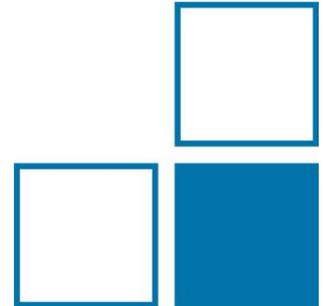


# Wasserstoff und seine Derivate als Energieträger

Aktuelle Forschung in der PTB

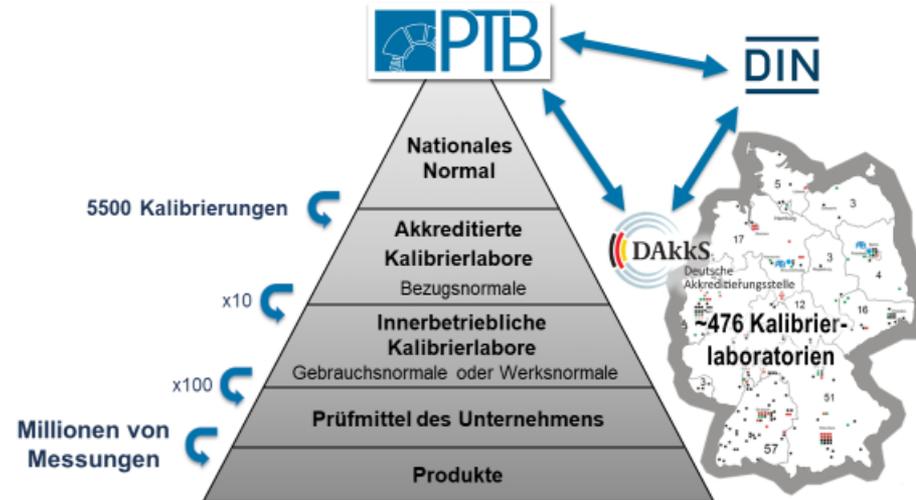
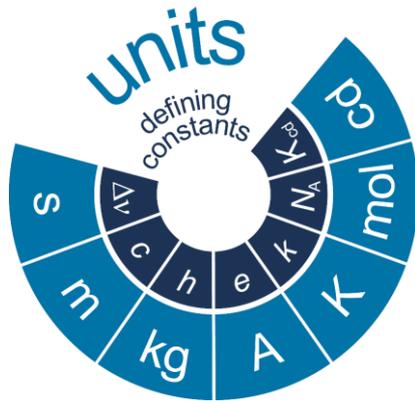
Stefan Essmann, AG 3.55 „Regenerative  
Energieträger und –speicher“



# Was ist die PTB?



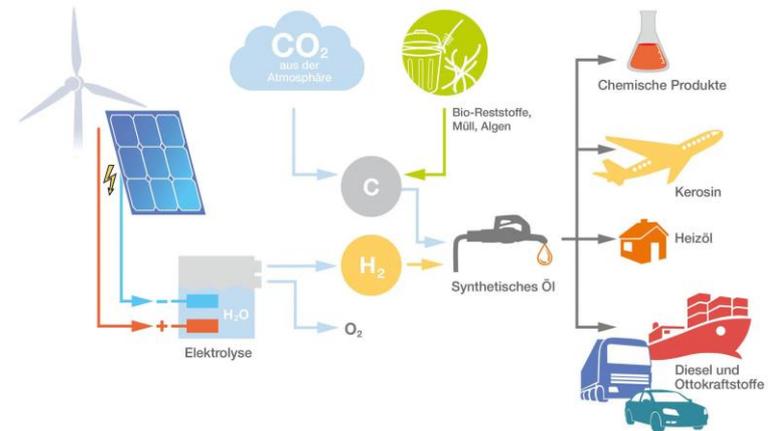
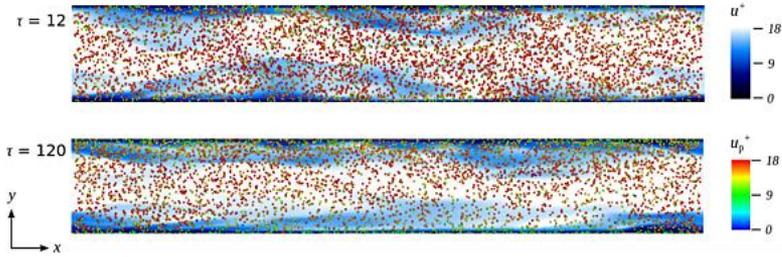
- Das nationale Metrologieinstitut der Bundesrepublik Deutschland
- Oberste Bundesbehörde beim BMWK
- Darstellung und Weitergabe der gesetzlichen Einheiten



# Was ist die PTB?



- Forschung für Wirtschaft und Gesellschaft
  - z. B. Rückführung großer Drehmomente für Windkraftanlagen
  - z. B. Messung der Effizienz von Solarzellen
- Konformitätsbewertung von Messgeräten
  - z. B. Waagen
  - z. B. Zapfsäulen
  - z. B. Geschwindigkeitsmessgeräte



- Explosionsschutz in der Energietechnik
- Forschung
  - Elektrostatische Aufladung beim Transport von Pulvern
  - Sicherheit und Effizienz regenerativer Kraftstoffe
  - Sicherheit von Batterien
- Dienstleistung
  - Konformitätsbewertung nach ATEX und IECEx
  - Ringvergleiche für den Explosionsschutz, internationale Harmonisierung



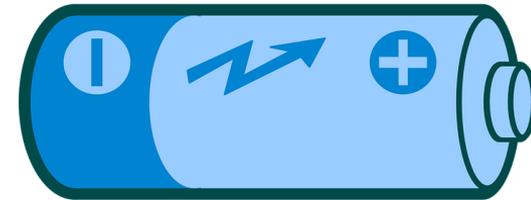


## Regenerative Energieträger und -speicher



efzn

Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen



*... vor dem Hintergrund Explosionsschutz*

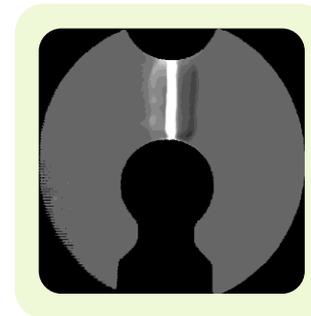


01

Vorstellung PTB



02  
PTB-Aktivitäten  
im Bereich  
Wasserstoff



03

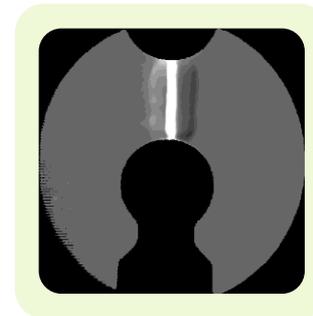
Beispiel:  
Zündung von  
 $\text{NH}_3/\text{H}_2$ /Luft-  
Gemischen



01  
Vorstellung PTB



02  
PTB-Aktivitäten  
im Bereich  
Wasserstoff



03  
Beispiel:  
Zündung von  
 $\text{NH}_3/\text{H}_2$ /Luft-  
Gemischen



Die  
Bundesregierung



**NATIONALE  
WASSERSTOFF-  
STRATEGIE**

Schlüsselement  
der Energiewende

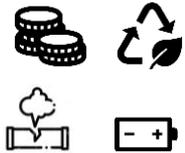
**„Hauptkomponenten dieser aufzubauenden,  
nationalen und europäisch vernetzten  
Mess- und Qualitätsinfrastruktur sind  
Metrologie und physikalisch-chemische Sicherheitstechnik.“**

Es bedarf insbesondere wissenschaftlich akzeptierter und regulatorisch verankerter Messmethoden und Bewertungskriterien sowie international akzeptierter technischer Normen und Standards.

Darüber hinaus muss ein hohes Sicherheitsniveau etabliert werden.“

(Nationale Wasserstoffstrategie – Ziele und Ambitionen; S. 8-9)

## Modellierung von Gasnetzen



- Ökonomische Charakterisierung von Gasen
- Umwandlungseigenschaften
- Speicherdichte
- Leckraten

## Sicherheitstechnik



- Explosionsschutz
- Sicherheit für öffentliche Akzeptanz
- Normen
- Gesetzgebung

## Einzelmessgrößen



- Druck
- Temperatur
- Durchfluss
- Dichte von LOHC
- Heizwert
- Reinheit
- Wirkungsgrad

## Referenzdaten



- Brennwert
- Referenzgase
- Sicherheitstechnische Kenngrößen
- Spektrale Daten

## Regulierung/ Konformitätsbewertung

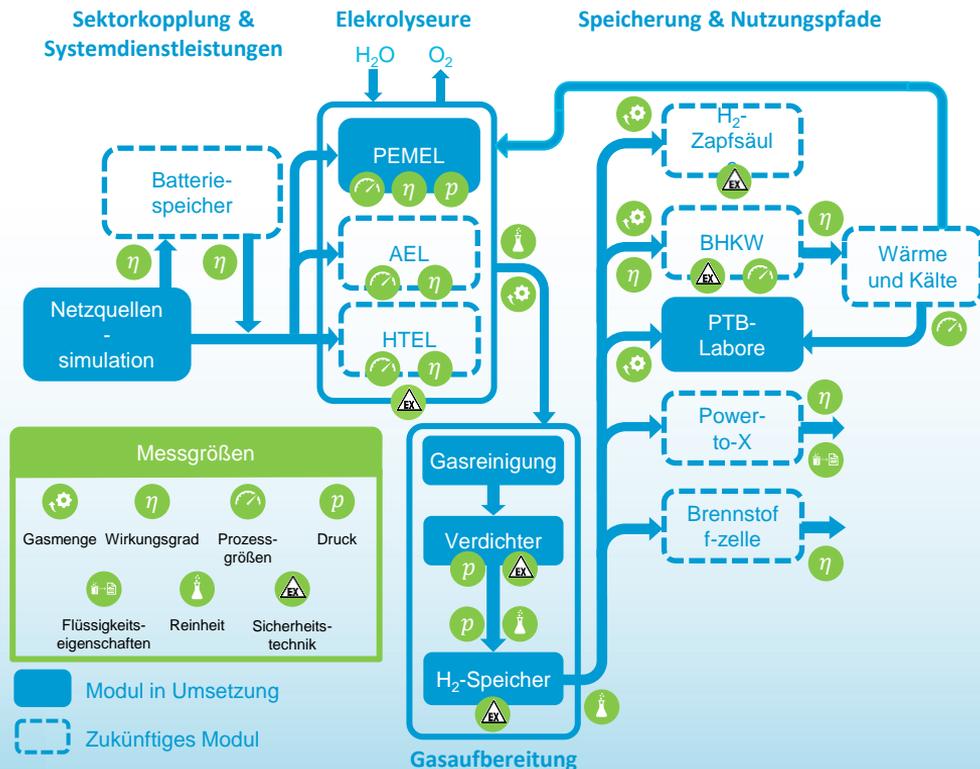


- EU-Richtlinien
- ATEX-Richtlinie
- Sicherheitsregeln
- Messmethoden
- Referenzmaterialien
- Konformitätsbewertung
- Zertifizierungssysteme

## H<sub>2</sub>-Kompetenzentwicklung - Umsetzungsszenarien

	2023-2026	2027-2029	2030-2032	2033-2035	
 H <sub>2</sub> -Erzeugung	Messtechnische Bestimmung der H <sub>2</sub> -Herkunft	Forschung/Primärnormal	Forschung/Rückführung	Entwicklung/Umsetzung ins Regelwerk	Dienstleistungen
	H <sub>2</sub> -Reaktionskinetik	Forschung/Referenzdaten	Entwicklung/Referenzdaten	Wissenstransfer/Dienstleistungen	
	Wirkungsgradmetrologie für Systeme	Bau/Forschung	Entwicklung/Erprobung/Feldversuche/Skalierung	Umsetzung ins Regelwerk	Dienstleistungen
 Speicherung, Transport und Netze	Gasverhalten von H <sub>2</sub> und H <sub>2</sub> -Methan Gasgemischen	Bau/Forschung/Referenzdaten	Umsetzung ins Regelwerk		
	LOHC-Flüssigkeitseigenschaften	Forschung/Referenzdaten	Entwicklung/Referenzdaten	Umsetzung ins Regelwerk/Dienstleistungen	
	Alternative Temperatursensoren für LH <sub>2</sub>	Forschung	Umsetzung ins Regelwerk		
	H <sub>2</sub> -Leckratenbestimmung	Entwicklung/Bau Primärnormal	Dienstleistungen		
	Modellierung von Gasnetzen	Forschung/Entwicklung/Dienstleistung			
	Gasdruckmessungen im Hochdruckbereich	Forschung/Primärnormal	Rückführung/Dienstleistung		
	Kalibrierinfrastruktur für Temperaturmessungen	Networking/Wissenstransfer	Erprobung/Begutachtung/Dienstleistung		
	Gasmengengeräte in der H <sub>2</sub> -Anwendung und in -Transportnetzen	Forschung/Entwicklung/Bau/Dienstleistung			
 H <sub>2</sub> -Nutzungspfade	H <sub>2</sub> -Reinheitsanalytik	Forschung	Entwicklung/Skalierung	Umsetzung ins Regelwerk/Dienstleistungen	
	Regelwerk für H <sub>2</sub> - und P2X-Anwendungen	Bau/Forschung/Entwicklung	Networking/Wissenstransfer/Gremienarbeit		
	Beratungsangebot: Internationale Qualitätsinfrastruktur grüner H <sub>2</sub> und P2X	Expertise aufbauen/Beratung	Beratung/Ausbildung		
	Konformitätsbewertung für H <sub>2</sub> -Zapfsäulen	Dienstleistung			
 Querschnittsfragen, Sicherheit und Akzeptanz	Kenngößen des Explosionsschutzes	Bau/Forschung/Referenzdaten	Umsetzung ins Regelwerk	Dienstleistungen	
	Sicherheitstechnische Konzeptentwicklung	Bau/Forschung	Forschung/Referenzdaten	Umsetzung ins Regelwerk	Dienstleistungen
	Konformitätsbewertung im Explosionsschutz	Networking/Wissenstransfer	Dienstleistungen		

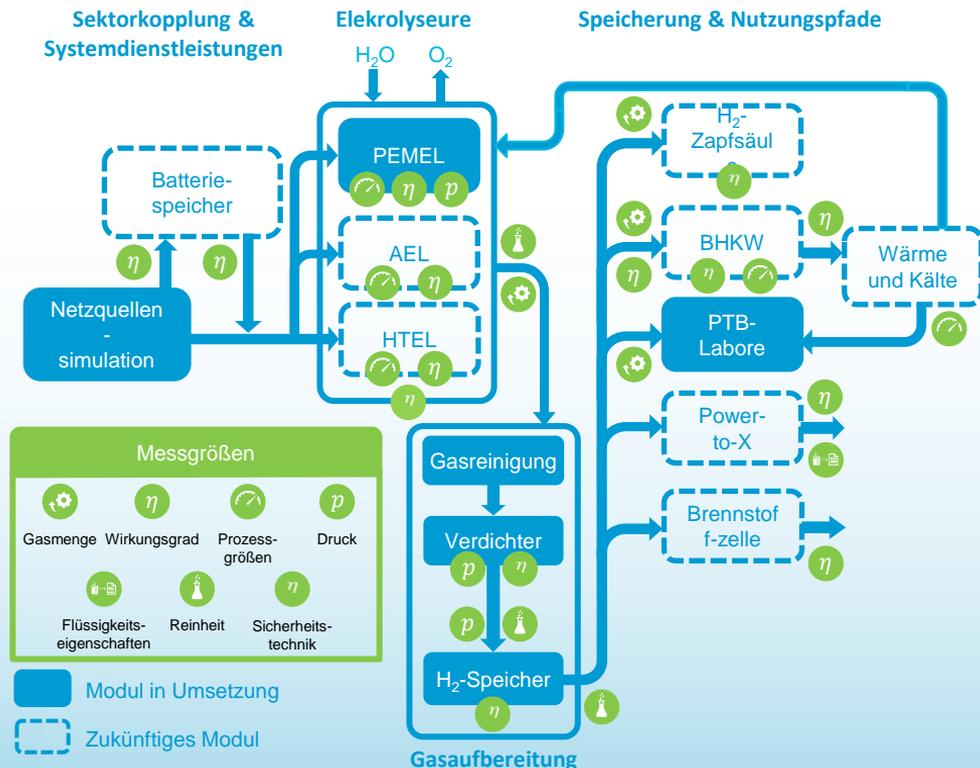
## H<sub>2</sub>-Plattform: Anlagenkonzept



### Modularer und skalierbarer Aufbau auf dem PTB-Gelände in Braunschweig

- Systemisches Anlagenkonzept** von der Erzeugung grünen Wasserstoffs über die Gasaufbereitung, Speicherung, Lagerung bis hin zur Nutzung über verschiedene Pfade
- Herstellerunabhängige Erprobung** von Messtechnik, Methodik und Sicherheitstechnik
- Entwicklung von Dienstleistungen** rund um die Bewertung von Messtechnik einzelner Prozesse, aber auch im Gesamtsystem unter Realbedingungen

## H<sub>2</sub>-Plattform: Module in der Startphase



**In der Startphase werden folgende Plattformmodule realisiert:**

**Netzquellsimulation:** Darstellung realitätsnaher Erzeugungsprofile (z.B. Wind, PV), reproduzierbarer dynamischer Betrieb

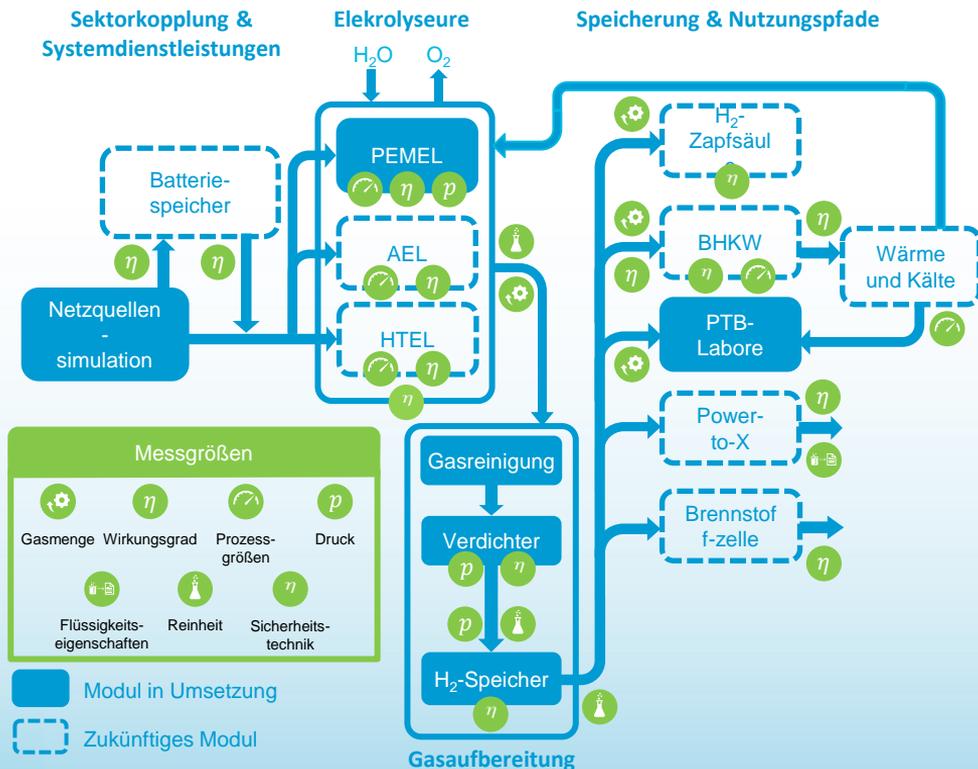
**PEM Elektrolyseur** zur Erzeugung grünen und hochreinen Wasserstoffs

**Gasaufbereitung:** Trocknung und Verdichtung des H<sub>2</sub>, sowie Gasanalytik

**PTB-Labore:** Nutzung des erzeugten H<sub>2</sub> in den Laboren der PTB Braunschweig

Modulübergreifend enthält die H<sub>2</sub>-Plattform **Konzepte und Technik** zur Bestimmung von **System-Wirkungsgraden** und Untersuchung **sicherheitstechnischer Fragestellungen**.

## H<sub>2</sub>-Plattform: Zukünftige Module



**Elektrolyseure:** alkalische Elektrolyse (AEL), Hochtemperaturelektrolyse (HTEL).

**Batteriespeicher:** Bearbeitung mess- und sicherheitstechnischer Fragestellungen bei der Nutzung sektorgekoppelter Energiesysteme

**H<sub>2</sub>-Zapfsäule:** Mess- und abrechnungstechnische Begleitung von Betankungsvorgängen im Mobilitätssektor, sowie benötigte Sicherheitstechnik

**Blockheizkraftwerk (BHKW):** Effizienzanalyse; energetische Nutzung des erzeugten H<sub>2</sub>

**Power-to-X:** Weiterverarbeitung des erzeugten H<sub>2</sub> in Derivate zur Speicherung, zum Transport oder zur energetischen oder stofflichen Nutzung von H<sub>2</sub> (synthetische Kraftstoffe, Ammoniak, LOHC)

**Brennstoffzelle:** Effizienzanalyse bei der Rückverstromung des erzeugten H<sub>2</sub>; mess- und sicherheitstechnische Begleitung von Brennstoffzellentechnologien

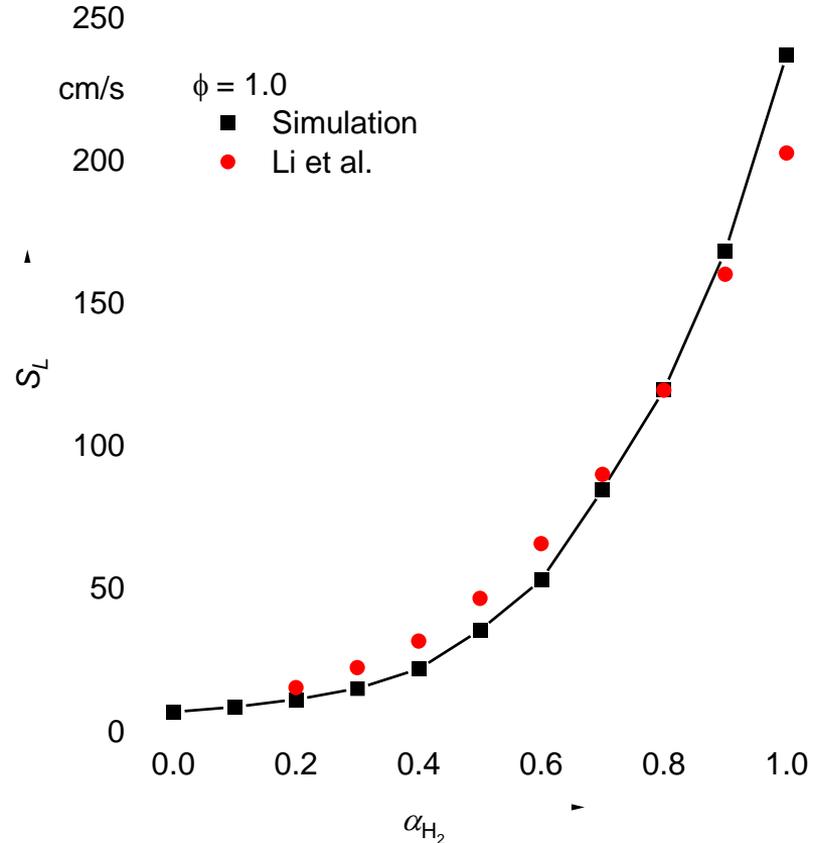
**Green Campus PTB:** Neben Dienstleistung und Forschung ergeben sich auch Nutzungsperspektiven für den erzeugten Wasserstoff auf dem PTB-Gelände.



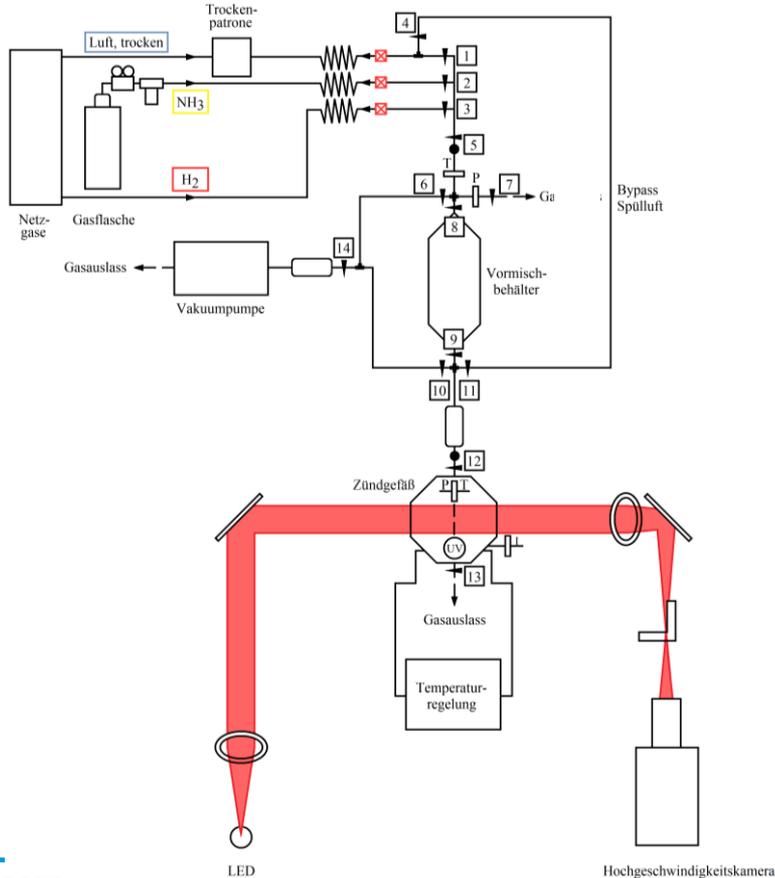
# Motivation

- Ammoniak als kohlenstoff-freier Brennstoff
  - Geringe laminare Flammgeschwindigkeit
  - Hohe Zündenergie
- Zusatz von Wasserstoff
  - $\alpha_{H_2}$ : Anteil Wasserstoff im Brenngas
  - Laminare Flammgeschwindigkeit nimmt zu
  - Zündenergie nimmt ab
    - ▶ Bisher kaum experimentelle Daten

Relevant für Ex-Schutz  
und Anwendung

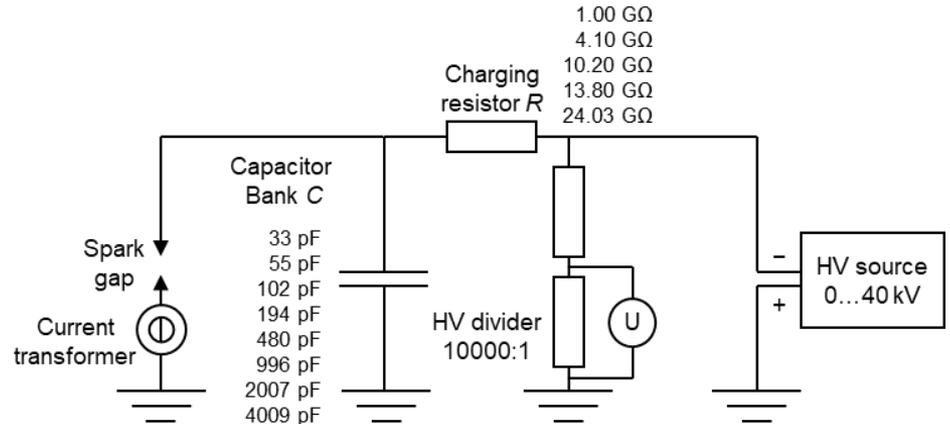


# Experiment



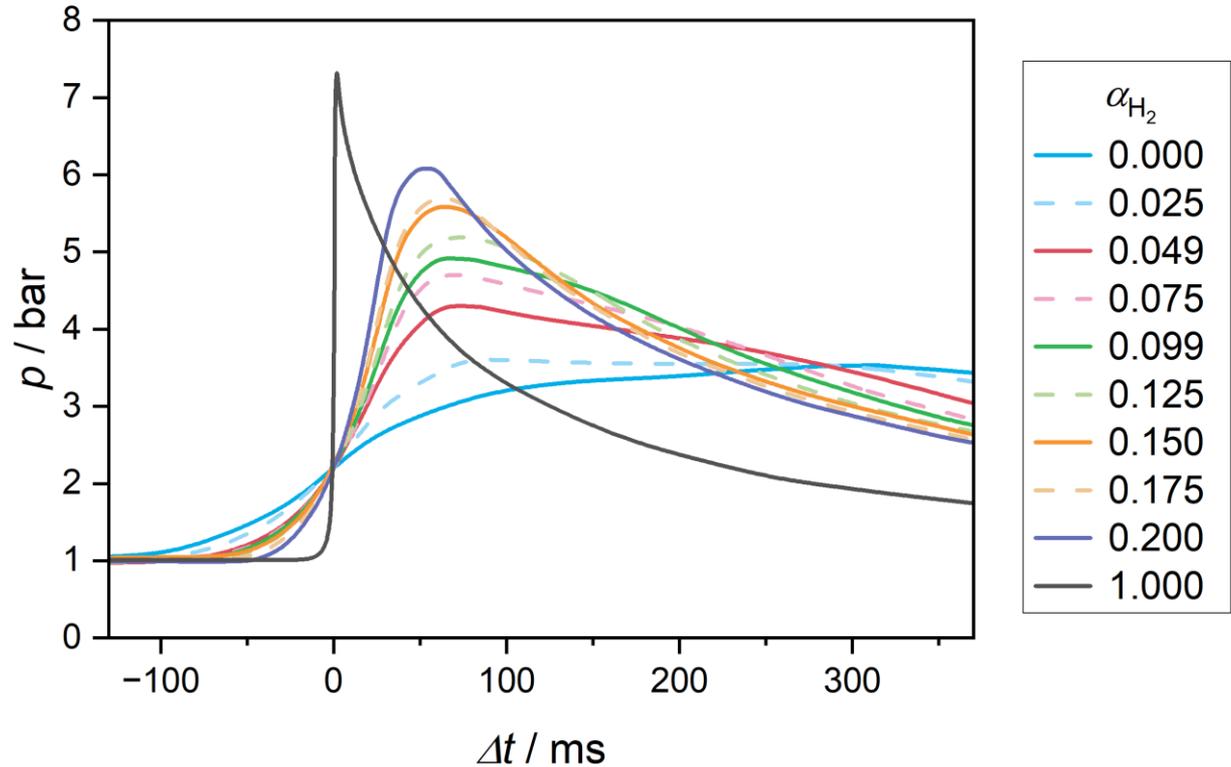
- Partialdruckmethode für Gemischbereitung
- Zündgefäß: Kugel, 100 mm Durchmesser, 0.5 Liter
- Schlieren-Aufbau mit LED, Kamera @ 30 kHz
- Druckmessung
- Zündquelle: kapazitive Entladung

$$W = \frac{1}{2} C U^2$$



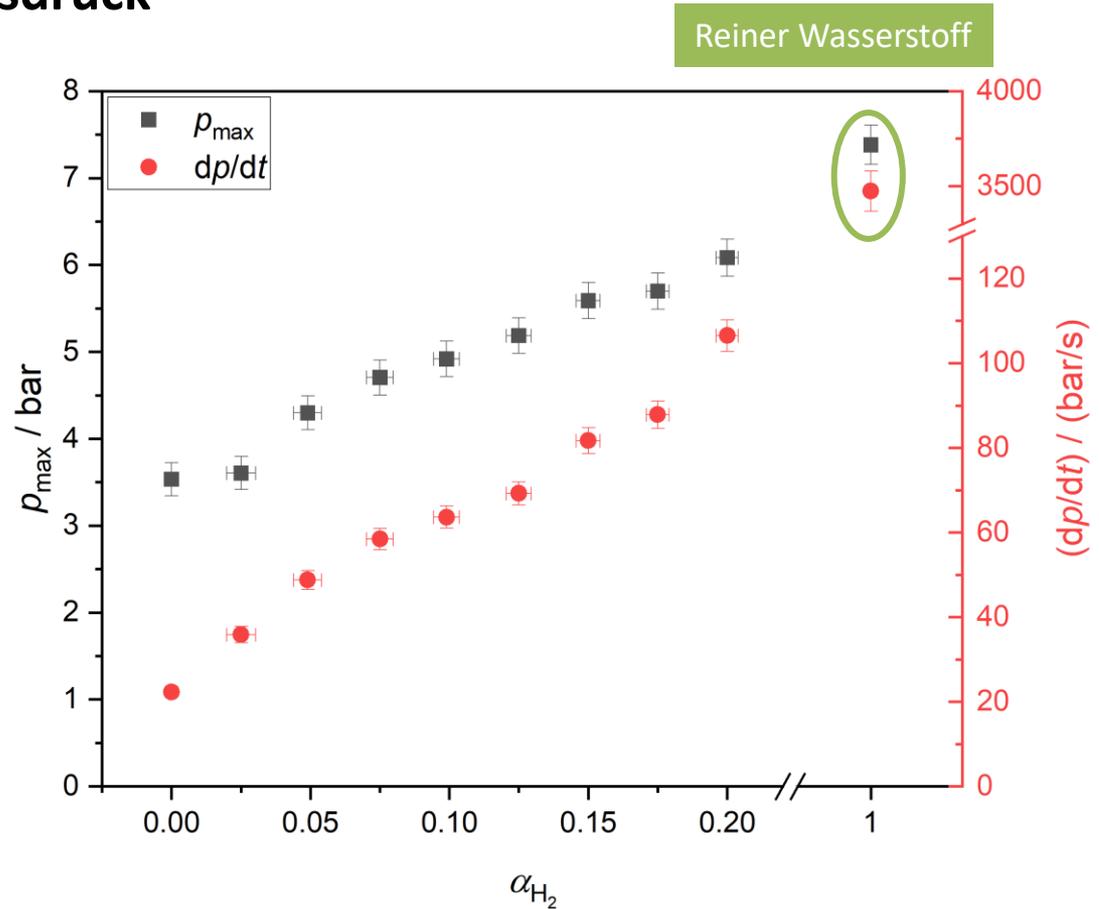
# Ergebnisse | Explosionsdruck

- $\alpha_{\text{H}_2} \uparrow \Rightarrow p_{\text{max}} \uparrow$
- $\alpha_{\text{H}_2} \uparrow \Rightarrow \frac{dp}{dt} \uparrow$ 
  - Schnellere Zündung und Verbrennung durch Zugabe von Wasserstoff



# Ergebnisse | Explosionsdruck

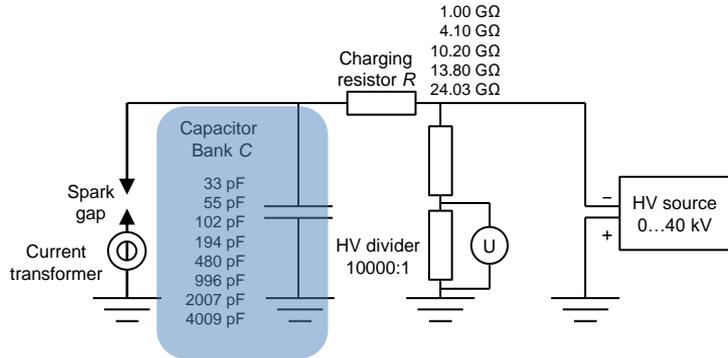
- $\alpha_{\text{H}_2} \uparrow \Rightarrow p_{\text{max}} \uparrow$
- $\alpha_{\text{H}_2} \uparrow \Rightarrow \frac{dp}{dt} \uparrow$
- Schnellere Zündung und Verbrennung durch Zugabe von Wasserstoff



# Ergebnisse | Zündenergie

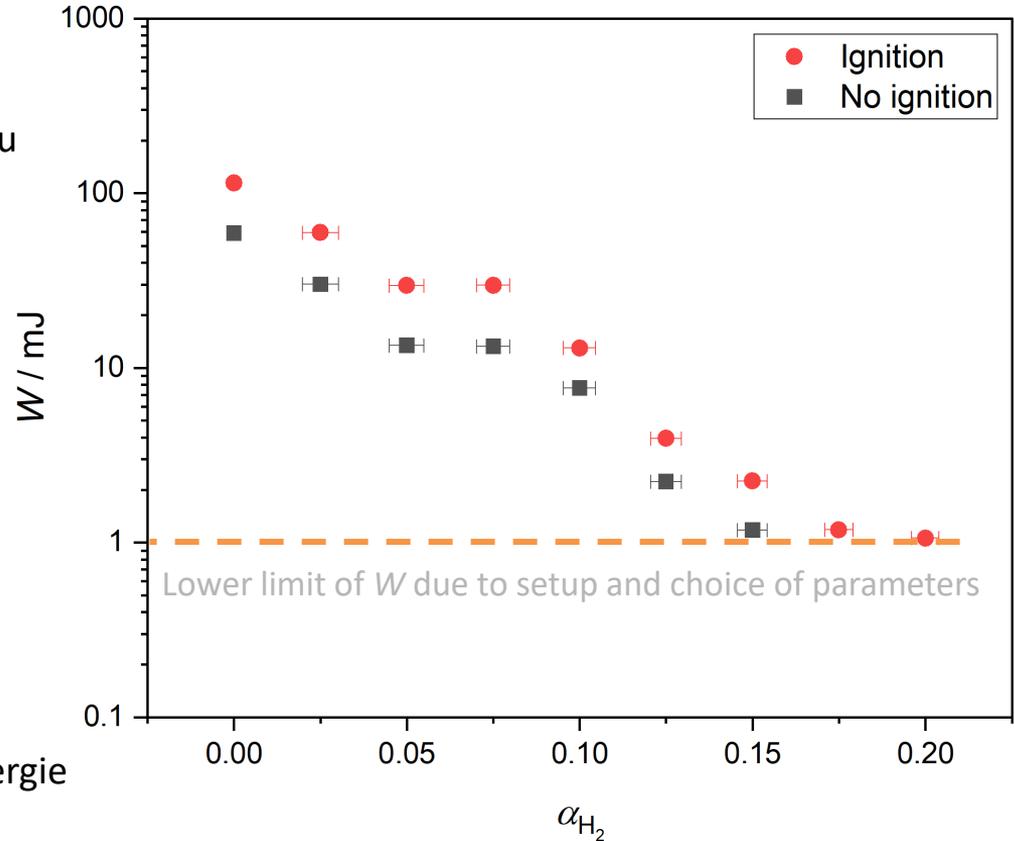
■  $\alpha_{H_2} \uparrow \Rightarrow W \downarrow \downarrow$

■ Diskrete Energieniveaus aufgrund el. Aufbau



■ Untere Grenze von  $W = \frac{1}{2} C U^2$

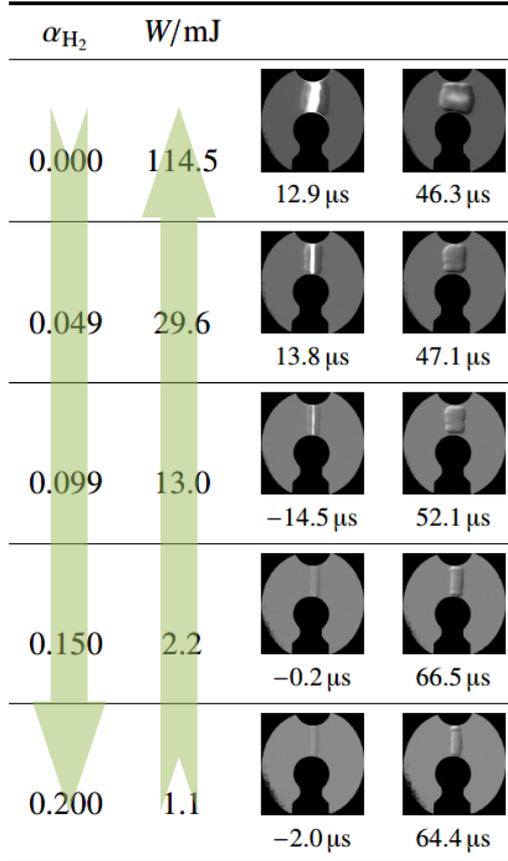
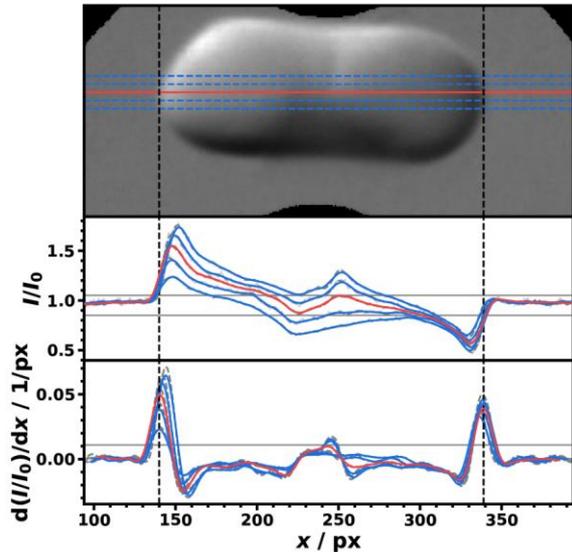
■ Konstanter Elektrodenabstand 4 mm →  
hohe Durchbruchspannung → hohe Energie



# Ergebnisse | Schlieren

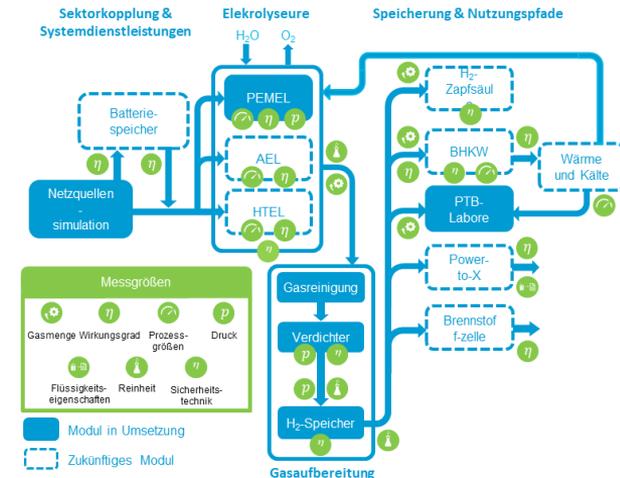
## Schlieren-Sichtbarmachung bei 30 kHz

- Plasmakanal
- Bildung des Zündkerns
- Frühphase Flammenausbreitung



# Zusammenfassung

- H<sub>2</sub>-Wirtschaft → Bedarfe an Metrologie und Sicherheitstechnik
- Handlungsfelder der PTB
  - H<sub>2</sub>-Erzeugung
  - Speicherung, Transport und Netze
  - H<sub>2</sub>-Nutzungspfade
  - Querschnittsfragen, Sicherheit und Akzeptanz
- H<sub>2</sub>-Plattform
  - Systemisches Anlagenkonzept
  - Herstellerunabhängige Erprobung
  - Entwicklung von Dienstleistungen





**Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

Stefan Essmann

Telefon: 0531 592-3550

E-Mail: [stefan.essmann@ptb.de](mailto:stefan.essmann@ptb.de)

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

