

Alternative Klimatisierungssysteme mit Metallhydriden für Elektrofahrzeuge

5. VDI-Fachkonferenz Thermomanagement für elektromotorisch angetriebene PKW, 15-16.11.2016

Mounir Nasri, Markus Hubner

Deutsches Zentrum für
Luft- und Raumfahrt,
Institut für Fahrzeugkonzepte

Inga Bürger, Christoph Weckerle

Deutsches Zentrum für
Luft- und Raumfahrt,
Institut für Technische Thermodynamik



Wissen für Morgen



Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Überblick

Forschungsfelder:

Raumfahrt



Luftfahrt



Energie



Verkehr



Sicherheit

Ca. 8.000 Mitarbeiter arbeiten in
33 Forschungsinstituten und
Einrichtungen an 16 Standorten
und Außenstellen in Deutschland

- 9 Standorte
- 7 Außenstellen

Außenbüros in Brüssel, Paris und
Washington



Inhalt

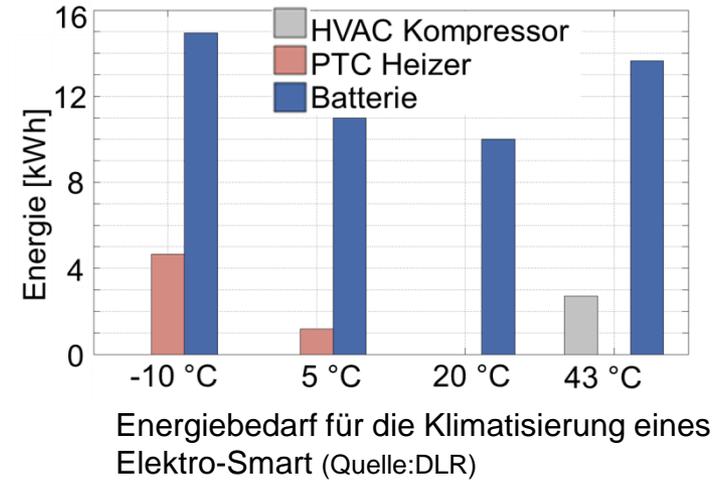
- Motivation
- Kälteerzeugung mit Metallhydriden
 - Grundlagen
 - Aufbau und Vermessung eines Funktionsdemonstrators
- Alternative Klimatisierungssysteme mit Metallhydriden
 - Experimentelle Untersuchung im Prüfstand
 - Numerische Untersuchung auf Fahrzeugebene
- Zusammenfassung



Motivation

- Im Elektrofahrzeug nutzen das Klimatisierungssystem und der Antrieb den gleichen Energiespeicher (Batterie)

➔ Die maximale Reichweite hängt sehr stark von der abgerufenen Leistung des Klimatisierungssystems ab.



- Auf Klimatisierungssysteme im E-Auto wird aufgrund Komfortgründen und Sicherheitsaspekten nicht verzichtet werden

➔ Energieeffiziente und umweltfreundliche Klimatisierungssysteme für Elektrofahrzeuge sind gefragt

European Union



**Directive
2006/40/EC**

EU F-Gas Regulation



Kälteerzeugung mit Metallhydriden

Eigenschaften von Metallhydriden

Metallhydride (MeH) sind i.d.R. Metallpulver (Me), die in der Lage sind, Wasserstoff (H₂) zu speichern oder freizusetzen

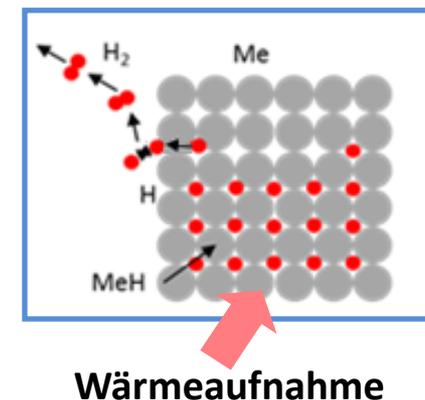
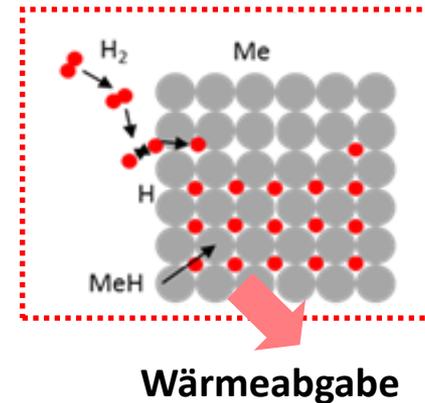
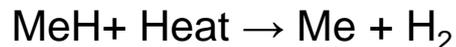
- Während der Wasserstoff-Absorption wird Wärme freigesetzt

exotherm



- Während der Wasserstofffreisetzung wird Wärme aufgenommen

endotherm

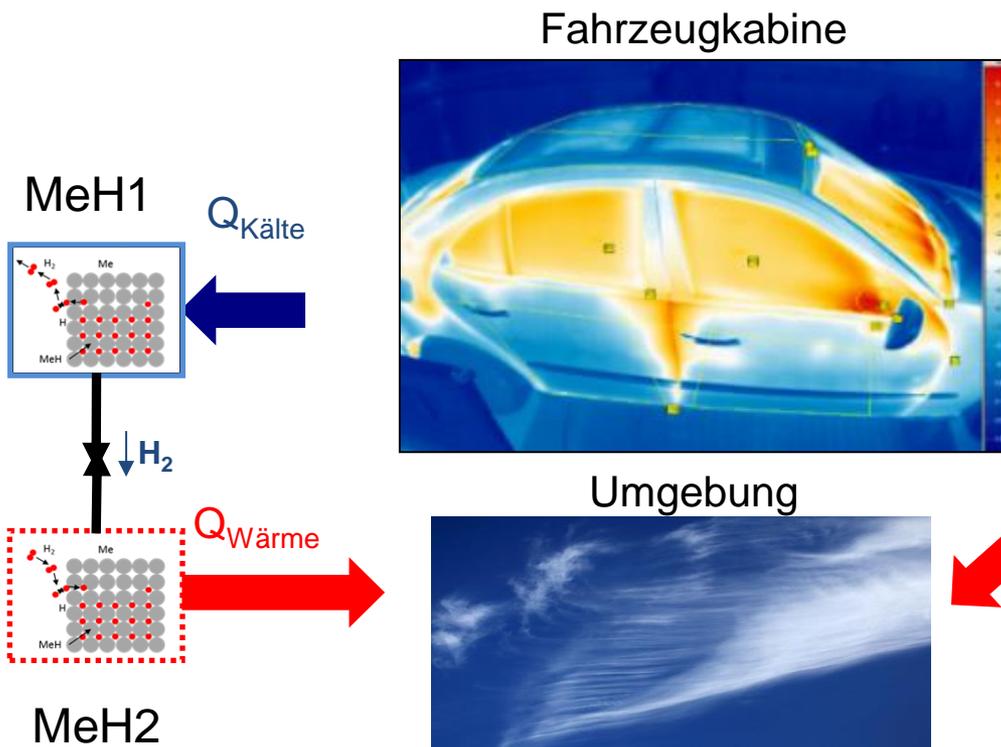


Kälteerzeugung mit Metallhydriden

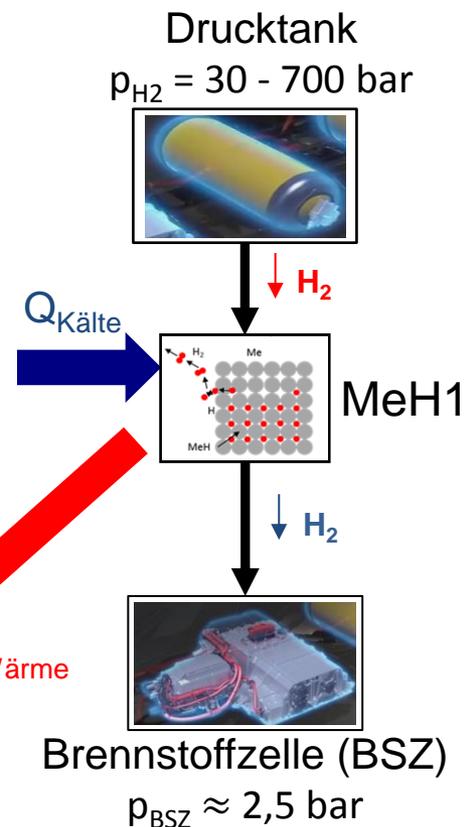
Metallhydrid-Systeme

Es gibt 2 Arten von Metallhydrid-Systemen:

- **geschlossenes System**



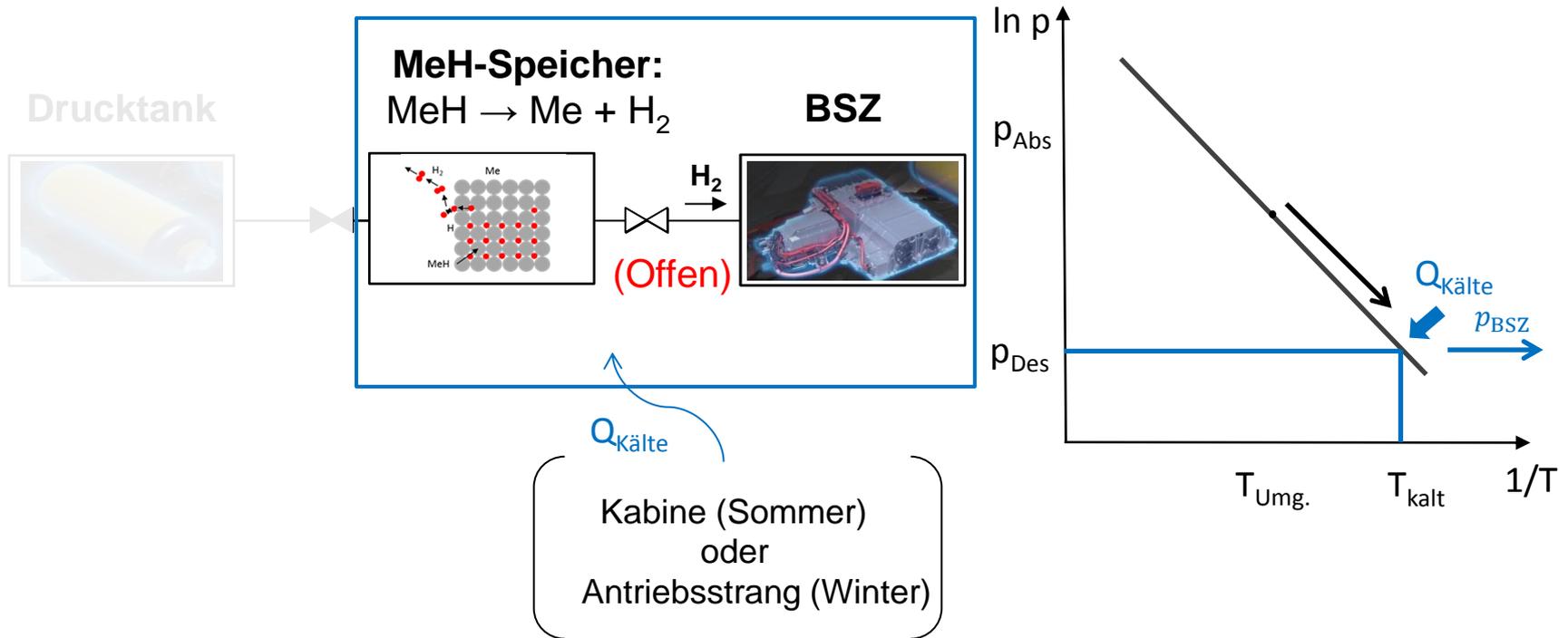
- **offenes System bzw. offene Klimaanlage**



Offene Klimaanlage

Funktionsprinzip

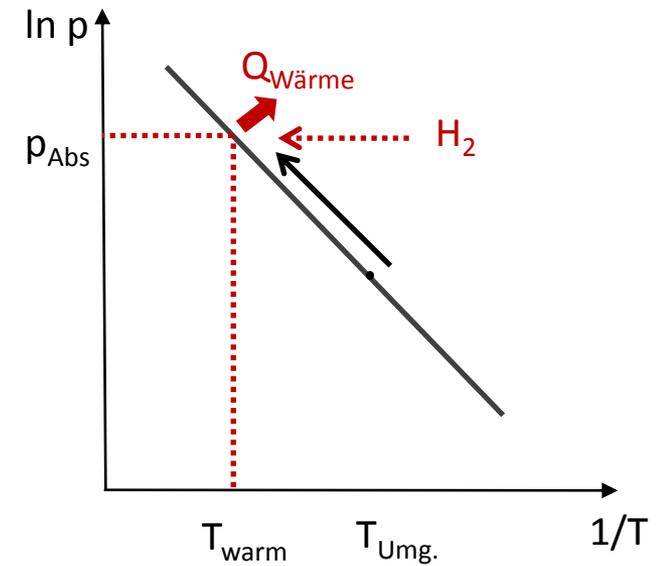
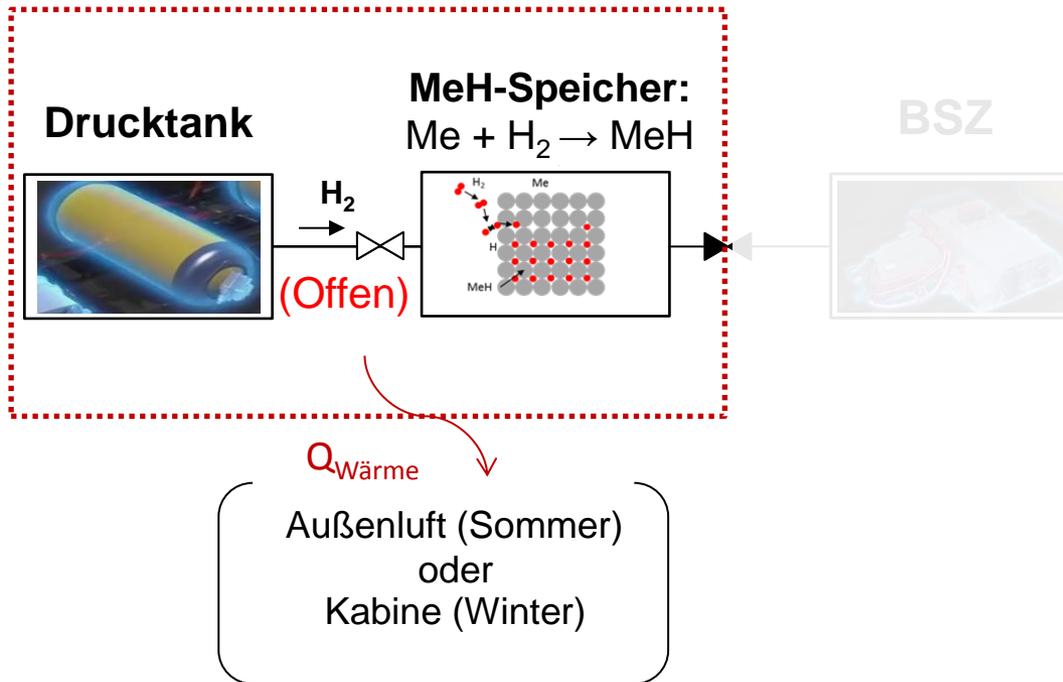
Kältehalbzyklus:



Offene Klimaanlage

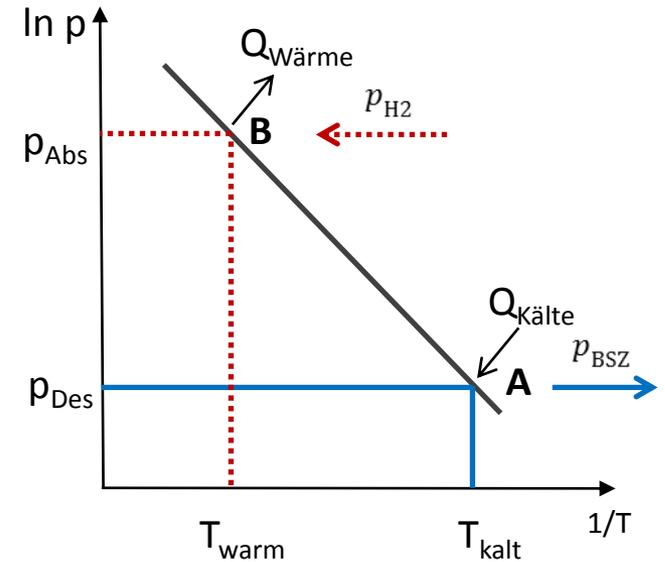
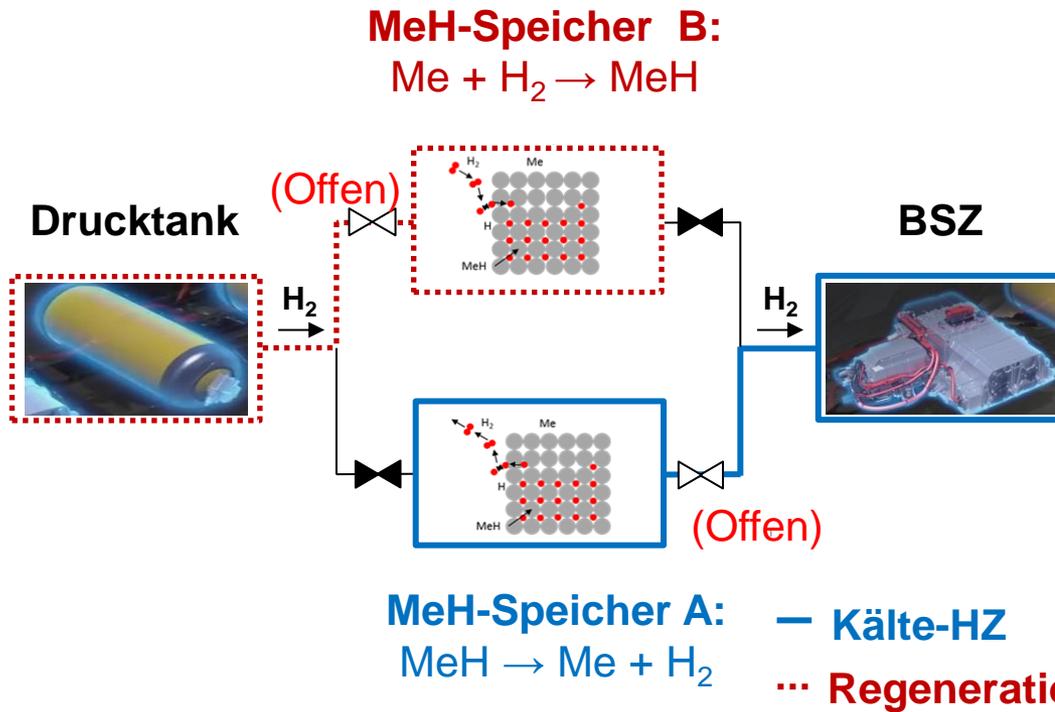
Funktionsprinzip

Regenerationshalbzyklus:



Offene Klimaanlage

Funktionsprinzip



⇒ Einsatz auf BSZ-Fahrzeuge begrenzt



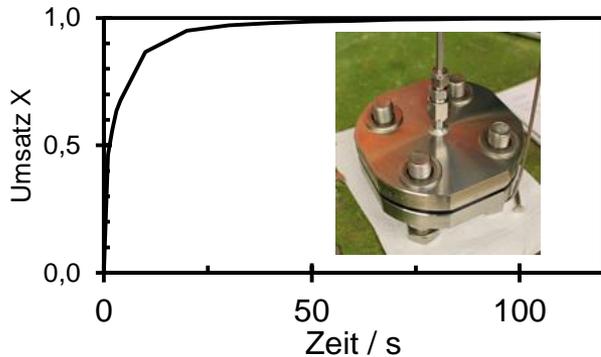
Inhalt

- Motivation
- Kälteerzeugung mit Metallhydriden
 - Grundlagen
 - Aufbau und Vermessung eines Funktionsdemonstrators
- Alternative Klimatisierungssysteme mit Metallhydriden
 - Experimentelle Untersuchung im Prüfstand
 - Numerische Untersuchung auf Fahrzeugebene
- Zusammenfassung



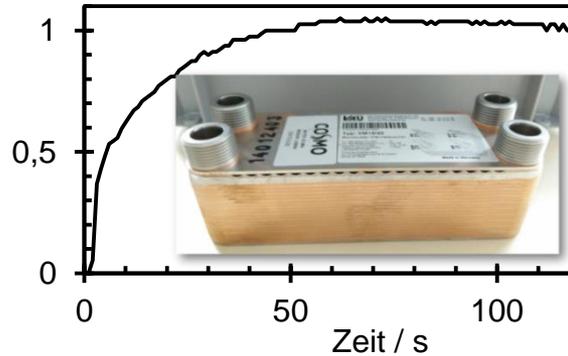
Das Reaktordesign

Vergleich der Reaktorkonzepte



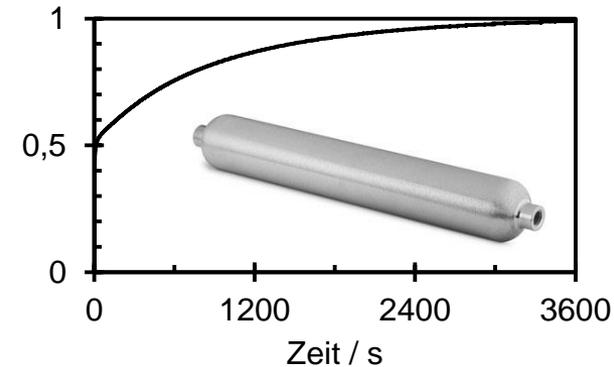
$$\tau_{intr} = 6 \text{ s}$$

Umsatz $X = (m_{H_2} / m_{MeH})$



$$\tau_{dyn} = 22 \text{ s}$$

τ_{intr} : charakteristische Zeit der chemischen Reaktion



Randbedingungen:
35°C, 30 bar

$$\tau_{dyn} = 800 \text{ s}$$

τ_{dyn} : charakteristische Zeit der Reaktionsbett-Dynamik

- **Kühlleistung** ergibt sich durch die **Halbzykluszeit**

$$x \frac{1}{\tau_{dyn}} \sim P_{cool}$$

Leistungsdichte: 1,5 kW/kg
Für 2,5 kW \rightarrow 1,7 kg

Leistungsdichte: 35 W/kg
Für 2,5 kW \rightarrow 61,5 kg

\Rightarrow Design des Reaktionsbetts bestimmt System-Leistungsdichte



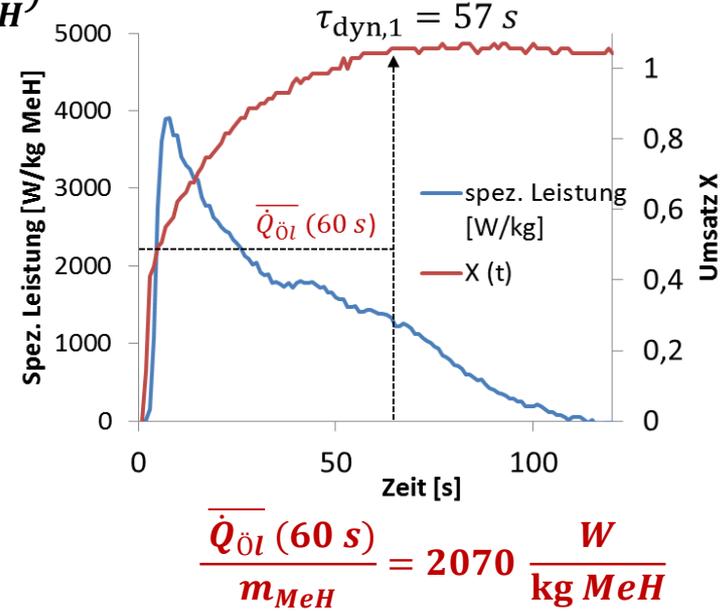
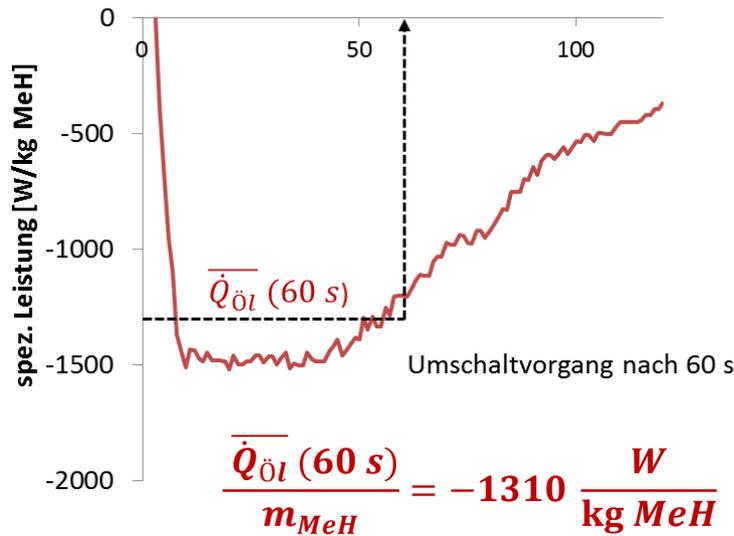
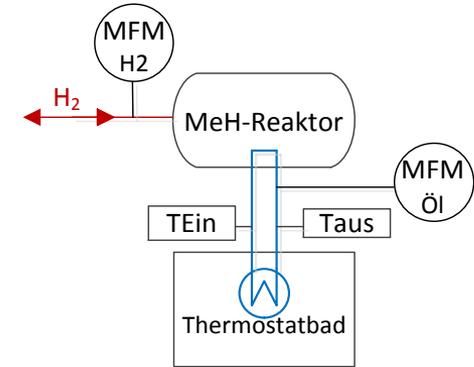
Experimentelle Untersuchungen

Einzelreaktormessungen

Bestimmung der Reaktionsbettdynamik:

- Metallhydrid: Hydralloy C5 (350 g)
- Kühlmedium: Öl
- Parameter: Temperatur, Durchfluss, Wasserstoffdruck
- Ermittlung der Leistungsfähigkeit ($\frac{W}{kg MeH}$)

Versuchsaufbau zu Einzelreaktormessungen

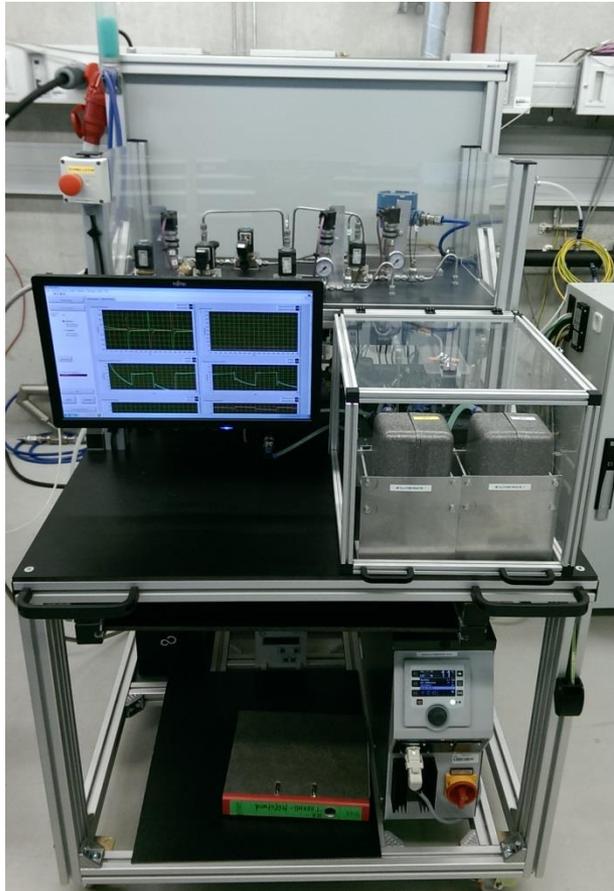


Inhalt

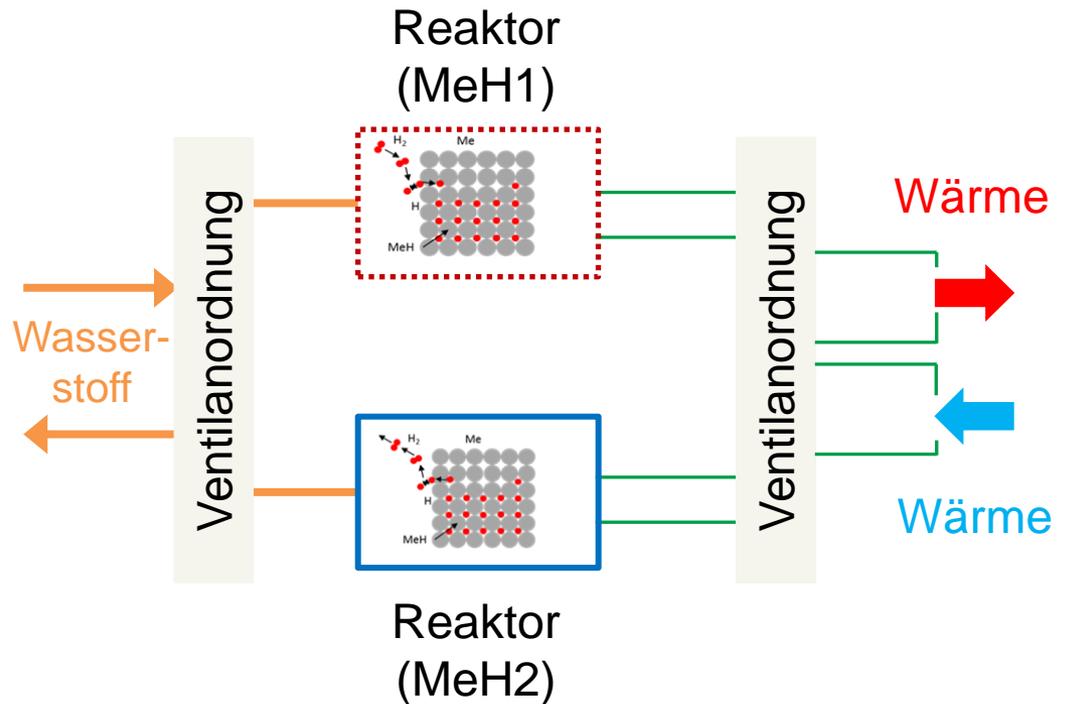
- **Motivation**
- Kälteerzeugung mit Metallhydriden
 - Grundlagen
 - Aufbau und Vermessung eines Funktionsdemonstrators
- **Alternative Klimatisierungssysteme mit Metallhydriden**
 - **Experimentelle Untersuchung im Prüfstand**
 - Numerische Untersuchung auf Fahrzeugebene
- Zusammenfassung



Experimentelle Untersuchung Prüfstand „offene Klimaanlage“



Prüfstandskonzept mit zyklische Betriebsweise



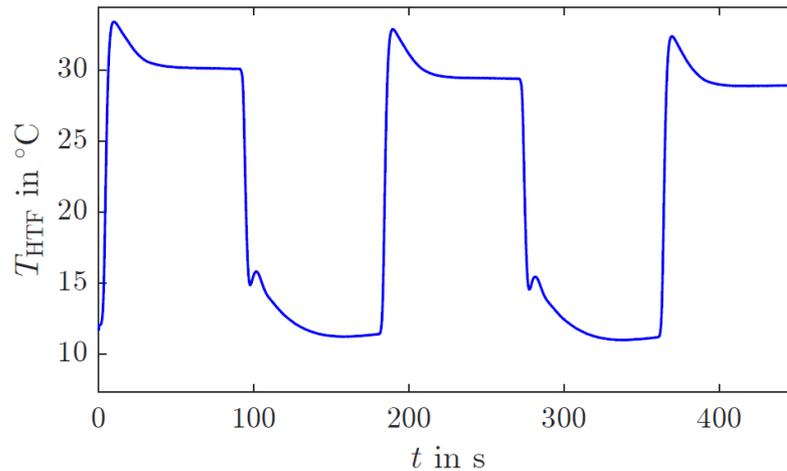
Kühlmedium Glysantin® G48



Experimentelle Untersuchung im Prüfstand

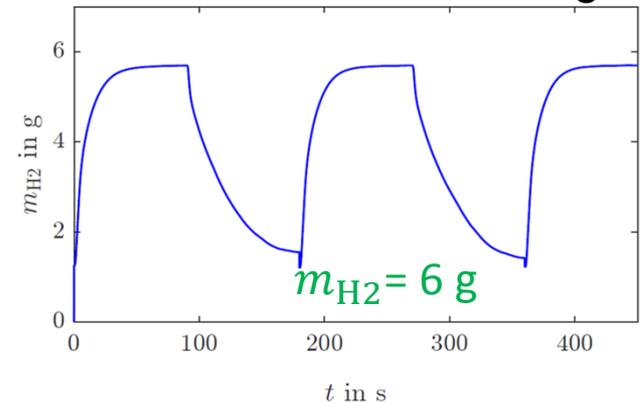
• Randbedingungen :

- Metallhydrid: Hydralloy C5 (350 g)
- $p_{Abs} = 30 \text{ bar}$
- $p_{Des} = 1 \text{ bar}$
- $T_{Kühlmedium/kalt} = 10 \text{ °C}$
- $T_{Kühlmedium/warm} = 30 \text{ °C}$

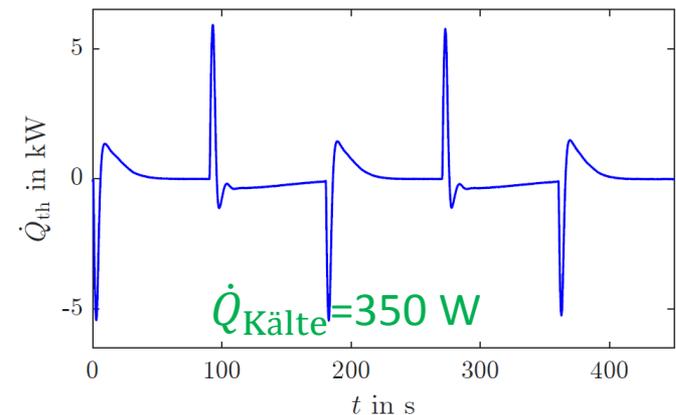


• Ergebnisse (Beispiel MeH1):

• Wasserstoffbeladung



• Thermische Leistung



Inhalt

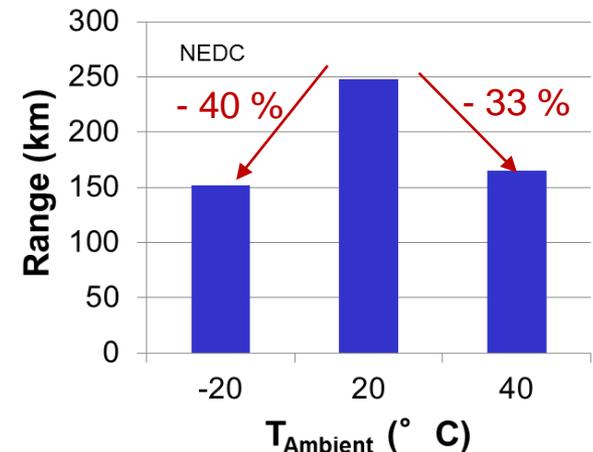
- **Motivation**
- **Kälteerzeugung mit Metallhydriden**
 - Grundlagen
 - Aufbau und Vermessung eines Funktionsdemonstrators
- **Alternative Klimatisierungssysteme mit Metallhydriden**
 - Experimentelle Untersuchung im Prüfstand
 - Numerische Untersuchung auf Fahrzeugebene
- Zusammenfassung



Referenzfahrzeug HT-BZ-REX

HT-BZ-REX ist ein FEK-Brennstoffzellen-Forschungsfahrzeug, das auf dem Smart Fortwo Electric Drive basiert

Zulässiges Gesamtgewicht	1150 kg
Dauerleistung der E-Maschine	35 kW
Maximales Drehmoment	130 Nm
Batterietyp	Li-Ion
Batteriekapazität	17.6 kWh
Brennstoffzellentyp	HT PEM
Maximale elektrische Leistung	6 kW
BZ-Gewicht	68 kg



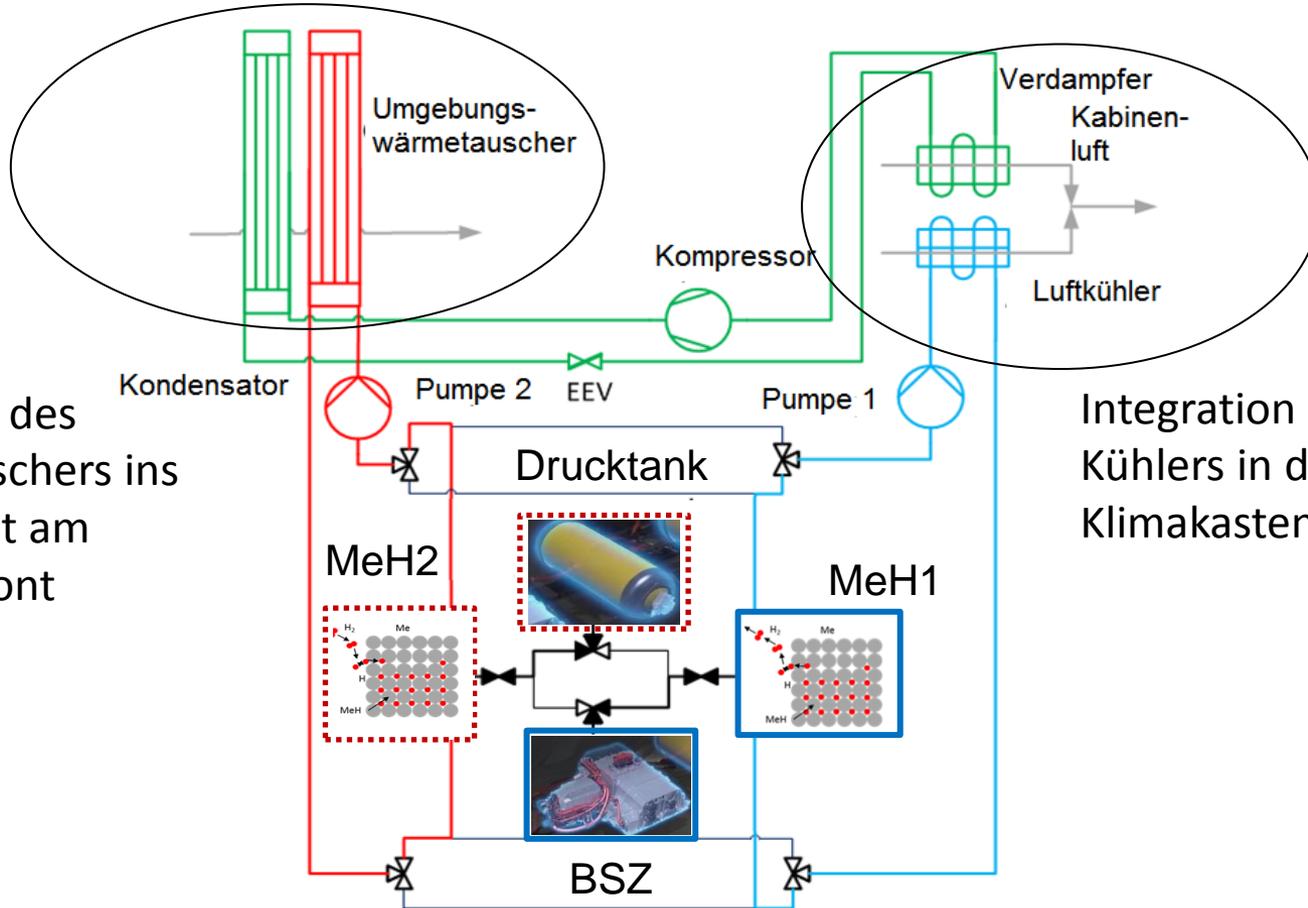
simulierte Reichweite vom HT-BZ-REX (mit 0,9 kg H₂)



Offene Klimaanlage

Integrationskonzept für HT-BZ-REX

Konzept: kontinuierliche Unterstützung des Referenz-Klimatisierungssystems



Integration des Wärmetauschers ins Kühlerpaket am Fahrzeugfront

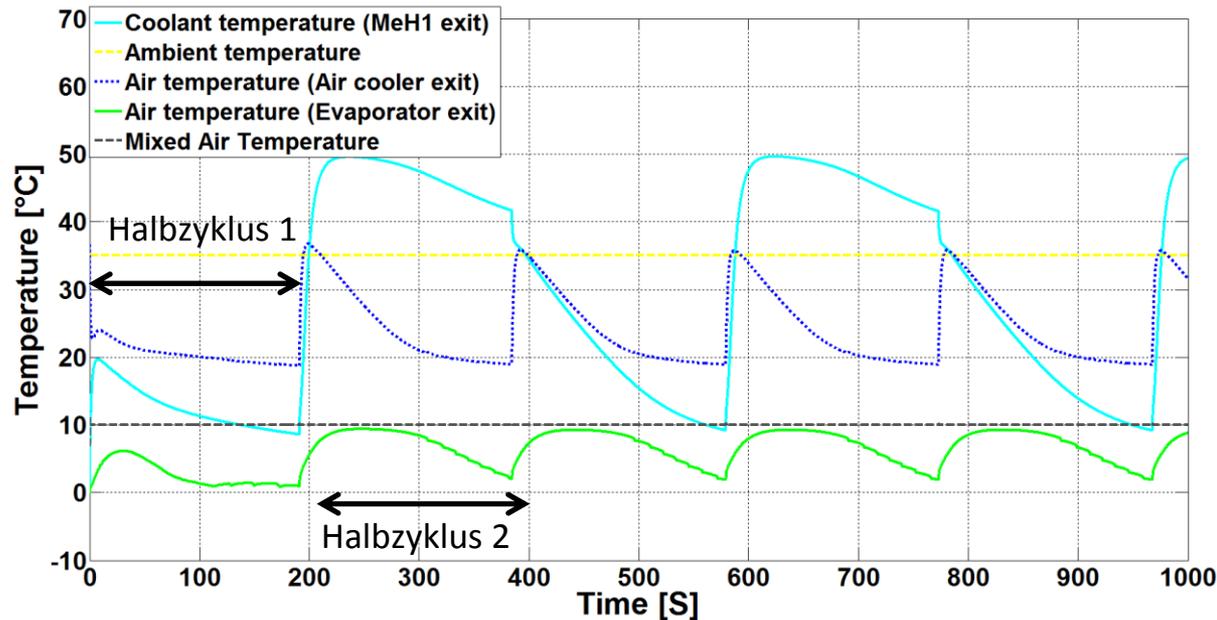
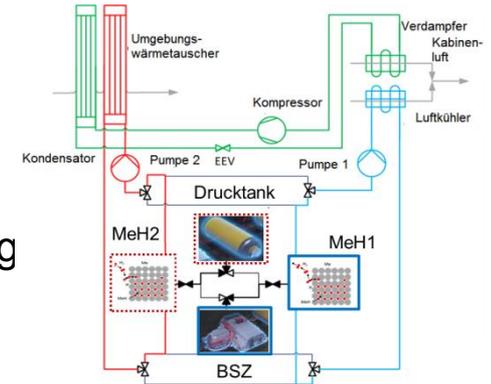
Integration des Kühlers in den Klimakasten



Offene Klimaanlage

Numerische Untersuchung

- **Auslegungsparameter:** Masse MeH pro Reaktor ~ 1,7 kg
 - MeH-Reaktoren: 2 x C1(Ti_{0.99}Zr_{0.01}V_{0.43}Fe_{0.09}Cr_{0.05}Mn_{1.5})
 - Umgebungstemperatur: 35 °C, Luftfeuchte: 50 %

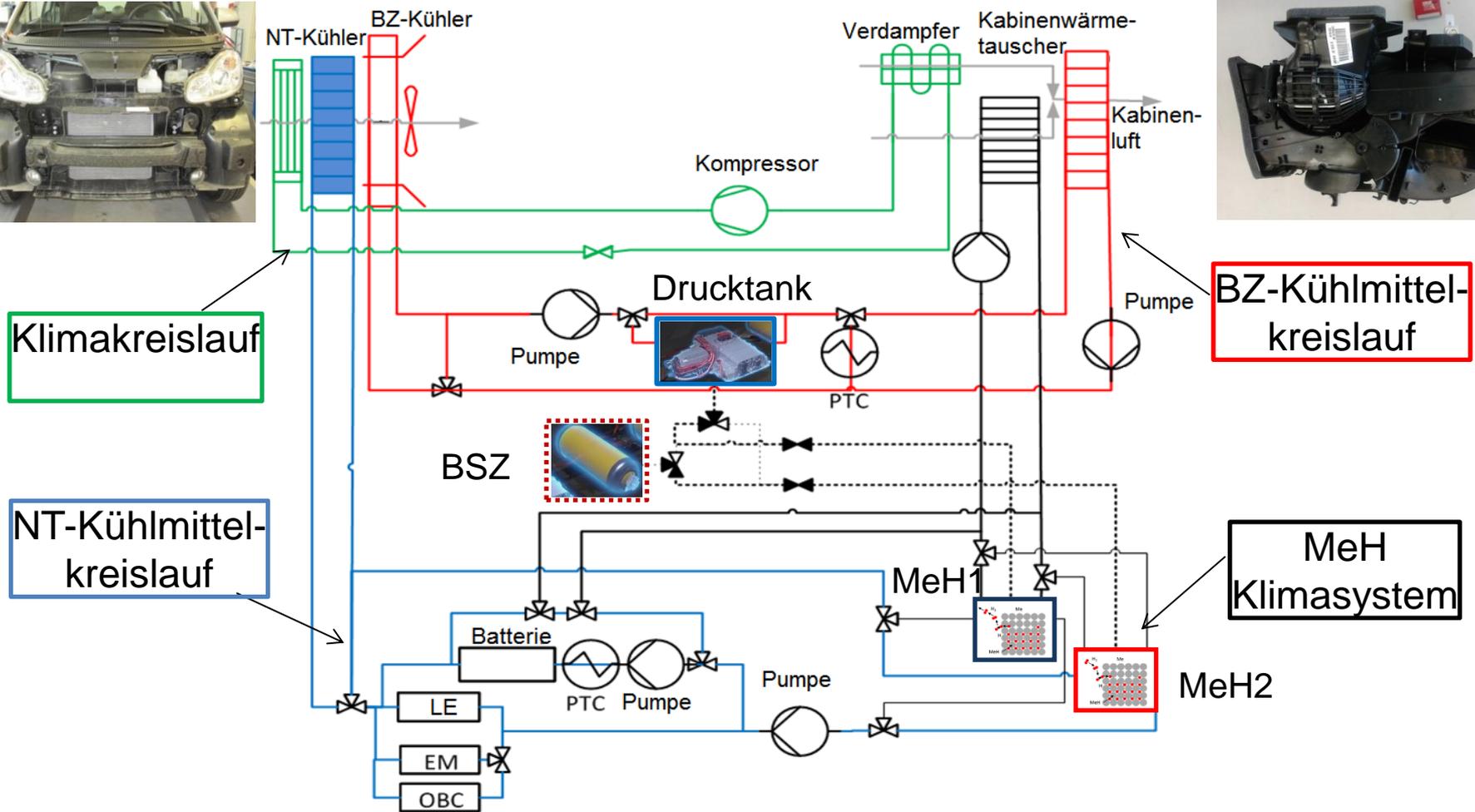


Durch die Mischung der Kühlluft aus der Standard- und MeH-Klimaanlage kann eine konstante Zieltemperatur erreicht werden



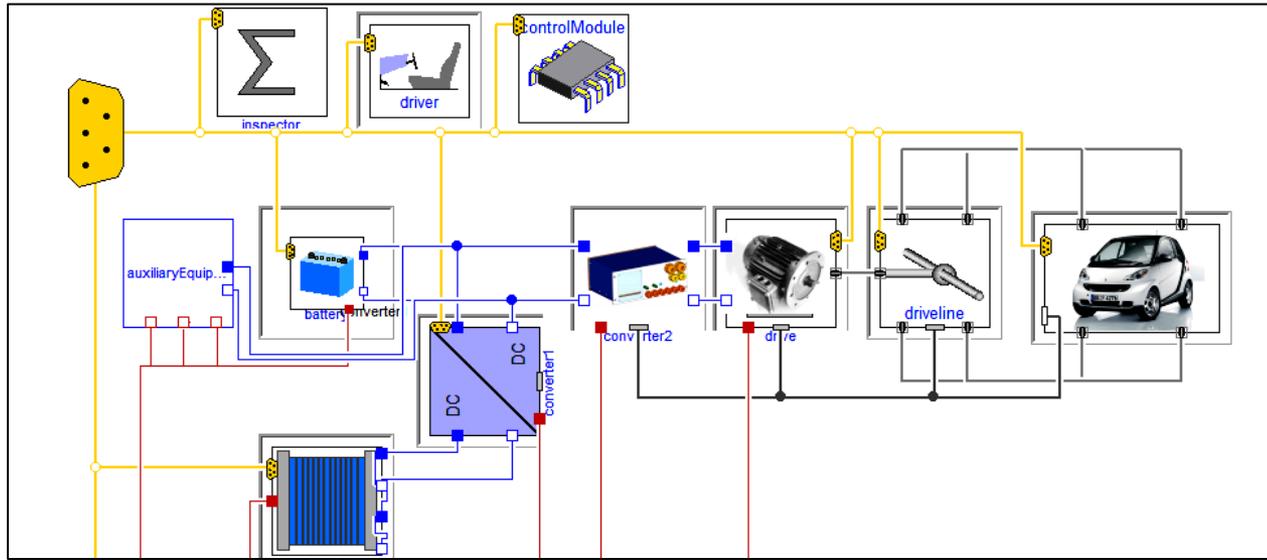
Offene Klimaanlage

Integrationskonzept für HT-BZ-REX



Bewertung auf Fahrzeugebene

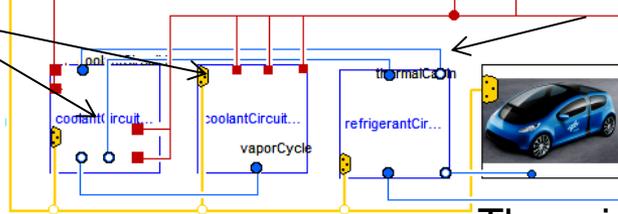
Gesamtheitliches Simulationsmodell



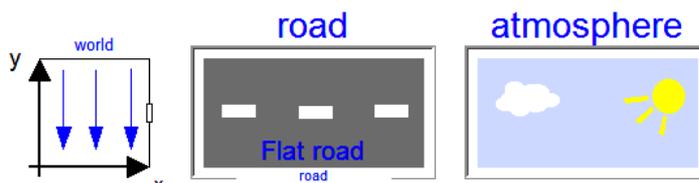
Antriebsstrang

Kühlsysteme

Klimatisierungssystem



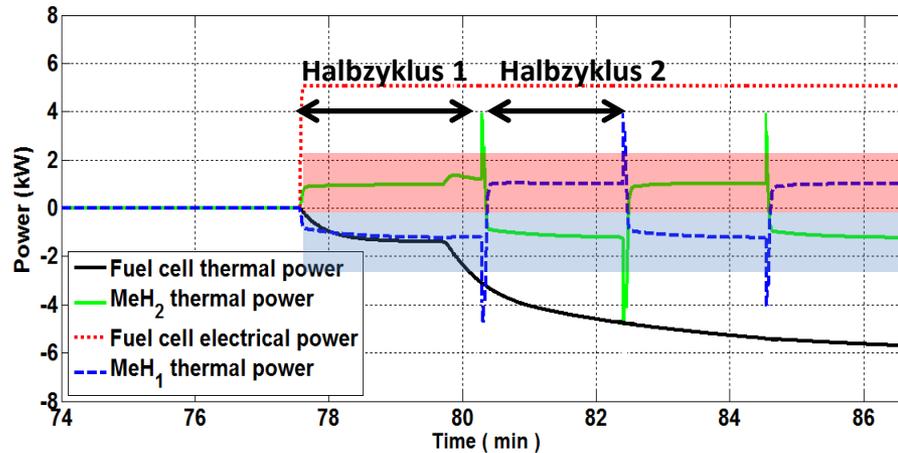
Thermische Kabine



Gesamtfahrzeugsimulation

Offene Klimaanlage

Für die Bestimmung der Reichweitenreduzierung wurde der NEFZ als Standard-Fahrzyklus bei 40 ° C mehrmals durchgefahren, bis die Batterie und der H₂ –Drucktank leer sind.



Randbedingungen:

- 0,9 kg Wasserstoff
- 2 MeH Reaktoren mit 2,3 kg $Ti_{0.99}Zr_{0.01}V_{0.43}Fe_{0.09}Cr_{0.05}Mn_{1.5}$
- $T_{Umgebung}$:40 °C, Luftfeuchte: 50%

MeH-Kühlleistung (1,2 kW) entspricht ungefähr 20 % der elektrischen BZ-Leistung (6 kW)



Die Reichweite des HT-BZ-REX-Fahrzeugs bei 40 °C $T_{Umgebung}$ kann um 8 % erhöht werden



Zusammenfassung und Ausblick

- Metallhydride (MeH) können Kälte und Wärme umweltfreundlich erzeugen und speichern → Innovative Komponenten für das Thermomanagement
- Funktionsmuster einer offenen Klimaanlage mit 350 W Kälte ist „realisiert“ und im Prüfstand vermessen
- Die Integration der offenen Klimaanlage zur Unterstützung der Kabinenklimatisierung in ein BZ-Range-Extender-Fahrzeug (mit 0,9 kg H₂) führt zur Reichweitenerhöhung bis zu 8 % bei 40°C Umgebungstemperatur

Nächste Schritte:

Gemeinsame Weiterentwicklung der MeH-Technologie mit der Automobilbranche

→ Aufbau einer offenen Klimaanlage mit 2 kW Kälte und die Kopplung mit einer 8 kW NT-PEM-Brennstoffzelle bis Ende 2018

→ Weiterentwicklung der Technologie auf TRL 6* bis 2020





DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

Institut für Fahrzeugkonzepte

Dipl.-Ing. Mounir Nasri

0711 6862-258

Mounir.Nasri@dlr.de



Wissen für Morgen