



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushaltes.

# Hzwo: InTherm VP2.5

**Laufzeit:** 01.03.2019 – 31.03.2022

**Geplante Gesamtkosten:** 4,7 Mio. €

**Beantragter Zuschuss:** 3,5 Mio.€

# HZw6:FRAME VP2.5 InTherm – Intelligentes Thermomanagementmodul für Brennstoffzellenkleinfahrzeuge

## Fördermittelgeber



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch  
Steuerermittel auf Grundlage des von den  
Abgeordneten des Sächsischen Landtags  
beschlossenen Haushaltes.

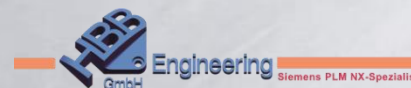
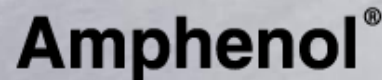
## Projektpartner:



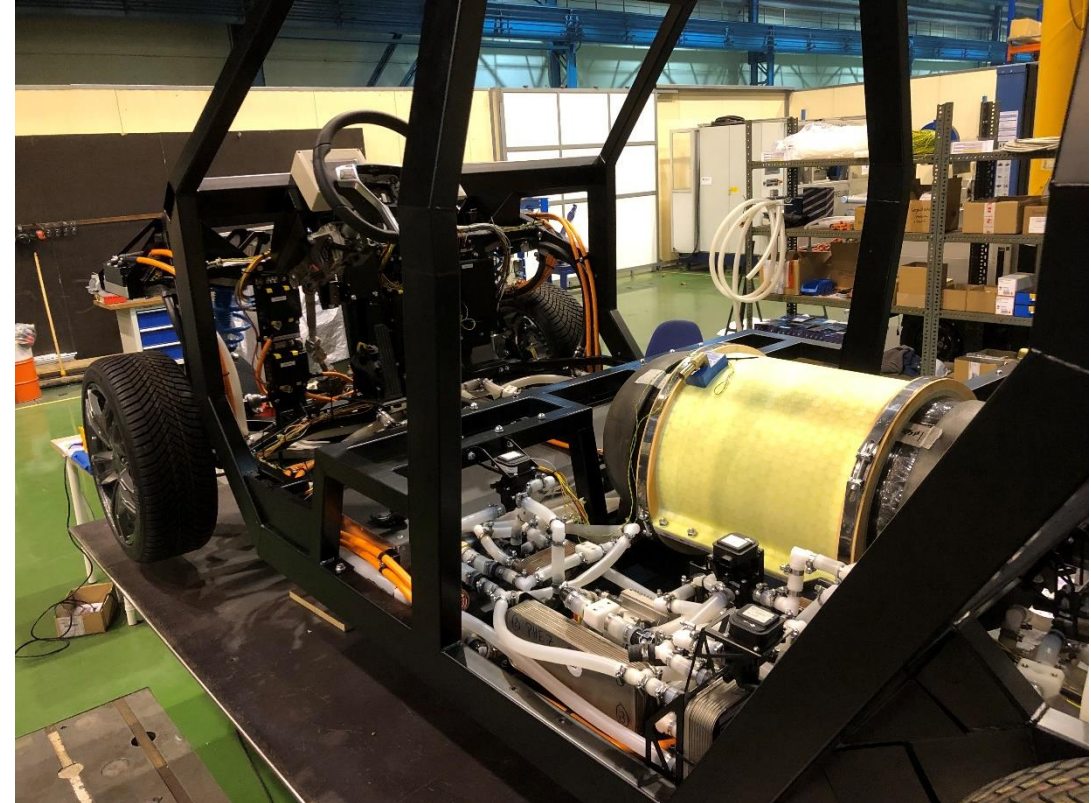
## Unterauftragnehmer / Systemzulieferer



## Weitere beteiligte Unternehmen







Brennstoffzellenstack,  
Wärmepumpe



Radnabenantriebe  
**SCHAEFFLER**

Haupt- und  
Klimasteuergerät

**areus**  
ENGINEERING

Batteriesystem



Wasserstofftank

Tanksystem

**ANLEG**  
Advanced Technology

Thermomantel  
Wasserstofftank



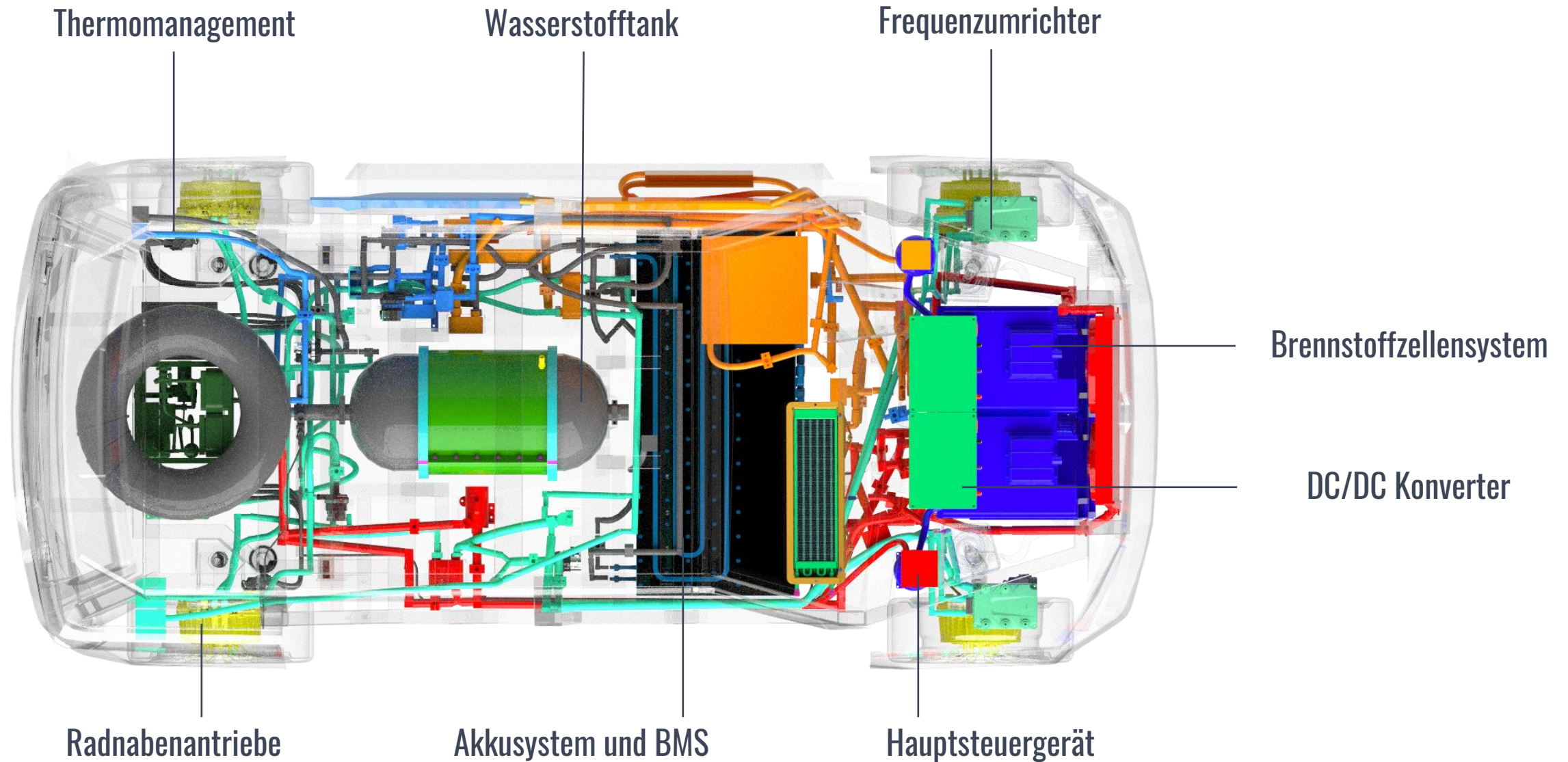
Thermomanagement - Modul



Brennstoffzellensystem







**Zulässiges Gesamtgewicht**  
1900 kg

**Leergewicht**  
Ca. 1500 kg

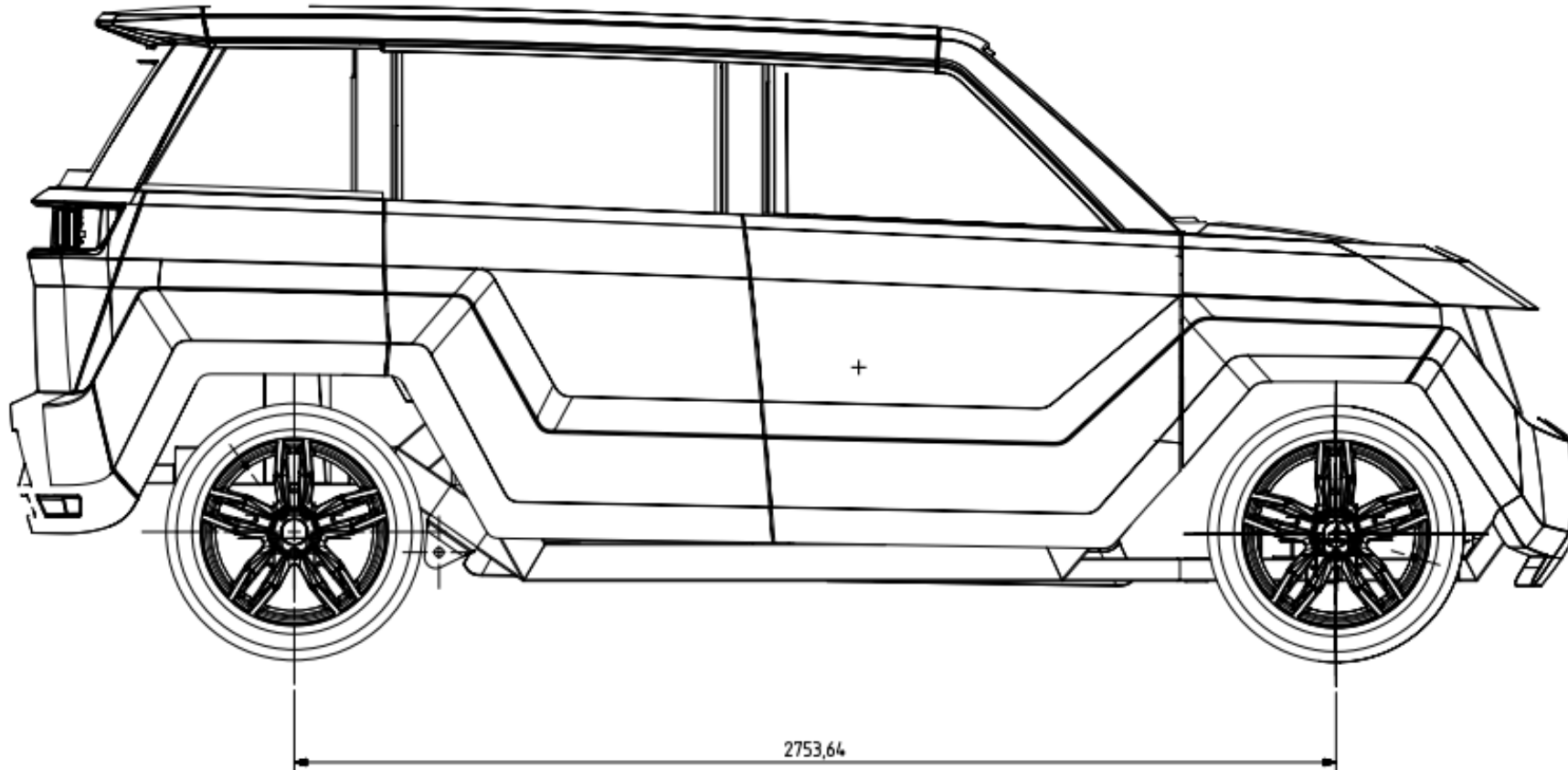
**Länge**  
4146 mm

**Breite**  
1858 mm

**Höhe**  
1731 mm

**Radstand**  
2754 mm

**Spurbreite**  
1812 mm



- im Konsortium entwickelte Struktur des Thermomanagementsystems
- Drei Hauptkreisläufe (heiß, warm kalt)
- Einbindung der Teilsysteme über Plattenwärmeübertrager

## Kühlmittelkreisläufe

1: Wärme (refrigerant circuit)

2: **hot circuit**

3.1 & 3.2: fuel cell systems

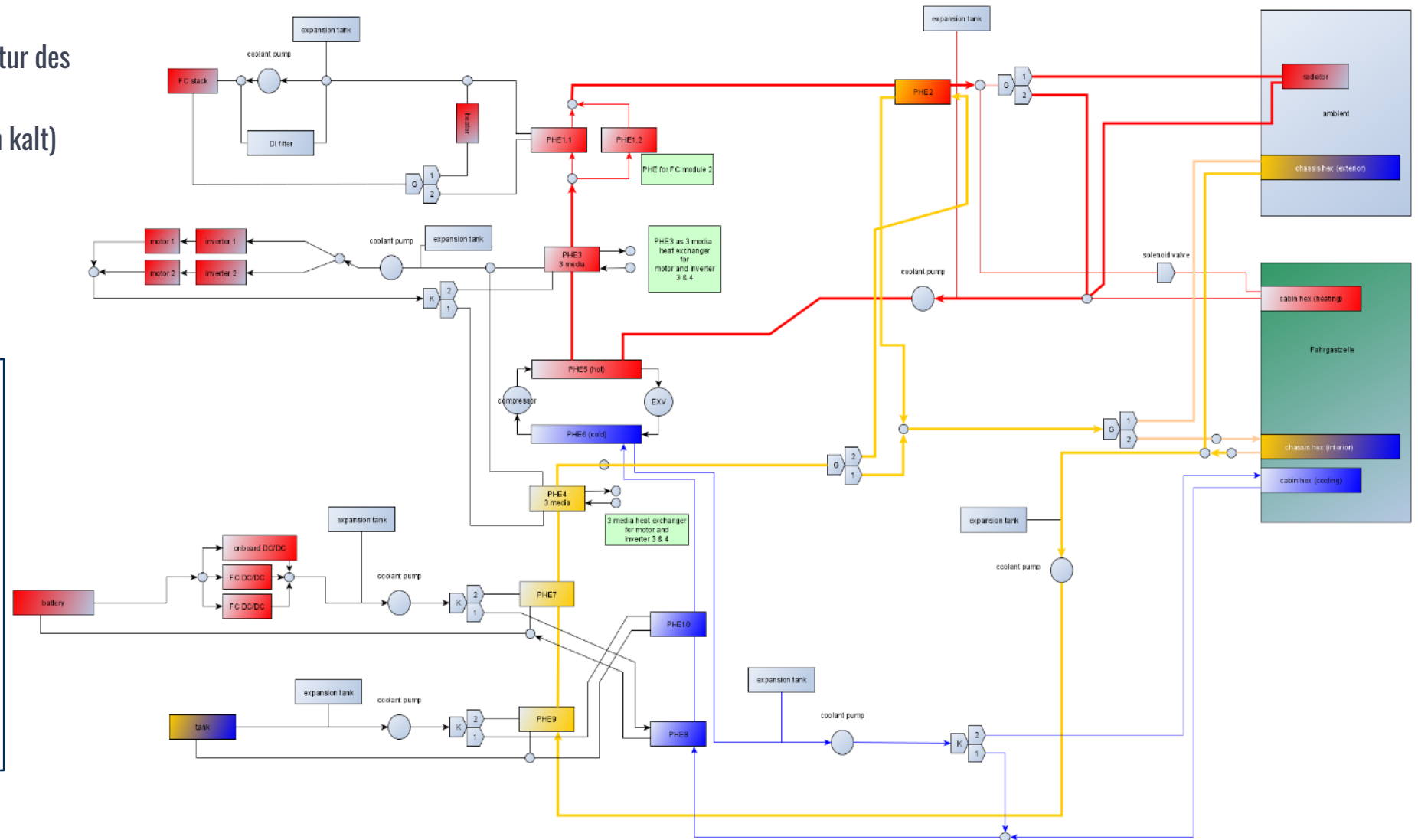
4.1 & 4.2: electric motors + inverters

5: **warm circuit**

6: **cold circuit**

7: battery system

8: tank system



- Ziel: Gewinn realer Messdaten für eine korrekte Modellierung der Komponenten
- Vermessung sämtlicher Plattenwärmeübertrager, des Hauptkühlers und des Heizungswärmeübertragers des Forschungsfunktionsmusters hinsichtlich Wärmeübertragungsleistung und Druckverlust

Thermosteststand



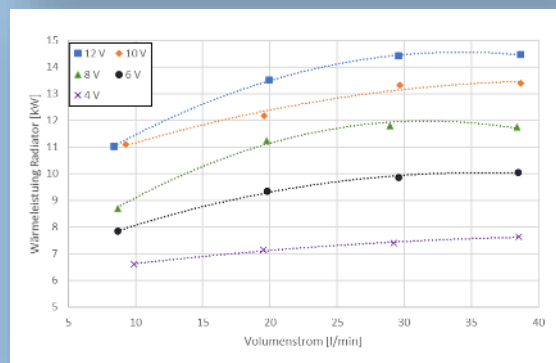
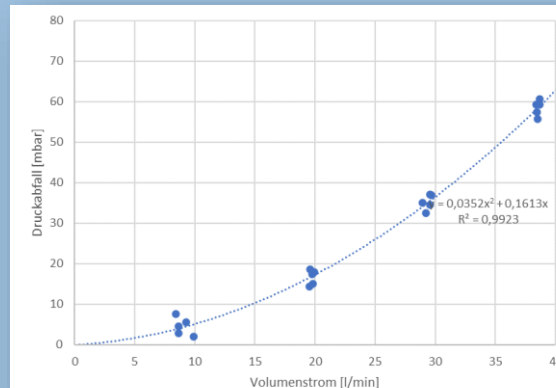
Messaufbau Plattenwärmeübertrager



Messaufbau Hauptkühler

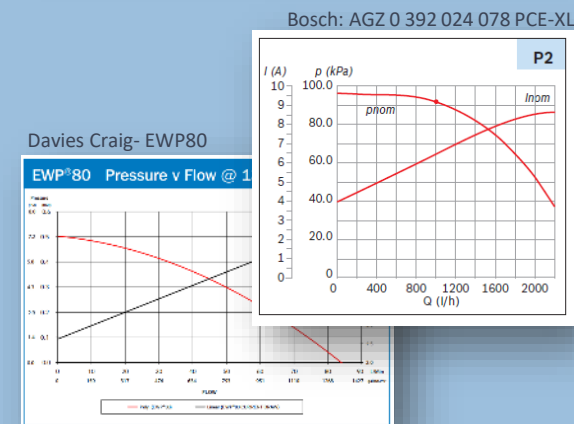


Auswertung der Messungen und Überführung in Kennfelder, die in der Simulation verwendet wurden



Dimensionierung passender Kühlmittelpumpen

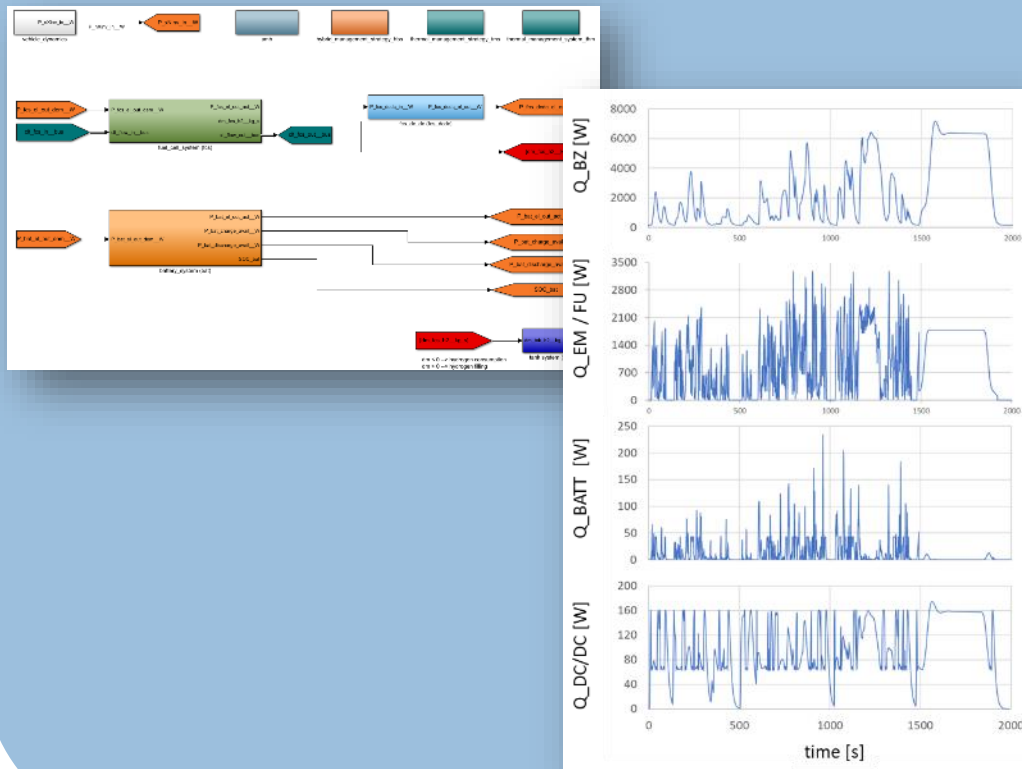
circuit	type designation of the pump	volume flow [l/min] / pressure drop [mbar]	scheduled volume flow [l/min]
fuel cell	Bosch - AGZ 0 392 024 078 PCE-XL - PWM	38 / 340	31
electric motor	Pierburg - CWA400	18 / 950	16
hot	Mahle - eCP-48V	75 / 1810	60
warm	Mahle - eCP-48V	44,5 / 1920	40
cold	Ametek Rotron - Dura-Tek - 13,8V	24 / 807	20
battery	Davies Craig - EWP80	13,5 / 510	10
tank	Pierburg - CWA400	22,5 / 900	20



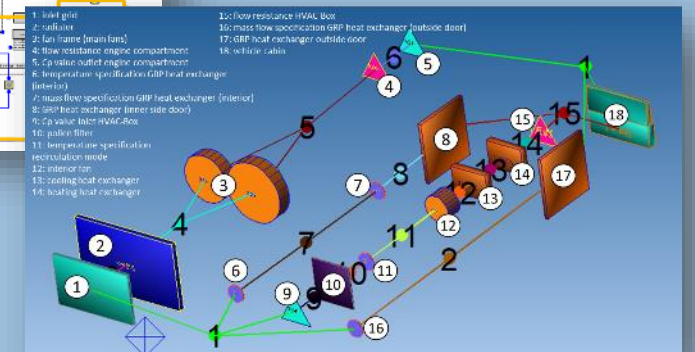
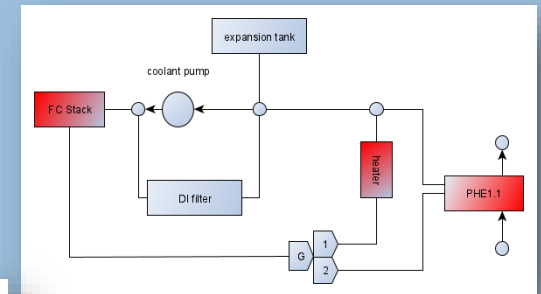
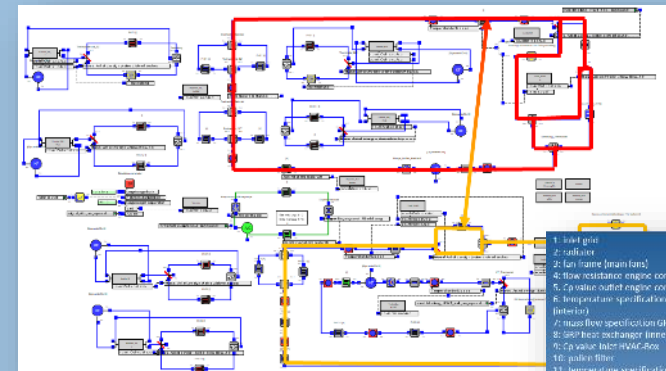
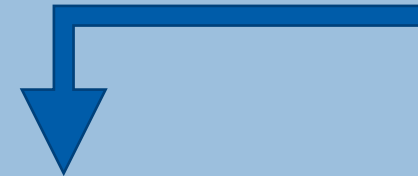


- Kombination von Simulationen in Matlab/Simulink und KULI

Wärmeströme von den Teilsystemen wurden mittels Längsdynamiksimulation in Matlab/Simulink berechnet

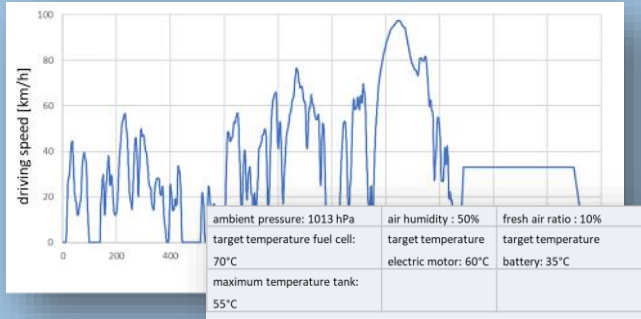


Das entworfene Thermomanagementsystem mit allen Teilmodellen wurde in KULI entwickelt und untersucht

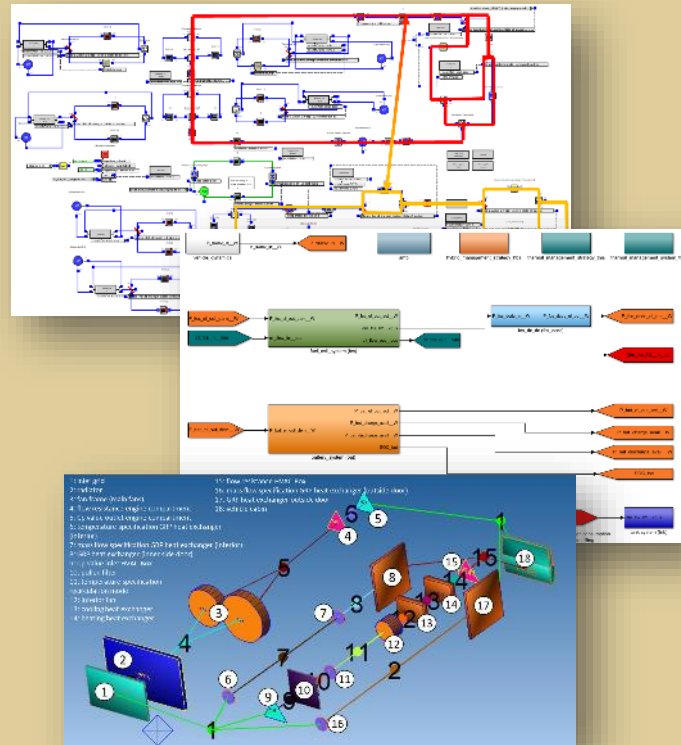


# Simulation verschiedener Szenarien

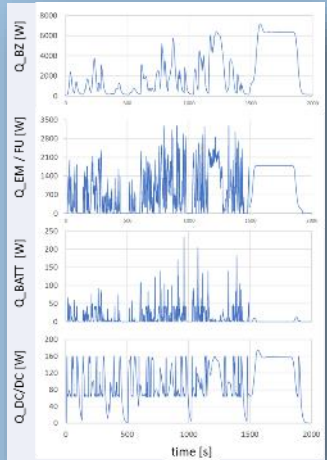
## Fahrzyklus und Umweltbedingungen



## Simulationsmodell

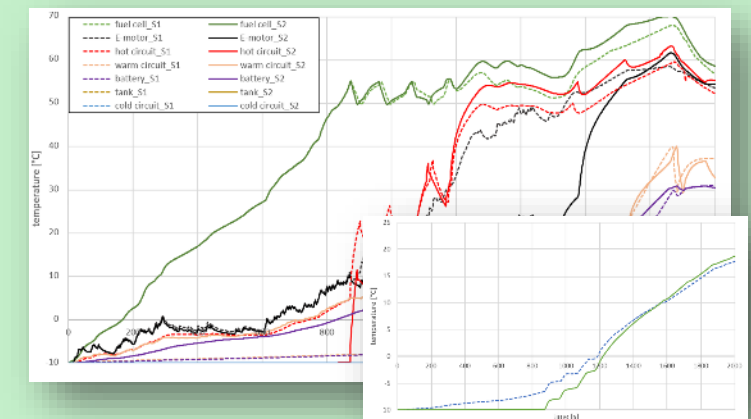
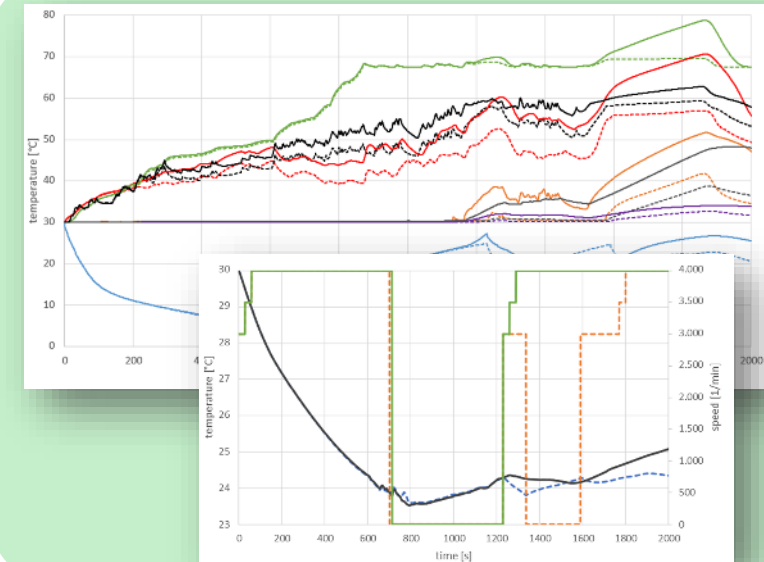


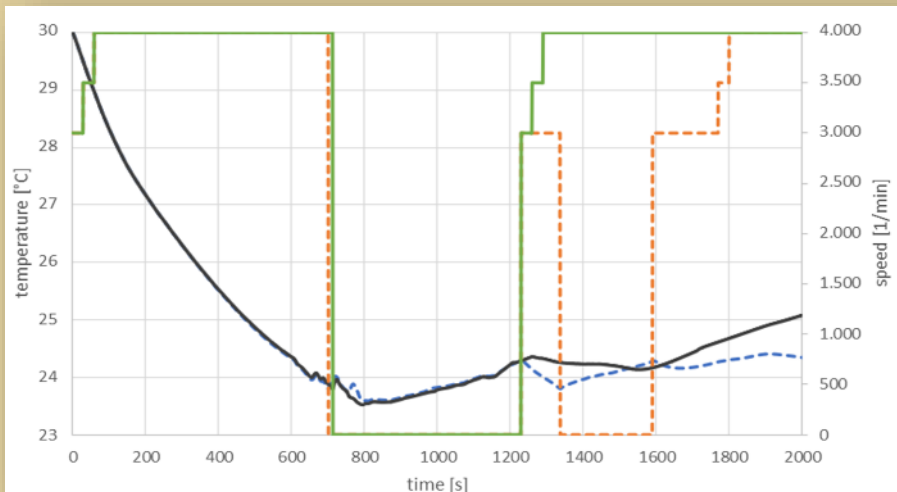
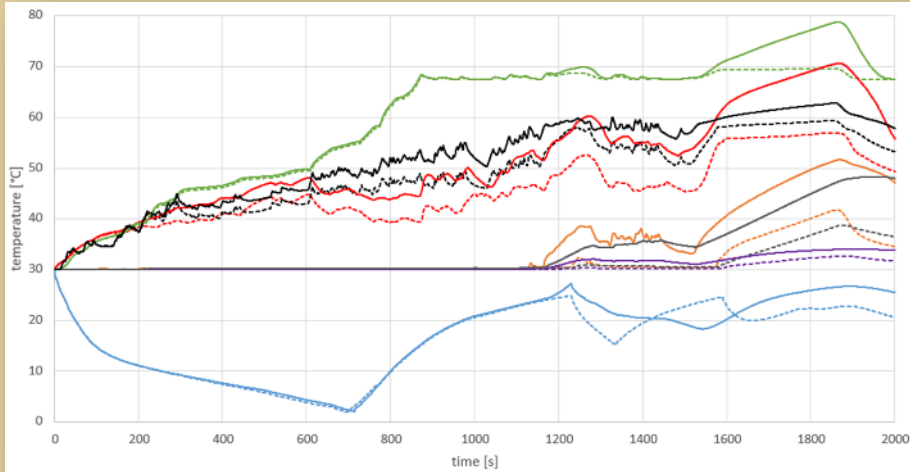
## Wärmeströme



Eingabe aller Informationen in die Simulationsumgebung

## Nutzung der Modelle für Untersuchungen



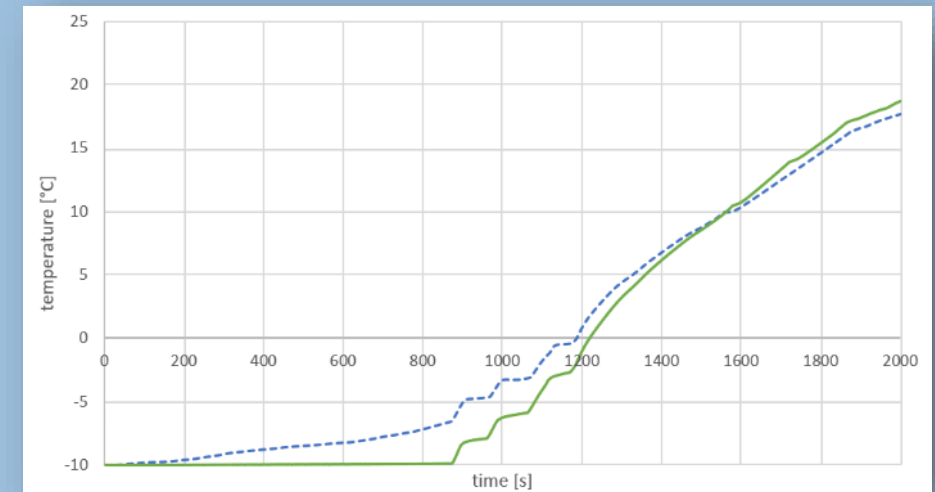
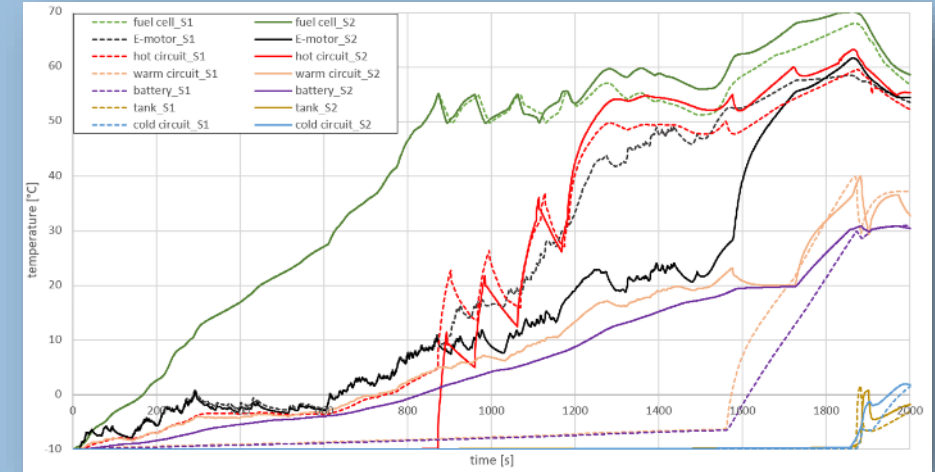


• Untersuchung versch. Szenarien (Sommer, Winter)

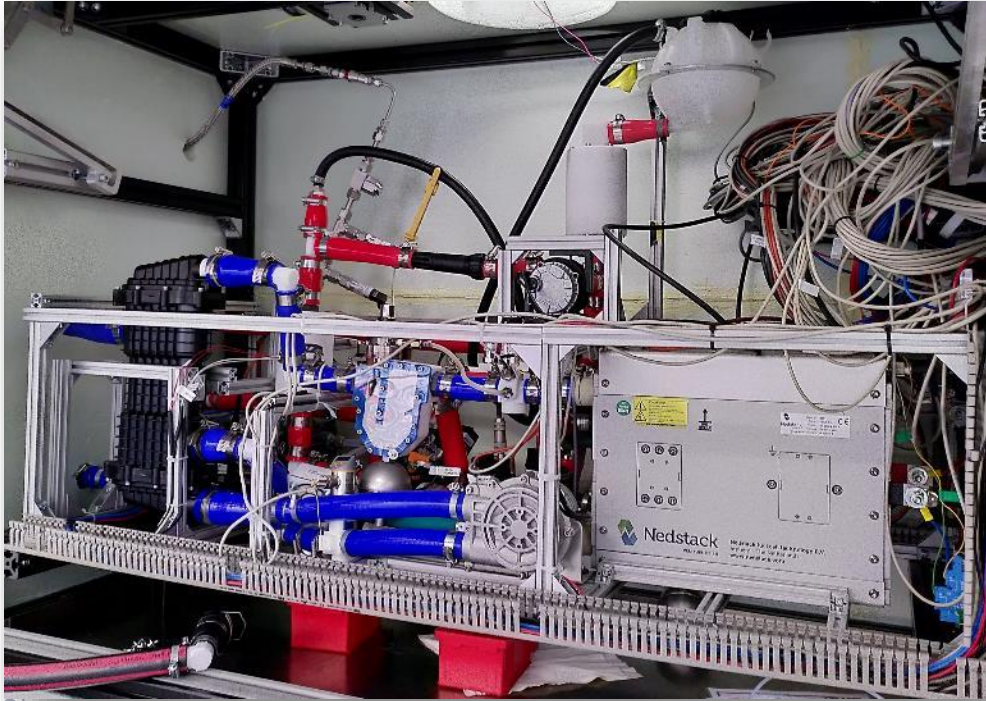
• Untersuchung verschiedener Komponenten (z.B. Kleiner vs. großer Hauptkühler)

• Untersuchung verschiedener Betriebsstrategien (z.B. Vorwärmung der Hybridbatterie mittels der E-Motoren)

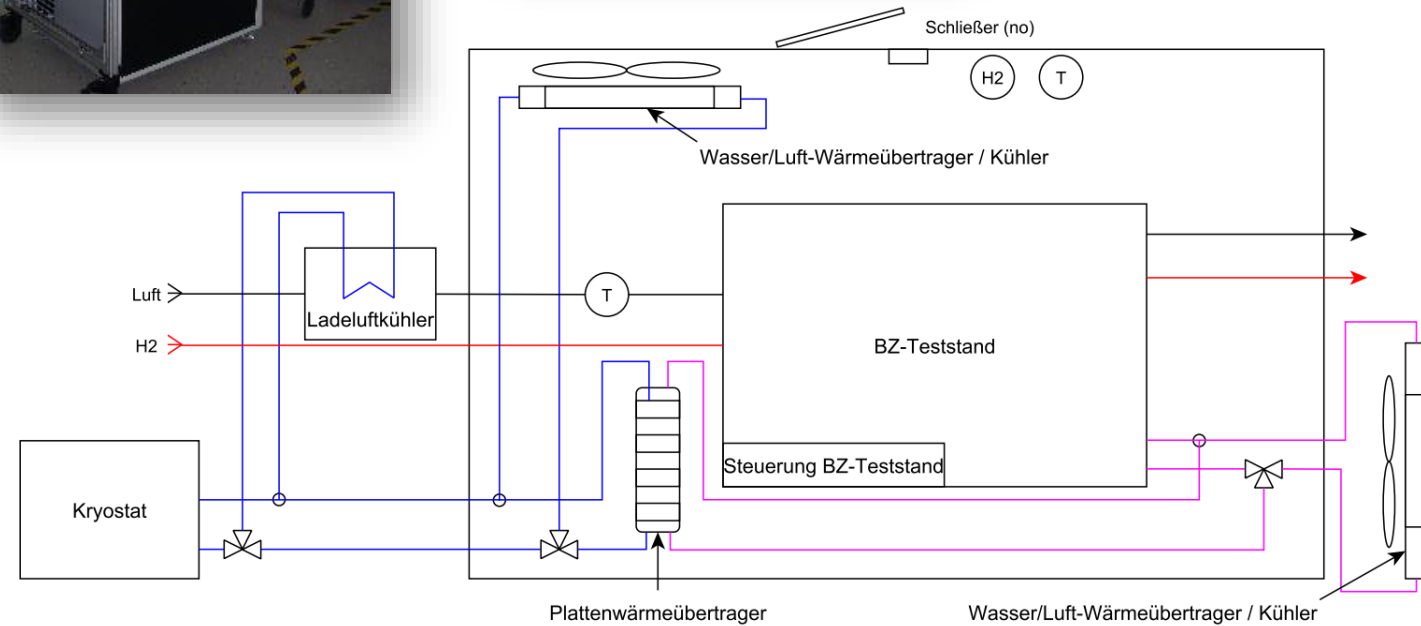
• Untersuchung des Aufwärmverhaltens im Winter





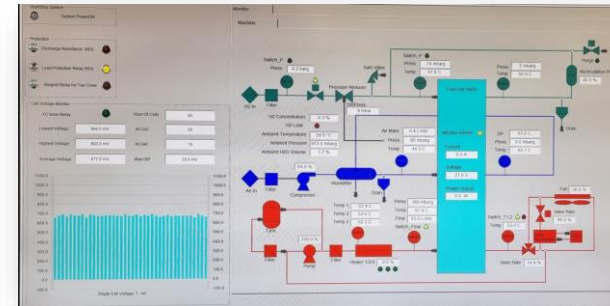
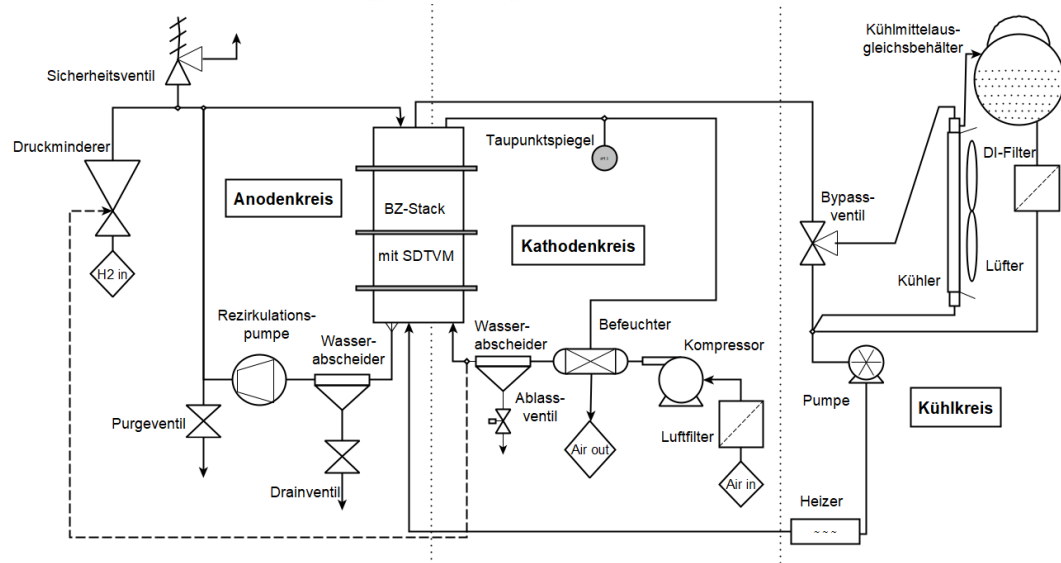
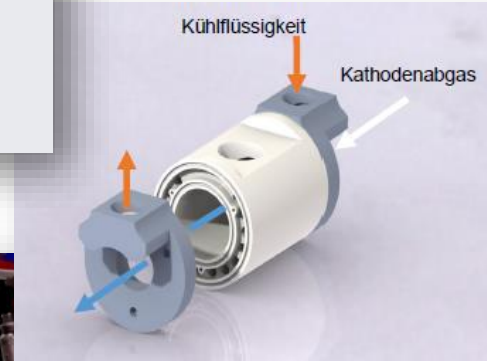
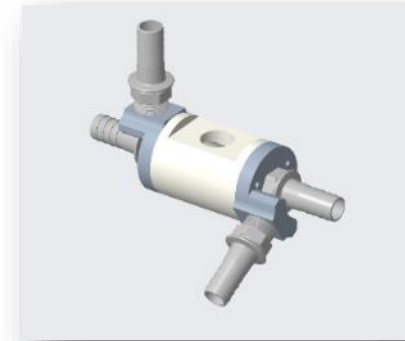


- Aufbau eines 5kW-Brennstoffzellentestmoduls mit Kältekammer für Froststartuntersuchungen



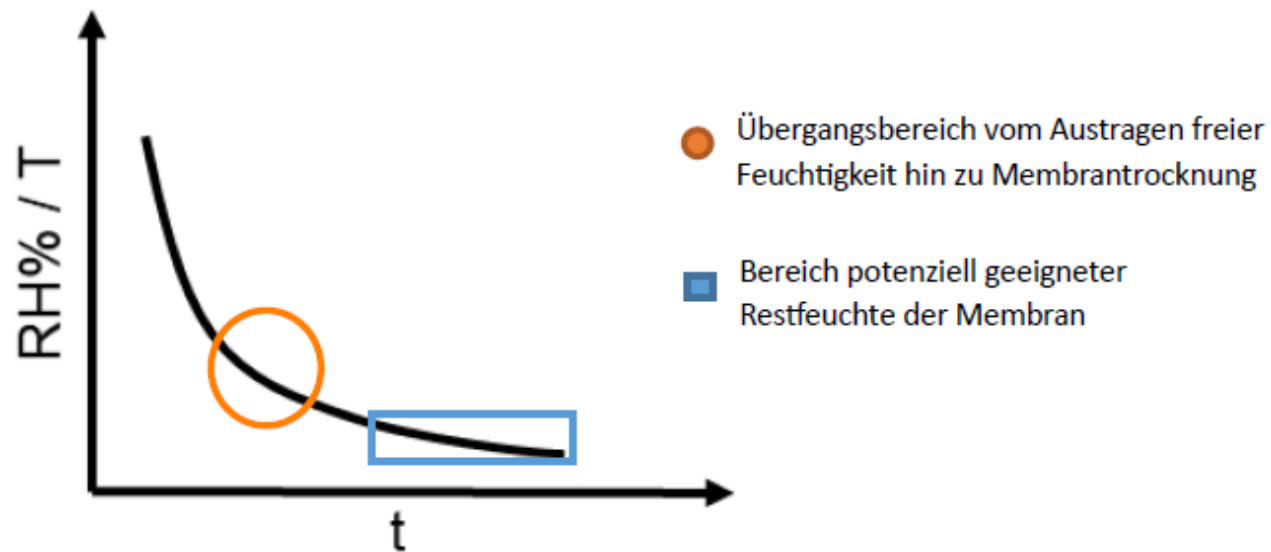


- Integration eines Stromdichte- und Temperaturverteilungsmesssystems zur Durchführung von Systemstartversuchen
- Integration eines Taupunktspiegelsystems zur dynamischen Messung hoher Feuchten
- Durchführung von Untersuchungen zum Trocknungsverhalten beim Shutdown des Stacks
- Entwicklung der Teststandsteuerung



Annahme: Die Feuchtigkeit des Kathodenabgases nimmt beim Shutdown mit Kathodengaspurge einen regressiven Verlauf.

Erwarteter Feuchteverlauf beim Shutdown

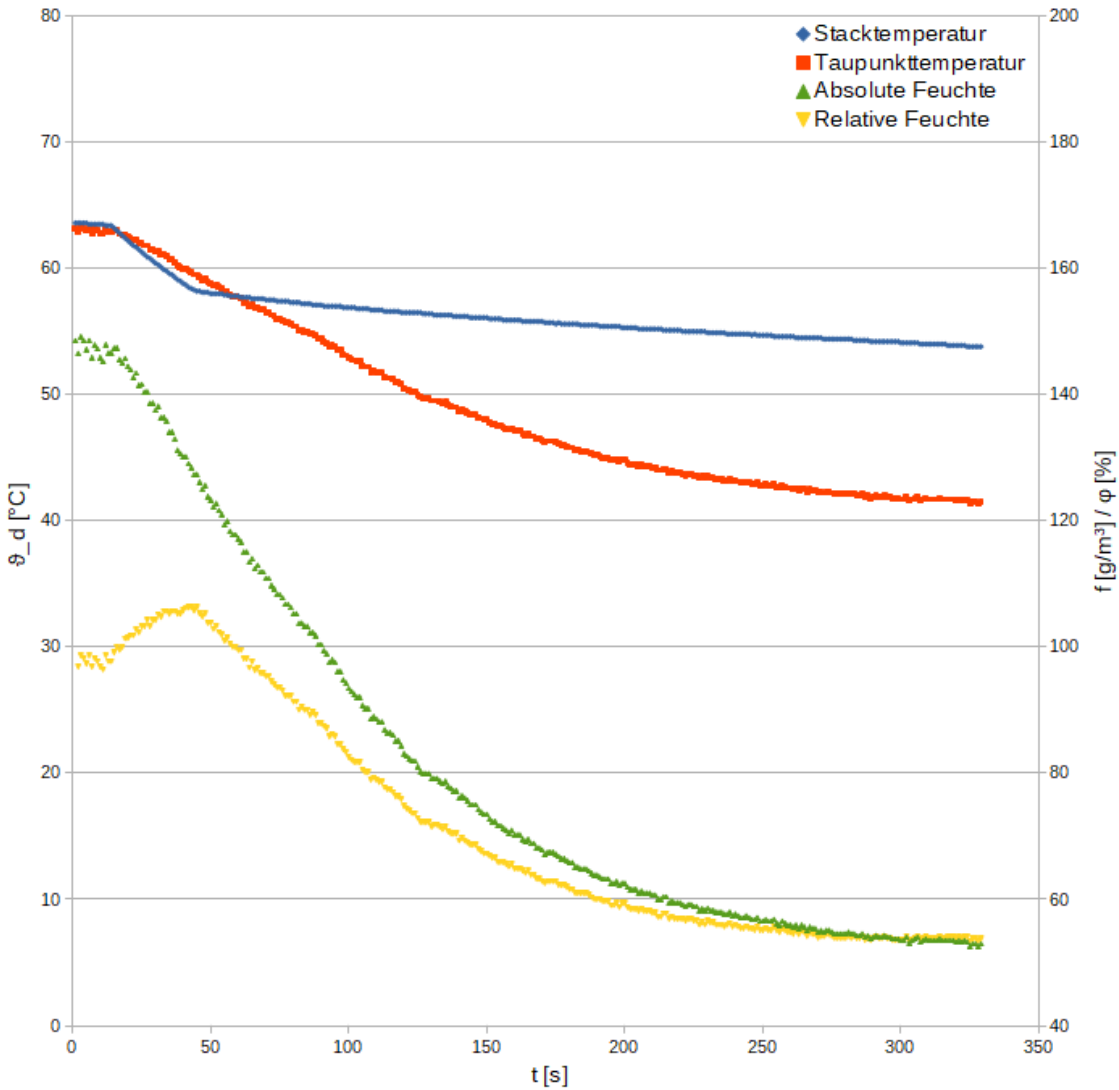


**ex-situ Methode zur  
Beurteilung der  
Stacktrocknung**



Shutdownprozedur	Kathodengaspurge ohne aktive Kühlung oder Beheizung des Stacks
Parameter	
Kühlparameter	-
Heizparameter	-
Blowerleistung	100%
Dauer	330s
Stacktemperatur Beginn	65°C ± 2K
Taupunkttemperatur Beginn	63°C ± 2K
Rel. Feuchte Abgas Beginn	92% ± 3%
Messintervall	1 Hz
Raumtemperatur	24,5 °C ± 1K

- Relative und Absolute Feuchte zeigen den erwarteten Kurvenverlauf





Elektrische Leistung  
2 x 5 kW

Thermische Leistung  
2 x 7,5 kW

Ausgangsspannung  
25 – 40 V

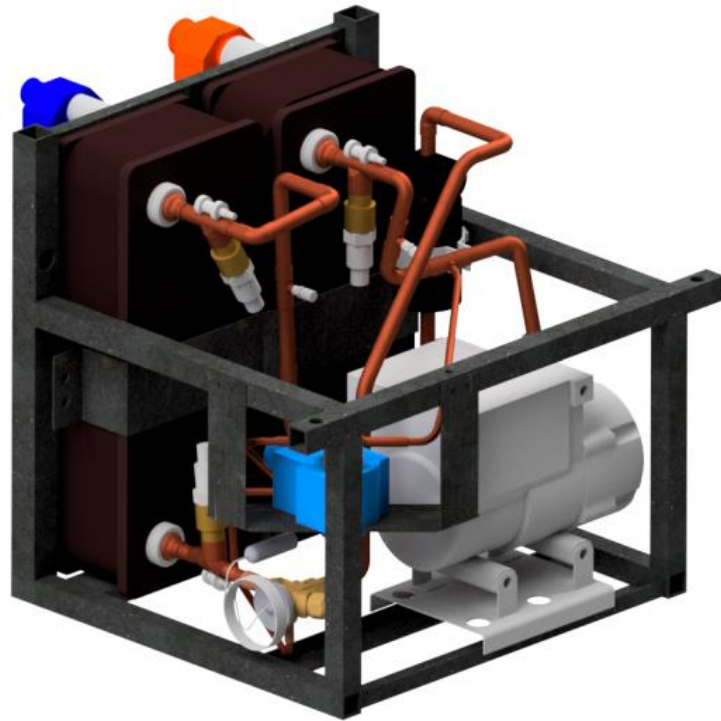
Eingangsspannung  
45 – 60 V

Masse  
110 kg



## Learnings:

- Aufbau eines thermisch optimierten Brennstoffzellensystems als Basis zur weiteren Produktentwicklung
- Hard- und Softwareentwicklung der Steuereinheit eines Brennstoffzellensystems
- Entwicklung einer eigenen Zellspannungsmessung für Brennstoffzellensysteme
- Erarbeitung von Know-How zur Additiven Fertigung für angepasste Schnittstellen zur Sensoreinbindung



**Kühlleistung**  
3 kW

**Heizleistung**  
4 kW

**Kältemittel**  
R1234yf

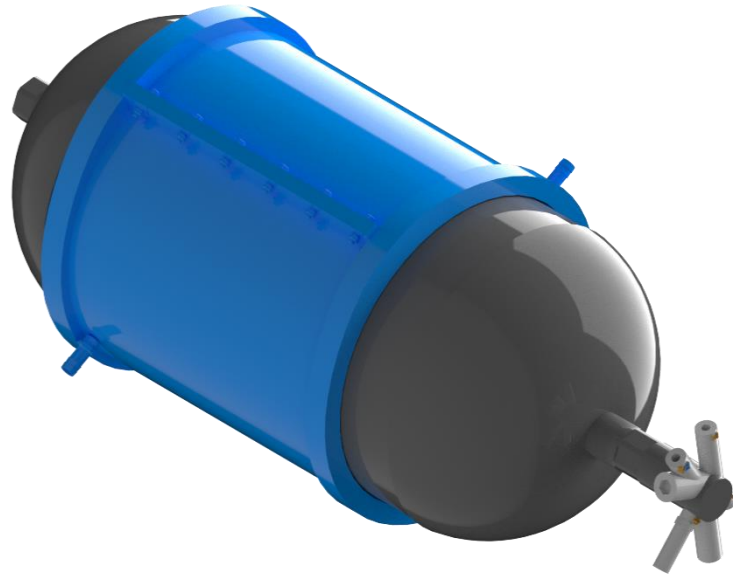
**Temperaturbereich**  
-10 °C bis +45 °C

**Kompressor**  
3-stufige Drehzahlregelung

**Ansteuerung**  
Plattenwärmeübertrager







**Tankvolumen**  
78 Liter

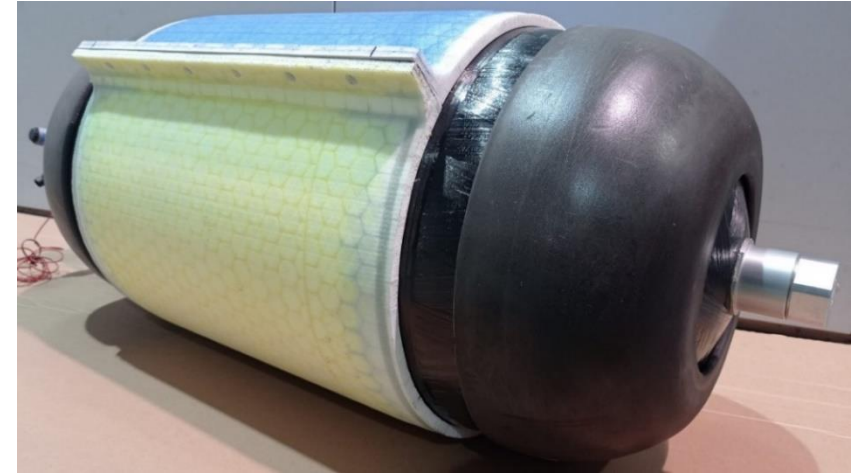
**Wasserstoffmenge**  
3,12 kg bei 700 bar

**Systemausgangsdruck**  
8 bar

**Kühlung**  
Wassergekühlter Tankmantel

**Abmaße**  
Länge = 1050 mm – Durchmesser 440 mm

**Masse**  
60 kg



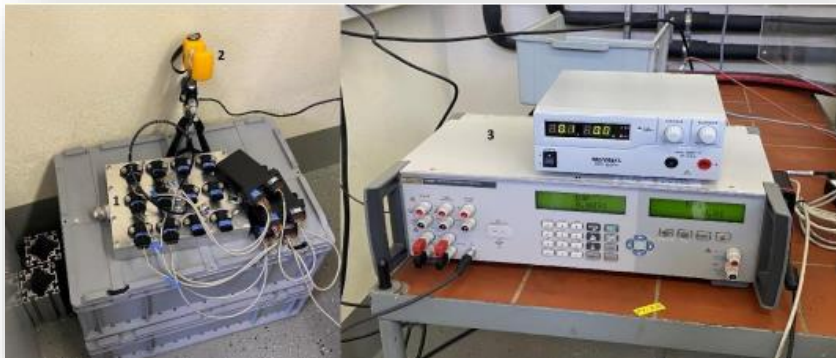
# Thermomanagementmodul



PV-Servo- bzw. TP-CAN-Modul



PV-Servomodul mit Sensoren und Thermomanagementventil



Messaufbau zur Kalibrierung der Kombisensoren [1]

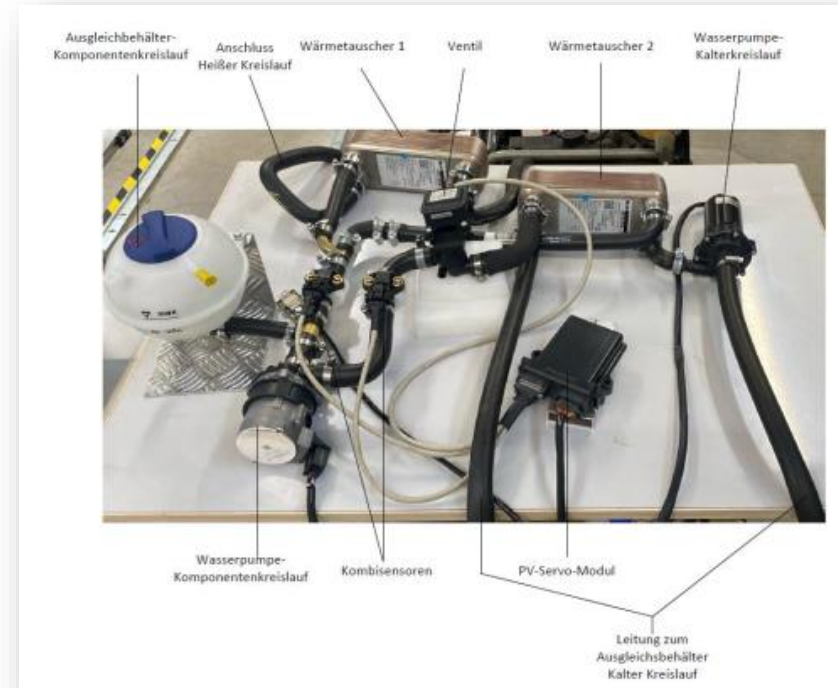
**Betriebsspannung**  
11 VDC bis 30 VDC

**Sensoreingänge**  
2 x Temp. NTC  
2 x Analog 5 V

**Ausgänge**  
Sensorversorgung  
Ventilansteuerung  
Pumpenansteuerung

**Kommunikation**  
1 x CAN-BUS

**Abmaße**  
Länge = 133 mm  
Breite = 118 mm  
Höhe = 36 mm  
Schutzklasse IP 67



Versuchsaufbau für den Systemtest [1]



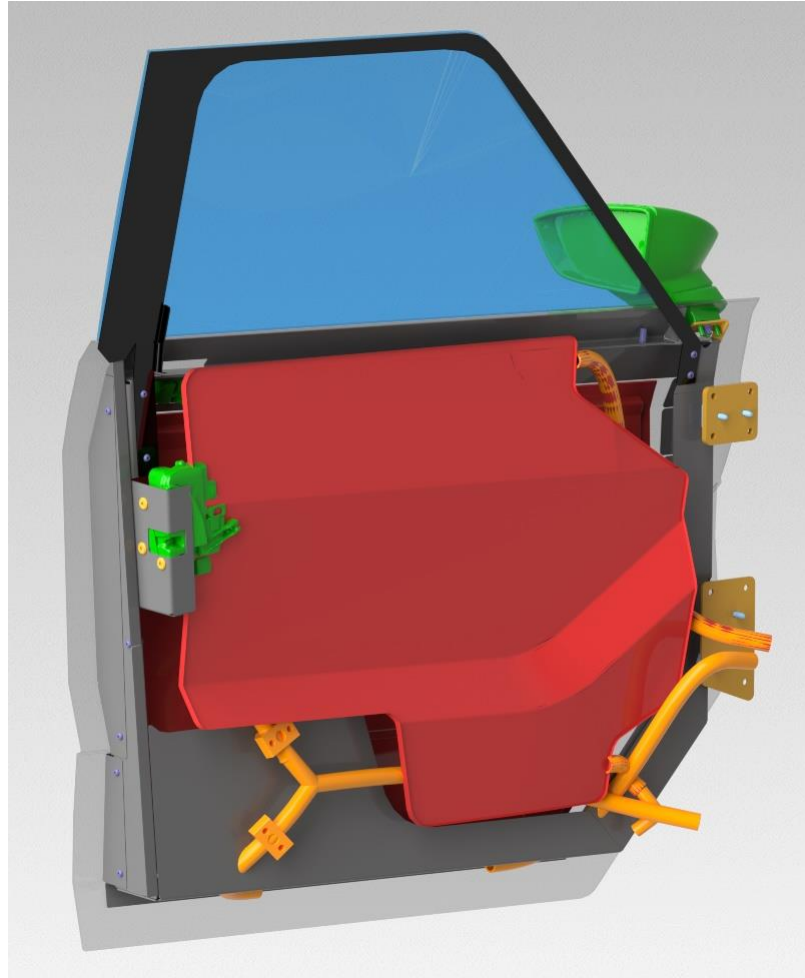
Für die verwendeten Sensoren entwickelte Sensoraufnahme für die Integration im Forschungsfunktionsmuster



Module integriert im Forschungsfunktionsmuster



# Funktionsintegrierte Karosserieelemente als Flächenwärmeübertrager



**Testmodul**  
0,35 m x 0,35m  
90W Wärmeleistung

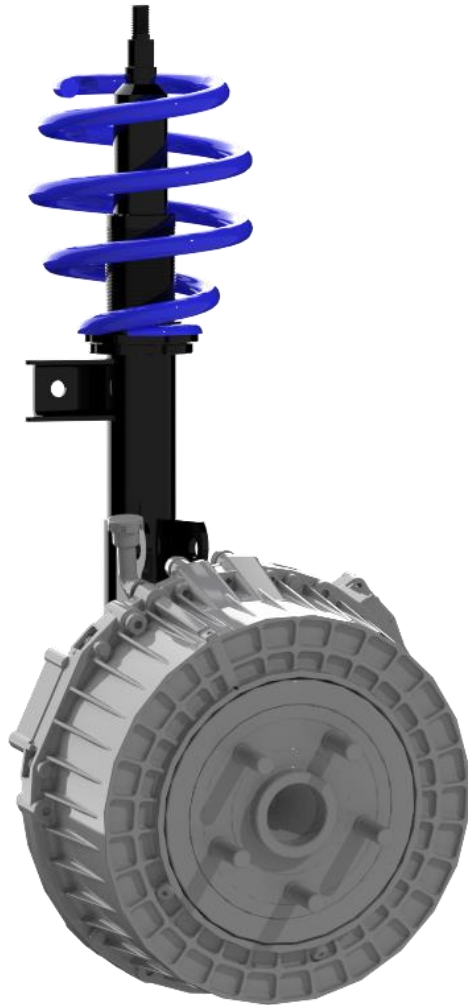
**Wärmeleistung pro m<sup>2</sup>**  
~750W

**Bezogen auf eine Türfläche**  
~0,5m<sup>2</sup> und 375W

**Bezogen auf das  
Gesamtforschungsfunktionsmuster**  
~6,33m<sup>2</sup> und 4,75kW







**Antriebsleistung**  
 $P_{\text{nenn}} = 28\text{kW}$   $P_{\text{max}} = 56\text{kW}$

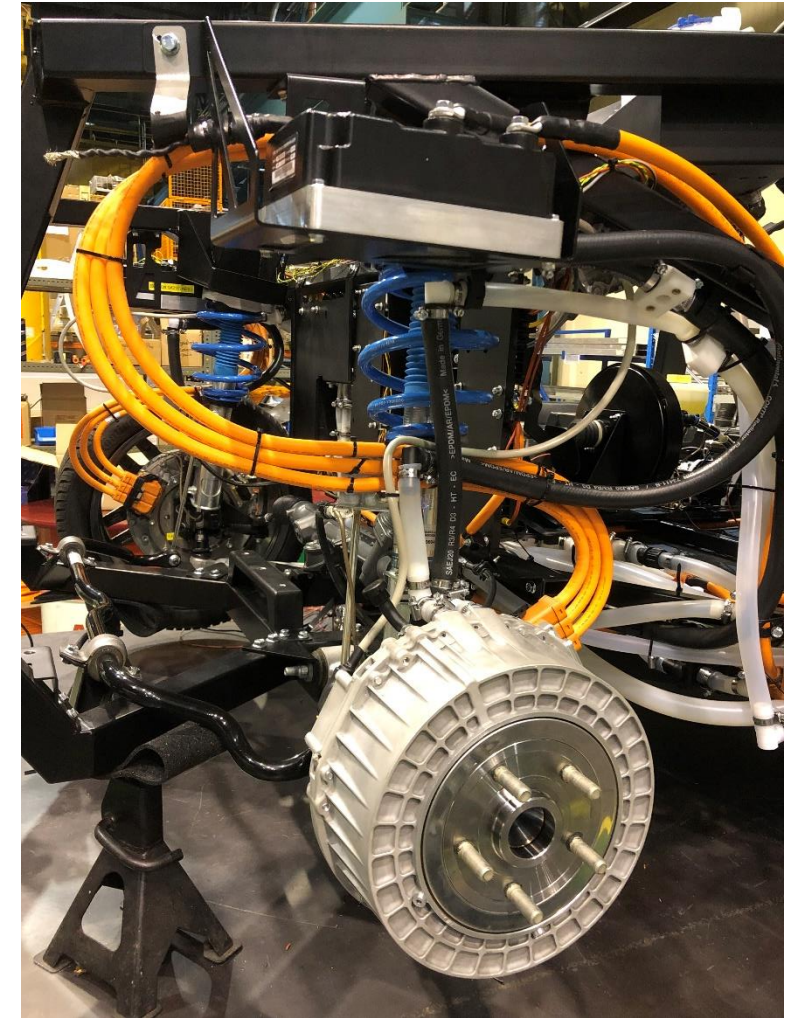
**Drehzahl des Antriebs**  
Nenn Drehzahl (Maximaldrehzahl)

**Nennmoment**  
 $4 \times 230 \text{ Nm}$   $4 \times 500 \text{ Nm (Max)}$

**Kühlung**  
Wasserkühlung

**Nennspannung**  
48V

**Bremse**  
Trommelbremse mit integrierter Handbremse



**Energieinhalt**  
10 kWh

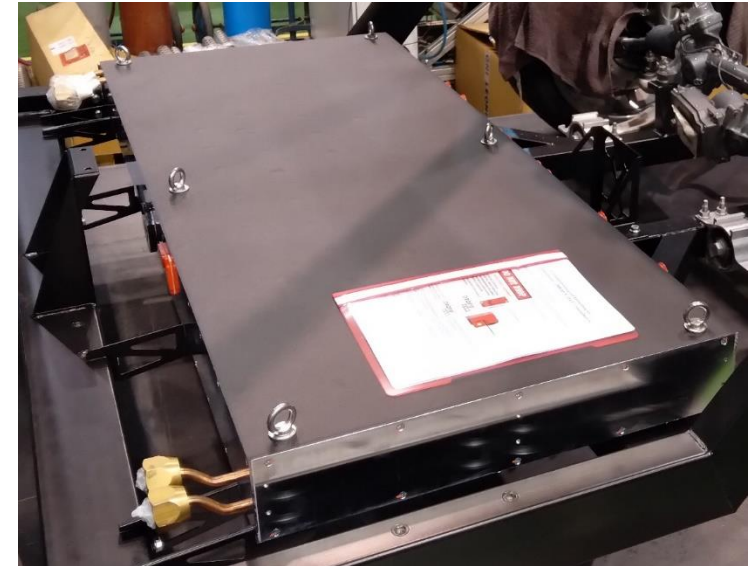
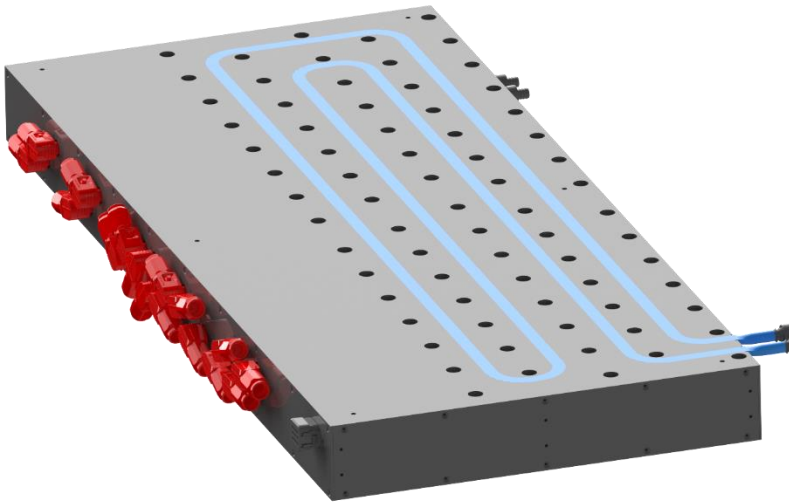
**Spannung**  
 $U_{\max} = 58,8 \text{ V} - U_{\min} = 42,0 \text{ V}$

**Entladestrom**  
 $I_{\max} = 667 \text{ A} - I_{\text{peak}} = 1334 \text{ A}$

**Kühlung**  
Integrierter Kühlkreislauf

**Ladestrom**  
510 A – in 15 Min von 20 % auf 80 %

**Masse**  
120 kg



**Leistung**  
2 x 6 kW

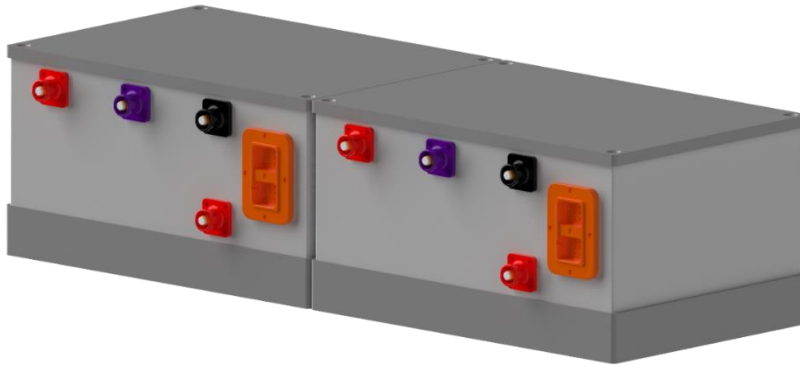
**Eingangsspannung**  
25 VDC bis 45 VDC

**Arbeitsspannung**  
45 VDC bis 60 VDC

**Kühlung**  
Flüssigkeitskühlung

**Schutzmaßnahmen**  
Schutz vor Unterspannung und  
Überstrom am Eingang

**Masse**



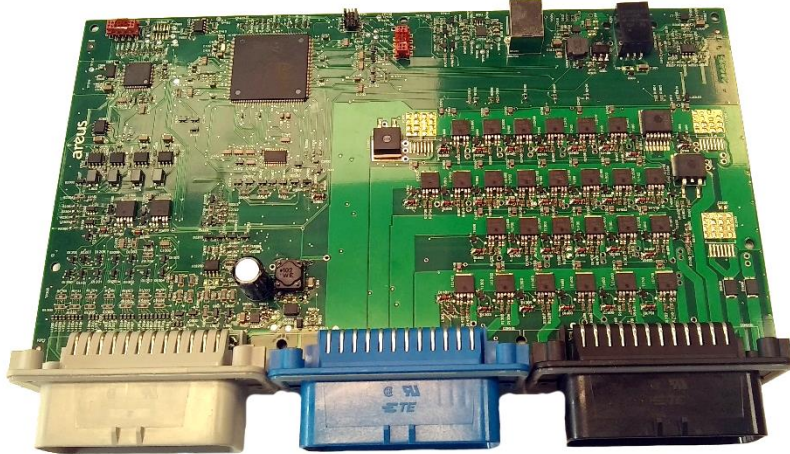


**Betriebsspannung**  
9 VDC bis 60 VDC

**Ein- und Ausgänge**  
30 Leistungsausgänge für Dauerbelastung bis 22A  
24 Digitaleingänge mit Schutzbeschaltung  
2 Analogeingänge für Gaspedalsignale

**Kommunikationsschnittstellen**  
4 x CAN-BUS  
1 x Diagnose USB

**Funktionale Sicherheit**  
Selbstüberwachung mit zwei Mikrocontrollern  
Sichere Gaspedaleingänge  
Sichere Bremsschaltereingänge  
Notauskreis







Gefördert vom Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr

Ein erster Forschungsfunktionsdemonstrator ist im Rahmen des Projektes „Intelligentes Thermomanagementmodul für Brennstoffzellenkleinfahrzeuge - HZwo:FRAME InTherm (VP 2.5)“ entstanden



Europäische Union

Europa fördert Sachsen.



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushaltes.