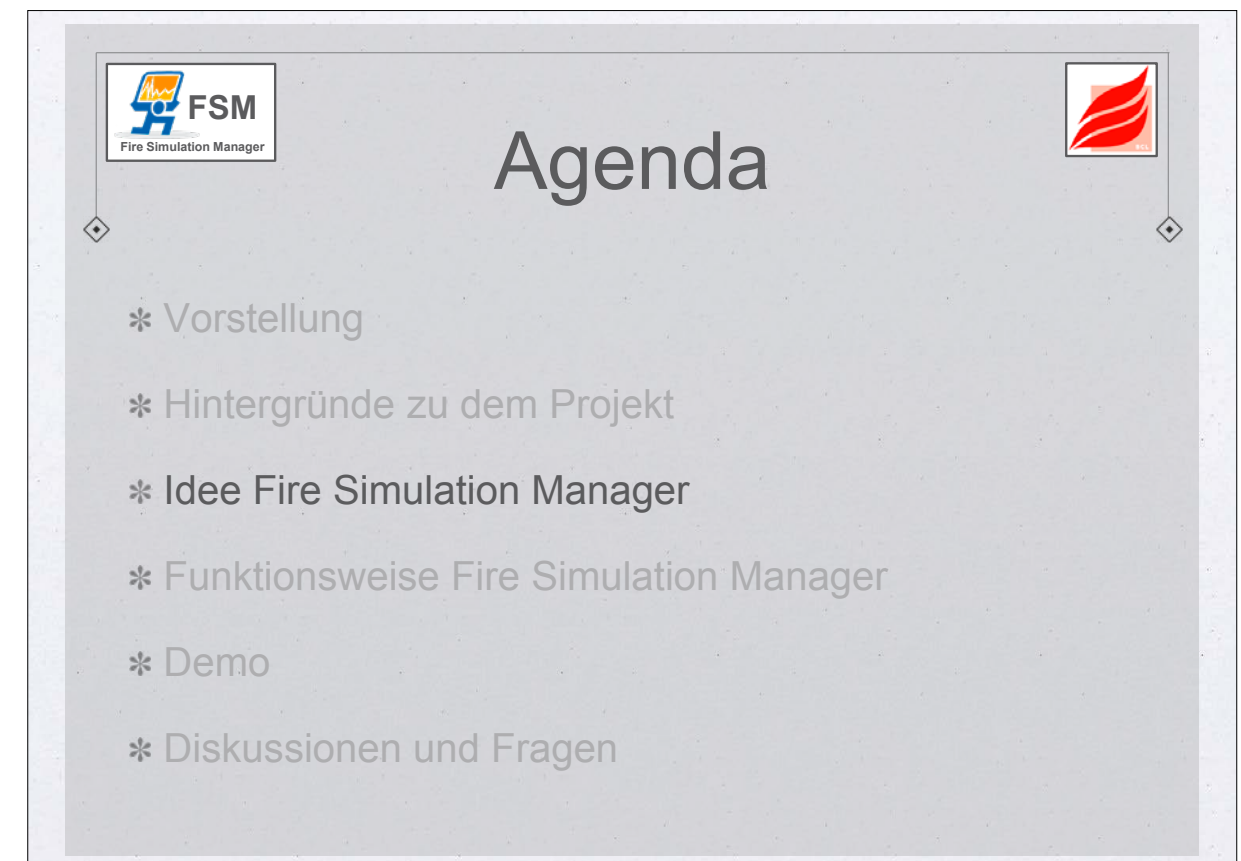
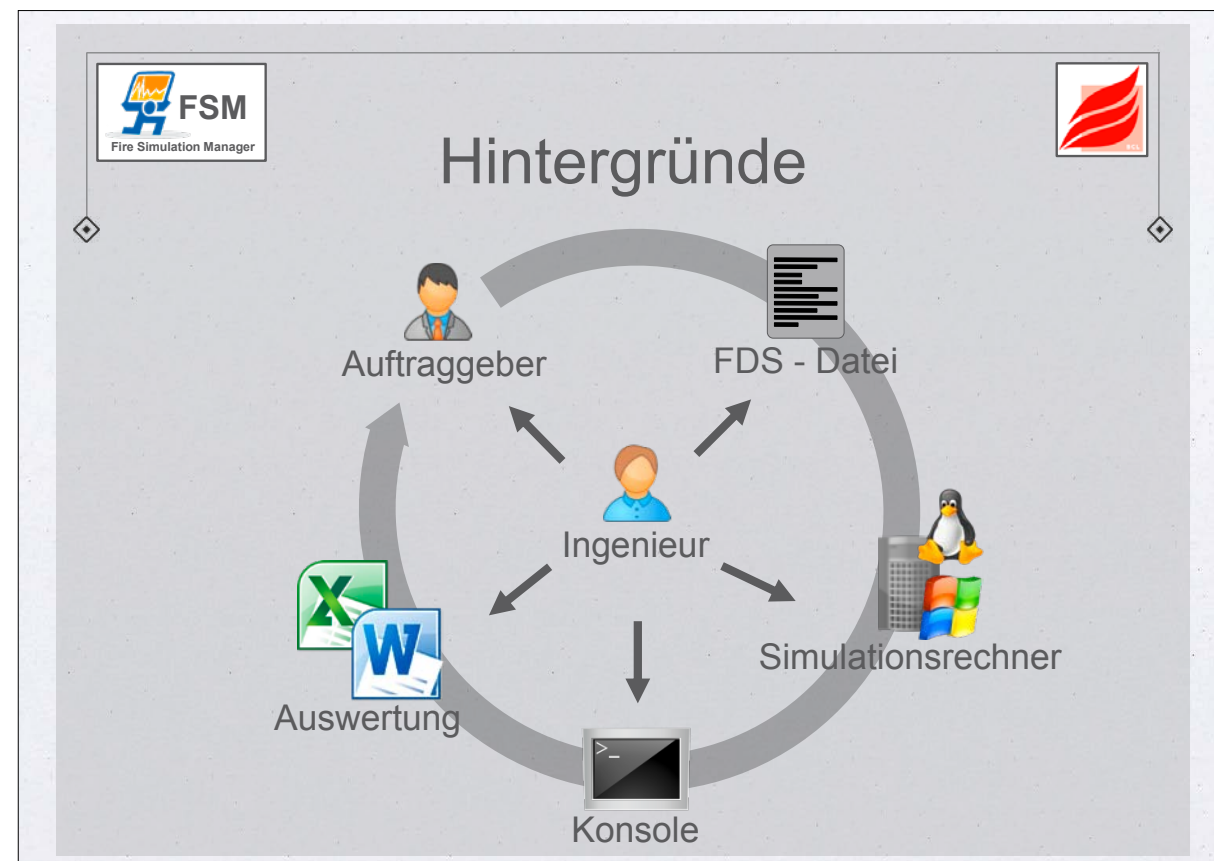


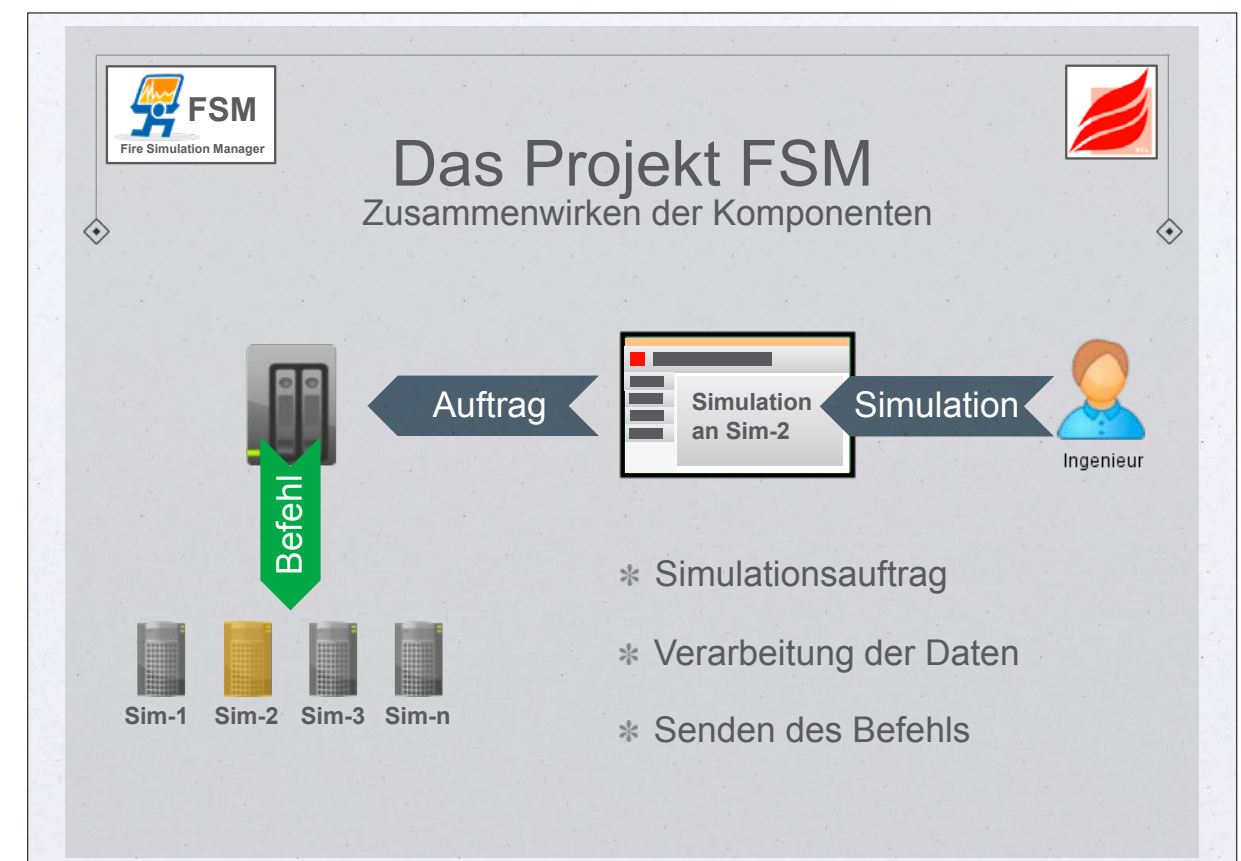
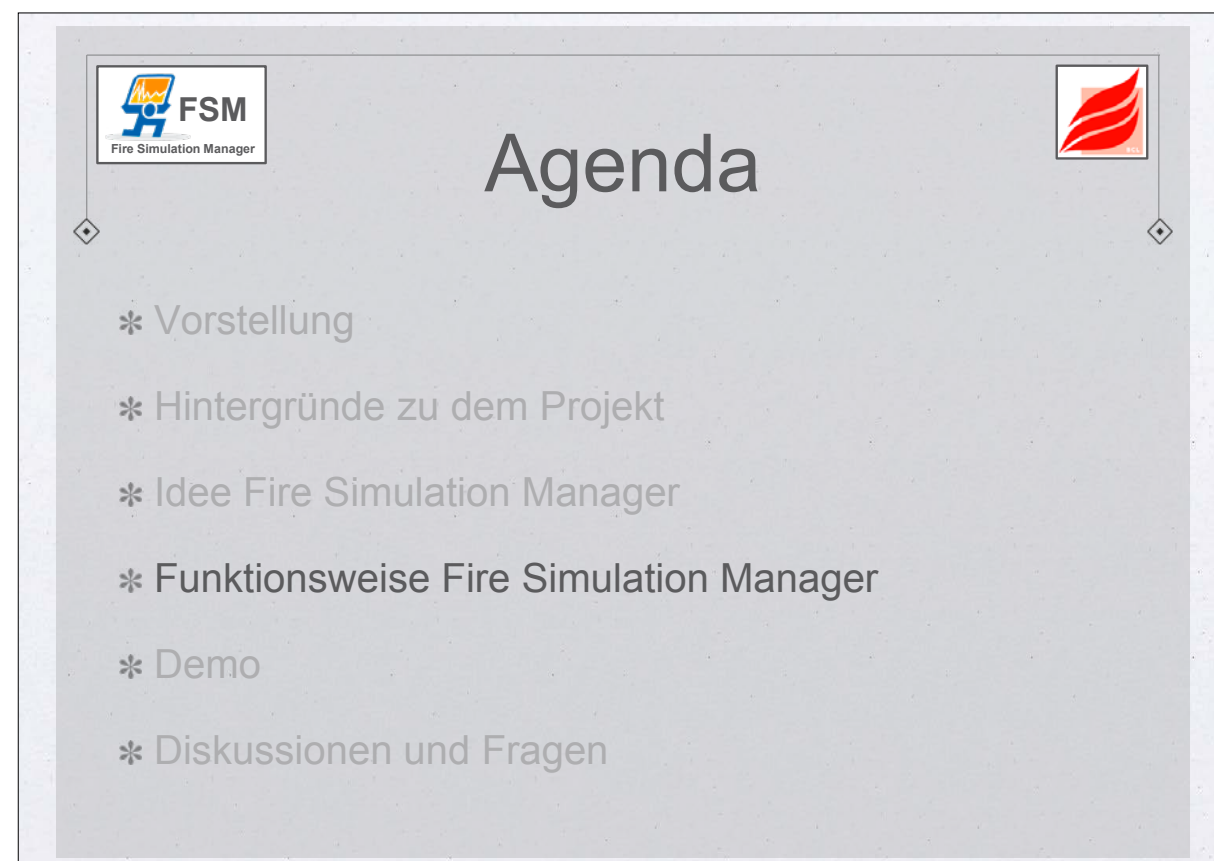
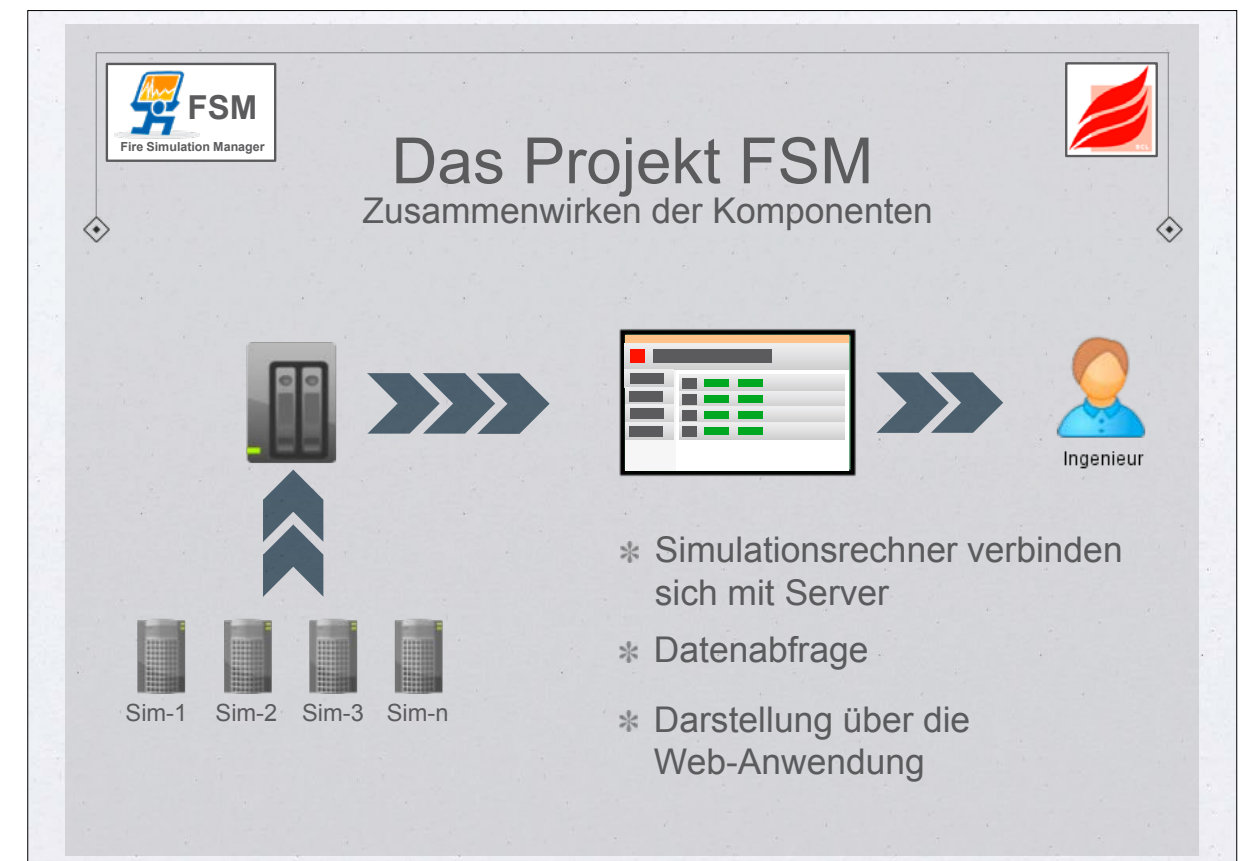


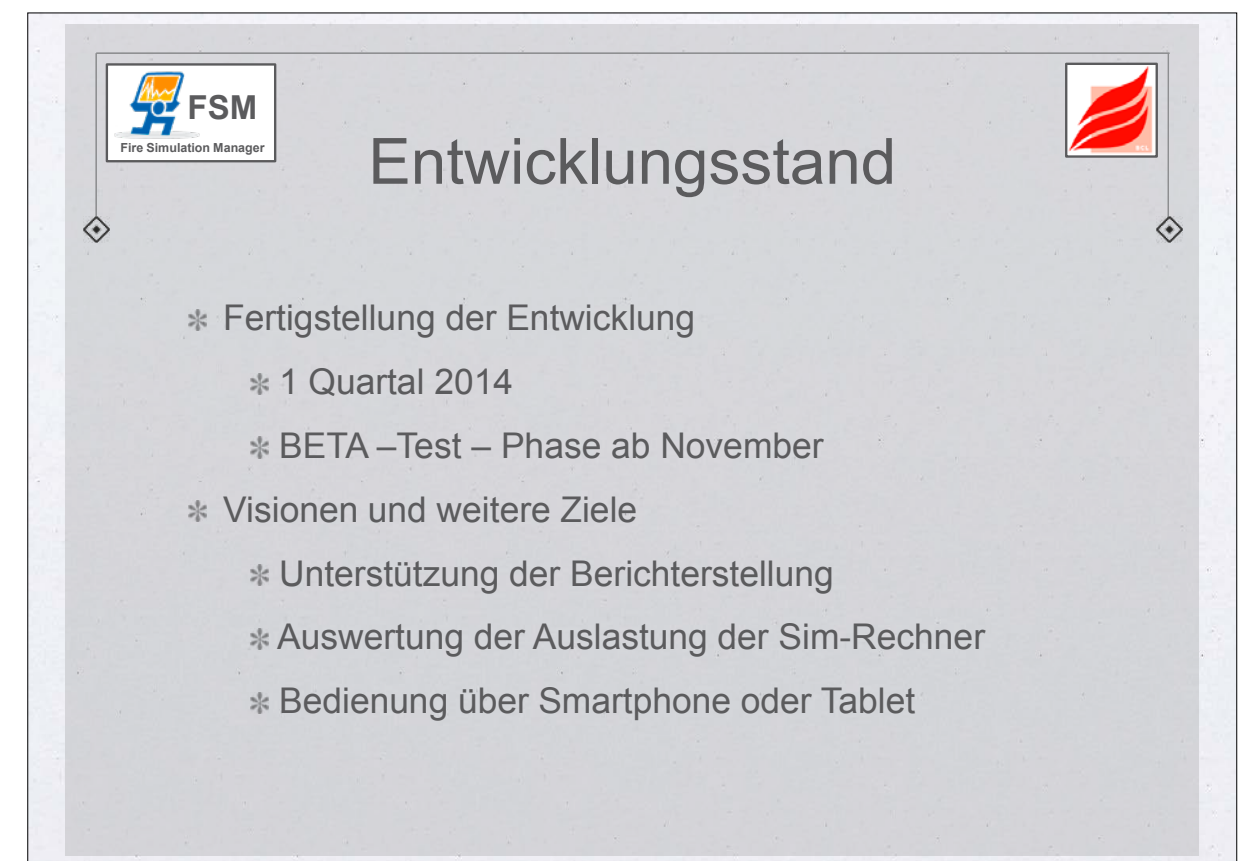
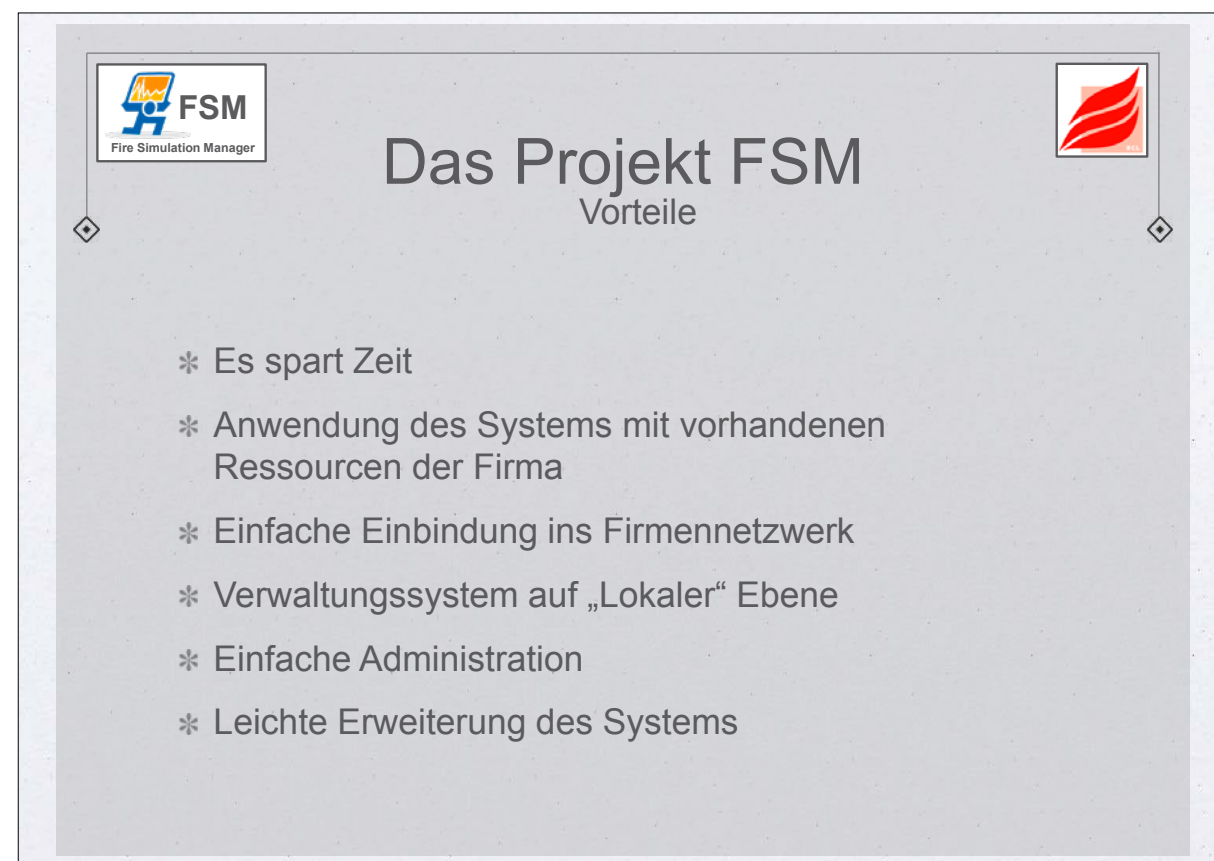
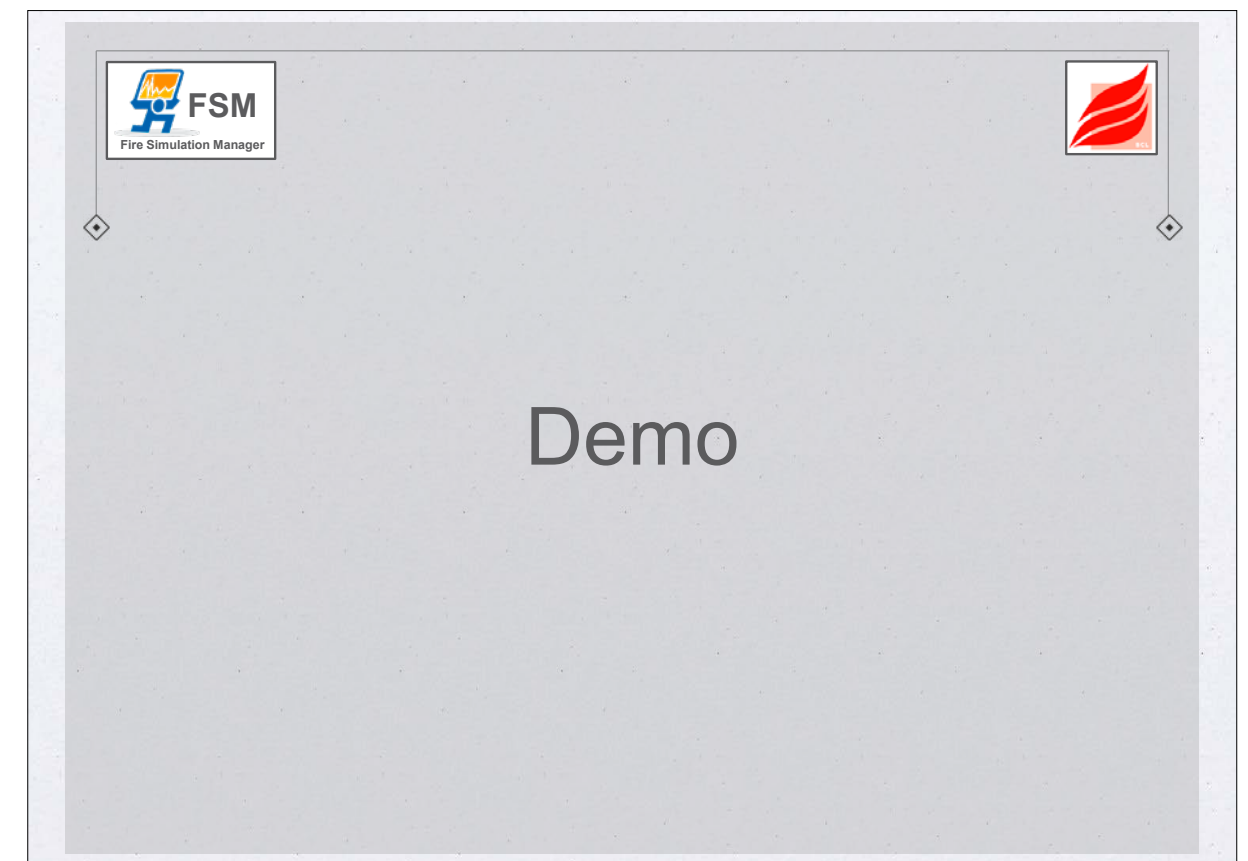
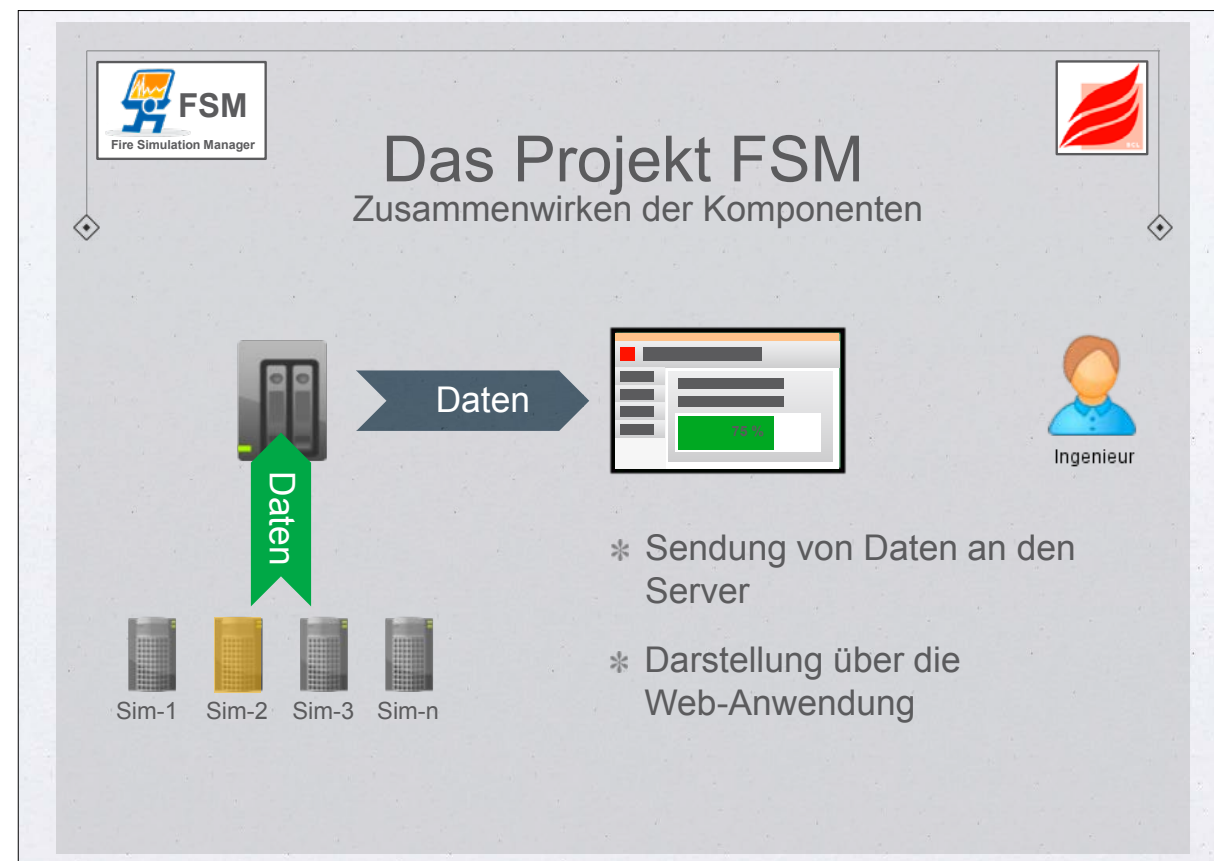


Agenda

- * Vorstellung
- * Hintergründe zu dem Projekt
- * Idee Fire Simulation Manager
- * Funktionsweise Fire Simulation Manager
- * Demo
- * Diskussionen und Fragen







**Stefan Truthän:****Werkzeuge des Brandschutzingenieurs aus der Cloud - ein Statusbericht****Abstract:**

Ein Jahr ist mittlerweile vergangen seit hhpberlin auf dem 2012er FDS UG Treffen FireFramework als IT Werkzeug für den Brandschutzingenieur vorgestellt haben. Was hat sich seither in der Entwicklung der Lösung getan? Welche Komponenten haben einen Entwicklungssprung gemacht? An welchen Stellen kam es zu Kurskorrekturen? Wie sieht das Ökosystem von FireFramework in der aktuellen Version aus? Auf welche Werkzeuge können sich die Brandschutzingenieure freuen?

Diese und andere Fragen beantwortet Stefan Truthän in seinem Vortrag während der diesjährigen FDS UG Tagung. Dabei geht es um Einblicke in qualitative und quantitative Methoden der Cloud. Weiterhin wird die Abbildung einer typischen Arbeitsweise eines Brandschutzingenieurs und deren Unterstützung durch die Werkzeuge von FireFramework illustriert.



Werkzeuge des Brandschutz-ingenieurs aus der Cloud

Ein Statusbericht anlässlich des 7. FDS Usergroup Treffens in Berlin

Stefan Truthän



Einordnung & Historie von FireFramework

Wie hat sich das Projekt in Richtung FireFramework entwickelt?



Agenda

1
Einordnung & Historie von FF

2
Motivation & Botschaft

3
Status der Bestandteile von FF

4
Livedemo

5
Gesamtblick auf die Lösung

6
Nächste Schritte

Eine kurze Geschichte der Zeit

Auf der Suche nach der Urkraft im Universum



Taschenbuch: 272 Seiten
Verlag: rororo; Auflage: 29 (1. Juli 1998)
Sprache: Deutsch
ISBN-10: 3499605554
ISBN-13: 978-3499605550
Größe und/oder Gewicht: 19 x 12,4 x 1,7 cm
Durchschnittliche Kundenbewertung: 4.3 von 5 Sternen Alle Rezensionen anzeigen (134 Kundenrezensionen)

Amazon Bestseller-Rang: Nr. 236.381 in Bücher (Siehe Top 100 in Bücher) Nr. 49 in Bücher > Naturwissenschaften & Technik > Physik > Relativitätstheorie

1

Einordnung & Historie von FireFramework

Wie simulieren wir?

- Sun E10K
- Linux
- CCP 2003
- HPC 2008
- HPC 2008 R2
- SP1-SP3
- HPC 2012

Was simulieren wir?

- Verschiedene Brandszenarien
- Unterstützung bei der Entscheidungsfindung
- Evakuierungs-simulationen


hnpberlin 



Motivation & Botschaft

Warum gibt es FireFramework?
Welche Rolle spielt die Cloud wirklich?

Was ist die Botschaft hinter der Quincyfinanzierung des Geschäftsmodells von fireSIM?




Next Generation Fire Engineering

2

Vorteil der HPC Cloud Lösung

1. Fireframework ist ein Werkzeug für jeden Brandschutzingenieur und nicht nur für Ingenieurmethodler!
2. Die Cloud ist nicht zur Optimierung der Kosten da, sondern zur Realisierung von Diensten die man ohne die Cloud nicht erhält.

hnpberlin 

Worin besteht der Vorteil von cloudbasierter HPC Simulationen?



Next Generation Fire Engineering

Quincy (Originaltitel: *Quincy, M. E.*) ist eine US-amerikanische Fernsehserie, die vom 3. Oktober 1976 bis zum 11. Mai 1983 auf NBC gesendet wurde. Die Hauptrolle spielte Jack Klugman als Dr. Quincy, ein Gewichtsmittelmediziner, der daran arbeitet, die Ursachen von fragwürdigen Todesfällen herauszufinden.



2

Vorteil der HPC Cloud Lösung

Vorteile (aka Herausforderungen)

- Mehrere Projekte parallel
- Immer neuester Stand an Hw&Sw
- Multi User/Multi Mandanten Zugriff
- Mehrere Szenarien parallel
- Long Running Jobs (more weeks)
- High Performance Nodes

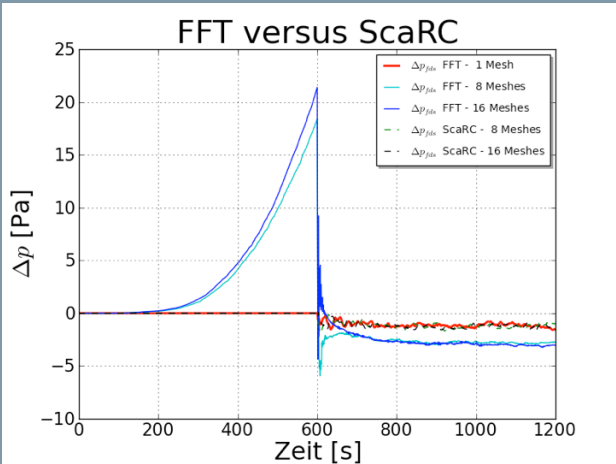
hnpberlin 
Store Data in Azure
Realtime Access



Status einiger Bestandteile von FireFramework

Welche Funktionen & Möglichkeiten werden abgedeckt?

FDS 6 (ScaRC)

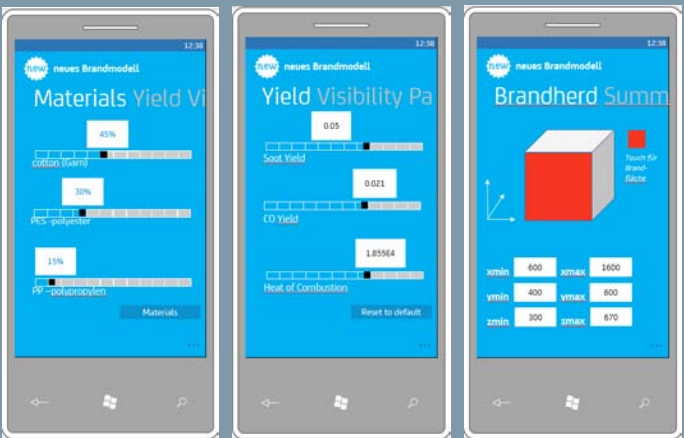


Next Generation Fire Engineering

3
Bestandteile
von
FireFramework

Denkansatz:
ScaRC bietet langfristig die Möglichkeit einer sicheren, stabilen und mathematisch/brand korrekten Möglichkeit der Skalierung von FDS über viele Mesches und damit viele Kerne sicherzustellen.

fireModeler



Next Generation Fire Engineering

3
Bestandteile
von
FireFramework

- HTML 5 Wizard
- Windows 8 App
- Windows Phone 8 App
- Katalog auf Basis von fireConfigurator
- Integration in das fireframework Webkit

Fireframework WEBKIT

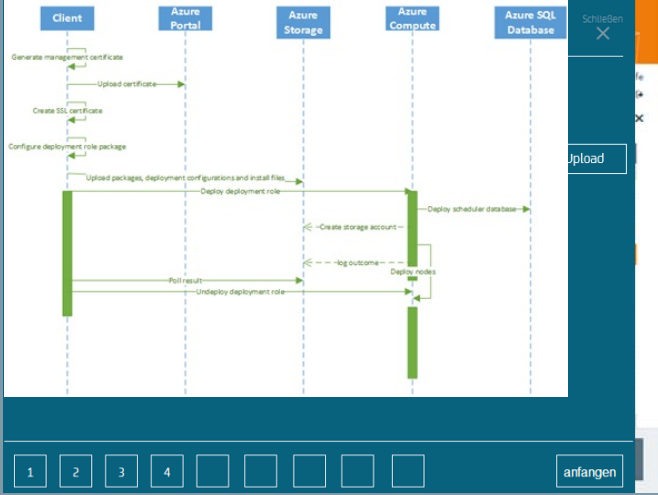


Next Generation Fire Engineering

3
Bestandteile
von
FireFramework

- u.a. Vorteile des Webkit:
- Responsive Website
 - Touch aktiviert
 - Age of Context
 - Collections/Dashboards
 - Multilanguange
 - CMS/SQL Support
 - Login Bereich
 - Azure Webrole ready

fireSIM



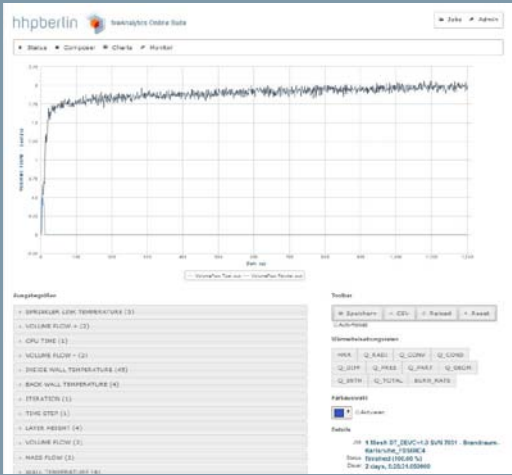
Next Generation Fire Engineering

3
Bestandteile
von
FireFramework

Frontend von fireSim ist in das Webkit integriert und bietet einen Wizard zur Erfassung der FDS Eingangsparameter.

Backend von fireSim ist ein System auf Basis von Microsoft Azure zur flexiblen Nutzung von Azure Storage und Azure Compute Nodes.

fireAnalytics



hhpberlin

Next Generation Fire Engineering

3

Bestandteile von FireFramework

Mehr über fireAnalytics erfahren Sie im Vortrag von Sascha Gottfried im Anschluss an meinen Vortrag.

hhpberlin



Livedemo

fireframework WEBKIT (Live)
fireModeler Wizard WP8 (Mockup)
fireSIM Wizard HTML5 (Mockup)
fireAnalytics (Live) nächste Session

fireConfigurator

Kern dieses Moduls ist die Fire Modeler Description Language (FMDL). Einer Beschreibungssprache zur standardisierten Erfassung von Brandparametern/ Brandszenarien usw. Dadurch entsteht eine zentraler Katalog von vergleichbaren Eingangsparametern.

hhpberlin

3

Bestandteile von FireFramework

Ein neues Mitglied in der fireframework Familie. Es erlaubt die standardisierte Erfassung von

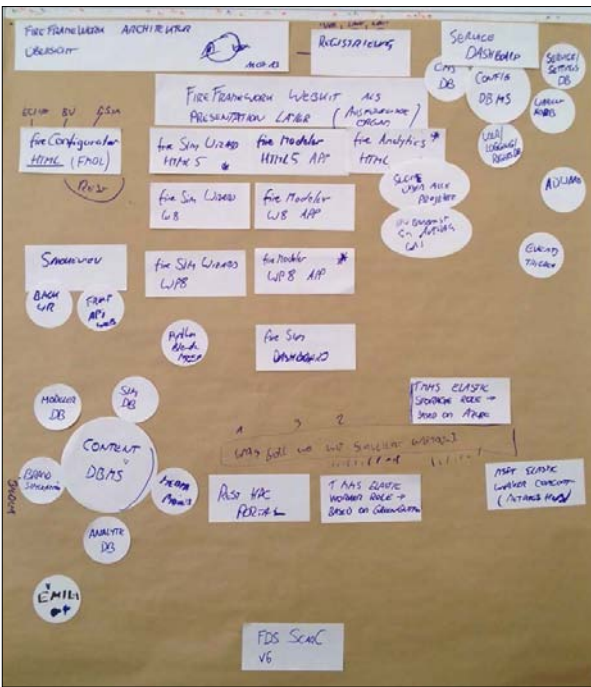
- Brandszenarien aus CFD Simulationen
- Ergebnissen aus Realen Brandversuchen
- Erkenntnissen aus realen Bränden

hhpberlin



Gesamtblick auf die Lösung

Wie sieht das Ökosystem der Lösung aus?



Bestandteil	Solutions	Windows Phone 8	Windows 8	HTML 5/Other	Win32Forms	XBOX	REST	Description
fireModeler Wizard	fireFramework	Modul	Asap	Asap			Coming soon	Werkzeug zur Erstellung von qualifizierten Eingangsparametern
fireModeler Dashboard	fireFramework	n/a	n/a	CMS			n/a	Dashboard zur Anzeige und Bearbeitung aller Brandmodelle
fireSim Wizard	fireFramework	Asap	Asap	Mockup			Coming soon	
fireSim Dashboard	fireFramework	Wizard	Wizard	CMS			Coming soon	
fireAnalytics Editor	fireFramework			Prototyp			Coming soon	
fireFramework Webkit	fireFramework			CMS				
fireConfigurator (FMDL)	fireFramework			Lightswitch				Werkzeug zur Erfassung von echten Bränden, Brandversuchen und Brandsimulationen
SmokeView	fireFramework	n/a	n/a	Gadget auf fireSim.huberlin.de			Webapi	API zum Verbinden von SmokeView mit den fireFramework Daten
fireFrameworkaddon	fireFramework	n/a	n/a					
THINS Elastic Storage Role	fireFramework							
THINS Elastic Worker Role	fireFramework						REST Portal	
Microsoft HPC 2012	fireFramework							
MSPT Azure Elastic Worker Role (Metrics Hub)	fireFramework							
fireFramework Settings	fireFramework							
fireFramework Content DBMS	fireFramework							
fireFramework Config DBMS	fireFramework							
Python Blender	fireFramework							
FDS 6 with SCARC	fireFramework							
Azure Services	fireFramework							Include Notifications, Scheduler

Nächste Schritte

- Freischaltung der Webkit Website als Testdrive
- Aktivierung des Azure HPC Umgebung (REST API)
- Demozugang fireAnalytics
- Mehrsprachige Nutzung der Website
- FireModeler WP8 Demo
- Freigabe der Definition der FMDL
- Vorstellung unseres Premium Models (Preis)

4

Nächste Schritte

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin



Nächste Schritte

Erzähl uns mehr über die Roadmap!



hhpberlin

Ingenieure für Brandschutz GmbH

Hauptsitz
Rotherstraße 19 · 10245 Berlin

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

Geschäftsführung:
Dipl.-Ing. Kersten Foth
Dipl.-Ing. BW [VWA] Stefan Trüthahn

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

Sascha Gottfried:

fireAnalytics - Einsatz moderner Software-Technologien zur Auswertung von FDS Daten

Abstract:

FDS Simulationen produzieren umfangreiche Datenmengen. Eine typische Aufgabe ist die Auswertung und Visualisierung von Ausgabegrößen im zeitlichen Verlauf. Der Einsatz einer Tabellenkalkulation bietet Chancen aber auch Risiken. fireAnalytics setzt moderne Software-Technologien ein, damit Anwender einen intuitiven Zugang zu den Informationen erhalten, die sie für Ihre Entscheidungen benötigen. Dabei sind Einblicke in die Daten unmittelbar nach dem Start der Simulation möglich. Durch die Konzeption als Web-Anwendung im Browser wird eine größtmögliche Verwendbarkeit auf unterschiedlichen Geräteklassen und Plattformen erzielt.

Der Vortrag reflektiert die Herausforderungen der Auswertung von FDS-Datenformaten und präsentiert fireAnalytics im Kontext von hhpberlin und cloud-basierter Dienste zur FDS-Simulation.





FDS Datenformate

Quelle: Smokeview User Guide

1

FDS Datenformate

hnpberlin

Womit haben wir es zu tun? Mr. Chekov: Auf den Schirm!

1

FDS Verzeichnis

hnpberlin

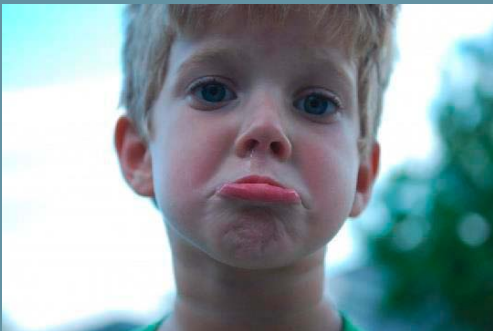
Multi-Talent Smokeview

1

FDS Datenformate

hnpberlin

Kann Smokeview auch Diagramme erstellen?



1

FDS
Datenformate

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin 

Wozu Diagramme?

- Dokumentation von Schutzzielen im Brandschutzkonzept
- Darstellung von Ausgabegrößen im zeitlichen Verlauf

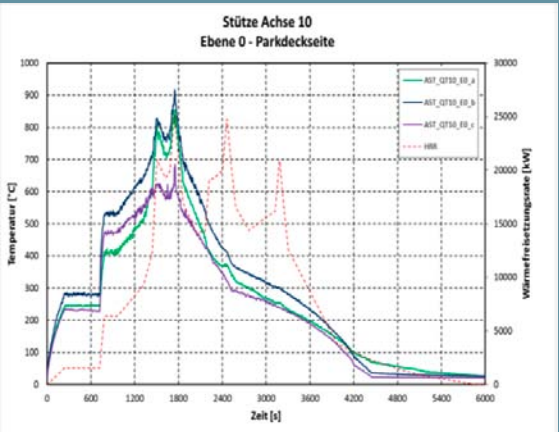
1

FDS
Datenformate

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin 

Temperaturentwicklung an Messpunkten



1

FDS
Datenformate

Quelle: Studien Goldbeck

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin 

Diagrammerstellung ? Gibt es da auch was von ratiopharm?



Microsoft Office



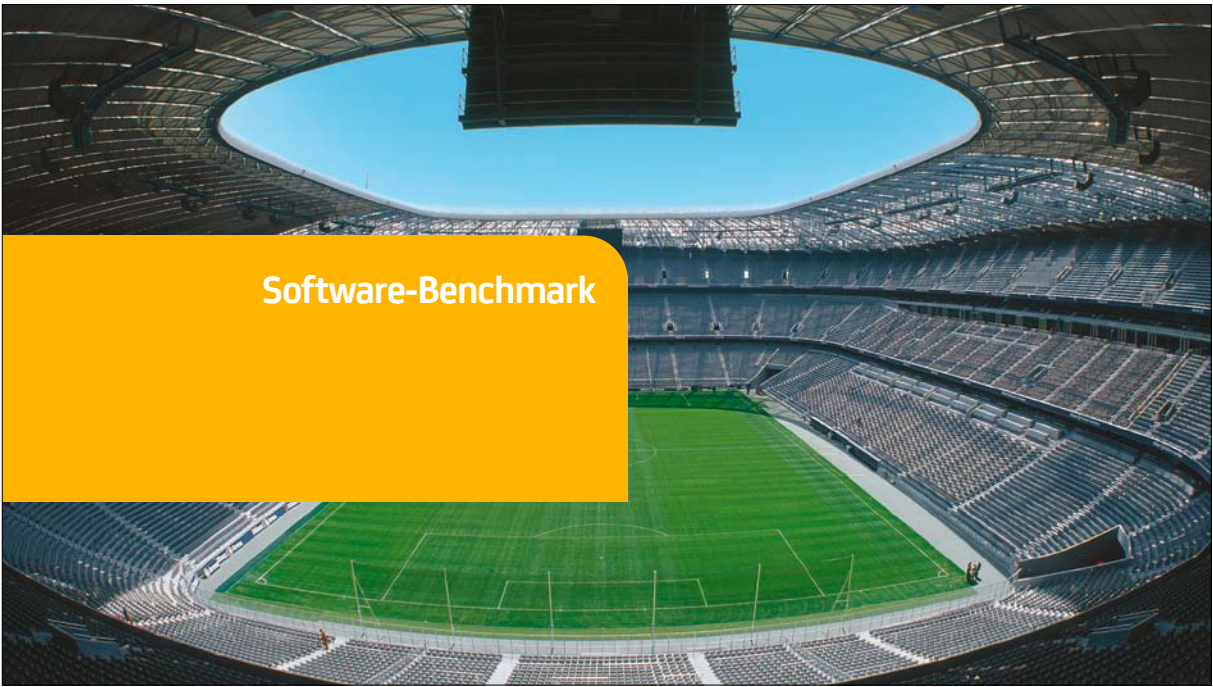
LibreOffice/OpenOffice

1



FDS
Datenformate



Next Generation Fire Engineering

hnpberlin 



Datenimport







2

Software-Benchmark

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin 


Gemeinsamkeiten & Unterschiede





2


Software-Benchmark

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin 

Visualisierung






2

Software-Benchmark

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin 

Benutzerfreundlichkeit (User Experience)



2

Software-Benchmark

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

Reload







2

Software-Benchmark

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 


Datenmanipulation







2

Software-Benchmark

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 


Scripting



2

Software-Benchmark

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

Der größte Unterschied zwischen Excel und Smokeview ?



2

Software-Benchmark

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin

Woran erkennt man Problemspezifität ?

- Smokeview kennt Slices, Vents, Devices, Controls, Meshes, Surfaces
- Kurz gesagt: Smokeview kennt Ihr FDS Modell

2

Software-Benchmark

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin

Problemspezifität (Domäne)



Universalwerkzeug



Smokeview for Windows (64-bit)

FDS Add-on Applikation



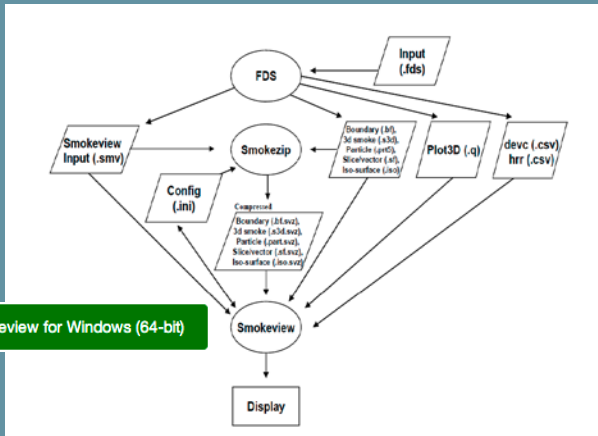
2

Software-Benchmark

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin

Problemspezifität (Domäne)



2

Software-Benchmark

Welche Daten produziert FDS?
Daraus resultiert der Kontext für domänenspezifische Tools.

Quelle: SmokeView User Guide

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin

Fazit

- Smokeview ist sehr gut auf seine Aufgaben abgestimmt. User Interface gewöhnungsbedürftig.
- Tabellenkalkulationen erfordern vom Anwender eine sorgfältige Bedienung und genaue Kenntnis des FDS-Modells.

2

Software-Benchmark

Spezielle Anwendungsfälle



3

Risiken & Chancen



Einblick in Daten während der Simulation
Wer braucht denn sowas ?



3

Risiken & Chancen

Wer braucht denn sowas nicht ?

41 Days left



3

Risiken & Chancen

FDS Wallclock Time
Simulationszeiten von mehreren Tagen und Wochen

Wo ist das richtige Projektverzeichnis ?

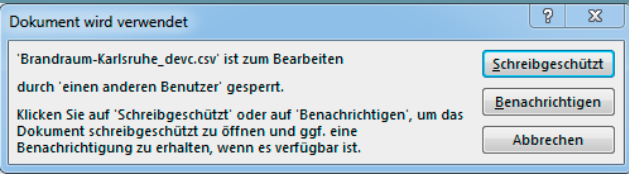
P:\Studien\Evaluation_Evgeniya\Brandraum-Karlsruhe\Brandraum-Karlsruhe-Validation\13ING0001\Sample_Cluster_Job\Brandraum-Karlsruhe_devc.csv

3

Risiken & Chancen

Typischer Pfad im Projektverzeichnis

Öffnen der CSV-Dateien - möglich, aber nicht wirklich praktisch.



3

Risiken & Chancen

FDS Syntax
&DEVC
COLUMN_DUMP_LIMIT
verteilt die Daten sogar über mehrere CSV Dateien

Chancen

- Daten-Trends sind schon während der Simulation sichtbar
- Zugangsbarrieren für Analyse beseitigen

3

Risiken & Chancen

Fazit

- Stärken und Schwächen der Tools kennen und beachten
- Alternativen suchen

3

Risiken & Chancen

Motivation und Ziele

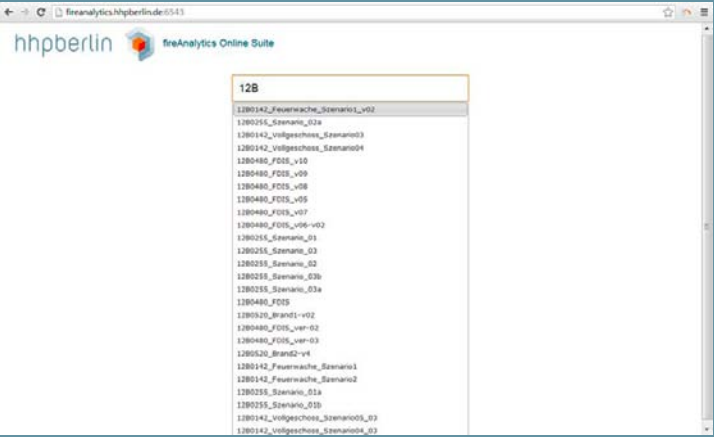


4

fireAnalytics



Finden statt suchen



4

fireAnalytics

Statusinformationen anzeigen

hhpberlin

fireAnalytics Online Suite

12B0142_Feuerwache_Szenario2_v02

Statistik

Startzeit

Wed 15 May 2013 13:18:27

Status

finished (100.00 %)

Netze

4

Dauer

37 days, 3:14:44.289000

Quelle: Studien Goldbeck

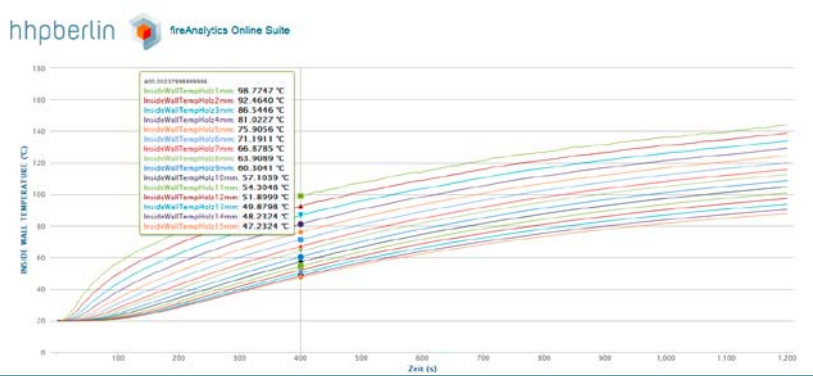
fireAnalytics

hhpberlin

Daten-Exploration ermöglichen

hhpberlin

fireAnalytics Online Suite



Quelle: Studien Goldbeck

fireAnalytics

hhpberlin

Datenserien intuitiv auswählen

MASS FLOW + (2)

MASS FLOW - (2)

TEMPERATURE (149)

Suchen TempInnen

ID	Ort	Maximum
TempInnenAluminium	Point(6.3,4.4,2.2)	47.675789
TempInnenAluminiumMAX	Solid [6.1, 6.5, 5.0, 5.4, 2.0, 2.4] - Volume 0.064 m³	56.441174
TempInnenAluminiumMEAN	Solid [6.1, 6.5, 5.4, 5.8, 2.0, 2.4] - Volume 0.064 m³	47.115246
TempInnenGK	Point(6.3,5.2,2.2)	44.219685
TempInnenGKMAX	Solid [6.1, 6.5, 4.6, 5.0, 2.0, 2.4] - Volume 0.064 m³	52.311493
TempInnenGKMEAN	Solid [6.1, 6.5, 4.2, 4.6, 2.0, 2.4] - Volume 0.064 m³	43.832409
TempInnenHolz	Point(6.3,4.8,2.2)	42.532803
TempInnenHolzMAX	Solid [6.1, 6.5, 5.0, 5.4, 2.0, 2.4] - Volume 0.064 m³	49.689808
TempInnenHolzMEAN	Solid [6.1, 6.5, 5.4, 5.8, 2.0, 2.4] - Volume 0.064 m³	41.998573
TempInnenMetall	Point(6.3,5.6,2.2)	45.992588

1 bis 10 von 12 Einträgen (gefiltert von 149 Einträgen)

Quelle: Brandraum Karlsruhe


fireAnalytics

hhpberlin

Fehler im FDS Modell finden

fireAnalytics

Keine Wärmefreisetzung trotz Burner im Modell



Quelle: Brandraum Karlsruhe

fireAnalytics

hhpberlin

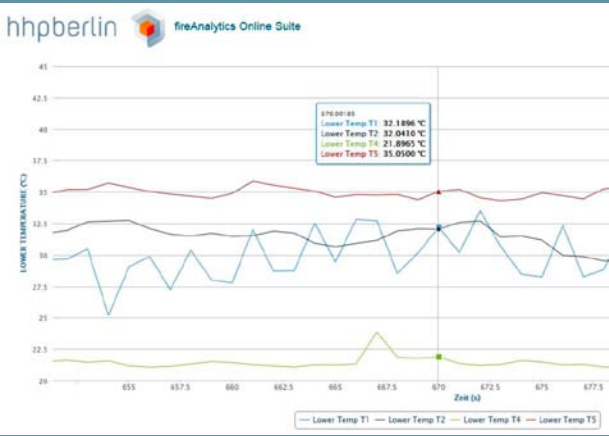
Ein starkes Duo

- Smokeview - dreidimensionale Einblicke
- fireAnalytics - zeitlicher Verlauf einzelner Ausgabegrößen

4

fireAnalytics

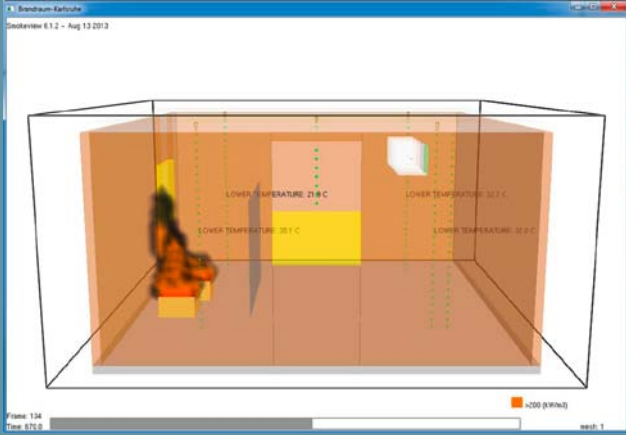
fireAnalytics – nach 670 Sekunden



4

fireAnalytics

Smokeview – nach 670 Sekunden



4

fireAnalytics

Live-Demo



5

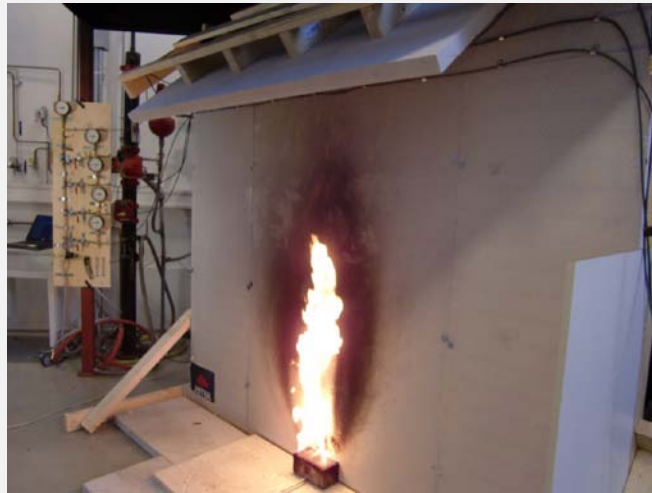
Demo Time



Prof. Bjarne Husted:

Simulation of the activation of pressure line detectors placed under roof eaves and comparison with experimental data

Simulation of the activation of pressure line detectors placed under roof eaves and comparison with experimental data



Bjarne Husted

Lund University, Sweden



The Stave Churches in Norway

- Listed as world heritage site by UNESCO
- Up to 2000 stave churches existed before year 1350
- Today there are only 28 left
- During the 1990's 17 were burned to the ground, 12 of them were lit by satanists



3

Acknowledgement

- Most of this work has been done by one of my students.

Vivi Rygnestad Helgesen

Utvendig deteksjon ved verneverdige bygninger.

B.Sc. Thesis. June 2013, Haugesund

This project has been done together with the Heritage authority in Norway.



Stave Church



4

Røros



5

Detection of fire along building facades



Line detection
-Cost effective, hard to see

Pressure line detectors (PLD)

- Used at Stave Churches
- Pressurises with air or nitrogen
- Can be made fully mechanical (no electrical power needed)

Copyright Terje Øverby, COWI



Research questions

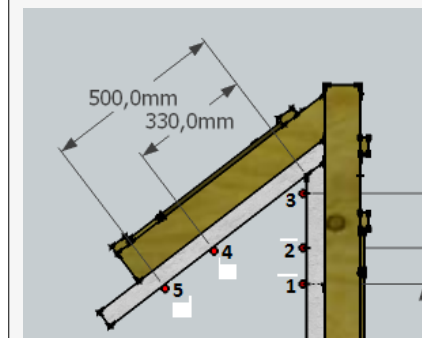
- *Has the detection properties changed due to aging of the components?*
- *What is the optimal placement on roof eaves?*
- *How fast can a fire be detected?*

Previous work

- SP did tests on a vertical wall, no roof eaves
- Alexander Nilsson: *Aktiva system som en av åtgärderna för at reducera skadeomfattningen av anlagda skolbränder. B.Sc. Thesis at HSH. 2011*
Patrick Van Hess and Bjarne Husted were advisors on this work.
- Johan Kr. Møller, Kasper Svendsen, David Johansen. *Slokkeanlegget ved Reinli Stavkirke. B.Sc. Thesis at HSH. 2010.*

9

Detection time with 30 kW propane fire



Tube	Exp. #3 [s]	Exp. #5 [s]	Exp. #6 [s]
1	50	32	404
2	72	52	373
3	71	63	270
4	63	46	339
5	112	103	481

Yellow colour marks the first release

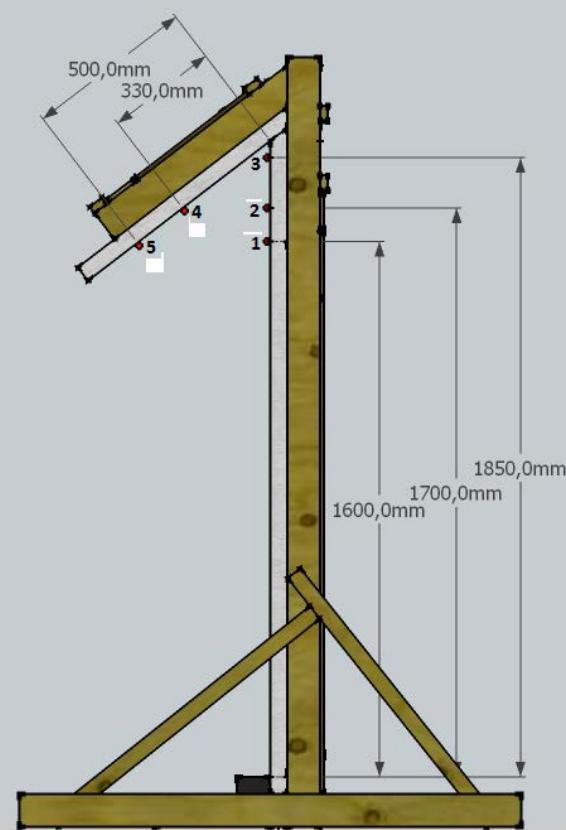


11

Test setup with 5 tubes and 5 (10) thermo-couples at centre line.

Later experiments two different thickness of thermocouples

1. sec. sampling



10

Video

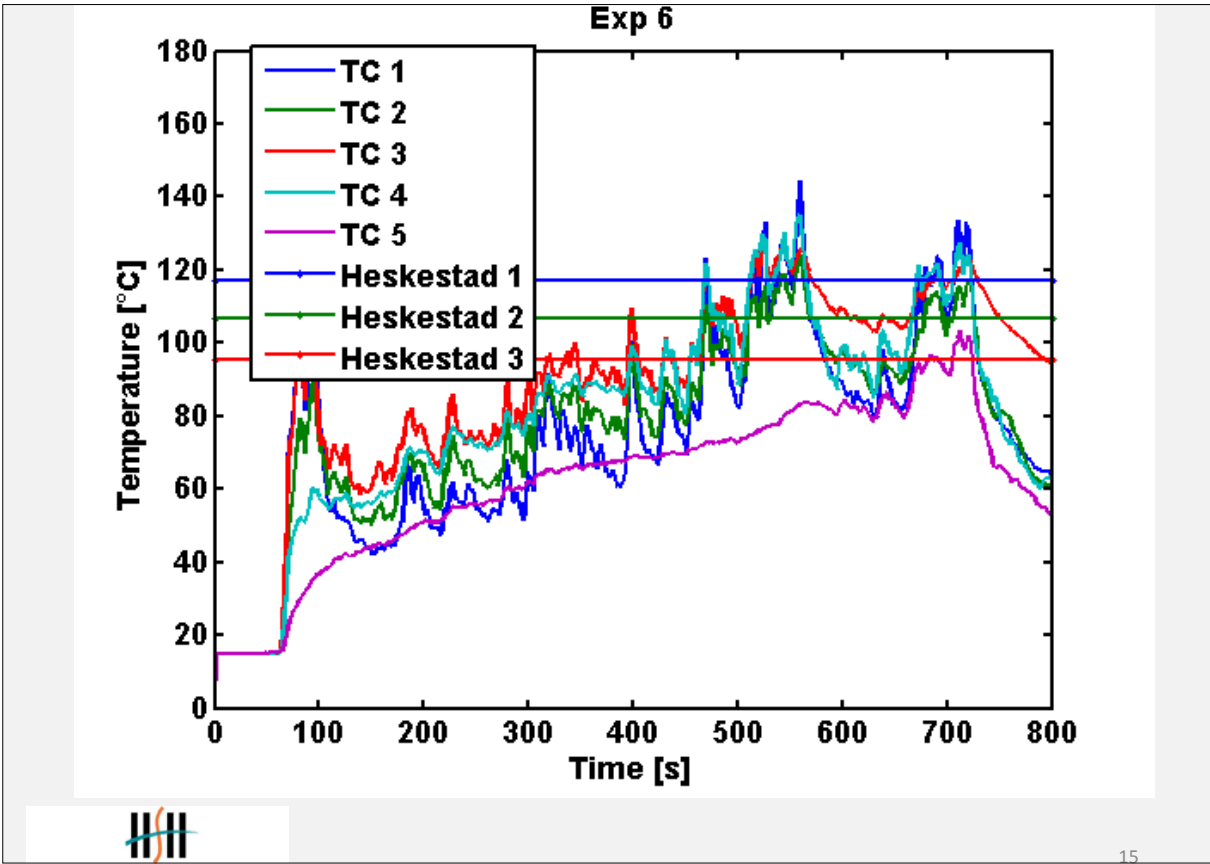
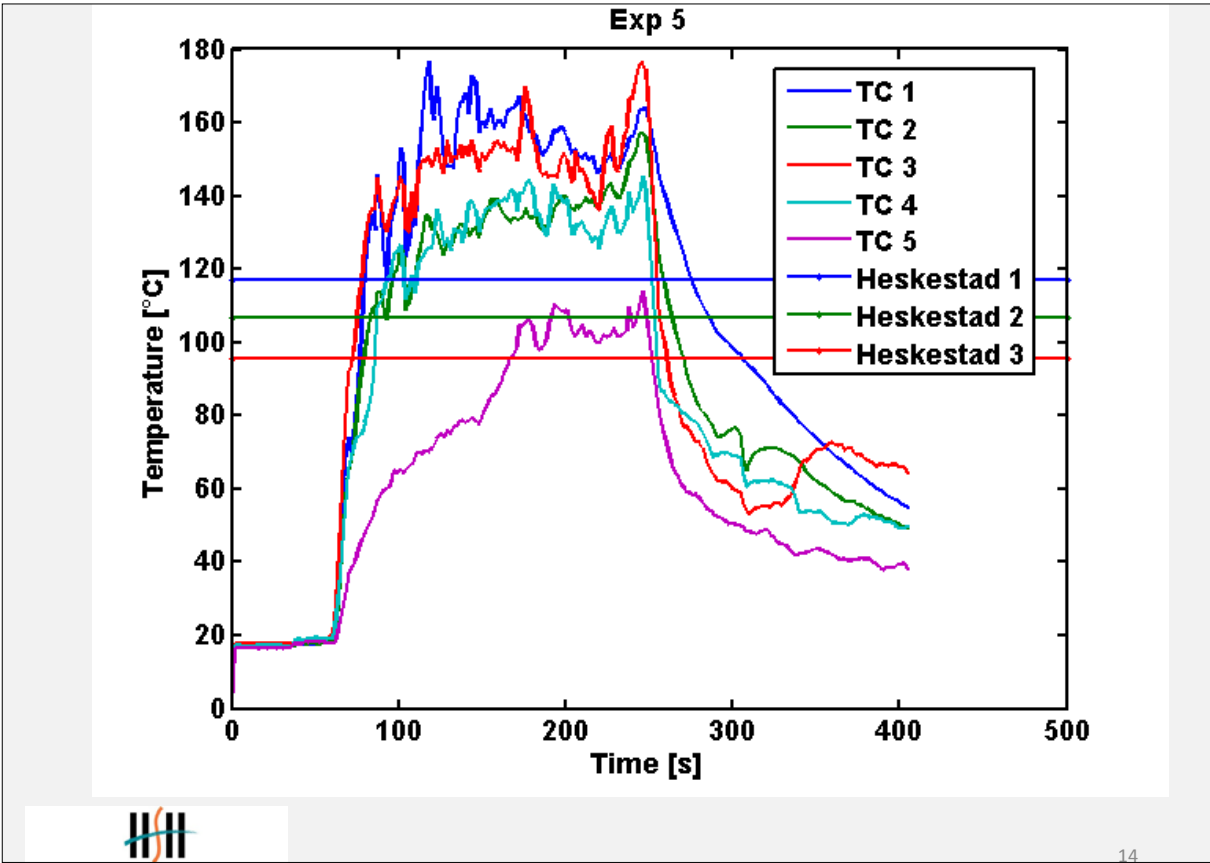
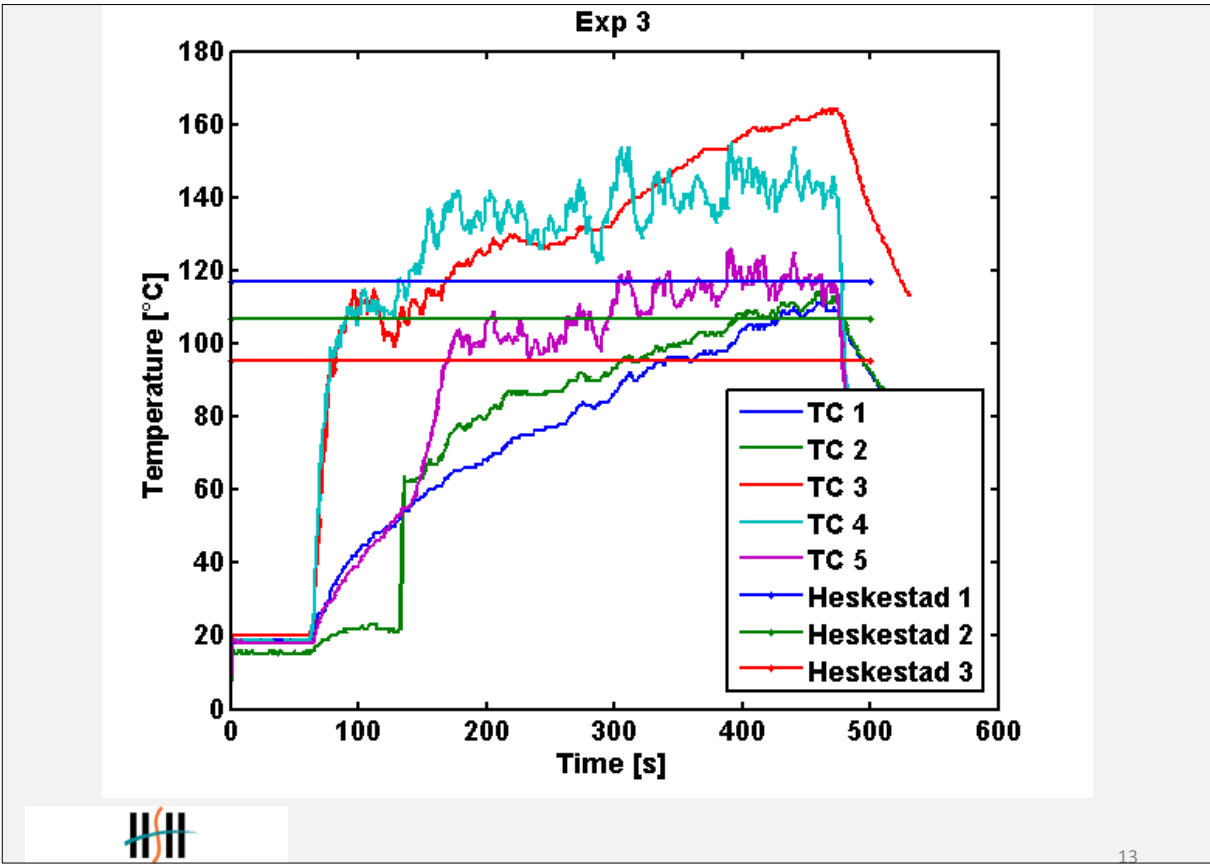
- Experiment #5, 14-4-2013

<http://www.youtube.com/watch?v=hM2gEMWUons>

- Experiment #6, 15-4-2013

http://www.youtube.com/watch?v=P5-to_uF054

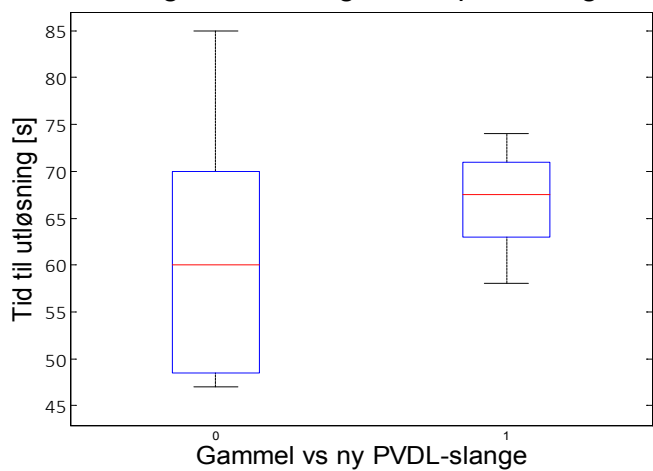
12



Change in detection time due to ageing

- 2 test series
 - Old tube (15 years)
 - New tube
- 7 exp. per series
- 5 different positions pr. experiment

Fordeling av utløsningstid for plassering nr. 3



No difference in detection time

At what temperature does the tube burst


Model for calculation detection temperature

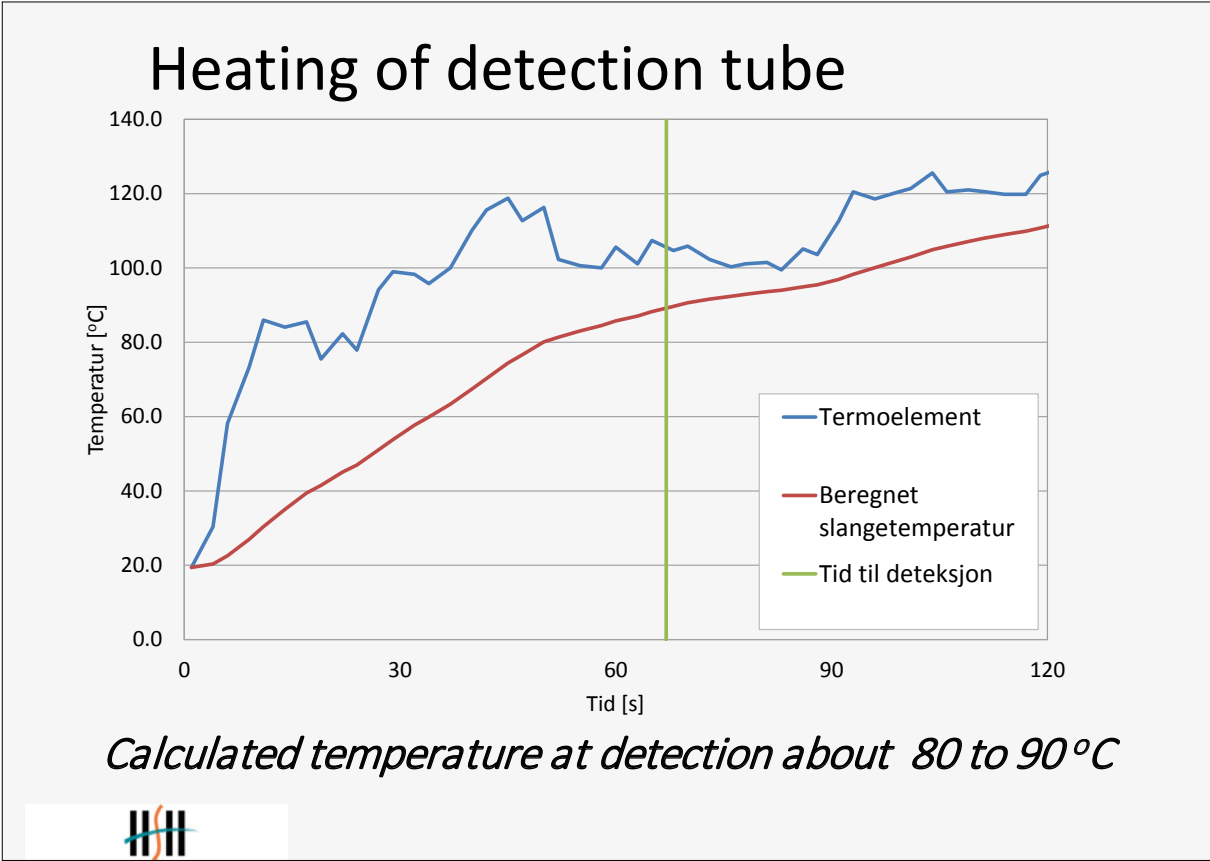
$$t = -\left(\frac{\rho c V}{\bar{h} A_s}\right) \cdot \ln\left(\frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty}\right)$$


↓

$$T_{s(n)} = \frac{\bar{h} \cdot A_s \cdot (T_{\infty(n)} - T_{s(n-1)})}{\rho c_p V} \Delta t + T_{s(n-1)}$$

- Lumped heat capacity
- Heating of a thermally thin object (low biot number)
- Backwards Eulers method
- Calculated for every logged temperature
- Both thin and thick thermo couples were used







Calculation of detection temperature

$$t = -\left(\frac{\rho c V}{\bar{h} A_s}\right) \cdot \ln\left(\frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty}\right)$$

Theoretical calculation
-Temperature and velocity based on Heskestads plume formula

Based on measurement:
-Measured temperature and measured velocity

Utløsningstid for plassering nr. 2 [s]	
Teoretisk beregning	23
Semi-teoretisk	52
95 % konfidensintervall	66 - 89

Summary on experiments results


Ageing:
Old tube = New tube

Time to detection:
Fastest line – within 1 minute

Temperature of tube at detection:
Between 80 and 90 degree Celsius

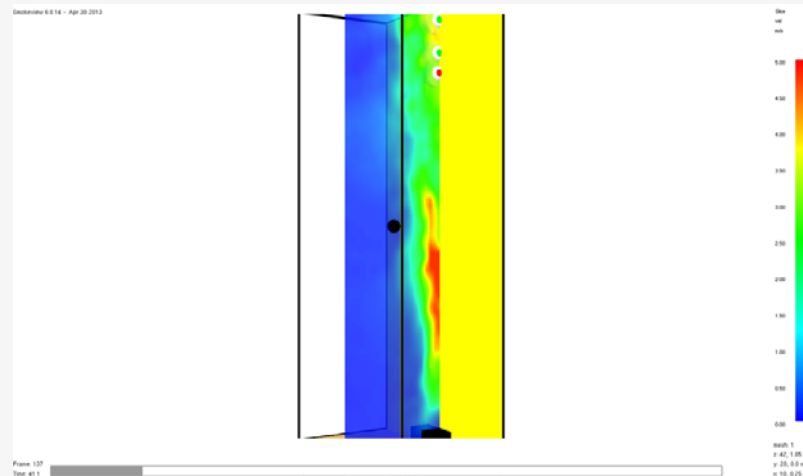
Optimal placement
No wind: At the wall, furthest down.
Wind: At the wall in the corner (heat accumulates)

Worst placement:
Furthest at the roof eaves (delay up to 2 minutes)



Modelling in FDS 6 (Build 15945)

- Modelling as a wall, 25 mm cells, 67200



Thermocouples, 1 mm and 0.5 mm

- *
- * Thermocouples
- *
- * Height of lines above fire is 1.67 m, 1.765 m and 1.92 m
- * This means that the height above the reference height (z=0) is 1.77 m, 1.865 m and 2.02 m
- *
- &PROP ID='0.5 mm THERMOCOUPLE', BEAD_DIAMETER=5.0E-4/
- &DEVC ID='THCP_1',
QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.01,0.0,1.77, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/
- &DEVC ID='THCP_1thin', PROP_ID='0.5 mm THERMOCOUPLE',
QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=0.01,0.0,1.77, ORIENTATION=1.0,0.0,0.0/

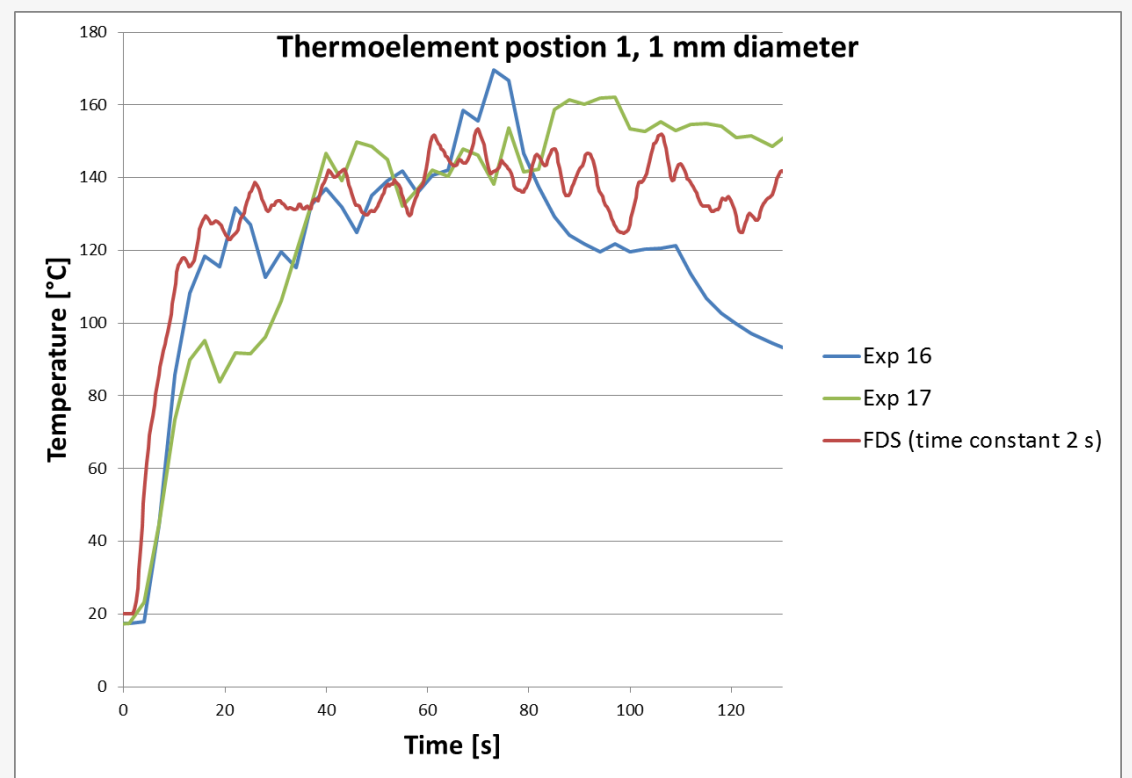


Pressure line

- *
 - * PVDL modelled as sprinklers
 - *


```
&PROP ID='PVDL',
            QUANTITY='LINK TEMPERATURE',
            ACTIVATION_TEMPERATURE=85.0,
            RTI=80.0/

          &DEVC ID='HD_1', PROP_ID='PVDL',
            XYZ=0.006,0.0,1.77, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
```



Comparison (no wind)

- FDS predicts similar detection time than the experimental results for position 1
- Temperatures is about the same (see previous slide)
- Velocities are higher in FDS than measured
- It is complicated to correctly model the boundary conditions at the wall.



Thank you for your attention!
Any questions?



26

Thomas Kolb:

Vorstellung der Ergebnisse des Arbeitskreises ‚Aerodynamisch wirksamer Querschnitt‘

Abstract:

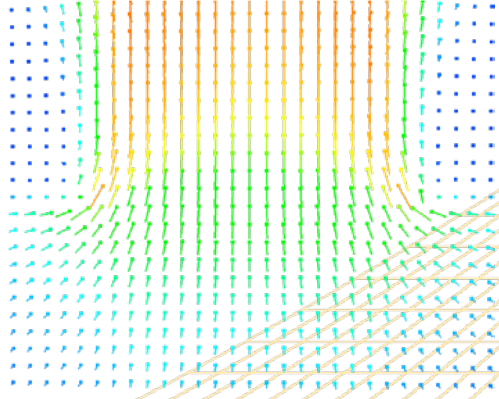
Bei einem Treffen der Usergroup im Jahr 2008 wurde festgestellt, dass die Zellgröße bei der Durchströmung von Öffnungen einen relevanten Einfluss hat. Daraufhin wurde eine Arbeitsgruppe gegründet, die diesen Effekt mit Hilfe von Parameterstudien näher untersuchen sollte.

Im Jahr 2011 wurde die ersten Ergebnisse vorgestellt, jetzt sind die Berechnungen abgeschlossen. Ziel war es, eine Tabelle und / oder Diagramme zu erhalten, aus dem der effektive Cv-Wert in Abhängigkeit der zu variierenden Größen abgelesen werden kann. Dazu wurden Berechnungen mit Öffnungsgrößen von 1 m² bis 4 m² und Druckunterschieden ober- und unterhalb der Öffnung von 5 Pa bis 50 Pa durchgeführt. Ausgewertet wurden die Volumen- und Massenströme durch die Öffnung sowie die auftretenden Geschwindigkeiten an unterschiedlichen Stellen über einen Berechnungszeitraum von 100 Sekunden. Nun sollen die Ergebnisse dieser Berechnungen vorgestellt werden.

Dipl.-Ing. Thomas Kolb

Vorstellung der Ergebnisse des Arbeitskreises –
Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

$\dot{Q}'' = \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4$
 Brandschutzconsult



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

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

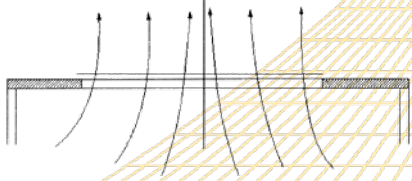
1. Einführung

Aerodynamisch wirksamer Querschnitt

Verringerung des durchströmten Querschnitts von Öffnungen durch Einschnüreffekte

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?

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

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

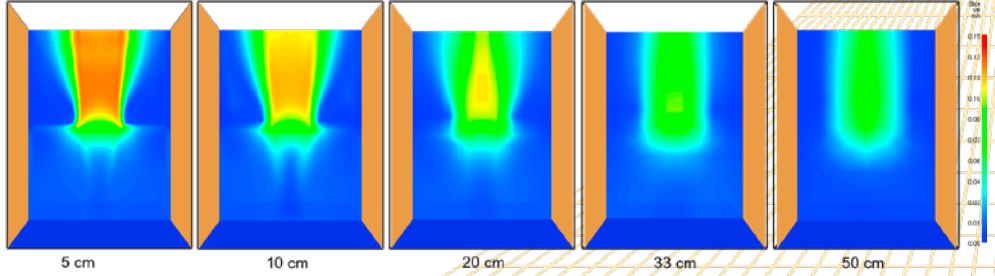
Keine Parallelrechnung

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

1. Einführung

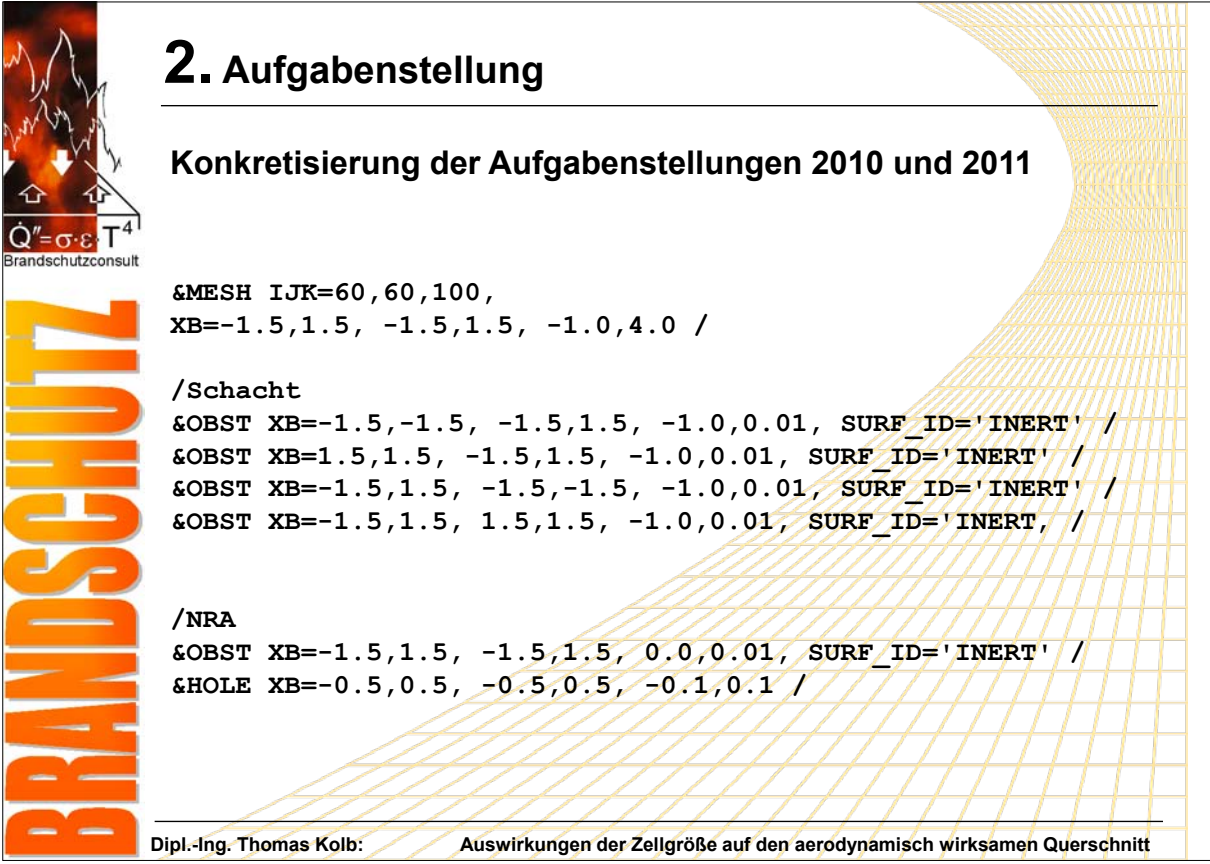
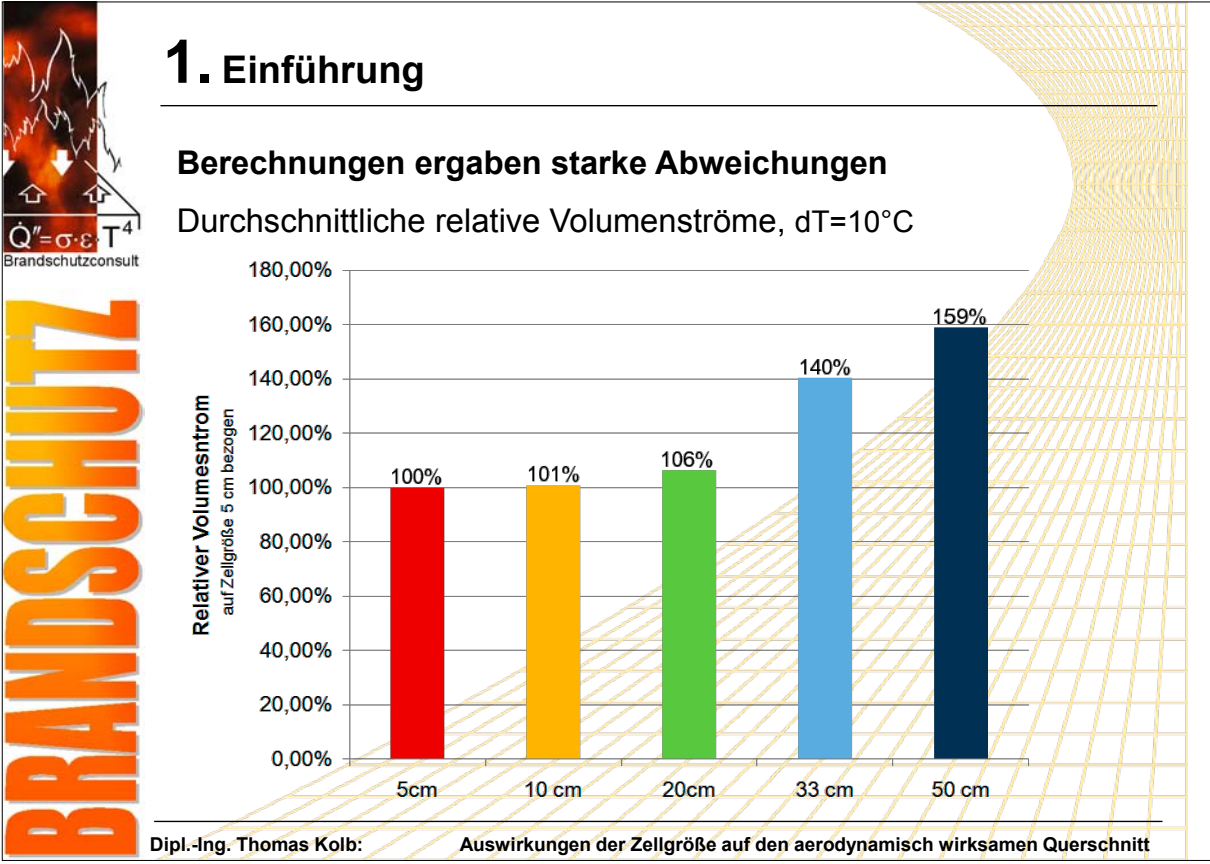
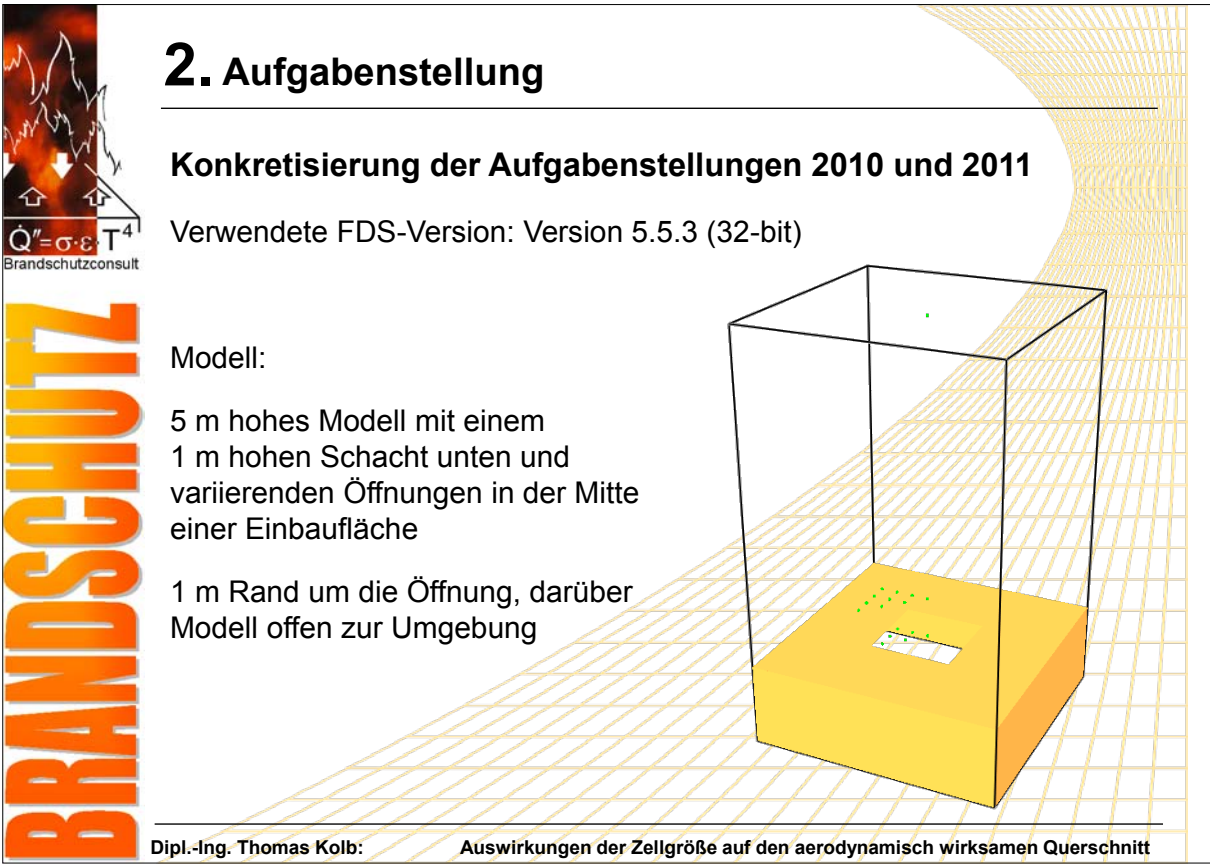
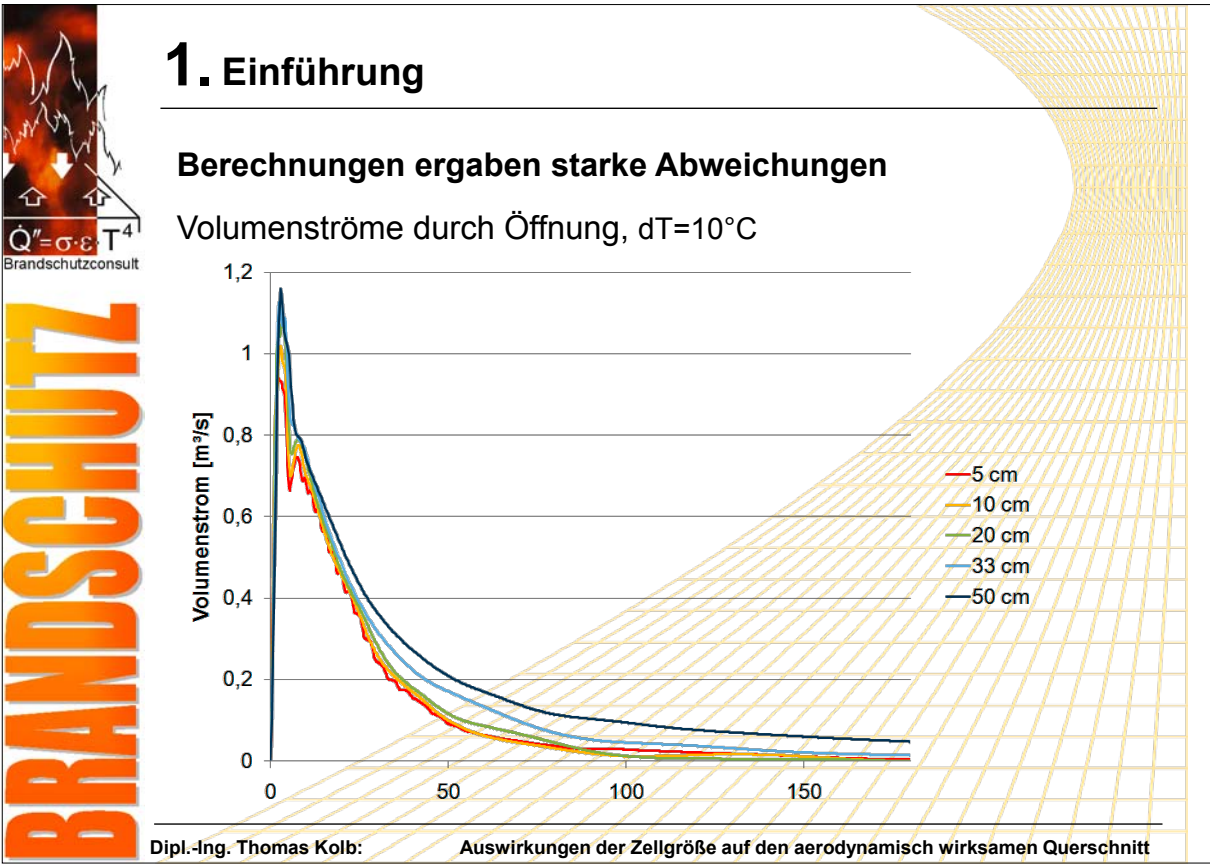
Berechnungen ergaben starke Abweichungen

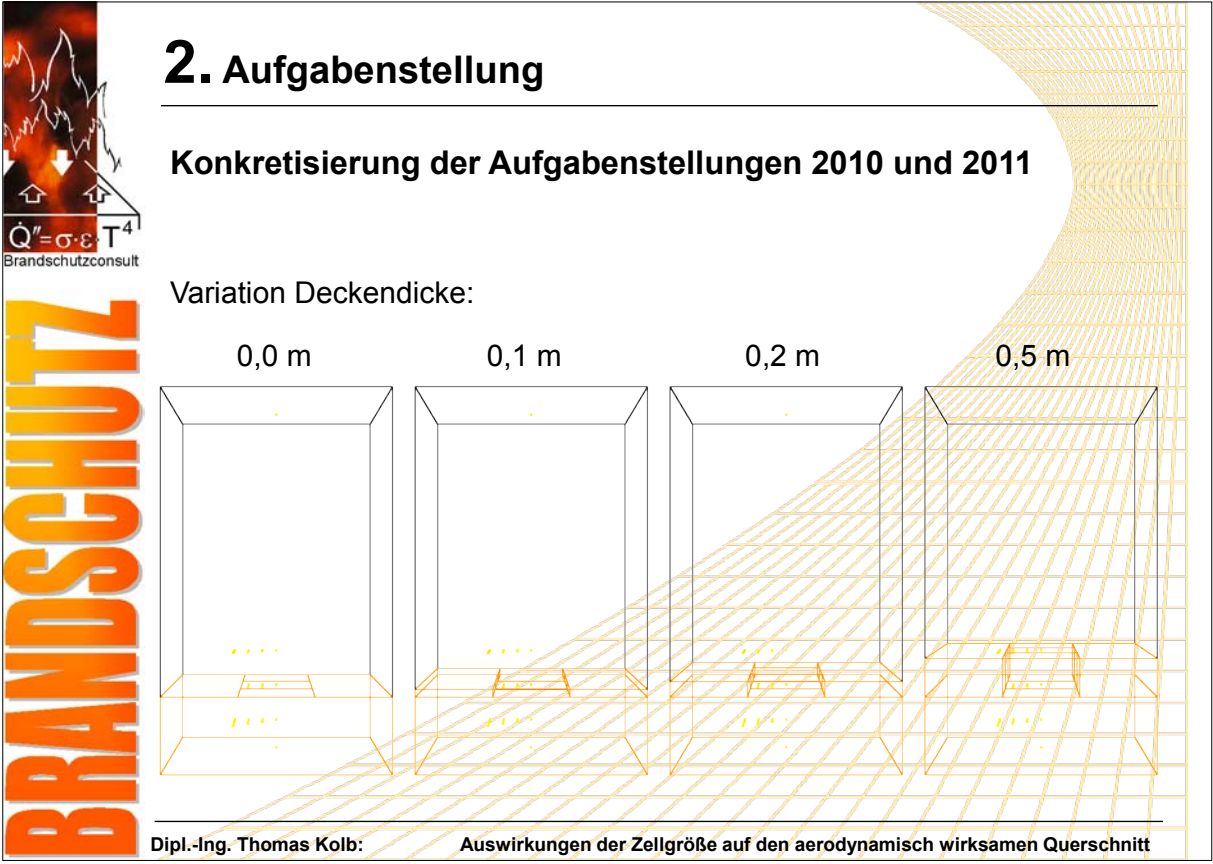
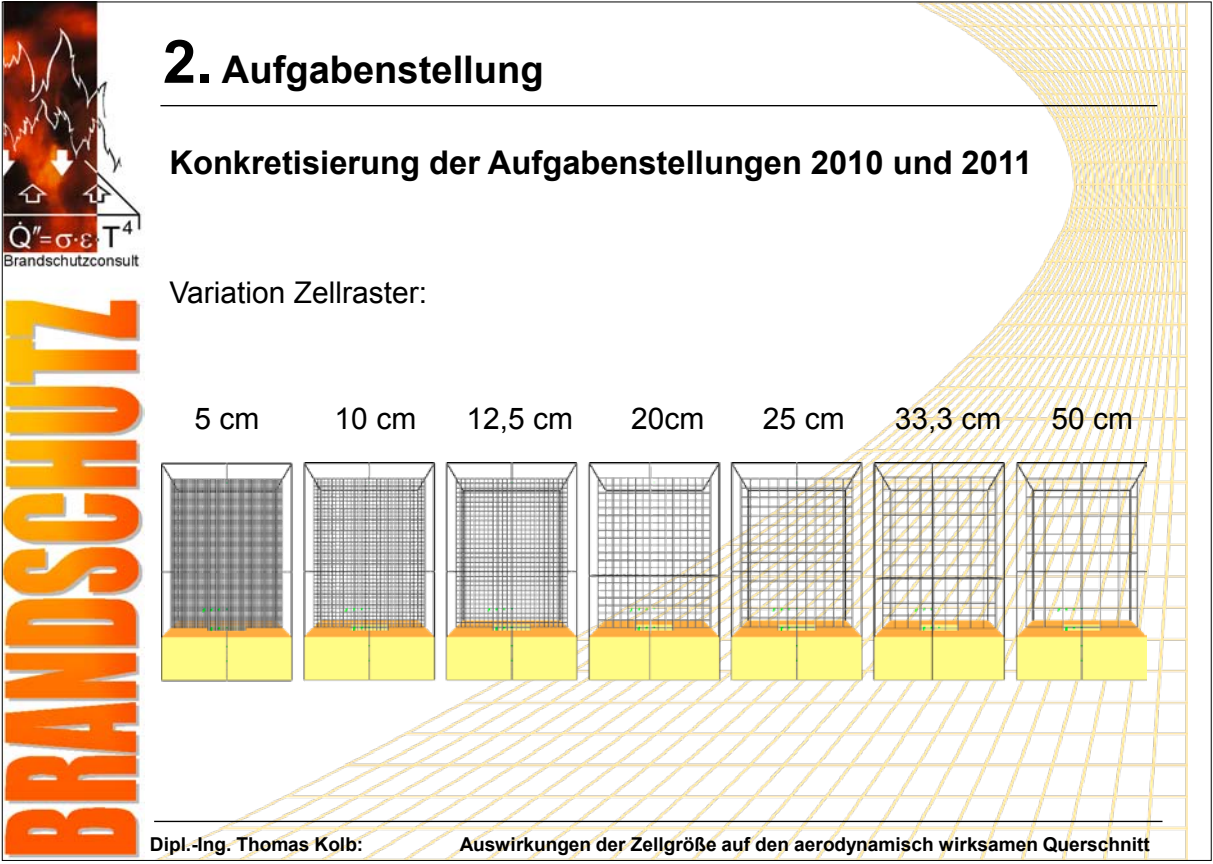
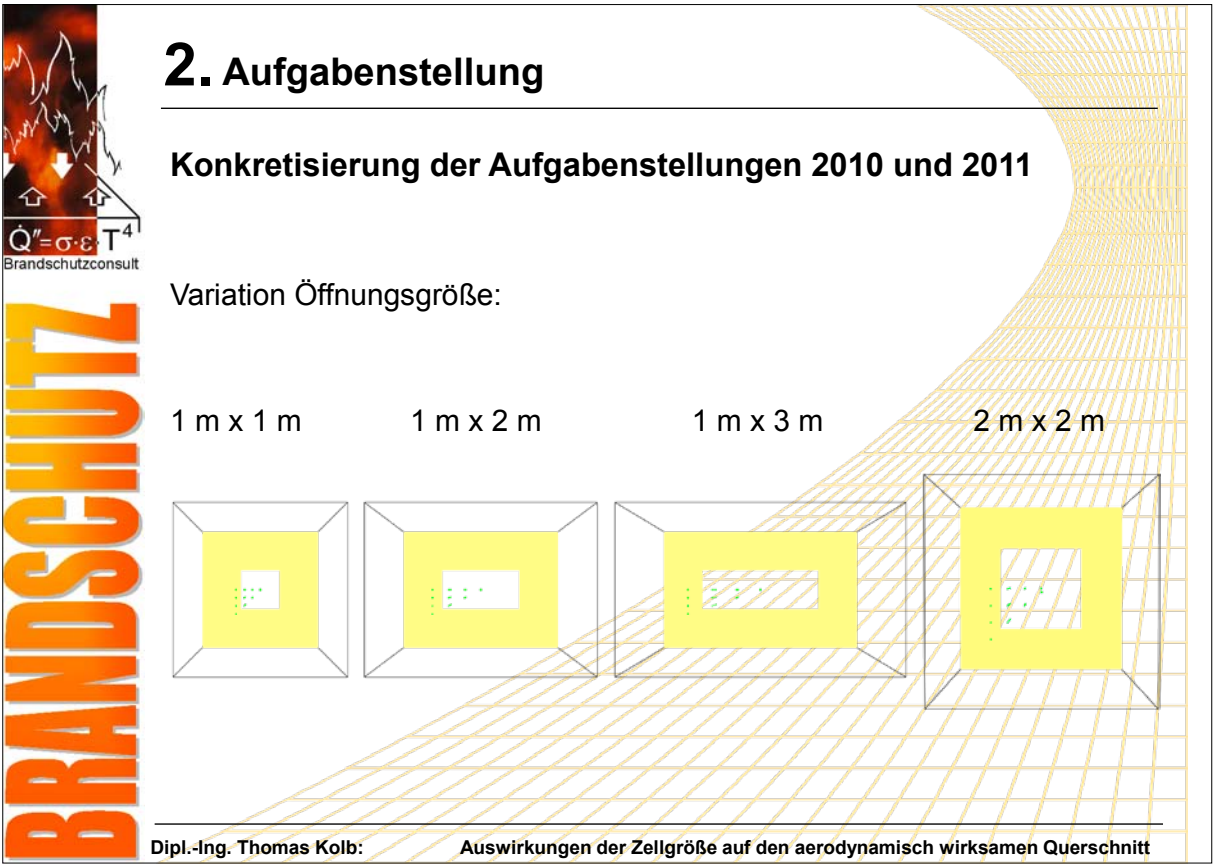
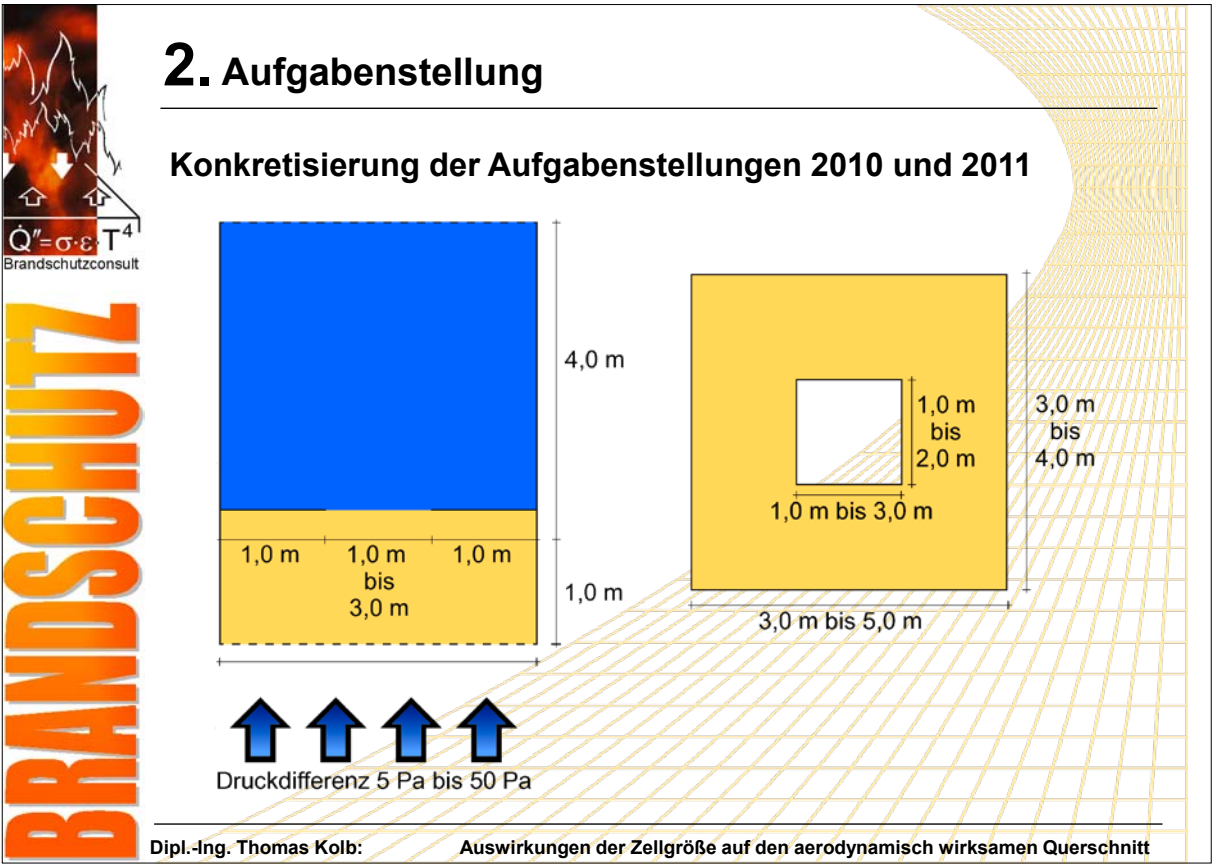
Strömungsbilder nach 180 Sekunden, $v=0,011$ m/s




5 cm 10 cm 20 cm 33 cm 50 cm

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







$\dot{Q}'' = \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4$
Brandschutzconsult

BRANDSCHUTZ

2. Aufgabenstellung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen 2010 und 2011

Variation Druckdifferenz:

5 Pa


10 Pa

20 Pa

50 Pa

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

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



$\dot{Q}'' = \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4$
Brandschutzconsult

BRANDSCHUTZ

2. Aufgabenstellung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen 2010 und 2011

Ziel:
Vergleich der Kontraktionskoeffizienten in Abhängigkeit der genannten Parameter

$$C_v = \frac{\text{effektive Strömungsgeschwindigkeit}}{\text{optimale Strömungsgeschwindigkeit}}$$

Optimale Strömungsgeschwindigkeit nach Bernoulli:


$$V_{\text{opt}} = \sqrt{2 \cdot \Delta P}$$

Effektive Strömungsgeschwindigkeit berechnet durch FDS:

$$V_{\text{FDS}} = \frac{Q_{\text{ges}}}{A}$$

Bernoulli:
 $V = 0 \Rightarrow V^2 = \frac{2}{\rho} \Delta P$
 $\frac{1}{2} \rho \cdot V^2 + P_1 = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 + P_2 + \rho \cdot g \cdot h$
 $P_1 = P_2 + \rho \cdot g \cdot h$
 $V = \sqrt{2 \Delta P}$
 $Q_{\text{ges}} = A \cdot V_{\text{opt}} \cdot C_v$
 $V_{\text{opt}} = \sqrt{2 \Delta P}$
 $C_v = \frac{V_{\text{eff}}}{V_{\text{opt}}}$
 $\frac{V_{\text{eff}}}{V_{\text{opt}}} = \frac{A \cdot V_{\text{eff}}}{A \cdot V_{\text{opt}}}$
 $C_d = \frac{V_{\text{eff}}}{V_{\text{opt}}} = \frac{V_{\text{eff}}}{\sqrt{2 \Delta P}}$
 $C_d = \frac{V_{\text{eff}}}{\sqrt{2 \Delta P}} = \frac{V_{\text{eff}}}{\sqrt{2 \cdot 10}} = \frac{V_{\text{eff}}}{4,472}$
 $C_d = 0,63$
2. Schritt
Rauchschichthöhe
Temperatur
SHOKEB5, %
Toussaint
PIOT 800
She test in cell
3. dimension ge test

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



$\dot{Q}'' = \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4$
Brandschutzconsult

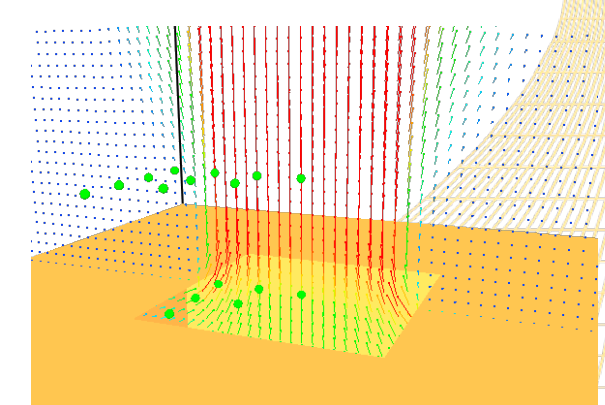
BRANDSCHUTZ

2. Aufgabenstellung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen 2010 und 2011


Auswertungen:

Volumenstrom durch Öffnung



/Volumenströme
&DEV ID='Vol_ges', XB=-0.5,0.5, -0.5,0.5, 0.0,0.0,
QUANTITY='VOLUME FLOW', IOR=3 /

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



$\dot{Q}'' = \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4$
Brandschutzconsult

BRANDSCHUTZ

2. Aufgabenstellung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen 2010 und 2011

Optimale Strömungsgeschwindigkeiten:

Druckdifferenz 5 Pa:
 $V_{\text{opt}} = \sqrt{2 \cdot 5} \approx 3,162 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Druckdifferenz 10 Pa:
 $V_{\text{opt}} = \sqrt{2 \cdot 10} \approx 4,472 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Druckdifferenz 20 Pa:
 $V_{\text{opt}} = \sqrt{2 \cdot 20} \approx 6,325 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Druckdifferenz 50 Pa:
 $V_{\text{opt}} = \sqrt{2 \cdot 50} \approx 10,000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Bernoulli:
 $V = 0 \Rightarrow V^2 = \frac{2}{\rho} \Delta P$
 $\frac{1}{2} \rho \cdot V^2 + P_1 = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 + P_2 + \rho \cdot g \cdot h$
 $P_1 = P_2 + \rho \cdot g \cdot h$
 $V = \sqrt{2 \Delta P}$
 $Q_{\text{ges}} = A \cdot V_{\text{opt}} \cdot C_v$
 $V_{\text{opt}} = \sqrt{2 \Delta P}$
 $C_v = \frac{V_{\text{eff}}}{V_{\text{opt}}}$
 $\frac{V_{\text{eff}}}{V_{\text{opt}}} = \frac{A \cdot V_{\text{eff}}}{A \cdot V_{\text{opt}}}$
 $C_d = \frac{V_{\text{eff}}}{V_{\text{opt}}} = \frac{V_{\text{eff}}}{\sqrt{2 \Delta P}}$
 $C_d = \frac{V_{\text{eff}}}{\sqrt{2 \Delta P}} = \frac{V_{\text{eff}}}{\sqrt{2 \cdot 10}} = \frac{V_{\text{eff}}}{4,472}$
 $C_d = 0,63$
2. Schritt
Rauchschichthöhe
Temperatur
SHOKEB5, %
Toussaint
PIOT 800
She test in cell
3. dimension ge test

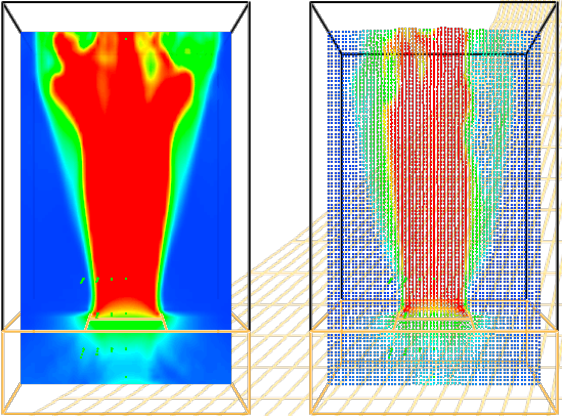
Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

2. Aufgabenstellung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen 2010 und 2011

Weitere 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. /
  
```

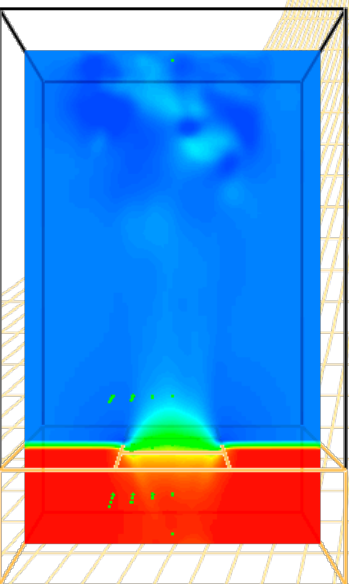
Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

2. Aufgabenstellung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen 2010 und 2011

Weitere Auswertungen:

Druck als Slice-Files



```

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

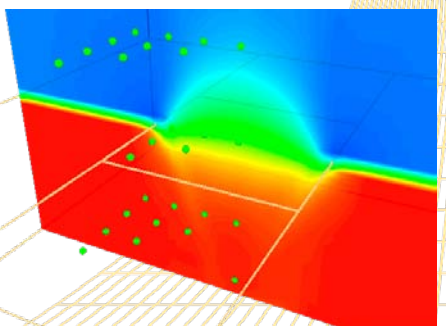
Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

2. Aufgabenstellung

Konkretisierung der Aufgabenstellungen 2010 und 2011

Weitere 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'
  
```

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

3. Durchführung

Durchführung der Berechnungen

Insgesamt 448 Berechnungen mit den genannten Variationen

Beschränkung der Simulationszeit auf 100 Sekunden, Auswertung zwischen der 10. und der 100. Sekunde

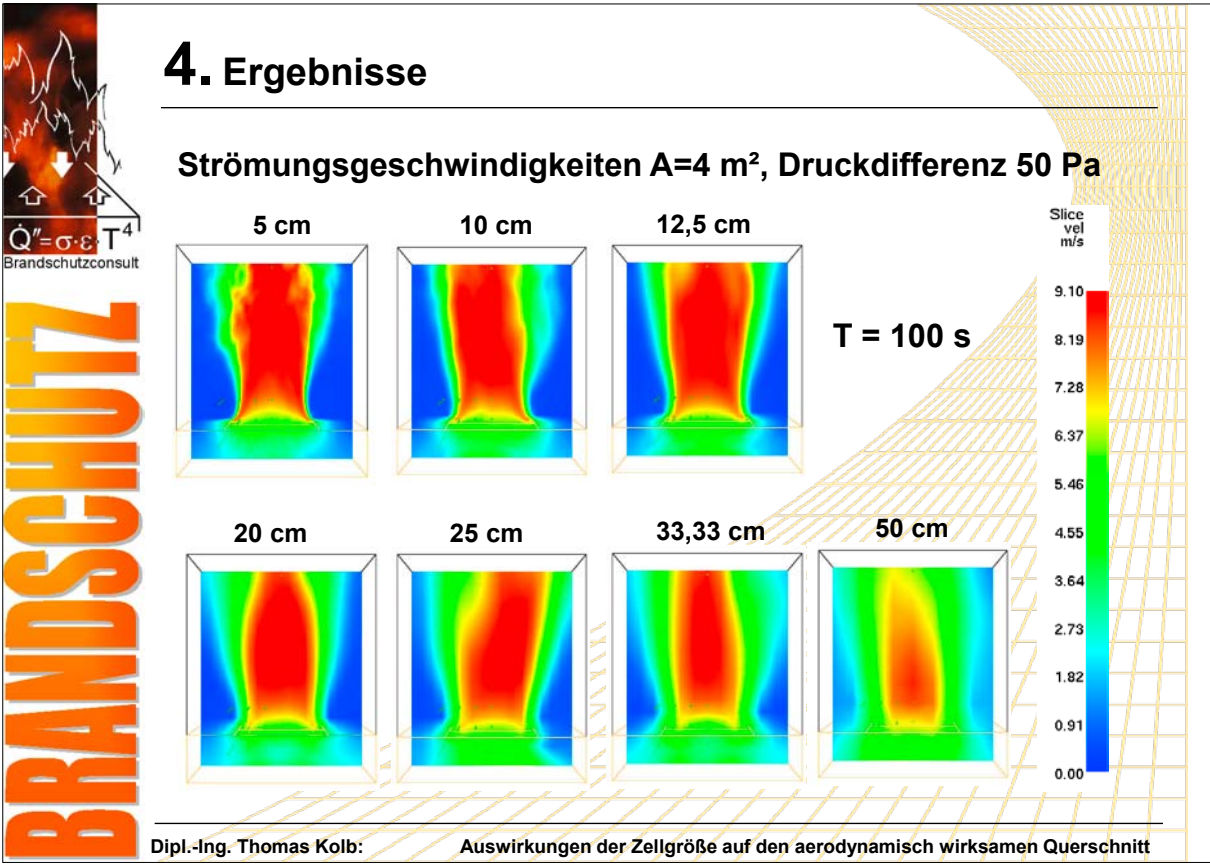
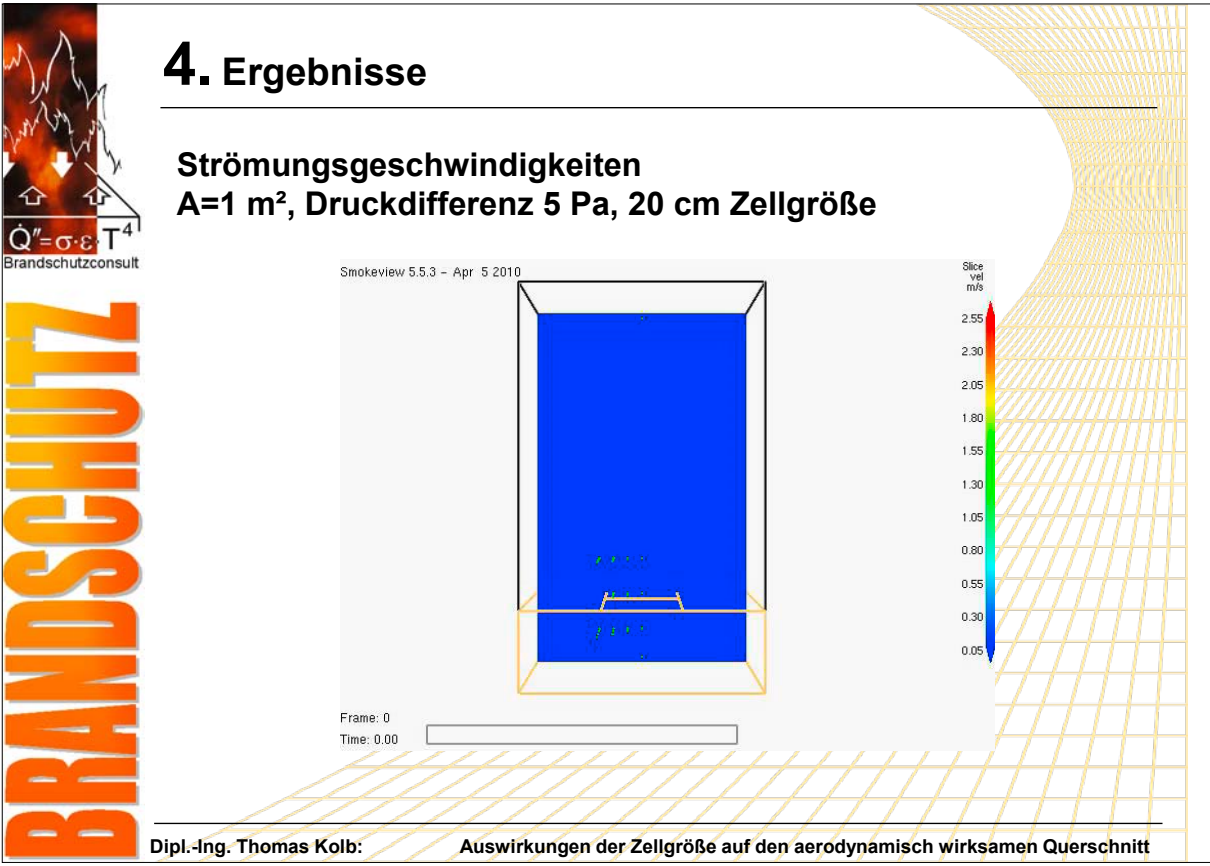
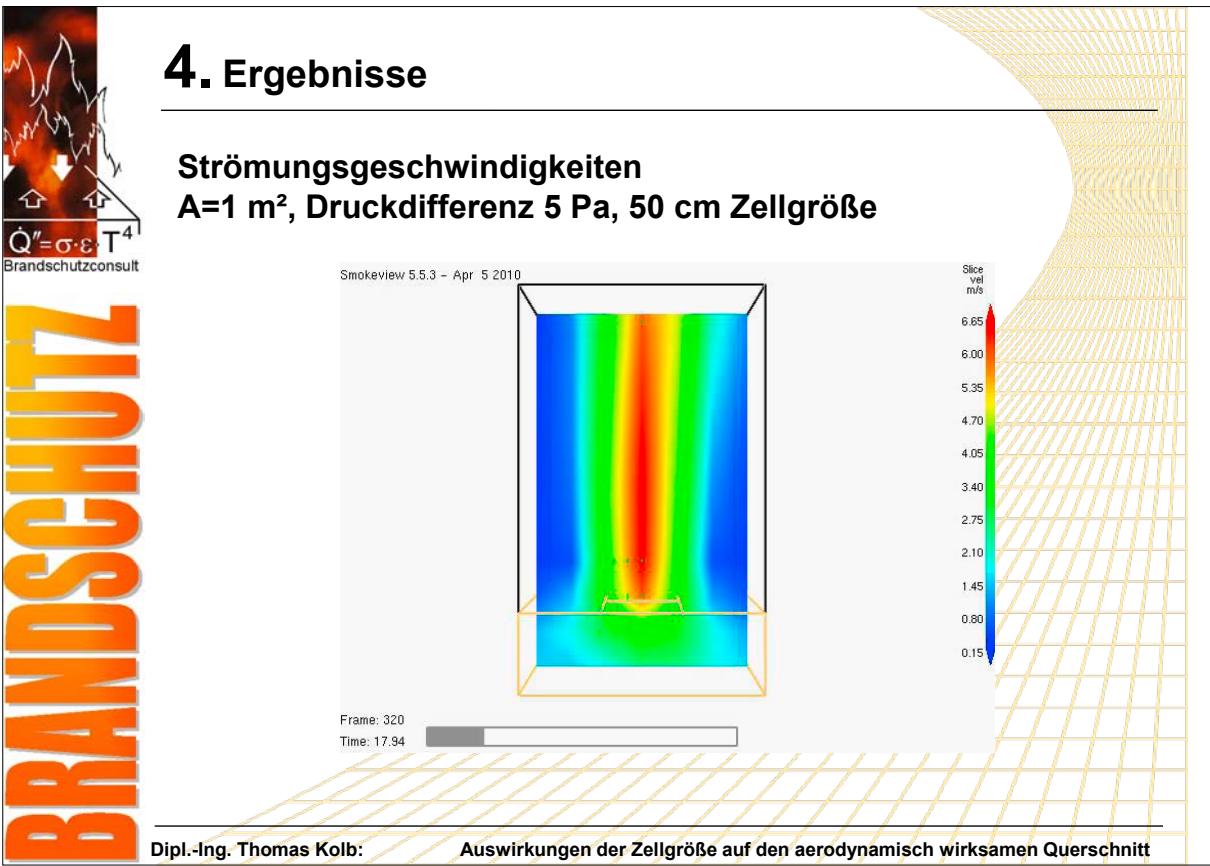
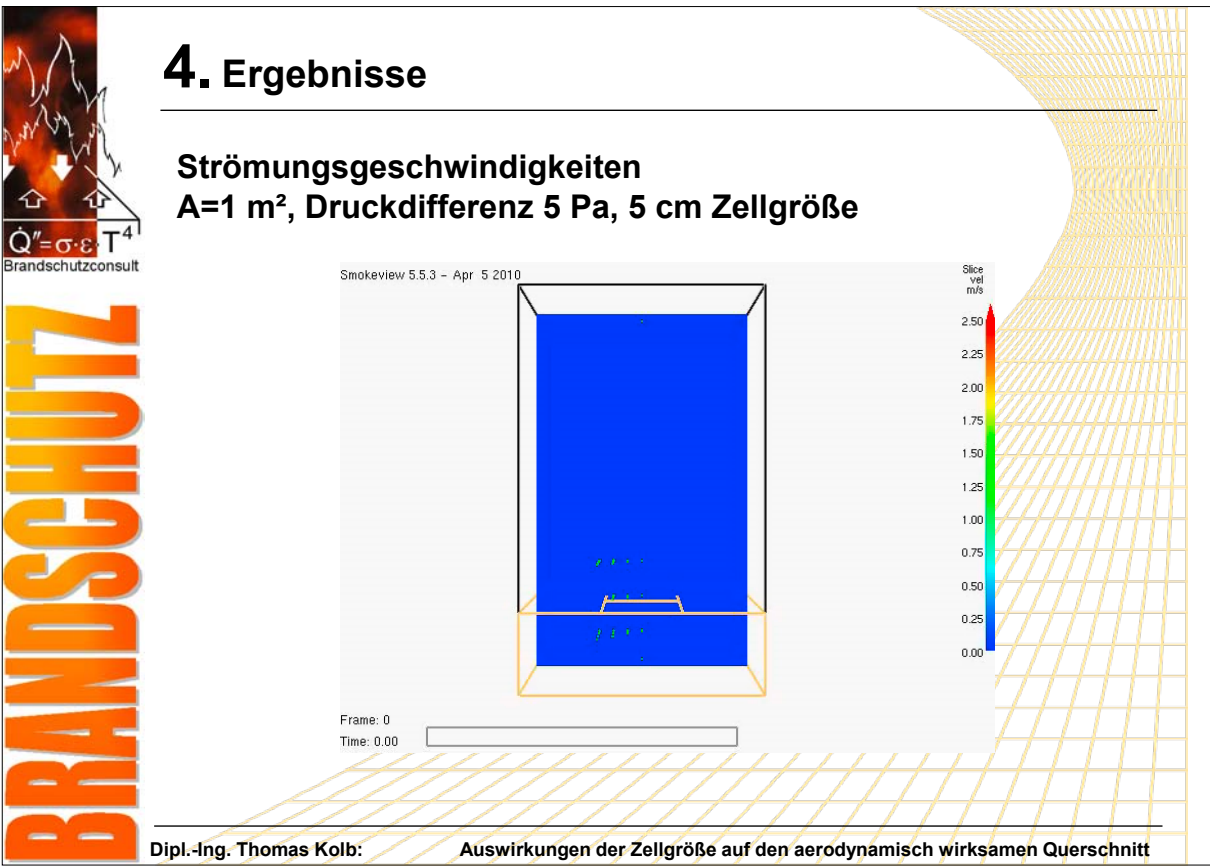
Berechnungszeiten von wenigen Sekunden bei 50 cm Raster bis ca. 2 Stunden bei 5 cm Raster

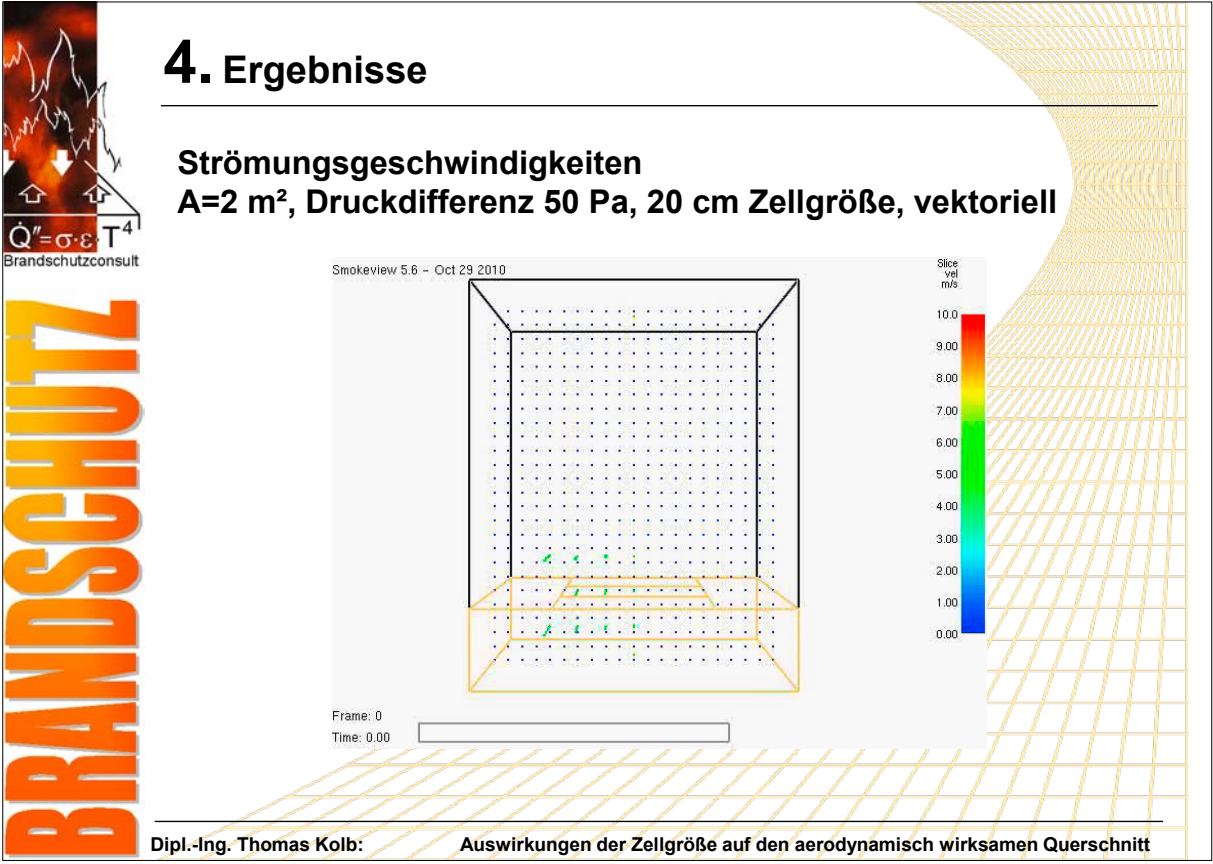
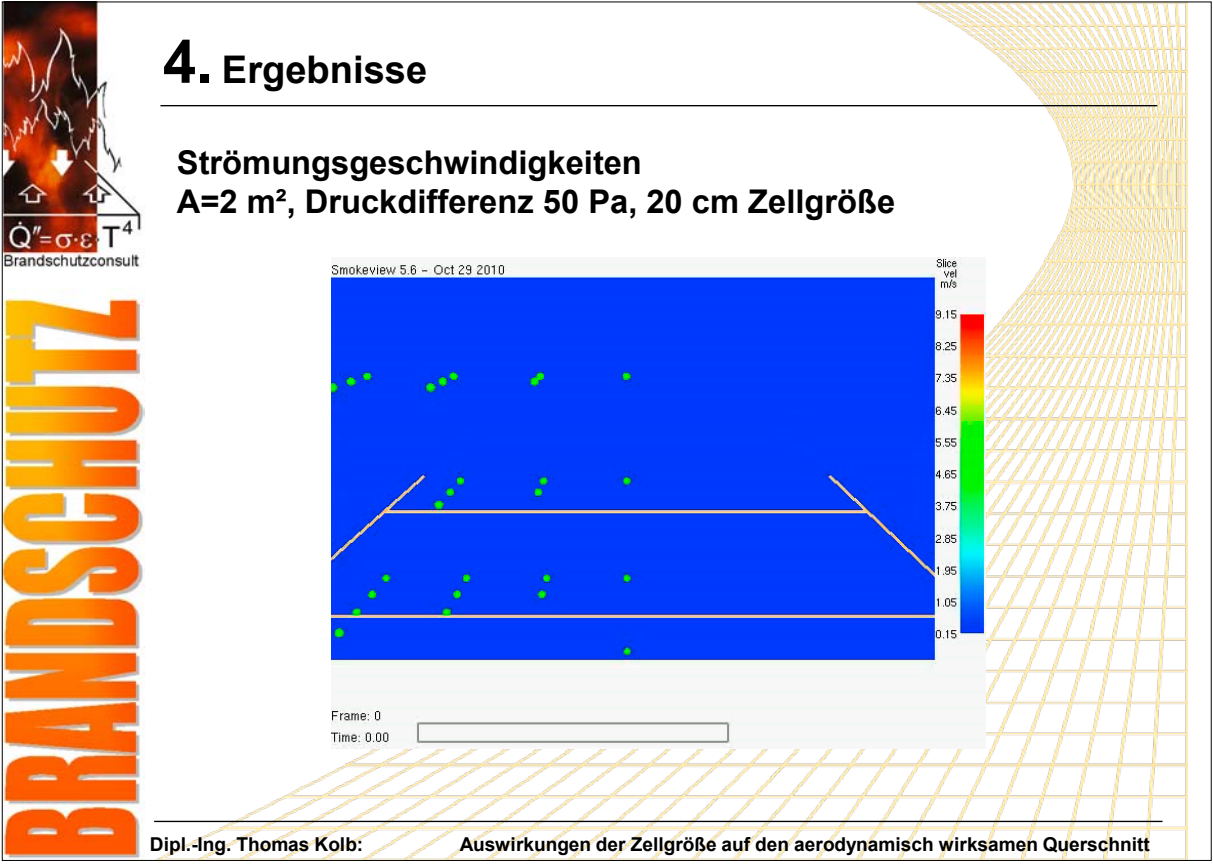
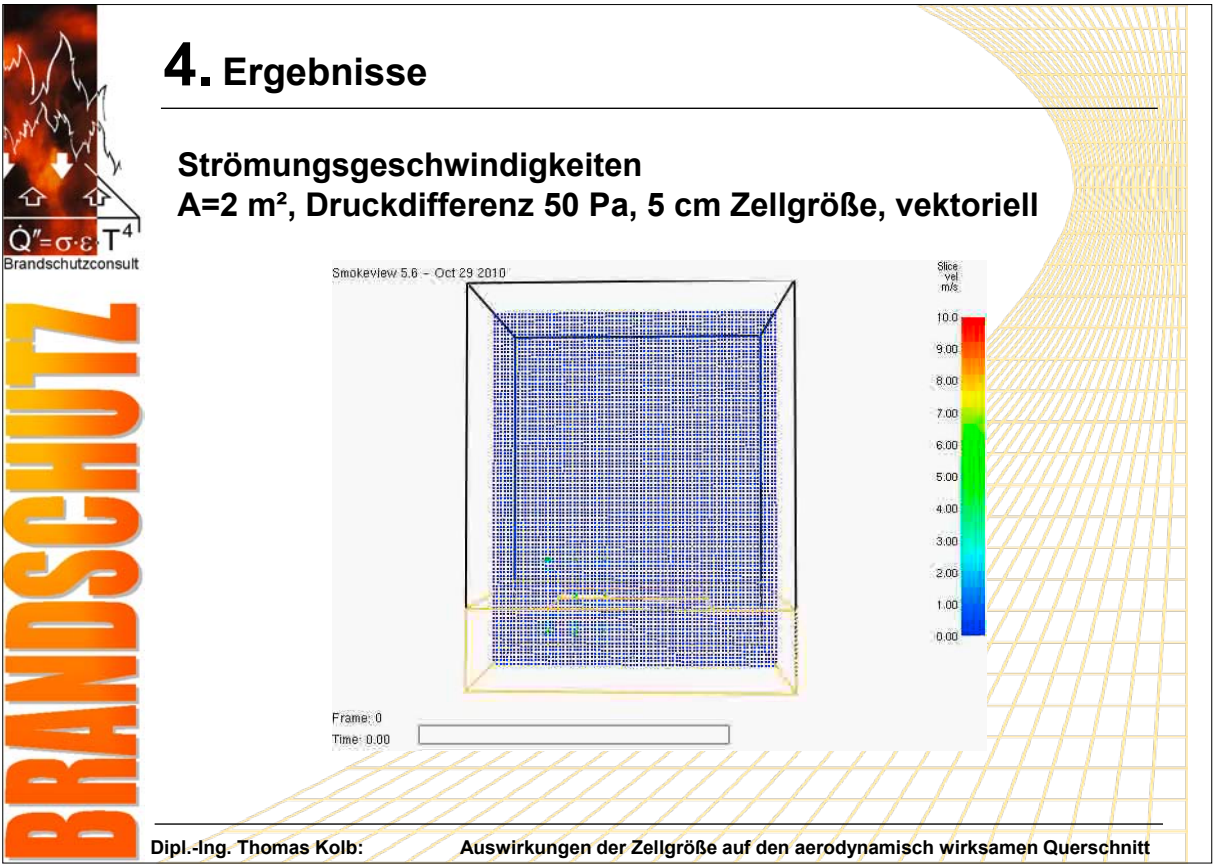
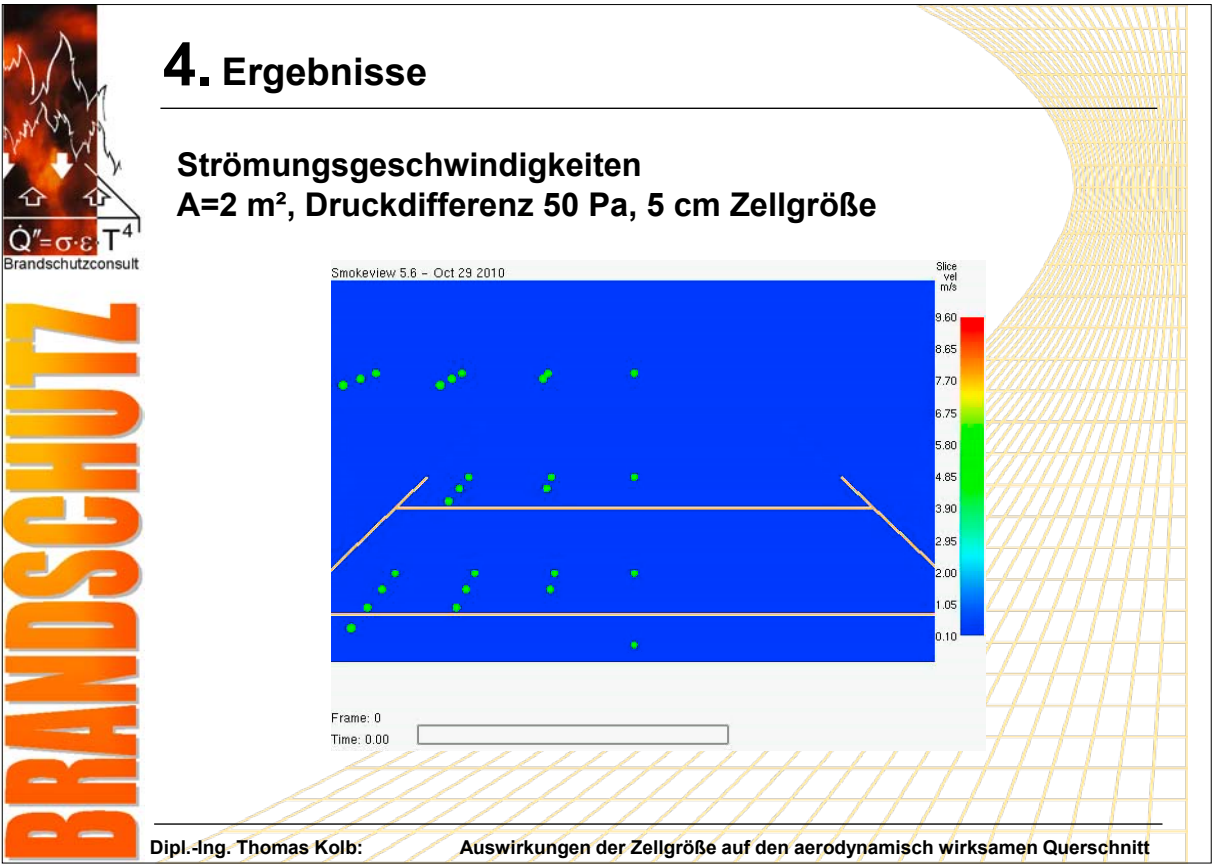
Rechner (Notebook):

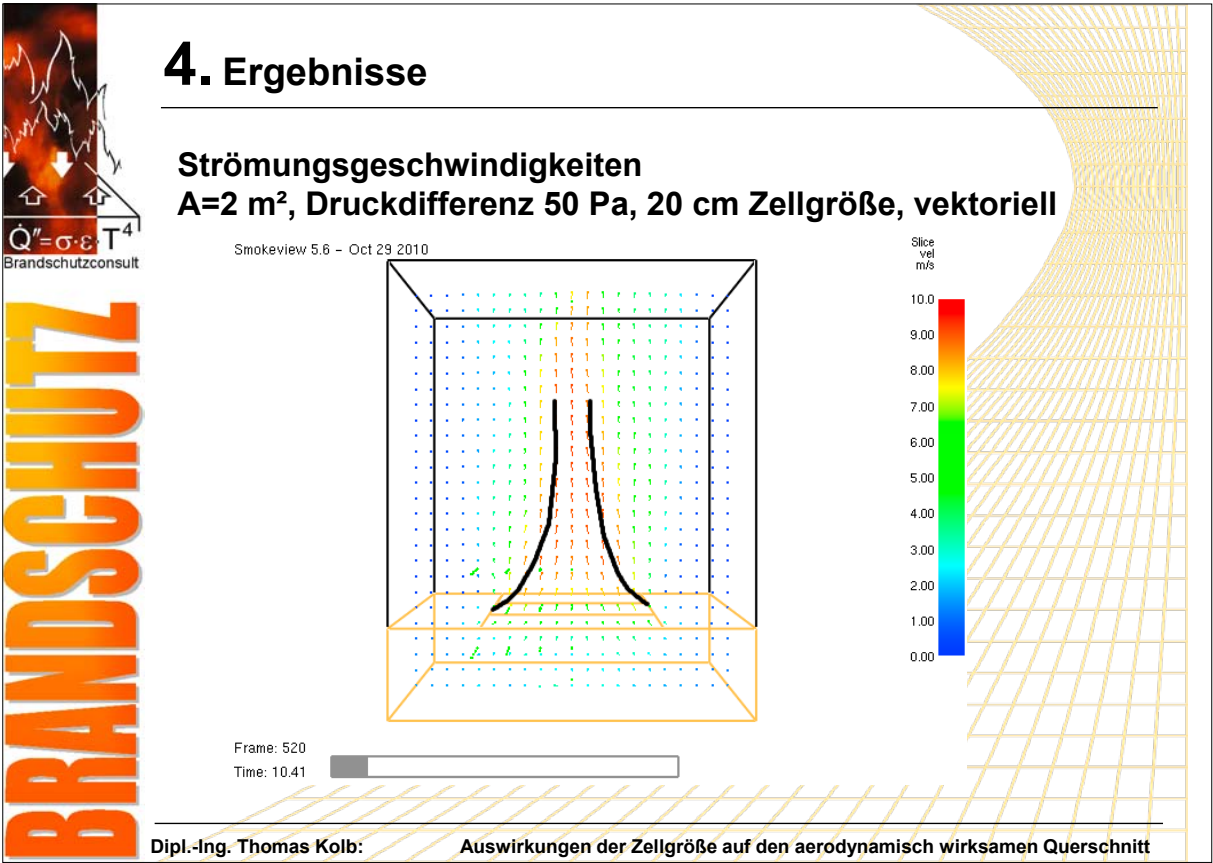
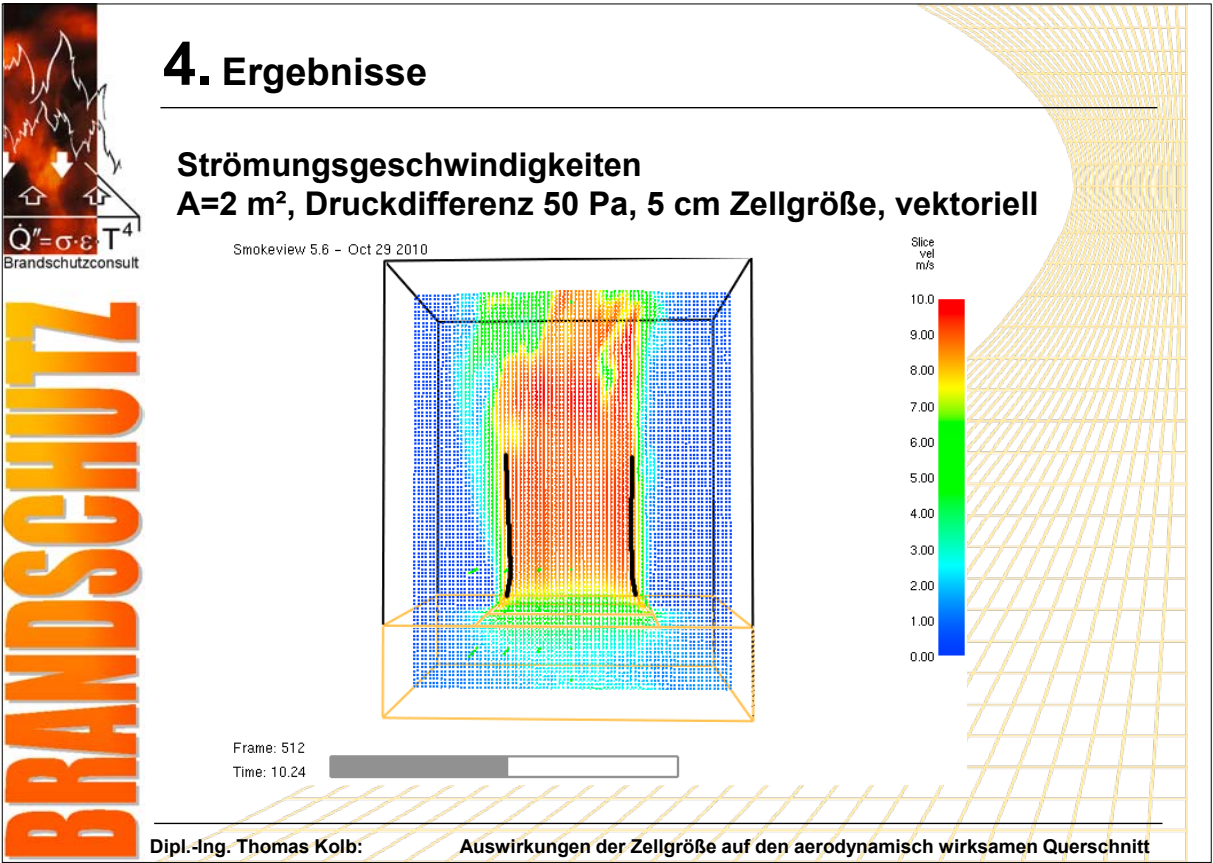
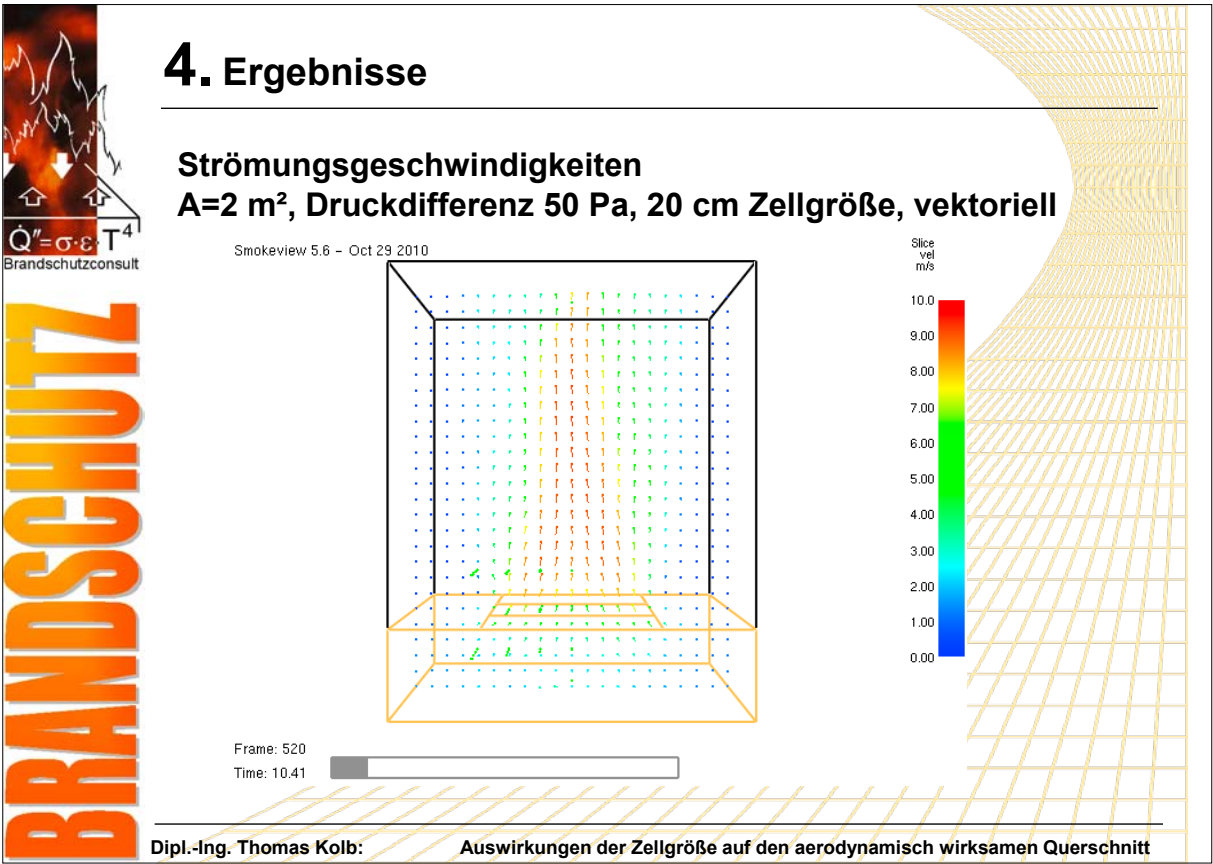
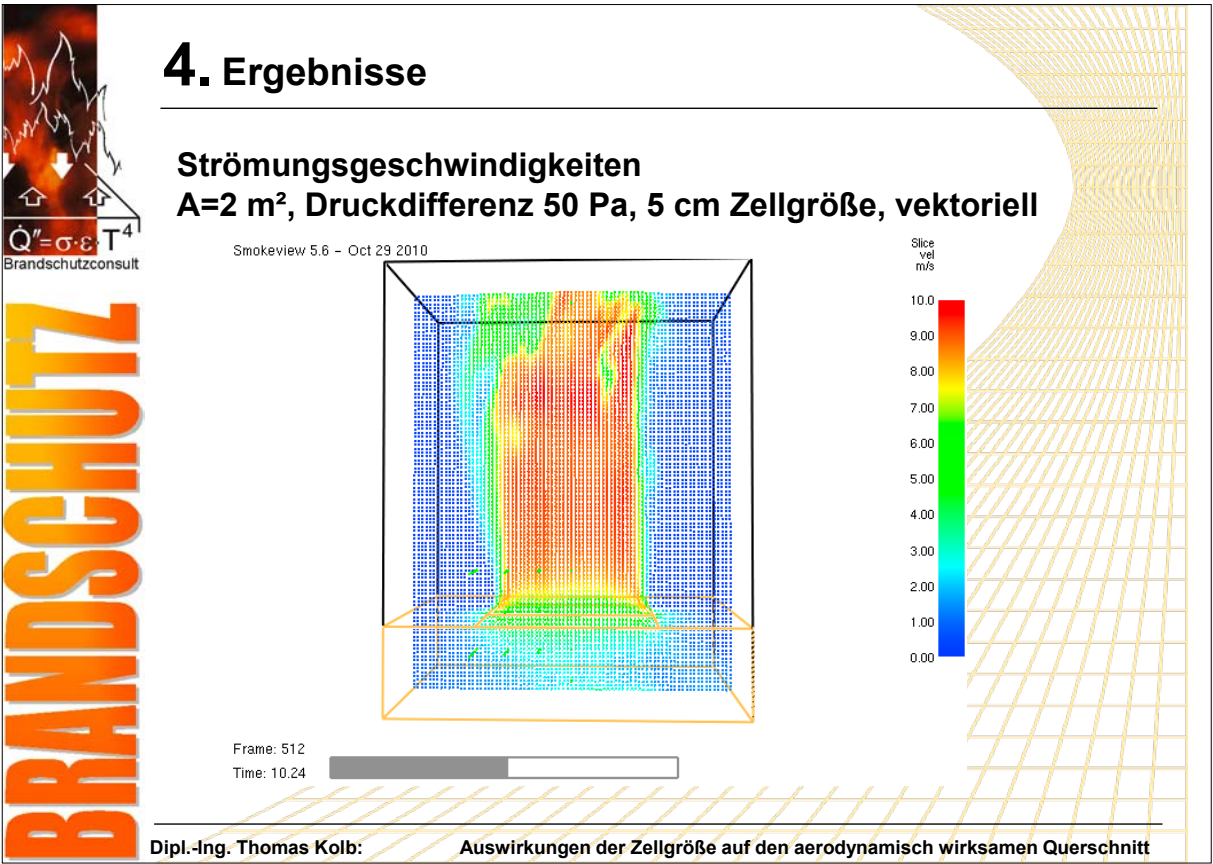
FDS Version 5.5.3, 32-bit (64-bit Version lieferte identische Ergebnisse)
Windows Vista Ultimate 64 Bit

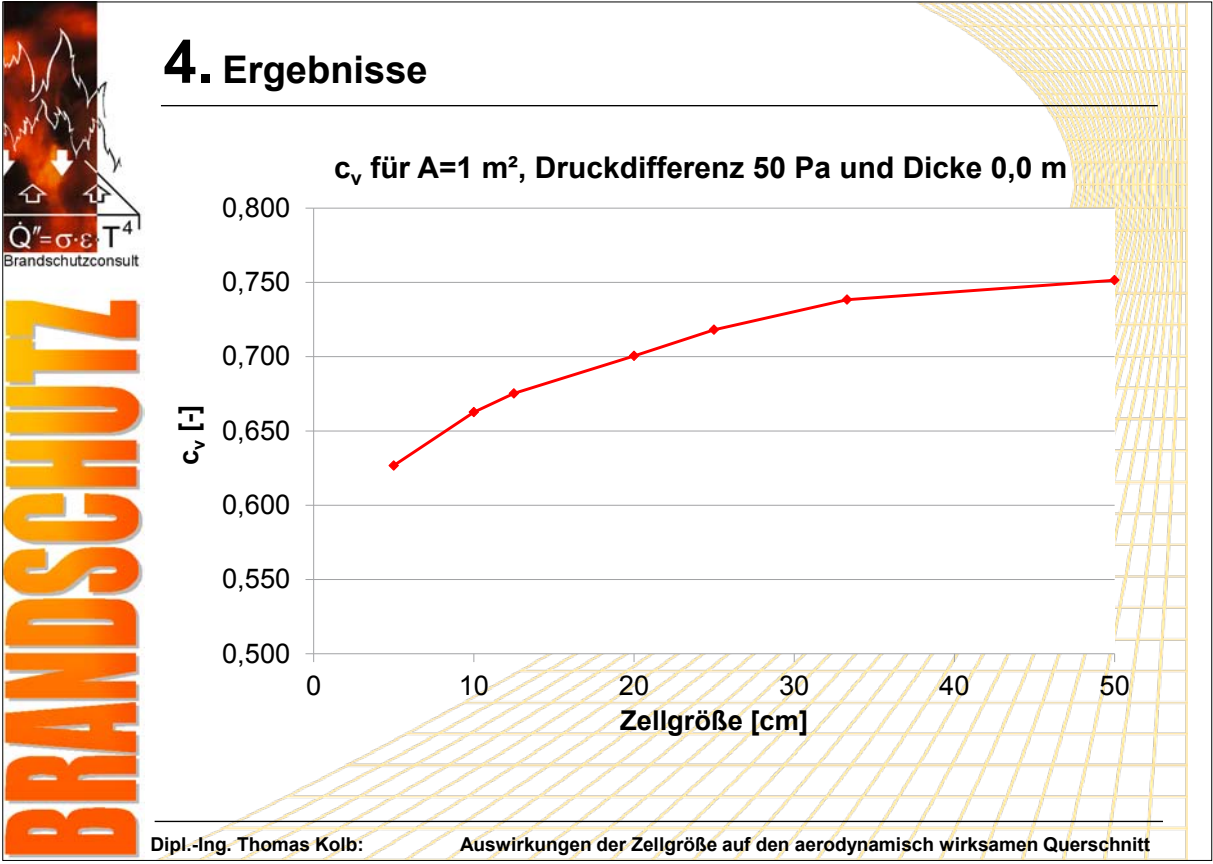
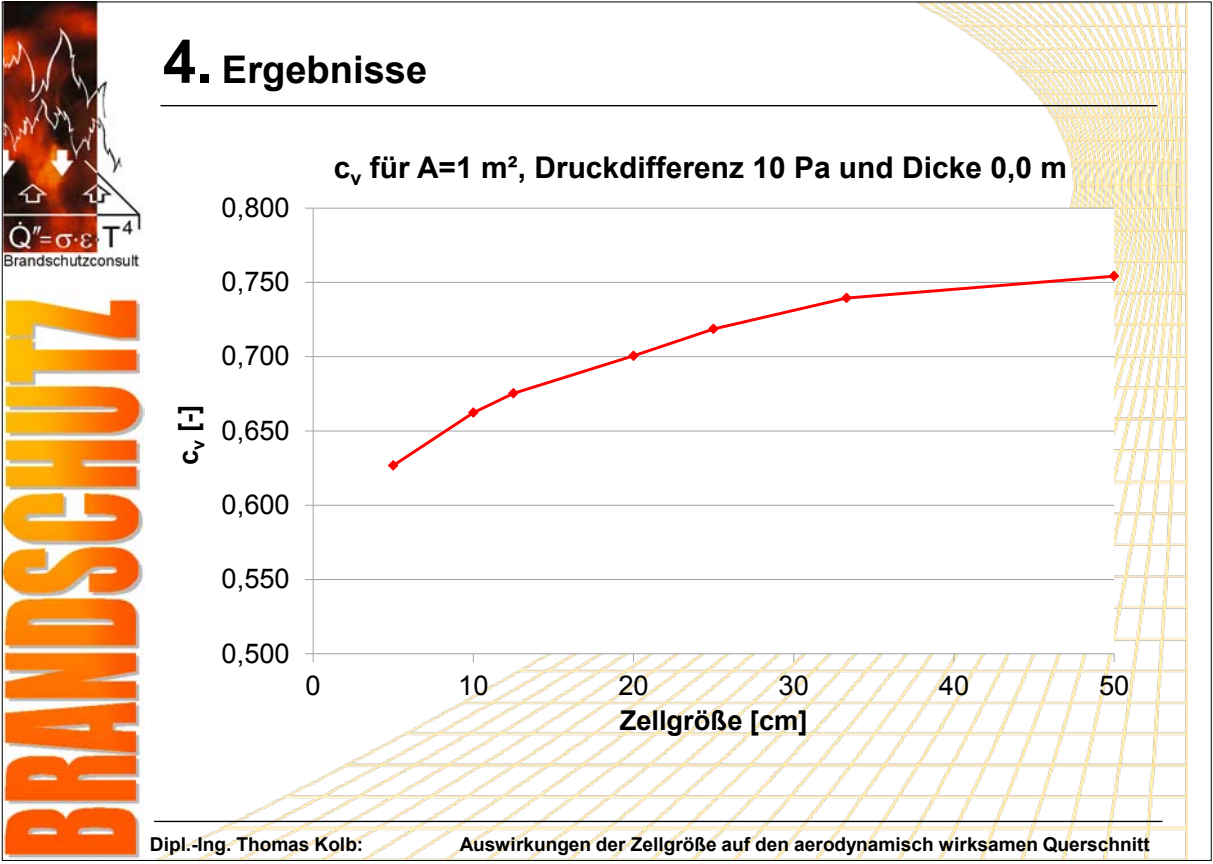
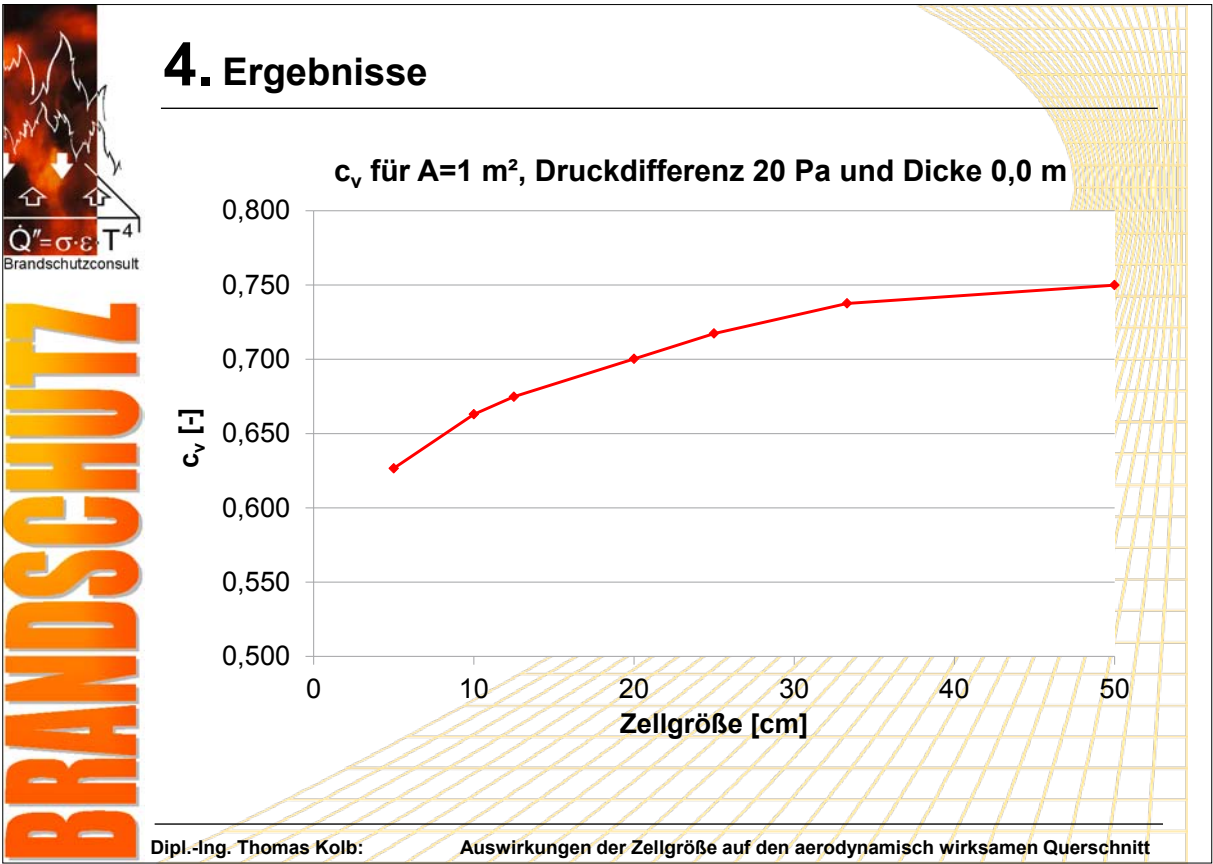
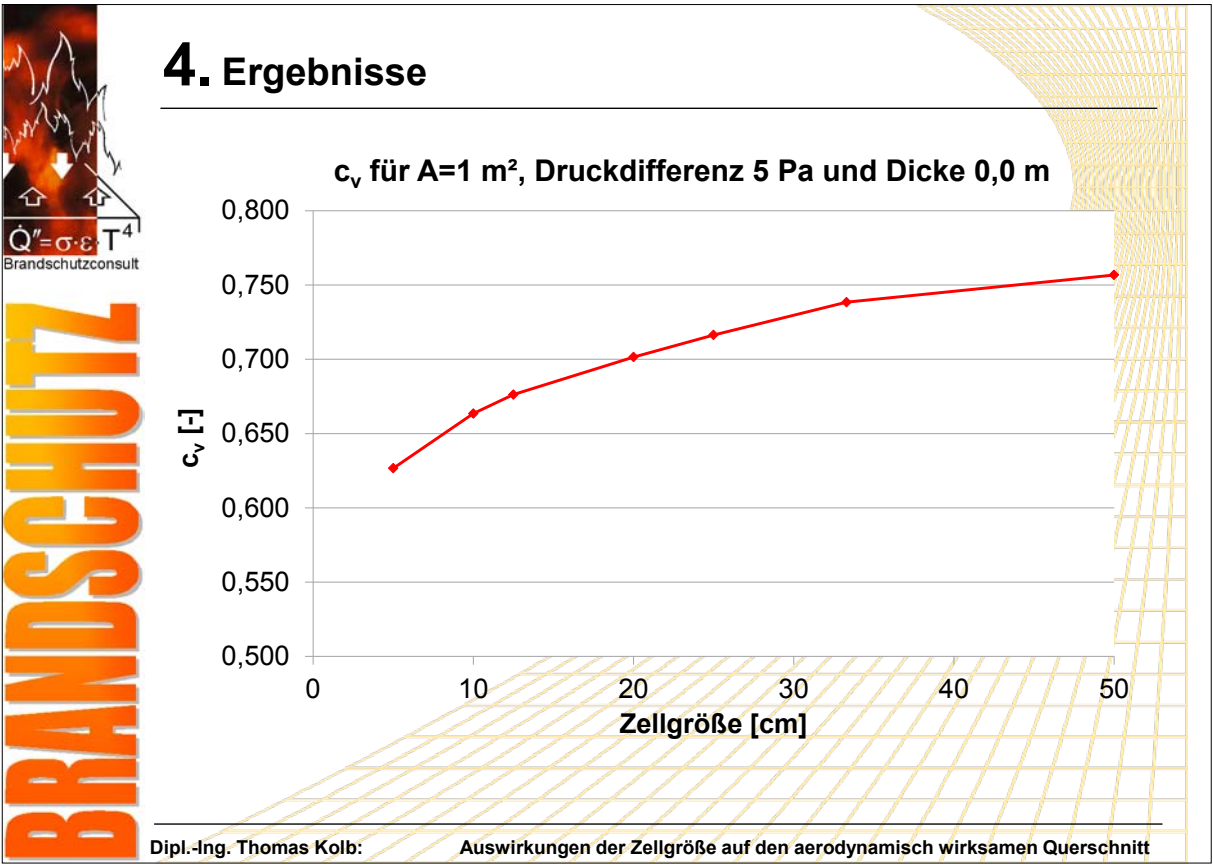
CPU: Core2Duo P9600 2x2,66 GHz mit 6 MB Cache und 1066 MHz FSB
RAM: 4096 MB DDR3 1066 MHz RAM

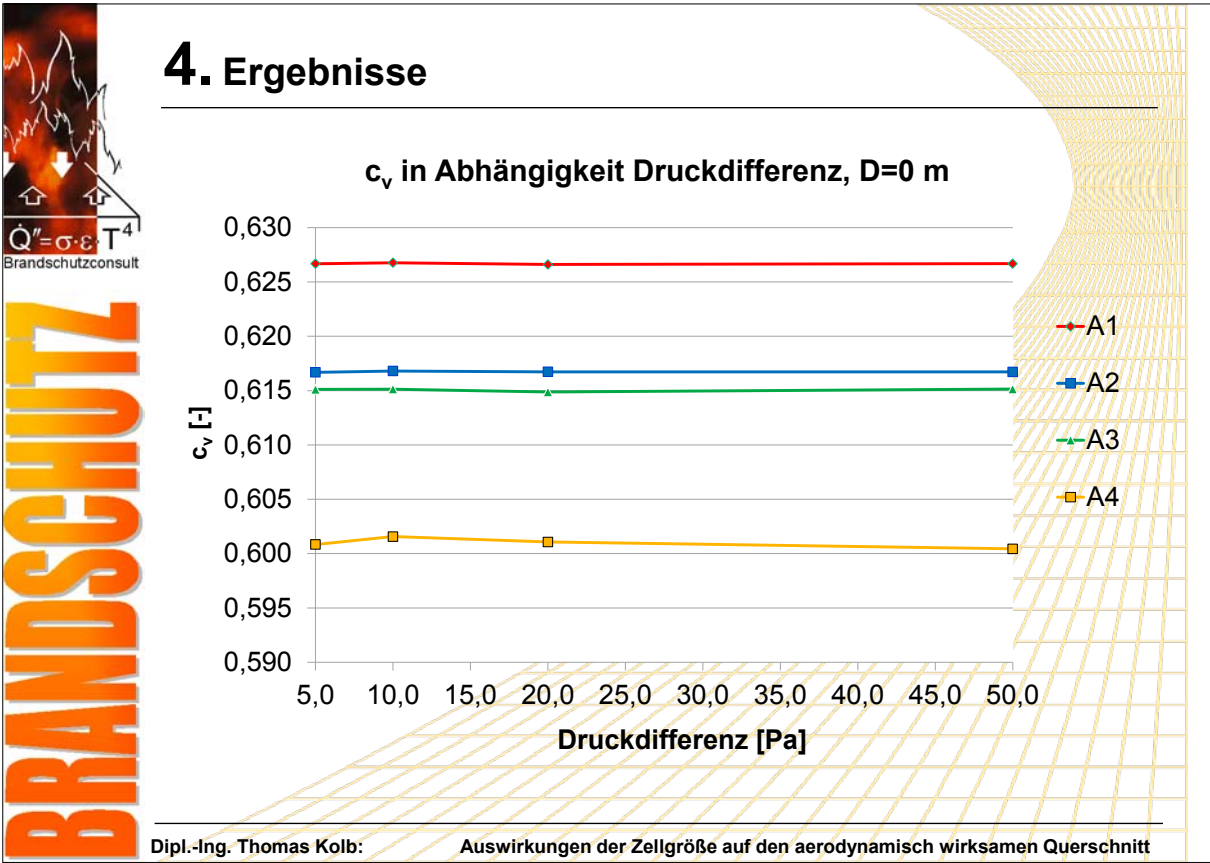
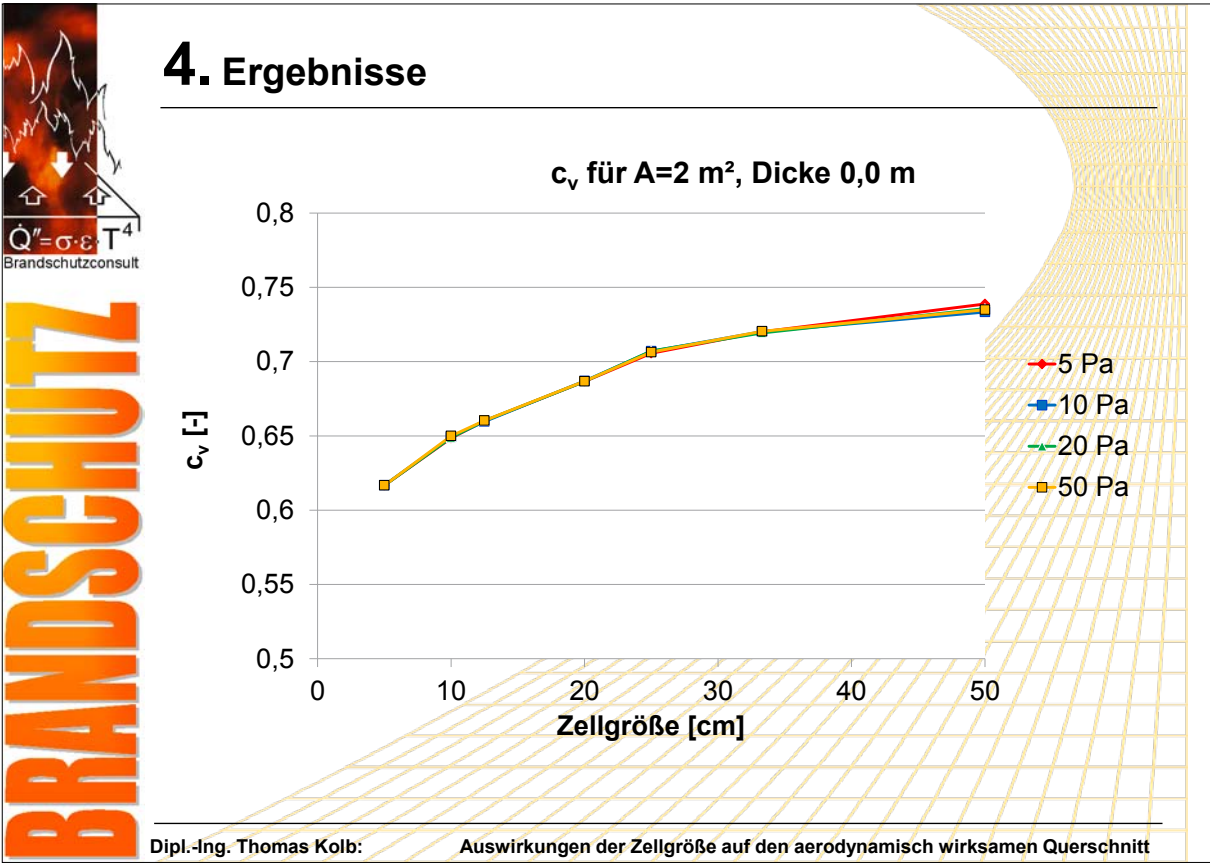
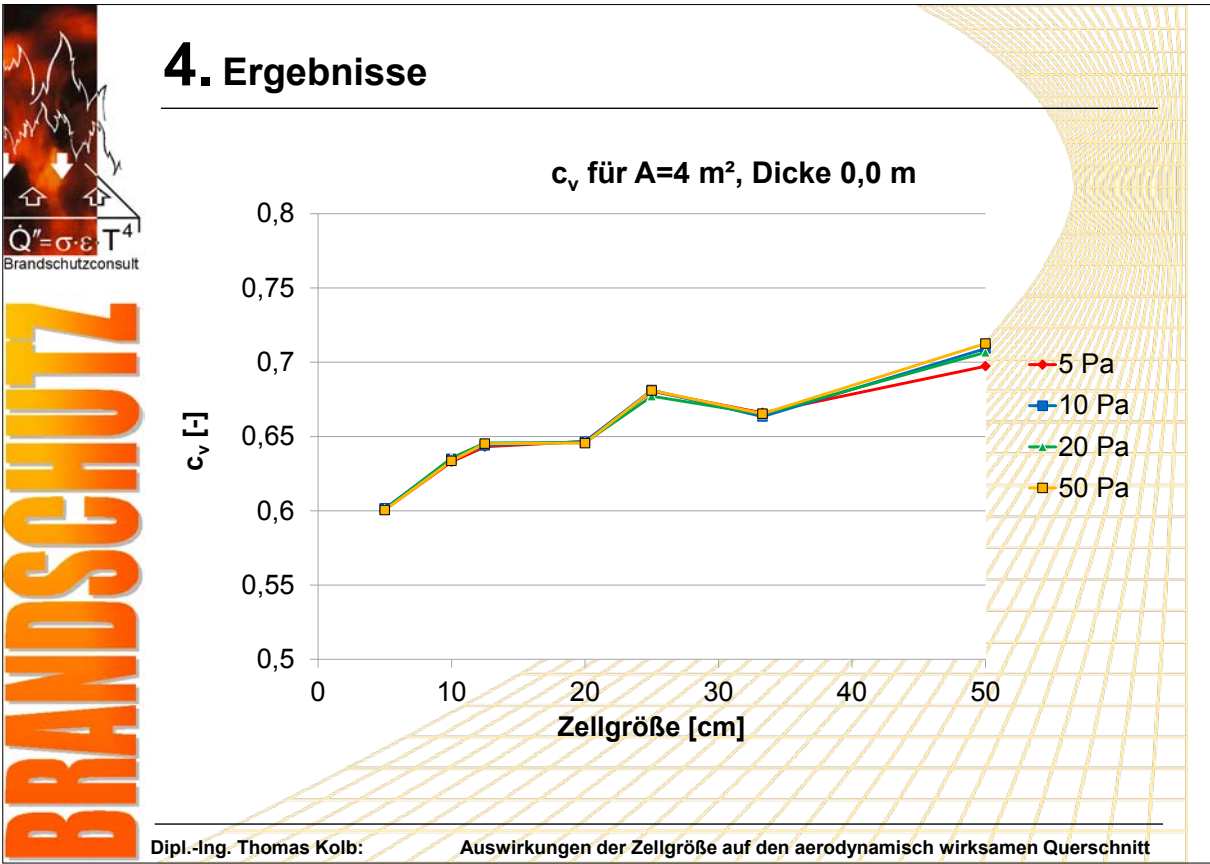
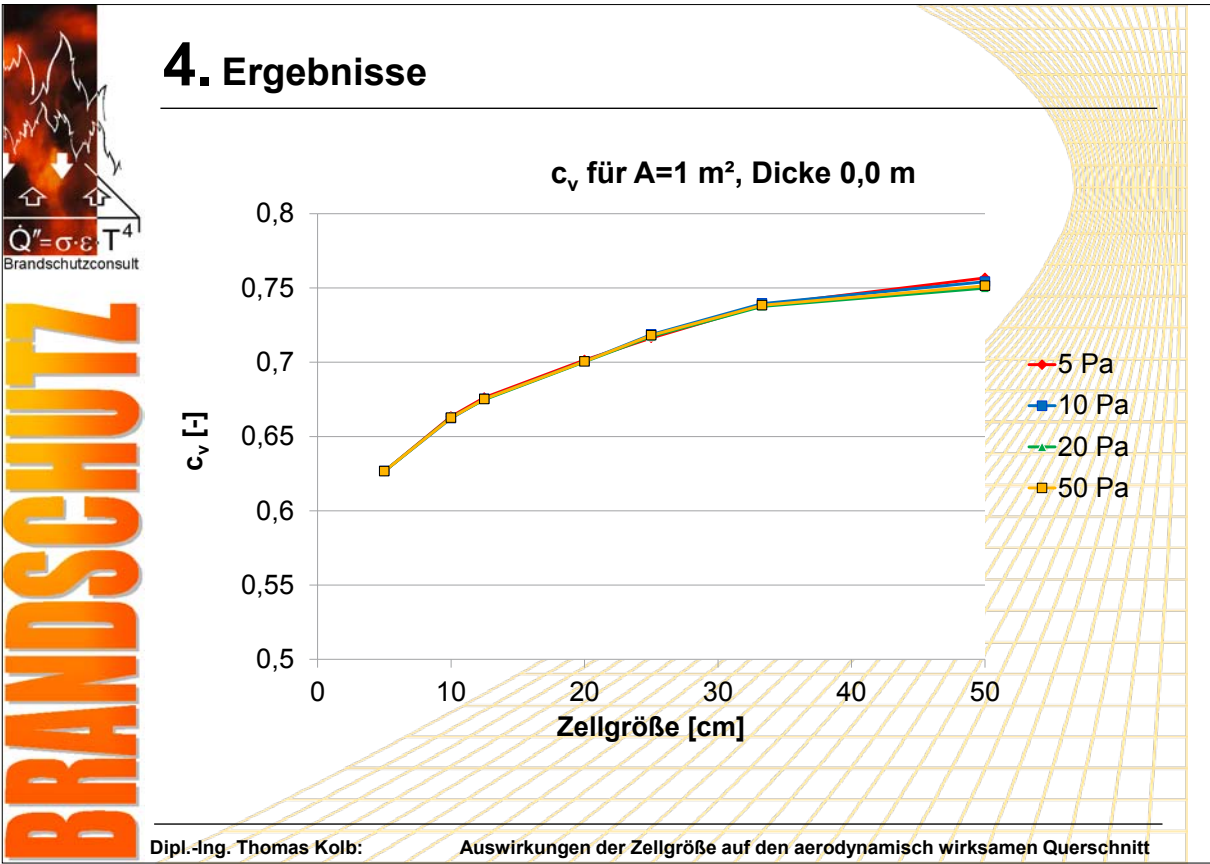
Dipl.-Ing. Thomas Kolb: Auswirkungen der Zellgröße auf den aerodynamisch wirksamen Querschnitt

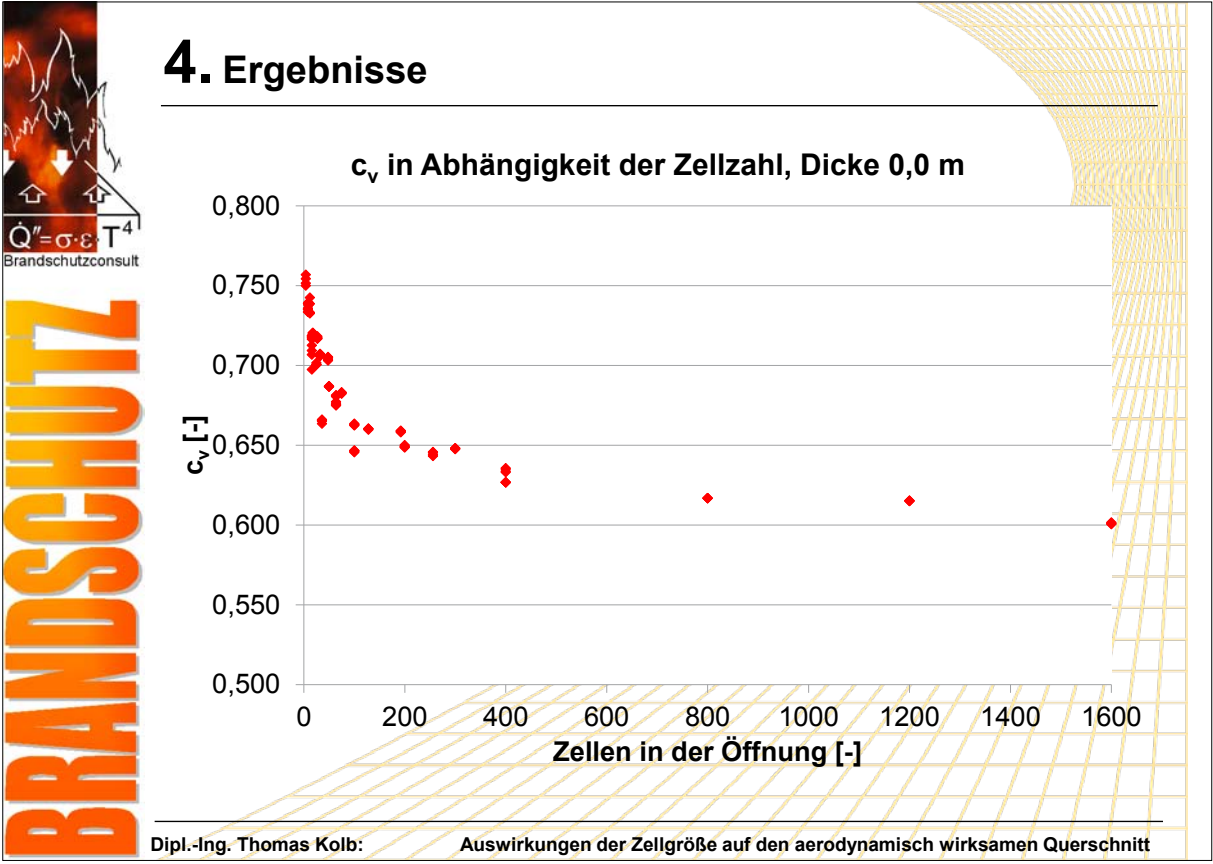
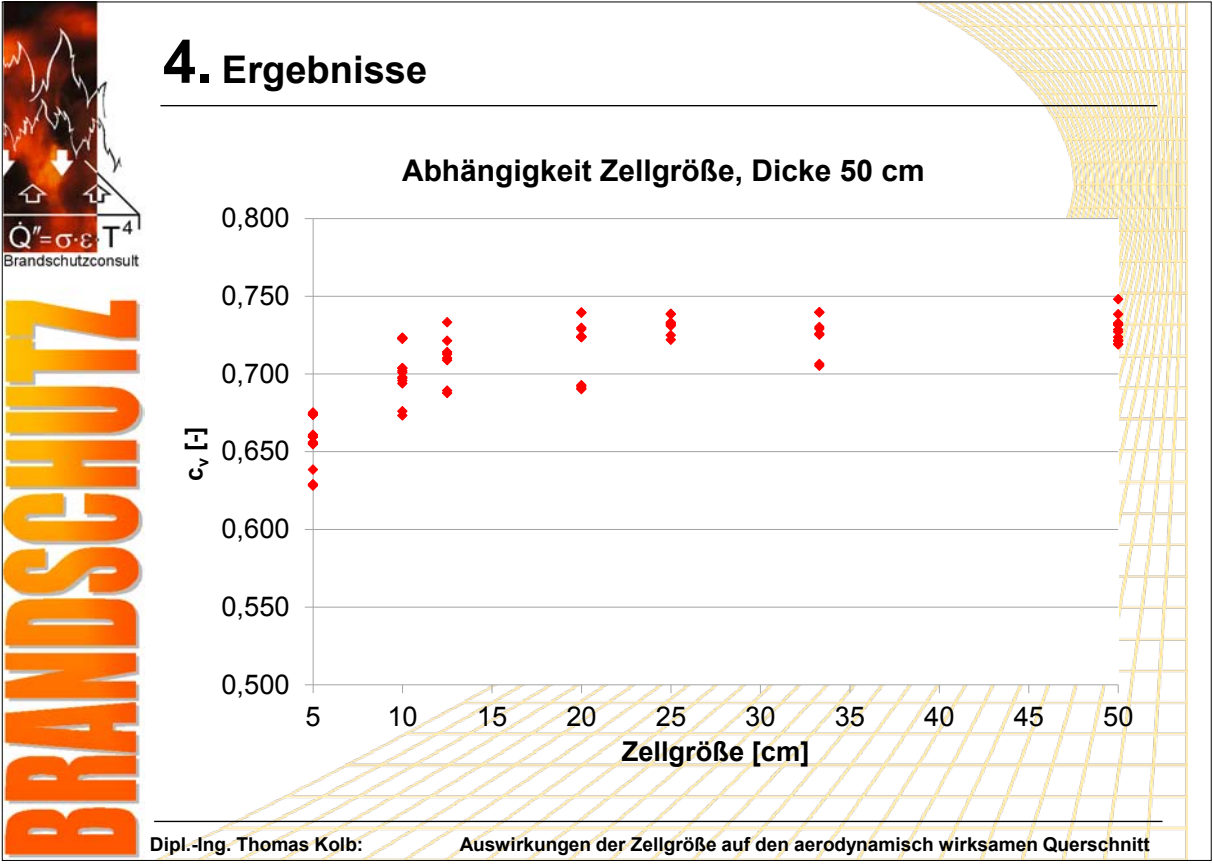
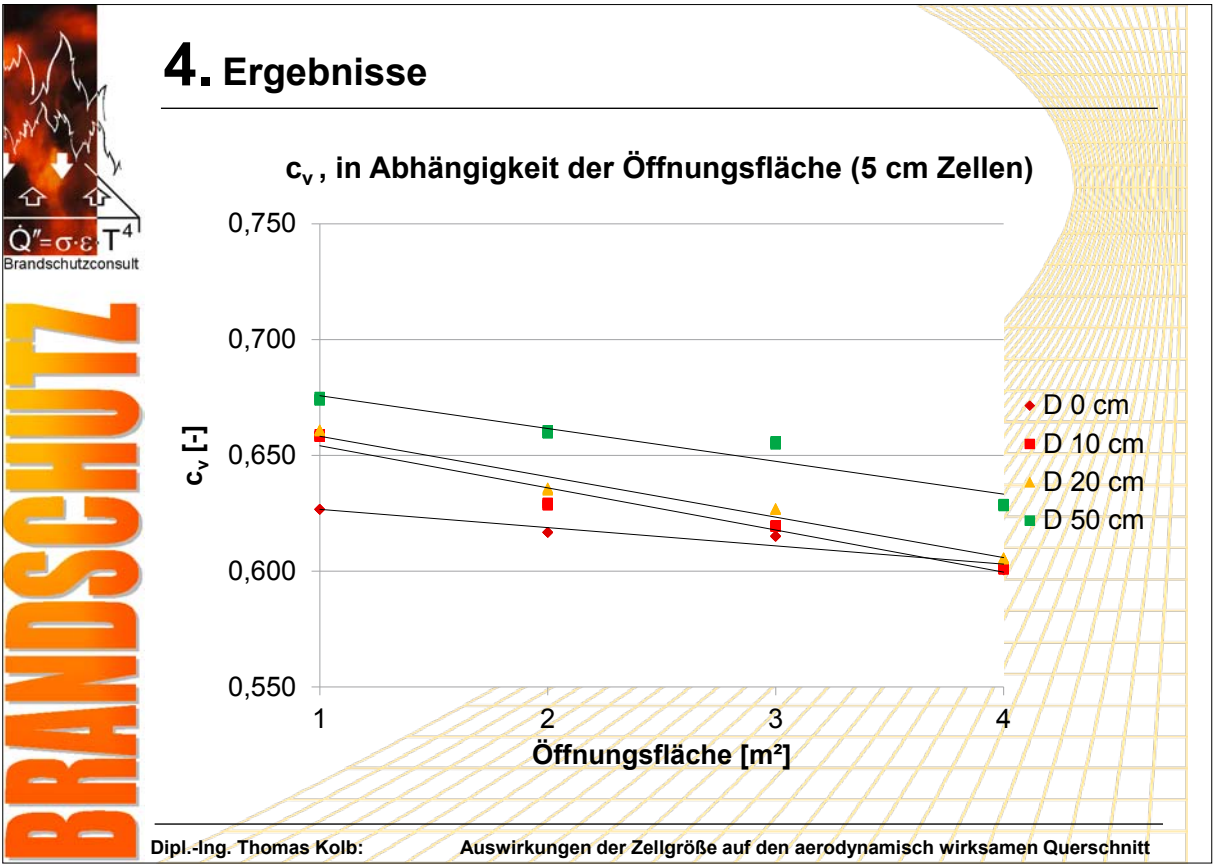
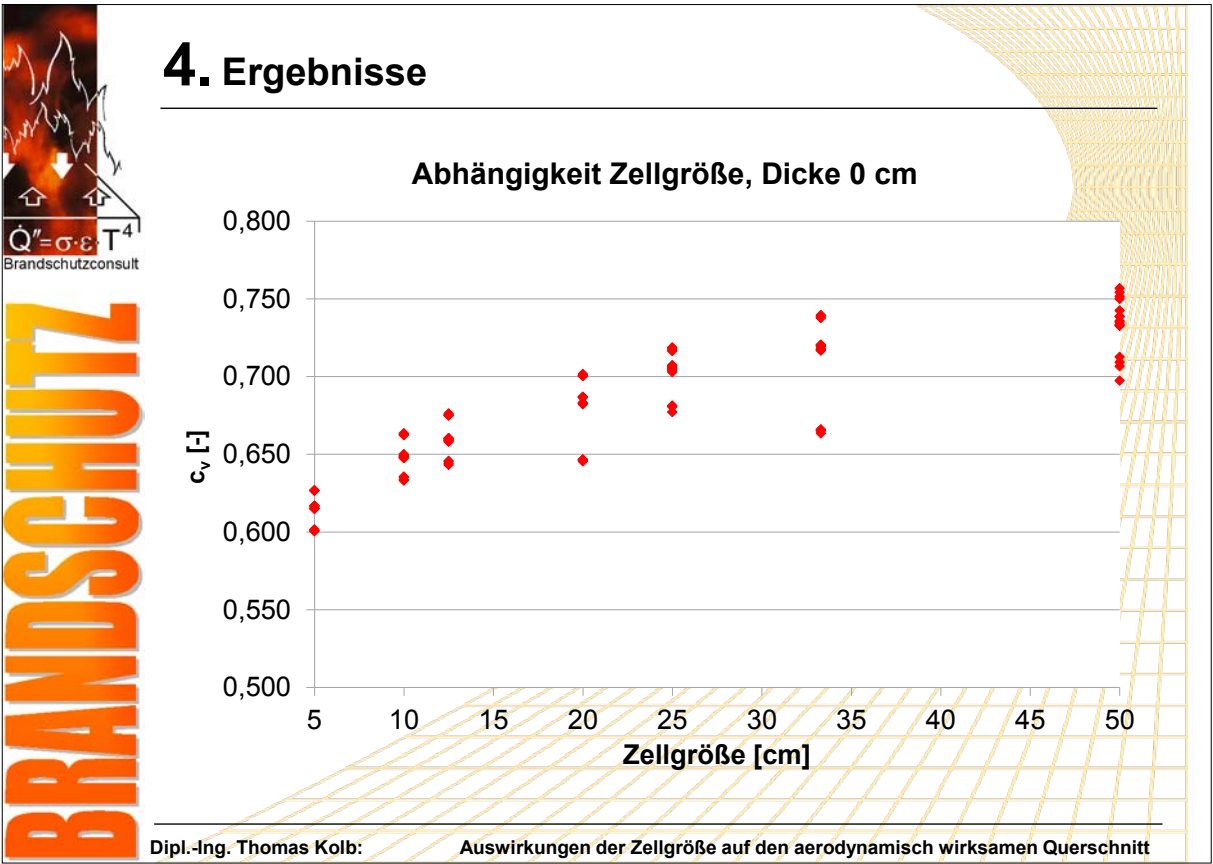


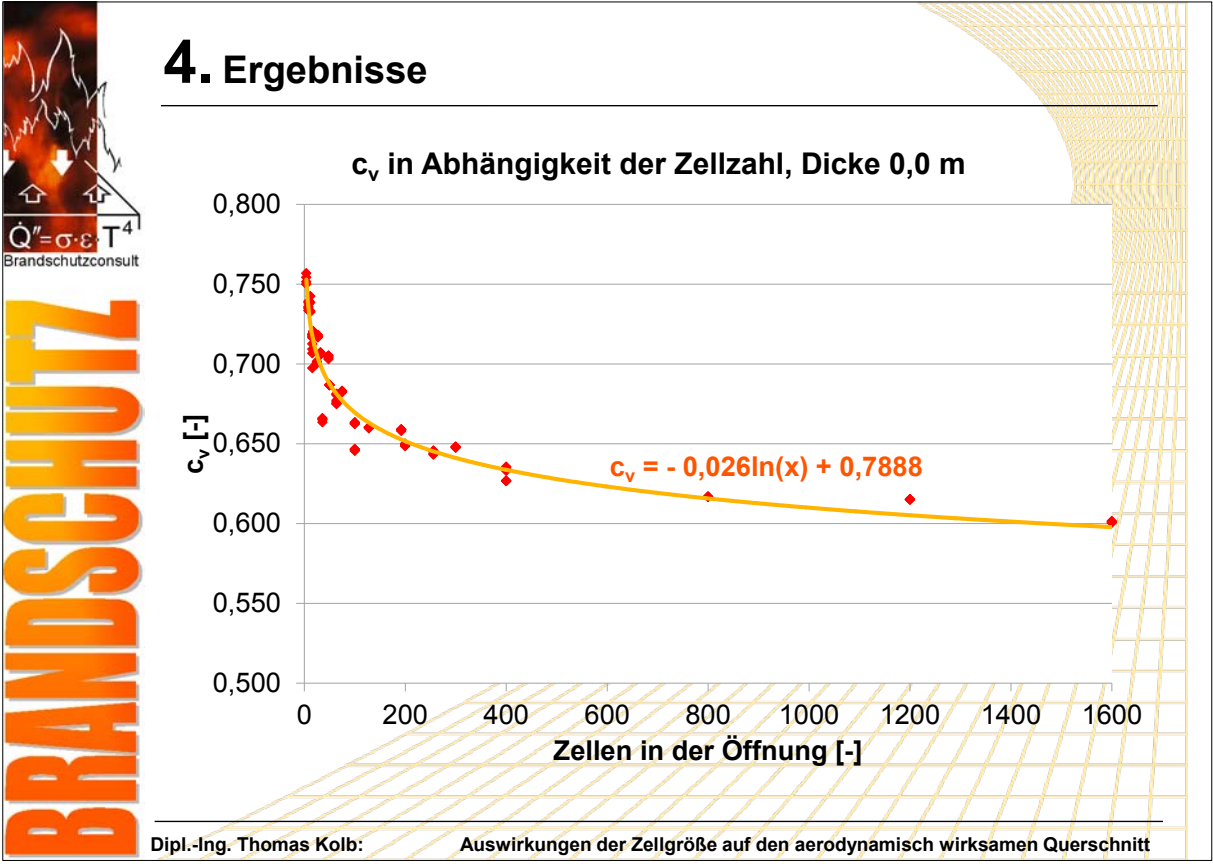
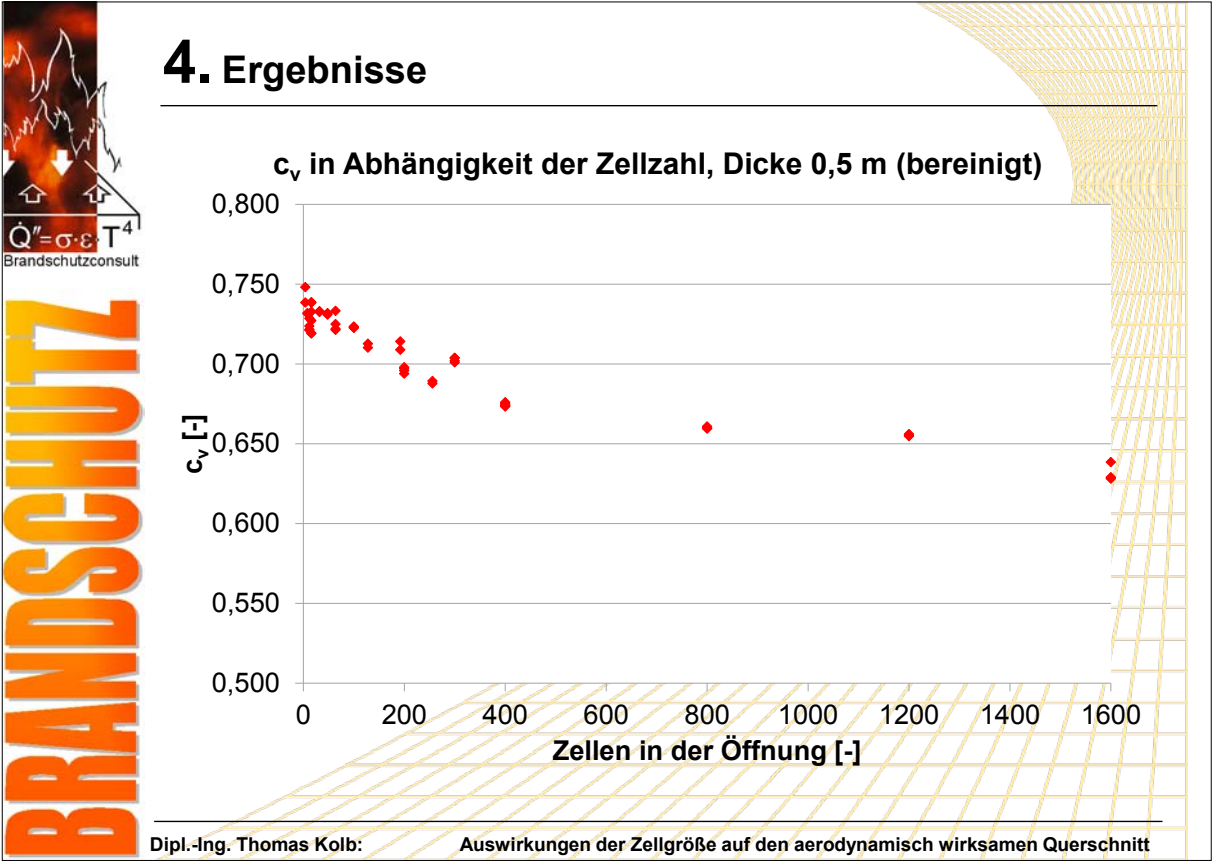
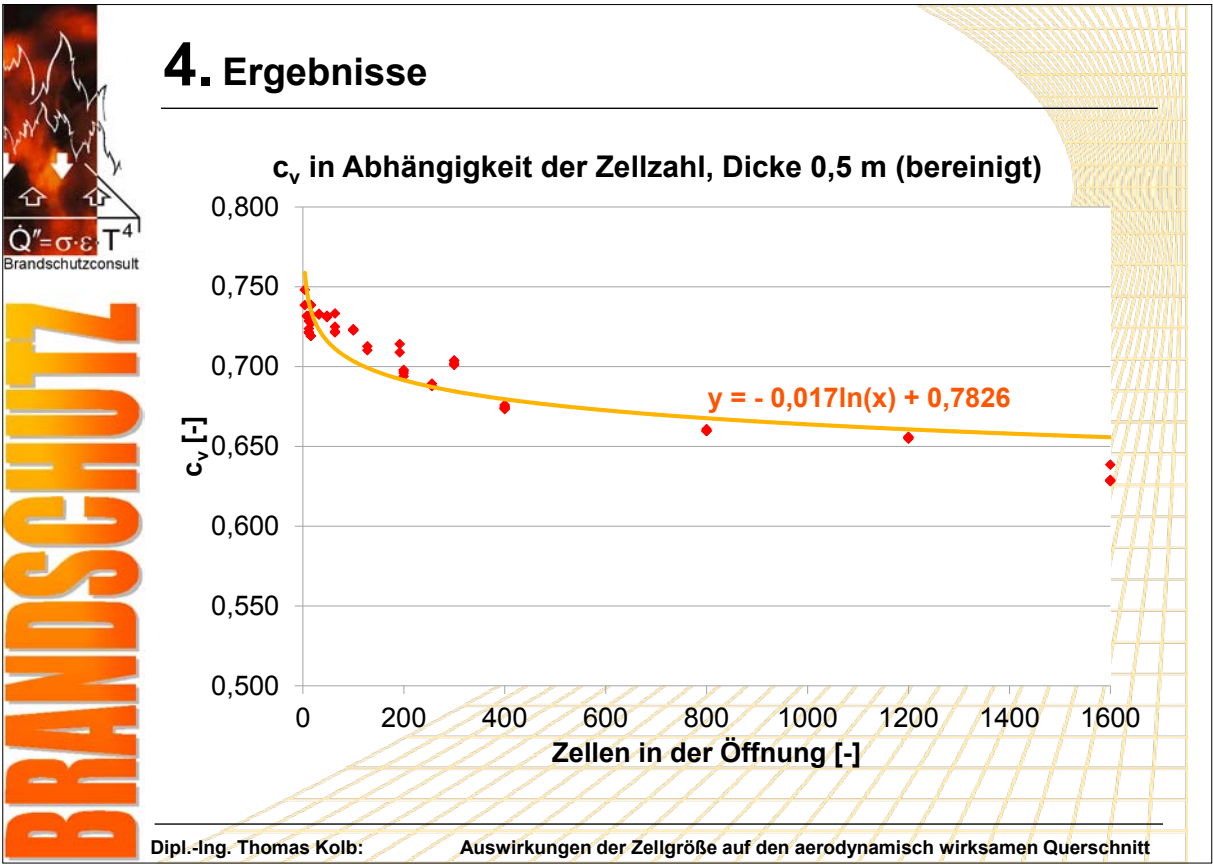
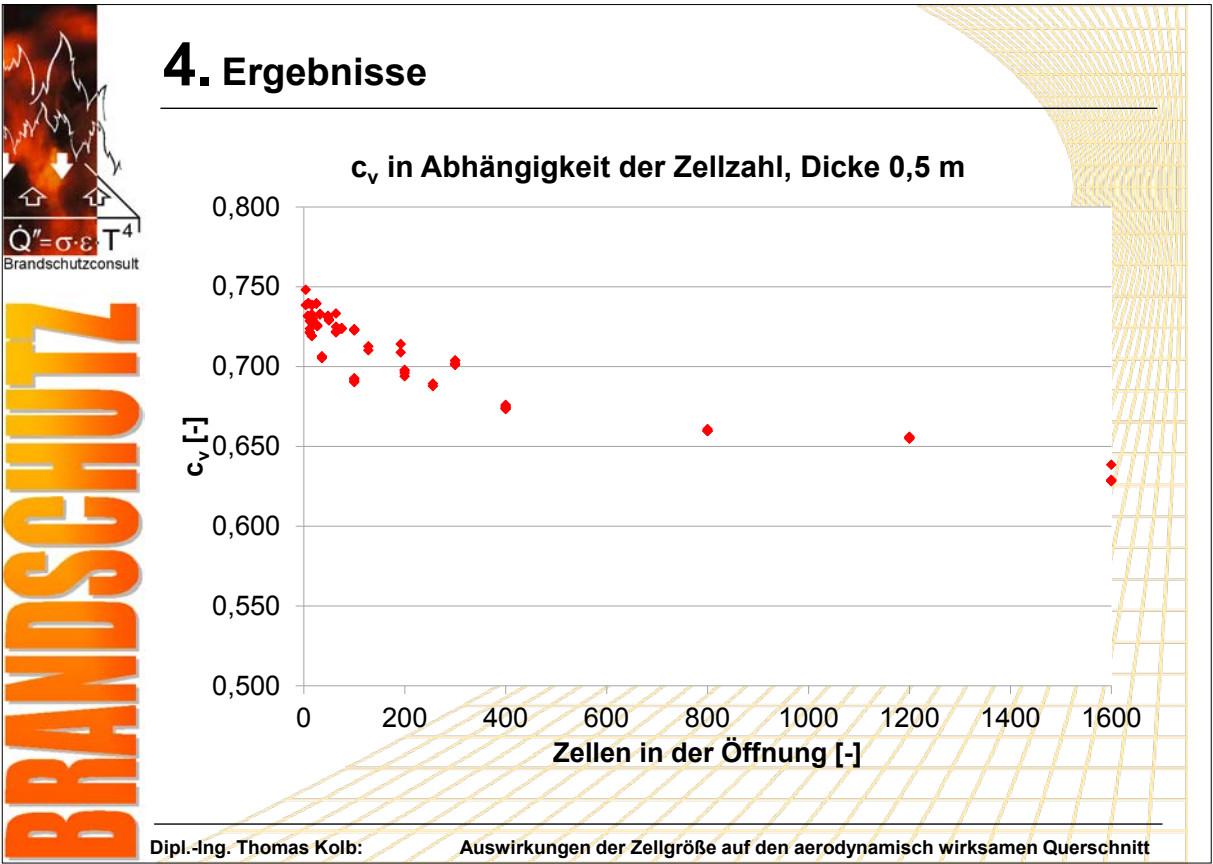


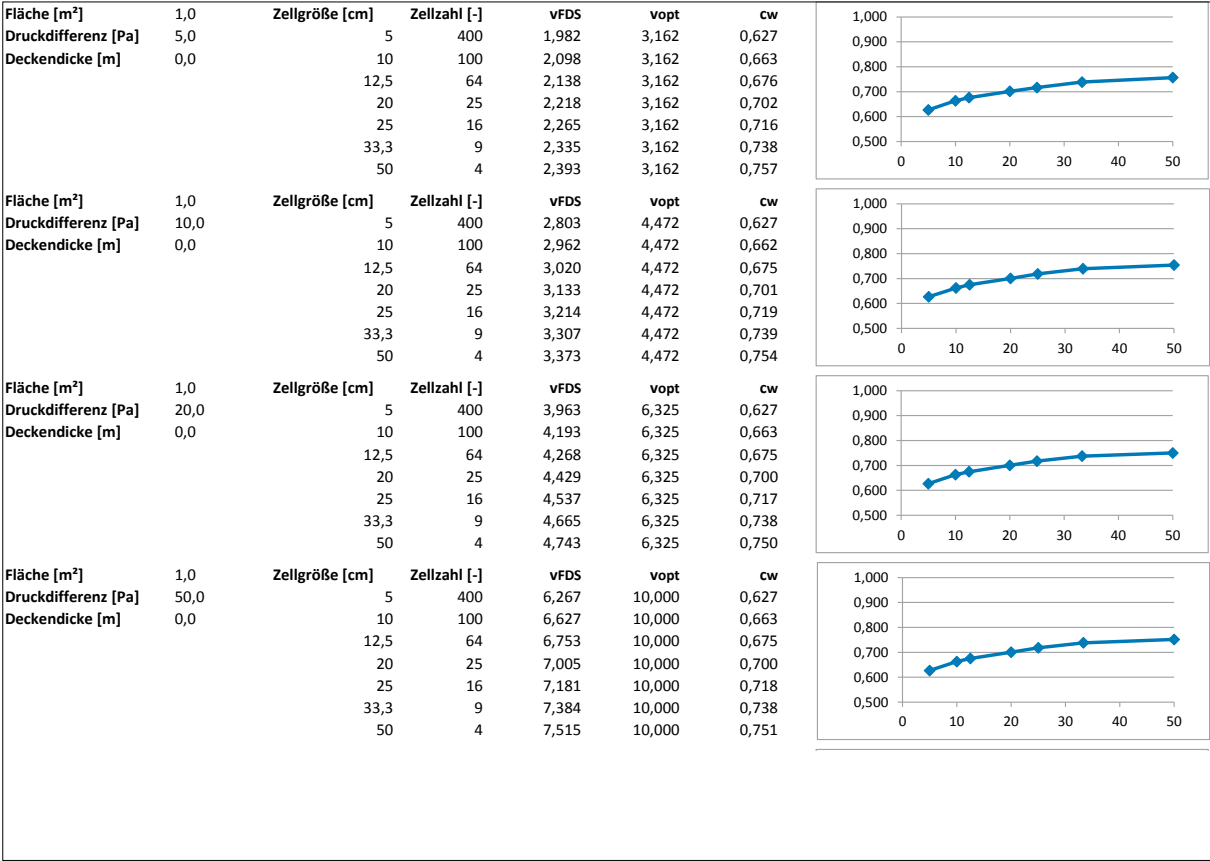
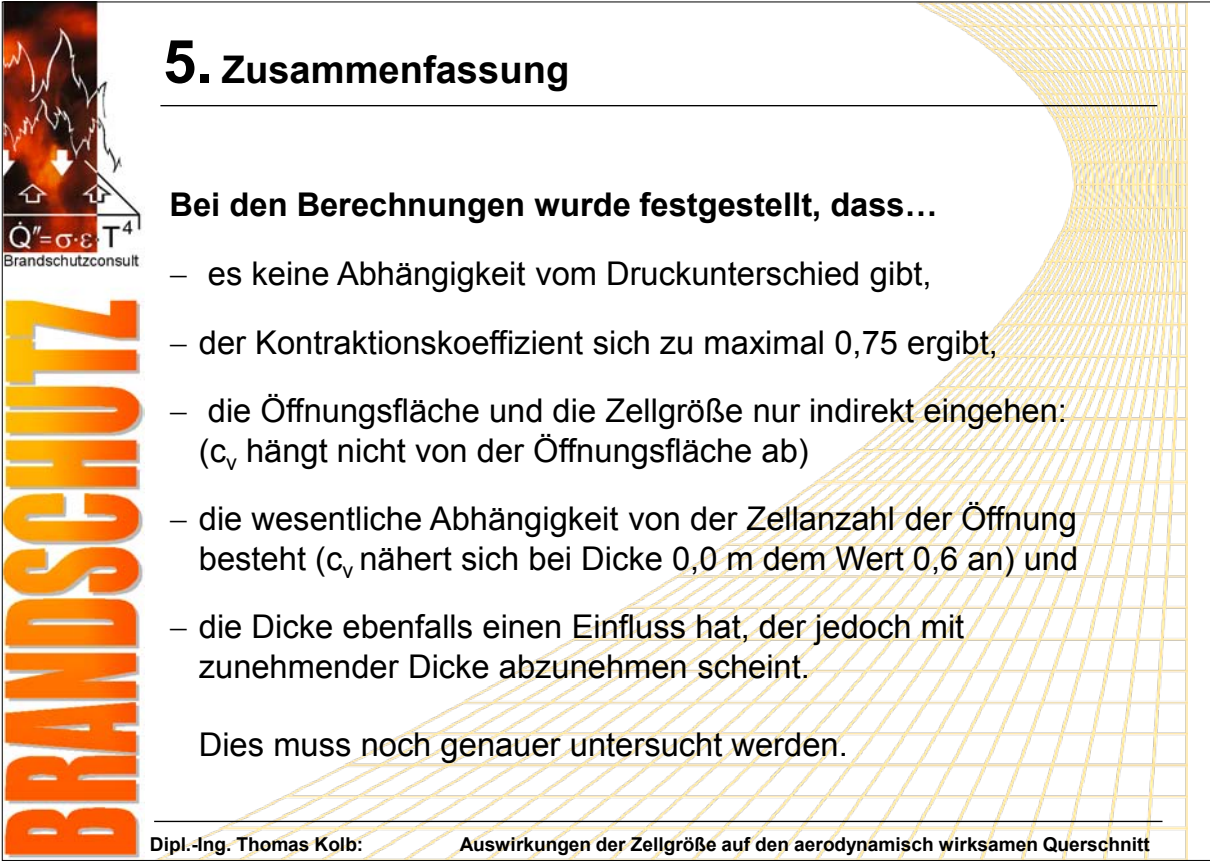
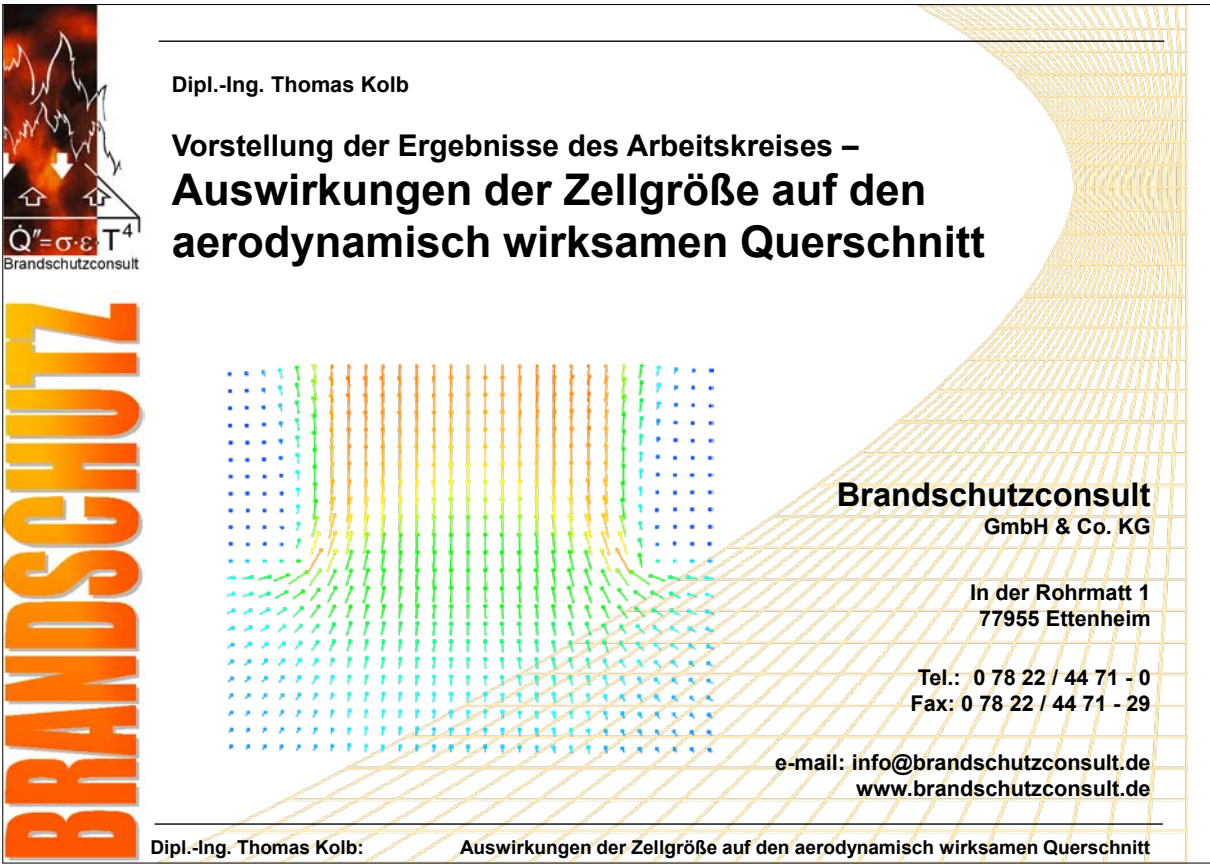
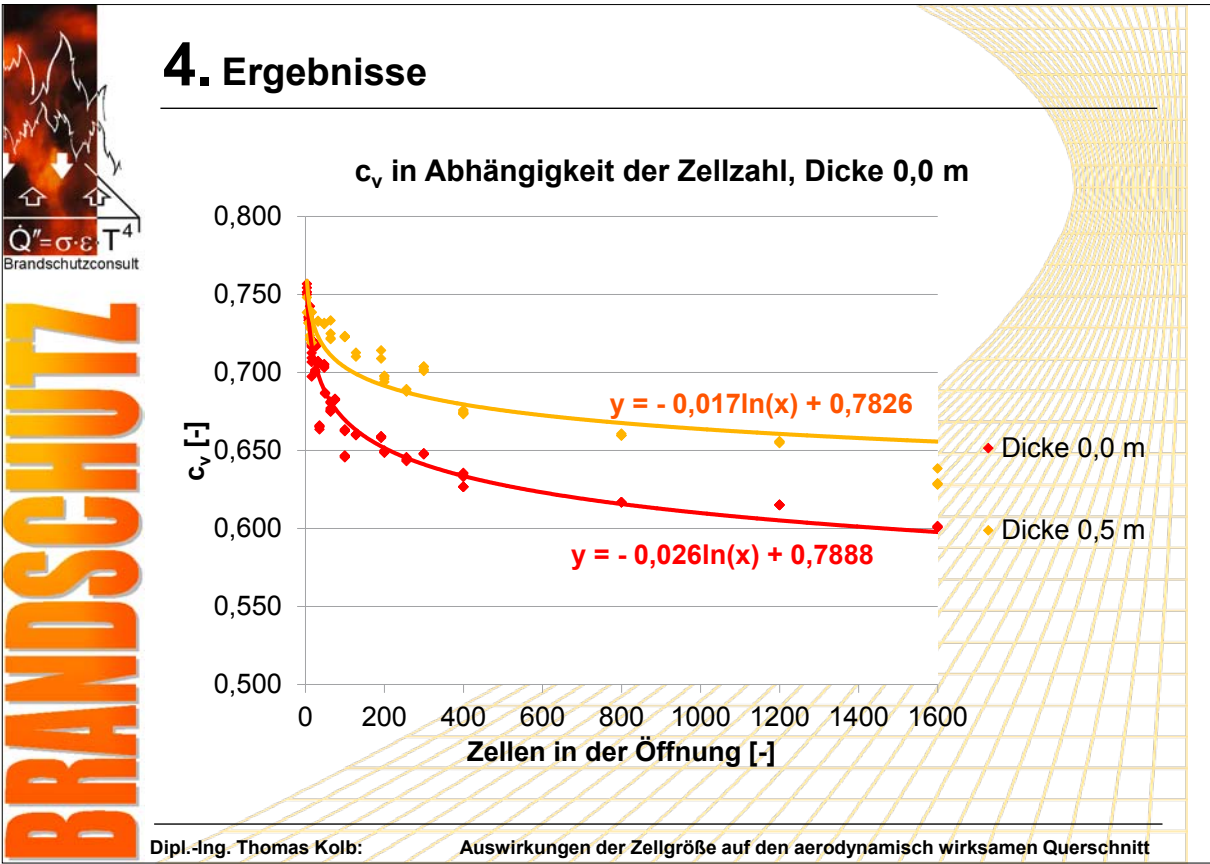












Fläche [m²]	2,0	Zellgröße [cm]	Zellzahl [-]	vFDS	vopt	cw	
Druckdifferenz [Pa]	5,0	5	800	1,950	3,162	0,617	
Deckendicke [m]	0,0	10	200	2,051	3,162	0,648	
		12,5	128	2,087	3,162	0,660	
		20	50	2,171	3,162	0,687	
		25	32	2,231	3,162	0,706	
		33,3	18	2,277	3,162	0,720	
		50	8	2,336	3,162	0,739	
Fläche [m²]	2,0	Zellgröße [cm]	Zellzahl [-]	vFDS	vopt	cw	
Druckdifferenz [Pa]	10,0	5	800	2,758	4,472	0,617	
Deckendicke [m]	0,0	10	200	2,903	4,472	0,649	
		12,5	128	2,950	4,472	0,660	
		20	50	3,072	4,472	0,687	
		25	32	3,162	4,472	0,707	
		33,3	18	3,221	4,472	0,720	
		50	8	3,280	4,472	0,733	
Fläche [m²]	2,0	Zellgröße [cm]	Zellzahl [-]	vFDS	vopt	cw	
Druckdifferenz [Pa]	20,0	5	800	3,901	6,325	0,617	
Deckendicke [m]	0,0	10	200	4,104	6,325	0,649	
		12,5	128	4,176	6,325	0,660	
		20	50	4,342	6,325	0,687	
		25	32	4,473	6,325	0,707	
		33,3	18	4,549	6,325	0,719	
		50	8	4,653	6,325	0,736	
Fläche [m²]	2,0	Zellgröße [cm]	Zellzahl [-]	vFDS	vopt	cw	
Druckdifferenz [Pa]	50,0	5	800	6,167	10,000	0,617	
Deckendicke [m]	0,0	10	200	6,500	10,000	0,650	
		12,5	128	6,603	10,000	0,660	
		20	50	6,868	10,000	0,687	
		25	32	7,064	10,000	0,706	
		33,3	18	7,204	10,000	0,720	
		50	8	7,350	10,000	0,735	

Fläche [m²]	3,0	Zellgröße [cm]	Zellzahl [-]	vFDS	vopt	cw	
Druckdifferenz [Pa]	5,0	5	1200	1,945	3,162	0,615	
Deckendicke [m]	0,0	10	300	2,049	3,162	0,648	
		12,5	192	2,083	3,162	0,659	
		20	75	2,157	3,162	0,682	
		25	48	2,230	3,162	0,705	
		33,3	27	2,271	3,162	0,718	
		50	12	2,316	3,162	0,733	
Fläche [m²]	3,0	Zellgröße [cm]	Zellzahl [-]	vFDS	vopt	cw	
Druckdifferenz [Pa]	10,0	5	1200	2,751	4,472	0,615	
Deckendicke [m]	0,0	10	300	2,895	4,472	0,647	
		12,5	192	2,947	4,472	0,659	
		20	75	3,055	4,472	0,683	
		25	48	3,152	4,472	0,705	
		33,3	27	3,205	4,472	0,717	
		50	12	3,303	4,472	0,738	
Fläche [m²]	3,0	Zellgröße [cm]	Zellzahl [-]	vFDS	vopt	cw	
Druckdifferenz [Pa]	20,0	5	1200	3,889	6,325	0,615	
Deckendicke [m]	0,0	10	300	4,098	6,325	0,648	
		12,5	192	4,161	6,325	0,658	
		20	75	4,318	6,325	0,683	
		25	48	4,446	6,325	0,703	
		33,3	27	4,535	6,325	0,717	
		50	12	4,696	6,325	0,742	
Fläche [m²]	3,0	Zellgröße [cm]	Zellzahl [-]	vFDS	vopt	cw	
Druckdifferenz [Pa]	50,0	5	1200	6,151	10,000	0,615	
Deckendicke [m]	0,0	10	300	6,477	10,000	0,648	
		12,5	192	6,586	10,000	0,659	
		20	75	6,827	10,000	0,683	
		25	48	7,039	10,000	0,704	
		33,3	27	7,172	10,000	0,717	
		50	12	7,331	10,000	0,733	

Fläche [m²]	4,0	Zellgröße [cm]	Zellzahl [-]	vFDS	vopt	cw	
Druckdifferenz [Pa]	5,0	5	1600	1,9	3,162	0,601	
Deckendicke [m]	0,0	10	400	2,002	3,162	0,633	
		12,5	256	2,034	3,162	0,643	
		20	100	2,045	3,162	0,647	
		25	64	2,152	3,162	0,680	
		33,3	36	2,106	3,162	0,666	
		50	16	2,205	3,162	0,697	
Fläche [m²]	4,0	Zellgröße [cm]	Zellzahl [-]	vFDS	vopt	cw	
Druckdifferenz [Pa]	10,0	5	1600	2,690	4,472	0,602	
Deckendicke [m]	0,0	10	400	2,840	4,472	0,635	
		12,5	256	2,880	4,472	0,644	
		20	100	2,891	4,472	0,647	
		25	64	3,047	4,472	0,681	
		33,3	36	2,967	4,472	0,663	
		50	16	3,172	4,472	0,709	
Fläche [m²]	4,0	Zellgröße [cm]	Zellzahl [-]	vFDS	vopt	cw	
Druckdifferenz [Pa]	20,0	5	1600	3,802	6,325	0,601	
Deckendicke [m]	0,0	10	400	4,020	6,325	0,636	
		12,5	256	4,084	6,325	0,646	
		20	100	4,086	6,325	0,646	
		25	64	4,283	6,325	0,677	
		33,3	36	4,206	6,325	0,665	
		50	16	4,469	6,325	0,707	
Fläche [m²]	4,0	Zellgröße [cm]	Zellzahl [-]	vFDS	vopt	cw	
Druckdifferenz [Pa]	50,0	5	1600	6,004	10,000	0,600	
Deckendicke [m]	0,0	10	400	6,337	10,000	0,634	
		12,5	256	6,452	10,000	0,645	
		20	100	6,455	10,000	0,646	
		25	64	6,810	10,000	0,681	
		33,3	36	6,654	10,000	0,665	
		50	16	7,126	10,000	0,713	

Andreas Meunders:**Brandversuch an der FFB in Karlsruhe - Versuchsauswertung und Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse****Abstract:**

Während des Treffens der FDS Usergroup Arbeitsgruppe NRW am 28. Juni 2013 wurde ein Brandversuch an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik in Karlsruhe durchgeführt. Im Fokus des Versuchs standen die Temperaturverteilung im Brandraum, die Erwärmung eines Prüfkörpers sowie die Auslösezeitpunkte mehrerer installierter Sprinkler. Zu diesem Zweck wurde unter Verwendung von zwei Propanbrennern eine Brandleistung von 400kW in den 25m² großen Versuchsraum eingebracht. Der Raum selbst hatte zwei vertikal angeordnete Öffnungen und befand sich innerhalb einer größeren Halle, so dass der Versuch unter kontrollierten Umgebungsbedingungen durchgeführt werden konnte.

Im Nachgang des Experiments wurden durch verschiedene Mitglieder der FDS Usergroup Simulationen des Versuchs durchgeführt. Dabei wurde stets die gleiche FDS Eingabedatei genutzt, die jeweils durch eigene Materialwerte ergänzt werden musste.

Im Vortrag werden die unterschiedlichen Simulationsergebnisse sowie die experimentell ermittelten Werte gegenübergestellt und diskutiert. Außerdem werden auf der Grundlage eines repräsentativen Parametersatzes weitergehende Untersuchungen, wie zur Sensitivität der Ergebnisse in Bezug auf Parameteränderungen und zur Änderung der Gitterauflösung durchgeführt.

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



Andreas Meunders
FDS Usergroup Treffen - Berlin 2013

Brandversuch an der FFB in Karlsruhe

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



GLIEDERUNG

Teil 1: Auswertung der Versuche und Simulationen


- Erläuterung des Versuchs
- Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse
- Detaillierter Vergleich: Simulation und Experiment

Teil 2: Sensitivitätsanalyse

- Einführung
- Exemplarische Durchführung

Zusammenfassung

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE




BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Teil 1

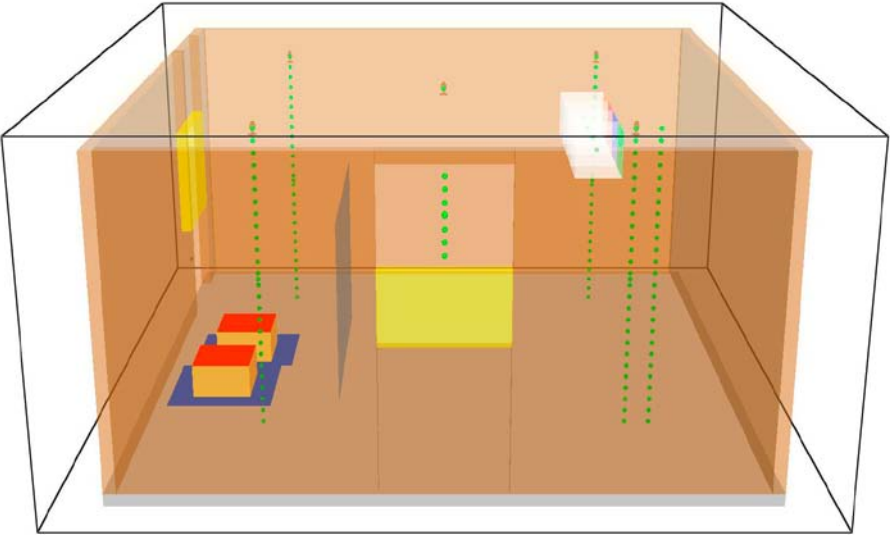
AUSWERTUNG DER VERSUCHE
UND SIMULATIONEN

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE




BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

VERSUCHSAUFBAU



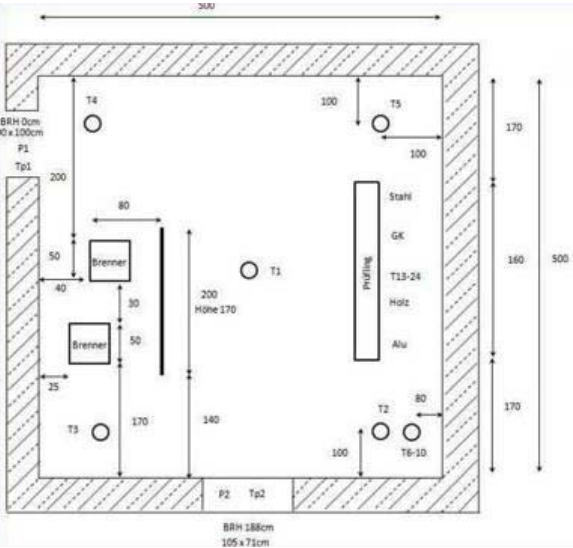
Brandversuch der FDS Usergroup (AG NRW) in Karlsruhe

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

VERSUCHSAUFBAU




Raumgröße: 25 m²
Raumhöhe: 2.70 m
Türöffnung: 0.90 m²
Fensteröffnung: 0.75 m²
Brennerleistung: 400 kW
Brennerluft: 1.000 m³/h

Im Experiment: 120 m³/h

Messtechnik:

- Auslösezeitpunkte der Sprinkler
- Temperaturen in 0.5/1.0/1.5/2.0/2.5 m Höhe
- Temperaturen unter der Decke
- Temperaturen in den Öffnungen
- Temperaturen im/am Prüfkörper

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE




BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

VERSUCHSÜBERSICHT

	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
HRR _{Zünd}	Unterschiedlich	Unterschiedlich	Unterschiedlich
HRR _{Konstant}		400 kW	
Auslösetemperatur Sprinkler		68 °C	
RTI Wert Sprinkler	32 (ms) ^{0.5}	32 (ms) ^{0.5}	90 (ms) ^{0.5}
Geometrie		Identisch	

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



BETEILIGTE BÜROS / INSTITUTE

Durchführung der Experimente

– Forschungsstelle für Brandschutztechnik Karlsruhe

– FDS Usergroup Arbeitsgruppe NRW

Durchführung der Simulationen

– FFB Karlsruhe

– HHP Berlin

– Halfkann + Kirchner

– I.F.I. Aachen


– insa4 Brandschutzingenieure

– Linde Engineering

– Ingenieurbüro Riesener

– Christian Rogsch

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



MATERIALPARAMETER ÜBERSICHT


	Sim	1	2	3	4	5	6 / 10	7	8
Aluminium	Density kg/m³	2700	2700	2710	2700	2700	2700	2700	2700
	Conductivity (T=50°C) W/(m*K)	200	236	200	218	200	208	143.5	180
	Specific Heat (T=50°C) kJ/(kg*K)	0.897	8.37	0.897	0.89	0.9	0.897	0.924	0.9
Holz	Density kg/m³	700	500	600	540	570	600	575	640
	Conductivity (T=50°C) W/(m*K)	0.15	0.13	0.18	0.166	0.2	0.13	0.12	0.142
	Specific Heat (T=50°C) kJ/(kg*K)	1.9	1.6	2.1	2.4	1.3	1.26	1.65	1.9
Gipskarton	Density kg/m³	900	900	678	678	790	678	810	945
	Conductivity (T=50°C) W/(m*K)	0.25	0.21	0.24	0.21	0.16	0.2	0.34	0.2
	Specific Heat (T=50°C) kJ/(kg*K)	1	1	0.95	0.9	0.9	0.9	1.04	1.7
Stahl	Density kg/m³	7850	7.77	7897	7801	7850	7850	7850	7850
	Conductivity (T=50°C) W/(m*K)	50	26	73	43	45.8	35	52.35	50
	Specific Heat (T=50°C) kJ/(kg*K)	0.48	0.43	0.45	0.47	0.46	0.48	0.46	0.50

94

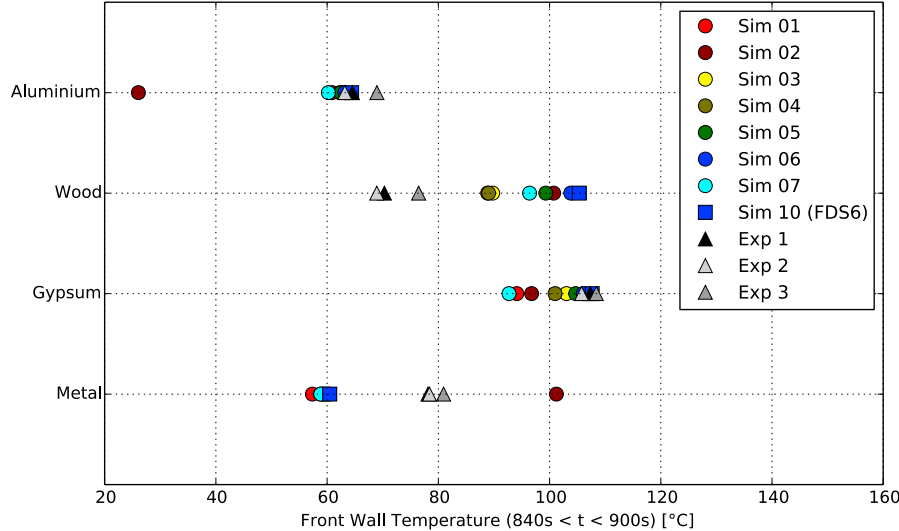
FDS|USERGROUP

7. ANWENDERTREFFEN


ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



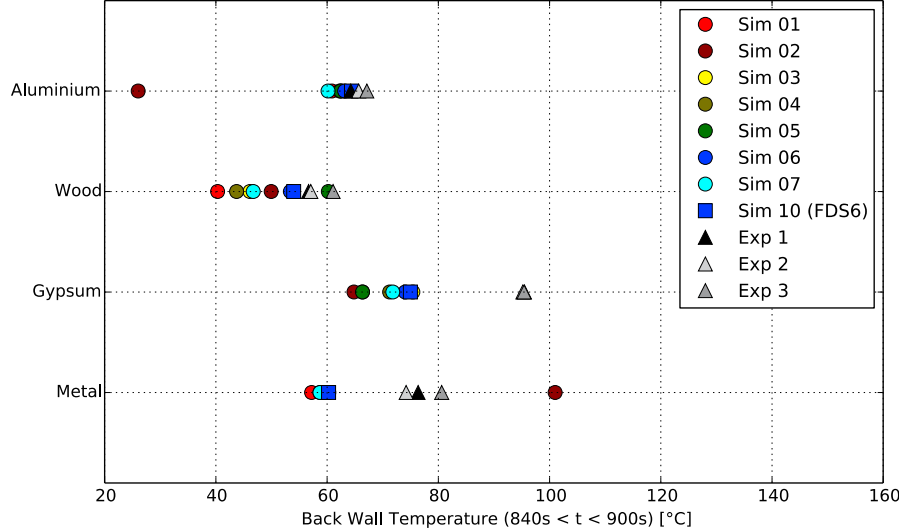
TEMPERATUREN DES PRÜFKÖRPERS - MATERIALPARAMETER



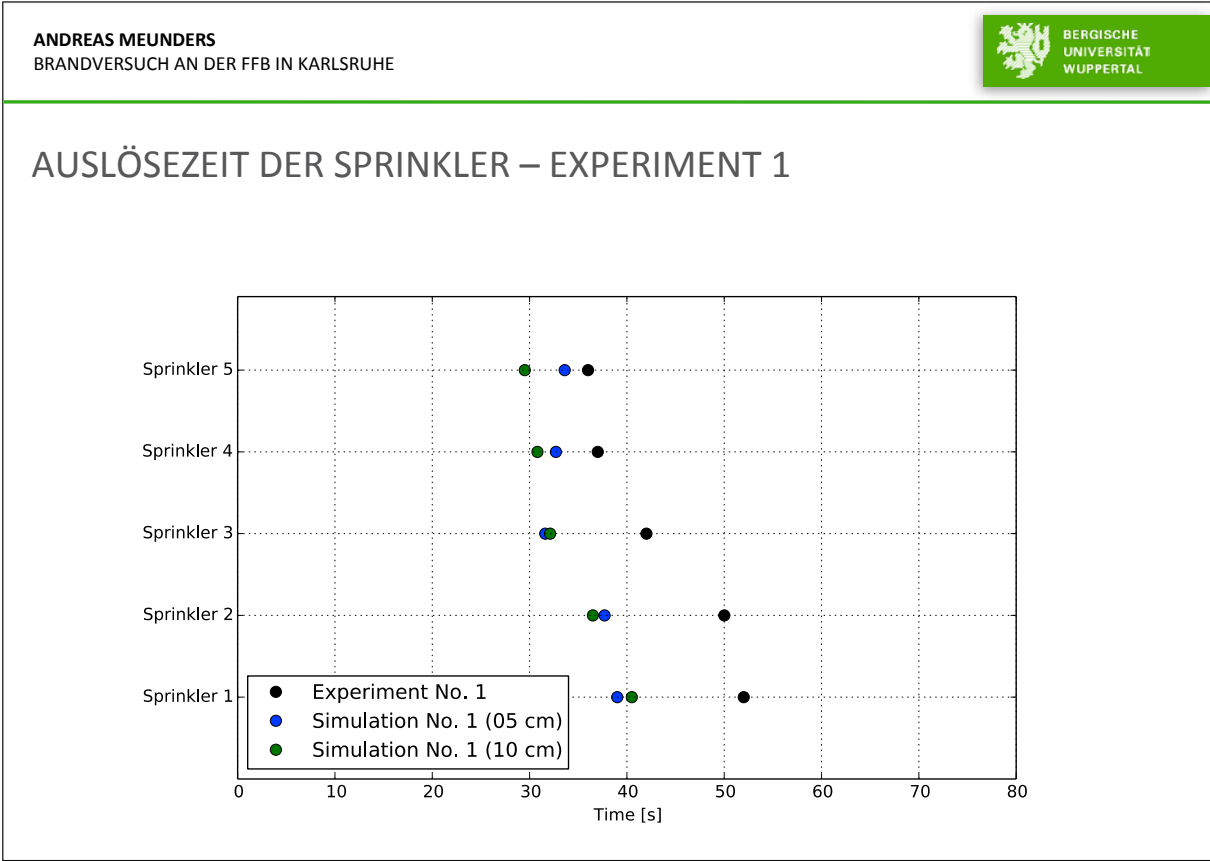
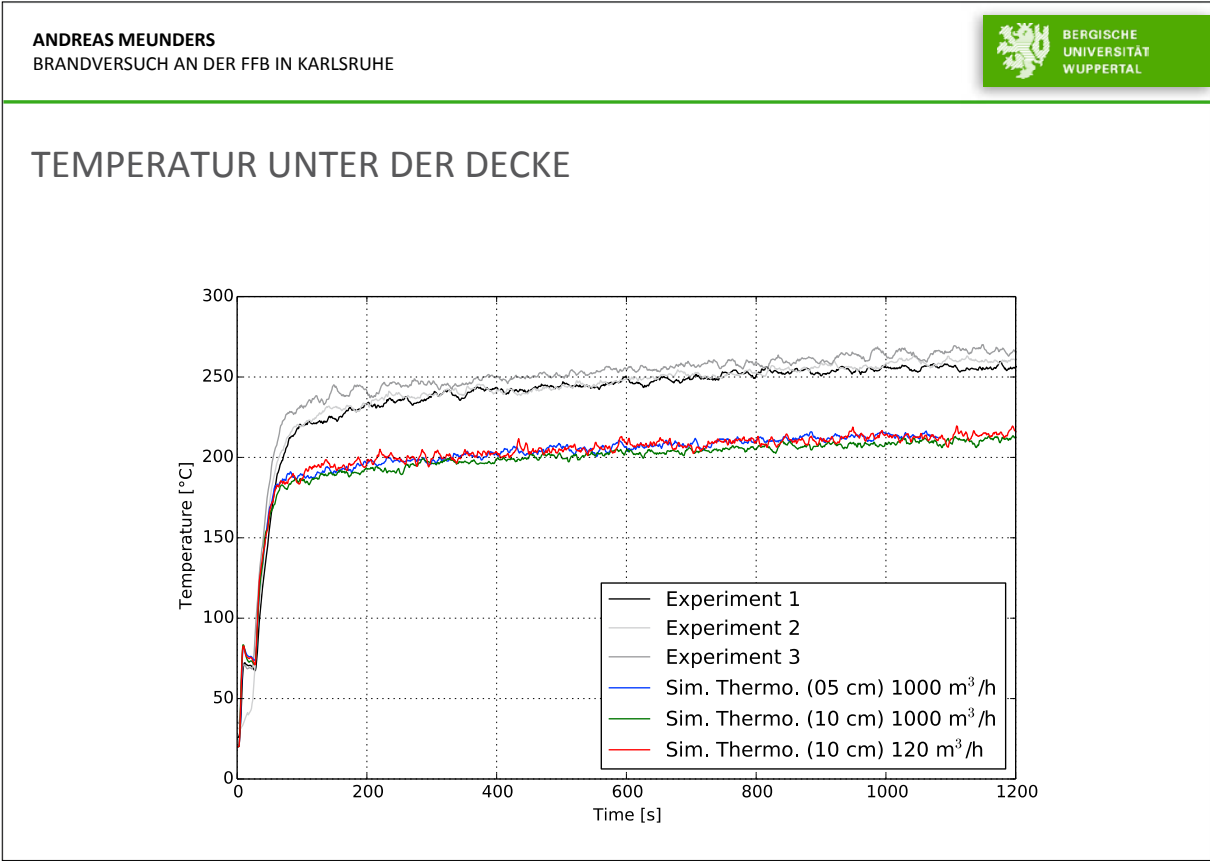
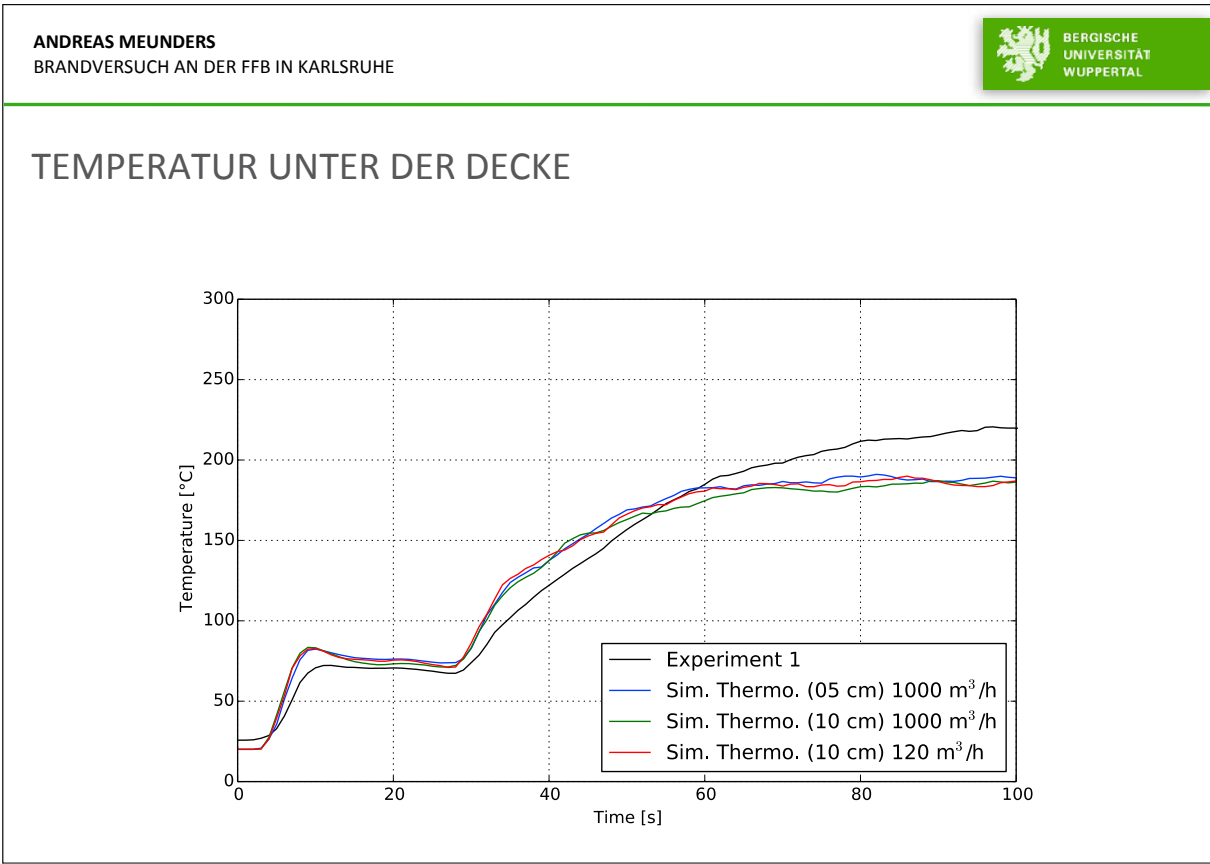
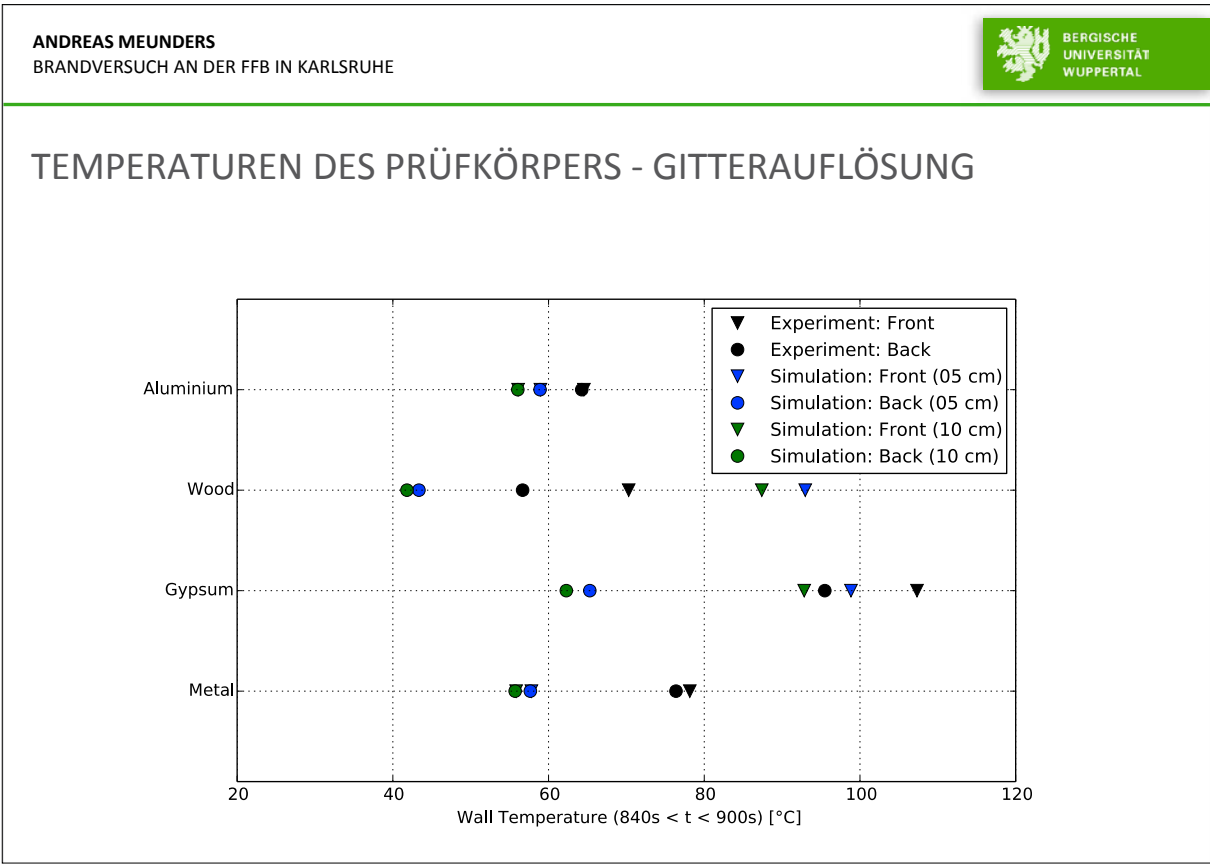
ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE

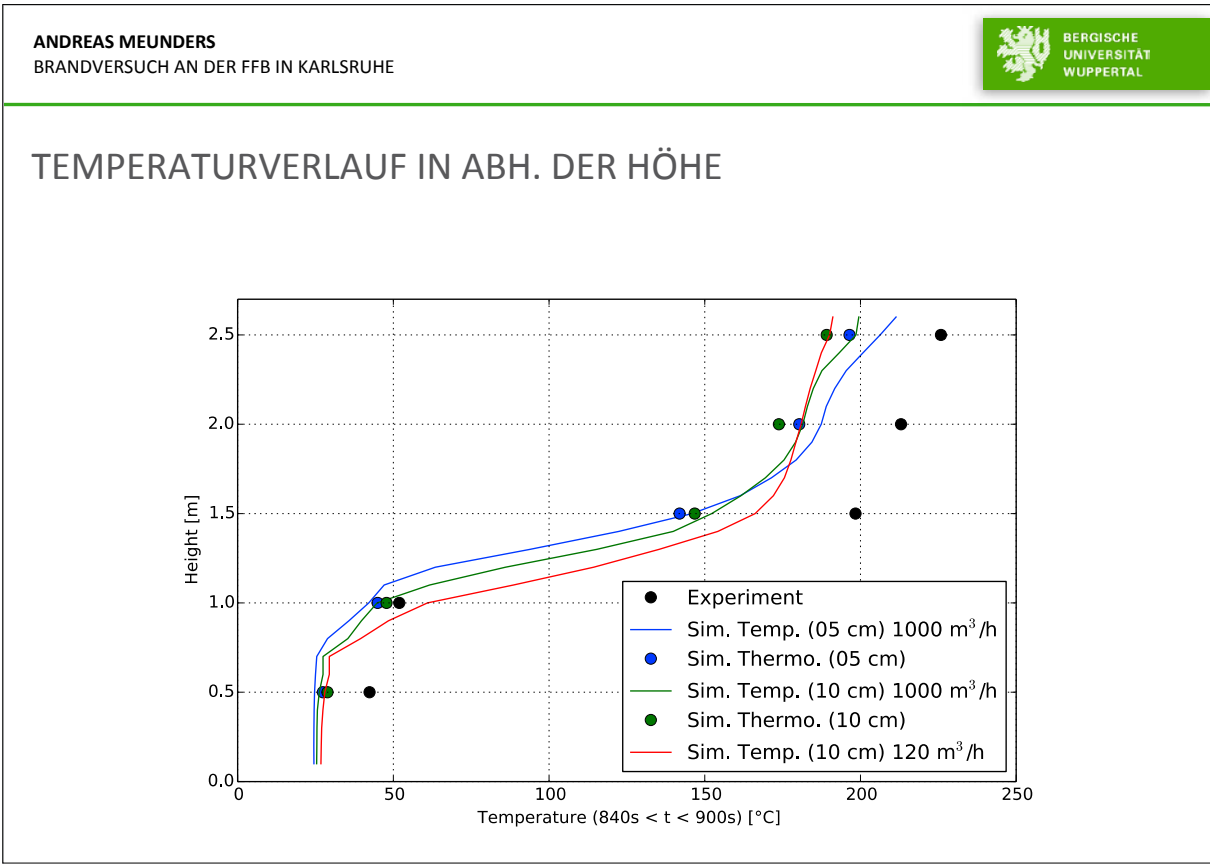
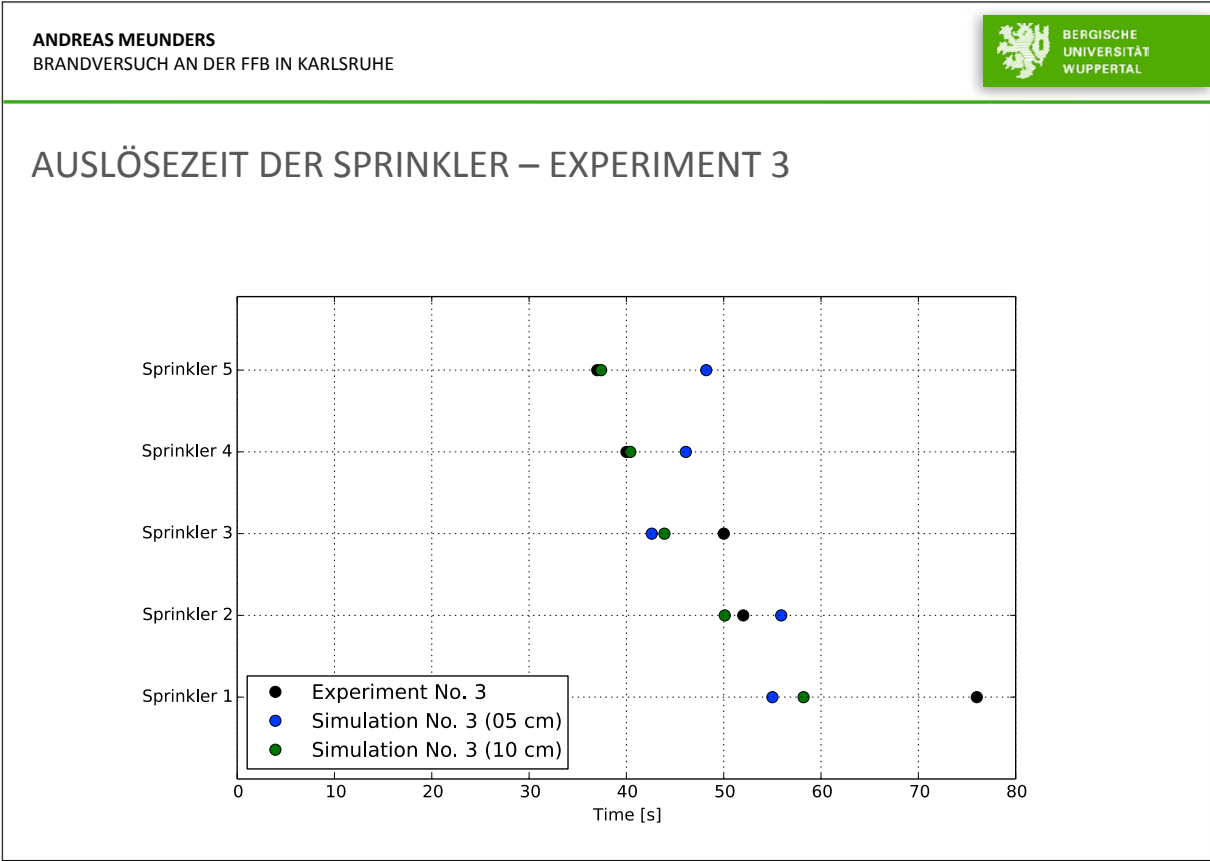
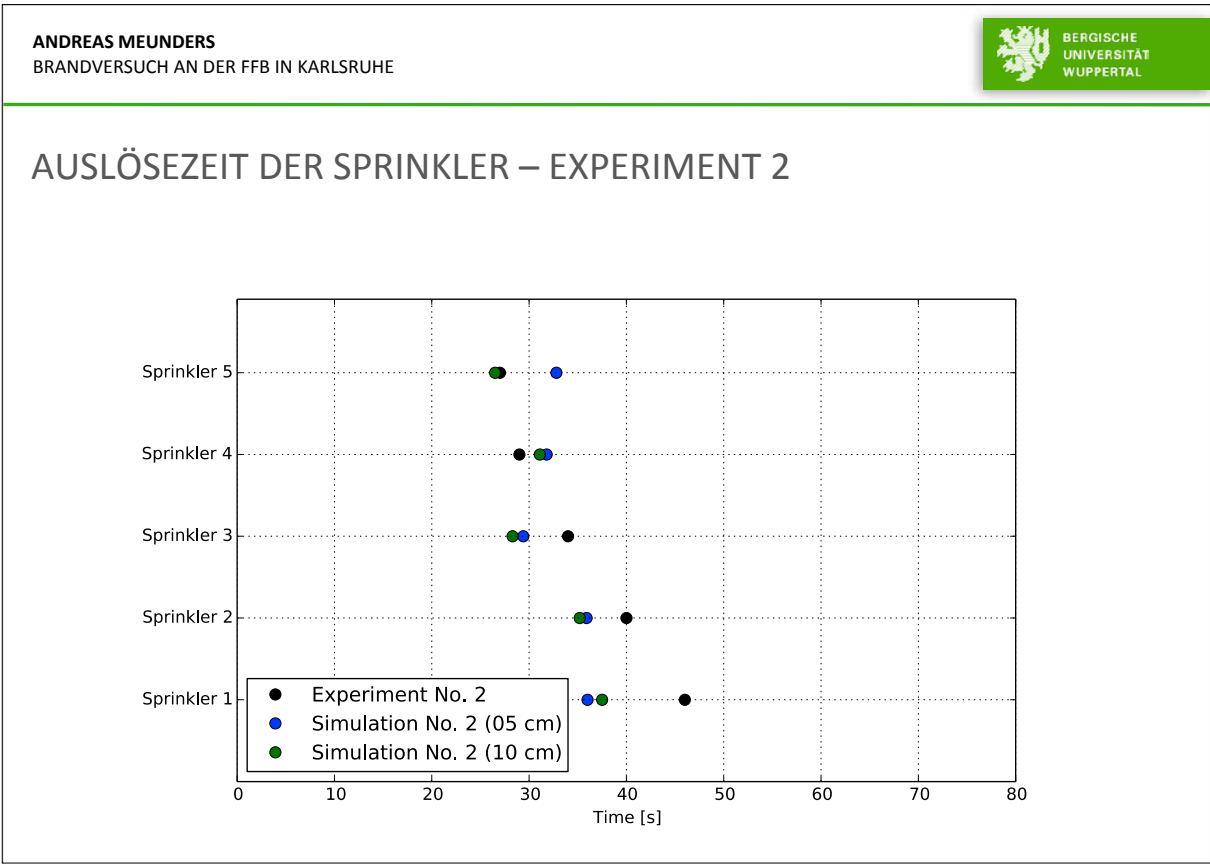


TEMPERATUREN DES PRÜFKÖRPERS - MATERIALPARAMETER



95





ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Teil 2

SENSITIVITÄTSANALYSE

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



SENSITIVITÄTSANALYSE: EINLEITUNG

Ein Brandereignis wird durch viele Faktoren / Parameter beeinflusst, die meist eine gewisse Unsicherheit aufweisen

- „Parameter“
 - Modellparameter
 - Materialparameter
 - Szenario-Parameter
- „Unsicherheit“
 - Unsicherheit, die Größe zu bestimmen (Messunsicherheit)
 - Unsicherheit der Größe selbst (meteorologische Einflüsse, geometrische Anordnung, Intensität des Initialbrands usw.)

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



SENSITIVITÄTSANALYSE: EINLEITUNG

Vorteile von CFD-gestützten Sensitivitätsanalysen:

- Besseres Verständnis über Wechselwirkungen und Einflüsse im System
- Unterstützung des ingenieurmäßigen Sachverstands bei der sicheren Identifizierung kritischer Szenarien
- Gezielte (kosteneffiziente) Verringerung der Parameterunsicherheiten / Optimale Planung von Versuchen

Herausforderungen:

- Größe des Parameterraums
- Rechenaufwand zum Testen eines Parametersatzes

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



SENSITIVITÄTSANALYSE: MÖGLICHE ANSÄTZE

One-(factor)-at-a-time

- Variation einer Eingangsgröße, Konstanthalten der übrigen Größen
- Beobachten der Effekte
- Zurücksetzen der Eingangsgröße auf ihren Ursprungswert und Wiederholung des Verfahrens für sämtliche Eingangsgrößen

Full-Factorial-Design

- Generierung von Parametersätzen, für alle denkbaren Kombinationen
- Durchführung der Simulationen und Auswertung der Ergebnisse

Monte Carlo oder Random Sampling

- Generierung von Parametersätzen auf der Basis von Zufallszahlen
- Durchführung der Simulationen und Auswertung der Ergebnisse

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



SENSITIVITÄTSANALYSE: EFFIZIENTER ANSATZ

Screening

- Herausfiltern der einflussreichsten Faktoren (z.B. *Elementary Effects Method*)

Sampling

- Effiziente Verfahren zur Probennahme reduzieren die Anzahl der zu testenden Parametersätze (z.B. *Latin Hypercube Sampling*)

Simulation

- Durchführung von Simulationsdurchläufen auf Basis der generierten Parametersätze (z.B. *Fire Dynamics Simulator*)

Sensitivity Analysis

- Auswertung der Abhängigkeit zwischen variablen Faktoren und relevanten Ausgabewerten (z.B. *Scatter Plots*, *Pearson Correlation Coefficients*)

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE

BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

SENSITIVITÄTSANALYSE: BEISPIEL

Variable Eingangsgrößen (gleichverteilt)

- Umgebungstemperatur: 10 - 30° C
- Rußausbeute: 0.01 - 0.05
- Wärmefreisetzungsrate: 400kW ± 20%
- Verbrennungsluftstrom: 1.000m³/h ± 20%
- Zuluftfläche: 0.81m² ± 20%
- Abluftfläche: 0.72m² ± 20%

Beispiel:
Was sind die wichtigsten
Einflussfaktoren auf die
Höhe der raucharmen
Schicht?

Messgrößen

- Mittlere Auslösezeit der Sprinkler
- Höhe der raucharmen Schicht in der 15. Minute
- Temperaturanstieg im Prüfkörper nach 15 Minuten
- Temperatur unter der Decke nach 15 Minuten

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE

BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

LATIN HYPERCUBE SAMPLING

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE

BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

LATIN HYPERCUBE SAMPLING

Erforderlicher Stichprobenumfang:

Latin Hypercube:
 $(n_i + n_o) * 2 = (6 + 4) * 2 = 20$

Monte Carlo:
 $(n_i + n_o)^2 = (6 + 4)^2 = 100$

Quellen:
S.J. Bates, J. Sienn, D.S. Langley, Formulation of the Audze-Eglaiss Uniform Latin Hypercube design of experiments, Advances in Engineering Software, Volume 34, Issue 8, August 2003, Pages 493-506, ISSN 0965-9978, [http://dx.doi.org/10.1016/S0965-9978\(03\)00042-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0965-9978(03)00042-5).


ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE

BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

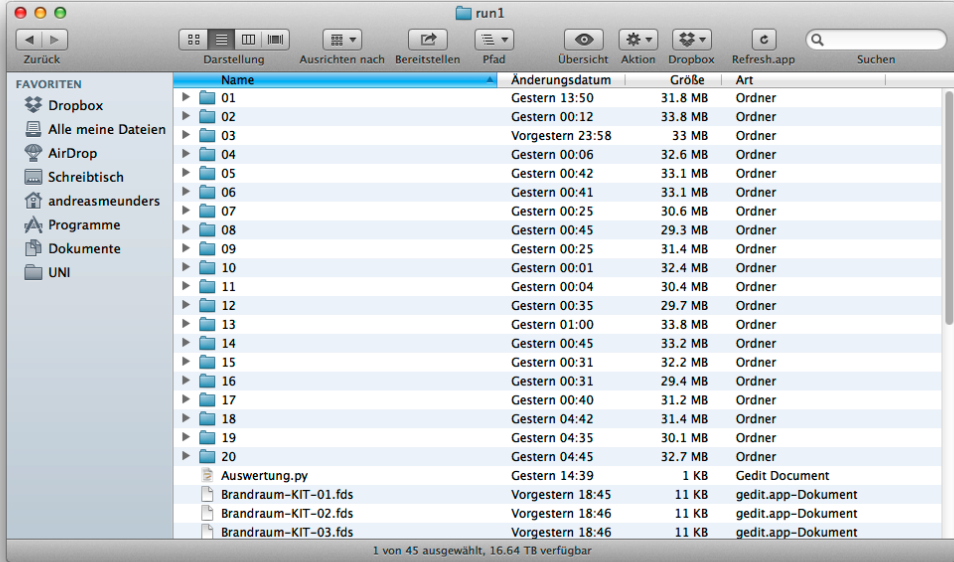
LATIN HYPERCUBE SAMPLING

	Temperatur [°C]	Soot yield [1]	HRR [kW]	Geschwindigkeit Brennerluft [m/s]	Fläche Zuluftöffnung [m²]	Breite Abluftöffnung [m]
1	27.77	0.028	327.98	0.296	0.833	0.917
2	23.51	0.048	455.91	0.232	0.820	0.848
3	22.85	0.041	394.93	0.251	0.907	0.890
4	21.50	0.034	422.28	0.280	0.701	0.881
5	10.77	0.043	445.14	0.291	0.867	0.926
6	18.29	0.037	474.64	0.224	0.676	0.805
7	26.26	0.017	402.15	0.260	0.696	1.025
8	13.25	0.011	464.38	0.282	0.889	0.993
9	14.20	0.023	360.56	0.258	0.751	1.065
10	29.22	0.034	340.04	0.237	0.654	0.837
11	16.19	0.020	330.50	0.315	0.767	1.034
...
17	20.00	0.026	409.66	0.324	0.944	0.819
18	12.66	0.025	381.15	0.268	0.795	0.942
19	28.99	0.018	350.27	0.238	0.957	0.722
20	11.83	0.038	357.56	0.217	0.914	1.047


ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



SIMULATIONEN




ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



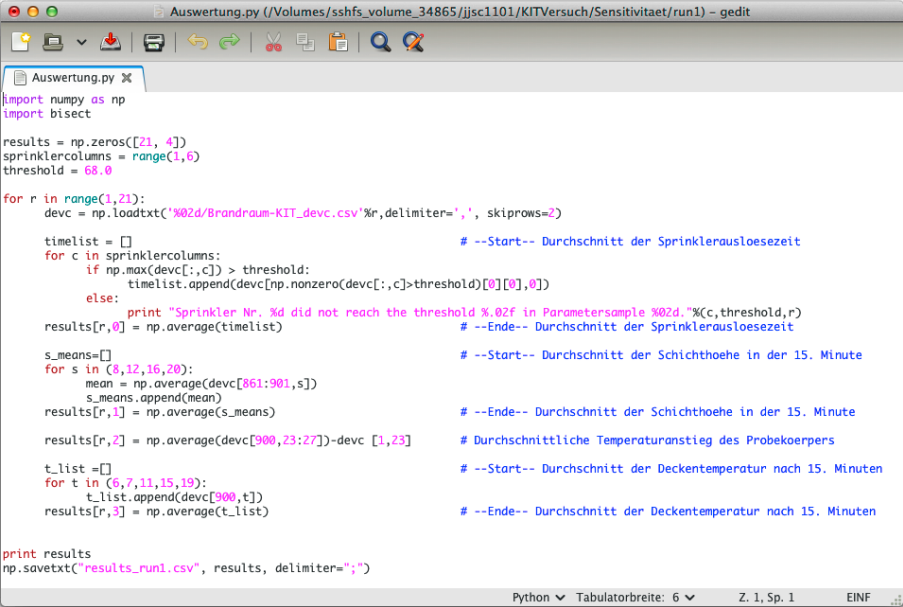
SIMULATIONEN

	Auslösezeit der Sprinkler [s]	Schichthöhe [m] (15. Min)	Temperaturanstieg im Prüfkörper [K] (15 Min)	Deckentemperatur [°C] (15 Min)
1	19.40	1.06	9.42	191.4
2	16.01	0.97	14.91	243.7
3	18.41	1.03	11.66	211.1
4	17.81	1.03	12.64	224.0
5	20.20	1.05	12.87	214.9
6	16.41	0.97	15.32	250.7
7	16.21	1.06	11.51	218.8
8	18.61	1.08	12.49	219.7
9	23.01	1.07	9.42	183.0
10	17.81	0.98	10.67	211.0
11	23.81	1.08	8.68	178.9
...
17	18.60	1.03	12.53	221.6
18	22.01	1.04	10.53	195.6
19	17.40	0.96	11.21	218.5
20	24.21	1.06	9.44	180.2


ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



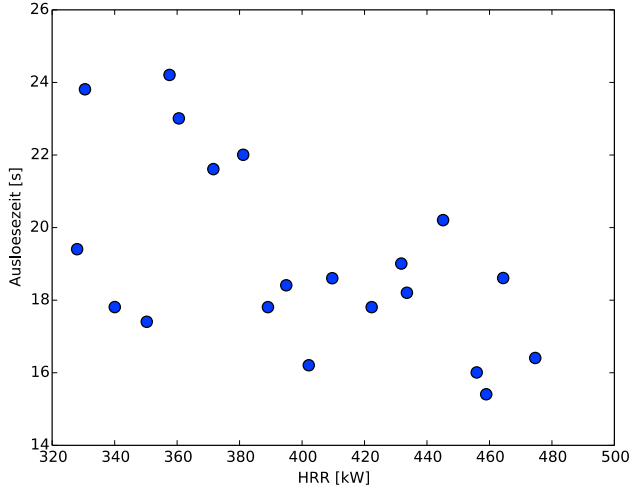
SIMULATIONEN



ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



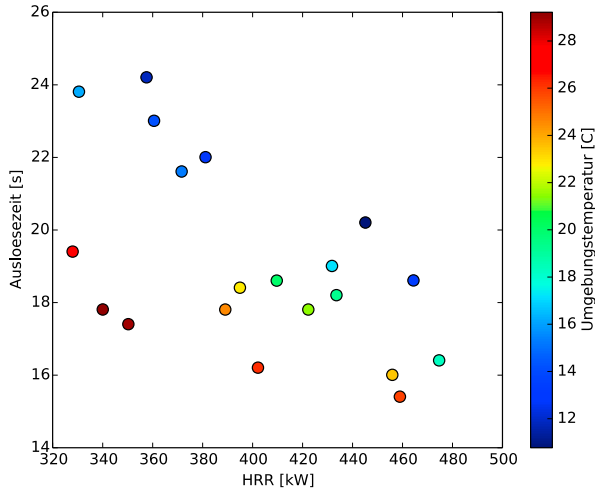
SENSITIVITY ANALYSIS – SCATTER PLOTS



ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

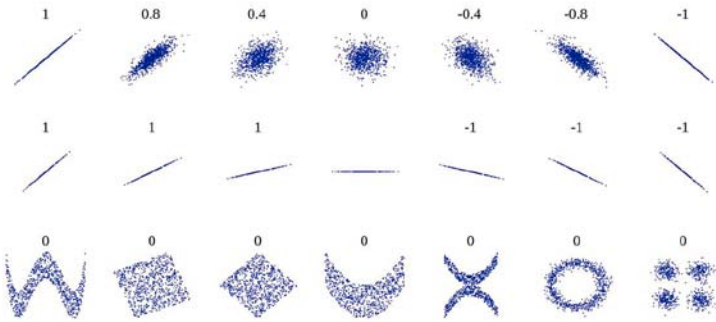
SENSITIVITY ANALYSIS – SCATTER PLOTS



ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

SENSITIVITY ANALYSIS – PEARSON CORRELATION COEFFICIENT



$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Definition des *sample PCCs*:
Verhältnis der Kovarianz zum Produkt der Standardabweichungen
Hinweis: (N-1)⁻¹ gekürzt

Quellen:

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

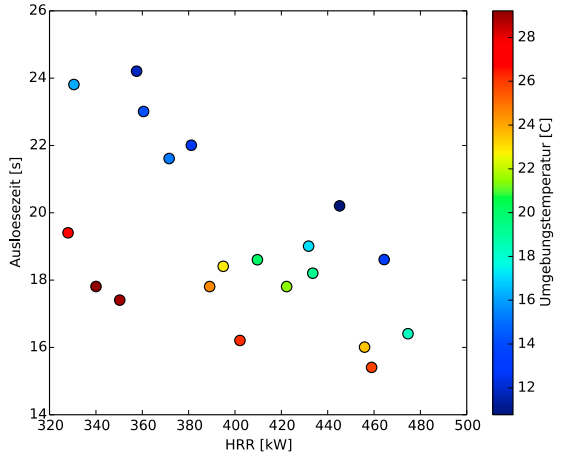
SENSITIVITY ANALYSIS – PEARSON CORRELATION COEFFICIENT

	Temperatur	Soot yield	HRR	Geschwindigkeit Brennerluft	Fläche Zuluftöffnung	Breite Abluftöffnung
Auslösezeit der Sprinkler	-0.95	0.09	-0.94	0.62	0.07	-0.06
Schichthöhe	0.26	-0.67	0.15	0.68	0.52	0.95
Temperaturanstieg im Prüfkörper	0.39	0.76	0.98	0.23	-0.40	-0.91
Deckentemperatur	0.70	-0.01	0.96	0.06	-0.36	-0.82
p-values						
Auslösezeit der Sprinkler	0.00	0.75	0.00	0.01	0.80	0.82
Schichthöhe	0.36	0.01	0.59	0.00	0.05	0.00
Temperaturanstieg im Prüfkörper	0.15	0.00	0.00	0.41	0.14	0.00
Deckentemperatur	0.00	0.98	0.00	0.82	0.18	0.00

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE


BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

SENSITIVITY ANALYSIS – PEARSON CC AND SCATTER PLOT



Auslösezeit der Sprinkler	Temperatur	HRR
Pearson CC	-0.95	-0.94
p-value	0.00	0.00


ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



SENSITIVITY ANALYSIS – PEARSON CORRELATION COEFFICIENT

Rank	Auslösezeit der Sprinkler	Schichthöhe	Temperaturanstieg im Prüfkörper	Deckentemperatur
1	Umgebungstemperatur	Abluftöffnung	HRR	HRR
2	HRR	Brennerluftgeschwindigkeit	Abluftöffnung	Abluftöffnung
3	Brennerluftgeschwindigkeit	Soot yield	Soot yield	Umgebungstemperatur
4	Soot yield	Zuluftöffnung	Zuluftöffnung	Zuluftöffnung
5	Zuluftöffnung	Umgebungstemperatur	Umgebungstemperatur	Brennerluftgeschwindigkeit
6	Abluftöffnung	HRR	Brennerluftgeschwindigkeit	Soot yield


ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



ZUSAMMENFASSUNG: TEIL 1

- Die Temperaturen unter der Decke weichen deutlich voneinander ab (etwa 50 Kelvin)
- Teilweise deutliche Unterschiede im Erwärmungsverhalten des Prüfkörpers
 - Identische Wärmebeaufschlagung?
- Der Wärmedurchgang durch GK und Holz wird unterschätzt
- Die Verfeinerung des Gitters beeinflusst die Ergebnisse, allerdings nicht wesentlich
- In dem betrachteten Szenario sind kaum Abweichungen zwischen FDS 5.5.3 und FDS 6 (RC4) festzustellen

ANDREAS MEUNDERS
BRANDVERSUCH AN DER FFB IN KARLSRUHE



ZUSAMMENFASSUNG: TEIL 2

- Systematische Sensitivitätsanalysen sind auch bei rechenintensiven CFD Simulationen möglich
- Weitere Methoden zur Minimierung des Aufwands können genutzt werden (z.B. Screening)
- Sensitivitätsanalysen ermöglichen neue und/oder besser fundierte Kenntnisse über die Zusammenhänge im Gesamtsystem

Vielen Dank!

meunders@uni-wuppertal.de

www.asim.uni-wuppertal.de

phone: 0202 439 4241

Prof. Dr. Jochen Zehfuß, Matthias Siemon, Dr. Olaf Riese:

Untersuchung der Prognosefähigkeit von FDS am Beispiel eines Mehrraumszenarios

Abstract:

In diesem Vortrag wird eine Methode zur Quantifizierung der Übereinstimmung experimenteller und numerischer Daten im Bereich des Brandschutzingenieurwesens vorgestellt. Hierzu wurden Großversuche herangezogen, die vom IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) im Rahmen des internationalen OECD (Organization for Economic Co-operation and Development)/ NEA (Nuclear Energy Agency) / CSNI (Committee on the Safety of Nuclear Installations) Forschungsprojektes PRISME durchgeführt wurden.

Dabei verwenden die hier vorgestellten Versuche einen Poolbrand und einen Schrank mit elektrischen Installationen als Brandlast. Untersuchte Kenngrößen sind die Gastemperaturen, Geschwindigkeitsprofile in Türen, Massen- und Volumenströme sowie die Druckentwicklung in den Räumen. Die Simulationen mit FDS verwenden dabei die im Experiment gemessene Wärmefreisetzungsrate als Randbedingung und werden daher als offene Simulationen bezeichnet.

Die experimentellen und numerischen Daten werden dann mit Hilfe von zwei Bewertungskriterien, dem PEAK-Kriterium und der L2-Norm von Peacock untersucht und der Grad der Übereinstimmung mit den sogenannten „Weighted Combined Expanded Uncertainty“-Vertrauensintervallen der Nuclear Regulatory Commission verglichen, welche durch Auswertung vergleichbarer Experimente ermittelt wurden.

Untersuchung der Prognosefähigkeit von FDS am Beispiel eines Mehrraumszenarios

Prof. Dr.-Ing. J. Zehfuß
Dipl.-Ing. M. Siemon
Dr.-Ing. O. Riese
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Technische Universität Braunschweig

7. FDS Usergroup Treffen, Berlin, 14.-15. November 2013

Inhalt

- ❑ Einführung
- ❑ Versuchseinrichtung und -durchführung
- ❑ FDS-Modell und Einstellungen
- ❑ Validierungsmethodik
 - PEAK Kriterium
 - PEACOCK oder L2-Norm Kriterium
- ❑ Untersuchung von zwei Großversuchen
 - INTEGRAL 4
 - INTEGRAL 6
- ❑ Zusammenfassung und Ausblick

Einführung

- ❑ Verantwortlich für die Versuchsdurchführung war das IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire)
- ❑ Versuche wurden im Rahmen des internationalen Forschungsprojektes PRISME der OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) / NEA (Nuclear Energy Agency) / CSNI (Committee on the Safety of Nuclear Installations) durchgeführt
- ❑ PRISME ist französisches Akronym für „Brandausbreitungsprozesse in elementaren Mehrraumszenarien“



7. FDS Usergroup Treffen | J. Zehfuß, M. Siemon, O. Riese | Folie 3



Einführung

- ❑ Verschiedene Versuchsreihen zur Untersuchung unterschiedlicher Fragestellung
- ❑ INTEGRAL-Versuchsreihe fasst verschiedene Fragestellungen in einem Versuch zusammen
- ❑ INTEGRAL 4 und 6 Versuchsreihe
 - Ausbreitung von Brand- und Heißgasen, Rauch- und Schadgaskonzentrationen
 - Einfluss mechanischer Ventilationsbedingungen auf Druck, Volumen-, Massenströme und Türströmungen
 - Variation der Brandlast



7. FDS Usergroup Treffen | J. Zehfuß, M. Siemon, O. Riese | Folie 5



PRISME AWG

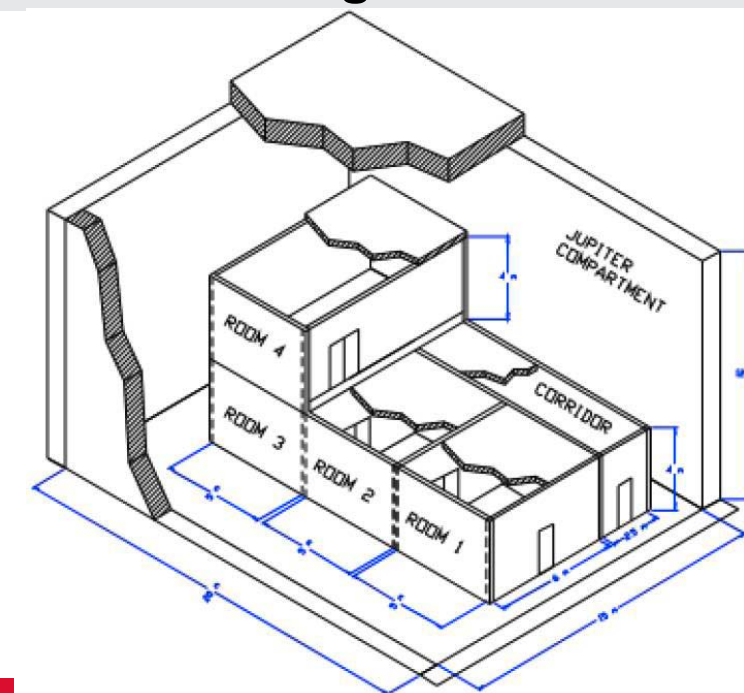
- ❑ AWG: Analytical working group
- ❑ Numerische Untersuchungen der durchzuführenden Versuche
- ❑ Offene und blinde Simulationen zu den verschiedenen Versuchsreihen
 - Offene Simulationen berücksichtigen Informationen aus den Versuchen
 - Brandgeschehen und Ventilationsverhältnisse des Versuches sind bekannt
- ❑ Neben FDS werden weitere Simulationsprogramme verwendet



7. FDS Usergroup Treffen | J. Zehfuß, M. Siemon, O. Riese | Folie 4



Versuchseinrichtung



7. FDS Usergroup Treffen | J. Zehfuß, M. Siemon, O. Riese | Folie 6



Versuchseinrichtung

▣ INTEGRAL 4

Technical University of Braunschweig logo and iBMB MPA TU Braunschweig logo.

7. FDS Usergroup Treffen | J. Zehfuß, M. Siemon, O. Riese | Folie 7

Untersuchte Größen

Abkürzung	Untersuchungsgröße	Einheit	Ort
TG	Gastemperatur	[°C]	CC, CE, CW, NE, SE, SW
CO	Kohlenmonoxid	[ppm]	HAUT, BAS
CO2	Kohlendioxid	[%]	HAUT, BAS
O2	Sauerstoff	[%]	HAUT, BAS
V	Strömungsgeschwind.	[m/s]	L0/L2, L1/L2, L3/L2
P	Rel. Druck	[Pa]	L1, L2, L3, L4
DADM/DEXT	Volumen-, Massenstr.	[V,g/s]	Einlass-, Auslassöffnungen

Technical University of Braunschweig logo and iBMB MPA TU Braunschweig logo.

7. FDS Usergroup Treffen | J. Zehfuß, M. Siemon, O. Riese | Folie 9

Versuchseinrichtung

▣ INTEGRAL 6

Technical University of Braunschweig logo and iBMB MPA TU Braunschweig logo.

7. FDS Usergroup Treffen | J. Zehfuß, M. Siemon, O. Riese | Folie 8

Übersicht Simulationsmodell

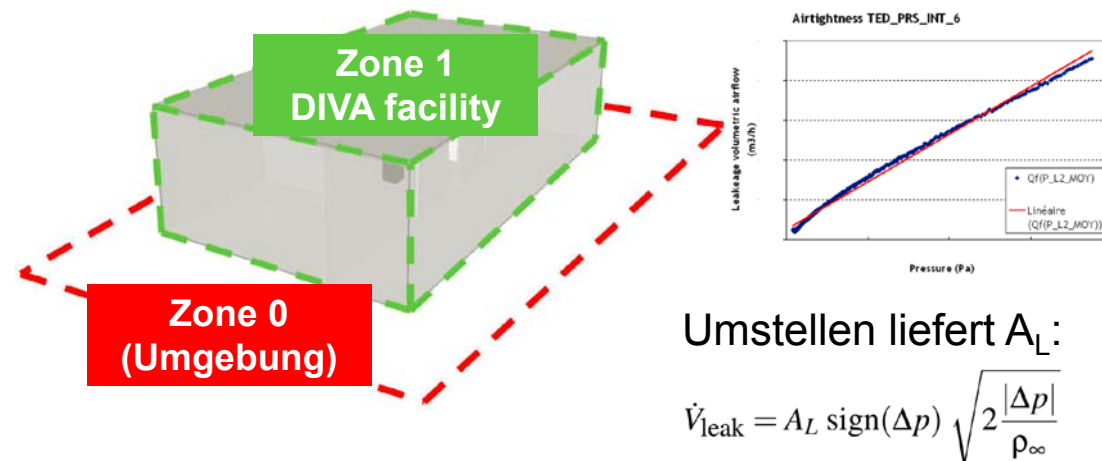
- ▣ FDS 5.5.3 vom Okt. 2010 (SVN Rev. No.: 7031)
- ▣ Netzauflösung: 10x10x10 cm³
- ▣ Simulationsdauer: 1800 und 2000 s
- ▣ Turbulenzmodell
 - LES in Standardeinstellung
- ▣ HRR aus Versuchen bekannt und angesetzt (offene Simulation)
- ▣ Thermische Materialparameter bekannt (λ , ρ , c_p)
- ▣ Ventilations- und Druckrandbedingungen bekannt

Technical University of Braunschweig logo and iBMB MPA TU Braunschweig logo.

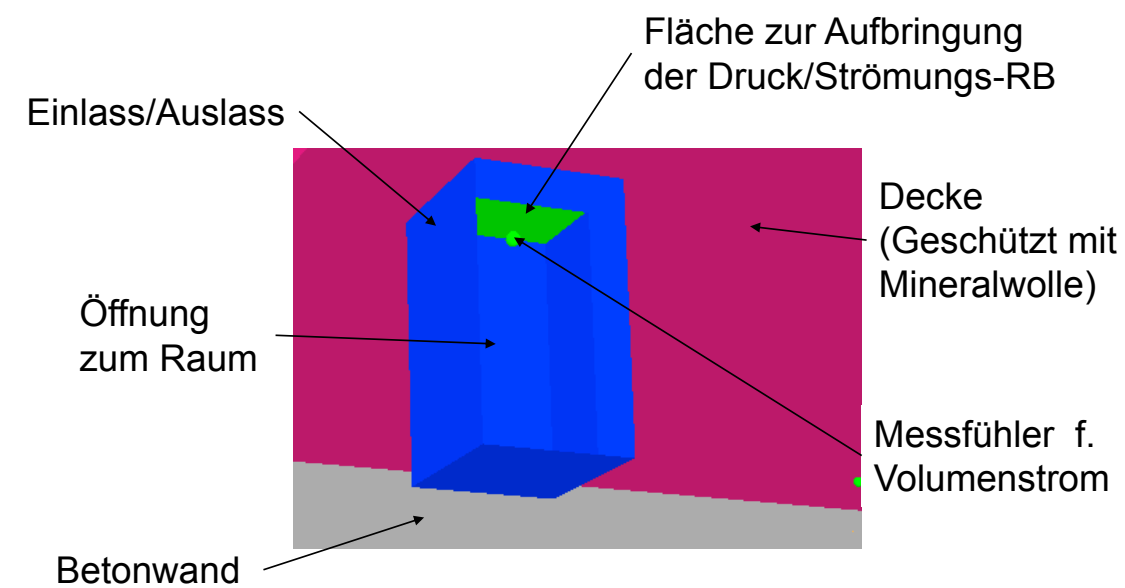
7. FDS Usergroup Treffen | J. Zehfuß, M. Siemon, O. Riese | Folie 10

Pressure zones von FDS

Ein- / Auslässe und
Türen geschlossen

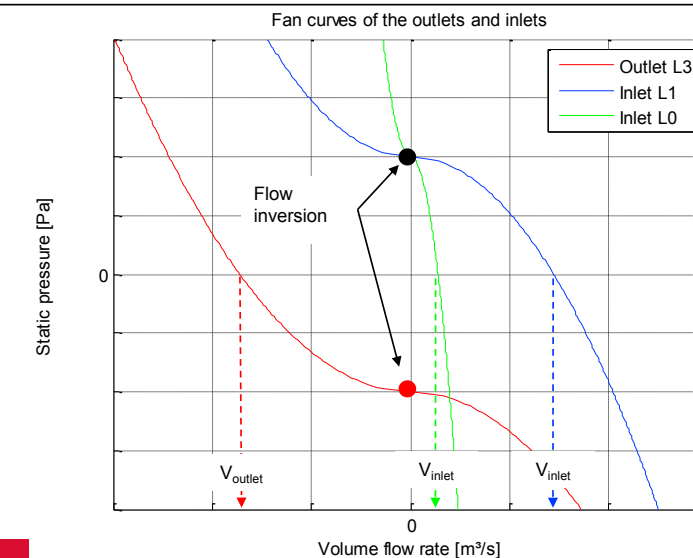


Modellierung der Ein- und Auslässe



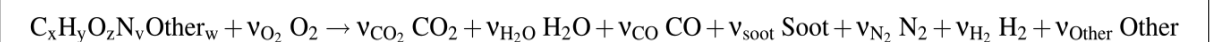
„Fan curve“ Modell von FDS

$$p_{\text{init}} = 0 \text{ Pa} \quad \Delta p = p - p_{\text{init}} \quad V = V_{\text{init}} \text{sign}(\Delta p_{\text{max}} - \Delta p) \sqrt{\frac{|\Delta p - \Delta p_{\text{max}}|}{\Delta p_{\text{max}}}}$$

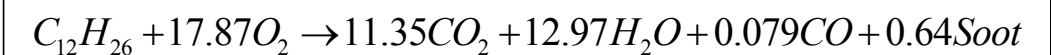


Brandlasteigenschaften

□ FDS Reaktionsgleichung



Reaktionsgleichung für Dodecane (INTEGRAL 4):



$$v_{CO} = \frac{W_f}{W_{CO}} y_{CO}$$

$$v_{H_2} = \frac{W_f}{W_{H_2}} y_{H_2}$$

$$v_{soot} = \frac{W_f}{W_s} y_s$$

$$v_{N_2} = \frac{v}{2}$$

$$v_{other} = w$$


$$W_s = H_{frac} W_H + (1 - H_{frac}) W_C$$

Brandlasteigenschaften

Material	Vinyl Acetate Polyethylene	PVC	Polyamide	Polyethylene	FDS-Fuel	Other
Fraction	31.7 %	30.2 %	26.0 %	9.1 %	97 %	
C	6	2	12	2	5.81	
H	10	3	22	4	10.16	
O	2	0	2	0	1.15	
N	0	0	2	0	0.52	
OTHER (Cl)	0	1	0	0	0.302	


Reaktionsgleichung für das electrical cabinet (INTEGRAL 6):

$$C_{5.81}H_{10.16}O_{1.15}N_{0.52}Cl_{0.302} + 7.26O_2 \rightarrow 4.88CO_2 + 5.074H_2O + 0.832CO + 0.26N_2 + 0.302Cl + 0.107Soot$$



Technische Universität Braunschweig

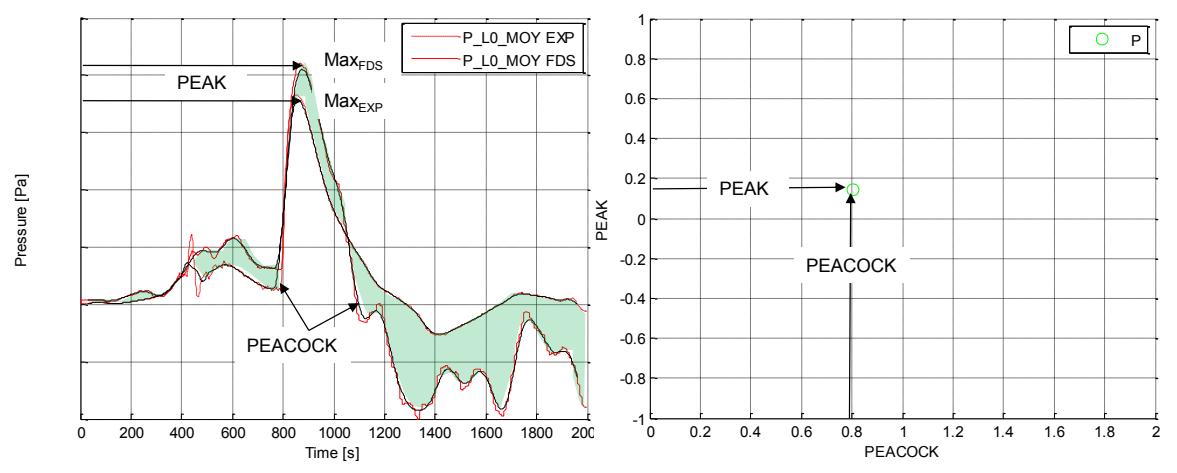
7. FDS Usergroup Treffen | J. Zehfuß, M. Siemon, O. Riese | Folie 15




iBMB MPA TU BRAUNSCHWEIG

Quantifizierung der Übereinstimmung


Beispiel: Druckentwicklung in der DIVA facility





Technische Universität Braunschweig

7. FDS Usergroup Treffen | J. Zehfuß, M. Siemon, O. Riese | Folie 17



iBMB MPA TU BRAUNSCHWEIG

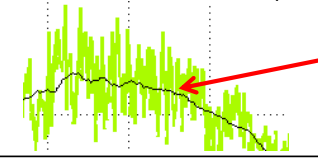
Quantifizierung der Übereinstimmung

EMVANEMED-Methode angewendet vom iBMB


- Vergleicht Entwicklung einzelner Sensorgrößen des Versuchs und der Simulation über die beobachtete Versuchsdauer

$$Peak = \frac{\max/\min(Y_{comp}) - \max/\min(Y_{ref})}{\max/\min(Y_{ref})} \quad (\text{lokal})$$
$$L2-Norm = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ref,i} - Y_{comp,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{ref,i})^2}} \quad (\text{global})$$

Um beide Datenreihen an den gleichen Zeitpunkten zu vergleichen und um Rauschen der Daten zu unterdrücken, wird ein gleitender Mittelwertfilter angewendet




Geglättete Werte (Zeitschrittweite = 60 s)



Technische Universität Braunschweig


7. FDS Usergroup Treffen | J. Zehfuß, M. Siemon, O. Riese | Folie 16



iBMB MPA TU BRAUNSCHWEIG


Woher stammen diese Unsicherheiten

- Intrinsische Modellunsicherheit
 - Mathematische Formulierung zur Beschreibung physikalischer Prozesse
- Unsicherheit aus Numerik und Modell
 - Näherungslösung des GLS
 - Räumliche und zeitliche Auflösung
 - Vereinfachte Annahmen des Modells, z.B. 1-D Wärmeleitung für 3-D Objekte
 - Zwang zur Vereinfachung geometrischer Objekteigenschaften



Technische Universität Braunschweig

7. FDS Usergroup Treffen | J. Zehfuß, M. Siemon, O. Riese | Folie 18



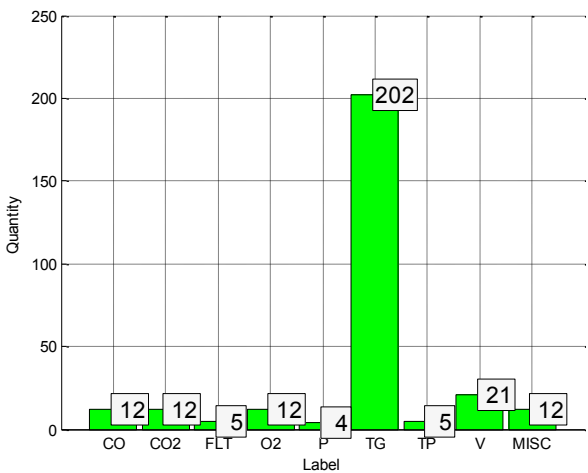
iBMB MPA TU BRAUNSCHWEIG

Woher stammen diese Unsicherheiten

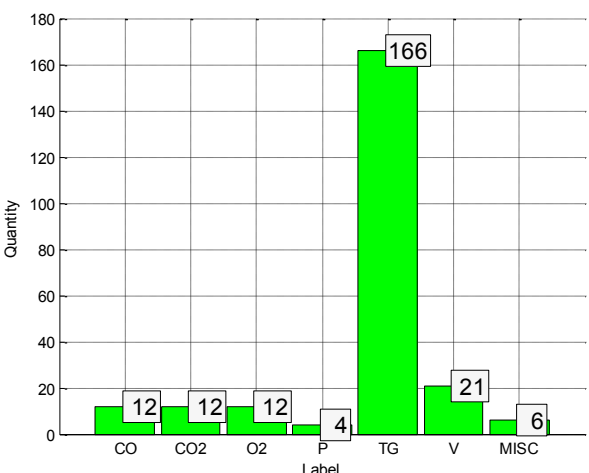
- Experimentelle Unsicherheiten
 - Messungenauigkeiten der verwendeten Sensorik
 - Unsicherheiten aus Berechnungsmethode zur Gewinnung von Ergebnissen aus Rohdaten (HRR aus Sauerstoffverbrauch + CO2-Produktion, Volumenströme)
 - Menschliche Fehler (Falsche Sensorbezeichnung, falsche Anbringung, etc.)
- Benutzerfehler oder –unsicherheiten
 - Wahl falscher Modelle für die zu untersuchende Problemstellung
 - Ansatz falscher Werte
 - Fehlen benötigter Werte



Untersuchte Größen



INTEGRAL 4



INTEGRAL 6



Weighted combined expanded uncertainties

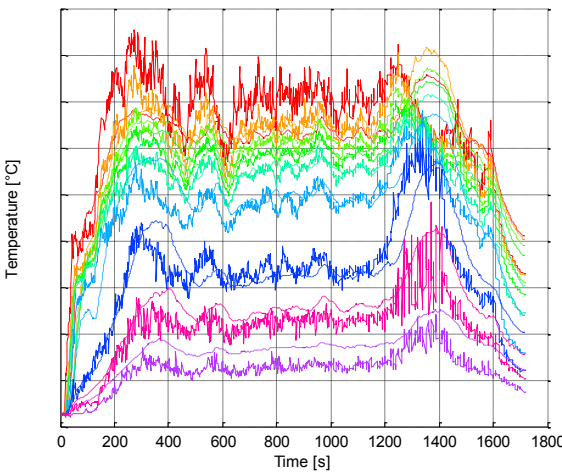
- Abgeleitet unter Verwendung des gauss'schen Fehlerfortpflanzungsgesetzes

Quantity	Number of Tests	Weighted Combined Expanded Uncertainty U_{cw} [%]
HGL Temperature Rise	26	14
HGL Depth	26	13
Ceiling Jet Temperature	18	16
Plume Temperature	6	14
Gas Concentrations	16	9
Smoke Concentrations	15	33
Pressure	15	40 (no forced ventilation); 80 (forced ventilation)
Heat flux	17	20
Surface / Target Temperature	17	14

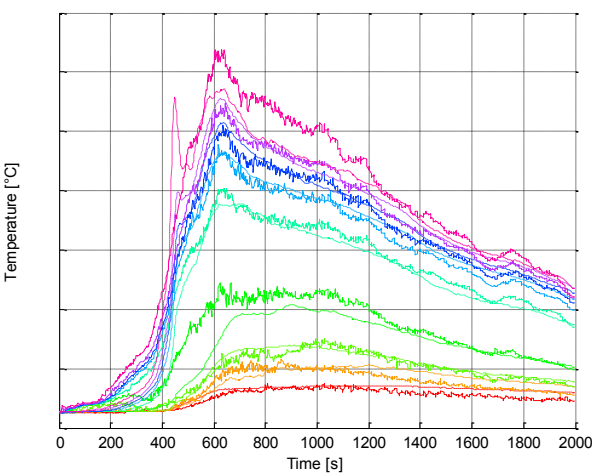
NUREG 1824 - Volume 2



Gasttemperaturen im Brandraum

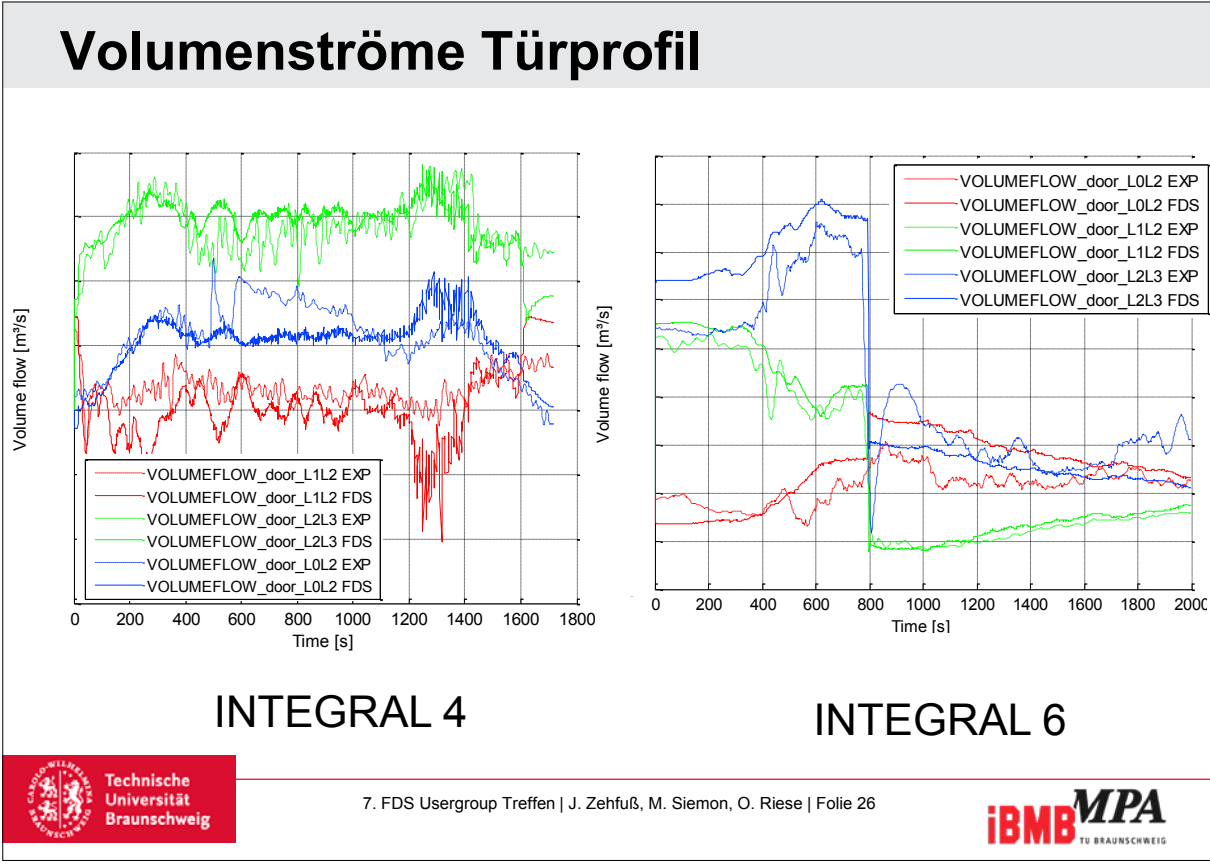
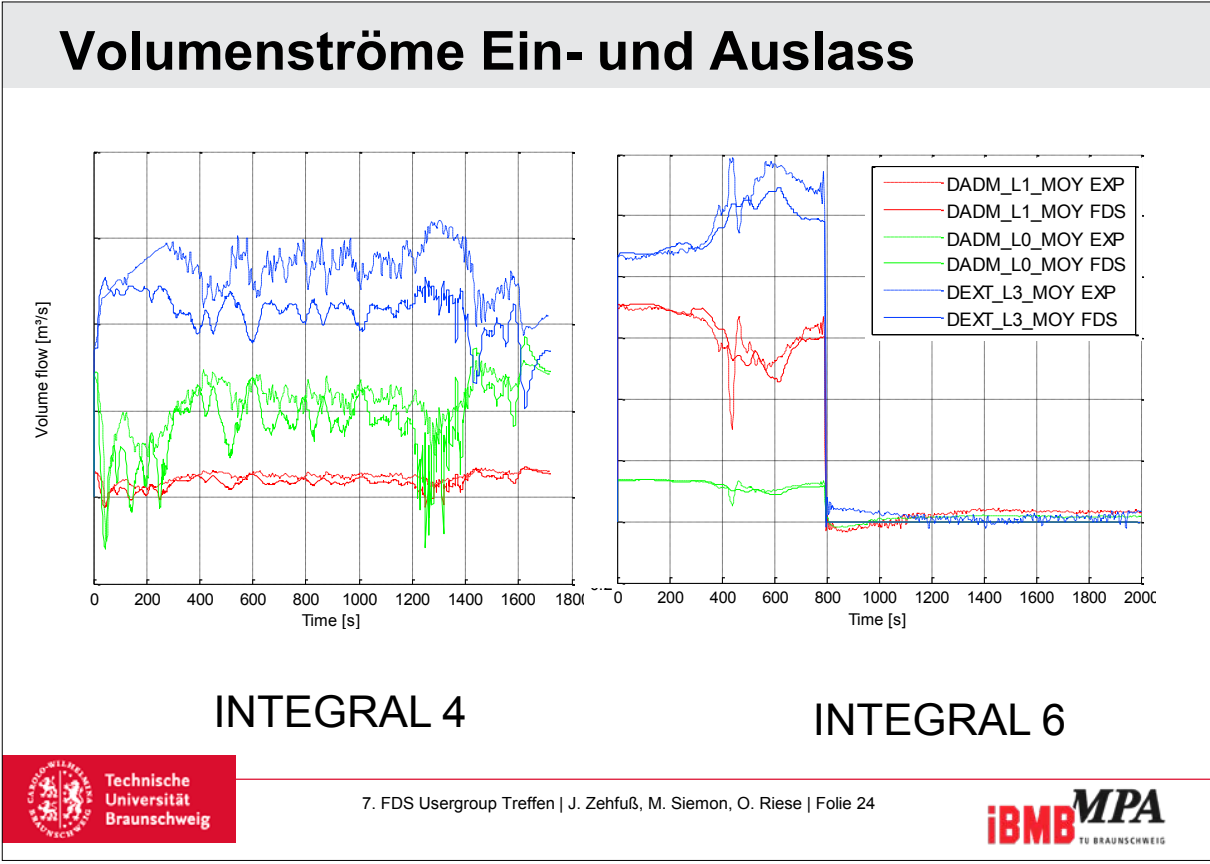
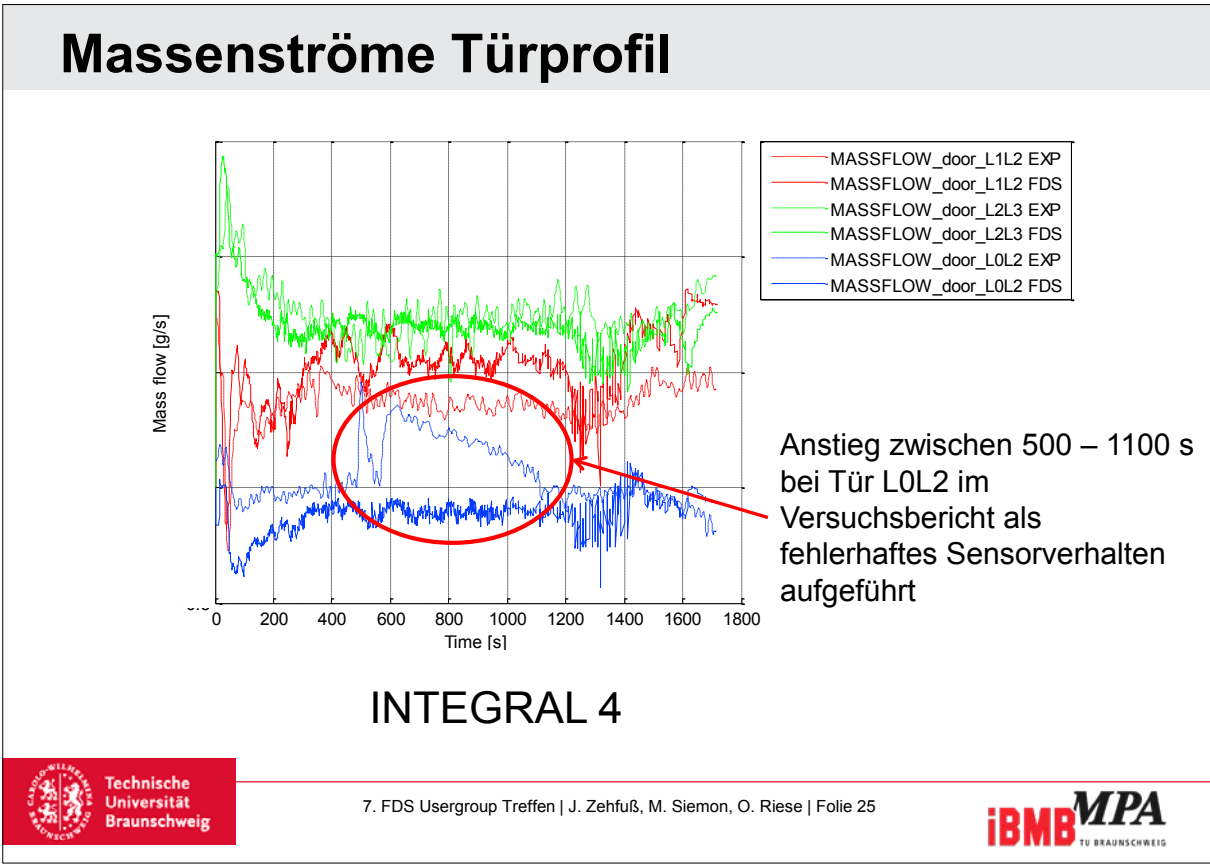
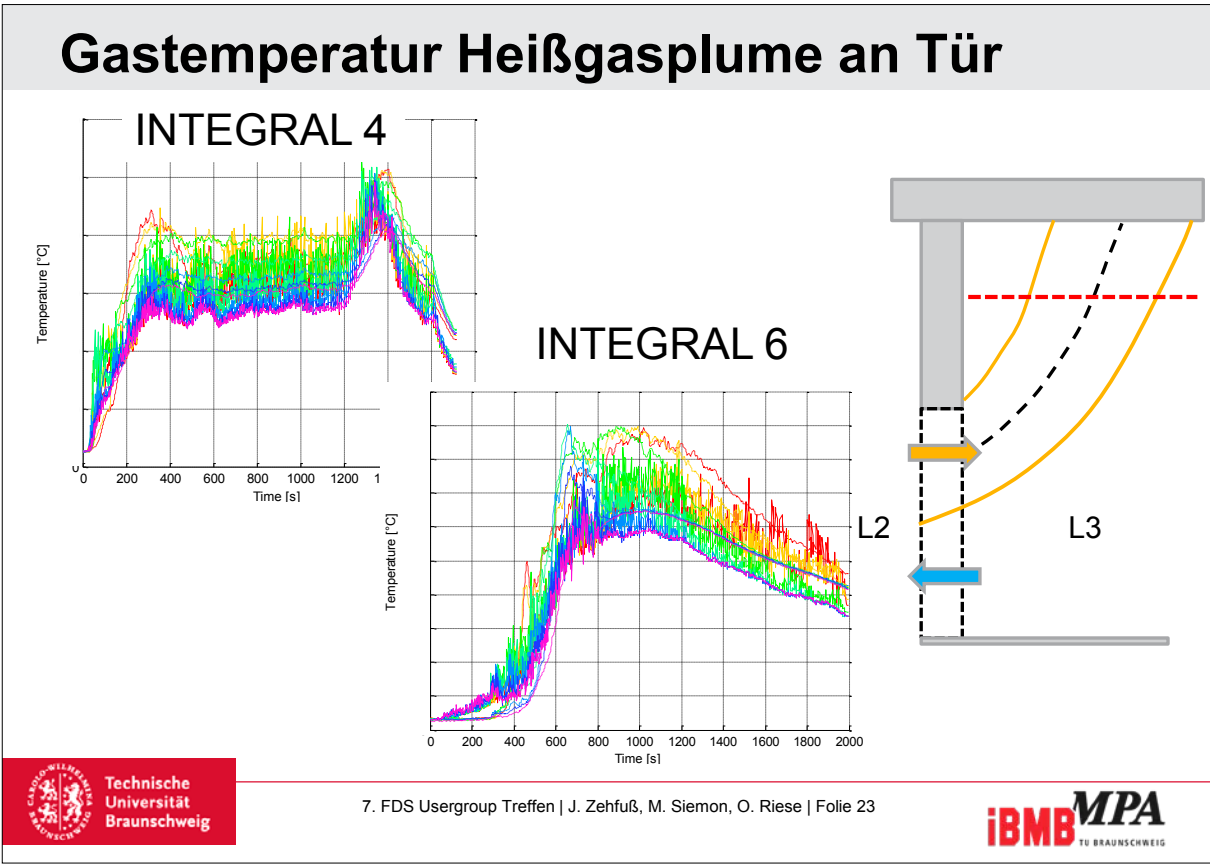


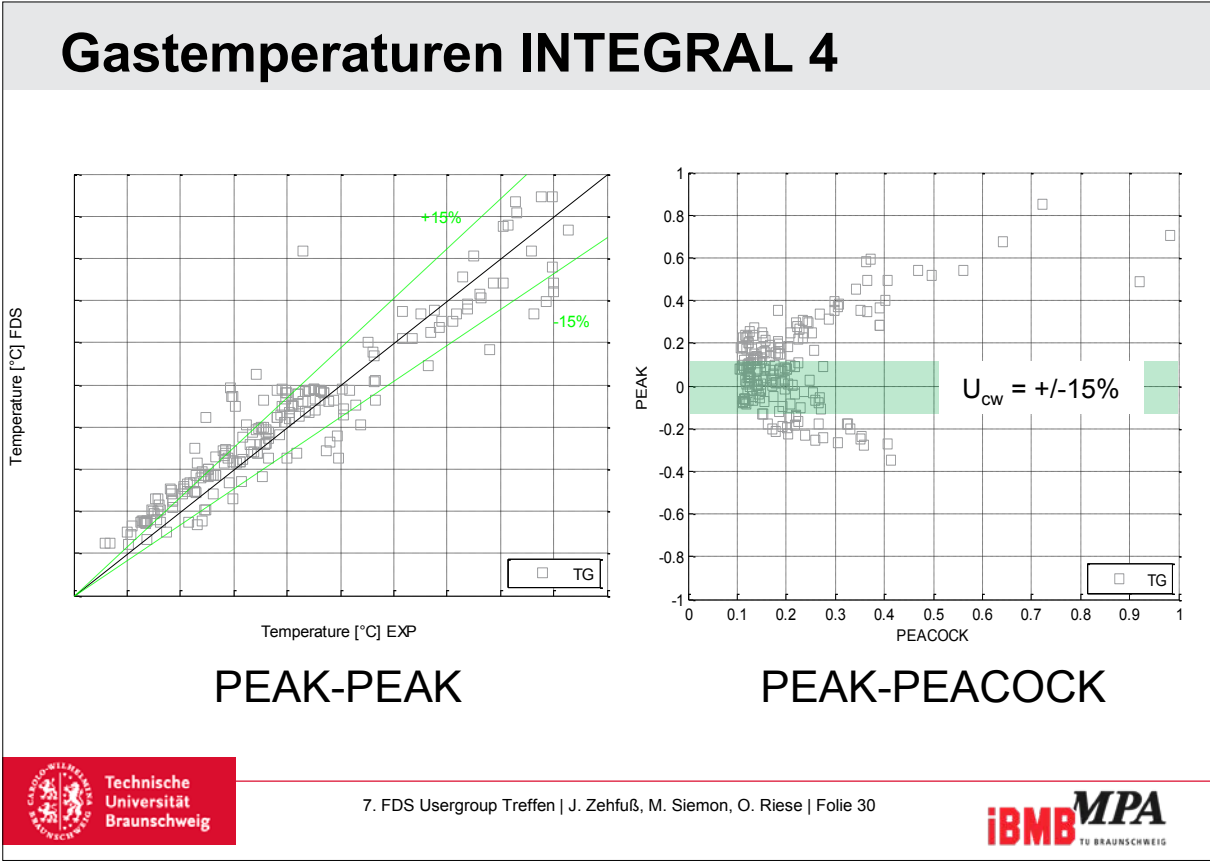
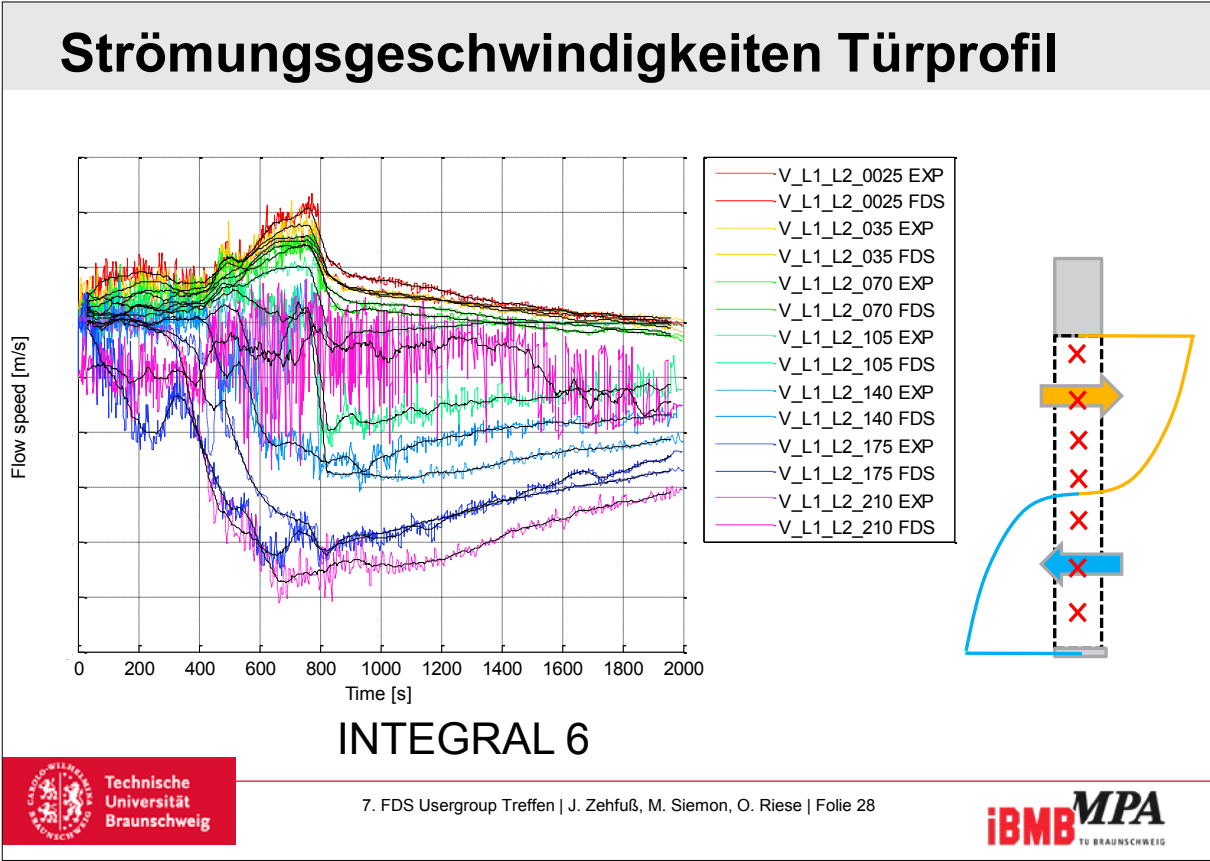
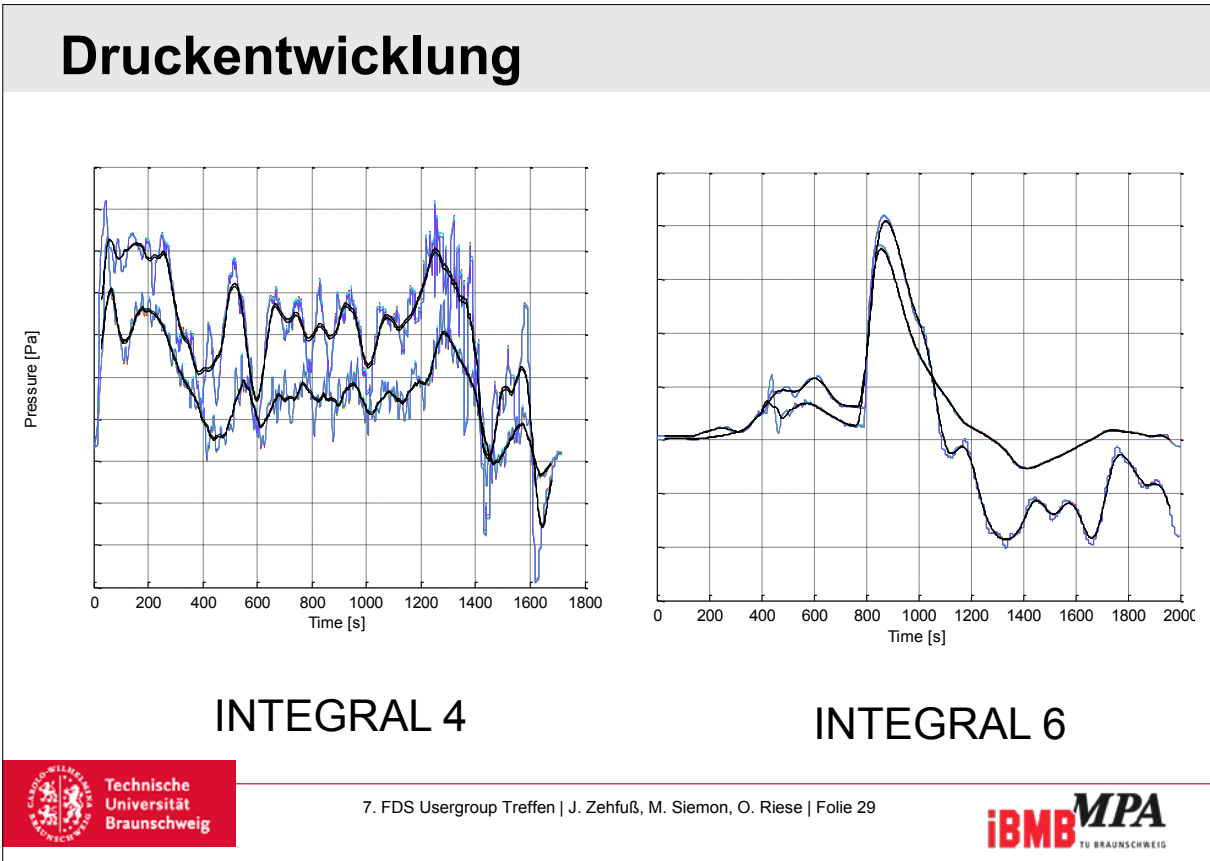
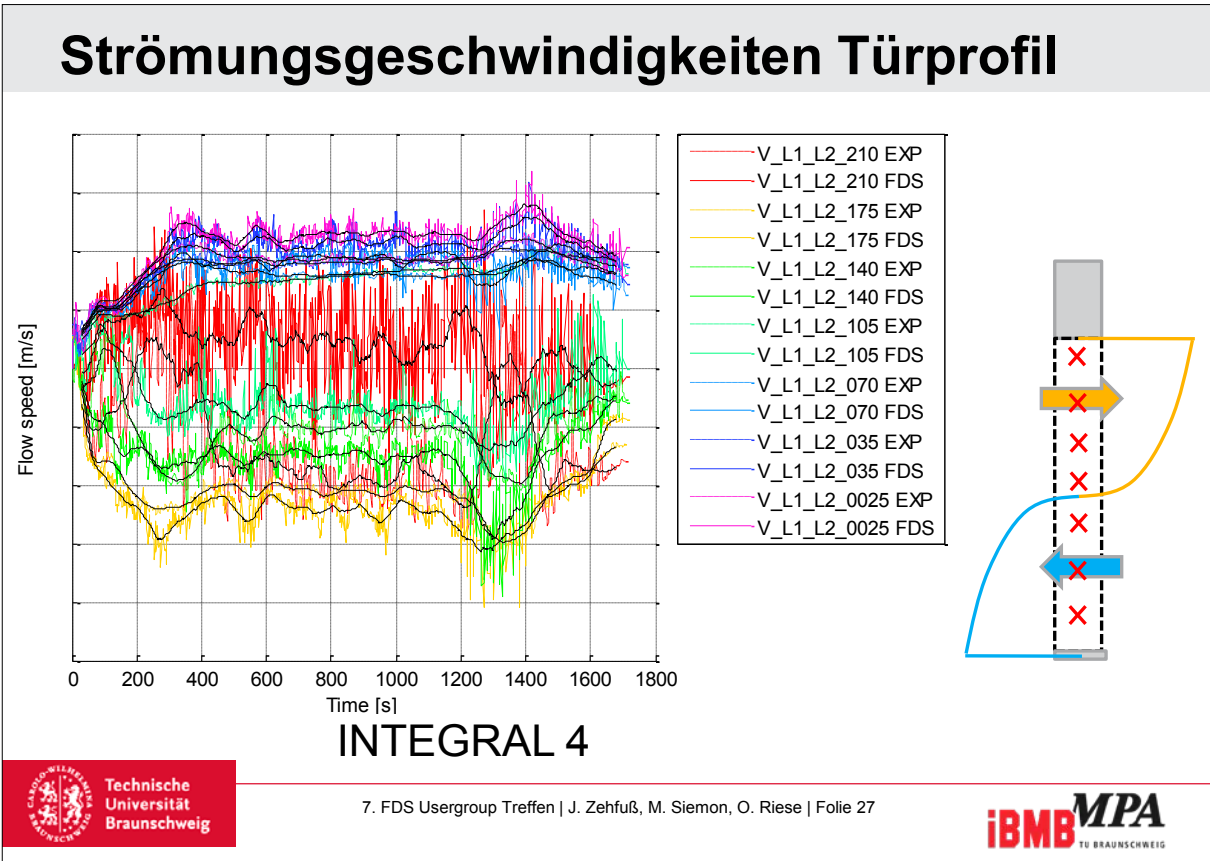
INTEGRAL 4

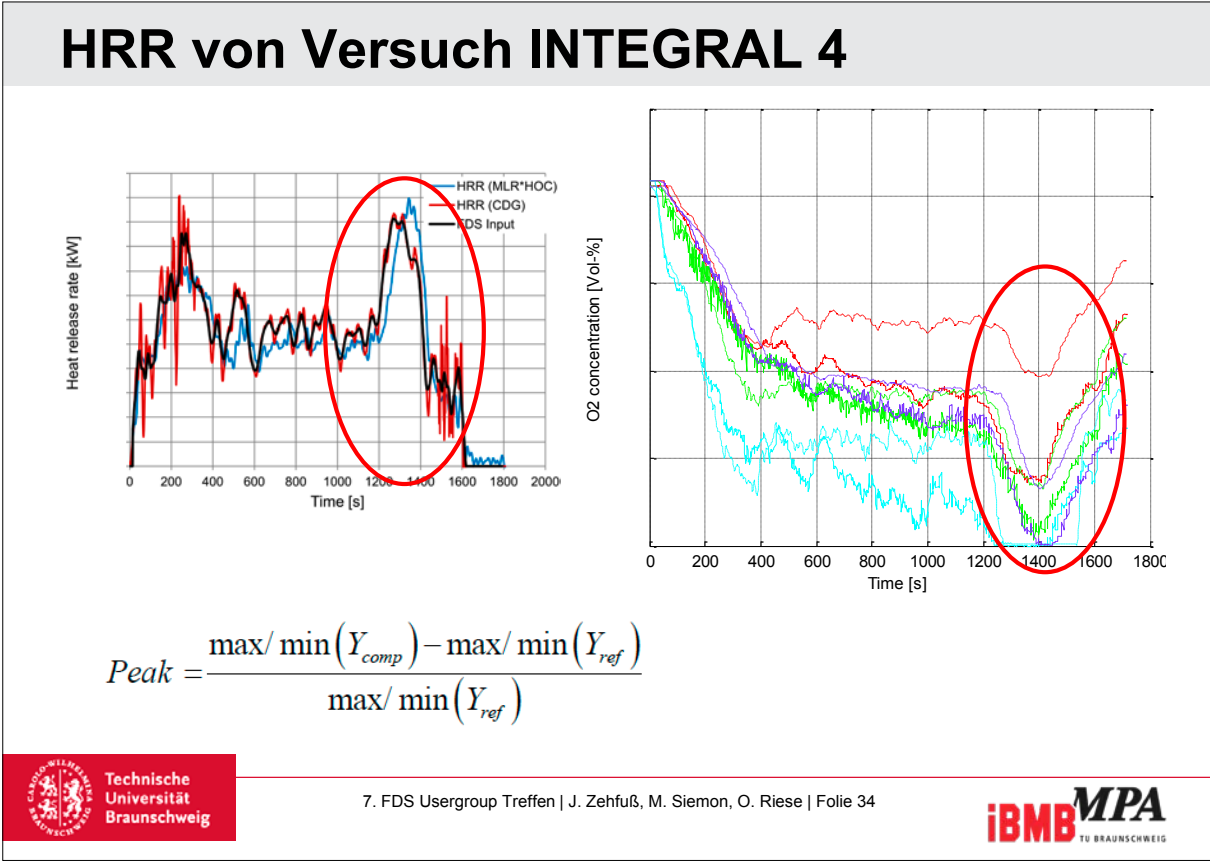
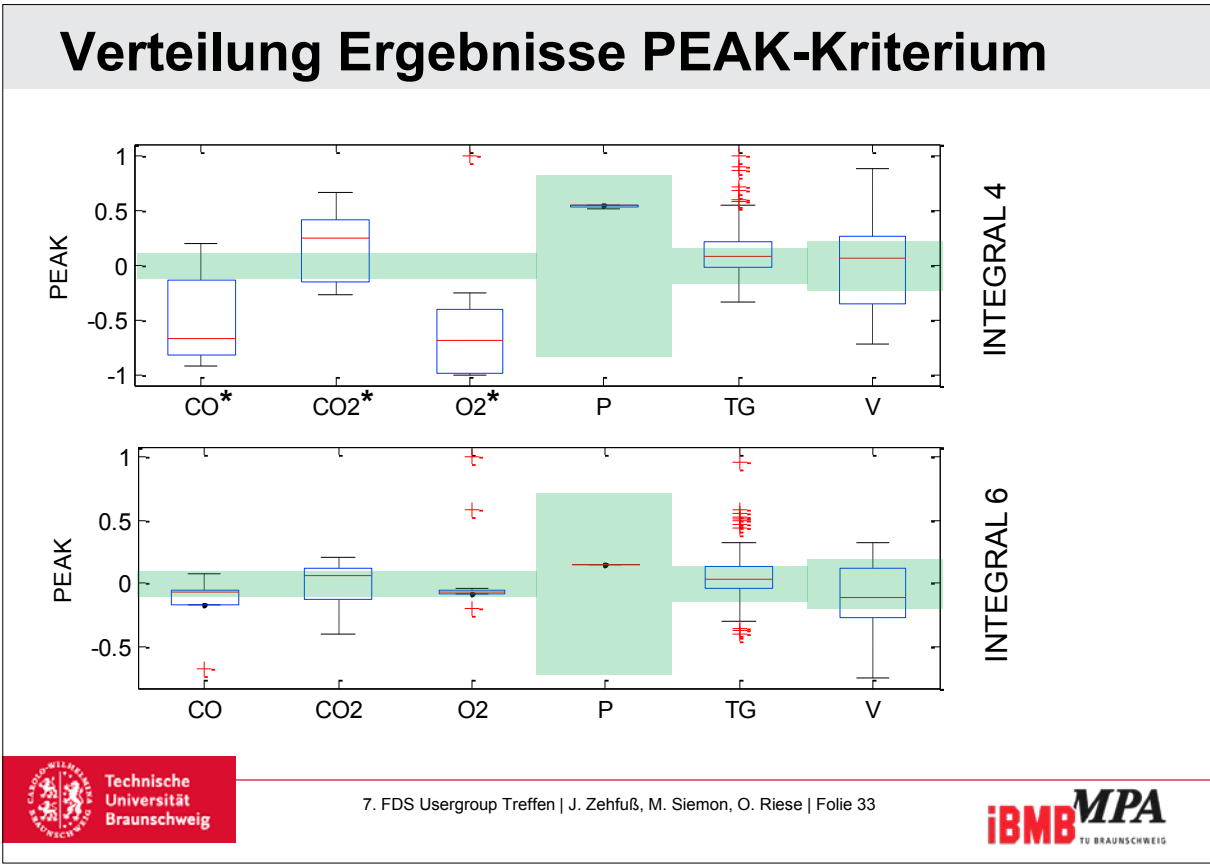
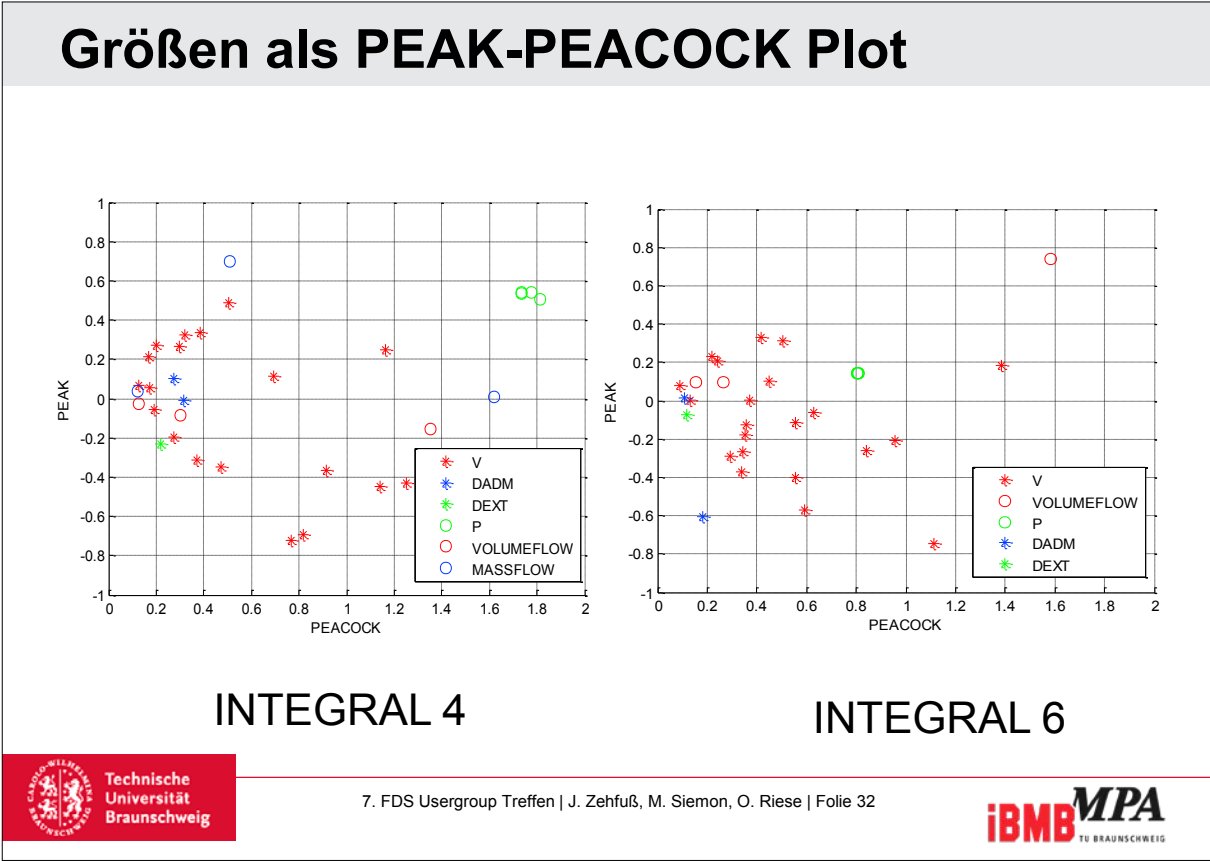
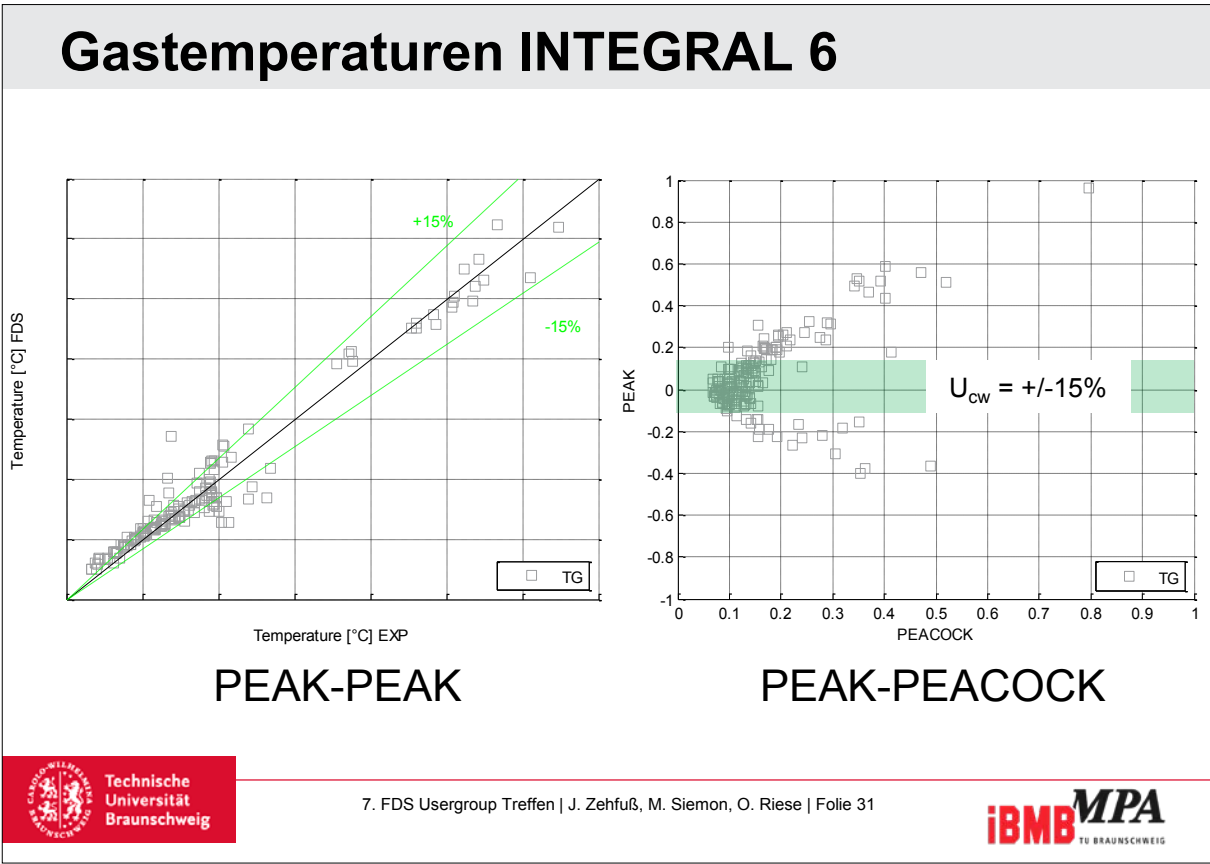


INTEGRAL 6

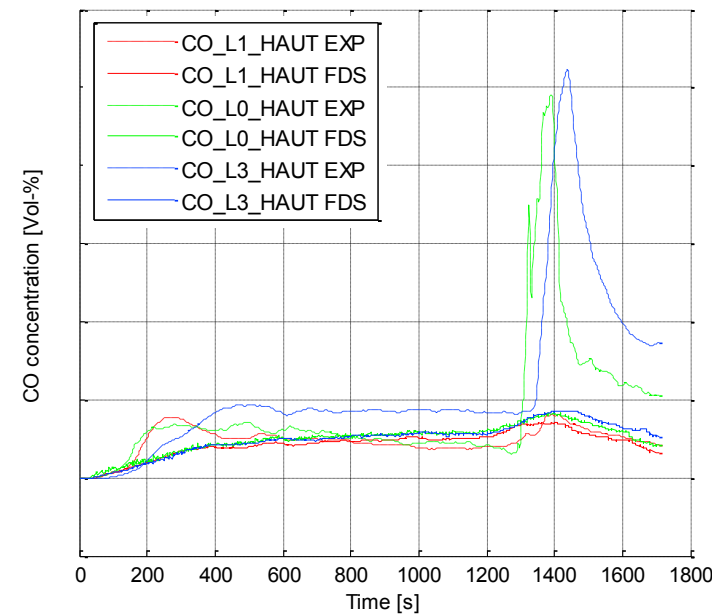








CO-Entwicklung INTEGRAL 4



Zusammenfassung

- Akzeptable Übereinstimmung der Ergebnisse von FDS und Versuchen
- ~ 50% der Ergebnisse von FDS liegen in dem von der NUREG definierten Vertrauensintervall
 - Gute Übereinstimmung der Gastemperaturen
 - Gute Übereinstimmung der Ein- und Auslassströmungen
-> FDS fan curve Modell geeignet für die Modellierung mechanischer Ventilationsbedingungen
 - Gute bis akzeptable Übereinstimmung des Sauerstoffverbrauchs / Kohlendioxidproduktion sowie Kohlenmonoxidproduktion
-> Hohe Sensitivität der Yield-Parameter

Ausblick

- Erweiterung der Datengrundlage der vorhandenen Vertrauensintervalle
- Ableiten von Vertrauensintervallen für das PEACOCK-Kriterium
- Normalerweise keine Kenntnis über die HRR (blinde Simulation)
- Wie Umgehen mit den verschiedenen Unsicherheiten?
 - Umfangreichere und einzelfallbezogene Eingangsdaten?
 - Modellverbesserungen?
 - Sicherheitskonzept?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!
Fragen?

Ausgangspunkt

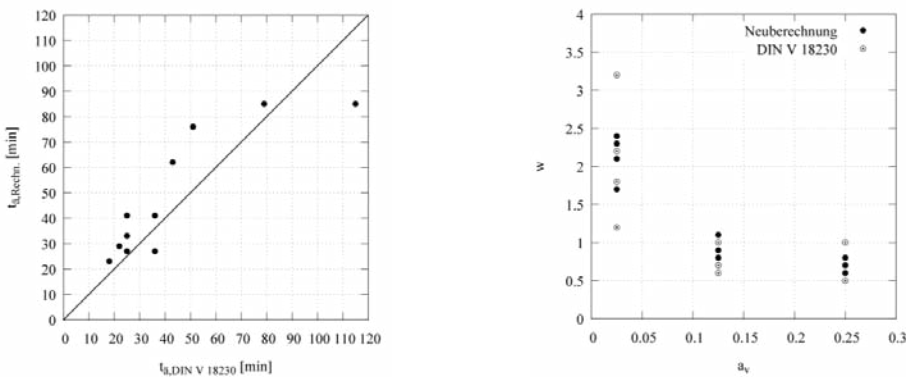


Die der DIN 18230-1:1998-05 zugrunde liegenden Rechenformeln und Tabellen decken nicht alle Gebäudegeometrien des Industriebaus ab, um die notwendigen Berechnungen für die Bestimmung der äquivalenten Branddauer t_a oder des Wärmeabzugsfaktors w durchführen zu können.

Ziel der Arbeit des Normungsgremiums NA 005-52-41 ist es, die Eingangsparameter und Rechengrößen für die Berechnung der äquivalenten Branddauer und des Wärmeabzuges nach DIN 18230-1 auf der Basis von Brandsimulationen in einem neuen Normenteil, der DIN 18230-4, festzulegen.

Das Referenzbeispiel einer vereinfachten Industriehalle mit einer Grundrissfläche von 2.400 m², mit einer lichten Höhe von 6 m und die durchgeführten Parametervariationen werden in diesem Beitrag vorgestellt.

Neuberechnung Wärmeabzugsfaktor 1990

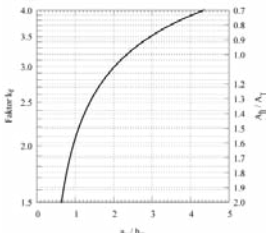
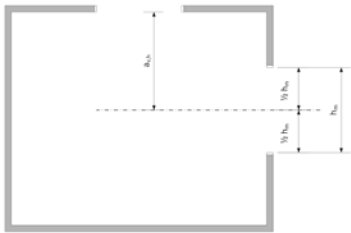


Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit. (1990). Neuberechnung der Wärmeabzugsfaktoren w für DIN V 18230-1, Baulicher Brandschutz im Industriebau (No. Arbeitsbericht NABau 12.04 AK, Nr. 14-90). Bruchsal, Wien.

Berechnung nach DIN 18230-1:1987-09

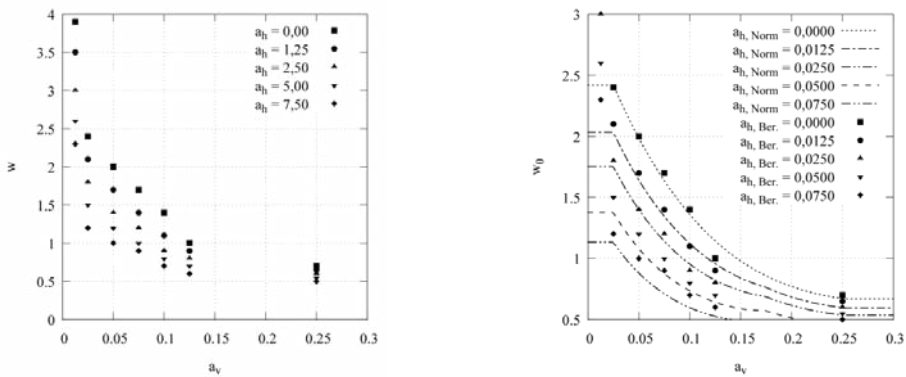


$$t_a = q_R \cdot c \cdot w$$
$$w = w' \cdot \sqrt{w''}$$
$$w' = \sqrt{0,25 \cdot A / A_{v+h}}$$
$$w'' = \frac{A}{\sqrt{A_t \cdot A_v} + \sqrt{h_m}}$$
$$A_{v+h} = A_v + k_f \cdot A_h$$
$$h_m = \frac{\sum_i (A_{vi} \cdot h_i)}{\sum_i A_{vi}}$$
$$a_{v,h} = \frac{\sum_i (A_{vi} \cdot a_{v,hi})}{\sum_i A_{vi}}$$



Lage der Öffnung	A_{v+h} / A					
	< 0,05	> 0,05 ≤ 0,10	> 0,10 ≤ 0,15	> 0,15 ≤ 0,20	> 0,20 ≤ 0,25	> 0,25
Räume mit Öffnungen an einer Seite	3,2	2,0	1,5	1,2	1,0	0,9
Räume mit Öffnungen an mindestens zwei Seiten	2,2	1,5	1,0	0,9	0,7	0,6
Räumen mit Dachentlüftung	1,8	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5

Berechnung nach DIN 18230-1:1998-05

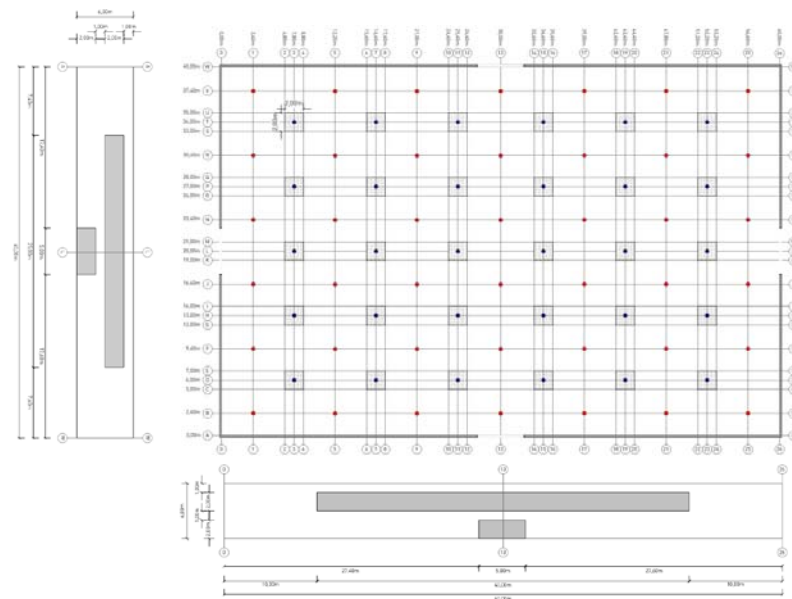


$$w_0 = \frac{1,0 + 145,0 \cdot (0,40 - a_v)^4}{1,6 + \beta \cdot a_h} \geq 0,5 \quad a_h = \left(\frac{6,0}{h} \right)^{0,3}$$
$$\beta = 20,0 \cdot (1 + 10 \cdot a_v - 64 \cdot a_v^2) \geq 16$$

REFERENZSZENARIO DIN 18230

Spennes, G.; Jäger, G.; Plum, A.: *Stand der Normung und Anwendung von Methoden des Brandschutzingenieurwesens DIN 18230-4 „Ermittlung der äquivalenten Branddauer und des Wärmeabzugs durch Brandsimulation“*.
in: 61. Jahresfachtagung der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Tagungsband, Weimar,
S. 401-425. vfdB, Altenberge, 2013

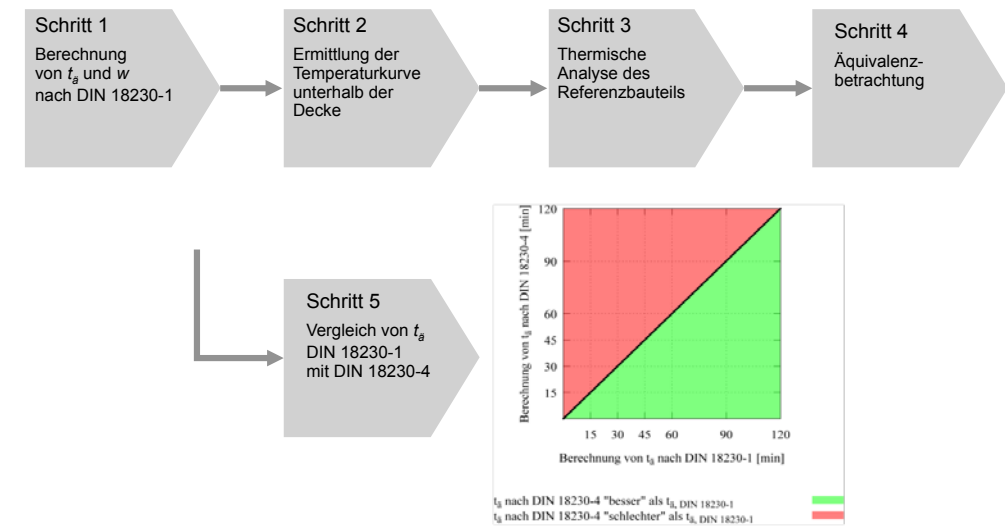
Geometrie & Brandszenario



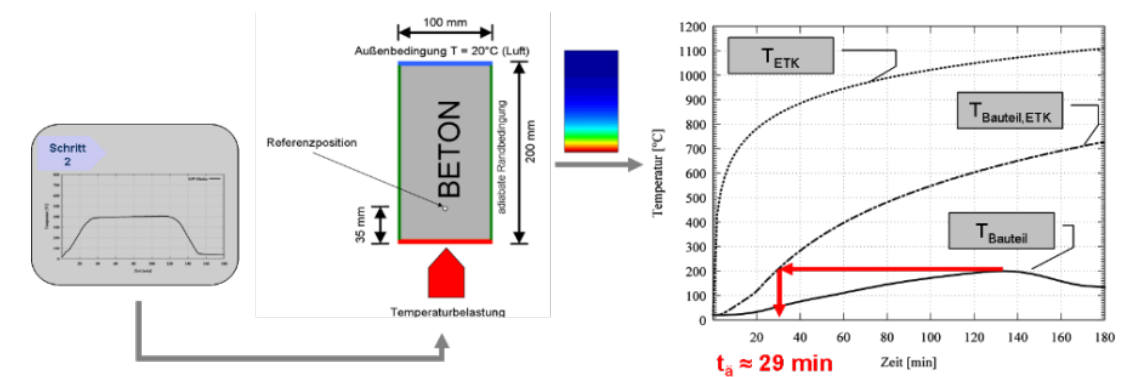
Brandszenario

- q_r : 144 kWh/m²
- v : 1 m/min
- M : 38,5 kg/m²
- m : 20 kg/m² h
- a_v : 2,5 %, 7,5 %
12,5 %
- a_h : 5,0 %, 12,5 %

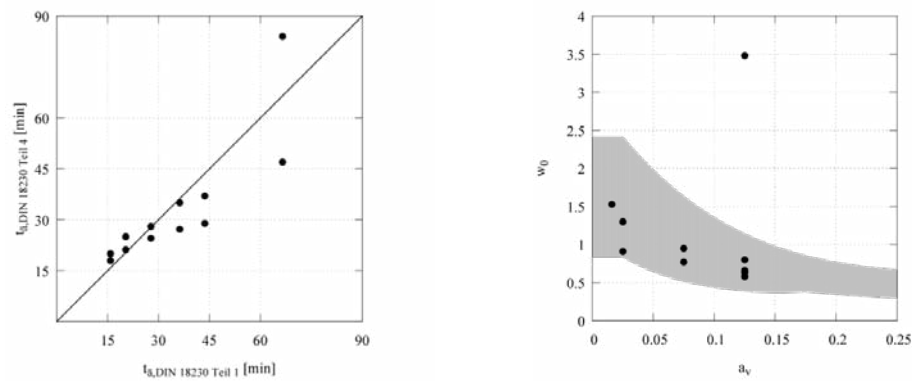
Vorgehensweise I



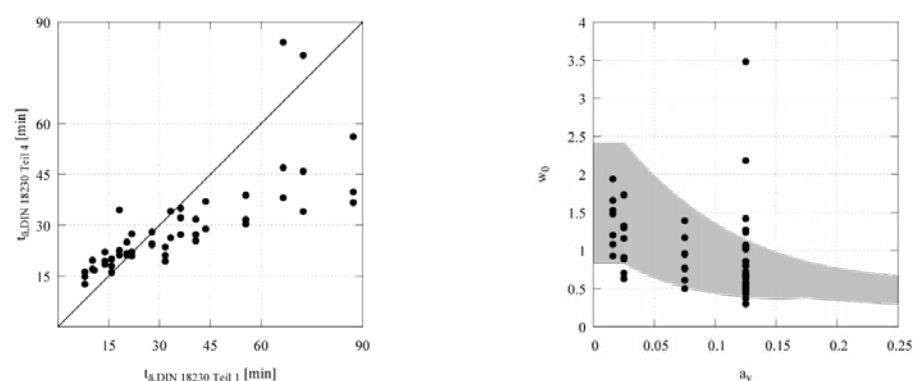
Vorgehensweise II



Berechnungsergebnisse



Variante: spezifische Brandlast



Brandszenario
■ q_r: 72/144/288 kWh/m²

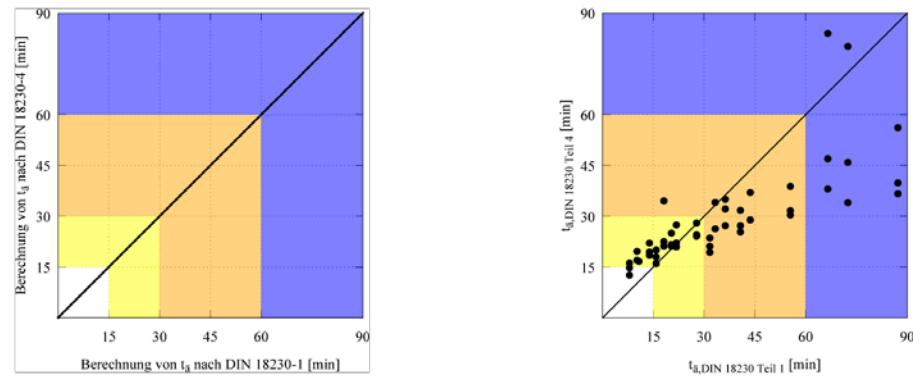


GEDANKENSPIELE


Spennes, G.; Jäger, G.: Brandschutzkonzepte im Spannungsfeld zwischen DIN 18230 und den Eurocodes.
in: Hossler, D. (Hrsg.): Braunschweiger Brandschutz-Tage, 25. und 26. September 2013 in Braunschweig. Braunschweig:
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Heft 220, S. 231-256

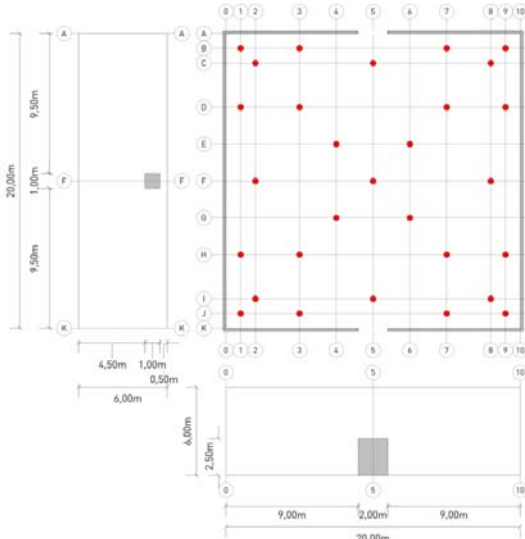


Variante: spezifische Brandlast



Variante: Gitterweite




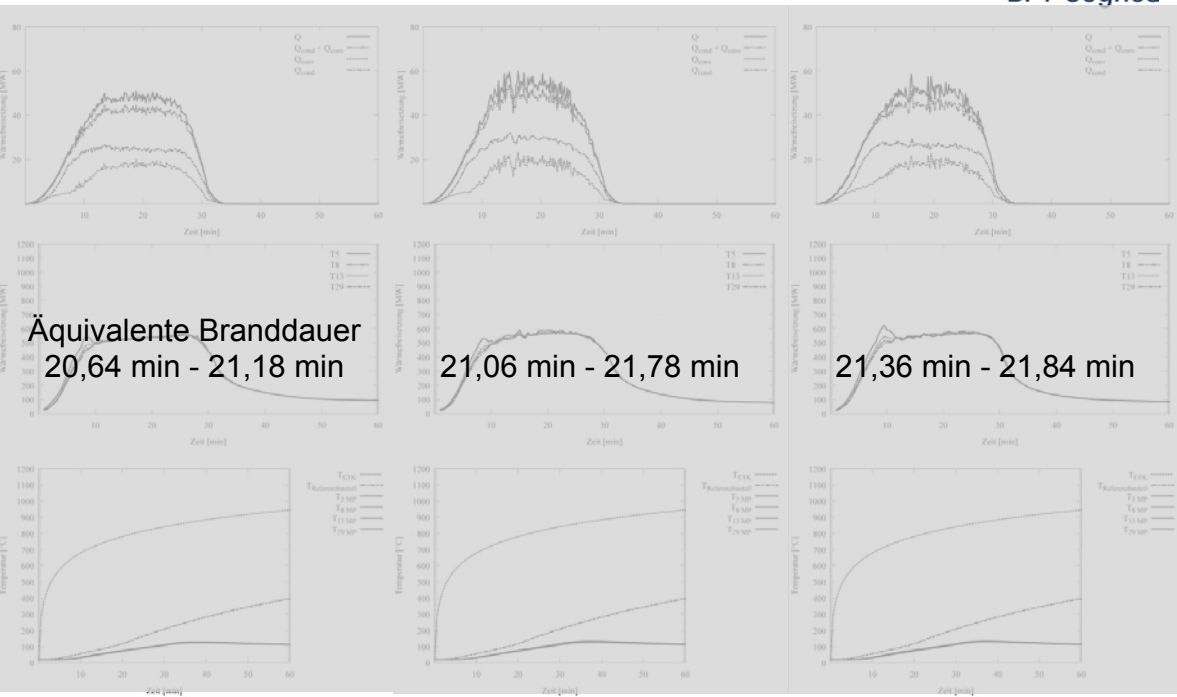


Brandszenario

- q_r : 48 kWh/m²
- Ausbreitungsgeschwindigkeit: 1 m/min
- M: 10,0 kg/m²
- spez. Abbrandrate: 30 kg/m² h
- spez. Wärmefreisetzung: 144 kW/m²
- A_v : 12 m²
- A_h : 0 m²
- H_u : 17 280 kJ/kg

Variante: Gitterweite






Äquivalente Branddauer

20,64 min - 21,18 min

21,06 min - 21,78 min

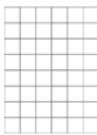
21,36 min - 21,84 min

Variante: Gitterweite - Ansatz




$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{1/3}$$


Fine



Moderate




Coarse



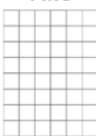
D. Stroup and A. Lindeman. Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications. NUREG-1824, supplement 1, United States Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 2013. EPRI 1011999.

Variante: Gitterweite




$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{1/3}$$

Fine




$D^*/dx = 16$
Gitterweite: 30,33 cm

Moderate



$D^*/dx = 10$
Gitterweite: 48,53 cm

Coarse



$D^*/dx = 4$
Gitterweite: 121,31 cm

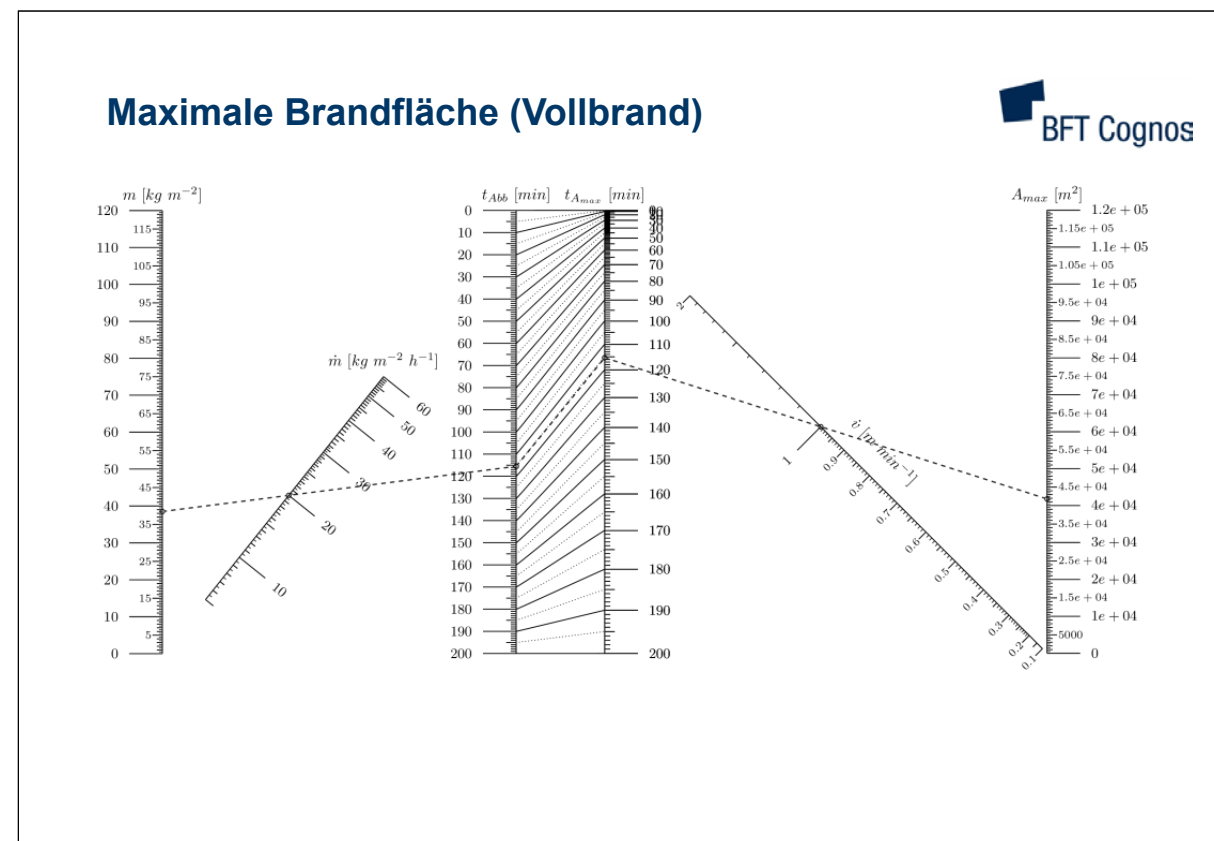
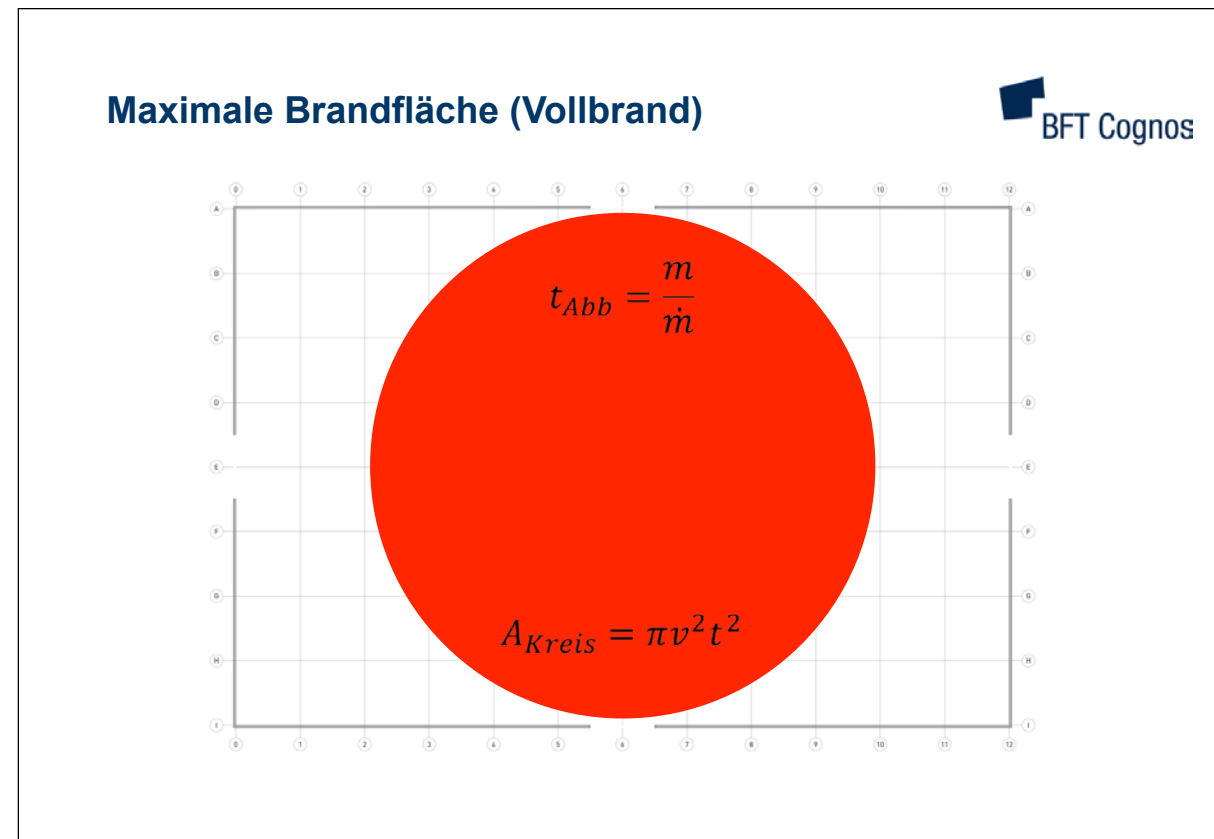
$\dot{Q}_{max} = 57600kW$

$D^*/dx = 19,41$
Gitterweite: 25 cm

$D^*/dx = 9,71$
Gitterweite: 50 cm

$D^*/dx = 4,85$
Gitterweite: 100 cm

NUREG 1824 – FDS Mesh Size Calculator: <http://www.koverholt.com/fds-mesh-size-calc/>



Ausblick / Vision

Open Collaborative Research

http://en.wikipedia.org/wiki/Open_research

<http://arxiv.org/abs/1303.2690>

<http://blog.fds-smv.net/2013/11/fds-and-challenge-of-big-data.html>

BFT Cognos

(Zwischen-)Fazit

- DIN 18230 stellt ein sehr einfaches Näherungsverfahren dar
- Verfahren nach Abschnitt 7 IndBauR auf der sicheren Seite (?)
- Pauschale Aussagen zu Programmen nur bedingt hilfreich
- Ermittlung der erforderlichen Feuerwiderstandsklassifizierung durch Brandsimulation erfordert weitere Werkzeuge bzw. neue Umgangsformen:
 - Bemessungsbrandszenario (Vollbrand, Teilflächenbrände)
 - Beurteilung der Berechnungsergebnisse
 - Umgang mit Unsicherheiten (z.B. Modell, Implementierung, Eingabedaten)
- Anforderungen an Dokumentation

Dr. Matthias Münch:

Glaubwürdige Brandsimulationen – Nachweisbar richtig simuliert

Abstract:

Der Fire Dynamics Simulator (FDS) bietet dem Anwender nicht nur zahlreiche Modellparameter, sondern teilweise auch unterschiedliche Ansätze zur Modellierung physikalischer Prozesse an. Die Variationsmöglichkeiten der Steuerung des Simulationsprozesses durch den Anwender sind bereits jetzt sehr vielfältig. Im Zuge der Weiterentwicklung der FDS-Software und der Verfügbarkeit neuer Modellansätze werden diese Variationsmöglichkeiten weiter zunehmen.

Diese Entwicklung erlaubt einerseits eine bessere Abstimmung des Simulationsmodells auf die zu betrachtende Problemstellung, erfordert andererseits jedoch eine Strategie die Korrektheit der gewählten Modellansätze und -parameter inklusive ihrer Wechselwirkungen nachvollziehbar zu belegen. Gerade im Hinblick auf die Absicherung und Glaubwürdigkeit von Simulationsergebnissen ist bei der zunehmenden Komplexität der Vorwurf der Parametermanipulation zum Zwecke des „schön Rechnens“ schnell erhoben.

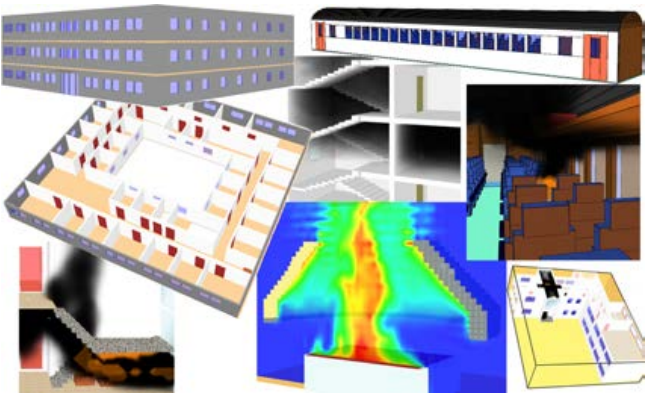
Der Vortrag erläutert an ausgewählten Beispielen ein Konzept, mit dem ein von Dritten nachvollziehbarer Nachweis entsteht, dass die ausgewählte Software die Problemstellung erfassen kann, die Modellimplementierung ausreichend korrekt ist und die gewählten Modellparameter sowie die enthaltenen Modellfehler für die vorgesehene sicherheitstechnische Bewertung der Simulationsergebnisse geeignet sind.

Glaubwürdige Brandsimulationen – Nachweislich richtig simuliert –

Matthias Münch

INURI GmbH
Haderslebener Str. 9
12163 Berlin

www.inuri.de
info@inuri.de



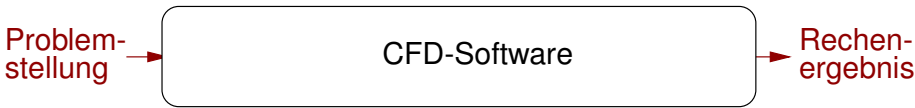
7. FDS-Usergroup Treffen 2013

Einleitung & Motivation

Absicherung von Brandsimulationsprogrammen



Bisherige Vorgehensweise



- ▶ Betrachtung Software als „Black-Box“
- ▶ Prüfung mit Brandexperimenten
- ▶ Nachweis der Softwarequalität durch Programmierer (Allgemeiner Anwendbarkeitsnachweis)

Einleitung & Motivation

Absicherung von Brandsimulationsprogrammen

INURI

Konzeptidee



- ▶ Berücksichtigung der Modell-, Verfahrens- und Programmeignung
- ▶ Für den speziellen Anwendungsfall
- ▶ Nachweis/Verantwortung durch den Anwender

*Bei freier Open-Source Software
keine Garantie durch Softwareentwickler
(z.B. Fire Dynamics Simulator – FDS)*

Konzeptvorstellung

Umfassenderes Absicherungskonzept

INURI

Konzeptaufbau

▶ V&V-Prozess

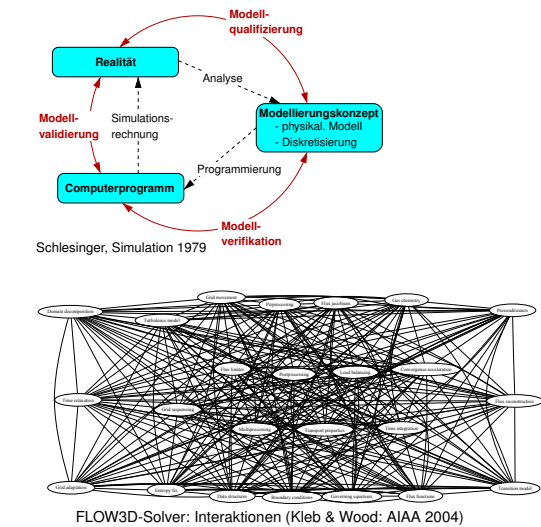
- ▶ Modellqualifizierung
- ▶ Modellverifikation
- ▶ Modellvalidierung

▶ Komponentenbetrachtung

- ▶ Physikalische Submodelle
- ▶ Numerische Algorithmen
- ▶ Datenhandhabung
- ▶ Gitterhandhabung

▶ Bewertungskriterien

- ▶ Modellannahmen
- ▶ Numerische Kriterien
- ▶ Programmiertechniken



Konzeptvorstellung

Umfassenderes Absicherungskonzept

INURI

Konzeptaufbau

▶ V&V-Prozess

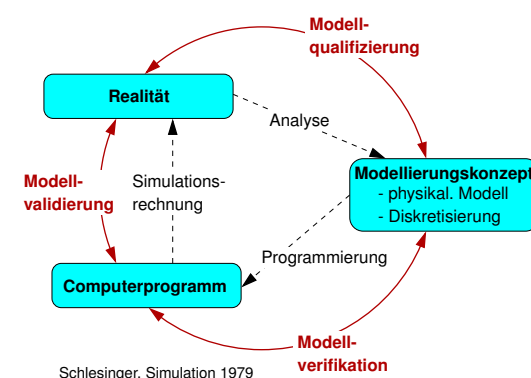
- ▶ Modellqualifizierung
- ▶ Modellverifikation
- ▶ Modellvalidierung

▶ Komponentenbetrachtung

- ▶ Physikalische Submodelle
- ▶ Numerische Algorithmen
- ▶ Datenhandhabung
- ▶ Gitterhandhabung

▶ Bewertungskriterien

- ▶ Modellannahmen
- ▶ Numerische Kriterien
- ▶ Programmiertechniken



Konzeptvorstellung

Umfassenderes Absicherungskonzept

INURI

Konzeptaufbau

▶ V&V-Prozess

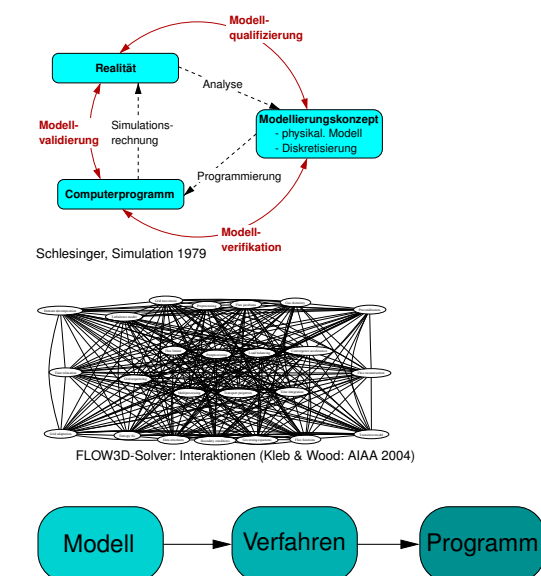
- ▶ Modellqualifizierung
- ▶ Modellverifikation
- ▶ Modellvalidierung

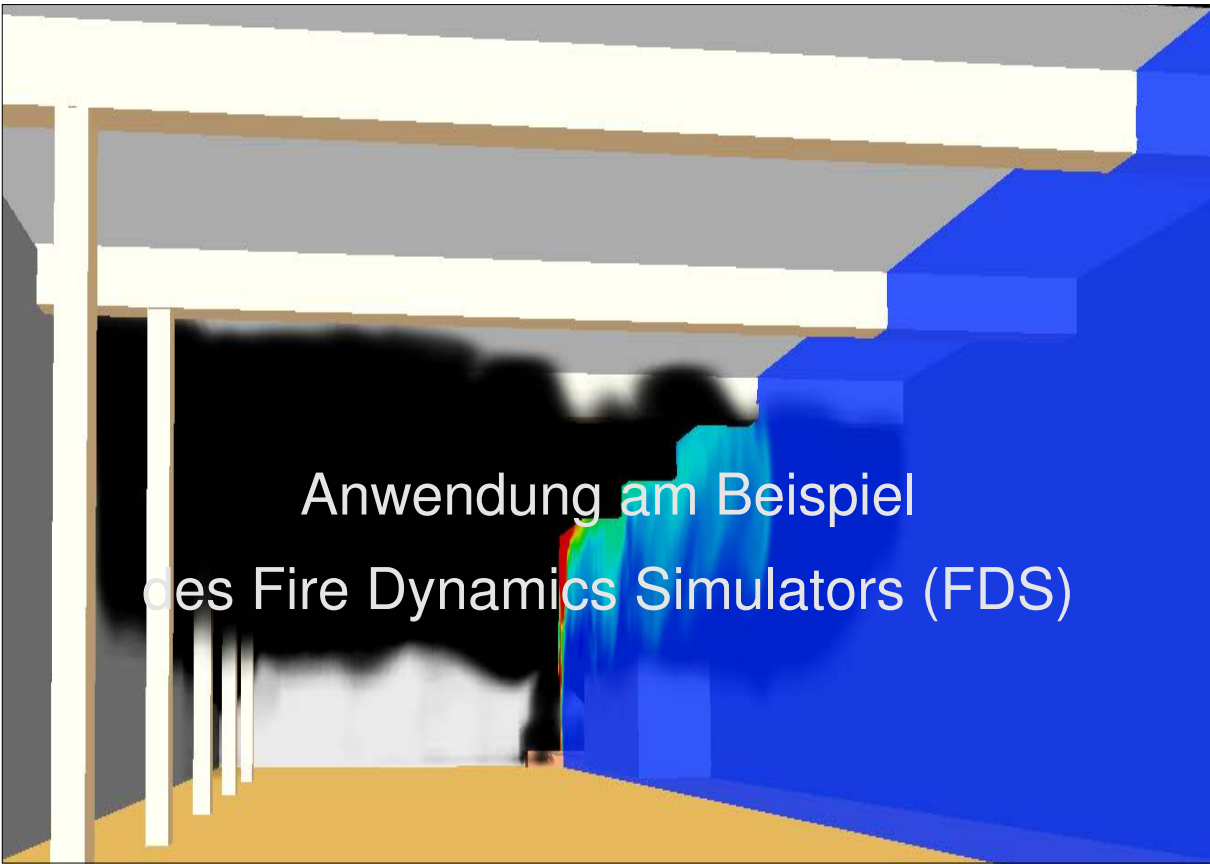
▶ Komponentenbetrachtung

- ▶ Physikalische Submodelle
- ▶ Numerische Algorithmen
- ▶ Datenhandhabung
- ▶ Gitterhandhabung

▶ Bewertungskriterien

- ▶ Modellannahmen
- ▶ Numerische Kriterien
- ▶ Programmiertechniken





Konzeptumsetzung

Beispiel Fire Dynamics Simulator (FDS)



Testmatrix

Test	Typ	Physikal. Komponenten						Strukturtest
		Gasdynamik	Gravitation	Viskosität	Turbulenz	Strahlung	weitere	
Modellqualifizierung								
Dichteschichtung	A	✓	✓					RB
Modellverifizierung								
Kanaltest	A	✓						GZ,OK
Wirbeladvektion	A	✓						OK,MP
Thermisch isolierter Raum	N	✓					✓	RB,MP
Strahlungswinkeltest	N					✓	✓	MP
Modellvalidierung								
Restivo-Test	SE	✓	✓	✓	✓			MP
Room Corner Test	E	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

- A: Analytischer Test

N: Numerischer Test

SE: Semi-experimenteller Test

E: Experiment/Brandversuch
- GZ: Gebietszerlegung

OK: Ordnung und Konvergenz

RB: Randbedingung

MP: Numerische Modellparameter

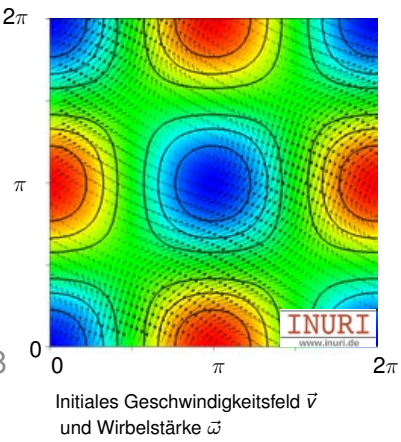
Analytischer Test: Wirbeladvektion

Beispiel Fire Dynamics Simulator (FDS)



FDS-Verifikatonstestfall: ns_2d

- ▶ Simulationsgebiet:
 - Gebiet mit periodischen Rändern
 - Dichte und Druck konstant
 - Divergenzfreies Geschwindigkeitsfeld \vec{v}
$$u(x,z,t) = 1 - 2 \cos(x-t) \sin(z-t)$$
$$v(x,z,t) = 1 + 2 \sin(x-t) \cos(z-t)$$
$$\vec{p}(x,y,t) = -\cos(2(x-t)) - \cos(2(z-t))$$
 - 2d-Gitter $h = 2\pi/N$ mit $N=8, 16, 32, 64, 128$
- ▶ Analytische Lösung:
Vergleich $f(t=0)$ mit $f(t=2\pi)$
- ▶ Testkriterium:
 - reibungsfreie Advektion der Wirbel / Wirbelstärke $\vec{\omega} = \nabla \times \vec{v}$

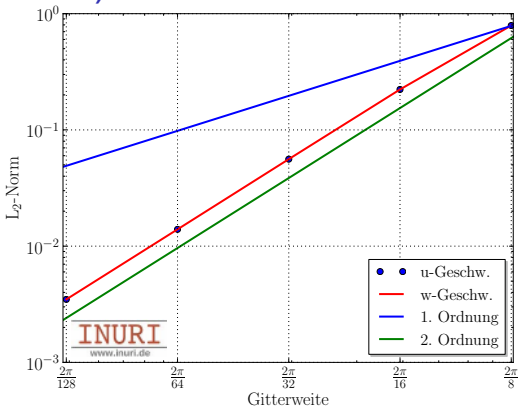
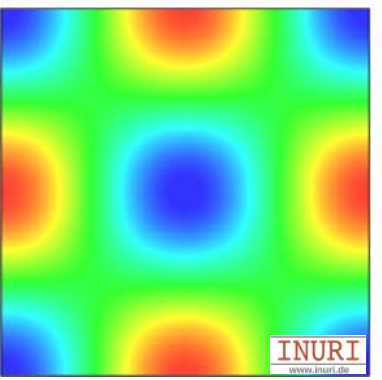


Analytischer Test: Wirbeladvektion

Beispiel Fire Dynamics Simulator (FDS)



FDS-Testfall ns_2d (FDS 5.5.3)

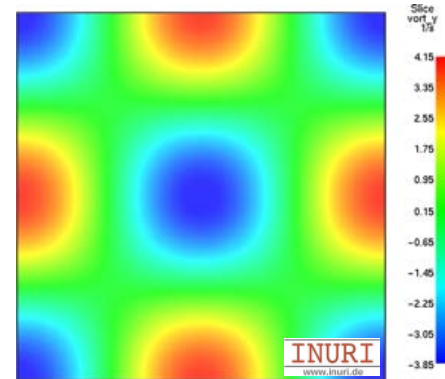
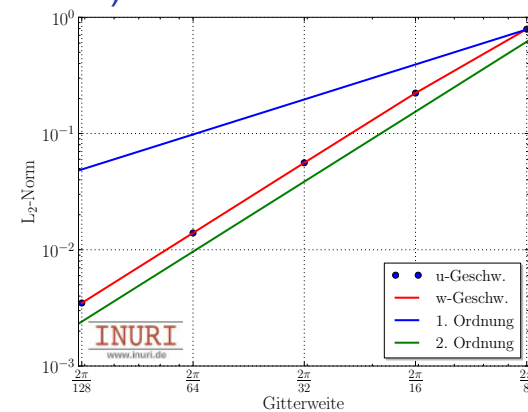


Analytischer Test: Wirbeladvektion

Beispiel Fire Dynamics Simulator (FDS)

INURI

FDS-Testfall ns_2d (FDS 5.5.3)

Wirbelstärke für $h = 2\pi/128$
bei $t = 2\pi$ Fehler u- und w-Geschwindigkeit
in der euklidischen-Norm L_2 bei $t = 2\pi$

- Numerischer Modellparameter: CFL-Zahl
(Courant-Friedrichs-Lewy-Zahl)

Im Testfall CFL_MAX = 0,25 aber Defaultwert CFL_MAX = 1

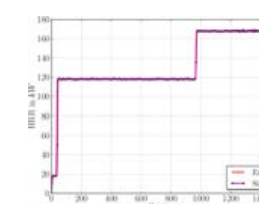
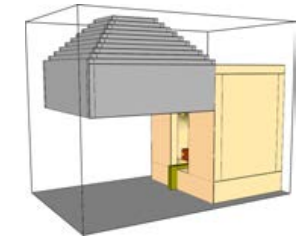
Brandexperiment: Room-Corner Test

Beispiel Fire Dynamics Simulator (FDS)

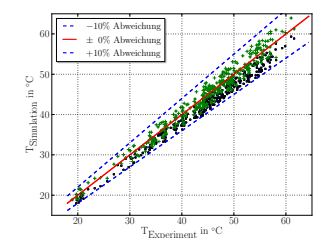
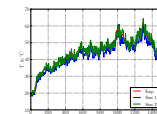
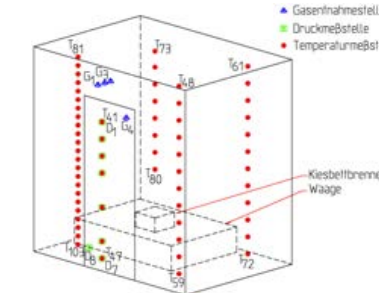
INURI

Beispiel: Versuchsofen

- Propanbrenner (118 / 168 kW)
- Versuchszeit ca. 25 min
- u.a. 62 Thermoelemente (4 s Taktung)



Wärmefreisetzung

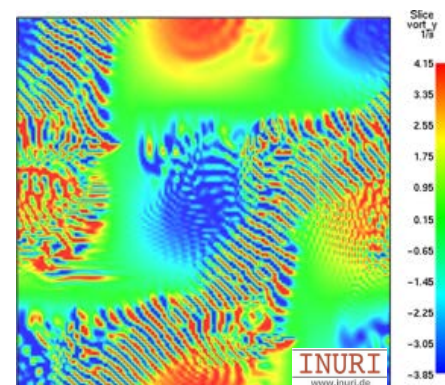
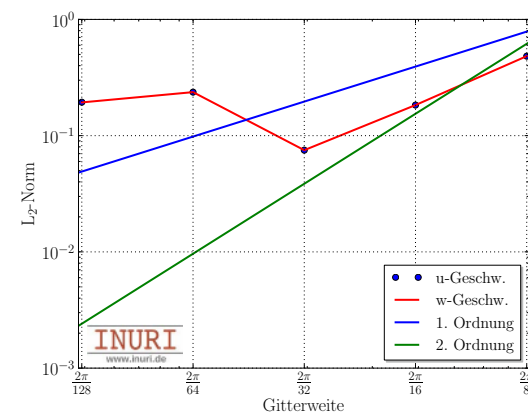


Analytischer Test: Wirbeladvektion

Beispiel Fire Dynamics Simulator (FDS)

INURI

FDS-Testfall ns_2d (FDS 5.5.3 mit CFL_MAX = 1)

Wirbelstärke für $h = 2\pi/128$
bei $t = 2\pi$ Fehler u- und w-Geschwindigkeit
in der euklidischen-Norm L_2 bei $t = 2\pi$

Defaultwert genügt nicht für reibungsfreie Wirbeladvektion
→ Beschränkung eines Modellparameters

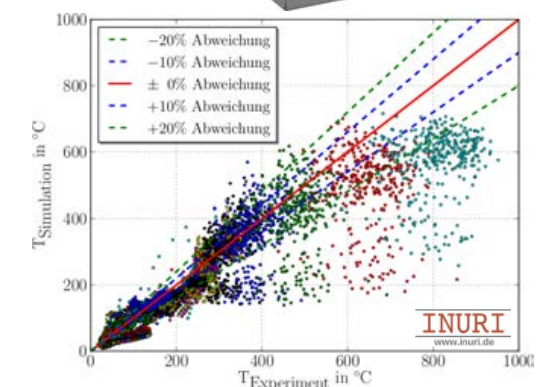
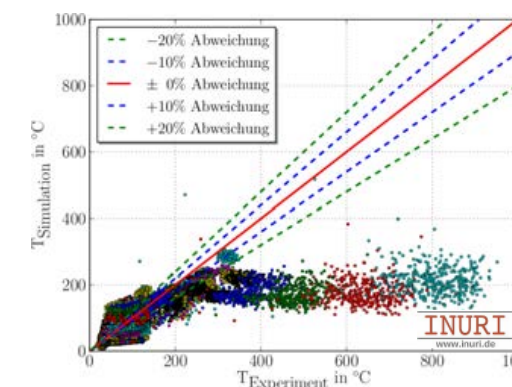
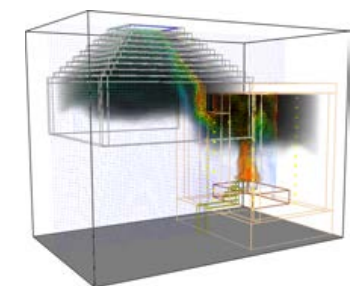
Brandexperiment: Room-Corner Test

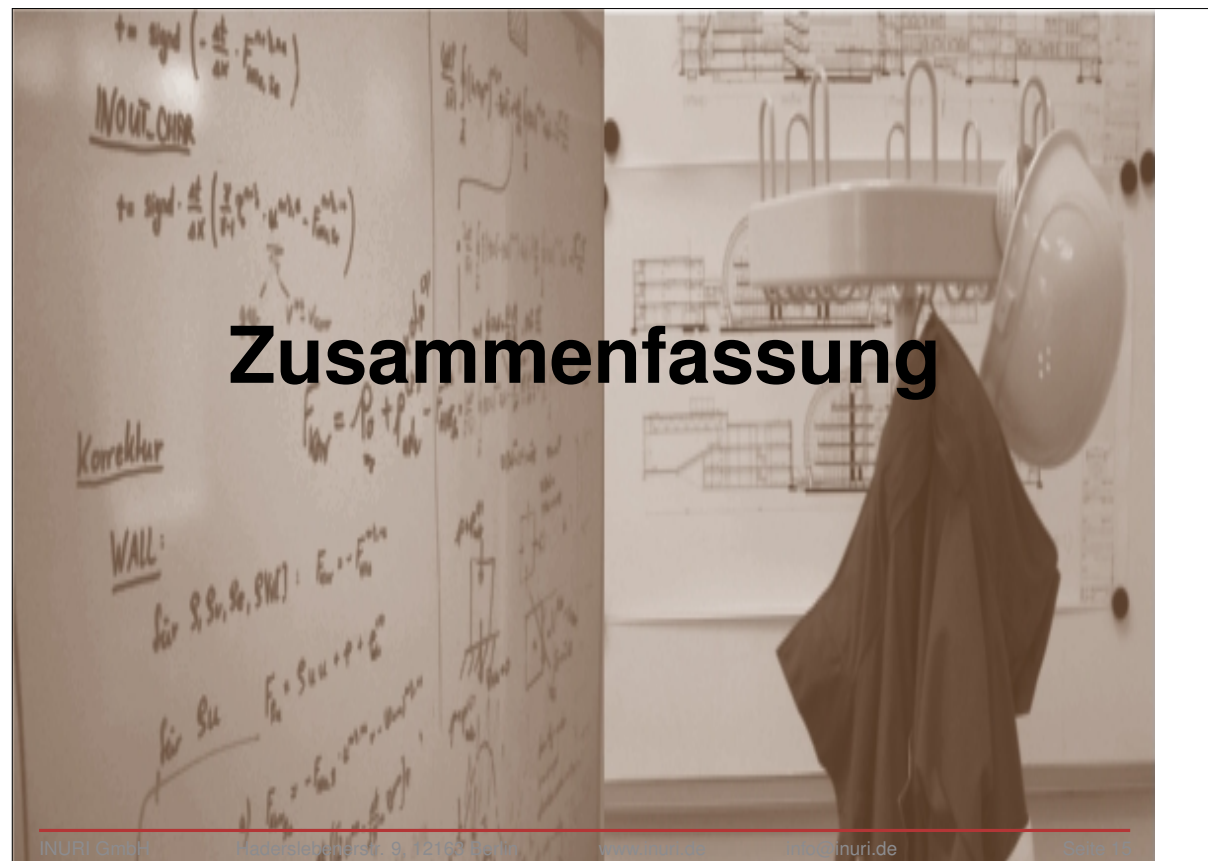
Beispiel Fire Dynamics Simulator (FDS)

INURI

Beispiel: Versuchsofen

- FDS LES-Simulation
- Modell Propanverbrennung
- diskretes Modell $h = 10$ cm
- 2 verschiedene Parametersätze





Zusammenfassung

Absicherung von Brandsimulationsprogrammen



1. CFD-Simulationstechnik

- ▶ Basiert auf Physik **und** Mathematik bzw. Numerik
- ▶ „Allgemein anerkannte Programme“ kann es nicht geben
- ▶ Absicherung mit Brandversuchen allein ist nicht ausreichend

2. Vorstellung eines umfassenderen Prüfkongzeptes

- ▶ Demonstration der Konzeptanwendung
- ▶ Einbindung des Konzeptes in eine Eignungsprüfung



Ausführliche Beschreibung:

Konzept zur Absicherung von CFD-Simulationen im Brandschutz und in der Gefahrenabwehr

ISBN 978-3-944809-00-7

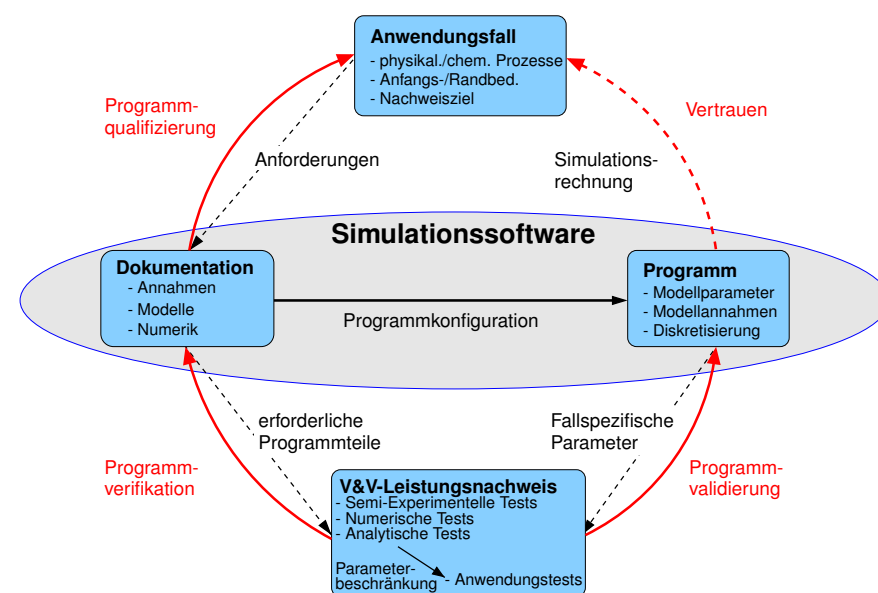
im SDL Online-Buchshop

Zusammenfassung

Absicherung von Brandsimulationsprogrammen



Ablaufschema „Eignungsüberprüfung“



Dr. Andreas Vischer:

Wärmestrahlung in FDS 6 - eine Analyse

Abstract:

Wärmestrahlung ist ein wesentlicher Prozess für den Wärmetransport bei Bränden, da diese von den heißen Flammen des Brandursprungs ausgehen und über größere Entfernungen wirken. Zunächst werden daher die physikalischen Grundlagen der Wärmestrahlung kurz erläutert. Weiterhin ist die Strahlungsintensität von zahlreichen Faktoren abhängig, die in diesem Vortrag ebenfalls kurz vorgestellt werden.

Die Umsetzung aller physikalischen Vorgänge in ein Strahlungsmodell, insbesondere die bei Bränden auftretenden Interaktionen, ist äußerst komplex und mit vertretbarem Modellierungs- und Rechenaufwand nicht möglich. Daher werden auch beim Strahlungsmodell in FDS Vereinfachungen und Annahmen getroffen. Das in FDS implementierte Strahlungsmodell wird in den wesentlichen Grundzügen erläutert sowie die vom Benutzer einstellbaren Parameter und ihre Auswirkungen erläutert.

Abschließend werden anhand von Beispiel- und Vergleichsrechnungen zum einen Vergleiche zwischen FDS 5 und FDS 6 sowie auch Parameterstudien zu den wesentlichen Parametereinstellungen durchgeführt und diskutiert.

SACHVERSTÄNDIGEN- UND
INGENIEURGESELLSCHAFT
Wijnveld//Ingenieure
INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ
UND INGENIEURMETHODEN

7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup



Brandsimulationen



Rauchsimulationen



Evakuierungssimulationen



Heißbemessung von Tragwerken

7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Wärmestrahlung in FDS 6 – eine Analyse

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

153

■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND INGENIEURGESELLSCHAFT

Wijnveld//Ingenieure

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ UND INGENIEURMETHODEN

Inhalt

1. Einleitung

2. Modellierung in FDS

3. Untersuchungen mit FDS

4. Ergebnisse

5. Fazit

Wijnveld//Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

3

■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND INGENIEURGESELLSCHAFT

Wijnveld//Ingenieure

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ UND INGENIEURMETHODEN

1. Einleitung

Wärmeübertragung lässt sich aufteilen in:

• Wärmeleitung:
Energietransport zwischen benachbarten Molekülen aufgrund eines im Material vorhandenen Temperaturgradienten

• Wärmekonvektion:
Energieübertragung durch Strömung (Bewegung von Stoffteilchen)

• Wärmestrahlung:
Energietransport durch Photonen bzw. durch elektromagnetische Wellen

→ Wärmestrahlung ist wesentlich für die Wärmeübertragung im Brandfall!

Wijnveld//Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

4

■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND INGENIEURGESELLSCHAFT

Wijnveld//Ingenieure

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ UND INGENIEURMETHODEN

1. Einleitung – Energiebilanz der Strahlung

einfallender Energiestrom **F** teilt sich auf in:

• Reflexion **R**

• Absorption **A**

• Transmission **D**

→ $R + A + D = F$

→ $\rho + \alpha + \tau = 1$

Körper (außer transparente) i.d.R. strahlungsundurchlässig

→ $\rho + \alpha = 1$ (Vereinfachung)

Körper kann Wärmestrom **Q** aufnehmen und Strahlungsenergie emittieren:

→ $Q + F - S = 0$ bzw. $Q = E - A$

Wijnveld//Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

5

■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND INGENIEURGESELLSCHAFT

Wijnveld//Ingenieure

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ UND INGENIEURMETHODEN

1. Einleitung

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

- Gesetz von Stefan und Boltzman; Ausstrahlung des schwarzen Körpers:
 $M_s(T) = \sigma \cdot T^4$ $\sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} \, \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

- Gesetz von Kirchhoff (spektr. Strahldichte):
 $L_{\lambda}(\lambda, \beta, \varphi, T) = \alpha_{\lambda}(\lambda, \beta, \varphi, T) \cdot L_{\lambda S}(\lambda, T)$

→ spez. Ausstrahlung „realer“ Körper:
 $M(T) = \varepsilon(T) \cdot M_s(T) = \varepsilon(T) \cdot \sigma \cdot T^4$

Wijnveld//Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

6

■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND
INGENIEURGESELLSCHAFT
Wijnveld//Ingenieure
INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ
UND INGENIEURMETHODEN

1. Einleitung - Strahlungsaustausch im gasgefüllten Hohlraum

- sehr komplex und schwierig zu berechnen
- viele Abhängigkeiten
- Gase absorbieren/emittieren Strahlung in engen Wellenlängenbereichen
- Wände reflektieren durch das Gas gehende Strahlung und leiten diese wieder in den Gasraum
- Absorptionsgrad von Gasen abhängig von der Gaszusammensetzung
- Vereinfachte Berechnungen: Annahme eines grauen Gases $\alpha_G = \varepsilon_G$

Wijnveld//Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

7

■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND
INGENIEURGESELLSCHAFT
Wijnveld//Ingenieure
INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ
UND INGENIEURMETHODEN

2. Modellierung in FDS - Vereinfachtes Strahlungsmodell

- Transportgleichung für graues Gas (Standard 1 Wellenbereich)
- oder narrow-band model (6 oder 9 Wellenlängenbänder) (RadCal)
WIDE_BAND_MODEL=.TRUE. und CH4_BANDS=.TRUE.
- Begrenzung auf diskrete Winkelsegmente (Standard 100 Winkel)
NUMBER_OF_RADIATION_ANGLES
- Aufruf Strahlungslöser: Standard alle 3 Zeitschritte
TIME_STEP_INCREMENT
- Update-Inkrement für die Strahlungswinkel (Standard 5)
ANGLE_INCREMENT
- weitere Einstellungen: siehe FDS User's Guide

Wijnveld//Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

8

■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND
INGENIEURGESELLSCHAFT
Wijnveld//Ingenieure
INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ
UND INGENIEURMETHODEN

2. Modellierung in FDS - Vereinfachtes Strahlungsmodell

- Vernachlässigung von Streueffekten bei Rauch und Gasteilchen
- Lösung mit Finite Volumen Methode (FVM)
→ dennoch rechenintensiv (ca. 20% der Gesamtrechnenzeit)

$$\dot{q}_r''' \equiv -\nabla \cdot \dot{\mathbf{q}}_r''(\mathbf{x}) = \kappa(\mathbf{x}) [U(\mathbf{x}) - 4\pi I_b(\mathbf{x})] \quad ; \quad U(\mathbf{x}) = \int_{4\pi} I(\mathbf{x}, \mathbf{s}') d\mathbf{s}'$$

$\kappa(\mathbf{x})$ = Absorptionskoeffizient, $I_b(\mathbf{x})$ = Quellterm

$I(\mathbf{x}, \mathbf{s})$ = Lösung aus der RTE Gleichung: $\mathbf{s} \cdot \nabla I(\mathbf{x}, \mathbf{s}) = \kappa(\mathbf{x}) [I_b(\mathbf{x}) - I(\mathbf{x}, \mathbf{s})]$

Da Flammenzone nicht aufgelöst wird, Vereinfachung zu:

$$\kappa I_b = \begin{cases} \kappa \sigma T^4 / \pi & \text{Outside flame zone, } \dot{q}''' = 0 \\ C \kappa \sigma T^4 / \pi & \text{Inside flame zone, } \dot{q}''' > 0 \end{cases} \quad C = \text{dynamische Korrekturkonstante}$$

Wijnveld//Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

9

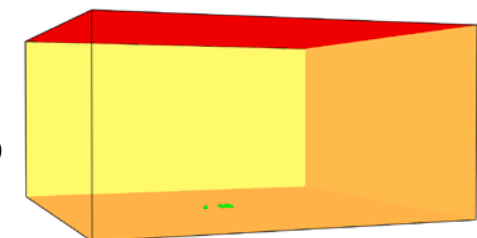
■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND
INGENIEURGESELLSCHAFT
Wijnveld//Ingenieure
INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ
UND INGENIEURMETHODEN

3. Untersuchungen mit FDS

FDS-Testfall aus dem Verification-Guide:

- Simulationsgebiet:
 - 2m x 2m x 1m (Abstand)
 - „Mittiger Messpunkt“
 - 1273 Kelvin heiße Oberfläche (rote Fläche)
 - 0 Kelvin kalte übrige Oberflächen (beige)
 - 3d kartesisches Gitter, Zellgröße 10cm
 - Keine Gravitation
- Analytische Lösung laut NIST:
 - Wärmestrahlung im Mittelpunkt: $\dot{Q}''_{rad} = 81,8 \text{ kW/m}^2$
- Testkriterium: Anzahl der Strahlungswinkel



Wijnveld//Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

10

■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND INGENIEURGESELLSCHAFT

Wijnveld//Ingenieure

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ UND INGENIEURMETHODEN

3. Untersuchungen mit FDS

FDS-Testfall aus dem Verification-Guide:

- Analytische Lösung laut NIST:
Wärmestrahlung im Mittelpunkt: $\dot{Q}''_{Rad} = 81,8 \frac{kW}{m^2}$
- Variation der Strahlungswinkel n
 - Konvergenz: n=60
 - Defaultwert: n=100
- Konstante Gitterweite 10cm

Graph: Radiative heat flux (plate_view_factor) vs Number radiation angles. Legend: Exact 2D (red line), FDS 2D (red circles), Exact cart. (blue line), FDS cart. (blue squares), Exact cyl. (green line), FDS cyl. (green diamonds).

Wijnveld//Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

11

FDS|USERGROUP

7. ANWENDERTREFFEN

■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND INGENIEURGESELLSCHAFT

Wijnveld//Ingenieure

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ UND INGENIEURMETHODEN

3. Untersuchungen mit FDS

FDS-Testfall aus dem Verification-Guide:

- 1,0m Abstand
- keine Gravitation
- Variation der Gitterweite:**
 - 2,5cm 5,0cm 10,0cm 20,0cm 25,0cm (40,0cm)
- Variation der Winkelanzahl:**
 - 50, 100, 200, 350, 500
- Variation der Temperatur:**
 - 250°C, 500°C, 750°C, 1.000°C
- Variation des Abstandes a bei 1.000°C:**
 - 1,0m 2,0m 5,0m 10,0m 2,0m

Wijnveld//Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

13

■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND INGENIEURGESELLSCHAFT

Wijnveld//Ingenieure

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ UND INGENIEURMETHODEN

3. Untersuchungen mit FDS

- Analytische Lösung laut NIST:
Wärmestrahlung im Mittelpunkt: $\dot{Q}''_{Rad} = 81,8 \frac{kW}{m^2}$
- Analytische Lösung Einstrahlzahl
 $\dot{Q}''_{Rad} = 82,55 \frac{kW}{m^2}$ (Mittelpunkt)
 $\dot{Q}''_{Rad} = 82,39 \frac{kW}{m^2}$ (Zellenmittelpunkte 10cm Zellen)

$$B = \frac{b}{a}; C = \frac{c}{a}$$
$$F_{12} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{B}{\sqrt{1+B^2}} \arctan \frac{C}{\sqrt{1+B^2}} + \frac{C}{\sqrt{1+C^2}} \arctan \frac{B}{\sqrt{1+C^2}} \right)$$

Wijnveld//Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

12

158

■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND INGENIEURGESELLSCHAFT

Wijnveld//Ingenieure

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ UND INGENIEURMETHODEN

4. Ergebnisse

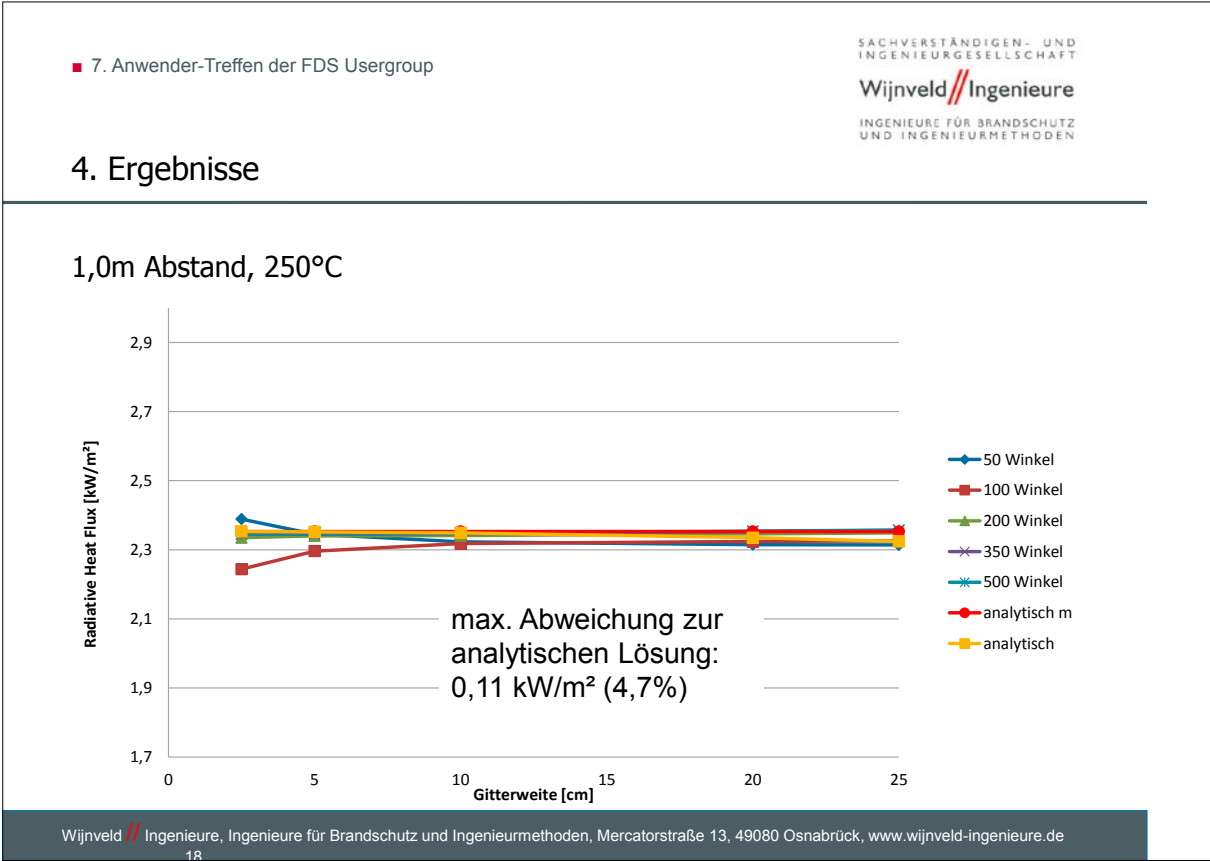
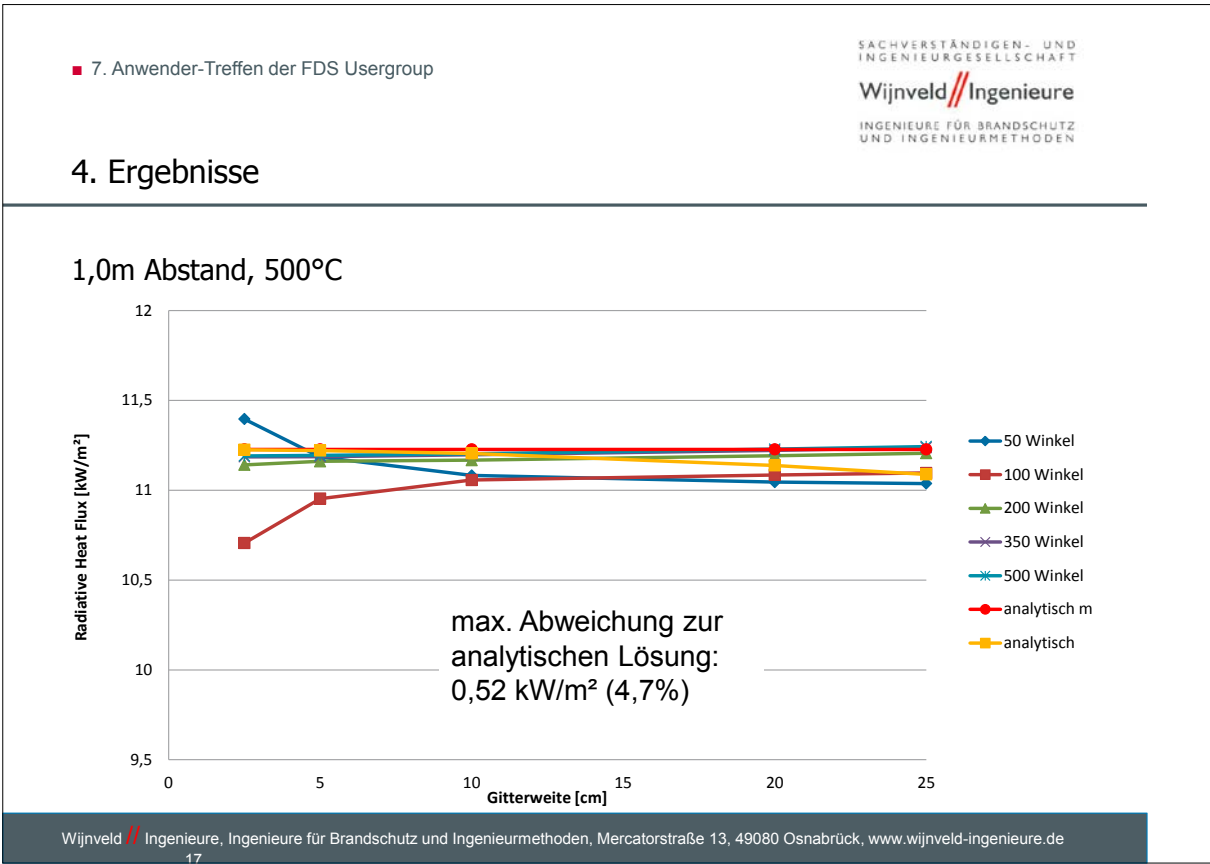
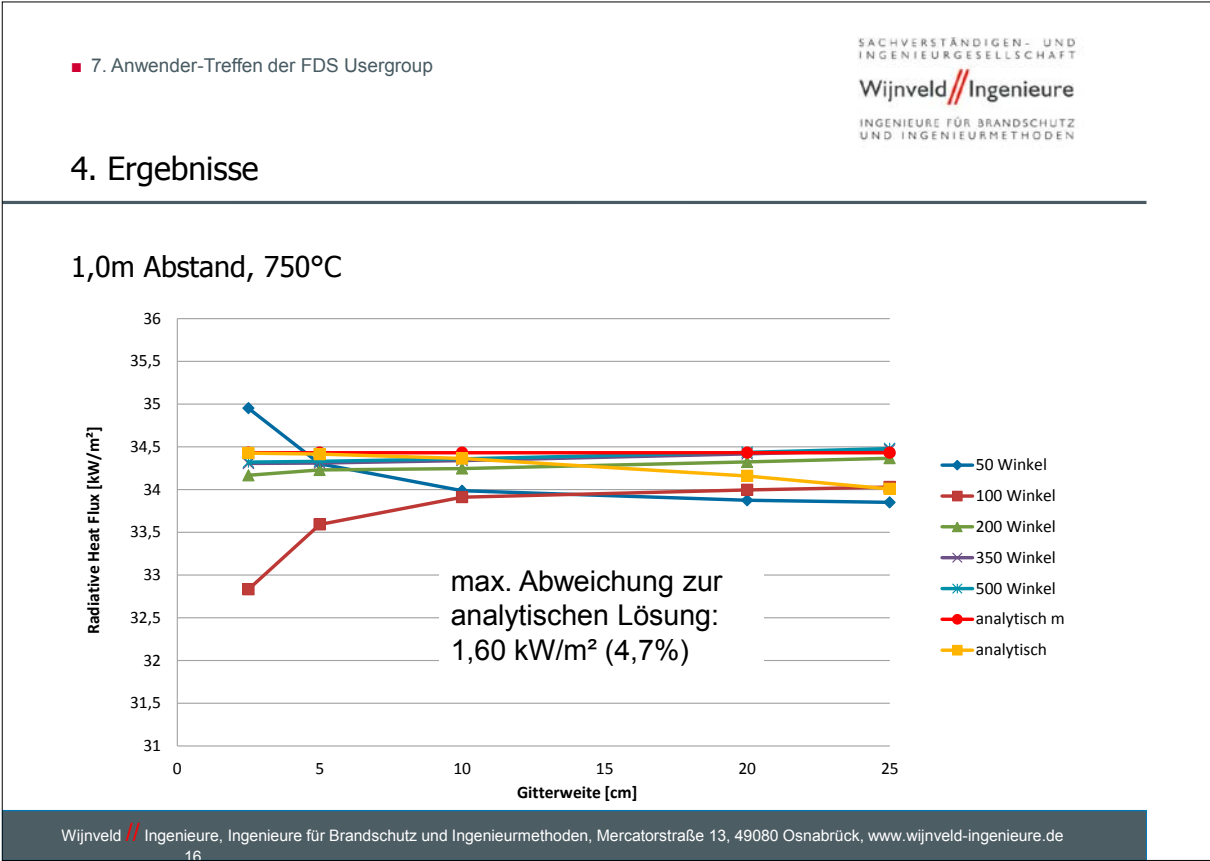
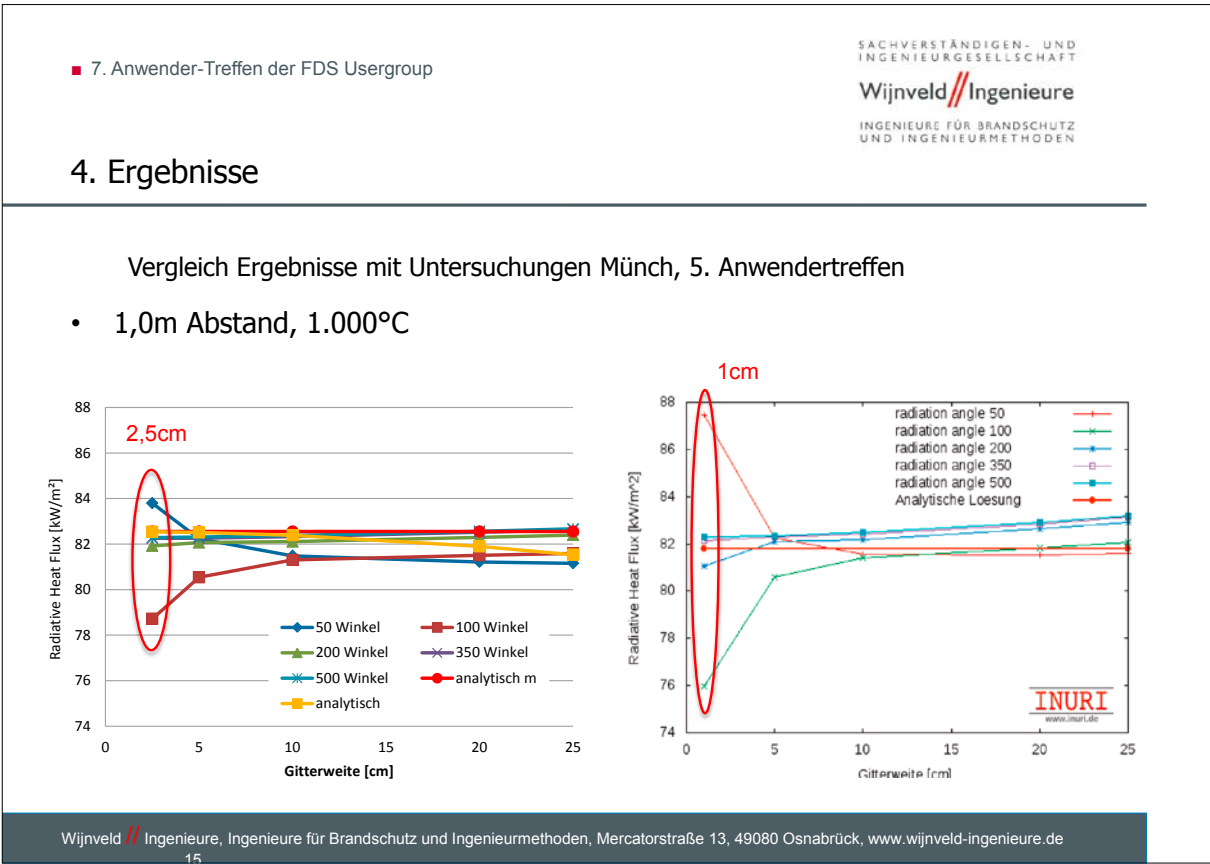
FDS-Testfall aus dem Verification-Guide: Gitterweitenabhängigkeit

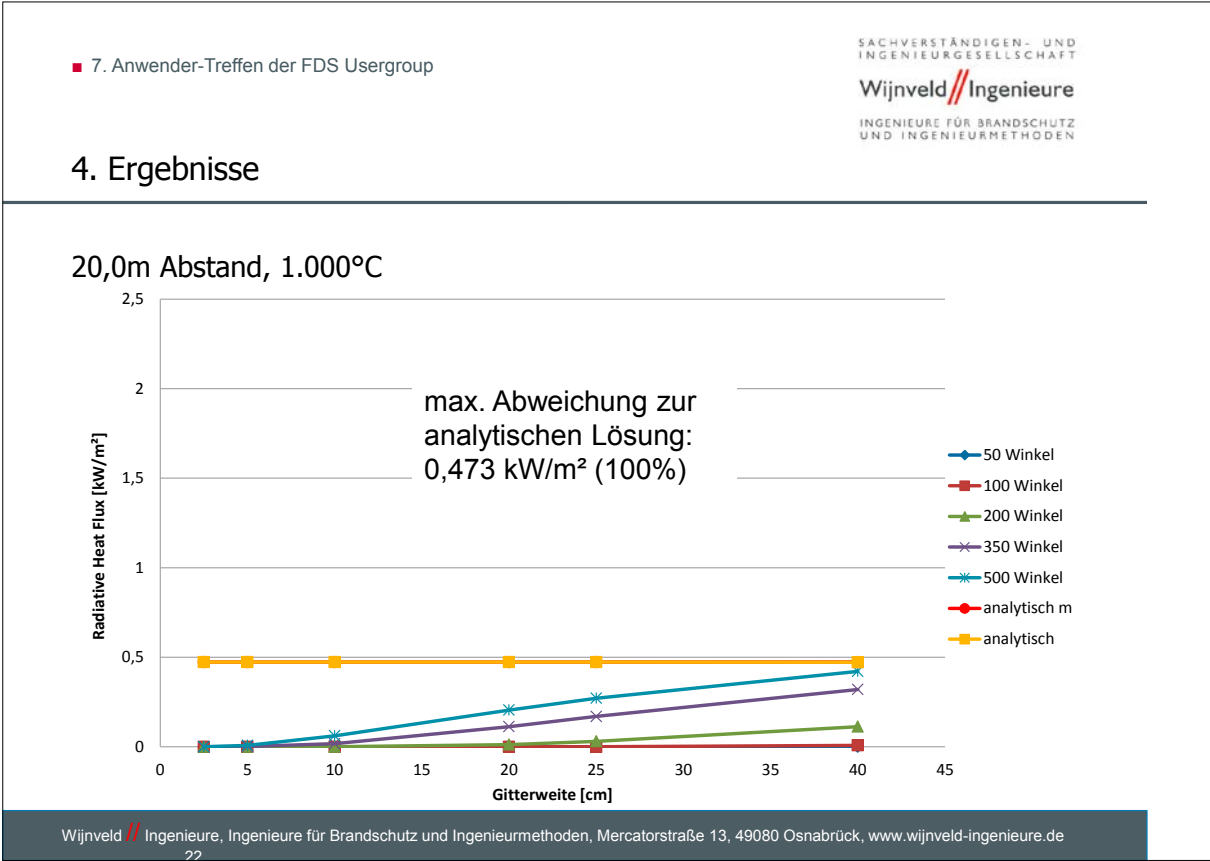
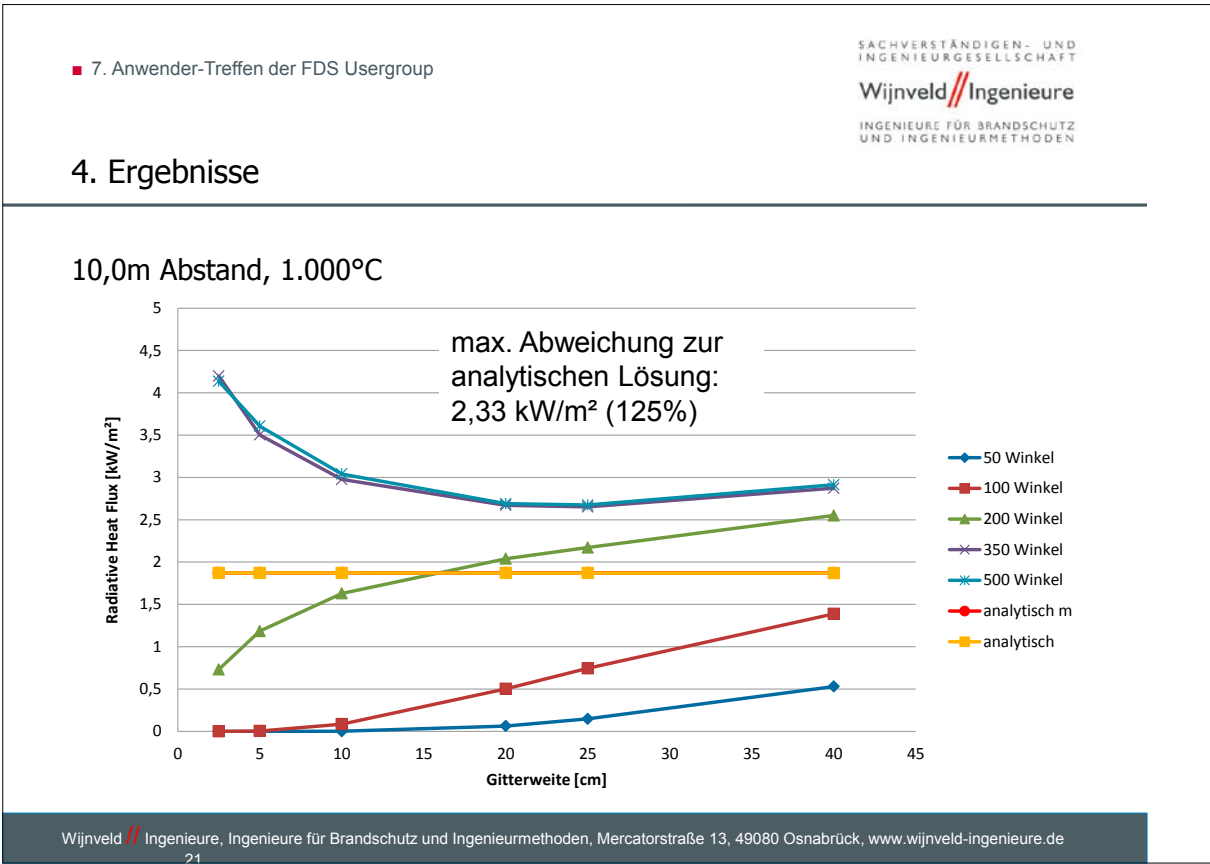
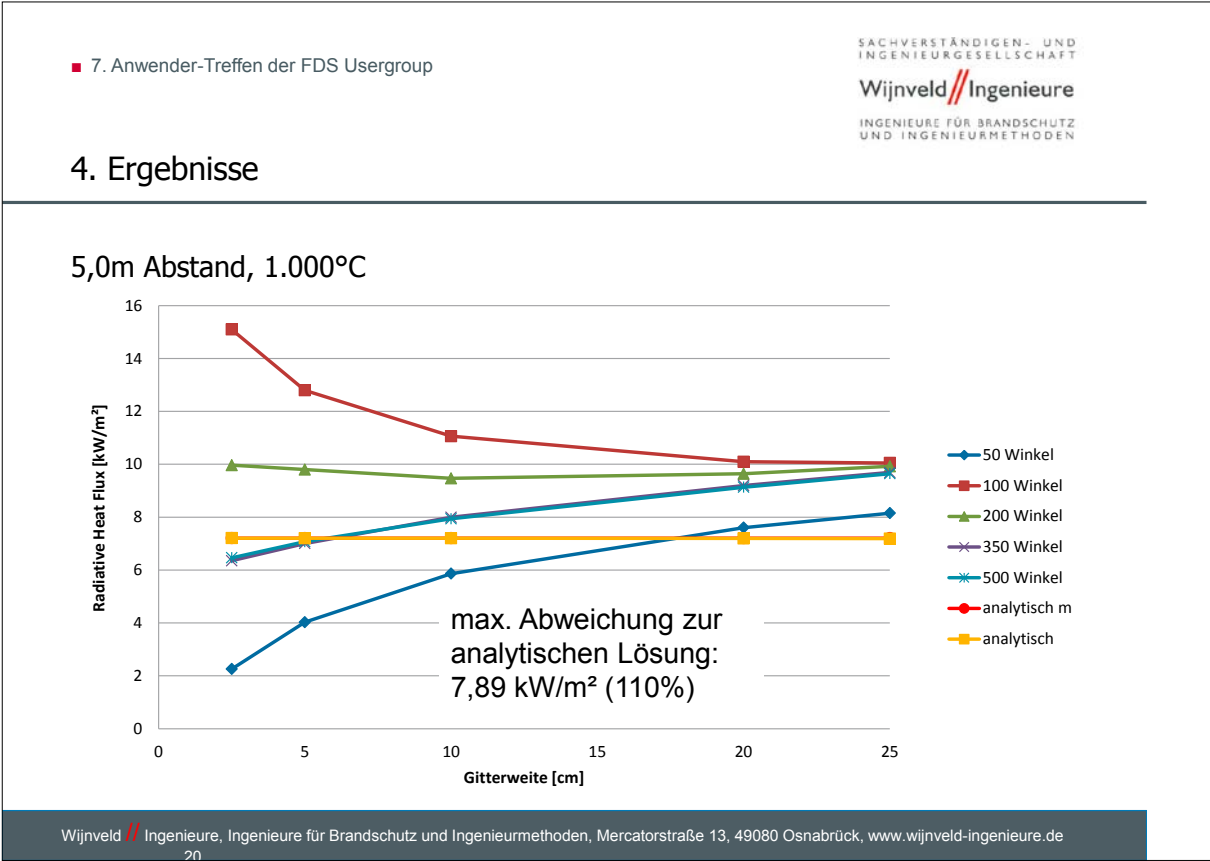
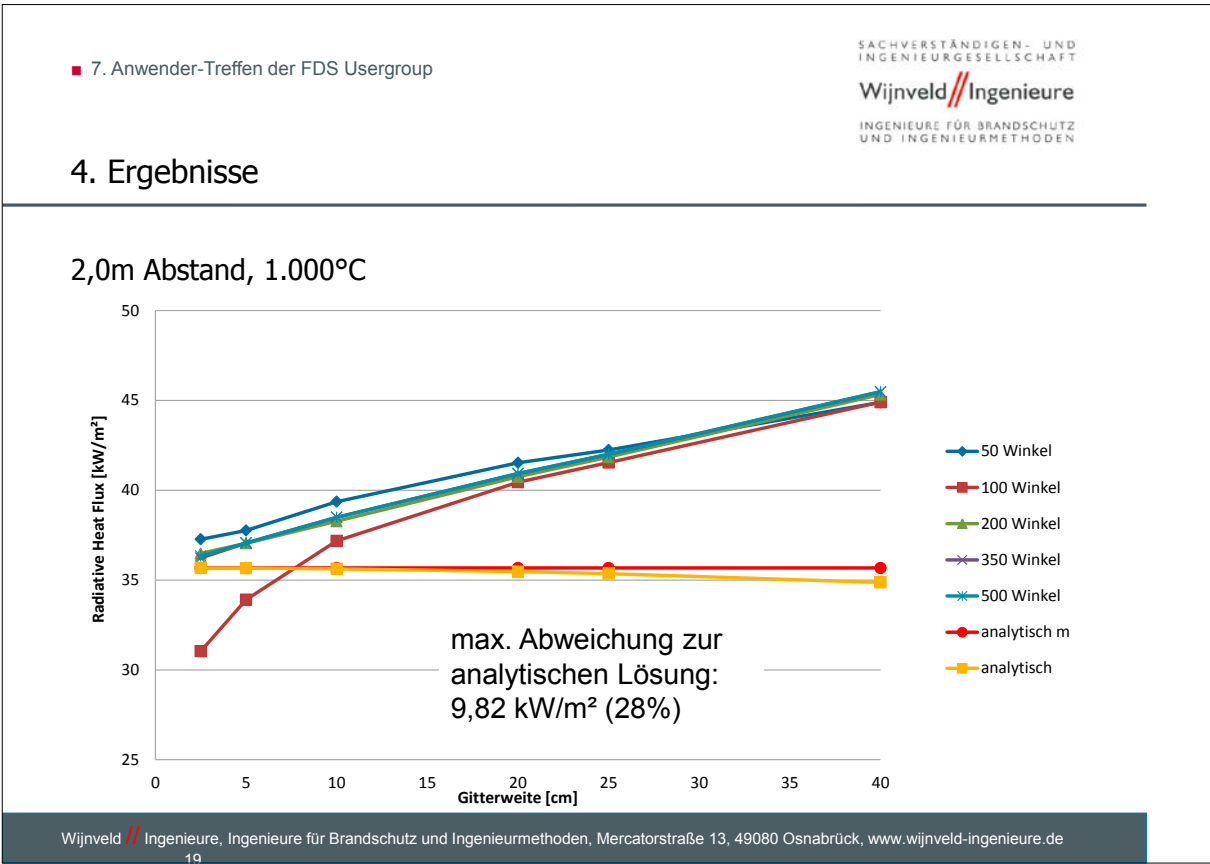
max. Abweichung zur analytischen Lösung: 3,83 kW/m² (4,7%)

Wijnveld//Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

14

159





■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND
INGENIEURGESELLSCHAFT

Wijnveld//Ingenieure

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ
UND INGENIEURMETHODEN

5. Fazit

- Lösungen gitterabhängig

- Bei geringen Abständen $\leq 1,0\text{m}$:

- „Konvergenz“ der Ergebnisse 10cm Zellgröße
- gute Übereinstimmung mit analytischen Lösungen ab 200 – 350 Winkeln
- bei kleineren Zellgrößen und weniger als 200 Winkel weichen Ergebnisse stark ab
- Abweichung konstant: **4,7%** Zellgröße 2,5cm und 2,4% Zellgröße 5cm, n=100 Winkel
- Abweichung konstant: 1,5% Zellgröße 2,5cm, n=50 Winkel

- bei größeren Abständen:

- Keine Aussage zur optimalen Zellgröße möglich
- z.T. große Abweichungen im Vergleich zum analytischen Wert
- ab 200 Winkeln Annäherung an analytische Werte
- Werte des Wärmestrahlungsstroms sehr gering

Wijnveld//Ingenieure, Ingenieure für Brandschutz und Ingenieurmethoden, Mercatorstraße 13, 49080 Osnabrück, www.wijnveld-ingenieure.de

23

Dr. Jürgen Will:

Vergleichende Betrachtung von FDS 5 und FDS 6 an einem „Multi-Mesh“-Beispiel

Abstract:

FDS 6 soll einige, u.a. für die „Multi-Mesh“ - Anwendung signifikante Änderungen enthalten. Daher wird an einem Beispiel einer ehemaligen Werfthalle, das zur Auslegung der Entrauchungsmaßnahmen als „Single-Mesh“ aufgesetzt worden war, der Einfluss einer Unterteilung in bis zu 16 Mesh untersucht. Hierbei werden sowohl mit FDS 6, als auch mit FDS 5 Simulationen durchgeführt. Ergänzend wird eine Version von FDS 6 mit ScaRC eingesetzt. Bei der Auswertung werden die „routinemäßig“ abgespeicherten Werte für die Wärmefreisetzungsrate und die Wärmeströme verglichen. Der wesentliche Aspekt beim Vergleich der Ergebnisse liegt auf der Rauchausbreitung zusammen mit der Lage der raucharmen Schicht und den Volumenströmen durch Rauchabzugs- und Zuluftöffnungen.

■ 7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

SACHVERSTÄNDIGEN- UND
INGENIEURGESELLSCHAFT

Wijnveld//Ingenieure

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ
UND INGENIEURMETHODEN



Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit!



Sachverständige

Vergleichende Betrachtung von FDS 5 und FDS 6 an einem „Multi-Mesh“-Beispiel

7. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

14. und 15. November 2013

HHP Nord/Ost Beratende Ingenieure GmbH, Braunschweig
Jürgen Will

Folie 1

Inhalt



- Programmversionen
- Vorstellung des Beispiels
- Vergleich der Wärmefreisetzungs- und Abbrandrate
- Rauchausbreitung
- Vergleich der Zu- und Abluftvolumenströme
- Schlussfolgerungen



Programmversionen

- FDS 5.5.3
 - Serial openmp
 - MPI (für 2 – 8 Meshes)
- HHP Nord/Ost: Beta-Version FDS 6 RC 3, 20.12.2012
 - Serial
 - MPI (für 2 – 8 Meshes)
- hhpberlin: FDS 6 RC 4, 28.09.2013
 - FFT
 - ScaRC (AMG)
- Änderungen (bezogen auf Beispiel)
 - X_O2_LL entfällt

Folie 3


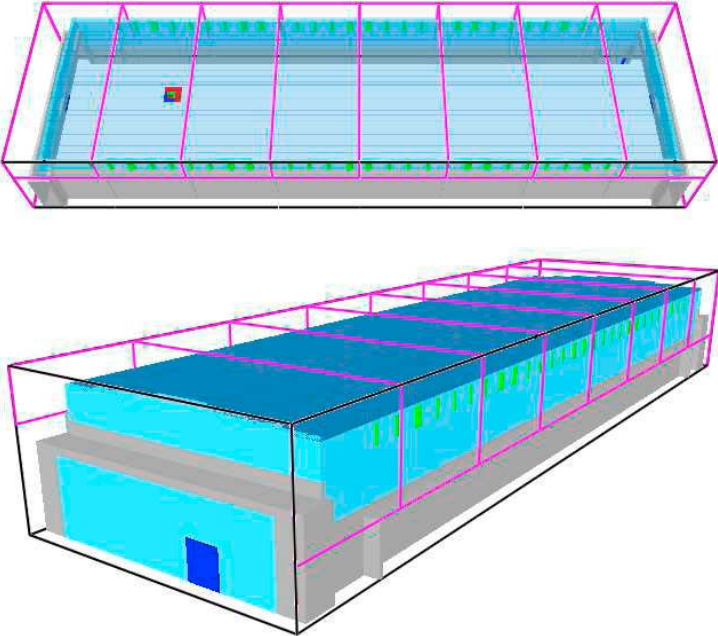
Geometrie und Brandszenarium



- Produktionshalle: 128 m × 35 m, 16,6 – 17, 8 m hoch
- Brandszenarium:
 - mittlere Brandentwicklungsgeschwindigkeit
 - 10 Minuten Brandentwicklungsdauer
 - maximal 6.000 kW (BMG 3 gemäß DIN 18232-2)
 - maximal 20 m² (300 kW/m²)
- Rauchabzug über Klappen in den Seitenwänden
 - $2 \times 28 \times 1,9 \text{ m}^2 = 2 \times 53 \text{ m}^2$
- Zuluft über Tore in den Stirnwänden
 - $2 \times 4,5 \text{ m (breit)} \times 5 \text{ m (hoch)} = 2 \times 22,5 \text{ m}^2$
 - Tür als „Druckausgleich“: 1 m (breit) × 2 m (hoch) = 2 m²
- 600. Sekunde: Klappen und Tore öffnen (Tür schließt)


Folie 4

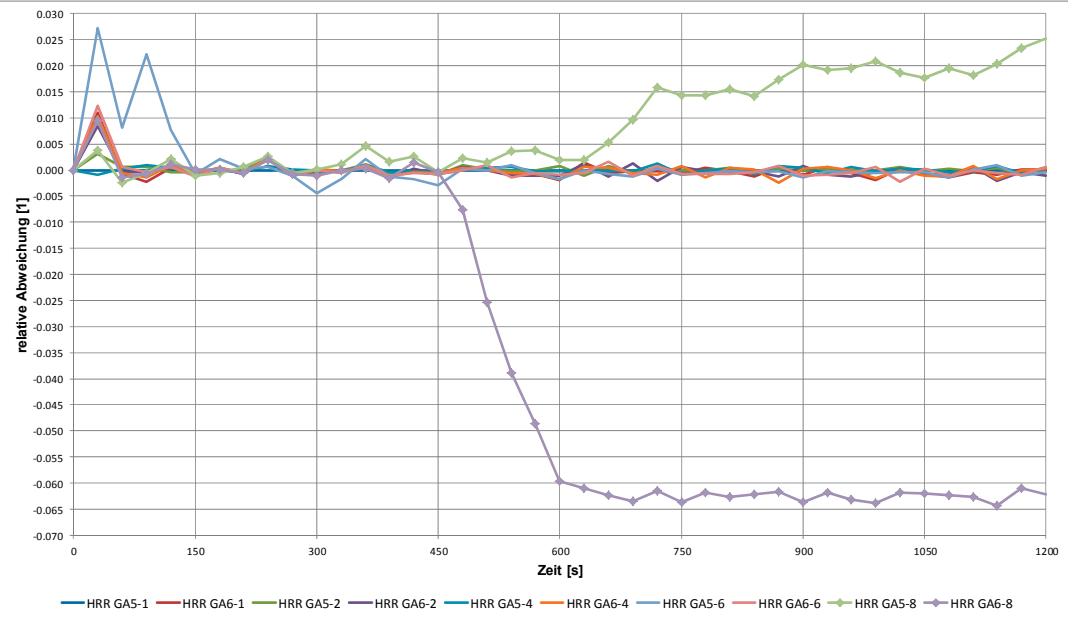
Geometrie



Folie 5


Wärmefreisetzungsrate HRR





Folie 7


Simulationen

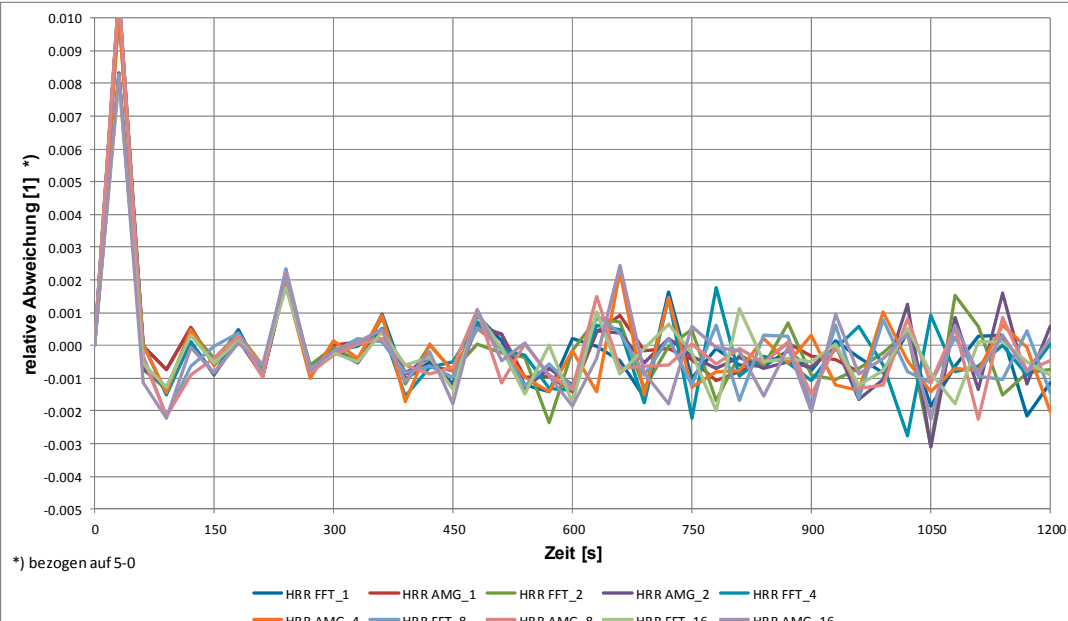


- HHP Nord/Ost
 - FDS 5.5.3
 - ▲ 5-0: 1 Mesh (fds5_openmp_win64), X_O2_LL=0.05
 - ▲ 5-1: 1 Mesh (fds5_openmp_win64)
 - ▲ 5-2, 5-4, 5-6, 5-8: 2, 4, 6, 8 Meshes (fds5_mpi_win64)
 - Beta-Version FDS 6 RC 3, 20.12.2012
 - ▲ 6-1: 1 Mesh (fds)
 - ▲ 6-2, 6-4, 6-6, 6-8: 2, 4, 6, 8 Meshes (fds_mpi)
- hhpberlin
 - FDS 6 RC 4 mit **FFT**, 28.09.2013
 - ▲ FFT_1, FFT_2, FFT_4, FFT_8, FFT_16: 1, 2, 4 (4x1x1), 8 (4x2x1), 16 (4x2x2) Meshes
 - FDS 6 RC 4 mit **ScaRC**, 28.09.2013
 - ▲ AMG_1, AMG_2, AMG_4, AMG_8, AMG_16: 1, 2, 4 (4x1x1), 8 (4x2x1), 16 (4x2x2) Meshes

Folie 6

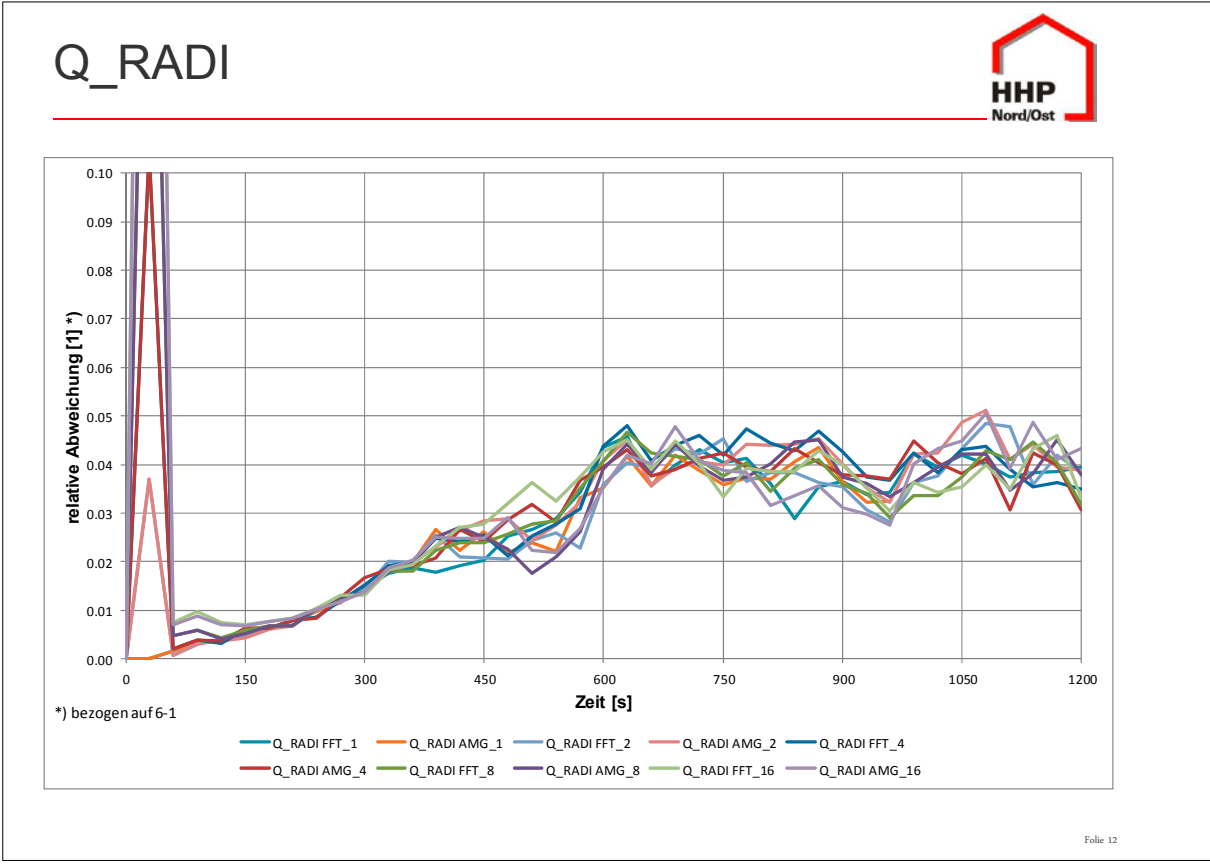
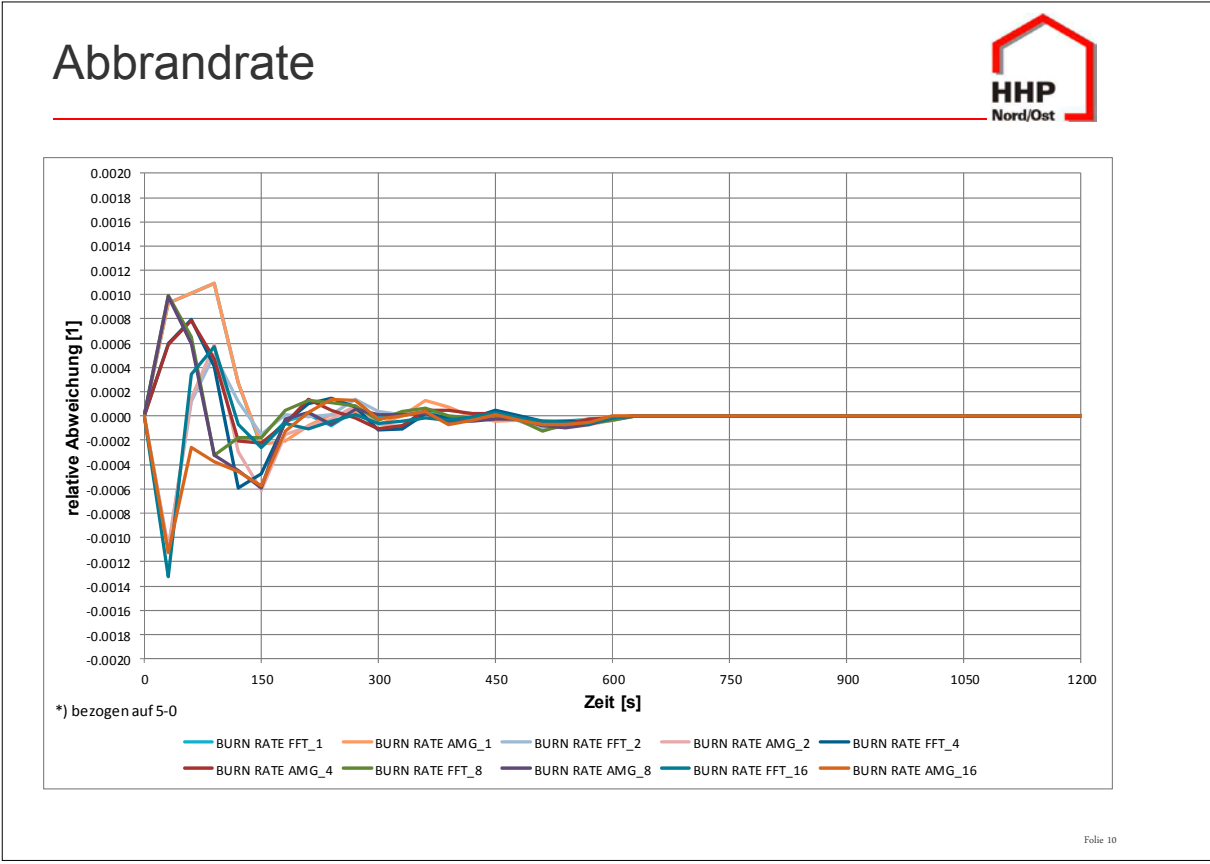
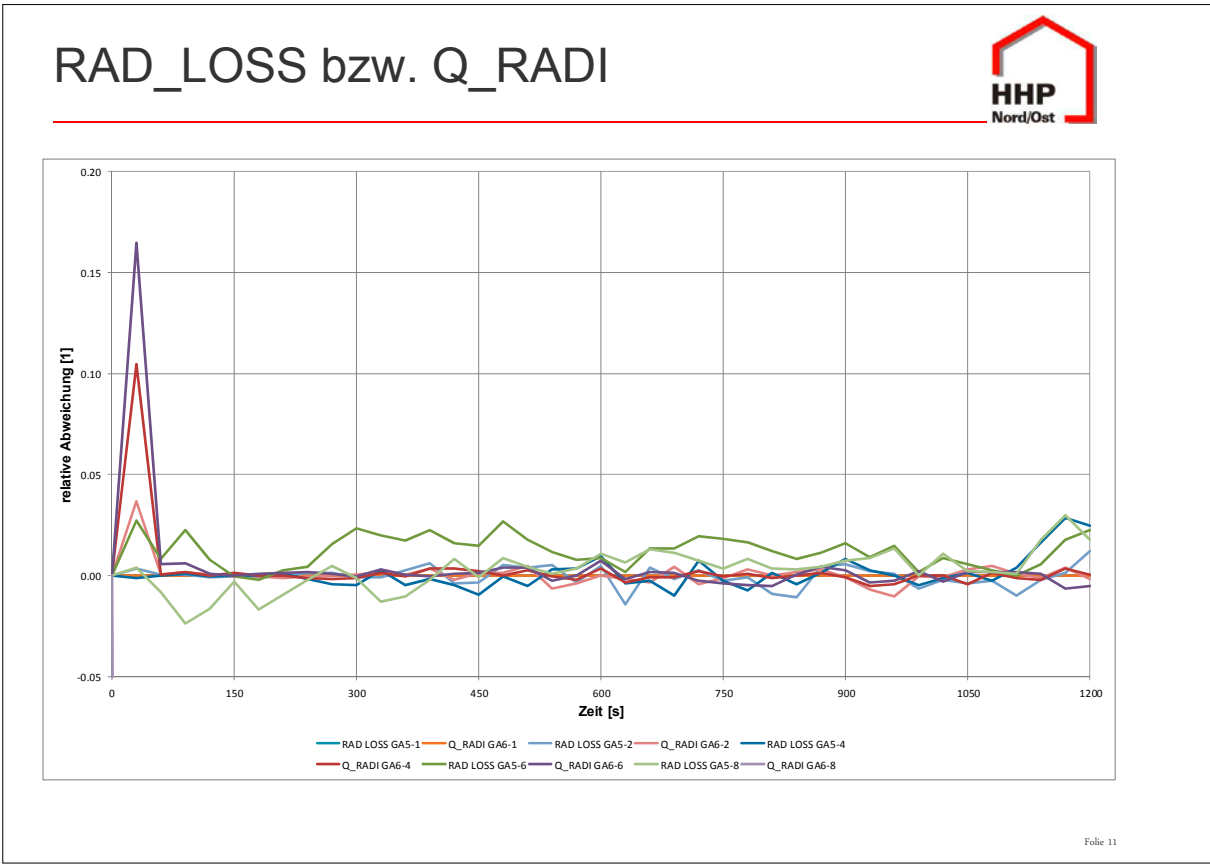
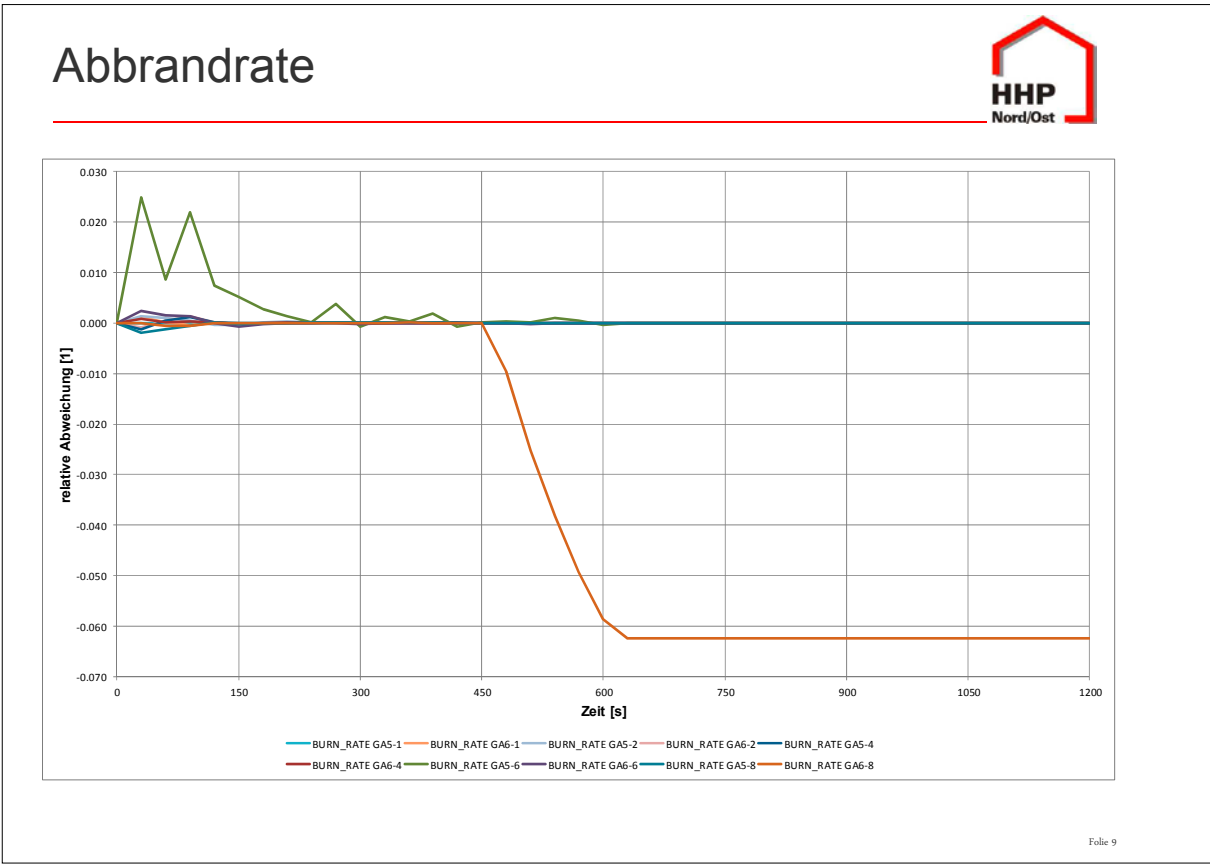
Wärmefreisetzungsrate HRR

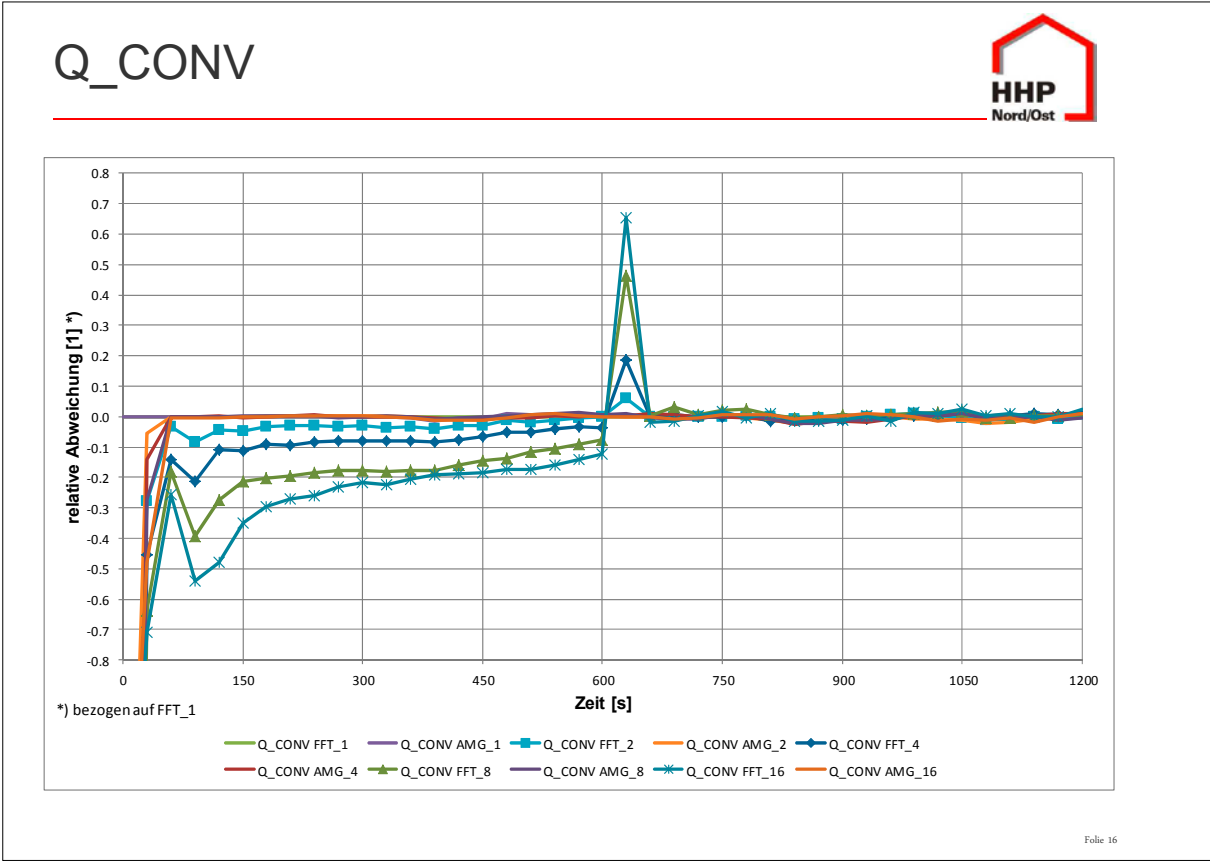
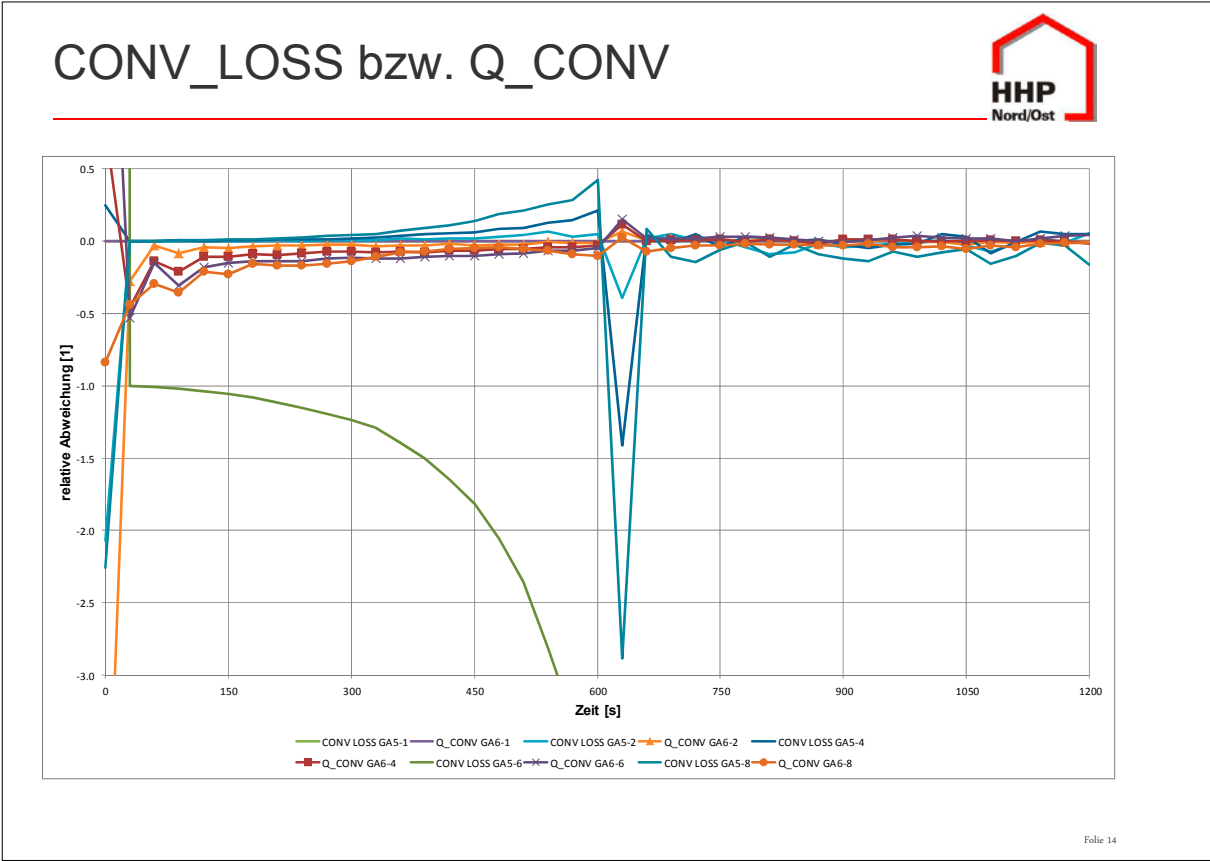
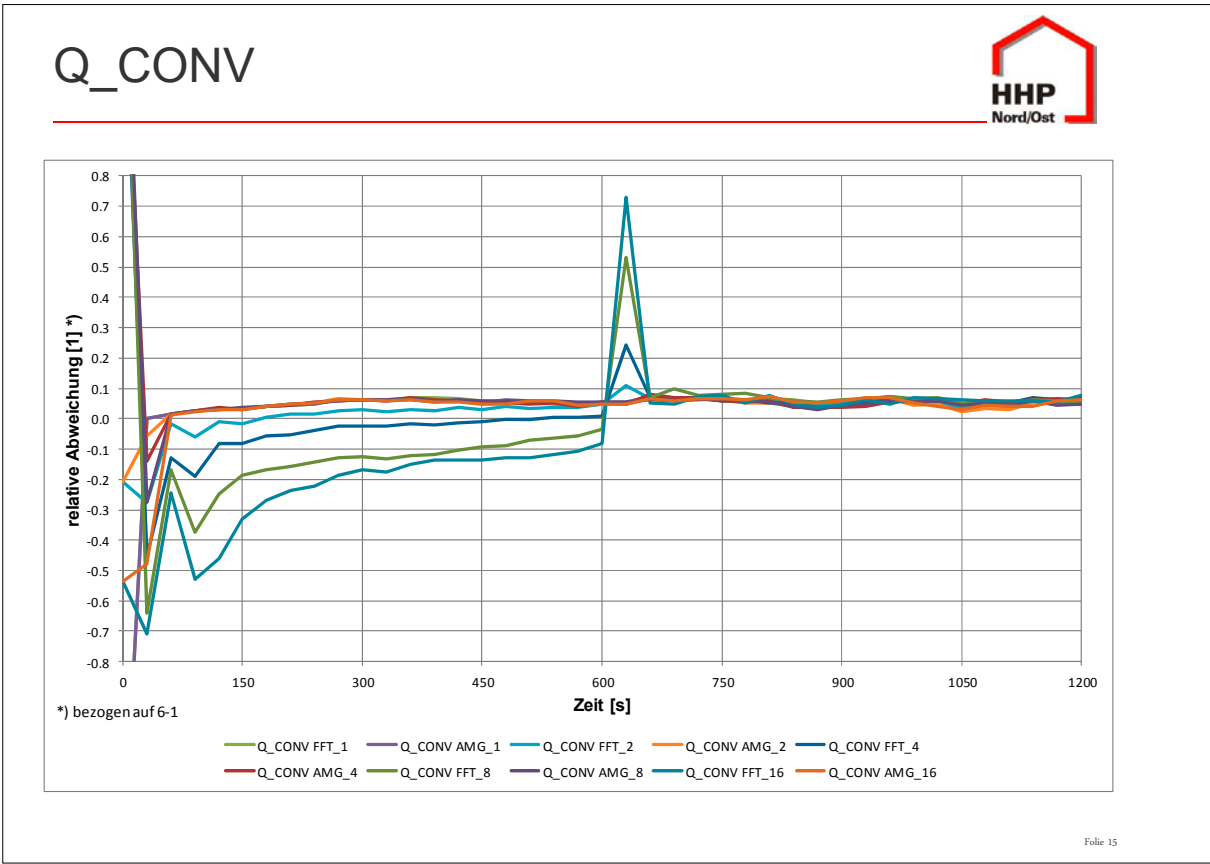
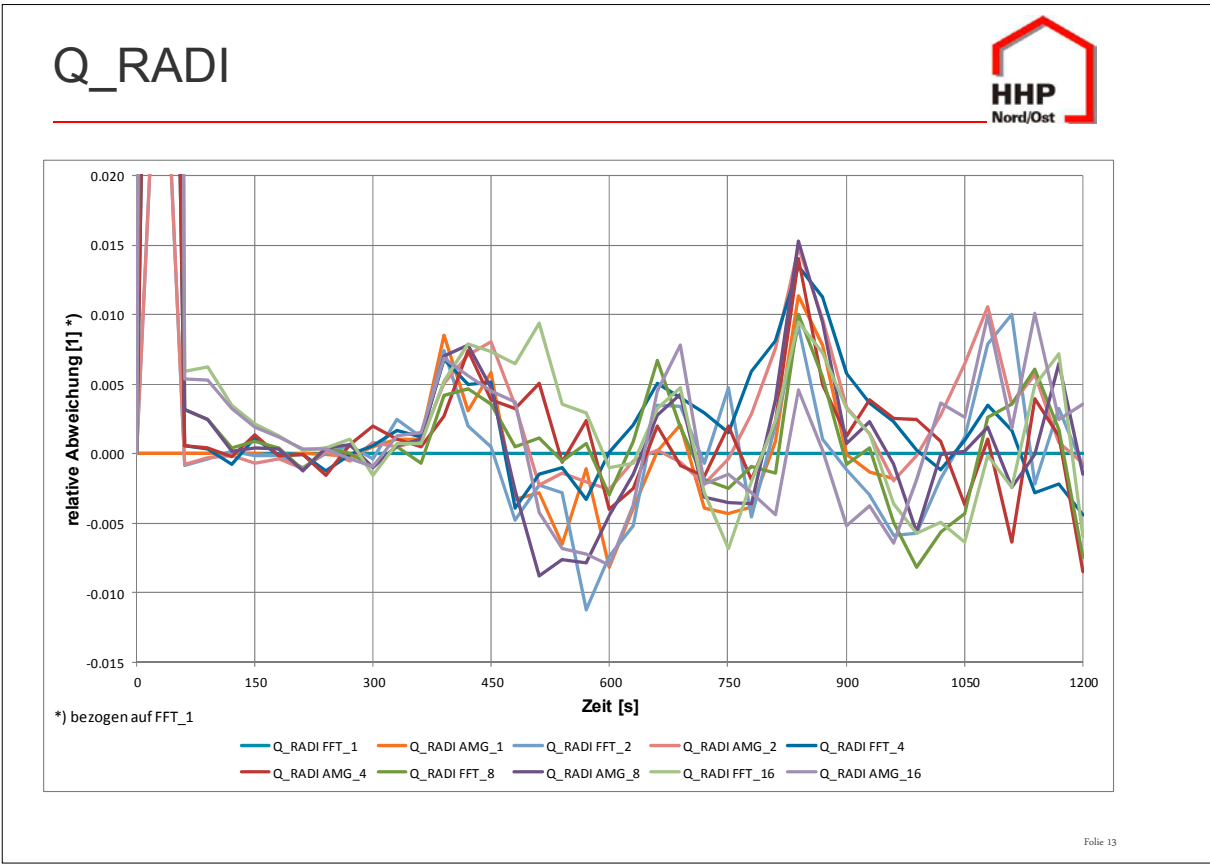


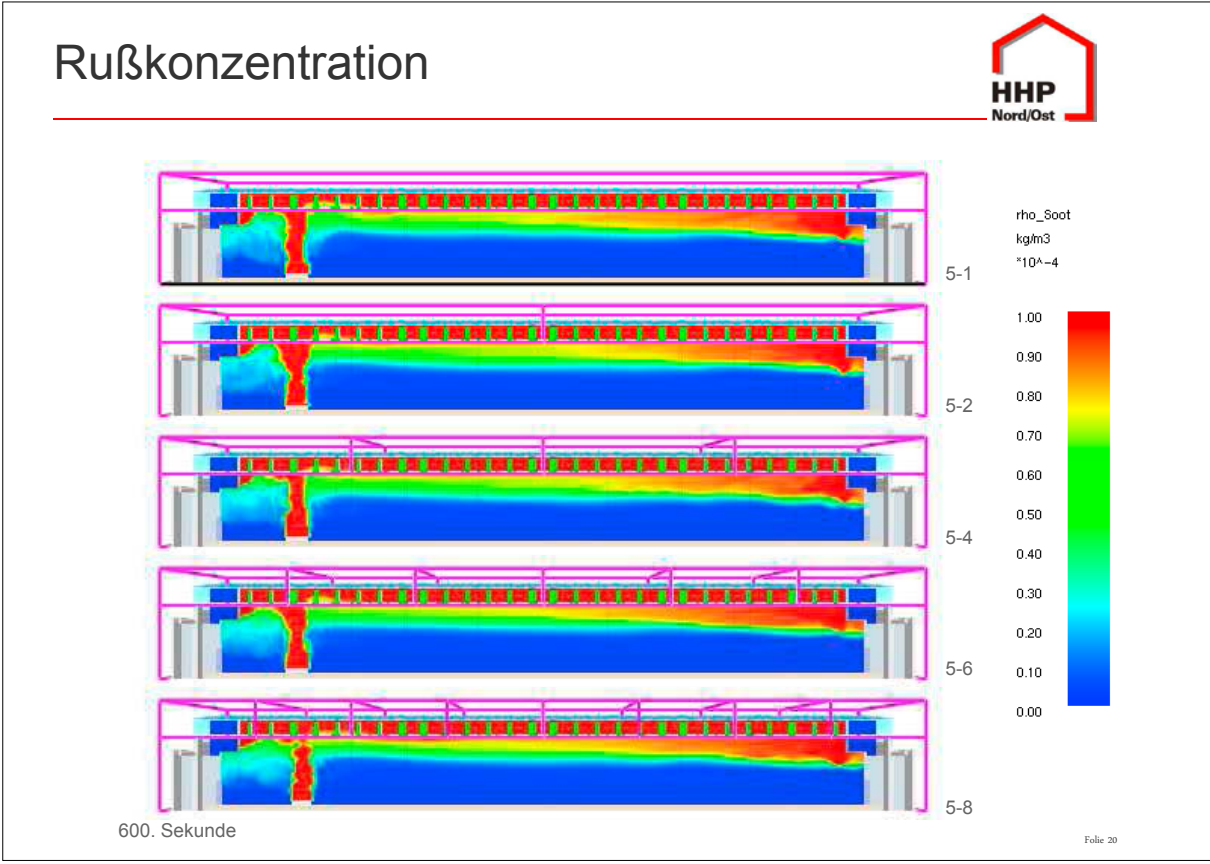
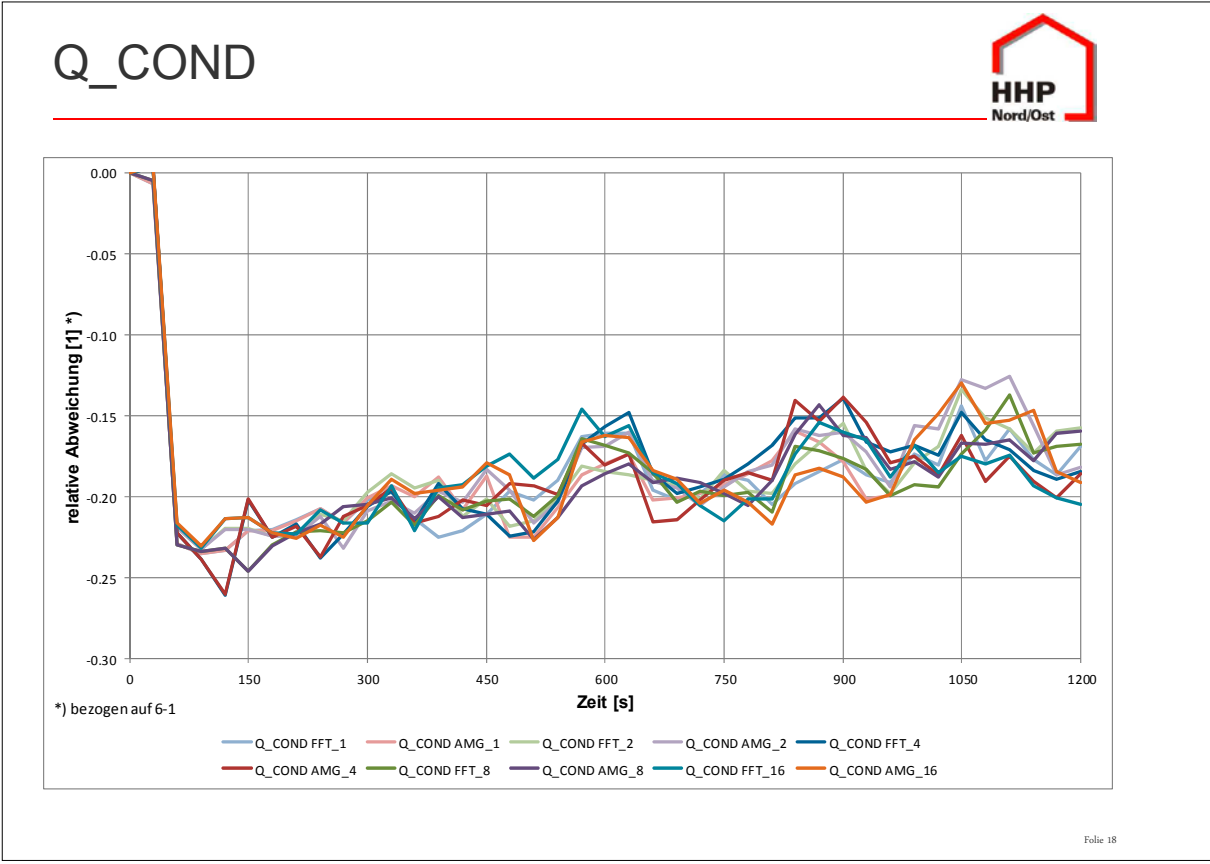
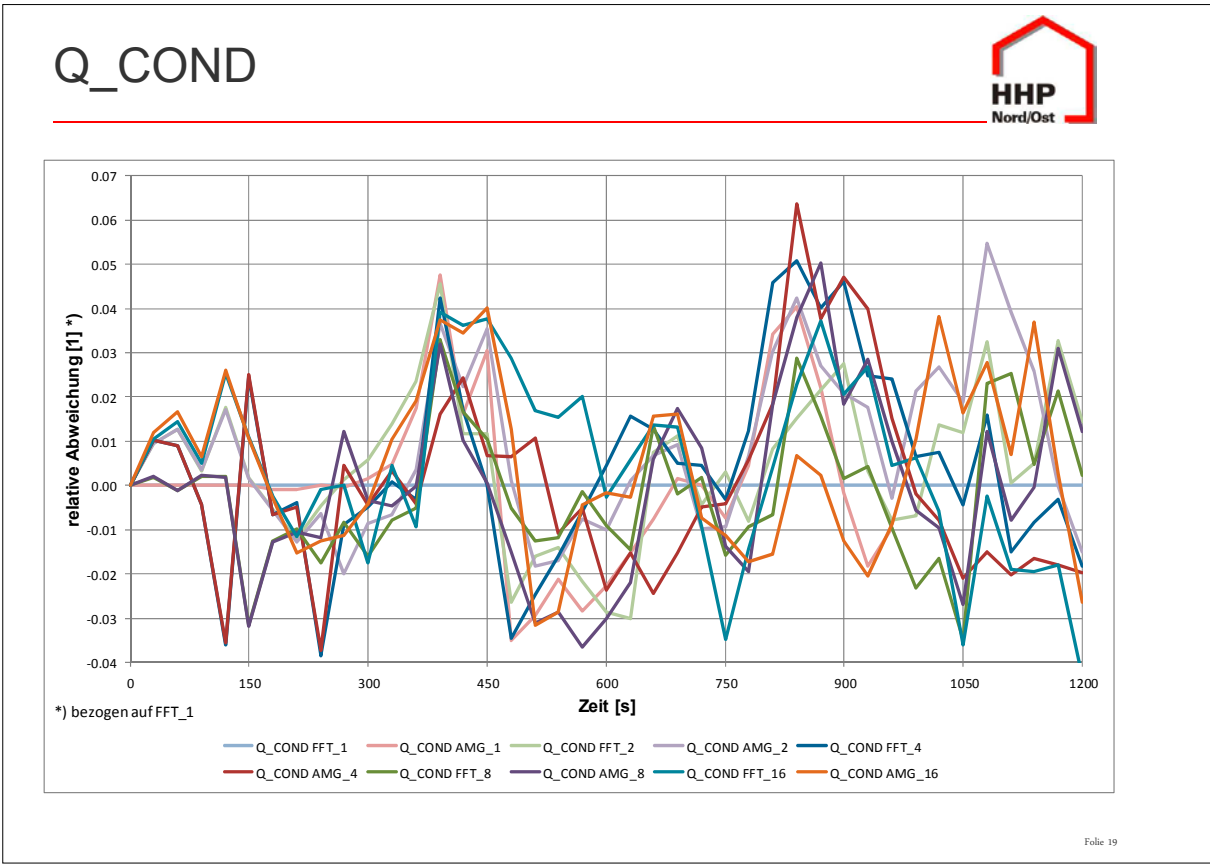
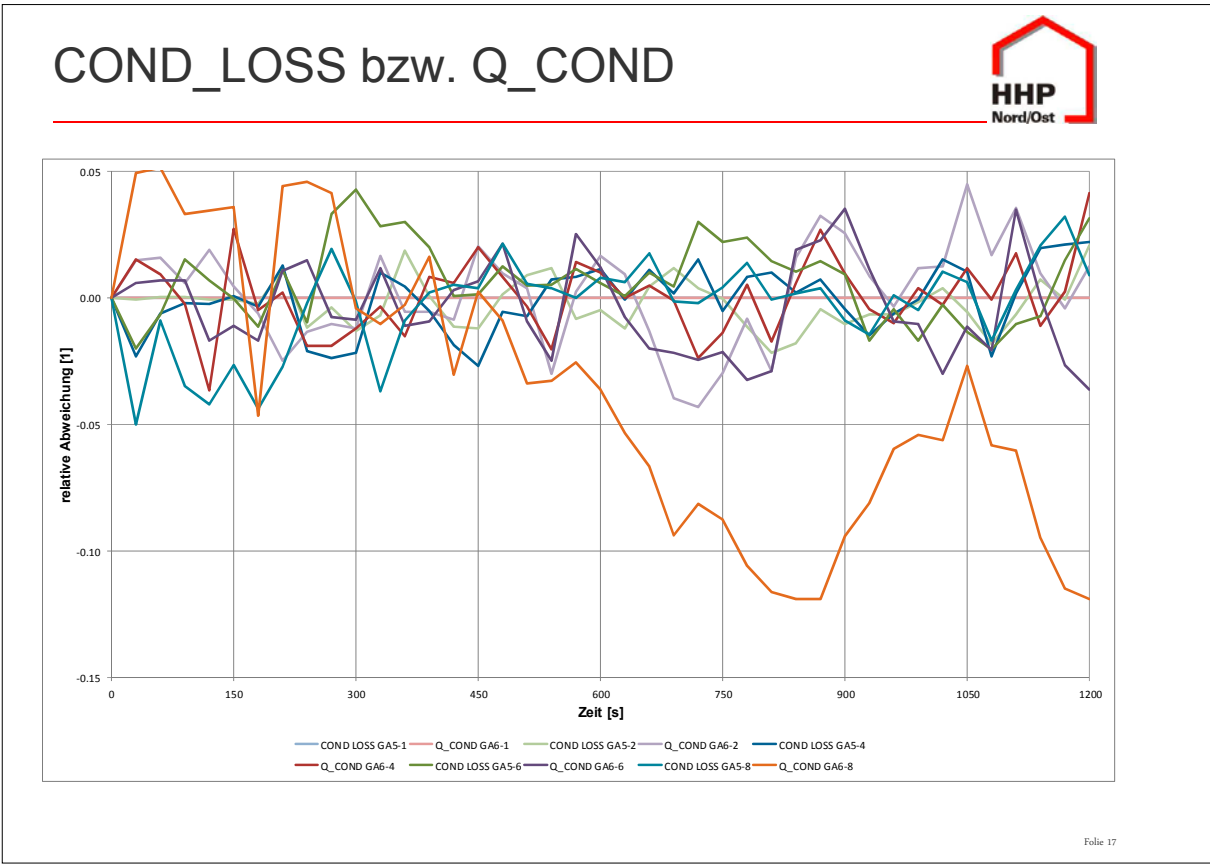


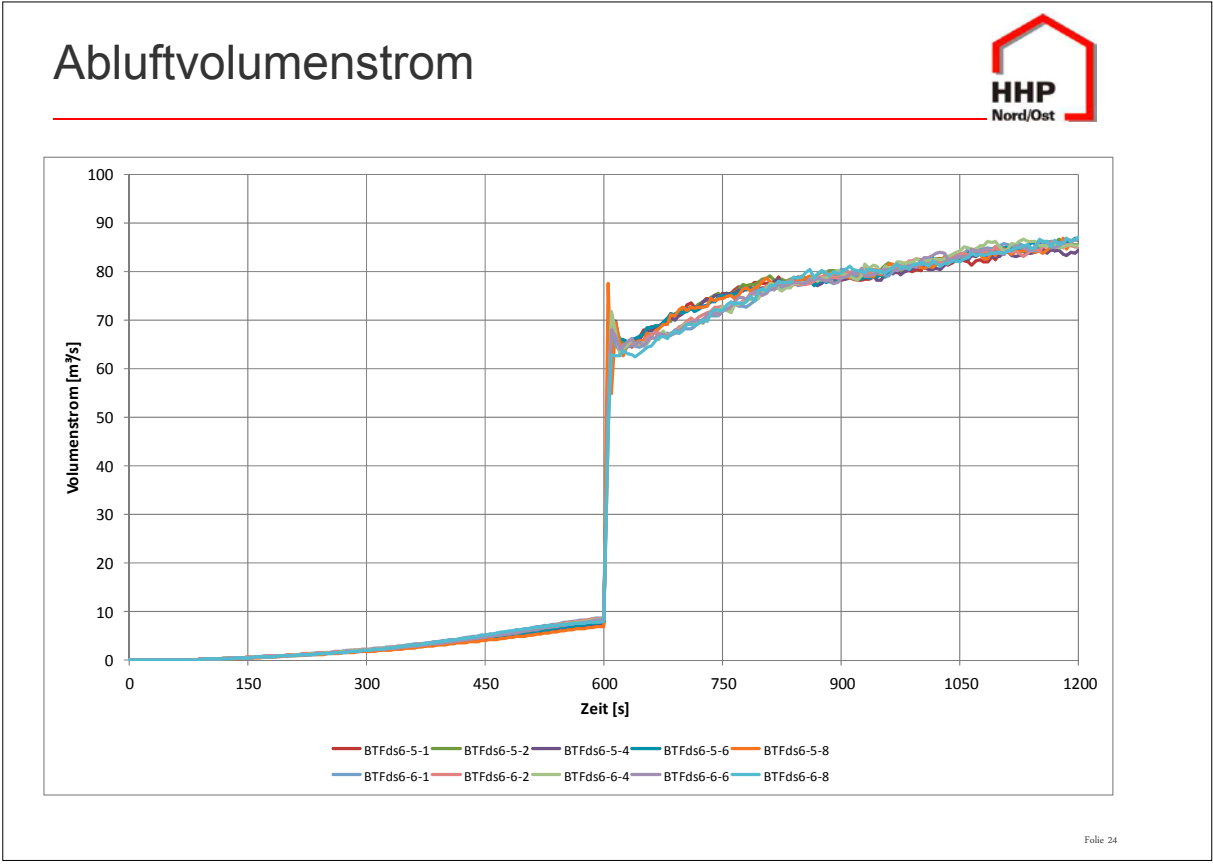
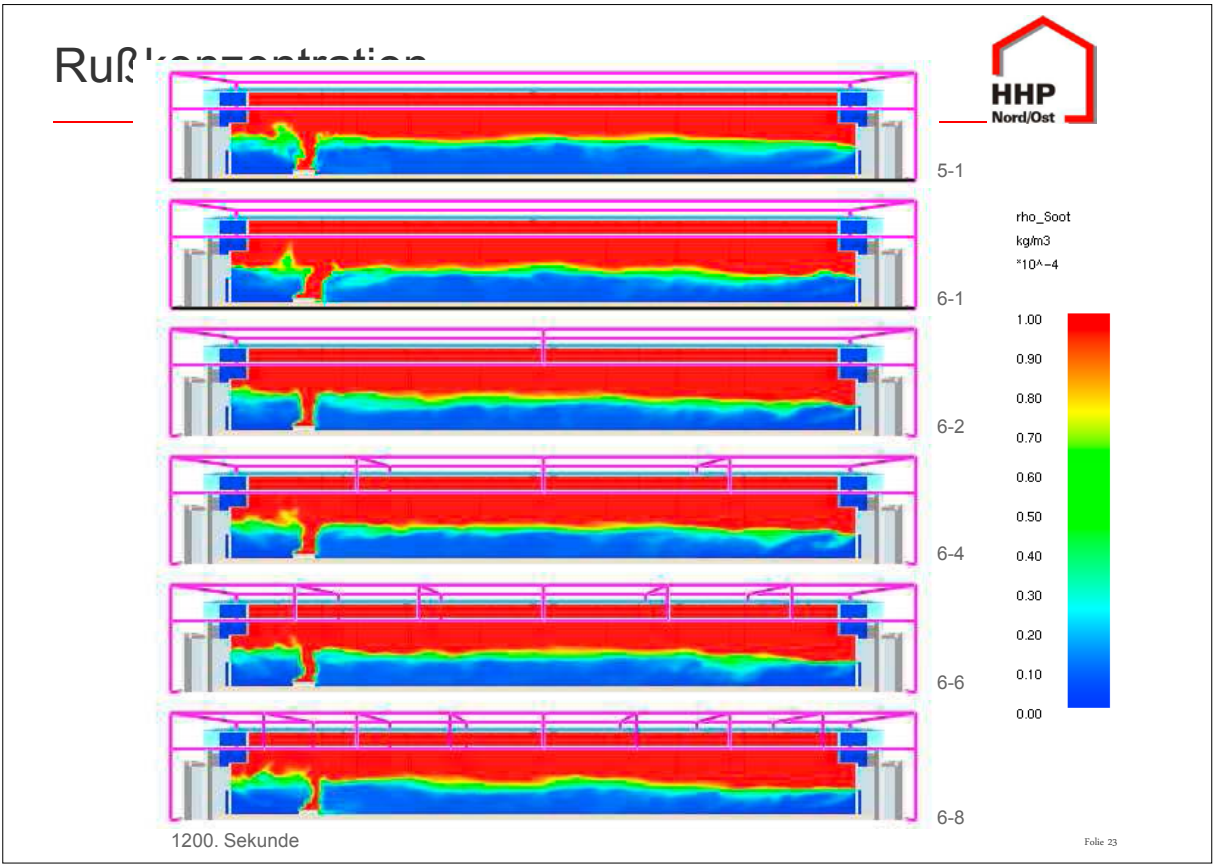
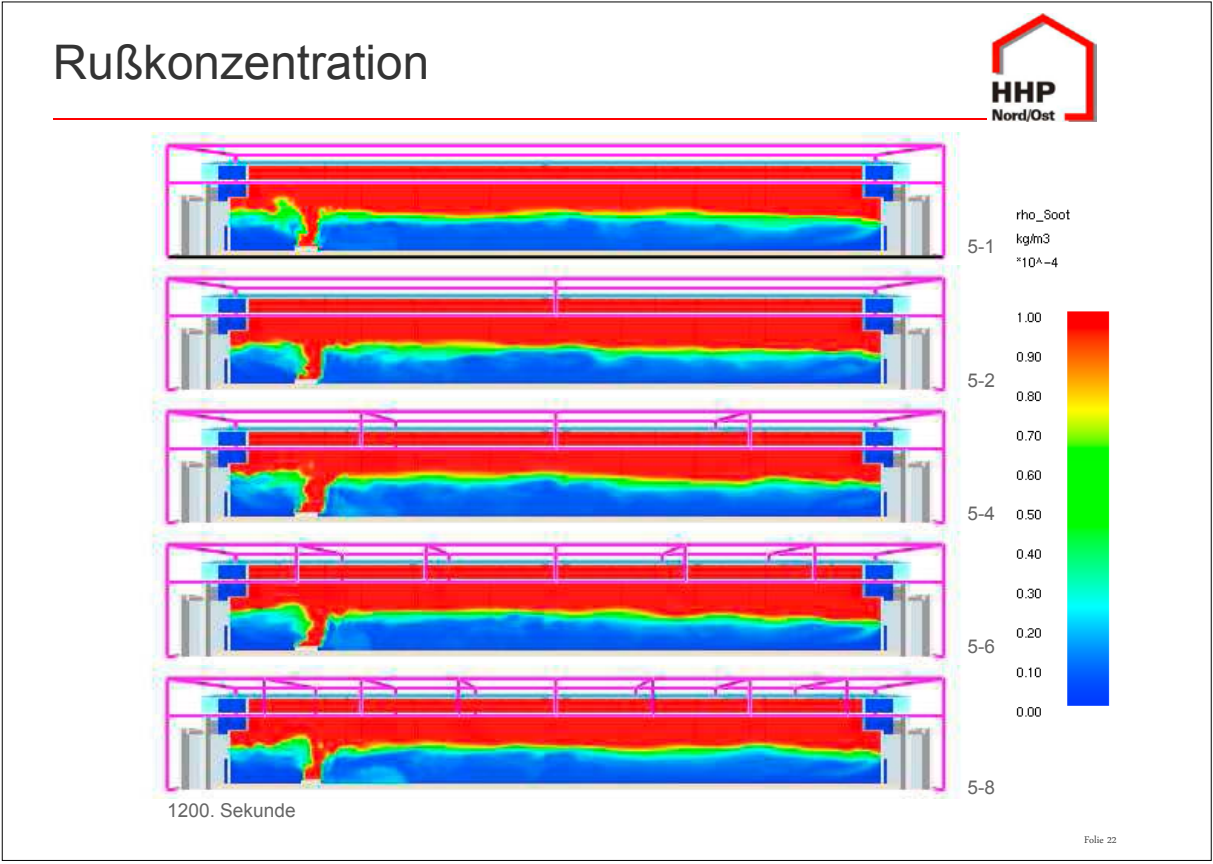
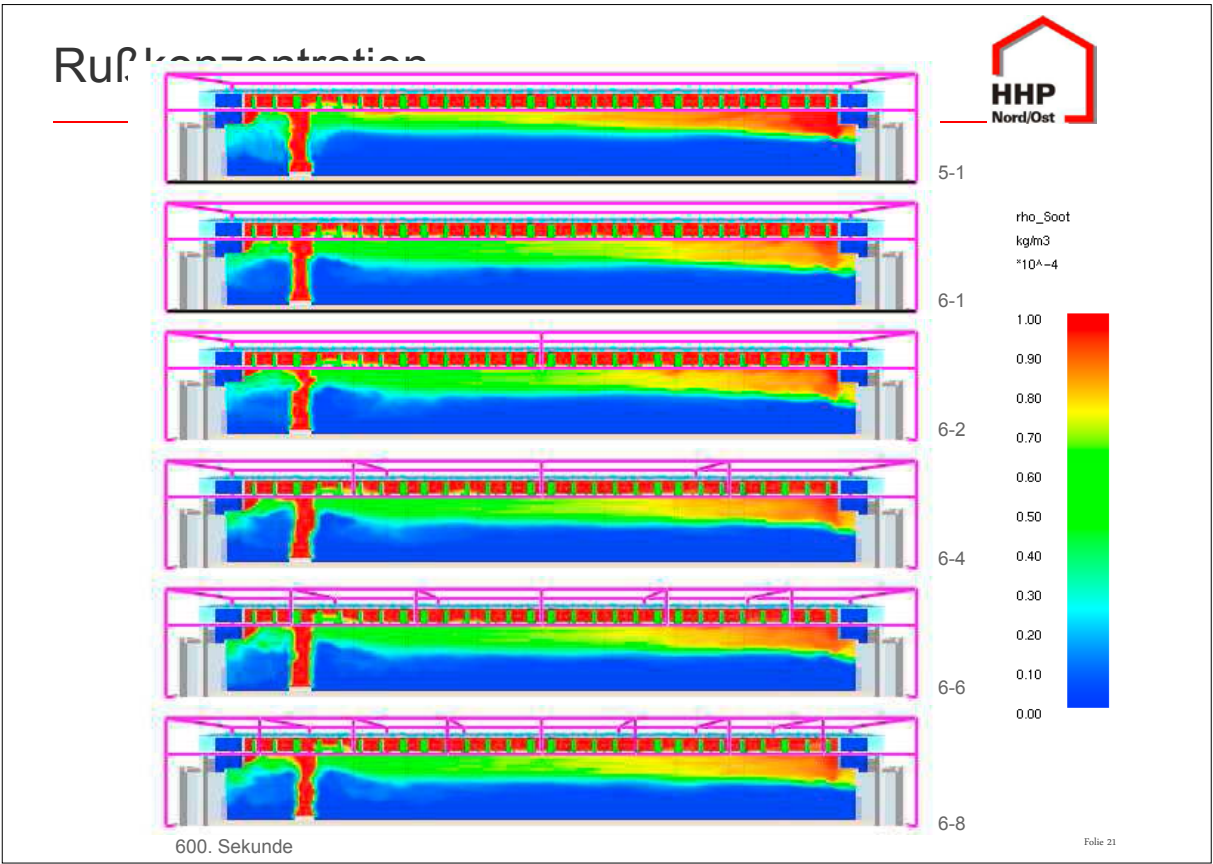
*) bezogen auf 5-0

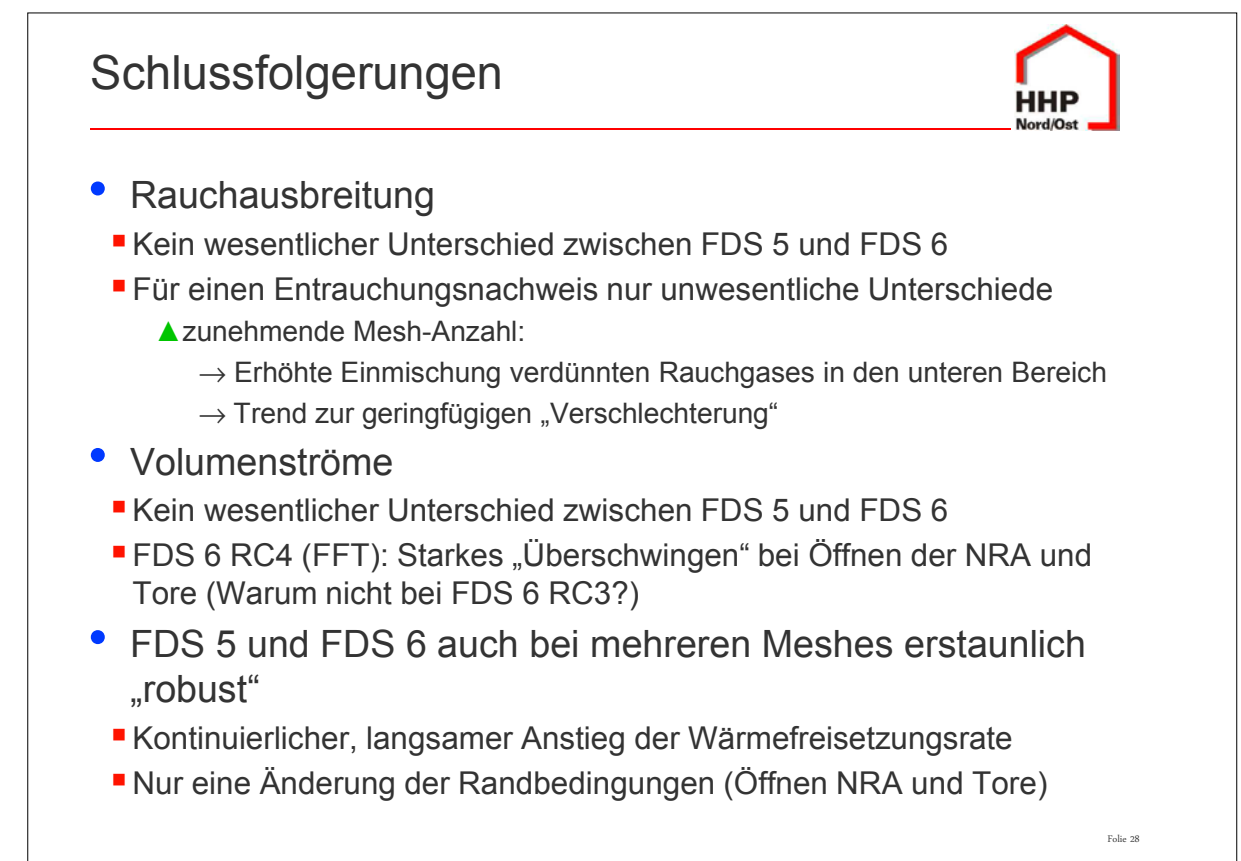
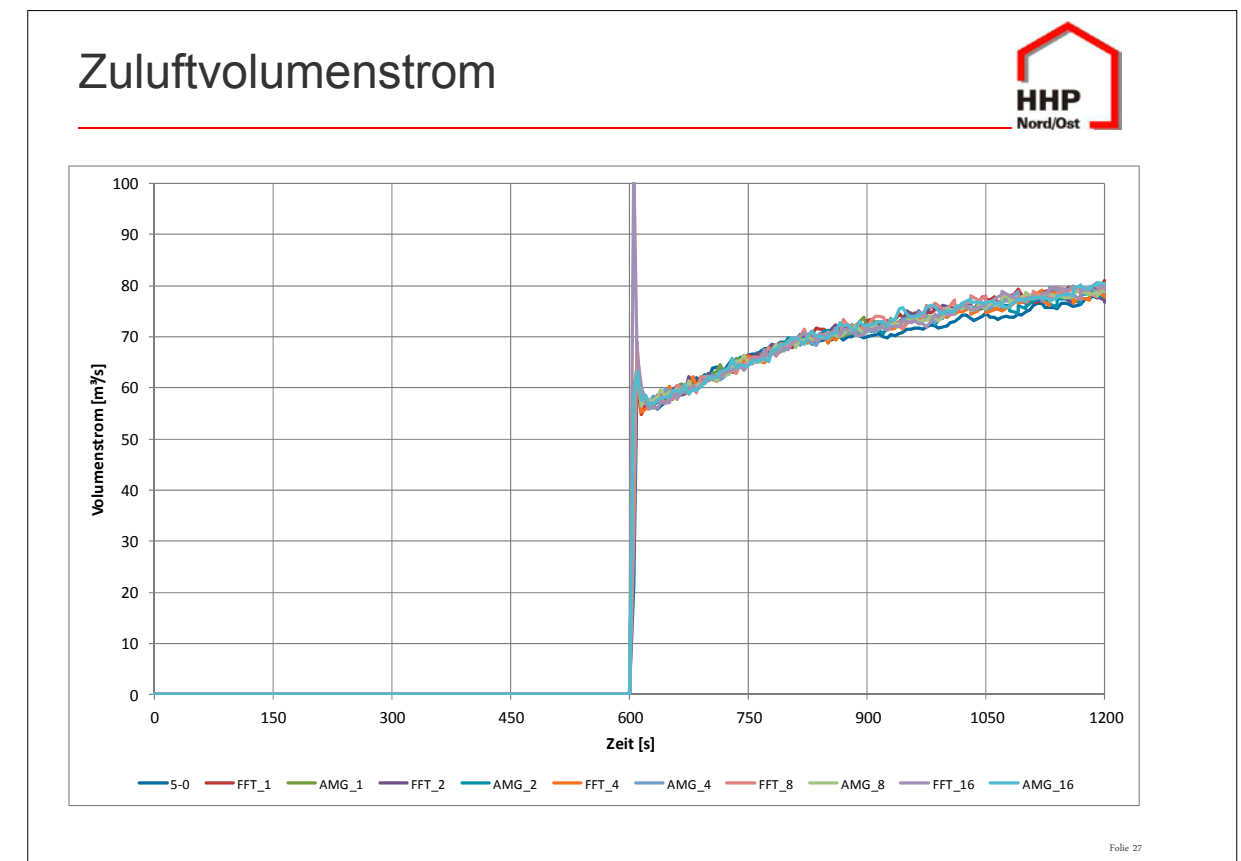
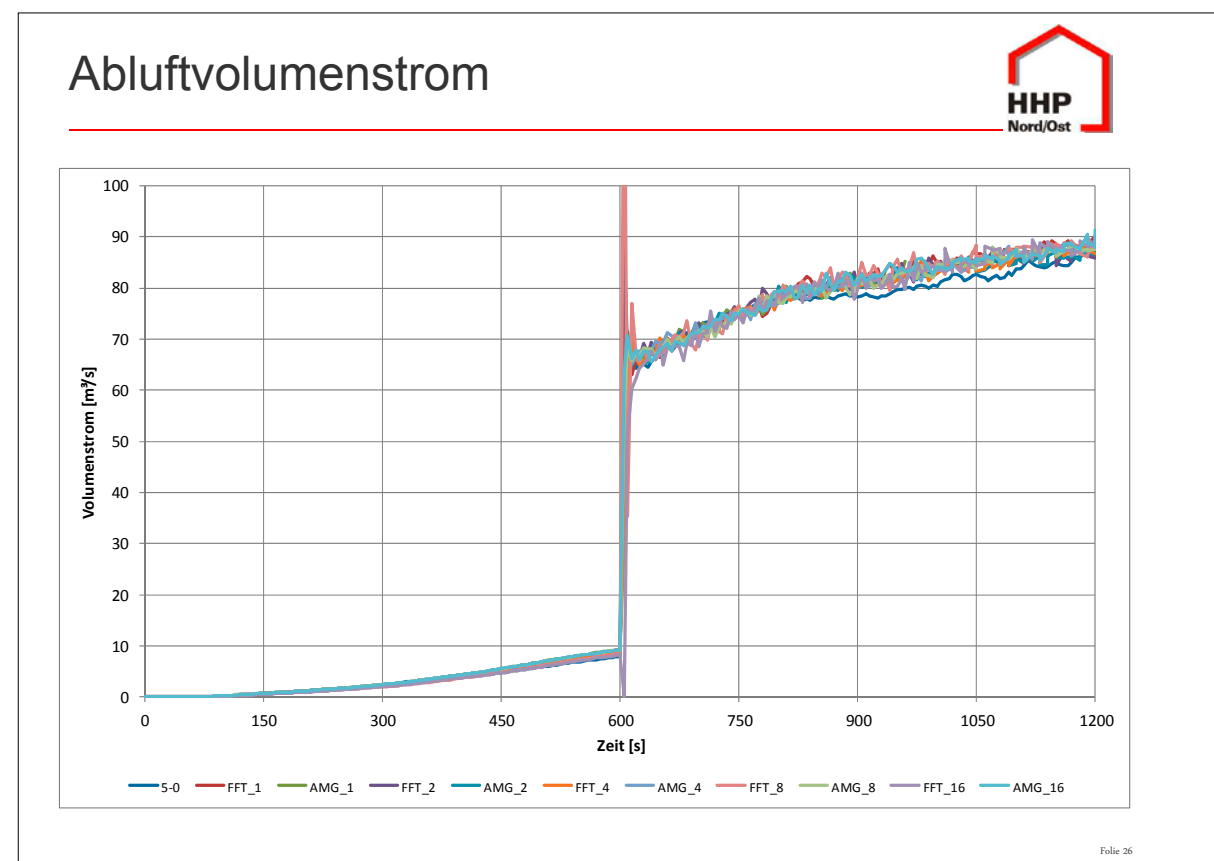
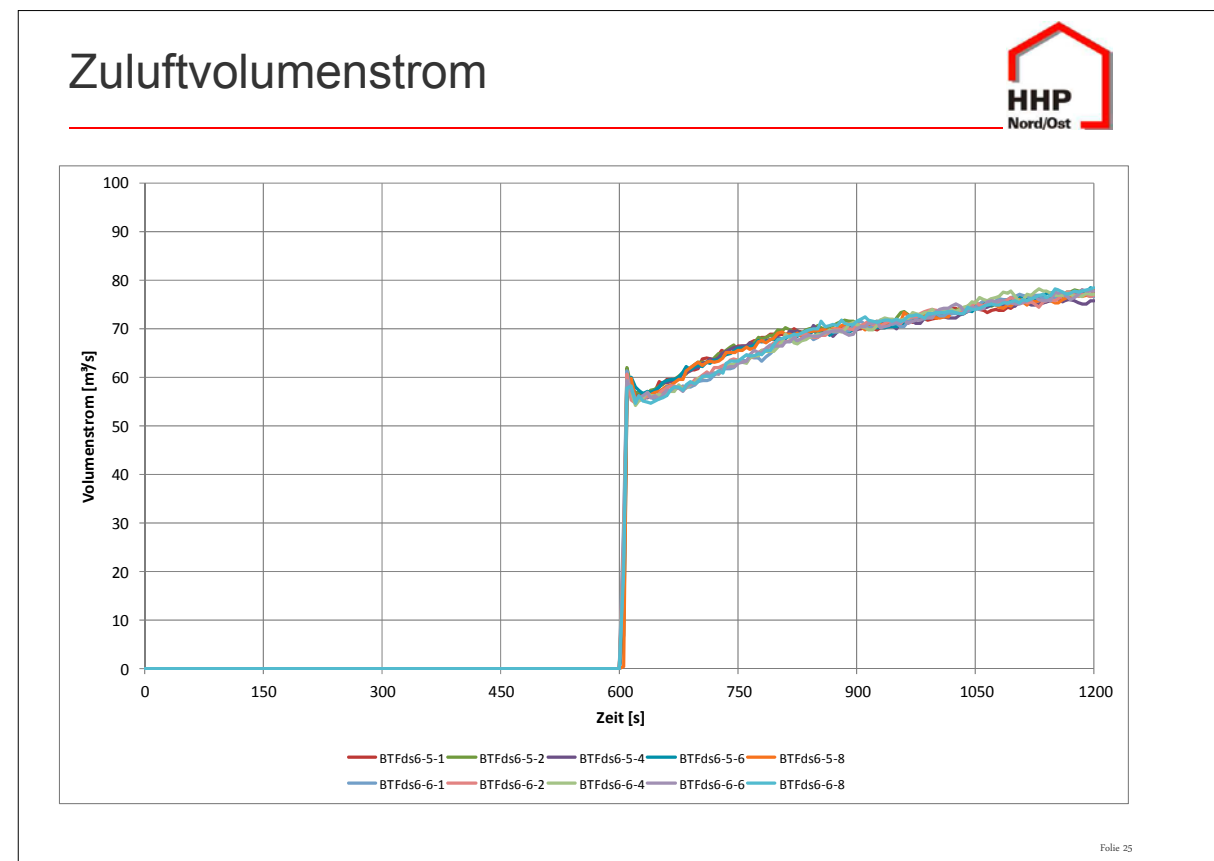
Folie 8











Schlussfolgerungen



- FDS 5 ↔ FDS 6
 - Keine Wesentlichen Änderungen in der Eingabe (für das Beispiel)
 - Variablen in ..._hrr.csv zum Teil geändert
- 1-Mesh ↔ Multi-Mesh
 - HRR und BURN RATE unterscheiden sich im Promille-Bereich
 - RAD_LOSS bzw. Q_RADI weniger als 1,5 %
 - CONV_LOSS bzw. Q_CONV
 - ▲ mit zunehmender Mesh-Anzahl steigend
 - ▲ in der ansteigenden Phase bis zu 20 %, stationäre Phase weniger als 5 %
 - COND_LOSS bzw. Q_COND weniger als 7 %

Folie 29

Schlussfolgerungen



- Welchen Anteil hat der FDS-Drucklöser?
 - FDS 6 RC4 (FFT): Starkes „Überschwingen“ bei Öffnen der NRA und Tore (Warum nicht so stark bei FDS 6 RC3?)
 - Q_CONV mit zunehmender Mesh-Anzahl steigend (nur FDS 6)
- FDS 6 mit ScaRC
 - Keine Einflüsse in Abhängigkeit von der Mesh - Anzahl

Folie 30

Dr. Susanne Kilian:

Die FDS-Drucklösung - Einblicke in eine numerische Qualitätssicherung

Abstract:

Der aktuell verwendete Parallelisierungsansatz für den FDS-Drucklöser auf Basis lokaler FFT-Verfahren mit globaler Grobgitterkorrektur krankt bekanntermaßen daran, dass er keine zuverlässige und genaue Skalierung auf massiv parallele Rechnersysteme erlaubt. Für einen vorliegenden Testfall ist a-priori nicht ersichtlich, wie die optimalen Verfahrensparameter gewählt werden sollten bzw. welche Ergebnisqualität erwartet werden kann. Zur Beseitigung dieser chronischen Parallelisierungskrankheiten läuft weiterhin die Entwicklung des alternativen Drucklösers ScaRC (Scalable Recursive Clustering), der auf deutlich leistungsfähigeren Parallelisierungskonzepten beruht und sich bereits an einer Vielzahl von Testproblemen bewährt hat.

Bei den umfangreichen Testrechnungen zum numerischen Vergleich der beiden Drucklösungs-Strategien kristallisiert sich jedoch immer wieder heraus, dass für eine zuverlässige Parallelisierung von FDS dringend noch weitere Schwachstellen innerhalb anderer Verfahrensbausteine beseitigt werden müssen, die zur Einspeisung inkonsistenter Eingabedaten für den parallelen Drucklöser führen. Eine korrekte Verzahnung der einzelnen Verfahrenskomponenten untereinander zu erzielen, ist ein ausgesprochen schwieriger und mühsamer Prozess, der zum Erhalt qualitativ hochwertiger und belastbarer ‚paralleler‘ Simulationsergebnisse jedoch absolut unerlässlich ist. Diese Problematik soll im Verlauf des Vortrags näher erläutert und durch Beispiele illustriert werden.

Weiterhin werden in Kooperation mit verschiedenen Mitgliedern der FDS Usergroup einige Testfälle präsentiert, die die Wirkungsweise des aktuellen FFT-Drucklösers mit derjenigen des ScaRC-Drucklösers vergleichen.



Die FDS-Druckgleichung

Einblicke in eine numerische Qualitätssicherung

Dr. Susanne Kilian
hhpberlin
Ingenieure für Brandschutz
10245 Berlin

Aus der Anwendungs-Praxis:

Zwei Testfälle in Kooperation mit Dr. Jürgen Will

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

1

Aus der Anwendungs-praxis

2

Transport-Schema im Visier

3

In den Tiefen des FDS-Codes

4

Ausblicke

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

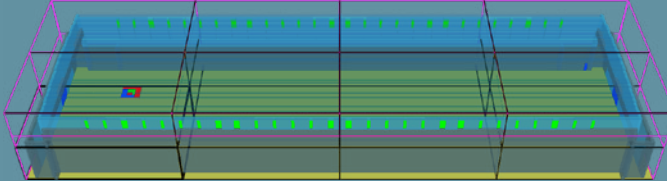
Brand in einer Produktionshalle (Projekt von Dr. Will)

- Konstellation wie im Vortrag von Herrn Dr. Will dargestellt
- Vergleich Druckverläufe Multi-Mesh-FFT versus ScaRC
- verschiedene Gebietszerlegungen:
 - 4 Meshes (4x1x1)
 - 8 Meshes (4x2x1)
 - 16 Meshes (4x2x2)


1

Aus der Anwendungs-praxis

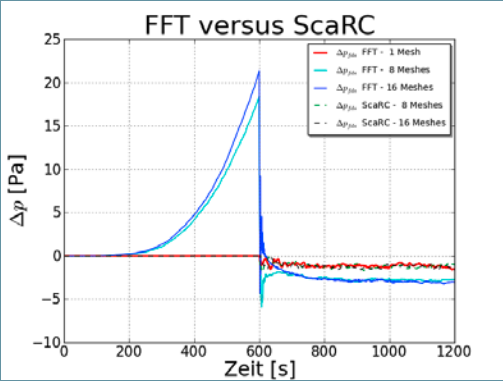
16-Mesh Geometrie:



Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 

Brand in einer Produktionshalle (Projekt von Dr. Will)



Druckverlauf Multi-Mesh-FFT:

- zunehmend starke Abweichungen bis T=600 s
- nachfolgendes „Wieder-Einpendeln“ auf leicht fehlerhaftem Niveau
- sehr träges Reagieren auf gebietsübergreifende Änderungen

Druckverlauf ScaRC:

- sehr gute Übereinstimmung
- konsistent zu Single-Mesh-FFT

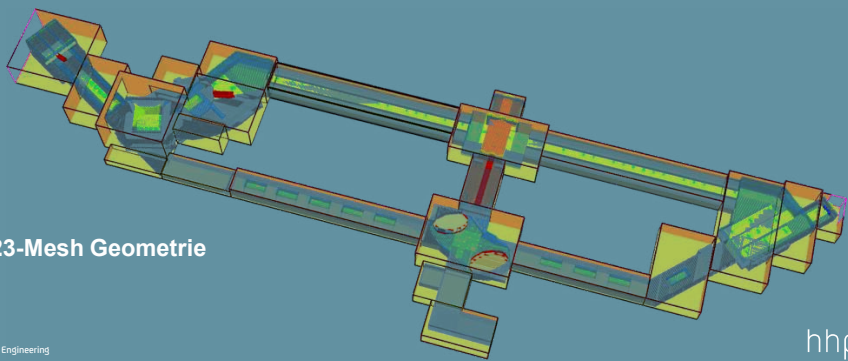
1

Aus der Anwendungspraxis

hhpberlin

Brand in einer Ladenzeile (Projekt von Dr. Will)

- bessere Anpassung an geometrische Details durch weitere Unterteilungen
- Simulation startet sowohl mit Multi-Mesh-SFT als auch mit ScaRC



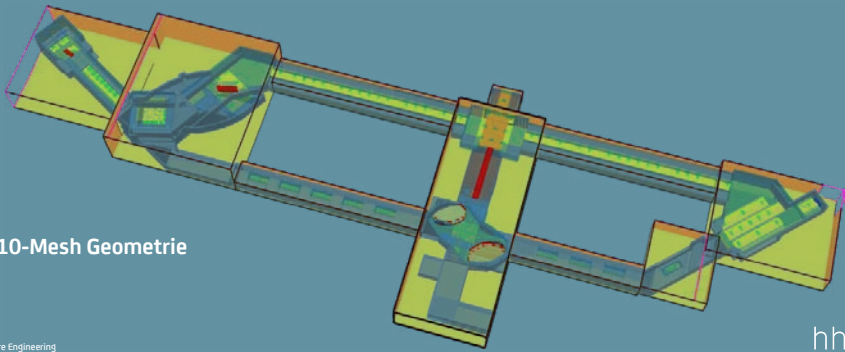
1

Aus der Anwendungspraxis

hhpberlin

Brand in einer Ladenzeile (Projekt von Dr. Will)

- sehr komplexe Geometrie
- Variationen für 5 verschiedene Brandszenarien
- Ursprungsgeometrie mit vielen ‚Totbereichen‘



1

Aus der Anwendungspraxis

hhpberlin

Brand in einer Ladenzeile (Projekt von Dr. Will)

- verschiedene Variationen für VELOCITY_TOLERANCE
- Numerische Instabilität für **alle** bisher getesteten FDS6-Varianten (Multi-Mesh-FFT und ScaRC) nach gut 120 Simulationssekunden!

Bisherige Erkenntnisse:

- ScaRC ist inzwischen auf komplizierten Geometrien lauffähig
- für diese spezielle Geometrie sehr komplexe Wechselwirkungen verschiedener Verfahrenskomponenten
- Suche nach Ursache für Instabilität extrem schwierig!

→ Fall wird weiterhin gemeinsam analysiert

1

Aus der Anwendungspraxis

hhpberlin

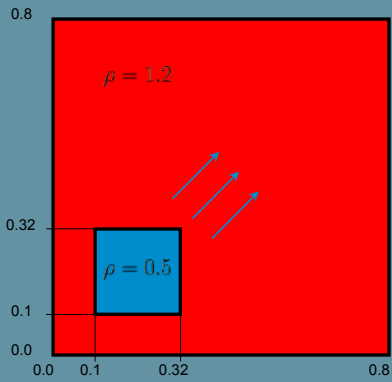
Fazit

- Diese und viele andere Rechnungen mit FDS6 haben gezeigt:
- Die Einführung der neuen Verfahrenskomponenten in FDS6 (speziell des neuen TVD-Transport-Schemas) hat nochmals zu stärkeren Inkonsistenzen bei der Behandlung innerer Ränder geführt!
 - Die Eingabedaten für den Drucklöser im Single- und Multi-Mesh-Fall sind nicht konsistent.
 - Eine belastbare Analyse des Multi-Mesh-Drucklösers kann weiterhin nur erfolgen durch die detaillierte Betrachtung von:
 - separierten physikalischen Phänomenen
 - lokalen Verfahrenskomponenten

Aus der Anwendungspraxis

Testfall 1: Dichte-Advektion

Dichte-Diskontinuität wandert diagonal durchs Gebiet



- Problemdetails :**
- konstantes Geschwindigkeitsfeld: $U=W=1$
 - periodisches Durchlaufen mit Zyklusdauer 0.8
 - DNS-Rechnung mit $CFL=0.25$:
 - Erhöhung der Genauigkeit des Zeitschemas
 - Fokussierung auf Genauigkeit des Ortsschemas
 - Test verschiedener Transport-Schemata:
 - `FLUX_LIMITER = 1` : Godunov (1. Ordnung)
 - `FLUX_LIMITER = 4` : CHARM (2. Ordnung, DNS-Default)

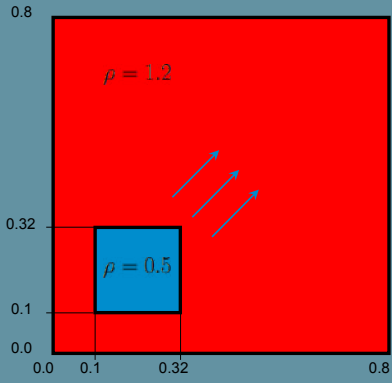
2
Transport-Schema im Visier

Transport-Schema im Visier:

Testfall Dichte-Advektion

Testfall 1: Dichte-Advektion

Dichte-Diskontinuität wandert diagonal durchs Gebiet



- Fragen:**
- Wie gut bleibt die Dichte-Kontur erhalten bzw. wie stark wird die Initialkontur ausgeschmiert?
 - Wie gut bleiben die Minimal- und Maximalwerte der Dichte erhalten?
 - Was passiert im Multi-Mesh-Fall?

2
Transport-Schema im Visier

Testfall 1: Dichte-Advektion

Dichte-Diskontinuität wandert diagonal durchs Gebiet

Vorgehensweise:

- zunächst Analyse des Single-Mesh-Falls
- Verwendung verschiedener Gitterweiten NxN, N=40, 80
- Plot der Dichte-Werte entlang der Mittellinien des „blauen Quadrates“:
x=0.21 und y=0.21 (gelbe Linien)

2

Transport-Schema im Visier

hhpberlin

FDS mit Sonderparameter

FREEZE_VELOCITY = .TRUE, FLUX-LIMITER = 4, 80x80 Zellen

→

- periodischer Zyklus wird vom Transport-Schema gut erhalten
- die Dichte-Kontur wird nur moderat ausgeschmiert

2

Transport-Schema im Visier

hhpberlin

Achtung Sonderparameter

Verwendung des Sonderparameters FREEZE_VELOCITY

→ Ausnutzung des konstanten Geschwindigkeitsfeldes

= .TRUE. : friert Verfahrenskomponenten ein, die für ein konstantes Geschwindigkeitsfeld keine neuen Beiträge liefern würden (Pressure_Solver, Compute_Velocity_Flux)

= .FALSE. : Standard-Verfahren unter Verwendung aller Verfahrenskomponenten

2

Transport-Schema im Visier

hhpberlin

FDS mit Sonderparameter

FREEZE_VELOCITY = .TRUE, FLUX_LIMITER = 4

→

- Linienplots liefern gute Übereinstimmung (Verfahren 2. Ordnung)
- gleiche Verläufe für y=0.21
- **entspricht den Erwartungen !**

2

Transport-Schema im Visier

hhpberlin

FDS mit Sonderparameter

FREEZE_VELOCITY = .TRUE., FLUX-LIMITER = 1, 80x80 Zellen

→

- periodischer Zyklus wird vom Transport-Schema gut erhalten
- die Dichte-Kontur wird aber stark ausgeschmiert (Verfahren 1. Ordnung)

Transport-Schema im Visier

2

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin

FDS ohne Sonderparameter

FREEZE_VELOCITY = .FALSE., FLUX-LIMITER = 4, 80x80 Zellen

→

- Kontur und Periode werden NICHT erhalten!
- Hinzunahme der ‚normalen‘ Verfahrenskomponenten zerstört korrekte Advektion

Transport-Schema im Visier

2

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin

FDS mit Sonderparameter

FREEZE_VELOCITY = .TRUE., FLUX_LIMITER = 1

→

- Periode erhalten, aber deutlich stärkeres Verschmieren
- entspricht ebenfalls den Erwartungen !

Transport-Schema im Visier

2

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin

FDS ohne Sonderparameter

FREEZE_VELOCITY = .FALSE., FLUX_LIMITER = 4

→

- andere Initiallösung für Navier-Stokes-Gleichungen!
- keinerlei Übereinstimmung mit tatsächlichem Verlauf!

Transport-Schema im Visier

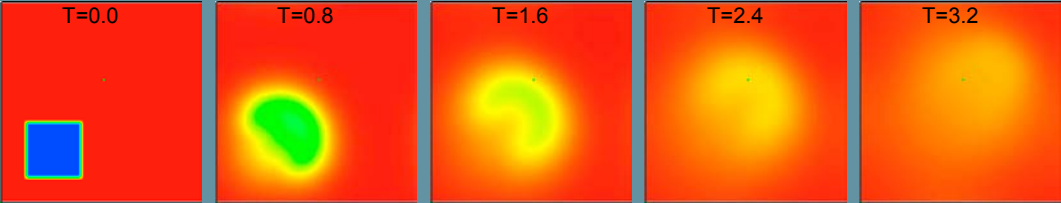
2

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin

FDS ohne Sonderparameter

FREEZE_VELOCITY = .FALSE., FLUX-LIMITER = 1, 80x80 Zellen



→

- Kontur und Periode werden NICHT erhalten!
- wiederum sehr starkes Ausschmieren

Next Generation Fire Engineering

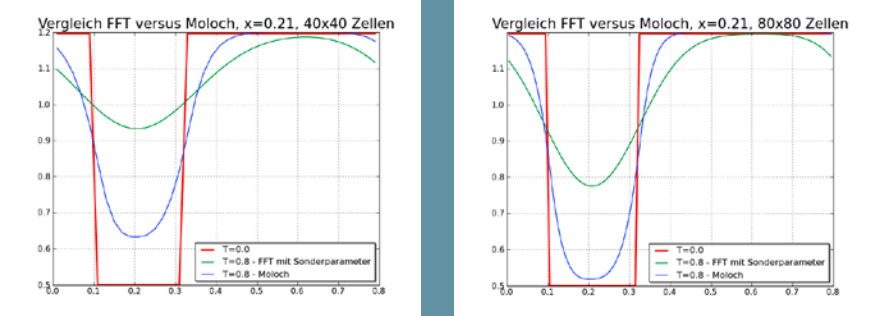
hnpberlin

2

Transport-Schema im Visier

FDS versus Moloch

FREEZE_VELOCITY = .TRUE., FLUX_LIMITER = 1 (Godunov)



→

- Vergleich mit Moloch (Programm von Dr. Münch auf Basis von Godunow)
- FDS mit Sonderparameter, Moloch **ohne**!
- Korrekterweise müsste FDS ohne Sonderparameter verglichen werden!

Next Generation Fire Engineering

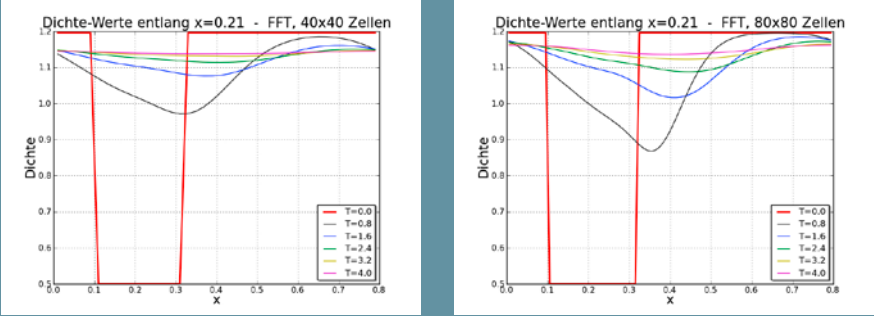
hnpberlin

2

Transport-Schema im Visier

FDS ohne Sonderparameter

FREEZE_VELOCITY = .FALSE., FLUX_LIMITER = 1



→ keine korrekte Übereinstimmung

Next Generation Fire Engineering

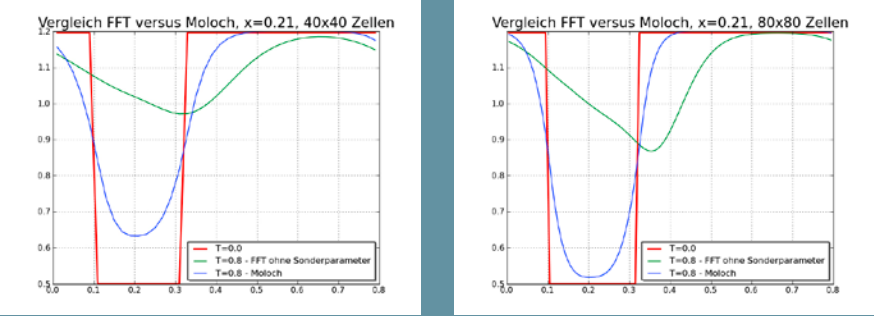
hnpberlin

2

Transport-Schema im Visier

FDS versus Moloch

FREEZE_VELOCITY = .FALSE., FLUX_LIMITER = 1 (Godunov)



→

- FDS **ohne** Sonderparameter, ebenso wie Moloch
- korrekte Kontur-Wiedergabe nur auf Basis von Moloch

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin

2

Transport-Schema im Visier

Fazit

- sehr gute Dichte-Advektion bei Verwendung des Sonderparameters
 - Standard-Fall ohne Sonderparameter dagegen nicht funktionsfähig
- FREEZE_VELOCITY= **.TRUE.** dient quasi als „**Debug-Option**“ und erlaubt das Austesten des reinen Transport-Schemas

Es muss aber auch im allgemeingültigen Fall funktionieren!

2

Transport-Schema im Visier

Testfall 2: Dichte-Advektion

Problem:

- im funktionierenden Fall FREEZE_VELOCITY = **.TRUE.** wird die Ausführung des Drucklösers unterbunden
- Multi-Mesh-Drucklöser kann für gezeigtes Advektions-Beispiel NICHT getestet werden testen!

Übergang zu anderem Fall mit Dichte-Advektion aus Verification-Guide mit analytischer Lösung „**shunn3: Variable-Density Manufactured Solution**“

$$Z(x,y,t) = \frac{1 + \sin(\pi k \hat{x}) \sin(\pi k \hat{y}) \cos(\pi \omega t)}{(1 + \frac{\rho_0}{\rho_1}) + (1 - \frac{\rho_0}{\rho_1}) \sin(\pi k \hat{x}) \sin(\pi k \hat{y}) \cos(\pi \omega t)}$$
$$\rho(x,y,t) = \left(\frac{Z(x,y,t)}{\rho_1} + \frac{1 - Z(x,y,t)}{\rho_0} \right)^{-1}$$

Z : Mixture Fraction

3

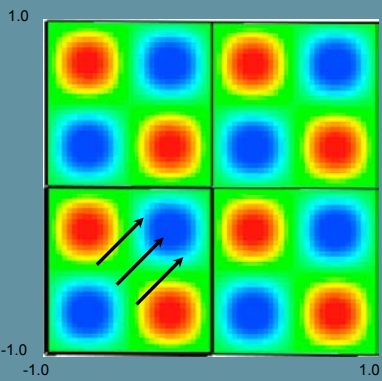
In den Tiefen des FDS-Codes

In den Tiefen des FDS-Codes

Konsistenztest der Eingabedaten

Testfall 2: Dichte-Advektion

Dichte-Advektion: Dichte-Peaks, die auf- und abschwellen und dabei diagonal durchs Gebiet wandern



Problemdetails :

- konstantes Geschwindigkeitsfeld: U=W=0.5
- periodische Randbedingungen
- DNS-Rechnung mit CFL =0.5
- FLUX_LIMITER = 4 (CHARM)
- N={32, 64, 128, 256, 512}

3

In den Tiefen des FDS-Codes

Testfall 2: Dichte-Advektion

Dichte-Advektion: Dichte-Peaks, die auf- und abschwellen und dabei diagonal durchs Gebiet wandern

T=0.0

T=0.125

T=0.25

T=0.375

T=0.5

→

- Konvergenzstudie auf Basis der analytischen Lösung
- Hauptentwickler zeigen 2. Ordnung des Zeitschrittverfahrens **im Single-Mesh-Fall**

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin

3

In den Tiefen des FDS-Codes

Konsistenztest der Eingabedaten

Entsprechen die Multi-Mesh-Eingabedaten für den Drucklöser denjenigen des Single-Mesh-Falles ???

→

- nur dann lässt sich die gleiche Drucklösung erwarten
- nur dann macht ein Konvergenz-Vergleich zum Single-Mesh-Fall Sinn

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin

3

In den Tiefen des FDS-Codes

Testfall 2: Dichte-Advektion

Herausforderung:

- basiert auf periodischen Randbedingungen des FFT-Lösers „Crayfishpak“
- kann mit FFT nur als Single-Mesh-Fall behandelt werden
- lässt sich mit ScaRC auf den Multi-Mesh-Fall übertragen

→

- ScaRC-Tests mit verschiedenen Zerlegungen in 4, 16 und 64 Meshes (optisch kein Unterschied zum Single-Mesh-Fall!)
- aber Konvergenzstudie ist hier nicht das Test-Ziel, sondern **Konsistenztest** der Eingabedaten für den Drucklöser

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin

3

In den Tiefen des FDS-Codes

Konsistenztest der Eingabedaten

Single-Mesh-Fall mit sehr grober Schrittweite von 8x8 Gitterzellen

Single-Mesh:

Next Generation Fire Engineering

hnpberlin

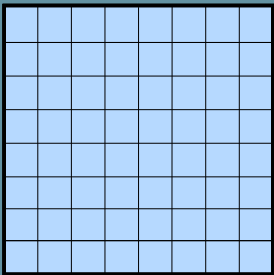
3

In den Tiefen des FDS-Codes

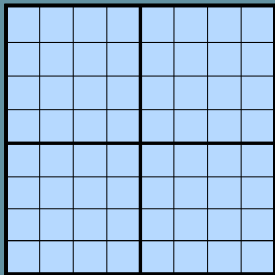
Konsistenztest der Eingabedaten

Unterteilung in 4 Meshes zu je 4x4 Gitterzellen

Single-Mesh:




Multi-Mesh:



3

In den Tiefen des FDS-Codes

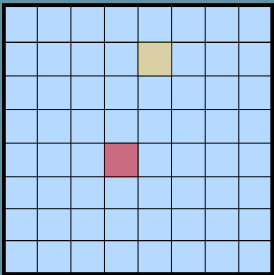
hhpberlin



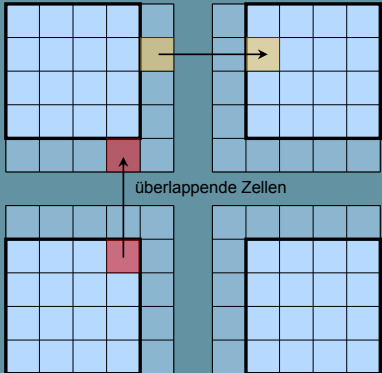
Konsistenztest der Eingabedaten

Jede Multi-Mesh-Zelle besitzt eine Single-Mesh-Entsprechung

Single-Mesh:



Multi-Mesh:




3

In den Tiefen des FDS-Codes

Multi-Mesh-Fall:

innere Randzellen besitzen eine Ghostzellen-Entsprechung im Nachbar-Mesh

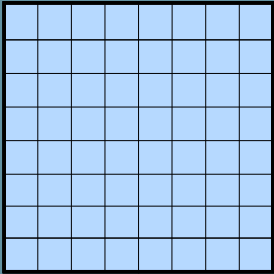
hhpberlin



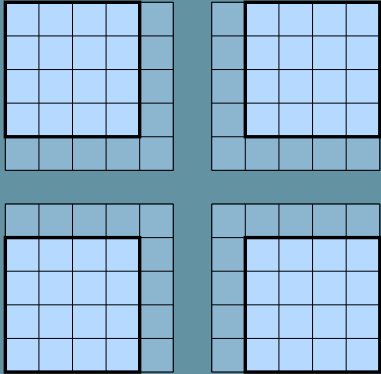
Konsistenztest der Eingabedaten

Jedes Mesh überlappt seine Nachbarn mit je einer Zellschicht (Ghostzellen)

Single-Mesh:




Multi-Mesh:



3

In den Tiefen des FDS-Codes

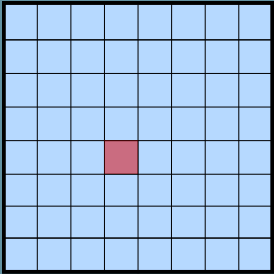
hhpberlin



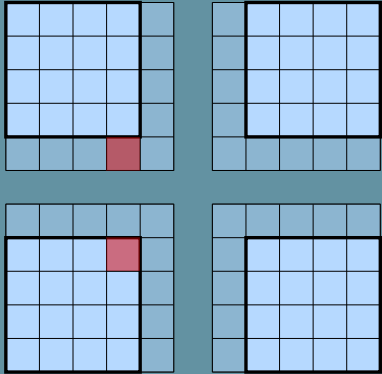
Konsistenztest der Eingabedaten

Werte-Vergleich: rote Multi-Mesh-Zelle versus Single-Mesh-Entsprechung

Single-Mesh:



Multi-Mesh:



3


In den Tiefen des FDS-Codes

zu Beginn des 1. Zeitschritts:

FDS-Größe	Single-Mesh	Multi-Mesh
z-Komponente Quellterm	0.7310	0.7159
Divergenz Geschwindigkeit	-13.1464	-13.0735
rechte Seite Drucklöser	7.2987	7.3467
Drucklösung	-0.1212	-0.1216

Erhebliche Unterschiede an führender Nachkommastelle!

hhpberlin



Erklärungsversuche

- für die neuen Transport-Schemata 2. Ordnung erstreckt sich das Upwinding für eine Gitterzelle über **zwei** Nachbarzellen
- an inneren Rändern gibt es aber nur **eine** Ghostzellenschicht, dort muss folglich Upwinding 1. Ordnung verwendet werden

Allgemeines Transport-Schema:

$$\frac{\rho_i^* - \rho_i^n}{\delta t} + \frac{\bar{\rho}_{i+1/2}^{FL} u_{i+1/2} - \bar{\rho}_{i-1/2}^{FL} u_{i-1/2}}{\delta x} = 0$$

$\bar{\rho}_{i+1/2}^{FL}$	$u_i > 0$	$u_i < 0$
FLUX_LIMITER=1 Godunov	ρ_i	ρ_{i+1}
FLUX_LIMITER=4 Charm	$f(\rho_i, \rho_{i-1})$	$f(\rho_{i+1}, \rho_{i+2})$

3

In den Tiefen
des FDS-Codes

Ausblicke:

Tests und Kooperationen

Fazit

- keine zuverlässige Konsistenz der Eingabedaten
(Größenordnung ist allerdings auch der groben Schrittweite geschuldet!)
- Werte sind NICHT nur auf Ghostzellen unterschiedlich, sondern auch in randnahen inneren (!) Zellen
- Diskussion mit Randy McDermott über Inkonsistenzen unter ScaRC-Issue 1132
(zu Bereinigungen im Code geführt)
- Weitere Analysen in Kooperation mit den Hauptentwicklern werden folgen

3

In den Tiefen
des FDS-Codes

Ausblicke

- **Weitere Konsistenztests:**
Es bestehen noch weitere Inkonsistenzen!
 - auch für FLUX_LIMITER = 1 (Verwendung nur einer Nachbarzelle)
 - auch in anderen Routinen (z.B. Strahlungstransport, Berechnung der Geschwindigkeits-Divergenz)

→ **Kooperation mit Hauptentwicklern**
- **Weitere Verifikationstests:**
Gezielte Analyse separierter physikalischer Phänomene

→ **Kooperation mit Dr. Münch**
- **Weitere Anwendungstests:**
Tests zur Anwendbarkeit von ScaRC auf realistischen Geometrien

→ **Kooperation mit Dr. Will, Prof. Husted**

4

Ausblicke

Ausblicke

4

Ausblicke

Weitere Kooperationen ???

Next Generation Fire Engineering

hhpberlin 



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
7. Tagungsband FDS Usergroup Treffen
Jahrgang 2013