

IHK-Wasserstoff-Forum am 29. Juni im Konzil in Konstanz

Prof h.c. Olaf Jedicke, Prof Thomas Jordan

Innovation Wasserstofftechnologie, modularer Aufbau und systemische Integration



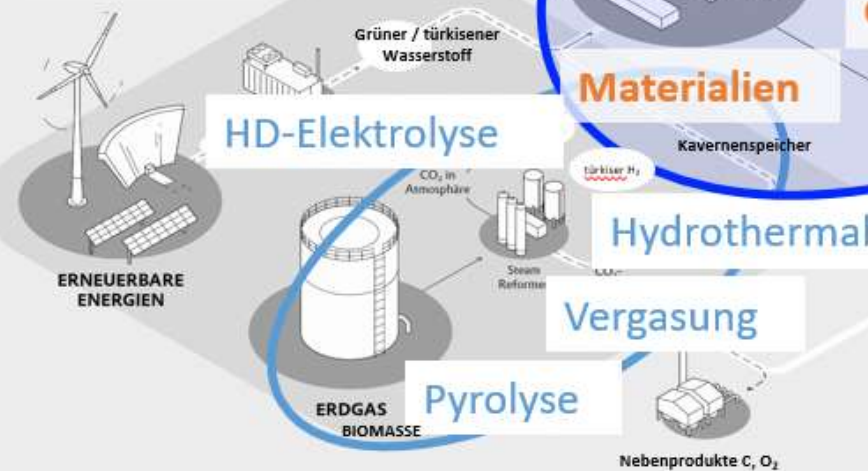
- Wasserstofftechnologie am KIT
- Wasserstoffsicherheit am ITES
- Stand der Technik
 - Technische Beispiel entlang der Nutzungs- und Anwendungskette
- Technische Wasserstoffkette (Innovation)
- Aus- und Weiterbildung zur Wasserstofftechnologie
 - GreenSkill4H2

Wasserstofftechnologie am KIT

QUERSCHNITTSTHEMEN

- Sicherheitsforschung
- Lehre & Ausbildung
- Materialien

WASSERSTOFF-ERZEUGUNG



ZENTRALE, VERBINDENDE ELEMENTE ZUR

SPEICHERUNG, TRANSPORT & VERTEILUNG

Materialien

Sicherheit

LH2 (+Supraleiter)

Ein- & Auskopplung Gasnetz

BHKW

Verbrennung

Druckbehälter und Kryostaten

Re-Fuels

STROM, WÄRME UND KÄLTE

MOBILITÄT

PTX

INDUSTRIE-ANWENDUNG



Energy Lab 2.0 am KIT



Energy Lab 2.0

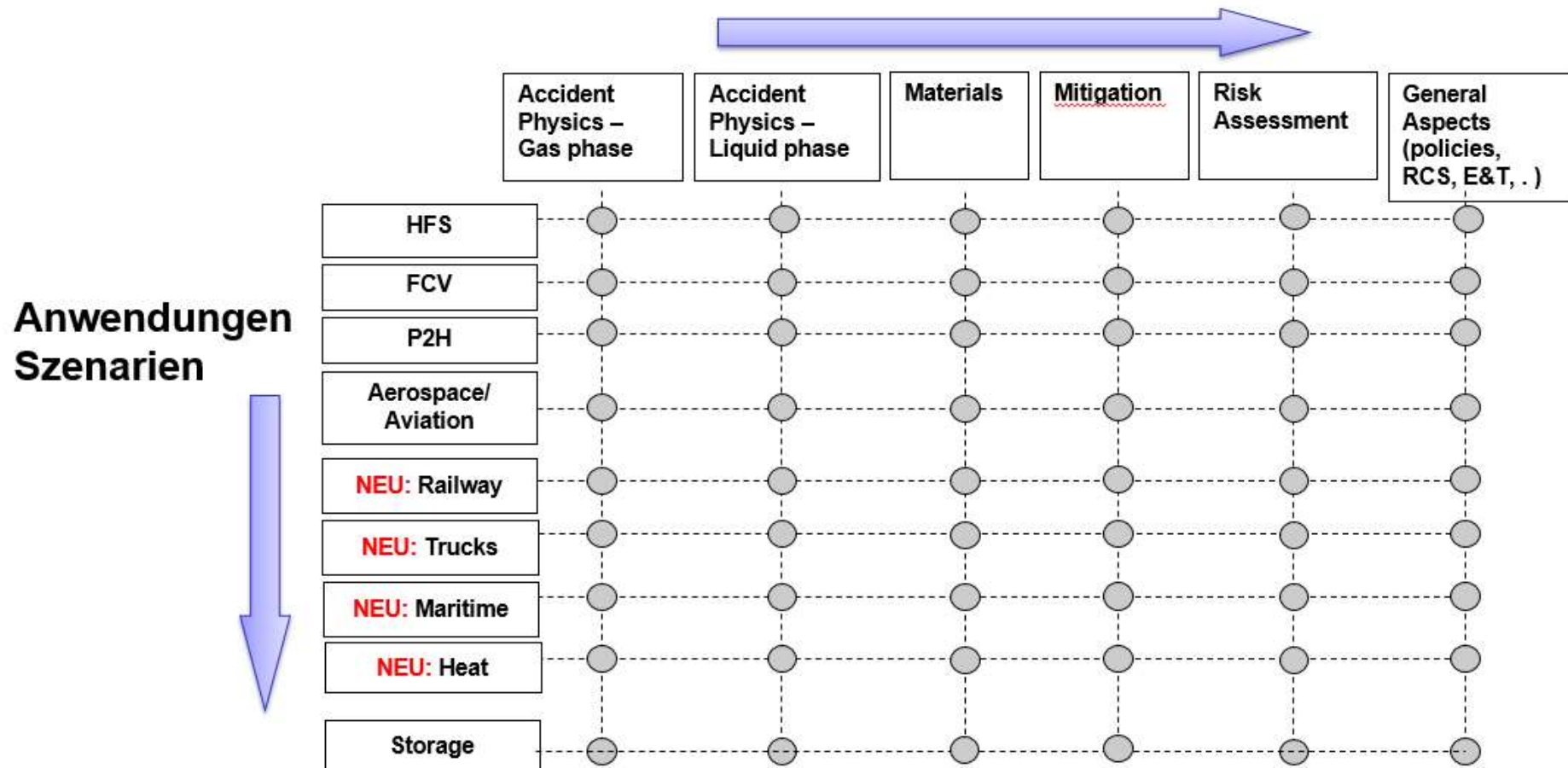
ENERGY
LAB 2.0

<https://www.elab2.kit.edu/english/index.php>

Wasserstoffsicherheit am ITES

Strukturierung des Arbeitsgebiets ITES

Phänomene/ Risikokontrolle



Unfallrelevante Phänomene

Forschungsprioritäten für hoch verdichteten, gasförmigen H₂

1. Vorgemischte Verbrennung

- Weiterführende Modellentwicklungen zur Beschreibung transienter großskaliger Flammenphänomene (FA, DDT) mit Einschluß und Verbauung
- Kopplung der Verbrennung mit Blast Waves

2. Zündung

- Entwicklung statistische Modelle
- Untersuchung von spontanen Zündungsprozessen (Shock Diffusion Ignition in realistischen Konfigurationen, etc..)



Unfallrelevante Phänomene Forschungsprioritäten für kryogenen H2 / LH2

1. Reaktionen, Verbrennung

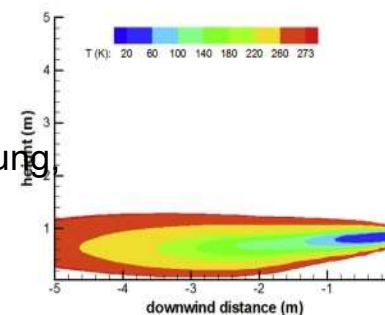
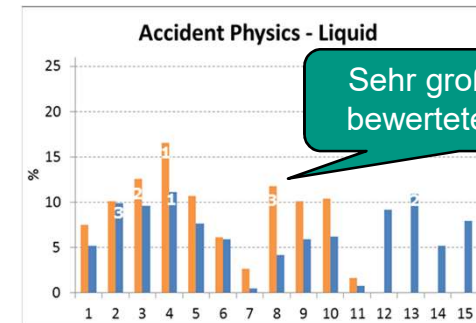
- Mehrphasige Gemische mit explosiven Potenzial
LH2 kann O2 aus der Luft auskondensieren und einlagern, was zu detonierfähigen Gemischen führen kann
- Transeinte Verbrennungseigenschaften der kalten, vorgemischten Systeme ($80\text{ K} < T < 250\text{ K}$), insbesondere bei Einschluss und Verbauung auf großer Skala

2. Mitigation

- Angepasste Strategien zur Auswahl, Auslegung, Positionierung und Betrieb von Sensoren, Ventilierung, Sprays etc. für Anwendungen mit kryogenem H2

3. Materialien





- Kompatibilität nicht-metallischer Materialien
- Auslegung von Strukturelementen gegen thermische Spannungen/ Schock



Quelle: HSE 2020

Erkenntnisse aus dem FCH 2 JU Projekt PRESLHY “Pre-normative Forschung zum sicheren Umgang mit LH2”

Laufzeit: 01/2018-05/2021

Partner: KIT (koord.), AL, HSE, HySafe, INERIS, NCSR, PS, UU, UWAR
in Kooperation mit    



KIT E4.4 Pool Experimente auf Kiesbett



KIT E5.2
Kryo-Kanal-
Experimente

zur Priorität 1a: **Mehrphasenmischungen** mit Explosionsgefahr

- Wiederholtes Verschütten im Kiesbett kann gefährliche kondensierte Phasengemische erzeugen; nicht für andere Substrate
- Wasserspray auf LH2-Pool initiierte **keine Rapid Phase Transition**

zur Priorität 1b: **Verbrennungseigenschaften kryogener Gemische**

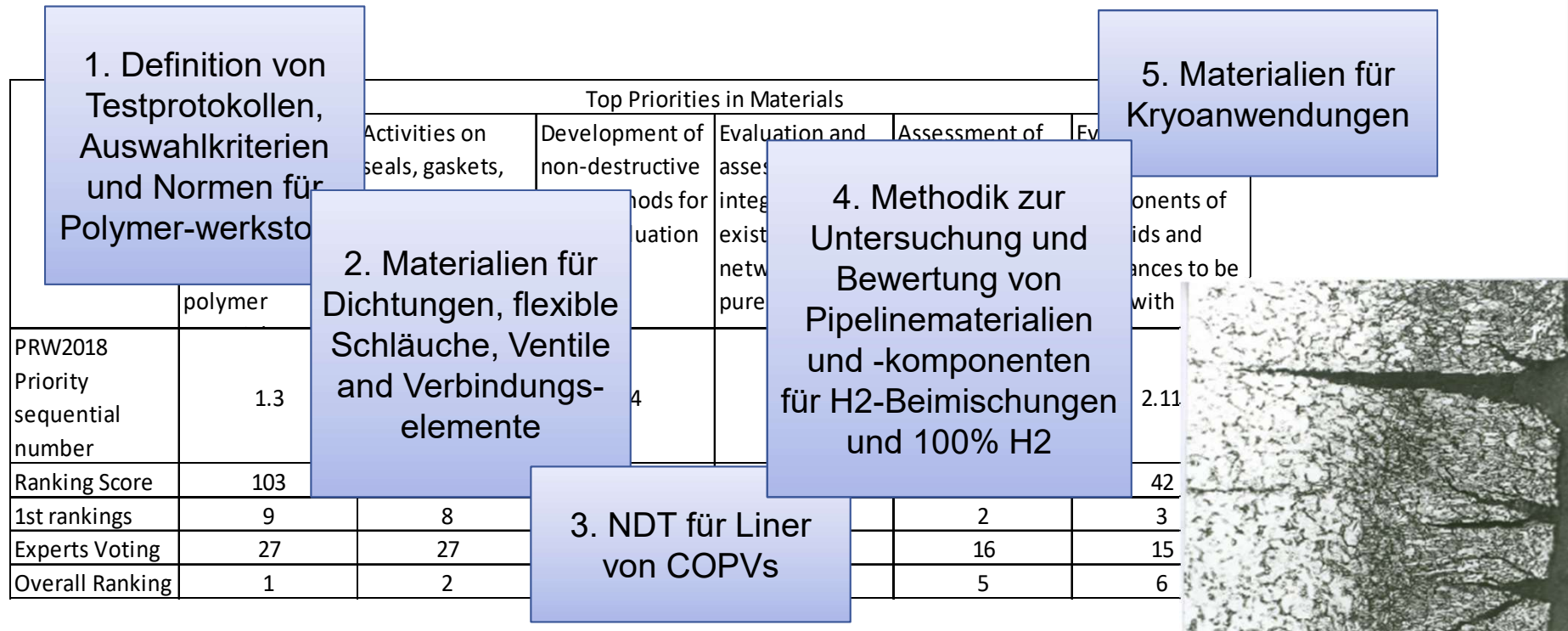
- Höheres Expansionsverhältnis σ bei gleichzeitig höherem σ_{krit}
- Freie unverbaute Szenarien weniger kritisch
- Höhere Dichte kann starke **Druckeffekte** begünstigen, insbesondere bei Verbauung

zur Priorität 1b: **Große Inventare**

- Große Freisetzungen erzeugen unter normalen Wetterbedingungen keine wesentliche statische Elektrizität und fördern **keine spontane Selbstentzündung** (> 500 Einzelexperimente)
- Auslaufendes LH2 sollte auf dedizierten Flächen rückgehalten werden

- www.preslhy.eu
- PWI 24077 (ISO TC 197)
- Update von ISO TR 15916 (und TRGS 751)

Forschungsprioritäten Materialien



HE durch Hydride (SanMarchi, 2018)

Forschungsprioritäten Mitigation

1. Sensoren

- Wide Area Monitoring und Integration in die Anlagensteuerung und in das Schutzkonzept (Meta-Sensoren, KI, etc.)
- Empfehlungen zur Auswahl und Positionierung von Sensoren für verschiedene Anwendungen

→
kryogener
H₂ / LH₂



2. Schutzeinrichtungen (z.B. Ventilation, Wände,)

- Modelle zur Berücksichtigung der Schutzeinrichtungen in Risiko- bzw. Sicherheitsbewertungen
- Weiche vs. steife Wände

Anwendung Power-to-H2 Prioritäten für Elektrolyse

1. Absicherung insbesondere des Teillastverhaltens

- Auswirkungen auf den Cross-Over
- Wirksamkeit, Sicherheit der Phasentrennung und Reinigungsstufen (z.B. De-oxo)
- Sauerstoff-Management

2. Material

- Degradation der Trennmembran und Dichtungen
- Stabilität der Strukturmaterialien insbesondere für HTEL

3. Regelwerke, Normen

- HTEL oder reversible Technologien werden in Normen z.B. ISO 22734 nicht adequat berücksichtigt
- Inkonsistente nationale Interpretationen der ATEX
- Festlegung von Worst-Case-Szenarien



Unfall mit 2 Fatalitäten
Gangneung, Korea (2019)

siehe
EHSP workshop
[https://www.fch.europa.eu/news/
results-fch-ju-workshop-safety-electrolysis](https://www.fch.europa.eu/news/results-fch-ju-workshop-safety-electrolysis)

Anwendung Wärme Prioritäten für Pipelines

1. Leckagen in Gebäuden und unterirdischen Leitungen

- Prüfstrategien, Sensoren, etc.
- Odorisierung, Visualisierung

2. Materialfragen auch für H₂/NG

- insbesondere Kunststoffe, hochfeste Stähle etc.
- Testprotokolle hinsichtlich Versprödung, Ermüdung, Langzeiteffekte etc.

3. Sicherheitsbewertungen und Zertifizierung

- Zertifizierung von Komponenten und
- Unwendbarkeit der ATEX insbesondere für H₂/NG

4. Reinheitsanforderungen

- Verunreinigungen insbesondere beim Umrüsten, Odorisierung
- Einmischungsstrategien und Mischungstransienten



Application - Heat			
Q	TOT	%	RANK
1	93	20.67	2
2	88	19.56	4
3	92	20.44	3
4	72	16.00	5
5	105	23.33	1

Anwendungen in der Mobilität/Transport Prioritäten für Tankstellen

1. Reduktion von Überkonservativitäten

- Kostenreduktion (ALARP Prinzip) und realistischerer Risiko-Wahrnehmung
- Methodik: Demonstration von Sicherheit
- Intelligentes Design und Nutzung aller Signale in einem integrierten Sicherheitskonzept

2. Kaskaden-/Dominoeffekte

- Einfluß des Hochskalierung für Schwerlastanwendungen und Kolokation mit konventionellen Zapfpunkten

3. Design der Abblasekammine

- Berücksichtigung/Detektion kalter, kryogener Freisetzungen, Flashgase beim Befüllen von Kryostaten etc.
- Akustik



Unfall bei Oslo, Norwegen (2019)

Anwendungen in der Mobilität/Transport Prioritäten für H2 PKWs

1. Komplexe, kritische Szenarien

- in Tunneln und (teil-)umschlossenen Räumen

2. Modellierung von Fahrzeugbränden

- und deren Auswirkung auf die Speichersysteme

3. Thermische Exkursionen

- beim fehlerhaften Betanken und Bestimmung der Auswirkung auf die Integrität des Speichersystems

4. Sichere Auslegung der Druckentlastung

- insbesondere für Fahrzeuge in Garagen, Parkhäuser
(*Vergleichende Sicherheitsbewertung*)



Anwendungen in der Mobilität/Transport

Prioritäten für Heavy Duty Trucks HDT

1. Crash-Normen

- Implikationen auf die Fahrzeugtanksysteme (CGH2, LH2 und CCH2)

2. Szenarien-Auswahl

- Angemessene Auswahl für die Risikountersuchungen, sowie probate Methodik zur Berücksichtigung externer Risiken in Ermangelung einer robusten statistischen Datenbasis
(*Probabilistik vs. Hydrogen Safety Engineering*)

3. Generelle Sicherheitsaspekte großer Inventare

- ~100kg und mehr bei der Betankung, insbesondere beim Einsatz von kryogenem H₂ (LH₂ und CCH₂)

Application - Trucks				
Q	TOT	%		RANK
1	125	27.78	<div style="width: 27.78%;"></div>	1
2	100	22.22	<div style="width: 22.22%;"></div>	3
3	106	23.56	<div style="width: 23.56%;"></div>	2
4	80	17.78	<div style="width: 17.78%;"></div>	4
5	39	8.67	<div style="width: 8.67%;"></div>	5



Anwendungen in der Mobilität/Transport Prioritäten für Bahnanwendungen



1. **H₂ in Eisenbahntunneln und in (teil-)umschlossenen Räumen**
(Bahnhöfe, Reparaturhallen, etc.)
2. **Sicherheitsaspekte von H₂ in der Gegenwart von Hochspannungsnetzen**

Schnittstellen/Gemeinsamkeiten mit

- **Heavy Duty Trucks**
- **HyTunnel-CS**
- **Elektrolyse**

Anwendungen

Prioritäten für (mobile) H2 Speichersysteme

1. Thermische Lasten

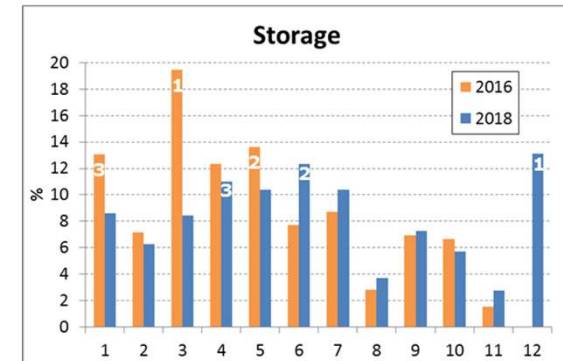
- realistische Testprotokolle zum Nachweis der Brandfestigkeit von Tanks (*System vs Komponente*)
- Überschreitung der Glass Transition Temperature beim fehlerhaften Betanken oder anderer Temperaturexkursionen

2. Zerstörungsfreie Prüfung, statistische Absicherung der Produktionsqualität und der sicheren Funktion im Feld

- Zyklenstabilität, Restfestigkeit, Alterung etc.

3. Innovative, intrinsisch sichere Speicher

(*Demonstration von Sicherheit*)



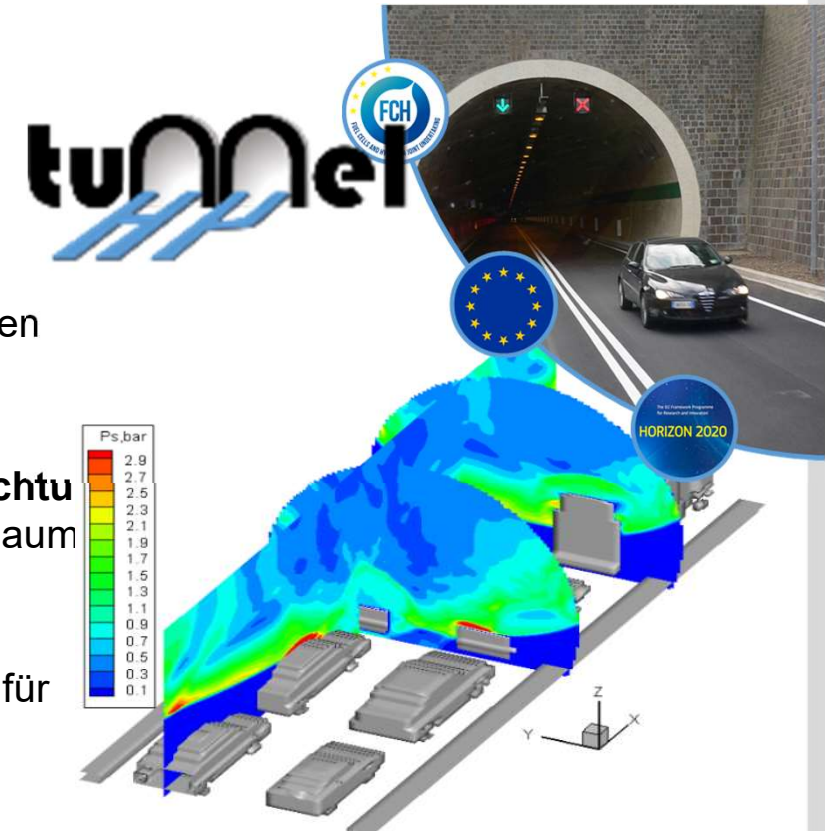
H2 PKW →
Global Technical Regulation GTR13

FCH 2 JU Projekt HyTunnel-CS

- ✓ Bestimmung **relevanter Szenarien** für Strassen- und Bahntunnels, sowie für (teil-)ungeschlossene Infrastrukturen (Garagen, Tankstellen etc.)
- ✓ Untersuchung von potenziellen **Unfallfolgen**
- ✓ **Wirksamkeit von konventionellen Brandschutzeinrichtungen** und Taktiken in Tunnels (Ventilation, Wasserspray, Schaum, Feuerwehrzugang etc..) zur Beherrschung oder Folgenminderung von unfallbedingten Explosionslasten
- ✓ Empfehlungen für **First und Second Responders** und für **spezifische Regulierung und Normierung** (z.B. Tunnelsicherheitsdirektive)

siehe

➤ www.hyttunnel.net



Ergebnis einer integralen Verteilungs- und Verbrennungs-Simulation mit GASFLOW-MPI (Freisetzung von 5kg H₂, axiale Ventilierung, starke Zündung unterhalb der Decke)

Anwendung in der Mobilität/Transport

Prioritäten für H2 in der Schifffahrt

1. Optimale Ventilierungsstrategien

- Rezirkulation, Strahlungseffekte von Flares insbesondere mit kryogenem H2 unter anspruchsvollen Randbedingungen

2. Tolerierbare Druck-/Impulslasten

- auf Personen und Strukturen?

3. Akzeptanz von größeren Freisetzungen

- (5, 10, 20 g/s) in umschlossenen Räumen
- Inertisierung

4. Sicheres Bunkering



Spezielle eigene Regulatorik IMO

Application - Maritime			
Q	TOT	%	RANK
1	44	9.78	2
2	65	14.44	1
3	22	4.89	
4	31	6.89	
5	36	8.00	
6	23	5.11	
7	43	9.56	
8	36	8.00	
9	17	3.78	
10	44	9.78	2
11	20	4.44	11
12	19	4.22	12
13	7	1.56	16
14	26	5.78	8
15	8	1.78	15
16	9	2.00	14

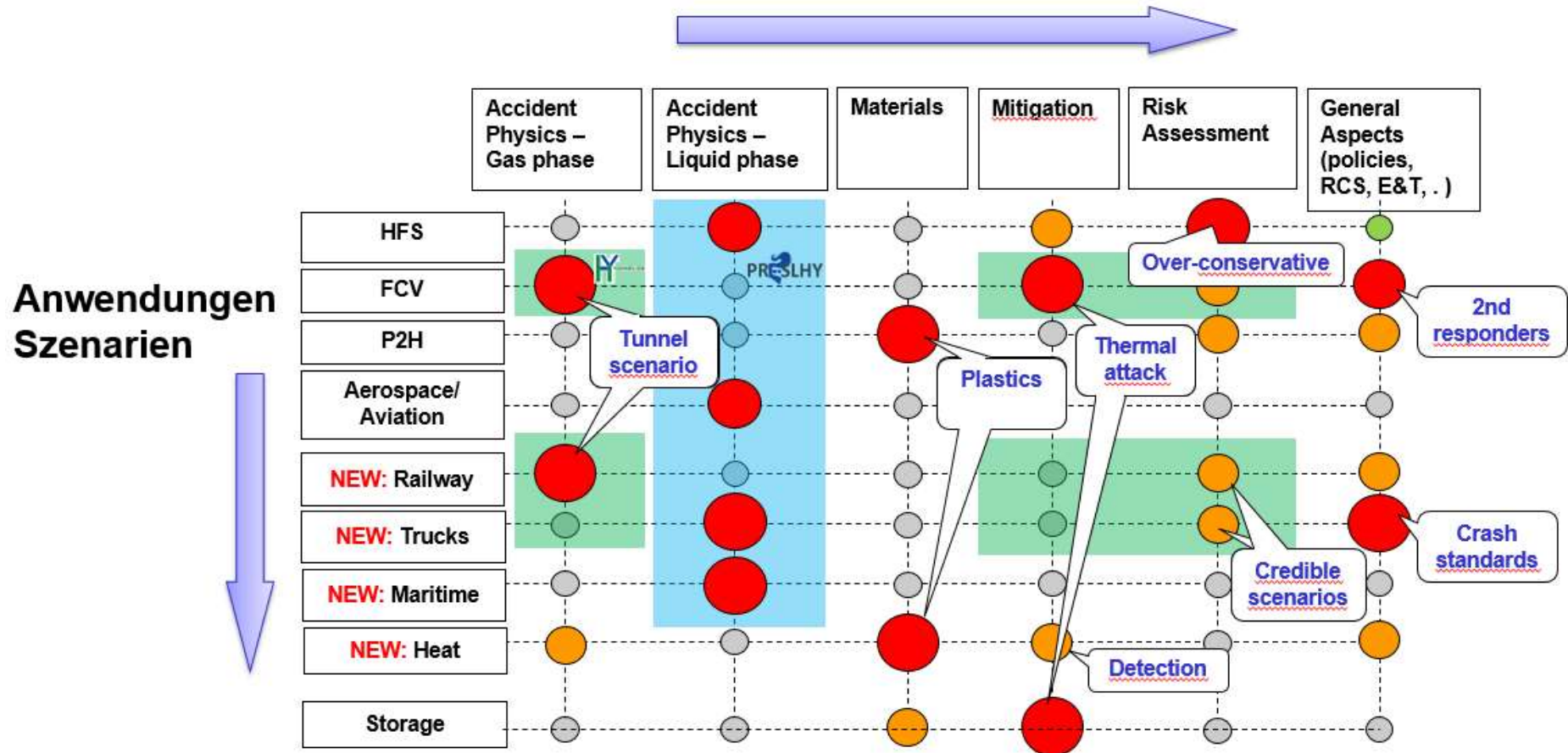
Sehr viele Einzelthemen wurden bewertet



Wasserstoffsicherheit am ITES

Wasserstoffsicherheit Überblick

Phänomene/ Risikokontrolle



Hydrogen Pilot Projects



Pilot Project H2_A
“Large scale industry supply with green H2”



Pilot Project H2_B
“Virtual pipeline”



Pilot Project H2_C
“Heavy Duty Transport”



Pilot Project H2_D
“Distributed production and use in agriculture”

Pilot Project H2_A “Large scale industry supply with green H2”

Why? (Need, Motivation)

- Large demand for green hydrogen of local industry
- Strong local potential for green electricity
- Use of high TRL technology for large scale (200-300 MW) electrolysis plant for low specific costs of green hydrogen

How? (Resources, partners, finances)

- Collect large scale industry demand (BASF, Borealis, Euroglass,...)
- Secure access to hydroelectric power (EdF) and build additional floating PV (Abowind)
- Partner with electricity (EdF, Badenova), gas industry (Linde, Air Liquide, Air Products) and technology suppliers (Siemens, John Cockerill,...)
- Identify electrolyser operator (Hynamics,...)
- Use of / extend existing pipeline infrastructure
- Improve H2 economy (< 5€/kg) by marketing electrolysis by-products heat and oxygen, and
- acquire additional national and/or European funding (e.g. Hydrogen Valley)

What? (deliverables, USP, outcome)

- ✓ Solved of hydroelectricity power use
- ✓ Selection of optimum lake/water area for building a reference floating PV (e.g. basin of Ottmarsheim station)
- ✓ Finalising the land planning for a 200 MW production electrolyser with direct connection to the existing pipeline
- ✓ Installation of initial 40 MW electrolyser set-up
- ✓ Installation of a test bed for new innovative electrolyser cells/stack/ systems for assessing new materials, components and operational strategies
- ✓ Benchmark with similar installations (1 MW Grenzach-Whylen pilot plant of Energiedienst, etc.)
- ✓ Further extension of electrolyser to 200-300 MW



Image source: EdF



Image source: ThyssenKrupp

Pilot Project H2_B “Virtual pipeline”

Why? (Need, Motivation)

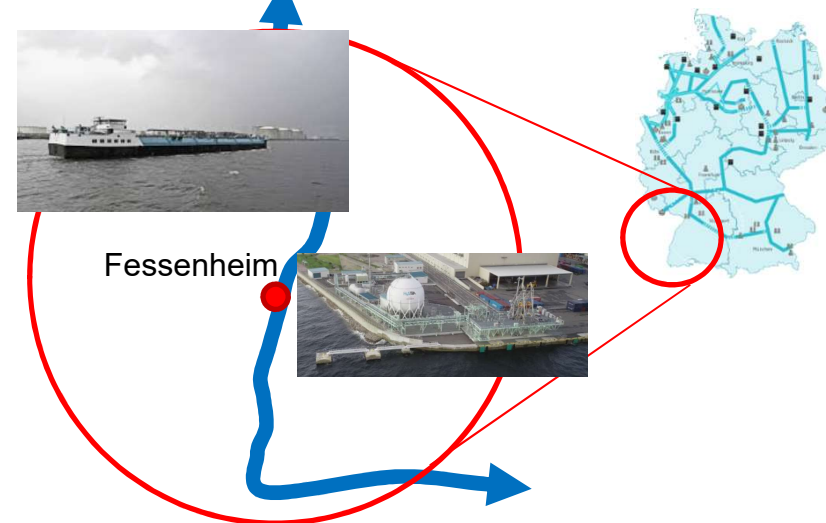
- **Import infrastructure** for green hydrogen needed to cope with higher demand in larger region (CH/F/D)
- Real pipelines are long term projects binding huge investments, and are not very flexible
- Plans for connecting the region with **dedicated H2 pipeline** are only on the long-term (> 2035 in EU backbone planning)

How? (Resources, partners, finances)

- Involve interested technology suppliers: Linde, Air Liquide, MTU, MAN, CryoStar,...
- Build local **large scale storage/bunkering facilities** at **existing harbour infrastructure** at **Rhine river**
- Establish **container-based multi-modal green transport and distribution** (water → rails → road) scheme for initially gaseous, later **liquid hydrogen LH2**
- Develop and build low water capable H2 FC or ICE driven hybrid electric **transport vessel** (10 t)
- Partner with projects H2Global, RH2INE and HyRiver

What? (deliverables, USP, outcome)

- ✓ **Demonstration of functionality** of „Virtual Pipeline“ consisting of 2 Rhine harbour installations (1 @ KA/LU + 1 @ Ottmarsheim/Fessenheim) with LH2 bunkering and large scale storage
- ✓ Build „**green liquefier**“ (highly efficient, green H2 and electricity) at Ottmarsheim/Fessenheim (1 t/d capacity)
- ✓ Establish the region as **green H2 trading hub** and promote the Upper Rhine valley as **hydrogen valley**



Pilot Project H2_C “Heavy Duty Transport”

Why? (Need, Motivation)

- CO2 reductions required for heavy duty transport
- A5/A36 connecting Northern Switzerland, Grand-Est of France with the South-West of Germany
- **> 13000 heavy-duty road vehicles per day**
- General solution for a **better, economic and sustainable organization of long-haul road freight** on a **tri-national scale** needed

How? (Resources, partners, finances)

- **Business concept analogue to Swiss Hyundai Hydrogen Mobility (H2M)**: leasing trucks to commercial truck operators on a pay-per-use basis
- **Central service** for operation (including H2 supply and refueling)
- Extension of fuel supply to **bus fleet(s)**
- Optimum design of taxation and subsidizing
- Partners: Fuel supplier: Linde France, Air Liquide; Refueling station operator: Shell, Total; Truck suppliers: Hyundai, Daimler Trucks
- Users: Grieshaber, Schenker, JCL Logistics, ...



What? (deliverables, USP, outcome)

- ✓ Develop **business model** and collect interest among logistics / transport companies
- ✓ Develop and install **State-of-the-Art refueling station** with independent sub-system for R&D and trucks fleet
- ✓ Operate and further grow fleet integrated in multi-modal transport scheme with rail and on-water transport
- ✓ **Support technology and standards development** for heavy duty refueling



Photo source: Hyundai, Daimler Truck

Pilot Project H2_D “Distributed production and use in agriculture”

Why? (Need, Motivation)

- Region has **strong agricultural background**
- Agriculture has to contribute to de-fossilization and environmental protection
- **Green technologies help promoting local products** and support tourism coupled to e.g. wine farming
- Current public subsidizing schemes for biomass/-gas based electricity production is phasing out (in D)
- Agricultural communities seek for **new business models**

How? (Resources, partners, finances)

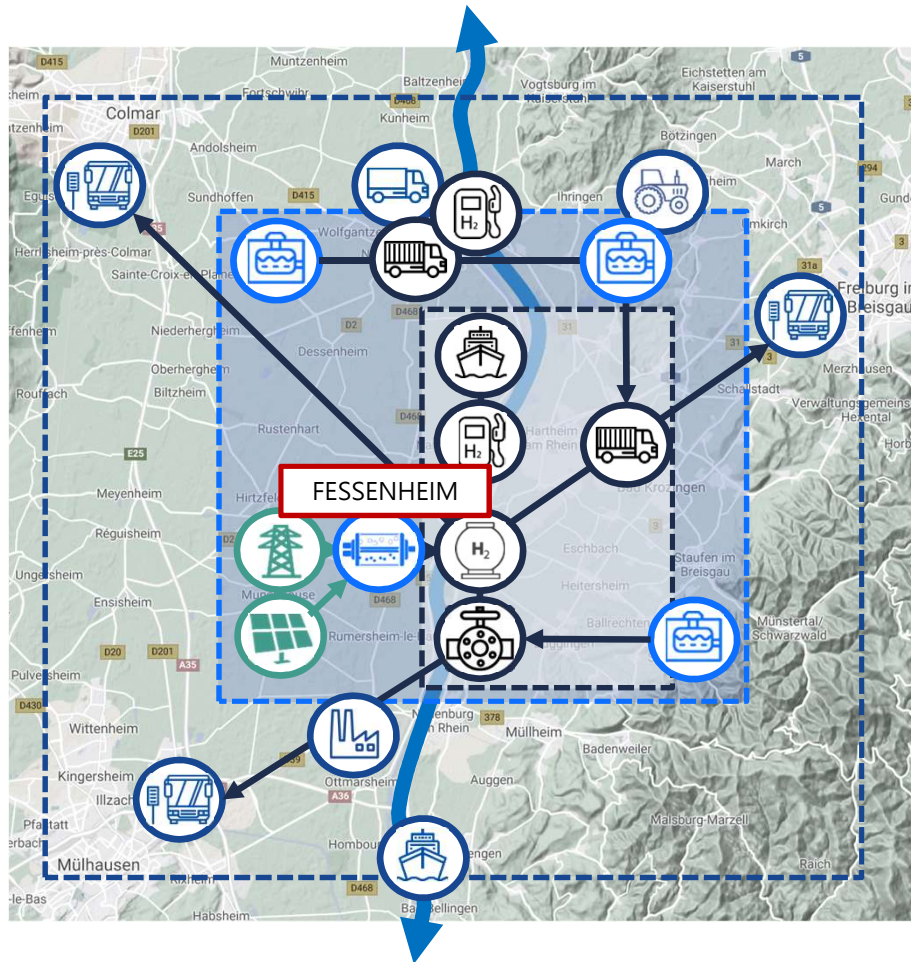
- Based on successful precursors (e.g. pilot project with scaled down VERENA facility at Kaiserstuhl)
- Learning from good examples:
Scotland advertises “Whisky goes green with hydrogen” (The Times 5 March 2021)
- Raiffeisen Waren-Zentrale RWZ shows strong interest
- Supported by regional funds?



What? (deliverables, USP, outcome)

- ✓ Install **agro-PV** at prototypical farm
- ✓ **Convert existing biogas facility to H2 production** (TRL>>)
- ✓ Install prototypical advanced plasmalysis installation
- ✓ Operate **fleet of agricultural machines** at same prototypical farm
- ✓ Convert fuel trading business model of agricultural cooperatives to locally produced green fuel





Summary Multi-modal H2 Hub

- Built on 4 largely independent, mutually supportive, sector-integrating pilot projects
 - Pilot Project H2_A "Large scale industry supply with green H2"
 - Pilot Project H2_B "Virtual pipeline"
 - Pilot Project H2_C "Heavy Duty Transport"
 - Pilot Project H2_D "Distributed production and use in agriculture"
- Covering the **whole value chain**, applying mature hydrogen technologies for **commercial** operations, accompanied by **R&D activities**
- Adapted to specific **local needs and opportunities**
- Early achievement of **large scale and low specific costs** for green H2
- **Robust** through **external connection** and successive expansion towards more **distributed energy system** with convergence to the end user



[HOME](#) [CONSORTIUM MEMBERS](#) [NEWS AND EVENTS](#) [OUTCOMES](#) ▾

Paving the way for a clean Hydrogen economy in Europe

The European Hydrogen Skills Alliance is providing workers and industry with the new skills that are required to meet the challenging targets of the Green Transition.



Ausbildung Wasserstofftechnologie

Our project will:

- Design and implement a **Hydrogen Skills Strategy**
- Develop, test and rollout **VET programmes** across Europe
- **Establish a partnership** between Industry and Education

Green Skills for Hydrogen VET programmes and qualifications will anticipate the latest market needs and leverage EU instruments and tools, providing **continuous green and digital skills, and ongoing career development** to empower workers and technical professionals.

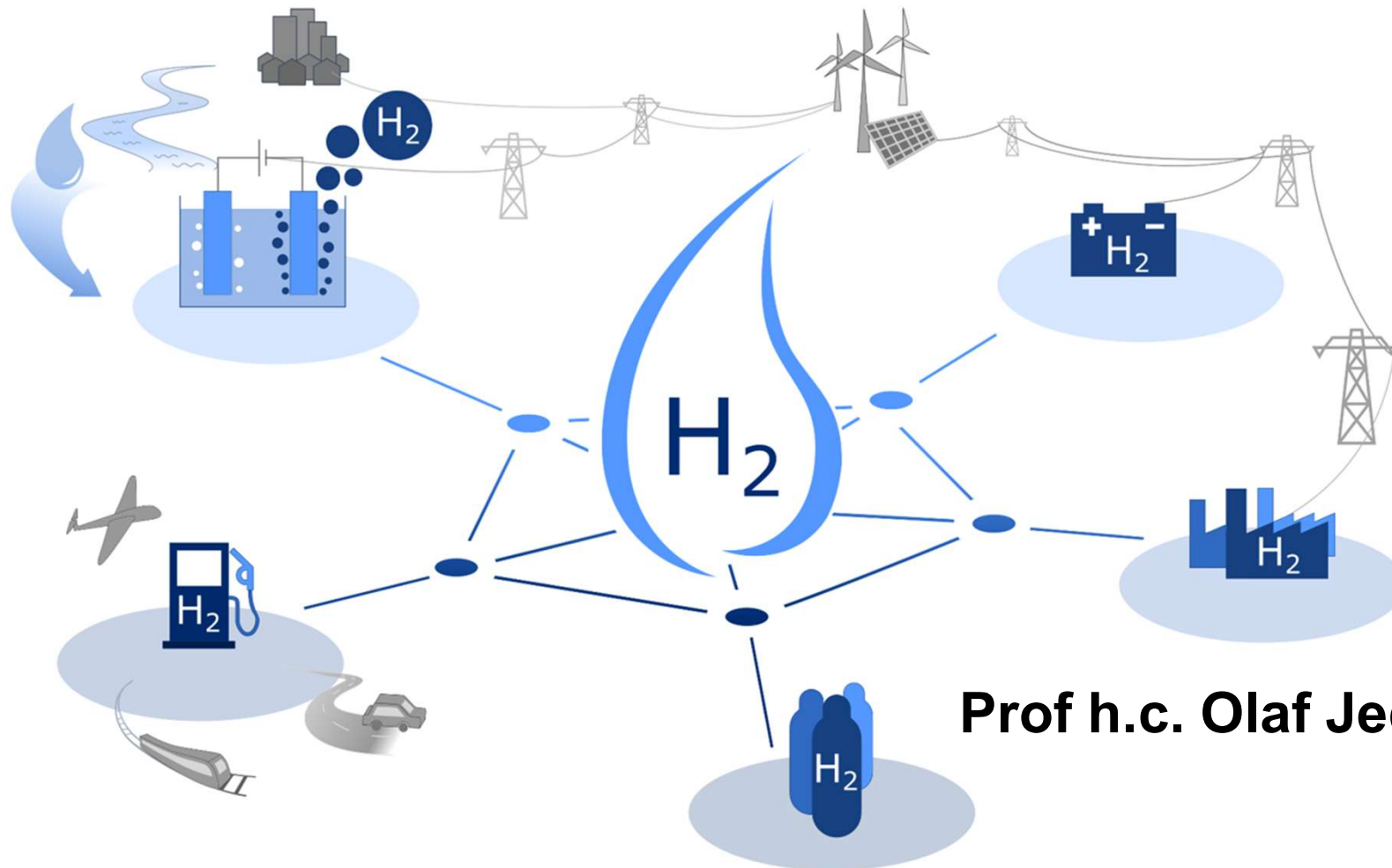


Funded by
the European Union

Ausbildung Wasserstofftechnologie



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Prof h.c. Olaf Jedicke