



**Hydrogen Refuelling Simulation Modell**  
Dominik Schojda

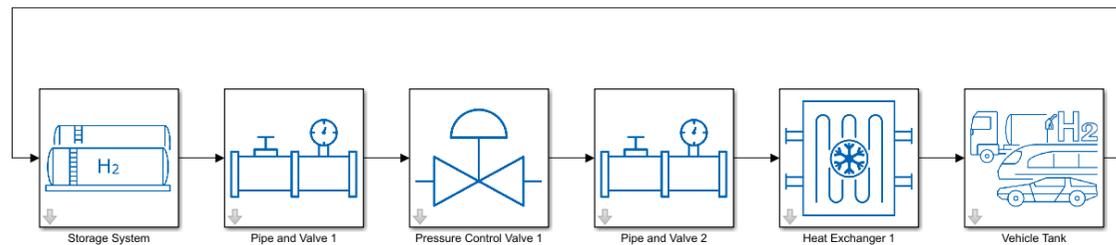
Gefördert durch:



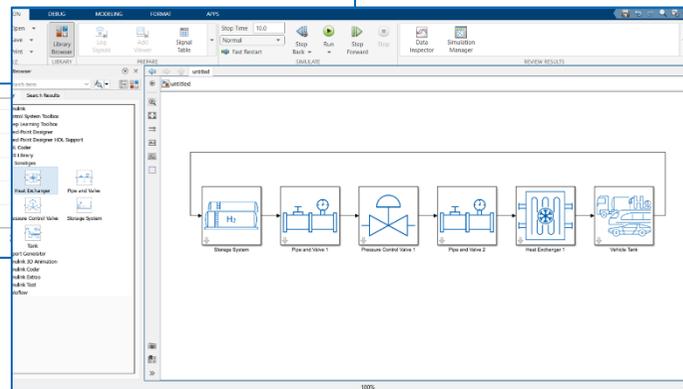
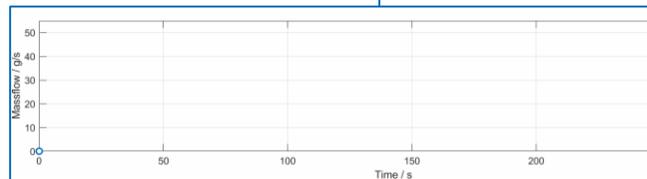
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



- Transientes Simulationsprogramm in Matlab/Simulink für die Berechnung von Wasserstoffbetankungen



- Individuelle Parametrisierung und Auslegung der Wasserstofftankstelle möglich



- Berechnung der thermodynamischen Zustände des Wasserstoffs während der Betankung

## Das Projekt HRS-Modell:

„Entwicklung und experimentelle **Validierung von Modellen** zur verfahrenstechnischen Auslegung und **techno-ökonomischen Bewertung** von Wasserstofftankstellen (HRS-Modell)“



### Motivation

- Besseres Verständnis realer Effekte
- Verfolgen des systemischen Gedankens
- Abbildung der Faktoren und Einflüsseffekte auf Betrieb und Design



### Ziele

- Simulation neuartiger Anlagen- & Betriebskonzepte für Tankstellen & Füllanlagen
- Abbildung individueller Designs
- Händlerbare Rechenzeiten



### Methodik

- Simulation der signifikanten Einzelkomponenten
- Nutzerorientiertes Gesamtmodell
- Validierung durch Realdaten vom Wasserstoff-Testfeld

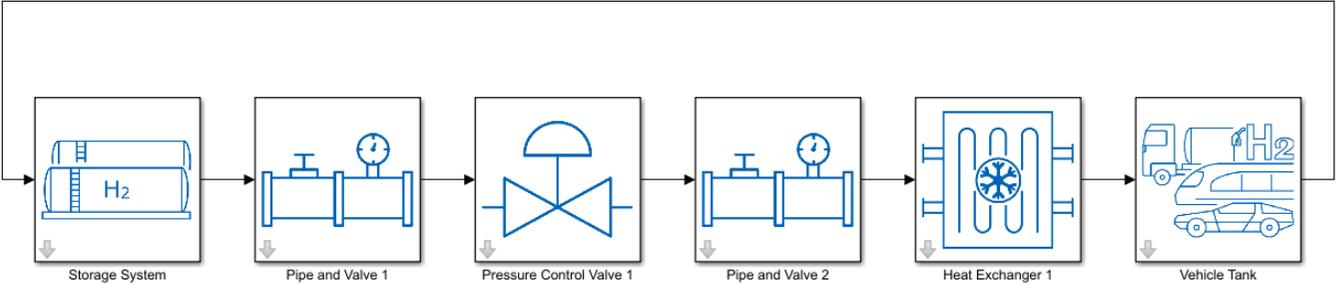
SIMULATION | DEBUG | MODELING | FORMAT | APPS

+ New | Open | Save | Print | FILE | Library Browser | Log Signals | Add Viewer | Signal Table | Stop Time: 10.0 | Normal | Step Back | Run | Step Forward | Stop | Data Inspector | Simulation Manager | REVIEW RESULTS

**Library Browser** (untitled)

- Simulink
- Control System Toolbox
- Deep Learning Toolbox
- Fixed-Point Designer
- Fixed-Point Designer HDL Support
- HDL Coder
- HRS Library
  - Sonstiges
    - Heat Exchanger
    - Pipe and Valve
    - Pressure Control Valve
    - Storage System
    - Tank
- Report Generator
- Simulink 3D Animation
- Simulink Coder
- Simulink Extras
- Simulink Test
- Stateflow

**untitled**



Storage System | Pipe and Valve 1 | Pressure Control Valve 1 | Pipe and Valve 2 | Heat Exchanger 1 | Vehicle Tank

Ready | 100% | VariableStepAuto

SIMULATION | DEBUG | MODELING | FORMAT | APPS

Stop Time: 10.0  
 Normal  
 Fast Restart | Step Back | Run | Step Forward | Stop  
 SIMULATE

Data Inspector | Simulation Manager  
 REVIEW RESULTS

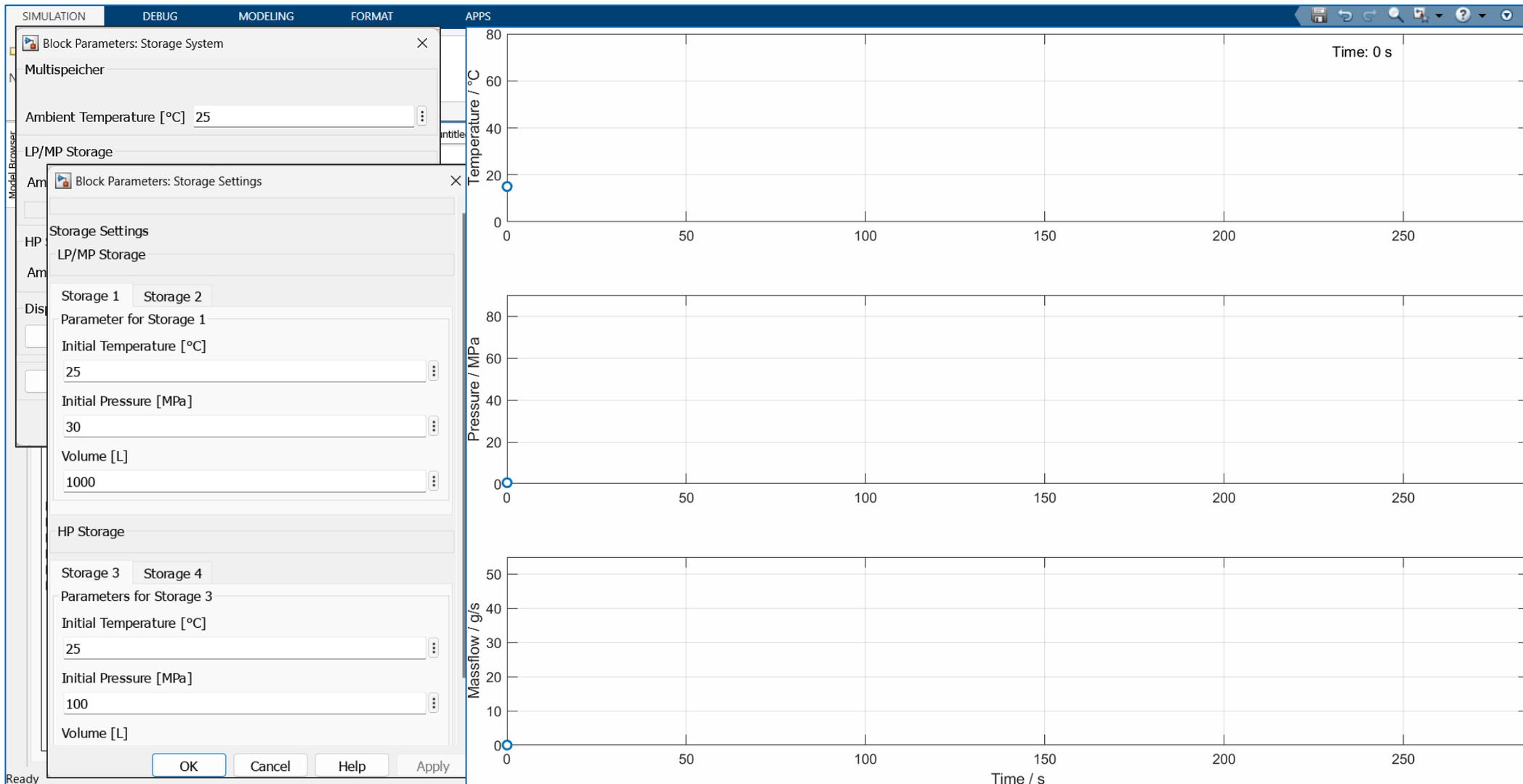
Block Parameters: Storage System  
 Multispeicher  
 Ambient Temperature [°C]: 25  
 LP/MP Storage

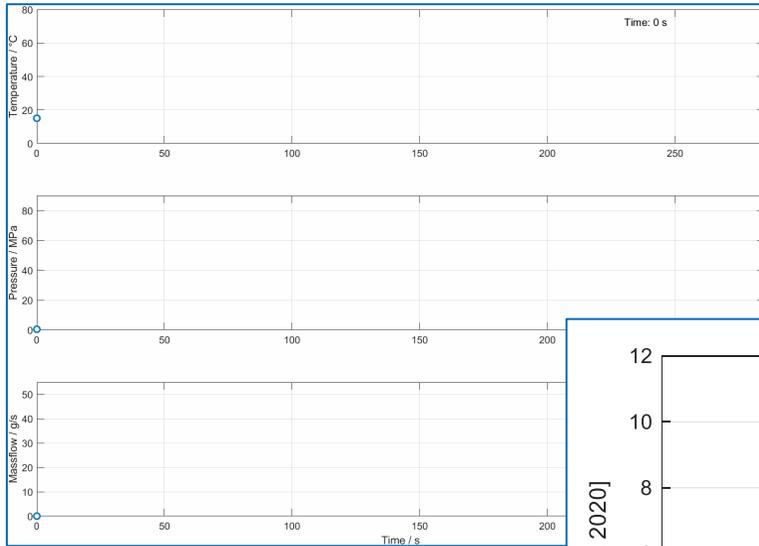
Block Parameters: Storage Settings  
 Storage Settings  
 LP/MP Storage  
 Storage 1 | Storage 2  
 Parameter for Storage 1  
 Initial Temperature [°C]: 25  
 Initial Pressure [MPa]: 30  
 Volume [L]: 1000  
 HP Storage  
 Storage 3 | Storage 4  
 Parameters for Storage 3  
 Initial Temperature [°C]: 25  
 Initial Pressure [MPa]: 100  
 Volume [L]:  
 OK | Cancel | Help | Apply

Block Parameters: Vehicle Tank  
 Parameters  
 Initial Temperatur [°C]: 25  
 Initial Pressure [MPa]: 5  
 Volume [l]: 200  
 Nominal Pressure [MPa]: 70  
 Ambient Temperature [°C]: 15  
 Pressure Control  
 Average Pressure Ramp Rate [MPa/min]: 19.9  
 SOC-Goal [%]: 100  
 Resettime [s]: 100  
 Pressure Pulse  
 Total Mass [g]: 200  
 OK | Cancel | Help | Apply

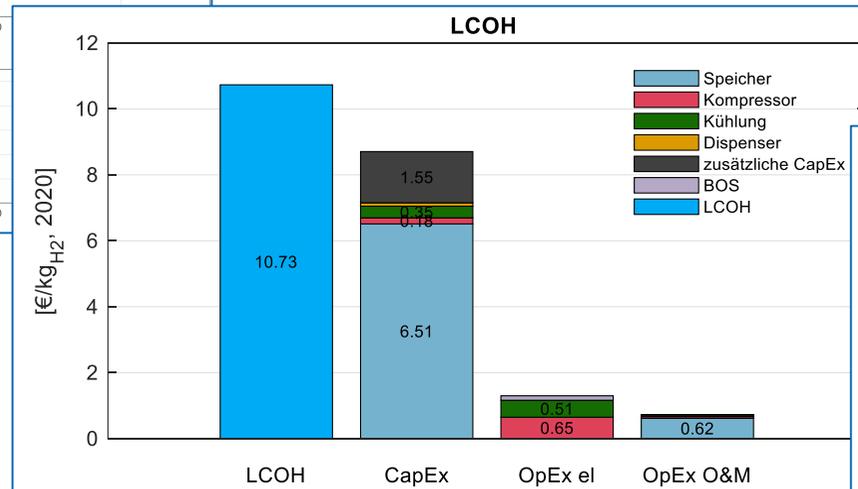
Storage System (H<sub>2</sub>) → Pipe and Valve 1 → Vehicle Tank (H<sub>2</sub>)

Ready | 100% | VariableStepAuto

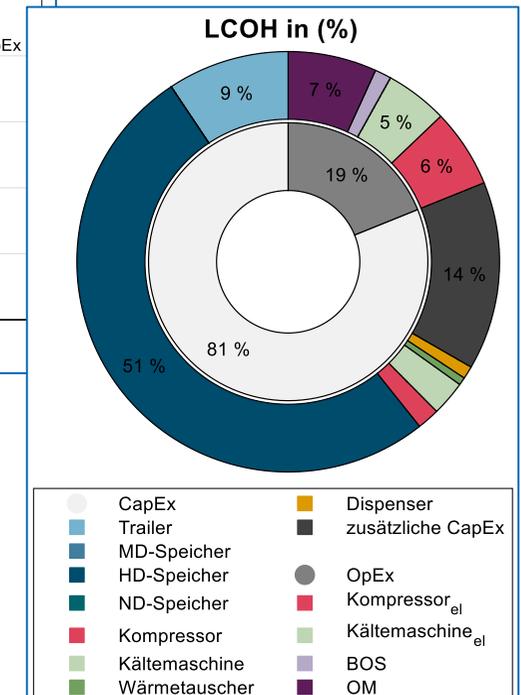




- Simulationstool erstellt mit dem Hintergrund der direkten Einbindung eines Kostenmodells



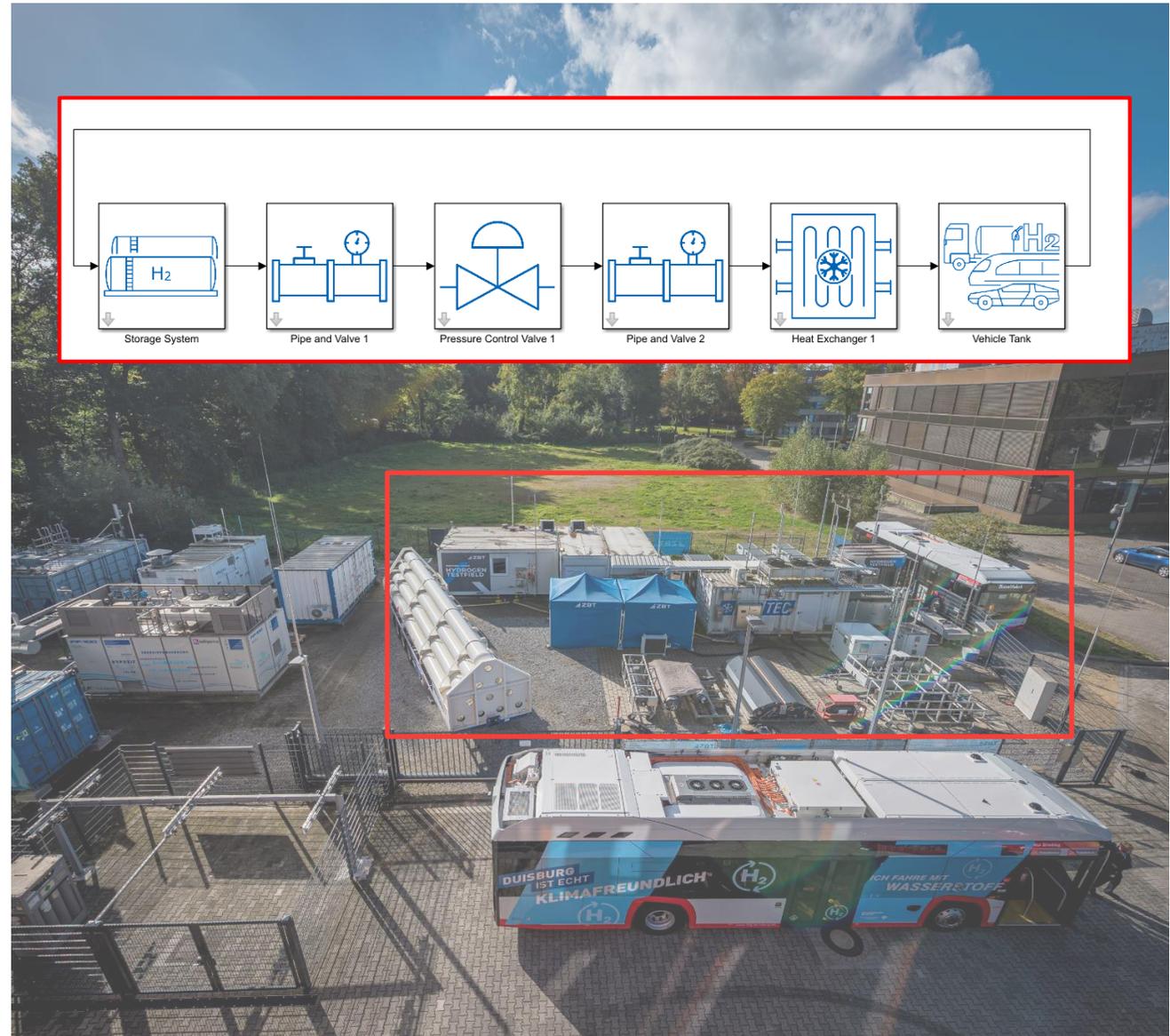
- Beispielrechnung des **LCOH** im Projektabschlussbericht

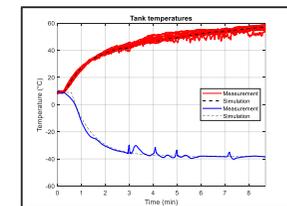
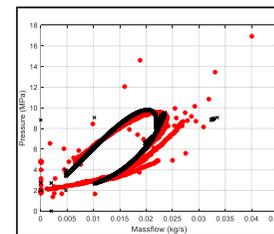
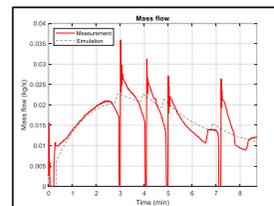
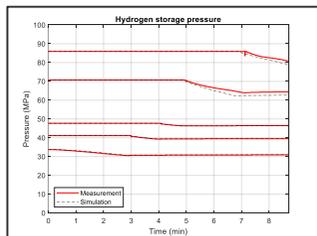
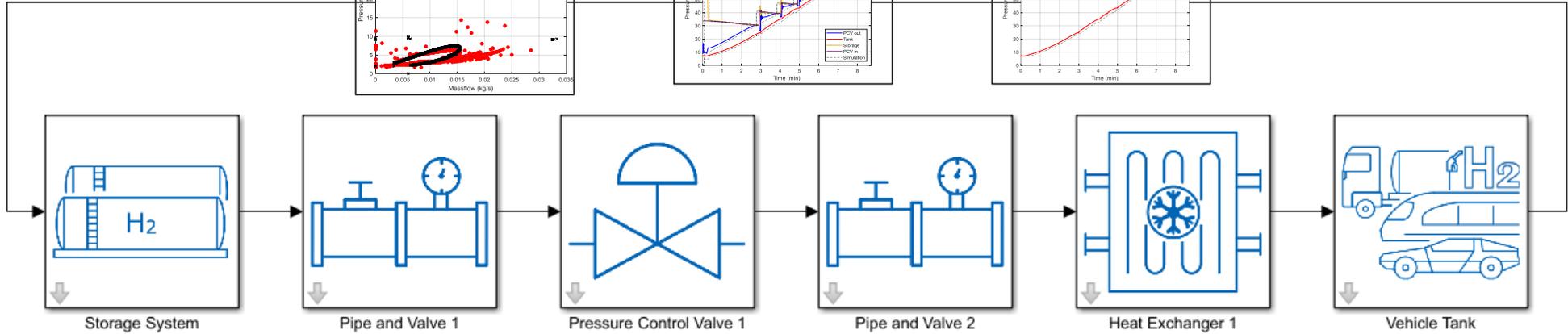
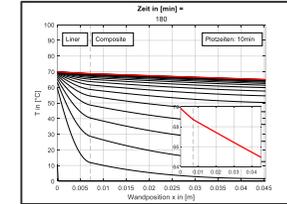
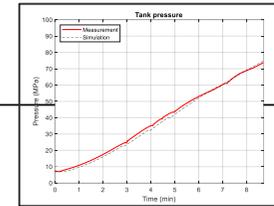
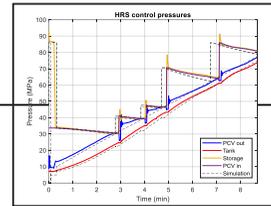
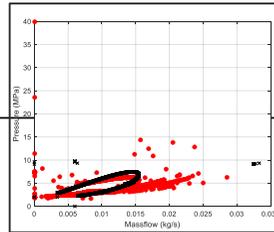
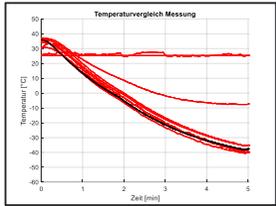


- Berechnungen basieren auf den Parametern aus dem Simulationstool

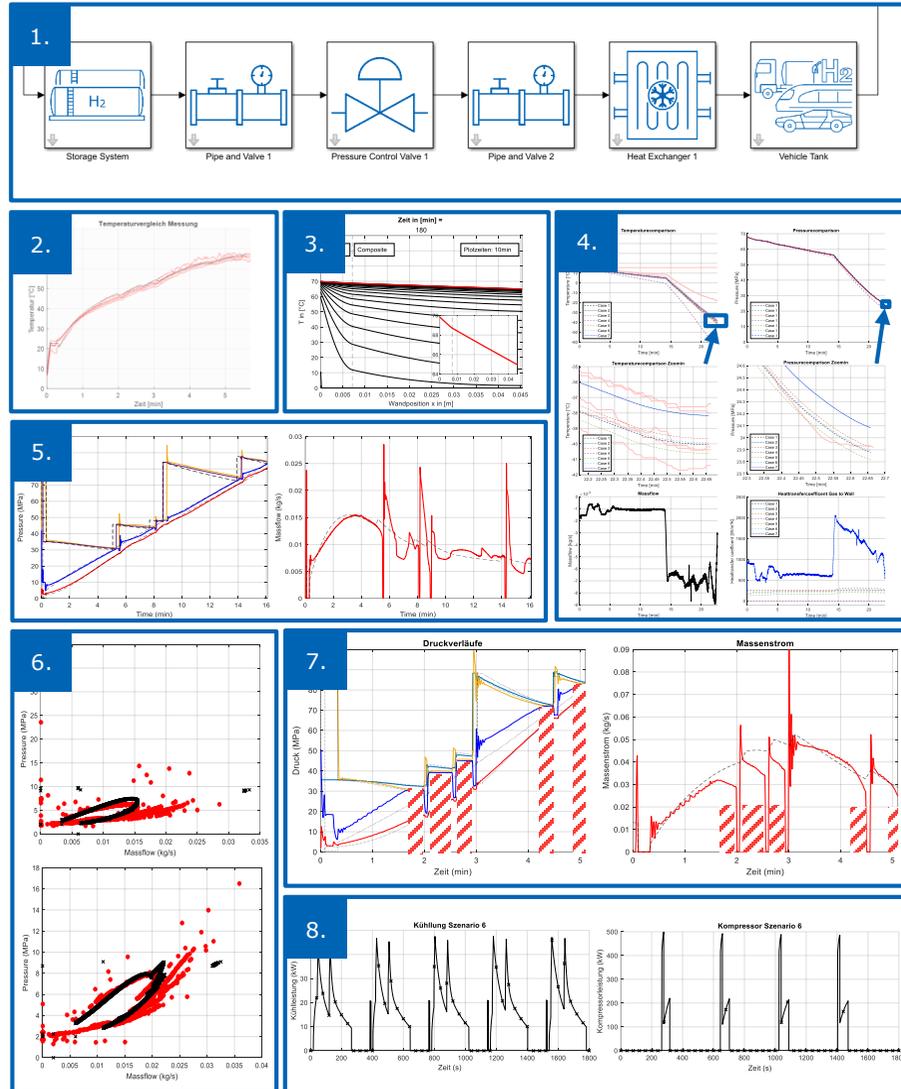
- Direkte Einbindung der Kompressor- und Wärmetauscherleistungen

- Zusammenarbeit vom LET und ZBT
- Simulationstool wurde an der Wasserstofftest-Tankstelle des ZBT validiert
- Testtankstelle für die Betankung von Light-Duty Betankungen ausgestattet Heavy-Duty Betankungen gerade in Arbeit





# Zusammenfassung



1. Ein Tool zur Berechnung der transienten Simulation einer HRS
2. **Befüllungen und Entleerungen** werden gut berechnet
3. **instationäre Wärmeverluste (Tankwand)** und die **korrekte Berechnung der Wärmeübergangszahl**
4. **Befüllungen und Entleerungen physikalisch** anders
5. **Gute Übereinstimmung** mit der **Dynamik (Drucktransienten, Massenstrom)** einer HRS
6. **Gute Übereinstimmung** der **Druckverluste**
7. Simulation hat die Unterschiede zur realen Drosselregelung aufgezeigt
8. Simulation der **Kompressor- und Kühlleistungen** für den Betrieb einer HRS

## Möglichkeiten

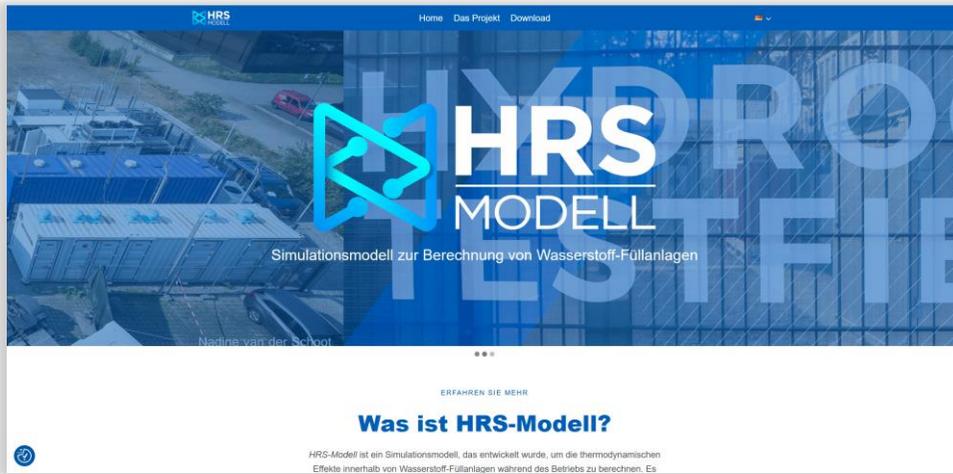
- ✓ Befüllung von Speichern
- ✓ Entleerung von Speichern
- ✓ Booster-Betankung / Direct compression
- ✓ Back-to-back Betankungen
- ✓ Parallele Betankung
- ✓ Abbilden von Betriebskonzepten
- ✓ Einzelvorgänge
- ✓ Zyklenbetrachtung
- ✓ Trailer-Swap

## Anwendungen

- ✓ Iterative Design- und Betriebsauslegung von Wasserstoff-Anlagen
- ✓ Darstellung dynamischer Prozesse zeitaufgelöst für jede Stelle in der Anlage
- ✓ Machbarkeitsanalyse von Strategien vorhandener und geplanter Anlagen und Systeme



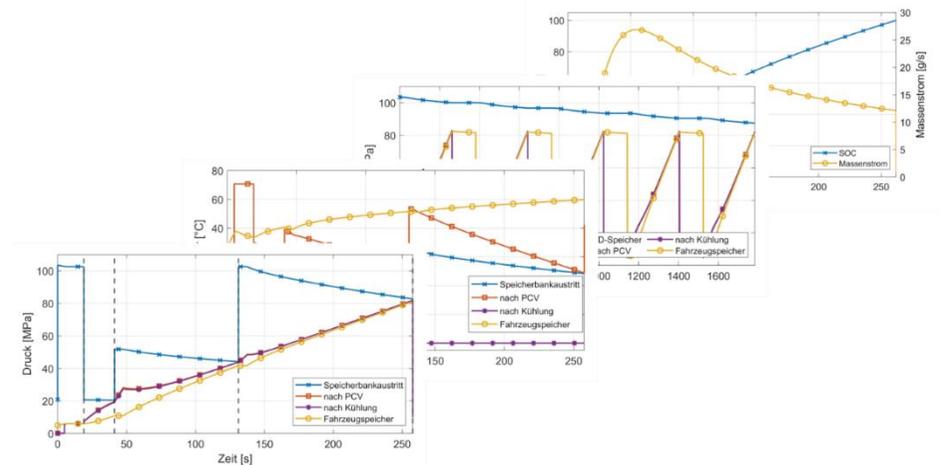
Source: pixabay.com



## KONTAKT AM ZBT:

Lukas Willmeroth

[l.willmeroth@zbt.de](mailto:l.willmeroth@zbt.de)



Source: ZBT

## HRS-Modell – Projektinformation

Partner:	ZBT & LET (Universität Duisburg-Essen)
Laufzeit:	30 Monate – Abschluss 31.03.2024
Fördersumme:	529.470 €
Projektbegleitender Ausschuss:	27 Industriepartner
Industrievertreter:	Anlagenbau, Messtechnik, Ventil- & Komponententechnik, Betreiber, Verdichter, etc.

Source: ZBT

## HRS-Modell II – Projektinformation

Partner:	ZBT & LET (Universität Duisburg-Essen)
Laufzeit:	24 Monate – Start: Bewilligung erwartet
Fördersumme:	524.867 €
Projektbegleitender Ausschuss:	23 Industriepartner
Projektidee:	Erweiterung der Funktionen des Modells durch neuartige Regelungskonzepte, erweiterte Auswertungsmöglichkeiten und die Simulation der Wasserfracht

Source: ZBT

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Universität Duisburg-Essen  
Lehrstuhl Energietechnik  
Forsthausweg 2 / 470757 Duisburg

**Dominik Schojda**

dominik.schojda@uni-due.de

Supported by:



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages