

Grenzen von Methoden des Brandschutzingenieurwesens am Beispiel von CFD-Simulationen mit FDS und ANSYS

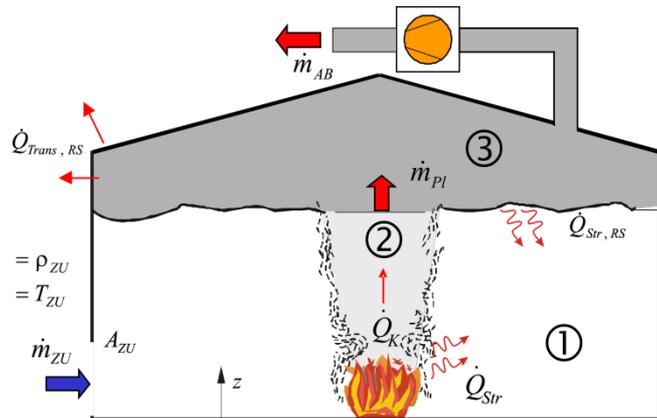
Warum beschäftigen wir uns mit Entrauchungssystemen?

- Die **Mehrzahl der tödlichen Brandunfälle** sind aufgrund einer Rauchvergiftung zu beklagen (ca. 80 Prozent).
- Brandrauch ist in aller Regel hochgradig **toxisch** (Kohlenmonoxid und Cyanid)
 - Rauchgase führen nach ihrer Inhalation bereits innerhalb von 30 Sekunden zur Bewusstlosigkeit, sie verursachen während einer drei bis fünfminütigen Exposition einen Atemstillstand.
- Brandrauch **erschwert die Eigenrettung** durch **Einschränkung der Sichtverhältnisse**
- Rauch **erschwert die Fremdrettung** und den Löschangriff.



Dimensionierungsmethoden

Zonenmodelle



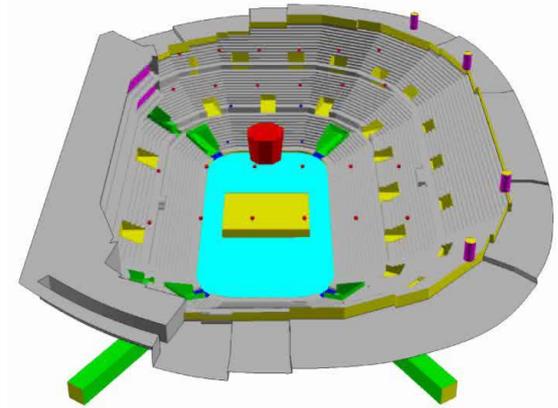
- **CFAST** (Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport)

Modellversuche



Feldmodelle

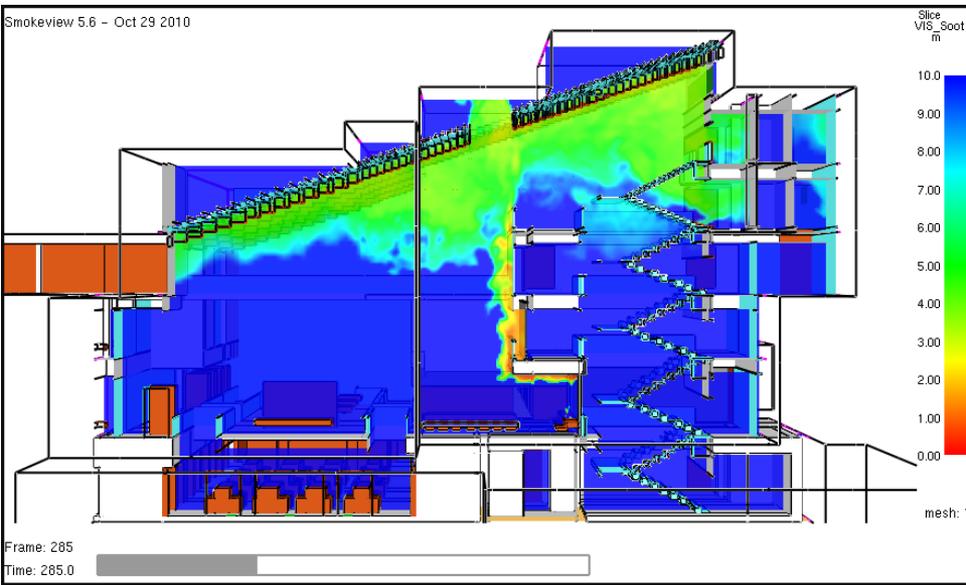
(CFD - Computational Fluid Dynamics)



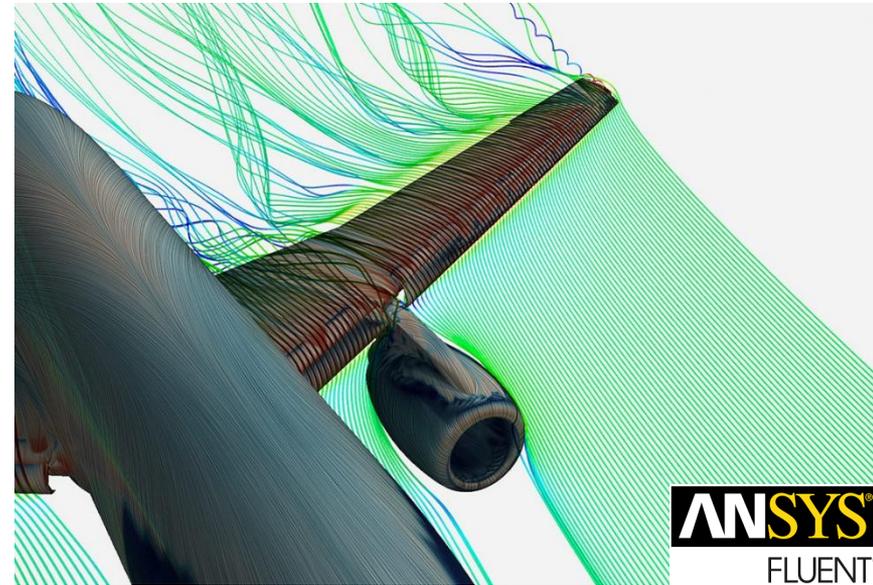
- **ANSYS (Fluent, CFX)**
- **OpenFOAM** (Open Source Field Operation and Manipulation)
- **FDS** (Fire Dynamics Simulator) + Smokeview

Brandsimulationen mit ANSYS Fluent und FDS

ANSYS FLUENT und NIST FDS im Vergleich



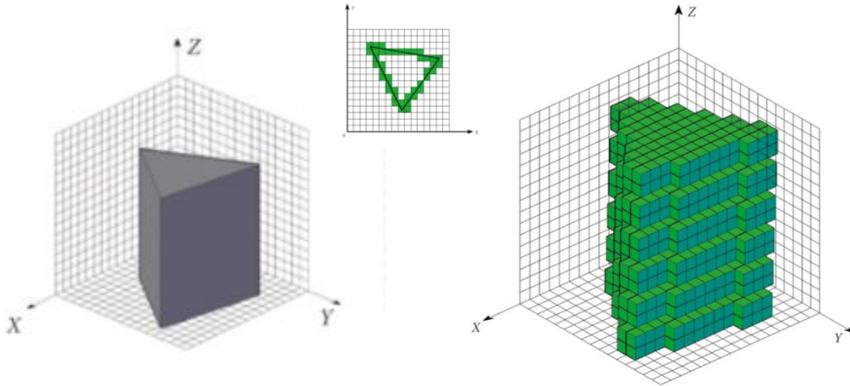
Quelle: <https://fdstutorial.com/what-is-fds/>



Quelle: ANSYS.com

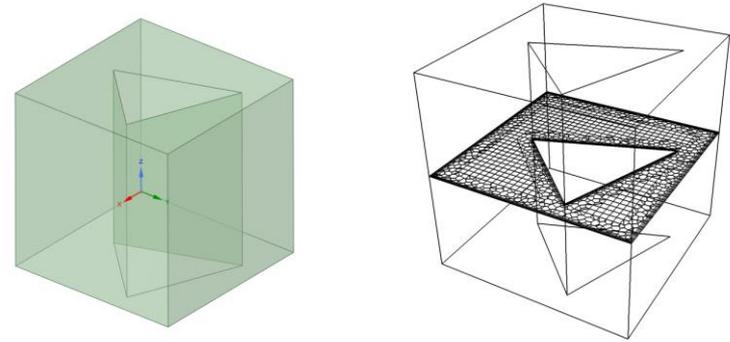
Vernetzung in FDS und Fluent

FDS



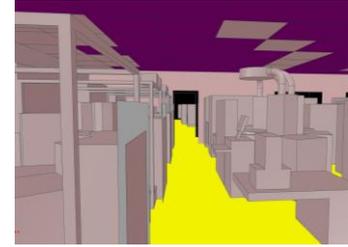
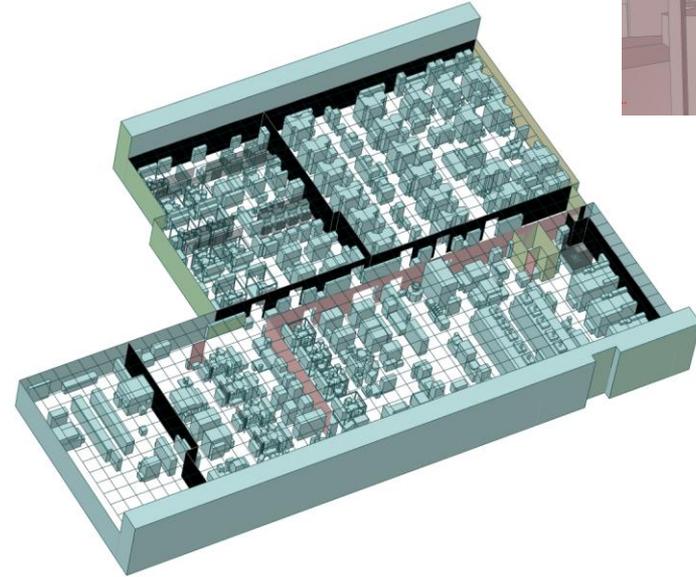
- Vorgegebenes strukturiertes Berechnungsnetz
- Zellen im Schnittbereich und innerhalb von Körpern deaktiviert
- Deutlicher Einfluss der Zellgrößen.
- Das CFD-Modell ähnelt im besten Fall dem CAD-Modell

Fluent



- Extrahiertes Strömungsvolumen
- Unstrukturiertes Berechnungsnetz
- Bei zu groben Zellen ist keine Berechnung möglich!
- Das CFD-Modell entspricht dem erstellten CAD-Modell

Warum sind hohe Detailgrade erforderlich?

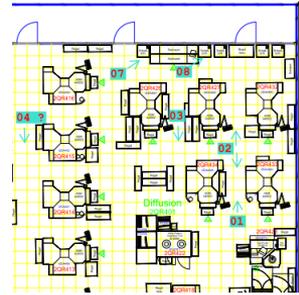
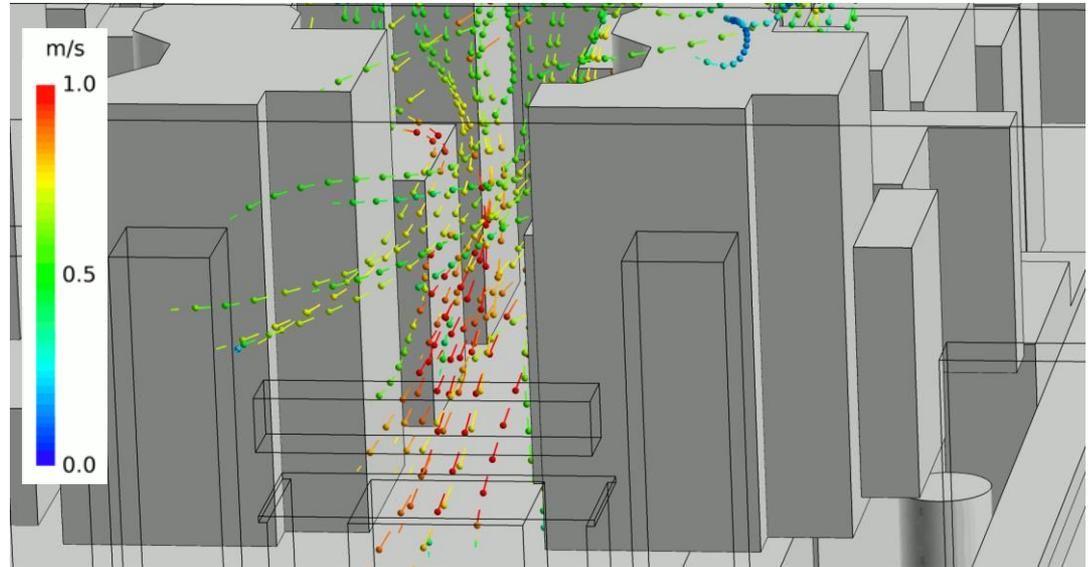


Vergleich Realität - Simulation

Nebelfluid



Simulation



ANSYS FLUENT und NIST FDS: Welches Programm ist genauer?

Eine Antwort der KI zu dieser Frage:

„Es gibt keine eindeutige Antwort auf die Frage, welches Programm genauer ist, da es von dem spezifischen Strömungsproblem abhängt, das simuliert werden soll. Es ist wichtig, die Vor- und Nachteile der verschiedenen Turbulenzmodelle zu verstehen und die geeignete Wahl für das jeweilige Problem zu treffen. Es ist auch wichtig, die Qualität des Gitters, die Randbedingungen, die Konvergenzkriterien und die Validierungsdaten zu überprüfen, um die Genauigkeit der Simulation zu gewährleisten.“

FDS auf Brandsimulation spezialisiert und daher für Brandsimulation am geeignetsten?

Auszug aus dem Disclaimer:

The US Department of Commerce makes no warranty, expressed or implied, to users of the Fire Dynamics Simulator (FDS), and accepts no responsibility for its use. Users of FDS assume sole responsibility under Federal law for determining the appropriateness of its use in any particular application; for any conclusions drawn from the results of its use; and for any actions taken or not taken as a result of analysis performed using these tools.

Users are warned that FDS is intended for use only by those competent in the fields of fluid dynamics, thermodynamics, heat transfer, combustion, and fire science, and is intended only to supplement the informed judgment of the qualified user. The software package is a computer model that may or may not have predictive capability when applied to a specific set of factual circumstances. Lack of accurate predictions by the model could lead to erroneous conclusions with regard to fire safety. All results should be evaluated by an informed user. Throughout this document, the mention of computer hardware or commercial software does not constitute endorsement by NIST, nor does it indicate that the products are necessarily those best suited for the intended purpose.

Sinnhafte Übersetzung:

Das Modell ist keinesfalls für alle Fälle validiert oder präzise und es kann sein, dass die Ergebnisse (trotz korrekter Bedienung) nichts mit der Wirklichkeit zu tun haben. Die Abweichungen können zu Fehlschlüssen in Bezug auf den Brandschutz führen. Verantwortung tragen dafür die Fachleute, die die Ergebnisse auswerten und für ein Brandschutzkonzept verwenden.

FDS: Auszug aus dem Validation Guide

2.2.14 Soot Deposition

Several studies have been conducted that indicate soot deposition is an important factor in compartment fires for the accurate prediction of smoke concentrations, smoke detector activations, and visibility. Gottuk et al. [122] reported that smoke concentrations predicted by FDS near smoke alarms in a corridor were two to five times greater than measured smoke concentrations. Hamins et al. [123] conducted full-scale compartment fire experiments for use in validation studies of various fire models, including FDS. The results indicated that smoke concentrations predicted by FDS were up to five times greater than measured smoke concentrations. Floyd and McDermott [124] implemented thermophoretic and turbulent diffusion soot deposition mechanisms in FDS and compared predicted soot densities and concentrations to measurements from small- and large-scale experiments. Riahi [125] conducted bench-scale experiments to measure soot densities and soot deposition patterns on walls for various fuels. Riahi identified thermophoretic deposition as an important soot deposition mechanism in the hot gas layer. Cohan [126] used FDS to simulate select cases from the Gottuk [122] corridor tests, Hamins et al. [123] NRC experiments, and Riahi [125] hood experiments with thermophoretic and turbulent diffusion soot deposition mechanisms. Overholt and Ezekoye [127] implemented gravitational settling of soot in the gas-phase in FDS and quantified the effects of gravitational settling/deposition compared to thermophoretic and turbulent diffusion deposition for small- and large-scale validation cases.

- Sehr konservative Rauchkonzentrationsverteilung (zwei- bis fünfmal größer) als gemessen.
- Eine Überdimensionierung der Entrauchung ist somit nicht unwahrscheinlich.
- Der Schwerpunkt der FDS-Validation bewegt sich im Bereich des Brandes und wenige Meter darum herum.
- Für Aussagen im größeren Umfeld wie z.B. größeren Logistikhallen fehlt der Nachweis.

Brandsimulation – Vertrauenswürdigkeit/Akzeptanz

Die Frage der Vertrauenswürdigkeit von Simulationsberechnungen ist durchaus berechtigt:

- Zuverlässige Ergebnisse erfordern nicht nur Brandschutzexpertise.
- Kenntnisse in Fachbereichen wie Numerischer Strömungsmechanik und Numerischer Mathematik, erforderlich.
- Eine entsprechende Ausbildung ist daher unerlässlich für belastbare Simulationsergebnisse.
- Ein blindes Vertrauen in realistisch erscheinende Darstellungen kann schnell zu Fehlinterpretationen führen.

Einfluss der Netzauflösung

Einfluss der Netzauflösung

(1/5)

Die räumliche und zeitliche Diskretisierung ist ein komplexer Schritt, der sich aber wesentlich auf die Endergebnisse auswirken kann.

- Das Gitter hat einen deutlichen Einfluss auf den Temperaturnachweis und die Schichtung
- Das Gitter gehört zu den sogenannten künstlichen Parametern, die keinen Einfluss auf das Simulationsergebnis haben sollten. Die Gittergröße beeinflusst die Rechenzeit und die damit verbundenen Kosten allerdings erheblich.
- Um zu wissen welches Gitter den optimalen Nutzen bringt, bedarf es einer Netzstudie, die aufwändig und komplex ist.

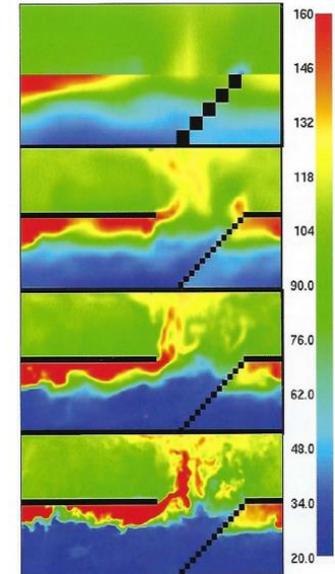
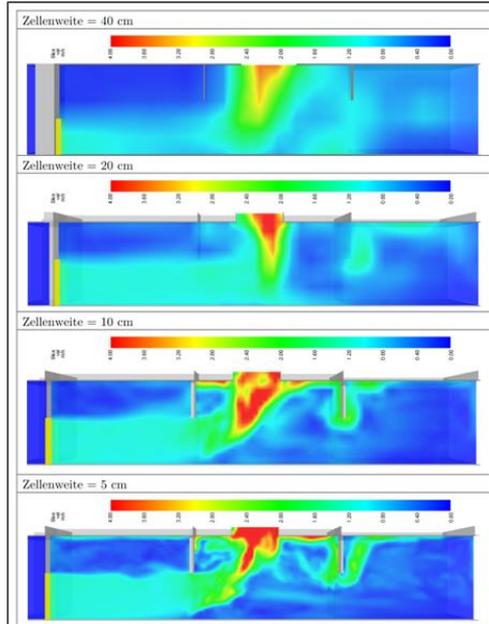


Abb. 3: Verschiedene Netzdichten, von oben nach unten: 50, 20, 10 und 5 Zentimeter (Grewolls 2012, 79)

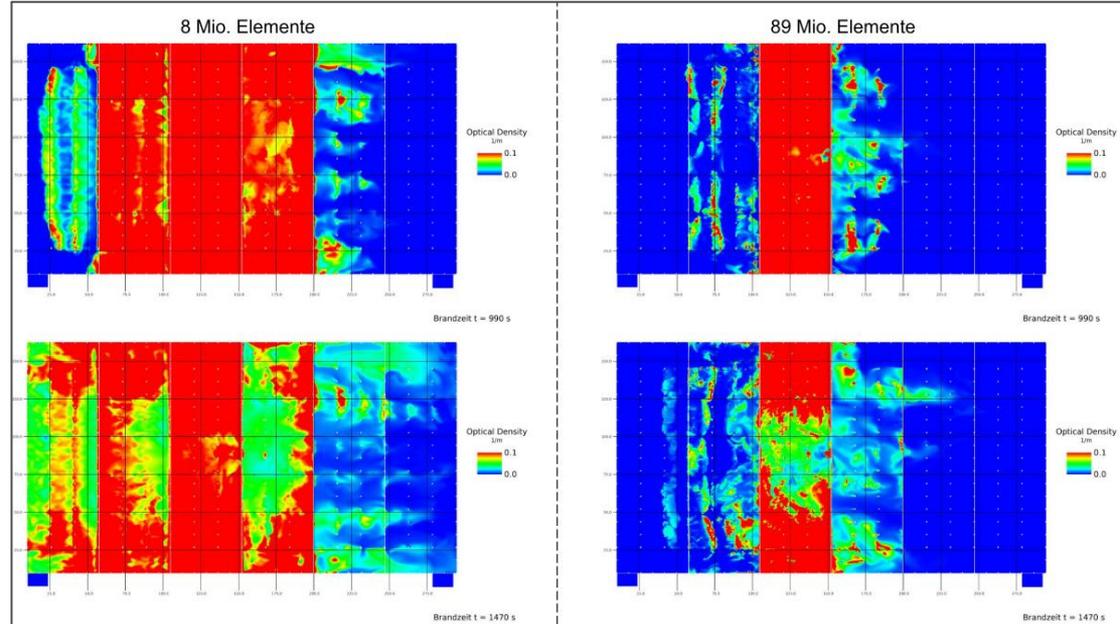
Einfluss der Netzauflösung

(2/5)

FDS*:



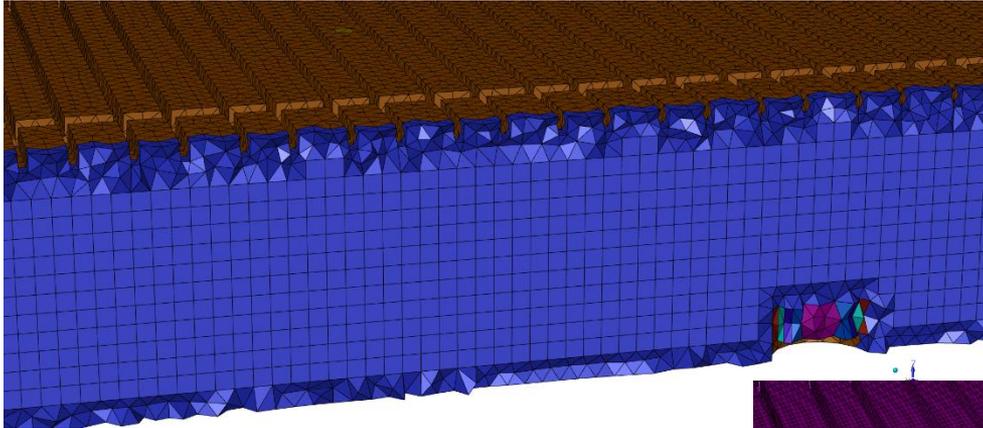
ANSYS Fluent**:



Einfluss der Netzauflösung

8 Mio. Elemente

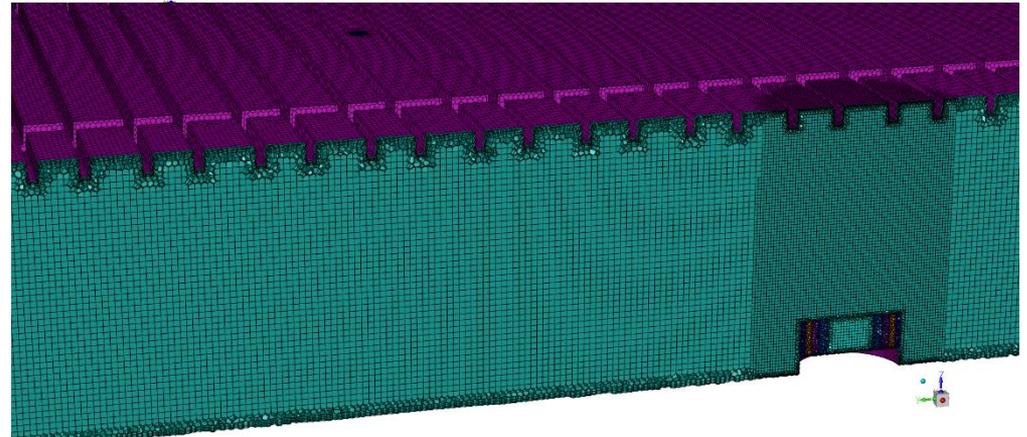
(3/5)



Vergleich Netzauflösung

- Grobes Hexaedernetz mit ca. 8 Mio. Elementen
- Hochauflösendes Moisaic-Netz mit ca. 89 Mio. Elementen
- Sämtliche Randbedingungen identisch

89 Mio. Elemente



Zahlen zum Netz in E0:

Cells: 89.283.312

Faces: 321.385.425

Nodes: 145.082.779

Max. Elementgröße: 16 cm

Oberflächenvernetzung:

- Kantenlänge im Umfeld Brandherdes 7,5 cm
- Kantenlänge Umkreis 100 m um Brandherd max. 15 cm
- Alle Kanten werden mit wenigstens 3 Zellen vernetzt, dadurch überwiegend kleinere Kantenlängen

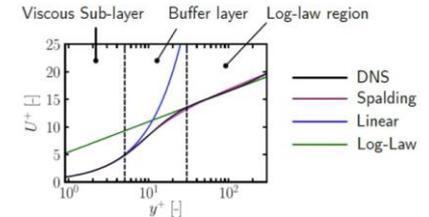
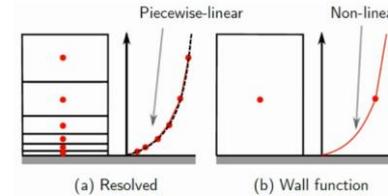
Einfluss der Netzauflösung

(4/5)

FDS User Guide Kapitel: 22.10.27

Wall functions for LES are still under development, but as a general guideline for efficiency reasons it is recommended that the first grid cell fall within the log layer. There is no penalty—other than computational time—for being more highly resolved. The viscous sublayer lies within $0 < y^+ < 5$. The transition region lies roughly between $5 < y^+ < 30$, a value $y^+ = 30$ would be considered highly resolved. The upper limit of the log region for statistically stationary boundary layers depends on the Reynolds number, and there are no hard rules for transient flows. Beyond $y^+ = 1000$ the first grid cell is likely to fall in the wake region of the boundary layer and may produce unreliable results. A reasonable target for practical engineering LES is $y^+ = \mathcal{O}(100)$.

- FDS modelliert die wandnahe Strömung.
- Wandfunktionen für LES sind in FDS noch in der Entwicklung.
- Ein y^+ Wert zwischen 30 und 100 sollte angestrebt werden.



Input

Freestream velocity: [m/s]
Density: [kg/m³]
Dynamic viscosity: [kg/ms]
Boundary layer length: [m]
Desired Y^+ value: []

Output

Reynolds number: []
Estimated wall distance: [m]

Zusammenfassung:

Die Netzauflösung sollte nicht nur anhand des Brandherdes festgelegt werden, sondern es sind ebenfalls die Anforderungen der Turbulenzmodelle an die Netzauflösung im Wandbereich zu beachten.

- Zellengröße beeinflusst Ergebnisqualität und Rechenanforderungen.
- Kleinere Zellen verbessern Strömungsdarstellung und Rauchausbreitung.
- Größere Zellen beeinträchtigen Genauigkeit und geometrische Darstellung.
- Größere Zellengröße beeinflusst Rauchsichttiefe bei der Berechnung der Rauchausbreitung.

Einfluss des Brandherdmodells

Brandherdmodell: Welche Möglichkeiten gibt es?

Zur Modellierung eines Brandherdes innerhalb einer CFD-Berechnung sind verschiedene Ansätze denkbar. In der Regel werden folgende Modelle eingesetzt:

- volumetrische Modelle,
- flächenförmige Modelle oder
- unterschiedlich detaillierte Verbrennungsmodelle.

Bei volumetrischen oder flächenförmigen Modellen wird, die bei einem zu untersuchenden Brandszenario freigesetzte Wärme in Form eines Quellterms innerhalb eines Volumens oder oberhalb einer Fläche modelliert.

Detaillierte Verbrennungsmodelle sind komplexer und erfordern deutlich mehr Rechenleistung. Die Diskretisierung beeinflusst die Verbrennung und somit auch die Wärmefreisetzung.

Behandlung der Brandherde in CFD-Modellen

(1/2)

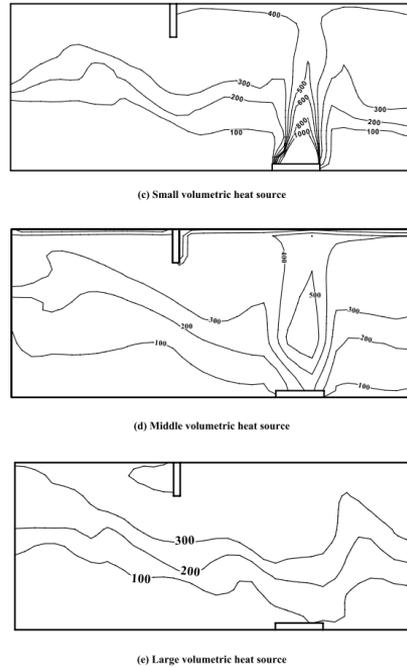
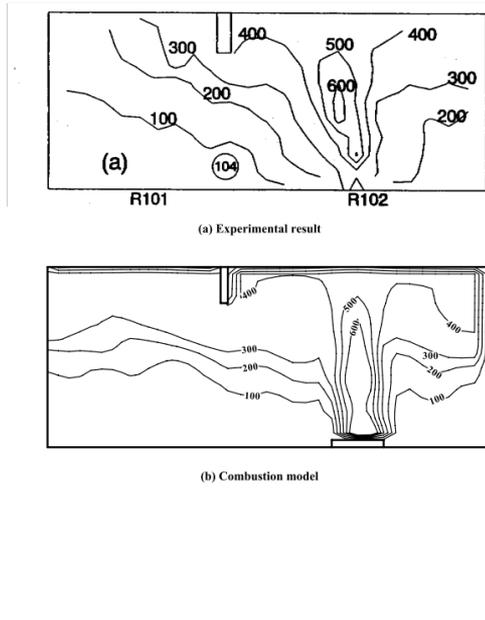


Fig. 3: Temperature distribution in Room 102 and 101 across the door (°C)

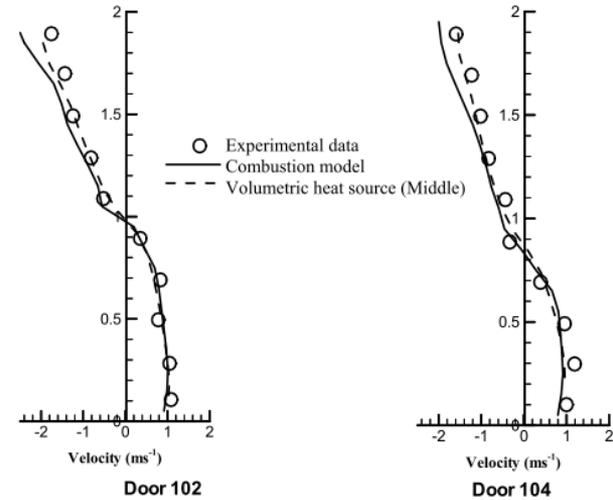


Fig. 6: Comparison of the measured and predicted velocities at Doors 102 and 104

Zusammenfassung:

- Das Verbrennungsmodell kann bei richtiger Anwendung die Temperaturverteilung in der Flamme besser vorhersagen. Durch die Abbildung der Flammen kann die Strahlung der Flammen berücksichtigt werden. Dieses ist z.B. wichtig für die Ermittlung von Temperaturen an Körpern in Flammennähe.
- Das volumetrische Wärmequellenmodell kann, sogar mit unberücksichtigtem Strahlungseinfluss und unter Nutzung eines Zweigleichung-Turbulenzmodells, bei richtiger Anwendung gute Ergebnisse liefern. Es eignet sich für Studien mit folgenden Untersuchungsschwerpunkten:
 - Bewegung von Rauch und toxischen Gasen in Gebäuden
 - Verarbeitung der Rauchfüllung von Räumen
 - Effektivität der Rauchabzugsanlage
 - Effektivität des Rauchmeldesystems
 - Wirksamkeit des Rauchschutzsystems, wie z. B. Rauchschutzwand oder Rauchvorhang
 - Alle anderen Studien, die sich hauptsächlich mit Rauch in großen Räumen beschäftigen

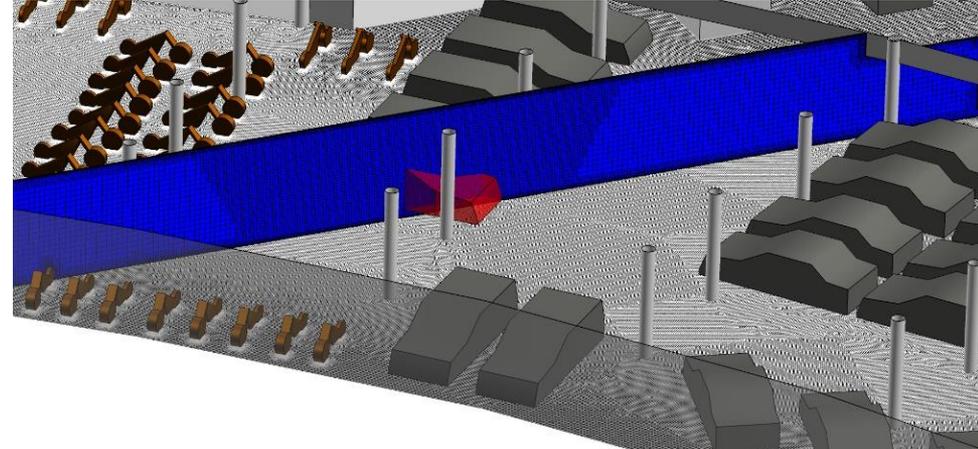
Rauchausbreitungssimulation bei ROM-Technik am Beispiel einer Parkgarage

Bewertung offene Parkgarage

IFC Modell der Parkgarage



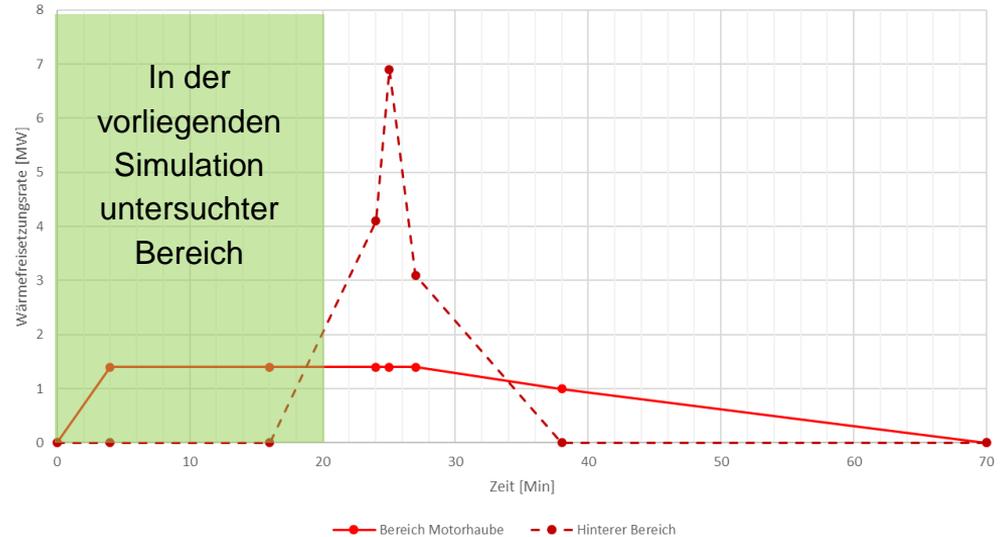
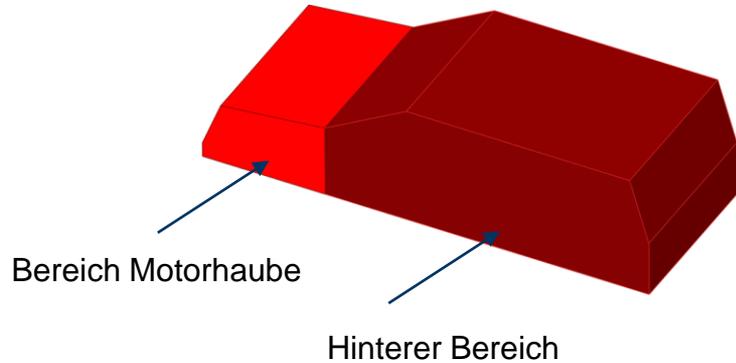
Berechnungsnetz Parkgarage



- 42 Millionen Volumenzellen
- ANSYS Mosaic-Berechnungsnetz
- Kleinste Zellweite 0,001 m
- Größte Zellweite 0,1 m

Brandherdmodell für ein parkendes Fahrzeug

Geometrisches Brandherdmodell:



Es wird angenommen, dass der Brand im Bereich des Motors ausbricht und sich dann auf das weitere Fahrzeug ausdehnt. Es wird weiterhin angenommen, dass 70% der Wärme konvektiv freigesetzt wird.

Vergleichsmodell: Untergeschoss als „ideal“ offene Garage

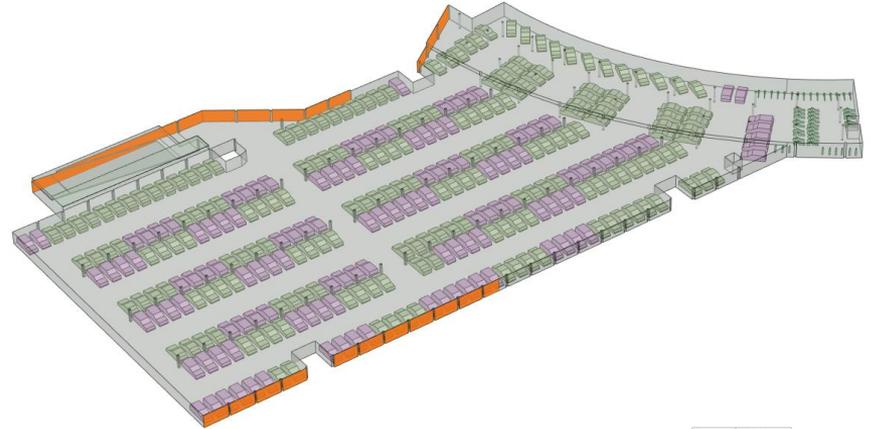
Parkflächen Untergeschoss nach Planung:



Area	367,4473m ²
X Overall	77,5793m
Y Overall	107,1926m
Z Overall	3,3612m

ca. 35% Öffnungsfläche in den Umschließungswänden

Ideal offen: Direkt ins Freie führende offene Flächen:



Area	367,4473m ²
X Overall	77,5793m
Y Overall	107,1926m
Z Overall	3,3612m

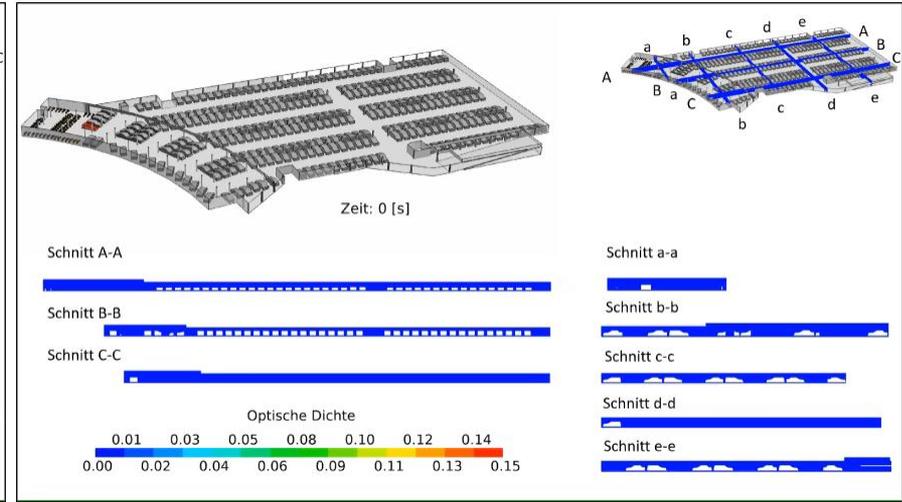
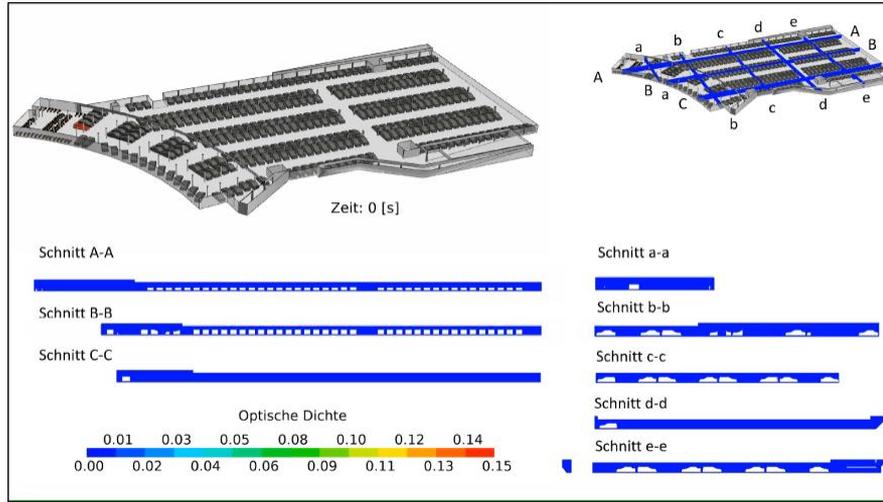
Lüftungsräben aus dem Modell entfernt, ansonsten geometrisch identisch!

Simulationsergebnisse im Vergleich Rauchausbreitung im zeitlichen Verlauf



UG-Planung

Ideal offene Garage



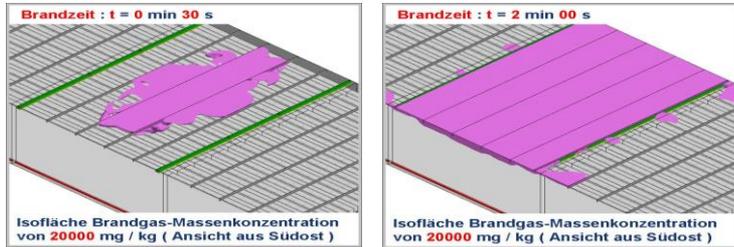
Fazit:

Stabilere Raucheinschichtung bei der Planungsvariante – in der ideal offenen Variante stärkere Nachströmung und Vermischung – Planungsvariante zeigt sich als vorteilhaft.

Validierung am Beispiel: Entrauchung Hochregallager



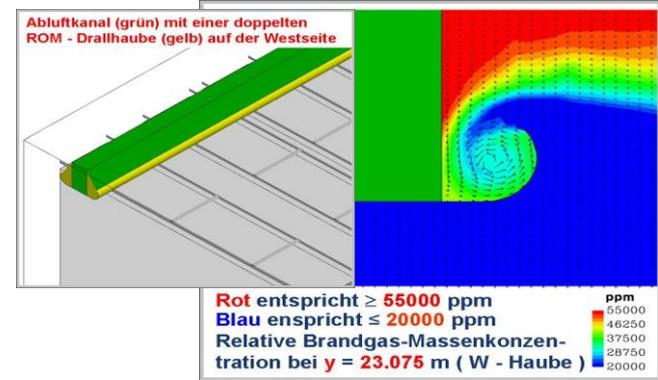
Links: Außenansicht; rechts: ein Hochregal mit Kartons (Quelle: F&E)



Simulierte Rauchausbreitung im mittleren virtuellen Brandabschnitt (Quelle: F&E)

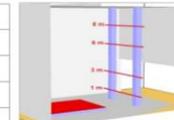
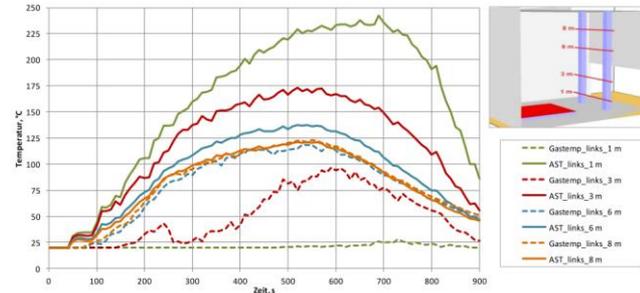
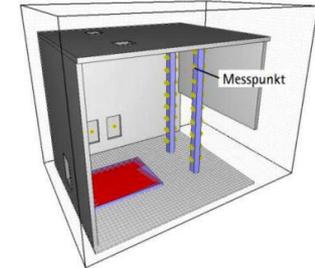
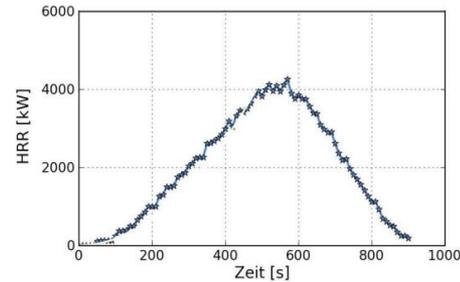
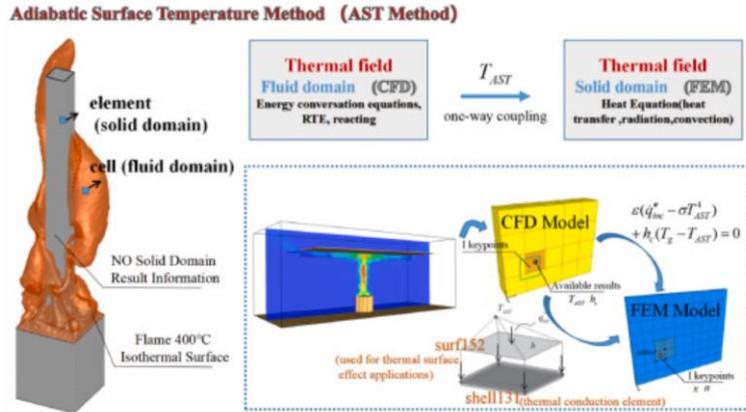


Rauchausbreitung während eines Rauchversuchs vor Ort (Quelle: F&E)

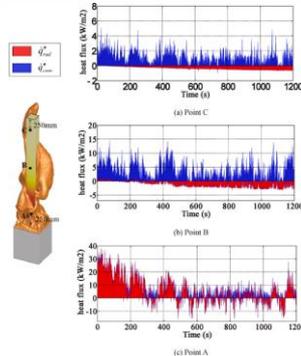


Simulierte (oben) und reale (unten) Rotationsströmung in einer Drallhaube (Quelle: F&E)

Kann dieses Modell auch zur Ermittlung der Heißtemperaturkurven genutzt werden?

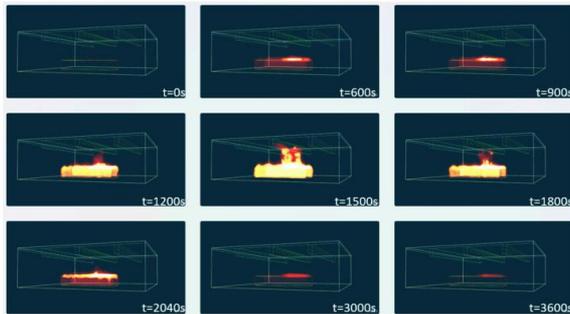


Quelle: Comparison of different CFD-FEM coupling methods in advanced structural fire analysis, Jinggang Zhou, Xuanyi Zhou, Beihua Cong, Wei Wang

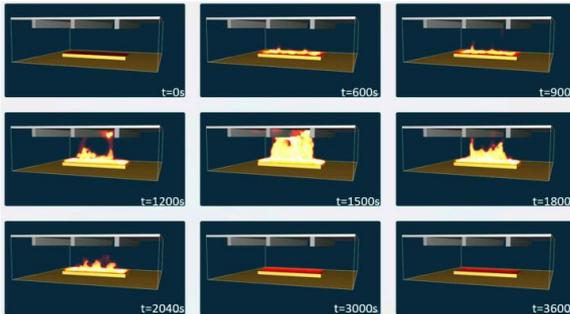


Quelle: Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes vfdb TB 04-01(2020-03), Seite 198

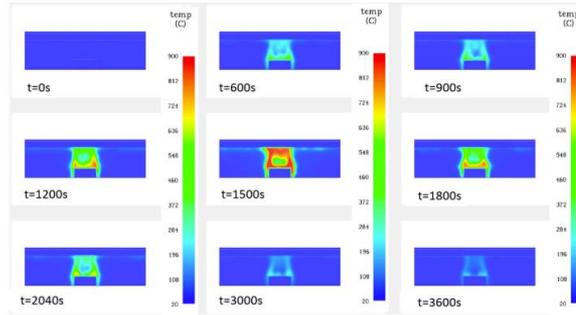
Aber Achtung: Die Form des Brandherdes beeinflussen die ermittelte Heißtemperaturkurve!



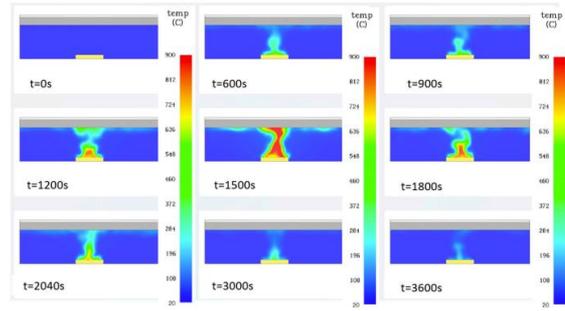
(a)



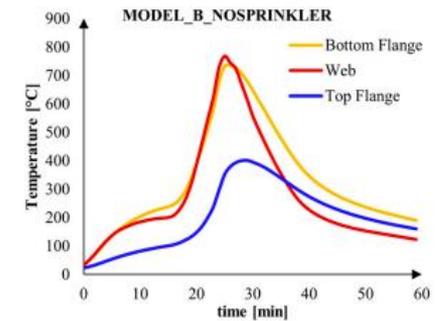
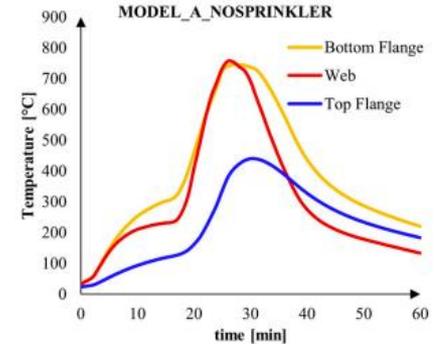
(b)



(a)



(b)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

**„CFD is good when you already know the answer“
(Dr. Francesco Tamanini)**

