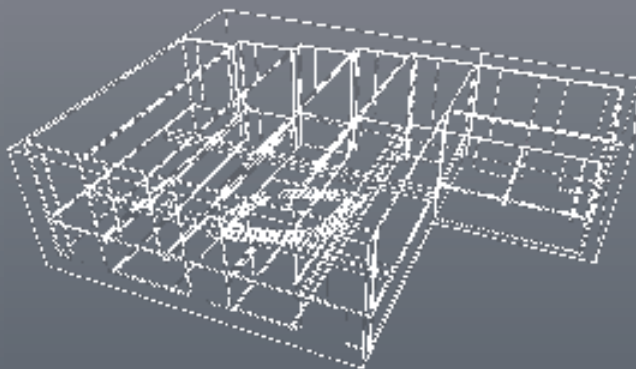


6. ANWENDERTREFFEN DER FDS USERGROUP

TAGUNGSBAND ZUSAMMENSTELLUNG DER VORTRÄGE

Datum:
15.11.-16.11.2012

Ort:
hhpberlin
Rotherstraße 19
10245 Berlin



INHALT**Vorträge 15.11.2012:**

Nachweise der Personensicherheit mit FDS Dr. Burkhard Forell	2
Bestimmung von Sicht- und Erkennungsweiten im Rahmen einer CFD-Analyse Dr. Volker Schneider	22
Möglichkeiten zum Ansatz und zur Modellierung von Bränden und Brandszenarien in FDS - eine Diskussionsgrundlage Dr. Andreas Vischer	41
Die Brandsimulation: Zwischen Glaskugel und Wissenschaft? Matthias Münch	57

Vorträge 16.11.2012:

Validierungsrechnungen für ANSYS CFX und FDS anhand eines spezifischen Brandszenarios Prof. Dr. Ulrich Krause	64
Use of alternative sub grid turbulence models in FDS Prof. Bjarne Husted	80
Die FDS-Drucklösung im numerischen Visier: Eingabegrößen, Genauigkeit und Skalierbarkeit Dr. Susanne Kilian	91
Einführung in das FireModeler Framework: Motivation, Konzeption und Visionen Björn Schünke	110
FireSim - Das Werkzeug für den Brandschutzingenieur Stefan Truthän	120

Dr. Burkhard Forell:

Nachweise der Personensicherheit mit FDS

Abstract:

Als quantitative Nachweiskriterien für die Personensicherheit stehen zur Verfügung:

- 1) die Höhe der raucharmen Schicht,
- 2) die Qualität der raucharmen Schicht, insbesondere
 - 2.1) die optische Dichte pro Weglänge bzw. die Erkennungsweite
 - 2.2) die Auswirkungen toxischer Gase und
- 3) thermische Einwirkungen aus Wärmestrahlung und -konvektion.

Während für das Kriterium 1) nur physikalische Phänomene betrachtet werden, werden für 2.1) ebenfalls grundlegende Betrachtungen zum Verbrennungsvorgang sowie lichttechnische Faktoren erforderlich. Für die Kriterien unter 2.2) werden überdies chemische und physiologische Faktoren erforderlich. Von geringerer Bedeutung sind die thermischen Kriterien 3), die physikalische und physiologische Faktoren berücksichtigen.

Die zunehmende Zahl von Einflussfaktoren erhöht einerseits die Unsicherheit bei der Bestimmung der Beurteilungsgrößen, bietet andererseits aber die Möglichkeit, risikobestimmende Faktoren zu berücksichtigen, wenn abgesicherte, im Zweifelsfall konservative Annahmen gemacht werden können.

Der Beitrag vergleicht die Beurteilungswerte des vfdb-Leitfadens mit international diskutierten Wertebereichen, stellt Bezüge zu Anwendungen aus der Anlagensicherheit dar und ordnet die Konservativität der Kriterien ein. Für die Erkennungsweite wird ein Bestimmungsverfahren unter Berücksichtigung inhomogener Verrauchung dargestellt. Die beispielhafte Anwendung der Kriterien mit FDS wird zusammen mit Fehlereinflüssen und -breiten gezeigt.

Nachweise der Personensicherheit mit FDS

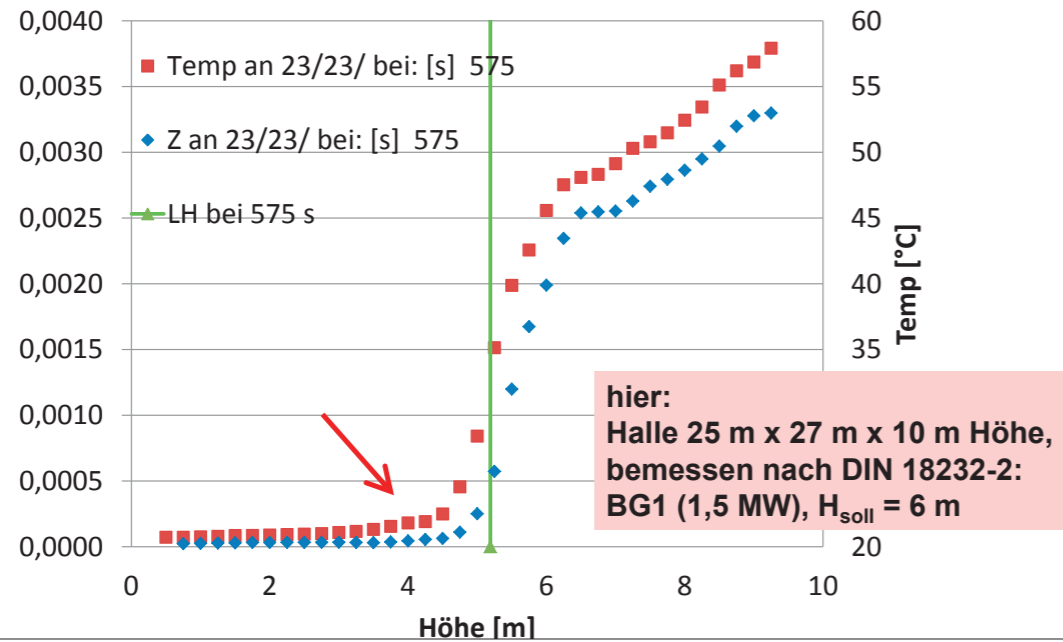
Dr.-Ing. Burkhard Forell

Nachweiskriterien

- Höhe der raucharmen Schicht
 - „*offensichtlichstes*“ Kriterium, *relativ konservativ*
 - *leicht bestimmbar (rein „physikalisch“), häufig verwendet*
- Qualität der raucharmen Schicht
 - Erkennungsweite („Sichtweite“) von Objekten
 - *konservativ(st)es Kriterium je nach Bezug*
 - *häufig überinterpretiert als „Sichtweite“*
 - *Physik einschließlich Lichttechnik*
 - Auswirkungen toxischer Gase
 - *komplex (Physik, Chemie, evtl. Physiologie)*
 - *nicht konservativ*
 - *potenziell am besten zur Risikoermittlung geeignet (viele Einflussfaktoren, Brandopfer = Rauchopfer)*
- thermische Einwirkungen aus Wärmestrahlung und -konvektion
 - *unabhängig von obigen Kriterien*

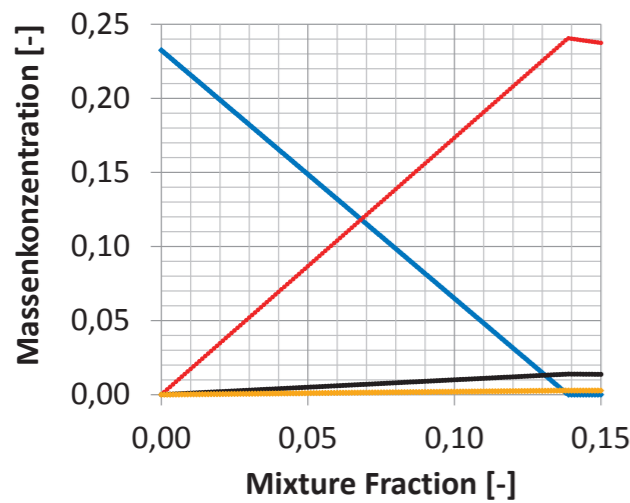
Raucharme Schichthöhe

- Temperatur und Gaszusammensetzung über Höhe (FDS)



Qualität der raucharmen Schicht

- Zonenmodell: homogene Schichten -> ungeeignet für genaue Analysen
- Feldmodell -> lokale Konzentrationen
 - Bei FDS5 mittels Mixture Fraction Modell (hier außerhalb Flamme)



- kg/kg O2
 - kg/kg CO2
 - kg/kg Soot
 - kg/kg CO
- Beispiel:
 Polyurethan mit
 Rußausbeute 0,10 g/g
 CO-Ausbeute 0,02 g/g
 HOC: 18894 kJ/kg

Erkennungsweite von Objekten

- Extinktionskoeffizient K [1/m]

$$K = K_m * c_{Ru\beta}$$

mit: $K_m \approx 8700 \text{ m}^2/\text{kg}$: empirischer, massespezifischer Extinktionskoeffizient für flammende Holzverbrennung

$c_{Ru\beta}$ Rußmassenkonzentration in der Zelle [kg/m³]

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

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

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

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

Erkennungsweite von Objekten

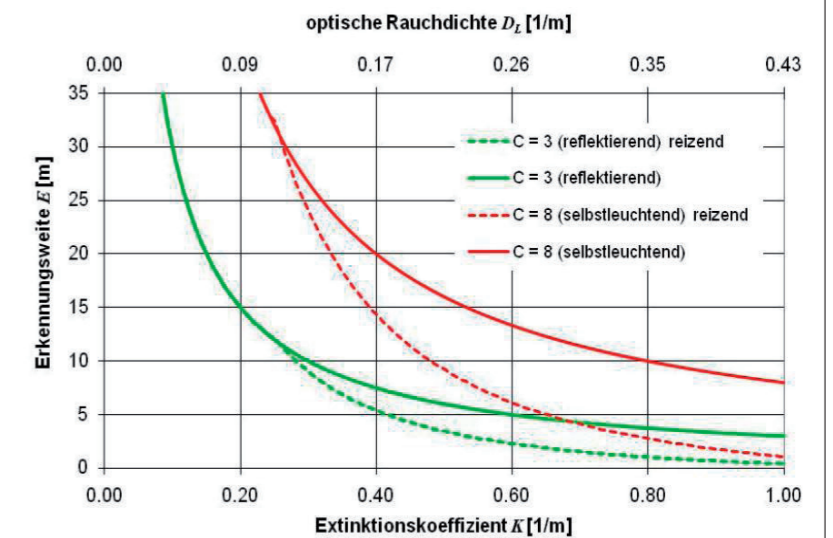
- vereinfachter (weit verbreiteter) Zusammenhang (nach Yin) von Erkennungsweite E und lokaler Rußkonzentration $c_{Ru\beta}$

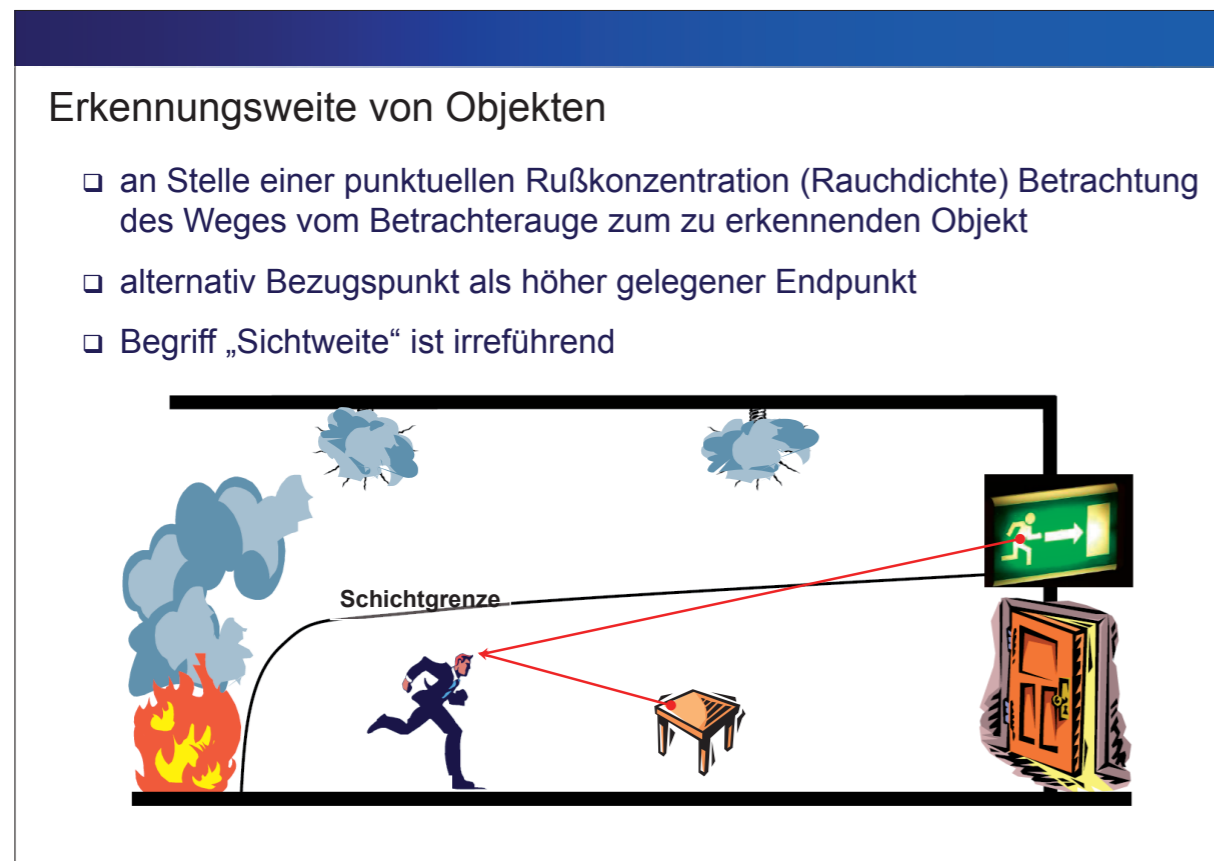
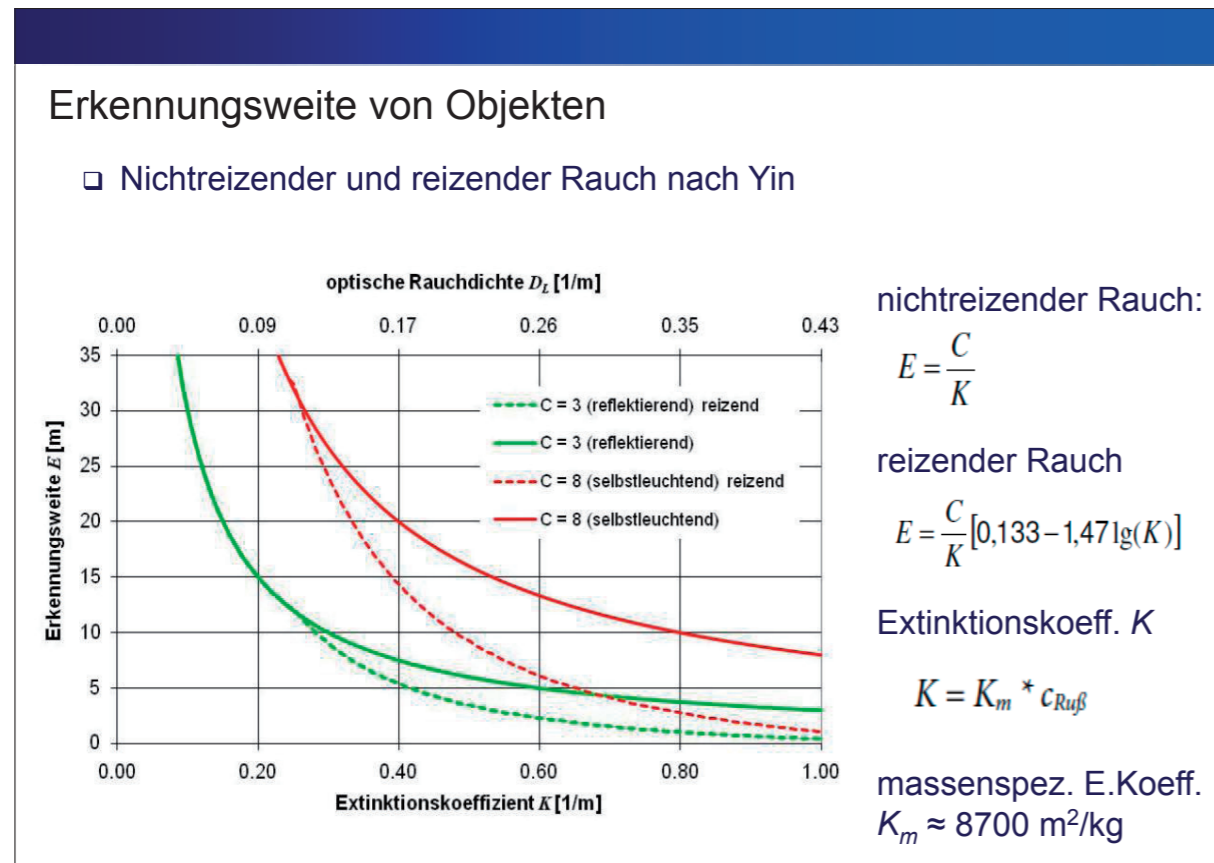
$$E = C / (K_m * c_{Ru\beta})$$

mit z. B.:

$C = 3$: empirischer Faktor für reflektierende Körper
 $K_m = 8700 \text{ m}^2/\text{kg}$: massespezifischer Extinktionskoeffizient

$c_{Ru\beta}$: Rußmassenkonzentration
 aus CFD-Simulation,
 homogen angenommen!





- ### Erkennungsweite von Objekten - Unsicherheiten
- Wesentliche Einflussgrößen
 - Massenspezifischer Extinktionskoeffizient (Standard $K_m = 8,7 \text{ m}^2/\text{g}$)
 - Rußkonzentration $c_{Ru\beta}$ / Rußausbeute $Y_{Ru\beta}$
 - Modellgenauigkeit

- ### Erkennungsweite von Objekten - Unsicherheiten
- Massenspezifischer Extinktionskoeffizient K_m [m^2/kg] $K = K_m * c_{Ru\beta}$ (linearer Einfluss, variiert relativ wenig)
 - Mulholland/Croarkin (2000):
 $K_m = 8,7 \pm 1,1 \text{ m}^2/\text{g}$ im 95% Intervall für viele typische Brandlasten
 - Out et al. (IAFSS): „gute Übereinstimmung“ mit Mulh./Croarkin
 - Teilweise höhere Abweichungen für K_m (tendenziell kleinere Werte?)
 - K_m bei Ruß aus Pyrolyse kleiner (bei $4,4 \text{ m}^2/\text{g}$ (Mulholland, SFPE 2002))
 - => kompensiert höhere Rußausbeuten bei Schwelbränden

Erkennungsweite von Objekten - Unsicherheiten

- Rußausbeute $Y_{Ru\beta}$ [g/g] (linearer Einfluss) aber ΔH_u klein!

Material	flammende Verbrennung	nicht-flammende Verbrennung
Zellulosehaltiges Material	< 0,01 bis 0,025	0,01 bis 0,17
Kunststoffe	< 0,01 bis 0,17	< 0,01 bis 0,19

Anmerkung: Werte gelten für gut ventilierte Brände. Unterhalb von Sauerstoffkonzentrationen von 12 % bis 16 % kann die Rußausbeute ansteigen. Auch für gut ventilierte Brände hängt die Ausbeute vom Szenario und vom Äquivalenzverhältnis ab.

(British Standard BS 7479-1 (2003), dort zitiert nach Mulholland, SFPE Handbook)

- Hohe Schwankungsbreite der Rußausbeuten [g/g] zwischen zellulosehaltigen Material (innerhalb Faktor 25) und Kunststoffen (innerhalb Faktor 17)
- Faktor 7 zwischen beiden **Maximalwerten** (0,025 & 0,17)
- Da Quellterm i.d.R. über $HRR(t)$ definiert wird, geht der effektive Heizwert in den Rußmassenstrom ein

Erkennungsweite von Objekten - Unsicherheiten

- **Rußmassenstrom** $\dot{m}_{Ru\beta} = \dot{Q} / \Delta H_{eff} * Y$
- Aus Werten von Tewarson und Mulholland, SFPE 2002:

$\Delta H_{C,eff,DouglasFir} = 16,4 \text{ kJ/g}$, $Y_{Ru\beta,DF,max} = 0,025 \text{ g/g} \Rightarrow Y_{Ru\beta,DF,Hueff} = 0,0015 \text{ g/kJ}$

$\Delta H_{C,eff,PP} = 43,4 \text{ kJ/g}$, $Y_{Ru\beta,PP,max} = 0,10 \text{ g/g} \Rightarrow Y_{Ru\beta,PP,Hueff} = 0,0023 \text{ g/kJ}$

$\Delta H_{C,eff,PS} = 39,2 \text{ kJ/g}$, $Y_{Ru\beta,PS,max} = 0,15 \text{ g/g} \Rightarrow Y_{Ru\beta,PS,Hueff} = 0,0038 \text{ g/kJ}$

$\Delta H_{C,eff,PVC} = 16,4 \text{ kJ/g}$, $Y_{Ru\beta,PVC,max} = 0,12 \text{ g/g} \Rightarrow Y_{Ru\beta,PVC,Hueff} = 0,0073 \text{ g/kJ}$

=> Mittelwert: $Y = 0,99 \text{ g/g}$ bzw. $0,0037 \text{ g/kJ}$

Erkennungsweite von Objekten - Unsicherheiten

- Schwankung für heizwertbezogene Ausbeute deutlich geringer als für massebezogene Ausbeute (außer PVC, dort nur etwas geringer)

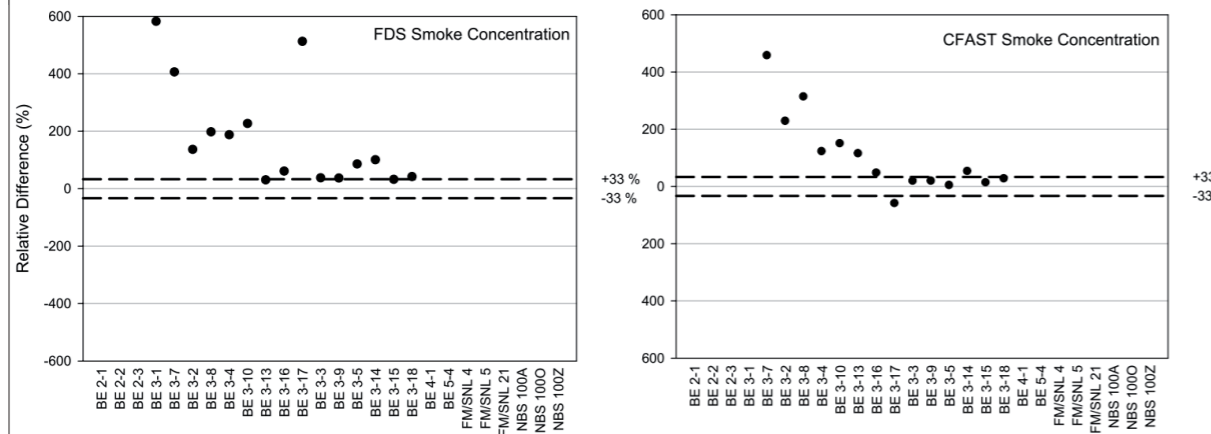
Material	rel. massebezogene Ausbeute (%)	rel. heizwertbezogene Ausbeute (%)
Douglas Fir	~25	~40
PE	100	~60
PS	150	100
PVC	~120	200

Erkennungsweite von Objekten - Unsicherheiten

- Schwankung für heizwertbezogene Ausbeute deutlich geringer als für massebezogene Ausbeute (außer PVC, dort nur etwas geringer)
 - PVC als Primärbrandlast nicht besonders relevant
 - Unsicherheit des Rußquellterms bei ca. 2,5, falls Primärbrandlast nicht definierbar

Erkennungsweite von Objekten - Unsicherheiten

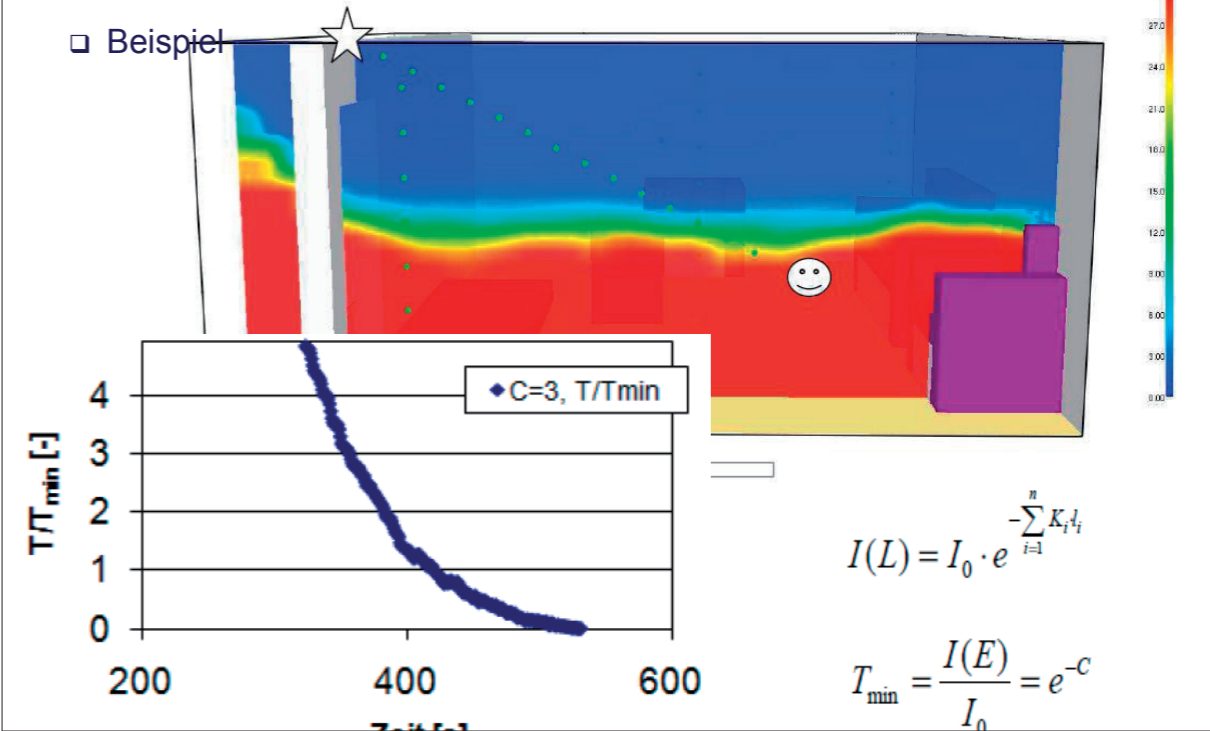
- In der Regel werden Rußkonzentrationen von Raumbrandmodellen überschätzt, da z.B. Abreicherungseffekte (noch) nicht berücksichtigt werden



(NUREG 1824, Mai 2007)

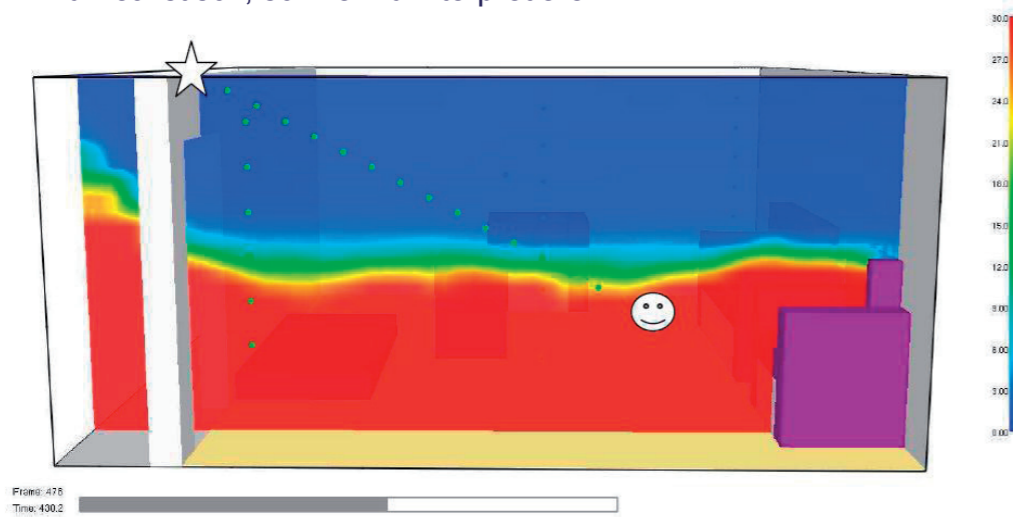
Erkennungsweite von Objekten - inhomogene Konzentrationen

- Beispiel



Erkennungsweite von Objekten - inhomogene Konzentrationen

- Problem: Verwendung lokaler Rußkonzentrationen
- Bsp.: VISIBILITY-SLICE : 0 bis 30 m „Sichtweite“
 - Wohin kann der Smiley wie weit schauen?
 - unrealistisch, schwer zu interpretieren



Erkennungsweite von Objekten - inhomogene Konzentrationen

- Berücksichtigung der Reizgaswirkung aus Augen
 - Modell von YIN (ab $K > 0,25$ 1/m), allerdings Reizgaskonzentration in Augenhöhe häufig geringer als im Mittel, da Auge tiefer gelegen
 - => rechnerisch Erhöhung der notwendigen Mindesttransmission
- Betrachtungswinkel, Lesbarkeit, Erkennbarkeit
 - Verschiedene empirische Modelle

Akute Toxizität

- Toxizität
 - akut ↔ chronisch
 - Stickgase (narkotisierende Wirkung) ↔ Reizgase
 - Dosis ↔ Konzentration
- FED-Modell (Fractional Effective Dose) (D. PURSER, ISO 13571)
- FED = 1.0 → Handlungsunfähigkeit für 50 % der Bevölkerung
- FED = 0.1 bis 0.3 als Grenze für SEHR KONSERVATIVE Szenarien

$$FED(t) = \max \left[\sum_0^t \left((F_{CO}(t) + F_{HCN}(t) + FLD_{irr}(t)) \cdot V_{Hyp}(t) + F_{O_2}(t) \right), \sum_0^t F_{CO_2}(t) \right]$$

Akute Toxizität - Stickgase

- FED-Modell (Fractional Effective Dose) (D. PURSER, ISO 13571)

$$FED(t) = \max \left[\sum_0^t \left((F_{CO}(t) + F_{HCN}(t) + FLD_{irr}(t)) \cdot V_{Hyp}(t) + F_{O_2}(t) \right), \sum_0^t F_{CO_2}(t) \right]$$

$$F_{CO}(t) = \frac{3,317 \cdot 10^{-5} \cdot AMV \cdot C_{CO}^{1,036}(t) \cdot \Delta t}{COHb_{incap}}$$

- Ruhen oder Schlafen: $AMV = 8,5$ l/min, $COHb_{incap} = 40$ %
- Leichte Arbeit wie normale Fluchtbewegung: $AMV = 25$ l/min, $COHb_{incap} = 30$ %
- Schwere Arbeit wie langsames Laufen und Aufwärtsgehen auf Treppen: $AMV = 50$ l/min, $COHb_{incap} = 20$ %

Akute Toxizität - Stickgase

- FED-Modell (Fractional Effective Dose) (D. PURSER, ISO 13571)

$$FED(t) = \max \left[\sum_0^t \left((F_{CO}(t) + F_{HCN}(t) + FLD_{irr}(t)) \cdot V_{Hyp}(t) + F_{O_2}(t) \right), \sum_0^t F_{CO_2}(t) \right]$$

$$F_{HCN}(t) = \frac{\Delta t}{\exp(5,396 - 0,023 \cdot c_{HCN}(t))} - \frac{\Delta t}{222}$$

mit $c_{HCN}(t)$ in ppm und Δt in min.

$$FLD_{irr}(t) = \sum_{i=1}^n FLD_{irr,i}(t) = \sum_{i=1}^n \frac{\sum_0^t c_{irr,i}(t) \cdot \Delta t}{LED_i}$$

$$V_{Hyp}(t) = \exp(0,2 \cdot c_{CO_2}(t)) \quad F_{O_2}(t) = \frac{\Delta t}{\exp(8,13 - 0,54 \cdot (20,9 - c_{O_2}(t)))}$$

$c_{CO_2}(t)$ in Vol-%

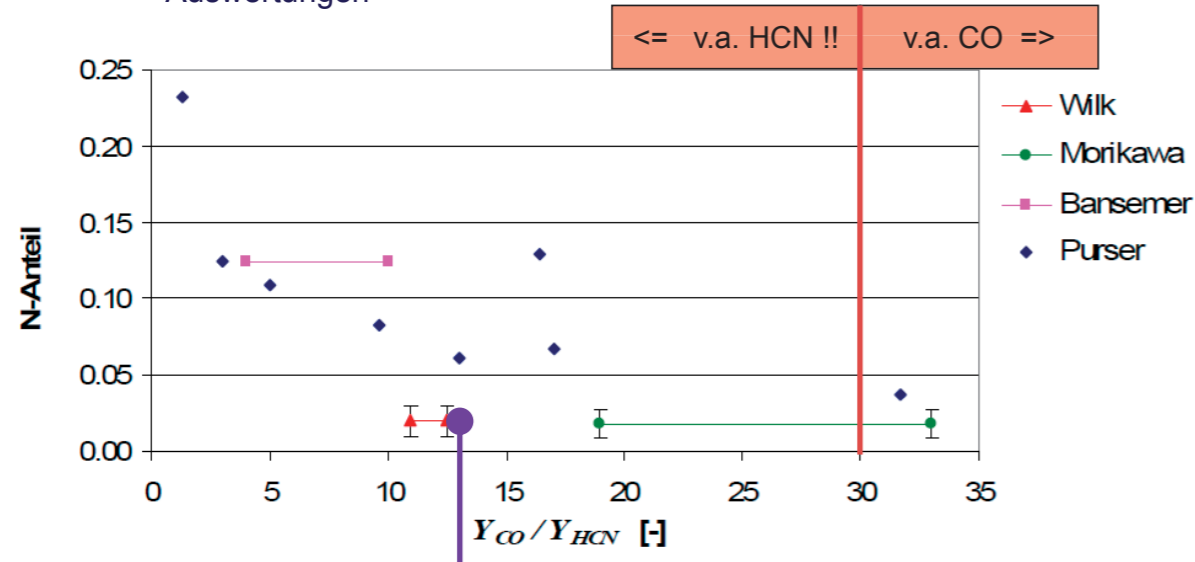
Akute Toxizität - Stickgase

- Bedeutung von HCN (Zyanwasserstoff, Blausäuregas)
 - HCN ca. 30 x toxischer als CO !
- Ansatz nach Purser / Britisch Standard
 - bei $m_N < 2$ % im Brandgut: $Y_{CO} / Y_{HCN} > 52 / 1$
 - bei $m_N > 2$ % im Brandgut (Kunststoffe wie PU, PA): $Y_{CO} / Y_{HCN} \approx 13 / 1$
- Da CO (28 g/mol) und HCN (27 g/mol) fast gleiche Molmassen, verhalten sie die Verhältnisse der Gaskonzentrationen sehr ähnlich der Ausbeuten
- Bei $m_N > 2$ % (z.B. Polstermöbelbrände) Hauptgefahr durch HCN
- Spurengas HCN braucht in FDS nicht als Spezies definiert werden, stattdessen Korrelation mit CO-Konzentration möglich

Akute Toxizität - Stickgase

□ Korrelation von CO und HCN -Ausbeuten

- Vergleich des Ansatzes nach Purser / British Standard mit eigenen Auswertungen



Akute Toxizität - Reizgase

Kriterium „Auslösung von Reizungen“ nach Purser (SFPE 2008) bzw. ISO 13571

□ FEC-Modell (Fractional Effective Concentration) (D. PURSER, ISO 13571)

$$FEC_{irr}(t) = \frac{c_{HCl}(t)}{F_{HCl}} + \frac{c_{HBr}(t)}{F_{HBr}} + \frac{c_{HF}(t)}{F_{HF}} + \frac{c_{SO_2}(t)}{F_{SO_2}} + \frac{c_{NO_2}(t)}{F_{NO_2}} + \frac{c_{CH_2CHO}(t)}{F_{CH_2CHO}} + \frac{c_{HCHO}(t)}{F_{HCHO}} + \sum \frac{c_i(t)}{F_i}$$

Tabelle 5 Die wichtigsten Reizgase im Brandfall mit letalen Expositionsdosen LED_i (nach Purser [5], vgl. Gl. (12)) und Beurteilungskonzentration $F_{i,1}$ bzw. $F_{i,2}$ zur Auslösung von Reizungen (nach ISO 13571 [6] bzw. Purser [5], vgl. Gl. (16))

Bezeichnung	Summenformel	LED_i [ppm*min]	$F_{i,1}$ [ppm]	$F_{i,2}$ [ppm]
Chlorwasserstoff	HCl	114.000	1.000	200
Bromwasserstoff	HBr	114.000	1.000	200
Fluorwasserstoff	HF	87.000	500	200
Schwefeldioxid	SO ₂	12.000	150	24
Stickstoffdioxid	NO ₂	1.900	250	70
Acrolein	CH ₂ CHO	4.500	30	4

Akute Toxizität - Reizgase

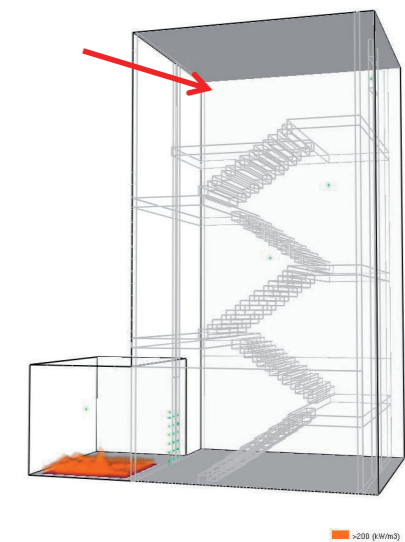
□ Problemfall Reizgase

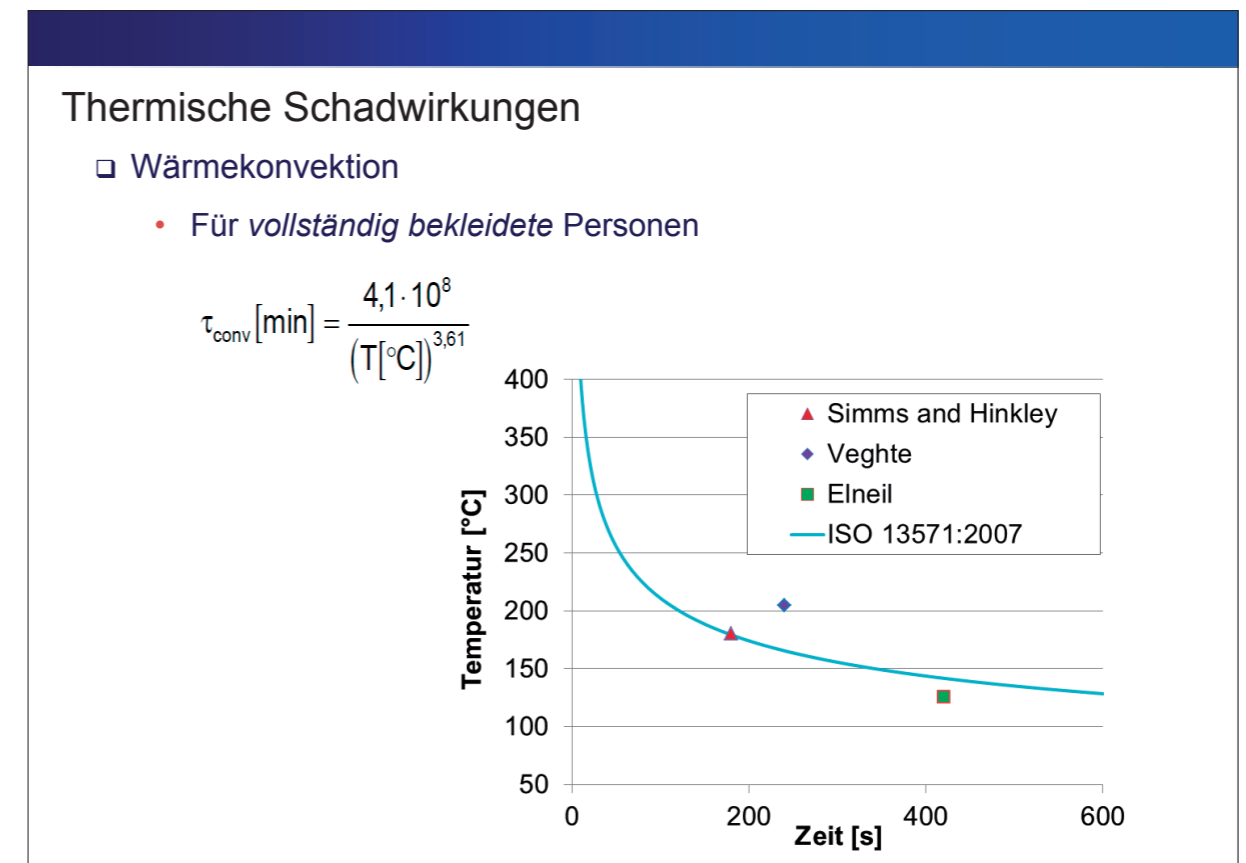
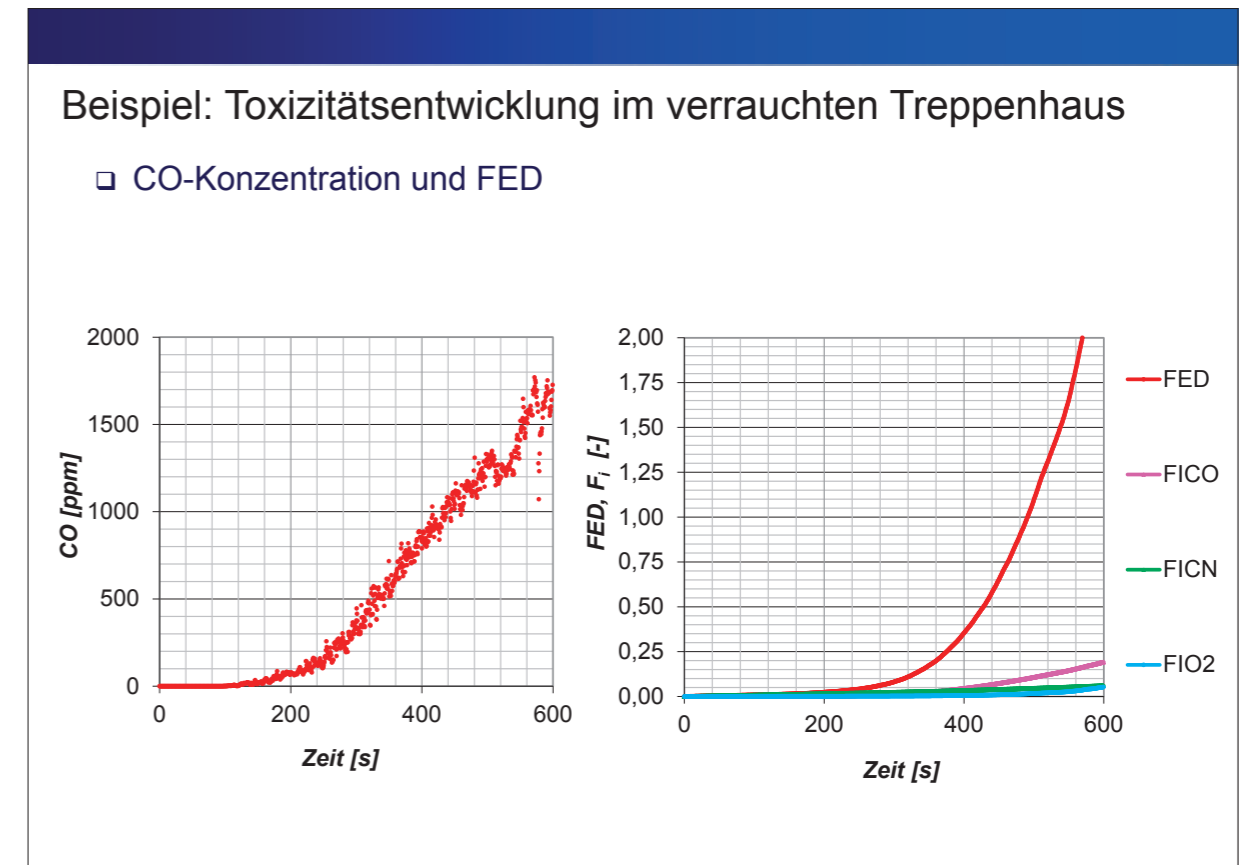
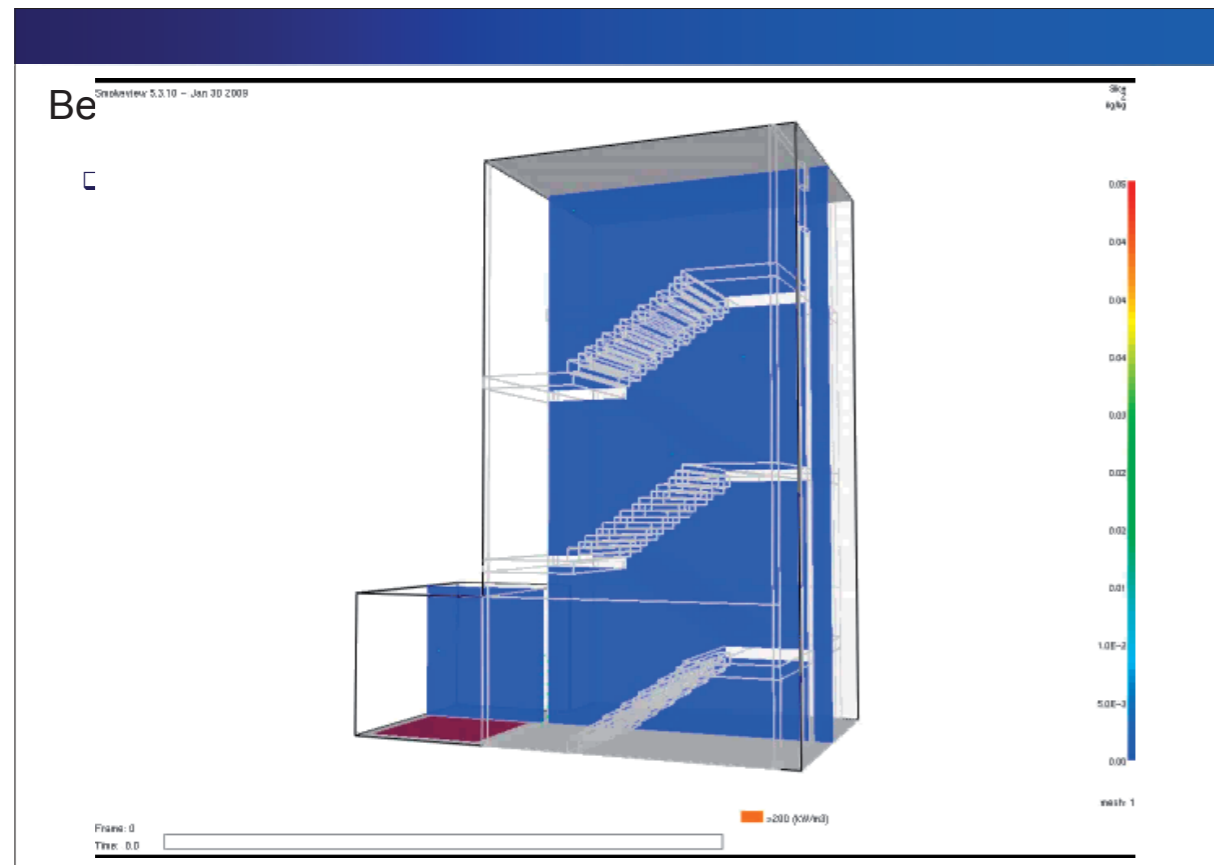
- Größeres Gasspektrum als bei Stickgase
- Höhere Unsicherheiten bei Festlegung der Quellterme
- Höhere Abweichungen in den Beurteilungsgrößen
- Allerdings Korrelation zwischen Reizgaswirkungen und Fluchtunfähigkeit nicht klar

Beispiel: Toxizitätsentwicklung im verrauchten Treppenhaus

□ Simulation der Verrauchung eines Treppenhauses durch einen Kellerbrand (FDS5)

- Wärmefreisetzungsrate
 - linear von 0 bis 2 MW nach 600 s
- Effektive Verbrennungswärme
 - $\Delta H_u = 18950$ kJ/kg
- Ausbeuten:
 - $Y_{CO} = 0,02$ g/g („generisch“)
 - $Y_{HCN} = 0,0004$ g/g
- Exposition auf dem obersten Treppenabsatz



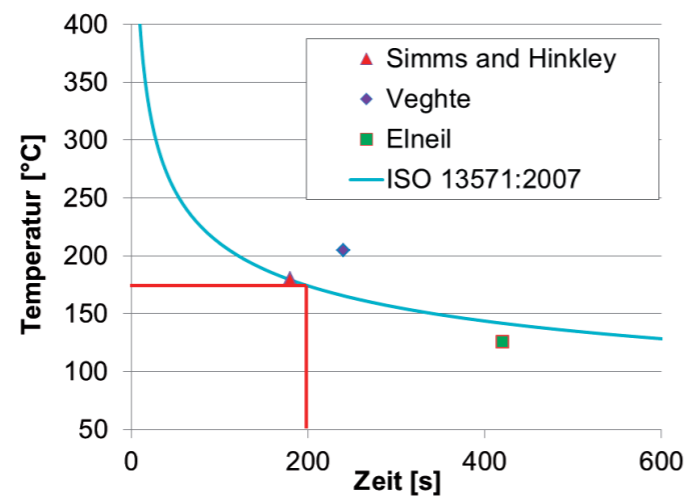


Thermische Schadwirkungen

□ Verdeutlichung des FED-Konzepts, hier FED_{conv} (bekleidete Personen)

- Bsp.: 100 s Exposition bei 175°C -> FED_{conv} = 0.5

$$\tau_{conv} [\text{min}] = \frac{4,1 \cdot 10^8}{(T[^\circ\text{C}])^{3,61}}$$



vgl. vfdb-Leitfaden, 2. Aufl. Tabelle 8.2

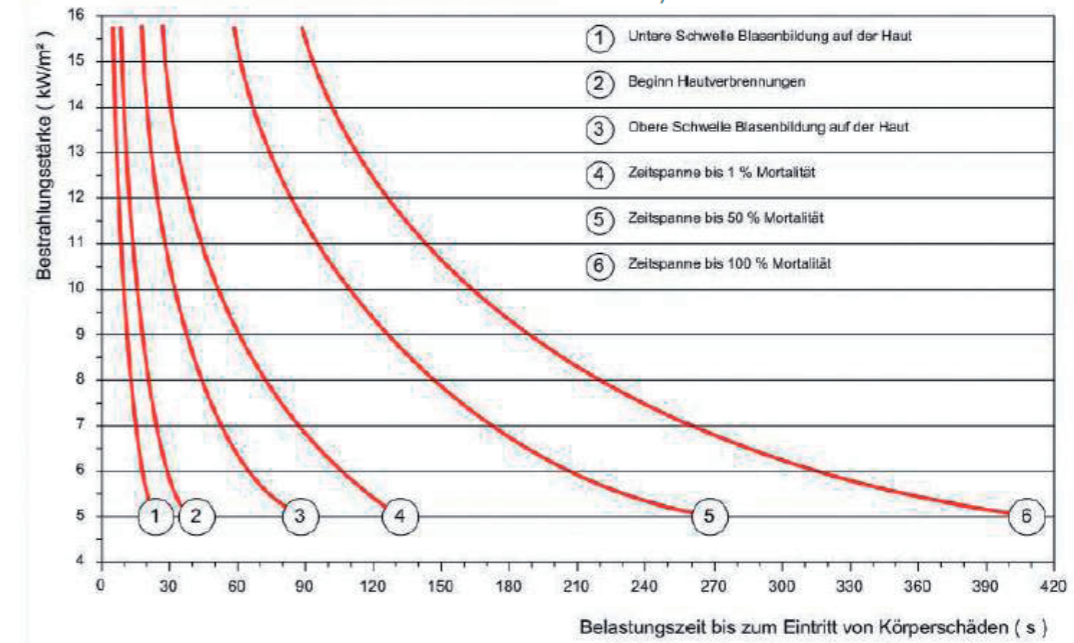
Gastemp	Exposzeit	FED _{conv}
50°C	< 300 s	0,01
50°C	< 900 s	0,04*
45°C	<1800 s	0,06*

* Gültigkeitsbereich?

Thermische Schadwirkungen

□ Wärmestrahlung, Vergleich

GRI-00/0189: A Model for Sizing High Consequence Areas Associated With Natural Gas Pipelines, C-FER Technologies, Edmonton, Alberta, Canada, October 2000.



Thermische Schadwirkungen

□ Wärmestrahlung

- Schmerzgrenze (nicht notwendiger Weise fluchtbeeinträchtigend)

$$\tau_{rad} [\text{min}] = \frac{4,2}{(q[\text{kW}/\text{m}^2])^{1,9}}$$

- Verbrennungen 2. Grades (für q > 2,5 kW/m²)

$$\tau_{rad} [\text{min}] = \frac{6,9}{(q[\text{kW}/\text{m}^2])^{1,56}}$$

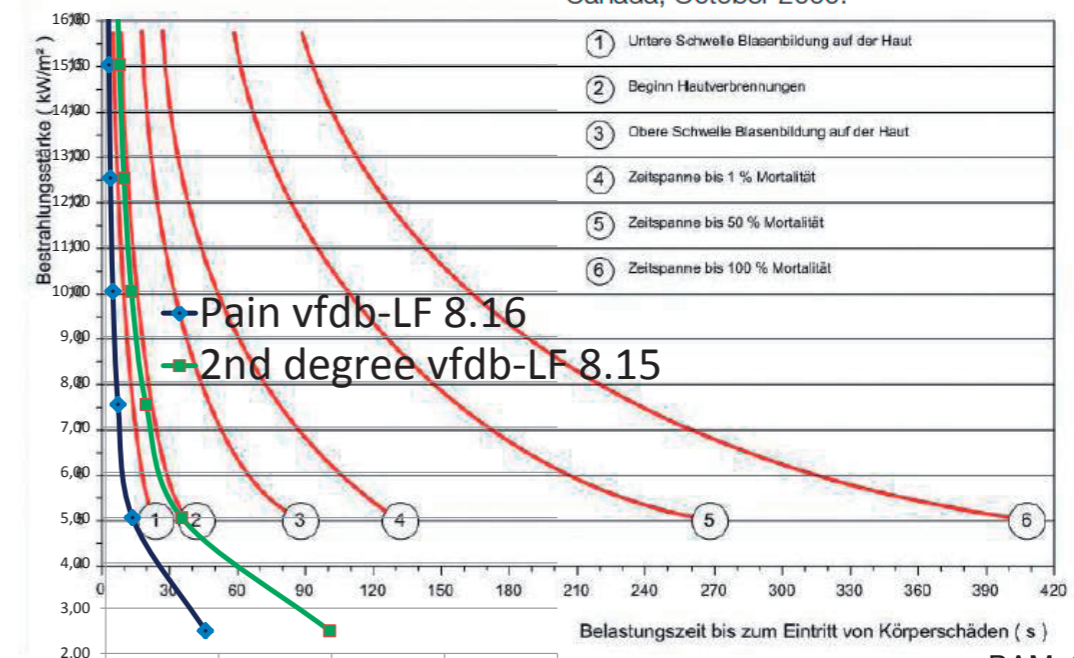
- Kombinierte Schadwirkungen aus Konvektion und Strahlung

$$FED_{thermisch} = \sum \left(\frac{\Delta t}{\tau_{conv}} + \frac{\Delta t}{\tau_{rad}} \right)$$

Thermische Schadwirkungen

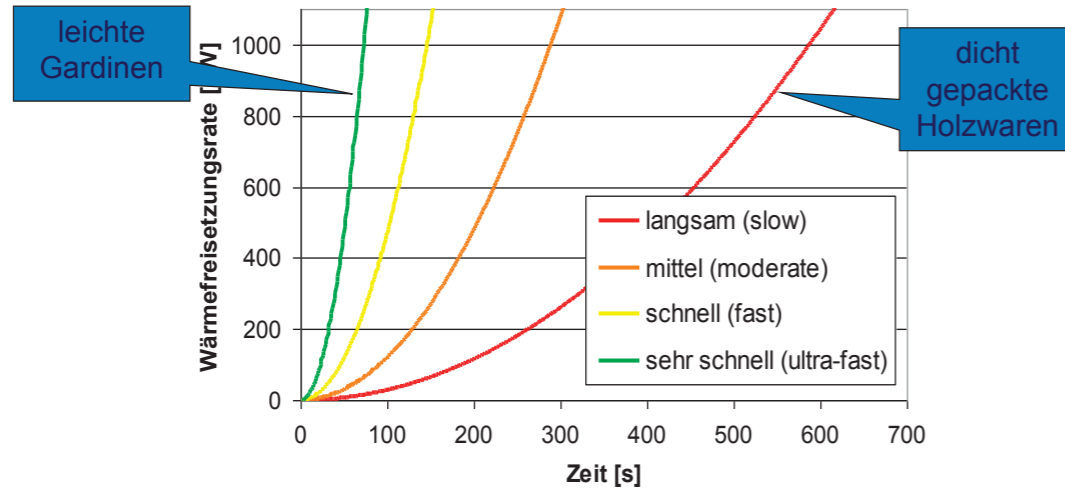
□ Wärmestrahlung, Vergleich

GRI-00/0189: A Model for Sizing High Consequence Areas Associated With Natural Gas Pipelines, C-FER Technologies, Edmonton, Alberta, Canada, October 2000.



Konservativität von Szenarien

- häufig verwendeter Ansatz für Wärmefreisetzung-Zeit-Verlauf:
 $HRR(t) = \alpha * t^2$ mit α : Brandentwicklungsgeschwindigkeit [kW/s²]
- international standardisierte Brandentwicklungsgeschwindigkeiten

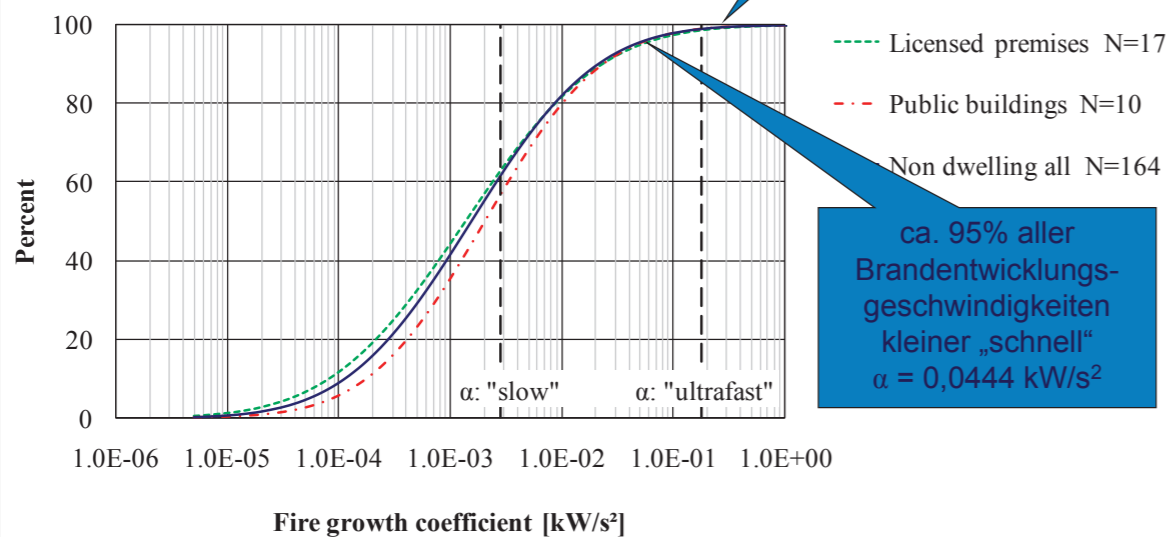


Konservativität von Szenarien

- Welche Brandentwicklungsgeschwindigkeit tritt auslegungsgemäß auf?
 - Große Unsicherheiten bei der Szenarienfindung
- Im Bereich der Störfallverordnung (BImSchG) „Dennoch-Szenarien“
 - „Auslegungsstörfälle“ -> „Auslegungsüberschreitende Störfälle“
 - konservative Szenarien erlauben die Verwendung von weniger konservativen Beurteilungswerten (z.B. AEGL-2: Grenze zur fluchtbeeinträchtigenden Schädigung)
 - „Robustheit“, kein „Cliff-Edge-Behavior“

Konservativität von Szenarien

- Daten von HOLBORN et al. (Londoner Feuerw... aufgetretene α in der Kategorie „keine Wohnun...“)
- idealisierter Verlauf durch Log.-Normalverteil...



Konservativität von Szenarien

- „Dennoch-Szenarien“ im Brandschutzingenieurwesen z. B.
 - Verwendung verbotswidriger Brandlasten
 - Ausfall anlagentechnischer Maßnahmen
 - Ausfall von Rettungswegen
 - Grobe Fahrlässigkeit, Sabotage
- Im Brandschutzingenieurwesen stehen konservative und weniger konservative Beurteilungskriterien zur Verfügung
- Diskussion bei der Tragwerksbemessung nicht bekannt, da
 - Unsicherheiten geringer und
 - Kombinationsbeiwerte vereinbart

Dr. Volker Schneider:

Bestimmung von Sicht- und Erkennungsweiten im Rahmen einer CFD-Analyse

Abstract:

Aussagen zur Personensicherheit im Brandfall basieren wesentlich auf der Bestimmung der zeitlichen Entwicklung der Rauchausbreitung und damit der raucharmen Schicht im Bereich der Flucht- und Rettungswege. Da die Rauchausbreitung in der Entwicklungsphase eines Brandes ein stark lokales und dynamisches Phänomen darstellt, ist – insbesondere in einer komplexen räumlichen Umgebung – in der Regel der Einsatz eines CFD-Modells für entsprechende rechnerische Nachweise erforderlich. Von grundlegender Bedeutung in diesem Zusammenhang ist eine aussagekräftige und nachvollziehbare Bestimmung der optischen Rauchdichte und gegebenenfalls auch der zugehörigen Sicht- bzw. Erkennungsweite im Brandfall.

In diesem Beitrag sollen dabei die folgenden Punkte vorgestellt und diskutiert werden:

- Abbrand eines Polyurethan-Kissens – ein Testszenarium zur Verifikation der Berechnung der optischen Dichte pro Weglänge bzw. des Extinktionskoeffizienten
- Anwendung des Testszenariums: Vergleich FDS – KOBRA-3D
- Anforderungen an die Dokumentation (Eingabegrößen, Darstellung)
- Bestimmung von Sicht- und Erkennungsweiten: einfache traditionelle Ansätze (z.B. Methode nach Jin) vs. komplexe Methoden unter Berücksichtigung spezifischer Raumeigenschaften und Zeichencharakteristika
- Bewertung von Simulationsergebnissen – Beurteilungswerte
- Ausblick: Integration in Entfluchtungsanalysen

Bestimmung von Sicht- und Erkennungsweiten im Rahmen einer CFD-Analyse

Dipl.-Phys. Dr. Volker Schneider
IST GmbH, Frankfurt/Main

Gliederung

- Grundlagen (optische Dichte)
- Test zur Verifikation – PU-Kissenbrand
- Erkennungsweite als lokales Phänomen
- Anwendung in Entfluchtungssimulationen

Beurteilungsgrößen für quantitative Schutzziele

Beurteilungsgröße	längere Aufenthaltsdauer (< 30 min)	mittlere Aufenthaltsdauer (ca. 15 min)	kurze Aufenthaltsdauer (< 5 min)
CO-Konzentration	100 ppm	200 ppm	500 ppm
CO ₂ -Konzentration	1 Vol.-%	2 Vol.-%	3 Vol.-%
HCN-Konzentration	8 ppm	16 ppm	40 ppm
Wärmestrahlung	1,7 kW/m ²	2,0 kW/m ²	< 2,5 kW/m ²
Gastemperatur	45 °C	50 °C	50 °C
Rauchdichte D_L	0,1 m ⁻¹	0,1 m ⁻¹ /0,15 m ⁻¹	0,1 m ⁻¹ /0,2 m ⁻¹
Erkennungsweite	10 m – 20 m	10 m – 20 m	10 m – 20 m

Quelle: vfdb-Leitfaden „Ingenieurmethoden des Brandschutzes“, 2. Aufl. 2009

Sichtrübung durch Brandrauch

- optische Dichte pro Weglänge D_L [m⁻¹]
- Extinktionskoeffizient K [m⁻¹] = ln(10) D_L
- Massenkonzentration (Rauchpartikel-Beladung) $c_{Ru\beta}$ [kg/m³] und
- Rußausbeute $Y_{Ru\beta}$ [-]
- Rauchpotential D_m
- Specific Extinction Area $SEA = K / c_{Ru\beta}$
- mass specific extinction coefficient K_m
- alle [m²/g] !

Rauchpotential D_m

$$D_m = D_L \frac{V}{\Delta M} \quad (\text{Messvorschrift})$$

ΔM = gesamte verbrannte Masse in Volumen V

Rauchpotential (mass optical density) D_m [m²/g]

Rauchausbeute (yield) $Y_{Ru\beta}$ [-]

Rauchkonzentration $c_{Ru\beta}$ [g/m³]

$$D_L = D_m \cdot c_{Brand} = D_m \cdot c_{Ru\beta} / Y_{Ru\beta}$$

Rauchpotential und Rauchausbeute

$$D_m = K_m \frac{Y_{Ru\beta}}{\ln(10)} \quad \text{formaler Zusammenhang}$$

oder empirisch (z.B.)

$$D_m = 0.10 \ln Y_{Ru\beta} + 0.52 \quad (\text{flammend})$$

$$K_m = 8,7 \text{ m}^2/\text{g} \text{ und } Y_{Ru\beta} = 0,1 \rightarrow D_m = 0,38 \text{ m}^2/\text{g}$$

$$\rightarrow D_m = 0,29 \text{ m}^2/\text{g}$$

PU-Kissen (200g) in Raum (36 m² x 2,5 m)

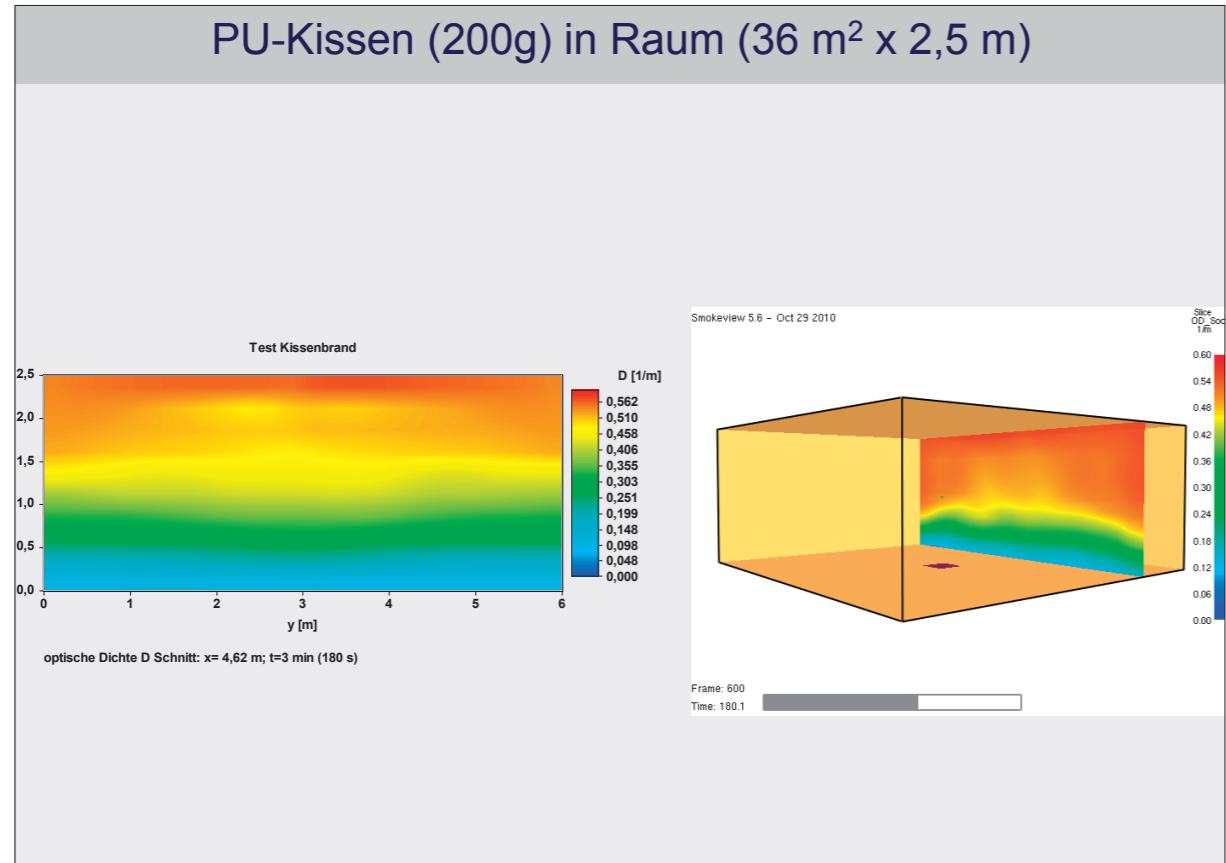
$$D_L = D_m \times M_{\text{Brandgut}} / V_{\text{Raum}} =$$

$$0,22 \text{ m}^2/\text{g} \times 200 \text{ g} / 36 \text{ m}^2 / 2,5 \text{ m} = 0,49 \text{ m}^{-1}$$

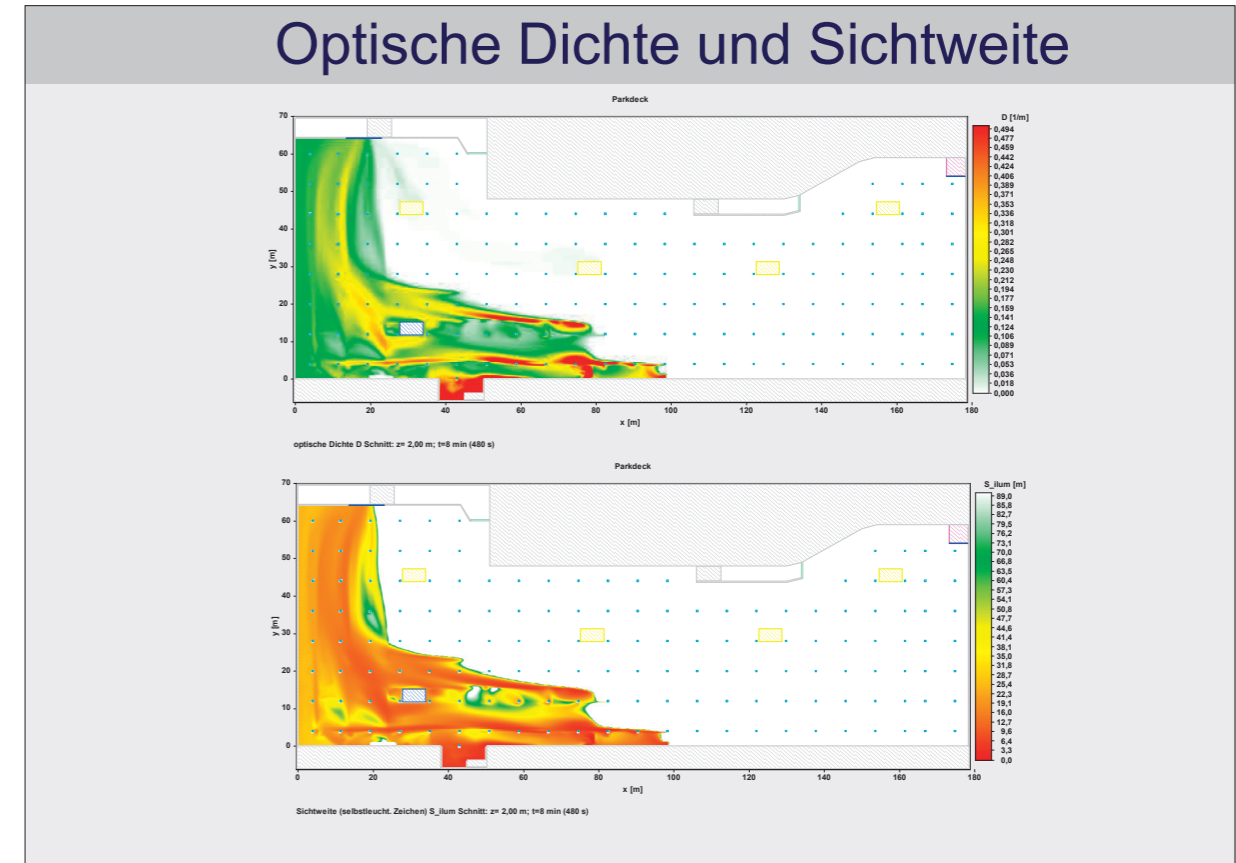
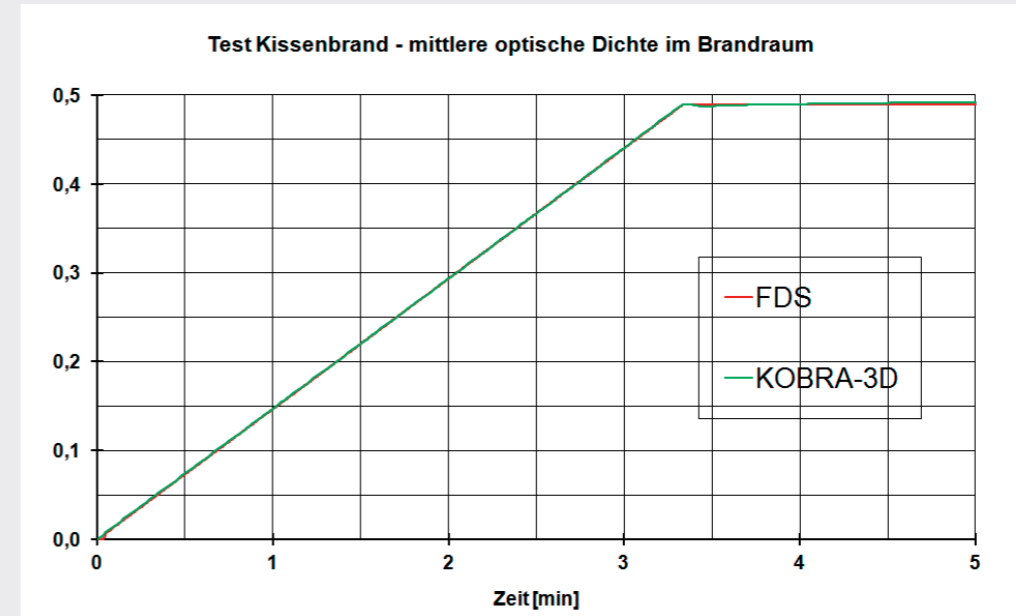
```
&REAC ID      = 'POLYURETHANE'
FYI          = 'C_6.3 H_7.1 N_O_2.1, NFPA Handbook, Babrauskas'
SOOT_YIELD = 0.10
N            = 1.0
C            = 6.3
H            = 7.1
O            = 2.1
MASS_EXTINCTION_COEFFICIENT = 5065.7
VISIBILITY_FACTOR = 3.0
HEAT_OF_COMBUSTION = 20000.0 /

&SURF ID='BURNER', HRRPUA=80., RAMP_Q = 'fire_ramp', COLOR='RASPBERRY' /

&RAMP ID='fire_ramp', T= 0.0, F=1.0 /
&RAMP ID='fire_ramp', T= 200.0, F=1.0 /
&RAMP ID='fire_ramp', T= 200.2, F=0.0 /
```



PU-Kissen (200g) in Raum (36 m² x 2,5 m)



Bestimmung von Erkennungsweiten

ISO 13571:

visibility

maximum distance at which an object of defined size, brightness and contrast can be seen and recognized

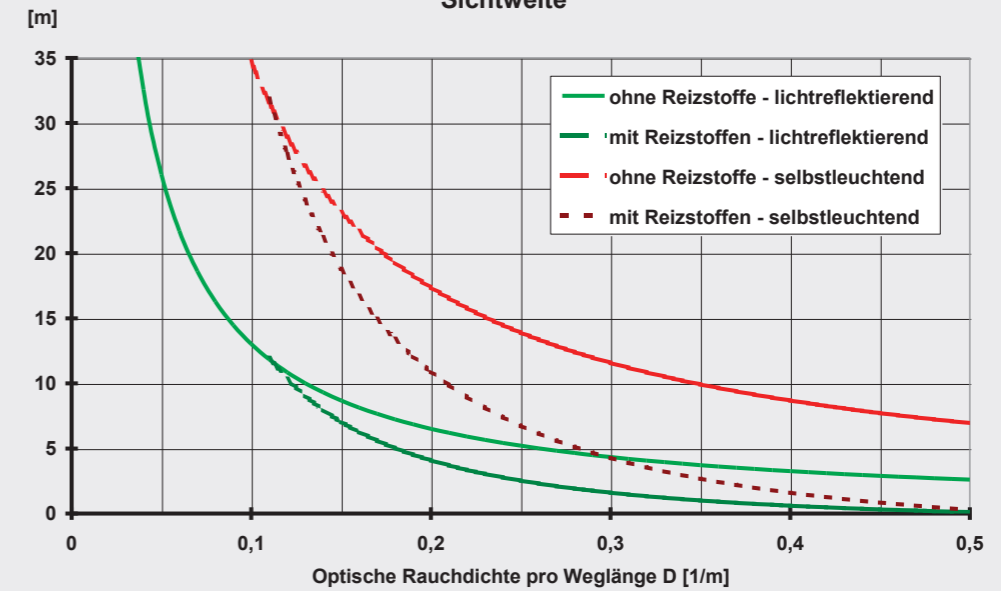
Erkennungsweite und Extinktionskoeffizient - Modell von Jin -

$$S = C / K \quad K > 0 \text{ m}^{-1}, S \geq 0.5 \text{ m} \quad (5 \text{ m} \leq S \leq 15 \text{ m})$$

$$S = C / K [0.133 - 1.47 \log(K)]$$

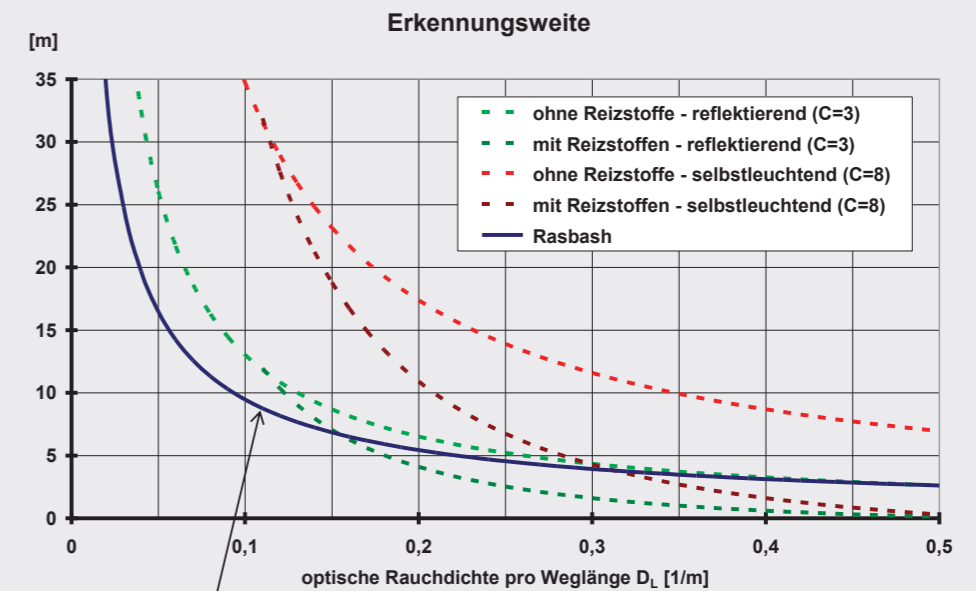
Reizgase im Rauch $K \geq 0.25 \text{ m}^{-1}$

Sichtweite



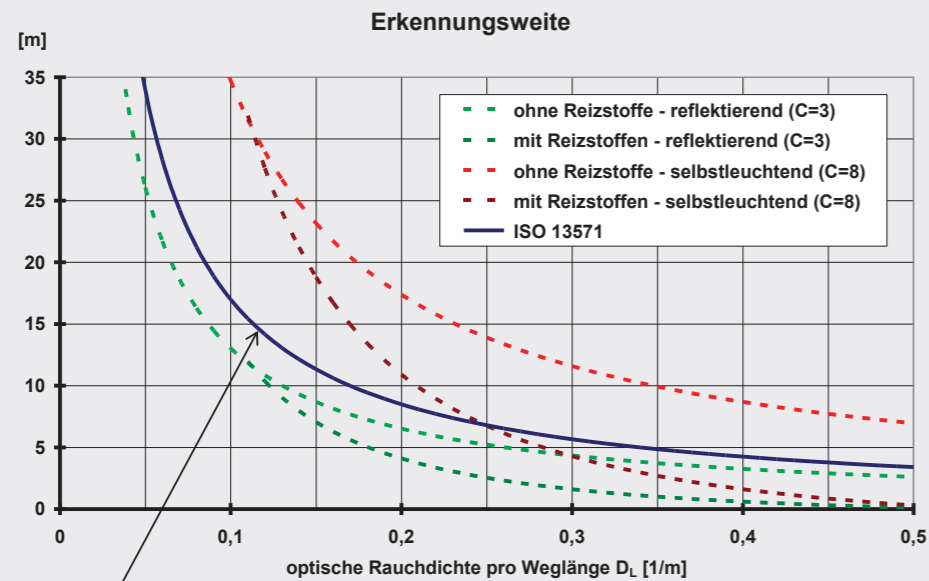
reflektierend $2 \leq C \leq 4$ (3) / hinterleuchtet $5 \leq C \leq 10$ (8)

Sichtweite nach Rasbash



$$S = 1.5 D_L^{-0.8}$$

Sichtweite nach ISO 13571



$$\ln(c_v) = -K S \rightarrow S = 3.9 / K \text{ (für } c_v = 0.02\text{)}$$

Diese Verfahren setzen bestimmte (oft nicht bekannte) Kombinationen aus Raumeigenschaften, Beleuchtungssituation, verwendeten Zeichen, Kriterien für die Erkennbarkeit und Rauchzusammensetzung voraus (+ individuelle Eigenschaften).

Alle diese Verfahren gelten nicht für kleine optische Raumdichten pro Weglänge.

→ Schwellenkontrast-Modell von Kokoschka

Referenz: K. Bieske, D. Gall, S. Kokoschka, Evaluierung von Sicherheitsleitsystemen in Rauchsituationen, Forschungsbericht im Auftrag des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften Sankt Augustin, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik, März 2003

Schwellenkontrast-Modell

- Sichtbarkeitskriterium
beobachtete Kontrast $c_v >$ Schwellenkontrast \check{c}
- Schwellenkontrast für
 - Wahrnehmung (Gegenwart eines Zeichens)
 - Identifizierung (Richtungspfeil oder Piktogramm)

Leuchtdichtekontrast c_v

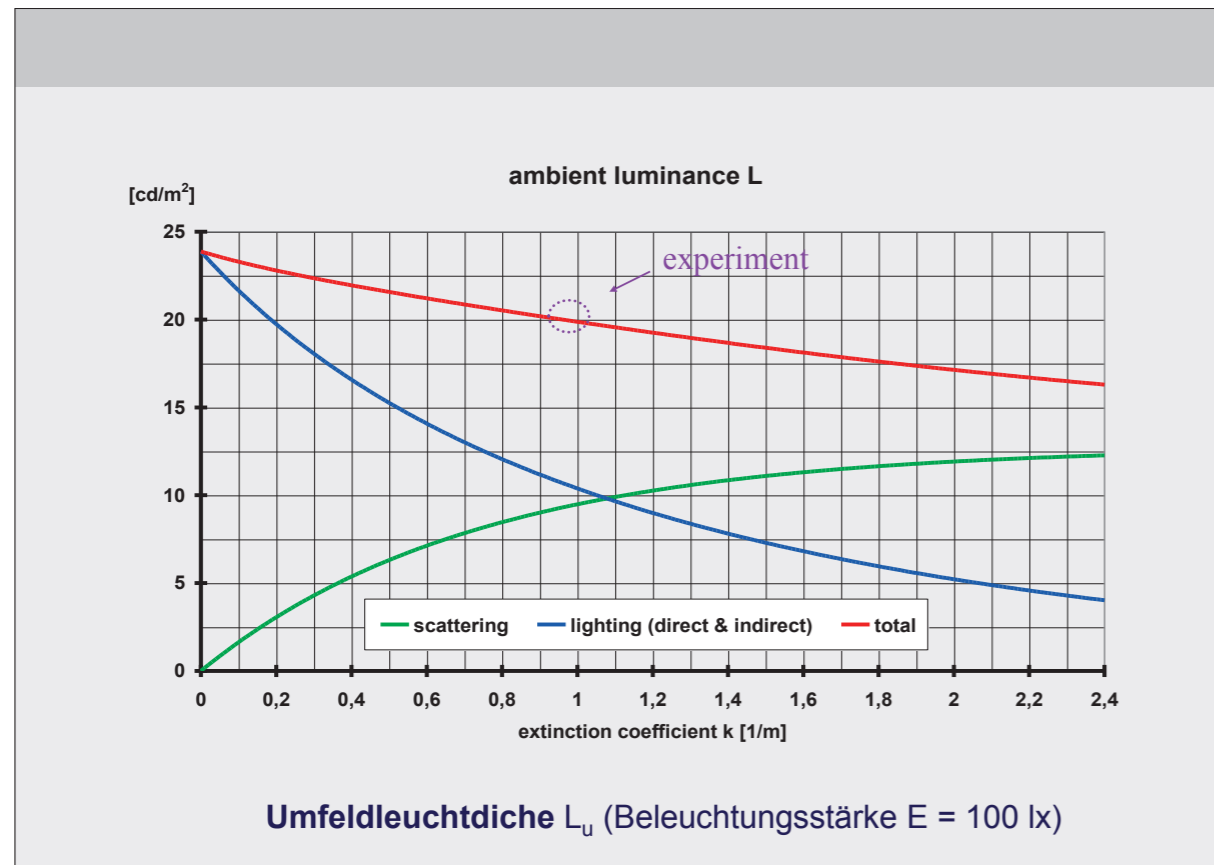
$$c_v = |(L_Z - L_H) / L_H| \quad (L \text{ [cd/m}^2\text{]} = \text{Leuchtdichte})$$

$$L = L_0 e^{-K \cdot l} + L_u K_s / K (1 - e^{-K \cdot l})$$

Abnahme in Rauch Zunahme durch gestreutes Umgebungslicht

Umfeldleuchtdichte L_u hängt ab von

- Beleuchtungsstärke E [lx]
- Reflexionsgrad ρ
- Extinktionskoeffizient $K = K_a + K_s$

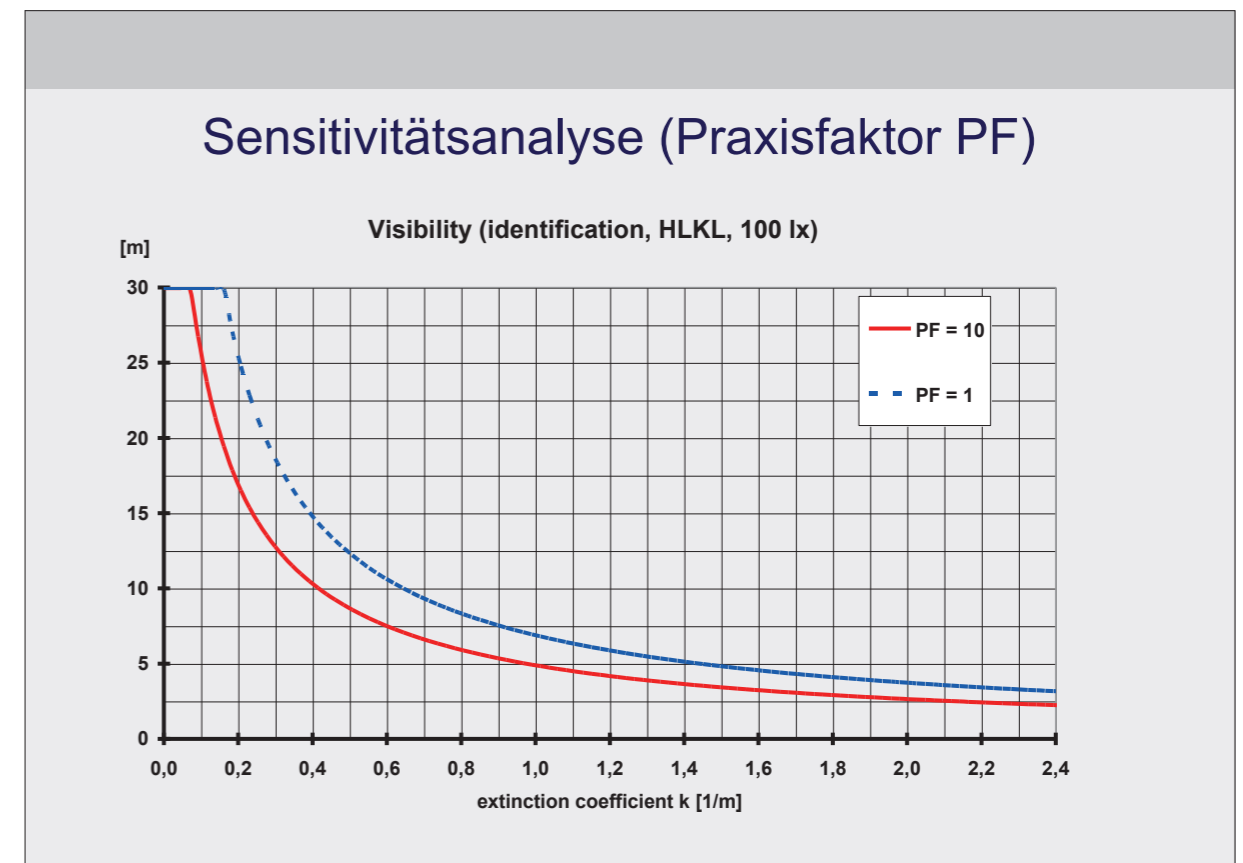
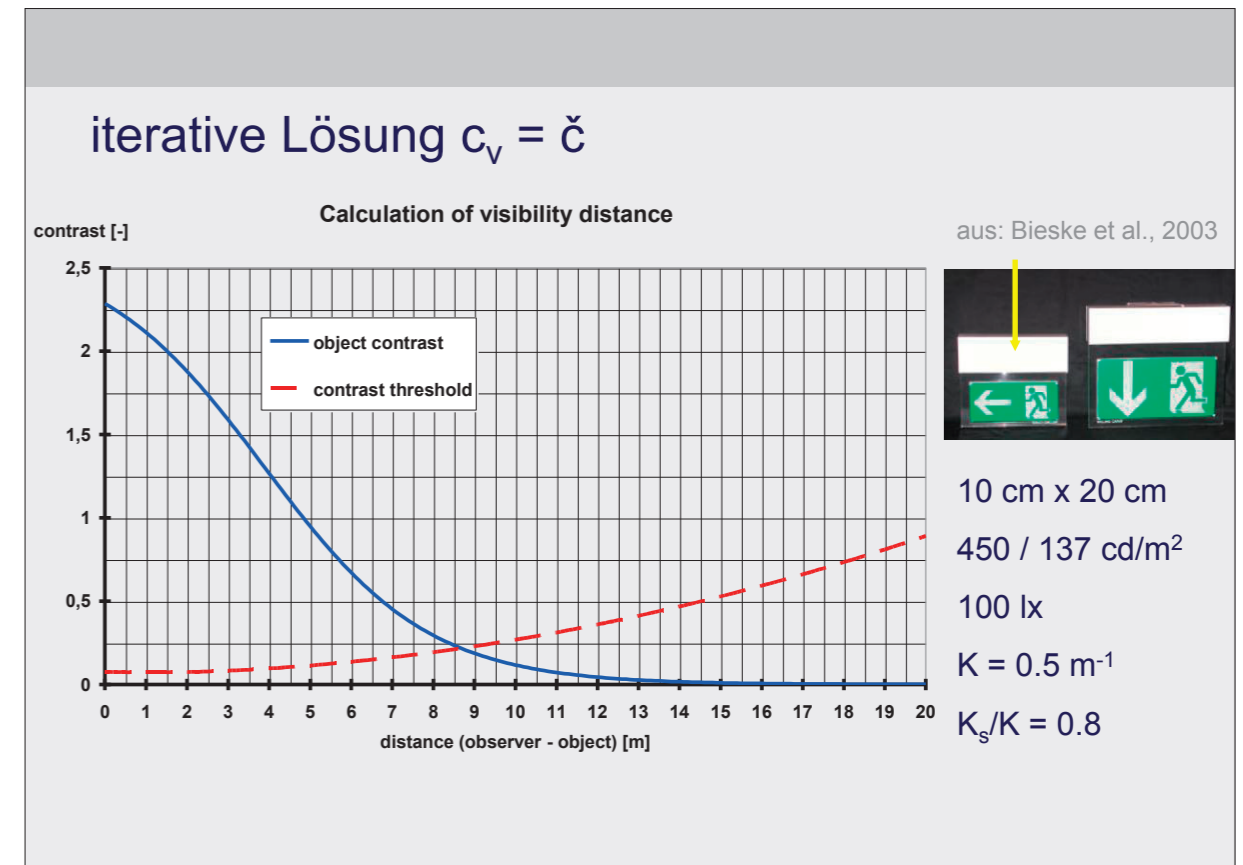


Empirisches Modell für Schwellenkontrast

$$\check{c} = c_{\min} \text{PF} f_1 f_2 f_3 f_4, \quad c_{\min} = 0.00275$$

empirische Konstanten analog Standard der Beleuchtungstechnik +
 neuer Faktor f_4 speziell für Rauchbedingungen

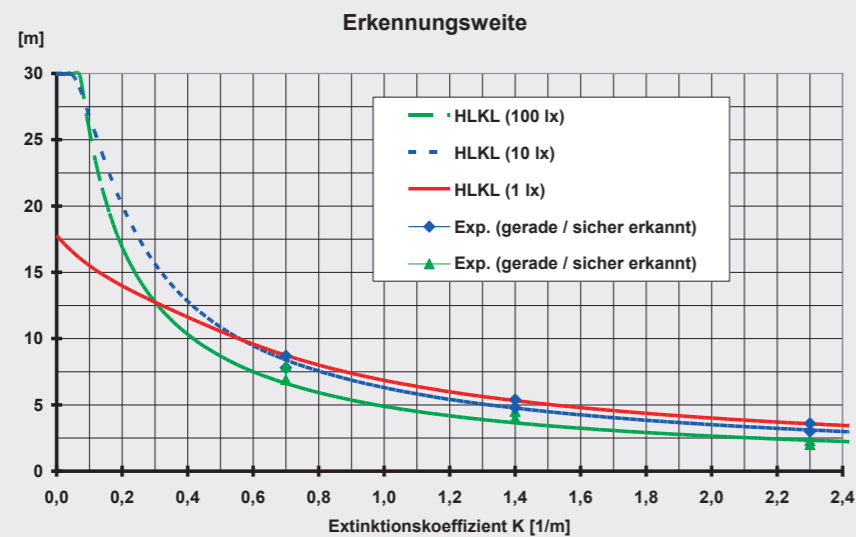
f_1 : Einfluss der Adaptionsleuchtdichte
 f_2 : Sehwinkel (Zeichengröße, Auflösung und Abstand)
 f_3 : Verhältnis Hintergrund- zu Umfeldleuchtdichte
 PF: Praxisfaktor (Abweichung von idealen Bedingungen)
 $f_4 = 1 + 2 \cdot (1 - e^{-K \cdot 1.5m})$ - Reizwirkung Rauch



Parametervariationen im Experiment

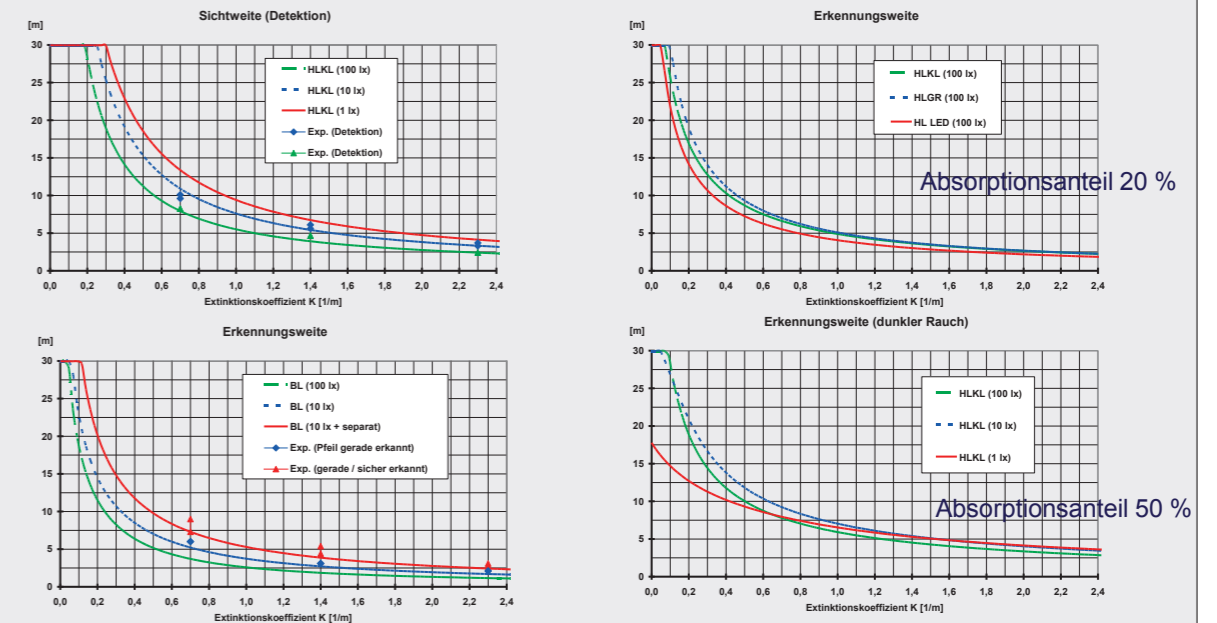
- ❑ 5 Zeichentypen (klein, groß, LED, reflektierend, photo-lumineszierend)
- ❑ 4 Beleuchtungsszenarien
- ❑ 4 Zeichenpositionen (in Bezug auf Lampen)
- ❑ **variabler** Extinktionskoeffizient
- ❑ 4 Kriterien (Licht wahrgenommen, Zeichen wahrgenommen, Pfeil gerade so / sicher identifiziert)
- ❑ **weitere:** Hindernisparcours, Zeichenfarbe, ...
- ❑ 100 / 42 Testpersonen (Alter 15 – 73)
- ❑ **Kunstnebel** ("weißer Rauch")

Erkennungsweite (Methode von Kokoschka)



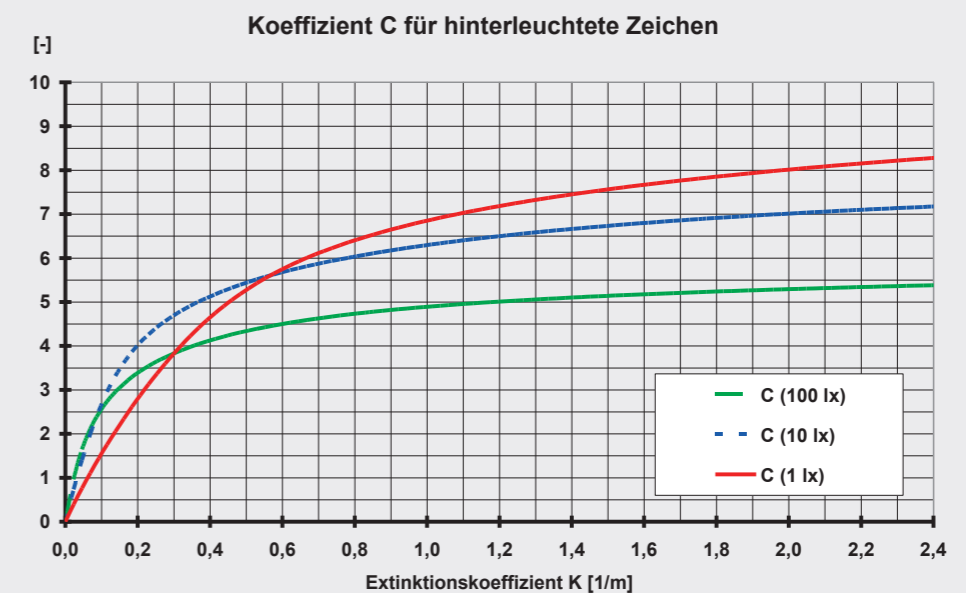
- beobachteter Kontrast > Schwellenkontrast (Lichtstreuung!)
- fundamentaler Ansatz für gesamten Rauchdichtebereich (ab 0!)

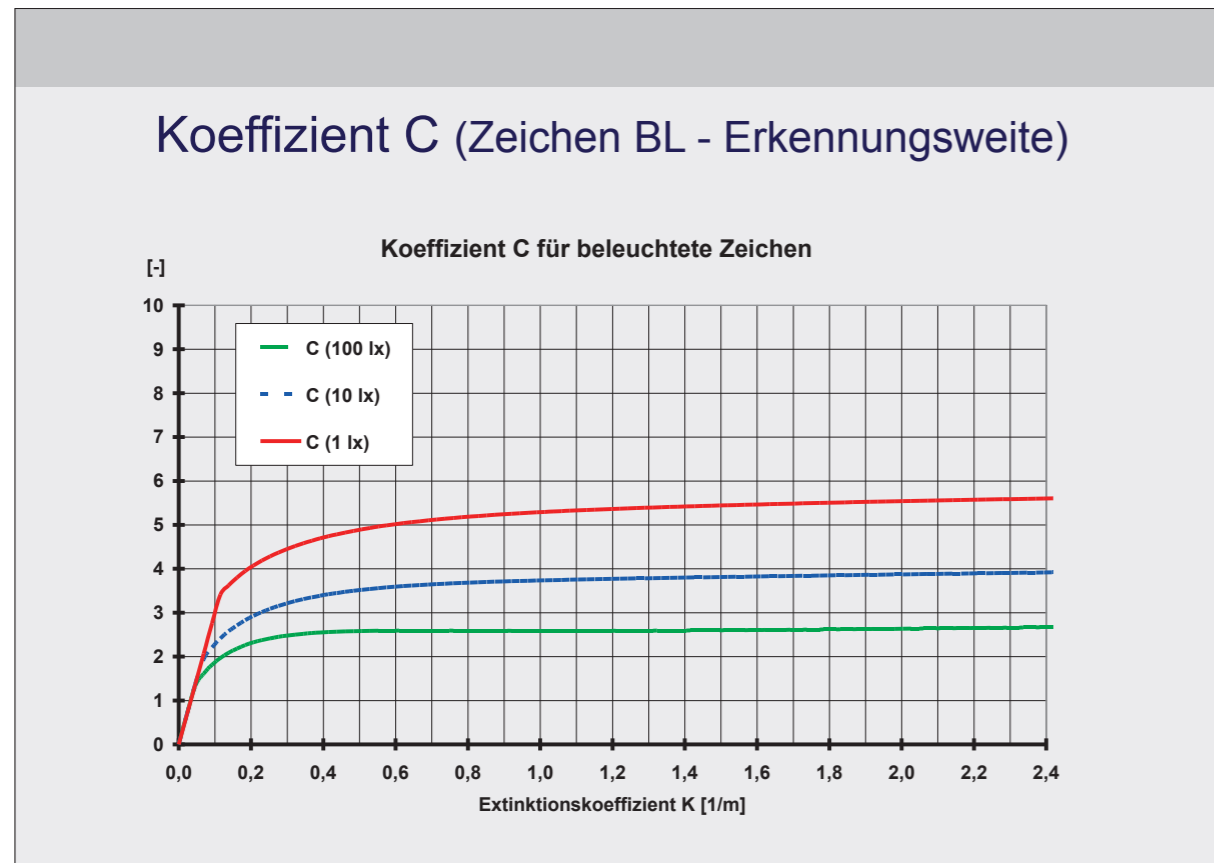
Erkennungsweite (Einflussfaktoren)



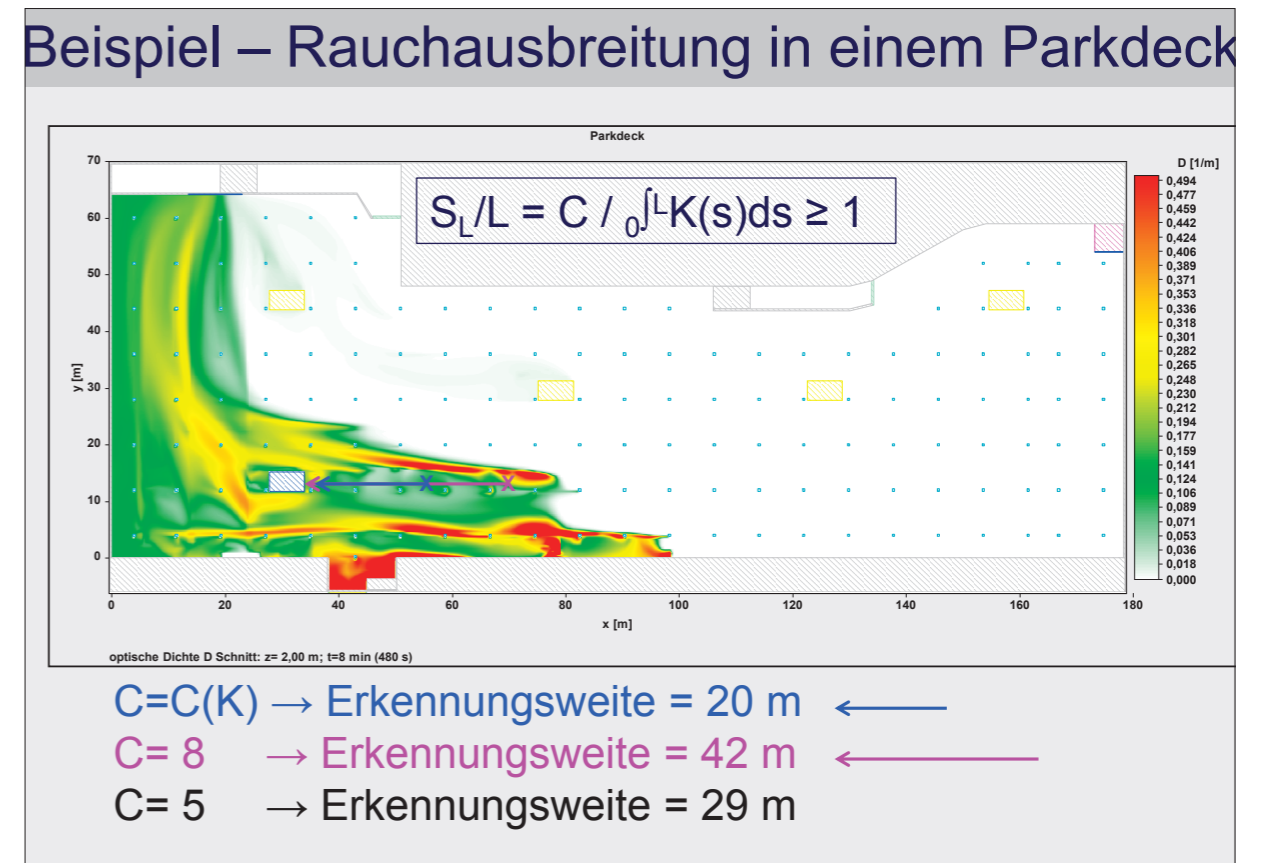
- Zeichengröße, Zeichen-Leuchtdichte, Beleuchtungsstärke
- Reflexionseigenschaften des Raums, Wahrnehmungskriterien
- Rauchdichte und -zusammensetzung

Koeffizient C (Zeichen HLKL - Erkennungsweite)

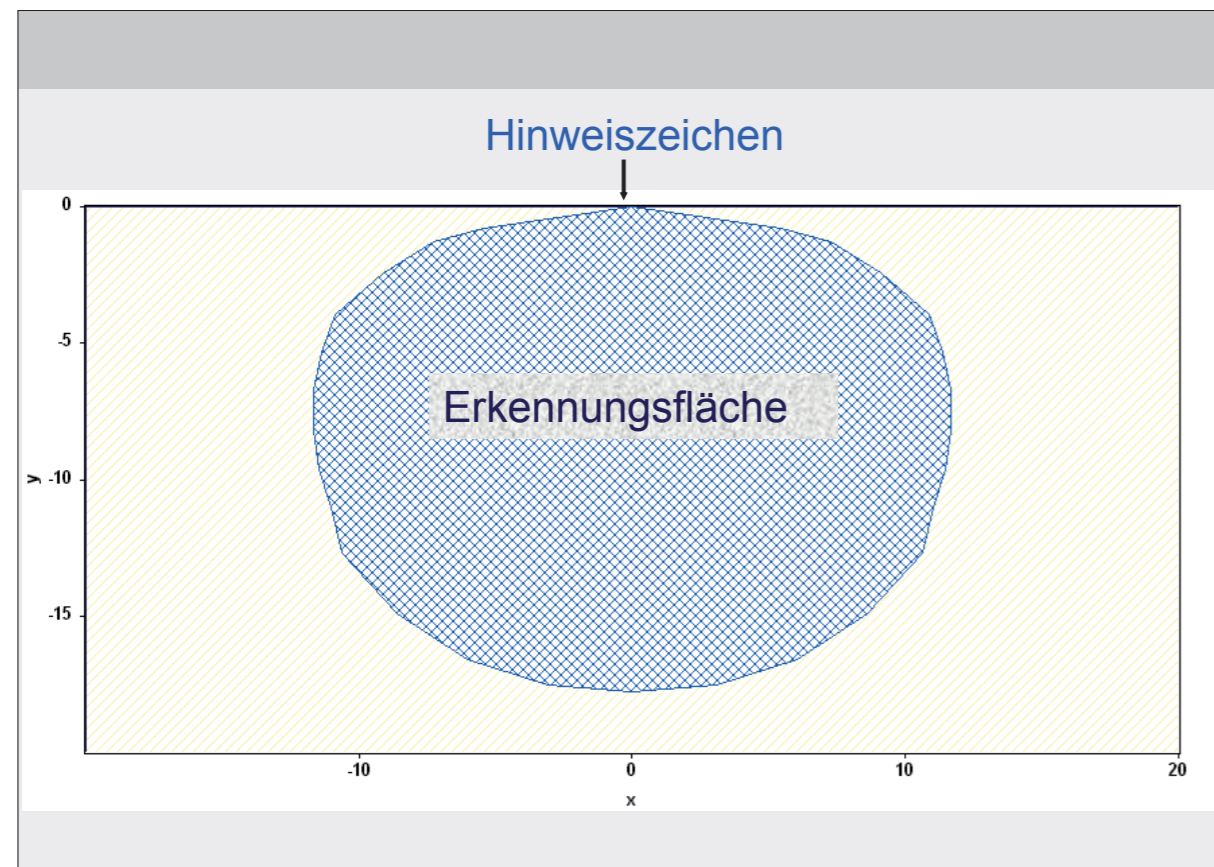




- ### Lokale Bestimmung der Erkennungsweite
- ❑ Zeichen ↔ Beobachter: Abstand und Orientierung
 - ❑ Erkennungsfläche (Visibility Catchment Area VCA)
 - ❑ Wahrnehmungsfeld eines Beobachters
 - ❑ lokale Schwankungen in der optischen Dichte
 - ❑ Integration entlang Sichtlinie
 - ❑ Lösung der Strahlungstransportgleichung (ray tracing / zonal methods *)
 - ❑ vereinfachte Ansätze (average extinction coefficient method **)
- * P. Rubini & Q. Zhang (Univ. of Hull); K. Kang (Hatch Mott MacDonald);
 ** Y. He (Univ. of Western Sydney); B.P. Husted et al. (Lund University)



- ❑ Winkelabhängigkeit der Erkennungsweite S
- $$S(\Phi) = \begin{cases} S_0 (\cos \Phi)^{1/2} & \text{für } 0 \leq \Phi \leq 65.7^\circ \\ 0 & \text{für } \Phi > 82.8^\circ \\ S_0 (\cos \Phi)^{1/2} (0.024 \Phi - 0.577)^{-1} & \text{sonst} \end{cases}$$
- Φ = horizontaler Beobachtungswinkel
 α = vertikaler Beobachtungswinkel ($\cos \alpha \approx 1$)
- [Ph.D. (Architecture) thesis H. Cai “A legibility equation for determining ideal viewing areas in lecture halls”, Univ. Michigan. 2008; H. Cai, P.A. Green – J. Illuminating Engineering Society V, 2009]



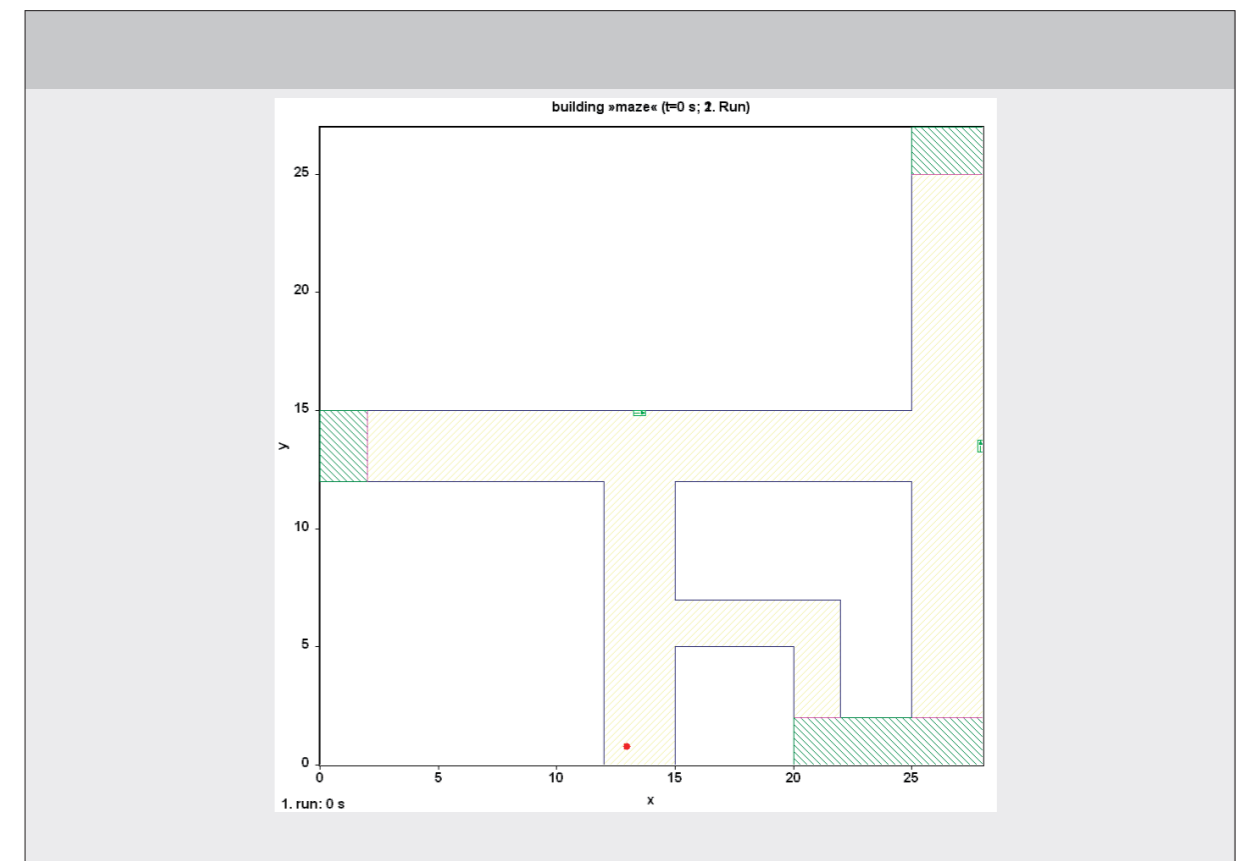
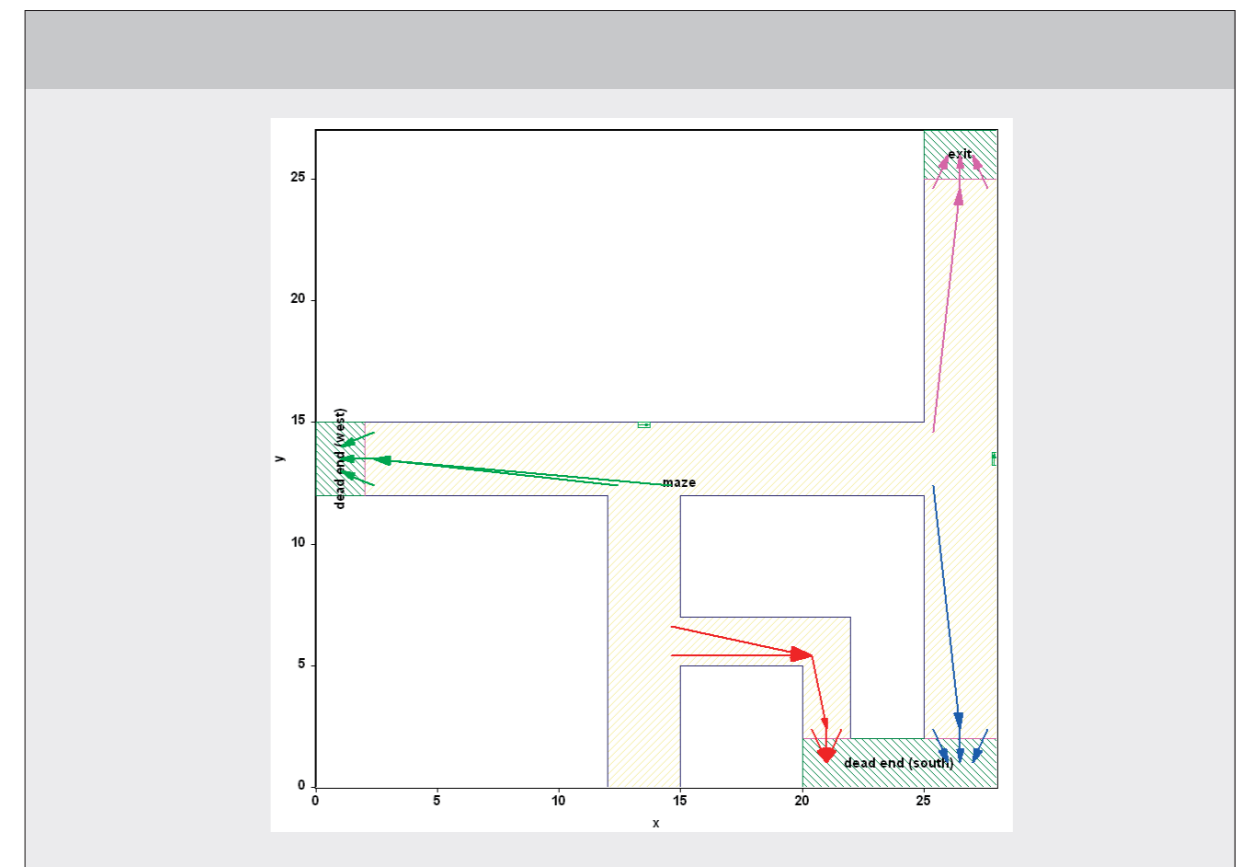
- neue Option für die individuelle Orientierung

Zielvorgabe = Zeichenfolge

Zeichen liefern ausschließlich Richtungsinformation

Keine direkte explizite Verbindung mit anderen Zeichen oder Ausgängen

D.h. dieser Ansatz kann zur Analyse und Optimierung von **Zeichenketten** benutzt werden.



Zusammenfassung

- ❑ Traditionelle (vereinfachte) Berechnungsmethoden liefern für die raucharme Schicht und den Übergangsbereich zur Rauchsicht zu optimistische Erkennungsweiten.
- ❑ Das Schwellenkontrast-Modell erlaubt die quantitative Berücksichtigung unterschiedlicher Einflussgrößen.
- ❑ Berücksichtigung lokaler Schwankungen in der Rauchausbreitung (CFD) führt auf die Bestimmung von Erkennungsflächen.
- ❑ Anwendung in Evakuierungsmodellen.

Dr. Andreas Vischer:

Möglichkeiten zum Ansatz und zur Modellierung von Bränden und Brandszenarien in FDS - eine Diskussionsgrundlage

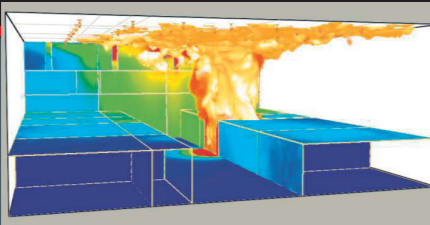
Abstract:

Der entscheidende Eingabeparameter für die Nachweise von Schutzzielen ist der Ansatz des Quellterms (Bemessungsbrand bzw. Wärmefreisetzung). Die Möglichkeiten zum Ansatz des Quellterms in FDS sind vielfältig und unterschiedlich.

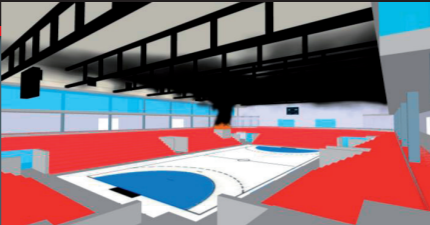
Der Vortrag stellt die verschiedenen Möglichkeiten des Ansatzes eines Quellterms anhand von Beispielen vor und geht ebenso auf das vorhandene Normenwerk und die Literaturquellen ein. Weiterhin werden die in FDS implementierten Möglichkeiten zur Simulation der Brandweiterleitung und Brandausbreitung vorgestellt. Es werden die wichtigsten Parameter und Eingaben zur Definition von Bränden und Brandszenarien beschrieben und anhand von Beispielen erläutert, wann welche Eingaben sinnvoll sind und sich in der Praxis bewährt haben. Anhand einer Vergleichsstudie an einem Holzstapel werden die unterschiedlichen Auswirkungen und Möglichkeiten bei der Angabe des Brandes aufgezeigt. Der Vortrag soll als Grundlage zur Diskussion des Punktes „Definition der Brandquelle“ des FDS-Anwenderleitfadens dienen.

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


6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup



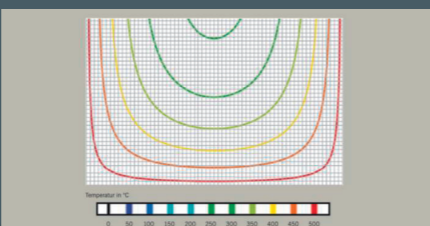
Brandsimulationen



Rauchsimulationen



Evakuierungssimulationen



Heißbemessung von Tragwerken

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

6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Möglichkeiten zum Ansatz und zur Modellierung
von Bränden und Brandszenarien in FDS
– eine Diskussionsgrundlage

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

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

■ 6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

Inhalt

1. Einleitung
2. Ermittlung von Wärmefreisetzungsraten
3. Möglichkeiten der Beschreibung des Quellterms in FDS
4. Untersuchungen mit FDS
5. Diskussion - Fragen

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

■ 6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

1. Einleitung

Warum ist die passende Eingabe des Quellterms so wichtig?

- **QUELL**-term
- maßgebend für das Brandszenario
- maßgebend für die Temperaturentwicklung
- maßgebend für den thermischen Auftrieb
- maßgebend für die Produktion von Rauchgasen
- maßgebend für die Rauchgasströmung

6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

1. Einleitung

Was berechnet FDS?

- Berechnung des Massenverlustes/Abbrandrate aus den Eingaben
- Massenstrom einer Oberfläche: $\dot{m}_f'' = \frac{f(t) \dot{q}_{user}''}{\Delta H}$
- mit: - HRRPUA \dot{q}_{user}''
 - Zeitverlauf f(t) und
 - Eingabe der Verbrennungswärme ΔH (HOC) oder über

$$\Delta H \approx \frac{v_{O_2} W_{O_2}}{v_f W_f} EPUMO_2 \quad \text{kJ/kg}$$

Energie pro Masseneinheit Sauerstoff: EPUMO2 = 13.100 kJ/kg

6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

1. Einleitung

The graph shows the heat release rate \dot{Q} in kW over time t in seconds. It is divided into several phases:

- Initial phase:** Includes 'Zündinitial' and 'Vorbrenn' (pre-burn).
- Growth phase:** Labeled 'Brandausbreitung' (fire spread), showing a curve that follows $\dot{Q} = \dot{Q}_r + \dot{Q}_0 \left(\frac{t}{t_g}\right)^2$.
- Full development phase:** Labeled 'Vollbrandphase', where the heat release rate reaches a plateau. It is divided into 'brandlastgesteuerter Brand' (fuel-controlled) and 'ventilationsgesteuerter Brand' (ventilation-controlled).
- Decay phase:** Labeled 'Abklingphase', where the heat release rate decreases linearly.

 Key time points t_1 , t_2 , and t_3 are marked on the x-axis. A note indicates that 70% of the total heat load is released during the full development phase.

6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

2. Ermittlung von Energiefreisetzungsraten

- Entwicklung des Cone Calorimeters von Vytenis Babrauskas ca. 1980
 - Sauerstoff(verbrauchs-)kalorimetrie
- neben der Wärmefreisetzungsrate werden bestimmt:
 - Massenverlustrate / Abbrandrate
 - Entzündbarkeit, Zündzeitpunkt, Branddauer
 - Rauchgasvolumen, Ruß, Toxische Gase und deren Konzentrationen
 - Sauerstoff-, CO₂-, CO-Konzentration
 - Eff. Verbrennungswärme, Ruß-, CO₂-, CO-Ausbeuten sind abgeleitete Größen
- Ermittlung von Wärmefreisetzungsraten über die Sauerstoffverbrauch

6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

2. Ermittlung von Wärmefreisetzungsraten

- Cone Calorimeter ISO 5660-1
- Room-Corner-Test ISO 9705 (DIN 4102-19)
- SBI-Test EN 13823
- Kabelprüfung
- Large Scale Calorimeter

The diagram illustrates the components of a cone calorimeter:

- Exhaust blower:** Draws smoke and gases away from the sample.
- Temperature and pressure measurements taken here:** Located in the exhaust duct.
- Smoke and Temperature measurements taken here:** Located near the sample.
- Gas samples taken here:** For chemical analysis.
- Soot collection filter:** Captures particulates from the smoke.
- Optional retainer frame:** Holds the sample in place.
- Sample:** The material being tested.
- Aluminium foil:** Part of the sample holder assembly.
- Low density ceramic wool:** Insulation around the sample.
- Sample pan:** Collects any liquid dripping from the sample.
- Conical heater:** Provides a controlled heat flux to the sample.
- Spark igniter:** Initiates the fire on the sample.
- Sample:** The material being tested.
- Load cell:** Measures the weight loss of the sample during the test.

■ 6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

2. Ermittlung von Energiefreisetzungsraten

- Angaben finden sich:
 - vfdb-Leitfaden (Ausgabe Mai 2009) – Ingenieurmethoden im Brandschutz
 - VDI-Richtlinie VDI 6019: Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden, Brandverläufe, Überprüfung der Wirksamkeit
 - VdS 2827: 2005-05 Bemessungsbrände
 - DIN 18232-2 und DIN 18232-5
- in Abhängigkeit von der Nutzung
- Konkrete Angaben finden sich:
 - im SFPE-Handbook of Fire Protection Engineering
 - Diagramme von Wärmefreisetzungsraten aus Versuchen z.T. einzelner Gegenstände

SACHVERSTÄNDIGEN- UND INGENIEURGESELLSCHAFT

Wijnveld // Ingenieure

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ UND INGENIEURMETHODEN

Tabelle A4.1 Kennwerte für Nutzungen zur Abschätzung und zur Erarbeitung der Quellterme

Material bzw. Nutzung	Hinweise / Bedingungen	Brandbelastung MJ/m ²	Heizwert MJ/kg ¹⁵	Brandentwicklung ¹⁶	q̇ = f(A) kW/m ² ¹⁷	Quelle
Wohnraum		780 / 1085	19,5	300	250	[4.23]
Büroraum		420 / 584	20,5	300	250	[4.23]
Kranken-zimmer	2 Betten	230 / 320	22,5	300	250	[4.23]
Hotel-zimmer	2 Betten, Möbel aus Holzspantafeln	310 / 431		300 [4.2]	250 [4.1]	[4.23]
Schule: Klassen-raum	Möbel aus Holz, Sitze aus Formsperrholz	285 / 397	18,2	300	150	[4.23]
Zuschauer-saal	Theater / Kino gepolsterte Sitze	300 / 417		450	250	[4.24]
Hörsaal	Sitze aus Formsperrholz, Kleidung und Taschen	140 / --- [4.24]	25	1.200	130	[4.24]

16 Steueraröße α [sec.] nach DIN EN 1991-1-2, Anhang E.4

■ 6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

2. Ermittlung von Energiefreisetzungsraten

- Beispiel aus DIN EN 1991-1-2 bzw. vfdb-Leitfaden:
- Anwendungsgrenzen (Anhang AA DIN EN 1991-1-2):
 - Bis 400m² und einer maximale Höhe von 5,0m
 - Vertikale Ventilationsöffnungen von 12,5 – 50% (→ kaum anwendbar)
 - Brandlastdichten von 100 MJ/m² bis 1.300 MJ/m²
- Ventilationsgesteuerter Brand (Wohnungen, Büros):

$$\dot{Q}_{\max,v} = 1,21 \cdot A_w \cdot \sqrt{h_w} \quad [\text{MW}]$$

A_w Fläche der Ventilationsöffnungen [m²]
 h_w gemittelte Höhe der Ventilationsöffnungen [m]
- Brandlastgesteuerte Brände in Wohn-, Büro- und vergl. Nutzungen:

$$\dot{Q}_{\max,f} = 0,25 \cdot A_f \quad [\text{MW}] \quad A_f \quad \text{max. Brandfläche (i. A. Fläche des Brandraums) [m}^2\text{]}$$

$$\dot{Q}_{\max,k} = \text{MIN} \{ \dot{Q}_{\max,v,k} ; \dot{Q}_{\max,f,k} \}$$

SACHVERSTÄNDIGEN- UND INGENIEURGESELLSCHAFT

Wijnveld // Ingenieure

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ UND INGENIEURMETHODEN

■ 6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

3. Quellterm in FDS

- Brand → Entwicklung/Freisetzung von Temperatur/Wärmeenergie
- Direkt Eingabe (solid fuels):
 - HRRPUA [kW/m²] + HOC [kJ/kg]
 - MLRPUA [kg/m²/s] + HOC [kJ/kg]
 - HOC = HEAT OF COMBUSTION (Verbrennungswärme, Brennwert)
 - Umrechnung von HRRPUA in MLRPUA: $MLRPUA [kg/m^2/s] = \frac{HRRPUA [kW/m^2]}{HOC [kJ/kg]}$
 - Freisetzung von Verbrennungsprodukte gekoppelt mit Abbrandrate (MLRPUA)
- Fragen:
 - HOC = Brennwert → oberer Heizwert also inkl. Verdampfung + Kondensation?
 - Berücksichtigung der Verdampfungswärme: HEAT_OF_VAPORIZATION (Energieverlust durch Verdampfung)

SACHVERSTÄNDIGEN- UND INGENIEURGESELLSCHAFT

Wijnveld // Ingenieure

INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ UND INGENIEURMETHODEN

■ 6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

3. Quellterm in FDS

- Direkte Eingabe (liquid fuels):
 - Siedetemperatur: BOILING_TEMPERATURE Liquid pyrolysis model
 - Anzahl der Reaktionen: N_REACTIONS = 1 (von flüssig zu gasförmig)
 - Massenanteil des Brennstoffs in der Flüssigkeit: NU_FUEL ≤ 1,0 [kg/kg]
 - Latente Wärme der Verdampfung: HEAT_OF_REACTION
 - Absorption der Strahlungswärme in der Tiefe: ABSORPTION_COEFFICIENT

■ 6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

3. Quellterm in FDS

- Noch direkter:
 - Wärmefluss zur Oberfläche: EXTERNAL_FLUX [kW/m²]
 - Konvektiver Wärmestrom an der Oberfläche: CONVECTIVE_HEAT_FLUX [kW/m²]
 - Netto Wärmestrom an der Oberfläche: NET_HEAT_FLUX [kW/m²]
 - Temperatur der Oberfläche: TMP_FRONT [°C]
 - Gastemperatur: &MISC TEMPERATURE [°C]
→ &RAMP – Befehl?

■ 6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

3. Quellterm in FDS

Optionen für den direkten Brand:

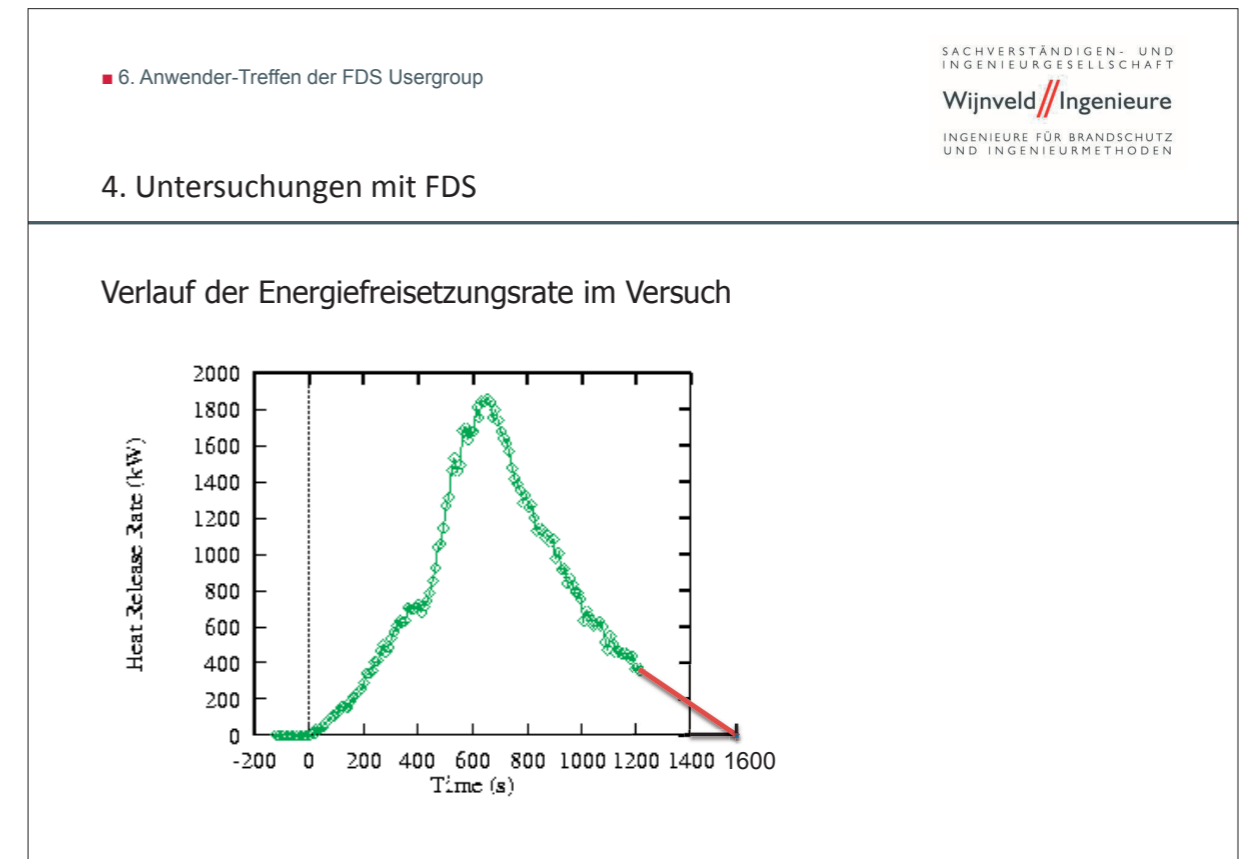
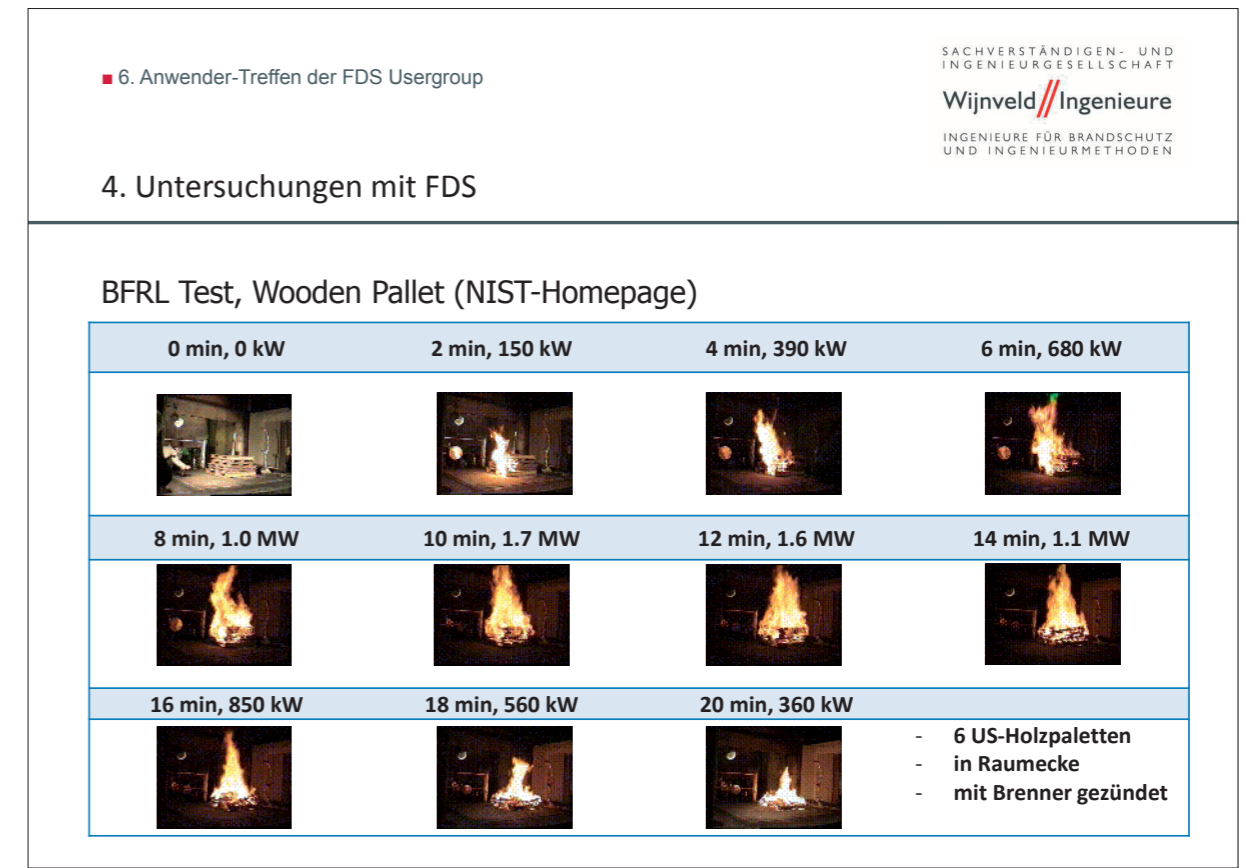
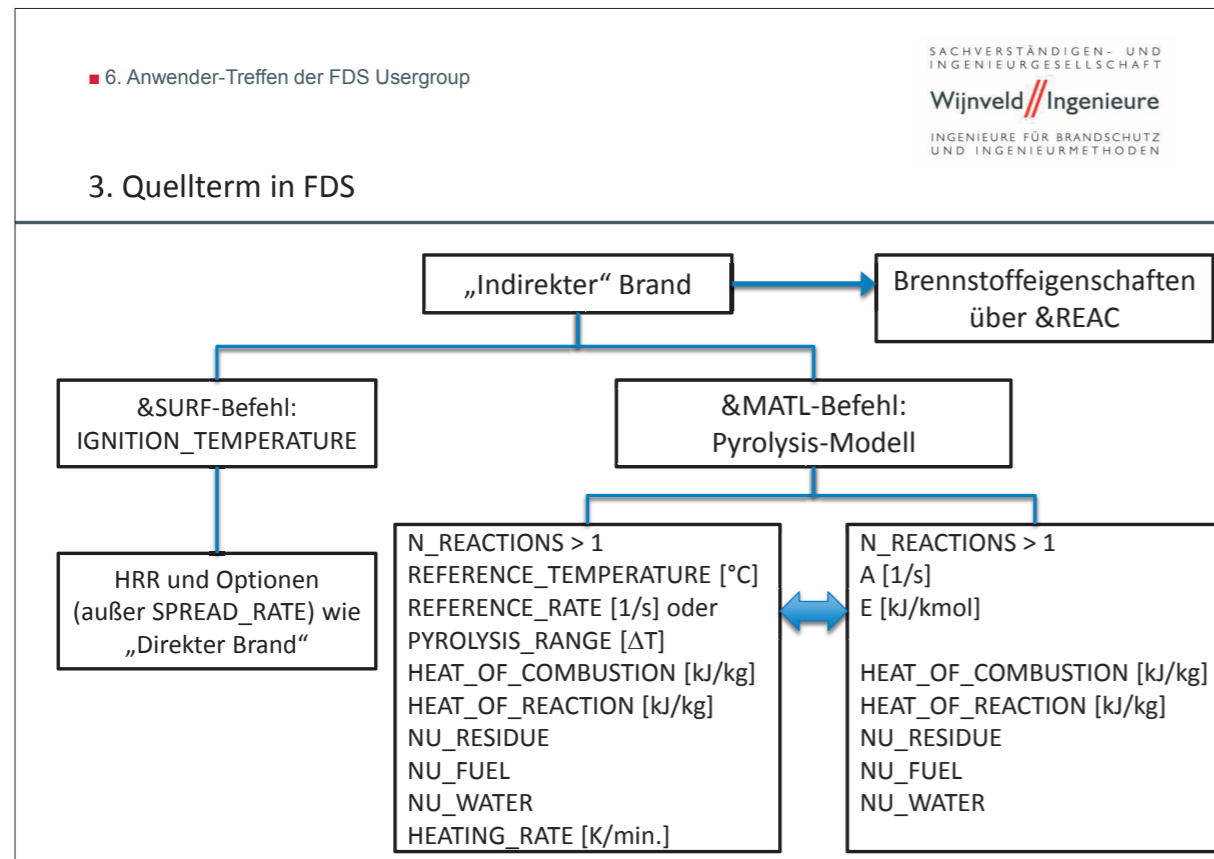
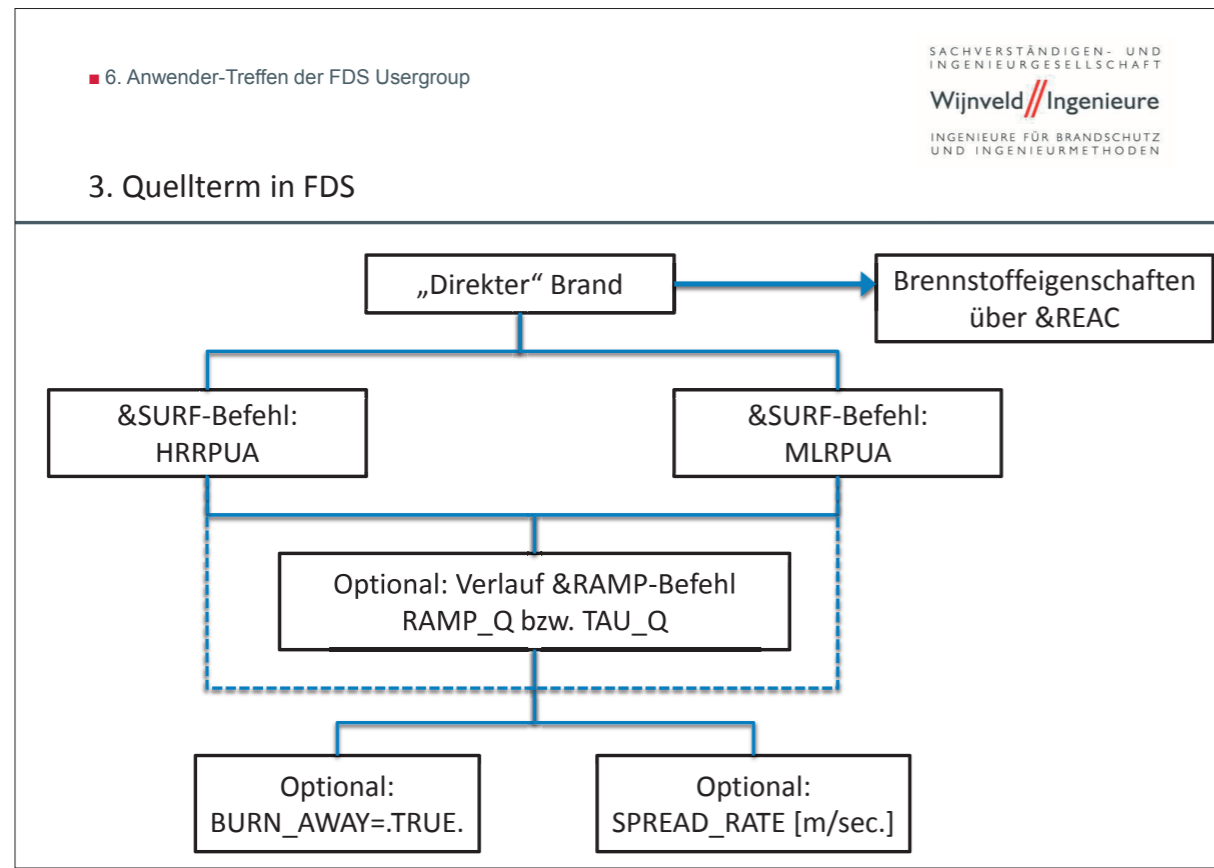
- Verlauf über RAMP_Q oder TAU_Q
- Brandausbreitung: SPREAD_RATE [m/s]
- Abbrand: BURN_AWAY=.TRUE.
- Entzündungstemperatur: IGNITION_TEMPERATURE [°C]
- Energieverlust durch Verdampfung: HEAT_OF_VAPORIZATION [kJ/kg]
(nur bei HRR)

■ 6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

3. Quellterm in FDS

- Indirekte Eingabe:
 - Entzündungstemperatur bei &SURF: Ignition Temperature [°C]
 - Anzahl an Reaktionen: N_REACTIONS
 - Pre-Exponentialfaktor A(j) und Aktivierungsenergie E(j)
→ Reaktionsrate r_{ij} : $r_{ij} = A_{ij} Y_{s,i}^{n_{s,ij}} \exp\left(-\frac{E_{ij}}{RT_s}\right)$; $Y_{s,i} = \left(\frac{\rho_{s,i}}{\rho_{s0}}\right)$
 - REFERENCE_TEMPERATURE (T_p) und REFERENCE_RATE (r_p/Y₀):
→ E und A: $E = \frac{er_p}{Y_0} \frac{RT_p^2}{T}$; $A = \frac{er_p}{Y_0} e^{E/RT_p}$



6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

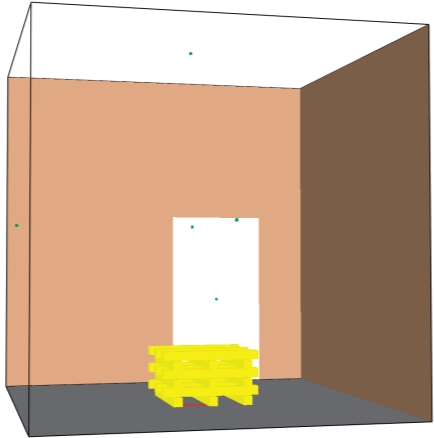
SACHVERSTÄNDIGEN- UND INGENIEURGESELLSCHAFT
Wijnveld//Ingenieure
INGENIEURE FÜR BRANDSCHUTZ UND INGENIEURMETHODEN

4. Untersuchungen mit FDS

Eingabe in FDS:

1. Vorgabe der HRRPUA
2. Vorgabe Brandausbreitung (Ecke und Mitte)
3. Vorgabe HRRPUA mit Entzündungstemperatur
4. Vorgabe HRRPUA mit Abbrand (BURN_AWAY)
5. Pyrolysis-Modell mit Verkohlung

- C = 3.4, H = 6.2, O = 2.5
- HEAT_OF_COMBUSTION = 19400
- SOOT_YIELD = 0.05

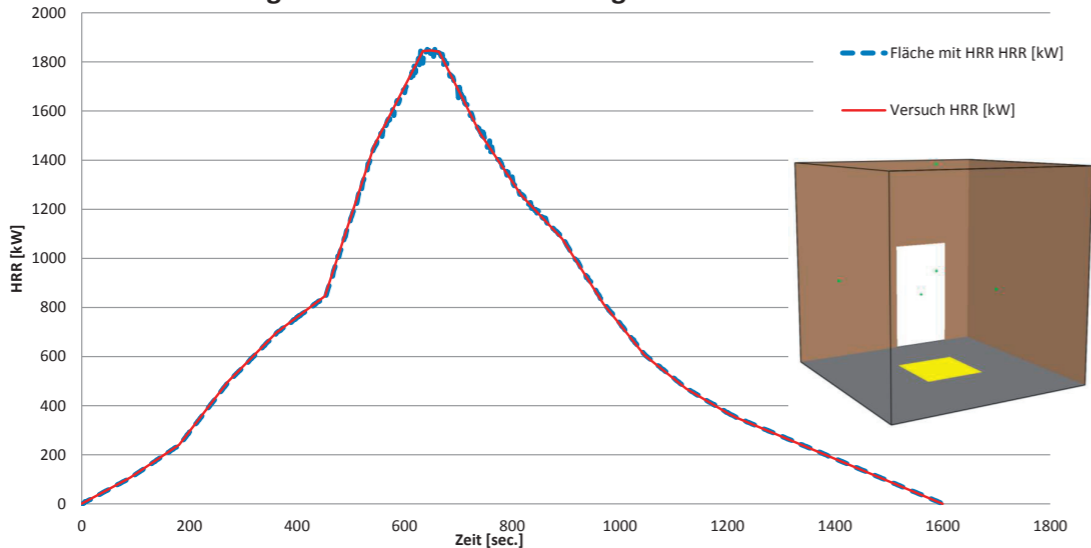


6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

4. Untersuchungen mit FDS

Vergleich HRR Versuch – 1. Vorgabe HRRPUA in FDS



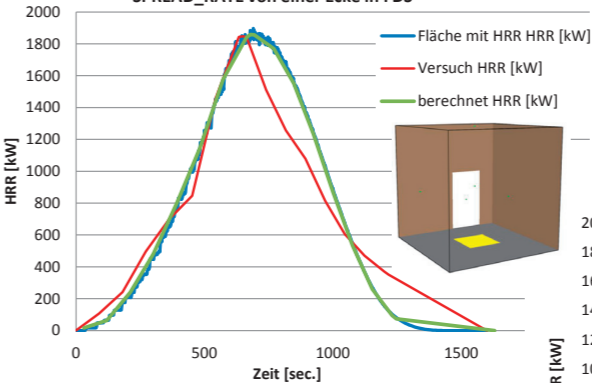
6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

4. Untersuchungen mit FDS

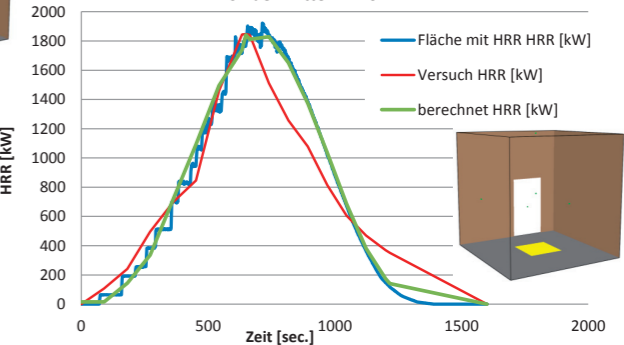
Vergleich HRR Versuch – 2a Vorgabe HRRPUA und SPREAD_RATE von einer Ecke in FDS

2a von einer Ecke:
HRRPUA = 1.600 kW/m²
SPREAD_RATE = 0.002 m/s



Vergleich HRR Versuch – 2b Vorgabe HRRPUA und SPREAD_RATE von der Mitte in FDS

2b von der Mitte:
HRRPUA = 1.600 kW/m²
SPREAD_RATE = 0.001 m/s



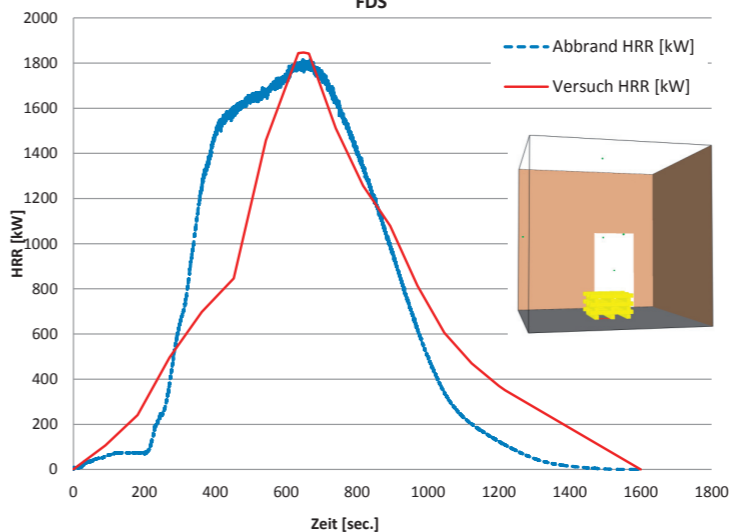
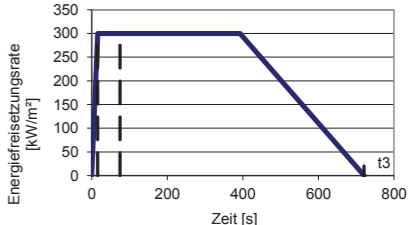
6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

4. Untersuchungen mit FDS

Vergleich HRR Versuch – 3. Eingabe von HRRPUA und Entzündung in FDS

3. HRRPUA und Entzündung:
Entzündungstemperatur = 300°C
HRRPUA = 300 kW/m²

Initial:
HRRPUA = 250 kW/m²
auf 0,03m²
für 300 Sekunden

6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

4. Untersuchungen mit FDS

Vergleich HRR Versuch – Eingabe von HRRPUA und Abbrand in FDS

4. HRRPUA und Abbrand:
 Entzündungstemperatur = 300°C
 HRRPUA = 300 kW/m²
 Dichte aus Brandlast umgerechnet: 890 kg/m³

Initial:
 HRRPUA = 250 bzw. 500 kW/m² auf 0,03m² für 300 Sekunden

6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

4. Untersuchungen mit FDS

Vergleich HRR Versuch – Pyrolysis Modell mit Verkohlung in FDS

5. Pyrolysis-Modell:
 Angaben aus FDS User's Guide
 Beispiel 21.2.2

6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

5. Zusammenfassung

- verschiedene Möglichkeiten zur Beschreibung des Quellterms in FDS
- Grundsätzlich geeignet: MLRPUA bzw. HRRPUA + HOC bzw. EPUMO2
- Bei Anwendung von SPREAD_RATE Abhängigkeiten beachten
 - Kombination mit Verlauf der Energiefreisetzungsgate
 - Energiefreisetzung bei Erreichung des Zellmittelpunktes
- BURN_AWAY nur bedingt geeignet (nur in Ausnahmefällen)
- Pyrolysis-Modell mit Eingabe von A und E bzw. Referenztemperatur und Referenzrate ist eher für den **wissenschaftlichen Anwendungsfall**

6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

5. Zusammenfassung

Weitere Parameter für die Verbrennung:

- Wichtig für die Beschreibung und Bewertung der Rauchausbreitung!
- Basis-Eingaben für das Mixture Fraction Modell; C, H, O, N, OTHER
 SOOT_YIELD, SOOT_H_FRACTION, CO_YIELD, H2_YIELD, IDEAL etc.
- Two Step Reaction: CO_PRODUCTION=.TRUE.
- turbulente Verbrennung: EDDI DISSIPATION=.FALSE.
- Finite Rate Combustion: DNS=.TRUE.

■ 6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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

5. Diskussion - Fragen

- Woher stammen die Angaben?
- Sind die Werte statistisch abgesichert? Wieviele Versuche?
- Welche Sicherheiten sind vorhanden?
- Welche Sicherheitsfaktoren müssen berücksichtigt werden?
- Inwieweit sind Angaben übertragbar auf ähnliche Nutzungen?
- Wie ist bei besonderen Nutzungen zu verfahren?
- Vollbrandszenarien bei Lagerhallen?
- Insbesondere Werte für maximale Wärmefreisetzungsraten?
- aber auch REAC-Parameter (z.B. Yield-Werte)

■ 6. Anwender-Treffen der FDS Usergroup

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



Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit!

Matthias Münch:

Die Brandsimulation: Zwischen Glaskugel und Wissenschaft?

Abstract:

Mit dem Begriff „Brandsimulation“ wird in der Anwendungspraxis von Brandschutzingenieuren umgangssprachlich die Gesamtheit der Wiedergabe der bei einem Brandereignis auftretenden chemisch und physikalisch wirksamen Prozesse verstanden. Diese umfassen den Brandherd, als eigentliche Quelle von Hitze und Rauchgasen, als auch die Ausbreitung derselben z.B. in einem Bauwerk.

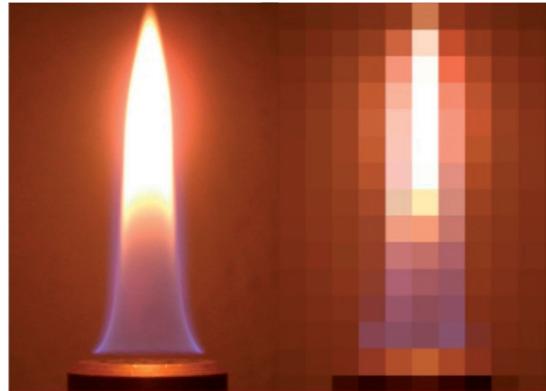
Über den Einfluss des Brandes bzw. der zu seiner Simulation im Fire Dynamics Simulator verfügbaren Modellparameter wurde auf verschiedenen Treffen der FDS-Usergroup berichtet. So untersuchte Venker den Einfluss der Variation der geometrischen Parameter, Metzger den Einfluss der Variation der Yield-Vorgaben und Grewolls den statistischen Einfluss der Modellparameter in Ihrer Gesamtheit. Pulker betrachtete das Programm aus der Anwendersicht und präsentierte die Rekonstruktion des Spurenbildes eines Zimmerbrandes anhand einer FDS-Simulation.

Doch was kann von dem im Fire Dynamics Simulator verwendeten „Brandmodell“ eigentlich erwartet werden? Welche Grenzen setzen die im Simulationsalgorithmus verwendeten Modellgleichungen? Was bedeutet dies für die Anwenderpraxis?

Der Vortrag erläutert auf der Grundlage der Modellgleichungen die Funktionsweise des „Brandmodells“ im Fire Dynamics Simulator und diskutiert die sich daraus ergebenden Modellgrenzen.

Die Brandsimulation Zwischen Glaskugel und Wissenschaft?

Matthias Münch



INURI GmbH
Haderslebener Str. 9
12163 Berlin

www.inuri.de
info@inuri.de



6. FDS-Usergroup Treffen
Berlin, 15.-16. November 2012

Vielfalt der Szenarien Verbrennungsmodellierung



Verbrennungs- vorgänge

INURI GmbH Haderslebenerstr. 9, 12163 Berlin www.inuri.de info@inuri.de Seite 3

Die Brandsimulation Zwischen Glaskugel und Wissenschaft?

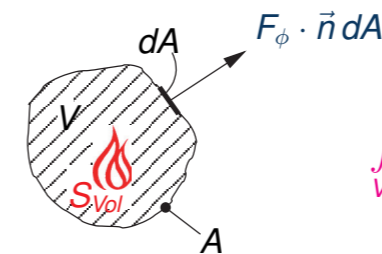
Anwendungsbeispiele:

1. **Brandschutzkonzept: Brandquelle**
 - Wärme- und Rauchquelle im Bauwerk
 - zeitliche und räumliche Verteilungen
2. **Vergleich von Brandsituationen**
 - Qualitativ und Quantitativ, Was ist gefährlicher?
3. **Brandursachen / Brandabläufen**
 - Klärung von Schuldfragen
4. ...

Zentrale Frage:
Was kann die FDS-Verbrennungsmodellierung?

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

Mathematisches Modell Verbrennungsmodellierung



$$\int_V \frac{\partial \phi}{\partial t} dV + \oint_A F_\phi \cdot \vec{n} dA = \int_V S_{Vol}(\phi) dV$$

zeitliche Änderung der Größe ϕ im Volumen V
+ Fluß über die Oberfläche A des Volumens
= Wirkung von Quellen S_{Vol} im Volumen V

Gleichungen für Masse, Impuls und Energie liefern:

Nichtlineares, gekoppeltes
Differentialgleichungssystem

INURI GmbH Haderslebenerstr. 9, 12163 Berlin www.inuri.de info@inuri.de Seite 4

Herausforderungen
Verbrennungsmodellierung



Probleme der Verbrennungsmodellierung

1. Praktische Anforderungen:

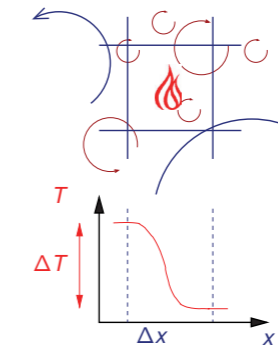
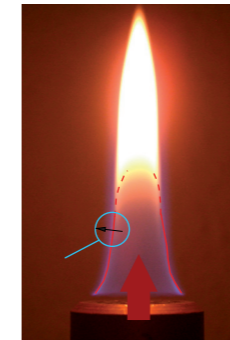
- ▶ Breiter geom. Skalenbereich
- ▶ Veränderliche Randbedingungen
- ▶ wechselnde physikalische Regime
- ▶ Unsicherheiten in den Eingangsdaten



2. Modellierungsprobleme:

- ▶ hohe Auflösungen vs. Rechenkapazität
- ▶ sich schnell ändernde dominante Effekte
→ vereinfachende Modellansätze scheitern
- ▶ unbekannte Details chemische Reaktionen
- ▶ offenes Forschungsgebiet
→ Modellierung der Turbulenz, Verbrennung, ...

Modellierungskonflikt
Verbrennungsmodellierung



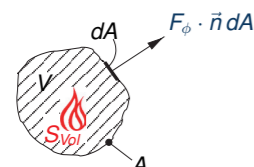
Verbrennungsmodellierung

- ▶ beruht auf Mittelwerten $f(\hat{\phi})$
- ▶ stark Temperaturabhängige Größen z.B. $c_p(T)$
- ▶ stark Temperaturabhängige Prozesse z.B. σT^4

Turbulente Mittelung führt zu nicht-aufgelösten lokalen Temperaturprofilen

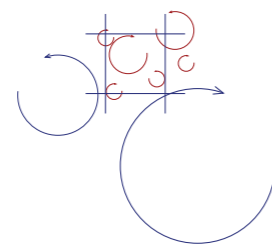
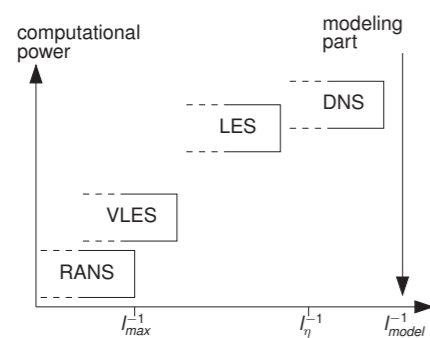
$$\int_V \frac{\partial \hat{\phi}}{\partial t} dV + \oint_A F_{\hat{\phi}} \cdot \vec{n} dA = \int_V S_{Vol}(\hat{\phi}) dV$$

Modellierungskonflikt
Verbrennungsmodellierung



$$\int_V \frac{\partial \phi}{\partial t} dV + \oint_A F_{\phi} \cdot \vec{n} dA = \int_V S_{Vol}(\phi) dV \quad (1)$$

ϕ : Variable im Kontrollvolumen
Erhaltungsgleichung für Kontrollvolumen-Ansatz für ϕ .



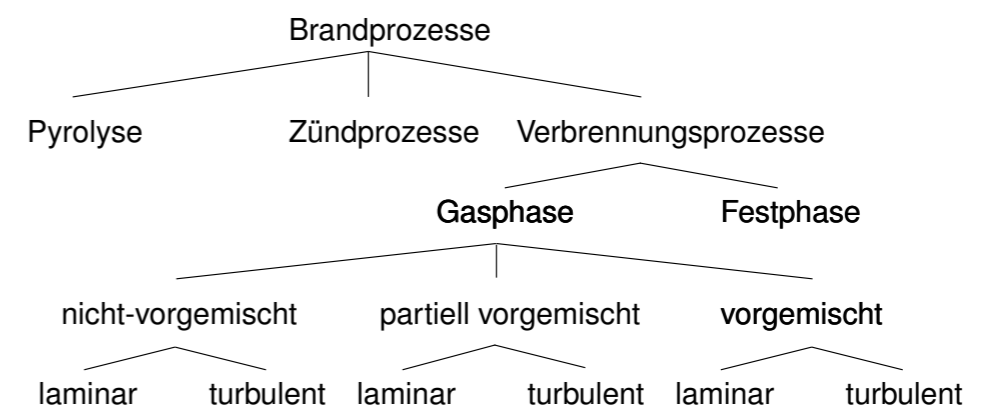
Aufgelöste (blau) und nicht-aufgelöste (rot) Wirbel im kartesischen Gitter.

$$\int_V \frac{\partial \hat{\phi}}{\partial t} dV + \oint_A F_{\hat{\phi}} \cdot \vec{n} dA = \int_V S_{Vol}(\hat{\phi}) dV \quad (2)$$

Klassifikation von Modellansätzen
Verbrennungsmodellierung



Verbrennungsprozesse:



Kriterien im Brandschutz

- ▶ pre-flashover / post-flashover Situationen
- ▶ Sauerstoff / Brennstoff kontrollierte Brände

Beispiel für Verbrennungssimulation

Verbrennungsmodellierung

INURI Experten für Simulationen im Brandschutz und der Gefahrenabwehr
Interessengruppe Numerische Risikoanalyse

Beispiel: Flugzeugturbine

(Medic et al. 2006, CTR)

- ▶ RANS-LES-Simulation
- ▶ 20 Grad-Turbinensegment
- ▶ lokal wechselnde Modellanforderungen

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

FDS-Verbrennungsmodell

Verbrennungsmodellierung

INURI Experten für Simulationen im Brandschutz und der Gefahrenabwehr
Interessengruppe Numerische Risikoanalyse

1. Pyrolyse: Gaseinströmung
 - ▶ semi-globales Mehrschritt Modell
 - ▶ Nutzer-definierte Zeitfunktion
2. Gasphase: Mischungsbruch-Modell
 - ▶ Gemischt ist Verbrannt
 - ▶ Global Ein-Schritt Reaktion, default Propan
 $C_3H_8 + 3O_2 = 4H_2O + 3CO_2$
 - ▶ einige Modellparameter z.B. y_{CO} , \dot{q}'''_{max}

INURI GmbH Haderslebenerstr. 9, 12163 Berlin www.inuri.de info@inuri.de Seite 10

Zusammenfassung

Verbrennungsmodellierung

INURI Experten für Simulationen im Brandschutz und der Gefahrenabwehr
Interessengruppe Numerische Risikoanalyse

FDS-Modell:

- Praxisanforderungen + Modellbeschränkungen verhindern Verbrennungsrechnung
- + zeitgesteuerte Energiefreisetzung verfügbar
- + Vorgabe von Ertragsraten möglich

Ausweg:

1. Definition von Worst-Case Szenarien
Ertragsraten, Wärmemenge, ...
2. Absicherung über Brandexperimente
- aber viele Einflussparameter
- exakte Dokumentation notwendig

INURI GmbH Haderslebenerstr. 9, 12163 Berlin www.inuri.de info@inuri.de Seite 11

Herzlichen Dank

www.inuri.de
info@inuri.de

INURI GmbH
Haderslebener Str. 9, 12163 Berlin

Eine Ausgründung der
Freien Universität Berlin

Freie Universität Berlin

INURI GmbH Haderslebenerstr. 9, 12163 Berlin www.inuri.de info@inuri.de Seite 12

Prof. Dr. Ulrich Krause:

Validierungsrechnungen für ANSYS CFX und FDS anhand eines spezifischen Brandszenarios

Validierungsrechnungen für ANSYS CFX und FDS anhand eines spezifischen Brandszenarios

Frederik Rabe
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung Berlin
Fachbereich 7.3 Brandingenieurwesen

Ulrich Krause
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Institut für Apparate- und Umwelttechnik
Lehrstuhl Anlagentechnik und Anlagensicherheit

16.11.2012

F. Rabe U. Krause



1

-
- Validierungsexperiment
 - Verfügbare Programme
 - „Bottom-up“ Validierung
 - Bewertung

16.11.2012

F. Rabe U. Krause



2

- Validierungsexperiment
- Verfügbare Programme
- „Bottom-up“ Validierung
- Bewertung

Ich bitte um Nachsicht:
Languages sind a little bit durcheinander mixed-up.

Validation experiment

Investigations on the response time of home smoke alarm systems at the US National Institute for Standards and Technology

Fire tests in a pre-fabricated trailer house

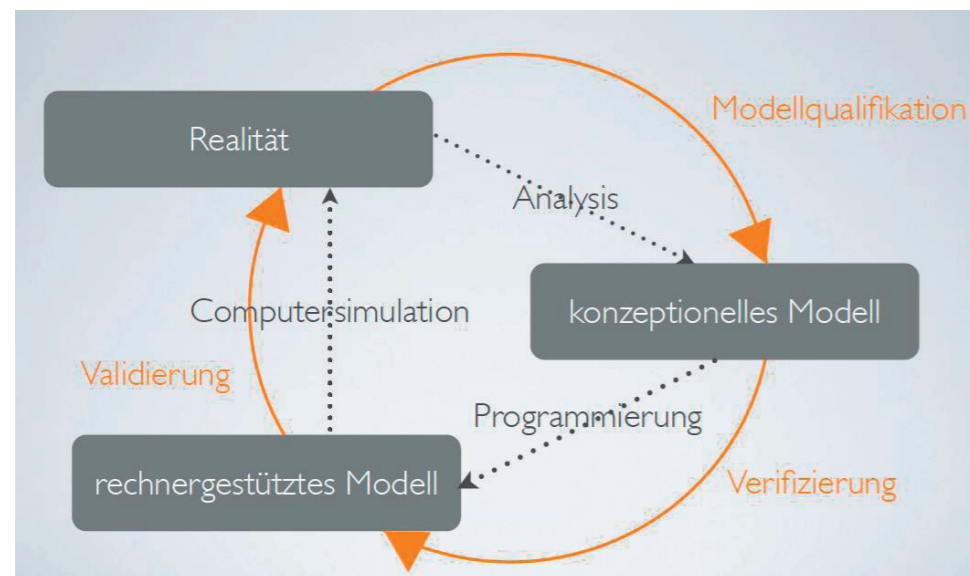
Ignition of an armchair in the living room

Measurement of temperatures at different positions in the house

Visual recording of smoke migration

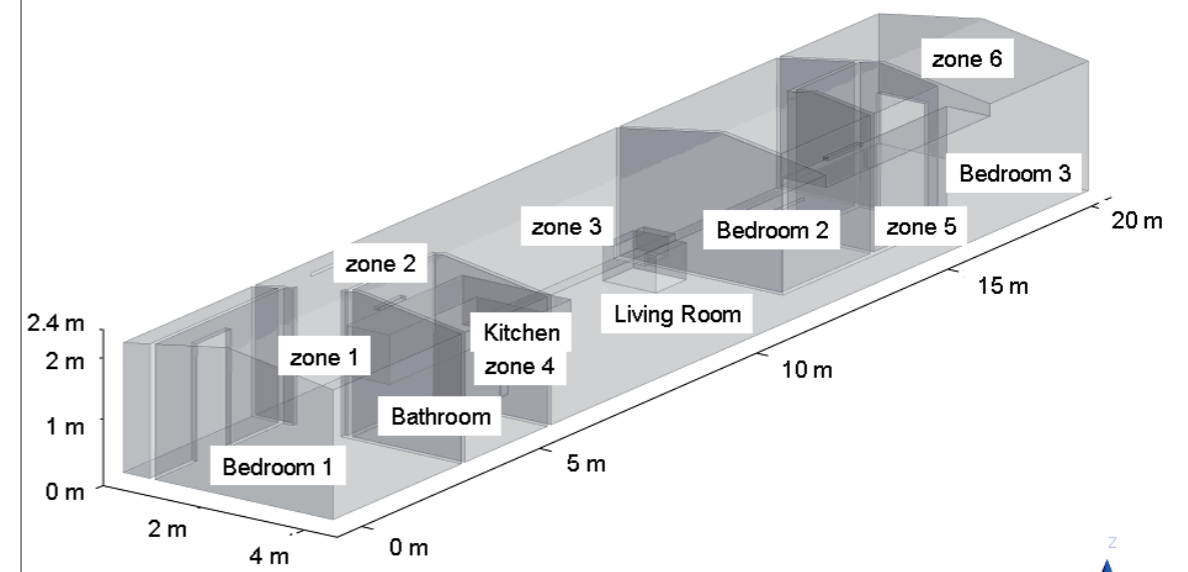


Qualitätssicherung von Simulationen (nach Schlesinger)



S. Pfister, Diss. TU Berlin, Fak. Prozesswissenschaften, 2012

Validation experiment



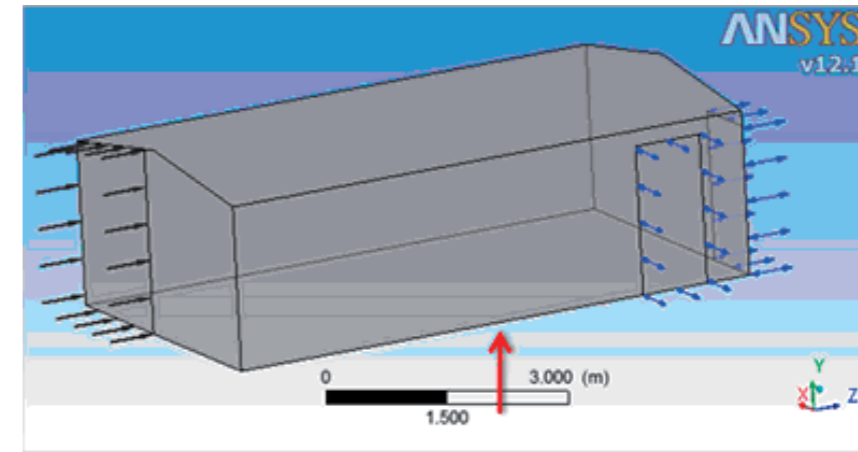
Modelling an incipient fire in a building

Comparison of CFD results using ANSYS CFX and FDS

- isothermal flow through a rectangular room with three openings,
- non-isothermal, buoyancy-driven flow above a heat source in a room with inclined roof,
- the flow through an American trailer house induced by a developing fire.

experimental data available for the last test case

Step 1: Isothermal turbulent flow through a room with three openings



Modelling an incipient fire in a building

Comparison of CFD results using ANSYS CFX and FDS

- isothermal flow through a rectangular room with three openings,
- non-isothermal, buoyancy-driven flow above a heat source in a room with inclined roof,
- the flow through an American trailer house induced by a developing fire.

experimental data available for the last test case

„The purpose of computing is insight, not numbers.“

Richard Hamming (1915 – 1998), mathematician

Step 1: Isothermal turbulent flow through a room with three openings

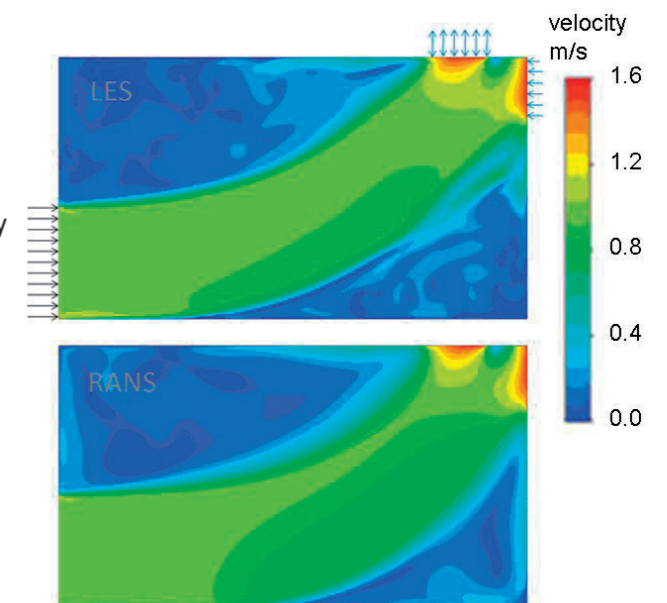
top view

inlet flow velocity 1m/s

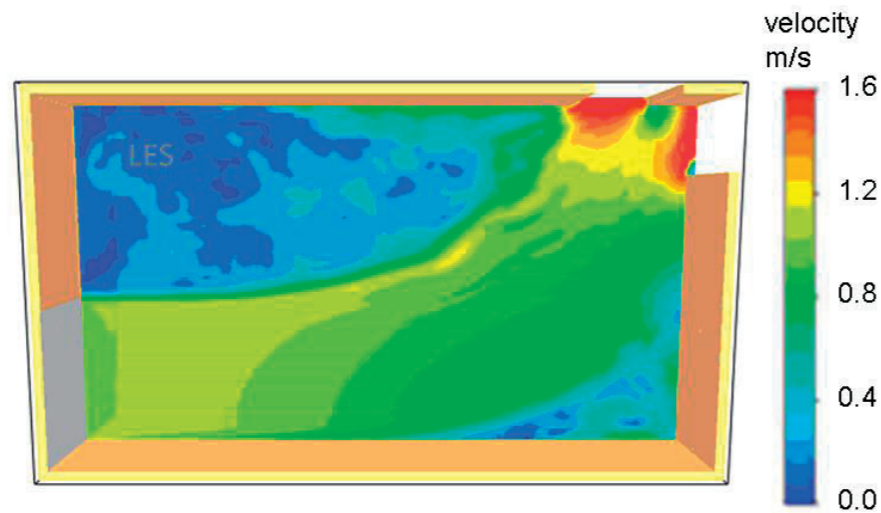
distribution of mean flow velocity at a height of 1.2 m

comparison of LES/Smagorinsky and RANS model (ANSYS CFX)

roof inclination neglected



Step 1: Isothermal turbulent flow through a room with three openings

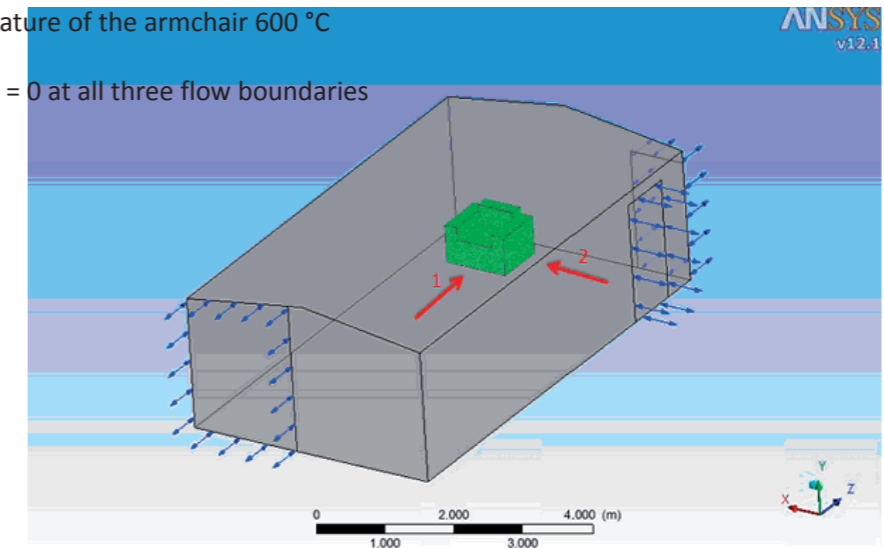


same example with FDS (roof inclination neglected)

Step 2: Buoyant non-reacting flow over a heated surface

surface temperature of the armchair 600 °C

gauge pressure = 0 at all three flow boundaries



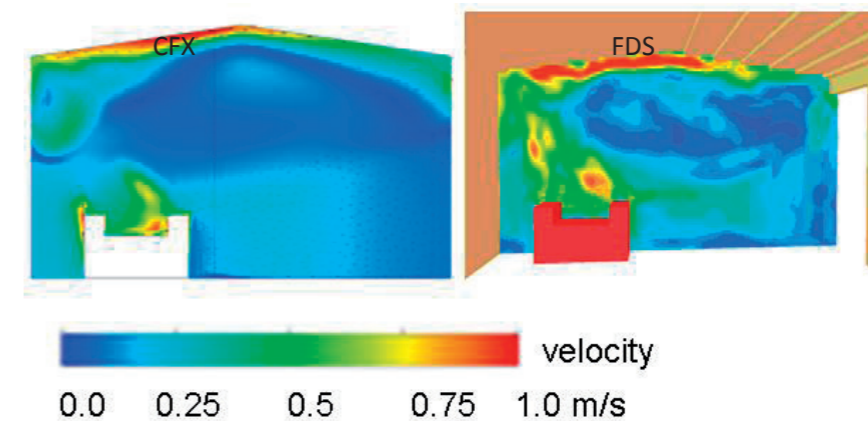
Step 1: Isothermal turbulent flow through a room with three openings

Results:

- only minor differences between ANSYS LES and RANS calculations
- LES/Smagorinsky turbulence model reveals slightly more details in the structure of vortices (as expected, of course)
- FDS uses an LES/Smagorinsky turbulence model with a fixed Smagorinsky factor C_s of 0.2 while this factor is user-defined in CFX
- only minor differences in the flow pattern between FDS and the CFX solutions, especially CFX/LES
- a true steady-state solution was not obtained with FDS, instead non-physical oscillations from time step to time step

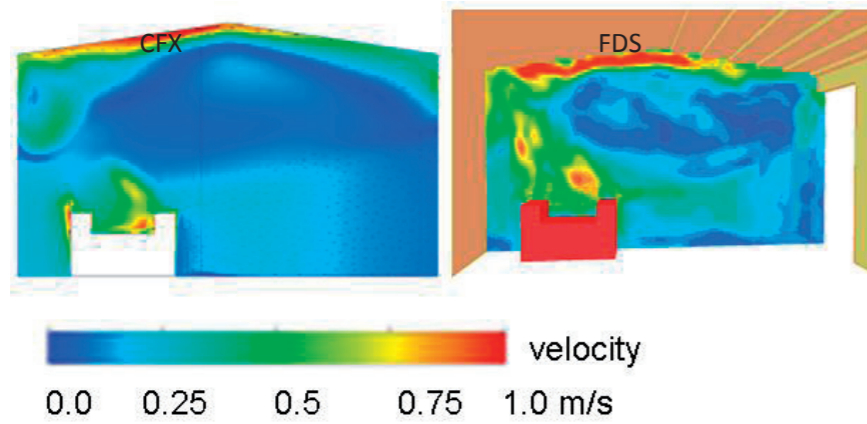
Step 2: Buoyant non-reacting flow over a heated surface

Comparison of low velocity distribution 80 s after onset of heat release



Step 2: Buoyant non-reacting flow over a heated surface

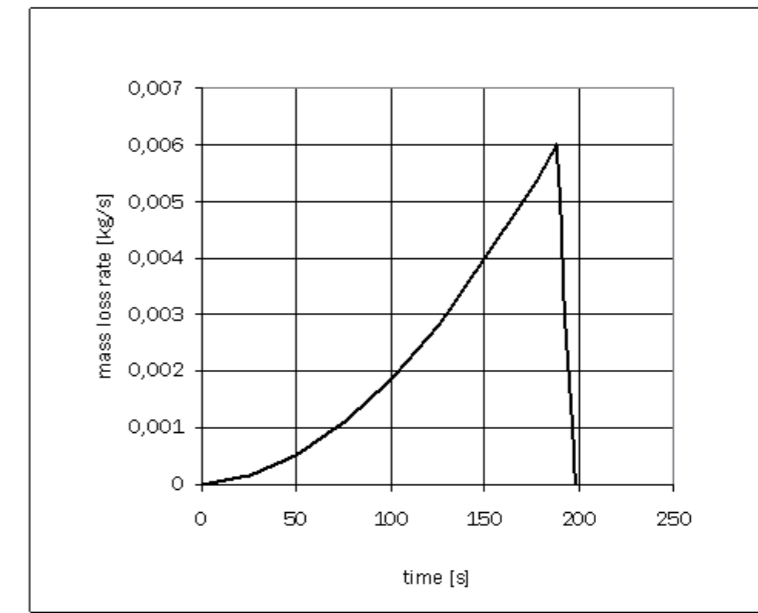
Comparison of low velocity distribution 80 s after onset of heat release



Occurrence of non-physical vortices at the ceiling due to staggered grid in FDS.

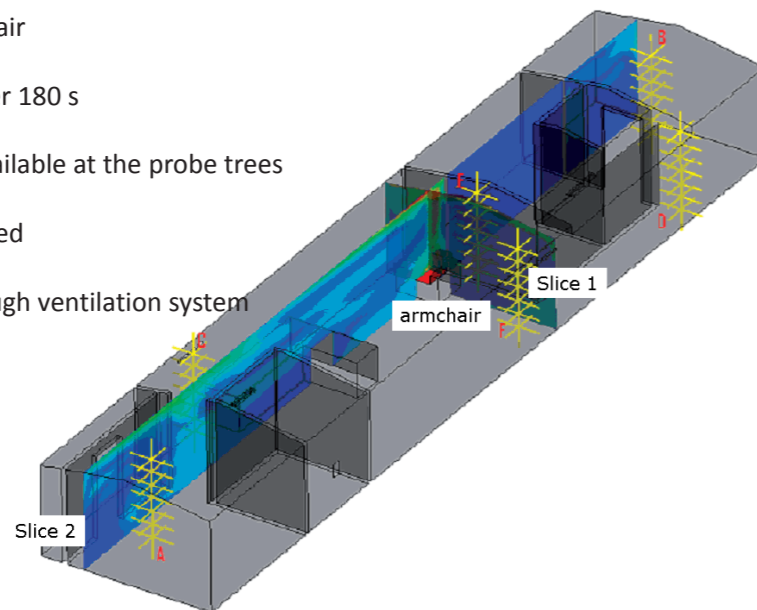
Step 3: Simulation of an incipient fire in a trailer house

Mass loss rate during combustion of the armchair.



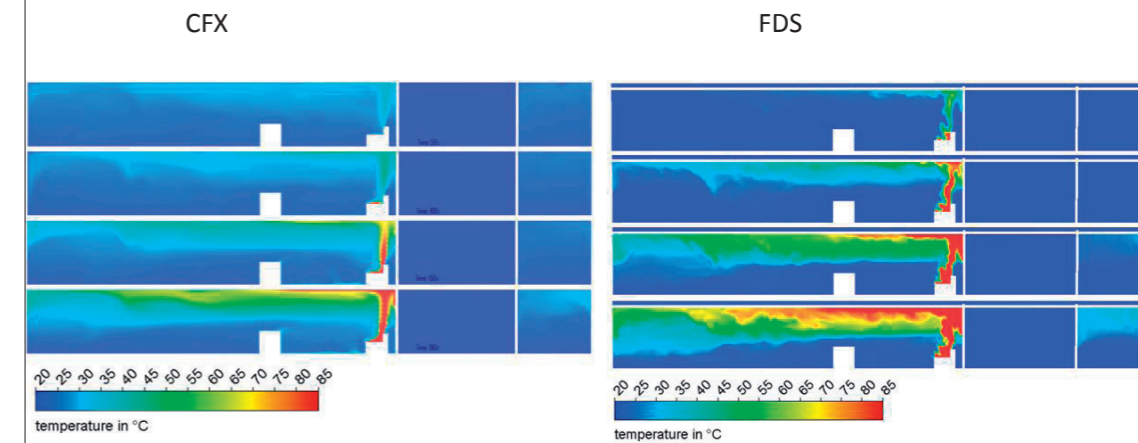
Step 3: Simulation of an incipient fire in a trailer house

- Ignition of the armchair
- Fire extinguished after 180 s
- Temperature data available at the probe trees
- All doors initially closed
- Fresh air access through ventilation system in the bathroom



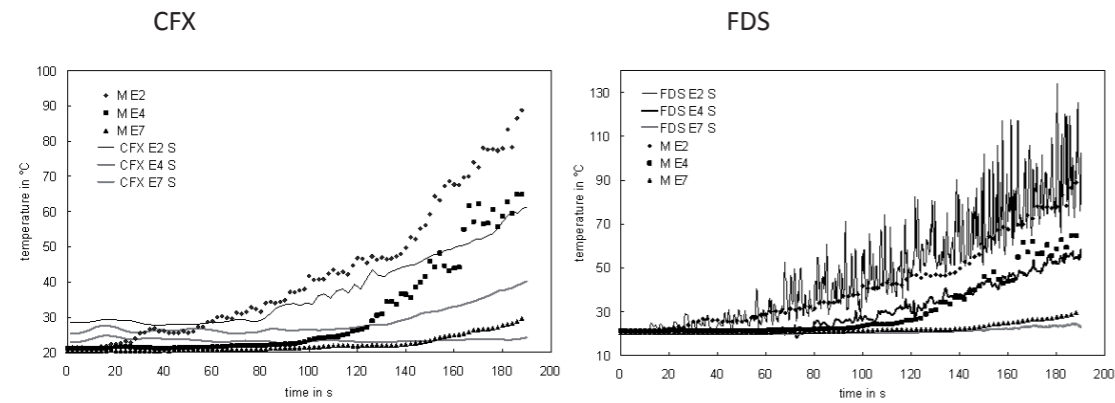
Step 3: Simulation of an incipient fire in a trailer house

Temperature distribution in the trailer house along slice 2 at different times.



Step 3: Simulation of an incipient fire in a trailer house

Comparison of computed and measured temperatures at different heights along probe tree E



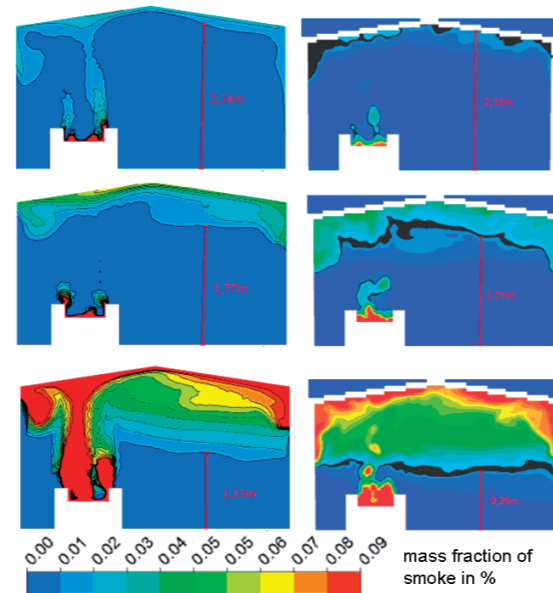
Übersicht über Brandsimulationsprogramme

	Numerik	Turbulenz	Strahlung	Verbrennung	Pre-processing	Vernetzung
ANSYS CFX	Finite Volumen	LES RANS SST	P1, Rossland, DO, DTM	Finite Rate, Eddy break-up, Mischungsbruch	ICEM, Workbench, CAD-Import	strukturiert, unstrukturiert, adaptiv, kartesische, Zylinderkoordinat.
ANSYS FLUENT	Finite Volumen	LES RANS SST	P1, Rossland, DO, DTM	Finite Rate, Eddy break-up, Mischungsbruch	ICEM, Workbench, CAD-Import	strukturiert, unstrukturiert, adaptiv, kartesische, Zylinderkoordinat.
Open Foam	Finite Volumen	LES RANS SST	DO, DTM	Finite Rate, Eddy break-up, Mischungsbruch	Open GL Library, CAD-Import	strukturiert, unstrukturiert, adaptiv, kartesische, Zylinderkoordinat.
FDS	Finite Differenzen	LES	DTM	Mischungsbruch	Textfile, Pyrosim	strukturiert, kartesisch
KOBRA 3D	Finite Differenzen	RANS	???	??	??	strukturiert, kartesisch

Step 3: Simulation of an incipient fire in a trailer house

Migration of smoke along slice 1

left: CFX right: FDS



Übersicht über Brandsimulationsprogramme

Bewertung von CFD-Programmen für Brand- und Rauchsimulationen
(persönliche Meinung von Ulrich Krause)

ANSYS CFX



ANSYS FLUENT



OPEN FOAM/FIRE FOAM



FDS



KOBRA 3D

?

What went wrong with FDS?

Prinzipiell:

- blockstrukturierte Gitter
- keine Kontrolle der globalen Massenbilanz
- nicht ausiterierte Lösung pro Zeitschritt (K.O.-Kriterium)
- unphysikalische Oszillationen (z.B. der Temperatur) in Wandnähe
- Ruß-Modell fragwürdig

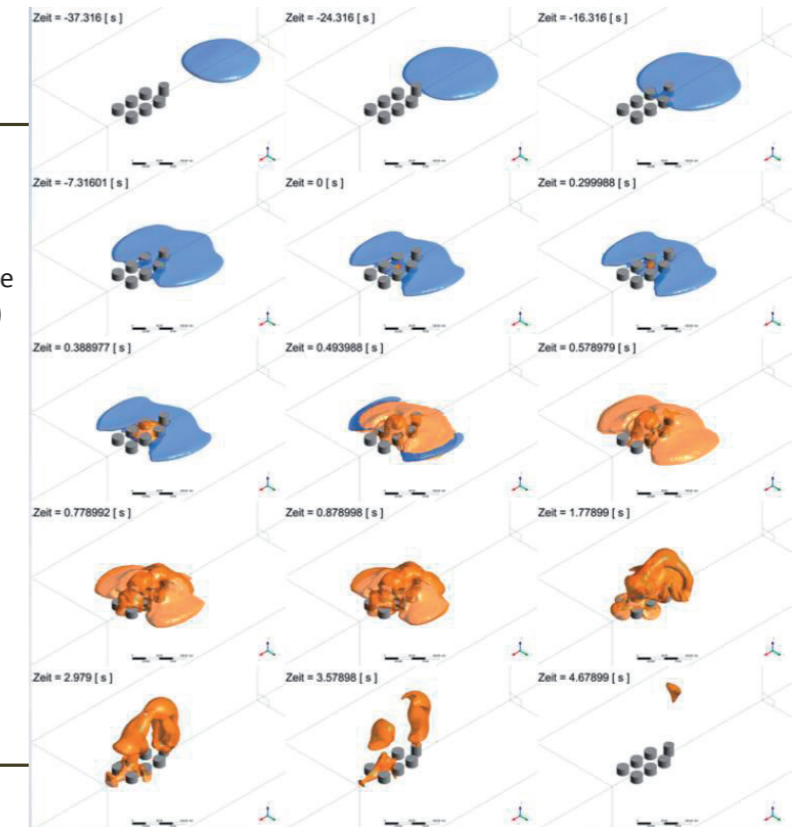
Benutzerfreundlichkeit:

- Smokeview retro
- Auswertung lokaler Größen umständlich
- kein CAD-Import

16.11.2012

F. Rabe U. Krause

Berechnung der Ausbreitung einer zündfähigen Wolke (Isofläche der UEG) sowie der Flamme (T = 600 °C) im Gebiet um das Tanklager

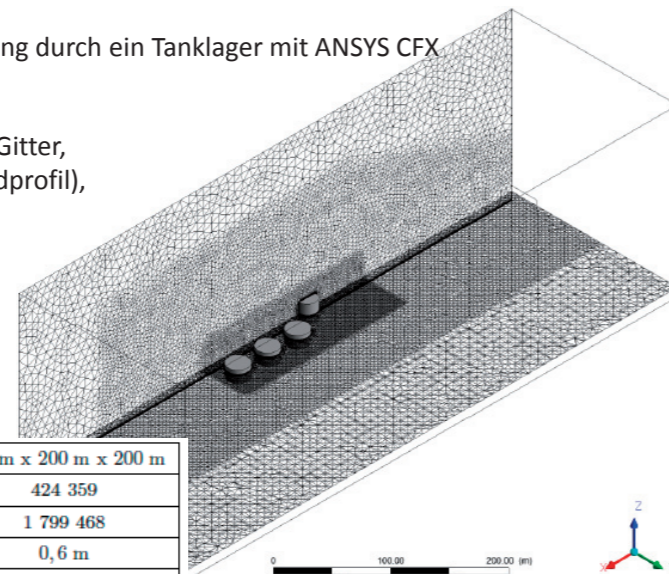


S. Pfister, Grundlagen für die Anwendung numerischer Strömungssimulation auf Brandszenarien in Industrieanlagen, Diss. TU Berlin, 2012

16.11.2012

Berechnung der Brandausbreitung durch ein Tanklager mit ANSYS CFX

- adaptives, unstrukturiertes Gitter,
- lokal veränderliche RB (Windprofil),
- Mischungsbruch/Flamelet,
- SST-Turbulenzmodell,
- kompressibel,
- DOT-Strahlungsmodell



x x y x z (Rechengitter)	593 m x 200 m x 200 m
Anzahl der Knoten	424 359
Anzahl der Elemente	1 799 468
kleinste Gitterweite (Tetraeder)	0,6 m
größte Gitterweite (Tetraeder)	12 m
Höhe der ersten Prismenschicht	0,12 m
Anzahl der Prismenschichten	16
Wachstumsrate der Prismenschichten	1,2

S. Pfister, Grundlagen für die Anwendung numerischer Strömungssimulation auf Brandszenarien in Industrieanlagen, Diss. TU Berlin, 2012

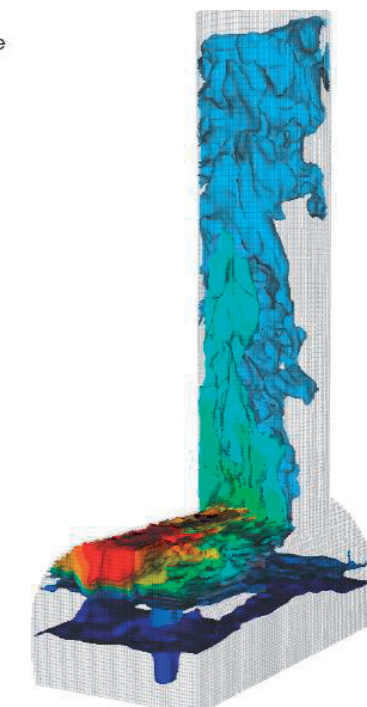
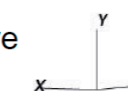
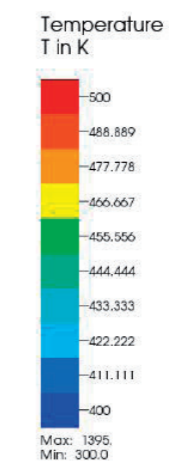
16.11.2012

F. Rabe U. Krause

Brandsimulation mit Open Foam

Temperaturfeld über einem Brandherd in einer unterirdischen Kaverne mit Auftriebsströmung im Wetterschacht

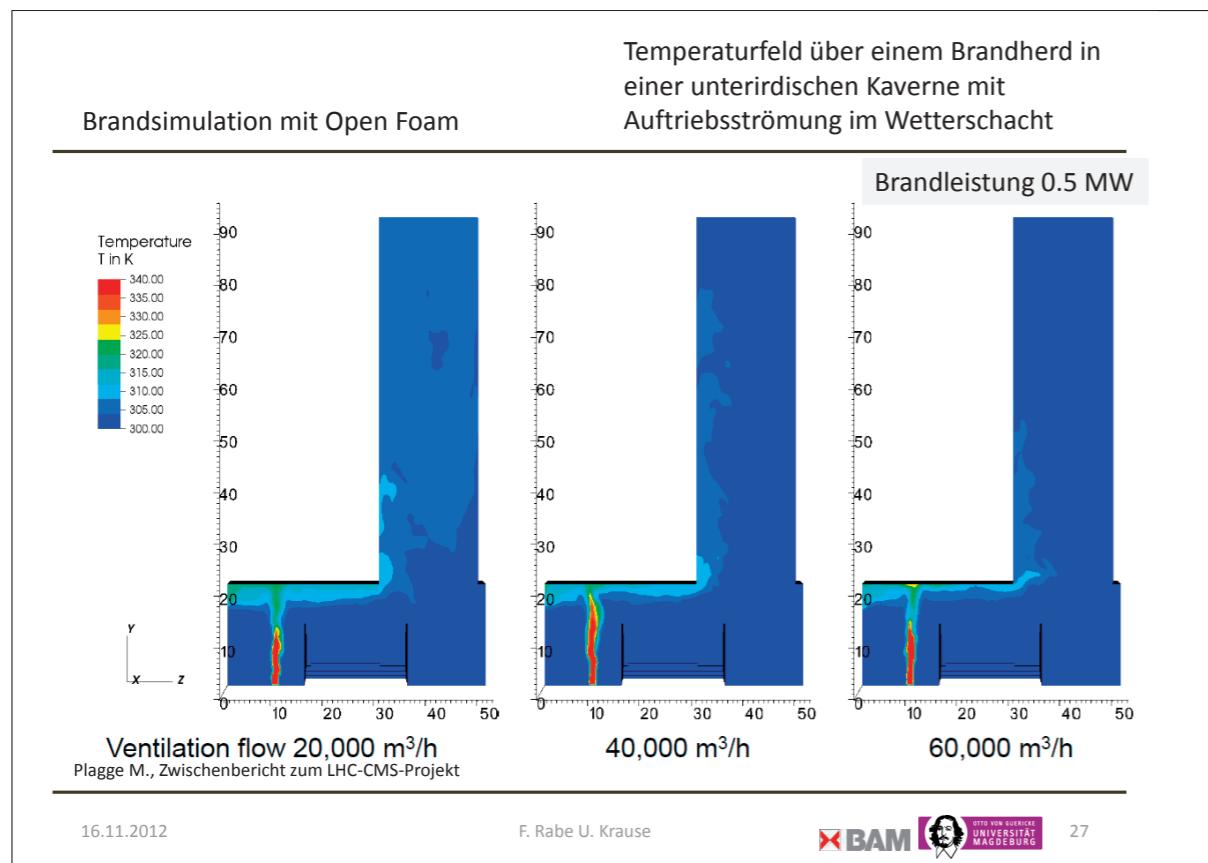
- 700,000 to 6,000,000 cells
- About 20 equations per cell
- Implicit/explicit solving schemes
- 5 species: CH₄, O₂, N₂, CO₂, H₂O
- 1-step infinite fast reaction
- Mass and heat transfer
- Single burner w constant HRR
- Parallel computationally expensive



Plagge M., Zwischenbericht zum LHC-CMS-Projekt

16.11.2012

F. Rabe U. Krause



Thanks for your attention!



16.11.2012

F. Rabe U. Krause

BAM OTTO VON GUERICKE UNIVERSITÄT MAGDEBURG 29

Conclusions

Once again:

„The purpose of computing is insight, not numbers.“

Fire simulations with CFD can help

- to study the role of the underlying phenomena in detail,
- to highlight the influence of boundary conditions on the fire,
- to get an idea about time scales,
- to extend the range of parameter variations as it would never be possible by experiments alone,
- to substantially reduce the level of soothsaying in expert opinions.

Fire simulations cannot

- replace experiments (ideally they supplement each other),
- deliver ultimate numbers (several sources of uncertainties).

Challenge for research: quantifying uncertainties!

16.11.2012

F. Rabe U. Krause

BAM OTTO VON GUERICKE UNIVERSITÄT MAGDEBURG 28

Prof. Bjarne Husted:

Use of alternative sub grid turbulence models in FDS

Use of alternative sub grid turbulence models in FDS

Dr.-Ing Bjarne P. Husted

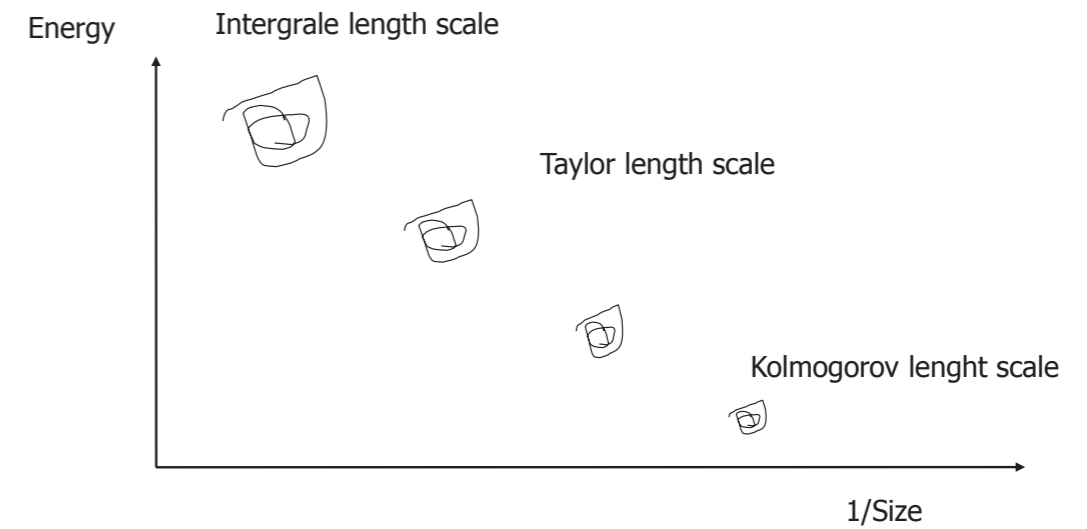
Overview

- What is turbulence
- Sub grid turbulence mode in FDS 6
- Validation with back ward facing step
- Validation with combustion model

Turbulence

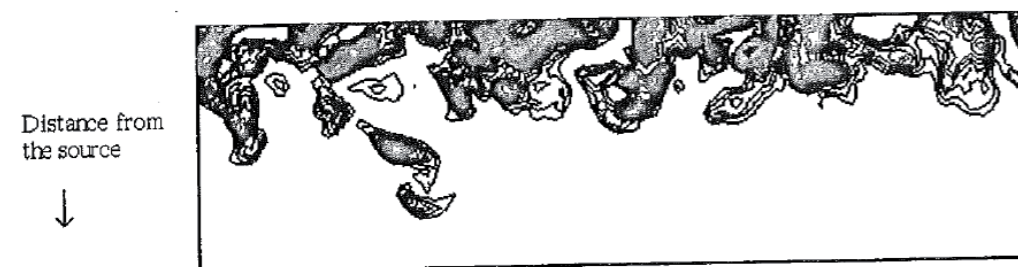
- Big whirls have little whirls, which feed on their velocity, and little whirls have lesser whirls, and so on to viscosity
 - (Richardson 1922)
- Definition of the various scales in turbulent flow
 - (Kolmogorov 1941)

Turbulence cascade



Turbulence

- Chaotic
- Anisotropic phenomena



LES og DNS

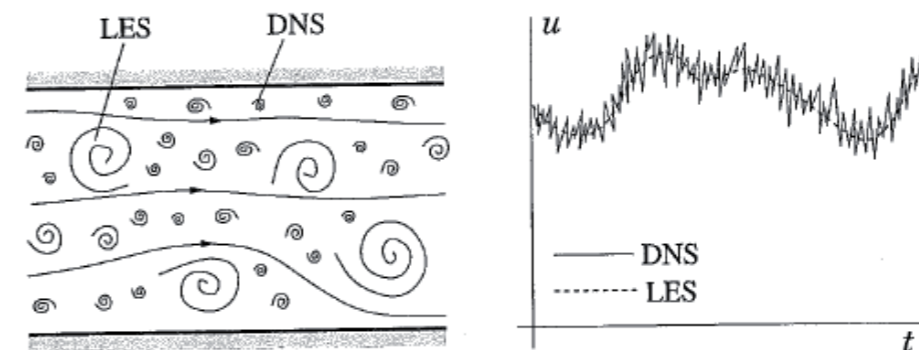


Fig. 9.3. Schematic representation of turbulent motion (left) and the time dependence of a velocity component at a point (right)

Mean Values

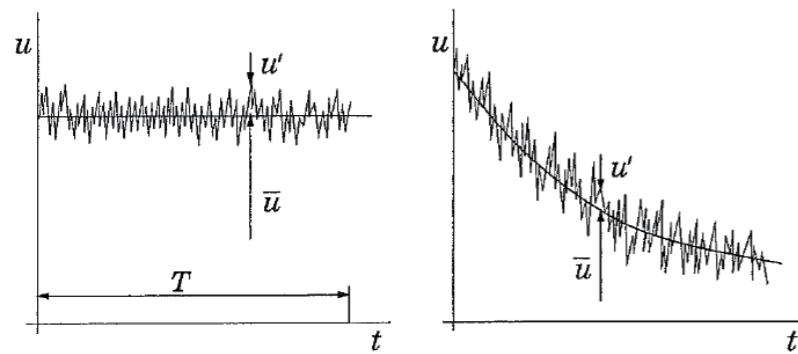


Fig. 9.10. Time averaging for a statistically steady flow (left) and ensemble averaging for an unsteady flow (right)

LES

- Filtering of the equations
 - Eddies below size Δ are handled by the "sub grid" model
 - $\Delta > h$, h is the grid size
 - 90 % of the eddies should be resolved in the large grid, (see Combustion, Warnatz, Maas og Dibble)
 - This is rarely the case when using FDS

RANS

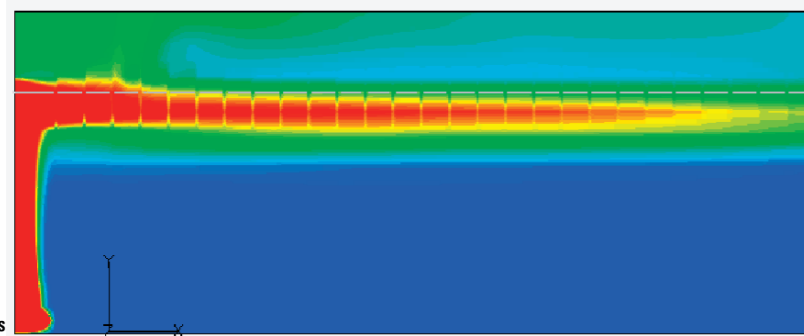
- Reynolds Average Navier Stokes

$$u = \bar{u} + u' \quad \text{velocity}$$

$$u' = \sqrt{\frac{1}{3}(u_x'^2 + u_y'^2 + u_z'^2)} \quad \text{flutuatic velocity}$$

$$I \equiv \frac{u'}{\bar{u}} \cdot 100\% \quad \text{turbulent intensity}$$

Mean value picture



Sub grid models in FDS 6

- Constant Smagorinsky (Smagorinsky 1970)
- Dynamic Smagorinsky (1992)
- Deardorff
- Vreman (2005)

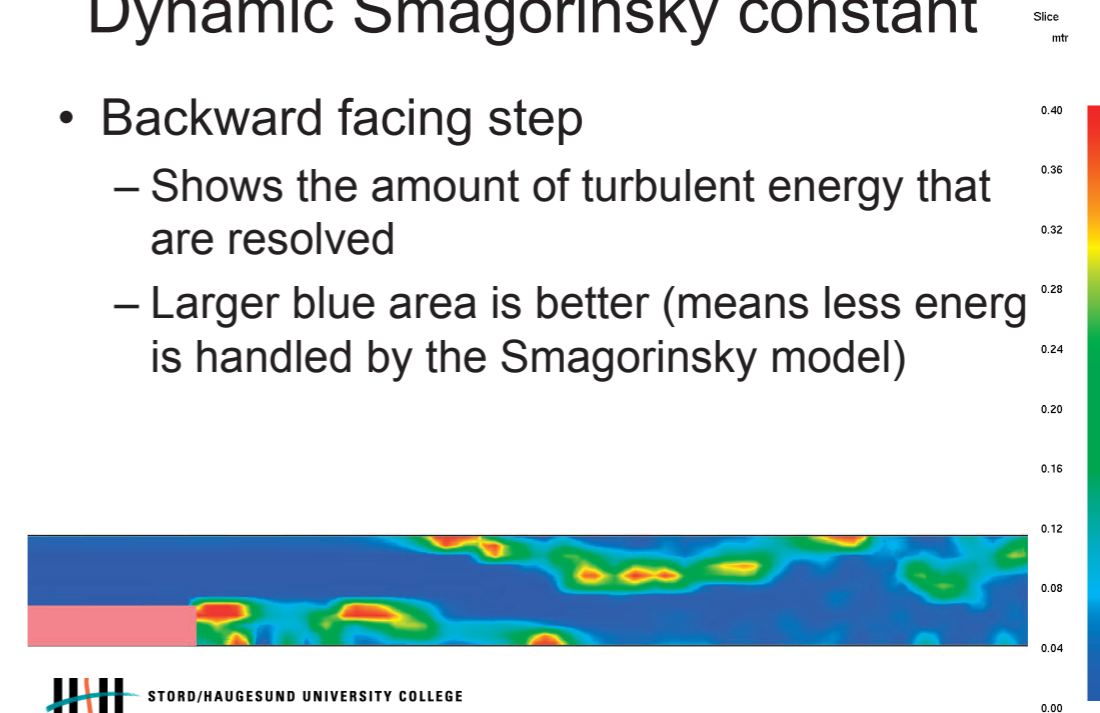
```
&MISC TURBULENCE_MODEL='CONSTANT SMAGORINSKY'/
&MISC TURBULENCE_MODEL='DYNAMIC SMAGORINSKY'/
&MISC TURBULENCE_MODEL='DEARDORFF'/
&MISC TURBULENCE_MODEL='VREMAN/'
```

Smagorinsky constant (C_s)

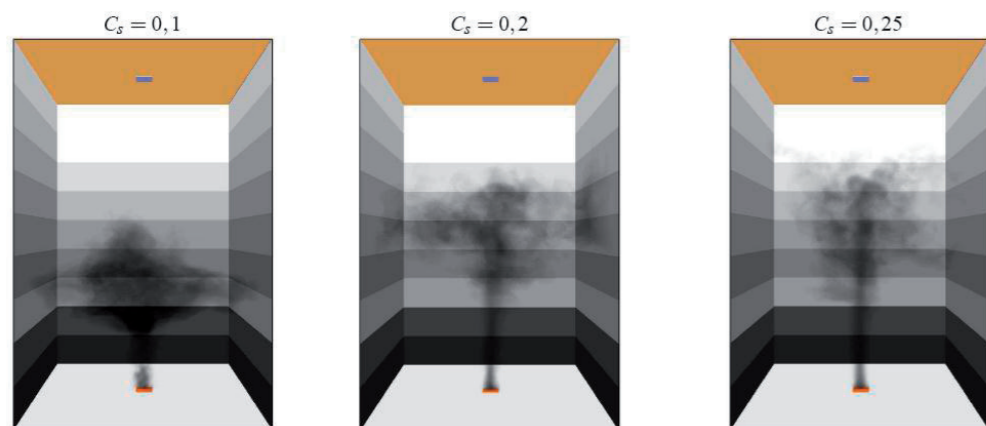
- What should it be (FDS 5)
 - It is set to 0.20, but it depends on the geometry
- Example from Sommerlund-Larsen and Petersen's, M.Sc. Thesis
- FDS 6 uses a dynamic Smagorinsky model

Dynamic Smagorinsky constant

- Backward facing step
 - Shows the amount of turbulent energy that are resolved
 - Larger blue area is better (means less energy is handled by the Smagorinsky model)

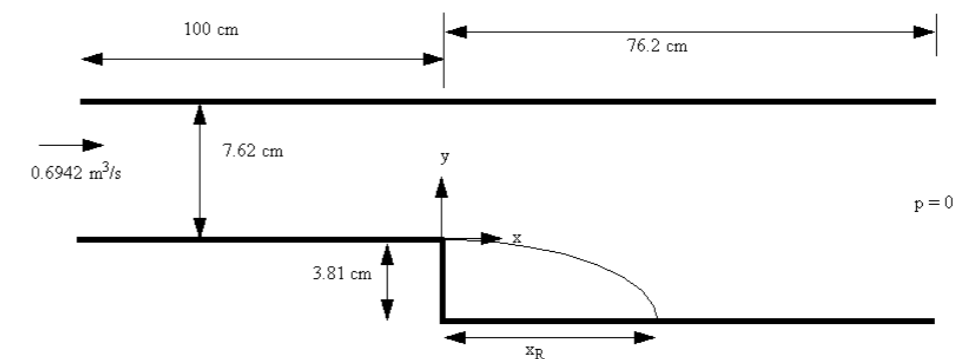


Smoke filling with different values of the Smagorinsky constant, C_s



Figur M.11: Røglagets udvikling efter 40 sekunders 14x14 cm 50 W brand. De tre brande har forskellige Smagorinsky konstanter, og fra venstre af, antager de værdierne 0,1, 0,2 og 0,25.

Validation setup



- Vogel, J.C., Eaton, J.K., "Heat transfer and fluid mechanics measurements in the turbulent reattaching flow behind a rearward facing step", Report MD-44, Thermosciences Div., Dept. of Mechanical Engineering, Stanford University (1984).

Non-dimensional reattachment length

	"		
	Experimental	CFdesign	Error
$\frac{x_R}{h}$	6.67	6.87	3.0%

How will FDS 6 perform?

Validation cases with combustion

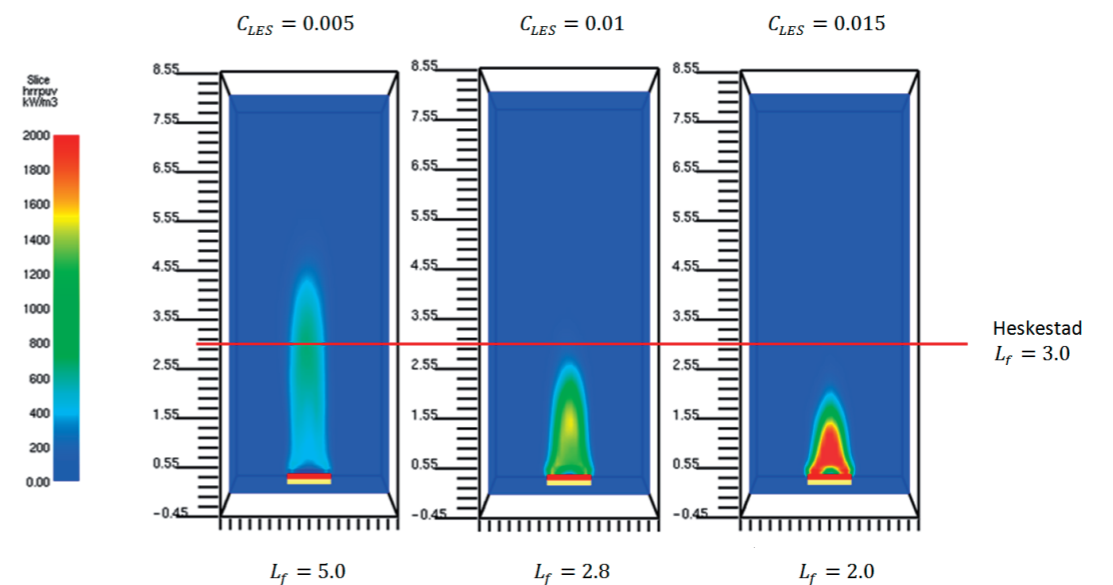
- Sandia plume experiments
 - x and y velocity component in radial position
- McCaffery correlation
 - centerline velocity and temperature
- Heskestad correlation
 - flame height

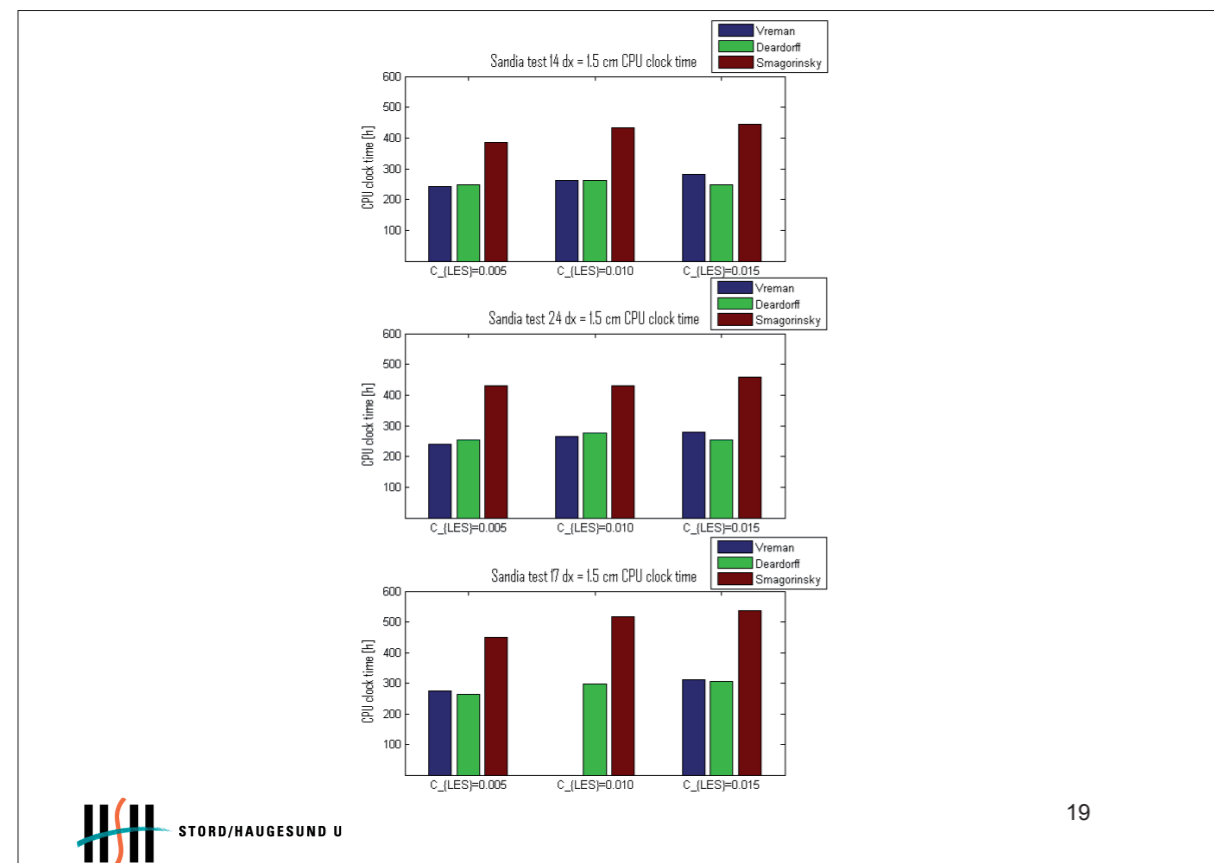
David R. Johansen, M.Sc. Thesis, August 2012

Non-dimensional reattachment length, FDS 6, ref=6.7

	Mid (dx=10 mm)	Fine (dx=5 mm)
Constant Smagorinsky	1.0	1.6
Dynamic Smagorinsky	1.6	2.9
Deardorff	1.3	1.0
Vreman	1.8	1.8

Average Slice File (10-30 s), Smagorinsky
Turbulens Model D⁺/dx=10





19

Dr. Susanne Kilian:**Die FDS-Drucklösung im numerischen Visier: Eingabegrößen, Genauigkeit und Skalierbarkeit****Abstract:**

Die Anwendbarkeit von FDS auf massiv parallelen Rechnersystemen wird maßgeblich von der Qualität der numerischen Drucklösung bestimmt. In der ersten Parallelisierungs-Generation von FDS hat sich deutlich gezeigt, dass die rein lokale Kopplung direkter FFT-Löser innerhalb der einzelnen Meshes keine zielführende Parallelisierungsstrategie darstellt. Die Hinzunahme einer grobkörnigen, globalen Iteration zur Abbildung übergreifender Datenzusammenhänge führte in jüngerer Zeit tatsächlich zu einer besseren Kopplung der lokalen Teilprobleme, ist jedoch noch immer nicht in der Lage, die zuverlässige und rechnerisch genaue Skalierbarkeit von FDS auf hohe Prozessorzahlen zu gewährleisten.

Zur Auflösung dieser Problematik wurde auf den zurückliegenden Anwendertreffen der alternative Drucklöser ScaRC (Scalable Recursive Clustering) präsentiert. Dieser basiert vollständig auf iterativen Parallelisierungstechniken und hat bereits für eine Vielzahl an Testproblemen deutlich verbesserte Skalierbarkeits- und Genauigkeitseigenschaften bei der Druckberechnung gezeigt.

Zusätzlich zu den aktuellen Implementierungsarbeiten rund um die Bereitstellung des ScaRC-Codes muss ein besonderes Augenmerk jedoch auch auf die Eingabedaten gerichtet werden, die dem Drucklöser pro Zeitschritt vom umliegenden FDS-Code eingespeist werden und die sich aus allen übrigen Verfahrenskomponenten errechnen. Testreihen zur Verifikation von ScaRC haben immer wieder offenbart, dass je nach vorliegender Konstellation zusätzliche Fehlereinflüsse durch die Übergabe leicht inkonsistenter rechten Seiten für Single- und zugehörige Multi-Mesh-Fälle auftreten können, die einen objektiven Vergleich deutlich erschweren bzw. die Bewertung des reinen Drucklösers verfälschen können.

Der diesjährige Vortrag dient dazu, die aktuelle Parallelisierungssituation anhand von Verifikationsfällen aus dem offiziellen FDS-Guide zu illustrieren und die noch offenen Probleme zu demonstrieren. Um unüberschaubare Wechselwirkungen verschiedenartiger Fehlereinflüsse bei der Bewertung der Drucklösung zu vermeiden, werden alle zur Zeit verfügbaren ScaRC- und FFT-Varianten aus dem Zeititerationsprozess herausgelöst betrachtet und anhand nur einer einzigen Drucklösung für verschiedene rechte Seiten miteinander verglichen. Auf Basis sehr feiner Gitterweiten und hoher Prozessorzahlen wird außerdem eine zugehörige Konvergenzstudie präsentiert.

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Die FDS-Drucklösung im numerischen Visier: Eingabegrößen, Genauigkeit und Skalierbarkeit



Dr. Susanne Kilian
 hhpberlin
 Ingenieure für Brandschutz
 10245 Berlin
www.hhpberlin.de
 s.kilian@hhpberlin.de

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

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Motivation und Begriffsdefinitionen Diskretisierung der FDS-Druckgleichung

Pro Zeitschritt zu lösen:
Elliptische partielle Differentialgleichung vom Poisson-Typ:

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

↑
 Quellterme aus verganginem Zeitschritt
 (z.B. Verbrennung, Strahlungstransport, ...)

Herausforderung:

- extrem hohe Ausbreitungsgeschwindigkeit für Informationen
- starke gebietsübergreifende Kopplung

→ muss vom parallelen Löser adäquat erfasst werden

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Motivation und Begriffsdefinitionen Diskretisierung der FDS-Druckgleichung

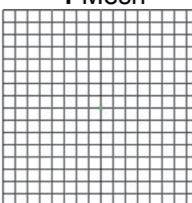
Finite Differenzen Methode: Single-Mesh

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

1 globale Matrix:
 A

1 globaler „rechte Seite Vektor“:
 b

1 Mesh



→ 1 globales Gleichungssystem (GLS): $Ax = b$

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Motivation und Begriffsdefinitionen Diskretisierung der FDS-Druckgleichung

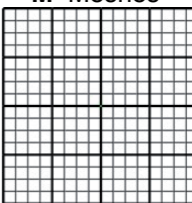
Finite Differenzen Methode: Multi-Mesh

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

M lokale Matrizen:
 A_i

M lokale „rechte Seite Vektoren“:
 b_i

M Meshes



→ M lokale Gleichungssysteme: $A_i x_i = b_i$

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Motivation und Begriffsdefinitionen Lösungsverfahren für die FDS-Druckgleichung

Fast Fourier Transformation mit Grobgitteriteration: FFT (tol)

- Abbruchkriterium: Differenz der Geschwindigkeits-Normalkomponenten < tol !
z.B: &PRES VELOCITY_TOLERANCE= 0.01, MAX_PRESSURE_ITERATIONS = 100
- Default: tol = $\delta x / 10$ für charakteristische Zellgröße δx
MAX_PRESSURE_ITERATIONS = 10 (Maximalanzahl an Grobgitteriterationen)
- Achtung: Iterationsanzahl muss i.a. für feinere Toleranzen deutlich hoch gesetzt werden

Scalable Recursive Clustering: ScaRC

- Verfahrensbaukasten mit verschiedenen iterativen Lösern
- z.B.: - parallele Krylov-Raum-Verfahren (CG-, BICGstab)
- parallele Mehrgitter-Verfahren (geometrisch, algebraisch)

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Qualität der Eingabedaten Vorgehensweise und Fragestellungen

Übliche Vorgehensweise bei der ScaRC-Verifikation:
Vergleich: Multi-Mesh-ScaRC-Fall versus 1-Mesh-FFT-Fall (optimale Referenzlösung)

→

- für Vielzahl getesteter Probleme vollkommen datenparallele Funktionsweise **unabhängig von der Anzahl an Meshes !!**
- **aber**: für verschiedene Probleme unterschiedliche DEVC-Verläufe trotz datenparallelen ScaRC-Ablaufs!

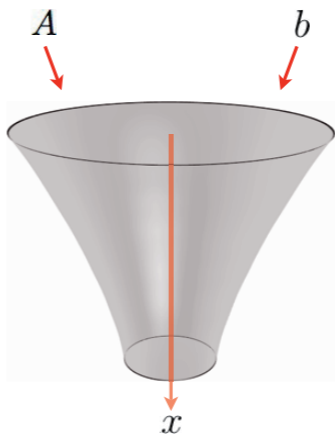
Fragen bzw. Schlussfolgerung:

- Drucklöser nicht die einzige Fehlerquelle bei der Parallelisierung?
- zusätzliche Rundungsfehlereinflüsse bei paralleler Ausführung ?
- fehlerhafte Eingabegrößen (inkonsistente rechte Seiten)?

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Qualität der Eingabedaten Ablauf der Drucklösung im Single-Mesh-Fall



FFT (default) - ohne Grobgitteriteration:

- Eingabedaten liegen global vor
- **direkter** Löser (fertig in einem komplexen Schritt)
- berechnet exakte Lösung des globalen GLS:

$$x = A^{-1}b$$

- sehr zeiteffizient

Konvergenz: $x = x_{exakt}$

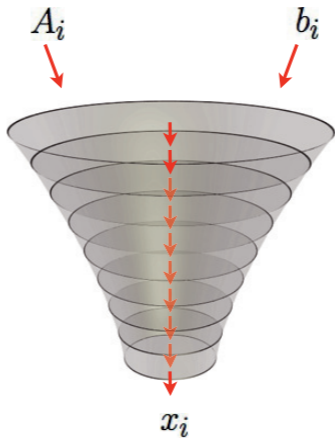
→ optimal für jede Single-Mesh-Anwendung !

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Qualität der Eingabedaten Idealer Ablauf der Drucklösung im Multi-Mesh-Fall

$i = 1 \dots M :$



FFT (tol), ScaRC:

- Matrizen und rechte Seiten liegen verteilt vor
- iterative Lösung in mehreren Schritten
- Abbruchkriterium notwendig
- nur annähernde Lösung des globalen GLS

Konvergenz: $\sum_{i=1}^M x_i = \tilde{x} \rightarrow x \quad ??$

→ Konvergenz möglich, falls Abbruchkriterium scharf genug !!

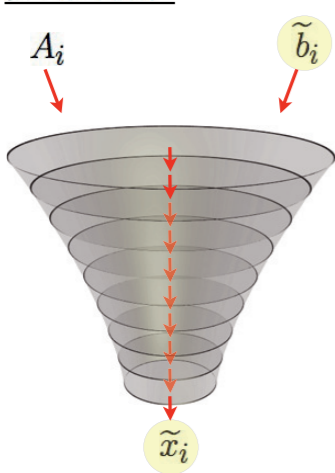
Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Qualität der Eingabedaten

Realer Ablauf der Drucklösung im Multi-Mesh-Fall

$i = 1 \dots M:$



FFT (tol), ScaRC:

- lokale rechte Seiten nicht konsistent zu globaler

$$\sum_{i=1}^M \tilde{b}_i \neq b$$

- Ungenauigkeiten entlang innerer Ränder je nach Komponenten (Strahlung, Verbrennung, Turbulenz,...)

Konvergenz: $\sum_{i=1}^M \tilde{x}_i = \tilde{x} \rightarrow x \quad ??$

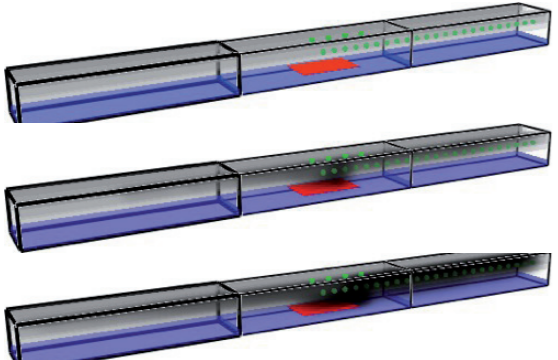
→ ‚echte‘ Konvergenz nicht möglich, unüberschaubare Wechselwirkungen !!

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Qualität der Eingabedaten

Testfall: Tunnel-Simulation mit Bjarne Husted



- Originalfall aus 71 Meshes mit 5.5 Millionen Unbekannten
- „FFT versus ScaRC“-Vergleich ad-hoc nicht aussagekräftig
- unüberschaubare Unterschiede der Device-Verläufe

→

- Reduktion auf kleineren Testfall: **3 Meshes mit 4320 Unbekannten**
- Vergleich 3-Mesh-ScaRC versus entsprechende 1-Mesh-FFT (Referenzlösung)
- Rechnung mit und ohne Strahlungstransport
- Analyse der Pressure-Devices in Nähe der Brandquelle

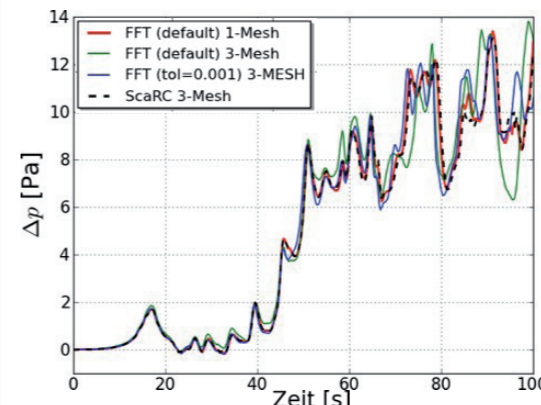
Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Qualität der Eingabedaten

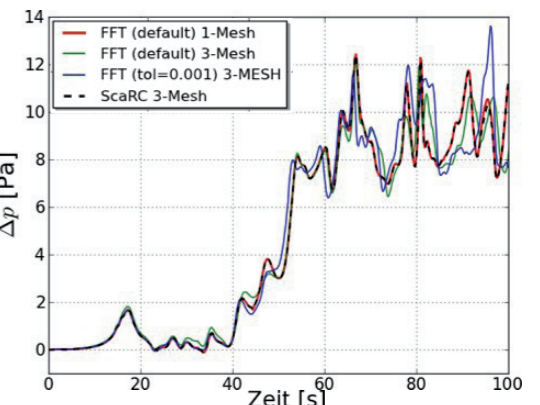
Testfall: Tunnel-Simulation mit Bjarne Husted

mit Radiation



- ScaRC:** längere Zeit konsistent, dann leichte Abweichungen
- FFT (default) und FFT (tol=0.001):** deutlichere Abweichungen

ohne Radiation



- ScaRC:** noch konsistenter, im späteren Verlauf nur ganz schwache Abweichungen
- FFT (default) und FFT (tol=0.001):** deutlichere Abweichungen

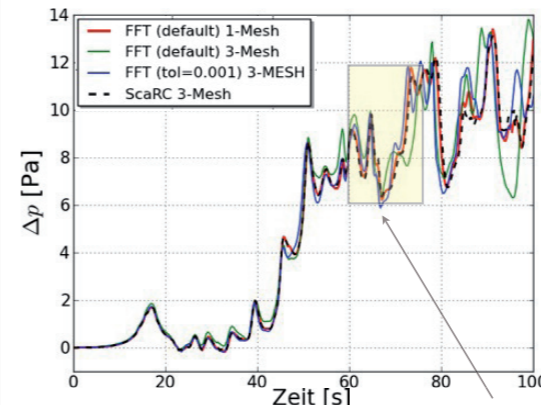
Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Qualität der Eingabedaten

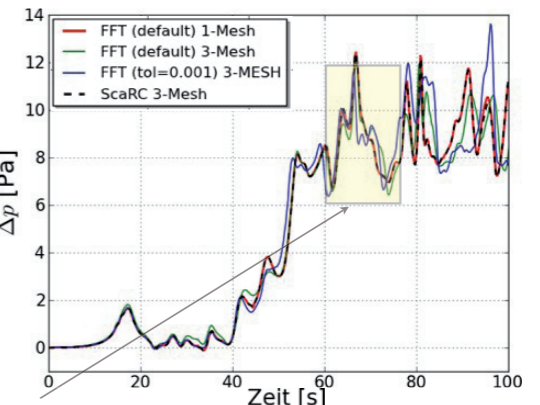
Testfall: Tunnel-Simulation mit Bjarne Husted

mit Radiation



- ScaRC:** längere Zeit konsistent, dann leichte Abweichungen
- FFT (default) und FFT (tol=0.001):** deutlichere Abweichungen

ohne Radiation



- ScaRC:** noch konsistenter, im späteren Verlauf nur ganz schwache Abweichungen
- FFT (default) und FFT (tol=0.001):** deutlichere Abweichungen

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Qualität der Eingabedaten

Testfall: Tunnel-Simulation mit Bjarne Husted

mit Radiation, Zoom

• **ScaRC:** erste sichtbare Abweichung bei etwa T=60.0

• **FFT (default) und FFT (tol=0.001):** Abweichungen von Anfang an

ohne Radiation, Zoom

• **ScaRC:** auch nach T=60.0 nahezu konsistent, später sehr schwache Inkonsistenzen

• **FFT (default) und FFT (tol=0.001):** ähnliche Abweichungen von Anfang an

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Qualität der Eingabedaten

Testfall: Tunnel-Simulation mit Bjarne Husted

• unterschiedliche rechte Seiten entlang innerer Gebietskanten

• im Radiation-Fall deutlich größere Unterschiede

Wert der rechten Seite in randnaher Zelle:

	mit Radiation	ohne Radiation
Single-Mesh:	0.4867-04	-0.8742-08
Multi-Mesh:	0.3608-04	-0.8742-08

nach erstem Zeitschritt:

mit Radiation: Größe QR=11.865 (1-Mesh) bzw. 12.477 (3-Mesh) in der betreffenden Zelle !!

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Qualität der Eingabedaten

Testfall: Tunnel-Simulation mit Bjarne Husted

• unterschiedliche rechte Seiten entlang innerer Gebietskanten

• im Radiation-Fall deutlich größere Unterschiede

Wert der rechten Seite in randnaher Zelle:

	mit Radiation	ohne Radiation
Single-Mesh:	-0.7535-05	-0.5152-05
Multi-Mesh:	-0.4982-05	-0.5151-05

zum Zeitpunkt T=1.0:

→ • Gründe für Inkonsistenzen im Device-Verlauf unabhängig vom Drucklöser

• basieren u.a. auf inkonsistenten Quellterm-Berechnungen im Strahlungslöser !!

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Qualität der Eingabedaten

Testfall: „Radiation inside a box“ aus Verification-Guide

exakter Heat Flux entlang Diagonale bekannt

Vergleich 1 Mesh versus 2, 4 und 8 Meshes

20³ Zellen gesamt

→ unterschiedliche Verläufe, unabhängig vom Drucklöser !!

Heat Flux

Position

— Exakt

— FDS 50 Strahlungswinkel

— FDS 100 Strahlungswinkel

— FDS 300 Strahlungswinkel

— FDS 1000 Strahlungswinkel

— FDS 2000 Strahlungswinkel

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Qualität der Eingabedaten Bewertung und weiteres Vorgehen

Beobachtungen in vielen Testreihen:

- häufig leicht inkonsistente Eingabedaten für Drucklöser ‚Single-Mesh versus Multi-Mesh‘
- in der Regel ausgeprägter, je mehr Verfahrens-Komponenten dazugeschaltet werden
- unüberschaubare Wechselwirkungen
- verhindert ‚saubere‘ Parallelisierung vollkommen unabhängig vom Drucklöser !

Schlussfolgerung:

- Verifikationsprozess zur Analyse des Drucklösers erfordert streng schrittweises Vorgehen
- faire Beurteilung der Drucklöser-Funktionalität nur für konsistente Eingabedaten möglich

→ nachfolgend Beschränkung auf Fälle mit gesichert konsistenter rechter Seite !

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit Testfall: NS_Analytical_Solution aus Verification Guide

Rechte Seite: **Analytische Lösung für Beispielgebiet:**

$$u(x, z, t) = 1 - 2 \cos(x - t) \sin(z - t) e^{-2\nu t}$$

→ moderate Variation der rechten Seite, gleichmäßig übers Gebiet verteilt
• nur langsames Fortschreiten der Information durchs Gebiet

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit Testfall: NS_Analytical_Solution aus Verification Guide

Zugehörige Druck-Lösung für 64 Meshes (8x8):

→ • FFT (default) arbeitet sehr gut, erzeugt automatisch tol ~ 0.0001
• lokaler Datenaustausch genügt !!!
• im Verification Guide wird Konvergenz 2. Ordnung hergeleitet

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit Testfall: Durchströmung Pipe mit Matthias Münch

Rechte Seite: **Analytische Lösung (konstante Einströmung):**

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = - \nabla \tilde{p} , \quad \Delta \tilde{p} = - \rho c_1 \Delta x$$

→ • Rein lokale Änderung der Randbedingung
• wird zunächst nur vom 1. Teilgebiet ‚gesehen‘

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit

Testfall: Durchströmung Pipe mit Matthias Münch

Zugehörige Drucklösung:



→ • Sofortige Auswirkung auf gesamtes Lösungsgebiet
• Mechanismen zur globalen Datenübertragung dringend erforderlich !!

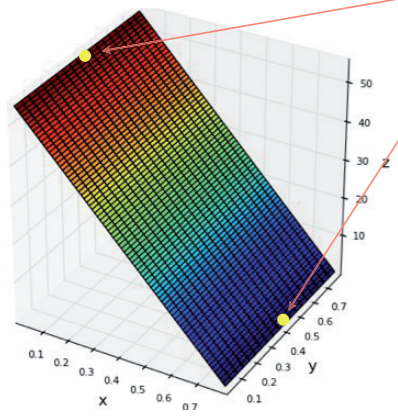
Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

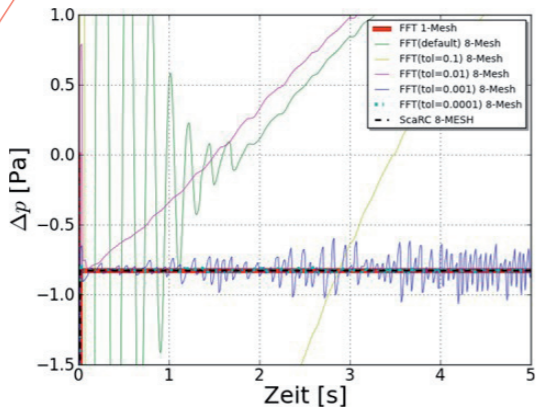
Genauigkeit und Skalierbarkeit

Testfall: Durchströmung Pipe mit Matthias Münch

Zugehörige Drucklösung:



Druckdifferenz, 8x1-Zerlegung, 80² Zellen:



Maximum Pressure-Iterations: **3607**

→ • erst FFT (tol=0.0001) erfasst korrekte Druckdifferenz näherungsweise
• ca. 1000 Pressure-Iterations nötig für Fehlerreduktion um 10⁽⁻¹⁾ !!
• ScaRC arbeitet völlig konsistent

Donnerstag, 6. Dezember 12

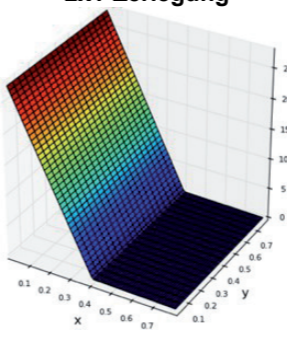
Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit

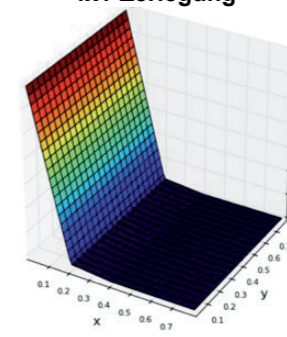
Testfall: Durchströmung Pipe mit Matthias Münch

FFT (default): keine zusätzliche Angabe in der &PRES-Zeile

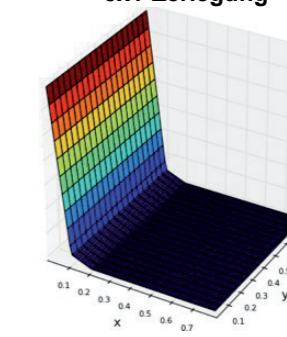
2x1-Zerlegung



4x1-Zerlegung



8x1-Zerlegung



→ • FFT(default) mit 10 Pressure-Iterations genügt nicht annähernd (konstanter Fehler)
• erzielte Toleranz nach Ablauf von FFT(default) noch bei circa 1.0 !!
• kein ausreichender globaler Datentransfer !!

Donnerstag, 6. Dezember 12

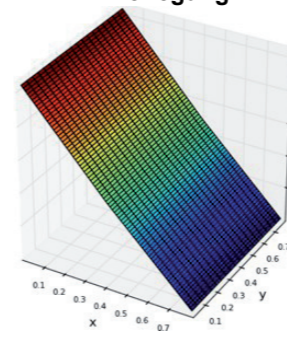
Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit

Testfall: Durchströmung Pipe mit Matthias Münch

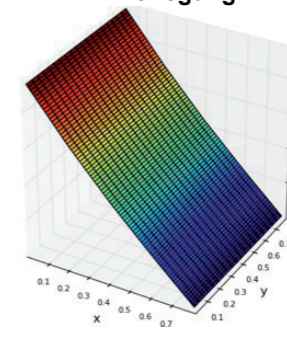
FFT (tol=0.1): &PRES VELOCITY_TOLERANCE = 0.1, MAX_PRESSURE_ITERATIONS=10000

2x1-Zerlegung



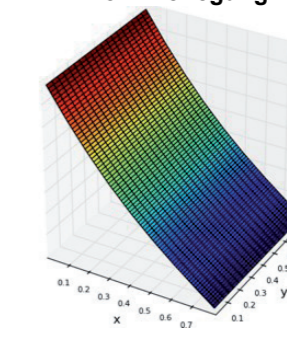
Pressure-Iterations: 186

4x1-Zerlegung



Pressure-Iterations: 345

8x1-Zerlegung



Pressure-Iterations: 452

→ • selbst für grobe Toleranz von tol = 0.1 bereits hunderte von Iterationen nötig
• erst für tol = 0.0001 annähernd korrekter Ablauf bei max **3607** Iterationen !

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit Testfall: scarc2d-Fall aus Verification Guide

Gebiet mit lokaler Einströmung

Pressure Slice für 8x8 Meshes

RAMP-gesteuerte, ständig wechselnde Einströmung bis max VEL=-2.0

- verschiedene MxM-Gebietszerlegungen, M=2, 4, 8 und 16
- je mehr Teilgebiete, umso härter ist der Testfall für FFT (tol)

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit Testfall: scarc2d-Fall aus Verification Guide

Pressure-Device, 16x16 Meshes, 256² Zellen **Zoom**

- erst für FFT(tol=0.0001) passabel, aber immer noch leichte Abweichungen
- in über 100 Zeitschritten wird Maximalanzahl von 1000 Pressure-Iterations benötigt
- vollkommen identische Abbildung durch ScaRC

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit Testfall: scarc2d-Fall aus Verification Guide

Rechte Seite:

Zugehörige Drucklösung:

Auswertungspunkt für Pressure-Device

- ständig wechselnde, rein lokale Anregung durch rechte Seite
- sofortige Auswirkung auf Drucklösung im gesamten Gebiet

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit Testfall: scarc2d-Fall aus Verification Guide

FFT (default): keine zusätzliche Angabe in der &PRES-Zeile

2x2-Zerlegung

Pressure-Iterations: 10

4x4-Zerlegung

Pressure-Iterations: 10

8x8-Zerlegung

Pressure-Iterations: 10

völlig unterschiedliches Höhenniveau

- 10 Pressure-Iterations genügen bei weitem nicht, FFT (default) arbeitet viel zu lokal
- je größer Zerlegung, desto mehr Meshes 'sehen' neue Information noch nicht

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit Testfall: scarc2d-Fall aus Verification Guide

FFT (tol=0.001): &PRES VELOCITY_TOLERANCE = 0.001, MAX_PRESSURE_ITERATIONS=10000

2x2-Zerlegung

4x4-Zerlegung

8x8-Zerlegung

Verbesserung, aber immer noch unterschiedlich

- selbst für FFT (tol = 0.001) noch keine vollständige Übertragung der Randinformation
- erst für FFT (tol = 0.0001) Annäherung

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit Testfall: scarc2d-Fall aus Verification Guide

konstanter Fehler, je nach Topologie !!

2x2-Zerlegung

4x4-Zerlegung

8x8-Zerlegung

# Zellen	# Iterationen FFT(0.0001) 2x2	# Iterationen FFT(0.0001) 4x4	# Iterationen FFT(0.0001) 8x8
128 x 128	755	1704	3343
256 x 256	1512	3410	6686
512 x 512	3026	6821	>10000

→ Verdopplung der Iterationsanzahl pro Gitterverfeinerung

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit Testfall: scarc2d-Fall aus Verification Guide

Konvergenzstudie für 16x16 Meshes:

Feingitterauflösungen: 64², 128², 256², 512², 1024² Zellen

Referenzlösung: 2048² = 4.194.304 Zellen

(keine exakte Lösung vorhanden)

256 Meshes

- konstanter Fehler durch FFT(default) und FFT(tol)
- während späterer Zeititerationen bessere FFT-Konvergenz, da Effekte in rechter Seite zunehmend über ganzes Gebiet verteilt (deutlich weniger Pressure-Iterationen)
- klare **quadratische Konvergenz von ScaRC** trotz sehr schwieriger rechter Seite

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit Testfall: scarc3d-Fall

RAMP-gesteuerte, ständig wechselnde Einströmung bis max VEL=-2.0

512 Meshes (8x8x8)

- grundsätzlich ähnliches Verhalten der Löser wie im 2D-Fall
- Pressure Device-Verlauf wird auch hier erst durch FFT (tol=0.0001) angenähert
- ScaRC bildet ‚stufen‘ Device-Verlauf korrekt ab

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit Testfall: scarc3d-Fall

Konvergenzstudie für 8x8x8 Meshes

Feingitterauflösungen:
64³, 128³, 256³ Zellen gesamt

Referenzlösung:
512³ = 134.217.728 Zellen

(keine exakte Lösung vorhanden)

512 Meshes

→ auch in 3D klare quadratische Konvergenz von ScaRC trotz sehr schwieriger rechter Seite

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Genauigkeit und Skalierbarkeit Testfall: scarc3d-Fall

Laufzeitvergleich für eine **einzig**e Druckberechnung:

Zellanzahl	FFT (default)	FFT (tol=0.001)	FFT (tol=0.0001)	ScaRC-AMG	ScaRC-CG
16.777.216	13,7 s	183,1 s 180 Pressure Iterations	2560,1 s 2700 Pressure Iterations	692,1 s Initialisierung 4.910 s	198,3 s
134.217.728	163,8 s	871,3 s 361 Pressure Iterations	63.480,2 s 5399 Pressure Iterations	nicht gerechnet zu hoher Speicherbedarf	995,2 s

erst ab hier vergleichbare Genauigkeit

→ • FFT (default) hat kürzeste Laufzeit (aber keine korrekten Resultate !)
• ScaRC-AMG:
- benötigt deutlich länger als ScaRC-CG, aber auch viel leistungsfähiger im Hinblick auf komplexere Gebiete
- hohe Initialisierungszeit, aber nur **einmal** für gesamte Zeititeration erforderlich (fällt nicht ins Gewicht), dafür sehr hohe Genauigkeit
- höherer Speicherbedarf wegen Gitterhierarchie (weitere Optimierung erforderlich)

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Aktueller Stand und Ausblick

- **aktuell in Arbeit:**
 - ✦ verschiedene Vergrößerungsstrategien für das algebraische Mehrgitter in 3D
 - ✦ Tests an komplexeren Gebieten (abgewinkelte Gebiete, weniger reguläre Mesh-Zerlegungen)
- **für nächstes Jahr geplant:**
 - ✦ offizielle Integration in FDS6
 - ✦ weitere Laufzeitoptimierung und Verifikationstests
 - ✦ adaptive Konzepte zur lokalen Verfeinerung (im Zusammenhang mit AMG)
 - ✦ Verbesserung der Eingabedaten im Multi-Mesh-Fall

Donnerstag, 6. Dezember 12

Ingenieure für Brandschutz hhpberlin

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

email@hhpberlin.de
www.hhpberlin.com

Ingenieure für Brandschutz GmbH
Hauptsitz:
Rotherstraße 19, 10245 Berlin

Donnerstag, 6. Dezember 12

Björn Schünke:

Einführung in das FireModeler Framework: Motivation, Konzeption und Visionen

Abstract:

Das neue FireModeler Framework ist eine webbasierte Anwendung zur Erfassung, Analyse und Auswertung brandschutzrelevanter Messdaten. Es identifiziert und kategorisiert wichtige Kenndaten, die auf Basis umfangreicher Realbrandversuche ermittelt wurden und stellt sie als eine Art Wissensbasis für numerische Brandsimulationen zur Verfügung.

Der FireModeler ist keine Datenbank im konventionellen Sinn, sondern vielmehr ein Werkzeug, um mit verschiedenen, jederzeit erweiterbaren Modulen die Brandherdmodellierung für FDS zu vereinfachen bzw. zu optimieren. Auch die Auswertung von Messdaten wird durch die Möglichkeit der direkten und schnellen Vergleichbarkeit erleichtert.

Der Beitrag dient der Vorstellung der bisher realisierten Module und gibt einen Ausblick auf zukünftig geplante Erweiterungen des FireModeler.

Brandschutz der nächsten Generation

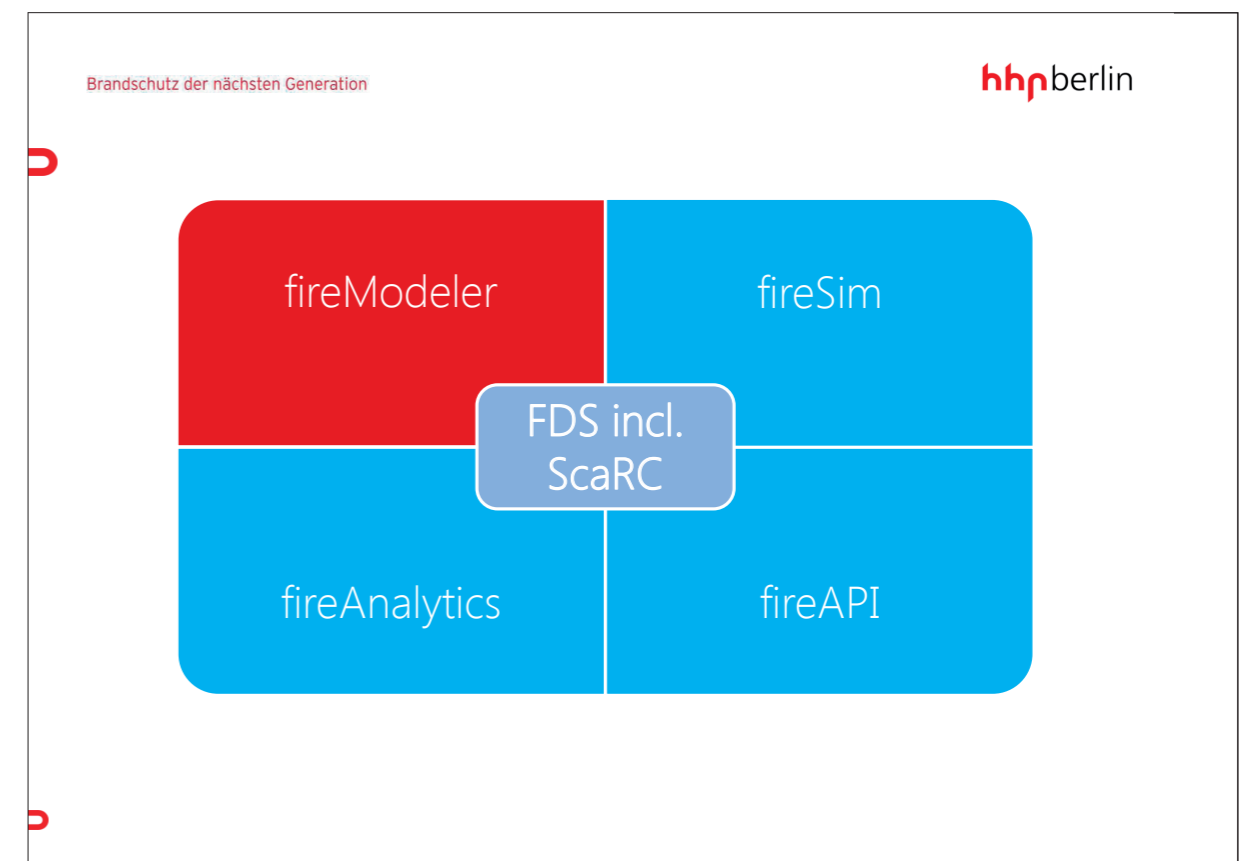
hhpberlin

fireFramework

fireModeler & fireAnalytics

Motivation, Konzeption und Visionen

Björn Schünke, B.Eng.
hhpberlin, Niederlassung Berlin



Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin

Motivation

- Bezug von Realbranddaten
- ermitteln von passenden Brandszenarios
- Erstellung von qualifizierten Brandherden
- fehlerhafte Modellierung
 - **Wie kann man zur Qualitätsverbesserung bei der Modellerstellung beitragen?**

Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin

Motivation

Realbrandversuche

<div style="background-color: #8e44ad; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Stollenbrände</div> <div style="background-color: #8e44ad; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Bürobrände</div> <div style="background-color: #8e44ad; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Schachtbrände</div> <div style="background-color: #8e44ad; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Tunnelbrand</div> <div style="background-color: #8e44ad; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Mopedbrand</div>	<div style="background-color: #8e44ad; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Verrauchungsversuche</div> <div style="background-color: #8e44ad; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Flurbrände</div> <div style="background-color: #8e44ad; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Holzstapel</div> <div style="background-color: #8e44ad; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Couchbrand</div> <div style="background-color: #8e44ad; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Zimmerbrände</div>
---	--

Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin

Motivation

- Selektierung der Vielzahl von Daten?
- Dokumentation & Auswertung der Daten?
- Wie können diese Daten bereitgestellt und genutzt werden?
- Welche Möglichkeiten ergeben sich daraus?
- Welche Möglichkeiten für FDS?

Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin

Motivation

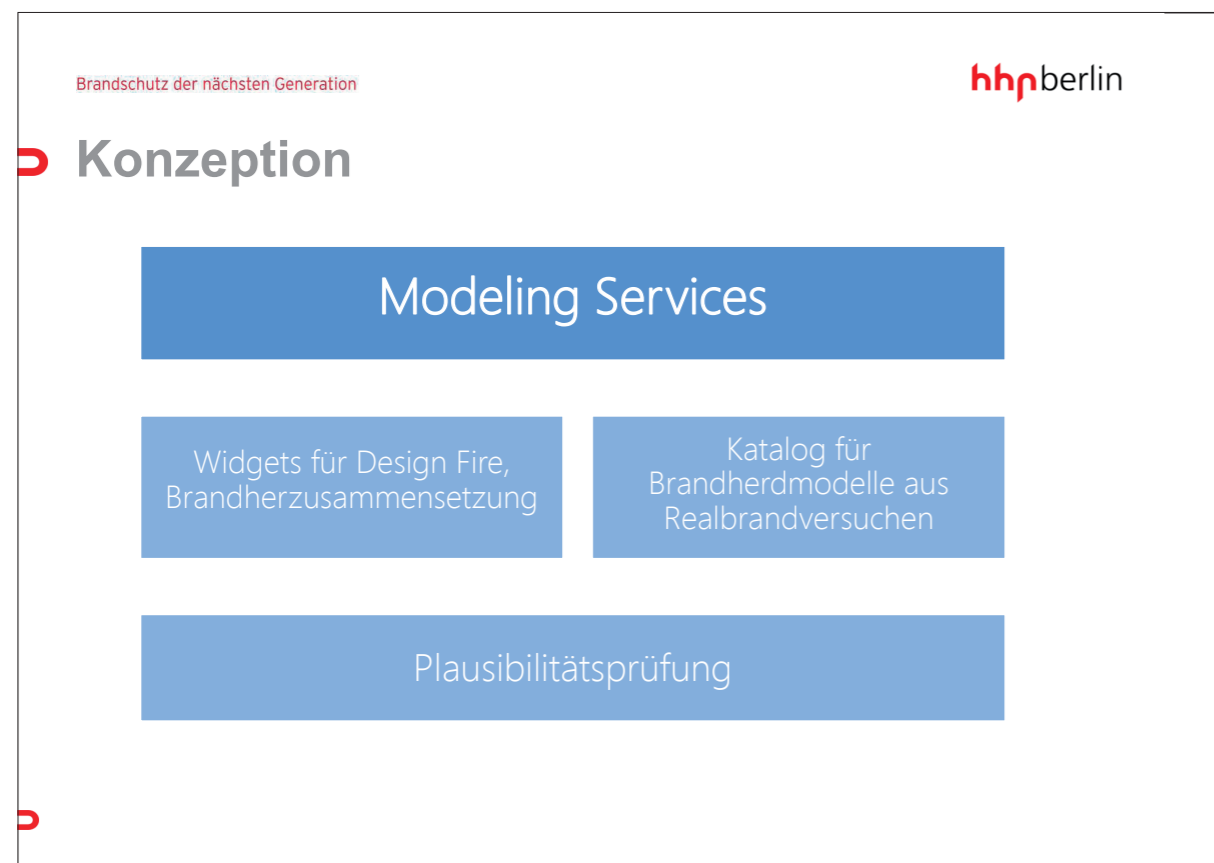
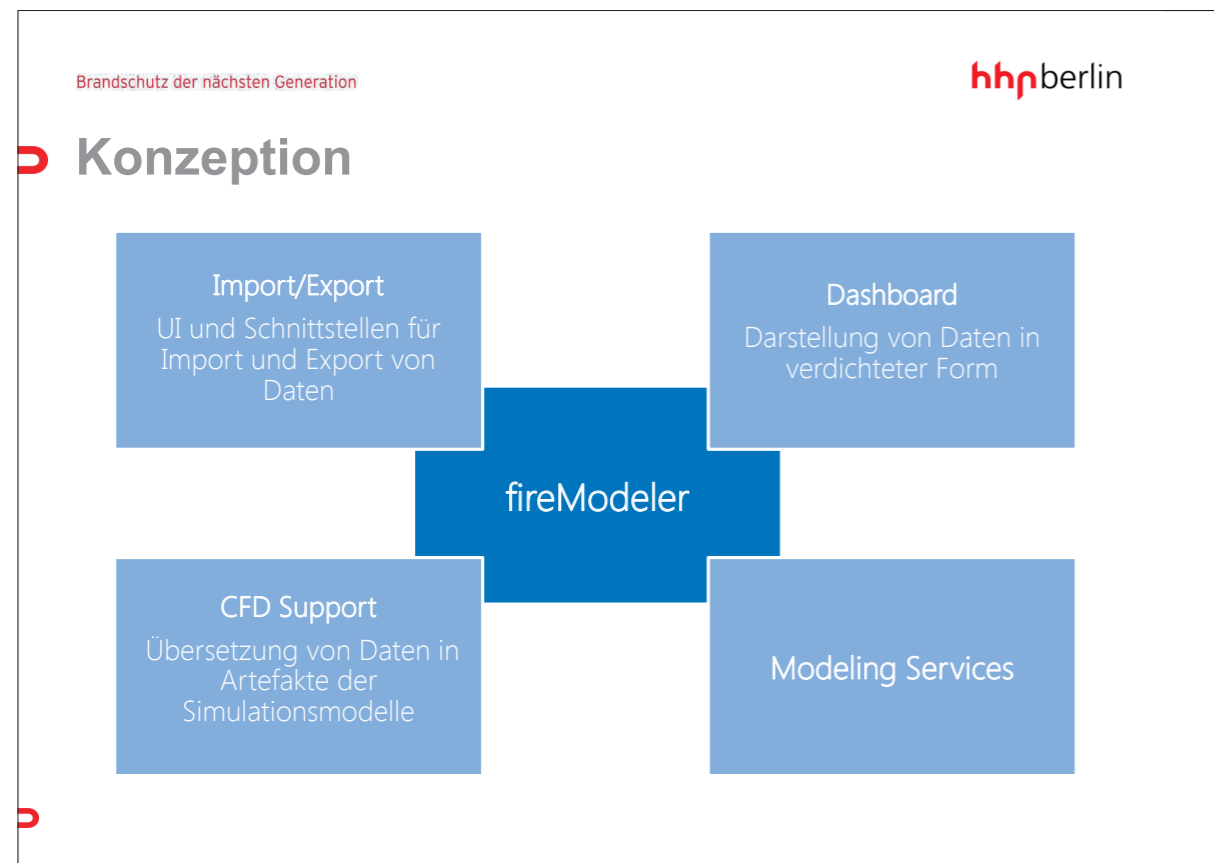
Ablagemöglichkeit der Messdaten aus Realbrandversuchen

unterstützende Brandherdmodellierung

Ablagemöglichkeit der Ergebnisse aus Simulation

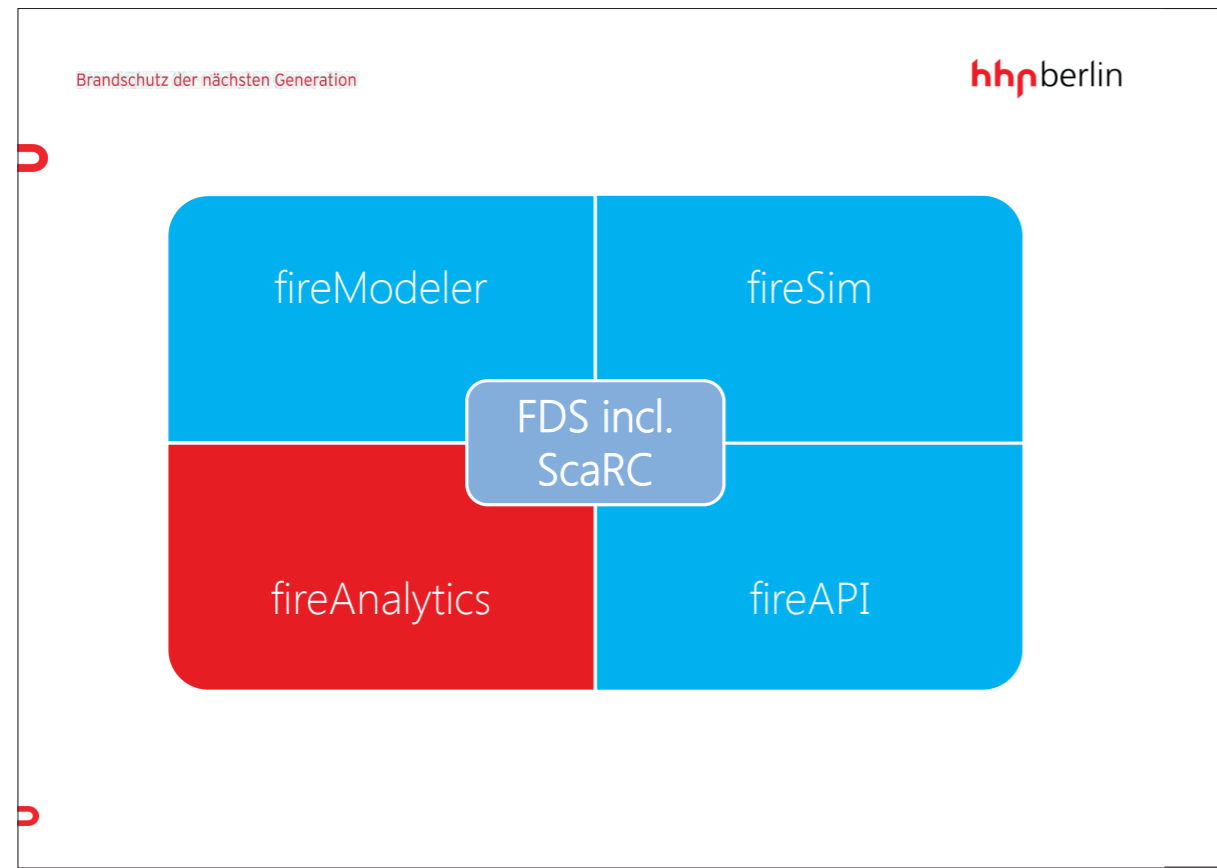
durchsuchbarer Katalog

Integration einer Stoffdatenbank



- Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin
- ## Visionen
- webbasiertes, jederzeit erweiterbares Werkzeug
 - frühzeitige Plausibilitätsprüfung
 - einfache und schnelle Generierung von Brandherden
 - Auswahl von Brandherden auf Grundlage von Realbrandversuchen





Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin

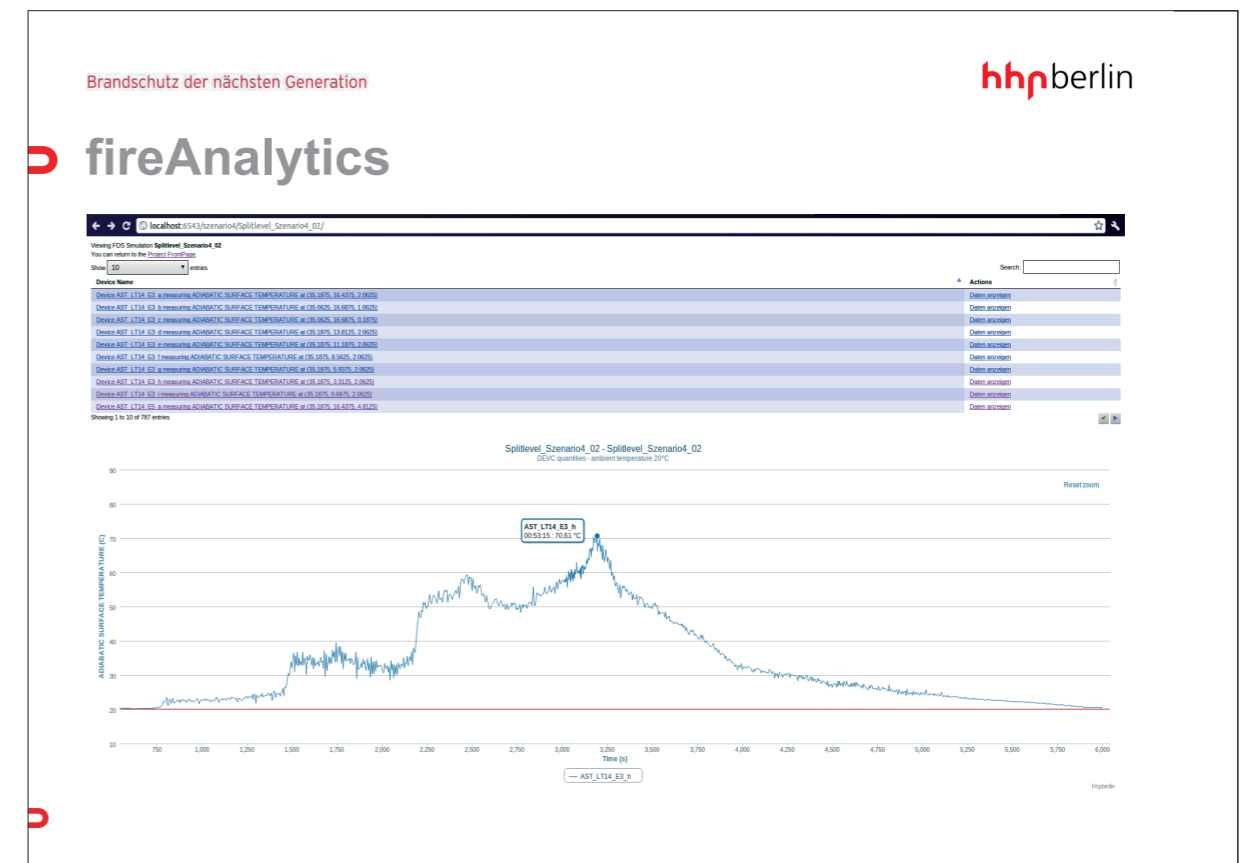
fireAnalytics

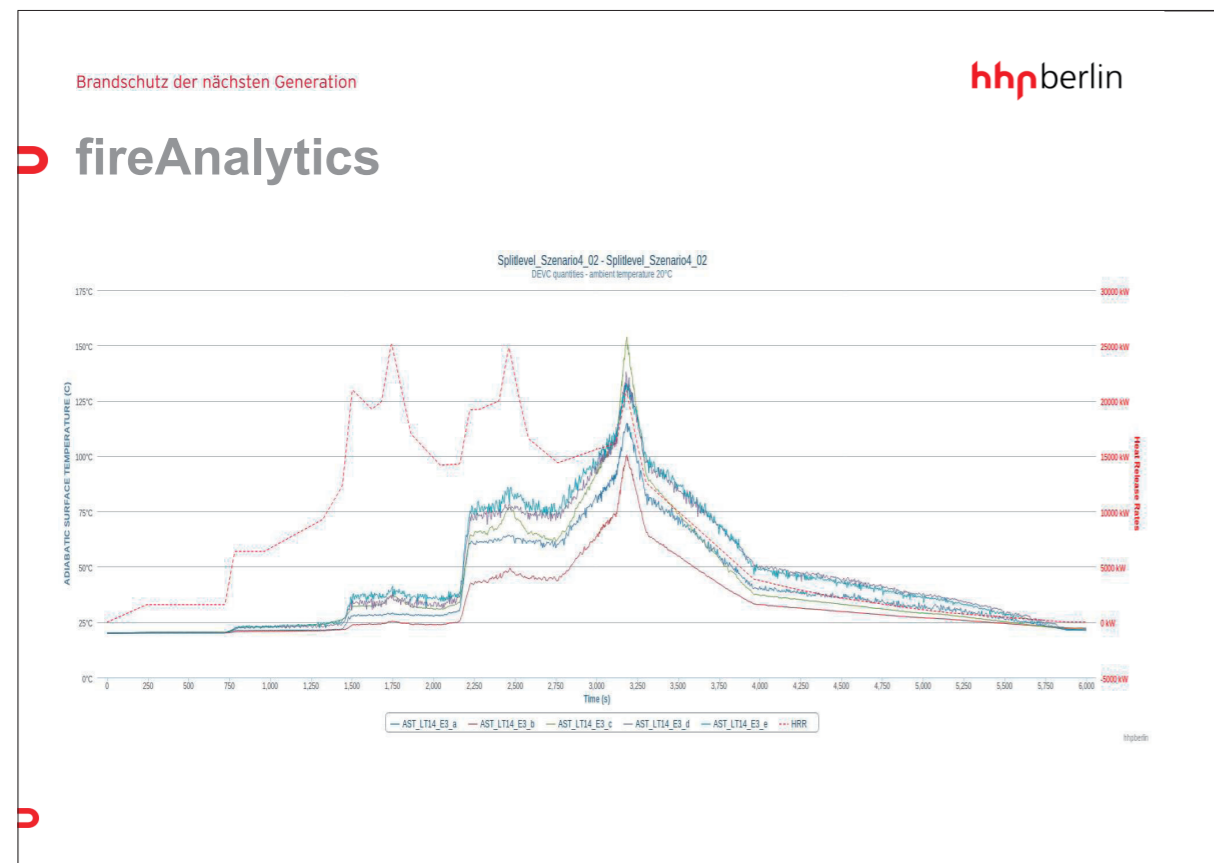
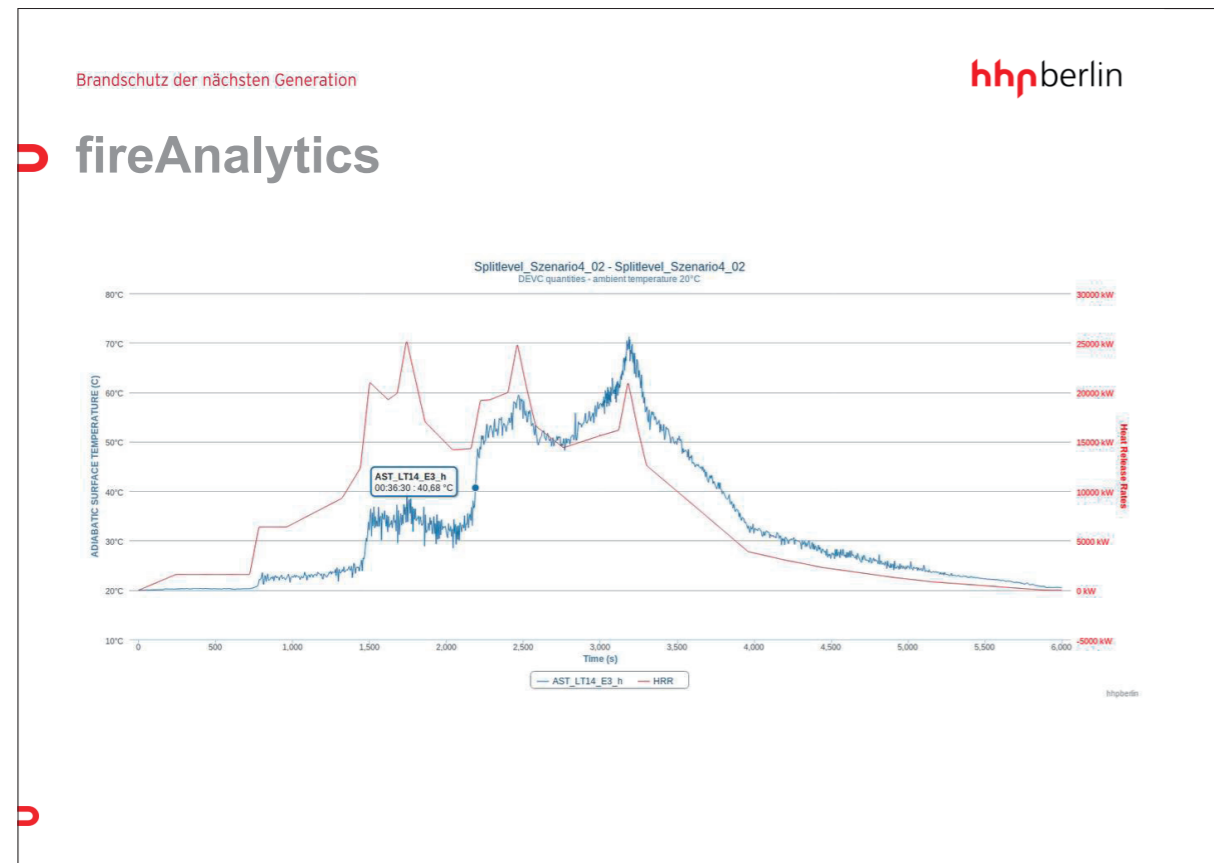
- webbasierte Anwendung
- unterschiedliche, erweiterbare Module
- dient der schnellen sowie fehlerfreien Analyse & Auswertung von Messdaten

Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin

fireAnalytics

- Darstellung von Messergebnissen
- Vergleich von Messergebnissen
- Erkennung von Abbruchkriterien
- Überblick zum Simulationsfortschritt





Brandschutz der nächsten Generation hhpberlin

Kontaktinformationen

hhpberlin Ingenieure für Brandschutz GmbH

Rotherstraße 19 10245 Berlin	Geschäftsführer: Dipl.-Ing. Margot Ehrlicher Dipl.-Inf. BW (VWA) Stefan Truthän Dipl.-Ing. Karsten Foth	Amtsgericht Berlin Charlottenburg HRB 78 927
Frankfurter Straße 2 38122 Braunschweig	Prokuristen: Dipl.-Ing. Harald Niemöller Dr.-Ing. Jochen Zehfuß	Deutsche Bank P+G AG BLZ 100 700 24 Konto-Nr. 1419100
Kurze Mühren 20 20095 Hamburg	Beirat: Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser Dr.-Ing. Karl-Heinz Schubert	IBAN-Nr. DE52100700240141910000 Swift-Code: DEUTDE3333033030
Wilhelm-Leuschner-Straße 41 60329 Frankfurt am Main	Phone: +49 (30) 89 59 55-0 Fax: +49 (30) 89 59 55-9101	Ust-IdNr. DE217656065
Rosental 5 80331 München	email@hhpberlin.de www.hhpberlin.de	

Stefan Truthän:

FireSim - Das Werkzeug für den Brandschutzingenieur

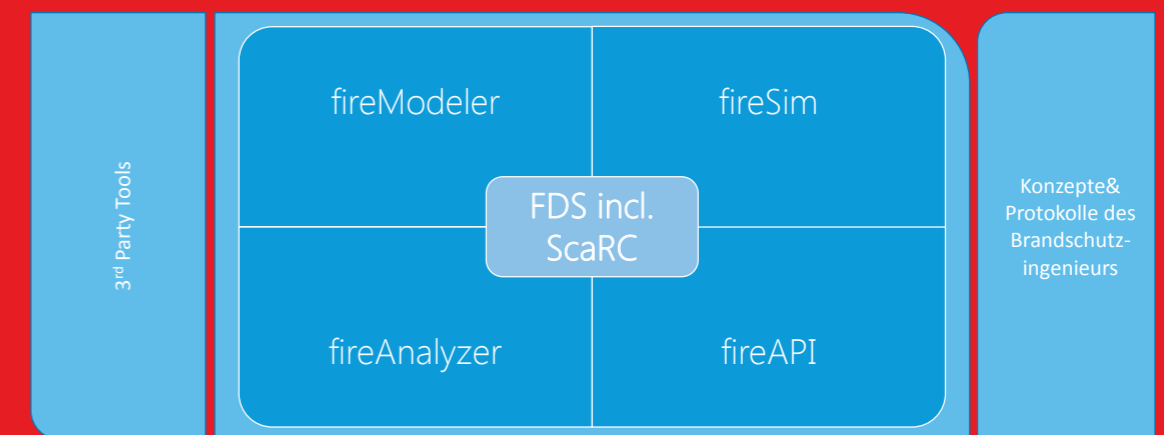
Einführung in fireSim

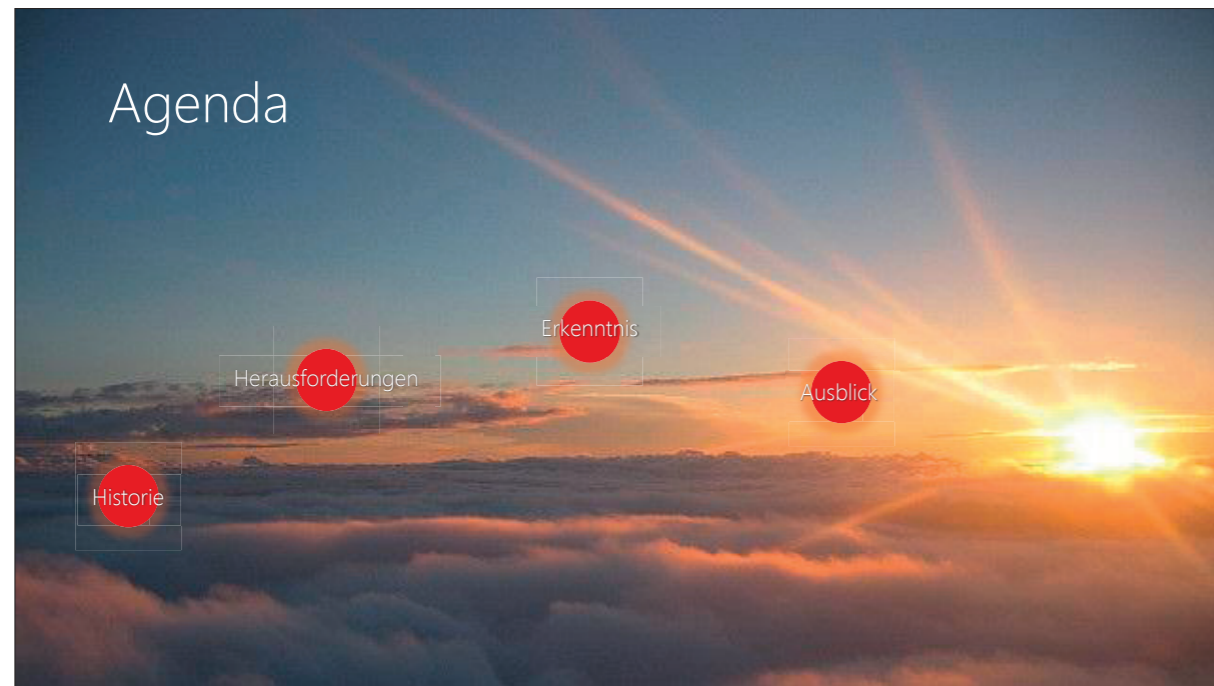
Ein Bestandteil von fireFramework

Stefan Truthän
Geschäftsführender Gesellschafter



fireFramework Überblick





Welchen Herausforderungen in der Cloud müssen wir uns stellen?

Long Running Jobs

High Performance Nodes

Store Data in Azure

Realtime Access

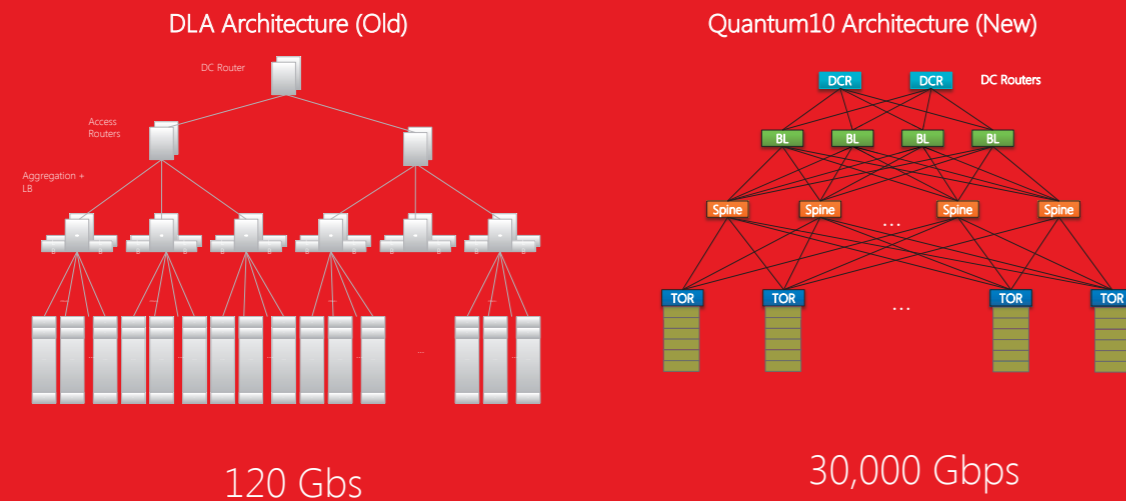
Rückblick & Historie der HPC/Cloud Aktivitäten

Node	CPU Usage [%]	Running Jobs	Cores In Use
HPCNODE001	0.00	0.00	0.00
HPCNODE002	0.00	0.00	0.00
HPCNODE003	83.95	77.70	0.00
HPCNODE004	1.00	1.00	0.00
HPCNODE005	4.00	4.00	0.00
HPCNODE006	0.00	0.00	0.00
HPCNODE007	94.87	86.15	0.01
HPCNODE008	48.08	5.77	65.96
HPCNODE009	1.00	1.00	0.00
HPCNODE010	3.00	0.00	1.00
HPCNODE011	4.00	4.00	5.00
HPCNODE012	0.00	0.00	8.00
SALJIT	4.52	94.87	94.87
Cluster Summary	0.00	1.00	1.00
Overall	0.00	4.00	4.00

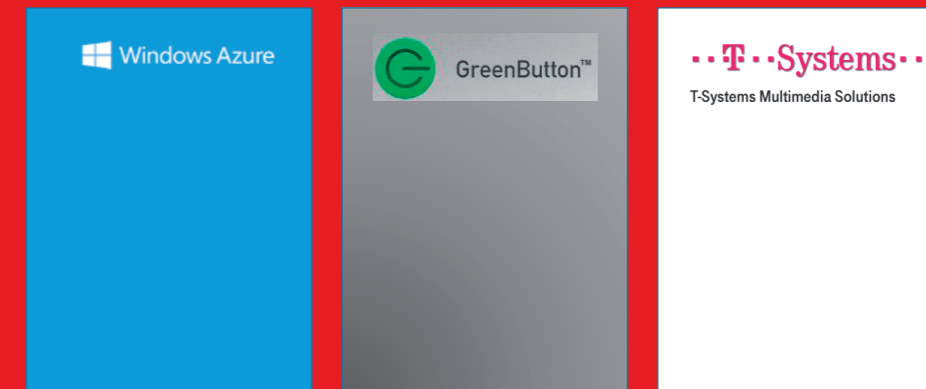
Specs Azure Premium Nodes

- Dual Intel Sandybridge processors at 2.6 GHz
- DDR3 1600 MHz RAM
- 10 GigE network for storage and internet access
- InfiniBand (IB) 40 Gbps network with RDMA

Datacenter Network Architecture



Strategische Partner



Worin besteht der Vorteil cloudbasierter HPC Simulationen?

Mehre Szenarien parallel

Mehre Projekte parallel

Zugriff für jedermann

Immer neuester Stand an Hw&Sw

Mockup & LiveDemo

The screenshot shows the 'fireSIM - FDS Elastic Cloud' interface. It features a navigation bar with 'Start', 'Kontakt', 'Impressum', 'Informationen', and 'Hilfe'. Below the navigation bar is a search bar and a table of simulation jobs. The table has columns for 'Name', 'Fortschritt', 'Status', 'Startzeit', and 'Endzeit'. The jobs listed include 'Speedtest', 'Ductflow Test', 'Dancing Eddies', 'Hallways Test', and 'scarcd2d_ft_Ameshfds'.

Name	Fortschritt	Status	Startzeit	Endzeit
Speedtest	100%	Beendet	05.11.2012 18:24	05.11.2012 19:00
speedtest	0%	Abgebrochen		
speedtest	1%	Abgebrochen	05.11.2012 18:16	
Ductflow Test	100%	Beendet	05.11.2012 12:30	05.11.2012 12:33
Dancing Eddies	100%	Beendet	05.11.2012 12:19	05.11.2012 12:25
Ductflow Test	1%	Fehler	05.11.2012 11:46	
Hallways Test	0%	Abgebrochen		
Hallways Test	0%	Abgebrochen		
Hallways Test	0%	Abgebrochen		
Hallways Test	100%	Beendet	05.11.2012 11:43	05.11.2012 12:19
scarcd2d_ft_Ameshfds	100%	Beendet	05.11.2012 08:26	05.11.2012 08:27

fireSIM - FDS Elastic Cloud

Abk.	Name	Fortschritt	Status	Startzeit	Endzeit
Beendet	Speedtest	100%	Beendet	05.11.2012 18:24	05.11.2012 19:00
Fehler	speedtest	0%	Abgebrochen		
Abgebrochen	speedtest	1%	Abgebrochen	05.11.2012 18:16	
Beendet	Smoke Test	100%	Beendet	05.11.2012 12:32	05.11.2012 12:31
Beendet	Smoke Test	100%	Beendet	05.11.2012 12:19	05.11.2012 12:25
Fehler	Ductflow Test	1%	Fehler	05.11.2012 11:46	
Abgebrochen	Halfways Test	0%	Abgebrochen		
Abgebrochen	Halfways Test	0%	Abgebrochen		
Abgebrochen	Halfways Test	0%	Abgebrochen		
Beendet	Halfways Test	100%	Beendet	05.11.2012 11:43	05.11.2012 12:19
Beendet	gprCOL_30_Amenk tds	100%	Beendet	05.11.2012 09:26	05.11.2012 09:27

Mehr Infos.
<http://www.hhpberlin.de>

hhpberlin

Die deutsche FDS Usergroup ist ein unabhängiges Forum für die deutschsprachigen FDS-Anwender. Sie bietet den Nutzern des Fire Dynamics Simulator die geeignete Plattform für einen intensiven, wissenschaftlichen Austausch.

FDS (Fire Dynamics Simulator) ist ein Programm zur Simulation von Bränden. Die Software simuliert unter anderem dreidimensionale Strömungen auf Grundlage der Navier-Stokes-Gleichungen, den zugrunde liegenden Brandprozess und die Ausbreitung von Feuer und Brandrauch. Die Ergebnisse der FDS-Simulationen können mit Hilfe von Smokeview - einem Teil des gesamten FDS-Programmpakets - visualisiert werden. Die Auswertungen können sowohl zwei- als auch dreidimensional, als Standbild oder animiert dargestellt werden. FDS wurde am amerikanischen NIST (National Institute of Standards and Technology) von Kevin McGrattan, Glenn Forney und Bryan Klein entwickelt. Ziel der FDS Usergroup ist es, ein umfassendes Kontakt- und Kooperationsnetzwerk aufzubauen, das den Austausch von Informationen und Erfahrungen sowie Anregungen und Unterstützung rund um das Programm FDS ermöglicht. Das Online-Forum, das den registrierten Mitgliedern zur Verfügung steht, bietet zudem die Möglichkeit, konkrete Anwenderprobleme direkt und zeitnah zu diskutieren und gemeinsam zu lösen.

"Mir, als Mathematikerin mit dem Schwerpunkt Numerik geht es vor allem um die Optimierung des mathematischen Kerns. Das vorrangige Ziel besteht darin, durch das Design und die Implementierung eines optimierten Drucklösers die Qualität und Zuverlässigkeit der parallelen Programmversion erheblich zu verbessern, sodass mittelfristig der Übergang auf massiv parallele Anwendungen möglich ist. Langfristig möchte ich durch adaptive Gitterverfeinerungstechniken eine Verbesserung der Auflösungsgenauigkeit erreichen."

Dr. Susanne Kilian
Initiatorin der FDS Usergroup

hhppress

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

ISSN 2191-463X
6. Tagungsband FDS Usergroup Treffen
Jahrgang 2012