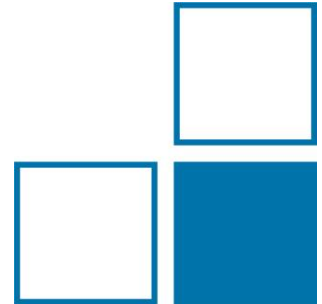


Wasserstoff und seine Derivate als Energieträger

Aktuelle Forschung in der PTB

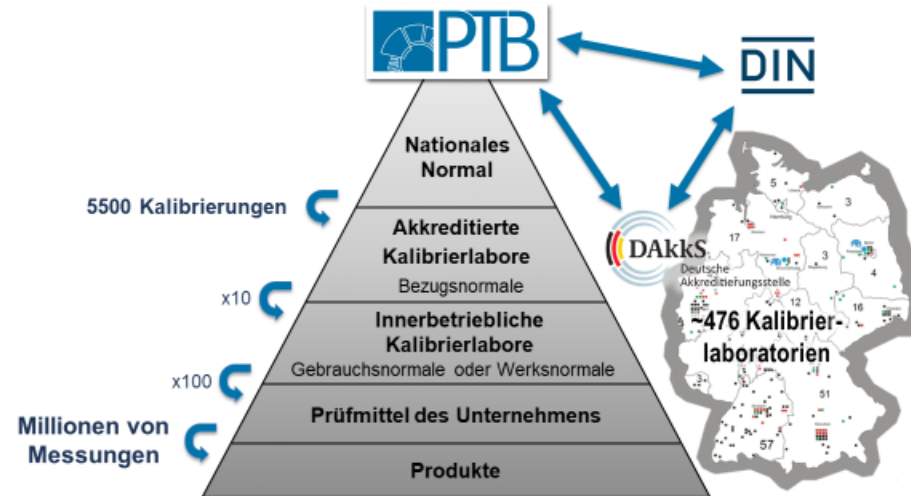
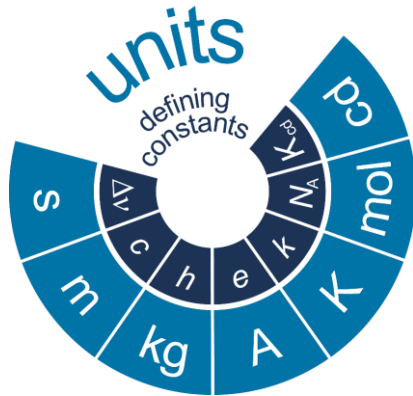
Stefan Essmann, AG 3.55 „Regenerative
Energieträger und –speicher“



Was ist die PTB?



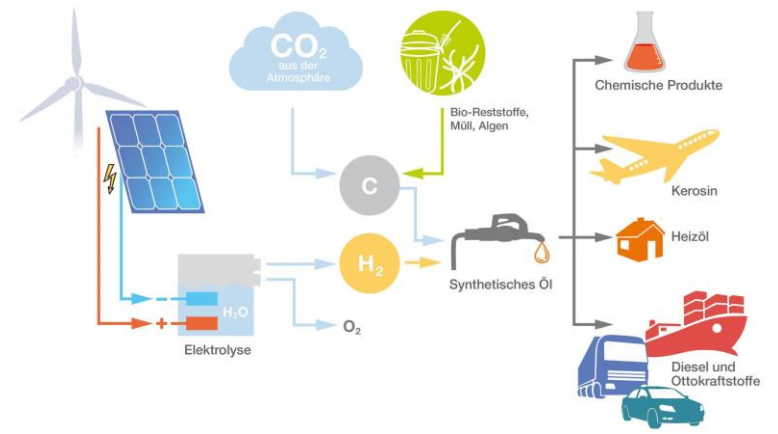
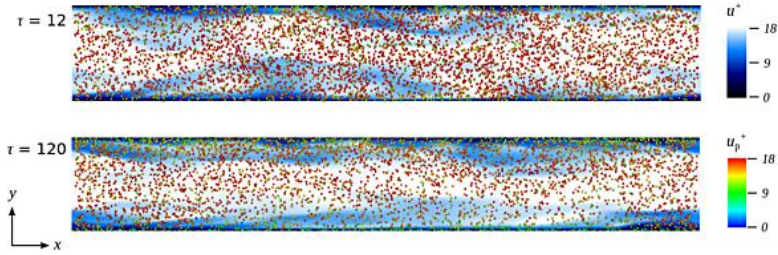
- Das nationale Metrologieinstitut der Bundesrepublik Deutschland
- Oberste Bundesbehörde beim BMWK
- Darstellung und Weitergabe der gesetzlichen Einheiten



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



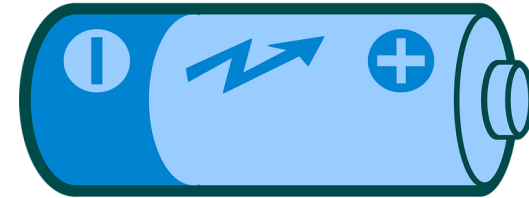


Regenerative Energieträger und -speicher



efzn

Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen



... vor dem Hintergrund Explosionsschutz

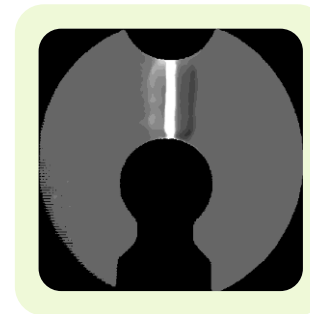


01

Vorstellung PTB



02
PTB-Aktivitäten
im Bereich
Wasserstoff



03

Beispiel:
Zündung von
 NH_3/H_2 /Luft-
Gemischen





Die
Bundesregierung



**NATIONALE
WASSERSTOFF-
STRATEGIE**
Schlüsselement
der Energiewende

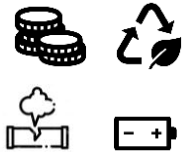
**„Hauptkomponenten dieser aufzubauenden,
nationalen und europäisch vernetzten
Mess- und Qualitätsinfrastruktur sind
Metrologie und physikalisch-chemische Sicherheitstechnik.“**

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



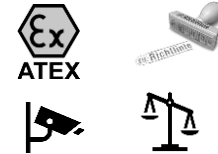
- Druck
- Temperatur
- Durchfluss
- Dichte von LOHC
- Heizwert
- Reinheit
- Wirkungsgrad

Referenzdaten







- Brennwert
- Referenzgase
- Sicherheitstechnische Kenngrößen
- Spektrale Daten

Regulierung/ Konformitätsbewertung

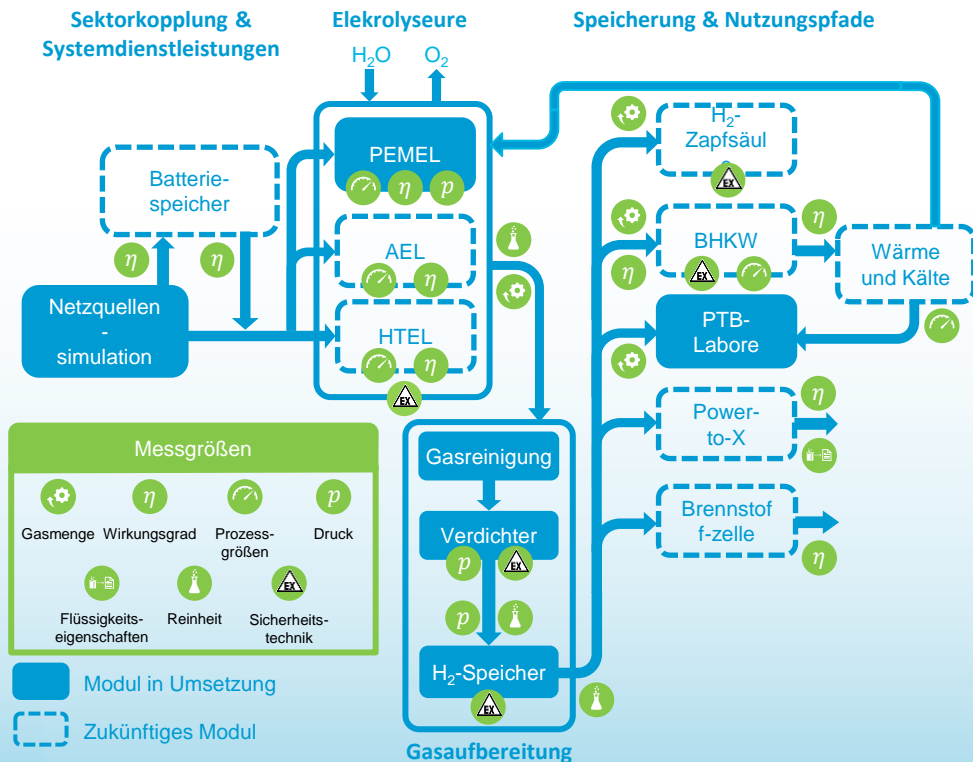


- EU-Richtlinien
- ATEX-Richtlinie
- Sicherheitsregeln
- Messmethoden
- Referenzmaterialien
- Konformitätsbewertung
- Zertifizierungssysteme

H₂-Kompetenzentwicklung - Umsetzungsszenarien

	2023-2026	2027-2029	2030-2032	2033-2035	
 H ₂ -Erzeugung	Messtechnische Bestimmung der H ₂ -Herkunft	Forschung/Primärnormal	Forschung/Rückführung	Entwicklung/Umsetzung ins Regelwerk	Dienstleistungen
	H ₂ -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 ₂ und H ₂ -Methan Gasgemischen	Bau/Forschung/Referenzdaten	Umsetzung ins Regelwerk		
	LOHC-Flüssigkeitseigenschaften	Forschung/Referenzdaten	Entwicklung/Referenzdaten	Umsetzung ins Regelwerk/Dienstleistungen	
	Alternative Temperatursensoren für LH ₂	Forschung	Umsetzung ins Regelwerk		
	H ₂ -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 ₂ -Anwendung und in -Transportnetzen	Forschung/Entwicklung/Bau/Dienstleistung			
 H ₂ -Nutzungspfade	H ₂ -Reinheitsanalytik	Forschung	Entwicklung/Skalierung	Umsetzung ins Regelwerk/Dienstleistungen	
	Regelwerk für H ₂ - und P2X-Anwendungen	Bau/Forschung/Entwicklung	Networking/Wissenstransfer/Gremienarbeit		
	Beratungsangebot: Internationale Qualitätsinfrastruktur grüner H ₂ und P2X	Expertise aufbauen/Beratung	Beratung/Ausbildung		
	Konformitätsbewertung für H ₂ -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		

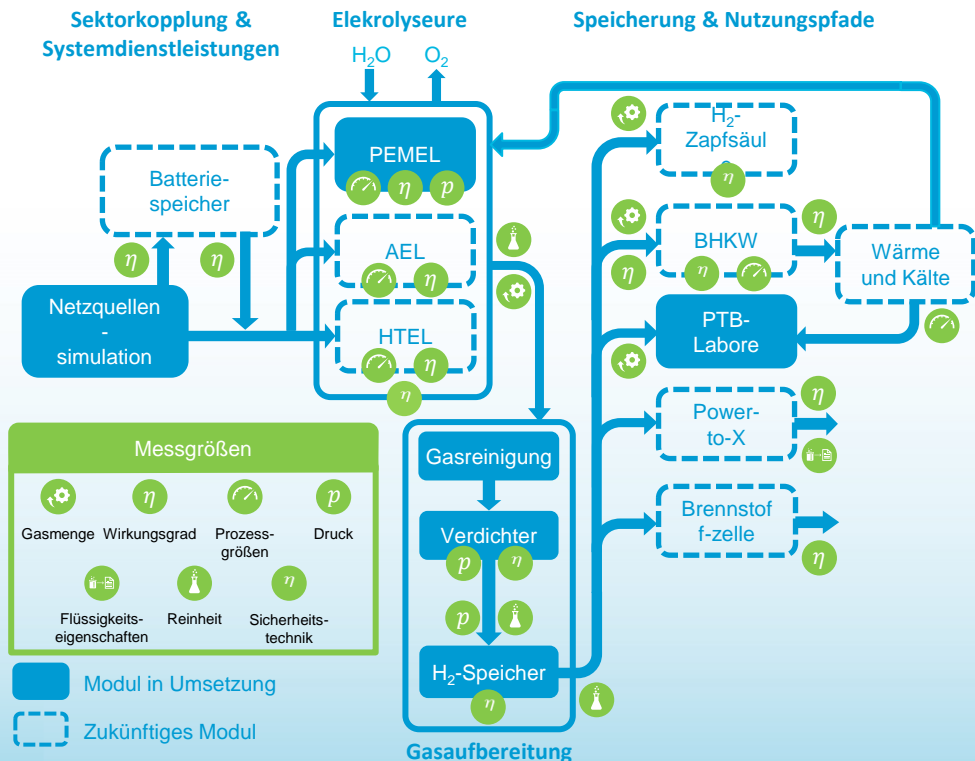
H₂-Plattform: Anlagenkonzept



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

H₂-Plattform: Module in der Startphase



In der Startphase werden folgende Plattformmodule realisiert:

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

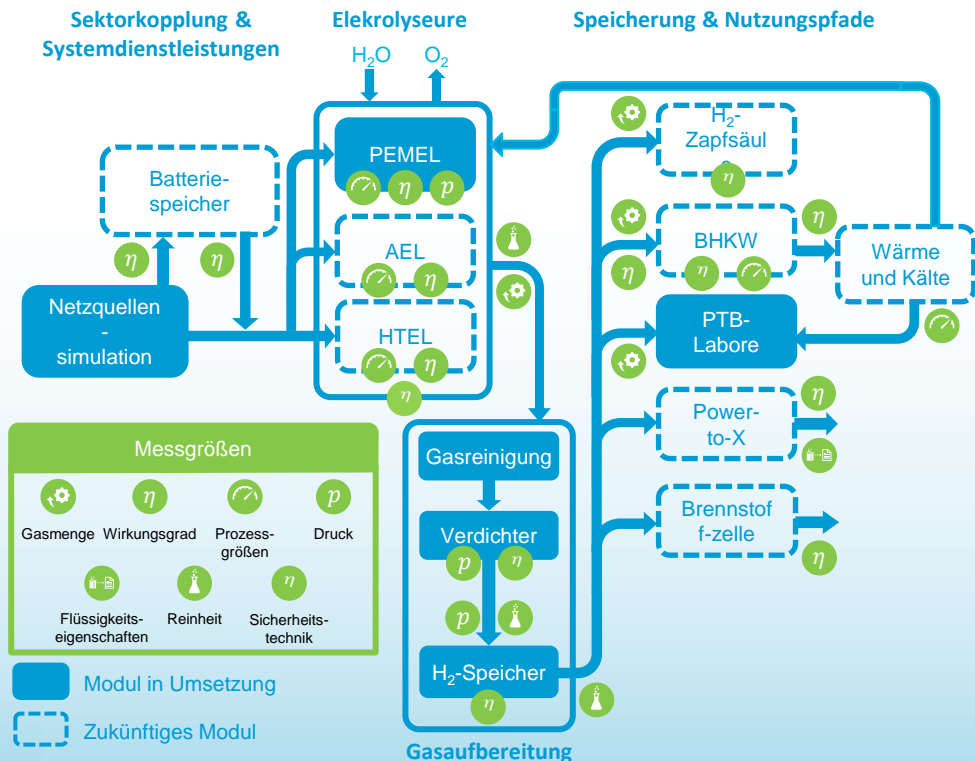
PEM Elektrolyseur zur Erzeugung grünen und hochreinen Wasserstoffs

Gasaufbereitung: Trocknung und Verdichtung des H₂, sowie Gasanalytik

PTB-Labore: Nutzung des erzeugten H₂ in den Laboren der PTB Braunschweig

Modulübergreifend enthält die H₂-Plattform **Konzepte und Technik** zur Bestimmung von **System-Wirkungsgraden** und Untersuchung **sicherheitstechnischer Fragestellungen**.

H₂-Plattform: Zukünftige Module



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

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

H₂-Zapfsäule: Mess- und abrechnungstechnische Begleitung von Betankungsvorgängen im Mobilitätssektor, sowie benötigte Sicherheitstechnik

Blockheizkraftwerk (BHKW): Effizienzanalyse; energetische Nutzung des erzeugten H₂

Power-to-X: Weiterverarbeitung des erzeugten H₂ in Derivate zur Speicherung, zum Transport oder zur energetischen oder stofflichen Nutzung von H₂ (synthetische Kraftstoffe, Ammoniak, LOHC)

Brennstoffzelle: Effizienzanalyse bei der Rückverstromung des erzeugten H₂; mess- und sicherheitstechnische Begleitung von Brennstoffzellentechnologien

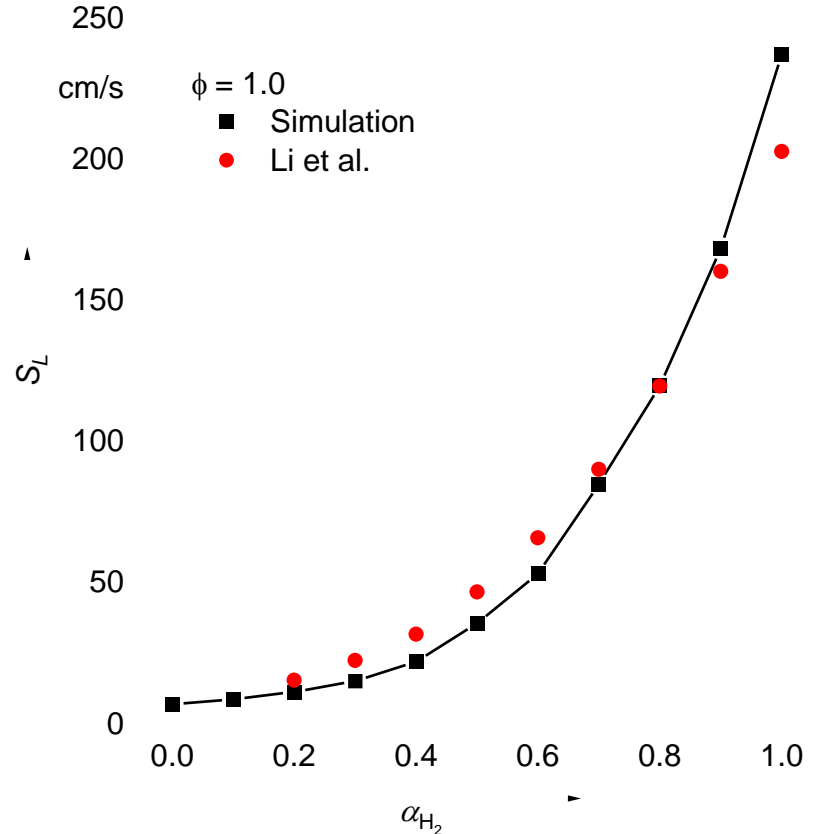
Green Campus PTB: Neben Dienstleistung und Forschung ergeben sich auch Nutzungsperspektiven für den erzeugten Wasserstoff auf dem PTB-Gelände.



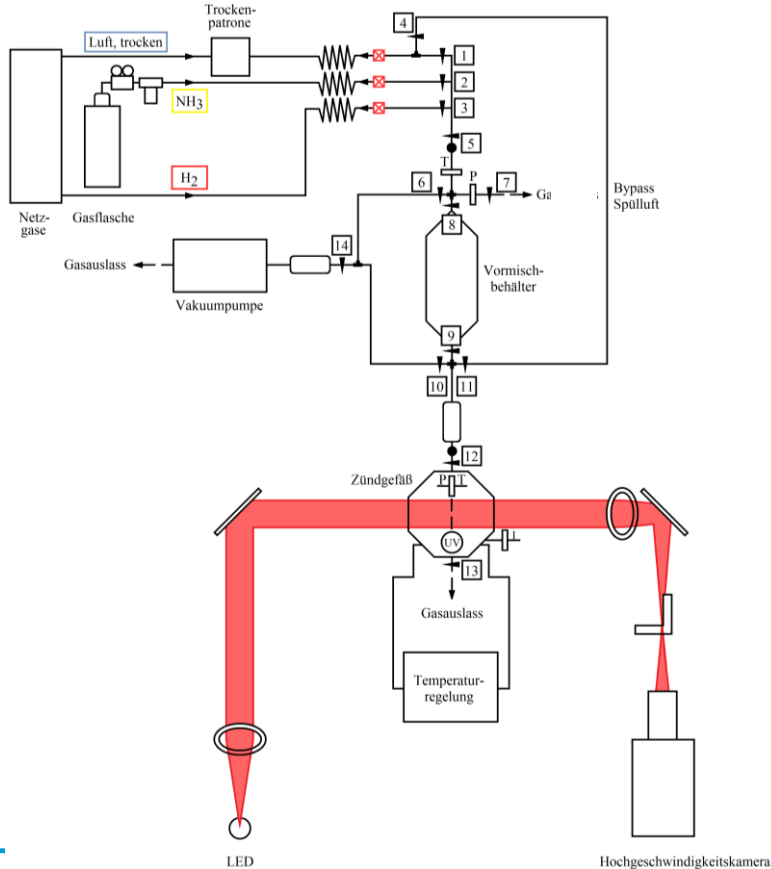
Motivation

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

Relevant für Ex-Schutz
und Anwendung

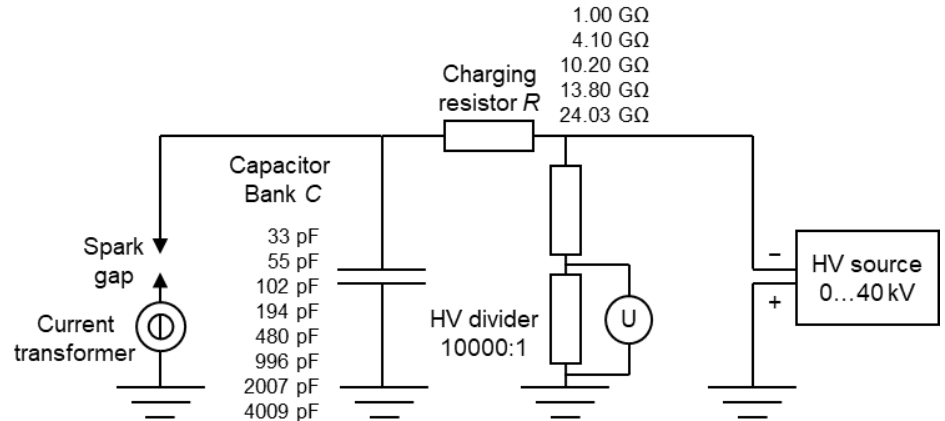


Experiment



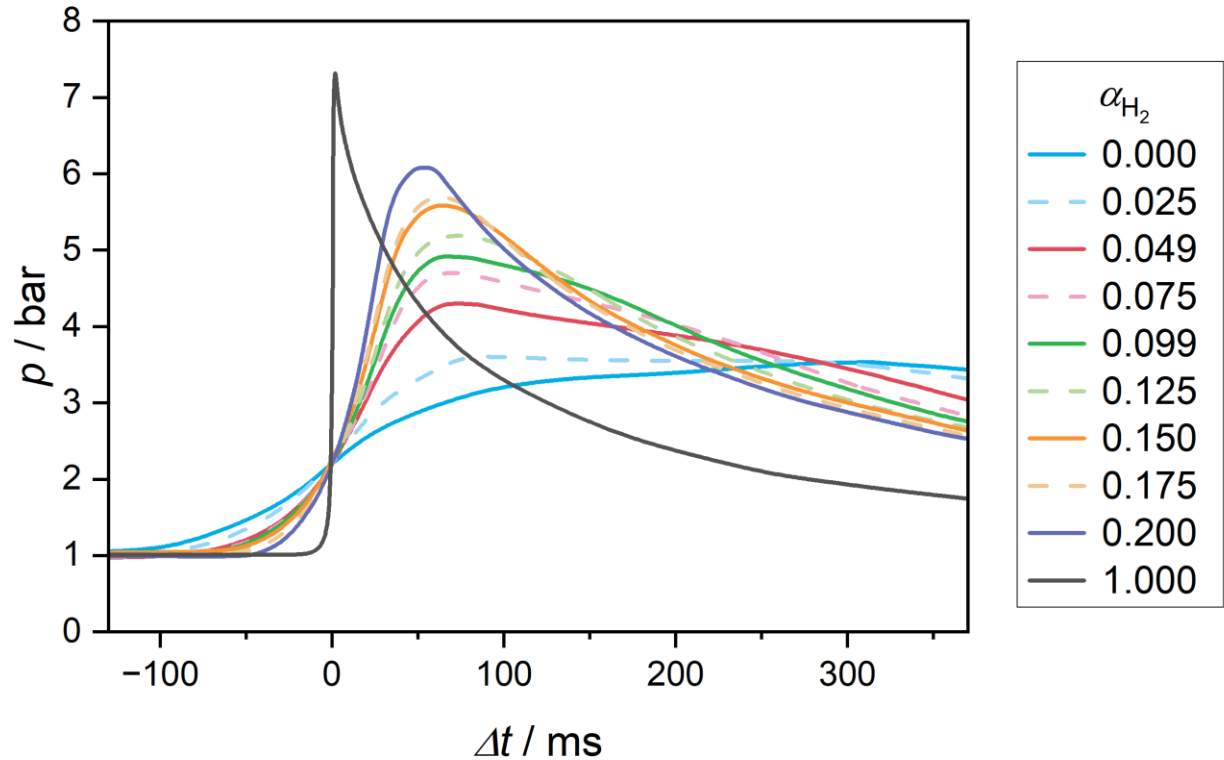
- Partialdruckmethode für Gemischbereitung
- Zündgefäß: Kugel, 100 mm Durchmesser, 0.5 Liter
- Schlieren-Aufbau mit LED, Kamera @ 30 kHz
- Druckmessung
- Zündquelle: kapazitive Entladung

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



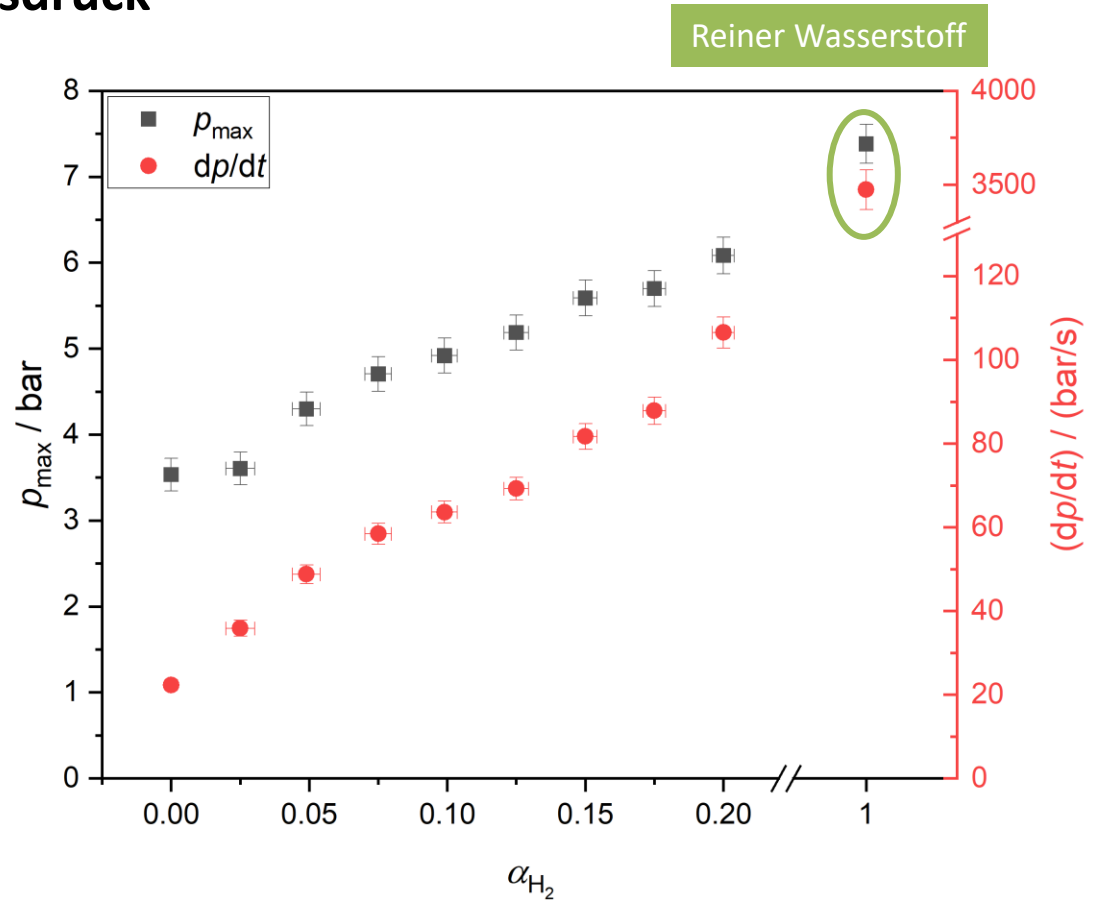
Ergebnisse | Explosionsdruck

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



Ergebnisse | Explosionsdruck

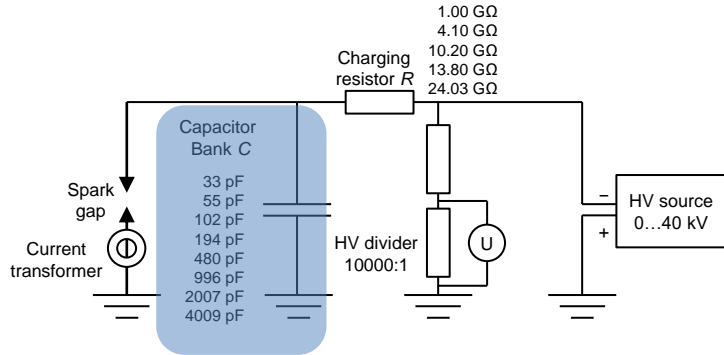
- $\alpha_{\text{H}_2} \uparrow \Rightarrow p_{\text{max}} \uparrow$
- $\alpha_{\text{H}_2} \uparrow \Rightarrow \frac{dp}{dt} \uparrow$
- Schnellere Zündung und Verbrennung durch Zugabe von Wasserstoff



Ergebnisse | Zündenergie

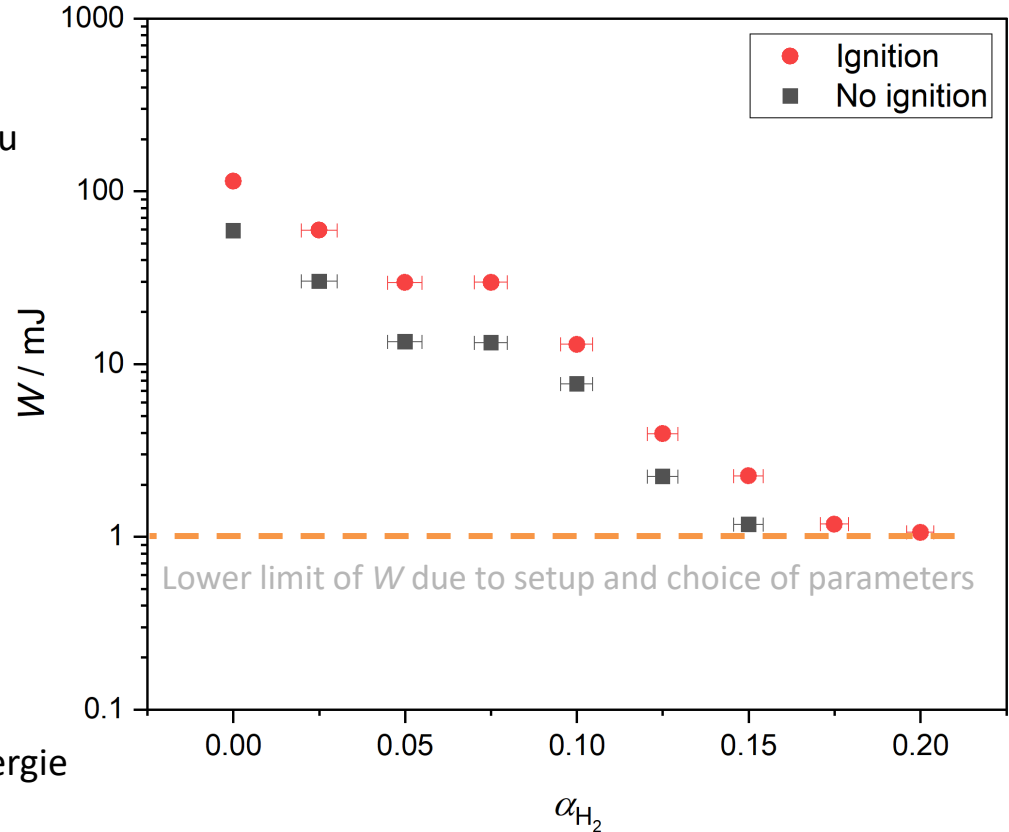
■ $\alpha_{H_2} \uparrow \Rightarrow W \downarrow \downarrow$

■ Diskrete Energieniveaus aufgrund el. Aufbau



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

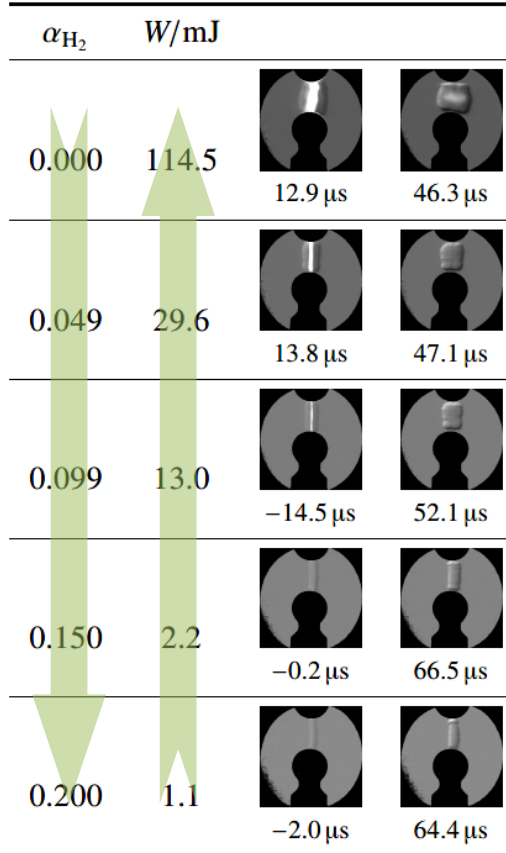
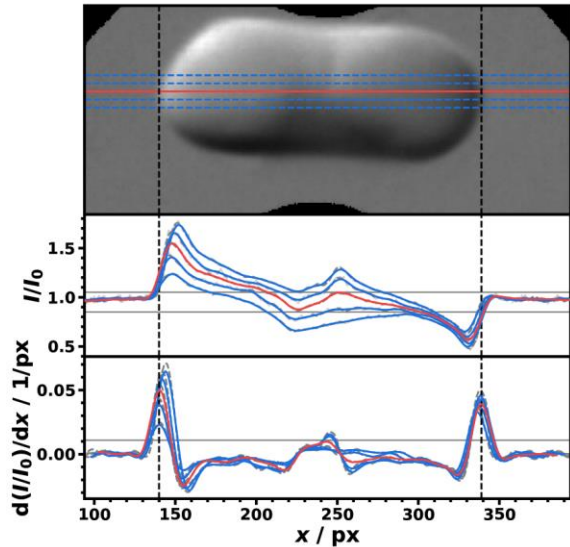
■ Konstanter Elektrodenabstand 4 mm →
hohe Durchbruchspannung → hohe Energie



Ergebnisse | Schlieren

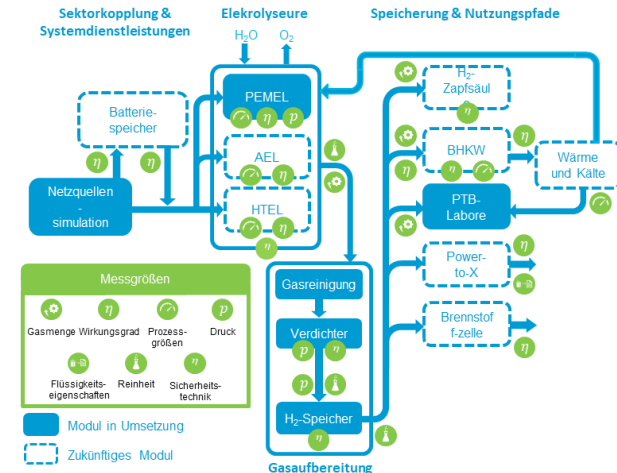
Schlieren-Sichtbarmachung bei 30 kHz

- Plasmakanal
- Bildung des Zündkerns
- Frühphase Flammenausbreitung



Zusammenfassung

- H₂-Wirtschaft → Bedarfe an Metrologie und Sicherheitstechnik
- Handlungsfelder der PTB
 - H₂-Erzeugung
 - Speicherung, Transport und Netze
 - H₂-Nutzungspfade
 - Querschnittsfragen, Sicherheit und Akzeptanz
- H₂-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

www.ptb.de

