

THE HYDROGEN AND FUEL CELL CENTER



Hy-Cleanup – Innovatives Reinigungsverfahren für Wasserstoff

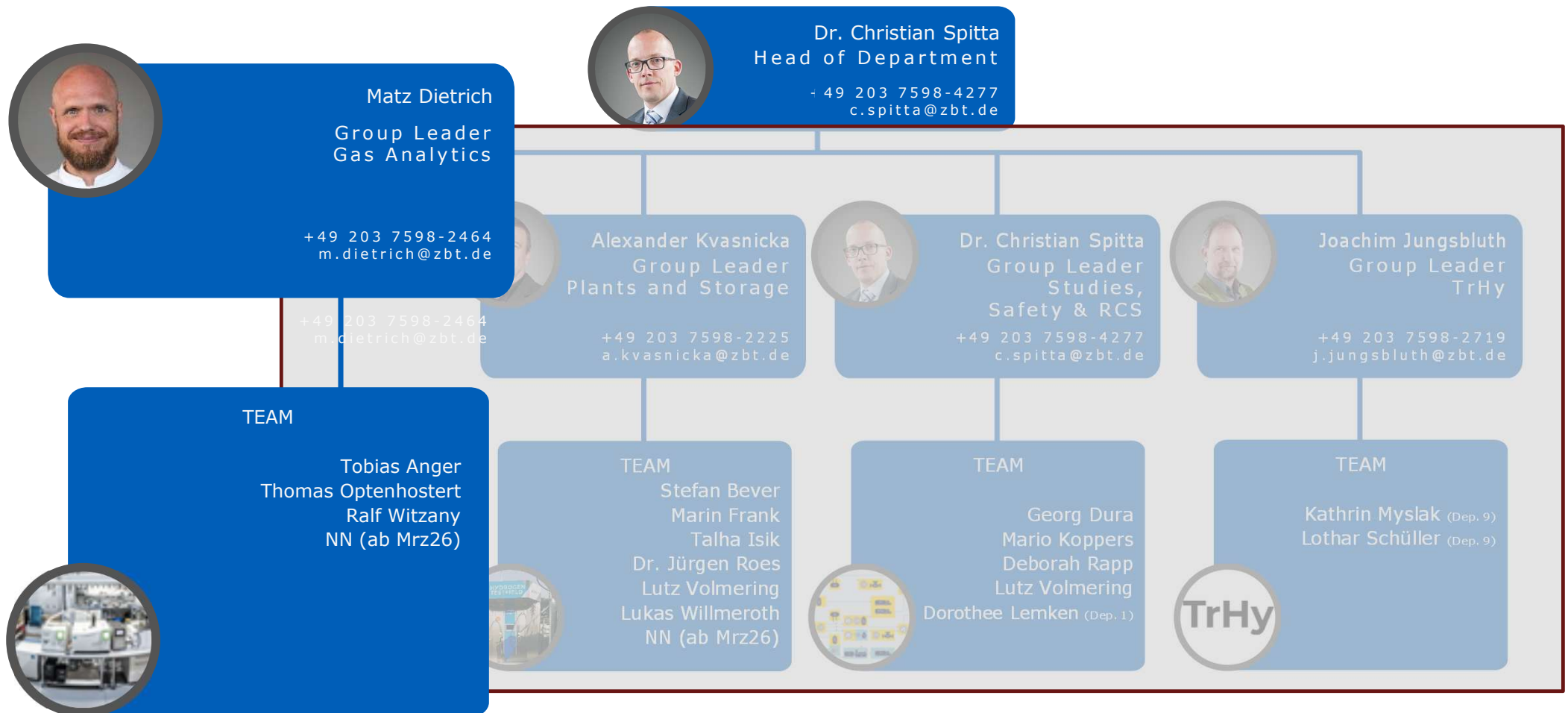
ZBT Wasserstofftage

Thomas Optenhostert (ZBT)

Department Hydrogen Infrastructure

Duisburg, 19. Feb. 2026

DEPARTMENT HYDROGEN INFRASTRUCTURE



Wasserstoff kann mehr

- Stahlindustrie (Direktreduktion)
- Ammoniaksynthese
- Methanol-Synthese
- Hydrocracker
- Glasherstellung
- Zementwerke
- Metallurgie
- Mobilität
- Kraftwerke
- Netzstabilisierung
- Notstrom
- Saisonale Energiespeicherung
- H₂-fähige Gasthermen
- ...



Quelle: Eigene Darstellung, erstellt mit ChatGPT (OpenAI), 2026.

Gasbeschaffenheit entlang der Wertschöpfungskette

Mögliche Schwankungen der Wasserstoffqualität durch

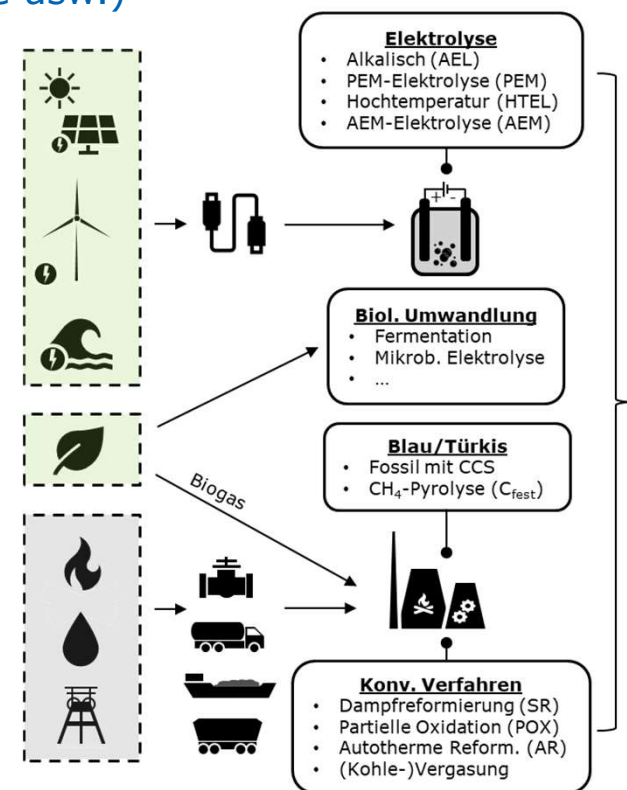
- Verschiedene Produktionsmethoden (Elektrolyse, Nebenprodukt, Pyrolyse usw.)
- Import & Verteilung (H₂-Pipeline, NH₃, Beimischung, Trailer usw.)

Status

- Startwert für Pipelines in D 98% (G260 5 GF Grade A)
- Niederlande, Belgien adressieren 99,5%
- Reinigungsaufwand unklar
- EU-weite Harmonisierung wichtig

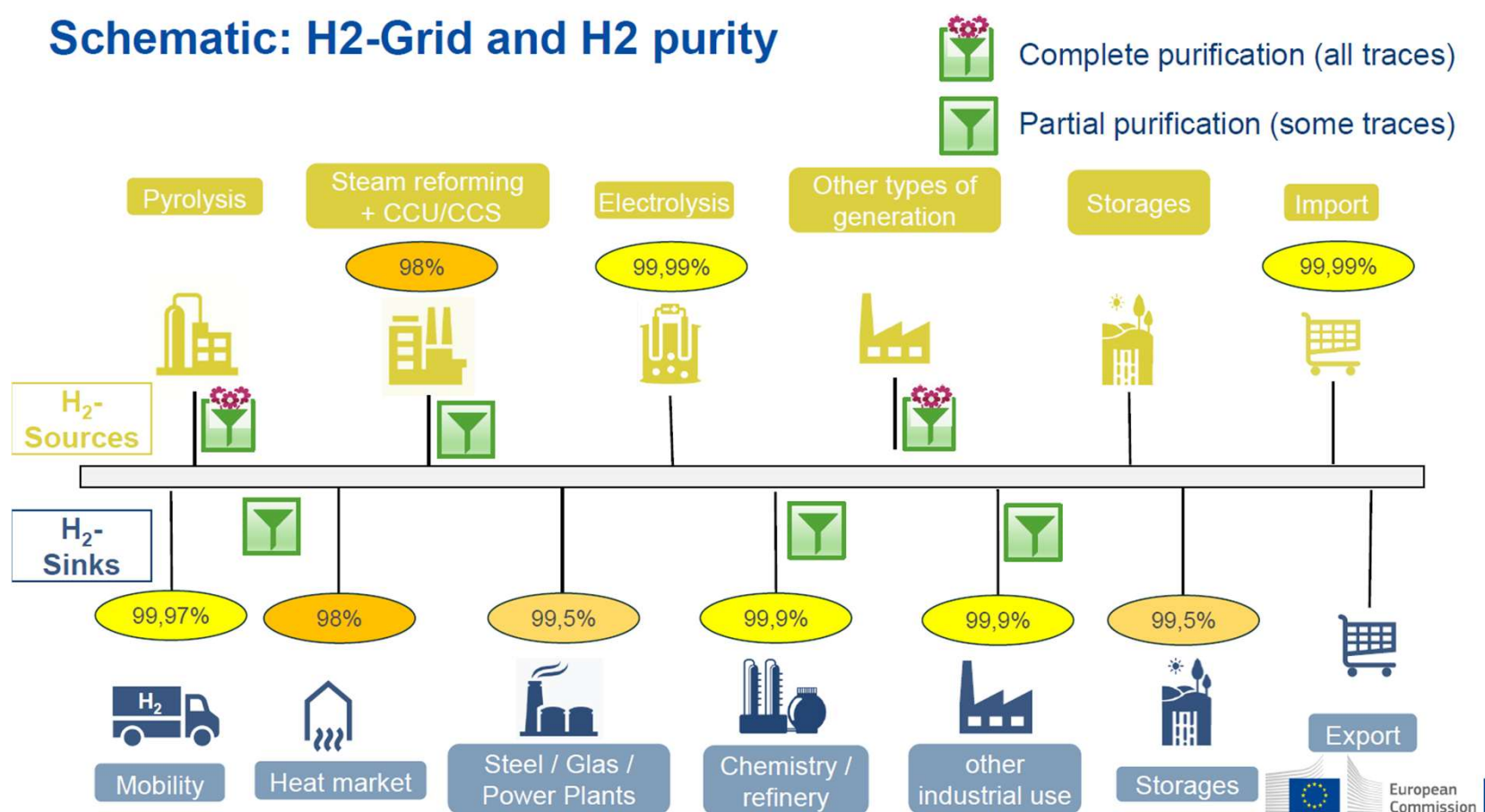
Herausforderungen

- Eintrag von Komponenten aus Leitungen & Herstellverfahren
- Kritische Komponenten: S, CO, KW, NH₃, H₂O...
- Schädigende Wirkung auf (kat.) Prozesse, Emissionsgrenzwerte & Abrechnung



Hydrogen purity levels for different sectors

Schematic: H2-Grid and H2 purity



Source: Ruta Baltause, DG ENER

Regelwerk zur Gasbeschaffenheit

Parameter zur Wasserstoffbeschaffenheit in Deutschland DVGW-Arbeitsblatt 260:2021, 5. Gasfamilie (in Überarbeitung)

Bezeichnung	Grenzwert Gruppe A	Grenzwert Gruppe D Gemäß DIN EN 17124:2019 ¹
Wasserstoff	≥ 98 mol %	≥ 99,97 mol %
Wasser	≤ 60 µmol/mol	5 µmol/mol
Kohlenwasserstoff- Kondensationspunkt	- 2 °C at 1 ≤ p _{abs} ≤ 70 bar	-
Sauerstoff	1 mol % 0,001 mol % (gleitender 24 h Mittelwert)	5 µmol/mol
Kohlenstoffmonoxid	≤ 0,1 mol-%	0,2 µmol/mol
Gesamtschwefel und Schwefelverbindungen	≤ 4,2 µmol/mol	0,004 µmol/mol
Ammoniak	≤ 13 µmol/mol	0,1 µmol/mol
Halogenierte Bestandteile (Halogenionen- Äquivalent)	0,05 µmol/mol	0,05 µmol/mol
Nebel, Staub, Flüssigkeit	Technisch frei	1 mg/kg

Gruppe A: ≥ 98 % Reinheit,

- Generell für alle Anwendungen (außer PEM)
 - Leitungsgebundener Transport (auch umgestellte Leitungen)
 - Ähnlich CEN TS 17977 und EASEE-Gas CBP
 - Ähnlich ISO 14687, Grade A (einzelne Komponenten auf umgewidmete angepasst)

Gruppe D: ≥ 99,97 % Reinheit

- geeignet für alle Zwecke einschließlich Brennstoffzellen
- identisch mit DIN EN 17124 die Wasserstoff als Kraftstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge vorschreibt und auf die in der 10. BImSchV verwiesen wird
- deckungsgleich mit ISO 14687, Grade D



April 2024

Quelle: DVGW 2024

Synthese und Vorqualifizierung der Absorbermaterialien

Dr. Michael Felderhoff, Christian Wagner, Kateryna Peinecke

MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KOHLENFORSCHUNG



Material	Mass [g]	Katalisator		Gasgemisch	Absorption
NaAlH ₄	3.88	TiCl ₃	4 mol-%	H ₂ /CO 90:10	kein
MgH ₂	2.21	Fe	3 wt-%	H ₂ /CO 90:10	kein
MgH ₂	2.42	Ni	5 wt-%	H ₂ + 100 ppm CO	kein
NaAlH ₄	5.49	n/a	n/a	H ₂ + 100 ppm CO	kein
Na ₃ AlH ₆	3.63	n/a	n/a	H ₂ + 100 ppm CO	kein
BaH ₂	0.5	n/a	n/a	H ₂ /CO 90:10	kein
CaH ₂	0.5	n/a	n/a	H ₂ /CO 90:10	kein
SrH ₂	0.34	n/a	n/a	H ₂ /CO 90:10	kein
NaH	0.2	n/a	n/a	H ₂ /CO 90:10	kein
KH	0.34	n/a	n/a	H ₂ /CO 90:10	kein
Na ₃ AlH ₆	4.72	TiCl ₃	4 mol-%	H ₂ + 100 ppm CO	Visible

Quelle: MPI, Hy-Clenaup Abschlussbericht, Förderkennzeichen: EFO 0074A / EFO 0074B



Synthese und Vorqualifizierung der Absorbermaterialien

Dr. Michael Felderhoff, Christian Wagner, Kateryna Peinecke

MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KOHLENFORSCHUNG



	NaH-Reaktionen mit H ₂ -Verunreinigungsgasen	ΔH_{RXN}^{298K} (kJ/mol)	ΔG_{RXN}^{298K} (kJ/mol)	Experimentell beobachtete Reaktionstemperatur	Bemerkungen
1	$\text{NaH(s)} + \text{H}_2\text{O(g)} \rightarrow \text{NaOH(s)} + \text{H}_2\text{(g)}$	-127.7	-117.7	~20°C [9]	
2	$2\text{NaH(s)} + \frac{1}{2} \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{Na}_2\text{O(s)} + \text{H}_2\text{(g)}$	-305.1	-312.0	~20°C* / ~230°C [10]	Entzündet sich spontan in trockenem O ₂ (g) bei ~230°C
3	$\text{NaH(s)} + \text{CO}_2\text{(g)} \rightarrow \text{NaOOCCH(s)}$	-216.5	-171.8	-85 to 54°C* / 54°C [9]	
4	$2\text{NaH(s)} + 2 \text{CO}_2\text{(g)} \rightarrow \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4\text{(s)} + \text{H}_2\text{(g)}$	-423.1	-366.1	80°C [9]	
5	$\text{NaH(s)} + 2 \text{CO(g)} \rightarrow \text{NaOOCCH(s)} + \alpha\text{-C(s)}$	-373.8	-277.0	150°C / 350°C [9]	Langsam bei 150°C, schnell bei 350°C
6	$2\text{NaH(s)} + \text{H}_2\text{S(g)} \rightarrow \text{Na}_2\text{S(s)} + 2 \text{H}_2\text{(g)}$	-232.7	-254.1	Nicht angegeben [11]	Abgeleitet aus LiH- und KH-Reaktionen mit H ₂ S(g)
7	$\text{NaH(s)} + \text{NH}_3\text{(g)} \rightarrow \text{NaNH}_2\text{(s)} + \text{H}_2\text{(g)}$	-67.4	-117.3	20°C [12] / ~200°C [9]	Reaktion bei 20°C beobachtbar, aber bei 200°C fast augenblicklich
8	$\text{NaH(s)} + \text{HOOCH(g)} \rightarrow \text{NaOOCCH(s)} + \text{H}_2\text{(g)}$	-231.5	-215.3	Nicht angegeben [9]	„Bei so niedriger Temperatur wie möglich durchführen, um Schwärzung zu vermeiden“
9	$\text{NaH(s)} + \text{HCl(g)} \rightarrow \text{NaCl(s)} + \text{H}_2\text{(g)}$	-262.4	-255.2	~20°C [9]	
10	$\text{NaH(s)} + \text{CH}_3\text{Cl(g)} \rightarrow \text{NaCl(s)} + \text{CH}_4\text{(g)}$	-345.9	-341.1	150°C [9]	„Reagiert problemlos über 150°C“
11	$\text{NaH(s)} + \text{HCOH(g)} \rightarrow \text{NaOCH}_3\text{(s)}$	-311.4	-332.4		Mögliche Reaktion basiert auf Hydridreduktion von Aldehyden

Hydrid-Reaktivitäten gegenüber H₂-Kontaminanten

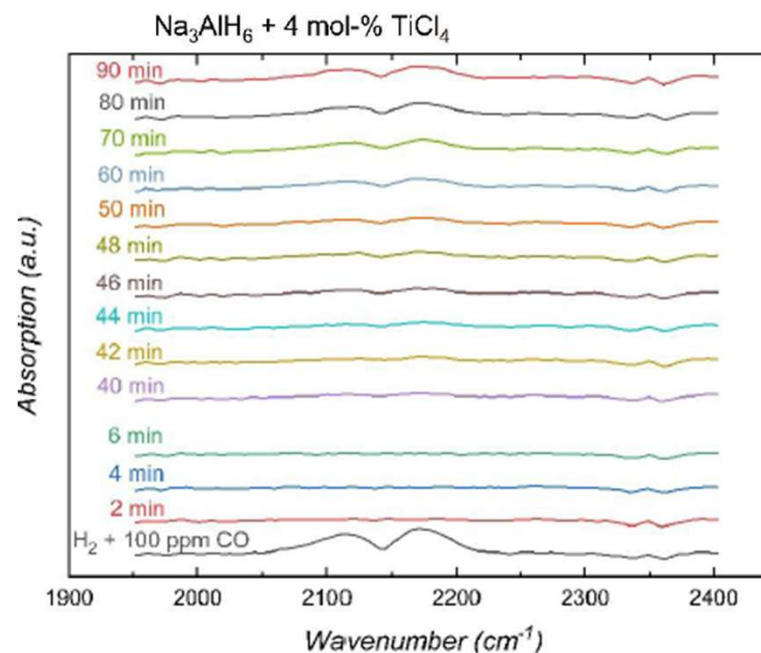
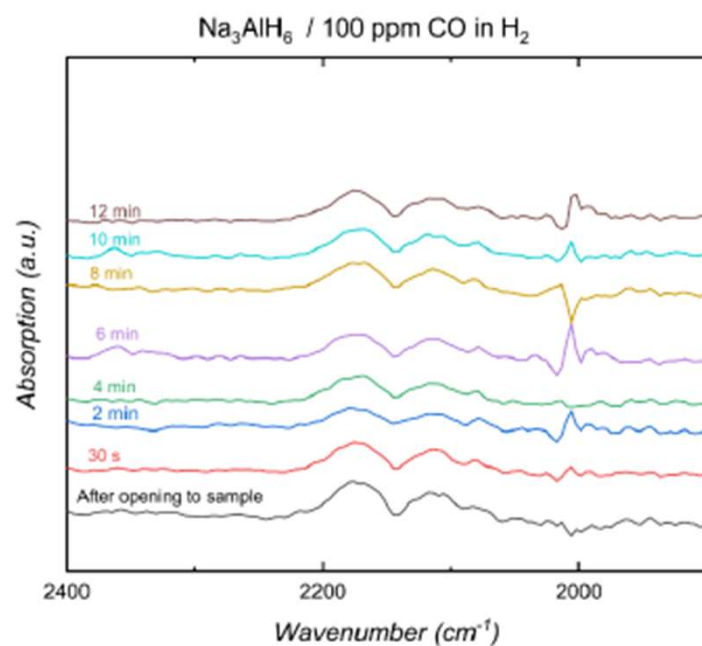
Quelle: MPI, Hy-Clenaup 1. Zwischenbericht (2022), Förderkennzeichen: EFO 0074A / EFO 0074B



Synthese und Vorqualifizierung der Absorbermaterialien

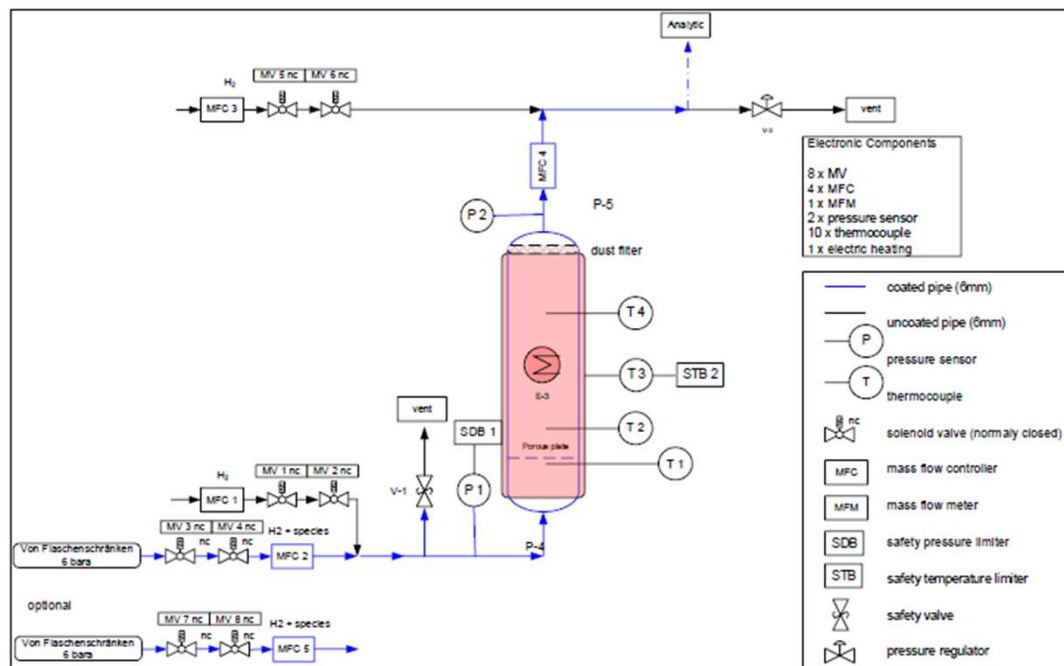
Dr. Michael Felderhoff, Christian Wagner, Kateryna Peinecke

MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KOHLENFORSCHUNG



IR-Spektren für Na₃AlH₆ und 100ppm CO in H₂ (links) und Na₃AlH₆ + 4 mol-% TiCl₃ und 100ppm CO in H₂ (rechts)
Quelle: MPI, Hy-Clenaup Abschlussbericht, Förderkennzeichen: EFO 0074A / EFO 0074B

Materialqualifizierung ZBT - Aufbau



Absorber-Teststandsschema ZBT

Quelle: ZBT, Hy-Clenaup Abschlussbericht, Förderkennzeichen: EFO 0074A / EFO 0074B

Instrument	Spezies	LOQ
GC-PED	CO	50ppb
IMR-MS	NH ₃	30ppb
IMR-MS	H ₂ S	2,1ppb
TD-GC-SCD	H ₂ S	1ppb

Nachweisgrenzen eingesetzter Analytik ZBT

Quelle: ZBT, Hy-Clenaup Abschlussbericht, Förderkennzeichen: EFO 0074A / EFO 0074B

Materialqualifizierung ZBT – Einfluss Raumgeschwindigkeit

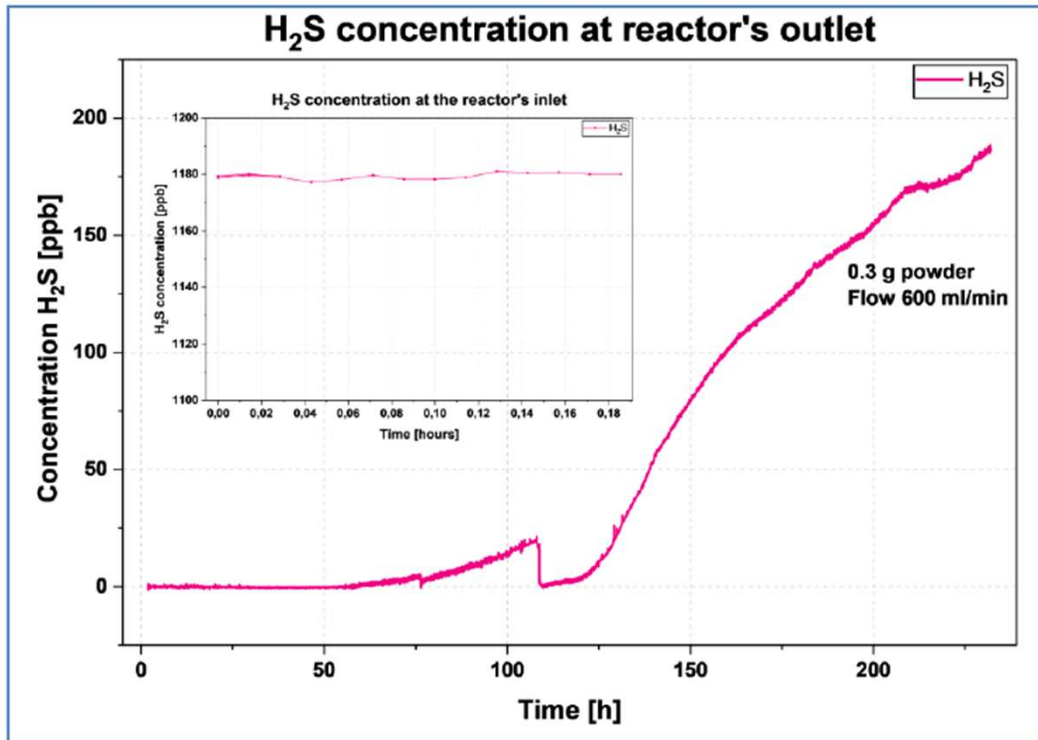
H ₂ S-Reaktoreingang /ppb	Materialmenge /g	Volumenstrom ml/min	Raumgeschwindigkeit /1/h:	Versuchsdauer /h	H ₂ S-Reaktor Ausgangskonzentration	H ₂ S Beladung /mg
16	5	300	1512		LOD*	
16	5	421	2121		LOD*	
50	2,5	600	6048	1263	LOD*	3,22
20000	0,5	600	30240	19,52	LOD*	19,91
1177	0,3	600	50400	372,78	LOD*	22,38

Ermittelte H₂S-Reaktivitäten bei variierender Versuchsparameter

Absorber	Typische GHSV
Aktivkohle (imprägniert)	500 – 3 000
Aktivkohle (roh)	100 – 500
Eisenoxid	200 – 2 000
Zinkoxid	1 000 – 10 000
Molekularsieb	< 500

Typische technische Raumgeschwindigkeiten exemplarischer Ad-, Absorber

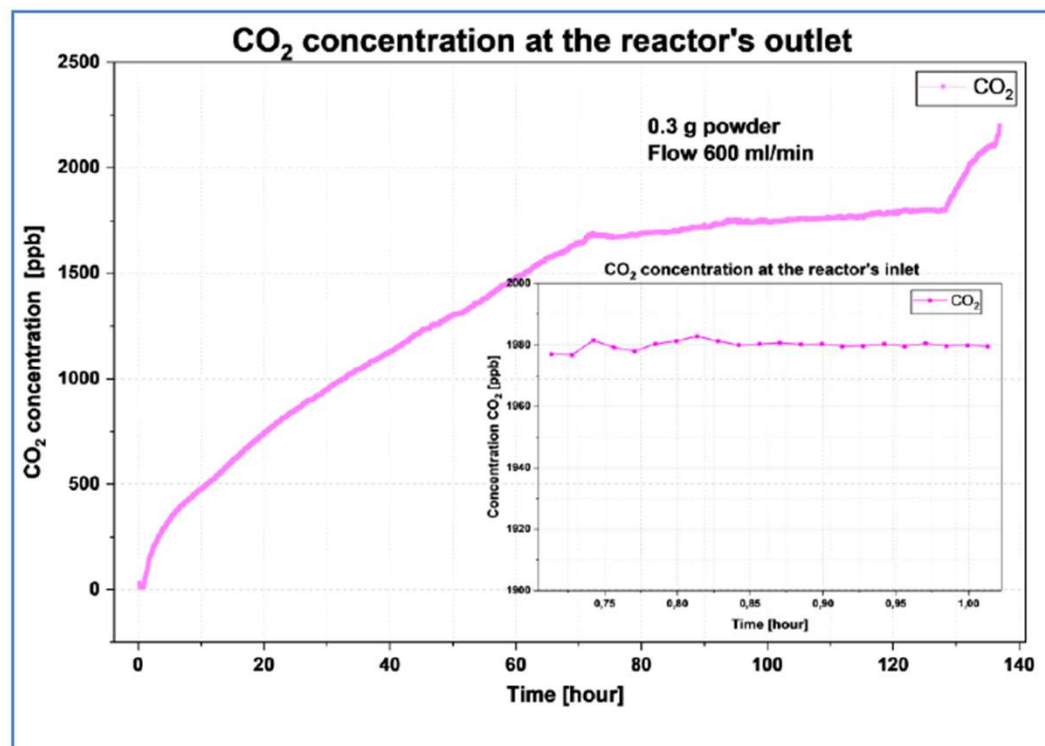
Materialqualifizierung ZBT – Schadgasuntersuchung



- Raumgeschwindigkeit: 50400h⁻¹
- Schadgaskonzentration: 1,18ppm
- Pulver

Am Reaktorausgang registrierter Schadgasspezies-Konzentrationsverlauf

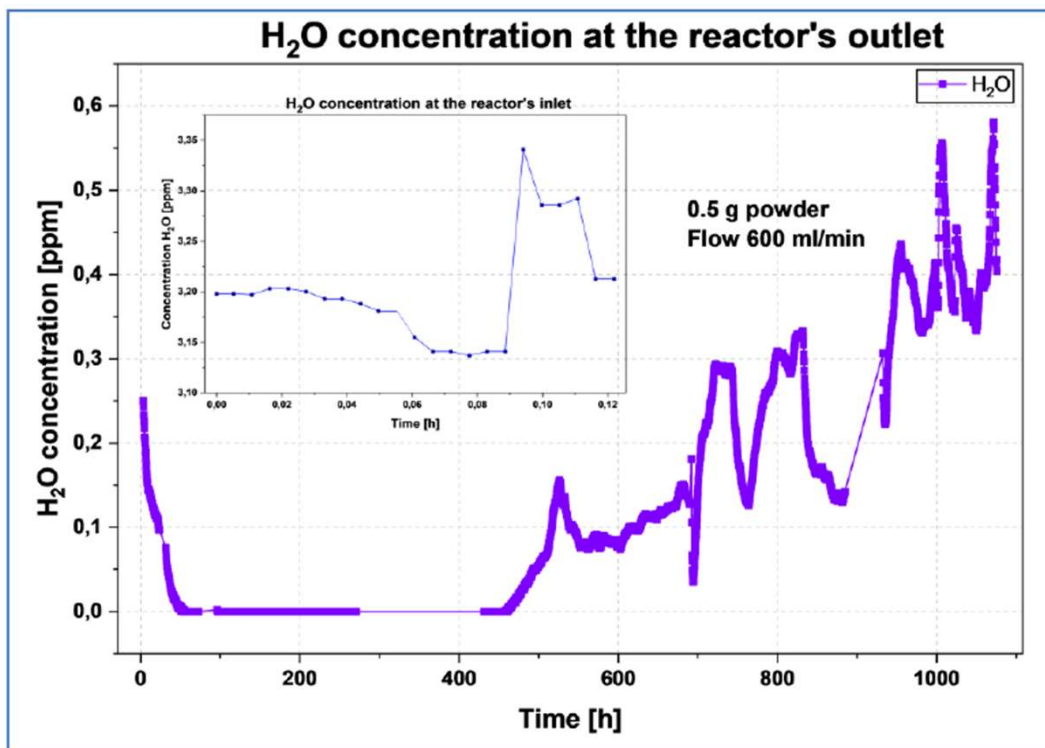
Materialqualifizierung ZBT - Schadgasuntersuchung



- Raumgeschwindigkeit: 50400h⁻¹
- Schadgaskonzentration: 2,0ppm
- Pulver

Am Reaktorausgang registrierter Schadgasspezies-Konzentrationsverlauf

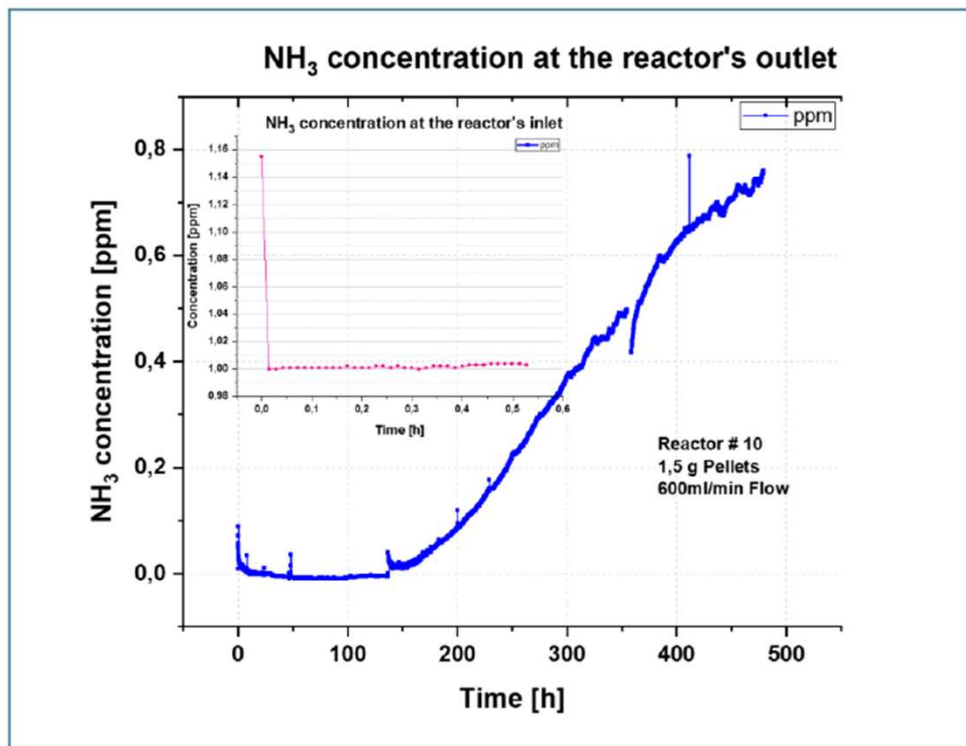
Materialqualifizierung ZBT - Schadgasuntersuchung



- Raumgeschwindigkeit: 30240h⁻¹
- Schadgaskonzentration: 3,15-3,25ppm
- Pulver

Am Reaktorausgang registrierter Schadgasspezies-Konzentrationsverlauf

Materialqualifizierung ZBT - Schadgasuntersuchung



- Raumgeschwindigkeit: $<10080\text{h}^{-1}$
- Schadgaskonzentration: 1,0ppm
- Pellets

Am Reaktorausgang registrierter Schadgasspezies-Konzentrationsverlauf

Nächste Schritte

Projektidee: *HyPurMat* - Beantragungsphase

- Formgebung des Absorbermaterials
- Qualifizierung Filtersysteme zur Wasserstoffaufreinigung
- Bewertung von Umweltwirkungen und Kosten mittels LCA und LCC



Nächste Schritte

Title: Hy-Infra – Hydrogen Infrastructure for the Meuse-Rhine region (IMR6-00162)

Partner: WaterstofNet (NL), ANPLICON (GE), POM-Limburg (BE), Cluster Tweed (BE) & ZBT (GE)

Further cooperation: Key stakeholders like HyNetwork, Fluxus and OGE, Thyssengas (backbone), regional municipalities (Maastricht, Parkstad, Aachen, Liège, Genk) and development agencies (IHKs, LIOF)

Start: 1.1.26 (3 years)

General Objectives

- Digital map quantifying the hydrogen demand (2030, 2035) (WP1)
 - Digital map quantifying the corresponding required hydrogen infrastructure (2030, 2035) (WP2)
 - Competence centre H2 quality incl. database on H2 quality in the infrastructure (WP3)
- for the Meuse-Rhine region

Interreg



Co-funded by
the European Union

Meuse – Rhine (NL – BE – DE)

THE HYDROGEN AND FUEL CELL CENTER

ACKNOWLEDGEMENT

Unserem Projektpartner MPI

- M. Felderhoff, K. Peinecke, C. Wagner, D. Sheppard, ...
- C. Spitta, M. Dietrich, R. Witzany, T. Anger
- Funding Institution: Project sponsor PTJülich

Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH

Carl-Benz-Straße 201 / D-47057 Duisburg

Thomas Optenhostert

+49 203 7598 – 1183 / t.optenhostert@zbt.de

WWW.ZBT.DE

MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KOHLENFORSCHUNG



Supported by:

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



ptj projektträger
jülich