



Grundlagen zu Bränden und „Schwerentflammbarkeit“

Forschungsstelle für Brandschutztechnik

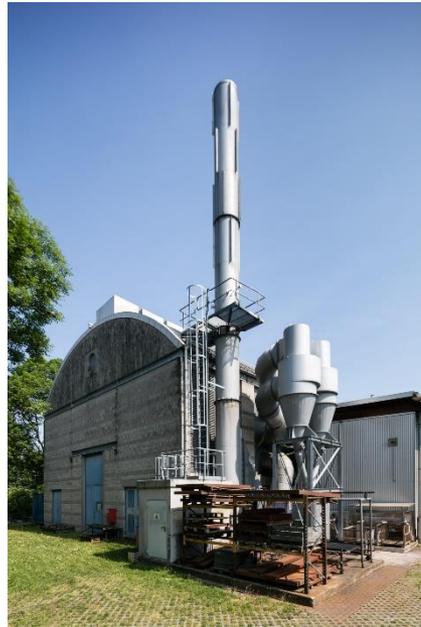
8. Feb 2021

Hertzstr. 16
76187 Karlsruhe
www.ffb.kit.edu

Dr. rer.-nat. Dietmar Schelb

FFB Stand

+ -15 Angestellte



Büros auf dem Campus West in Karlsruhe

Brandversuchshalle in Karlsruhe-Neureut

- Versuchsraum Fläche 30m x 15m x ca.10m
- Rauchgasreinigungsanlage 50.000m³/hr
- Löschwasserrückhaltung 5,5m³

Brandversuche: Impressionen



*ECE R100 „fuel fire test“
an Batterie*

*KVMSS „Korea-Test“
an Batterie*

*ECE R100 „fuel fire test“
an Kraftstofftank*



RHU „schwer entflammbar“



ECE Test nicht bestanden

Themenschwerpunkte



- Kurzer Nachtrag zu Li-Ionen Batterien
- **Rund um´s Thema Brand**
- **Beispiel für Schwerentflammbarkeit**

Nachtrag zu Li-Ionen Batterien



LiFePO₄-Zellen brennen nicht !?

Brand: Ventilations- vs. brennstoffkontrolliert



Immer zuerst brennstoffkontrolliert (Brennstoffzufuhr regelt die Stärke)

- (Fast) vollständige Verbrennung,
- Technische Flammen sind idR mager ($\lambda > 1$),
- Hohe Temperaturen

Ventilationskontrolliert (Luftzufuhr regelt die Stärke)

- Unvollständige Verbrennung
- Fette Flammen ($\lambda < 1$)
- Gefahr durch CO und brennbare Pyrolysegase

Kohlenmonoxid / Pyrolysegas



Kohlenmonoxid

- geruchlos (s. z.B. Grill im geschlossenen Raum / ShishaBars)
- giftig und wichtigster Verursacher für Rauchgasvergiftung - nebst HCN
- brennbares (Pyrolyse-)gas (mit ursächlich für backdraft)

Pyrolysegas

- brennbar
- entsteht durch thermische Zersetzung
- und/oder durch unvollständige Verbrennung ($\lambda < 1$)

Wärmefreisetzungsrate und „Luftverbrauch“



	HRR	Luftvolumen / s
Teelicht	5 W	2ml=0,002l
Wasserkocher	2 kW	-
Kaminofen	10 kW	3l
Container-Übungsfeuer	600 kW	200l=0,2m ³
Wohnzimmer im Vollbrand	5-10 MW	1,5 -3m ³
LKW mit Paletten im Vollbrand	200 MW	65m ³
Gas-Kohlekraftwerk 1000MW elektr.	2500MW	800m ³



Faustformeln (+-20%): Heizwert u. O₂-Verbrauch

1 Liter = 1kg Benzin / Diesel 10kWh

1 kg Holz(-möbel) 5kWh

1 Liter Benzin „verbraucht“ 10m³ Luft zur Verbrennung

1 kg Holz „verbraucht“ 5m³ Luft.

1m³ Luft ergibt max. 1 kWh bei der Verbrennung von „gewöhnlichen“
Brennstoffen (Erdölprodukte, Holz).

In geschlossenen Räumen (Diffusionsflammen) wird nur rund die Hälfte der Luft verbraucht, da Mindestkonz. O₂>10% zur Verbrennung

*Quelle: Baulicher Bauschutz im Industriebau, Beuth-Kommentare
AGB Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit, Bruchsal*

Tunnelbrand



Querschnitt der Röhre 50m^2

200MW Vollbrand (LKW) benötigt mindestens 65m^3 Luft /s

=> Luftströmung von $1,3\text{m/s}$ ($<5\text{km/h}$) genügt.

Industriebrand



Industriegebäude Brandabschnitt Fläche 1600m², Höhe 10m

16000m³ Luft = 16000 kWh = 16 MWh

Beim Industriebrand ist es für den Brandverlauf (aber nicht für den Rauch!) fast egal, ob Fenster und Türen geöffnet sind.

Vollbrand HRR ca. 10MW.



*Mindestens 3 m³/s Luft müssen zuströmen -
und rund 10 m³/s heißes Gas müssen rausströmen.*

Raumbrand

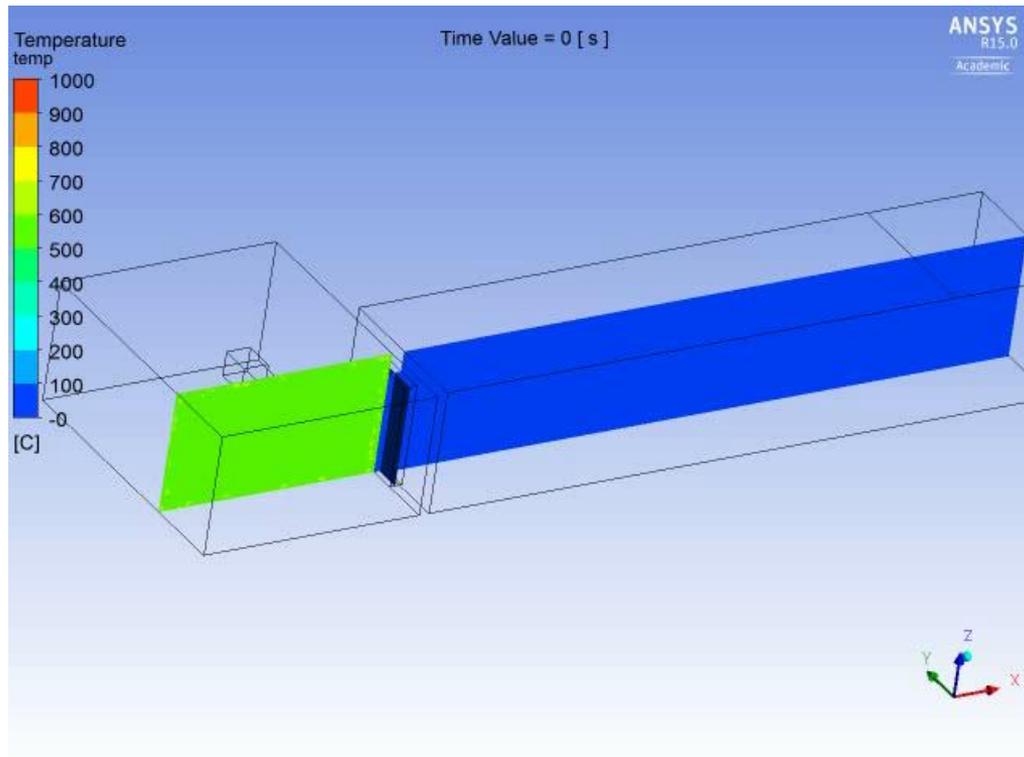


Beginnt stets brennstoffkontrolliert - es ist ja Luft genug vorhanden

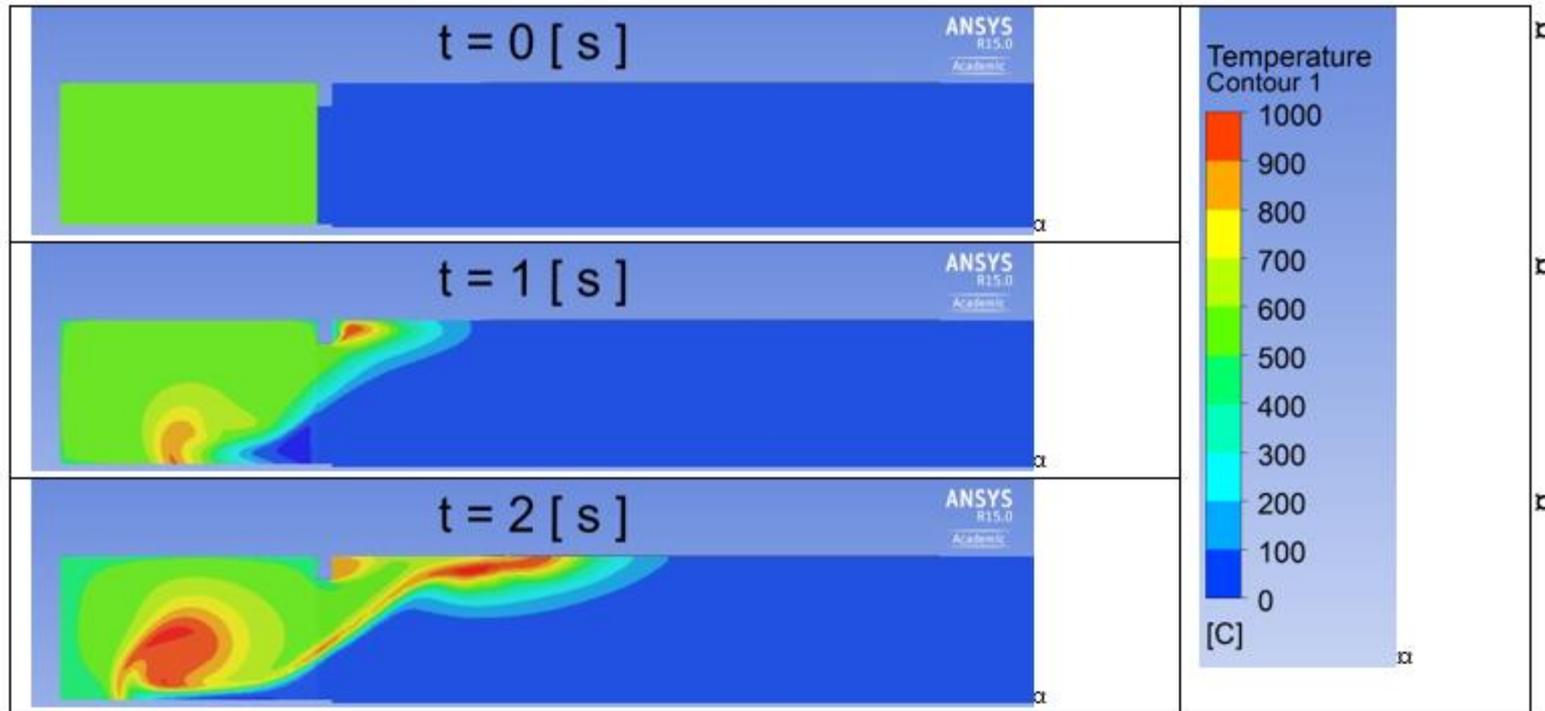
Da i.d.R. nicht genug Luft zugeführt wird, wird er ventilationskontrolliert
=> Rauchgase sehr giftig, zündfähige Pyrolysegase

Wenn jetzt z.B. Tür geöffnet wird, besteht Gefahr der Durchzündung (oder backdraft)

Backdraft



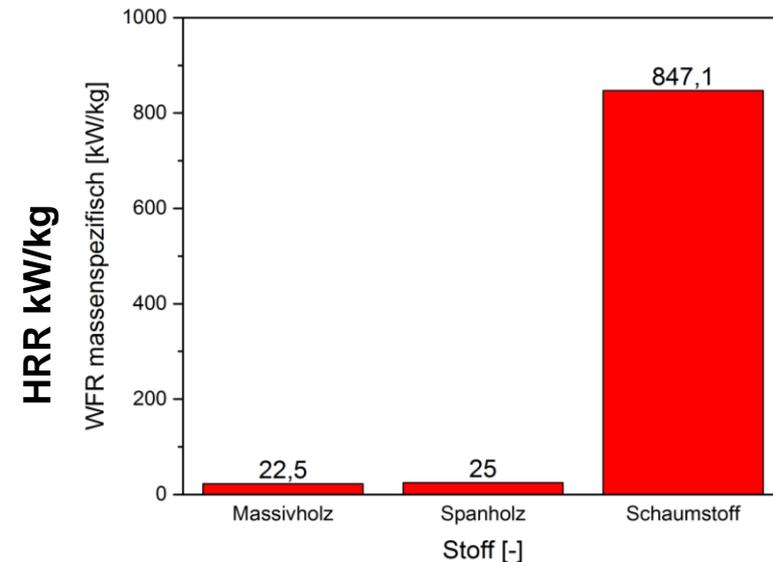
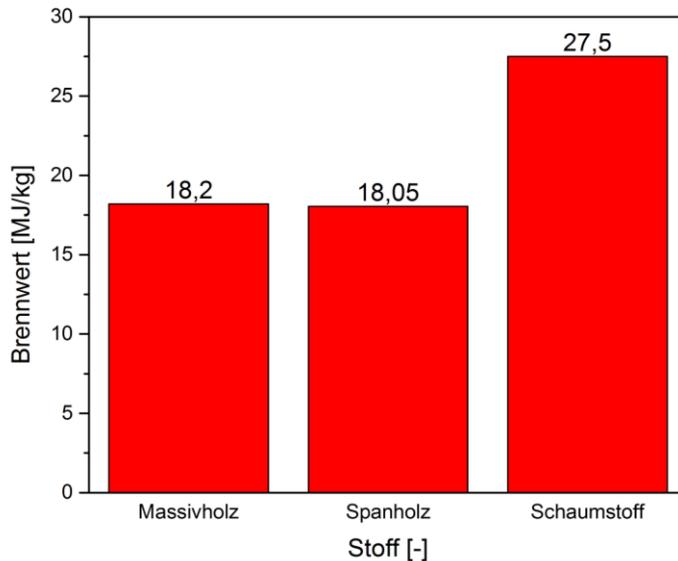
Backdraft



Brandentwicklung beim Wohnungsbrand

Ergebnisse (Bachelorarbeit Oktober 2015, Brandversuche Jan. 2016)

- Eine Schaumstoffmatratze hat die höchste HRR pro Masse (Versuche im Labormaßstab)
- Sie kann im Extremfall (Ergebnis der Real-Versuche) mehrere MW freisetzen



WDR Quarks&Co. 2017



Wieso löscht Wasser einen Brand ?



Effekte

1. Temperaturabsenkung
2. O₂-Verdrängung
3. Radikalfänger (OH, H, O) an Tröpfchen
4. Strahlungsabsorption

Wassertröpfchen-Flamme Interaktion / Thema Dissertation

Verdampfen von Wasser



Energie um Wasser (15°C) zu verdampfen: $Q=85K * 4,19kJ/K \text{ kg} + 2260kJ/kg = 2600kJ/kg$

13% der Energie werden benötigt, Wasser zum Kochen zu bringen.

87% der Energie werden zum Verdampfen benötigt.

Eine heiße Oberfläche wird durch flüssiges Wasser gekühlt. Verdampft Wasser, bildet sich eine isolierende Schicht.

Gase werden durch das Verdampfen der Wassertröpfchen gekühlt.

Effizienz H₂O zum Kühlen < 100%



Water pours down the porch stairs as a firefighter aims his hose at the blaze.

SCHWERENTFLAMMBARKEIT

Bericht SRF



Polystyrol-Schaumstoff $\rho=150\text{kg/m}^3$



Abschätzung der Entflammbarkeit (bei 18°C)



RHU Brandversuch



**Feuerwehren:
BF Karlsruhe
WF KIT
BW**

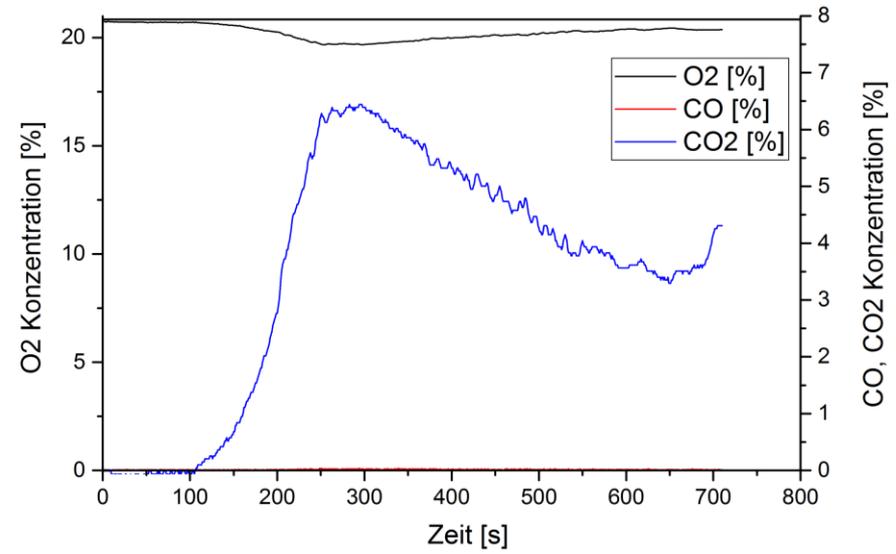
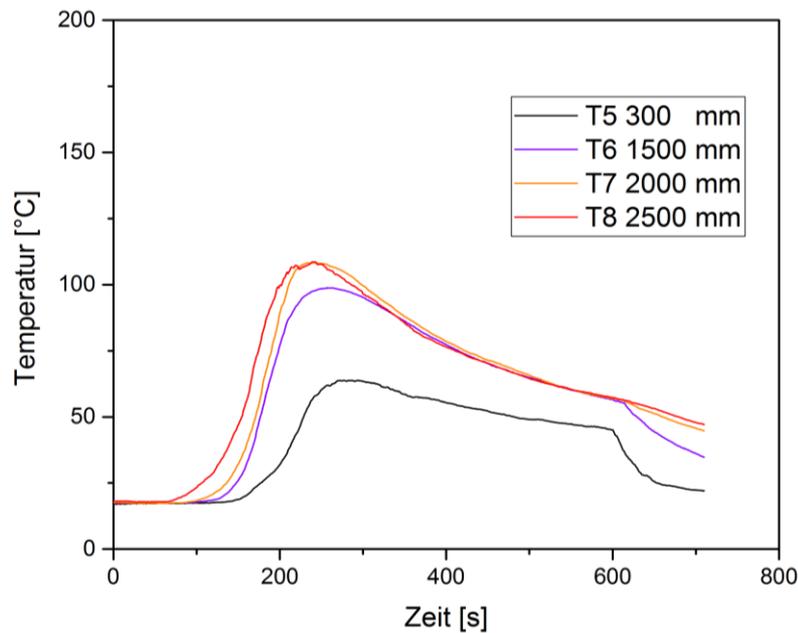
Offizielle Beobachter



RHU 1. Versuch mit IsoMatte u. Decke auf Feldbett



RHU 1. Versuch: Temperatur- und Abgasmessung



RHU 1. Versuch: Ergebnis



Zwischenfazit



- „Ist doch alles i.O.“

- „machen wir weiter mit dem nächsten Versuch“ - gemäß Plan

RHU 2. Versuch: Schaumstoffmatratze und Bettset



RHU 2. Versuch: Schaumstoffmatratze und Bettset



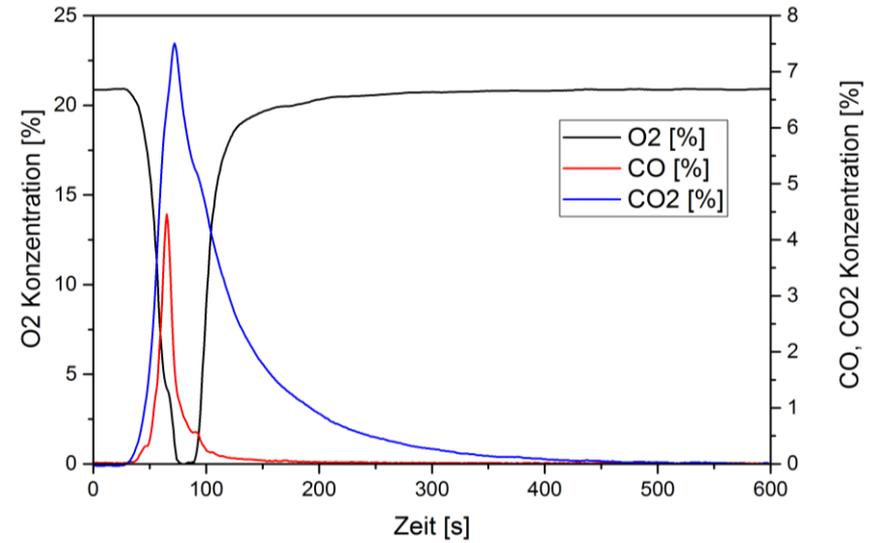
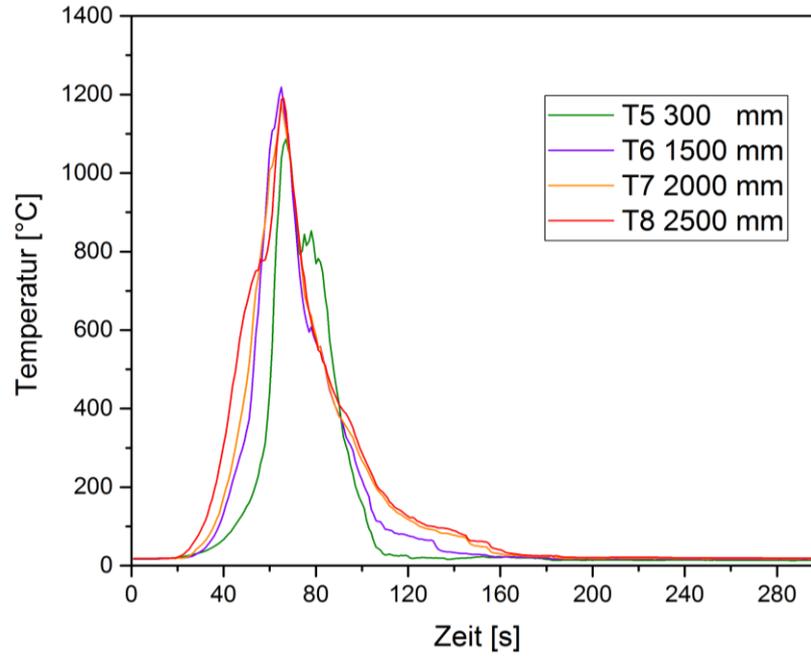
RHU 2. Versuch: Schaumstoffmatratze und Bettset



RHU 2. Versuch



70s nach Zündung



„Schwerentflammbar“



Zusammenfassung der RHU Brandversuche

- **Max. HRR ca. 100MW. BF mit 2 C-Rohren**
- **>> 100m³ Rauch / sec.**



Theoretische Betrachtung: C-Schlauch

Verdampfen von 3 Liter Wasser (C-Schlauch mit rund 200l/min)

		3l Wasser verdampfen nach
Container Übungsfeuer	600 kW	15 s
Wohnzimmer Vollbrand	20 MW	0,4 s
LKW mit Paletten Vollbrand	200 MW	0,04 s

13 Dietmar Schelb Forschungsstelle für Brandschutztechnik

Schwerentflammbares Material



- **brennt immer, wenn die Initialbrandlast groß genug ist**
- extrem: Polystyrol = „Scheiben-, Stangen oder Blockbenzin“
- Eimer Benzin plus ein Schnapsglas Zaubertrank (Inhibitor)- immer noch brennbar?

Schaumstoffmatratzen und Bettset

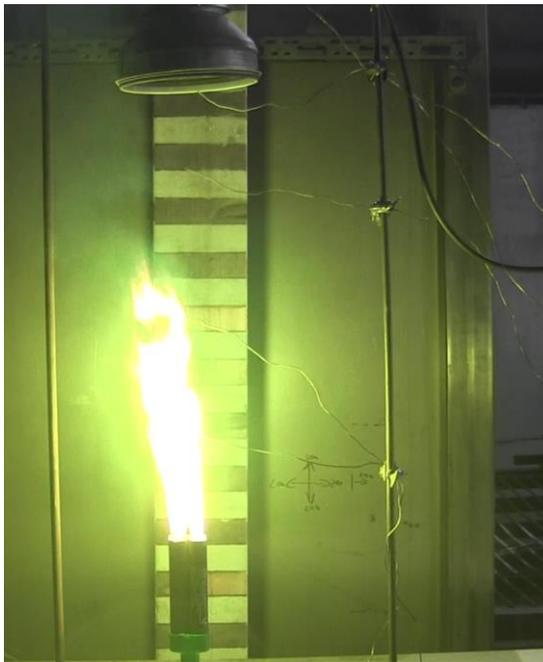


Anhang 1 Diverses

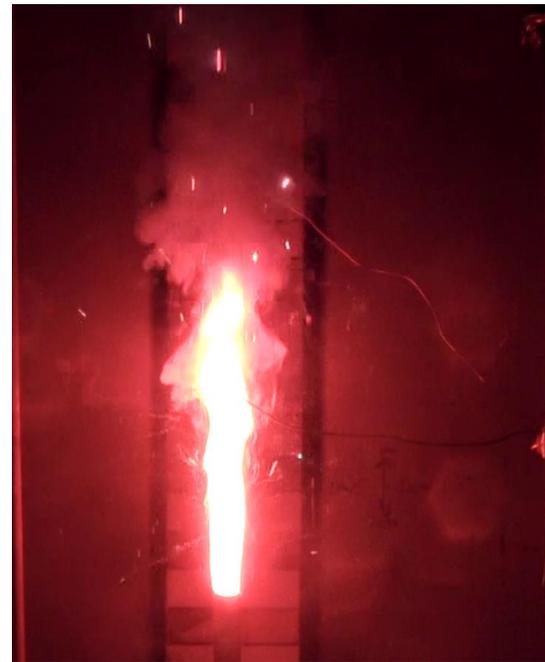


Kalte Pyrotechnik

- Hersteller wirbt mit Temperatur von 280°C - allerdings in seitlichem Abstand von 10-20cm...
- Es raucht weniger und ist nicht so heiß wie eine Bengalo-Fackel (statt +-2000°C nur 1200°C)



Kalte Pyrotechnik



Bengalo-Fackel

Ausführlicher Bericht in der BrandSchutz 2020

Grenfell vs. Torch Tower in Dubai



2 Brände beim Torch 2015 und 2017, einige Verletzte mit Rauchgasvergiftung



Höhe ca. 70m



Höhe 352m

Jeweils brennbare Fassaden, aber

- **Ein** Treppenhaus, kein 2. Rettungsweg bei Grenfell
- Einsatztaktik der FW bei Grenfell:
 1. „stay put“-Taktik (an Ort und Stelle bleiben, wenn nicht direkte Gefahr)
 2. offene Türen ins Treppenhaus (mehr dazu M. Reick)

Euch noch eine schönen Abend!

Forschungsstelle f. Brandschutztechnik am KIT
Hertzstr. 16
76187 Karlsruhe
www.ffb.kit.edu
dietmar.schelb@kit.edu
+ 49 (0) 721 608 44450

Kohlenmonoxid



Bei Bränden handelt es sich aber i.d.R. nicht um vorgemischte Flammen. CO verbrennt langsam, d.h. es „braucht Zeit und Temperatur“



Benzinfeuer



***CO-Konzentration
bis zu 3,5%***

Cyanwasserstoff (Blausäure)



Erste Ergebnisse bzgl. der Quellen beim Wohnungsbrand:

- N-haltige Kunststoffe wie Polyurethan (Matratzen, Sitzmöbel)
- Melamin(harz) als Binder und Flammschutzmittel in Pressspan-Holz (>60ppm im Abgas)
- Wolle, Haar, Seide (Teppiche, Sitzmöbel)



Zimmerbrände im geschlossenen Raum

Rauminhalt 50m^3 (+-20%) Luft, 1m^3 Luft ergibt 1 kWh

Fall 0: Gasexplosion, perfekt vorgemischte Flamme

Energie 50kWh: **HRR 180MW für rund 1s.**

Fall 1: Tannenbaumbrand, rascher Brandverlauf 1min, Diffusionsflamme

Energie 25kWh: **HRR 1,5MW für 1min**, dann $\text{O}_2 < 10\%$

Fall 2: Entstehungsbrand, langsamer Brandverlauf 2h, Diffusionsflamme

Energie 25kWh: **HRR 12,5kW für 2h**, dann $\text{O}_2 < 10\%$

Fall 3: Schwelbrand, sehr langsamer Brandverlauf 2Tage, Diffusionsflamme

Energie 25kWh: **HRR 0,5kW für 2Tage**, dann $\text{O}_2 < 10\%$

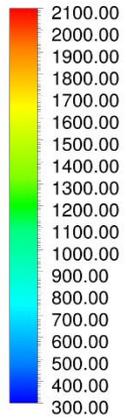
Vollbrand ist in geschlossenen Wohnräumen nicht möglich



Anwendungsgrenzen Ingenieurmethoden

104kW Methanflamme (diffusiv, Standardatmosphärenbedingung)

Temperature
Contour 1



[K]

Schnitt der Temperaturverteilung (Momentaufnahme) durch eine diffusive, turbulente Methanflamme.

Mittlere Flammenhöhe (Messdaten) ca. 1,25m

www.ffb.kit.edu -> Veröffentlichungen -> Forschungsberichte aus den Ländern No
203 und 204

Film DRS <https://www.srf.ch/news/schweiz/ikea-verteidigt-selbstbau-huetten-fuer-fluechtlinge>