

17.05.2018

CHARAKTERISIERUNG VON FEUERBÄLLEN

Paul Blankenhagel

Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)

Abteilung 2 „Chemische Sicherheitstechnik“

Unter den Eichen 87, 12205 Berlin

Motivation (1)

Feuerbälle als Unfallszenario



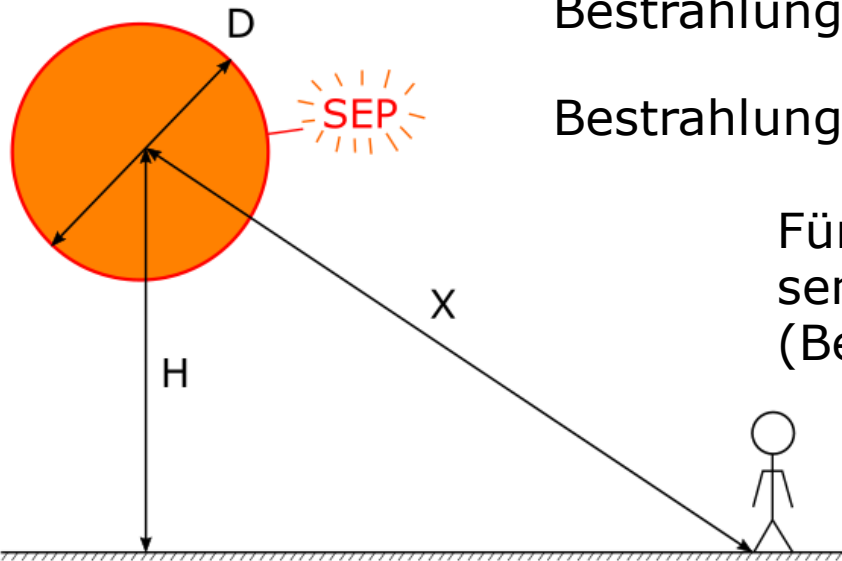
Quelle: Youtube

Explosion eines LPG-Tanklasters
Nov. 1998, Bucheon,
Südkorea

→ **Strahlung & Druckwirkung fatal, 1 Toter, 83 Verletzte**

Theorie

Thermische Strahlung von Feuerbällen



Bestrahlungsstärke [kW/m^2]: $I = SEP \cdot \frac{D^2}{4X^2} \cdot \tau$

Bestrahlungsdosis [TDU]: $Do = I^{\frac{4}{3}} \cdot t$

Für flüssige Kohlenwasserstoffe gültige
semi-empirische Korrelationen
(Beispiel n. [1])

$$D = 6.14 \cdot M^{0.325}$$
$$t = 0.41 \cdot M^{0.340}$$

Motivation (2)

Feuerbälle bei organischen Peroxiden

900 Liter
„Hydro“
im IBC
31HA1



→ Korrelationen (D, t) passten nicht zu den Beobachtungen!



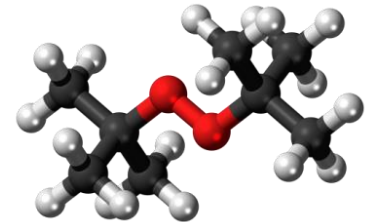
„Ermittlung thermischer Sicherheitsabstände für Feuerbälle organischer Peroxide: Experimente und CFD-Simulationen“

Organische Peroxide

- Org. Verbindung mit mindestens einer Peroxid-Gruppe –O-O–
- Starter für Radikalpolymerisation (zB. Kunststoffherstellung)

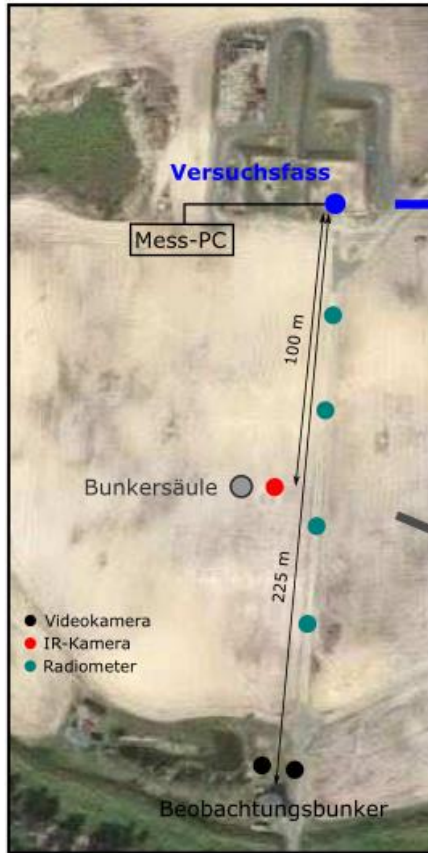
Eigenschaften:

- Thermisch instabil;
- kann exotherme Selbstzersetzung durchlaufen;
- heftiges Abbrandverhalten (durch Zersetzungswärme und “Aktiv”sauerstoff)

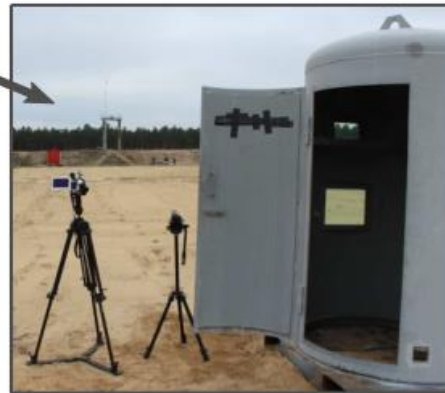


→ geringerer Sauerstoffbedarf für vollständige Verbrennung als Kohlenwasserstoffe; außerdem keine druckdichten Stahlbehälter wie bei LPG

Experimentelle Arbeiten (1)



- **200 Liter Stahlfässer** mit flüssigem OP
- DTBP, stabil, SADT = 80 °C
- Befuerung mit Holz, Poolfeuer, Gasfeuer



- Variation für Feuerbälle unterschiedlicher Größen
- Messung v.

**Brennstoffmassen,
Flammendimensionen,
Temperaturen**



Experimentelle Arbeiten (1)

Ergebnisse & Interpretation

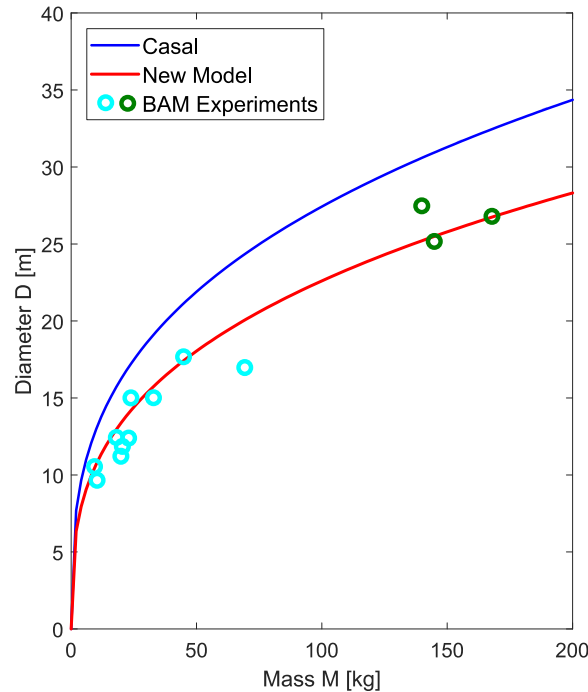
**Entwicklung
neuer Modelle
notwendig!**

$$D = 5.06 \cdot M^{0.325}$$

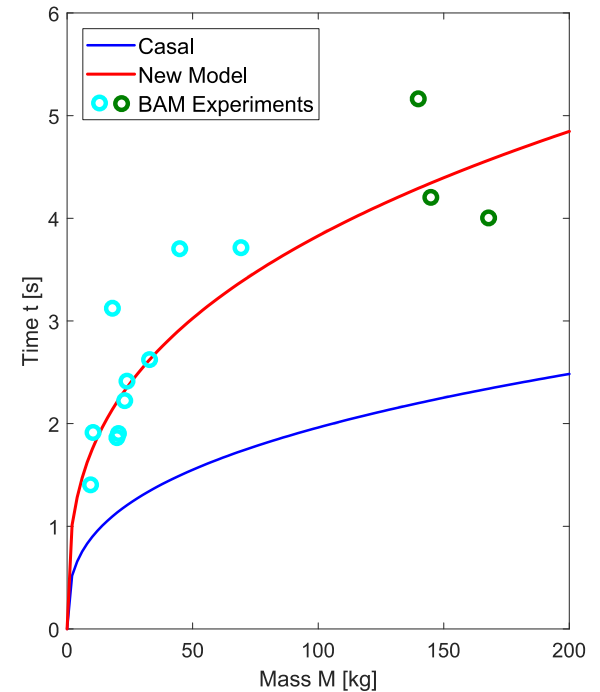
(-18 %)

$$t = 0.80 \cdot M^{0.340}$$

(+95 %)



Tests at BAM TTS
Tests at Nanjing Test Site



Experimentelle Arbeiten (2)

Kleinversuche

Treibladung, Substanz (DTBP, n-Heptan), Mörser

Rohr D_i	V_{Heptan}	m_{Heptan}	V_{DTBP}	m_{DTBP}	$m_{Schwarzpulver}$	Versuche
100 mm	3.53 dm ³	2.40 kg	3.04 dm ³	2.40 kg	55 g	je 3
151 mm	8.06 dm ³	5.48 kg	6.94 dm ³	5.48 kg	125 g	je 3
211 mm	15.75 dm ³	10.71 kg	13.56 dm ³	10.71 kg	244 g	je 3

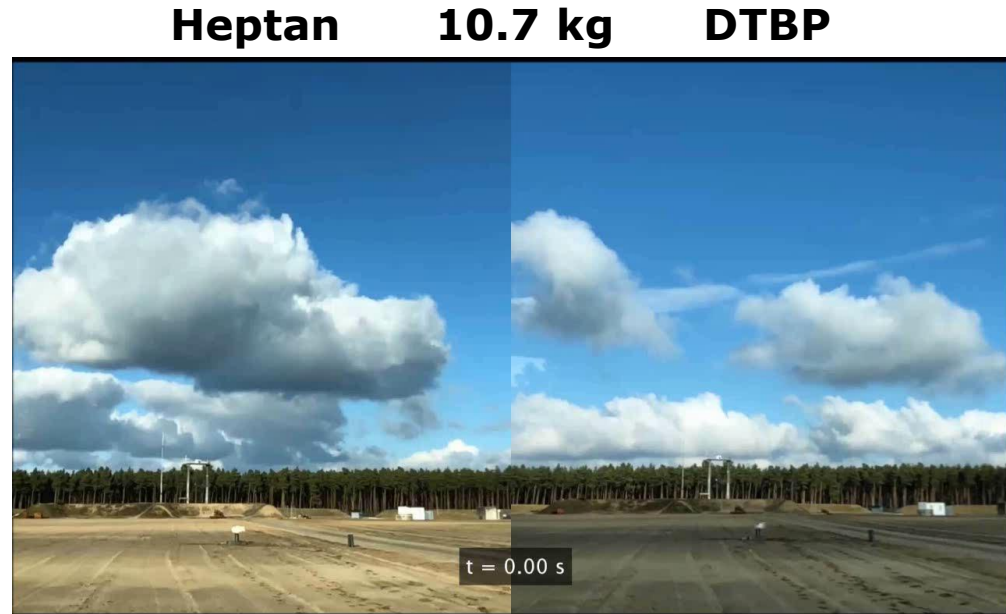
$$\frac{A}{V} = \frac{\frac{\pi D_i^2}{4}}{\frac{\pi D_i^2 L}{4}} = \frac{1}{L}$$

→ **Rohrlänge = konst.**
= 600 mm



Experimentelle Arbeiten (2)

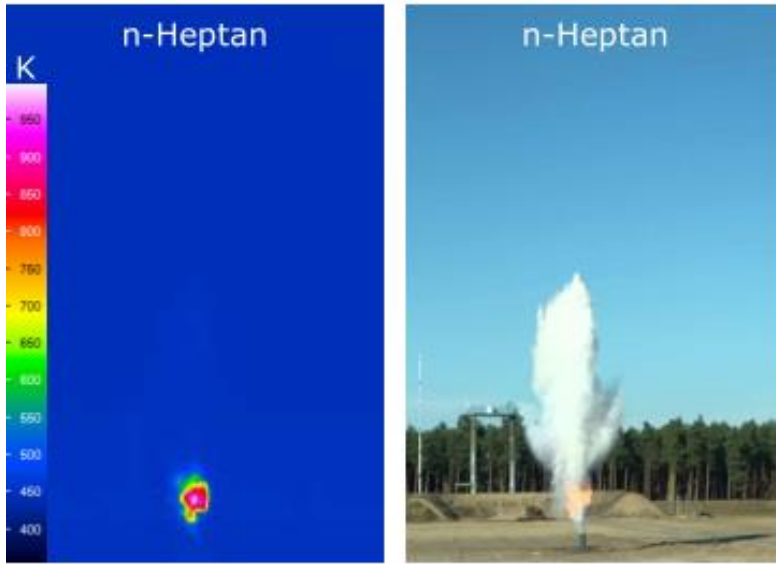
Ergebnisse der Kleinversuche



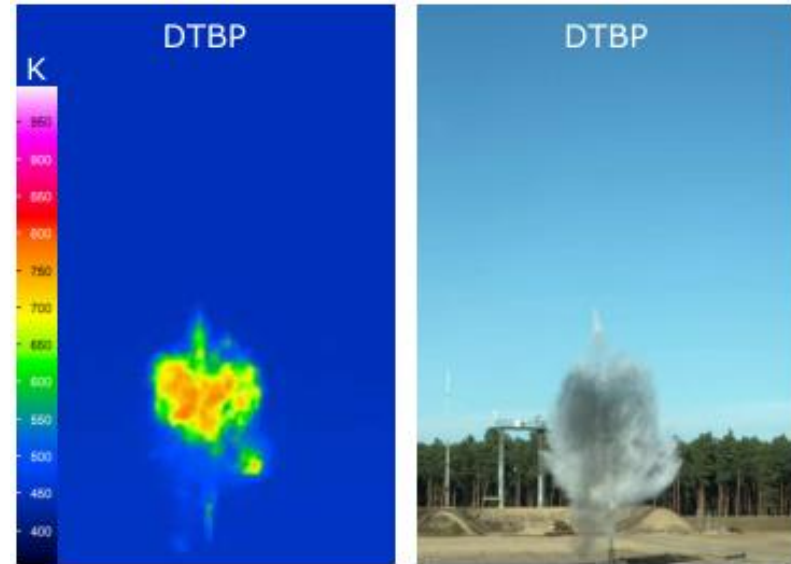
Experimentelle Arbeiten (2)

Ergebnisse der Kleinversuche

Langsame Verdampfung durch
Verbrennungswärme



Schlagartige Verdampfung durch
Zersetzung (BLEVE-Charakter)



Auswirkungen auf Regelwerke?

Bestimmungen der UVV Organische Peroxide [2]

- Einteilung der OP in Gefahrgruppen Ia, Ib, II und III
- Abstände Lager/Betrieb – Verwaltungs-/Sozialgebäude

Typische Einstufung von DTBP im Stahlfass, Gefahrgruppe Ia oder Ib

Ia: $E = 0.124 \cdot A_K^{1/2} \cdot M^{1/3}$ - $M > 100$ kg, A_K korrigierter Stoffdurchsatz

Ib: $E = 7.3 \cdot M^{1/5}$ - 200 kg $< M < 10000$ kg

Beispiel: Lager mit 20 Fässern a 160 kg DTBP, Ia, Flächenbelegung: 440 kg/m², $A_K = 300 \dots 1200$ kg/min

Auswirkungen auf Regelwerk?

Bestimmungen der UVV Organische Peroxide

Szenario Poolfeuer

Nach UVV: $E = 32 \dots 63 \text{ m}$

- Abschätzung eines DTBP Poolfeuers mit Durchmesser D (Annahme rundes Lager), Flammenhöhe $H/D=6$, $SEP = 220 \text{ kW/m}^2$ [3]

Kontinuierliche Bestrahlungsstärke in 32 m ... 63 m: $3.3 \text{ kW/m}^2 \dots 0.95 \text{ kW/m}^2$
Nach DGUV [4] ist die Grenzwirkdauer: $t = 12 \text{ s} \dots >100 \text{ s}$ (1.6 kW/m^2)

→ Genug Zeit für „Flucht“

Lagerabstand nach UVV OK.

Auswirkungen auf Regelwerk?

Bestimmungen der UVV Organische Peroxide

Szenario Poolfeuer/Feuerballüberlagerung

Nach UVV: $E = 32 \dots 63 \text{ m}$

- der Einfluss der kurzzeitigen Strahlungsspitzen durch vereinzelt auftretende Feuerbälle in einem großen Poolfeuer kann weitestgehend vernachlässigt werden
- Beurteilung von Überlagerungen ist in Diskussion

- Feuerbälle von organischen Peroxiden wurden mit DTBP anhand realistischer Worst-Case-Szenarien charakterisiert
- Neue semi-empirische Modelle für Feuerballdurchmesser, Abbranddauer, Wirkungshöhe und SEP wurden entwickelt
- Abschätzung der thermischen Gefahren nun möglich
- Strahlungsbewertung in Zusammenhang mit Lagerrichtlinien müssen noch eingehend studiert werden

[1] Casal, J., Arnaldos, J., Montiel, H., Planas, E., Vilchez, J., 2002. Modeling and Understanding BLEVEs. McGraw-Hill, New York, Abschnitt 22, pp. 22.1–22.27.

[2] BG RCI, Durchführungsanweisungen zur Unfallverhütungsvorschrift Organische Peroxide, 2000.

[3] Chun, H. Experimentelle Untersuchungen und CFD-Simulationen von DTBP-Poolfeuern. Thesis, BAM Dissertationsreihe 23, 2007.

[4] IFA DGUV, Expositionsgrenzwerte zum Schutz der Haut vor Verbrennungen durch Wärmestrahlung, 2011.