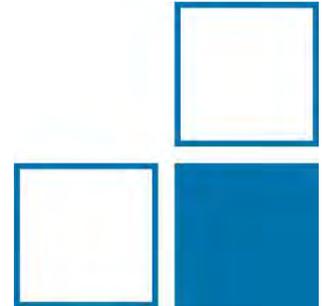




## NEX-HYS

Entwicklung von normungsfähigen Bestimmungsverfahren für  
sicherheitstechnische Kenngrößen des Explosionsschutzes  
von hybriden Stoffgemischen

E. Askar, D. Gabel, W. Hirsch, J. Kleinert, U. Krause, A. Krietsch,  
J. Meistes, A. Sachtleben, M. Schmidt, V. Schröder, S. Zakel  
und  
P. Goergen, V. Heilmann, S. Spitzer, J. Wandt



## Normungsfähige Bestimmungsverfahren für sicherheitstechnische Kenngrößen des Explosionsschutzes

hybride Stoffgemische:

- Gas-Staub-Gemische
- Dampf-Staub-Gemische

Kenngrößen:

- Explosionsgrenzen, Sauerstoffgrenzkonzentration
- Zündtemperatur
- Maximaler Explosionsdruck und maximale Druckerhöhungsgeschwindigkeit



## WIPANO

Wissens- und Technologietransfer durch  
Patente und Normen

- Beginn: 1.3.2019
- Laufzeit: 24 + 12 Monate
- Finanzieller Umfang: 1 Mio €
- Durchschnittliche Förderquote: 71 %

Supported by:



Federal Ministry  
for Economic Affairs  
and Energy

on the basis of a decision  
by the German Bundestag

- Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Institut für Apparate- und Umwelttechnik
- Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin  
Fachbereich 2.1 "Gase, Gasanlagen"
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig  
AG 3.71 „Sicherheitstechnische Kenngrößen"
- Inburex Consulting GmbH, Hamm
- Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin  
Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundlagen  
(NASG)



- Hybride Gemische haben technisch hohe Relevanz
- keine europäischen Normen für Bestimmungsverfahren verfügbar
- Wenig Literatur verfügbar, sehr unterschiedliche Messapparaturen
- Literaturstudie der DEKRA-EXAM <sup>[1]</sup> zur explosionstechnischen Bewertung von hybriden Gemischen kann für die Entwicklung genutzt werden

Explosionseigenschaften ändern sich oft nicht linear mit den Anteilen der Komponenten im Gemisch

[1] Hesener, U. und Beck, M.: Forschungsbericht Sicherheitstechnische Kenngrößen von hybriden Gemischen vom 31.03.2016, DEKRA-EXAM

# Beispiel: Untere Explosionsgrenze

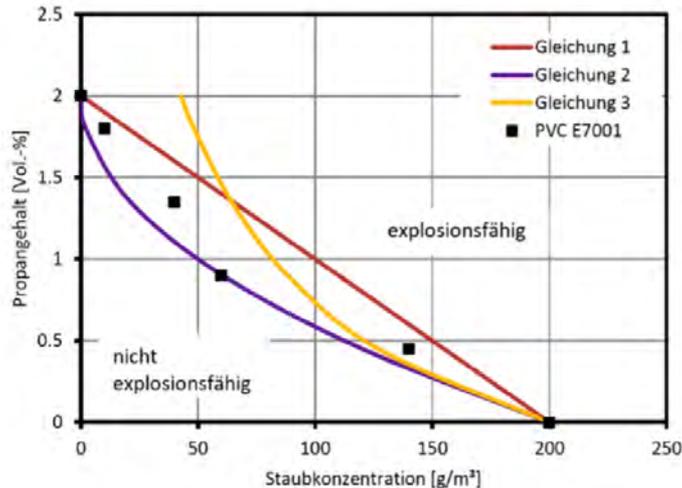
$$UEG_{St,H} = UEG_{St} \cdot \left(1 - \frac{c_G}{UEG_G}\right) \quad (1)$$

$$UEG_{St,H} = UEG_{St} \cdot \left(\frac{c_G}{UEG_G} - 1\right)^2 \quad (2)$$

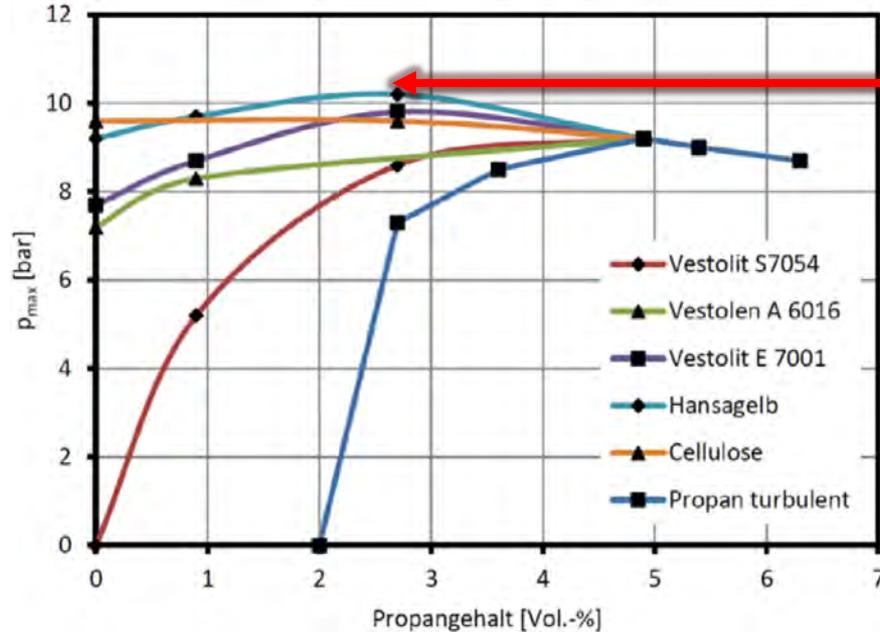
$$UEG_{St,H} = UEG_G \cdot \left(\frac{1}{\frac{UEG_G - c_G}{UEG_{St} + UEG_G} + \frac{c_G}{UEG_G}} - 1\right) \quad (3)$$

UEG von PVC-Staub bei Zugabe von Propan [1]

- verschiedene Ansätze zur Berechnung der UEG hybrider Gemische vorhanden
- einfache lineare Interpolation (Gl. 1) würde die UEG zur unsicheren Seite abschätzen

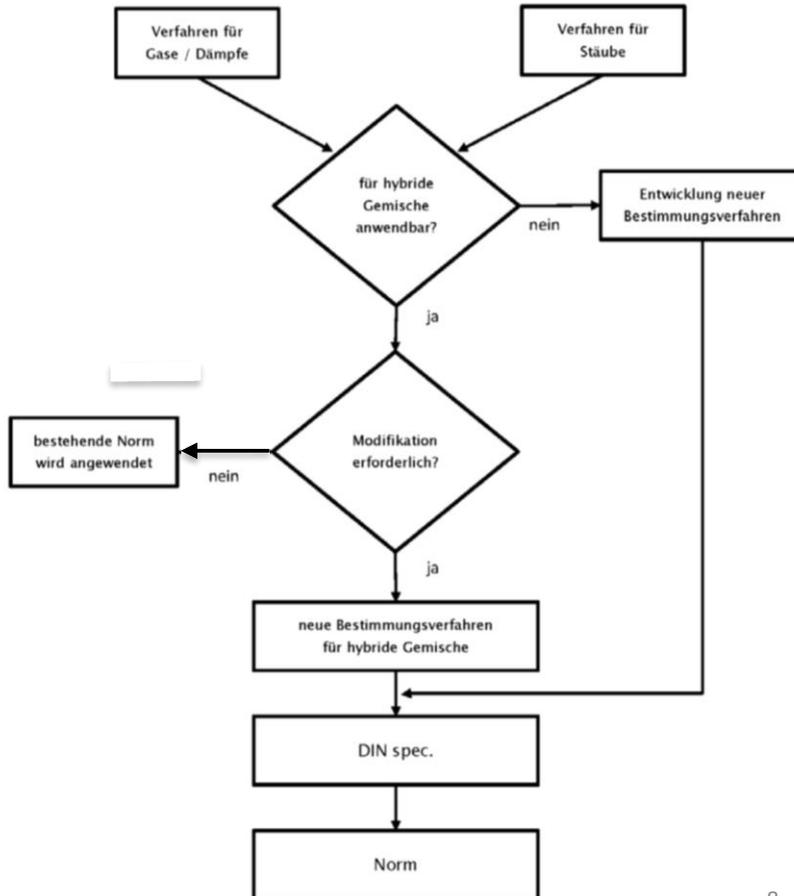


# Beispiel: maximaler Explosionsdruck



$p_{\max}$  kann höher liegen als der maximale Explosionsdruck der einzelnen Komponenten

Explosionsdruck in Abhängigkeit vom Propananteil [1]



Zusammenführung der Bestimmungsverfahren für Gase und Stäube

## Dämpfe/Gase

- verdampfen/vormischen
- ruhendes Gemisch
- Zündenergie bis 20 J
- Stahlkugel mit Druckkriterium
- Exgrenzen: Glasapparatur mit visuellem Kriterium

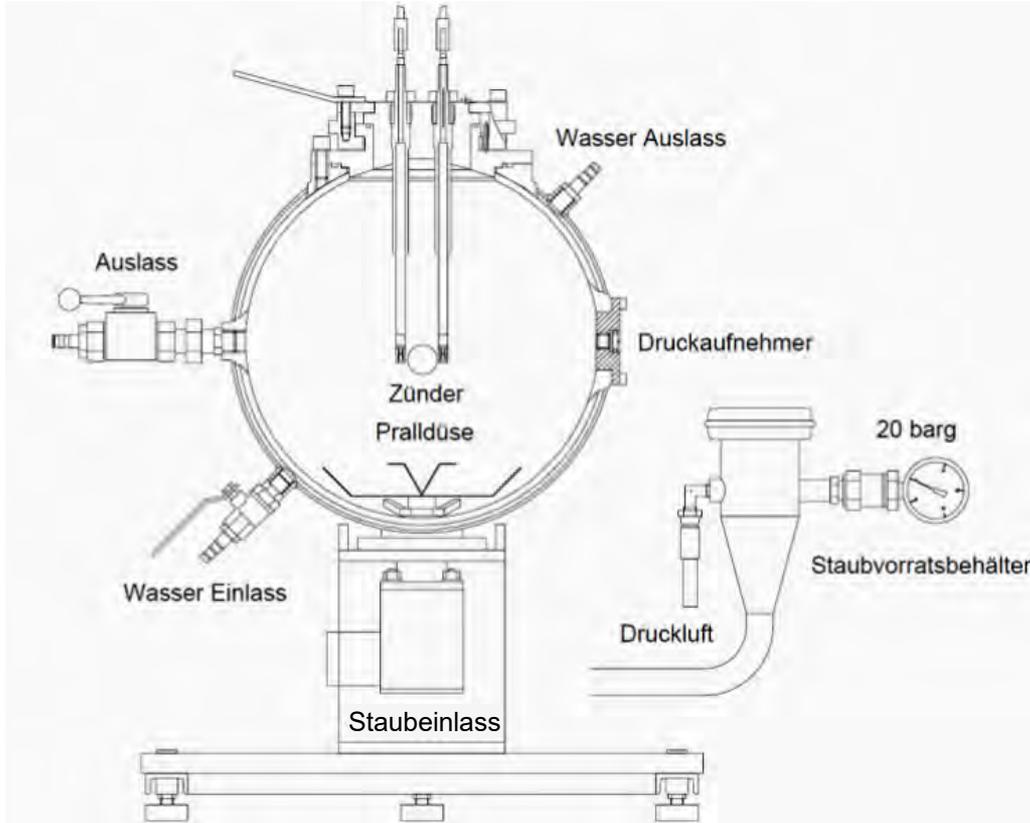


## Stäube

- aufwirbeln
- turbulentes Gemisch
- Zündenergie 2 kJ
- Stahlkugel mit Druckkriterium



# Apparatur für den Labormaßstab



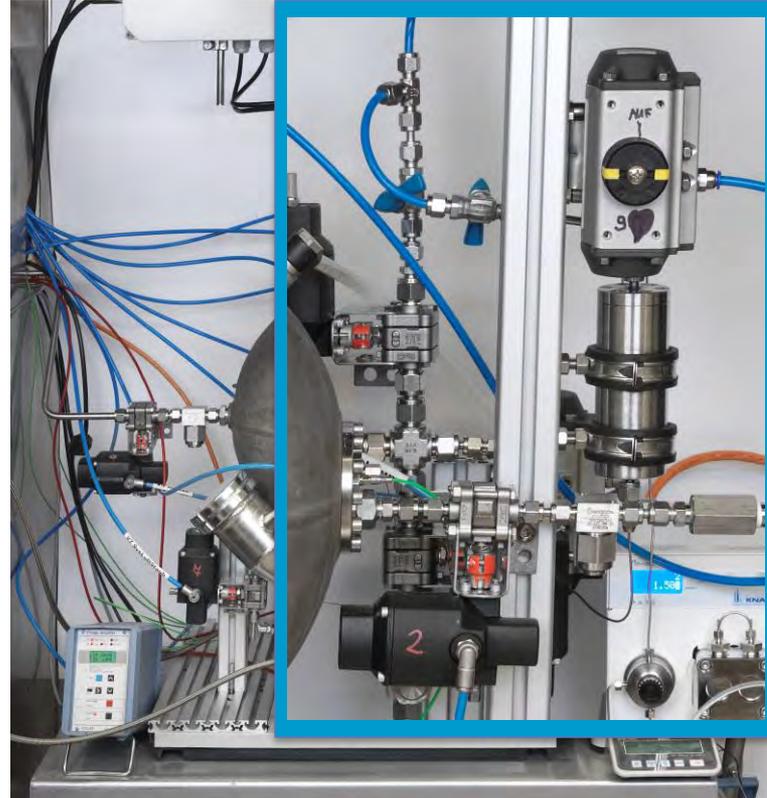
- 20 L-Staubkugel
- Gas-/Dampfzufuhr

## Modifikationen:

- Elektrische Zündeinrichtung mit einstellbarer Zündenergie von 20 J (Gase, Dämpfe) bis 2 kJ (Stäube)
- Zusätzliche Messtechnik ( $c_{O_2}$ , Strömungsgeschwindigkeit)
- Neukonzeption der Datenaufnahme

# Einbringen des Dampfes

- Teilautomatisierte Steuerung der Versuche
- Installation einer 30 ml Vorkammer zur Flüssigkeitsdosierung
- Spritzenpumpe zur exakteren Dosierung
- Vermischung durch Druckstoß aus Staubtüte



# Scale up in den Technikumsmaßstab

20 L-Kugel



1m<sup>3</sup>-Behälter



## Maisstärke

- Verifizierung der Apparaturen mit Niacin (CaRo)
- Ringversuch Partner Maisstärke
- Chemische Zünder
- 2 t getrocknete Maisstärke
- Feuchte: 6,8 Gew.-%
- Medianwert: 41  $\mu\text{m}$



## Isopropanol

- Elektrische Zünder: Induktionsfunke
- Partialdruckverfahren
- Verifizierung der Apparatur mit Methanol 99,5 % (DIN EN 15967) und n-Hexan 99,0 % (DIN EN 1839)



## Methan

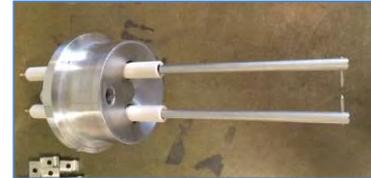
- Elektrische Zünder: Induktionsfunke und Schmelzdraht
- Partialdruckverfahren
- Verifizierung nach DIN EN 15967 und DIN EN 1839
- Reinheit min 99,8 %

Auswahl eines Zündsystems für die weiteren Versuche

➤ chemische Zünder



➤ Induktionsfunke



➤ Schmelzdraht



## Dämpfe und Gase

## Stäube

### DIN EN 1839-Methode T

- Induktionsfunkenfolge
- 15 kV, 25 mA
- Zeitschalter 0,2 s oder 0,5 s
- 5 mm Elektrodenabstand
- 180°-Anordnung
- Leistung 10 W
- Ablösung/große Aureole
- Eine Zündquelle

### DIN EN 1839-Methode B

- Induktionsfunkenfolge
- oder NiCr -Schmelzdraht
- HZG: Trenntrafo/Phase
- 5 mm Abstand, parallel
- Zündenergie 10 J - 20 J
- Zünddauer 10 ms
- Zündkriterium: 5 % über Anfangsdruck
- Eine Zündquelle

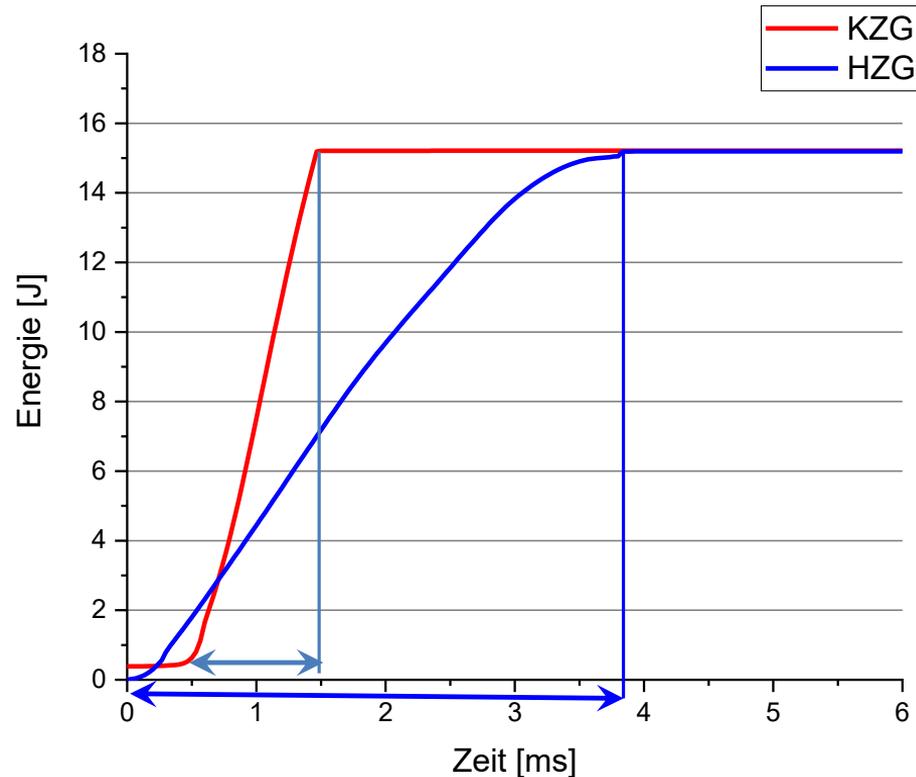
### DIN EN 14034-3

- Chemische Zünder
- 180° Anordnung
- Zündenergie 2 kJ
- Verzugszeit (60 ± 5) ms
- Zünddauer 10 ms
- Zündkriterium 0,3 bar über Anfangsdruck
- Zwei Zündquellen



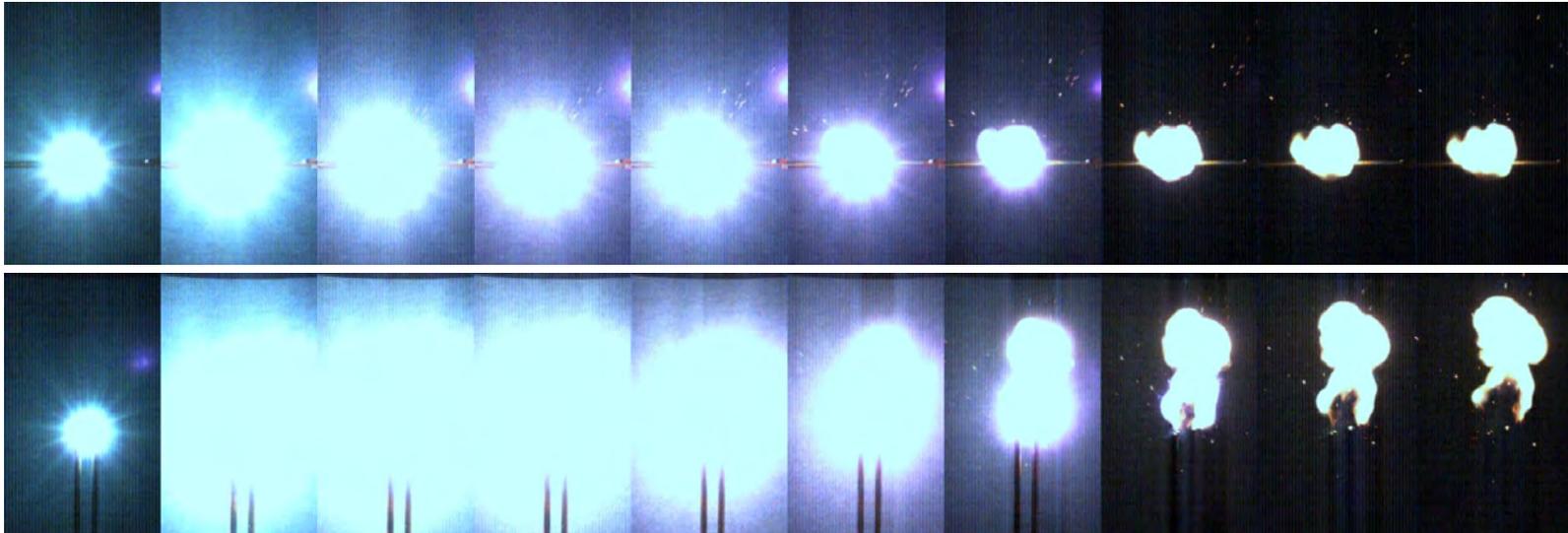
# Vergleich von HZG und KZG

- bei 15 Joule:  
1 ms (KZG)  
3,8 ms (DIN EN 1839)
- HZG < 40 J



# Elektrodenanordnung HZG

- Elektrodenwinkel hat Einfluss auf die Streuung der Zündenergie
- Elektrodenabstand hat Einfluss auf die Streuung der Zündenergie



- Partialdruckverfahren
- Quantitativer Einfluss der Turbulenz auf die Kenngrößen der Gase und Dämpfe
- Einblasen von Staub zu Dampf oder Gas/Luft-Gemischen
- Bestimmung und Festlegung des Mischungszustandes

- AP3 Explosionswirkung

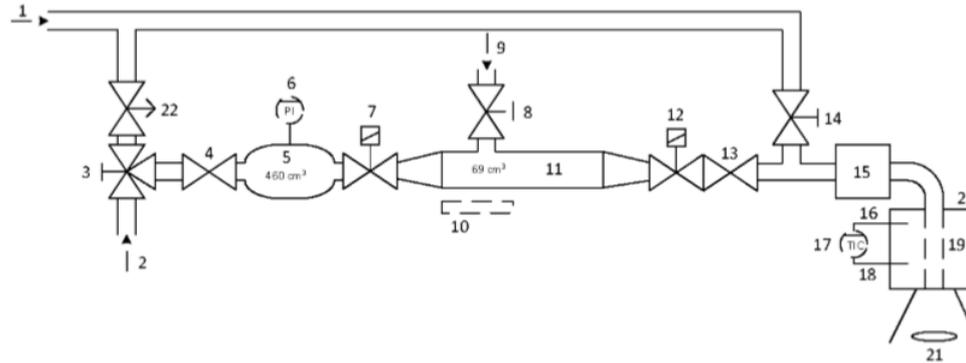
Messungen des Explosionsdrucks und der Druckanstiegsgeschwindigkeit für Staub oder Gas/Dampf-Gemische in Abhängigkeit von Zündenergie und Konzentration.

- AP4 Explosionsgrenzen

Messungen der UEG und der SGK, insbesondere in Abhängigkeit vom Verhältnis Staub zu Dampf der hybriden Staub/Dampf-Gemische.

# AP 5 Zündtemperatur

Anpassung des GG-Ofens und Messung an Einzelstoffen und hybriden Systemen



- |                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| 1. Druckluft Anschluss   | 12. Magnetventil       |
| 2. Gas Anschluss         | 13. Rückschlagventil 2 |
| 3. Kugelhahn             | 14. Kugelhahn          |
| 4. Rückschlagventil 1    | 15. Staubvorlage       |
| 5. Gasreservoir          | 16. Thermoelement      |
| 6. Digitale Druckanzeige | 17. Temperaturregler   |
| 7. Magnetventil          | 18. Stromversorgung    |
| 8. Kugelhahn             | 19. Zündraum           |
| 9. Flüssigkeitseinlass   | 20. GG-Ofen            |
| 10. Heizelement          | 21. Spiegel            |
| 11. Flüssigkeitsvorlage  |                        |

- AP6 Untersuchungsbegleitende und normungs- und standardisierungsvorbereitende Arbeiten
  - Unsicherheitsbudget und Zündwahrscheinlichkeiten
  - Methodenbeschreibung und exemplarischen Arbeitsanweisungen (SOP)
  - Vorbereitung von Normen (DINSPEC-PAS)
  - Internationale Abstimmung: Kontaktaufnahme und Abstimmung mit Testlabors
  - Vorbereitung eines Work Items für CEN TC 305
  
- AP7 Abschlussbericht

- Erarbeitung von SOP für die Bestimmungsverfahren der Kenngrößen
- Validierung der Verfahren mit ausgewählten mehrphasigen Systemen unterschiedlicher laminarer Flammengeschwindigkeit
- 3 Promotionsarbeiten BAM, PTB und Inburex
- Arbeitsgruppe DIN SPEC-PAS: erleichtert die Überführung in die CEN-Normung
  - Industrie, Berufsgenossenschaften und Prüfinstitute können sofort bereits nach DIN-SPEC arbeiten
  - Kunden erhalten zusätzliche Sicherheit, da Bestimmung nach DIN SPEC mit validierten Messverfahren erfolgt



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100  
38116 Braunschweig

Dr. Sabine Zakel

Telefon: 0531 592-3710

E-Mail: [sabine.zakel@ptb.de](mailto:sabine.zakel@ptb.de)

[www.ptb.de](http://www.ptb.de)



Stand: 11/19