

30.11.2022

---

# ENTZÜNDUNG VON WASSERSTOFF- HALTIGEN ATMOSPHÄREN DURCH MECHANISCHE SCHLAGVORGÄNGE

Enis Askar, Thomas Grunewald

---

---

## **1. Hintergrund und Motivation**

2. Experimenteller Aufbau und Methoden

3. Ergebnisse: Wasserstoff

4. Ergebnisse: Wasserstoff-Erdgas-Gemische

5. Fazit

## ATEX Directive 1999/92/EC art. 3: (Betriebsicherheitsrichtlinie)

"... the employer shall take technical and/or organizational measures ... , in order of priority and in accordance with the following basic principles:

### 1. Primärer Explosionsschutz

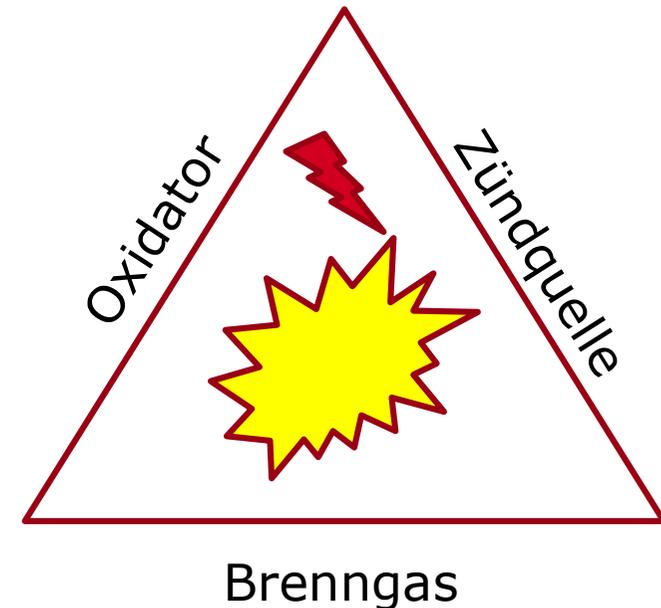
- Vermeidung von explosionsfähigen Gemischen

### 2. Sekundärer Explosionsschutz

- Vermeidung von Zündquellen

### 3. Konstruktiver Explosionsschutz

- Begrenzung der Auswirkungen von Explosionen



# Typische Zündquellen

1. **Heiße Oberflächen**
2. **Flammen und heiße Gase**
3. **Zündquellen durch mechanische Reib-, Schlag- und Abtrennvorgängen**
4. **Elektrische Anlagen**
5. **Elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz**
6. **Statische Elektrizität**
7. Blitzschlag
8. Elektromagnetische Felder im Bereich der Frequenzen von 9 kHz bis 300 GHz
9. Elektromagnetische Strahlung im Bereich der Frequenzen von 300 GHz bis 3000 THz
10. Ionisierende Strahlung
11. Ultraschall
12. Adiabatische Kompression, Stoßwellen, strömende Gase
13. **Chemische Reaktionen**

# Praxisbeispiel – Wartungsarbeiten an Druckregelanlagen

---



- Absperrung, Entspannung und Öffnung von Teilabschnitten für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten
- Spülung von Teilabschnitten mit Stickstoff vor dem Öffnen i.d.R. sehr aufwändig
- Definition von Explosionszonen, in denen Zündquellen während der Wartungsarbeiten ausgeschlossen werden müssen

Quelle: DGUV – DGUV Information 203-092

---

# Mechanische Schlagvorgänge als Zündquelle



Bei mechanischen Schlägen kann eine Entzündung explosionsfähiger Gemische durch abgetrennte Partikel erhöhter Temperatur an heißen Reibflächen erfolgen.

Die Zündwahrscheinlichkeit ist u.a. abhängig von:

- der Werkstoffpaarung
- der Schlagenergie
- dem Brenngas - Beurteilung nach Explosionsgruppe (EG)

EG	MESG [mm]	MIC [mJ]
<b>IIA</b>	>0.9	≥0.8
<b>IIB</b>	0.5-0.9	0.45-0.8
<b>IIC</b>	<0.5	≤0.45

Durch Schlageinwirkung erzeugte Zündquellen brauchen nicht als wirksame Zündquellen berücksichtigt zu werden, wenn die Aufschlaggeschwindigkeit geringer als 15 m/s und die maximal mögliche potentielle Energie geringer ist als die in den Tabellen 4, 5, 6 und 7 angegebenen Werte" (ISO 80079-36:2016)

EG	Funkenarme Metalle	Sonstige Stoffe
<b>IIA</b>	<b>125 J</b>	<b>20 J</b>
<b>IIB</b>	<b>125 J</b>	<b>10J</b>
<b>IIC</b>	<b>60 J</b>	<b>5J (H<sub>2</sub>)</b>

Grenzwerte der Energie von einzelnen Schlägen beim EPL Ga

# Projekt HySpark – Ziele



---

## Projektpartner:



## Fragestellungen:

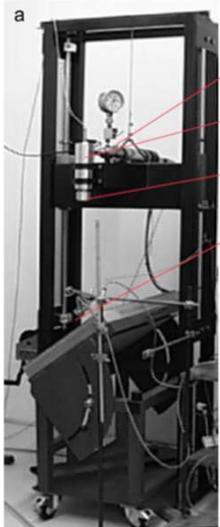
1. Wie wirksam sind Schlagfunken als Zündquelle für Wasserstoff in Abhängigkeit von der (inhomogenen) Werkstoffpaarung?
2. Wie ändert sich die Wirksamkeit von Schlagfunken als Zündquelle, wenn Wasserstoff zum Erdgas beigemischt wird?

# Agenda

- 
1. Hintergrund und Motivation
  - 2. Experimenteller Aufbau und Methoden**
  3. Ergebnisse: Wasserstoff
  4. Ergebnisse: Wasserstoff-Erdgas-Gemische
  5. Fazit

# Aktuelle Literatur Schlagfunken

## Proust et al. (2007) – MECHEX

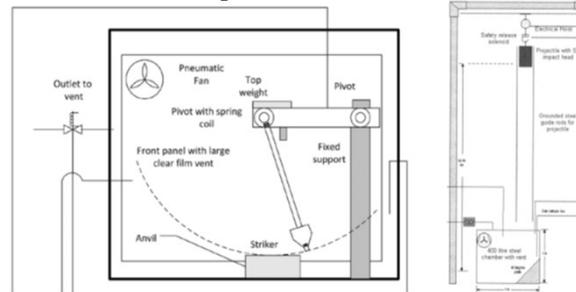


Beschuss von angewinkelten Schlagplatten mit Projektilen (zylindrische Metallstangen)

Bestimmung des Energieeintrags durch Aufprall. Keine H<sub>2</sub>-Versuche

- Bedeutung „Hot-Surface-Ignition“ (gegenüber „Spark-Ignition“)
- Bedeutung Aufprallgeschwindigkeit (gegenüber Schlagenergie)

## Avril, Ingram et al. (2014-2020) – London South Bank University



- Hintergrund: Atommüll-Entsorgung (→ kontaminierte Oberflächen)
- Einfluss der Einschlagbedingungen auf Zündwahrscheinlichkeit (Aufprallgeschwindigkeit, Form des Projektils)
- ISO 80079-36 betrachtet worst-case scenarios
- Notwendigkeit von Experimenten

## Shebeko et al. (2015) – Russian Institute for Fire Protection

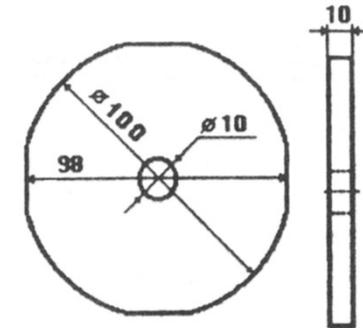


Fig. 2. Diagram of the rotating disk.

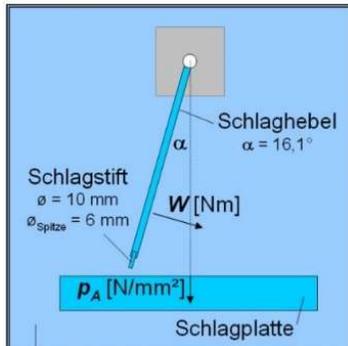
- Kombination von Schlag- und Reibfunken
- Einfluss der Werkstoffpaarungen, keine Schlagenergie definiert
- Theoretische Betrachtung: Gasvolumen mit  $D=\delta$  Voraussetzung für Zündung
- Bedeutung Wärmeleitfähigkeit

# Versuchsapparatur

## Foto der Schlagfunkenapparatur



## Schematische Darstellung



## Videoaufzeichnung des Schlagvorgangs

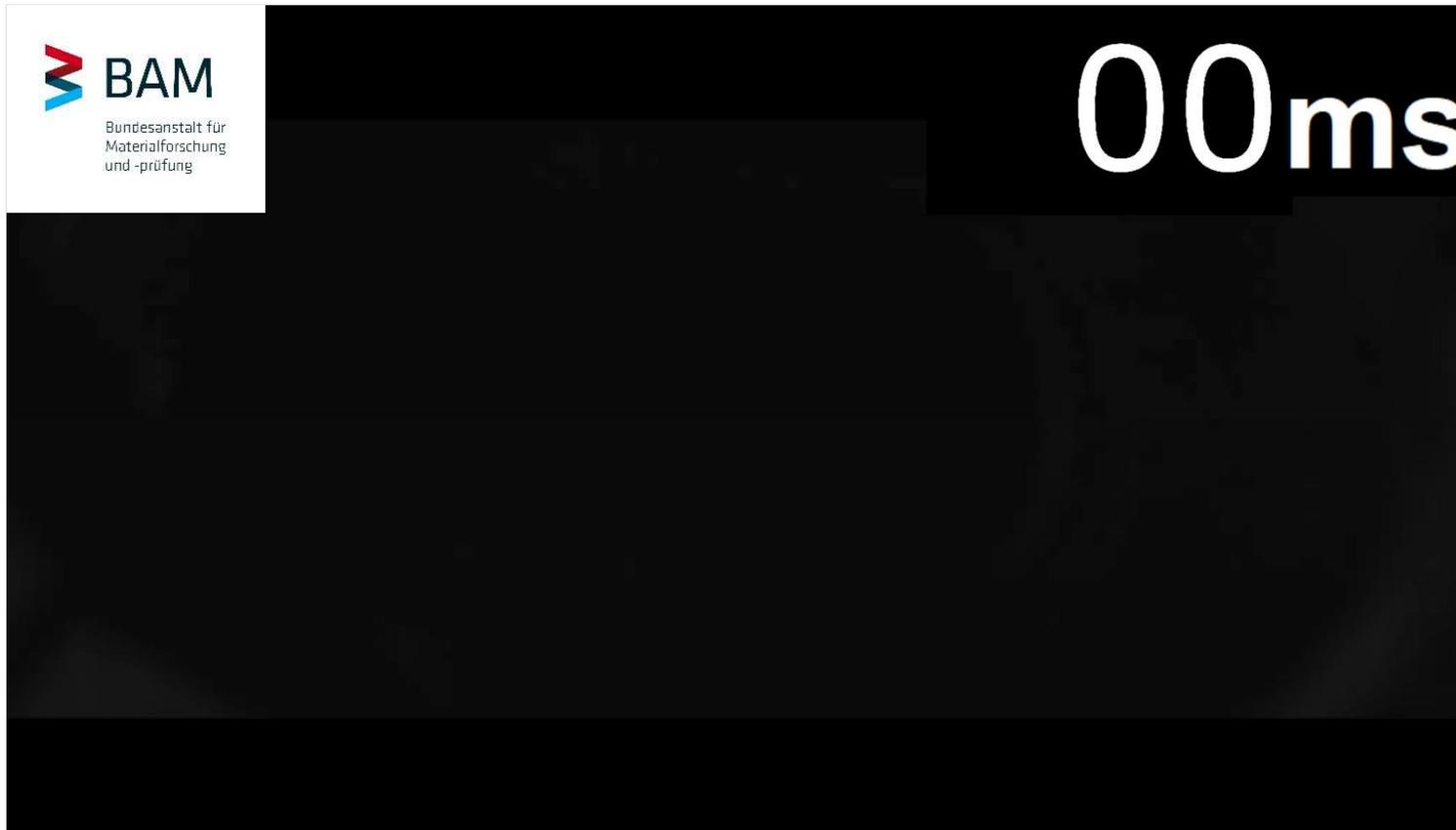


Normale  
Geschwindigkeit



1/4 Geschwindigkeit

# High-Speed Aufnahme des Schlagvorgangs (Versuch 1 – Zündung an Reibstelle)



- Materialpaarung:  
Stahl 1.0579 vs.  
Stahl 1.0579  
(homogen)
- Gasgemisch:  
10%H<sub>2</sub> + 1%CH<sub>4</sub>  
in Luft
- Schlagenergie: 61 J

# High-Speed Aufnahme des Schlagvorgangs (Versuch 2 - Partikelzündung)



00ms

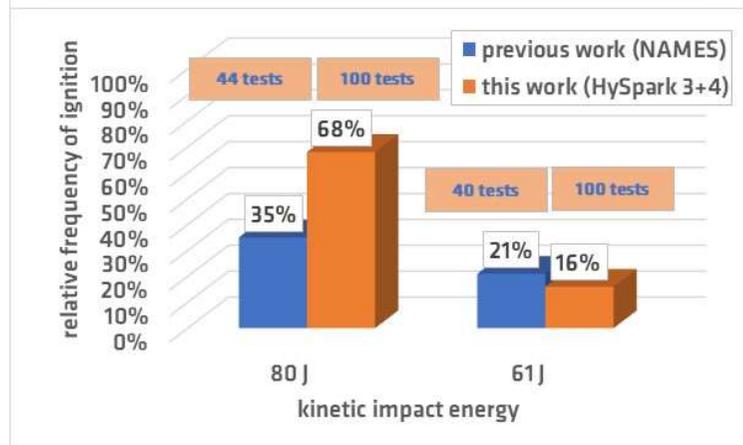
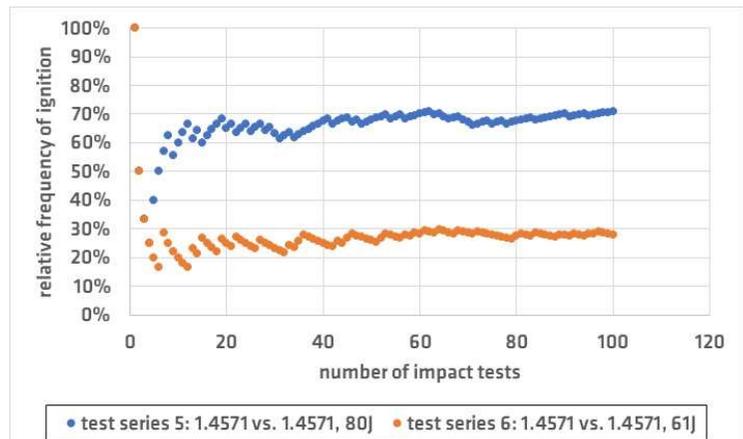
- Materialpaarung:  
Stahl 1.0579 vs.  
Stahl 1.0579  
(homogen)
- Gasgemisch:  
10%H<sub>2</sub> + 1%CH<sub>4</sub> in  
Luft
- Schlagenergie: 61 J
- **Wiederholung von  
Versuch 1 ohne  
Veränderung der  
Versuchs-  
parameter**

# Vorversuche

6 Vorversuchsreihen zur Methodvalidierung und Festlegung der Versuchsparameter durchgeführt

- **100 Versuche je Versuchsreihe** festgelegt
- Schlagenergie von **61 J** ( $\rightarrow v = 8 \text{ m/s}$ ,  $F/A = 1,6 - 6,4 \text{ N/mm}^2$ ), Bezug zu Regelwerken (ISO 80079-36, TRGS 723 etc.) gegeben
- Reproduzierbarkeit der Ergebnisse mit der verwendeten Methode insgesamt zufriedenstellend
- Homogene Materialpaarung 1.4571 weist geringfügig höhere Zündwahrscheinlichkeit auf als 1.4541

Einfluss der Anzahl der Schläge auf die relative Häufigkeit der Zündungen (oben) und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse (unten)



# Materialeigenschaften

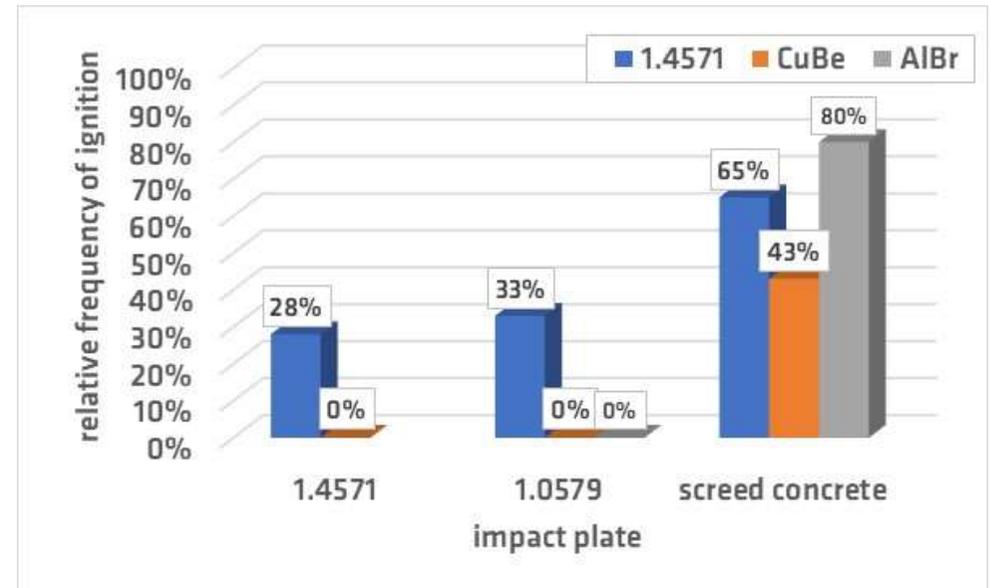
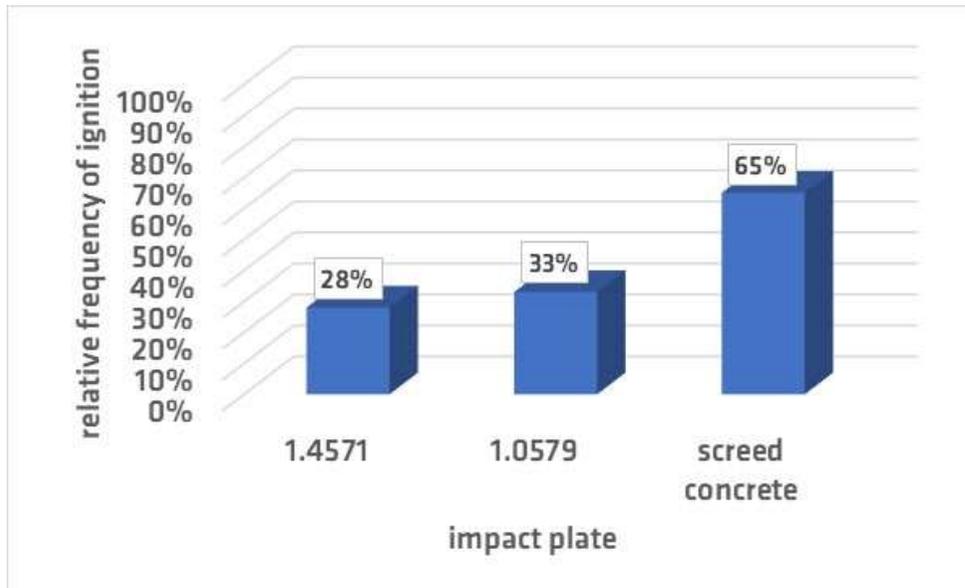
Physikalische Eigenschaften bei 20 °C:

	Stahl unlegiert	Edelstahl		funkenarme, nicht- eisen Metalle		Beton
	1.0579 1.0577	1.4541	1.4571	(2.1247) CuBe	2.0966 (AlBr)	Estrich- Beton
<b>Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)]</b>	42 – 54	15	15	120 – 170	50	ca. 1,4
<b>Spez. Wärmekapazität [J/(kg*K)]</b>	461	500	500	420	-	1000
<b>Dichte [kg/dm<sup>3</sup>]</b>	7.85	7.9	8.0	8.3	7.6	ca. 2,0- 2,2
<b>Elastizitätsmodul [kN/mm<sup>2</sup>]</b>	210 - 212	200	200	135	120	ca. 10-15

# Agenda

- 
1. Hintergrund und Motivation
  2. Experimenteller Aufbau und Methoden
  - 3. Ergebnisse: Wasserstoff**
  4. Ergebnisse: Wasserstoff-Erdgas-Gemische
  5. Fazit

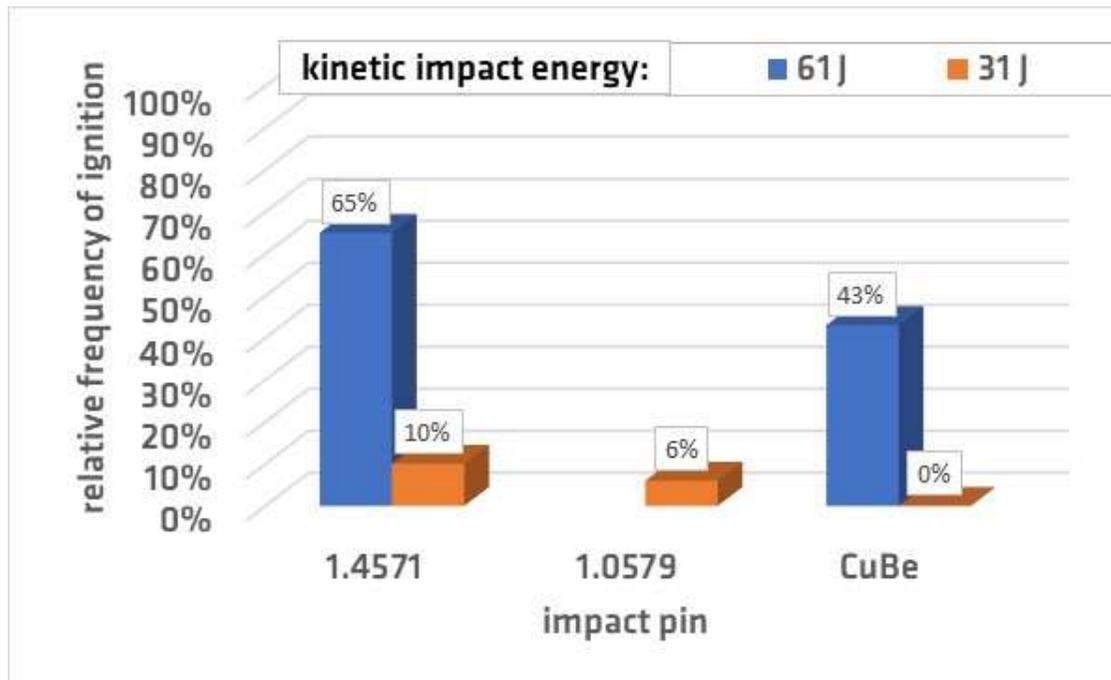
# Zündwahrscheinlichkeiten in wasserstoffhaltigen Atmosphären (61 J)



**Fazit:** Bei Schlagstiften aus gleicher Stahlsorte (1.4571) geringer Einfluss der Stahlsorte der Schlagplatte (1.4571 vs. 1.0579). Bei einer Schlagplatte aus Estrich-Beton steigt die relative Häufigkeit der Zündungen erwartungsgemäß deutlich an

**Fazit:** Bei Schlagstiften aus Nicht-Eisen-Metallen ist in Kombination mit Estrich-Beton ist die ZW trotz „Funkenfreiheit“ hoch (sogar höher als bei Acetylen). Nicht berücksichtigt in ISO 80079-96.

# Zündwahrscheinlichkeiten in wasserstoffhaltigen Atmosphären (31 J)

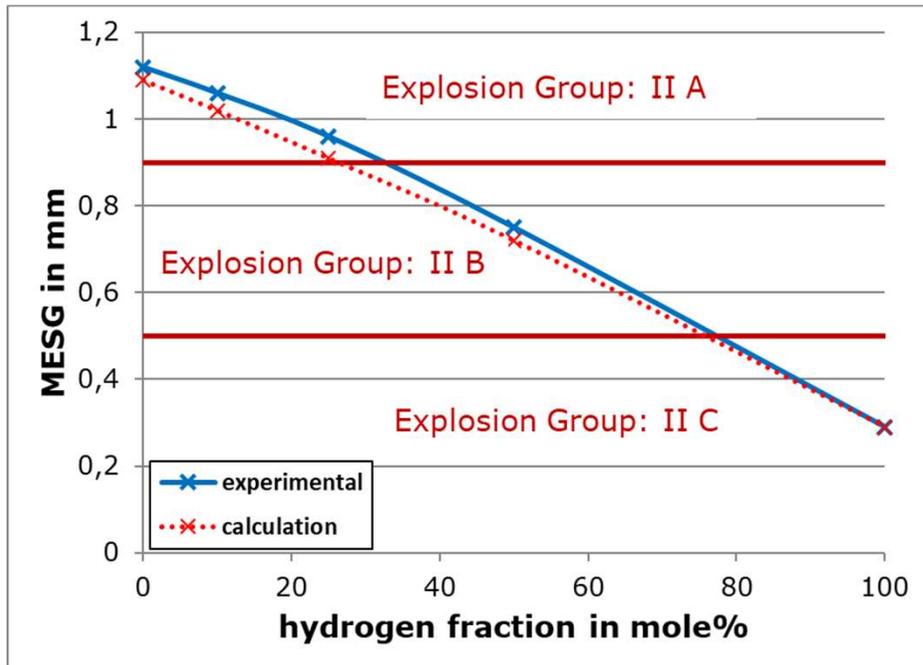


**Fazit:** Bei einer Reduktion der Schlagenergie auf 31 J wird mit den NE-Metallen die Entzündung auch bei Schlägen gegen Estrich-Beton verhindert. Bei den Eisenmetallen kann die Entzündung nicht durch Reduktion der kinetischen Schlagenergie auf 31 J verhindert werden.

# Agenda

- 
1. Hintergrund und Motivation
  2. Experimenteller Aufbau und Methoden
  3. Ergebnisse: Wasserstoff
  - 4. Ergebnisse: Wasserstoff-Erdgas-Gemische**
  5. Fazit

# Wasserstoff-Erdgas-Gemische: Explosionsgruppen



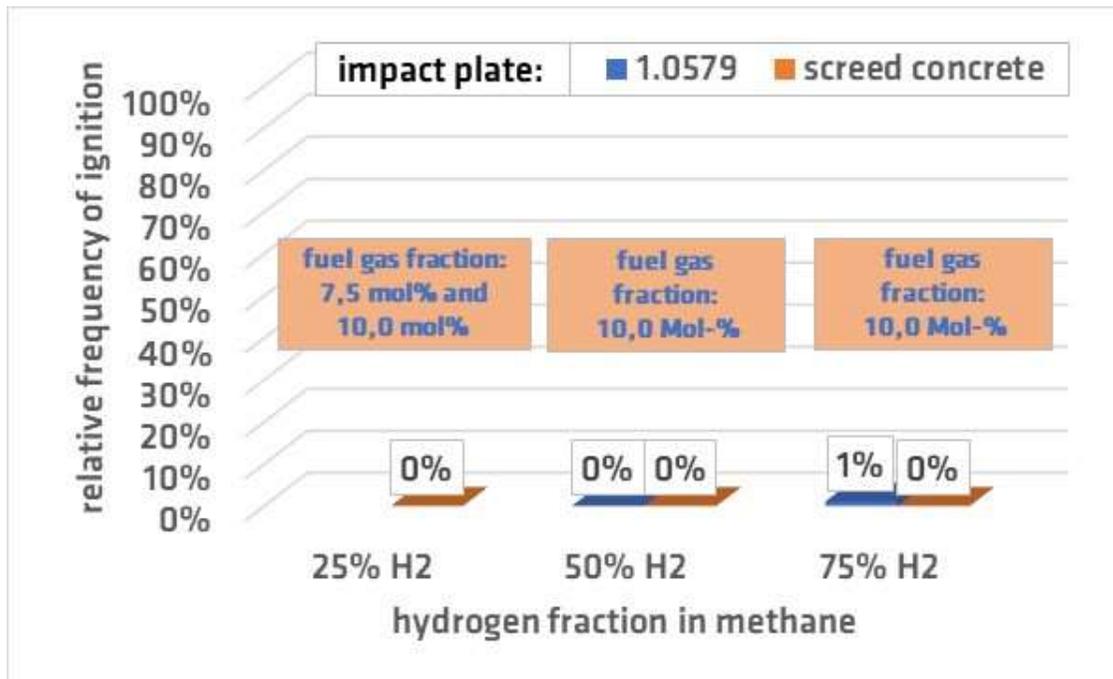
Berechnung nach CHEMSAFE/PTB-Korrelation

Die Zuordnung zu Explosionsgruppen (EG) erfolgt entsprechend der Grenzspaltweite (MESG) oder der Mindestzündenergie (MIE) wie folgt:

EG	MESG [mm]
IIA	>0.9
IIB	0.5-0.9
IIC	<0.5

**Fazit:** Die Grenzspaltweite nimmt tendenziell linear ab mit steigendem Wasserstoffanteil.

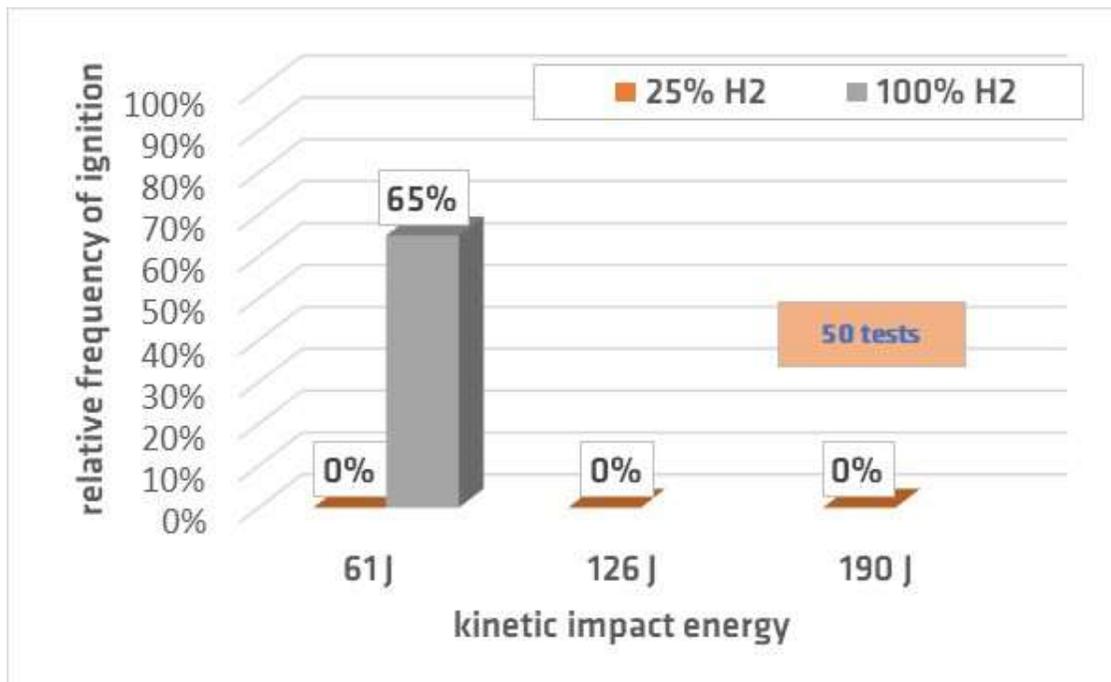
# Zündwahrscheinlichkeit H<sub>2</sub>-Methan bei unterschiedlichen H<sub>2</sub>-Anteilen



- Schlagstift aus 1.4571
- variable Schlagplatten (1.0579 und Beton)
- Kinetische Schlagenergie: 61 J

**Fazit:** Erst bei Gemischen mit einem Wasserstoffanteil von 75% in Methan konnte überhaupt eine Entzündung beobachtet werden. Das entspricht ungefähr dem Anteil, ab dem das Gemisch der Explosionsgruppe IIC zugeordnet werden müsste (gemäß der MESG bzw. MIC).

# Zündwahrscheinlichkeit 25% H<sub>2</sub> in Methan bei Erhöhung der Schlagenergie



**Ziel:** Ab welcher Schlagenergie ist für ein praxisrelevantes Gemisch aus 25% Wasserstoff in Methan ein Unterschied zu 100% Methan zu erkennen bei einer möglichst „ungünstigen“ Werkstoffpaarung?

Materialpaarung: 1.4571 vs. Estrich-Beton

# Agenda

- 
1. Hintergrund und Motivation
  2. Experimenteller Aufbau und Methoden
  3. Ergebnisse: Wasserstoff
  4. Ergebnisse: Wasserstoff-Erdgas-Gemische
  - 5. Fazit**

# Fazit



- Durch Verwendung von Werkzeugen aus Nichteisenmetallen kann eine effektive Entzündung von H<sub>2</sub>-haltigen Atmosphären verhindert werden (im Vergleich zu Werkzeugen aus Stahl). Dies kann auch mit der hohen Wärmeleitfähigkeit oder der geringeren Härte des Nichteisenmetalls zusammenhängen.
- Dennoch muss bei Schlägen gegen Estrich-Beton die kinetische Schlagenergie im Vergleich zu Stößen gegen Metalle weiter reduziert werden. Eine Anpassung von Vorschriften (ISO 80079-36 etc.) könnte sinnvoll sein.
- H<sub>2</sub> scheint leichter zu entzünden als Acetylen bei Entzündung hauptsächlich an heißer Reibfläche (und nicht durch hohe Anzahl abgetrennter Partikel mit erhöhter Temperatur). Die MZE allein deckt die Zündempfindlichkeit nicht vollständig ab.
- Für Gemische bis zu 25% H<sub>2</sub> in Methan wurde im Vergleich zu reinem Methan kein Unterschied hinsichtlich der Entzündbarkeit durch mechanische Schläge festgestellt. Ein Unterschied wurde für Gemische ab 75% H<sub>2</sub> in Methan beobachtet.
- Andere Materialpaarungen, wie Leichtmetalle und Leichtmetalllegierungen, sind noch nicht sehr gut untersucht.

---

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

## Kontakt:

Enis Askar

Thomas Grunewald

Telefon: +49 30 8104-4435

E-Mail: [enis.askar@bam.de](mailto:enis.askar@bam.de)

Telefon: +49 30 8104-4410

E-Mail: [thomas.grunewald@bam.de](mailto:thomas.grunewald@bam.de)

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