

14. ANWENDERTREFFEN DER FDS USERGROUP

TAGUNGSBAND

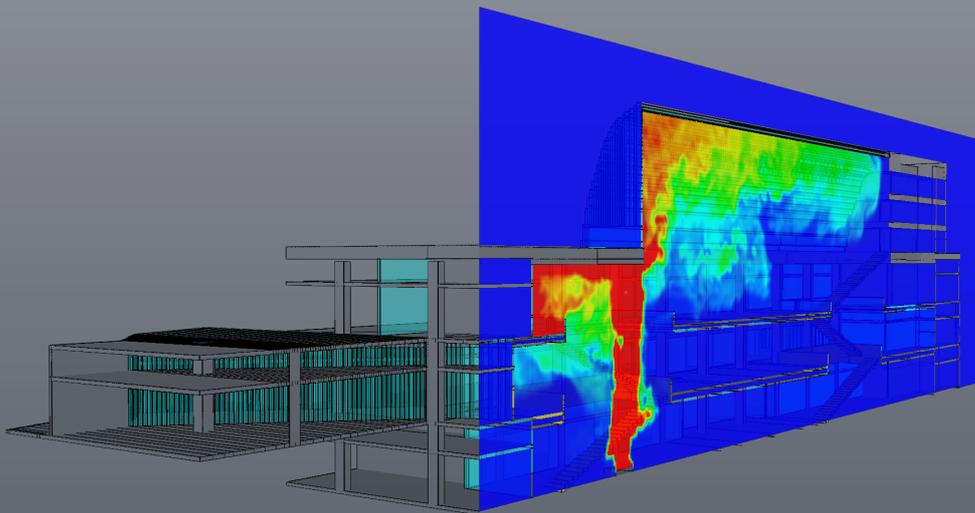
ZUSAMMENSTELLUNG DER VORTRÄGE

Datum:

6. - 7.5.2021

Ort:

Microsoft-Teams Konferenz



INHALT**Vorträge 6.5.2021**

Vorstellung des CoBra Projektes Tristan Hehnen, Lukas Arnold	4
Wandkondensation in FDS - Validierungsexperimente an der SETCOM Versuchsanlage Alexander Belt	11
Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen Leonie Rommeswinkel	23
Modellierung der Erkennbarkeit von Sicherheitskennzeichen bei inhomogenem Rauch und Reizgasen Burkhard Forell, Tobias Gockel	39
Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Kristian Börger	51
Ventilationssteuerung bei Raumbränden - Fortsetzung Manuel Osburg	65
Ausbreitung exhalierter Aerosole in Innenräumen - Strömungssimulationen im Hinblick auf SARS-CoV-2 Benjamin Schaufelberger, Pascal Matura	77

INHALT**Vorträge 7.5. 2021**

Containerisierung von FDS mit Docker Robert Weiße	89
Python+FDS: Vorstellung des FDSReader-packages zum Einlesen von FDS-Simulationsdaten in Python Jan Vogelsang	103
Comparison of the performance of the Intel processors to the AMD Epyc processor for running FDS Bjarne Husted	113
Brandsimulation und Holzbau: Was geht (nicht)? Benjamin Schröder	125
Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen an einem Technik- schrank auf die Ausbreitung eines Brandereignisses Arne Schmidt	133
Separabel versus inseparabel - Die FDS Druck-Gleichung in unterschiedlicher Gestalt Susanne Kilian	145

Tristan Hennen, Lukas Arnold:

Vorstellung des CoBra Projektes

Abstract:

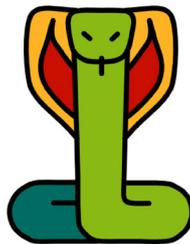
Vorge stellt wird das CoBra-Projekt, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert wird. Im Rahmen dieses zweijährigen Projektes wird ein Labor für Brandsimulation an der Bergischen Universität Wuppertal, vom Lehrstuhl für Computational Civil Engineering (CCE), eingerichtet. Diesem Simulationslabor wird ein High Performance Computing (HPC) Cluster angeschlossen. Im Focus liegen dabei der Ausbau und die Unterstützung der Lehre im Bereich des Bauingenieurwesens und der Sicherheitstechnik, Fortbildungsangebote für Ingenieurbüros sowie Nutzung der Ressourcen für die Entwicklung neuer Modelle und Simulationsmethoden.

Gezielt sollen Unterrichtsangebote auf die Arbeit mit größeren Rechenclustern und auf Automatisierung der Datenverarbeitung ausgerichtet sein. Unter anderem könnten kleineren Ingenieurbüros Einstiegshilfen für die Einrichtung von HPC Ressourcen angeboten werden. Im Bereich der Forschung steht die Weiterentwicklung der Simulationssoftware ARTSS, Visualisierung von Rauchausbreitung in einer Virtual Reality (VR) Umgebung ebenso wie die Simulation von Brandausbreitung, basierend auf Materialparametern, im Vordergrund.

Das Projekt ist im Dezember 2020 gestartet, Planung und Beschaffung der Computing Ressourcen sind in vollem Gange. Mit der Installation des Cluster könnte voraussichtlich ab dem dritten Quartal 2021 begonnen werden.

FDS User Group Meeting 2021-05-06

Vorstellung des CoBra Projektes



Vorstellung des CoBra Projektes
Tristan Hehnen, Lukas Arnold



Einführung

- Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
- Laufzeit von zwei Jahren
 - Start: Dezember 2020
- Gesamtziel:
Förderung und Ausbau von Expertise im Bereich der Simulationstechnologien, mit Fokus auf den Brandschutz



Vorstellung des CoBra Projektes
Tristan Hehnen, Lukas Arnold



Einführung

- Verbundpartner:
 - Lehrstuhl Computational Civil Engineering (CCE),
Bergische Universität Wuppertal
- Assoziierte Verbundpartner:
 - Feuerwehr Dortmund
 - Görtzen Stolbrink & Partner mbB
 - HALFMANN + KIRCHNER PartGmbB
 - hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH
 - TÜV Süd Rail GmbH



Vorstellung des CoBra Projektes
Tristan Hehnen, Lukas Arnold



Ziele

- Beschaffung eines High Performance Computing (HPC) Cluster
- Aufbau eines Simulationslabor
- Nutzung für Lehre und Fortbildung
- Ressourcen für die Forschung:
 - Echtzeitberechnung von
Rauchausbreitung (ARTSS)
 - Rauchvisualisierung in einer Virtual
Reality Umgebung



Vorstellung des CoBra Projektes
Tristan Hehnen, Lukas Arnold



Ziele – HPC

Beschaffung eines High Performance Computing (HPC) Cluster

- CoBra-System als Erweiterung des Pleiades-System
 - Uni-weite Verfügbarkeit
 - Etwa 14.000 Cores vorhanden
- Betrieb in Kooperation mit dem IZ2
- Rechenknoten:
 - 2 x AMD EPYC 7452 (x86_64): 32 Core
 - Basistakt: 2,35 GHz
 - 256 GB Hauptspeicher (4 GB RAM je Core)
 - Stand jetzt: etwa 3.000 Cores gesamt



Die Plejaden mit Reflexionsnebel, Quelle: Wikipedia
<https://www.iz2.uni-wuppertal.de/de/einrichtungen.html>

Vorstellung des CoBra Projektes
Tristan Hehnen, Lukas Arnold



Ziele – Simulationslabor

Aufbau eines Simulationslabor

- Projektraum für Kleingruppen
- Acht Arbeitsplätze
 - Workstation, Peripherie, Möbel, ...
- Nutzung:
 - Lehre
 - Fortbildungen



Quelle: Fire Tests of Single Office Workstations, NIST

Vorstellung des CoBra Projektes
Tristan Hehnen, Lukas Arnold



Ziele – Lehre und Fortbildung

Nutzung für Lehre und Fortbildung

- Lehrveranstaltungen für Bauingenieure und Sicherheitstechniker
 - Ingenieurinformatik
 - Numerische Brandsimulation
- Fortbildungen und Workshops
 - Umgang mit HPC Ressourcen
 - Automatisierung, Datenauswertung
 - Einführung in CFD, beispielsweise für Feuerwehren oder Aufsichtsbehörden



Quelle: [Grizka Niewiadomski](https://images.freeimages.com/images/large-previews/583/college-1440364.jpg)
<https://images.freeimages.com/images/large-previews/583/college-1440364.jpg>

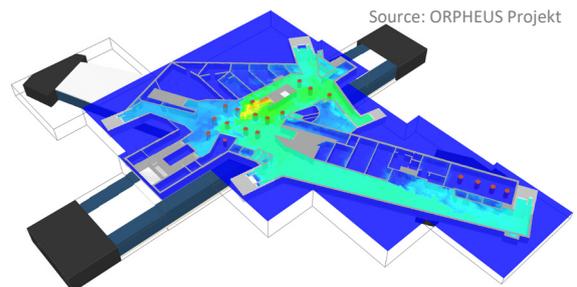
Vorstellung des CoBra Projektes
 Tristan Hehnen, Lukas Arnold



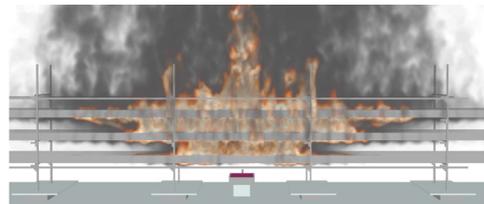
Ziele – Ressourcen für die Forschung

Ressourcen für die Forschung

- Echtzeitberechnung von Rauchausbreitung (ARTSS)
- Rauchvisualisierung in einer Virtual Reality Umgebung
- Modellentwicklung
- Kooperation mit anderen Fachrichtungen:
 - Fußgängerdynamik
 - Tragwerksplanung
 - Building Information Management (BIM)
 - ...



Source: ORPHEUS Projekt



Vorstellung des CoBra Projektes
 Tristan Hehnen, Lukas Arnold





Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Gibt es Fragen?

Vorstellung des CoBra Projektes
Tristan Hehnen, Lukas Arnold



Alexander Belt:

Wandkondensation in FDS - Validierungsexperimente an der SETCOM Versuchsanlage

Abstract:

Der Einsatz von Sprinkler- oder Wassernebelsystemen im Brandfall führt durch Verdunsten der Wassertropfen z.B. zur Reduzierung der Rauchgastemperatur, wodurch der Wassermassenanteil in der Gasphase steigt und dem Plume kinetische Energie entzogen wird. Bis zur Sättigungstemperatur liegt das Wasser gelöst in der Gasphase vor. Bei Unterschreiten dieser, z.B. durch konvektive Wärmeabfuhr an kälteren Strukturen, kondensiert Wasser an Oberflächen aus der Gasphase aus - es kommt zur Wandkondensation. Diese induziert Auftriebseffekte, die u.a. die Höhe der Rauchgasschicht beeinträchtigen können.

Zur Beschreibung der wandnahen Strömungs- und Transportprozesse werden in FDS standardmäßig Wandfunktionen verwendet, sodass realmaßstäbliche Anwendungen mit vertretbarem Rechenaufwand simuliert werden können. Aus der Literatur geht hervor, dass die wandnahen Prozesse mit zunehmender Kondensationsrate, insbesondere bei auftriebsdominierten Strömungen von den durch die Standardwandfunktionen beschriebenen Prozessen abweichen.

Zur Verbesserung der Wandkondensationsmodelle, nicht nur in FDS, sind neue experimentelle Daten erforderlich. Am Forschungszentrum Jülich wurde eigens für diesen Zweck eine Versuchsanlage errichtet - SETCOM, Separate Effect Test for Condensation Modeling. Im Rahmen dieses Beitrags wird die Versuchsanlage vorgestellt und erste Validierungserkenntnisse bzgl. des Wärme- und Stofftransports und der Strömungsverhältnisse in Wandnähe mit FDS präsentiert.

WANDKONDENSATION IN FDS – VALIDIERUNGS- EXPERIMENTE AN DER SETCOM VERSUCHSANLAGE

6.5.2021 | A. BELT, L. CAMMIADE, E. GROSS, S. KELM

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft



INHALT

- Einleitung / Motivation
- Vorstellung SETCOM Versuchsanlage
- Ergebnisse: FDS vs. Experiment
- Zusammenfassung und Ausblick

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

6. Mai 2021

Seite 2



INHALT

- Einleitung / Motivation
- Vorstellung SETCOM Versuchsanlage
- Ergebnisse: FDS vs. Experiment
- Zusammenfassung und Ausblick

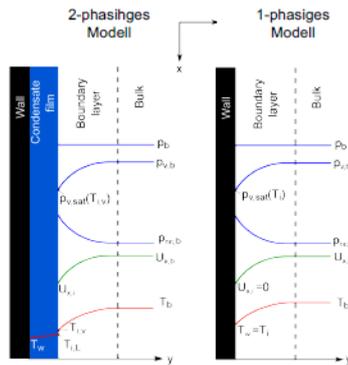
EINLEITUNG UND MOTIVATION

- Sprinkler- und Wassernebelanlagen als Brandschutzmaßnahmen
- Thermische Energie des Brandes führt zum Verdampfen der Wassertröpfchen
 - Reduzierung der kinetischen Energie
 - Höhere relative Feuchte des Rauchs
- Wandkondensation an kälteren Strukturen/Oberflächen
 - Konzentrationsgradienten in der Grenzschicht
 - Kondensationsinduzierte Auftriebseffekte
 - Bsp. Einfluss auf Höhe der Rauchgasschicht

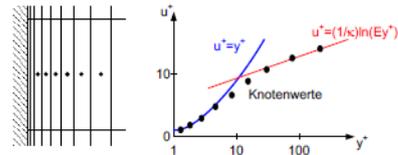


Wandkondensationsmodell in FDS erforderlich

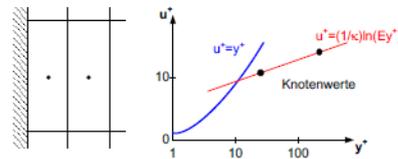
MODELLIERUNG DES WANDNAHEN BEREICHS



• Low Reynolds

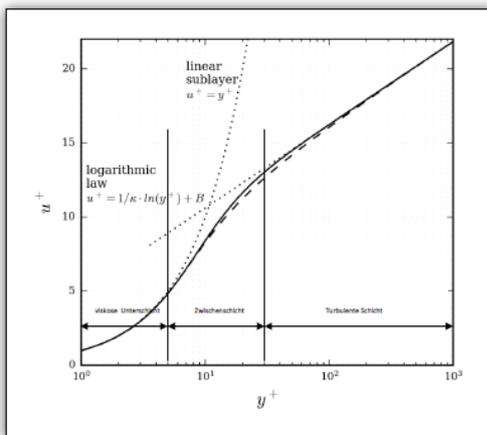


• Wandfunktionen



WANDFUNKTIONEN IN FDS

Dimensionsloses Geschwindigkeitsprofil



- Für $Pr \approx 1 \rightarrow \delta_T = \delta$
- Beschreibung des wandnahen Temperaturprofils nach Kader [1]
- Analogie zwischen Wärme- und Stofftransport

$$Y_{\alpha}^+ = \frac{\rho u_{\tau}}{\dot{m}_{dep,\alpha}''} (Y_{\alpha} - Y_{\alpha,l})$$

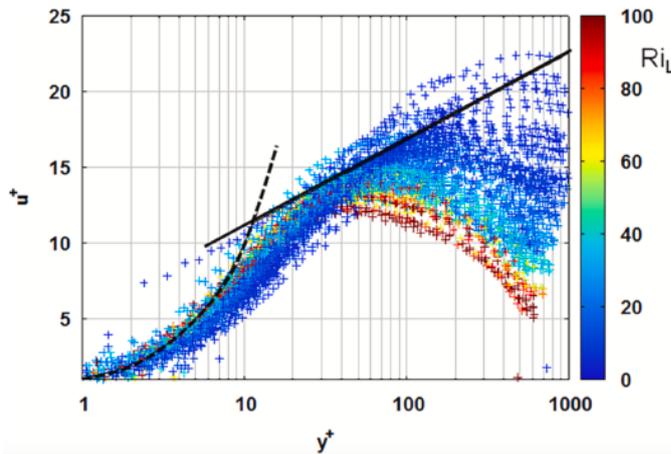
$$y^+ = \frac{\rho u_{\tau} \delta n / 2}{\eta}, u_{\tau} = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}, u^+ = \frac{u}{u_{\tau}}$$

$$Y_{\alpha}^+ = Sc y^+ e^{-\Gamma} + \left(2.12 \ln(y^+) + (3.85 Sc^{1/3} - 1.3)^2 + 2.12 \ln(Sc) \right) e^{-\Gamma}$$

$$\Gamma = \frac{(0.01 Sc y^+)^4}{1 + 5 Sc^3 y^+}$$

$$\dot{q}_{dep,\alpha}'' = \dot{m}_{dep,\alpha}'' (h_v(T_w) + h_{s,\alpha}(T_g) - h_{s,\alpha}(T_w))$$

ABWEICHUNGEN VOM STANDARDGESCHWINDIGKEITSPROFIL

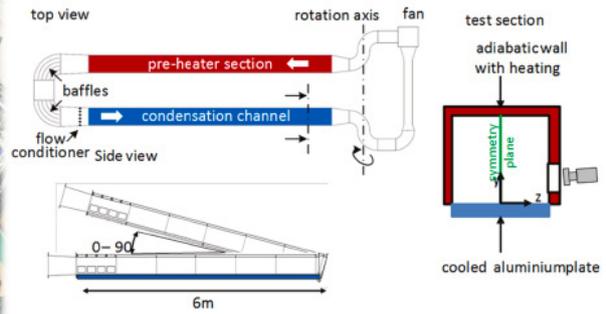
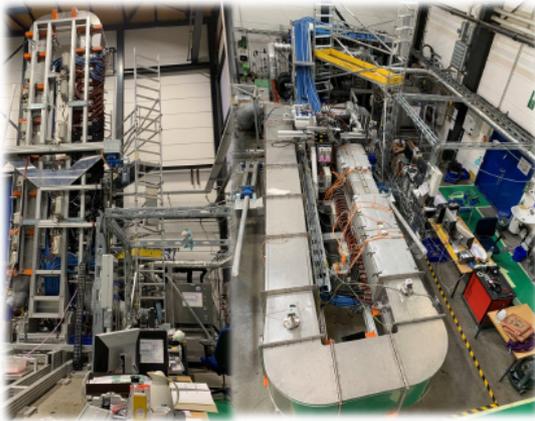


- Richardson (Ri) = $\frac{Grashof}{Reynolds^2}$
- $Ri < 0.1 \rightarrow$ erzwungene Konvektion
- $Ri > 10 \rightarrow$ natürliche Konvektion
- $0.1 < Ri < 10 \rightarrow$ gemischte Konvektion

INHALT

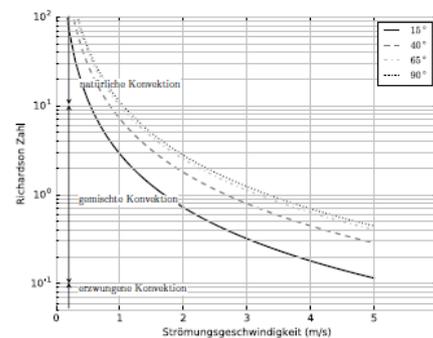
- Einleitung / Motivation
- Vorstellung SETCOM Versuchsanlage
- Ergebnisse: FDS vs. Experiment
- Zusammenfassung und Ausblick

SETCOM VERSUCHSANLAGE



VERSUCHSRANDBEDINGUNGEN

Strömungsgeschwindigkeit	0.5 – 5 m/s
Druck	Umgebungsdruck
Gastemperatur	<100°C
Gaszusammensetzung	relative Feuchte < 100 %
Wandtemperatur	10 °C < T _w < 30 °C
Länge der Kühlplatte	1 m < L _{platte} < 6 m
Neigungswinkel der Kühlplatte	0 ° < φ < 90 °

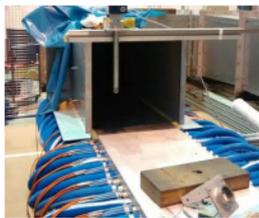


PRIMÄRSEITIGE RANDBEDINGUNG

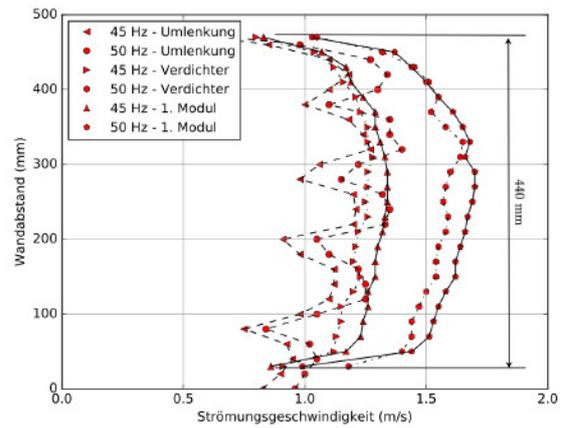


90°-Bogen

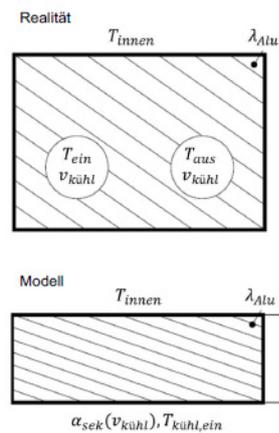
Verdichter



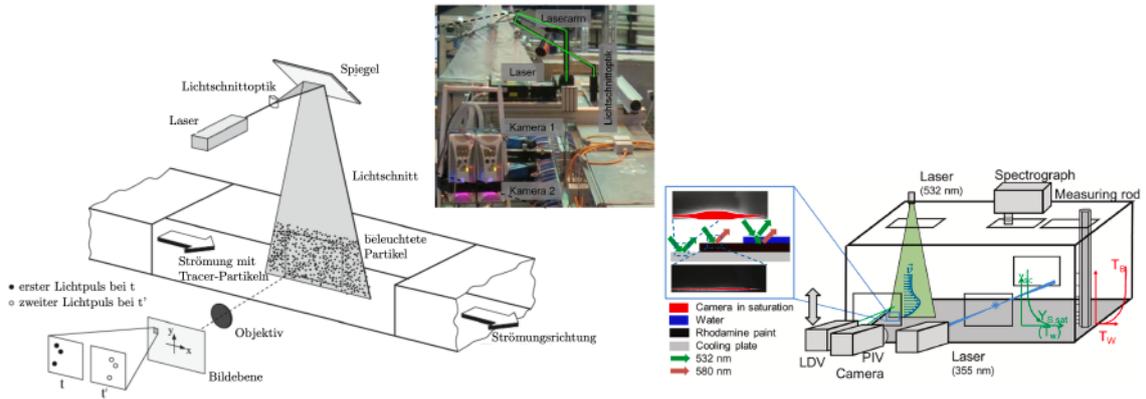
Erstes Kondensationsmodul



SEKUNDÄRSEITIGE RANDBEDINGUNG



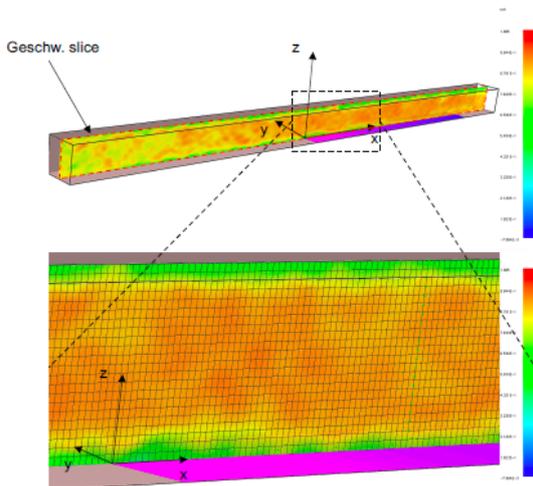
BERÜHRUNGSLOSE MESSTECHNIK – PIV, LDA, RAMAN



INHALT

- Einleitung / Motivation
- Vorstellung SETCOM Versuchsanlage
- Ergebnisse: FDS vs. Experiment
- Zusammenfassung und Ausblick

SETCOM MODELL IN FDS

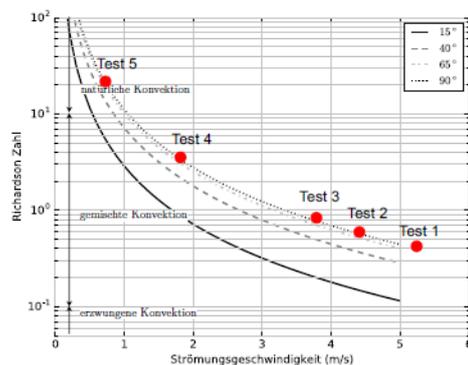


- FDS 6.7.5
- Randbedingungen:
 - Beheizte Wände: adiabat
 - Gekühlte Wand: konst. Temperatur aus Experimenten, Wandrauigkeit
 - Einlass Geschw.: Blockprofile, Turbulenz
- 4 m Vorlauf → ausgebildete Strömung im AOI
- Mesh1: 2x2x2cm³, Mesh2: 1x1x1cm³, Mesh3: 0.5x0.5x0.5cm³

VERSUCHSMATRIX

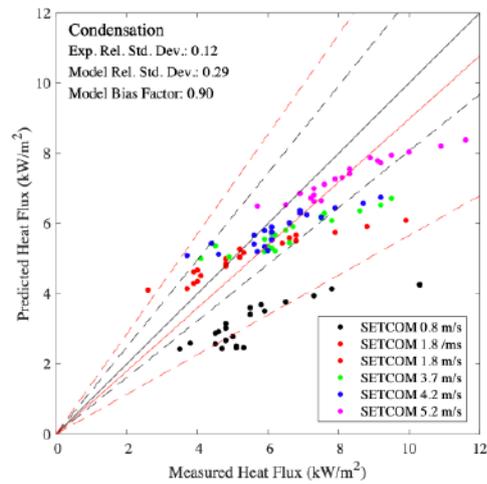
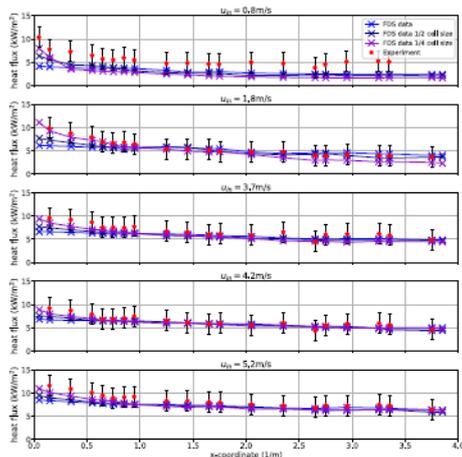
- Versuchsanlage bei $\phi = 90^\circ$
- $\alpha_{sek} = 3000W/m^2K$

	u_{in} (m/s)	T_{gas} (°C)	Relative Feuchte (%)	T_{cool} (°C)
Test 1	5.2	75	69	8.3
Test 2	4.2	78	57	8.2
Test 3	3.7	79	59	8.1
Test 4	1.8	84	71	7.9
Test 5	0.8	86	71	7.8

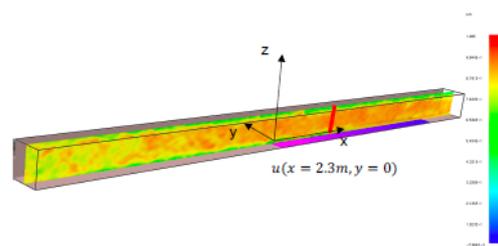
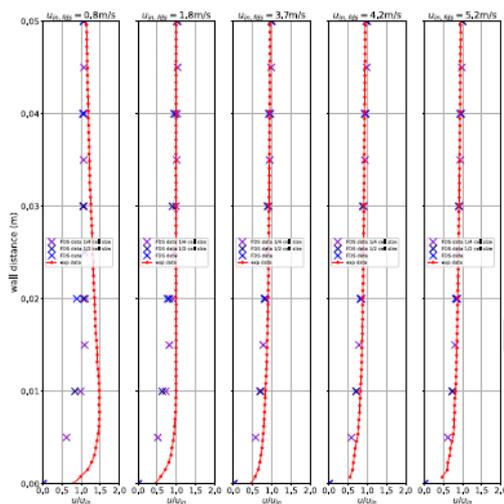


kein Versuch bei reiner erzwungener Konvektion

WANDWÄRMESTROM



GESCHWINDIGKEITSPROFILE



Zunehmende Abweichungen in Wandnähe mit zunehmendem Auftrieb

INHALT

- Einleitung / Motivation
- Vorstellung SETCOM Versuchsanlage
- Ergebnisse: FDS vs. Experiment
- Zusammenfassung und Ausblick

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK (1/2)

- Gemischte Konvektion:
 - Gute Übereinstimmung des Wandwärmestroms nach 1 m unter Berücksichtigung der Messunsicherheit
 - Gute Übereinstimmung der gemittelten, normierten Geschwindigkeitsprofile ($u(z)$ für $z > 20\text{mm}$)
- Natürliche Konvektion:
 - Abweichung des Wandwärmestroms über die gesamte Länge der Kühlplatte
 - Abweichungen der gemittelten, normierten Geschwindigkeitsprofile ($u(z)$)

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK (2/2)

- Gittersensitivität:
 - Verfeinern des Gitters führt im Bereich der Einströmung zu besserer Übereinstimmung des Wandwärmestroms
 - Feineres Gitter zeigt positive Tendenz, aber bei natürlicher Konvektion (Test 5) für $z = 5 \text{ mm}$ $u_{\text{FDS}} = \frac{1}{3} u_{\text{exp}}$



Implementierung ein neuen Wandfunktion, die nicht u_{τ} -basiert ist

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

Leonie Rommeswinkel:

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen

Abstract:

In den letzten Jahren wurde das Kosten-Nutzen-Verhältnis brandschutztechnischer Maßnahmen in der Öffentlichkeit vielfach diskutiert und kritisch hinterfragt. Für die Bewertung eines Kosten-Nutzen-Verhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen ist derzeit kein einheitliches Verfahren bekannt. Im Rahmen dieses Vortrages wird eine mögliche Vorgehensweise aufgezeigt, mit der sich das Kosten-Nutzen-Verhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen in Gebäuden ermitteln lässt und damit einen Vergleich sowie eine Bewertung von alternativen Maßnahmen und den jeweiligen Kosten ermöglicht.

Zur Bewertung des Nutzens wird eine Nutzwertanalyse als semi-quantitative Risikoanalyse verwendet. Als Hauptziel der Nutzwertanalyse wird die Einhaltung der vier wesentlichen brandschutztechnischen Schutzziele, die im §14 der MBO definiert werden, festgelegt. Daraus folgt, dass diese vier Schutzziele die Oberziele in der Hierarchie der Nutzwertanalyse bilden. Die Oberziele unterteilen sich weiterhin in Mittel-, Zwischen- und Unterziele. Die Bewertung der Unterziele erfolgt - sofern sinnvoll möglich - auf quantitative und alternativ auf qualitativer Art. Die quantitativen Unterziele der schutzzielorientierten Nutzwertanalyse sollen anhand von Grenzwerten ausgewertet werden. Die Bewertung dieser Unterziele soll qualitativ auf Basis von FDS-Simulationen erfolgen.

Um die praktische Eignung dieser Vorgehensweise zu überprüfen wird exemplarisch eine mittelgroße geschlossene Tiefgarage verwendet. Dafür werden drei unterschiedliche Brandschutzkonzepte aufgestellt und untereinander verglichen. Das erste Konzept basiert auf den regelhaften Vorgaben der MBO sowie der Mustergaragenverordnung, während im zweiten Konzept eine Brandmeldeanlage Verwendung findet. Das dritte Konzept basiert auf der Verwendung einer Brandmelde- und einer Sprinkleranlage.



Foto: Colourbox.de

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen



Agenda

- Problemstellung/Ziel
- Kostenanalyse
- Nutzwertanalyse
- Semi-quantitativer Analyseansatz
- Szenario Tiefgarage
 - Aufbau
 - Konzepte
 - Bewertung
- Diskussion
- Ausblick

Problemstellung/Ziel

- Kosten-Nutzen-Verhältnis brandschutztechnischer Maßnahmen wird vielfach diskutiert
- für Bewertung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses ist kein einheitliches Verfahren bekannt
- Entwicklung einer Vorgehensweise zur Ermittlung Kosten-Nutzen-Verhältnisses
- Vergleich sowie Bewertung von alternativen Maßnahmen und jeweiligen Kosten ermöglichen



Foto: Colourbox.de

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel

3



Kostenanalyse

- Welche Kosten müssen in der Kostenanalyse für brandschutztechnische Maßnahmen betrachtet werden?
 - brandschutzbezogenen Bauwerkskosten
 - Fachplanungskosten Brandschutz
 - Nutzungskosten

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel

4



Kostenanalyse

- Ermittlung der brandschutzbezogenen Bauwerkskosten
 - anhand von statistischen Kostenkennwerten
 - zu beachten: auf einheitlichen und möglichst aktuellen Betrachtungszeitpunkt umrechnen
- Ermittlung Fachplanungskosten Brandschutz
 - anhand der Bauwerkskosten mittels HOAI abschätzen
 - ggf. AHO-Heft heranziehen

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel

5



Kostenanalyse

- Abschätzung der Nutzungskosten
 - Berechnung der Lebenszykluskosten (Nutzungskosten während eines Nutzungszykluses)
 - Nutzungszyklus: keine geeigneten Daten für statistische Nutzungszyklusdauern einer Gebäudeart allgemein vorhanden → wirtschaftliche Nutzungsdauer herangezogen (Übersicht für einzelne Bauteile)
 - getrennte Betrachtung von Instandhaltungskosten und Erneuerungskosten

**Gesamtkosten = Bauwerkskosten + Fachplanungskosten +
Instandhaltungskosten + Erneuerungskosten**

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel

6



Nutzwertanalyse

- Methode zur Entscheidungsfindung
- nicht monetäres Verfahren
- wird eingesetzt, wenn
 - Projektalternativen bei Bauvorhaben
 - Entscheidungen im Produktsortiment getroffen werden müssen
 - geeignetes Personal aus mehreren Bewerbern ausgewählt werden soll
 - Lieferanten oder andere Geschäftspartner bewertet werden sollen
 - ...

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel

7



Nutzwertanalyse

- Vorteile
 - Nutzwerte mehrerer komplexer Maßnahmen- oder Handlungsalternativen lassen sich untereinander vergleichen
 - ermöglicht eine Bewertung von nicht monetären Maßnahmen
 - einfache Durchführung
- Nachteile
 - wenn qualitative Ziele vorhanden → von subjektiven Einschätzung der Person geprägt
 - durch Anwendung von Rechenverfahren wird eine messtheoretische, entscheidungslogische und mathematische Präzision unterstellt, die faktisch nicht da ist

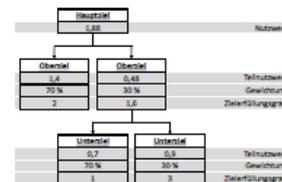
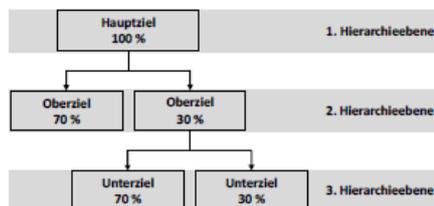
Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel

8



Nutzwertanalyse

- drei Schritte:
 - Festlegung und Gewichtung der einzelnen Kriterien
 - entsprechend ihrer Wertigkeit gewichten
 - Summe der Gewichtung = 100 oder 1
 - Indikatoren oder Wirksamkeitsmaße den einzelnen Zielen zuordnen
 - Beurteilung der Maßnahmen
 - Kriterium trifft zu, trifft teils zu oder trifft gar nicht zu
 - Zielerfüllungsgrad wird durch einen Punktwert dargestellt



Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel

9



Nutzwertanalyse

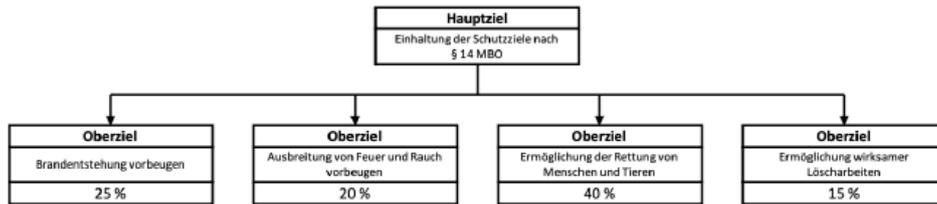
- Wie wird die Nutzwertanalyse durchgeführt, wenn ein Unterziel nicht quantitativ ausgewertet werden kann?
 - quantitatives Unterziel in qualitatives Unterziele ändern
 - Unterziel aus Zielhierarchie entfernen
 - prozentuale Anteile der anderen Unterziele anpassen
 - Beachtung der vorherigen prozentualen Verteilung, damit die Gewichtung gleich bleibt

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel

10

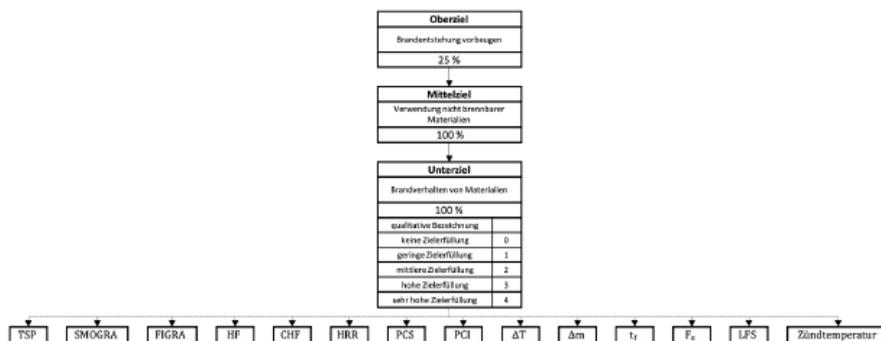


Semi-quantitativer Analyseansatz

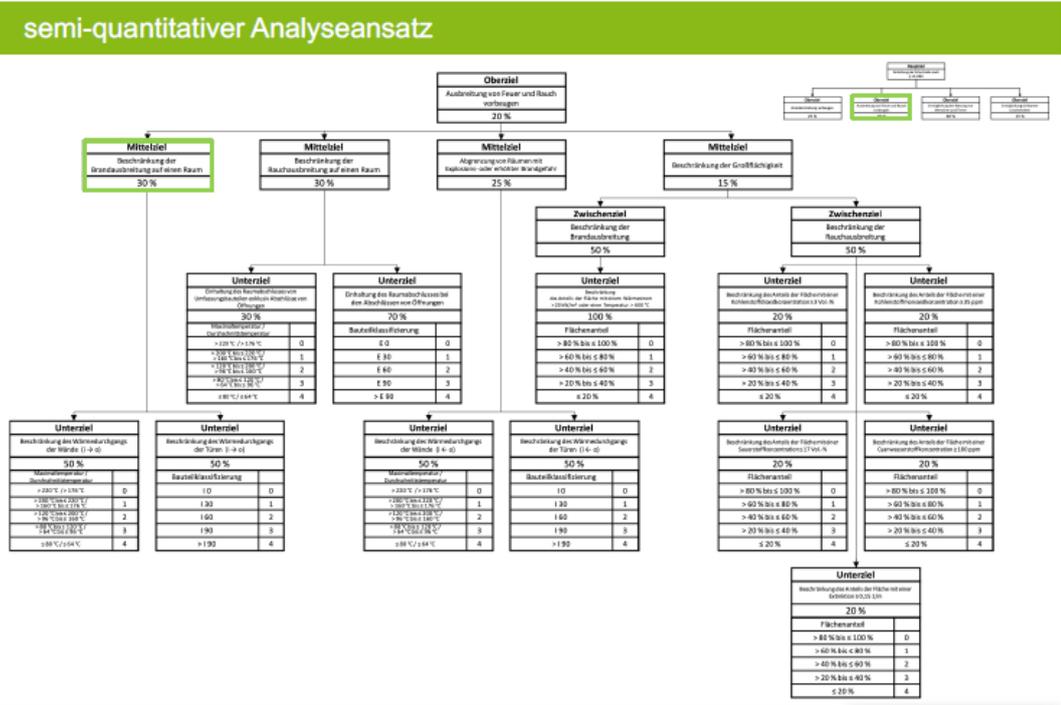


Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel 11

Semi-quantitativer Analyseansatz



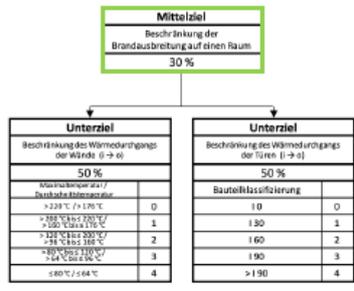
Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel 12



Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel 13 BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

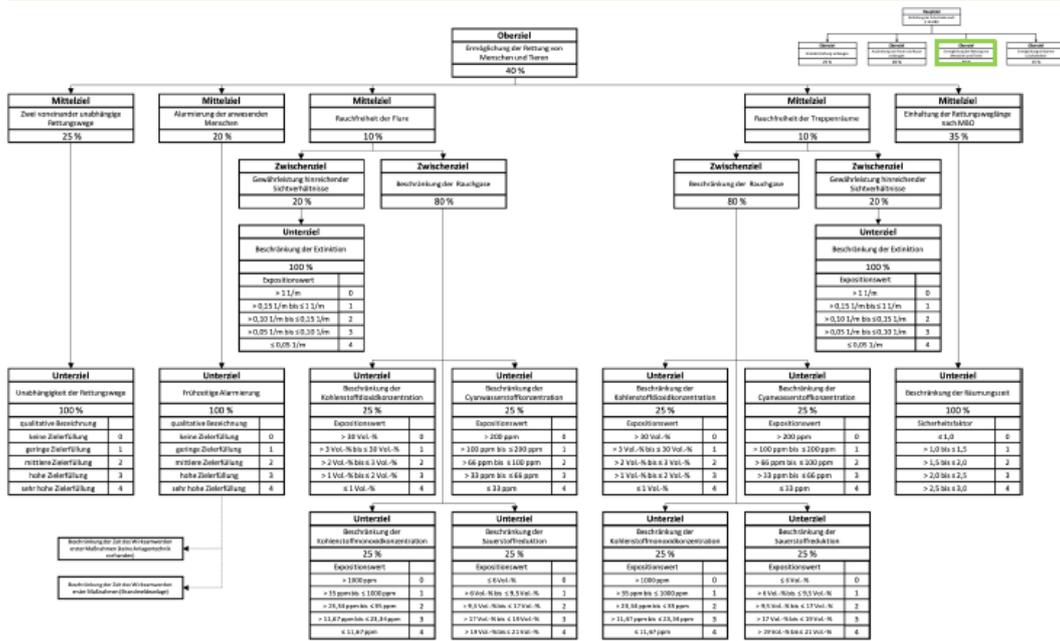
Semi-quantitativer Analyseansatz

- Auswertung nach DIN EN 13501-2 mittels Grenzwerte aus Norm
- Kriterium der Wärmedämmung
 - mittlere Temperaturerhöhung auf der vom Feuer abgekehrten Seite nicht mehr als 140 °C gegenüber der mittleren Umgebungstemperatur (20 °C)
 - maximale Temperaturerhöhung auf der vom Feuer abgekehrten Seite nicht mehr als 180 °C (an jeder Stelle) gegenüber der mittleren Umgebungstemperatur (20 °C)



Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel 14 BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

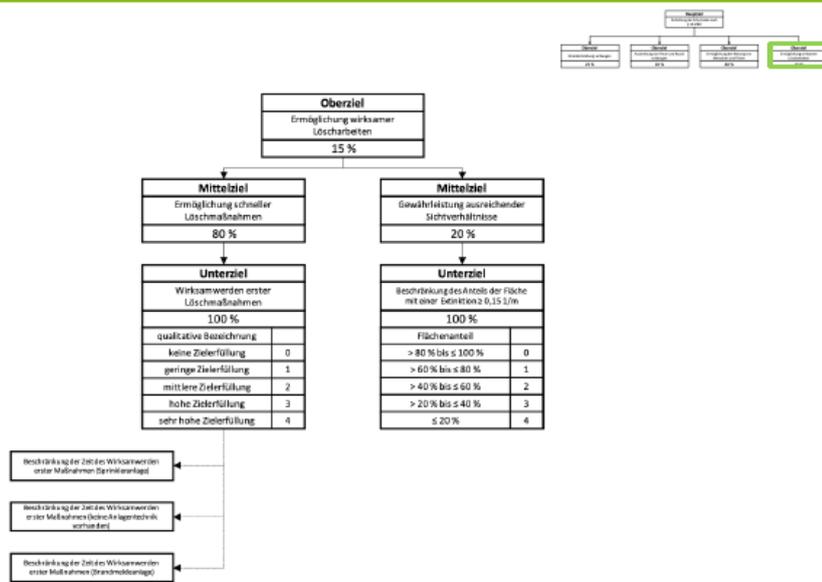
Semi-quantitativer Analyseansatz



Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel



Semi-quantitativer Analyseansatz

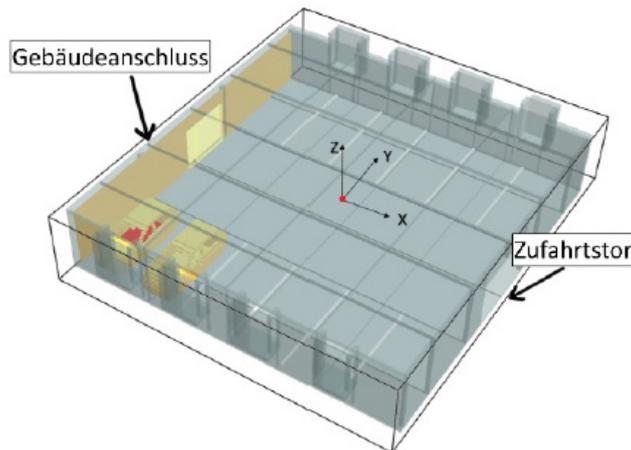


Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel



Szenario Tiefgarage: Aufbau

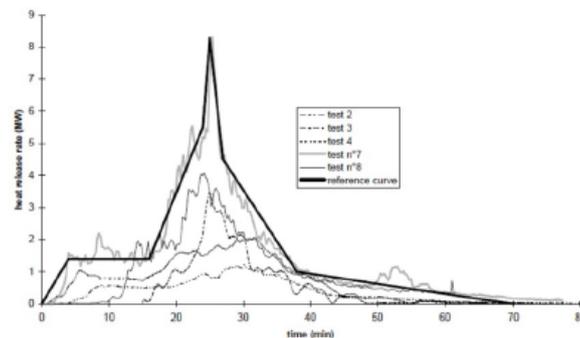
- mittelgroße geschlossene Tiefgarage (15,6 m × 16,6 m × 3 m)
- Fahrzeugbrand
- Brandfläche: 2,94 m² (1,4 m × 2,1 m)



Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel 17 

Szenario Tiefgarage: Aufbau

- Wärmefreisetzungscurve nach Schleich et al. verwendet
- maximale HRR: 8.300 kW
- maximale HRRPUA: 2.823,129 kW/m²



- über die Ramp-Funktion implementiert

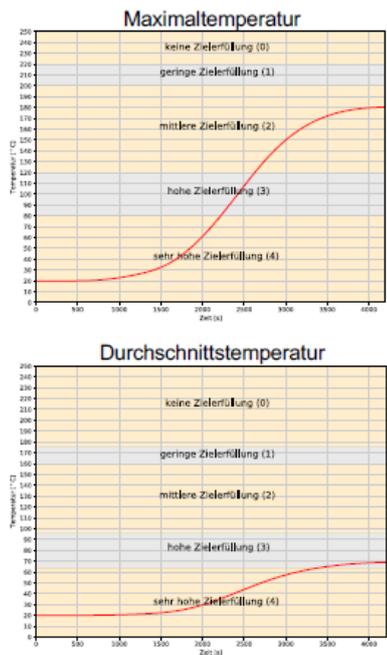
Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel 18 

J.-B. Schleich, L.-G. Cajot und M. Pierre: Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in closed car parks. European Commission. Science Research Development, 1999.

Szenario Tiefgarage: Konzepte

- Konzept 1: regelhaften Vorgaben der MBO sowie der Mustergaragenverordnung
 - Wände (EI 90)
- Konzept 2: Verwendung einer Brandmeldeanlage
 - Klassifizierung der Wände minimiert (EI 60)
 - Wärmemelder in Simulation integrieren
- Konzept 3: Verwendung einer Brandmelde- und einer Sprinkleranlage
 - Klassifizierung der Wände minimiert (EI 60)
 - Abbildung einer Sprinkleranlage mittels Sprinkler-Link
 - Herabsetzen der Wärmefreisetzungskurve
 - wenn 5. Sprinkler Link aktiviert

Szenario Tiefgarage: Bewertung – Beschränkung der Brandausbreitung

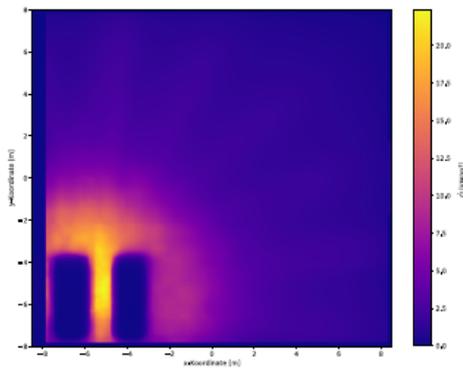


Unterziel	
Beschränkung des Wärmedurchgangs der Wände (i → o)	
50 %	
Maximaltemperatur / Durchschnittstemperatur	
> 220 °C / > 176 °C	0
> 200 °C bis ≤ 220 °C / > 160 °C bis ≤ 176 °C	1
> 120 °C bis ≤ 200 °C / > 96 °C bis ≤ 160 °C	2
> 80 °C bis ≤ 120 °C / > 64 °C bis ≤ 96 °C	3
≤ 80 °C / ≤ 64 °C	4

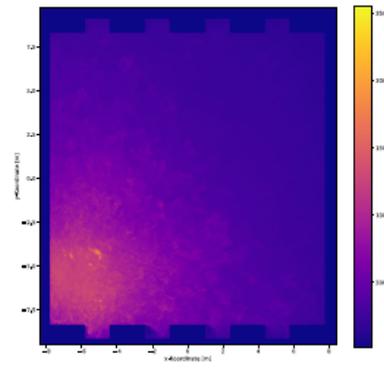
Szenario Tiefgarage: Bewertung – Beschränkung der Großflächigkeit

- Waterman Kriterien:
 - Wärmestrom am Boden $\geq 20 \text{ kW/m}^2$ oder
 - Temperatur an der Decke $\geq 600 \text{ }^\circ\text{C}$

Unterziel	
Beschränkung des Anteil der Fläche mit einem Wärmestrom $\geq 20 \text{ kW/m}^2$ oder einer Temperatur $\geq 600 \text{ }^\circ\text{C}$	
100 %	
Flächenanteil	
> 80 % bis $\leq 100 \%$	0
> 60 % bis $\leq 80 \%$	1
> 40 % bis $\leq 60 \%$	2
> 20 % bis $\leq 40 \%$	3
$\leq 20 \%$	4



$0 \text{ kW/m}^2 \leq \dot{Q} < 20 \text{ kW/m}^2$: 99,45 %
 $\dot{Q} \geq 20 \text{ kW/m}^2$: 0,55 %



$0 \text{ }^\circ\text{C} \leq T < 600 \text{ }^\circ\text{C}$: 77,23 %
 $T \geq 600 \text{ }^\circ\text{C}$: 22,77 %

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel

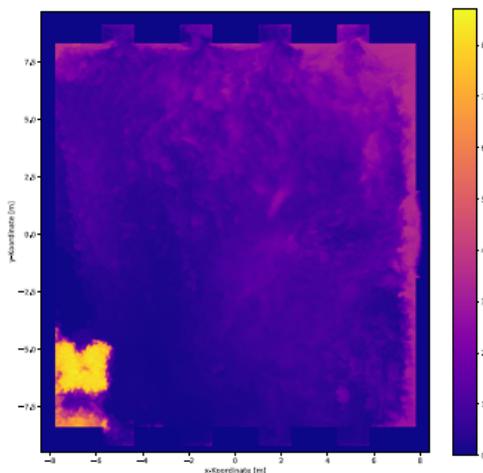
21



Szenario Tiefgarage: Bewertung – Beschränkung der Großflächigkeit CO_2

- Auswertung CO_2
 - Slice Files auf einer Höhe von 1,85 m

Unterziel	
Beschränkung des Anteil oder Fläche mit einer Kohlenstoffdioxidkonzentration $\geq 3 \text{ Vol.-%}$	
25 %	
Flächenanteil	
> 80 % bis $\leq 100 \%$	0
> 60 % bis $\leq 80 \%$	1
> 40 % bis $\leq 60 \%$	2
> 20 % bis $\leq 40 \%$	3
$\leq 20 \%$	4



$0 \text{ Vol.-%} \leq \text{CO}_2 < 3 \text{ Vol.-%}$: 93,88 %
 $\text{CO}_2 \geq 3 \text{ Vol.-%}$: 6,12 %

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel

22



Szenario Tiefgarage: Bewertung

Obermaß	Gewichtung	Mittelmaß	Gewichtung	Wände mit Brandschutzanforderungen	Brandmeldeanlage	Speinkler
				Teilnutzwert	Teilnutzwert	Teilnutzwert
Brandanzahlung vermeiden	20 %	Vermeidung nicht brennbarer Materialien	100 %	4	4	4
				1	1	1
Ausbreitung von Feuer und Rauch vorbeugen	20 %	Beschränkung der Brandausbreitung auf einen Raum	30 %	0,45	0,75	0,6
		Beschränkung der Rauchausbreitung auf einen Raum	30 %	0,39	0,57	0,48
		Abgrenzung von Räumen mit Explosions- oder erhöhter Brandgefahr	25 %	0,38	0,63	0,5
		Beschränkung der Großflächigkeit	15 %	0,39	0,49	0,53
				0,32	0,49	0,42
Erreichbarkeit der Rettungswege für Menschen und Tiere	20 %	Zwei voneinander unabhängige Rettungswege	27,8 %	1,11	1,11	1,11
		Alarmierung des anwesenden Menschen	22,2 %	0	0,69	0,67
		Reachbarkeit der Flure	11,1 %	0,14	0,14	0,25
		Einrichtung der Rettungswege nach MBO	38,9 %	1,56	1,56	1,56
			1,12	1,49	1,44	
Erreichbarkeit von Rettungsmitteln	10 %	Erreichbarkeit schwerer LKWfahrzeuge	100 %	0	2	4
				0	0,5	0,6
				3,44	9,37	9,66

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel 23



Szenario Tiefgarage: Bewertung

Ausbreitung von Feuer und Rauch vorbeugen	20 %	Beschränkung der Brandausbreitung auf einen Raum	30 %	0,45	0,75	0,6
		Beschränkung der Rauchausbreitung auf einen Raum	30 %	0,39	0,57	0,48
		Abgrenzung von Räumen mit Explosions- oder erhöhter Brandgefahr	25 %	0,38	0,63	0,5
		Beschränkung der Großflächigkeit	15 %	0,39	0,49	0,53
				0,32	0,49	0,42

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel 24



Szenario Tiefgarage: Bewertung

Konzept Analyse	Wände mit Brandschutzan- forderungen	Brandmeldeanlage	Sprinkleranlage
Gesamtkosten [€]	2.548,74	34.511,33	116.093,52
Nutzwert [-]	2,44	3,27	3,46
Kosten-Nutzen- Verhältnis [€]	1.044,57	10.553,92	33.553,04
Rang	1	2	3

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel 25 

Diskussion

- neues Verfahren auch mit Unsicherheiten behaftet
- Auswertung mancher Unterziele rein qualitativ
 - je nach Anwender anderer Nutzwert für die gleichen Maßnahmenalternativen
 - qualitative Unterziele müssten durch quantitative Unterziele ersetzt werden
- lediglich für Abschätzung



Foto: Colourbox.de

Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel 26 

Ausblick

- Verfahren muss anhand von unterschiedlichen Gebäudearten validiert werden
- Qualitative Unterziele durch quantitative Unterziele ersetzen
- Ermittlung Bauwerkskosten wäre durch den Einsatz von BIM vereinfacht
- mit Portfolien einen Standard-Nutzwert erstellen

Foto: Colourbox.de



Vorgehensweise zur Ermittlung des Kosten-Nutzenverhältnisses von brandschutztechnischen Maßnahmen | Leonie Rommeswinkel

27



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

VIELEN DANK FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT!



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

Burkhard Forell, Tobias Gockel:

Modellierung der Erkennbarkeit von Sicherheitskennzeichen bei inhomogenem Rauch und Reizgasen

Abstract:

Im Rahmen des Nachweises der Personensicherheit mit Raumbrandmodellen spielt die Erkennbarkeit der Rettungswegbeschilderung im Brandrauch eine besondere Rolle, da dieses Kriterium als eines der ersten im Nachweis durchfällt.

Die einfache Korrelation von Jin aus den 1970er Jahren, bei der die Erkennungsweite als Quotient eines empirischen Faktors C und des Extinktionskoeffizienten dargestellt wird, findet dabei international immer noch Verwendung. Die Korrelation ist z. B. auch in gängigen Raumbrandmodellen, wie dem Fire Dynamics Simulator (FDS) oder CFAST implementiert, wobei die Ausgabe einer „Visibility“ teilweise auch über- bzw. fehlinterpretiert wird.

Im Beitrag wird die Korrelation nach Jin mit anderen Korrelationen verglichen und die Anwendungsgrenzen vorgestellt. Für die Modellierung der Erkennbarkeit eines konkreten Sicherheitskennzeichens von einer bestimmten Betrachterposition aus werden als Einflussfaktoren

- die inhomogene Rauchverteilung zwischen Betrachter und Kennzeichen,
- der Betrachtungswinkel zwischen Betrachter und Kennzeichen und
- die Sehbehinderung durch Reizgase

diskutiert und eine rechnerische Lösung vorgestellt.

Dabei wird eine Mindest-Lichttransmission bestimmt, die erforderlich ist, um am Auge einen ausreichenden Kontrast zur Wahrnehmung eines Zeichens zu erreichen. Diese wird ins Verhältnis zur vorhandenen Lichttransmission gesetzt, die sich aus den Ergebnissen einer Brandsimulation bestimmen lässt.

Für die Berechnung im Postprocessing wird ein EXCEL-Tool vorgestellt, das für Simulationen mit FDS direkt anwendbar ist.

Modellierung der Erkennbarkeit von Sicherheitskennzeichen bei inhomogenem Rauch und Reizgasen

Dr.-Ing. Burkhard Forell, Tobias Gockel (M.Sc.), Köln

FDS Usergroup webbasiert, 6. Mai 2021

Übersicht

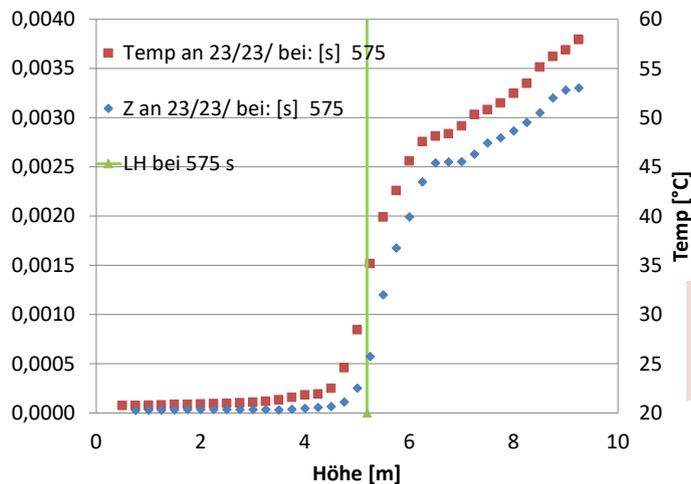
- Grundlagen
- Versuche von JIN
 - Grundlagen
 - Erweiterung für Reizgase
- Erweiterungen der Standardanwendung
 - Inhomogener Rauch
 - Betrachtungswinkel
- Anwendung
 - EXCEL-Berechnungsblatt (Researchgate Seite von B. Forell)
https://www.researchgate.net/publication/349702379_vfdb-JFT-2021_Forell_Modell-nach-JIN_210301/link/603d5b08a6fdcc9c78080e31/download
(Hinweis: vielleicht ändert sich der Link, falls das Tool aktualisiert wird)
 - Anwendung (Hörsaalbeispiel)
- Fazit

Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

2

Raucharne Schichthöhe und Verlauf über Höhe

- Temperatur und Gaszusammensetzung (proportional zur Rußkonzentration) über Höhe (FDS)



hier:
 Halle 25 m x 27 m x 10 m Höhe,
 bemessen nach DIN 18232-2:
 BG1 (1,5 MW), H_{soil} = 6 m

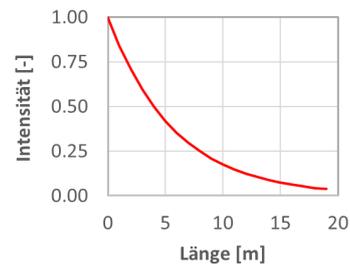
Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

3

Grundlagen der Lichtextinktion

- Schwächung eines Lichtstrahls der Anfangsintensität I_0 über die Weglänge L erfolgt gemäß

$$I(L) = I_0 \cdot e^{-K \cdot L}$$



- Extinktionskoeffizient K [1/m] $K = K_m \cdot c_{Ru\beta}$
 mit: $K_m \approx 8700 \text{ m}^2/\text{kg}$: massspezifischer Extinktionskoeffizient für Holzverbrennung
 $c_{Ru\beta}$ Rußmassenkonzentration in der Zelle [kg/m³]

- Bei Basis **10** an Stelle von Basis **e**
 -> D_L : optische Dichte [1/m]

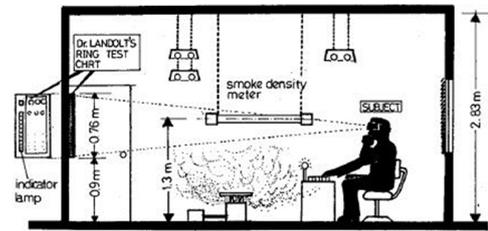
$$D_L = \frac{K}{\ln(10)} \approx 0,43 \cdot K$$

Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

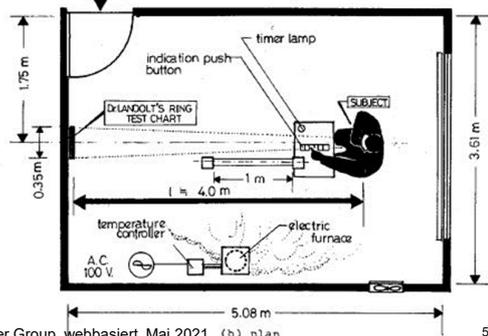
4

Versuche von JIN

- Personen betrachten Rettungswegschilder
 - in unterschiedlichem Abstand
 - bei unterschiedlicher Verrauchung
- Personen vor Reizgasanteilen ...
 - ... geschützt (Brille, Nebenraum)
 - ... ungeschützt (Augentränen etc.)
- Zwei Typen von Schildern
 - selbstleuchtende (Kastenleuchte)
 - reflektierende (evtl. ähnlich der nachleuchtenden)



(a) section



(b) plan

Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

5

Versuche von JIN

- Zusammenhang für **selbstleuchtende** Rettungswegschilder

$$V \approx \frac{1}{K} * \ln\left(\frac{B_{EO}}{\delta_c * k_s * L_s}\right)$$

Mit:

V : Erkennungsweite (Visibility) [m]

K : Extinktionskoeffizient [m^{-1}]

B_{EO} : Leuchtdichte des Schildes [cd/m^2]

δ_c : Schwellenkontrast unter verrauchten Bedingungen, empirisch 0,01 - 0,05 [-]

$k_s = K_s/K$ Streuanteil [-], mit $K = K_s + K_a$, wobei K_s = Streubeitrag und K_a = Absorptionsbeitrag

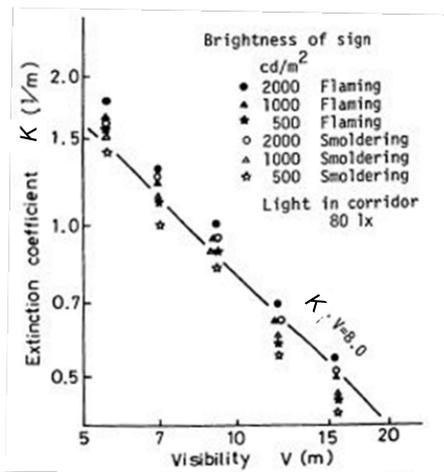
L_s : $1/\pi$ mittlere Beleuchtungsstärke der Leuchtmittel aus allen Richtungen in Rauch [$1 m/m^2$]

Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

6

Versuche von JIN

- Zusammenhang für **selbstleuchtende** Rettungswegschilder



$$V \approx \frac{1}{K} * \ln\left(\frac{B_{EO}}{\delta_c * k_S * L_S}\right)$$

$$V = C / K$$

empirischer Faktor C zwischen 5 und 10
in der Praxis häufig C = 8 verwendet

für **reflektierende** Zeichen

Faktor C zwischen 2 und 4

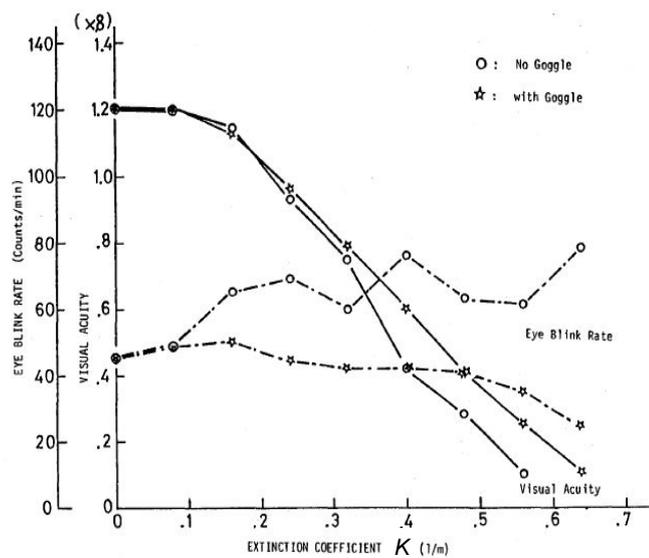
in der Praxis häufig C = 3 verwendet

Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

7

Versuche von JIN

- Einfluss von Reizgasanteilen
 - Personen geschützt (mit/ohne Brille) bzw. ungeschützt
 - Verschmelzung v. Holzspänen => hohe Reizgasausbeute
- Auswirkung auf
 - Augenblinzlerate (ab ca. $K = 0,15 \text{ m}^{-1}$)
 - Sehschärfe (ab ca. $K = 0,25 \text{ m}^{-1}$)
- Zum Vergleich: $K = 0,25 \text{ m}^{-1}$ entspricht optischer Dichte $D_L = 0,11 \text{ m}^{-1}$ (vgl. vfdb-LF)

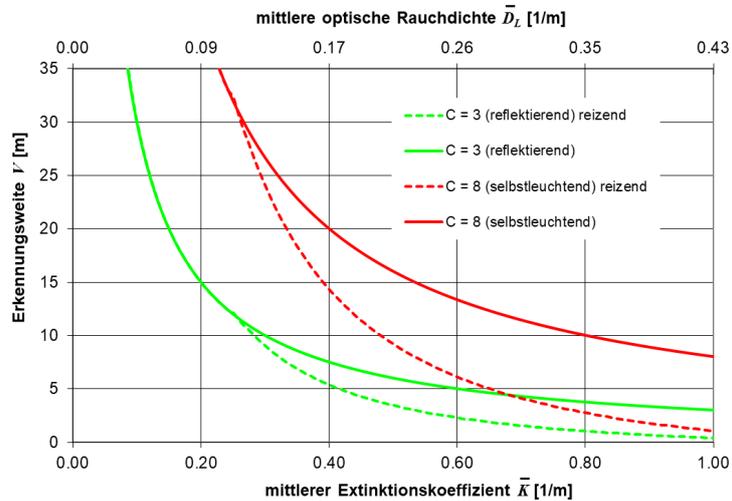


Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

8

Versuche von JIN

- Aufbereitung der Versuche von JIN in der gängigen Darstellung (vgl. vfdb-LF etc.)



$$V = \frac{C}{\bar{K}} \quad \text{für } K < 0,25 \text{ m}^{-1}$$

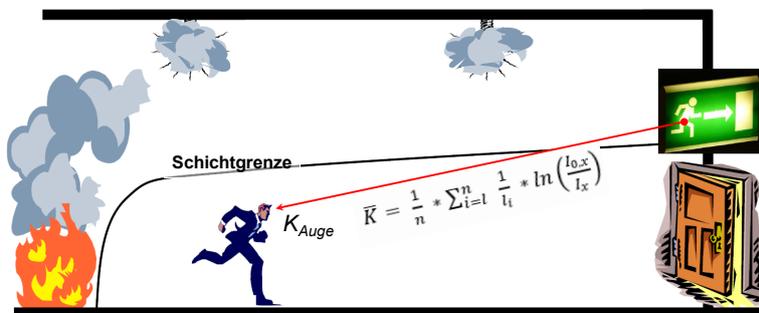
$$V = \frac{C}{\bar{K}} * (0,133 - 1,47 * \log K) \quad \text{für } K \geq 0,25 \text{ m}^{-1}$$

Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

9

Einfluss von inhomogenem Rauch

- An Stelle eines punktuellen Extinktionskoeffizienten (Rußkonzentration) Betrachtung des Weges vom Betrachterauge zum zu erkennenden Objekt
- Mit: $I_n = I_0 \cdot e^{-(K_1 \cdot L_1 + K_2 \cdot L_2 + \dots + K_n \cdot L_n)}$
- => Lokale Extinktionskoeffizienten über Wegabschnitte mitteln
- => K_{Auge} getrennt betrachten

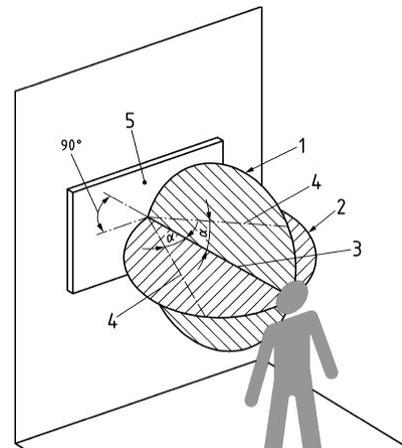


Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

10

Einfluss des Betrachtungswinkels

- Verwendung des $\cos \alpha$ gemäß DIN ISO 3864-1:2012-06 (sehr einfach)
- $V_{max,\alpha} = V_{max} \cos(\alpha)$
- $V_{max,\alpha}$: Erkennungsweite (**rauchfrei**), verringert durch Betrachtungswinkel [m]
- V_{max} : Erkennungsweite (rauchfrei) frontal zum Zeichen (in der Regel 30 m)
- α : Betrachtungswinkel [°]
- (Andere Korrelationen ebenfalls veröffentlicht)



Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

11

Umstellen der Gleichungen

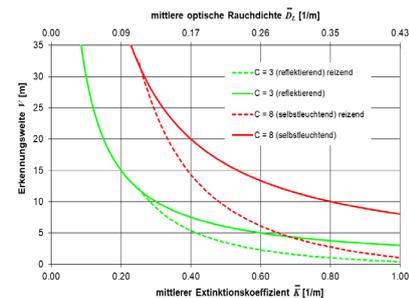
- Bestimmung eines mittleren Grenz-Extinktionskoeffizienten bei einem gegebenen Abstand und Winkel zum RW-Schild
- Ohne Reizeffekte

$$\bar{K}_{grenz} = \frac{c}{\cos \alpha \cdot V_n} \quad \text{für } K_{Auge} < 0,25716 \text{ m}^{-1}$$

- Mit Reizeffekten

$$\bar{K}_{grenz} = \frac{c}{\cos \alpha \cdot V_n} (0,133 - 1,47 * \log K_{Auge}) \quad \text{für } K_{Auge} \geq 0,25716 \text{ m}^{-1}$$

- Input für Postprocessing aus CFD:
- Positionen von RW-Schild und Agent => V_n und α
- Für Reizgaseffekte zusätzlich K_{Auge} [m⁻¹]
- => mittlerer Grenz-Extinktionskoeffizient \bar{K}_{grenz} [m⁻¹]
- Vergleich mit vorhandenem \bar{K} [m⁻¹]



Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

12

Sicherheitsfaktor für die Erkennbarkeit eines Kennzeichens S_E

- Für verrauchte Zustände (eigentlicher Anwendungsbereich)

$$S_{E,rauch} = \bar{K}_{grenz} / \bar{K} \quad (\text{für } \bar{K} > 0, \text{ Rauch})$$

- Für rauchfreie Zustände (zu Simulationsbeginn)

$$S_{E,rauchfrei} = V_{max,\alpha} / V_n \quad (\text{für } \bar{K} = 0, \text{ rauchfrei})$$

- => Auswahl des Minimums
- Bei $S_E < 1$ verschwindet RW-Kennzeichen im Rauch

Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

13

Umsetzung im EXCEL Berechnungsblatt

Name	Pos. 2		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
Rettungswegkennzeichen	32.00	2.50	6.00
frontal vor Kennzeichen (0° Abweichung)	30.00	2.50	6.00
Augen Betrachter	22.00	2.50	2.75
Kennzeichenfrontalvektor	-2.00	0.00	0.00
Blickvektor	-10.00	0.00	-3.25
Abstand, V_n [m]	10.51		
cos α	0.951	α (rad)	0.314
		α (deg)	18.0
Erkennungsweite, frontal, rauchfrei, V_{max} [m]			30.00
Erkennungsweite, rauchfrei, $V_{max} / \cos \alpha$ [m]			28.53
$S_{E,rauchfrei} = (V_{max} / \cos \alpha) / V_n$ [-]			2.71
Faktor C (Jin, selbstleuchtend: C: 5 bis 10, reflektierend: C: 2 bis 4)			6.0
Augenreizfaktor: Original Jin: 1, aus: 0, geringer/hohes Reizgasanteil: $< > 1$			1.00
$\bar{K}_{grenz} = C / (\cos \alpha * V_n)$ [m^{-1}] (ohne Reizgaseinfluss)			0.60
D_{grenz} [m^{-1}] (ohne Reizgaseinfluss)			0.26

Eingabefelder

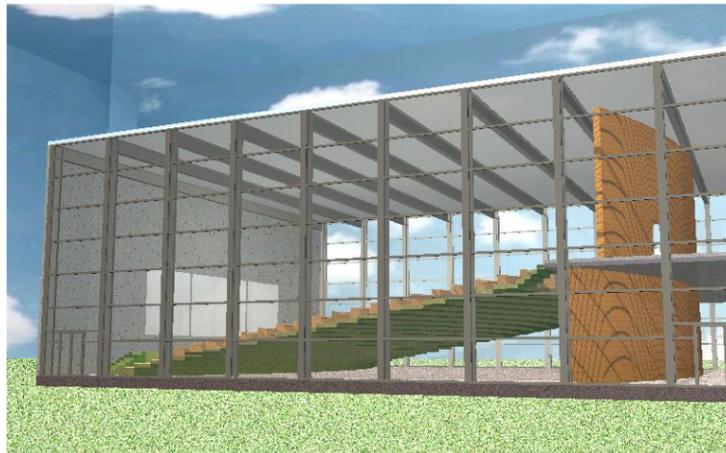
Ergebnisfelder

=> verfügbar auf Researchgate

Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

14

Anwendung mit FDS am „Hörsaalbeispiel“ (vgl. auch vfdb-Leitfaden)



Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

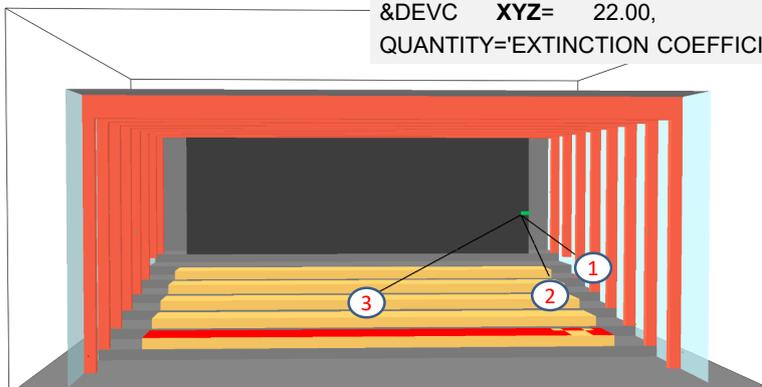
15

Anwendung mit FDS am „Hörsaalbeispiel“ (vgl. auch vfdb-Leitfaden)

- Blick vom Podium in Fluchrichtung mit RW-Schild von drei Positionen
- Pos. 2 parallel zur Wand
- FDS Syntax

```
&DEVC XB=22.00, 32.00, 2.50, 2.50, 2.75, 6.00
QUANTITY='TRANSMISSION', ID='trans2' /
```

```
&DEVC XYZ= 22.00, 2.50, 2.75,
QUANTITY='EXTINCTION COEFFICIENT', ID='22.0_2.5_2.75' /
```

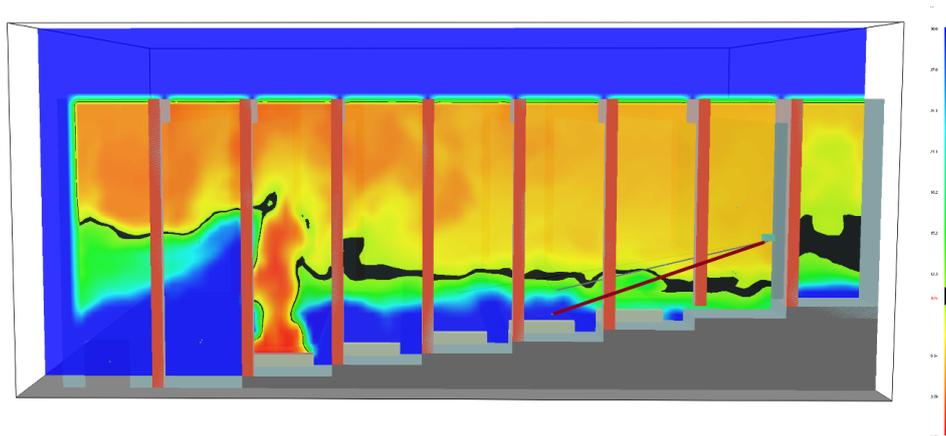


Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

16

Anwendung mit FDS am „Hörsaalbeispiel“ (vgl. auch vfdb-Leitfaden)

- Seitenansicht, Slicefile „Visibility“ durch Position 2 (rote Achse) bei 366 s
 - 10,5 m visibility (=Abstand) schwarz hervorgehoben

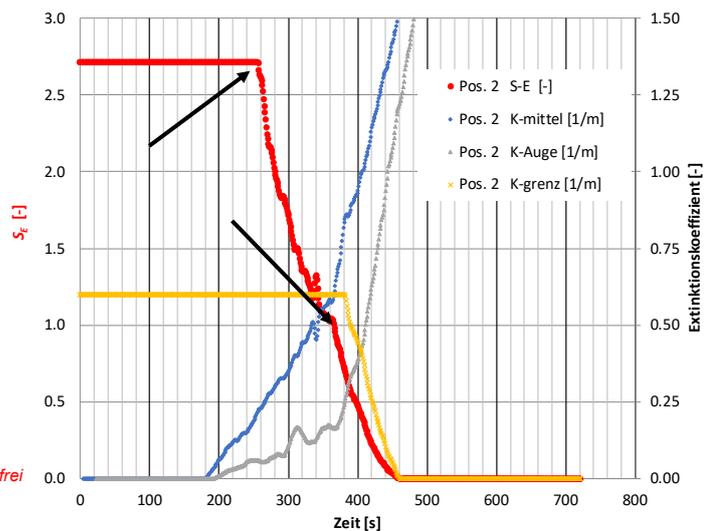


Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

17

Ergebnis für Position 2

- Rechte Achse:
 - Extinktionskoeffizienten
 - \bar{K}_{grenz}
 - \bar{K}
 - \bar{K}_{Auge}
- Linke Achse:
 - Sicherheitsfaktor S_E
- Ergebnisse:
 - Nach 260 s $S_{E,Rauch} < S_{E,rauchfrei}$
 - $S_E = 1$ nach 366 s
 - Reizgas hier nicht relevant, da K_{Auge} bei 366 $< 0,25 \text{ m}^{-1}$

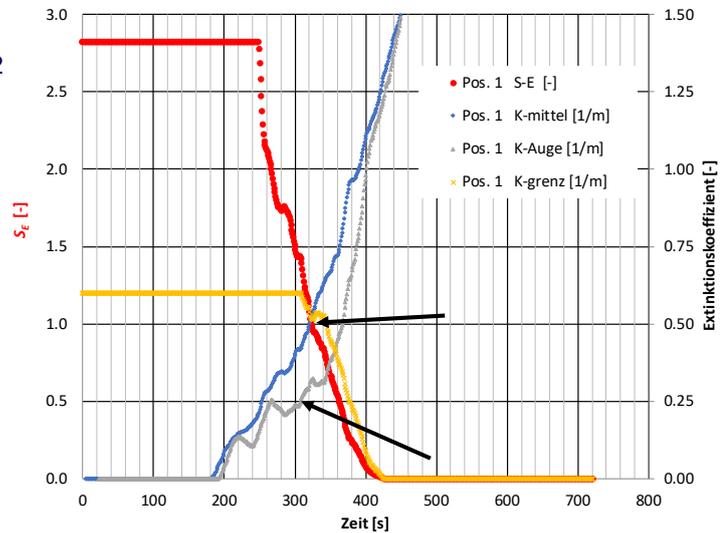


Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

18

Ergebnis für Position 1

- Pos. 1 näher am Schild als Pos. 2 und Pos. 1 höher als Pos. 2
- Effekte:
 - $\bar{K}_{\text{Auge}} > 0,25 \text{ m}^{-1}$ ab 308 s
 - => Reizgaseffekt
 - => \bar{K}_{grenz} fällt
- Ergebnisse:
 - $\bar{K}_{\text{grenz}} = \bar{K}_{\text{mittel}}$ nach 328 s
 - $S_E = 1$ nach 328 s



Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

19

Fazit

- Erweiterung gegenüber Standardverwendung von JIN (z. B. Visibility Slice)
 - Unterscheidung zwischen mittleren Extinktionskoeffizienten und Reizgaseffekt am Auge
 - Berücksichtigung von Betrachtungswinkel und Zeitverlauf
 - Konservativität kann durch Wahl des empirischen Faktors C erreicht werden
 - Berücksichtigung unterschiedlicher Reizgasanteile durch Augenreizfaktor (Beiwert für $K_{\text{Auge}} = 0,25 \text{ m}^{-1}$)
- Künftige Erweiterungsmöglichkeit
 - komplexeres Modell für Betrachtungswinkelabhängigkeit
 - mehr Beiwerte zur Bestimmung von C (Leuchtstärke des RW-Schilds etc.)
- EXCEL-Sheet bei Researchgate unter der Seite von B. Forell
https://www.researchgate.net/publication/349702379_vfdb-JFT-2021_Forell_Modell-nach-JIN_210301/link/603d5b08a6fdcc9c78080e31/download
 (Hinweis: vielleicht ändert sich der Link, falls das Tool aktualisiert wird)
 - freie Verfügung, Haftungsausschluss, gerne Rückmeldung

Erkennbarkeit von Rettungswegkennzeichen, FDS User Group, webbasiert, Mai 2021

20

Kristian Börger:

Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten

Abstract:

Die eingeschränkte Sichtweite im Brandfall ist ein wesentliches und nicht selten bemessungsrelevantes Kriterium im Rahmen leistungsorientierter Sicherheitskonzepte. Die Rauchdichte kann mit CFD-Modellen wie FDS berechnet werden, jedoch gibt es Anzeichen dafür, dass die rauchinduzierte Lichtextinktion dabei zum Teil um ein Vielfaches überschätzt und die Sichtweite somit unterschätzt wird. Bisherige experimentelle Untersuchungen lassen jedoch in erster Linie einen stichprobenhaften Abgleich mit lokalen Messungen des Extinktionskoeffizienten zu, da insbesondere räumlich und zeitlich aufgelöste Datensätze diesbezüglich kaum existieren bzw. schwer zu akquirieren sind.

Mit einem neuartigen fotometrischen Messverfahren (LEDSA), basierend auf optischen und geometrischen Zusammenhängen auf Grundlage des Lambert-Beer'schen Gesetzes können lokale Werte des Extinktionskoeffizienten mithilfe eines Schichtenmodells berechnet werden. Im Rahmen von Laborbrandversuchen erfasst hierbei eine Kamera die zeitliche relative Änderung der Intensität einzelner Lichtquellen (LEDs) infolge von Brandrauch.

Der Beitrag behandelt im Wesentlichen die Erweiterung von LEDSA hinsichtlich der Auswertemethodik sowie weiterführende experimentelle Untersuchungen nach DIN EN 54. Durch den Einsatz eines Multi LED Setups und einer zweiten Kamera kann die Auswertung auf eine zweidimensionale Ebene erweitert und insbesondere die Hypothese einer homogenen Rauchsichtung untersucht werden. Zusätzlich zu den bisherigen n-Heptan-Poolbränden wurden darüber hinaus verschiedene Feststoff- und Schmelzbrände untersucht.

Der Vortrag greift zunächst die dem Verfahren zu Grunde liegenden physikalischen Grundlagen auf und erläutert den darauf basierenden Modellansatz des vorgestellten Messverfahrens. Darauf aufbauend erfolgt eine Darstellung des gewählten Versuchsaufbaus sowie der experimentellen Randbedingungen. Anhand experimenteller Untersuchungen von Flüssigkeits- und Feststoffbränden werden abschließend sowohl die Reproduzierbarkeit als auch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit etablierten Messverfahren demonstriert.

Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten

14. Treffen der FDS Usergroup 06.03.2021
Kristian Börger
Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten



Inhalt

- Was ist Sichtweite?
- Rückblick und Motivation
- Ein experimenteller Ansatz: Sichtweite bei Raumbränden
- Optimierung der Auswertung: JPG vs. RAW
- Farbkorrektur
- Zusammenfassung
- Ausblick

14. Treffen der FDS Usergroup 06.03.2021
Kristian Börger
Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Slide 2



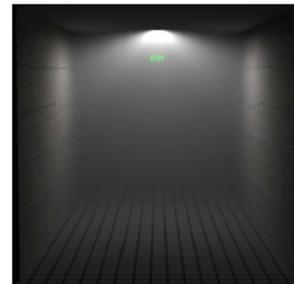
Was ist Sichtweite?

Über ein vereinfachtes Modell nach Jin kann die Sichtweite (Erkennungsweite) für Sicherheitszeichen im Brandrauch wie folgt beschrieben werden:

$$V \approx \frac{1}{C_S} \ln\left(\frac{B_{EO}}{\delta_c k L}\right)$$

Dabei gilt:

- C_S : Rauchdichte/Extinktionskoeffizient [1/m]
- B_{EO} : Helligkeit eines Lichtzeichens [cd/m²]
- δ_c : Kontrastschwellenwert von Lichtzeichen in Rauch [-]
- k : σ_s/C_S und $C_S = \sigma_s + \sigma_{ab}$
(σ_s : Streukoeffizient, σ_{ab} : Absorptionskoeffizient)
- L : $1/\pi$ der mittlere Lichtstärke des einfallenden Lichtes aus allen Richtungen im Rauch [1 m/m²]



Quelle: auf Zhang, Simulation of visibility in smoke laden environment, 2007

Rückblick und Motivation

Ausgangspunkt

- Kaum räumlich und zeitlich aufgelöste Daten für Extinktionskoeffizienten aus experimentellen Laborversuchen
- Erfordernis der Validierung von Sichtweitenbestimmungen mittels CFD Modellen

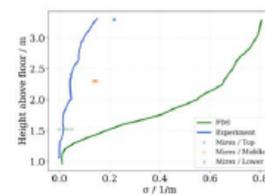
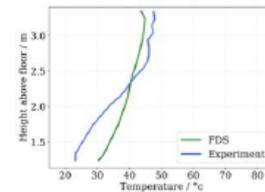
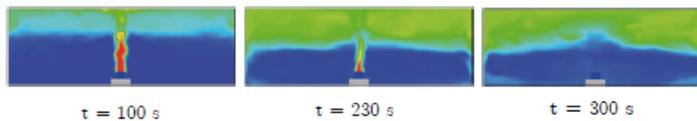
Lösungsansatz

- Entwicklung eines optisch – geometrischen Verfahrens auf Basis der Messung der rauchinduzierten Lichttrübung eines LED Streifens mittels einer handelsüblichen Digitalkamera



Bisherige Untersuchungen

- Vergleich mit FDS Simulation zeigt Überschätzung der Heißgastemperaturen und insbesondere der berechneten Extinktionskoeffizienten gegenüber dem Experiment
- Hypothese einer annähernd homogenen Rauchgasschichtung kann durch die Simulation bestätigt werden



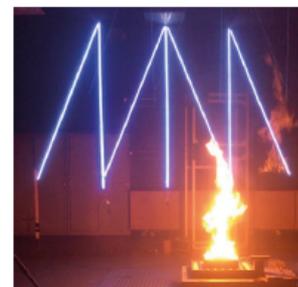
14. Treffen der FDS Usergroup 06.03.2021
Kristian Böger

Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Slide 5



Optimierung und Erweiterung des Verfahrens

- Räumliche Erweiterung durch Betrachtung mehrerer LED Streifen und den Einsatz einer weiteren Kamera
- Auswertung der übrigen Farbkanäle der Kamera / LEDs
- Abgleich der Randbedingungen von Modell und Experiment (Leckagen, Ventilationsbedingungen, konvektiver Wärmeübergang an den Wänden des Versuchsraumes etc.)
- Prüfung der Effekte von Agglomeration und Ablagerungen von Partikeln
- Betrachtung anderer Testfeuer in Ablehnung an EN 54

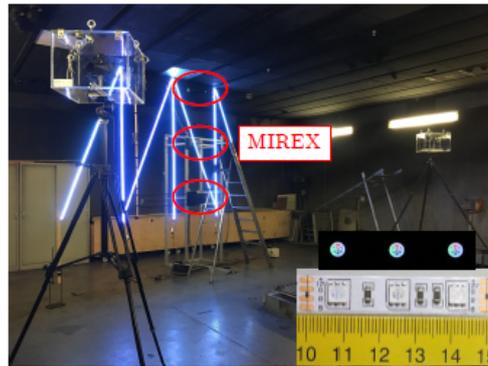
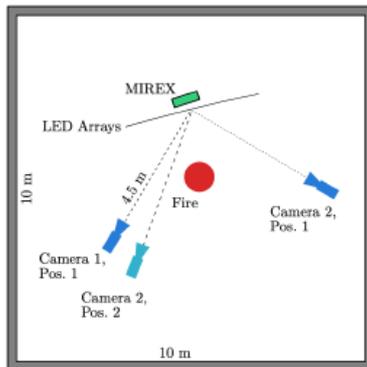


14. Treffen der FDS Usergroup 06.03.2021
Kristian Böger

Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Slide 6



Versuchsaufbau



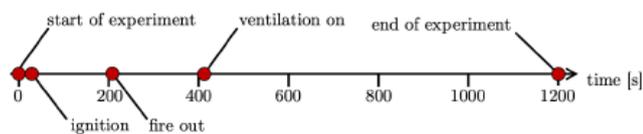
14. Treffen der FDS Usergroup 06.05.2021
 Kristian Börger

Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Slide 7



Versuchsablauf

- Durchgeführt am Heinz-Luck-Brandentdeckungslabor der Universität Duisburg-Essen
- MIREX Infrarot Messung als Referenz hinter dem mittleren LED Streifen in verschiedenen Höhen (1.52 m / 2.3 m / 3.3 m)
- Kontinuierliche Bildaufnahmen bei einer Frequenz von 1 Hz



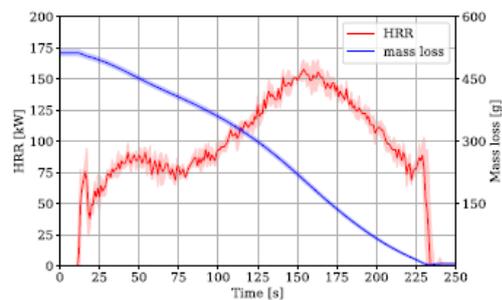
14. Treffen der FDS Usergroup 06.05.2021
 Kristian Börger

Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Slide 8



Brandquelle

- Versuchsreihe aus insgesamt sechs Experimenten mit identischen Randbedingungen
- Brennstoff: 500g n-Heptan
- Untersuchung von weiteren Testbränden (Flüssigkeits- und Schmelzbrände) in Anlehnung an EN 54



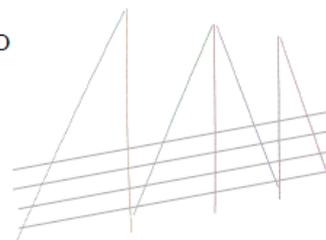
14. Treffen der FDS Usergroup 06.03.2021
Kristian Börger

Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Slide 9



Datenanalyse

1. Lokalisierung der LEDs über einen Schwellenwert des roten Farbkanals
→ Jeder LED werden eine ID und Pixelkoordinaten zugeordnet
2. Zuordnung der einzelnen LEDs zu den jeweiligen Streifen
3. Zeitliche Bestimmung der relativen Intensität jeder LED
4. Berechnung der räumlichen LED-Koordinaten
5. Berechnung der Extinktionskoeffizienten der Schichten



14. Treffen der FDS Usergroup 06.03.2021
Kristian Börger

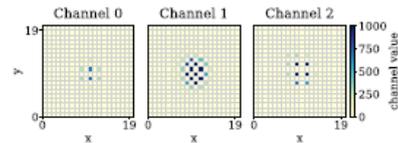
Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Slide 10



Bestimmung der LED Intensitäten

- Ansätze zur Bestimmung der experimentell ermittelten LED-Intensitäten $I_{e,j}$ für alle $j \in [1, N_{LEDs}]$

1. Funktionsfit zur Bestimmung der Amplitude
2. Integraler Kanalwert eines 20x20-Pixel-Rasters



- Der Transmissionsgrad T hängt ab vom Wirkungsquerschnitt c_{ext} , der Partikeldichte n und der Weglänge des Lichts Δ_s durch ein homogenes Medium

$$T = \frac{I}{I_0} = \exp(-\tau) \quad \tau = c_{ext} \cdot n \cdot \Delta_s = \sigma \cdot \Delta_s$$

Schichtmodell

- Die Intensitäten des Modells $I_{m,j}$:

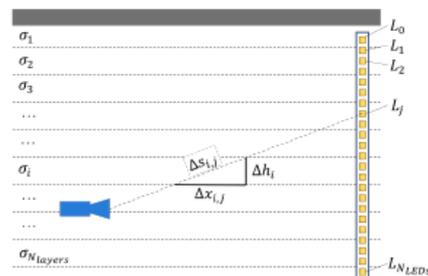
$$I_{m,j} = \exp\left(-\sum_{i=1}^{N_{layers}} \sigma_i \Delta s_{i,j}\right)$$

- Aufstellung und Minimierung einer Kostenfunktion zur Bestimmung der Extinktionskoeffizienten σ_i :

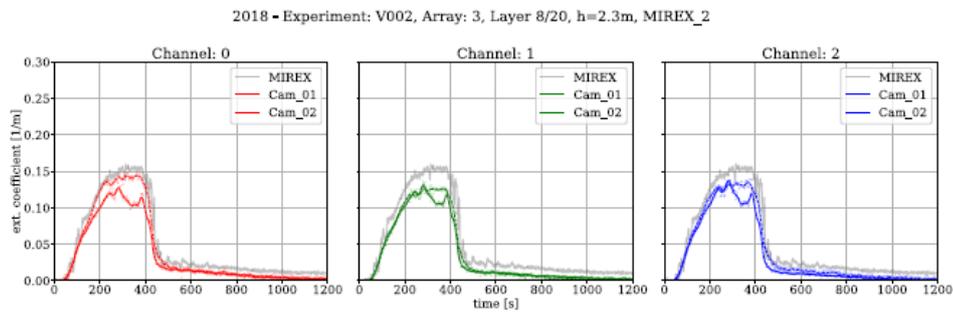
$$\Omega_\sigma = \sum_{j=1}^{N_{LEDs}} (I_{m,j} - I_{e,j})^2 + \phi_s \sum_{j=2}^{N_{layers}-1} (\sigma_{i-1} - 2\sigma_i + \sigma_{i+1}) + \phi_\alpha \sum_{i=1}^{N_{layers}} \sigma_i$$

- Ansatz von zwei Gewichtungsfaktoren zur:

1. Glättung der Lösung (ϕ_s)
2. Forcierung hoher oder niedriger Werte des Extinktionskoeffizienten (ϕ_α)



Extinktionskoeffizienten (JPG Analyse)



14. Treffen der FDS Usergroup 06.03.2021
 Kristian Börger

Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Slide 18



BERGISCHE
 UNIVERSITÄT
 WUPPERTAL



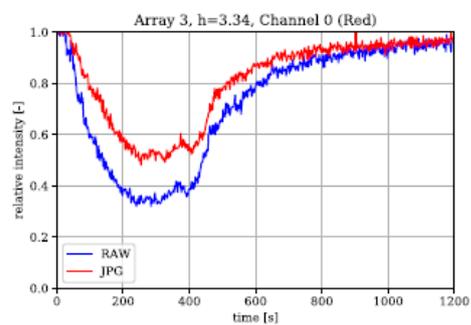
OFFICE IN DENKEL



JÜLICH
 FORSCHUNGSZENTRUM

Verbesserung der fotometrischen Messung

- JPG-Bilder werden durch kamerainterne Nachbearbeitung auf nicht lineare Weise verändert (aufgehellt)
- Höhere LED-Intensitäten führen zu niedrigeren Extinktionskoeffizienten
- Die Skalierung der einzelnen Farbkanäle ist nicht identisch
- Die Rohdaten der Bilder sollten zur Auswertung verwendet werden



14. Treffen der FDS Usergroup 06.03.2021
 Kristian Börger

Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Slide 14



BERGISCHE
 UNIVERSITÄT
 WUPPERTAL

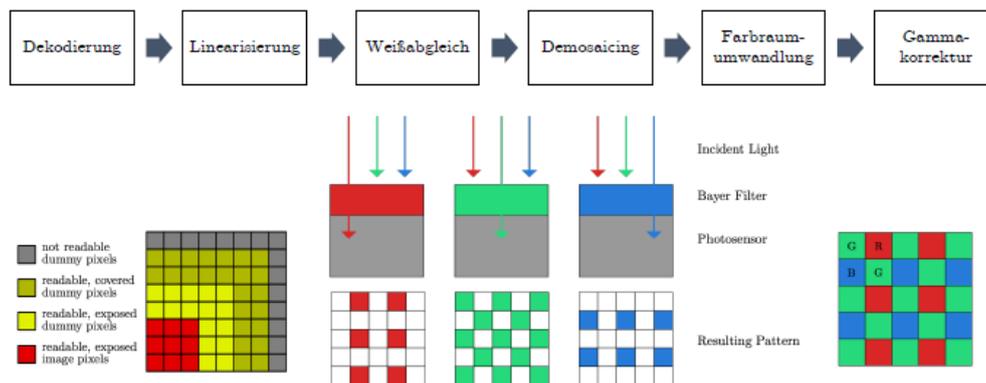


OFFICE IN DENKEL



JÜLICH
 FORSCHUNGSZENTRUM

Digitale Bildverarbeitung



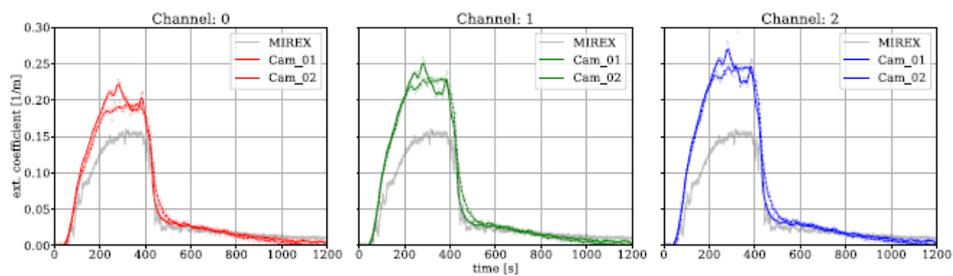
14. Treffen der FDS Usergroup 06.03.2021
 Kristian Böger

Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Slide 15



Extinktionskoeffizienten (RAW Analyse)

2018 - Experiment: V002, Array: 3, Layer 8/20, h=2.3m, MIREX_2



14. Treffen der FDS Usergroup 06.03.2021
 Kristian Böger

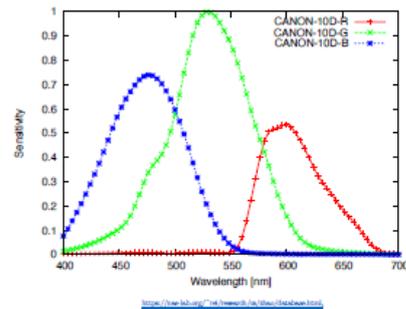
Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Slide 16



Farbkorrektur

Problemstellung:

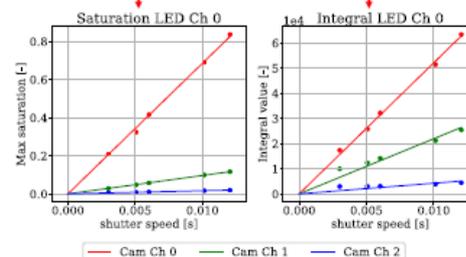
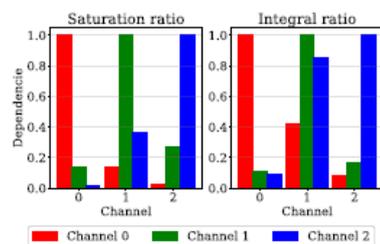
- Antwortspektrum der Kamera hat eine hohe Bandbreite und stimmt nicht mit dem emittierten Spektrum der LEDs überein
- Licht der LEDs wird in verschiedenen Kanälen der Kamera erfasst und verfälscht somit die Messung



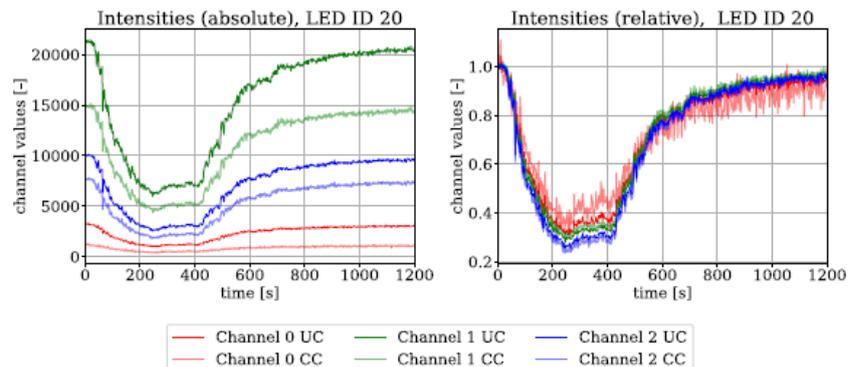
Ermittlung der Korrekturmatrix

Der unerwünschte Einfluss auf die Farbkanäle der Kamera kann anhand von Belichtungsserien monochromer LEDs erfasst und korrigiert werden.

$$\begin{pmatrix} \alpha_{rr} & \alpha_{rg} & \alpha_{rb} \\ \alpha_{gr} & \alpha_{gg} & \alpha_{gb} \\ \alpha_{br} & \alpha_{bg} & \alpha_{bb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_{real} \\ G_{real} \\ B_{real} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{sensor} \\ G_{sensor} \\ B_{sensor} \end{pmatrix}$$



Korrektur der Intensitäten



14. Treffen der FDS Usergroup 06.05.2021
 Kristian Börger

Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Seite 21



Zusammenfassung

- Extinktionskoeffizienten zeigen eine gute Übereinstimmung mit der MIREX Referenzmessung
- Zeitlichen und räumlichen Auflösung als zuverlässige Grundlage für die Validierung von numerischer Simulationen
- Einfache Anwendbarkeit und Reproduzierbarkeit, da keine komplexen Versuchsaufbauten oder teuren Messgeräte erforderlich
- Fehler aus der Wechselwirkung von intrinsischen Eigenschaften der Kamera sowie der LEDs können korrigiert werden

14. Treffen der FDS Usergroup 06.05.2021
 Kristian Börger

Fotometrische Messverfahren zur Bestimmung von Sichtweiten Seite 22



Ausblick / Noch Fragen ?

- Wie kann eine korrekte Korrelation zur Referenzmessung (MIREX) hergestellt werden?
- Wie groß sind die Einflüsse aus der Lichtstreuung und wie können sie adäquat berücksichtigt werden?
- Wie groß ist der Einfluss der Temperatur auf die LEDs bezüglich deren Stabilität hinsichtlich Intensität und emittiertem Spektrum?
- Inwieweit kann aus dem Verhältnis der Extinktionskoeffizienten ein Rückschluss auf die Veränderung der Partikelgrößenverteilung gezogen werden?



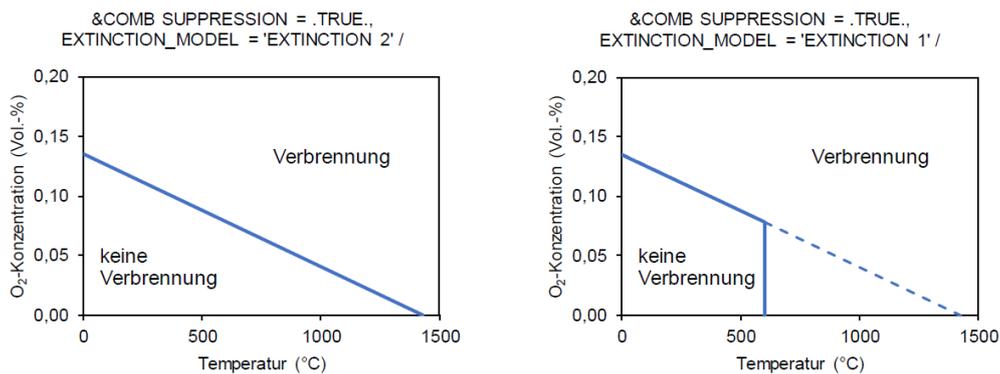
Manuel Osburg:

Ventilationssteuerung bei Raumbränden - Fortsetzung

Abstract:

In Fortsetzung des gleichnamigen Vortrags zum 13. Anwendertreffen der FDS Usergroup am 07./08.11.2019 wurden die anwendungsorientierten Überlegungen zur vereinfachten Verbrennungsmodellierung in FDS weitergeführt.

Schwerpunkt dieser Fortsetzung liegt in der Untersuchung des SUPPRESSION-Algorithmus mit den zugehörigen Auswahlmöglichkeiten EXTINCTION 1 und EXTINCTION 2. Das standardmäßig aktivierte Modell EXTINCTION 2 führt zu einer Unterdrückung der Verbrennungsreaktion bei Unterschreitung einer temperaturabhängigen Sauerstoffgrenzkonzentration. Im Gegensatz dazu findet bei dem Modell EXTINCTION 1 eine Verbrennung unabhängig von der vorherrschenden Sauerstoffkonzentration statt, sofern die voreingestellte FREE_BURN_TEMPERATURE (Standardeinstellung: 600 °C) überschritten wird.



Die Ergebnisse exemplarischer FDS-Simulationen werden mit denen vereinfachter Naturbrandmodelle sowie mit experimentellen Ergebnissen aus Brandversuchen verglichen.

Der Beitrag schildert ein praxisorientiertes Vorgehen bei der Modellierung ventilationsgesteuerter Raumbrände mit FDS. Es soll gezeigt werden, welche Modellkombination in Abhängigkeit der zu lösenden Fragestellung für die Anwendung bei der Naturbrandbemessung geeignet ist.



Ventilationssteuerung bei Raumbränden – Teil II

14. Treffen der FDS Usergroup
6.-7. Mai 2021

Manuel Osburg, M.Sc.

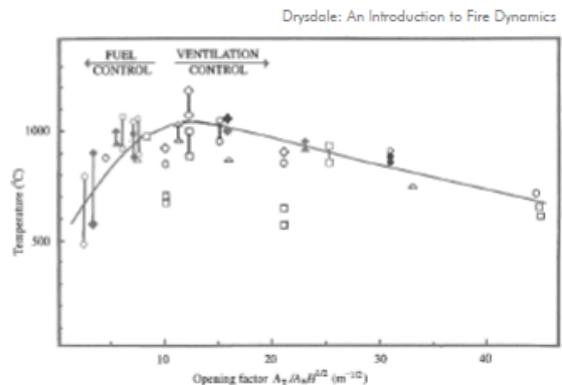
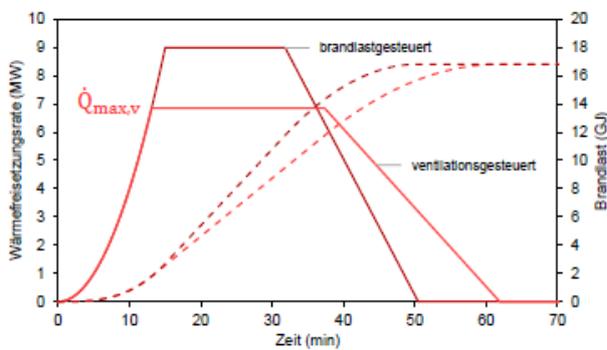
06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

Idealisierter Brandverlauf bei Raumbränden



- Vollbrand (stationäre Phase) mit maximaler Wärmefreisetzungsrate im Anschluss an die Entwicklungsphase oder als Resultat des Flashover



Drysdale: An Introduction to Fire Dynamics

06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

2

Ventilationsgesteuerte Raumbrände



- Für die Ermittlung des zur Verfügung stehenden Zuluftstroms in den Brandraum wird eine Verallgemeinerung der erstmals durch Kawagoe ermittelten Abhängigkeit des Zuluftstroms vom Ventilationsfaktor $\dot{m}_L \sim A_w \cdot \sqrt{h_w}$ verwendet:



$$\dot{m}_L = 0,52 \cdot A_w \cdot \sqrt{h_w}$$

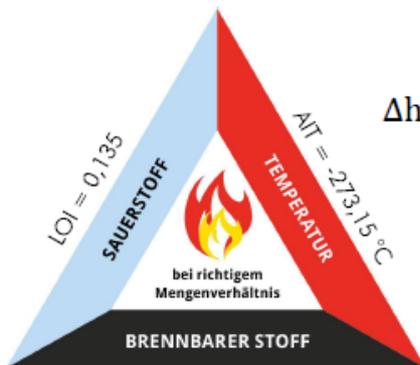
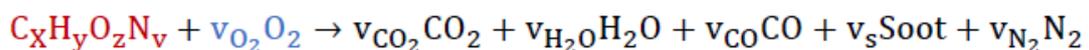
- In Verbindung mit Thornton's Rule ($E_{O_2} = 13,1 \text{ MJ/kg}_{O_2}$) lässt sich folgendes vereinfachte Brandmodell zur Ermittlung der Wärmefreisetzungsrate eines ventilationsgesteuerten Brandes formulieren: $\dot{Q}_{\max,v} = \dot{m}_{L,O_2} \cdot \chi_{O_2} \cdot E_{O_2} = 1,57 \cdot \chi_{O_2} \cdot A_w \cdot \sqrt{h_w}$

06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

3

Simple-Chemistry: Single-Step, Mixing-Controlled Combustion



$$\Delta h \approx \frac{\nu_{O_2} \cdot W_{O_2}}{\nu_F \cdot W_F} \cdot EP_{UMO_2} = \frac{\nu_{O_2} \cdot W_{O_2}}{\nu_F \cdot W_F} \cdot 13100 \text{ kJ/kg}$$

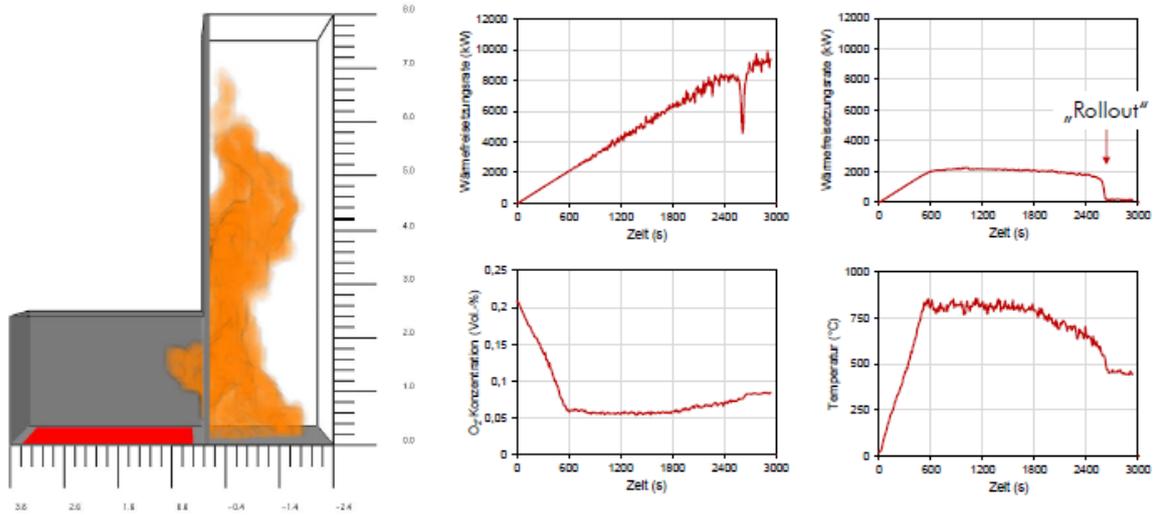
```
&REAC FUEL           = 'PROPANE'
      SOOT_YIELD      = 0.01
      CO_YIELD        = 0.02 /
```

06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

4

Ventilationssteuerung bei FDS-Simulationen



06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

5

„Leipziger Brandversuche“ – Versuchsreihe BV99-XX



Der Brand in Räumen – Teil 1
 Brandschutzbedarfsplanung in den Niederlanden
 Brandschutz im Flächendenkmal
 Feuerwehr und Rettungsdienst in der kommunalen Dezernatsorganisation



$$\dot{Q}_{max,v} = 1,57 \cdot X_{O_2} \cdot A_w \cdot \sqrt{h_w}$$

X_{O_2}	$\dot{Q}_{max,v}$
0,75	2,90 MW
0,90	3,49 MW

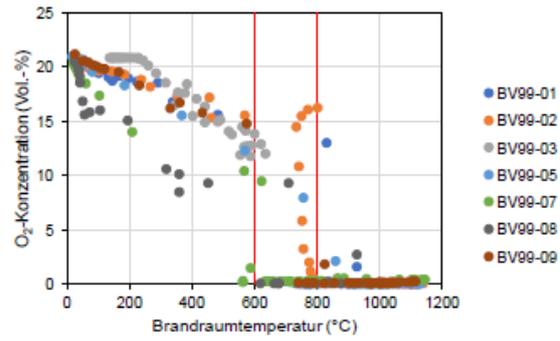
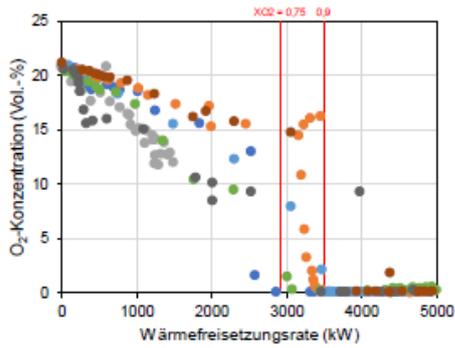
$A_w = 2,3 \text{ m}^2$
 $h_w = 1,15 \text{ m}$

06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

6

„Leipziger Brandversuche“ – Versuchsreihe BV99-XX



06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

7

NIST Reduced Scale Enclosure Experiments, 2007

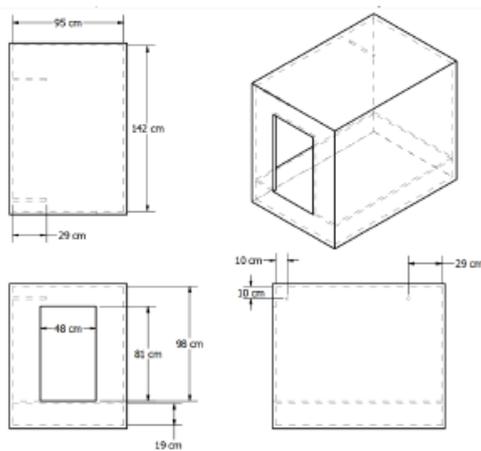


Figure 1. Perspective views of the Reduced Scale Enclosure and upper layer gas sampling probes drawn to scale. Dimensions are given with respect to interior walls.

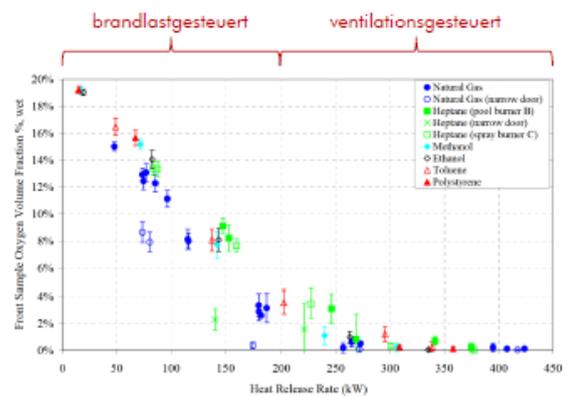


Figure 42. Steady state average oxygen volume fraction measurements at front sample probe location.

06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

8

NIST Full-Scale Enclosure Experiments, 2008

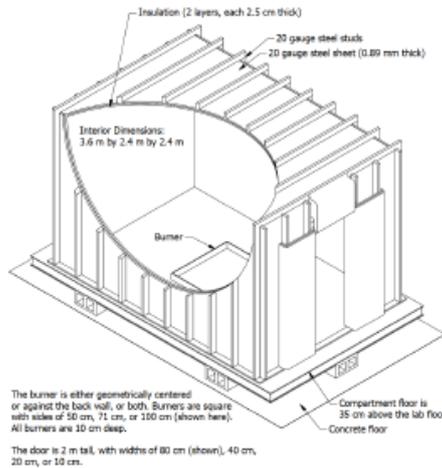


Figure 3.23: Geometry of the compartment used in the NIST Full-Scale Enclosure (FSE) experiments.

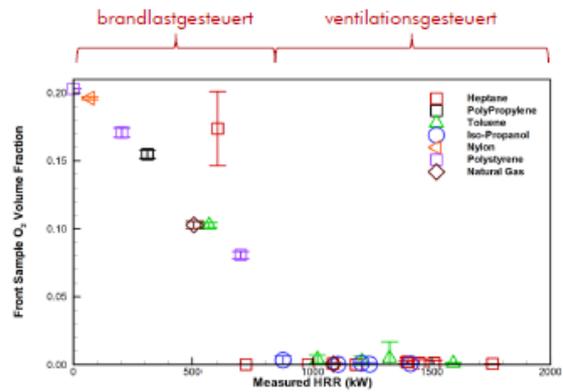


Figure 3.31: Steady state average oxygen volume fraction measurements at front sample probe location.

Verbrennungsmodellierung in FDS

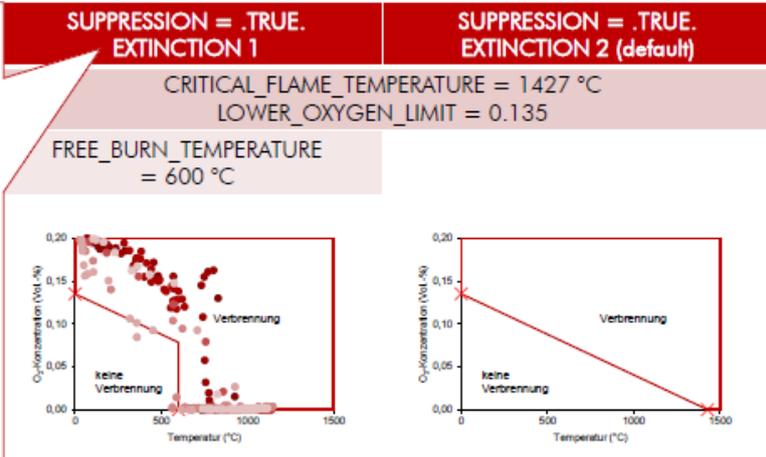


&REAC-Parameter	Standardeinstellung
AUTO_IGNITION_TEMPERATURE	-273 °C
CO_YIELD	0
CRITICAL_FLAME_TEMPERATURE	abhängig vom FUEL (default: 1427 °C)
EPUMO2	13100 kJ/kg
FUEL / FORMULA	Gelisteter Brandstoff oder Summenformel
LOWER_OXYGEN_LIMIT	abhängig vom FUEL (default: 0.135)
RADIATIVE_FRACTION (seit FDS 6.3.0, vorher &RADI)	abhängig vom FUEL (default: 0.35)
SOOT_YIELD	0
&COMB-Parameter (seit FDS 6.7.0)	Standardeinstellung
EXTINCTION_MODEL	EXTINCTION 2
FREE_BURN_TEMPERATURE	600 °C
SUPPRESSION	.TRUE.

Verbrennungsmodellierung in FDS



Technical Ref. Guide – 5.3 Extinction
 The 'EXTINCTION 1' model is intended for *relatively coarse fire simulations* where the grid cell cannot resolve details of the flame structure or capture flame temperatures.
 The "free-burn" temperature is needed for simulations in which the *grid cell size, dx, is much larger than 1 cm*. Its default value is 600 °C.
 Measurements have shown that the upper layer oxygen concentration drops to zero in flashover compartment fire experiments when the temperature increases above approx. 600 °C.



06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

11

Validation Guide – Chapter 13.2 Compartment Fire Extinction LLNL Enclosure Experiments

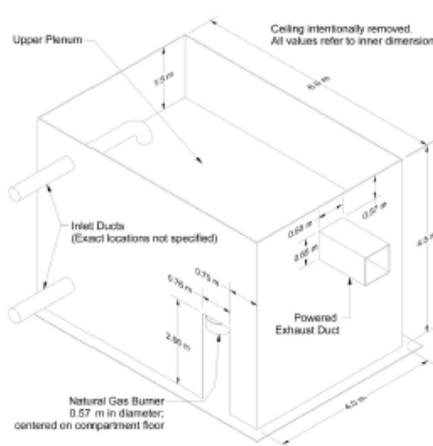


Figure 13.13: Geometry of the LLNL Backzone Experiments.

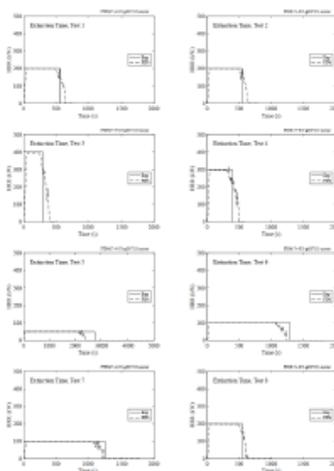
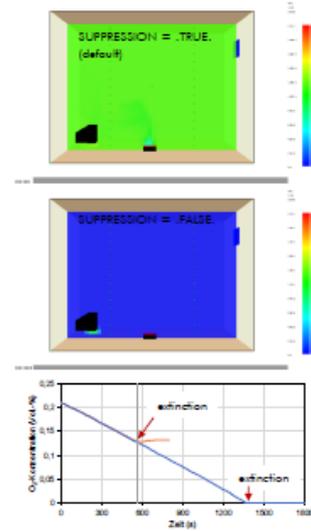


Figure 13.4: LLNL Backzone Tests, Tests 1-8.



06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

12

Validation Guide – Chapter 9.5 Products of Incomplete Combustion NIST Full-Scale Enclosure Experiments, 2008

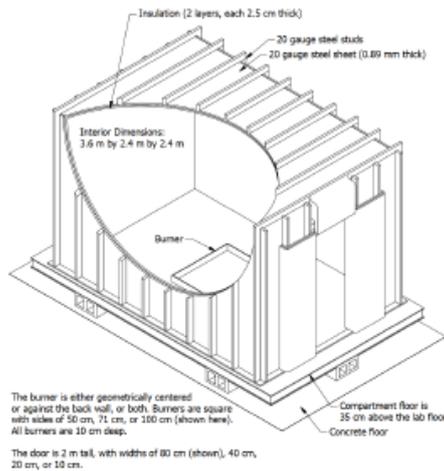


Figure 3.25: Geometry of the compartment used in the NIST Full-Scale Enclosure (FSE) experiments.

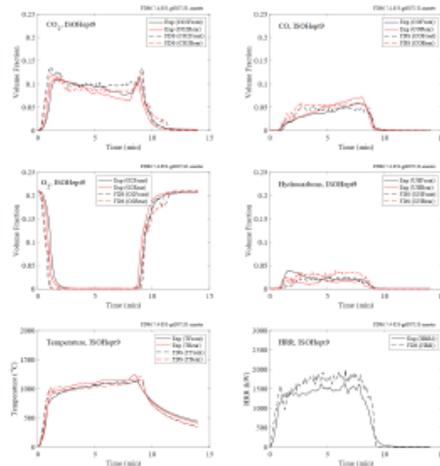
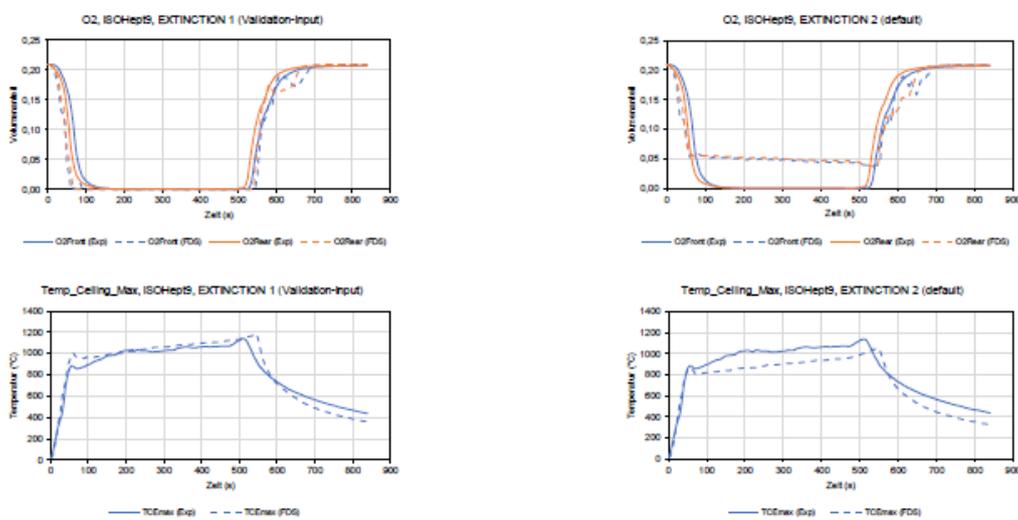
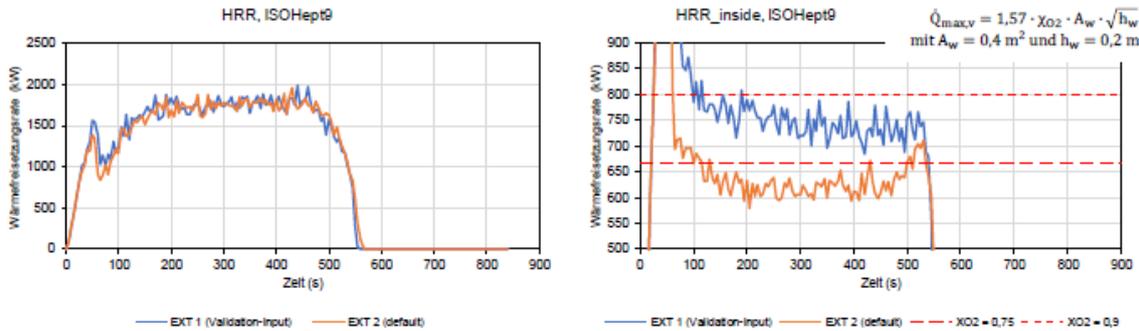


Figure 9.92: Summary of ISOHept9, NIST FSE 2008.

Validation Guide – Chapter 9.5 Products of Incomplete Combustion NIST Full-Scale Enclosure Experiments, 2008



Validation Guide – Chapter 9.5 Products of Incomplete Combustion
NIST Full-Scale Enclosure Experiments, 2008



Validation Guide – 3.36 NIST Enclosure Experiments

Modeling Notes: Also, in all simulations, the fire suppression algorithm has been turned off (SUPPRESSION=.FALSE.)*. The reason for this is that the suppression algorithm is not able to distinguish viability of a fire that is close to the point of extinction. Research continues in this area.

*) Anmerkung: Dieser Absatz wurde offensichtlich noch nicht aktualisiert; verwendet wurde EXTINCTION 1 (seit FDS 6.7.1).

06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

15

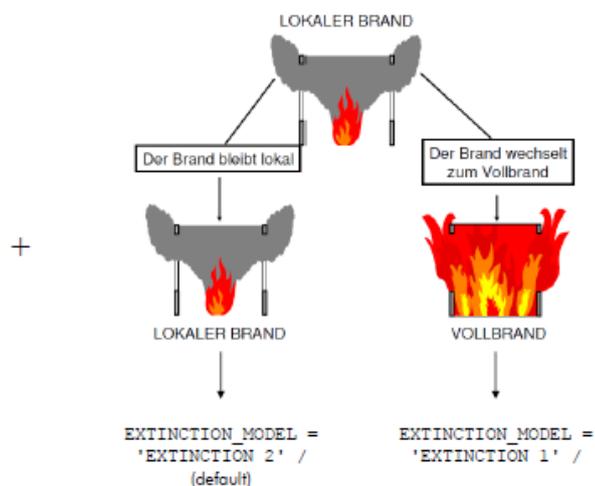
Anwendungsempfehlungen für die Modellierung vollentwickelter / unterventilierter Raumbrände



Vorbemessung der Wärmefreisetzungsrate in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Ventilationsöffnungen

$$\dot{Q}_{max,v} = 1,57 \cdot \chi_{O_2} \cdot \gamma_{HRR} \cdot A_w \cdot \sqrt{h_w}$$

→ Vermeidung des „Rollout“

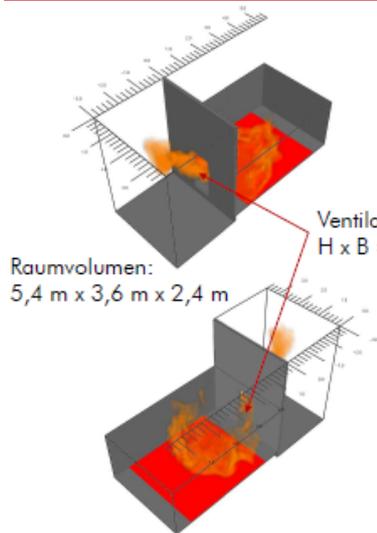


06.05.2021

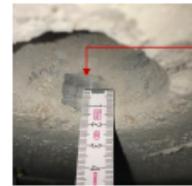
www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

16

Anwendungsbeispiel



Aufgabenstellung: Ermittlung der Brandraumtemperatur zur brandschutztechnischen Bemessung der Decke



$a = 15 \text{ mm}$
 $\theta_{\text{krit}} = 500^\circ\text{C}$

Vorbemessung:

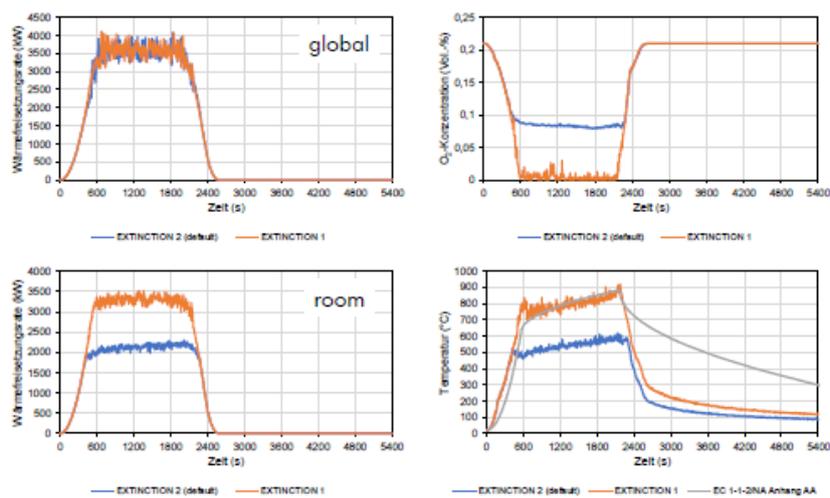
$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{max,v}} &= 1,57 \cdot \chi_{\text{O}_2} \cdot A_w \cdot \sqrt{h_w} \\ &= 1,57 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot \sqrt{2} \\ &= 3,55 \text{ MW} \end{aligned}$$

06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

17

Anwendungsbeispiel



06.05.2021

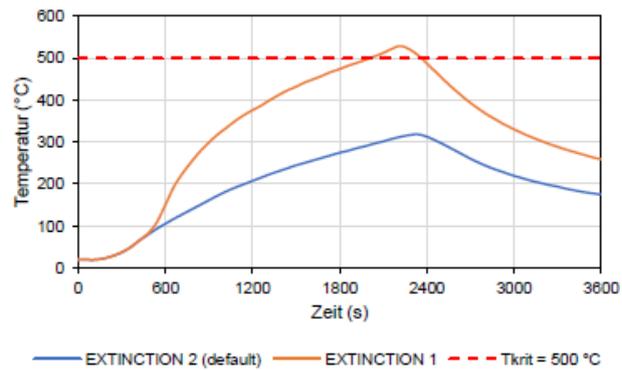
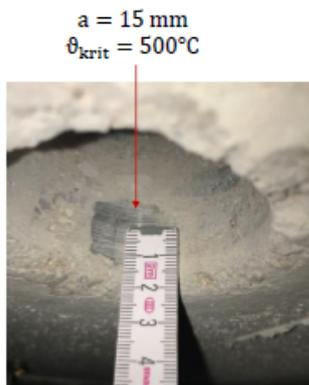
www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

18

Anwendungsbeispiel



Aufgabenstellung: Ermittlung der Brandraumtemperatur zur brandschutztechnischen Bemessung der Decke



06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

19

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!



06.05.2021

www.bcl-leipzig.de | Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig

20

Benjamin Schaufelberger, Dr. Pascal Matura:

Ausbreitung exhalierter Aerosole in Innenräumen - Strömungssimulationen im Hinblick auf SARS-CoV-2

Abstract:

Neben der Tröpfcheninfektion stellen exhalierte, virushaltige Aerosolpartikel einen wesentlichen Übertragungsweg für eine Ansteckung mit SARS-CoV-2 dar. Durch Einhalten des Mindestabstandes und das richtige Tragen von Mund-Nase-Bedeckungen lässt sich die Übertragungswahrscheinlichkeit durch größere Tröpfchen deutlich verringern. Aerosolpartikel hingegen können sich, aufgrund ihrer langen Verweildauer in der Luft, über weite Distanzen ausbreiten und sich somit insbesondere in schlecht durchlüfteten Innenräumen über die Zeit akkumulieren [1].

Ein verbessertes Verständnis der Ausbreitungswege und Maßnahmen zur Reduktion virushaltiger Aerosolpartikel in der Luft (z. B. durch Lüften, Abscheiden an Filtern etc.) ist daher von großem Nutzen, um Hygienekonzepte ableiten und bewerten zu können. Neben experimentellen Methoden bieten sich hierzu numerische Strömungssimulationen an. Vuorinen et al. [2] untersuchten beispielsweise die Ausbreitung von durch Husten freigesetzter Aerosole in einem Supermarktszenario mittels verschiedener CFD-Programme, darunter auch FDS. Neben Einzelereignissen wie Husten oder Niesen sind für die Aerosolkonzentration in Innenräumen jedoch auch quasi kontinuierliche Vorgänge (wie Atmen, Sprechen) mit vergleichsweise geringer, dafür aber relativ konstanter Freisetzungsrate, entscheidend.

Im Rahmen des Fraunhofer-Verbundprojekts AVATOR [3] befasst sich das Fraunhofer EMI daher schwerpunktmäßig mit der Modellierung quasi kontinuierlicher Aerosolquellen sowie der Simulation der Aerosolausbreitung mittels FDS für den Anwendungsfall Klassenzimmer.

Für die Raumluftrömung im Klassenzimmer sind dabei typischerweise thermische Quellen (Personen und ggf. Heizung) und die freie Lüftung bestimmend, sofern - wie in vielen Bestandsgebäuden der Fall - keine Raumlüftungstechnik vorhanden ist. Aus dem Zusammenspiel aus Aerosolsenken (durch Luftaustausch bei Lüftung), Aerosolquellen und der Raumluftrömung ergeben sich die zeit- und ortsabhängigen Aerosolkonzentrationen im Raum. Die numerische Strömungssimulation bietet eine gute Möglichkeit, z. B. durch Variation der Außenlufttemperaturen, der Lüftungsdauer und der Aerosolquellen unterschiedlichste Varianten systematisch zu untersuchen und miteinander zu vergleichen.

Der Vortrag bietet einen Einblick in die aktuellen Arbeiten und Ergebnisse.

Quellen

1. Robert-Koch-Institut, Epidemiologischer Steckbrief zu SARS-CoV-2 und COVID-19 (Stand: 18.3.2021), https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html, Zugriff: 31.3.2021
2. Vuorinen, V. et al.: Modelling aerosol transport and virus exposure with numerical simulations in relation to SARS-CoV-2 transmission by inhalation indoors, Safety Science 130, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104866>
3. Fraunhofer IBP, »AVATOR« - Anti-Virus-Aerosol: Testing, Operation, Reduction, <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/projekte-referenzen/avator.html>, Zugriff: 31.3.2021

AUSBREITUNG EXHALIERTER AEROSOLE IN INNENRÄUMEN – STRÖMUNGSSIMULATIONEN IM HINBLICK AUF SARS-COV-2

Anwendertreffen der FDS-Usergroup, 6. Mai 2021

Benjamin Schaufelberger Benjamin.Schaukelberger@emi.fraunhofer.de

Dr. Pascal Matura Pascal.Matura@emi.fraunhofer.de



1
© Fraunhofer

Fraunhofer
EMI

AGENDA

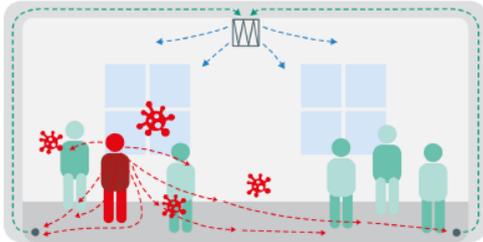
- Projekt AVATOR
- Exhalierete Aerosole
- Exemplarische Simulationen zur Stoßlüftung
- Ansätze zur Validierung freier Lüftung
 - Experimentelles Setting IBP-Schulhaus
 - Modellierungsansatz
 - Pragmatischer Ansatz zur Modellierung von Schwingflügeln und Vergleich zum Experiment
- Fazit

Beispiel Szenario:
Klassenzimmer

2
© Fraunhofer

Fraunhofer
EMI

»AVATOR« Anti-Virus-Aerosol: Testing, Operation, Reduction Projektvorstellung [1]



Verminderung der Infektionsgefahr durch Aerosol-getragene Viren in geschlossenen Räumen

- (1) Modellierung der Ausbreitungsmechanismen
- (2) Reinigung der Raumluft, Desinfektion
- (3) Validierung in Labor- und Realumgebungen
- (4) Ableitung von Hygienekonzepten für diverse Nutzungen

- Institutsübergreifendes Fraunhofer-Projekt
- Innovative Innenraumluft-Konzepte: neue Methoden zur Aerosol-Simulation und Filterkonzepte
- Laufzeit: Oktober 2020 bis September 2021

Fraunhofer IBP EMI IAP ICT IFAM IFF IGB IGD IMM IPM ITEM ITWM LBF Austria Singapore

[1] Fraunhofer EMI, Anti-Virus-Aerosol: Testing, Operation, Reduction »AVATOR« <https://www.emi.fraunhofer.de/de/aktuelles/aktuelles-presse/avator.html>, Zugriff: 2.6.2021

3
© Fraunhofer



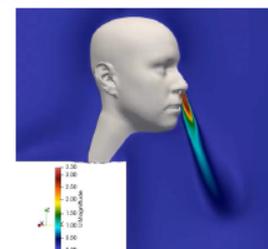
»AVATOR« Anti-Virus-Aerosol: Testing, Operation, Reduction Arbeiten am Fraunhofer EMI

- Experimentelle Arbeiten zur Analyse des Strömungsfeldes in der Nähe der Quelle
- Simulationsarbeiten mit FDS und OpenFOAM



Schlieren-Aufnahmen: Popko, G. und Mert, D.

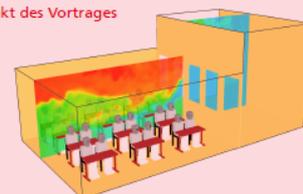
➔ Modelle zur Ableitung eines Quellterms in FDS mit Hilfe von Detailsimulationen in OpenFOAM



OpenFOAM-Simulation Atmen: Holz, S.

➔ Simulationen zum Strömungsverhalten in Innenräumen mit FDS

Schwerpunkt des Vortrages

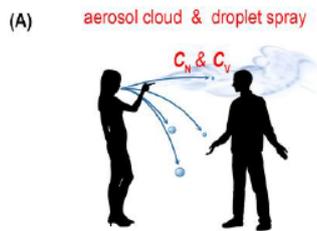


4
© Fraunhofer



Exhalierte Aerosole

Mögliche Übertragungswege für eine Ansteckung mit SARS-CoV-2



Übertragung im Nahfeld, Quelle: Pöhlker, M.L. et al.: *Respiratory aerosols and droplets in the transmission of infectious diseases*, preprint 2021, [arXiv:2103.01188v3](https://arxiv.org/abs/2103.01188v3) [physics.med-ph]



Übertragung im Fernfeld, Pöhlker, M.L. et al.: *Respiratory aerosols and droplets in the transmission of infectious diseases*, preprint 2021, [arXiv:2103.01188v3](https://arxiv.org/abs/2103.01188v3) [physics.med-ph]

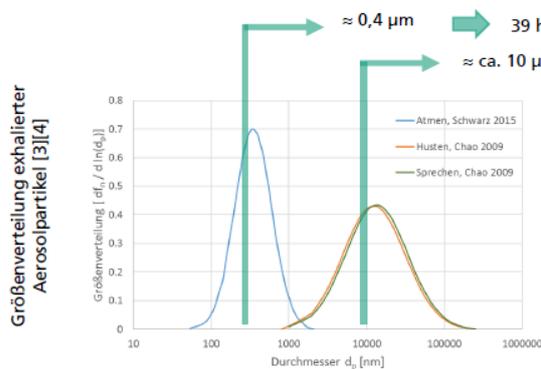
➡ Quantifizierung von Schutzmaßnahmen mit Hilfe von CFD?

[2] Pöhlker, M.L. et al.: *Respiratory aerosols and droplets in the transmission of infectious diseases*, preprint 2021, [arXiv:2103.01188v2](https://arxiv.org/abs/2103.01188v2) [physics.med-ph]

Exhalierte Aerosole

Größenverteilung

- Transport von Viren in festen und flüssigen Partikeln, sog. Aerosolpartikel



➡ $\approx 0,4 \mu\text{m}$ ➡ 39 h um 1 m zu sedimentieren [5]
 ➡ $\approx \text{ca. } 10 \mu\text{m}$ ➡ 6 min um 1 m zu sedimentieren [5]

- Bei Atem-Aerosolpartikel ist die Sedimentations-Geschwindigkeit zu vernachlässigen
- Raumluftströmung bestimmt Aerosol-Transport

➡ Modellierung als Gas-Spezies
 ➡ Nachträglich Skalierung der Konzentration möglich

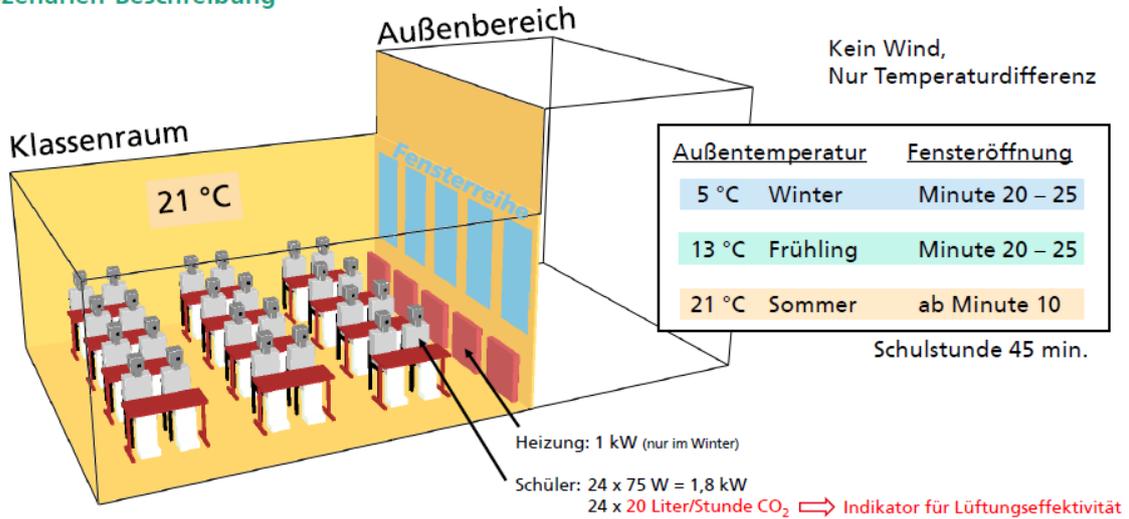
[3] Schwarz, K. et al.: *Characterization of exhaled particles from the human lungs in airway obstruction*, Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery 28/1, 2015

[4] Chao, C.Y.H et al.: *Characterization of expiration air jets and droplet size distributions immediately at the mouth opening*, Aerosol Science 40, 2009

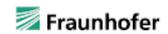
[5] Gesellschaft für Aerosolforschung: *Positionspapier der Gesellschaft für Aerosolforschung zum Verständnis der Rolle von Aerosolpartikeln beim SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen*, 2020

Exemplarisches Szenario Stoßlüften

Szenarien-Beschreibung

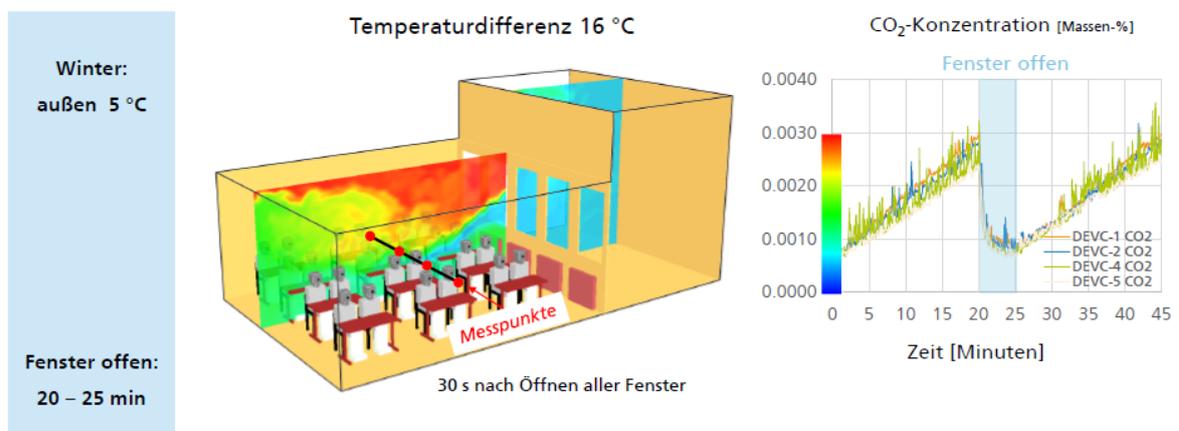


7
© Fraunhofer



Exemplarisches Szenario Stoßlüften

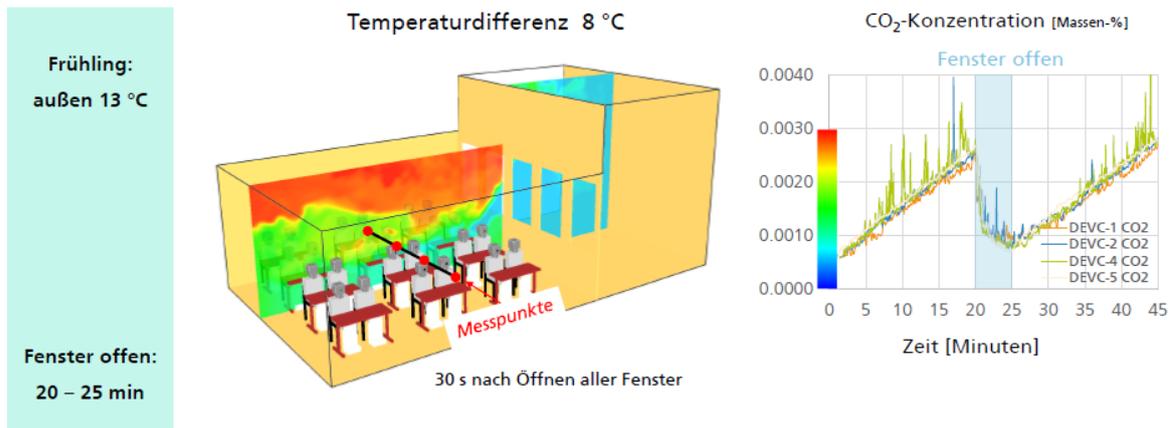
Winter



8
© Fraunhofer



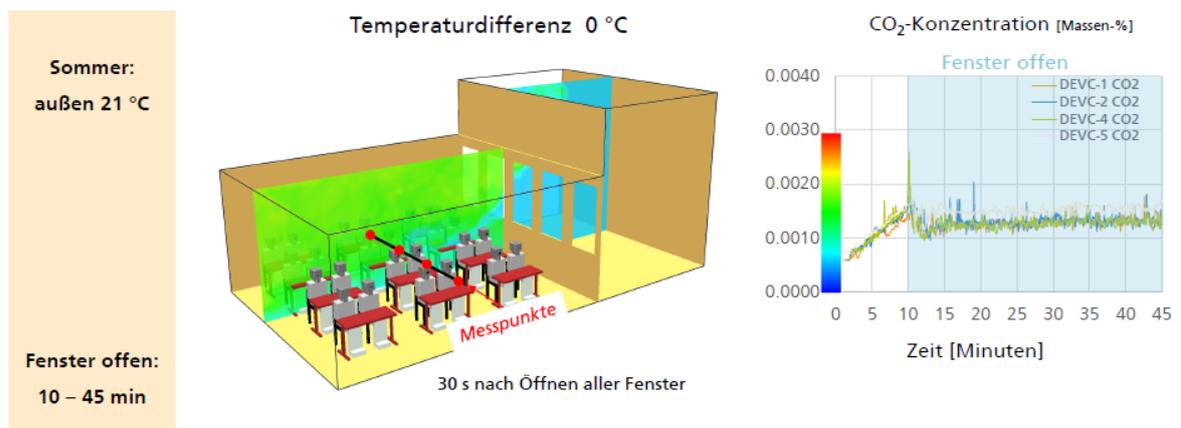
Exemplarisches Szenario Stoßlüften Frühling



9
© Fraunhofer



Exemplarisches Szenario Stoßlüften Sommer



10
© Fraunhofer

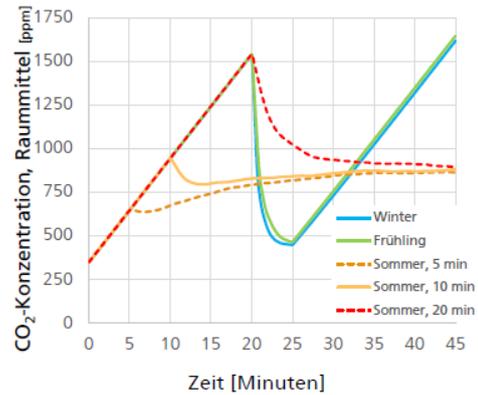


Exemplarisches Szenario Stoßlüften

Fazit

Effekt der Fensterlüftung (Stoßlüftung)

- Bei großen Temperaturunterschieden: kann in kurzer Zeit ein schneller Luftaustausch erzielt werden
- Bei kleinen Temperaturunterschieden: geringerer Effekt der Lüftung



Exemplarisches Szenario Stoßlüften

Fazit

Ansätze zur Validierung

- Wesentliche Größe: Volumenstrom Zuluft bzw. Luftwechselrate
- Konzentrationsabfall-Methode
 - Schwierig, insbesondere aufgrund Auswertung und Reproduzierbarkeit der Experimente
 - Näherungsformeln (z.B. [6])

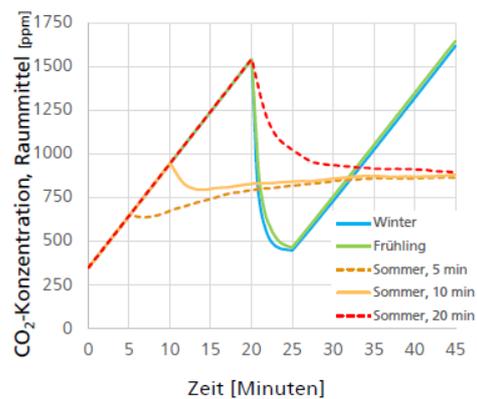
$$\dot{V}_{zu} = \frac{1}{3} B H \sqrt{2 \frac{T_i - T_a}{T_i + T_a} g H}$$

\dot{V}_{zu} : Volumenstrom Zuluft
 B: Breite des Fensters
 H: Höhe des Fensters
 T_a : Außentemperatur
 T_i : Innenraumtemperatur
 g: Erdbeschleunigung

- Konstant-Konzentrations-Methode
 - Tracergas-Freisetzung mit Luftwechsel im Gleichgewicht
 - Zuluftvolumenstrom aus Tracergaskonzentration [7]

$$\dot{V}_{zu} = \frac{T_a}{T_i} \frac{F_m}{\Delta C(t)}$$

F_m : Volumenstrom Tracergas
 C(t): Tracergaskonzentration



[6] Norrefeld, V.: Bewertung des Luftaustausches verschiedener Fensterkonfigurationen durch numerische Simulation, Diplomarbeit Fraunhofer IBP, 2008
 [7] Maas, A.: Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung, Dissertation Universität Gesamthochschule Kassel, 1995

Ansätze zur Validierung Experimentelles Setting IBP-Schulhaus [8]

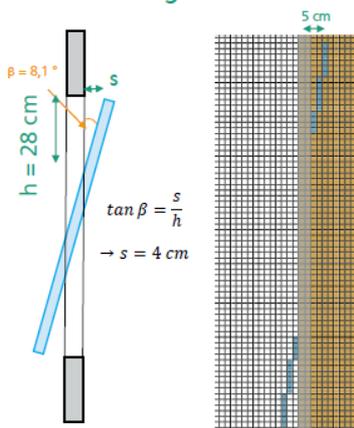
- Raum-Abmessungen 7 m x 6 m x 3,2 m
- Dauerlüftung, fünf Schwingflügel (Breite 86 cm, Höhe 166 cm)
- Heizleistung
 - Heizung: 5 kW (unter Fenster)
 - Personenlastsimulatoren (Dummys): 24 x 75 W
- Messungen
 - Temperatur-Messung im Raster bei unterschiedlichen Höhen
 - CO₂-Messung an ausgewählten Messstellen
 - Wetterstation im Außenbereich



Ansicht des Klassenraumes im Versuchsgebäude des Fraunhofer IBP, Quelle: Steiger, S.; Hellwig, R.T.: *Hybride Lüftungssystem für Schulen*, Abschlussbericht Fraunhofer IBP, 2011

[8] Steiger, S.; Hellwig, R.T.: *Hybride Lüftungssystem für Schulen*, Abschlussbericht Fraunhofer IBP, 2011

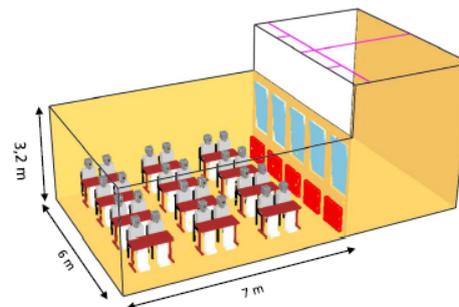
Ansätze zur Validierung Modellierungsansatz



Exemplarische Darstellung, beispielhaftes Setting aus [8]

[8] Steiger, S.; Hellwig, R.T.: *Hybride Lüftungssystem für Schulen*, Abschlussbericht Fraunhofer IBP, 2011

[9] Hall, M.: *Untersuchungen zum thermisch induzierten Luftwechselfpotential von Kippfenstern*, Dissertation Universität Kassel, 2004



- ➔ Modellierung der Einströmung bei kleinen Öffnungsweiten?
- ➔ Verwendung effektiver Öffnungsflächen wie z.B. in [9] ?

Gesamte Öffnungsfläche Kippfenster [9]

$$A_{ges} = s(B + h) + 2xy$$

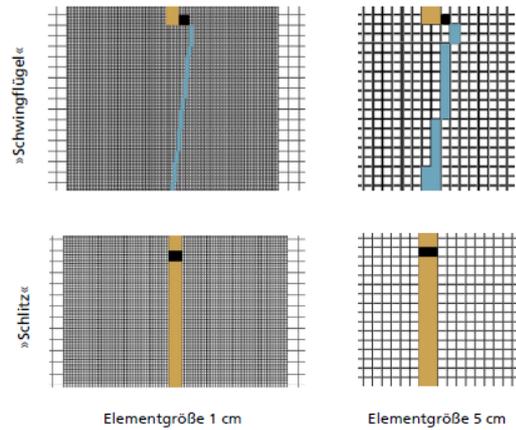
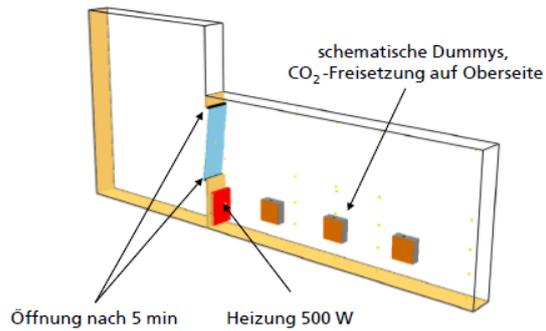
s: Kippweite
B: lichte Breite des Fensters
h: lichte Höhe des Fensters

x: Länge der Rahmenüberschneidung
y: Abstand der Rahmenteile

Ansätze zur Validierung

Modellierungsansatz

- 1/10-Modell des IBP-Klassenzimmers
- Periodische Randbedingungen



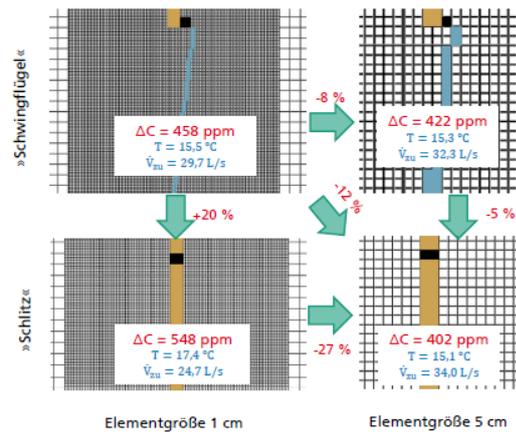
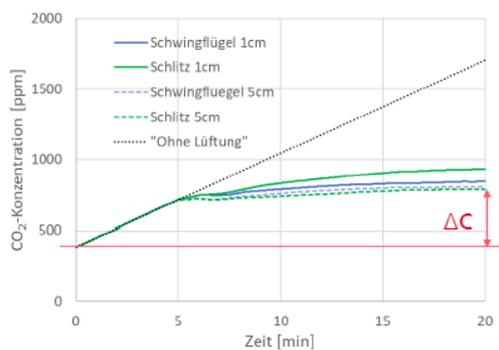
15
© Fraunhofer

Fraunhofer
EMI

Ansätze zur Validierung

Modellierungsansatz

- Auswertung unterschiedlicher Ansätze zur Fenster-Modellierung
- Einfluss Netzauflösung



Auswertung zum Zeitpunkt 20 min (Volumenstrom der Zuluft aus CO₂-Konzentration, Temperatur über Sensoren gemittelt)

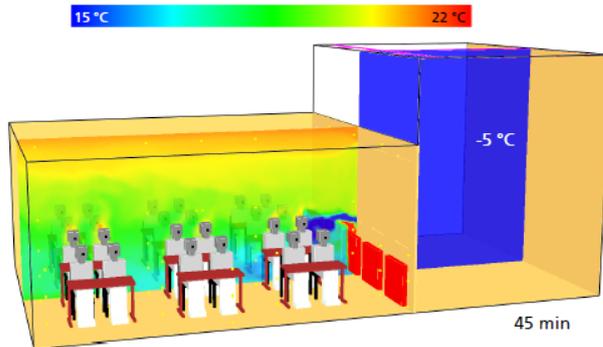
16
© Fraunhofer

Fraunhofer
EMI

Ansätze zur Validierung

Pragmatischer Ansatz zur Modellierung von Schwingflügeln

- Fenster-Öffnung zum Zeitpunkt 5 min
- Außentemperatur -5 °C

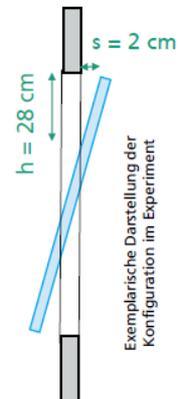


Formel aus [9] modifiziert für Schwingflügel
 $A_{ges} = 2s(B + h) + 4xy$

Im Experiment, mit Werten aus [8]

$s = 2 \text{ cm}$ $B = 86 \text{ cm}$
 $h = 28 \text{ cm}$ $x = 53 \text{ cm}$
 $y = 1 \text{ cm}$ (üblicher Wert nach [9])

$A_{ges} = 456 + 212 = 668 \text{ cm}^2$



s: Kippweite
 h: lichte Höhe des Fensters
 B: lichte Breite des Fensters
 x: Länge der Rahmen-
 überschneidung
 y: Abstand der Rahmenteile

Simulation:

$A = 2 \cdot 5 \text{ cm} \cdot 67,5 \text{ cm} = 675 \text{ cm}^2$

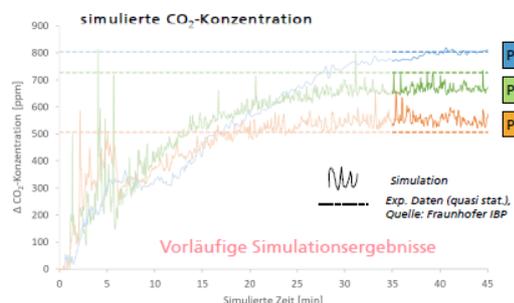
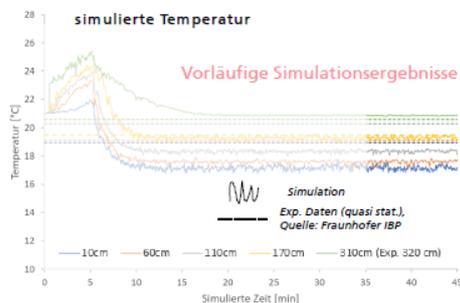
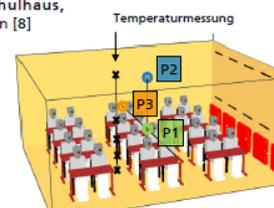
[8] Steiger, S.; Hellwig, R.T.: *Hybride Lüftungssystem für Schulen*, Abschlussbericht Fraunhofer IBP, 2011
 [9] Hall, M.: *Untersuchungen zum thermisch induzierten Luftwechselepotential von Kipfenstern*, Dissertation Universität Kassel, 2004

Ansätze zur Validierung

Vergleich Simulation mit Experiment

- Simulierte Temperatur
 - Werte in der Nähe der Decke entsprechen dem Experiment
 - Größere Abweichung im unteren Bereich des Raumes
- Gute Übereinstimmung zwischen simulierter und experimenteller CO₂-Konzentration

Setting IBP-Schulhaus, in Anlehnung an [8]



[8] Steiger, S.; Hellwig, R.T.: *Hybride Lüftungssystem für Schulen*, Abschlussbericht Fraunhofer IBP, 2011

Fazit

- Im Rahmen der Studie wurden bislang Untersuchungen zur Raumluchtströmung in Innenräumen bei freier Lüftung durchgeführt. Diese Strömung bestimmt maßgeblich den Aerosol-Transport.
- Das experimentell beobachtete Strömungsverhalten bei Fensterlüftung konnte qualitativ gut abgebildet werden. Für die Validierung ist die genaue Kenntnis der experimentellen Randbedingungen notwendig.
- Für die Beurteilung der Ansteckungsgefahren sind neben des Aerosol-Transports auch medizinische Aspekte, insbesondere die Verteilung der Virenlast auf die entsprechenden Aerosolpartikel, entscheidend. Aktuell können Strömungssimulationen somit lediglich einen Anhaltspunkt für die Ansteckungsgefahren im Vergleich zu anderen Szenarien geben.
- Fensterlüftung kann ein wichtiger Bestandteil eines Hygienekonzeptes in Bezug auf SARS-CoV-2 darstellen, aufgrund der vorhandenen Unsicherheiten (Witterung, tatsächliches Lüften) sind ergänzende Konzepte (z.B. Raumluftreiniger) notwendig.

Robert Weiße:

Containerisierung von FDS mit Docker

Abstract:

Wir leben mittlerweile in einer Welt, in der sich die Cloud immer mehr durchsetzt. Neben skalierbaren Webapplikationen, Dienstleistungen wie Filesharing und kollaborativen Tools haben jüngst sogar komplexe Spiele den Weg in die Cloud gefunden. Über das Streamen von Spieleinhalten ist es so etwa möglich ein grafisch anspruchsvolles Spiel auf einem Fernseher zu spielen, während die Berechnung der Inhalte und die Verarbeitung der Controllereingaben auf einem weit entfernten Computercluster erfolgt. Eine Spielekonsole oder ein leistungsstarker PC ist somit nicht mehr zwingend erforderlich. [1]

Was wäre, wenn wir grundlegende Mechanismen des Cloud-Computing auf FDS anwenden könnten? Dieser Vortrag geht der spannenden Frage nach, auf welchem Weg wir bei Brandschutz Consult verschiedene Versionen von FDS mit Hilfe von Docker [2] sowohl in herkömmlicher Weise lokal auf einem Rechner als auch auf einem entfernten Kubernetes-Computercluster [3] ausführen können. Hierzu soll zunächst die Containertechnologie am Beispiel von Docker näher erläutert werden. Abschließend soll in einem Ausblick auf die Verteilung von Docker-Containern in einem Kubernetes-Cluster eingegangen werden.

Docker-Images von FDS sind frei auf Docker Hub [4] verfügbar. Nutzungsanweisungen sowie der zugehörige Quellcode können über GitHub [5] eingesehen werden. Das Projekt „Dockerfiles for FDS“ lebt den Open-Source Gedanken. Dockerfiles und deren Dokumentation werden ebenso wie FDS unter der MIT-Lizenz veröffentlicht. Jeder ist herzlichst dazu eingeladen, über GitHub am Projekt mitzuwirken.

Literatur:

[1] „Cloud Gaming: Sind Spiele-PCs und Konsolen bald am Ende?“ (24.01.2019); URL: <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Cloud-Gaming-Sind-Spiele-PCs-und-Konsolenbald-am-Ende-4284623.html> (abgerufen am: 10.03.2021)

[2] Docker; URL: <https://www.docker.com/> (abgerufen am: 10.03.2021)

[3] Kubernetes; URL: <https://kubernetes.io/de/> (abgerufen am: 10.03.2021)

[4] FDS auf Docker Hub; URL: <https://hub.docker.com/r/openbcl/fds> (abgerufen am: 10.03.2021)

[5] FDS-Dockerfiles auf GitHub; URL: <https://github.com/openbcl/fds-dockerfiles> (abgerufen am: 10.03.2021)



Containerisierung von FDS mit Docker



14. Treffen der FDS Usergroup
6.-7. Mai 2021

M.Sc. Robert Weiße

07.05.2021 Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de



Inhalt

1. Problemstellung und Idee zur Lösung
2. Containerisierte Anwendungen (Docker)
3. Live-Demo zu Docker + FDS
4. Kubernetes
5. Live-Demo zu Kubernetes

07.05.2021 Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de 2



Problemstellung

07.05.2021 Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de 3



Alltagsprobleme eines Administrators mit FDS

- Parallele Nutzung verschiedener Versionen von FDS auf einem System
- Deployment (Installation) neuer FDS-Versionen
- Wechselnde Abhängigkeiten bzw. fehlende oder inkompatible Programmbibliotheken (Libraries)
- Automatisches Deployment (Installation) verschiedener FDS-Versionen auf Workstations eines Computerclusters

07.05.2021 Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de 4

Lösung: Container-Virtualisierung (mit Docker)



FDS soll in einem isolierten Container ausgeführt werden.

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

5

Im Anschluss: Installation von **kubernetes**



Nutzung des (Open Source) Clusters: **Kubernetes**

*„Kubernetes (K8s) ist ein Open-Source-System zur Automatisierung der Bereitstellung, Skalierung und Verwaltung von containerisierten Anwendungen.“**

*Zitat: <https://kubernetes.io/de>

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

6



Was sind containerisierte Anwendungen...

... und was hat das mit „Docker“ zu tun?

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

7

Containerisierte Anwendungen



- Isolierung von Anwendungen in Containern
- Container beinhalten alle notwendigen Pakete und Abhängigkeiten zur Ausführung einer Software
- Ein Container besitzt ein virtuelles eigenes Dateisystem ähnlich wie bei einer virtuellen Maschine (VM).
- Das Dateisystem des Containers umfasst eine minimale Dateistruktur eines Linux- oder Windows-Betriebssystems.
- Kompatibilität zum Kernel des Host-Betriebssystems wird vorausgesetzt
- Keine Hardware-Virtualisierung wie bei einer VM und somit keine Geschwindigkeitsverluste – stattdessen direkte Nutzung der CPU und RAM

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

8

Und was hat das mit „Docker“ zu tun?



- **Container-Virtualisierung** (oder Containering) ist eine **Technologie**, die unter Linux schon lange unterstützt wird – die Nutzung galt aber lange Zeit als sehr komplex.
- **Docker** ist eine Container-Virtualisierungs-Plattform, die viele der bekannten Techniken einsetzt und um benutzerfreundliche Werkzeuge und Dienste ergänzt.

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

9

Unterscheidung zwischen „Container“ und „Image“



- Ein Docker **Image** ist nur lesbar.
- Ein Docker **Container** wird aus einem Image abgeleitet und ist beschreib- und veränderbar.
 - Beinhaltet immer ein Programm, welches beim Start des Containers gestartet wird.
 - Wird dieses Programm beendet, beendet sich auch der Container.
 - Wird der Container gelöscht, gehen Änderungen in dessen Dateisystem verloren.

07.05.2021

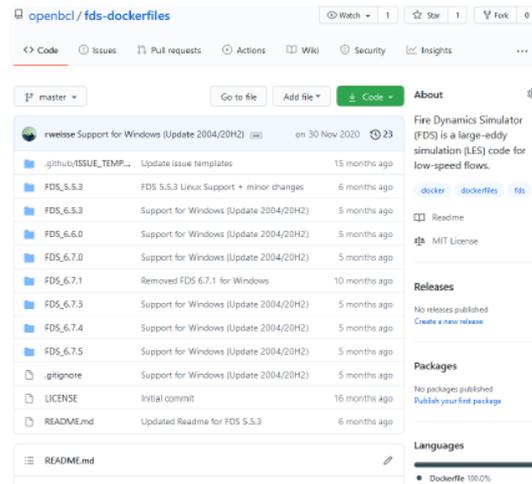
Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

10

Erstellung oder Bezug von Docker Images



- Images können über sogenannte Dockerfiles generiert und auf Docker Hub im Anschluss veröffentlicht werden: <https://hub.docker.com/r/openbcl/fds>
- Images werden bei Verwendung durch Docker automatisch von Docker Hub heruntergeladen und als Container gestartet.



FDS Dockerfiles auf GitHub: <https://github.com/openbcl>

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

11

Starten einer FDS-Simulation mit Docker



Linux / Mac OS

```
docker run -v $(pwd) :/workdir openbcl/fds fds simulation.fds
```

Startbefehl

Aktuellen Pfad als Volume einbinden

Name des Docker Images

Applikation starten

```
docker run -v ${pwd}:C:\workdir openbcl/fds fds simulation.fds
```

Windows

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

12

Starten einer FDS-Simulation mit Docker



Linux / Mac OS

```
docker run -v $(pwd) : /workdir openbcl/fds mpiexec -n 3 fds simulation.fds
```

Startbefehl

Aktuellen Pfad als Volume einbinden

Name des Docker Images

Applikation starten

```
docker run -v ${pwd} : C:\workdir openbcl/fds mpiexec -n 3 fds simulation.fds
```

Windows

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

13

Starten einer FDS-Simulation mit Docker (mit spez. Version)



Linux / Mac OS

```
docker run -v $(pwd) : /workdir openbcl/fds:6.6.0 fds simulation.fds
```

Aktuellen Pfad als Volume einbinden

Name des Docker Images:Version

Applikation starten

```
docker run -v ${pwd} : C:\workdir openbcl/fds:6.6.0 fds simulation.fds
```

Windows

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

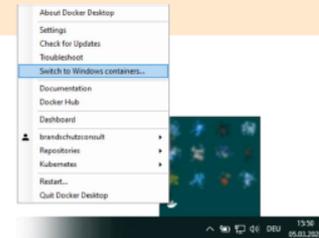
14

Windows Betriebsmodi von Docker



Prozessisolierung	Virtualisierung	
Windows (kernelkompatibel)	Windows (Hyper-V, kernelunabhängig)	Linux (WSL 2)
<ul style="list-style-type: none"> • Standardkonfiguration für Windows Server • Bei Windows 10 Aktivierung über den zusätzlichen Parameter: <p>--isolation=process</p> <p>Docker wird direkt ohne Virtualisierung ausgeführt. Vorteil: höhere Performance</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Standardkonfiguration für Windows 10 • Bei Windows Server Aktivierung über den zusätzlichen Parameter: <p>--isolation=hyperv</p> <p>Docker wird innerhalb einer verborgenen virtuellen Maschine (Windows o. Linux) ausgeführt. Vorteil: hohe Flexibilität</p>	<p>Erlaubt die Ausführung von Docker-Containern unter Windows, die auf einem Linux-Kernel basieren.</p>

Bei der Verwendung von Linux als Betriebssystem entfallen diese Unterscheidungen. Hier wird immer im Modus *Prozessisolierung* gearbeitet. Es können unter Linux somit nur Docker-Container auf Linux-Basis ausgeführt werden.



07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

15

Demonstration

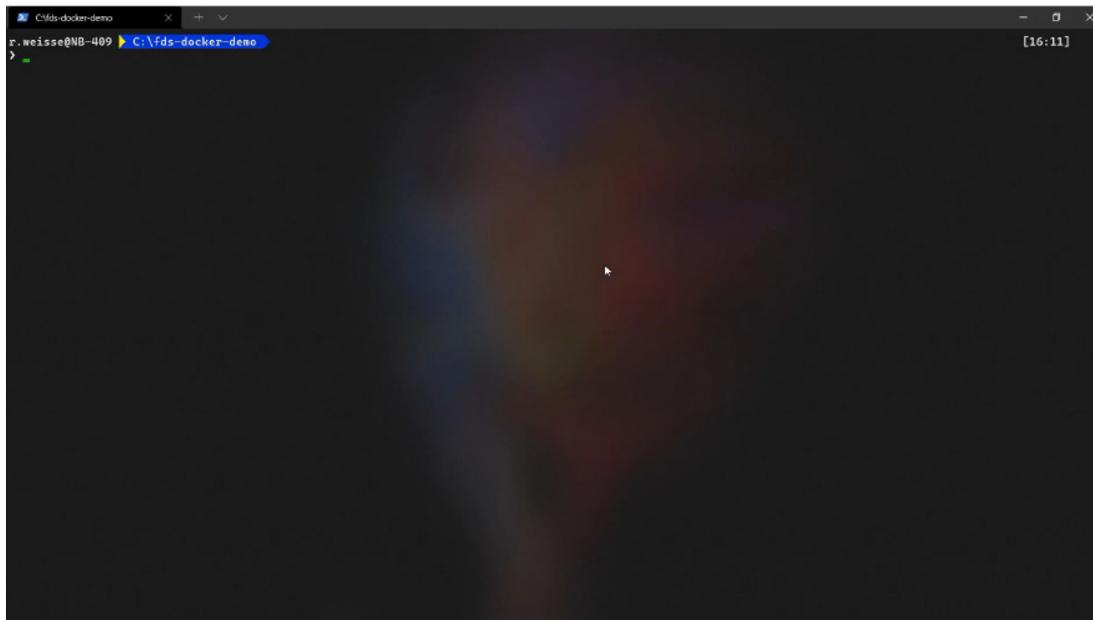
FDS-Berechnung mit Docker



07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

16



Docker Live

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

17

A presentation slide with a red background and a white geometric pattern of overlapping triangles. The text "Kubernetes" is written in a large, white, sans-serif font. Below it, the subtitle "Ausführung eines Docker Containers auf einem Node" is written in a smaller, white, sans-serif font. The BCL logo is in the top right corner. The footer contains the date "07.05.2021", the speaker information "Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de", and the slide number "18".

Kubernetes

Ausführung eines Docker Containers auf einem Node

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

18

Steckbrief Kubernetes



- Open Source und kostenlos im Selbsthosting
- Das Computer-Cluster dient dem Hosting von (Docker-) Containern auf verschiedenen Nodes
- Ein Cluster besteht aus einem Master-Node und mehreren Worker-Nodes.
- Es wurde ursprünglich dazu entworfen (Web-) Services horizontal zu skalieren.
- Ausführung von Docker-Containern in Abhängigkeit von Attributen (z.B. Computernamen) oder freien benötigten Ressourcen (CPU-Kerne & RAM)
- Offene HTTPS-API als Schnittstelle zur Steuerung von Kubernetes
- `kubectl` als Kommandozeilenwerkzeug (nutzt HTTPS-API)
- Konfiguration über yaml-Dateien

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

19

Beispiel: yaml-Datei zum Starten einer Simulation



```

kind: Pod
apiVersion: v1
metadata:
  namespace: default
  name: fds-usergroup-simulation
spec:
  volumes:
  - name: nas
    nfs:
      server: 172.16.0.11
      path: /Simulationen/FDS_Usergroup
  - name: devshm
    emptyDir:
      medium: Memory
  containers:
  - name: fds-6.7.5
    image: openbcl/fds:6.7.5
    args:
      - mpiexec
      - -n
      - 3
      - fds
      - simulation.fds
    env:
      - name: OMP_NUM_THREADS
        value: '1'
    resources:
      limits:
        cpu: '3'
      requests:
        cpu: '2500m'
    volumeMounts:
      - name: nas
        mountPath: /workdir
      - name: devshm
        mountPath: /dev/shm
    imagePullPolicy: Always
    restartPolicy: Never
    nodeSelector:
      kubernetes.io/hostname: ws-node-gepard
    shareProcessNamespace: true

```

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

20

07.05.2021 Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen und Feedback sind immer willkommen 😊

Download der Präsentation inkl. Videos <https://is.gd/xqhbDB>

E-Mail / Teams: r.weisse@bcl-leipzig.de

Docker-Tutorial (Tipp): <https://youtu.be/e1BOFzxcQQY>



FDS Dockerfiles auf GitHub: <https://github.com/openbcl>

FDS auf Docker Hub: <https://hub.docker.com/r/openbcl/fds>

Docker: <https://www.docker.com/products/docker-desktop>

Kubernetes: <https://kubernetes.io/de/>





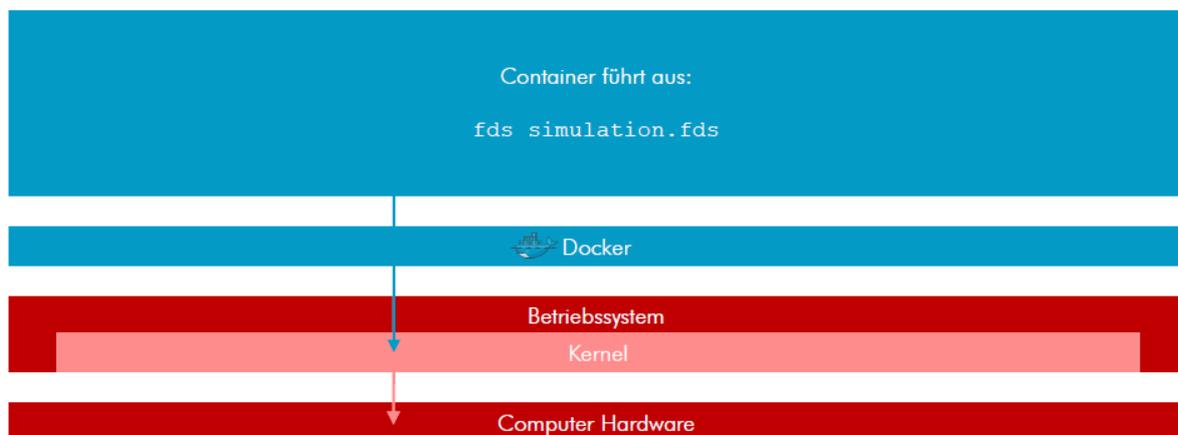
Zugabe

07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

23

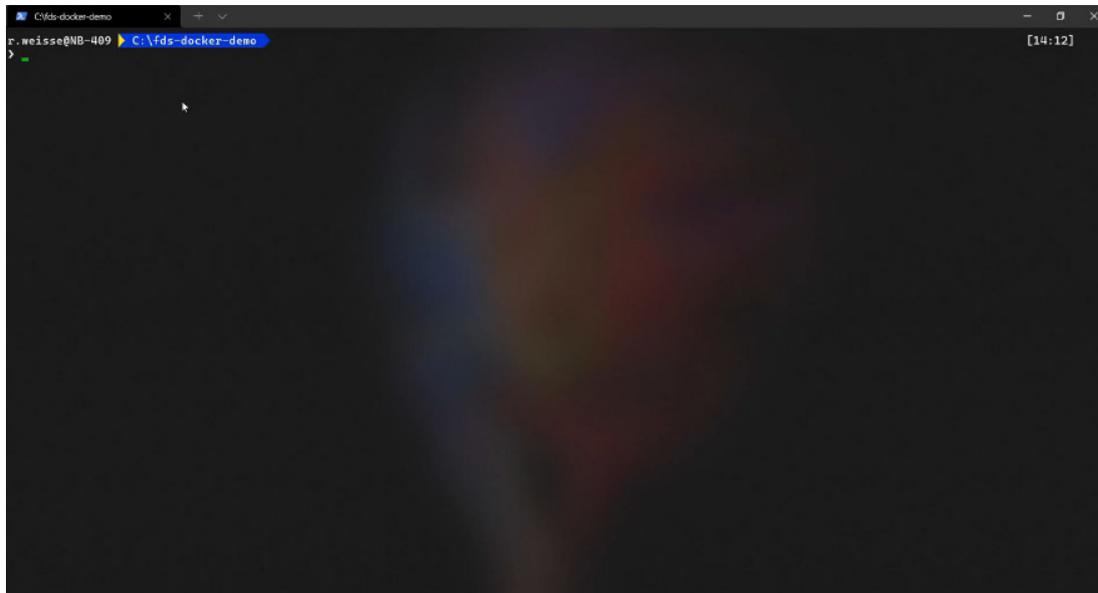
Docker (Prozessisolierung)



07.05.2021

Robert Weiße | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

25



FDSD Live

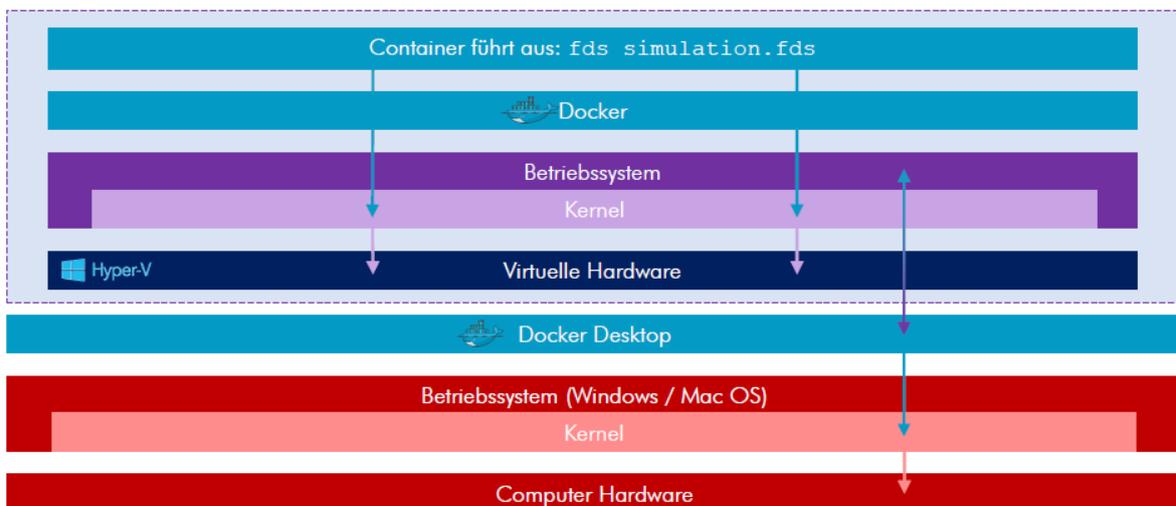
Vereinfachter Aufruf mit `fdsd` (Eigenentwicklung – noch unveröffentlicht)

07.05.2021

Robert Weiß | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

24

Docker Desktop (Virtualisierung mittels Hyper-V)



07.05.2021

Robert Weiß | Containerisierung von FDS mit Docker | 14. Treffen der FDS Usergroup | www.bcl-leipzig.de

26

Jan Vogelsang:

Python+FDS: Vorstellung des FDSReader-packages zum Einlesen von FDS-Simulationsdaten in Python

Abstract:

Als beliebteste Programmiersprache im wissenschaftlichen Umfeld ermöglicht Python weitreichende Möglichkeiten zur Manipulation, Aufbereitung und Visualisierung von beinahe allen denkbaren Arten an Daten. Durch bequemes Importieren von einer Vielzahl an frei verfügbaren Packages kann die Programmierumgebung flexibel an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden. Mit dem neuen frei verfügbaren Modul ist es fortan möglich FDS-Simulationsdaten direkt und automatisiert in Python einzulesen, um diese dann mit Numpy, Matplotlib, etc. weiter zu verarbeiten. Es werden alle Datenformate, von DEVC über PART und SLCF hin zu PLOT3D, sowohl für einzelne als auch multiple GiVer unterstützt. Der Vortrag dient dazu, die grundlegende Funktionsweise sowie den Umfang des Packages vorzustellen und so einen Einblick in die Verarbeitung von FDS-Daten in Python zu geben.

Python + FDS = FDSReader

Reading in FDS simulation data using Python

Agenda:

- Motivation
- Resources
- Example applications
- First steps

Motivation

- **SmokeView** enables visual exploration of simulation data
→ No access to raw data
- **Fds2Ascii** enables manual conversion of raw binary data into a readable format
→ Hardly automatable and still requires conversion into language-specific data-structures
- **Python-Scripts** for Slices, Boundary data, etc.
→ Very specific, often restricted to special input and each script uses a different, non-standardized interface
- **FDSReader**
→ *Python-Package to read in FDS simulation data*

"Python-**Package**...":

- Convenient installation using Pip
- Easy to use
- Complete and flexible bundle of functionality

"...to **read** in...":

- Converts raw binary data into Python data structures
- Limited to reading data
- Visualization and further processing not part of the reader

"...**FDS** simulation data":

- Supports all FDS data types
- Supports all commonly used input parameters

Resources

Github

github.com/FireDynamics/fdsreader

API Documentation

firedynamics.github.io/fdsreader

Usage examples

github.com/FireDynamics/fdsreader/tree/master/examples

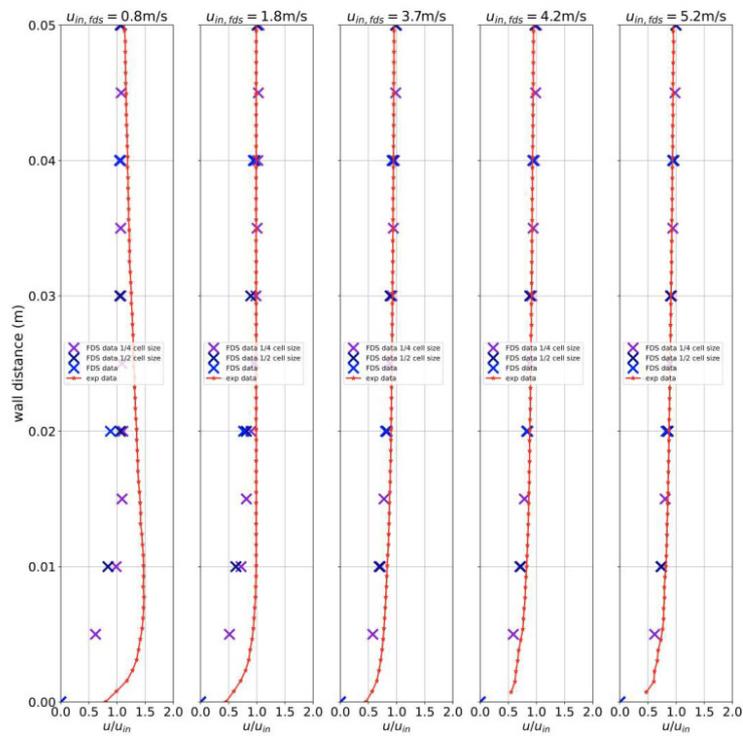
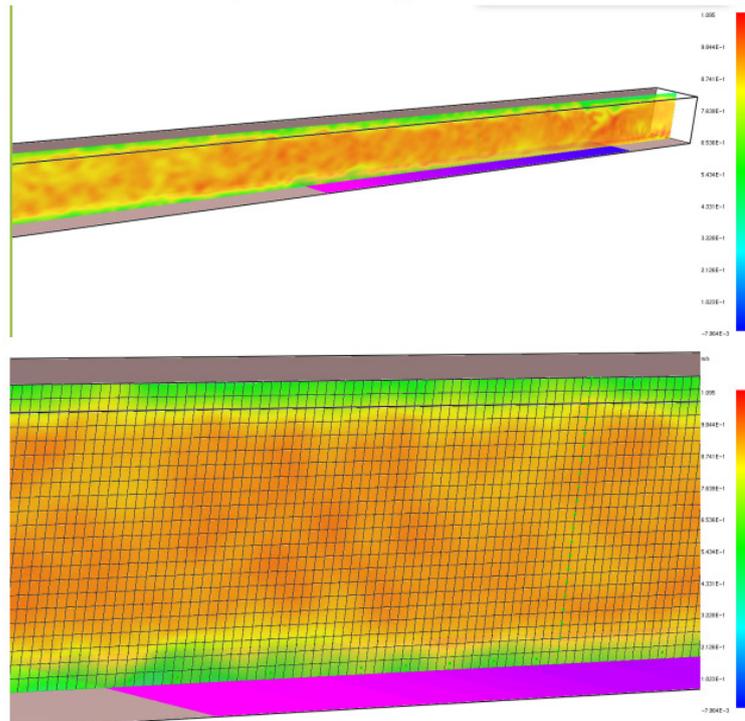
Github

- Neueste Version als Badge
- Installation via Pip
- Verwendung sehr trivial (dazu gleich mehr)
- Weiterführende Links zu Dokumentation, etc.
- Bei Problem einfach Issue anlegen und wenn möglich FDS-Case mit angeben

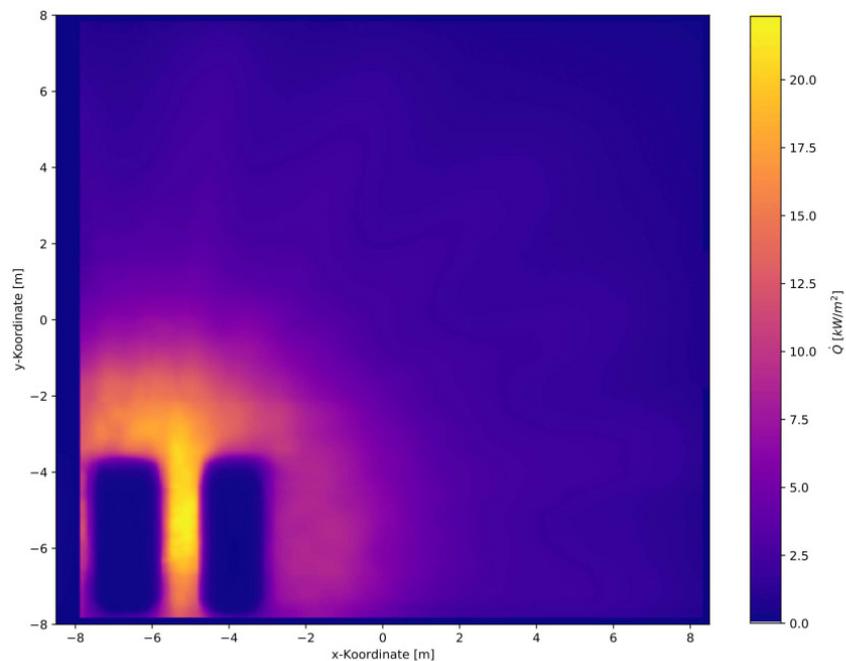
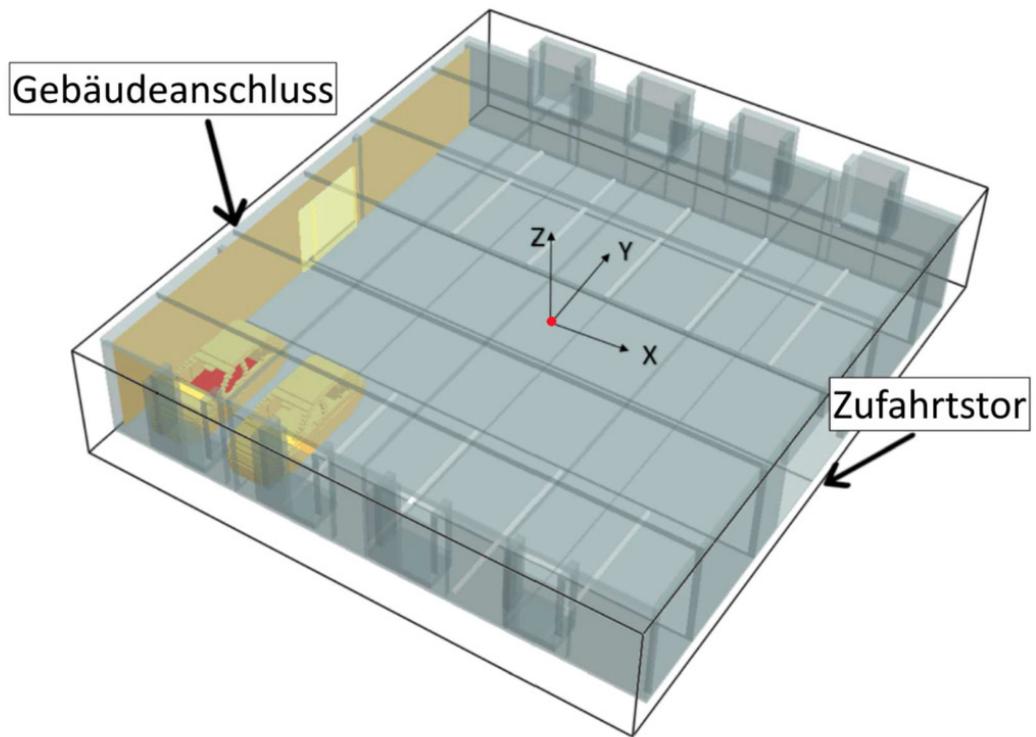
API Documentation

Example applications

Wall condensation (Alexander Belt)



Simulation of a vehicle fire in an underground car park (Leonie Rommeswinkel)



$0 \text{ kW/m}^2 \leq \dot{Q} < 20 \text{ kW/m}^2$: 99,45 %
 $\dot{Q} \geq 20 \text{ kW/m}^2$: 0,55 %

Gemessen wurde hier der Heat Flux am Boden, um zu ermitteln wie groß der Flächenanteil ist, der über und unter einem Grenzwert liegt.

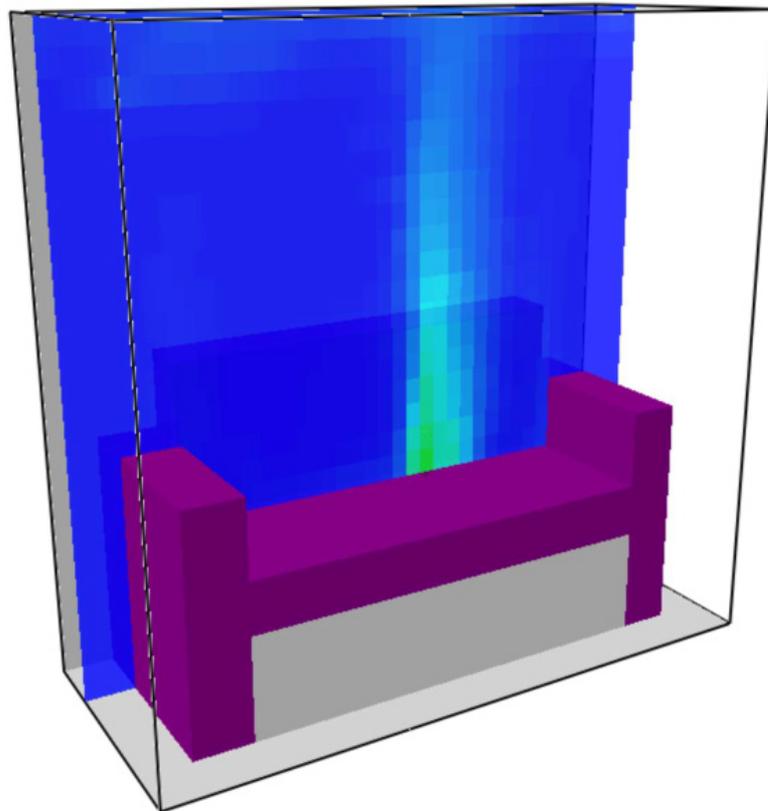
First steps

Loading a simulation

```
In [ ]: import fdsreader as fds
```

```
In [ ]: sim = fds.Simulation("./couch_case")
```

```
In [ ]: sim
```



Slices

```
In [ ]: sim.meshes
```

```
In [ ]: mesh = sim.meshes[1]
```

```
In [ ]: temp_slices = sim.slices.filter_by_quantity("temp")  
slc = temp_slices.get_nearest(y=4.35)  
subslc
```

```
In [ ]: subslc = slc.get_subslice(mesh)
        type(subslc.data), subslc.data.shape
```

```
In [ ]: %matplotlib inline
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

data = subslc.data
vmax = subslc.vmax
vmin = 20 - (vmax - 20)

plt.imshow(data[-1].T, origin="lower", vmin=vmin, vmax=vmax, cmap="seismic")
plt.colorbar()
plt.show()
```

```
In [ ]: mask = mesh.get_obstruction_mask_slice(subslc)
        fill_value = -1500

        data = np.where(mask, data, fill_value)
```

```
In [ ]: %matplotlib notebook
import matplotlib.animation as animation
import numpy as np

fig = plt.figure()
im = plt.imshow(data[0].T, origin="lower", vmin=vmin, vmax=vmax, cmap="seismic")
plt.colorbar()

animate = lambda t: im.set_array(data[t].T)
anim = animation.FuncAnimation(fig, animate, frames=len(slc.times)-1, interval=3, re
```

```
In [82]: sim.slices[0]
```

```
Out[82]: Slice([2D] cell_centered=True, extent=Extent([1.10, 3.45] x [4.35, 4.35] x [0.00, 2.35]), extent_dirs=('x', 'z'), orientation=2)
```

Additional examples

```
In [47]: sim = fds.Simulation("./couch_case")
        sim.obstructions
```

```
Out[47]: ObstructionCollection([Obstruction(id=1, Bounding-Box=Extent([1.50, 3.10] x [3.80, 4.60] x [0.00, 0.40]), SubObstructions=2, Quantities=['rad', 'con', 'net', 'temp', 'burn']),
Obstruction(id=2, Bounding-Box=Extent([1.50, 3.10] x [3.80, 4.60] x [0.40, 0.60]), SubObstructions=2048, Quantities=['rad', 'con', 'net', 'temp', 'burn']),
Obstruction(id=3, Bounding-Box=Extent([1.30, 1.50] x [3.80, 4.60] x [0.00, 0.90]), SubObstructions=1152, Quantities=['rad', 'con', 'net', 'temp', 'burn']),
Obstruction(id=5, Bounding-Box=Extent([1.50, 3.10] x [4.40, 4.60] x [0.60, 1.20]), SubObstructions=1536, Quantities=['rad', 'con', 'net', 'temp', 'burn']),
Obstruction(id=4, Bounding-Box=Extent([3.10, 3.30] x [3.80, 4.60] x [0.00, 0.90]), SubObstructions=1152, Quantities=['rad', 'con', 'net', 'temp', 'burn'])])
```

```
In [49]: obst = sim.obstructions.get_nearest_obstruction((3.0, 4.0, 0.55))
```

```
In [51]: boundary_data = obst.get_boundary_data('temp', 3)
```

```

In [79]: vmin = obst.vmin('temp', orientation=3)
         vmax = obst.vmax('wall temperature', orientation=3)

In [73]: import numpy as np
         hist, edges = np.histogram(boundary_data[0].data[3].data, range=(vmin, vmax))

Out[73]: array([ 16.73531532, 287.72333164, 558.71134796, 829.69936428,
                1100.6873806 , 1371.67539692, 1642.66341324, 1913.65142956,
                2184.63944588, 2455.6274622 , 2726.61547852])

In [65]: hist -= hist
         hist

Out[65]: array([0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0], dtype=int64)

In [74]: for boundary in boundary_data:
         hist += np.histogram(boundary.data[3].data, range=(vmin, vmax))[0]

In [75]: hist

Out[75]: array([[4078052, 28112, 24, 0, 4, 0, 0,
                 0, 0, 4], dtype=int64)

In [78]: sum = np.sum(hist)
         hist[0]/sum, np.sum(hist[1:])/sum

Out[78]: (0.9931459677034413, 0.006854032296558664)

In [ ]:

In [83]: sim_complex = fds.Simulation("./complex_case")

In [84]: sim_complex

Out[84]: Simulation(chid=sphere_radiate,
                   meshes=1,
                   obstructions=1,
                   geometries=1,
                   devices=1)

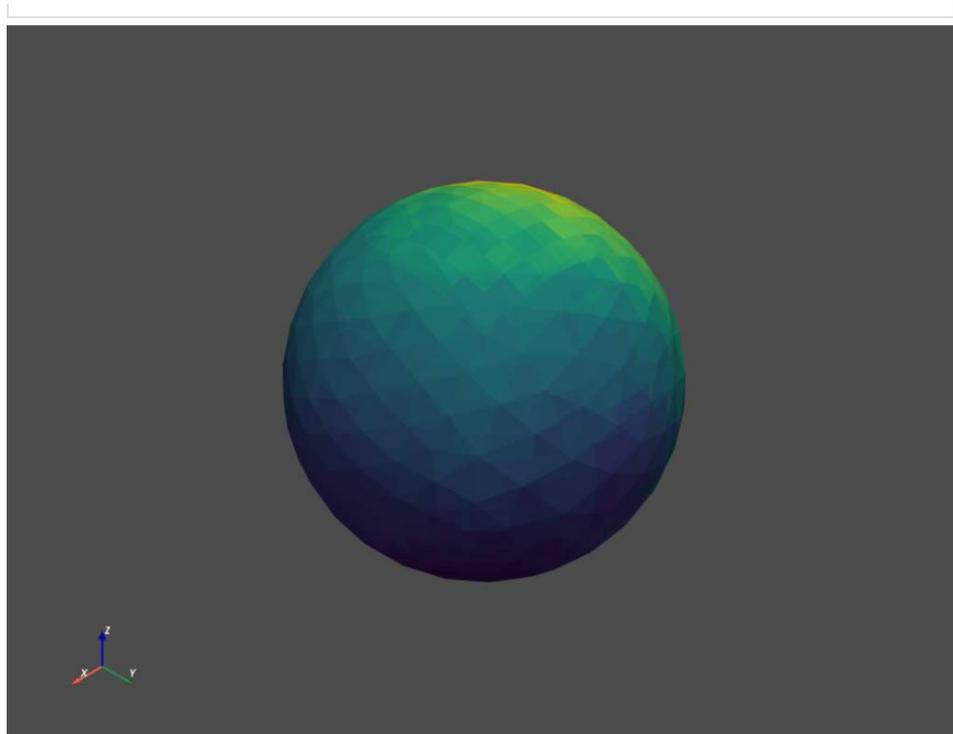
In [90]: geom = sim_complex.geom_data.filter_by_quantity('wall temperature')[0]

In [96]: data = geom.data[-1]

In [97]: import pyvista

In [103... faces = np.hstack(np.append(np.full((geom.faces.shape[0], 1), 3), geom.faces, axis=1)
                             pyvista.PolyData(geom.vertices, faces).plot(scalars=data)

```



```
Out[103... [(3.859200935974626, 3.8607009464650437, 5.859200935974626),  
(0.0, 0.0015000104904174805, 2.0),  
(0.0, 0.0, 1.0)]
```


Bjarne Husted:**Comparison of the performance of the Intel processors to the AMD Epyc processor for running FDS****Abstract:**

The performance of intel and AMD Epyc processor have been compared for a number of real life fire scenarios.

The test shows that a single core on an AMD Epyc are faster than a core on an intel cpu, but AMD Epyc processor does not seem to get the same speed increase when using OpenMP compared to Intel CPUs.

Comparison of the performance of the Intel processors to the AMD Epyc processor for running FDS

Bjarne P. Husted

Danish Institute of Fire and Security Technology
(DBI)/Lund University



2021



Background

- DBI wanted to buy build a small cluster for running FDS and other tools (e.g. gpyro)
- Previous experience(bad) with AMD processors and FDS at Lund University
- Good experience with intel processors on a smaller cluster in Norway



Method

- Collected four FDS input files which are typical for the work done at DBI
 - 4 different cases
 - FDS 6.7.4
 - The jobs was typical run for an hour
- Two factors were evaluated
 - Raw speed
 - Cores hours for a job (cost)

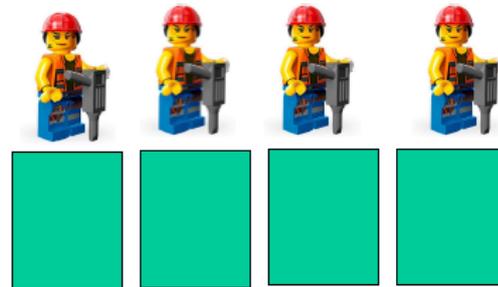


Parallel computing OpenMP vs MPI



OpenMP

All processors works on the same task
(fds terms: All work on the same grid)

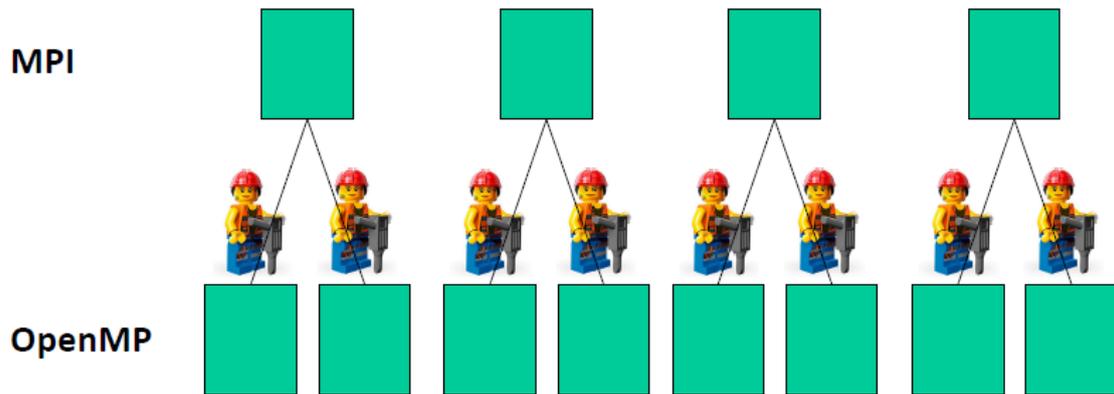


MPI

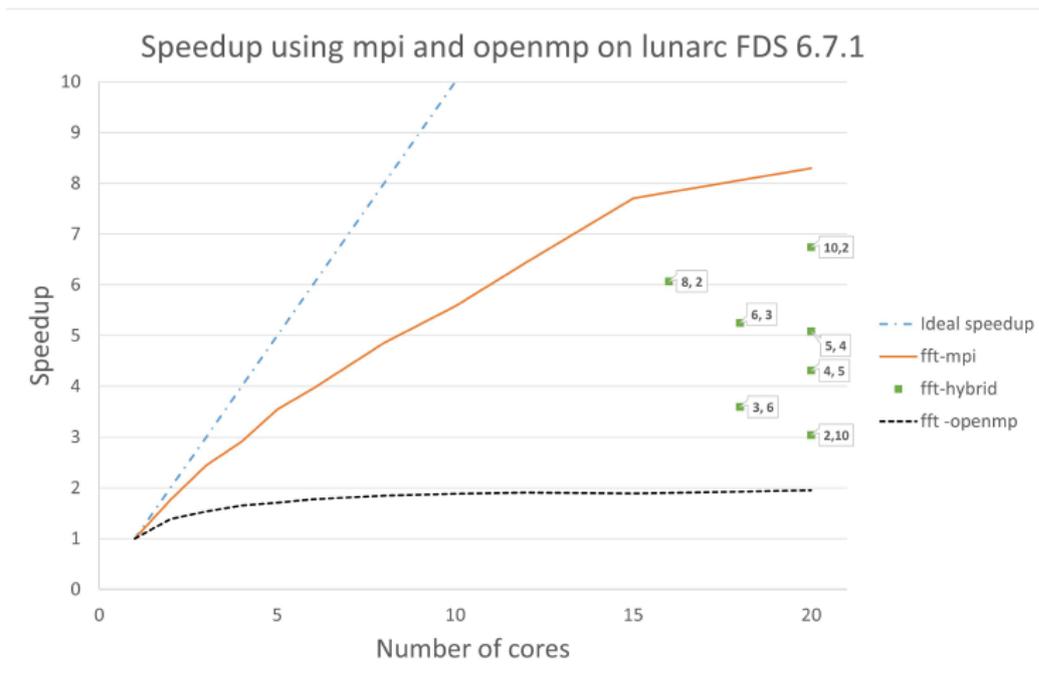
Each processor works on a separate task
(fds terms: Each processor work on a separate grid)



Hybrid mode



What is faster, openmp or mpi?



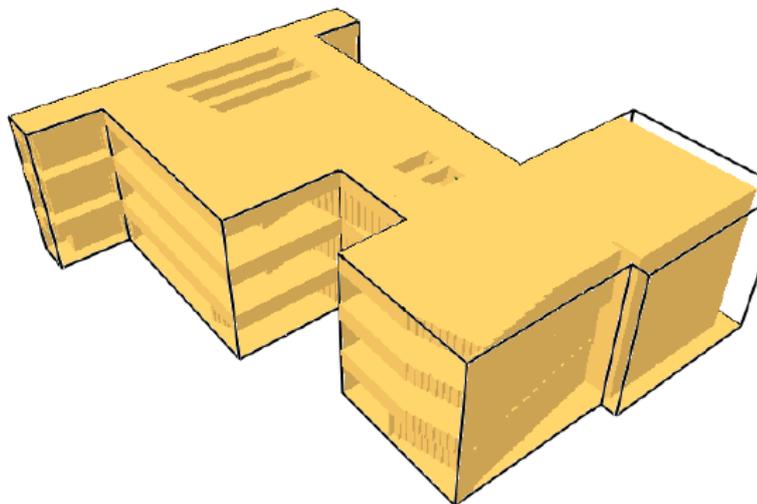
Processors tested

Name	Number of Processors x Cores per processor and (total cores)
Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2690 v2 @ 3.00GHz	2 x 10 (20)
Intel Xeon Platinum P-8124 @ 3.00GHz (Skylake)@ 3.0 GHz	2 x 18 (36)
Intel Xeon Platinum 8168 (Skylake)@ 2.7 GHz	2 x 18 (36)
AMD EPYC 7551@ 2.0 GHz	1 x 60 (60)
AMD EPYC 7702P 2GHz,64C	1 x 64 (64)



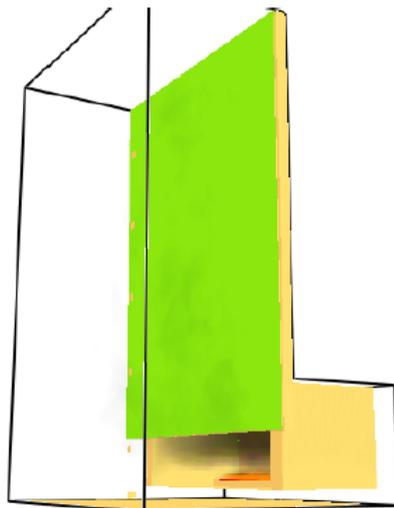
Shopping centre

10 meshes
3,615,479 cells



Façade

13 meshes
1,036,800 cells

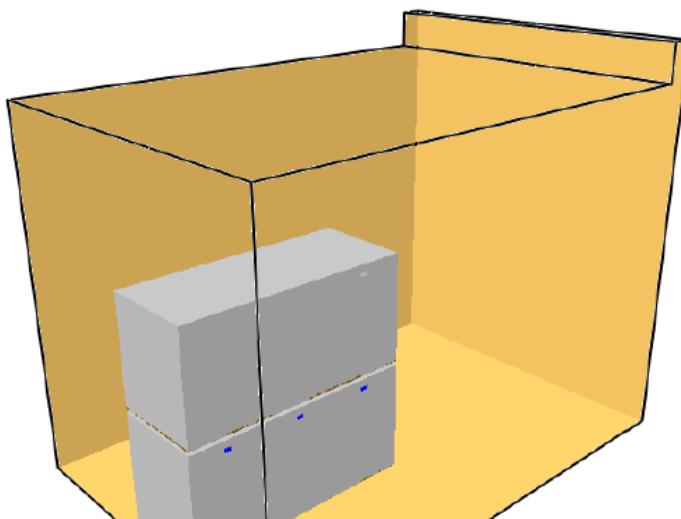


Time: 88.4



Containers

10 meshes
2,897,880 cells

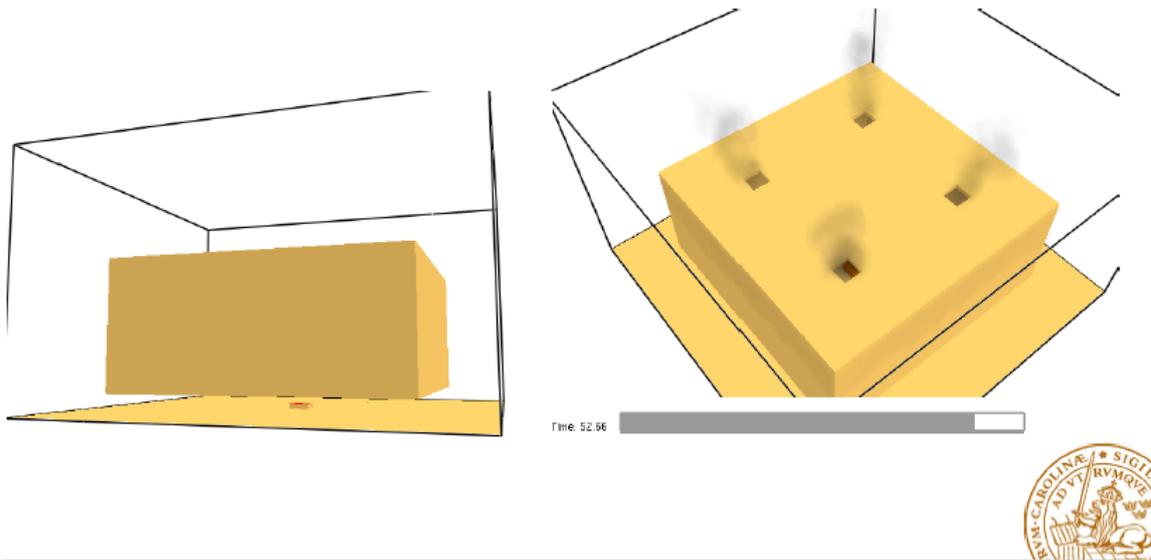


Time: 0.0

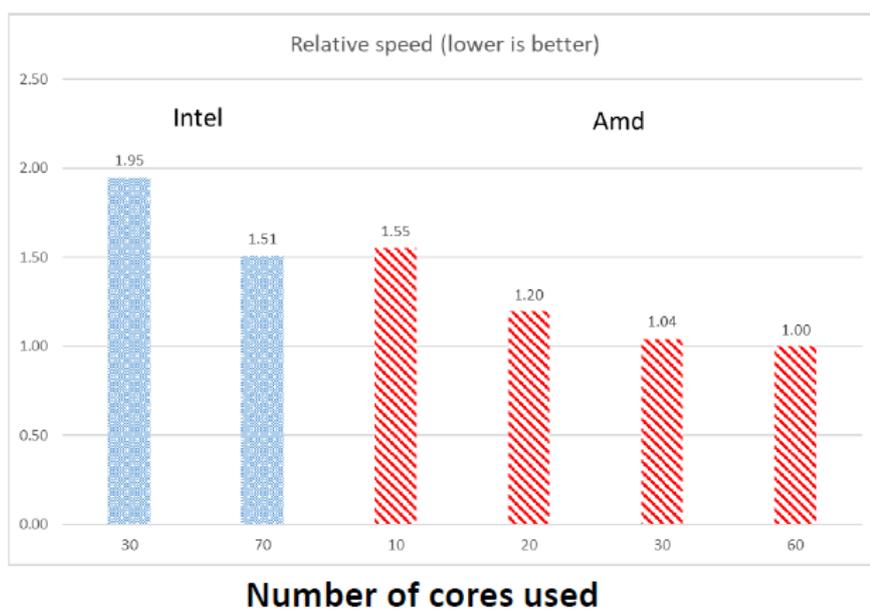


Fire ventilation

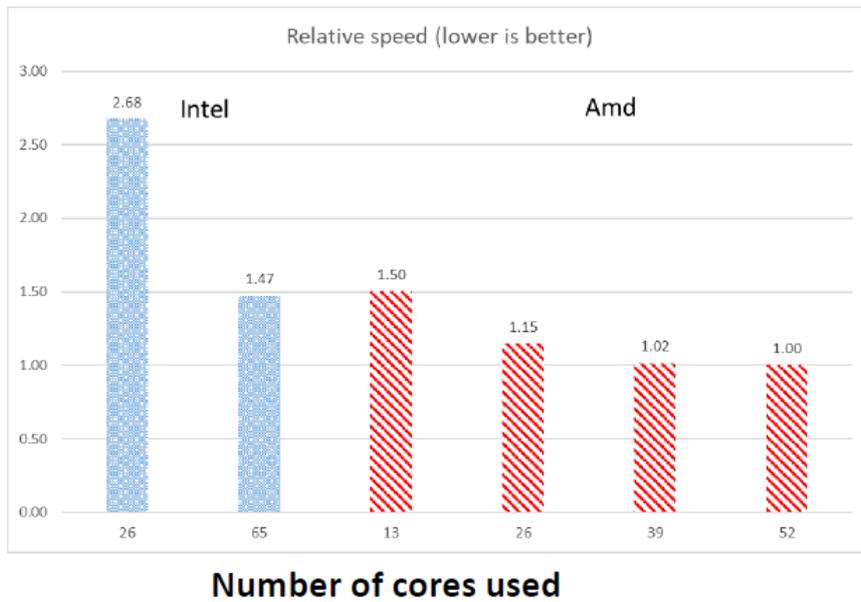
10 meshes
1,000,000 cells



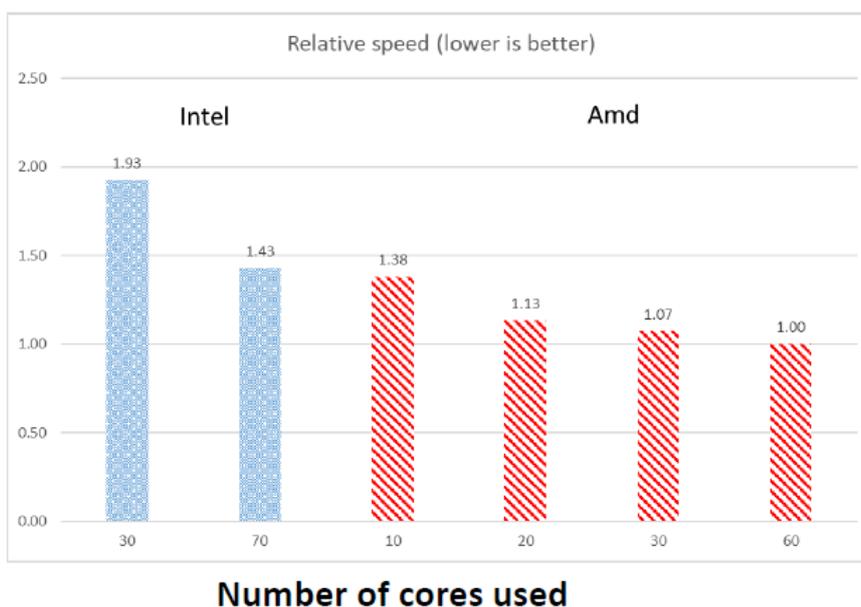
Shopping centre (10 meshes)



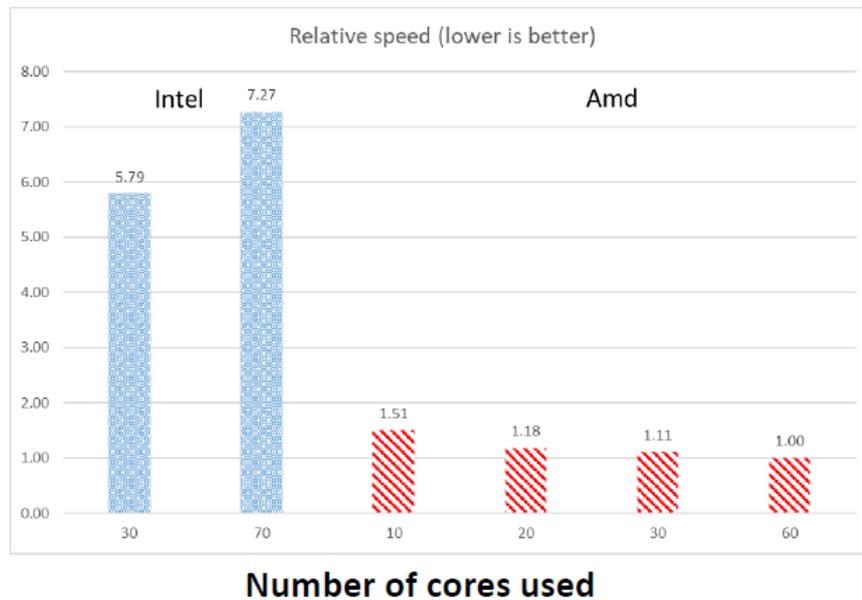
Facades (13 meshes)



Containers (10 meshes)



Fire ventilation (10 meshes)



Core hours (cost, green is best)

	Intel		Amd			
	3	7	1	2	3	6
Number of OpenMP processes pr MPI	3	7	1	2	3	6
Shopping Centre	23.0	41.6	6.1	9.4	12.3	23.6
Facade*	91.9 (2)	126.3 (5)	25.8	39.5	52.3	68.7
Containers	56.3	97.6	13.4	22.1	31.3	58.4
Fire Ventilation	58.5	171.3	5.1	7.9	11.2	20.2

*For the intel processor and the façade, 2 and 5 OpenMP pr MPI



Results, Computing speed

- When using 3 times as many cores on the Intel processor (OpenMP=3) compared to the AMD processor (OpenMP=1), the AMD processor is 3 to 4 times faster
- For three of the cases using 7 times as many cores (OpenMP=7) on the Intel processor as on the AMD processor gives equivalent speed



Results, Core hours

- It is cheaper (in core hours) to use the AMD processor compared to the Intel processor, even if the double amount of OpenMP processes are used on the AMD processor
 - So even if OpenMP does not give a big speed increase it will not cost more than the Intel processor and still give a speed increase



Conclusion

- This cases study with four different simulations showed that the new generation of AMD processors (EPYC) are faster than the current Intel server processors for running FDS



Thank you

Mail: bjarne.husted@brand.lth.se

Twitter: @bjarnehusted



Benjamin Schröder:

Brandsimulation und Holzbau: Was geht (nicht)?

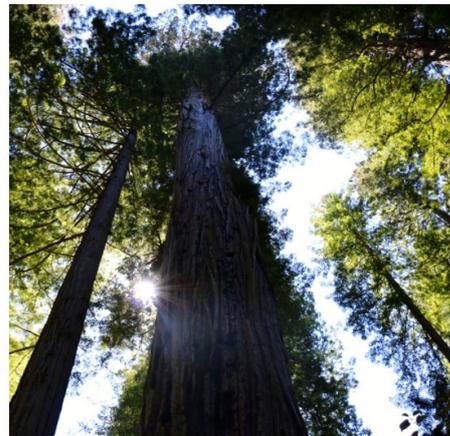
Impulsvortrag

Brandsimulation und Holzbau: Was geht (nicht)?

FDS Usergroup 2021 | Benjamin Schröder | 07.05.2021

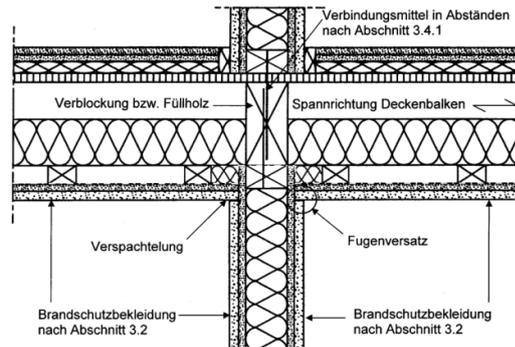
Baustoff Holz.

- Beton: **8 %** der globalen Treibhausgasemissionen
- Günstige CO₂-Bilanz
- Nachwachsender Rohstoff
- Verfügbarkeit, Baulogistik
- Gewicht
- Raumklima



M-HFHolzR 2004.

- Gebäude, deren tragende, aussteifende oder raumabschließende Teile aus Holz oder Holzwerkstoffen bestehen
- Holztafel-, Holzrahmen- und Fachwerkbauweise
- Max. Anforderungsniveau: hochfeuerhemmend (Gebäudeklasse 4)



Derweil in den Bundesländern.

(3) Abweichend von Absatz 2 Satz 3 sind tragende oder aussteifende sowie raumabschließende Bauteile, die hochfeuerhemmend oder feuerbeständig sein müssen, aus brennbaren Baustoffen zulässig, wenn die geforderte Feuerwiderstandsdauer nachgewiesen wird und die Bauteile so hergestellt und eingebaut werden, dass Feuer und Rauch nicht über Grenzen von Brand- oder Rauchschutzbereichen *Rauchabschnitten*, insbesondere Geschosstrennungen, hinweg übertragen werden können.

Absatz 3

Dem Bau- und Werkstoff Holz kommt große ökologische und klimapolitische Bedeutung zu. Im Vergleich zu anderen Materialien ist Holz ein nachwachsender Rohstoff, der einen wegweisenden Beitrag zur ressourcenschonenden und nachhaltigen Entwicklung des Bauwesens leistet.

Der neu eingefügte Absatz 3 dient der Erweiterung der Möglichkeiten zur Verwendung von Holz im Hochbau. Durch Absatz 3 wird zugelassen, dass Decken sowie tragende und aussteifende Wände und Stützen, die als hochfeuerhemmende Bauteile (das heißt mit der Feuerwiderstandsfähigkeit von 60 Minuten) oder als feuerbeständige Bauteile (Feuerwiderstandsfähigkeit von 90 Minuten) ausgeführt werden müssen, aus brennbaren Baustoffen (zum Beispiel Holz) und auch ohne nichtbrennbare Brandschutzbekleidung bestehen dürfen, soweit die erforderliche Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten bzw. 90 Minuten nachweislich erreicht wird. Zusätzlich muss nachgewiesen werden, dass Feuer und Rauch nicht über Grenzen von Brand- oder Rauchschutzbereichen, insbesondere Geschosstrennungen, hinweg übertragen werden können. Dies kann auf unterschiedliche Weise erfolgen, zum Beispiel in Form einer bauaufsichtlichen Zulassung bzw. einer allgemeinen Bauartgenehmigung oder durch begleitende planerische Maßnahmen, wie der Installation einer selbsttätigen Feuerlöschanlage.

Die Änderung greift die im Gesetz an anderer Stelle verwendete Formulierung auf und dient der Klarstellung.

Dadurch wird auch bei Gebäuden der Gebäudeklassen 4 und 5 der Massivholzbau durchgängig ermöglicht und damit der Einsatzbereich von Holz aus Baustoff deutlich erweitert.

Quelle: Architektenkammer NRW,
Synopsis zur BauO NRW 2018 mit Begründung

MHolzBauR Entwurf 2020.

- Gebäudeklasse 4 und 5
- tragende, aussteifende oder raumabschließende Bauteile hochfeuerhemmend oder feuerbeständig
- Bauteile dürfen aus brennbaren Baustoffen bestehen
- Massivholzbauweise

Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise

– MHolzBauRL –

(Stand: 28. Oktober 2020)

Inhalt

1. Anwendungsbereich	3
2. Begriffe	3
2.1. Allgemeines	3
2.2. Standardgebäude	3
2.3. Fugen	3
2.4. Außenwandbekleidung	3
2.5. Brandsperrre	4
3. Allgemeine Anforderungen	4
3.1. Allgemeines	4
3.2. Nachweis der erforderlichen Feuerwiderstandsfähigkeit	4
3.3. Gebäudeabschlusswände	4
3.4. Dämmstoffe	4
3.5. Folien	4
4. Anforderungen an Bauteile in Holzrahmen- und Holztafelbauweise für Gebäude der Gebäudeklasse 4 mit feuerwiderstandsfähigen Bauteilen	5
4.1. Allgemeines	5
4.2. Brandschutzbekleidung	5
4.3. Wände und Wandscheiben	6
4.4. Decken	6
4.5. Stützen und Träger	7
4.6. Anordnungen von Stützen, Trägern, Wand- und Deckenbauteilen	7
4.6.1. Allgemeines	7
4.6.2. Anschlüsse von Wänden an Wände	9
4.6.3. Anschlüsse von Stützen und Stützen an Decken	9
4.7. Öffnungen für Türen, Fenster, sonstige Einbauten und Durchführungen	10
5. Anforderungen an Standardgebäude der Gebäudeklasse 4 und 5 mit feuerwiderstandsfähigen Bauteilen in Massivholzbauweise	11

Auf geht's!



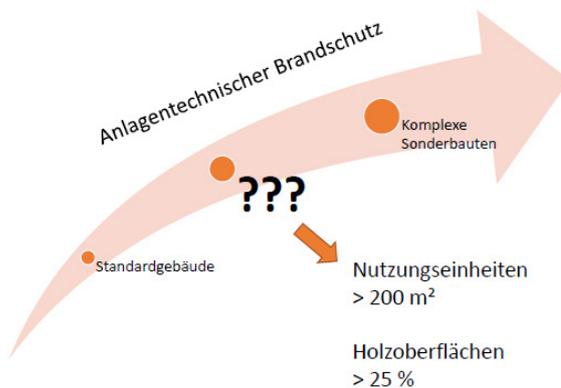
Quelle: C.F. Möller Architects

MHolzBauR.

Massivholzbauweise zulässig

- Nachweis erforderlicher Feuerwiderstandsfähigkeit
- Nutzungseinheiten **max. 200 m²**

- brandschutztechnisch wirksame Bekleidung brennbarer Bauteiloberflächen **JEDOCH**
- je Raum der Nutzungseinheit entweder die Decke oder maximal **25 %** aller Wände mit brennbaren Bauteiloberflächen zulässig

MHolzBauR.

Quelle: C.F. Møller Architects

TIMpuls.

görtzen
ingenieure



TIMpuls - Realbrandversuche - Versuch - V1

Übersicht TIMpuls Großbrandversuche – Jan/Feb 2021

	V0	V1	V2	V3	V4
Reinigungsfläche	4,5 m x 4,5 m x 2,4 m			4,5 m x 5,0 m x 2,4 m	
Grundfläche	20,25 m ²			40,5 m ²	
Öffnungsfaktor	0,094 m ²				
Öffnungsfläche	2,4 m x 2,2 m			4,2 m x 2,2 m	
Brandlast	1085 MJ/m ²				
Wand 1	100 mm BSP 2425 mm GKF	100 mm BSP 18 mm GF	150 mm BSP	140 mm Holztafel 2432,5 mm GF	150 mm BSP
Wand 2	100 mm BSP 2425 mm GKF	100 mm BSP 18 mm GF	140 mm Holztafel 2438 mm GF	140 mm Holztafel 2438 mm GF	140 mm Holztafel 2438 mm GF
Wand 3	100 mm BSP 2425 mm GKF	100 mm BSP 18 mm GF	150 mm BSP	140 mm Holztafel 2438 mm GF	140 mm Holztafel 2438 mm GF
Wand 4	100 mm BSP 2425 mm GKF	100 mm BSP 18 mm GF	140 mm Holztafel 2438 mm GF	140 mm Holztafel 2438 mm GF	140 mm Holztafel 2438 mm GF
Decke	180 mm Bertschtagel 2425 mm GKF	180 mm Bertschtagel	200 mm Holztafel 2438 mm GF	180 mm Bertschtagel	180 mm Bertschtagel
Innere Bauteile					2 Stützen 300x300 mm ² 1 Unterzug 300x200 mm ²

Logos: iBMB, MPA, TÜV, TÜM

Quelle: TU München

TIMpuls.

görtzen
ingenieure

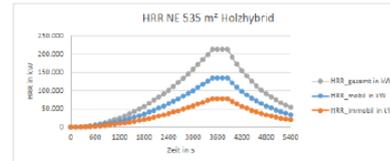
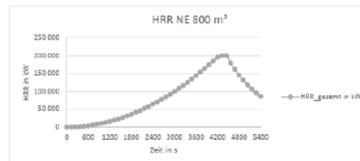


Quelle: TU München, eigener Zusammchnitt

Argumentative Überlegungen.

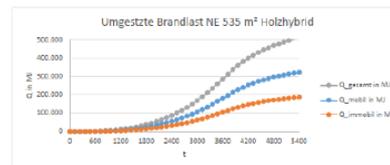
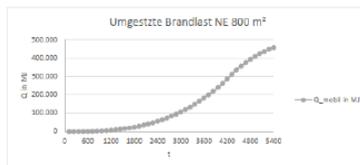
Nutzungseinheit Büro/Verwaltung 800 m² mit BMA

Q_{mob} 584 MJ/m²
Q_{gesamt} **557.800**



Nutzungseinheit Büro/Verwaltung 535 m² mit BMA + 45 % Holzanteile

Q_{mob} 821.000 MJ
Q_{gesamt} 186.000 MJ
Q_{gesamt} **567.800**



Brandsimulation.

- Mobile vs. Immobile Brandlasten
- EC, VDI 6019 o.ä.

▪ DIN 18230-1

6.4.4 Ungeschützte Brandlasten

Zu berücksichtigen sind alle brennbaren Einrichtungen, Betriebs- und Lagerstoffe, Verpackungen sowie alle brennbaren Baustoffe von Bauteilen einschließlich Bekleidungen (Baustoffklasse B nach DIN 4102-1), soweit im Folgenden nichts anderes bestimmt ist.

- Skalierung von Bemessungsbrandverläufen?
- IGNITION_TEMPERATURE??
- Komplexe Pyrolyse???

Tabelle 1. Brandintensitätskoeffizient (Parameter α nach VDS 2852)

Geschwindigkeit der Brandentwicklung	Brandintensitätskoeffizient α in kW/s ²
Langsam	0,0029
Mittel	0,012
Schnell	0,047
Sehr schnell	0,188

Tabelle 1. Fire intensity coefficient (parameter α in accordance with VDS 2852)

Rate of fire development	Fire intensity coefficient α in kW/s ²
Slow	0,0029
Medium	0,012
Fast	0,047
Very fast	0,188

Tabelle 2. Beispiele maximaler spezifischer Wärmefreisetzungsrate und Geschwindigkeiten der Brandentwicklung

Brandlast/Nutzung	Maximale spezifische Wärmefreisetzungsrate in kW/m ²	Geschwindigkeit der Brandentwicklung
Büros	500 ¹⁾	mittel ¹⁾
Holzstube	250 ¹⁾	mittel ¹⁾
Verkaufsstelle	500 ¹⁾	schnell ¹⁾
Ausstellung, Theater, Kinosaal, Bühne	500	schnell
Wohnung	500 ¹⁾	mittel ¹⁾
Museum	500	langsam
Brennender Satzschlüssel	400 ¹⁾	schnell
Holzpalette (1,2 m × 1,2 m × 0,14 m): Fracht: 0 % bis 12 %, geringe Beladung, Höhe: 0,5 m	1250 ¹⁾	mittel bis schnell
Gutliche Postkiste, Länge: 1,5 m	400 ¹⁾	schnell

Eure Meinung?

- Über welche Schutzziele, funktionale Anforderung und Leistungskriterien sprechen wir?
- Wie kann der Einfluss sichtbarer Holzanteile beim Raumbrand quantifiziert werden?
- Welchen Beitrag kann FDS hier leisten?
- Welche Rolle spielen die unterschiedlichen Nutzungen bzw. Brandlastdichten?
- Wo liegen die Anwendungsgrenzen?

Vielen Dank!

Kontakt

Benjamin Schröder
Görtzen Stolbrink & Partner mbB
Beratende Ingenieure für Brandschutz
Kalkar | Düsseldorf | Bremen | Berlin | Stralsund

Ludolfstraße 3, D-40597 Düsseldorf - Benrath
T +49 211 / 73 77 79 - 0
E benjamin.schroeder@goertzen-ingenieure.de

Web: www.goertzen-ingenieure.de, [Facebook](#), [Instagram](#)

Arne Schmidt:**Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen an einem Technikschränk auf die Ausbreitung eines Brandereignisses****Abstract:**

Der Personenverkehr auf der Schiene nimmt im Hinblick auf die Entwicklung der Pendlerzahlen und Staus auf deutschen Autobahnen, aber auch unter dem Gesichtspunkt klimapolitischer Ziele einen immer wichtigeren Stellenwert in unserer Gesellschaft ein. Dabei werden aufgrund der hohen Anzahl zeitgleich transportierter Fahrgäste besondere Anforderungen an Schienenfahrzeuge gestellt. Deshalb gibt es bei der Entwicklung dieser viele elementare und unverzichtbare Bestandteile, die es zu berücksichtigen gilt. Der Brandschutz ist einer davon. Durch ihn soll die Erhaltung von Menschenleben und Sachwerten gewährleistet werden. Um dies zu erreichen, ist auf Basis bestehender Brandschutzvorschriften für Schienenfahrzeuge die DIN EN 45545-2 entwickelt worden. Diese legt Brandschutzanforderungen an Werkstoffe und Komponenten fest. Ein wesentliches Ziel dieser Norm ist, dass im Falle eines Brandes die Brandausbreitung begrenzt wird, sodass sich Passagiere möglichst ohne fremde Hilfe in Sicherheit bringen können.

Zu diesem Zweck werden an Technikschränke, die nichtklassifizierte mechanische oder elektrische Komponenten einschließen, brandschutztechnische Anforderungen gestellt. Somit stellt ein Brand dieser Komponenten keine Gefahr für die Passagiere dar. Die Technikschränke durften bis vor kurzem keine Öffnungen aufweisen. In der DIN EN 45545-2:2020 werden jedoch erstmals Öffnungen zugelassen, wodurch sich die Fragestellung ergibt: Wie wirken sich bei einem Brand in einem Technikschränk unterschiedliche Anordnungen und Größen der Oberflächenöffnungen auf die Brandausbreitung aus? Ziel der Masterthesis ist es eine Aussage diesbezüglich und des daraus resultierenden Risikos für Passagiere zu treffen.

Zur Feststellung des Einflusses von Oberflächenöffnungen auf die Brandausbreitung, wurde der Zusammenhang zwischen den Öffnungen und der Wärmestrahlung im Brandfall untersucht. Dazu wurde ein Brandversuch und Brandsimulationen mit einem repräsentativen Technikschränk durchgeführt. Für das Vorgehen ist vorab die thermische Belastung der verbauten Komponenten, die Anordnung und Größe der normativ zugelassenen Öffnungen in den Schränken und die Messpunkte der Wärmestrahlung festgelegt worden. Darauf folgte die Durchführung des Versuchs.

Im Anschluss wurden die Brandsimulationen erstellt. Mit Hilfe der CFD-Software „Fire Dynamics Simulator“ sollten die Brandversuche zur Validierung der erstellten Simulation zunächst nachgestellt werden. Aktuell wird die Simulation zur Validierung finalisiert. Es folgen im Weiteren Simulationen mit weiteren Anordnungs- und Größenvarianten der Öffnungen. Zum Schluss werden die Simulationsergebnisse analysiert, um eine Aussage bezüglich des Zusammenhangs der Öffnungen und Wärmestrahlung sowie deren Auswirkung auf die Brandausbreitung zu treffen. Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit lassen nicht nur eine Beurteilung der auftretenden Änderung der DIN EN 45545-2:2020 bezüglich der Brandausbreitung und des Risikos für die Passagiere zu. Sie können ebenfalls als analytische Grundlage für zukünftige Normanpassungen bezüglich der Anforderungen an Technikschränke dienen.



Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Gliederung

- Ausgangssituation
- Vorgehen
- Vorstellung der Versuche
- Versuchsergebnisse
- Aktueller Stand

Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Ausgangssituation

- EU-Richtlinie 2016/797: Regelung des transeuropäischen Schienenverkehrs
- TSI → technische Konkretisierung
- TSI → DIN EN 45545
 - Spezifikationen für Brandschutz in Schienenfahrzeugen
 - Teil 2: Anforderungen an das Brandverhalten

Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Ausgangssituation

- DIN EN 45545-2
 - Anforderungen an nichtklassifizierte Technikschränke
- DIN EN 45545-2: 2016 → 2020
 - Erstmalige Zulassung von Öffnungen in nichtklassifizierten Technikschränke
- Wie wirken sich bei einem Brand in einem Technikschränk unterschiedliche Anordnungen und Größen der Oberflächenöffnungen auf die Brandausbreitung aus?

Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Ausgangssituation

- Wie wirken sich bei einem Brand in einem Technikschränk unterschiedliche Anordnungen und Größen der Oberflächenöffnungen auf die Brandausbreitung aus?
- Bisher keine Brandanalytischen Erkenntnisse
- Spaltung von Expertenmeinungen
- Ziel der Thesis: Erste Aussage

Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Vorgehen

- Literaturrecherche:
 - genormte bzw. repräsentative Bauarten für Technikschränke
- Kontaktaufnahmen zu Herstellern
 - Klärung Sachverhalt und Zusammenarbeit
- Entwicklung des Brandszenarios
 - Ermittlung Wärmestrahlung
 - Thermische Belastung der Schrankwände
 - Innentemperaturen

Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Vorgehen

- Versuchsdurchführung
 - Ermittlung der Kennwerte
 - Vergleichswerte mit und ohne Öffnungen
- Erstellung der Brandsimulation
 - Nachstellen der Versuche → Validierung
 - Simulationen mit Anordnungs- und Größenvarianten
- Auswertung der Simulationsergebnisse

Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Vorstellen der Versuche



Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Vorstellen der Versuche

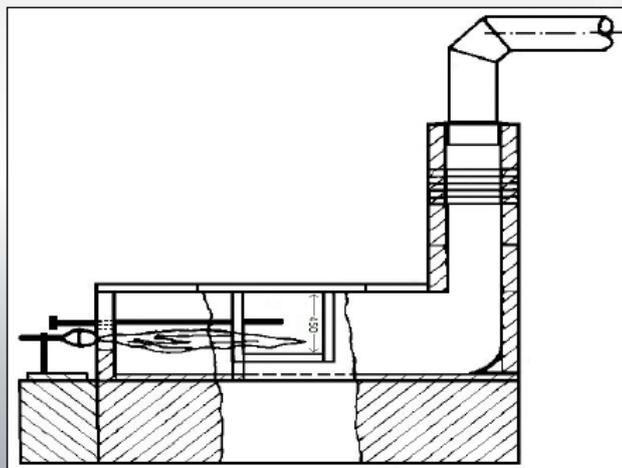


Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Vorstellen der Versuche

- Brandquelle: Kleinprüfstand gemäß DIN 4102-8



Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Vorstellen der Versuche



Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Vorstellen der Versuche



Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Vorstellen der Versuche



Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Vorstellen der Versuche



Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Versuchsergebnisse



Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Versuchsergebnisse

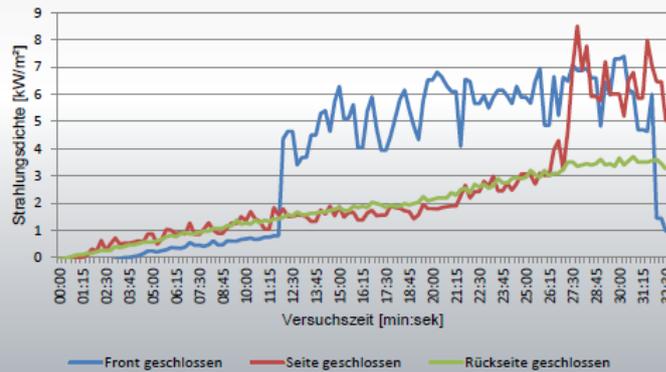


Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Versuchsergebnisse

- Strahlungswerte:
 - Geschlossene Seite im Bereich bis 8 kW/m², Peak 8,8 kW/m²
 - Relativ geringe Abweichung der einzelnen Kurven

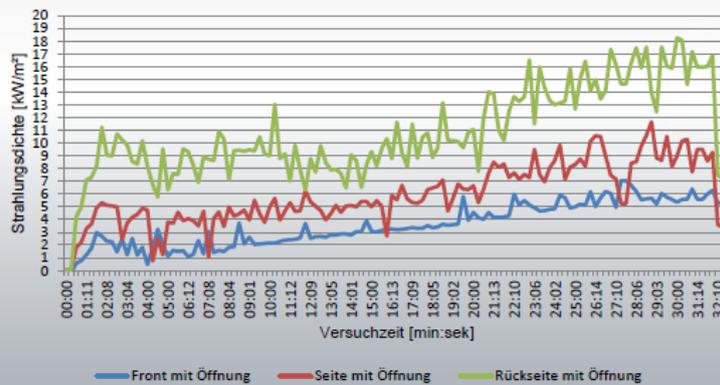


Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



Versuchsergebnisse

- Strahlungswerte:
 - offene Seite im Bereich bis 18 kW/m², Peak 18,25 kW/m²
 - deutliche Abweichung der einzelnen Kurven

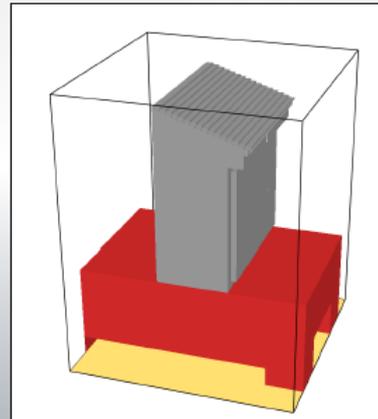


Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses

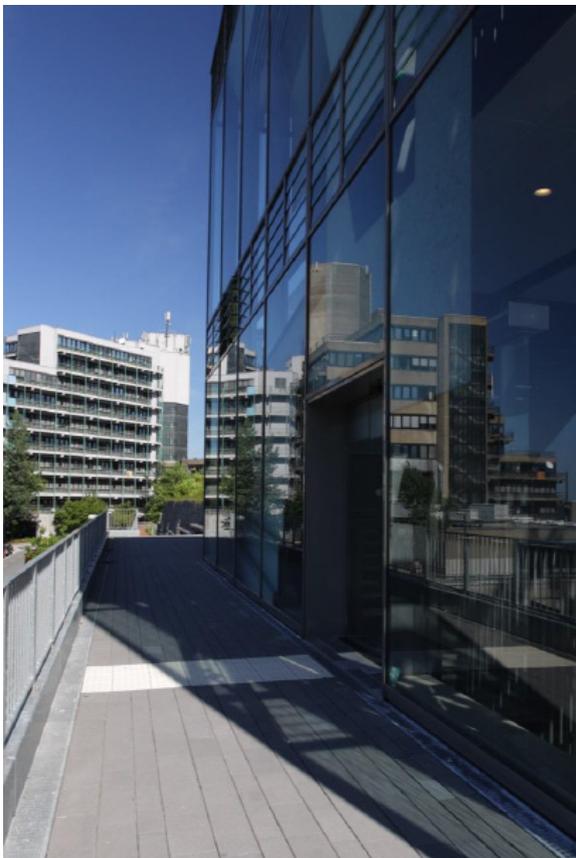


Aktueller Stand

- Versuche durchgeführt und ausgewertet
- Validierungssimulation
 - Erste Teilergebnisse liegen vor
 - Abweichung zu Versuchsergebnissen
 - Anpassung der Simulation
 - Aktuell in Berechnungsphase



Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Oberflächenöffnungen auf die Ausbreitung eines Brandereignisses



**Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!**



Susanne Kilian:

Separabel versus inseparabel - Die FDS Druck-Gleichung in unterschiedlicher Gestalt

Abstract:

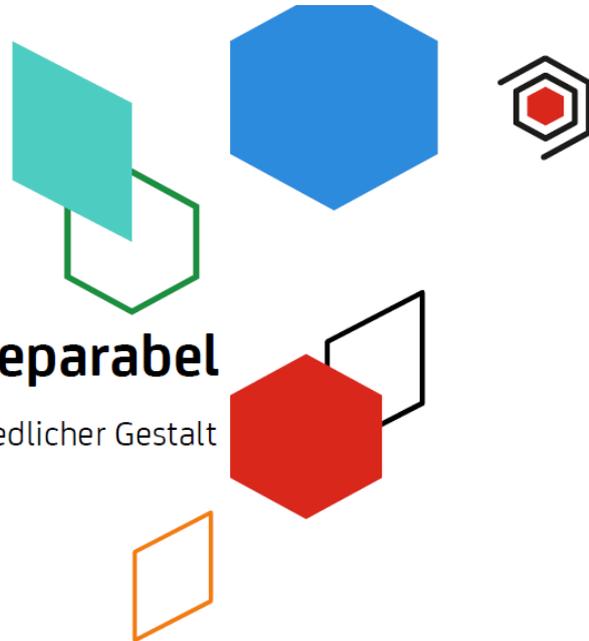
Eine wesentliche Design-Entscheidung innerhalb von FDS beruht auf der separablen Formulierung der Poisson-Druck-Gleichung. Die grundlegende Idee dahinter ist, eine Matrixdarstellung innerhalb des Druck-Gleichungssystems zu erzielen, die für möglichst alle Zeitschritte gleich ist bzw. allzeit konstante Einträge besitzt.

Der größte Vorteil dieser Strategie besteht in der lokalen Verwendbarkeit hochoptimierter FFT-Verfahren, die in FDS standardmäßig zum Einsatz kommen. Hinsichtlich seiner Laufzeiteffizienz ist dieser FFT-Ansatz alternativen Verfahrensansätzen für die meisten Anwendungsfälle deutlich überlegen.

Ein großer Nachteil besteht jedoch darin, dass aktuelle Veränderungen der Dichte nur mit Verzögerung Einzug in die pro Zeitschritt zu lösenden Gleichungssysteme finden. Wie ein Blick ins offizielle Diskussionsforum zeigt, führt dieser Sachverhalt insbesondere im Fall langer, enger Tunnelgeometrien immer wieder zu numerischen Instabilitäten, da die turbulente Dynamik aufgrund der vereinfachten Gleichungsdarstellung nicht in adäquater Geschwindigkeit berücksichtigt werden kann.

Einzigster Ausweg aus diesem Dilemma ist die Verwendung eines inseparablen Druck-Gleichungssystems mit variablen Matrixeinträgen. Nur so können aktuelle Veränderungen der Dichte 'Zeitschritt-genau' berücksichtigt werden, allerdings um den Preis, dass fortlaufend neue Matrixeinträge erzeugt werden müssen.

In engmaschigem Austausch mit den Hauptentwicklern wurden erste Konzepte zu diesem alternativen Ansatz in jüngster Zeit in ScaRC integriert und an unterschiedlichen Testfällen validiert. Der Vortrag illustriert die oben genannten Hintergründe sowie den aktuellen Stand der Entwicklung.



Separabel versus inseparabel

Die FDS-Druckgleichung in unterschiedlicher Gestalt

Dr. Susanne Kilian

hhpberlin – Ingenieure für Brandschutz

10245 Berlin

Agenda



- 1 Parameter für die Druckgleichung
- 2 Inseparable Druckgleichung
- 3 Separable Druckgleichung
- 4 Neuer Parameter für Tunnel-Fälle



Iterative Korrektur pro Zeitschritt



```
&PRES VELOCITY_TOLERANCE = ..., MAX_PRESSURE_ITERATIONS = ..., PRESSURE_TOLERANCE = ...
```

Genauigkeit Geschwindigkeitsnormalen
entlang Meshgrenzen und Obstructions
Default $\delta x/2$

Maximale Anzahl Iterationen
für iterative Druckkorrektur
Default 10

Genauigkeit iterativer Druckterm
über Zeitschritte hinweg
Default $20/\delta x^2$



Korrektur Geschwindigkeitsfeld



```
&PRES VELOCITY_TOLERANCE = ..., MAX_PRESSURE_ITERATIONS = ..., PRESSURE_TOLERANCE = ...
```

Genauigkeit Geschwindigkeitsnormalen
entlang Meshgrenzen und Obstructions
Default $\delta x/2$

Maximale Anzahl Iterationen
für iterative Druckkorrektur
Default 10

Genauigkeit iterativer Druckterm
über Zeitschritte hinweg
Default $20/\delta x^2$

Betrifft die Parallelisierung und die Immersed Boundary Methode

Bereits in vorangehenden Vorträgen behandelt



Korrektur Druckterm



```
&PRES VELOCITY_TOLERANCE = ..., MAX_PRESSURE_ITERATIONS = ..., PRESSURE_TOLERANCE = ...
```

Genauigkeit Geschwindigkeitsnormalen
entlang Meshgrenzen und Obstructions
Default $\delta x/2$

Maximale Anzahl Iterationen
für iterative Druckkorrektur
Default 10

Genauigkeit iterativer Druckterm
über Zeitschritte hinweg
Default $20/\delta x^2$

Betrifft das spezielle Design der Druckgleichung in FDS

Wird im heutigen Vortrag behandelt





Impulsgleichung – Newtons 2. Gesetz



Masse * Beschleunigung
Kraft

$$\rho \left[\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right] + \nabla \tilde{p} = (\rho - \rho_0) \mathbf{g} + \mathbf{f}_b + \nabla \cdot \tau_{ij}$$

↑
↑
↑
↑
↑

Vektoridentität
 $\frac{\nabla |\mathbf{u}|^2}{2} - \mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega}$
Druckgradient
(treibt Strömung an)
Einfluss Gravitation
(inkl. Hintergrunddruck)
Einfluss Partikel
(wie Wassertropfen)
Viskosität
(Turbulenzmodellierung)



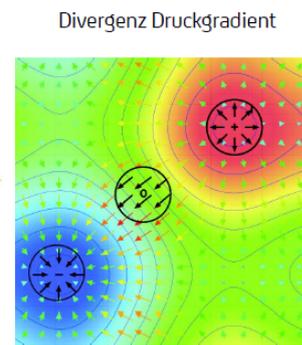
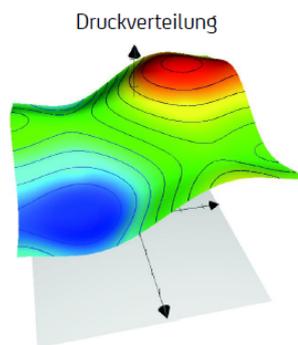
Inseparable Druckgleichung - Kurzform



Divergenz des Druckgradienten entspricht einwirkender Kraft

$$\nabla \cdot \left[\frac{1}{\rho} \nabla \tilde{p} \right] = R_I$$

Maß für die Auswirkung der hydrodynamischen und thermodynamischen Effekte auf das Strömungsfeld



Inseparable Druckgleichung – 1D



Betrachten wir der Einfachheit halber nur die Ableitung in x

$$\nabla \cdot \left[\frac{1}{\rho} \nabla \tilde{p} \right] \xrightarrow{1D} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial x} \right]$$

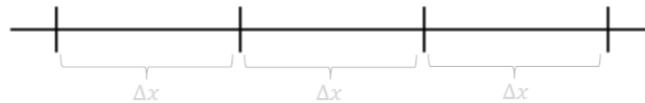
Divergenzoperator in 3D

$$\nabla \cdot = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$$

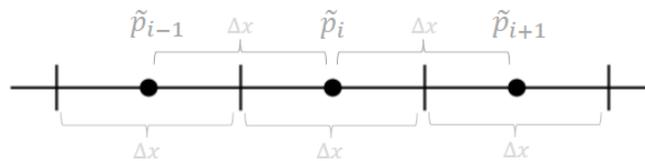
Dichteterm in der äußeren Ableitung enthalten !



Simple äquidistantes Gitter in 1D



Herleitung der Differenzenquotienten

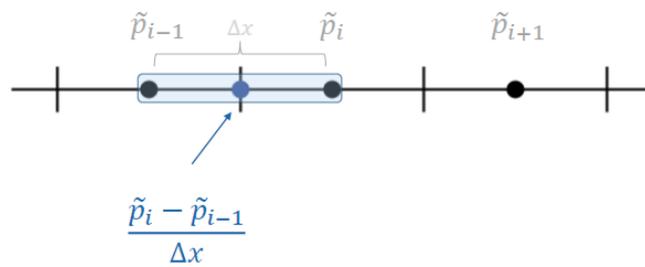


Druckwerte in
Zellmitten



1. Differenzenquotient

$$\frac{\partial \tilde{p}}{\partial x}$$

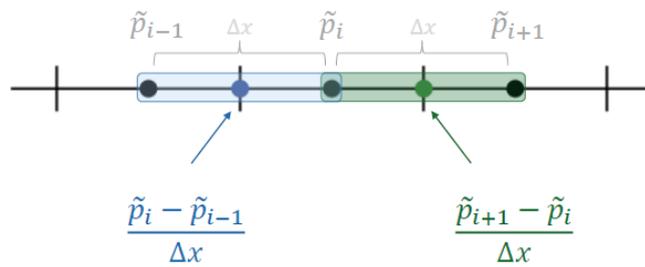


Druckwerte in Zellmitten



1. Differenzenquotient

$$\frac{\partial \tilde{p}}{\partial x}$$



Druckwerte in Zellmitten

1. Ableitungen in Gitterpunkten

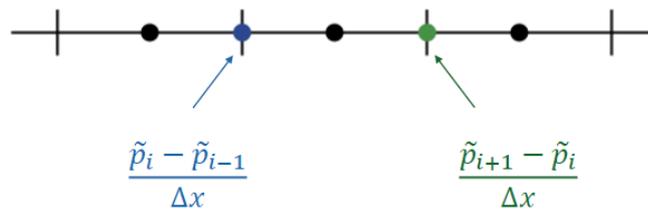


2. Differenzenquotient

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial x} \right]$$



Was ist mit dem Dichte-Term innerhalb der 2. Ableitung?



1. Ableitungen
in Gitterpunkten

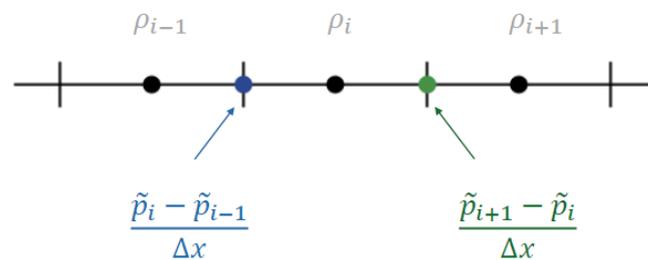


2. Differenzenquotient

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial x} \right]$$



Was ist mit dem Dichte-Term innerhalb der 2. Ableitung?



Dichtewerte in
Zellmitten

1. Ableitungen
in Gitterpunkten

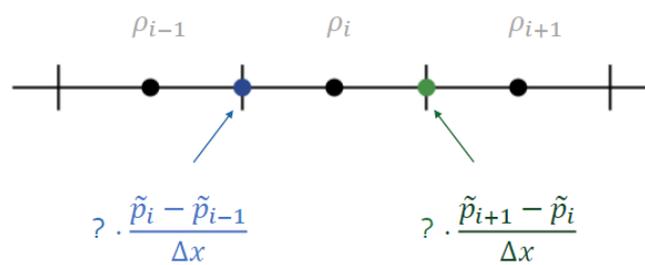


2. Differenzenquotient

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial x} \right]$$



Was ist mit dem Dichte-Term innerhalb der 2. Ableitung?



Dichtewerte in Zellmitten

Passender Skalierungsfaktor ?

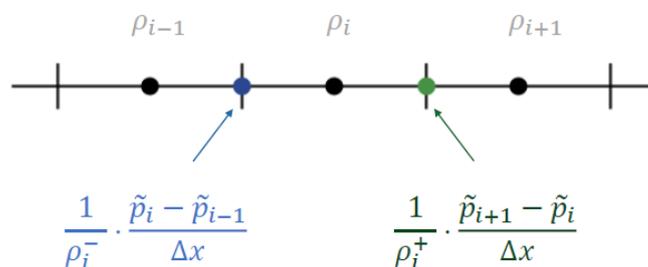


2. Differenzenquotient

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial x} \right]$$



Was ist mit dem Dichte-Term innerhalb der 2. Ableitung?



Dichtewerte in Zellmitten

Dichte-Mittelwerte in Gitterpunkten

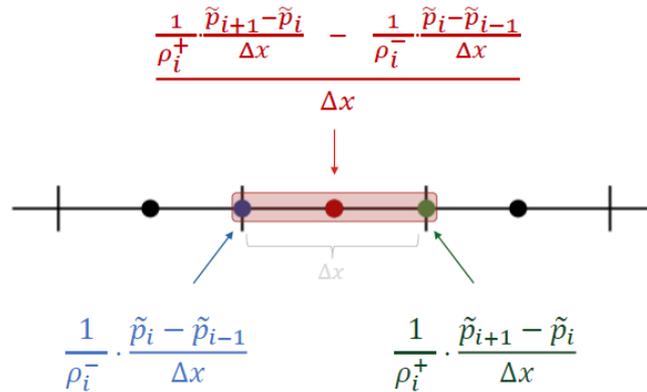
$$\rho_i^- := \frac{1}{2}(\rho_{i-1} + \rho_i)$$

$$\rho_i^+ := \frac{1}{2}(\rho_i + \rho_{i+1})$$



2. Differenzenquotient

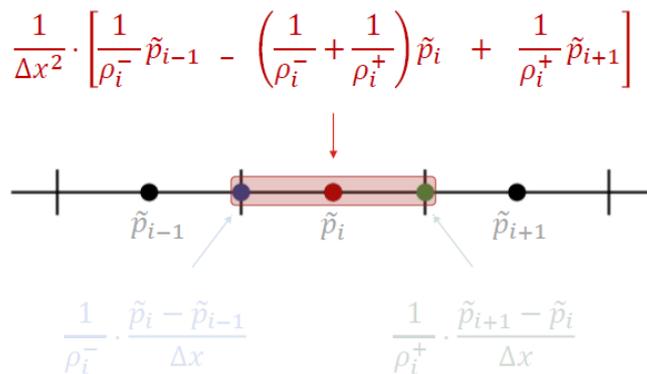
$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial x} \right]$$



2

2. Differenzenquotient

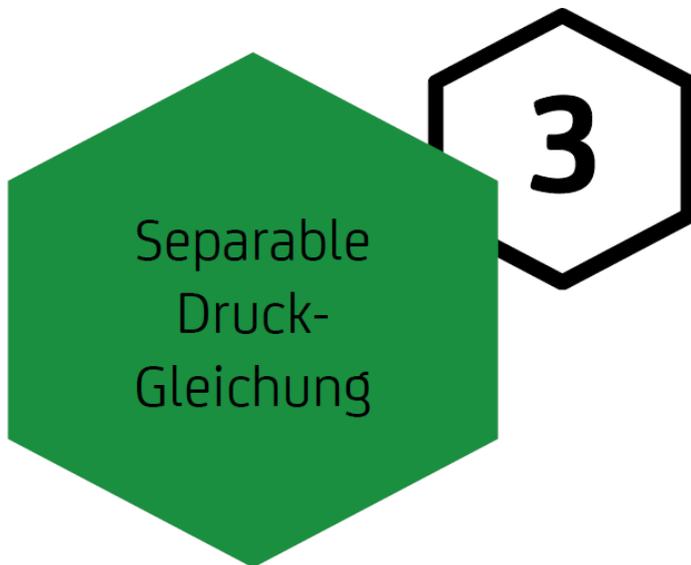
$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial x} \right]$$



Umgeformt

Druckwerte in Zellmitten

2



Herleitung separable Druckgleichung



Wir gehen nochmal zurück zur inseparablen Druckgleichung

$$\nabla \cdot \left[\frac{1}{\rho} \nabla \tilde{p} \right] = - \frac{\partial(\nabla \cdot \mathbf{u})}{\partial t} - \nabla \cdot \mathbf{F}_A - \frac{\nabla^2 |\mathbf{u}|^2}{2}$$

Herleitung separable Druckgleichung



Und betrachten nur die relevanten Terme

$$\nabla \cdot \left[\frac{1}{\rho} \nabla \tilde{p} \right] = - \frac{\partial(\nabla \cdot \mathbf{u})}{\partial t} - \nabla \cdot \mathbf{F}_A - \frac{\nabla^2 |\mathbf{u}|^2}{2}$$

3

Herleitung separable Druckgleichung



Für den Druckterm nehmen wir eine Zerlegung vor

$$\nabla \cdot \left[\frac{1}{\rho} \nabla \tilde{p} \right] = - \frac{\partial(\nabla \cdot \mathbf{u})}{\partial t} - \nabla \cdot \mathbf{F}_A - \frac{\nabla^2 |\mathbf{u}|^2}{2}$$

$$\underbrace{\nabla \cdot \left(\frac{\tilde{p}}{\rho} \right)}_{\text{Produktregel}} = \nabla \left(\frac{\tilde{p}}{\rho} \right) - \tilde{p} \nabla \left(\frac{1}{\rho} \right)$$

3

Herleitung separable Druckgleichung



Nun wechseln ein paar Terme die Seite

$$\nabla \cdot \left[\frac{1}{\rho} \nabla \tilde{p} \right] = - \frac{\partial(\nabla \cdot \mathbf{u})}{\partial t} - \nabla \cdot \mathbf{F}_A - \frac{\nabla^2 |\mathbf{u}|^2}{2}$$

$$\nabla \left(\frac{\tilde{p}}{\rho} \right) - \tilde{p} \nabla \left(\frac{1}{\rho} \right)$$

Bleibt links

3

Separable Druckgleichung



So gelangen wir zur neuen Form

$$\nabla^2 \left[\frac{\tilde{p}}{\rho} + \frac{|\mathbf{u}|^2}{2} \right] = - \frac{\partial(\nabla \cdot \mathbf{u})}{\partial t} - \nabla \cdot \mathbf{F}_A + \nabla \cdot \left[\tilde{p} \nabla \left(\frac{1}{\rho} \right) \right]$$

H $-\mathbf{F}_B$

Bernoulli Druck Barokliner Term

3

Und was bringt uns das ?



- Dichtewerte in Matrix nicht enthalten → **Konstante Matrixeinträge !**

FFT-Löser kann angewendet werden

- Matrixwerte pro Zeitschritt immer gleich → **Kein ständiger Matrixaufbau nötig !**

Geringerer Aufwand pro Zeitschritt

2

Aber nun haben wir eine Inkonsistenz



Im Zeitschritt n soll erst zum Druck \tilde{p} gelöst werden !!

$$H = \frac{\tilde{p}}{\rho} + \frac{|\mathbf{u}|^2}{2}$$

$$\nabla^2 H = \dots + \nabla \cdot \left[\tilde{p} \nabla \left(\frac{1}{\rho} \right) \right]$$

\tilde{p} enthält

\tilde{p} ist beim Aufbau der rechten Seite noch gar nicht bekannt!

3

Verzögertes Gleichungssystem



In der rechten Seite kann nur \tilde{p} vom letzten Zeitschritt genommen werden !

$$H = \frac{\tilde{p}}{\rho} + \frac{|\mathbf{u}|^2}{2}$$

$$\nabla^2 H = \dots + \nabla \cdot \left[\tilde{p}^{alt} \nabla \left(\frac{1}{\rho} \right) \right]$$

\tilde{p} ↑ enthalten

Wir nehmen fälschlicherweise unterschiedliche Werte rechts und links!

3

Iterative Korrektur



Angleichen durch Druckiteration zur PRESSURE_TOLERANCE

$$H = \frac{\tilde{p}}{\rho} + \frac{|\mathbf{u}|^2}{2}$$

$$\nabla^2 H = \dots + \nabla \cdot \left[\tilde{p}^{alt} \nabla \left(\frac{1}{\rho} \right) \right]$$

\tilde{p} ↑ enthalten

Je nach Situation sind mehrere iterative Korrekturschritte notwendig

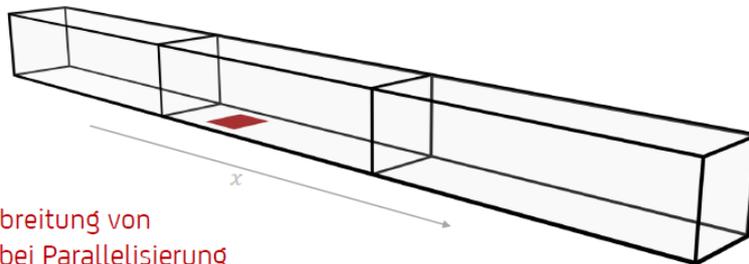
3



Probleme bei Tunnel-Berechnungen



Mögliche Instabilitäten bei langen Tunnel-Geometrien



Verzögerte Ausbreitung von
Informationen bei Parallelisierung

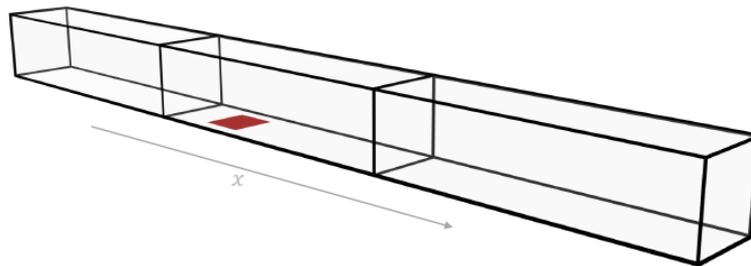
Inkonsistenzen mit baroklinem Effekt



Recheneffiziente Verbesserung möglich?



Wie kann wenigstens eine grobe Druckinformation längs übertragen werden?

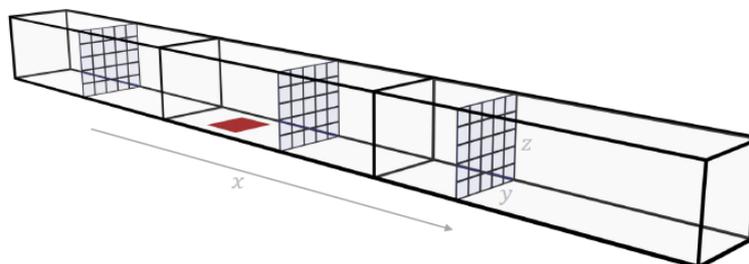


4

Recheneffiziente Verbesserung möglich?



Idee: Verwende Korrektur nur in x-Richtung



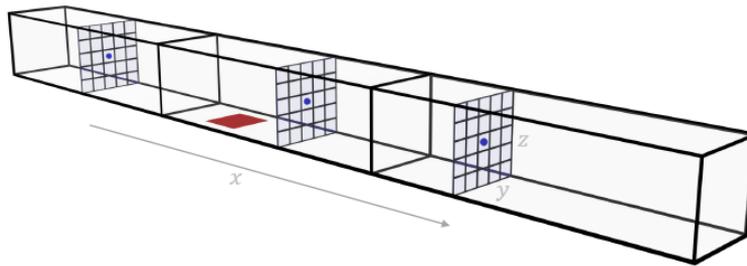
→ Betrachte zellweise alle y-z-Gitterebenen in x-Richtung

4

Recheneffiziente Verbesserung möglich?



Idee: Verwende Korrektur nur in x-Richtung



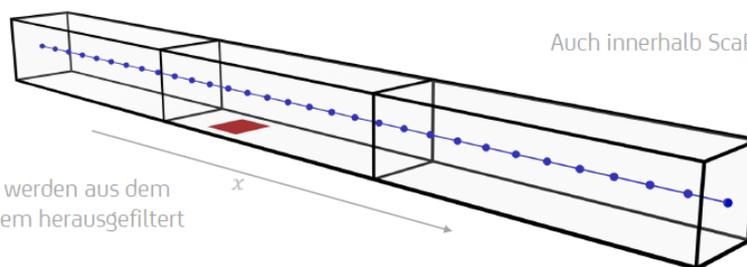
→ Bilde Mittelwerte der rechten Seite des Drucksystems für jede y-z-Ebene



Zusätzliche 1D-Druckgleichung



Kombiniere ‚Globale 3D-Lösung‘ mit ‚1D-Lösung zu den Mittelwerten‘



Auch innerhalb ScaRC möglich

Diese Mittelwerte werden aus dem globalen 3D Problem herausgefiltert

→ Durchschnittliches Druckprofil in Längsrichtung wird global erfasst



Spezifikation und Eigenschaften



```
&PRES TUNNEL_PRECONDITIONER = .TRUE., MAX_PRESSURE_ITERATIONS = 20
```

Mindestens!

Vorteile

- Kleines 1D-System, das ohne große Kosten auf allen Meshes gleichzeitig gelöst werden kann
- Beschleunigt in der Regel die Konvergenzgeschwindigkeit des 3D-Lösers für Tunnelfälle

Nachteile

- Funktioniert ausschließlich für Mesh-Zerlegungen in nur EINE Richtung (Konvention x-Richtung)
- Nur grob gemittelte Längsinformationen (weiterhin Verwirbelungen über Meshgrenzen)



„Pressure Considerations in Long Tunnels“



Mögliche Maßnahmen bei Instabilitäten

- Reduziere PRESSURE_TOLERANCE und VELOCITY_TOLERANCE (etwa 1/5 oder 1/10 des Defaultwertes)
- Erhöhe gleichzeitig MAX_PRESSURE_ITERATIONS !!
- Verwende TUNNEL_PRECONDITIONER = .TRUE.
 - Nur möglich falls eindimensionale Mesh-Zerlegung (setze dann MAX_PRESSURE_ITERATIONS >= 20 !!)
 - Nicht möglich, falls kleine ‚Open Vents‘ entlang des Tunnels benutzt werden !!
- Verwende UGLMAT oder USCARC (aber beide teurer, mindestens doppelte Laufzeit)



Outlook von Kevin McGrattan



Interessante Validation Cases in FDS 6.7.6

- 1 m diameter helium plume (Sandia Plumes)
- Methanol pool fires (Waterloo Methanol, NIST Pool Fires)
- Ethylene burner with extinction (FM Burner)
- Tunnel Cases (Wu_Bakar_Tunnels, SWJTU_Tunnels)

Fortschritte in letzter Zeit

- Immersed Boundary Method (aber noch viel zu tun)
- Wildland Fire Simulationen (sehr aktiv)

**Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit**

Fragen?

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.

Dr. Susanne Kilian
Initiatorin der FDS Usergroup



ISSN 2191-463X
14. Tagungsband
FDS Usergroup
Jahrgang 2021

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