



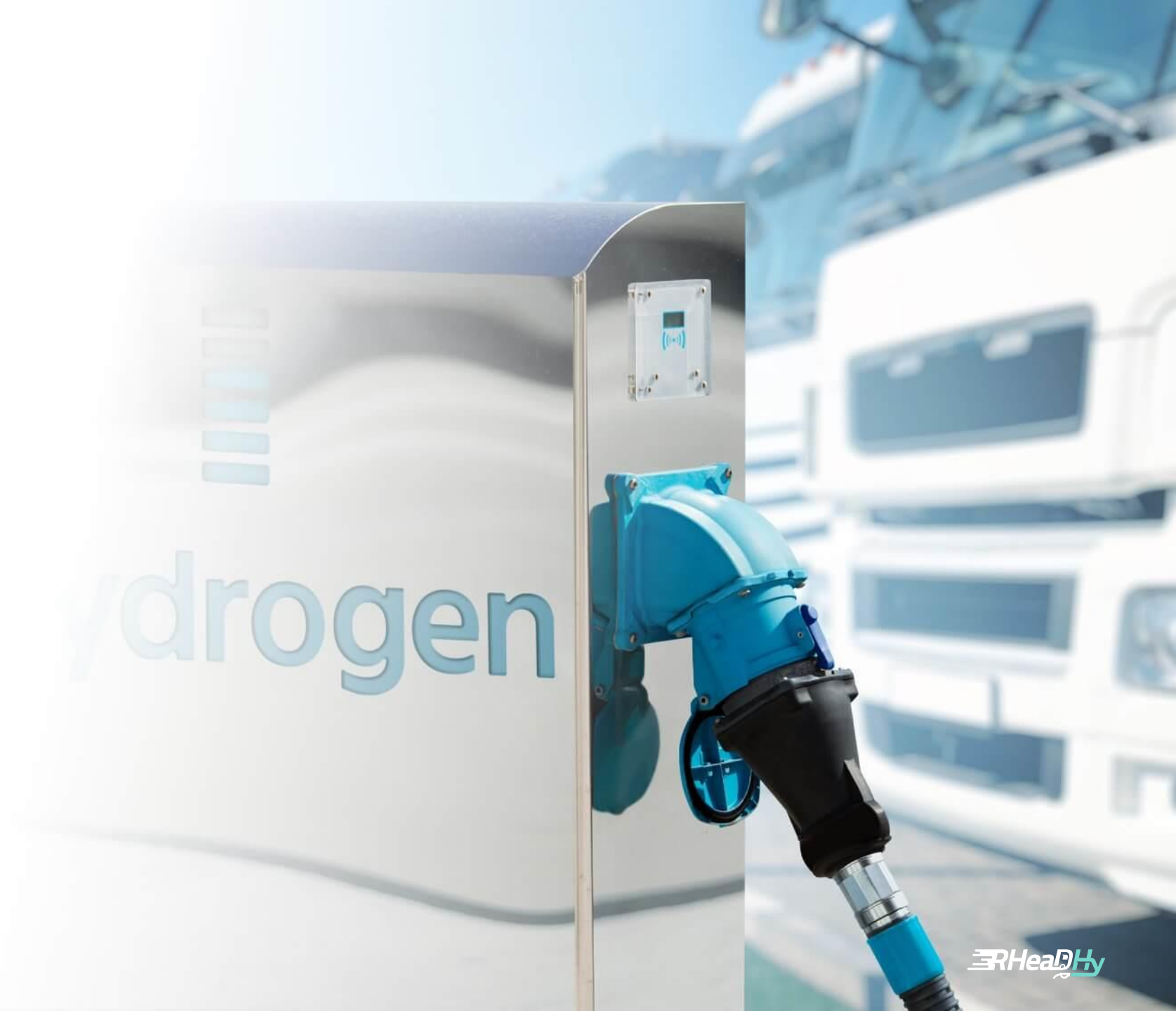
RHeaDHy – Entwicklung und Test / innovativer Lösungen für die High-Flow- Wasserstoffbetankung

Lukas WILLMEROOTH (ZBT)

15/10/2025

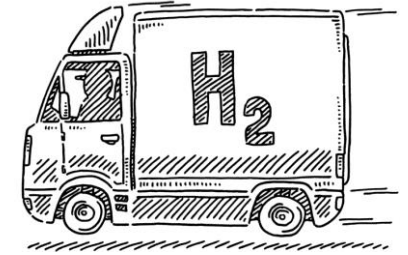


/ Einleitung & Kontext



RHeaDHy Projekt:

Förderung der Entwicklung der Schwerlast-Wasserstoffmobilität



2020

2022 2023

2027

PRHYDE Projekt



Januar 2020 – September 2022

Entwicklung innovativer High-Flow-Betankungsprotokolle für das Befüllen von Schwerlast-Wasserstofffahrzeugen.

→ Konzeptarbeiten & Simulationen nur mit Einzeltanks und niedrigem Durchfluss aufgrund fehlender verfügbarer Ausrüstung (High-Flow-Komponenten, fortschrittliche Komponenten ... geeignete Tankstelle)

RHeaDHy Projekt



Februar 2023 – Januar 2027

Entwicklung eines High-Flow-Betankungsstrangs und der zugehörigen Komponenten. Test neuer High-Flow-Betankungsprotokolle.

→ Entwicklung, Erprobung und Markteinführung von High-Flow-Komponenten und eines Betankungsstrangs – Test neuer Betankungsprotokolle unter relevanten Bedingungen

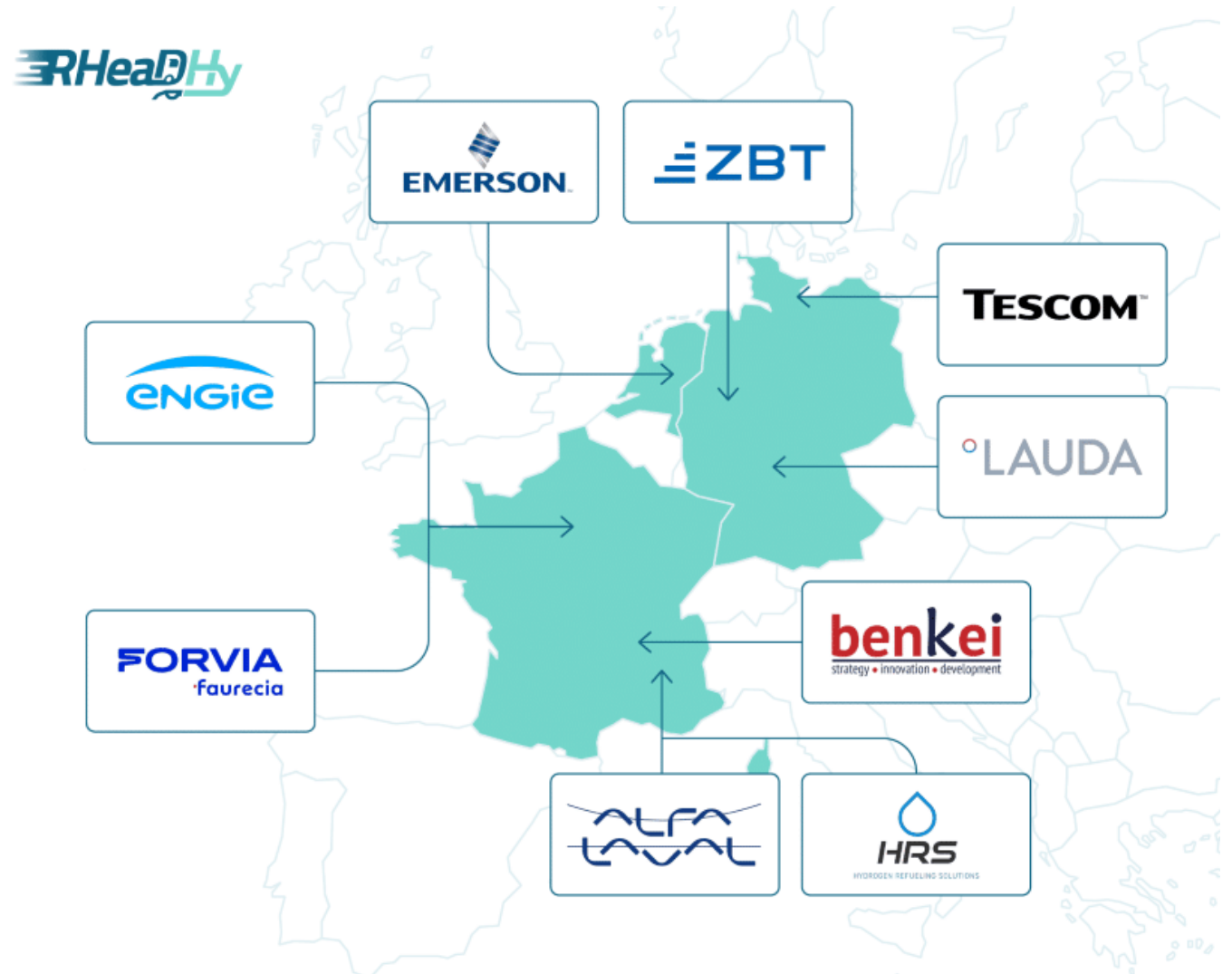
/ Consortium

9 Partner aus 3 europäischen Ländern

8 Industriepartner und 1
Forschungseinrichtung

Projekt mit Fokus auf angewandte
Forschung und Entwicklung

Projektbudget: 4M€



/ Projektziele

Ziel 1: Entwicklung von High-Flow-Betankungssystemen für Heavy-Duty

- Design und Aufbau eines vollständigen Betankungsstranges für 300 g/s Durchflussrate
- Entwicklung von Schlüsselkomponenten wie Wärmetauscher, Kühlung, Schalt- und Steuerventilen sowie Durchflussmessung
- Sicherstellung von Zuverlässigkeit und energieeffizientem Betrieb des Gesamtsystems

Ziel 2: Umfassende Erprobung mit relevanten Wasserstoff-Betankungsprotokollen

- Aufbau eines repräsentativen Testsystems für LKW mit bis zu 100 kg Kapazität
- Implementierung von High-Flow-Füllprotokollen
- Durchführung einer mehr als einjährigen Testkampagne

Ziel 3: Schnelle Einführung von High-Flow-Tankstellen nach Projektende

- Standardisierung und Zertifizierung der Komponenten
- Gewährleisten eines wirtschaftlichen Kostenrahmens für den Betankungsstrang
- Enge Einbindung in das Wasserstoff-Mobilitätsökosystem (Standardisierungsgremien, Advisory Board, externe Kommunikation)



/ Projektstatus (Oktober 2025)

/ Einzelkomponenten



Wärmetauscher (Alfa Laval)

Gewicht : 750 kg
Designdruck: 1250 barg
H₂-Füllrate: 18 kg/min



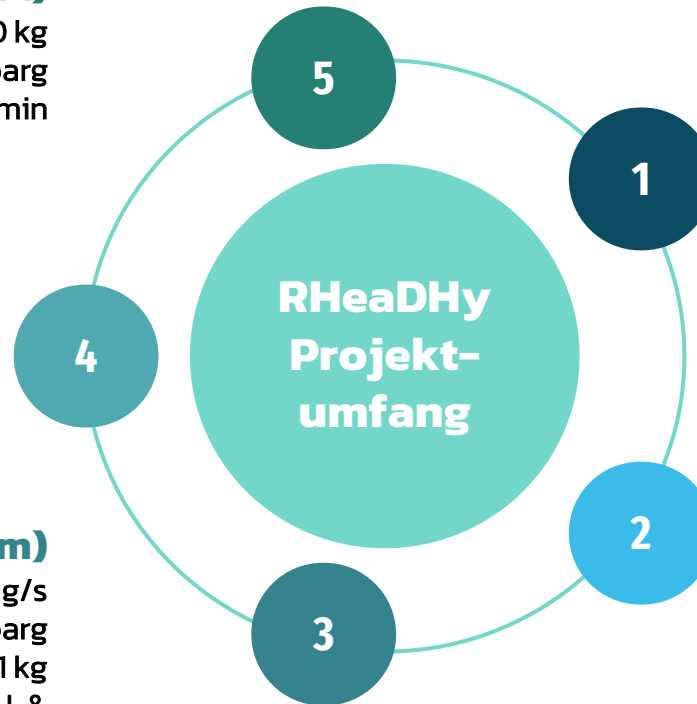
Kälteanlage (Lauda)

Kühlkapazität: 60 kW pro Kühler
Gesamtspitzenleistung: 310 kW
Bestehend aus 2 Chillern and 1
Pumpenmodul



Regelventil (Emerson Tescom)

Max. Durchfluss: 300 g/s
Max. Arbeitsdruck: 1035 barg
Gewicht: 31 kg
Angestrebte Konformität mit PED 2014/68/EU &
ATEX 2014/34/EU



Durchflussmesser (Emerson MicroMotion)

Max. Durchfluss: 300 g/s
Max. Arbeitsdruck: 1110 barg
Gewicht: 22 kg
Angestrebte Konformität mit ATEX, PED, OIML
R139



Absperrventile (Emerson Tescom)

Max. Durchfluss: 300 g/s
Max. Arbeitsdruck: 1035 barg
Gewicht: 22 kg
Angestrebte Konformität mit PED 2014/68/EU &
ATEX 2014/34/EU



Alle RHeaDHy-Komponenten wurden entwickelt, gebaut, getestet und
für die Integration an HRS/ZBT ausgeliefert.



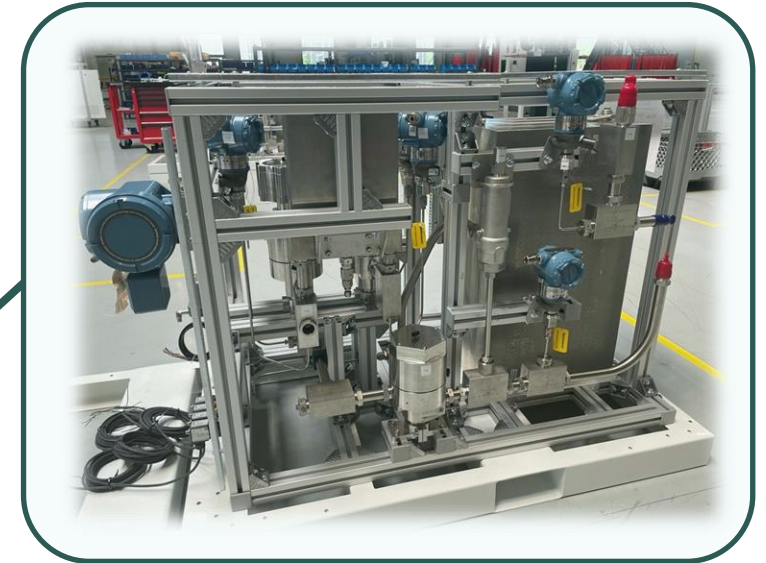
/ Dispenser

- Dispenser wird derzeit bei HRS montiert

Der Wasserstoff-Dispenser für das RHeaDHy-Projekt befindet sich aktuell bei HRS im Aufbau – gemäß den erarbeiteten technischen Spezifikationen.

- Auslieferung in Kürze

Die Auslieferung an das ZBT erfolgt zeitnah, um Installation und Inbetriebnahme vorzubereiten.



/ Truck Storage Test System

➤ Truck Storage Test System von Forvia

Forvia hat zwei Testsysteme entwickelt, die als Lkw-Speicher eingesetzt werden. Der beim Betanken verwendete Wasserstoff wird in die Anlagen zurückgeführt und wiederverwendet.

➤ Modulares System mit bis zu 100kgH₂

Insgesamt 6 Typ-IV Tanks:

- 4 Tanks mit 563L*
- 2 Tanks mit 95L (einer davon vertikal)*

Minimierung von Druckverlusten für 300 g/s Massenfluss



/ Testkampagne

hydrogen

/ Testanlagen und -kampagne



Ziele

- Test und Validierung von HF-Betankungsprotokollen
- Charakterisierung von HF-Komponenten
- Erfassung und Bewertung der Anlagenperformance
- Nachweis der RHeaDHy-KPIs (300 g/s, 100kgH₂ in <10 min)



Teststandorte

Technischer Ausbau für 100 kg Betankungen an zwei Standorten:

- > ZBT: Wasserstoff-Testfeld in Duisburg (DE)
- > HRS: Testcenter in Grenoble (FR)



Testkampagne

- 300 Betankungsversuche mit variierenden Parametern
- Tests div. Betriebs- und Umgebungsparametern
- Internationale Zusammenarbeit mit ext. Partnern

ERGEBNISSE

1. Öffentlicher Testkampagnenbericht
2. Direkte Rückmeldung in die Industrie über Advisory Board und Normungsgremien (SAE & ISO)
3. Wissenschaftliche Veröffentlichungen und Beiträge
4. Testanlage am ZBT verfügbar für Anschluss tests
5. Unterstützung der Industrie durch externe Kooperationen



HYDROGEN TESTFIELD

Spezifikationen der Forschungstankstelle:

- › Ca. 800 kg H₂ Speicherkapazität
- › Wasserstoffrückführung
- › 2 Zapfsäulen (je 35 und 70 MPa)
- › SAE J2601-1, -5, PRYHDE, Frei konfigurierbar
- › Testspeicher mit Temperaturmessung im Tank
- › H₂-Vorkühlung und -Vorwärmung



/ Teststandort – ZBT



01

Neue Vorkühlung

02

Test-Tanksystem mit
98 kgH₂ @70 MPa

03

Zusätzliche
Speicherkapazität
(160 kgH₂ @ 100 MPa)

/ Testkampagne – Öffentliche Informationen



PUBLIC DELIVERABLE

Ein Dokument zur Erklärung der Struktur, Inhalte und Vorgehensweise wurde begleitend zur Testmatrix über LinkedIn und die Projektwebsite veröffentlicht.



TESTMATRIX

Die Testmatrix ist öffentlich über die Projektwebsite verfügbar. Sie bietet einen Überblick über die gesamte Testkampagne sowie über die Spezifikationen aller geplanten Tests.

Batch	Sub-batch	Objectives	Kind of tests	Number of tests	Priority
RAM	RAM	Progressive flow increase	Refuelling with higher and higher flow	10	1
KPI	KPI	Prove project KPIs are reached	Fuel 100kg in 10 min ; fuel at -30°C during 10 min ; reach 300 g/s	15	1
PRO	SAE	Test SAE J2601-5 protocol in different ambient and operating conditions (check refuelling behavior is safe and performant)	Fuel with SAE J2601-5 with various ambient temperatures, refuelling temperatures, test storage size, initial pressures and temperature, flows, ...	50	1
	SAO	Test SAE J2601-5 options and features (KO method, volume measurement, pressure pulse) to give feedback on their accuracy to the industry	Test KO method, PRR-Taper method, volume measurement method, ... in SAE J2601-5	15	2
	PRH	Test PRHYDE protocols to give feedback on their performance to the industry	Fuel with PRHYDE TInitial and PRHYDE TgasThrottle	20	2
	EHT	Conduct specific tests desired by EMERSON-T to qualify their product	Check behavior at low inlet pressure	2	1
PAR	EMM	Conduct specific tests desired by EMERSON-M to qualify their product	Constant flow fueling ; pre-cooled H2 into flowmeter if possible ; comparison to high-flow field reference if any	14	1
	FOR	Conduct specific tests desired by FORVIA to qualify their product	Bank-switch at specific pressure / flow points	4	1
	ALF	Conduct specific tests desired by ALFA to qualify their product	Fluctuating inlet temperature ; fluctuating outlet temperature setpoint ; thermal inertia study	3	1
	LAU	Conduct specific tests desired by LAUDA to qualify their product	Refuelling with only one of the two evaporator : tests with "phase 2" configuration on the cooling system	11	1
EXT	TWN	Conduct twin-nozzle refuellings in the scope of the RHeaDHy - Toyota partnership	Twin-nozzle refuellings	97	2/3
	EP2	Conduct tests in partnership with other industrial or academic external partners	Examples (to be confirmed): refuelling of other tests benches or trucks ; test of communication prototypes ; test of other hoses / nozzles / receptacles ; inter-lab studies ; ...		
	EPN	(its currently being discussed with various potential partners)			
CER	FLM	Tests needed to obtain OIML R139 on flowmeter	Full fills, half fills, MMQ fills	9	1
OPT	COS	Understand better cost difference depending of refueling time	Energy consumption for given fueling time ; study cost / time trade-off	25	3
	PRT	If room for optimization is seen after PRO testing, try improved refuelling protocols	Adaptation of current protocols		
	CAS	Test different cascade operating strategies to understand their impact on performance and cost	Various switch criteria, initial pressures, bank organization, ...		
OTH	VEH	Conduct refuellings that are typical of vehicles other than trucks, to gain in understanding	Mimic buses, trailers refuelling for instance	25	3
	STA	Use different refuelling station configuration or control logic to see impacts	Try direct compression or parallel refuelling if possible		
	SIM	Be able to validate specific points of simulation models	Vertical tank refuelling study, ...		
Total tests of interest :				300	

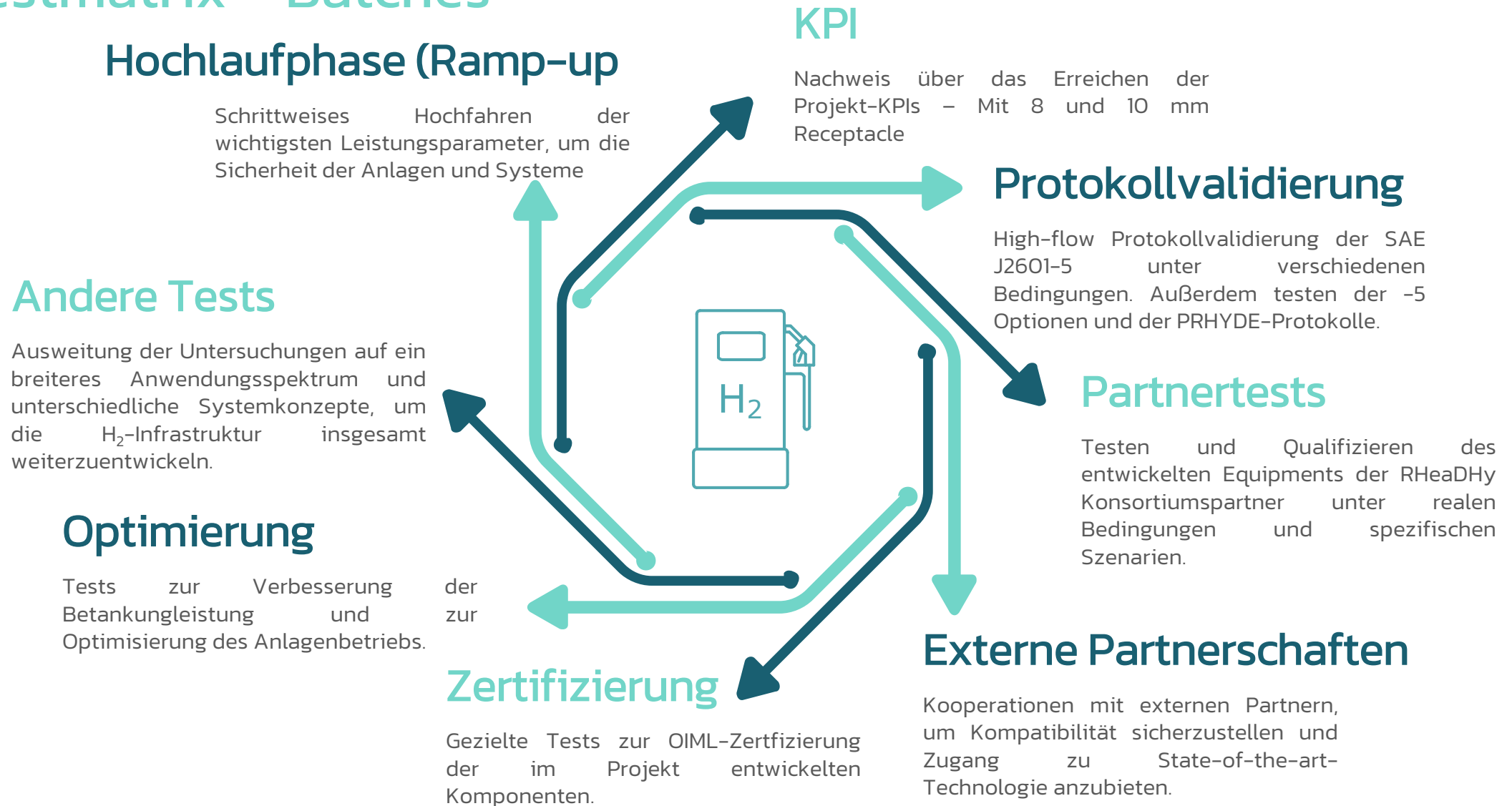
/ Testmatrix

Batch		Sub-batch	Kind of tests	Number of tests	Priority
PRO	SAE	Test SAE J2601-5 protocol in different ambient and operating conditions (check refuelling behavior is safe and performant)	Fuel with SAE J2601-5 with various ambient temperatures, refuelling temperatures, test storage size, initial pressures and temperature, flows, ...	50	1
	SAO	Test SAE J2601-5 options and features (K0 method, volume measurement, pressure pulse) to give feedback on their accuracy to the industry	Test K0 method, PRR-Taper method, volume measurement method, ... in SAE J2601-5	15	2
	PRH	Test PRHYDE protocols to give feedback on their accuracy to the industry	Test PRHYDE TInitial+ and PRHYDE TgasThrottle	20	2
PAR	EMT	Conduct specific tests desired by partners	low inlet pressure	2	1
	EMM	Conduct specific tests desired by partners	ing ; precooled H2 into flowmeter if possible ; comparison to reference if any	14	1
	FOR	Conduct specific tests desired by partners	specific pressure / flow points	4	1
	ALF	Conduct specific tests desired by partners	temperature ; fluctuating outlet temperature setpoint ; thermal	3	1
	LAU	Conduct specific tests desired by partners	by one of the two evaporator : tests with "phase 2" configuration	11	1
EXT	TWN	Conduct twin-nozzle refuellings in partnership		97	2/3
	EP2	Conduct tests in partnership with other industrial or academic partners	tests benches or trucks ; test of nozzles / receptacles ; inter-lab		
	EPN	(is currently being discussed with various potential partners)			
CER	FLM	Tests needed to obtain OIML R139 on flowmeter		9	1
OPT	COS	Understand better cost difference depending of refuelling time	cost / time trade-off	25	3
	PRT	If room for optimization is seen after PRO testing, try improved protocols			
	CAS	Test different cascade operating strategies to understand their impact on performance and cost	various switch criterias, initial pressures, bank organization, ...		
OTH	VEH	Conduct refuellings that are typical of vehicles other than trucks, to gain in understanding	Mimic buses, trailers refuelling for instance	25	3
	STA	Use different refuelling station configuration or control logic to see impacts	Try direct compression or parallel refuelling if possible		
	SIM	Be able to validate specific points of simulation models	Vertical tank refuelling study, ...		
	...		Other ideas arising during test campaign if any		
Total tests of interest :				300	

Struktur: Einzelne Batches und Sub-Batches

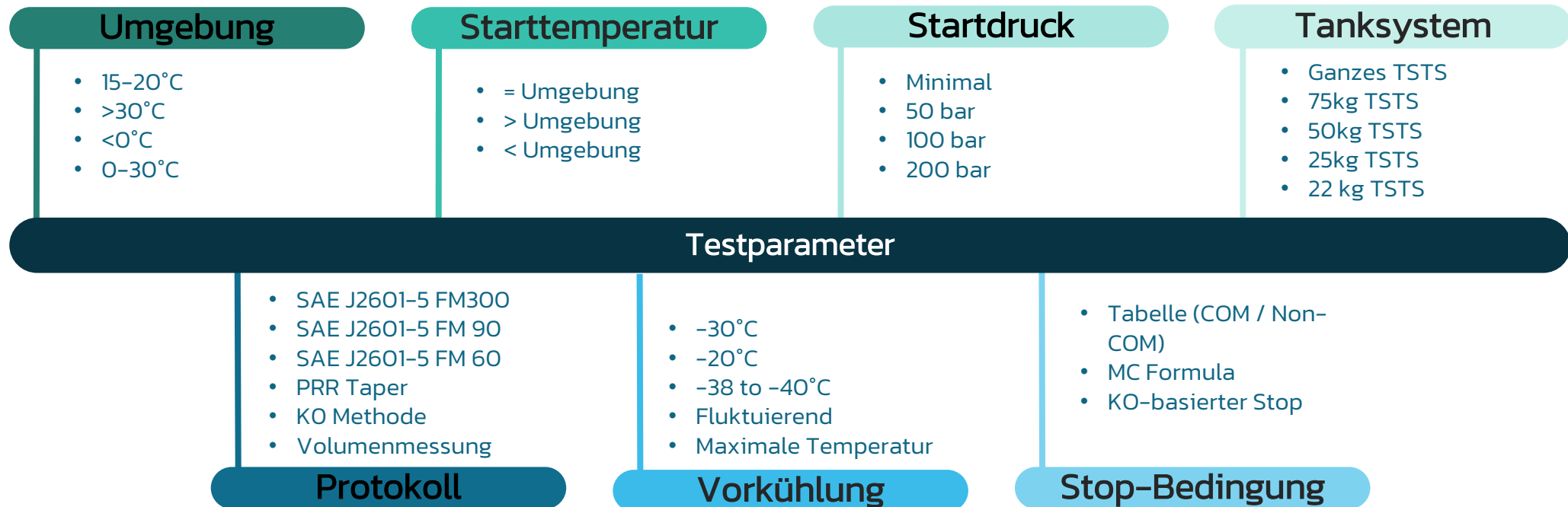
Anzahl der geplanten Tests mit festgelegter Priorität – inklusive Puffer für Wiederholungen

/ Testmatrix – Batches



/ Testmatrix – Parameter

Die Bandbreite zu variierender Parameter umfasst neben Betriebsparametern auch Protokolloptionen und anlagenseitigen Anpassungen



/ Externe Kooperationen

Das RHeaDHy-Projekt ist offen für internationale Kooperationen mit externen Partnern, um die Wasserstoffindustrie insgesamt weiter zu unterstützen.

Technische Partnerschaften

- RHeaDHy bietet High-Flow-Testmöglichkeiten für interessierte Partner an
- Eine Partnerschaft mit Toyota wurde bereits bekannt gegeben
- Laufende Gespräche mit verschiedenen Industriepartnern (z.B. Hersteller von Schläuchen, Tankkupplungen, Lkw, etc.)

Advanced communication

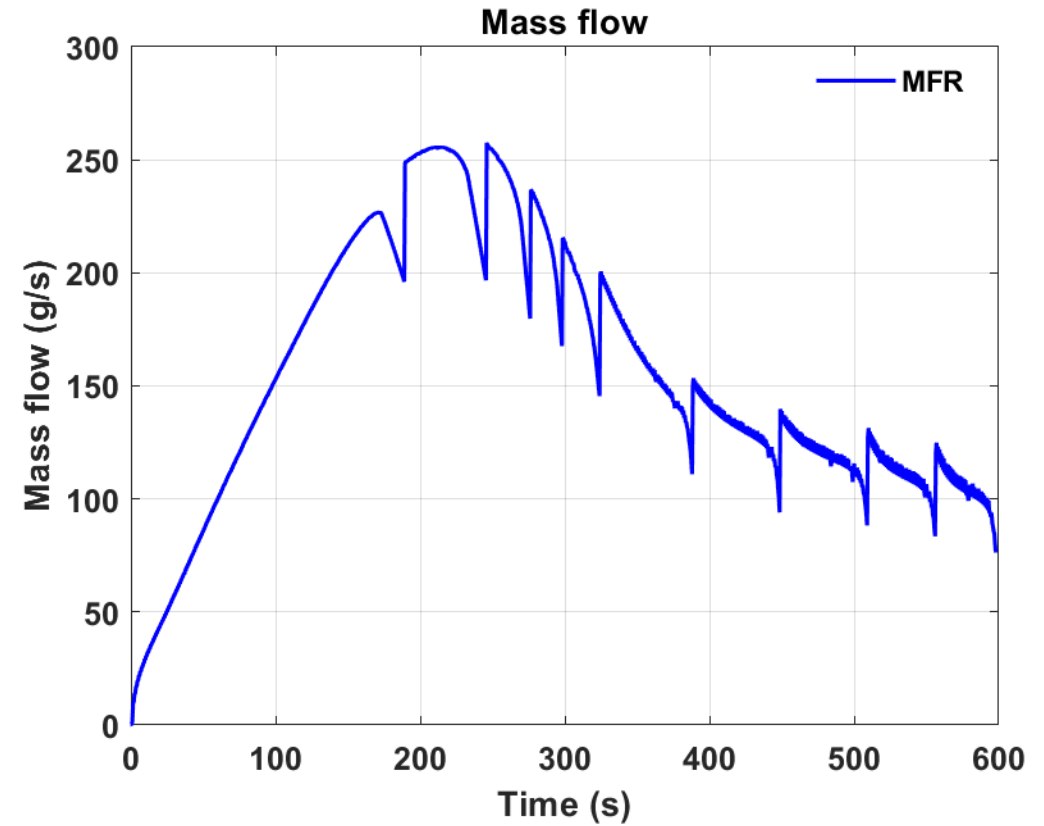
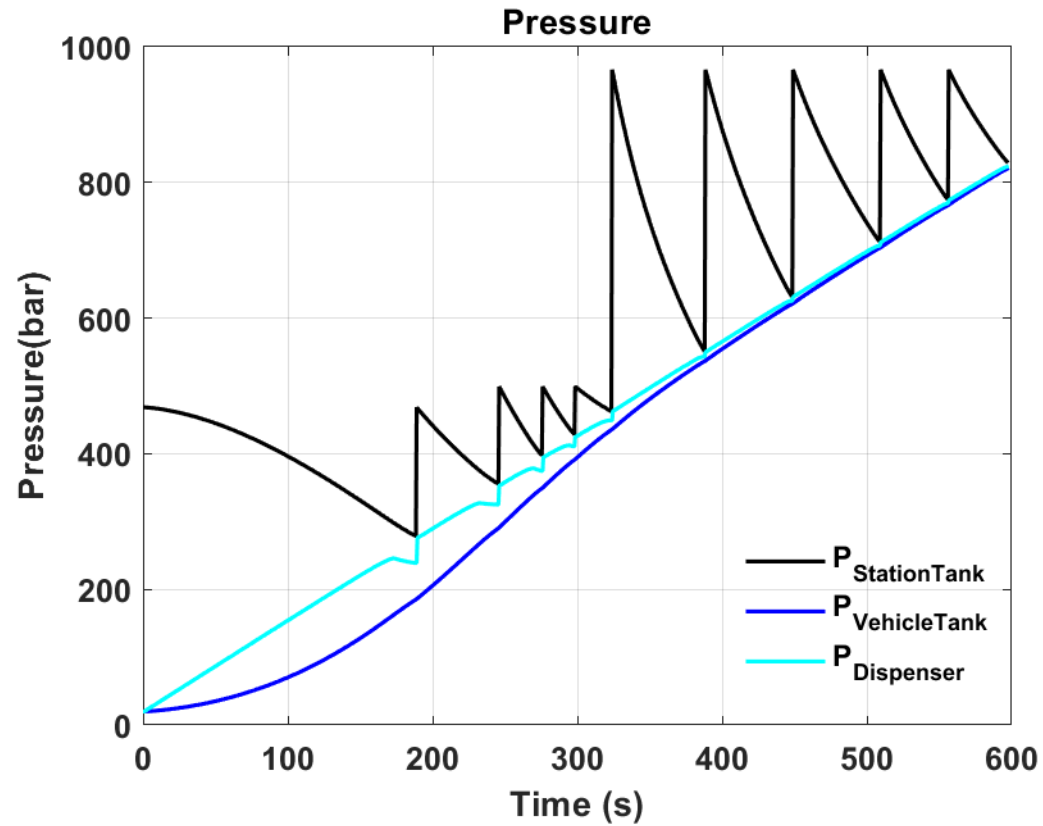
- Möglichkeit zur Erprobung fortgeschrittener Kommunikationskonzepte im Rahmen der Testkampagne
 - Laufende Gespräche – Noch keine geplanten Tests
- Das RHeaDHy-Projekt ist offen für weitere Testinitiativen in diesem Bereich

Wissenschaftliche Kooperation

- RHeaDHy steht für einen transparenten Ergebnistransfer
- Unterstützung wissenschaftlicher Untersuchungen
- Möglichkeiten zum Vergleich und Austausch zwischen verschiedenen Instituten und Testeinrichtungen

/ Befüllkurve – Beispiel

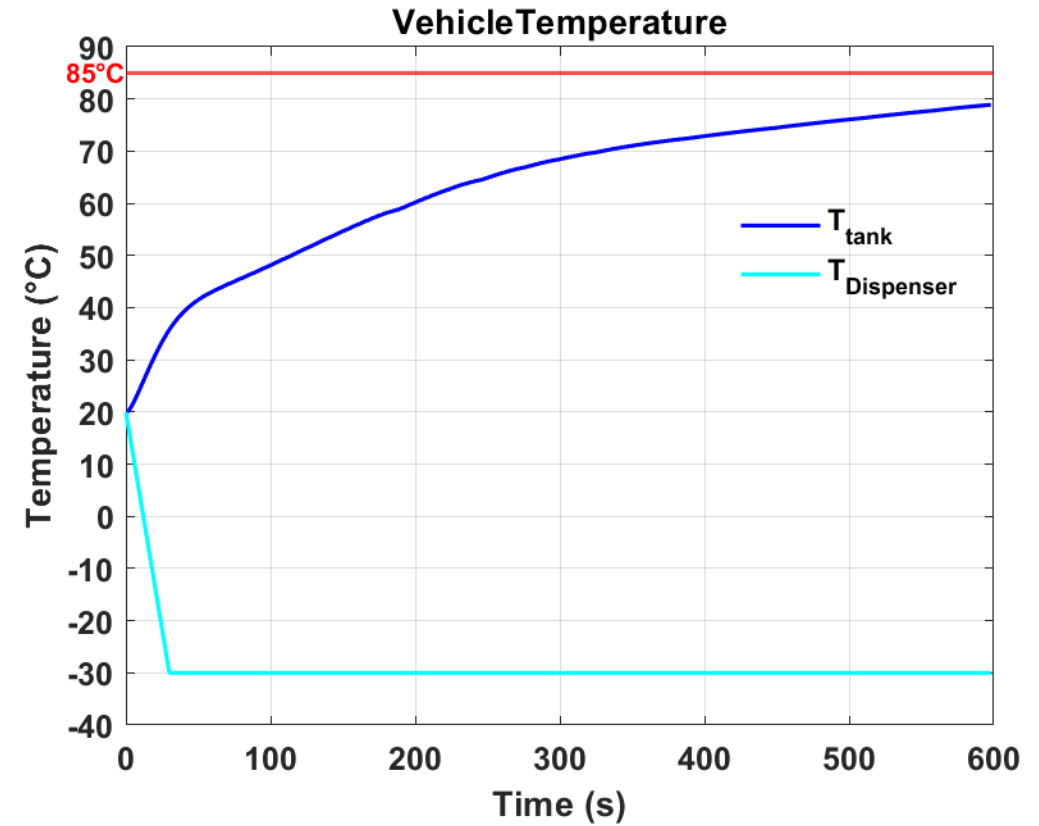
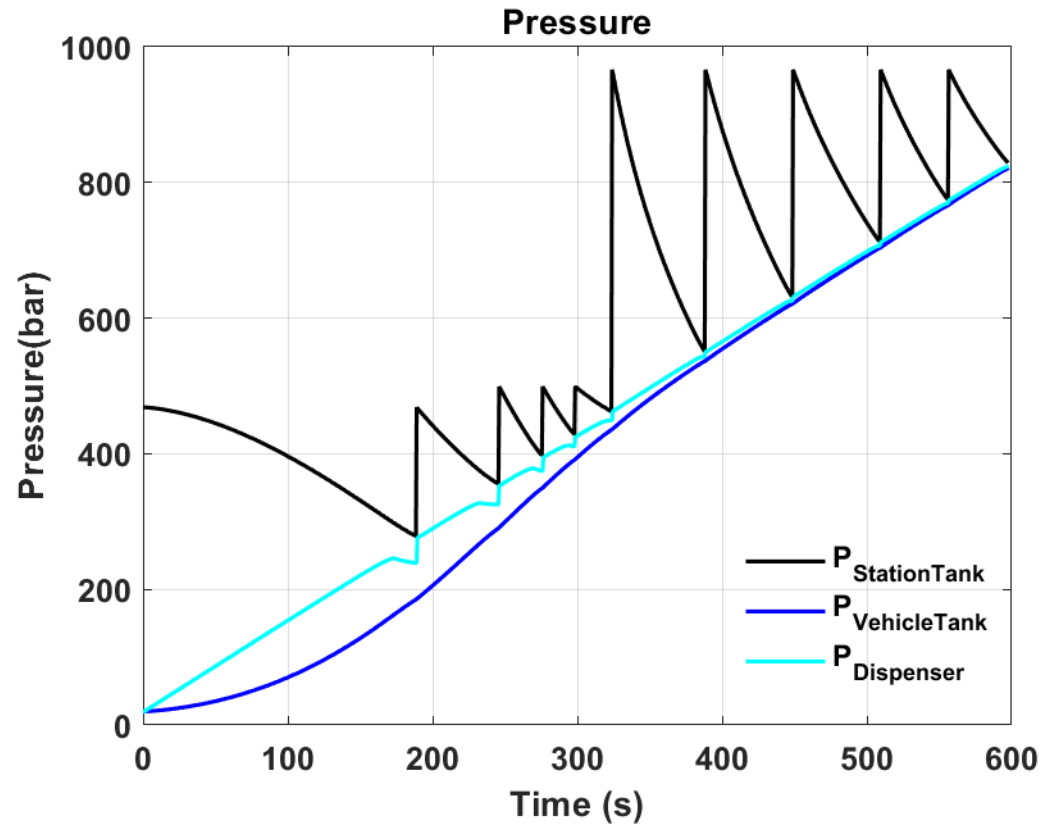
Simulierte Betankung mit SAE J2601-5 für 10 min Betankung und T30



Vertankte Masse: 92 kg – SOC: 97% – Peak mass flow: 258 g/s

/ Befüllkurve – Beispiel

Simulierte Betankung mit SAE J2601-5 für 10 min Betankung und T30



Maximale durchschnittliche Tanktemperatur: <80 °C

/ Zusammenfassung

- ✓ Die RHeaDHy-Testkampagne zielt auf die Unterstützung der Wasserstoffindustrie auf verschiedenen Ebenen ab
- ✓ Hauptfokus liegt auf der Protokollvalidierung der SAE J2601-5
- ✓ Externe Partnerschaften und Kooperationen können weiter ausgebaut werden
- ✓ Testdaten fließen in die Weiterentwicklung internationaler Standards ein
- ✓ Das ZBT stellt langfristig Testmöglichkeiten für Heavy-Duty-Anwendungen bereit



Lukas Willmeroth
ZBT
Lwillmeroth@zbt.de



**Follow us on LinkedIn
for more informations !**



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under the HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-1 grant agreement No 101101443



The project is supported by the Clean Hydrogen Joint Undertaking and its members.

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or Clean Hydrogen Joint Undertaking. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.



<https://rheadhy.eu/>



RHeaDHy