LOCAFI+

Bewertung der Temperaturen eines einem lokalen Brand (LOCAl FIRe) ausgesetzten vertikalen Bauteiles: Verbreitung der Ergebnisse

Fördervereinbarung Nr. 754072

3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

(CFD-Modell = rechnergestütztes Fluid-Dynamik-Modell)

3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Versuche durchgeführt an der Universität von Lüttich

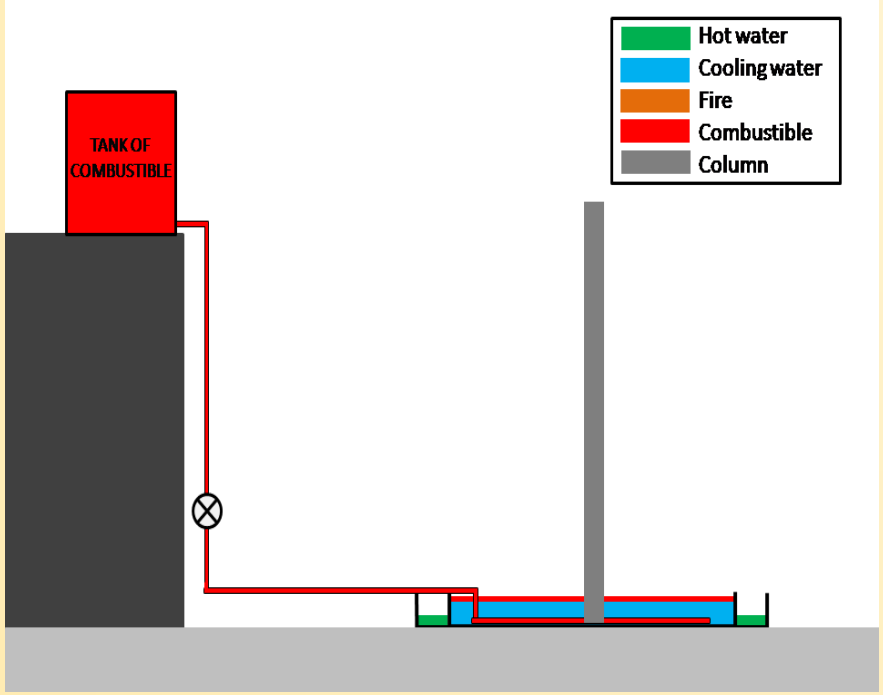
Charakterisierung der Wärmestromdichten, die auf vollständig von Flammen eingeschlossene Bauteile einwirken

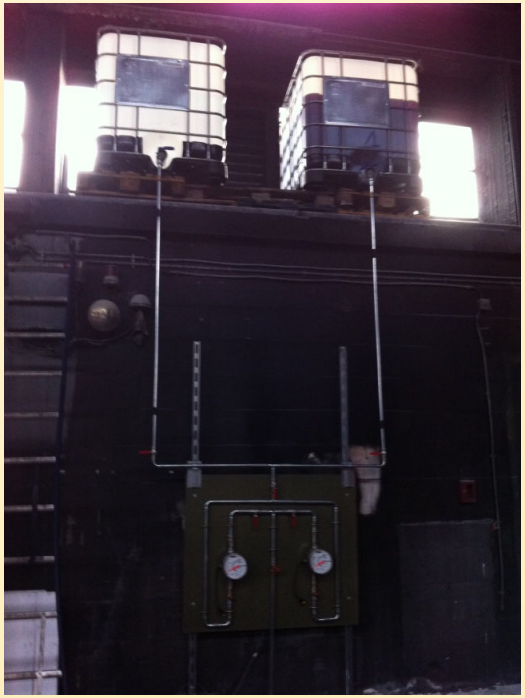
- 24 Versuche wurde an der Universität von Lüttich durchgeführt. Variiert wurde:
  - Der Durchmesser des Brandes (*5 Durchmesser: 0,6 m, 1,0 m, 1,4 m, 1,8 m und 2,2 m*).
  - Die Art der brennbaren Stoffe (*2 verschiedene brennbare Flüssigkeiten (Diesel und n-Heptan) + 1 cellulosische Brandlast*).
  - Eine vollständig in Flammen eingeschlossene Stütze.
- Für jeden Durchmesser und die zwei brennbaren Flüssigkeiten:
  - Ein Versuch ohne eine Stütze in den Flammen.
  - Ein Versuch mit einer Stütze mitten in der Brandquelle.

3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Versuche durchgeführt an der Universität von Lüttich

Allgemeiner Versuchsaufbau



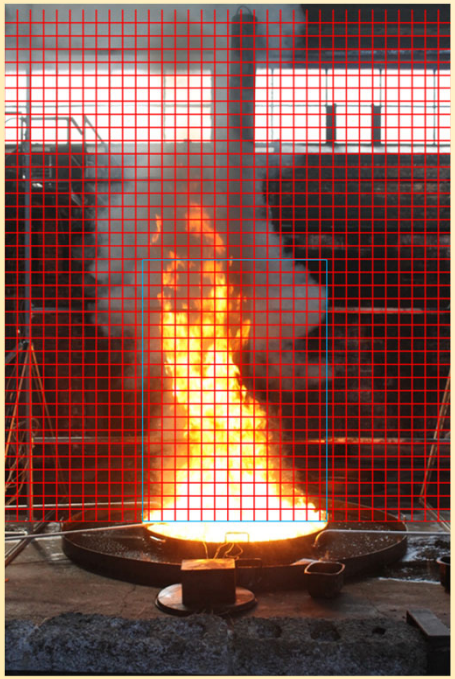


- Zwei mit Heptan bzw. Diesel gefüllten Tanks wurden höher gestellt als der Boden, um das Auslaufen des Brennstoffes unter Schwerkraft zu ermöglichen.
- Die Wärmefreisetzungsrate wurde mittels eines einfachen Handventils zum Adjustieren des Brennstoff-Durchflusses kontrolliert.
- Das Becken wurde ständig mit kaltem Wasser beschlagen, um die Schicht unterhalb des brennenden Materials abzukühlen und dadurch ein stabileres Brennen ohne Sieden zu ermöglichen..

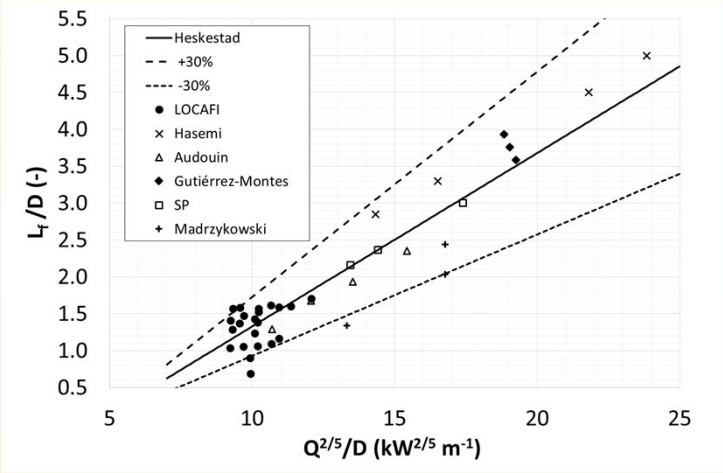
3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Versuche durchgeführt an der Universität von Lüttich

Messergebnisse: Flammenlänge



Die mittlere Flammenlänge L ist die Position oberhalb der Brennquelle an der die intermittierende Verbrennung nur einen Wert von 0,5 nachweist, wobei I(z) definiert wird als der Zeitanteil der die Flamme oberhalb der Brandquelle liegt. Diese Beurteilung erfolgt mittels digitaler Bildanalyse.



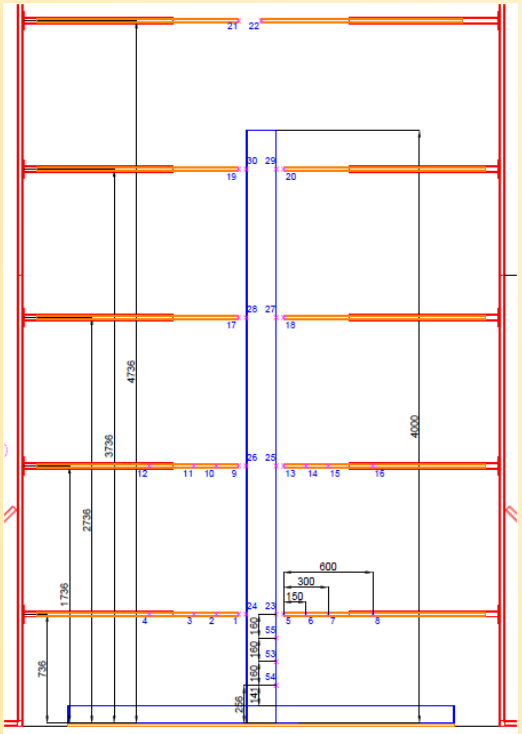
Die Differenz zwischen der gemessenen Flammenlänge und der nach Heskestad vorausgesagten Länge beträgt zwischen +30% und -30%. Dies ist jedoch vergleichbar mit den Ergebnissen anderer Poolversuche und ist hauptsächlich auf Unsicherheit beim Verbrennungswirkungsgrad und bei der Brennstoffdichte zurückzuführen.

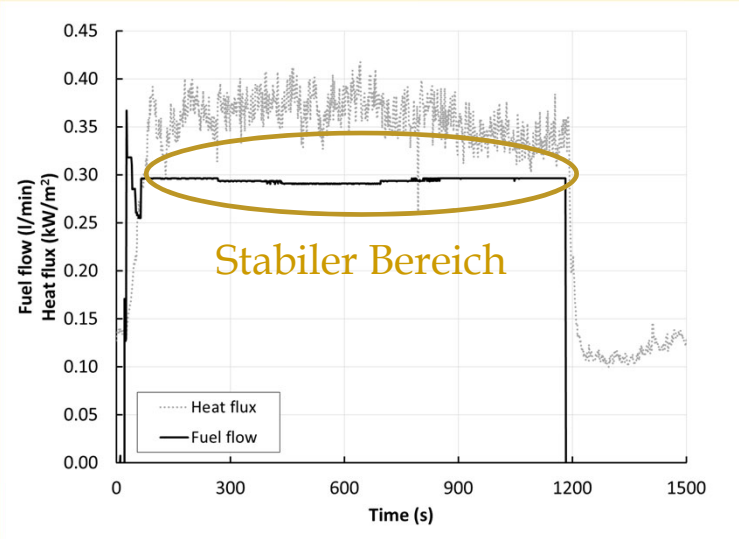
N. Tondini, J.M. Franssen, "Analysis of experimental hydrocarbon localised fires with and without engulfed steel members", Fire Safety Journal 92 (2017), 9-22

3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Versuche durchgeführt an der Universität von Lüttich

Messergebnisse: Temperaturen und Wärmestromdichten



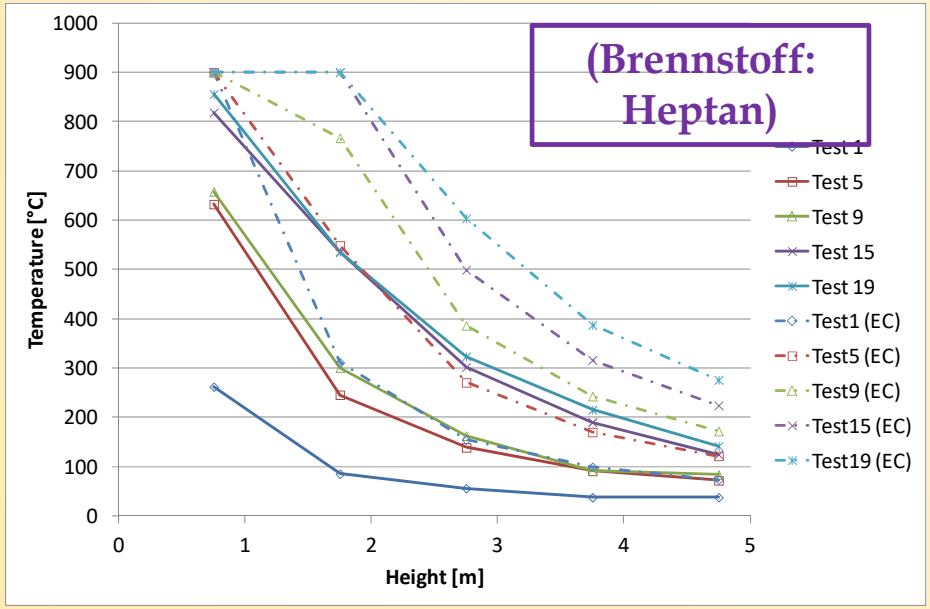


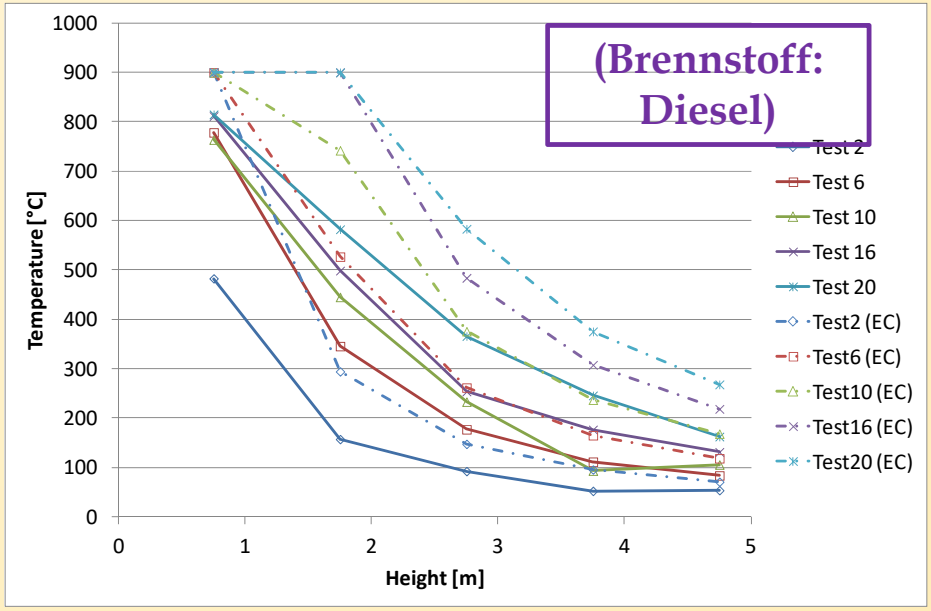
- Versuche wurden so lange durchgeführt, bis einen stabilen Zustand erreicht wurde (bis die Messungen der Gastemperatur und der Strahlungs-Wärmestromdichte sich stabilisierten).
- Bei den Konfigurationen mit Stahlstützen, Thermoelemente lieferten auch Informationen über den Verlauf der Stahltemperatur.

3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Versuche durchgeführt an der Universität von Lüttich

Messergebnisse: Temperaturen und Wärmestromdichten



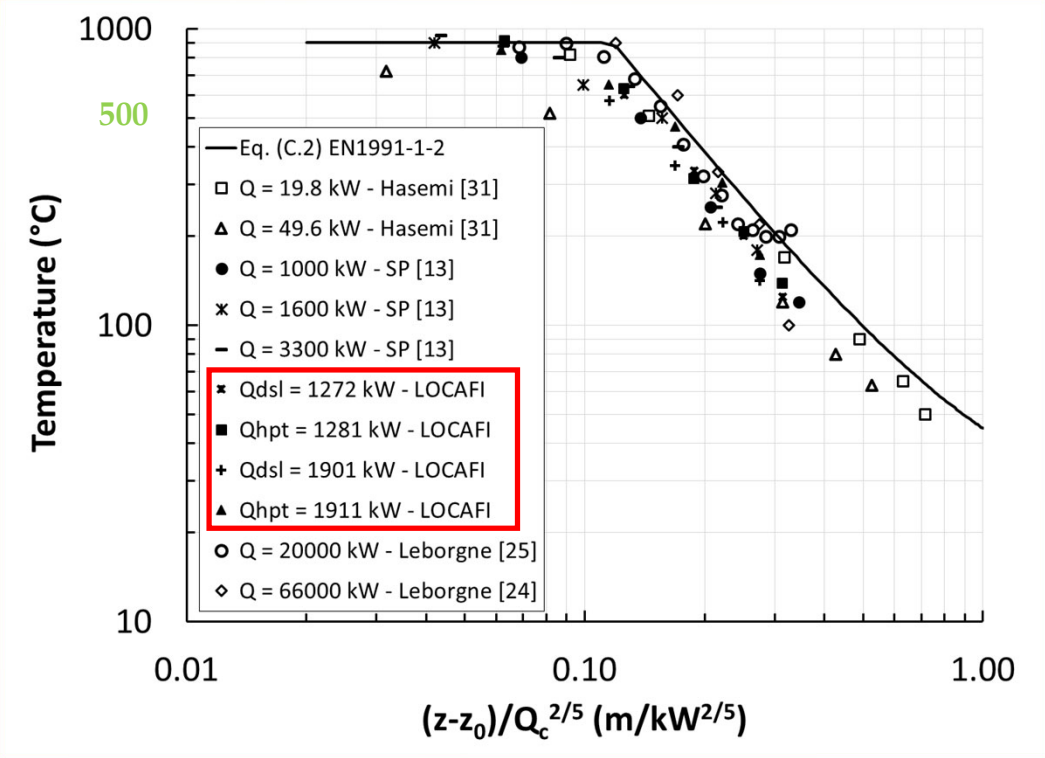


Die Heskestad-Korrelation (EN 1991-1-2) überschätzt die Temperaturen sowohl in der Flamme ($\theta_g \geq 500°C$) als auch in der Plume ($\theta_g < 500°C$).

3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Versuche durchgeführt an der Universität von Lüttich

Messergebnisse: Temperaturen und Wärmestromdichten

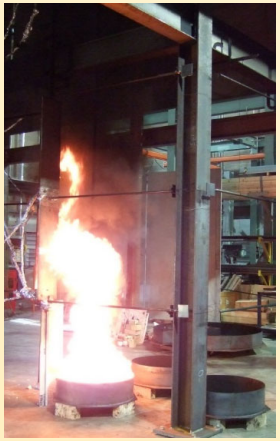


Die Korrelation der EN 1991-1-2 bietet eine gute Einschätzung der Temperaturen sowohl in der Flamme ($\theta_g \geq 500°C$) als auch in der Plume ($\theta_g < 500°C$).

3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Versuche durchgeführt an der Universität von Ulster

Charakterisierung von Wärmestromdichten in Bauteilen, die von außerhalb des Brandes entstehen



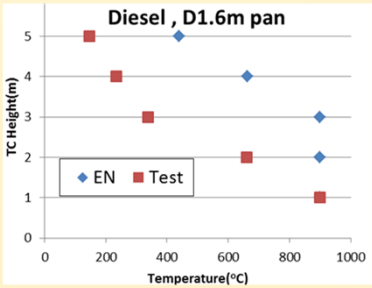
- 58 Versuche wurde an der Universität von Ulster durchgeführt. Variiert wurde:
  - Mit und ohne Decke (37 Versuche ohne, 21 Versuche mit).
  - Die Anzahle der Poolbrände (von 1 bis 4) und die Durchmesser dieser Pools (2 *Durchmesser: 0,7 m und 1,6 m*).
  - Die Art der brennbaren Stoffe (2 *verschiedene brennbare Flüssigkeiten (Diesel und Kerosin)* + 1 *cellulosische Brandlast*).
- Die 9m x 9m Konstruktion bestand aus drei Arten von Stützen (*I-, H- oder O-Profil*)
- Die Wärmefreisetzungsrate war zeitabhängig (nicht geregelt) und wurde mittels einer Kalorimeter mit Haube gemessen.
- Die Flammenlänge wurde mit einer Kamera auf der Basis der Wahrscheinlichkeit der Flammenanwesenheit gemessen.

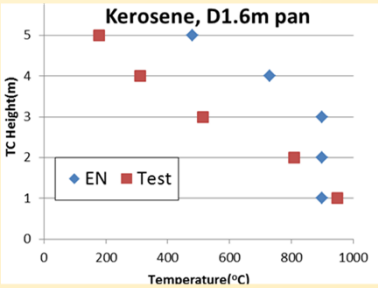
3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

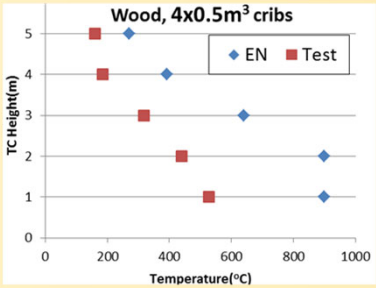
Versuche durchgeführt an der Universität von Ulster

Messergebnisse: Flammentemperatur

HÖHE	TESTS O8, I9 (KEROSIN, D = 1,6 M)		TEST O10 (DIESEL, D = 1,6 M)		TESTS O1,O2 (KEROSIN, D = 0,7 M)		TESTS O3,O4 (DIESEL, D = 0,7 M)		TEST O14 (HOLZ-GESTELLE)	
	EN	TEST	EN	TEST	EN	TEST	EN	TEST	EN	TEST
1M	900	949	900	899	900	686	900	652	900	527
2M	900	810	900	660	845	223	697	208	900	440
3M	900	515	900	339	381	90	325	89	640	317
4M	730	312	663	235	228	-	198	-	391	185
5M	479	179	440	146	157	-	139	-	271	159





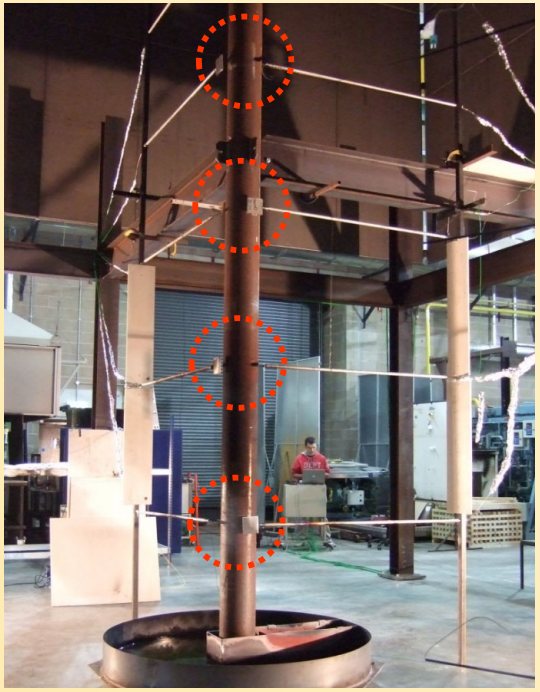


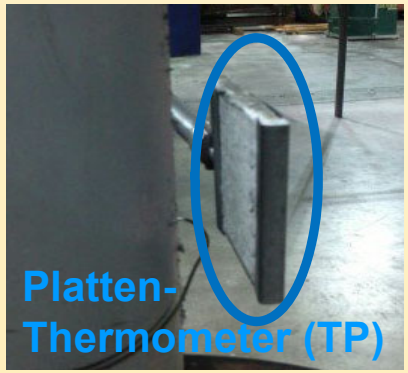
Diese Versuche bestätigen, dass die Heskestad-Korrelation (EN 1991-1-2) überschätzt die Temperaturen in der Flamme ($\theta_g \geq 500°C$) und der Plume ($\theta_g < 500°C$).

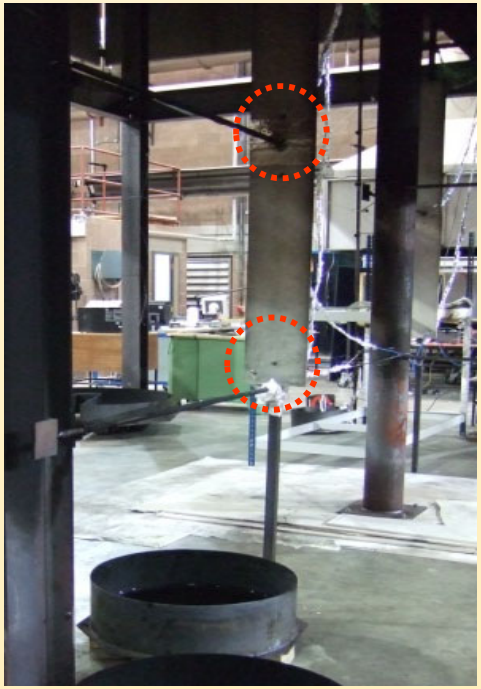
3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Versuche durchgeführt an der Universität von Ulster

Messergebnisse: Temperatur und Wärmestromdichten von außerhalb des Brandes





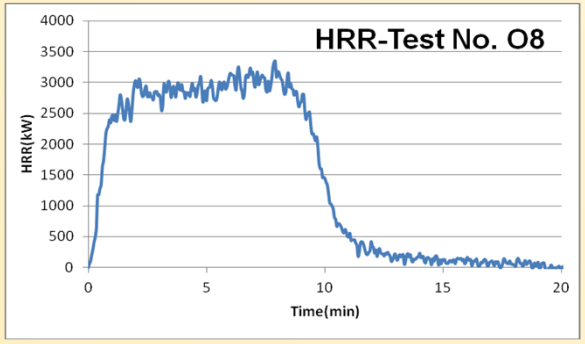


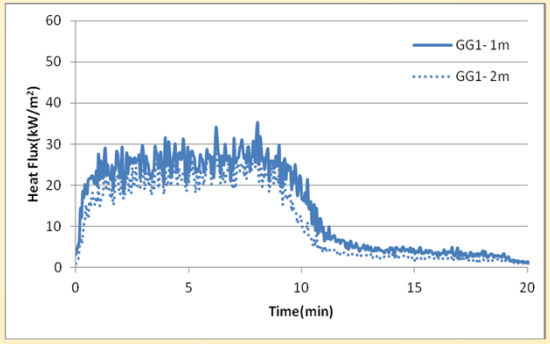
3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

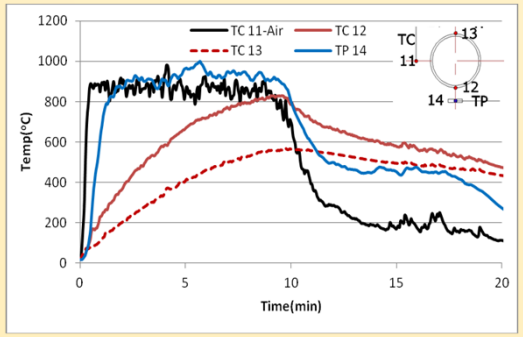
Versuche durchgeführt an der Universität von Ulster

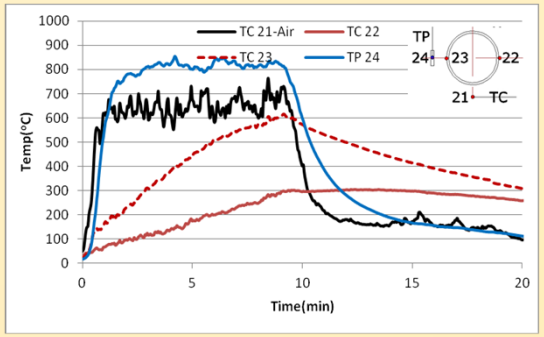
Messergebnisse: Ergebnisse des Versuchs O8

- Anzahl der Pfannen: 1
- Pfannendurchmesser: 1,6 m
- Brennstoff: Kerosin
- Brennstoffmenge: 60 L
- Abstand Pool-Stütze: 0 m
- Abstand Messgeräte-Stütze: 1,5 m
- Keine Decke









3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Kalibrierung eines CFD-Modells mittels FDS-Software

Zielsetzungen

- Die Anzahl der Versuche ist begrenzt, ebenfalls die während dieser Versuche durchführte Messungen.
- Wegen der Abmessungen des Gebäudes bzw. des Labors wo die Versuche durchgeführt wurden, war es nicht möglich, die gesamte Palette von lokalen Bränden abzudecken (Anhang C der EN 1991-1-2 ist gültig bis D = 10 m und Q = 50 MW).

→ Nach Validierung des Modells bzw. der Modelle ist CFD Modellierung eine kosteneffektive Methode und ein leistungsstarkes Werkzeug, welches in der Lage ist, einen sehr großen Satz von Ergebnissen bereitzustellen zur weiteren Validierung durch Rechenverfahren.

- FDS-Software ist eine von NIST entwickelte gratis Software, die breite Anwendung unter Brandschutzingenieure findet.

Das Validieren des FDS-Modells wurde durchgeführt unter Anwendung einer Auswahl von 5 Versuche ausgewählt wie folgt:

- Versuche. die unter konstanten und kontrollierten Bedingungen (Lüttich) und freien Bedingungen (Ulster) durchgeführt wurden
- Tests, die stabile und stationären Ergebnisse über längerer Zeit aufweisen
- verschiedene Arten von Brennstoffen, kleine und große Pooldurchmesser, mit und ohne Decke, …

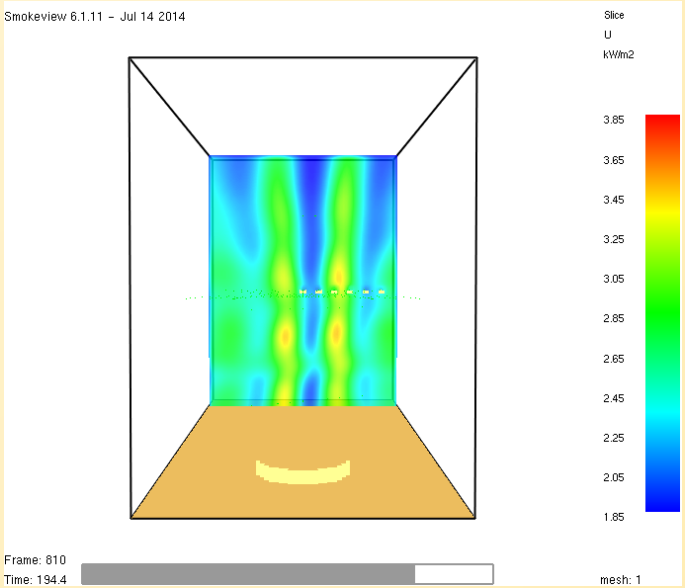
3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Kalibrierung eines CFD-Modells mittels FDS-Software

Kalibrierungsparameter

Die während der Kalibrierung variierten Parameter mit der größten Wirkung sind:

- das Turbulenzmodell (Smagorinski, C_s = 0,1)
- die Brennstoffeigenschaften, einschließlich die Rußausbeute, aus der Literatur (bei Überbelüftung)
- die Anzahl der Ausstrahlungswinkel (200)
- der Strahlungsverlustanteil (Bereich von 0,2-0,5, abhängig hauptsächlich vom Brennstofftyp und Branddurchmesser)
- Windeinflüsse (basiert auf Messungen)
- die Raster-Abmessungen (basiert auf der charakteristischen Länge und Messung der Auflösung der Turbulenz).



Beispiel der Unterschiede in der Wärmestromdichte als Folge ungenügend Strahlungswinkel

3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Kalibrierung eines CFD-Modells mittels FDS-Software

Test ULG 06 (D = 1 m, Heptan, keine Säule)

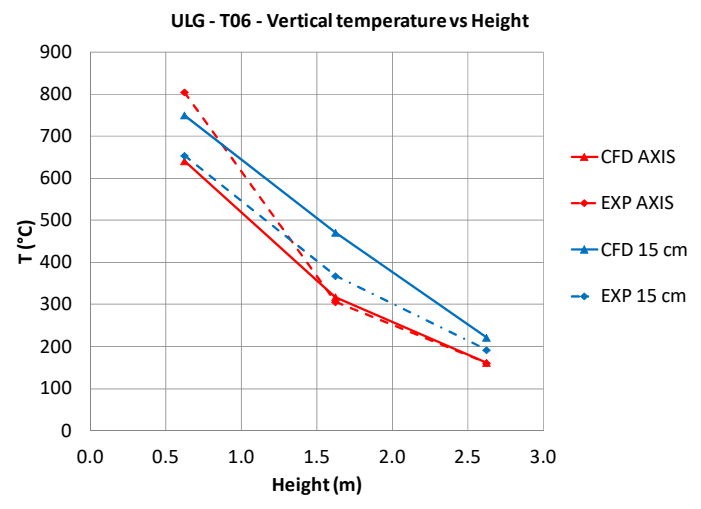
Mittlerer Brennstofffluss q_{fuel}	0,98 l/min
Brennstoffdichte ρ	675 kg/m³
Rußausbeute y_{soot}	0,037
Ideale Verbrennungswärme $\Delta H_{c,ideal}$	44600 kJ/kg
Verbrennungswärme ΔH_c	41200 kJ/kg
RHR berechnet mittels $\Delta H_{c,ideal}$	491,7 kW (626,1 kW/m²)

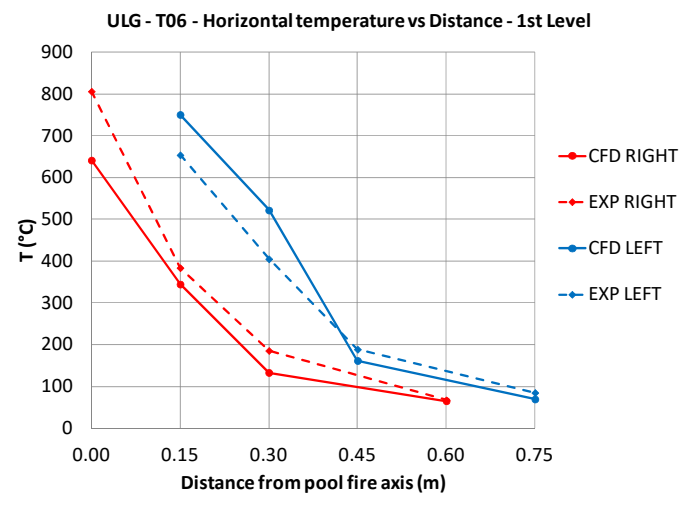
- Größe der CFD-Domain: 5,75 m x 3 m x 4 m
- Rastergröße: 5 cm x 5 cm x 5 cm
- Windgeschwindigkeit: 0,22 m/s
- Anteiliger Strahlungsverlust: 0,45 (SFPE)

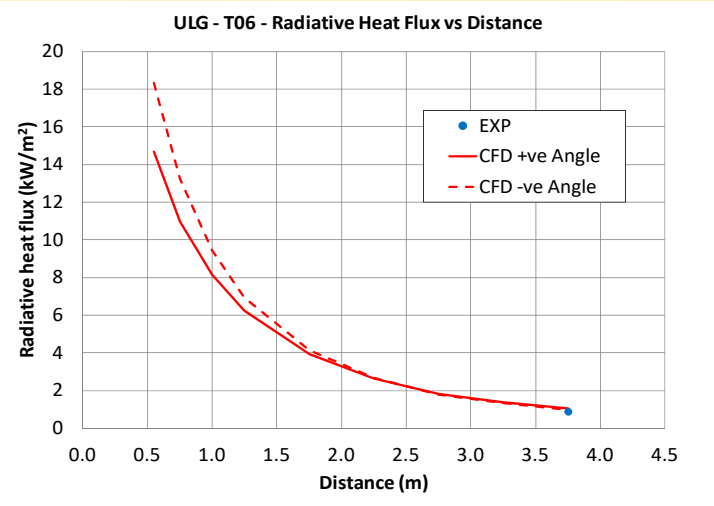
3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Kalibrierung eines CFD-Modells mittels FDS-Software

Test ULG 06 (D = 1 m, Heptan, keine Säule)







3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Kalibrierung eines CFD-Modells mittels FDS-Software

Test Ulster O29 (D = 0,7 m, Diesel, Deckenhöhe = 3,5 m)

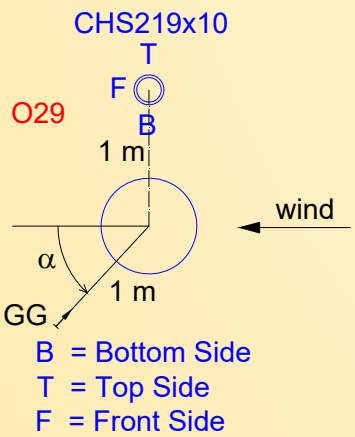
Brennstoffdichte ρ	**823 kg/m³**
Rußausbeute y_{soot}	**0.10**
Ideale Verbrennungswärme $\Delta H_{c,ideal}$	**44000 kJ/kg**
Verbrennungswärme ΔH_c	**41200 kJ/kg**
RHR berechnet mittels $\Delta H_{c,ideal}$	**491.5 kW (1277.1 kW/m²)**

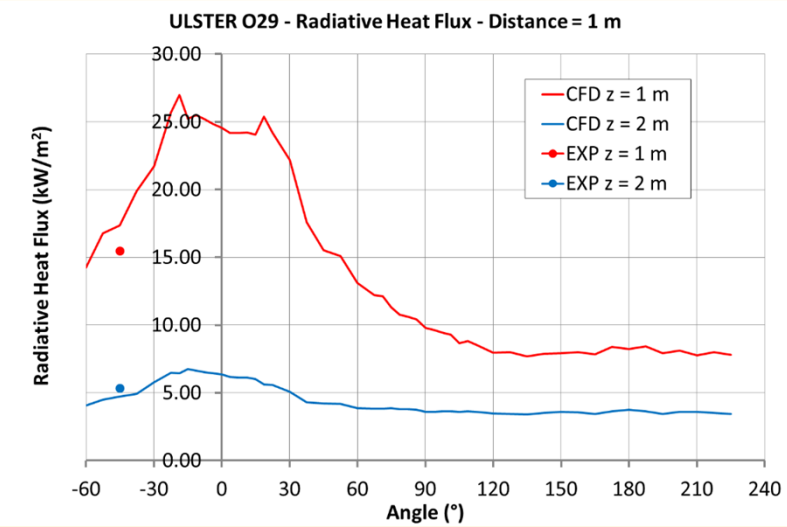
- Abmessungen der CFD -Domain: 7 m x 7 m x 3.5 m
- Rastergröße: 5 cm x 5 cm x 5 cm
- Windgeschwindigkeit: 0,76 m/s
- Radiative loss fraction: 0,45 (SFPE)

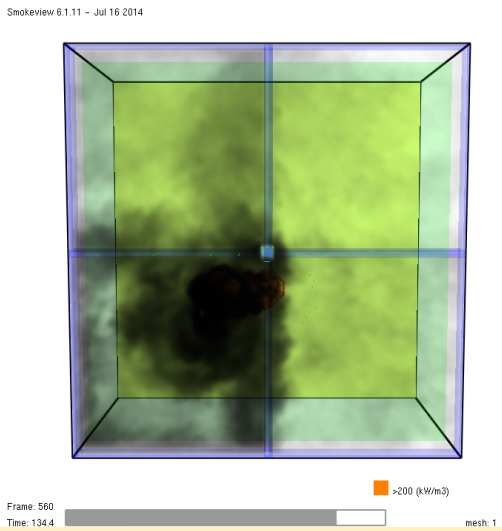
3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

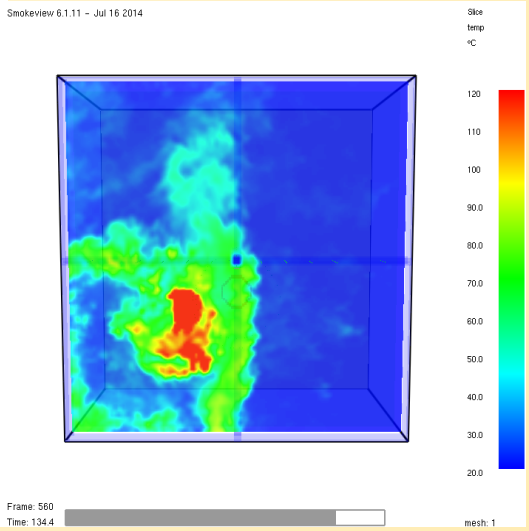
Kalibrierung eines CFD-Modells mittels FDS-Software

Test Ulster O29 (D = 0,7 m, Diesel, Deckenhöhe = 3,5 m)









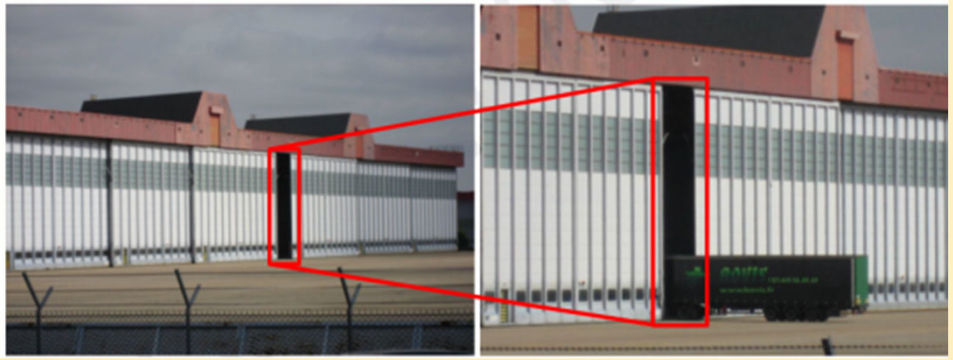
z (m)	CFD RHFG GG (kW/m²)	EXP GG (kW/m²)	Fehler (%)
1	17.35	15.45	12.3
2	4.71	5.32	-11.5

3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

Französische Versuche (nicht im Rahmen von LOCAFI+)

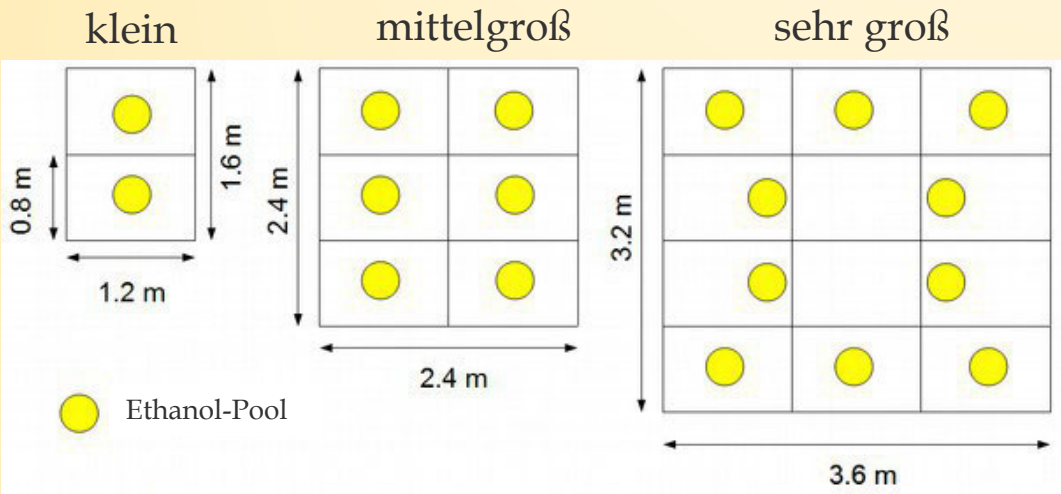
Versuche von LCPP initiiert in einem großen Volumen:

- Haupthalle: 300 m x 50 x 17 m
- 2 verschiedene brennbare Stoffe: Holzpaletten / Kerosin
- Brandversuche wiederholt
- hoch instrumentiert: Thermoelemente, Gerät zum Messen der Wärmestromdichte, Videos (IR und normal)



18

3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

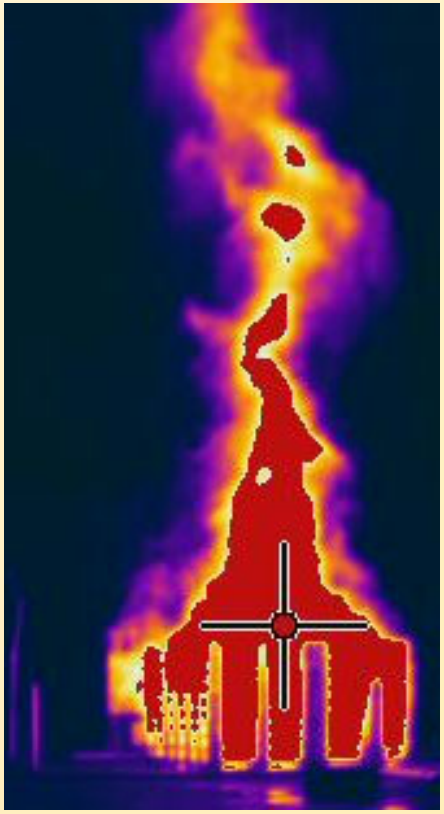


kleiner Versuch: ~ 20 Paletten
mittelgroßer Versuch: ~ 60 Paletten
sehr großer Versuch: ~ 110 Paletten

19

3. Versuche und Kalibrierung des CFD-Modells

HRR ~ 30 MW



20