

Brandschutz im Stahlbau

Dez. 2019

brandRat ZT • GesmbH.
Dipl.-Ing. Frank Peter, MEng
Ingenieurkonsultent für Maschinenbau
Brandschutz Consulting und Engineering
A-1050 Wien · Strobachgasse 4



T: +43 1 581 08 67
E: brandrat@brandrat.at
I: www.brandrat.at

D.I. Frank Peter

Themen



- 🔥 Grundlagen
 - 🔥 Überblick Eurocodes
- 🔥 Design Fire
- 🔥 Berechnungsverfahren
 - 🔥 Raumbrand
 - 🔥 Lokale Brände
- 🔥 Beispiel für CFD Simulation



Eurocodes

Die heißen Teile

Eurocodes und ÖNORMEN



- 🔥 Eurocode 1
 - 🔥 ÖNORM EN 1991-1-2 & ÖNORM B 1991-1-2
Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen -
Brandeinwirkungen auf Tragwerke
- 🔥 Eurocode 2
 - 🔥 ÖNORM EN 1992-1-2 & ÖNORM B 1992-1-2
Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine
Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall
- 🔥 Eurocode 3
 - 🔥 ÖNORM EN 1993-1-2 & ÖNORM B 1993-1-2
Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln
- Tragwerksbemessung für den Brandfall
- 🔥 Eurocode 4
 - 🔥 ÖNORM EN 1994-1-2 & ÖNORM B 1994-1-2
Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton -
Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall

Eurocodes und ÖNORMEN



- 🔥 Eurocode 5
 - 🔥 ÖNORM EN 1995-1-2 & ÖNORM B 1995-1-2
Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Teil 1-2:
Tragwerksbemessung für den Brandfall

- 🔥 Eurocode 6
 - 🔥 ÖNORM ENV 1996-1-2 & ÖNORM B 1996-1-2
Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-2: Allgemeine
Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall

- 🔥 Eurocode 9
 - 🔥 ÖNORM EN 1999-1-2
Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-2:
Tragwerksbemessung für den Brandfall

Nachweisverfahren - 3 Stufen



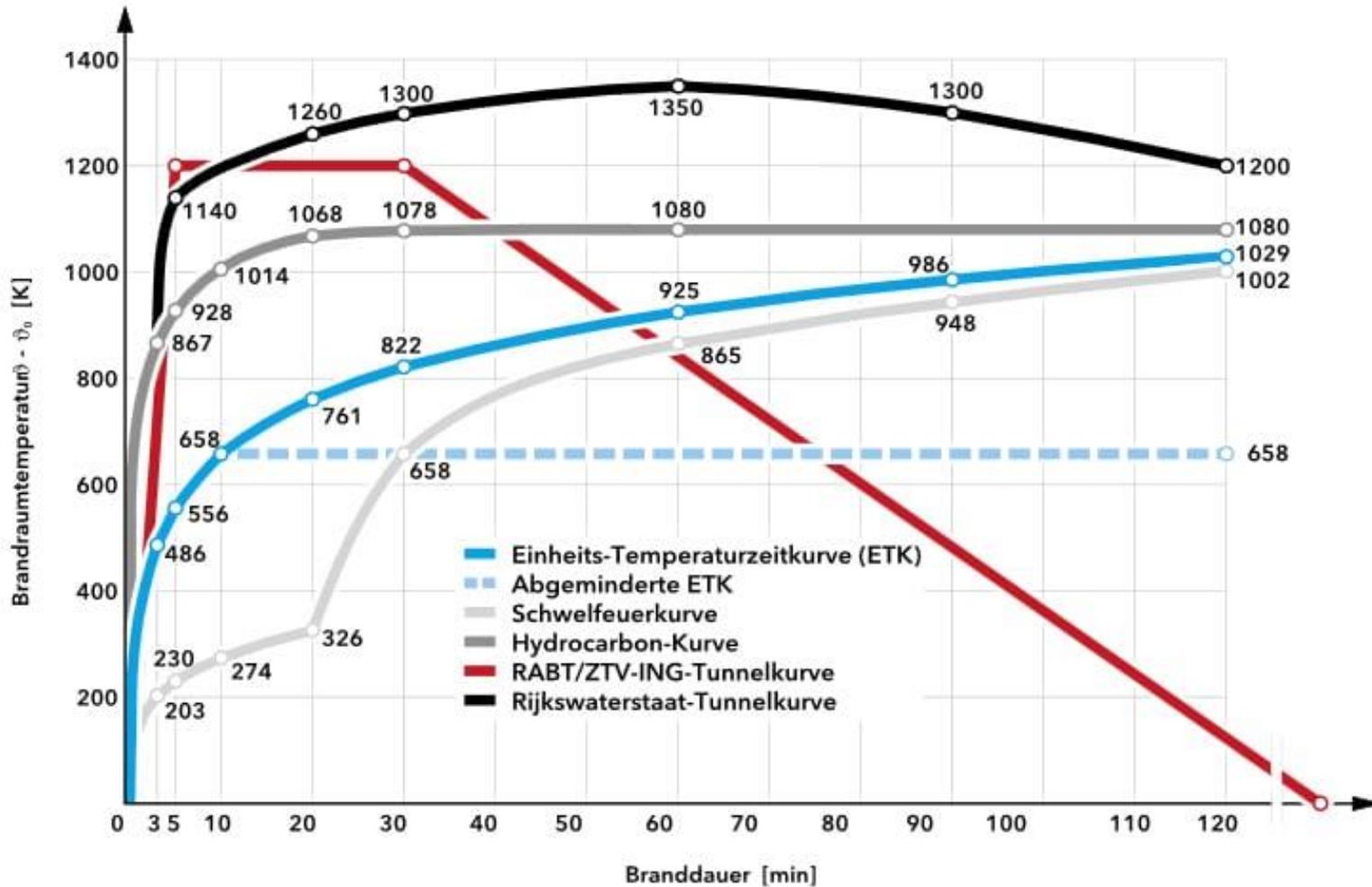
- 🔥 Nachweisstufe 1
Ermittlung der Mindestquerschnittsabmessungen von Einzelbauteilen für die geforderte Feuerwiderstandsklasse anhand von Tabellen (entspricht ÖNORM B 3800-4 bzw. DIN 4102)
- 🔥 Nachweisstufe 2
Bemessung der Einzelbauteile mit Hilfe von vereinfachten
Rechnungsverfahren
Thermische Analyse i.a. gemäß ETKs (HC)
Kein Versagen des Bauteils unter der maßgebenden Last
- 🔥 Nachweisstufe 3
Allgemeine Rechenverfahren für Einzelbauteile, Gesamt- oder Teiltragwerke
Ermittlung des tatsächlichen Tragvermögens für eine vorgegebene
Feuerwiderstandszeit
Temperaturbeanspruchung durch ETK oder auch natürliche Brände
Thermische und mechanische Analyse der brandbeanspruchten Bauteile

Schnittstelle Brandschutz - Statik



- 🔥 Vorgabe Zeitdauer → Temperaturverlauf gemäß genormten Temperaturzeitkurven, z.B. Einheitstemperaturzeitkurve (ETK)
- 🔥 Vorgabe zeitlicher Temperaturverlauf → Naturbrandmodelle
 - 🔥 Vereinfachte Brandmodelle
 - 🔥 Vollbrandmodelle - Parametrische Temperaturzeitkurven
 - 🔥 Lokale Brände
 - 🔥 Allgemeine Brandmodelle (Brandsimulationen)
 - 🔥 Zonenmodelle
 - 🔥 Feldmodelle

Temperaturzeitkurven

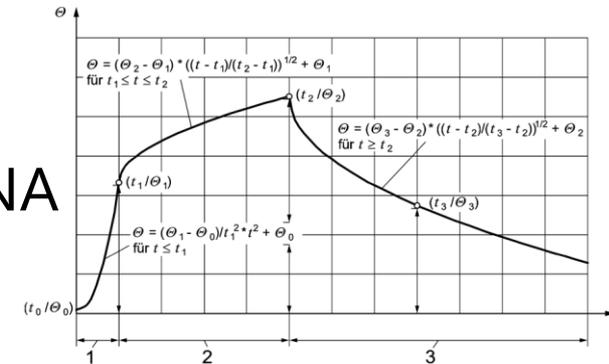


Vollbrandmodelle

Parametrische Temperaturzeitkurven



- 🔥 EC 1991-1-2 Anhang A
 - 🔥 Zulässig gemäß ÖNORM B 1991-1-2
 - 🔥 Unzulässig gemäß DIN EN 1991-1-2/NA
 - Eigenes Berechnungsverfahren

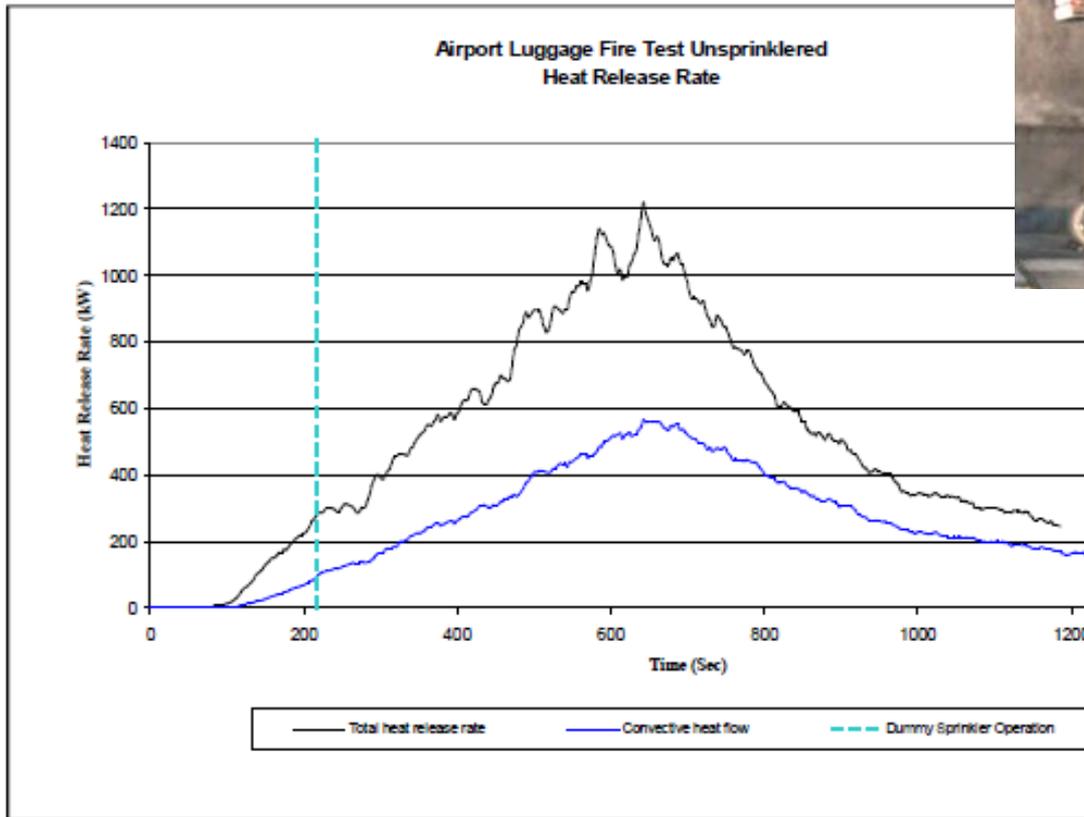


- 🔥 DIN EN 1991-1-2/NA Anwendungsbereich
 - 🔥 Räume bis 400 m² und Raumhöhe bis zu 5 m
Größere, höhere Räume → Ergebnisse auf der sicheren Seite
 - 🔥 Vertikale Öffnungsflächen: 12,5 % bis 50 % der Raumgrundfläche
 - 🔥 Brandlastdichte: 100 MJ/m² bis 1300 MJ/m²

Lokale Brände



Reisegepäck Quelle: BRE



1.2MW peak heat release rate

38kg

© Dipl.-Ing. Frank Peter

Fire Plumes

Analytische Verfahren und Zonenmodelle beruhen auf fire plumes

🔥 Thomas-Hinkley

$$\dot{M} = C_e \cdot U_B \cdot z^2 \quad T_R = \frac{\dot{Q}}{\dot{M}} + T_0$$

🔥 Zukoski für Auftriebsbereich

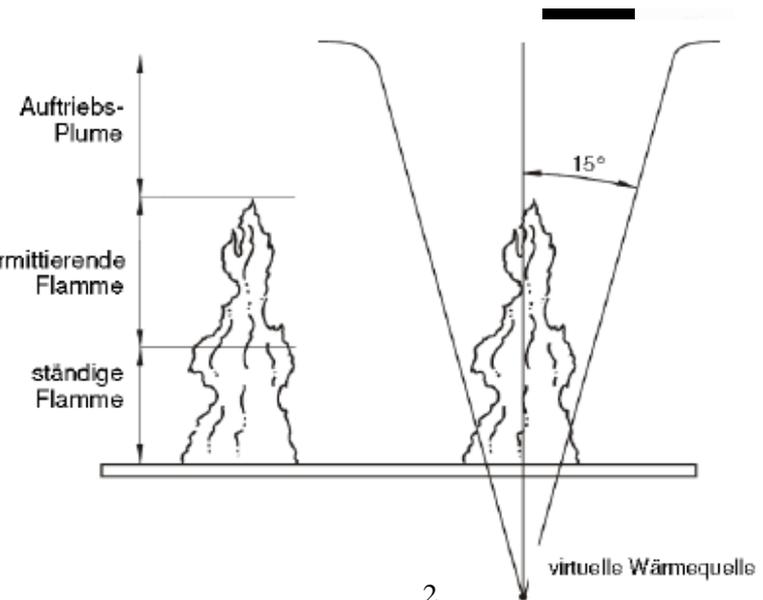
$$\dot{M} = 0,0766 \cdot \dot{Q}_B^{\frac{1}{3}} \cdot (z + z_0)^{\frac{5}{3}} \quad z_0 = 0,5 \cdot D_B - 101,461 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{\dot{Q}_B}{D_B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

🔥 Heskestad für Auftriebsbereich

$$\dot{M} = 0,071 \cdot \dot{Q}_k^{\frac{1}{3}} \cdot (z - z_0)^{\frac{5}{3}} + 0,00185 \cdot \dot{Q}_k \quad z_0 = -1,02 \cdot D_B + 0,083 \cdot \dot{Q}_k^{\frac{2}{5}}$$

- \dot{M} Massenstrom [kg/s]
- U_B Bemessungsbrandumfang [m]
- z Effektive Aufstiegshöhe [m]
- \dot{Q}_B Wärmefreisetzungsrate, Wärmestrom [kW]
- \dot{Q}_k Konvektive Wärmefreisetzungsrate [kW]
- z_0 Abstand des virtuellen Ursprungs von der Brandfläche [m]
- \dot{Q} Gesamt-Wärmefreisetzungsrate [kW]
- D_B Branddurchmesser [m]

$$\Theta = \frac{1}{c_p} \cdot \frac{\dot{M}}{\dot{Q}_B}$$



EN 1991-1-2, Anhang C

- 🔥 Anwendungsgrenzen:
 - 🔥 Branddurchmesser $D \leq 10$ m
 - 🔥 Energiefreisetzungsrate $Q \leq 50$ MW
 - 🔥 DIN EN 1991-1-2/NA zusätzlich
 - 🔥 Spezifische Energiefreisetzungsrate ≥ 250 kW/m²
 - 🔥 $z \leq 1,0$ m $\rightarrow \theta(z) = 900$ °C
- 🔥 2 Fälle:
 - 🔥 Flammenlänge geringer als Raumhöhe
 - 🔥 Flammenlänge größer als Raumhöhe

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q^{2/5} \quad [\text{m}]$$

D der Durchmesser des Feuers [m].
 Q die Wärmefreisetzungsrate [W]

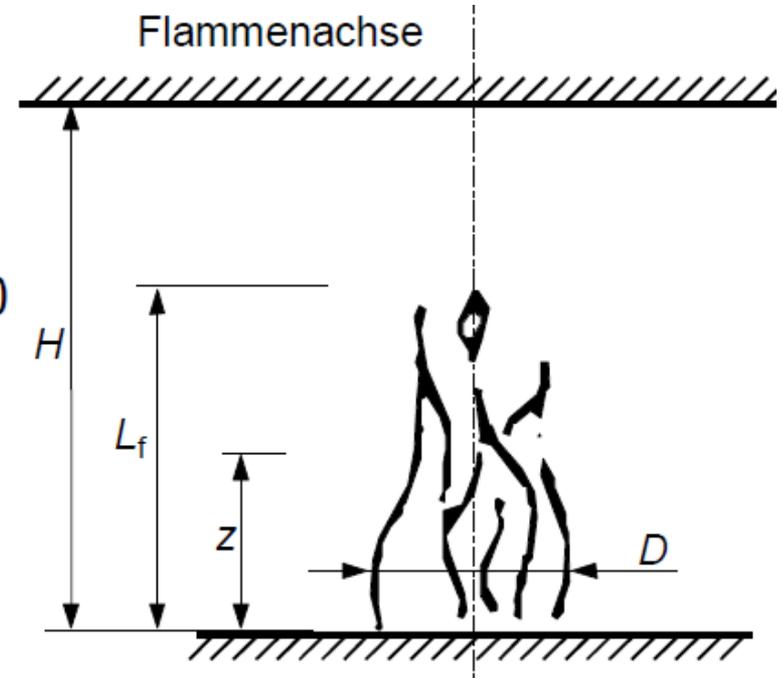
Flammenlänge geringer als Raumhöhe ($L_f < H$)

Temperatur in Höhe z

$$\Theta(z) = 20 + 0,25 Q_c^{2/3} (z - z_0)^{-5/3} \leq 900$$

mit dem virtuellen Ursprung

$$z_0 = -1,02 D + 0,00524 Q^{2/5}$$



z die Höhe [m] entlang der Flammenachse,

D der Durchmesser des Feuers [m],

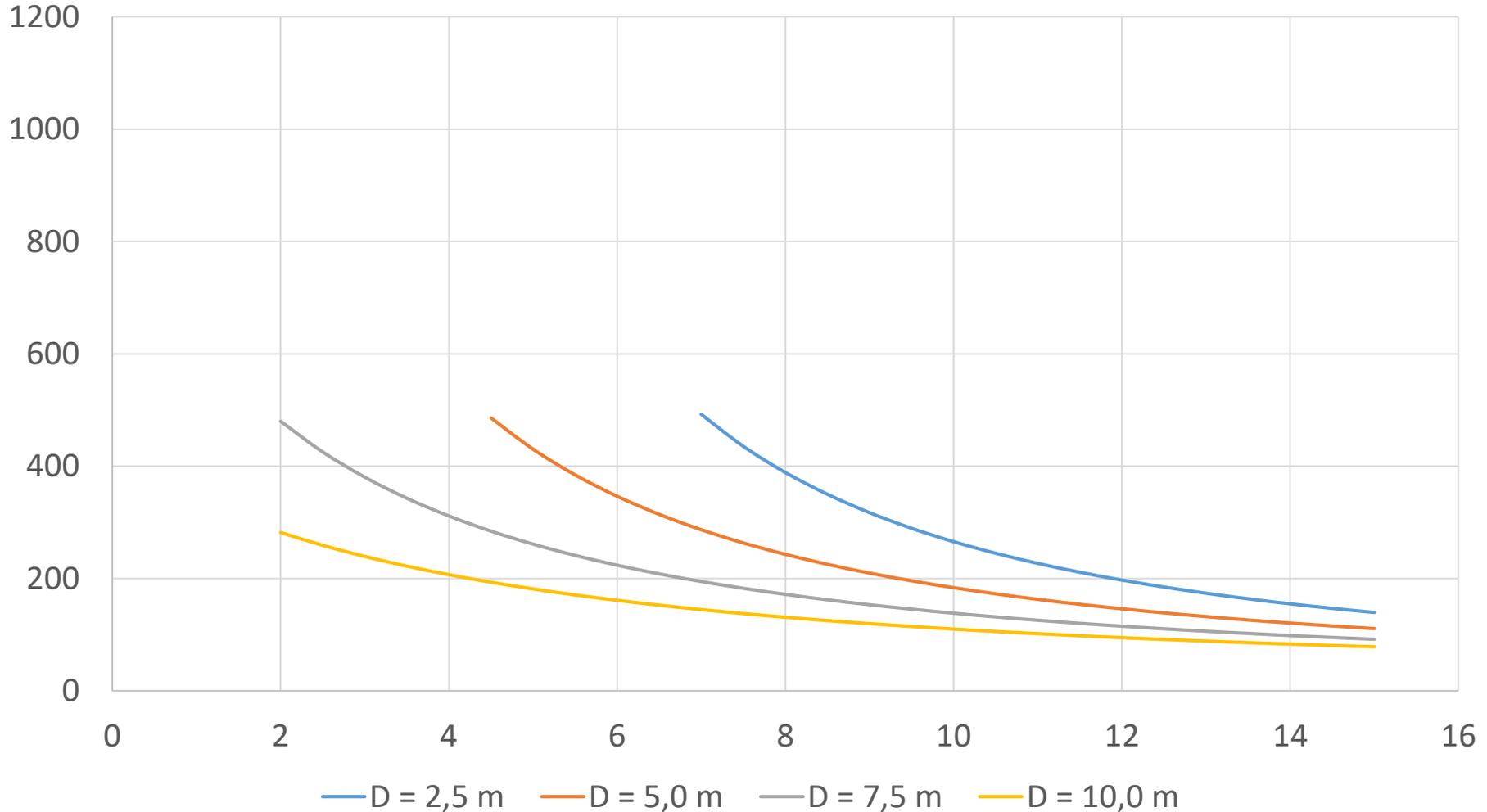
Q die Wärmefreisetzungsrate [W]

Q_c der konvektive Anteil der Wärmefreisetzungsrate [W], mit $Q_c = 0,8 Q$

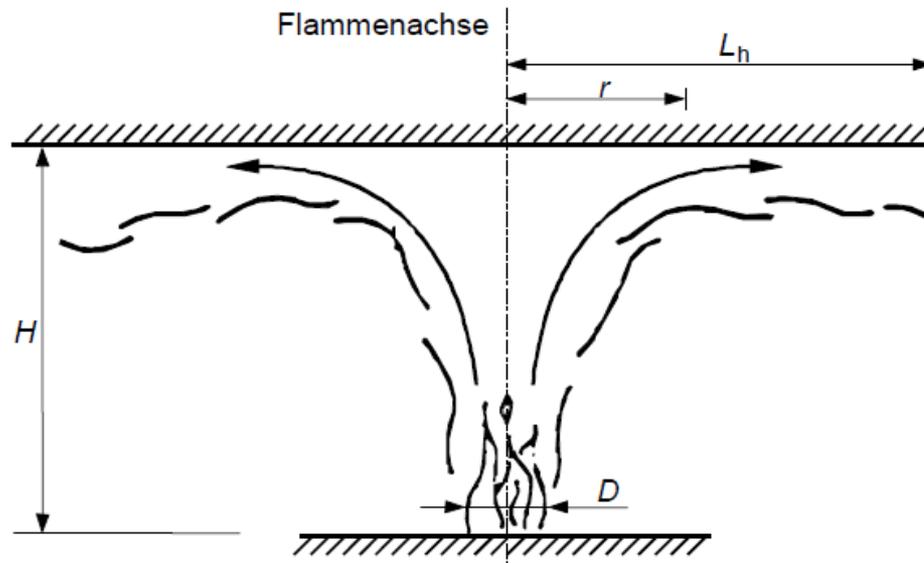
Auswertung für $Q = 10 \text{ MW}$



Temperaturverlauf [°C] entlang der Achse z [m] für $Q = 10 \text{ MW}$



Flammenlänge größer als Raumhöhe ($L_f \geq H$)



Wärmestromdichte [W/m^2] im Abstand r [m]

$$\dot{h} = 100\,000$$

wenn $y \leq 0,30$

$$\dot{h} = 136\,300 - 121\,000 y$$

wenn $0,30 < y < 1,0$

$$\dot{h} = 15\,000 y^{-3,7}$$

wenn $y \geq 1,0$

$$y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'}$$

Brandsimulationen

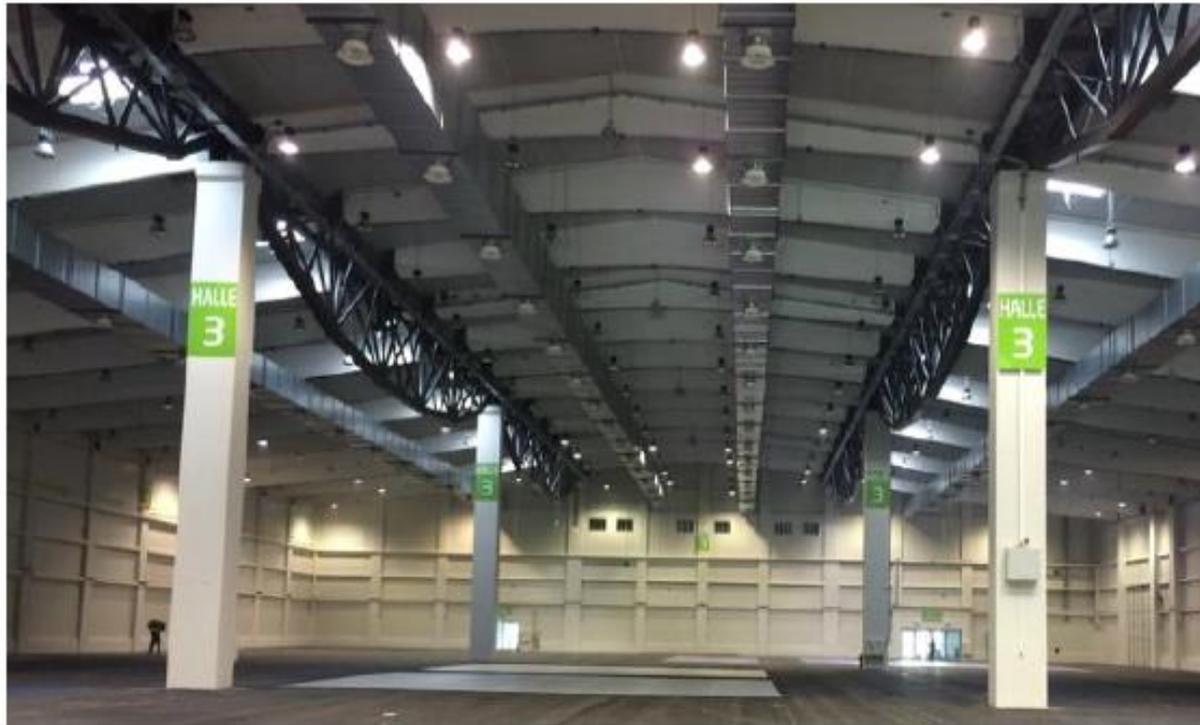


- 🔥 Zonenmodelle
 - 🔥 Energiebilanz
 - 🔥 Massenbilanz

- 🔥 Feldmodelle
 - 🔥 Energiebilanz
 - 🔥 Massenbilanz
 - 🔥 Strömungsgleichungen (Impulserhaltung)



Messe Halle



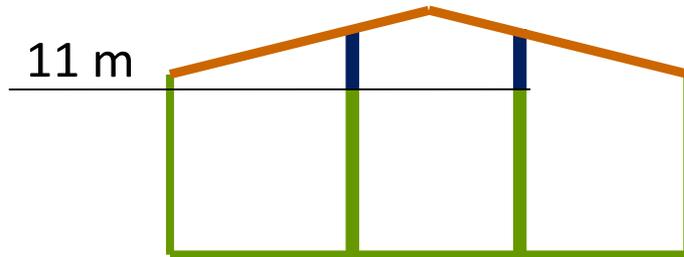
Messe Halle – Heißgastemperatur



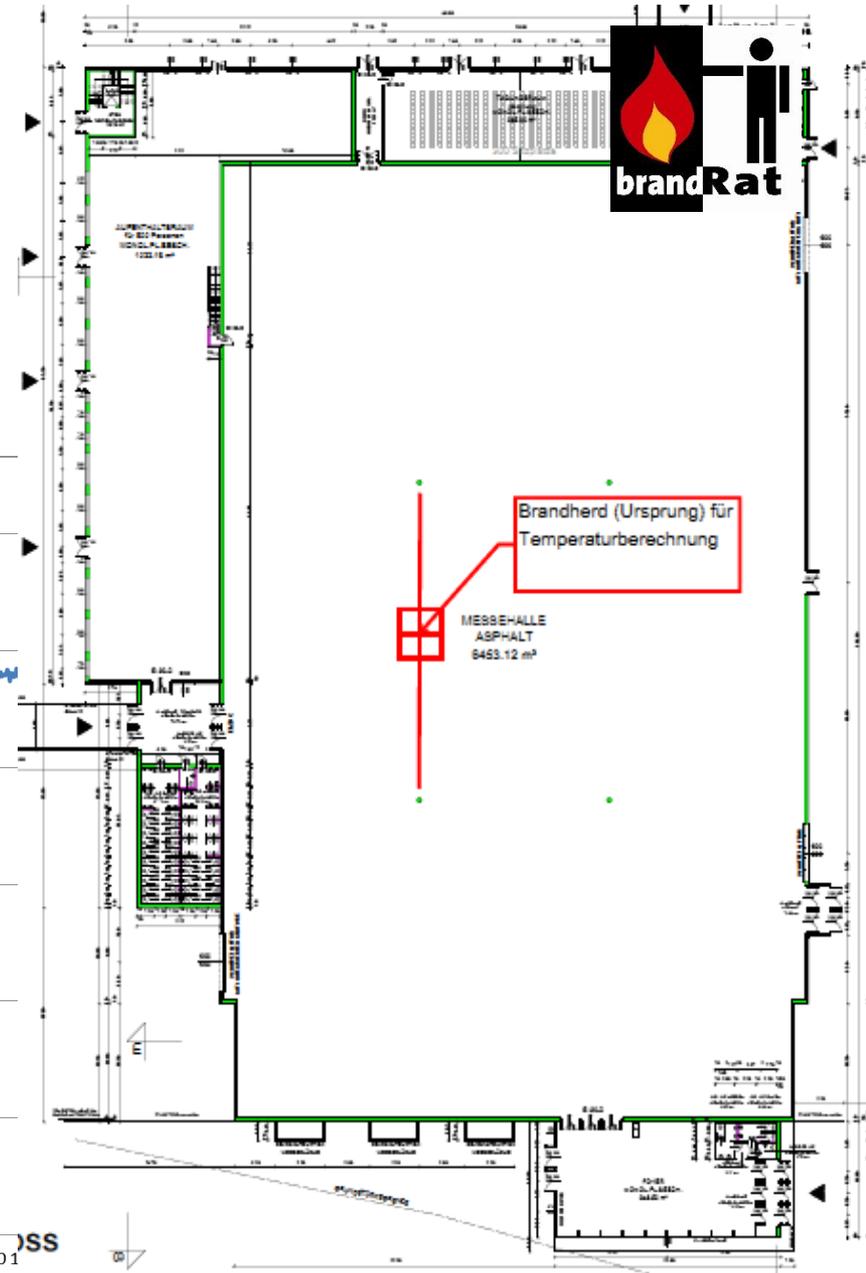
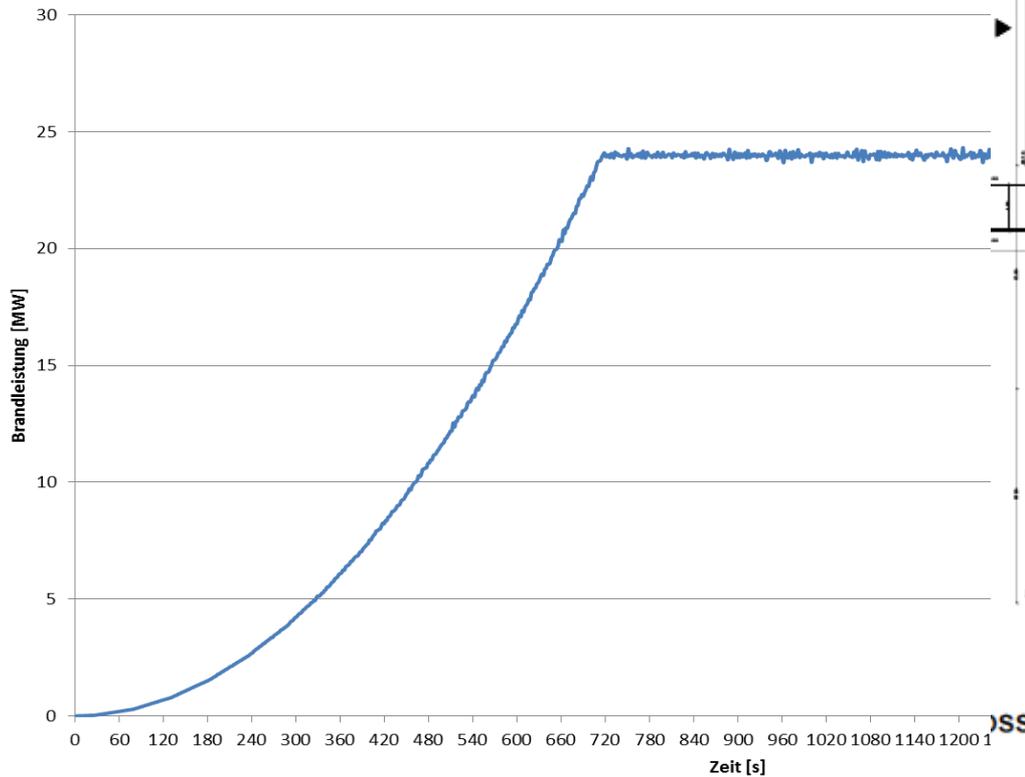
🔥 Design fire - Segelboot

- 🔥 Sunbeam 30 Fuß: <https://www.sunbeam-yachts.com/yachten/302/>
- 🔥 Länge = 10 m, Breite = 3 m
- 🔥 Höhe des Decks über FOK = 3,0 m (Brandfläche)
- 🔥 Gewicht: 4300 kg
- 🔥 Brennstoffe: 2/3 Kunststoff - Epoxidharz; 1/3 Sperrholz
- 🔥 Brandlast: 111.500 MJ
- 🔥 Brandbelastung: 3717 MJ/m²
- 🔥 spezifische Wärmefreisetzungsrate: 800 kW/m²
- 🔥 Brandfläche A_B: ca. 30 m² quadratisch
- 🔥 Brandausbreitungsgeschwindigkeit: ca. 0,23 m/min (t-square fire)
- 🔥 maximale Brandleistung: 24 MW nach ca. 712 s (ca. 12 min)

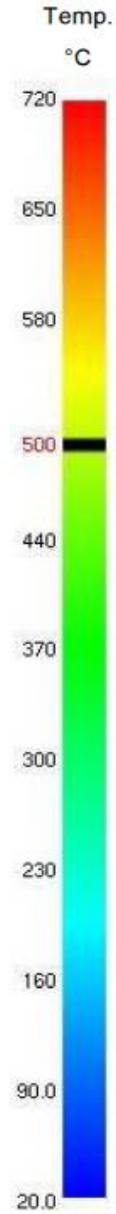
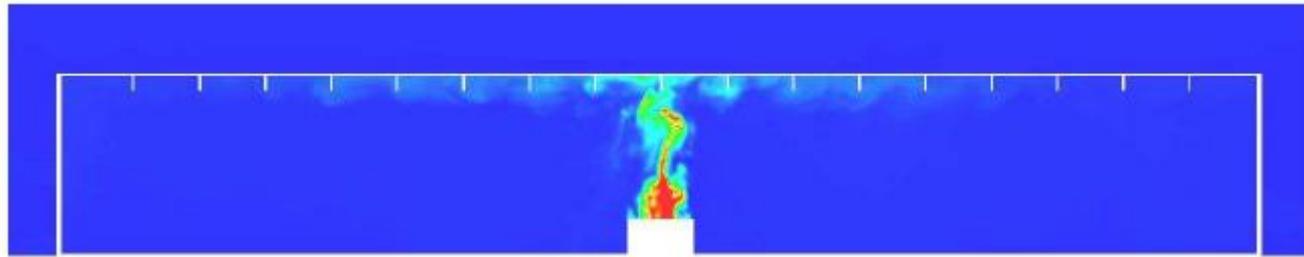
Messe Halle - Heißgas



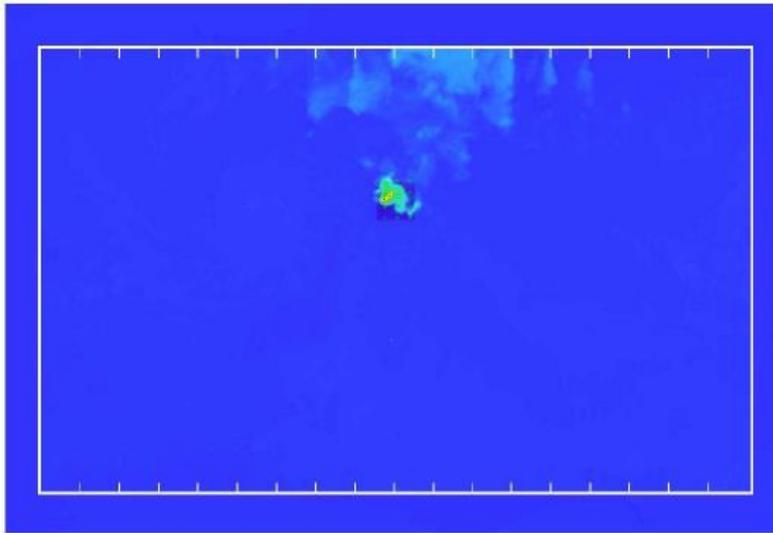
Brandleistung



Heißgastemperatur



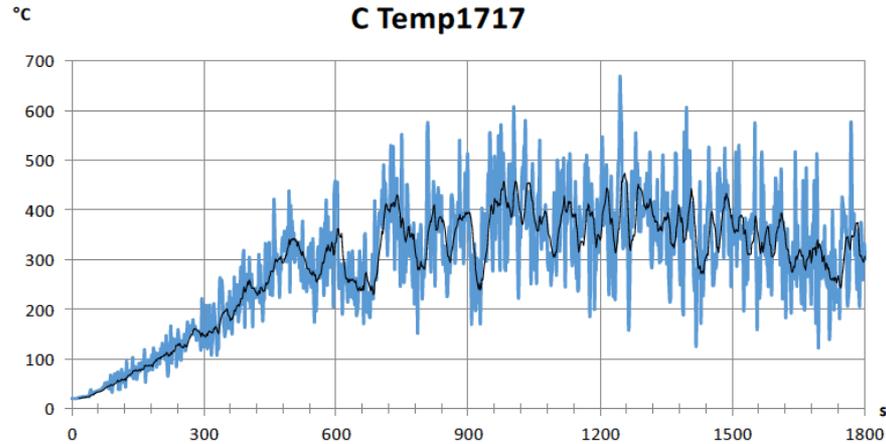
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



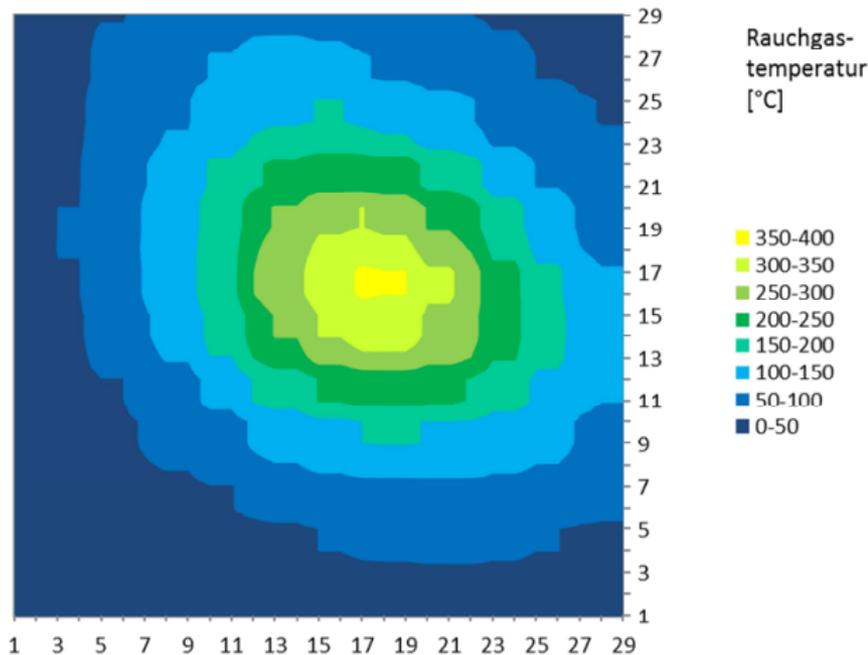
Frame: 1030
Time: 1801.0

Abbildung 5.18: Heißgastemperatur zum Zeitpunkt 1800 s auf Ebene + 11,0 m über der FOK.

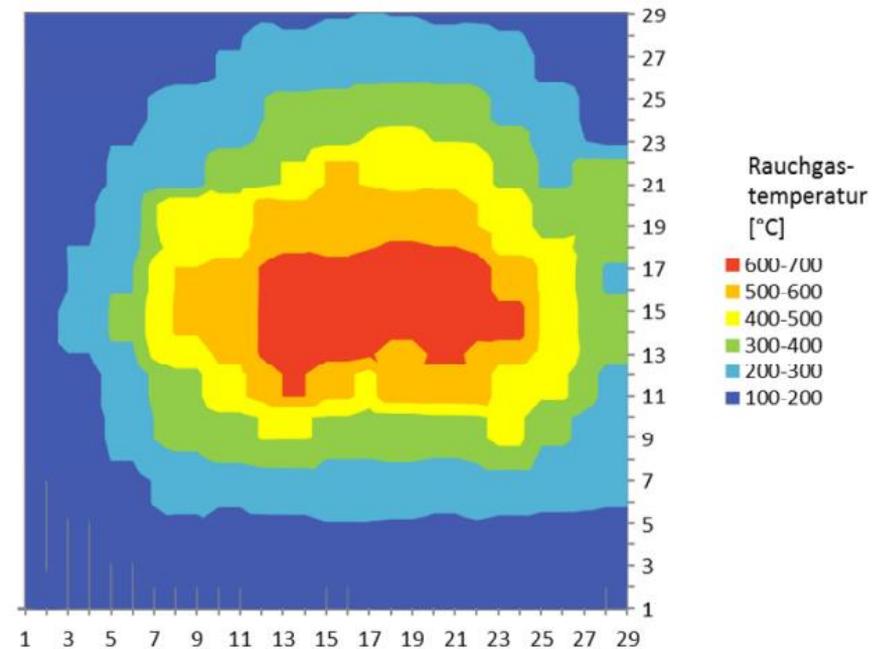
Messe Halle Heißgas- temperatur

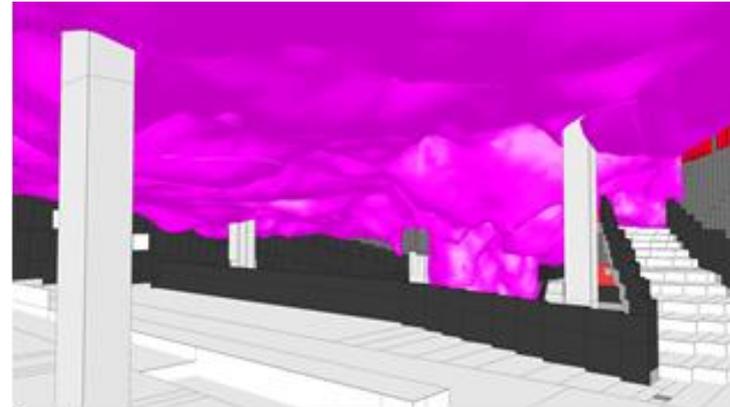


Gemittelte
Temperaturen



Maximaltemperaturen





Auf Wiedersehen



brandRat ZT • GesmbH.
Dipl.-Ing. Frank Peter, MEng
Ingenieurkonsulent für Maschinenbau
Brandschutz Consulting und Engineering
A-1050 Wien · Strobachgasse 4



T: +43 1 581 08 67
E: brandrat@brandrat.at
I: www.brandrat.at

© Dipl.-Ing. Frank Peter