

# ELEKTRISCHER ANTRIEBSSTRANG FÜR ARBEITS- UND NUTZFAHRZEUGE (ELAAN)



Stefan Keller

Fraunhofer-Institut für Solare  
Energiesysteme ISE

[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

6. Fachtagung – Hybride und  
energieeffiziente Antriebe für  
mobile Arbeitsmaschinen

Karlsruhe, 15.02.2017

---

# AGENDA

---

- Fahrzeugvorstellung
- Energiebedarfsanalyse
- Systemtopologie
- Komponenten des elektrischen Antriebssystems
- Begleitende Modellierung

# Das Basisfahrzeug

## Der Ladog T1250

- N2 Pritschen-LKW
- Zul. Gesamtgewicht: 6 t
- Leistung 74 kW / 101 PS bei 3000 min<sup>-1</sup>
- Drehmoment max. 340 Nm bei 1350 min<sup>-1</sup>
- Hydrostatischer Fahrtrieb mit 2 Stufen: 0-17 und 0-45 (60) km/h
- Kraftstofftank 80 l



# Das Basisfahrzeug

## Der Ladog T1250

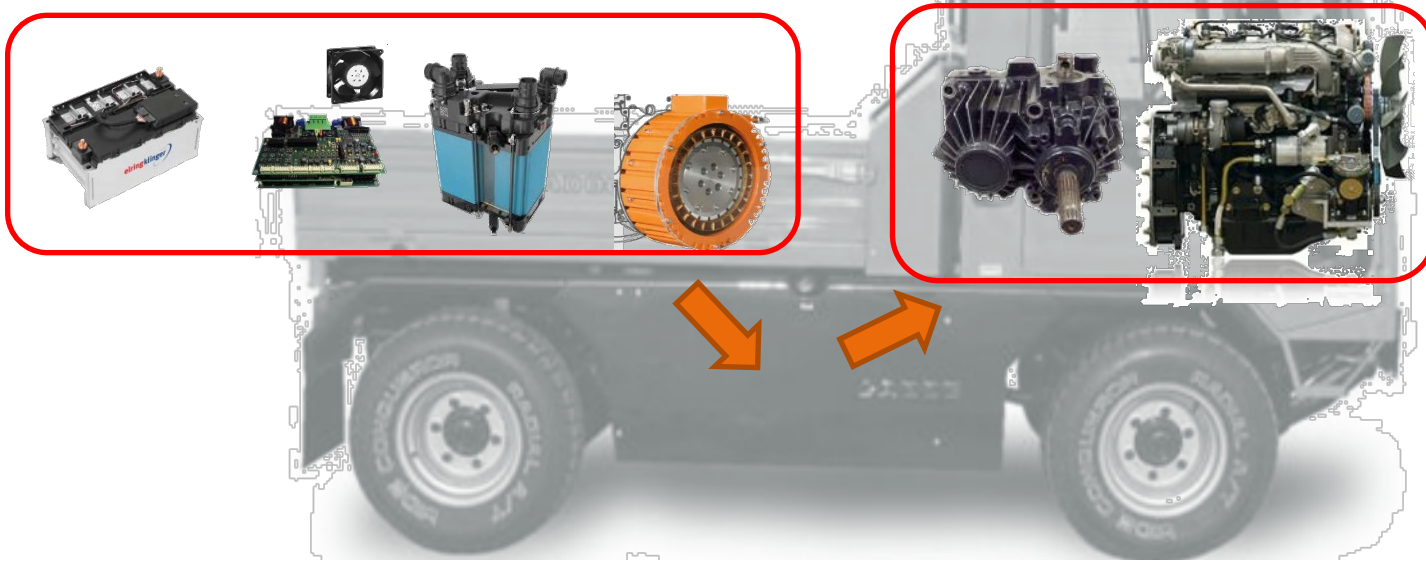
- N2 Pritschen-LKW
- Zul. Gesamtgewicht: 6 t
- Leistung 74 kW / 101 PS bei 3000 min<sup>-1</sup>
- Drehmoment max. 340 Nm bei 1350 min<sup>-1</sup>
- Hydrostatischer Fahrtrieb mit 2 Stufen: 0-17 und 0-45 (60) km/h
- Kraftstofftank 80 l



# Der Antriebsstrang wird ersetzt

## Keine Lärm- oder Schadstoffemissionen

- Elektrifizierung des Antriebssystems: Entfall des Verbrennungsmotors, Integration eines modularen Batterie-Brennstoffzellensystems
- Adressierung zusätzlicher Anwendungen (Klasse 1 Gabelstapler)
- Ziel: fahrfähiger Prototyp



# Das Projektkonsortium

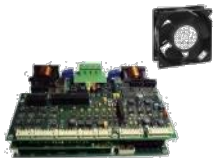
## KMU, Wirtschaft und Forschung mit vereinten Kräften



← ■ **EtringKlinger:** Batterie & Brennstoffzelle



← ■ **Heinzmann:** Elektrischer Antriebsstrang



← ■ **Fronius:** Leistungselektronik und Systemintegration

■ **LADOG:** Fahrzeugintegration

■ **Fraunhofer ISE:** Simulation & Systemcharakterisierung



---

# AGENDA

---

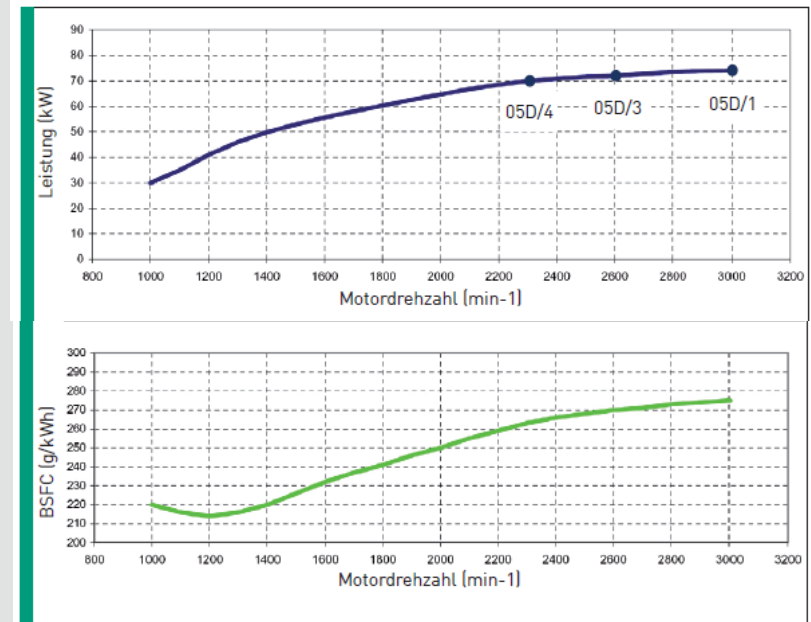
- Fahrzeugvorstellung
- Energiebedarfsanalyse
- Systemtopologie
- Komponenten des elektrischen Antriebssystems
- Begleitende Modellierung

# Energie- und Leistungsbedarfsanalyse

## Methodik

- Definition einer Referenzstrecke mit genauen Fahranweisungen
- Ermittlung der Verbrauchsdaten aus dem Steuergerät
- Berechnung der Nutzenergie mittels spezifischem Verbrauch und Drehzahl
- Ermittlung der maximalen Leistung

$$P_{mech} = \dot{V}_t \cdot \rho_{diesel} \cdot BSFC_n \cdot \eta_{Hydrostat}$$

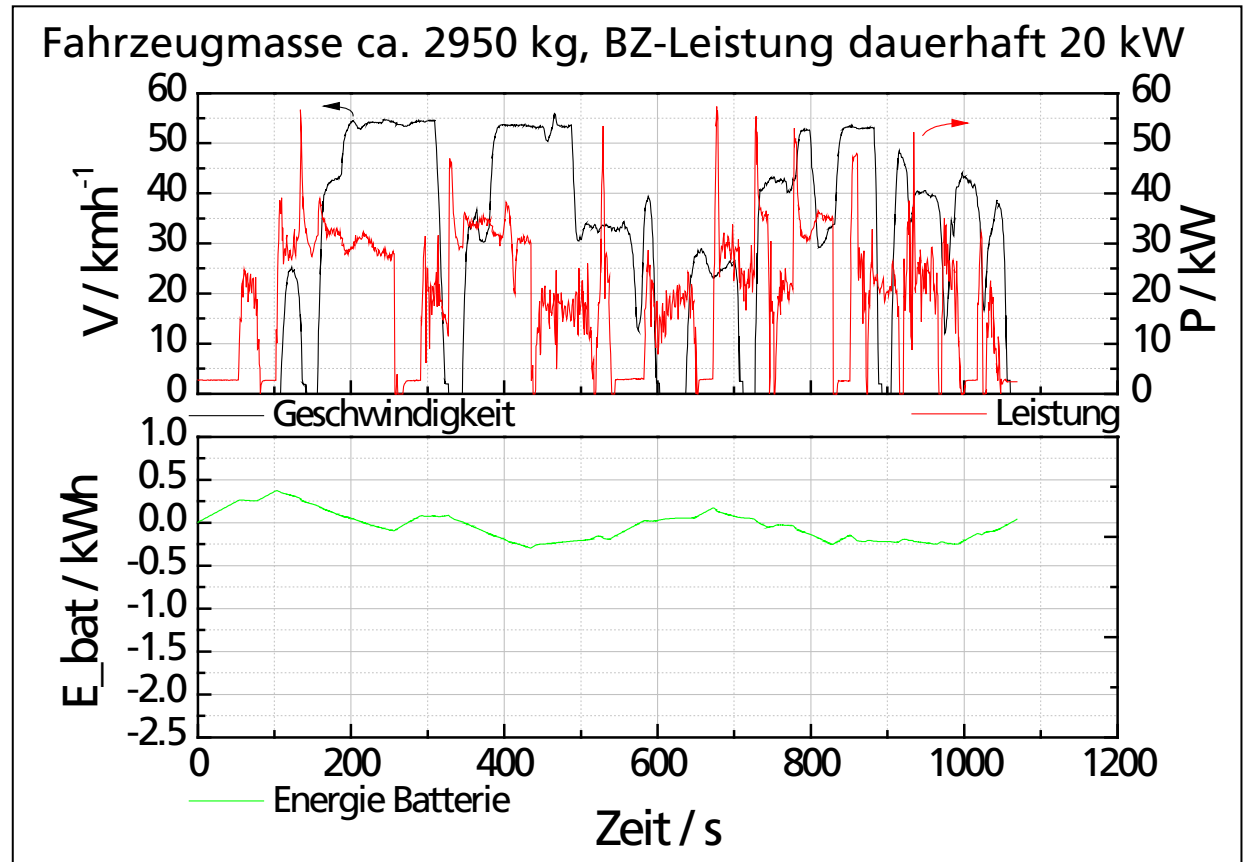


©Hans Wegmüller AG

# Energie- und Leistungsbedarfsanalyse

## Ergebnisse

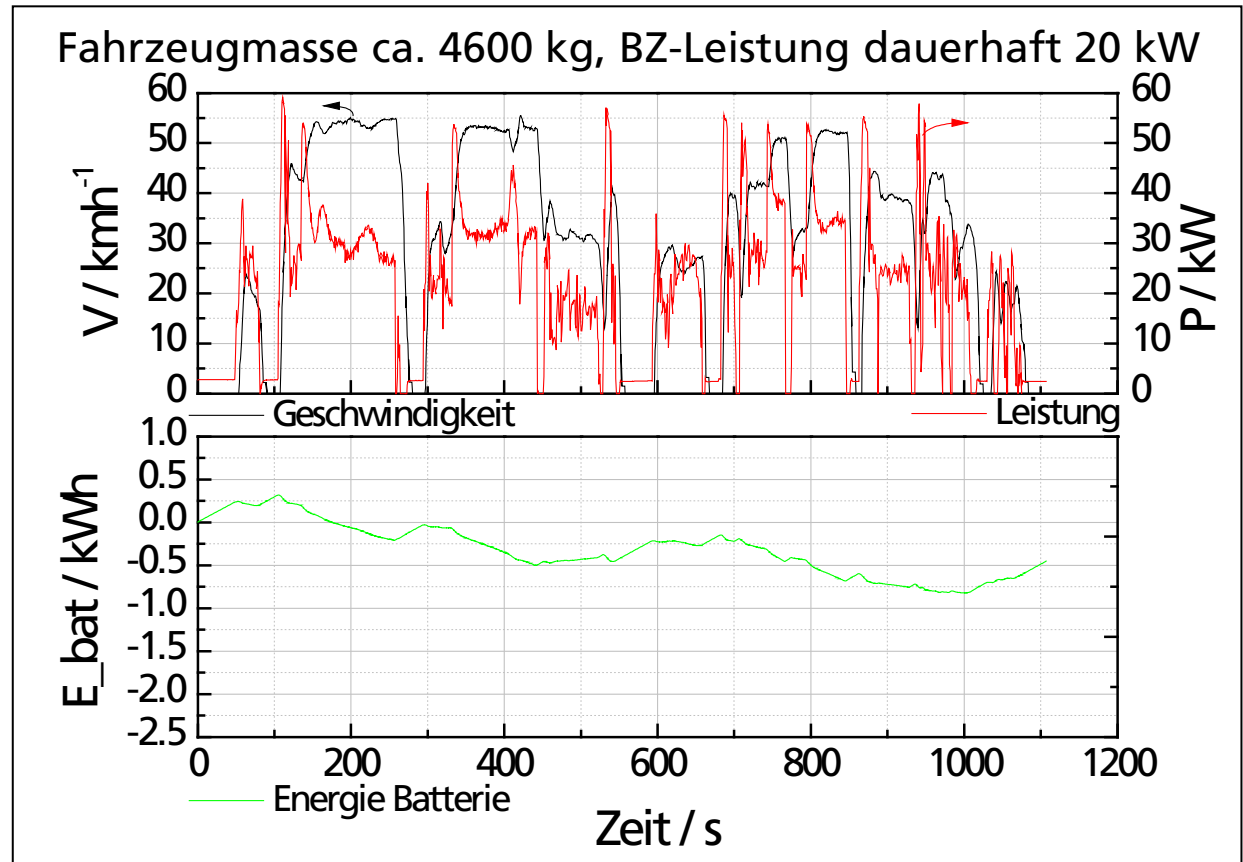
- $P_{\text{avg}} = 19,9 \text{ kW}$
- $P_{\text{peak}} = 57,4 \text{ kW}$
- Batterieleistung  
 $P_{\text{peak}} = 37,4 \text{ kW}$



# Energie- und Leistungsbedarfsanalyse

## Ergebnisse

- $P_{\text{avg}} = 21,5 \text{ kW}$
- $P_{\text{peak}} = 59,2 \text{ kW}$
- Batterieleistung  
 $P_{\text{peak}} = 39,2 \text{ kW}$



---

# AGENDA

---

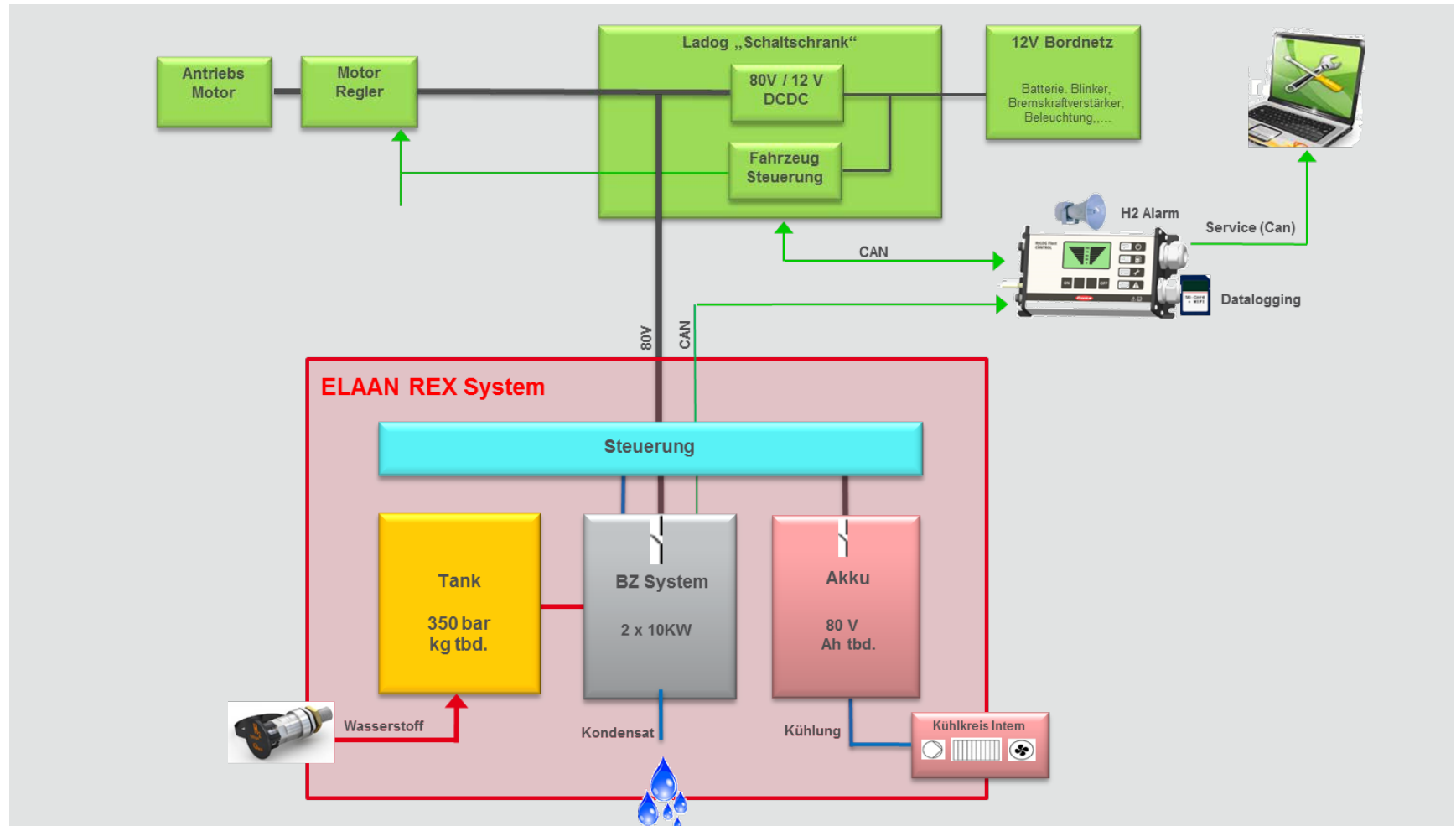
- Fahrzeugvorstellung
- Energiebedarfsanalyse
- Systemtopologie
- Komponenten des elektrischen Antriebssystems
- Begleitende Modellierung

**Energie: H2 - Brennstoffzelle, Leistung: Batterie**



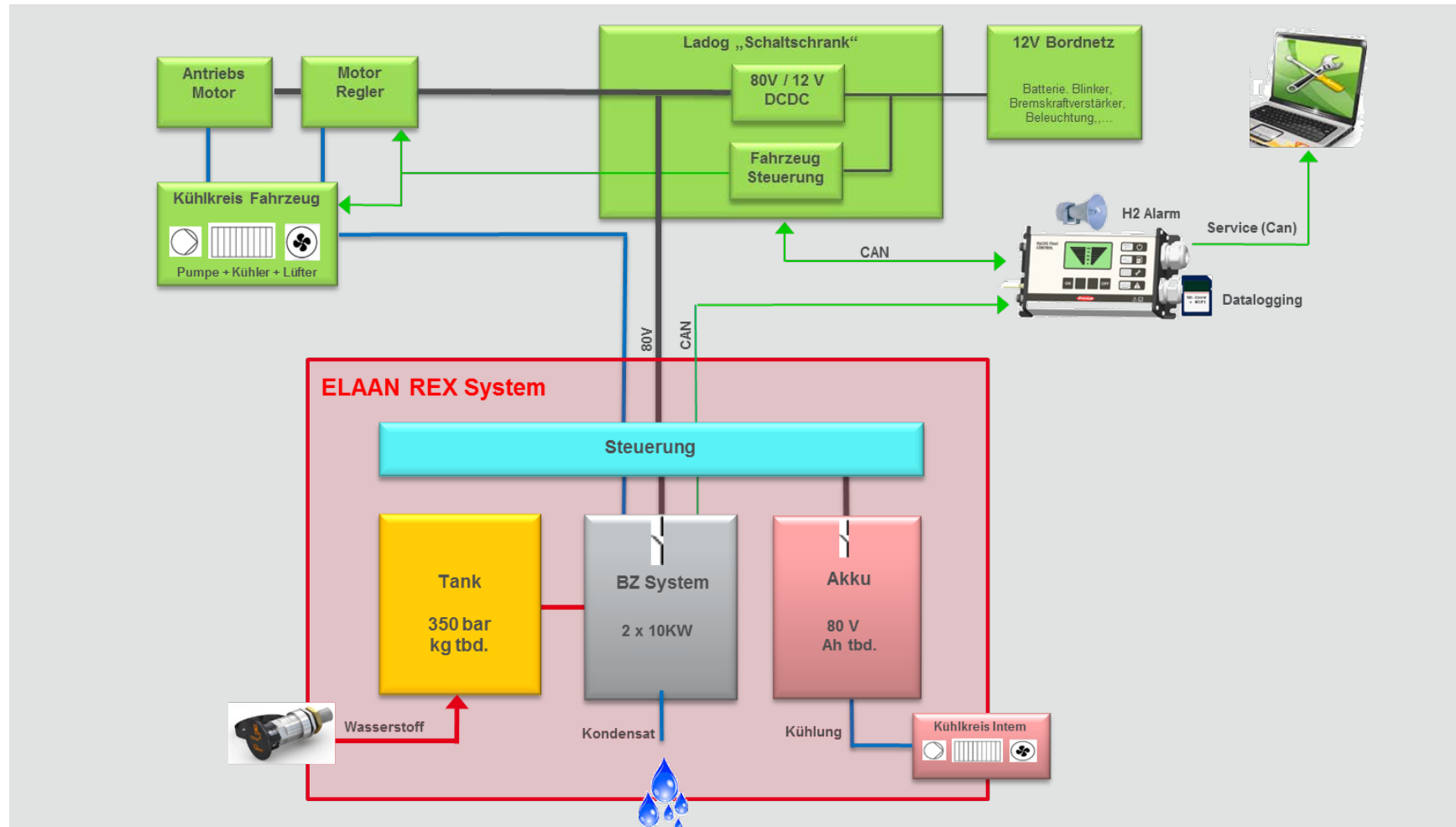
# Systemtopologie

Energie: H2 - Brennstoffzelle, Leistung: Batterie



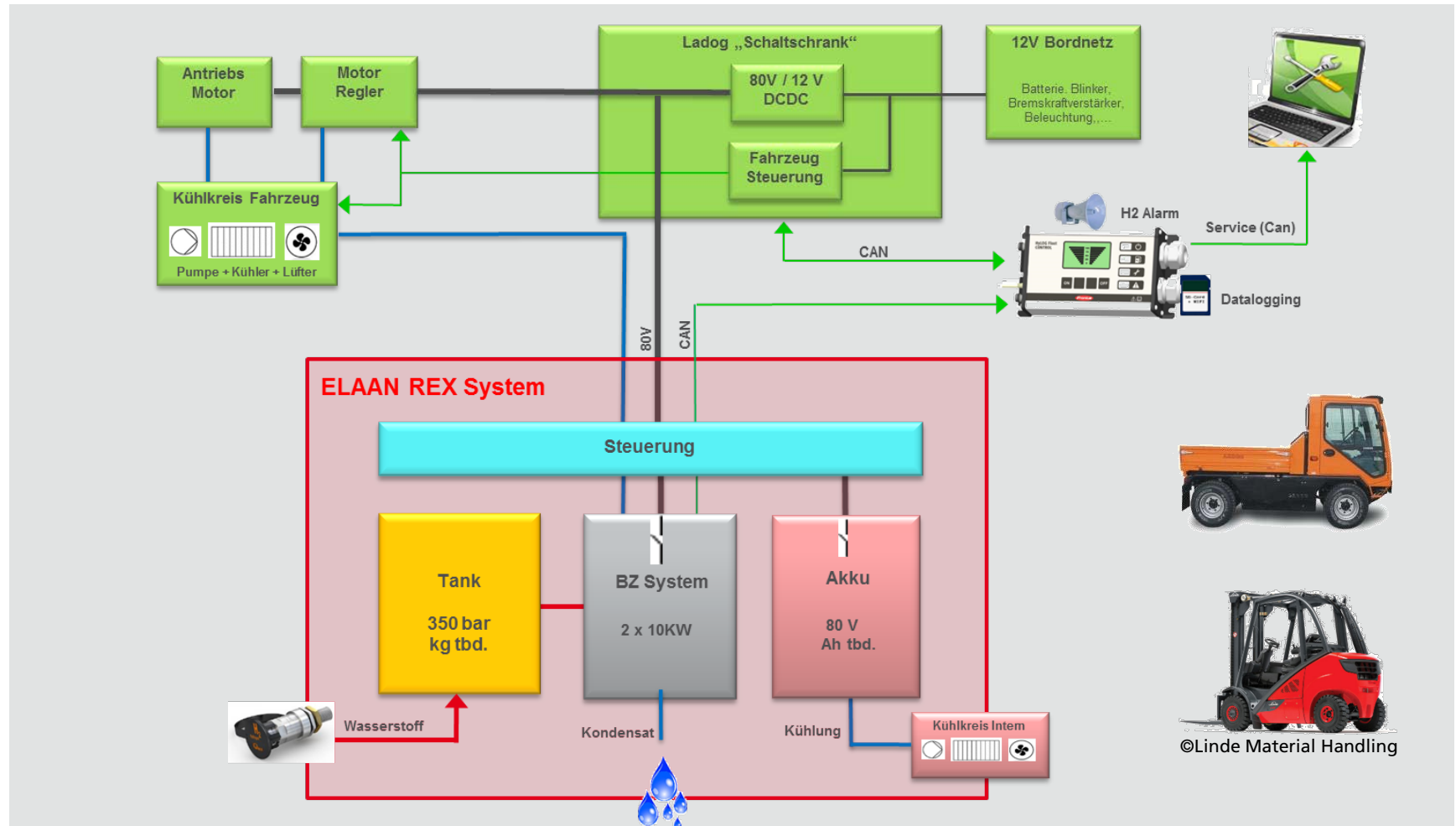
# Systemtopologie

Energie: H2 - Brennstoffzelle, Leistung: Batterie



# Systemtopologie

Energie: H2 - Brennstoffzelle, Leistung: Batterie



---

# AGENDA

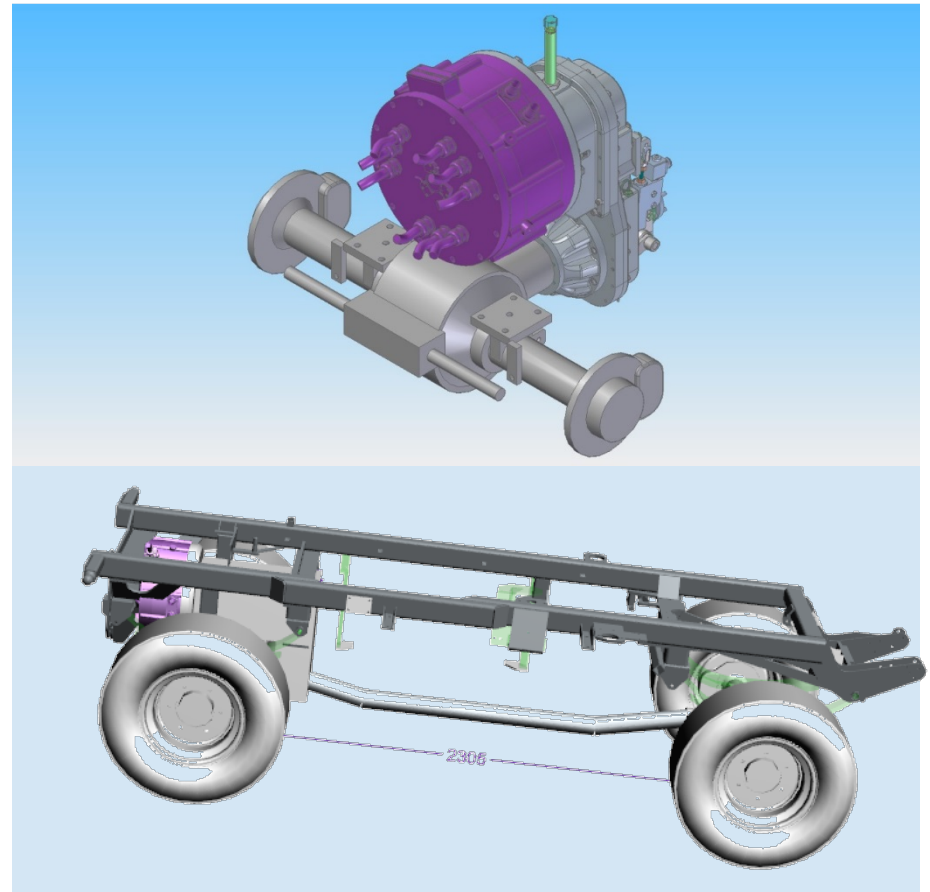
---

- Fahrzeugvorstellung
- Energiebedarfsanalyse
- Systemtopologie
- Komponenten des elektrischen Antriebssystems
- Begleitende Modellierung

# Der Elektromotor

## Drei Motoren in einem

- 60 kW / 80 V / 750 A
- Aufbau mit 3 Wicklungen
- Nutzung kommerziell erhältlicher Regler
- Motor mit 2-stufigem Getriebe an Hinterachse verbaut
- Kardanwelle zur Vorderachse



# Der Akkumulator

## Standardisiertes Zellformat ermöglicht Flexibilität

- Modul in 7S1P, 945 Wh<sub>el</sub>
- Zellformat PHEV 2
- Modulanordnung in ELAAN 3S4P
  - ca. 80 V / 11 kWh
  - > 60 kW<sub>peak</sub>
- Modularisierbarkeit für zusätzliche Anwendungen
- Elektrisch mit Motorcontroller gekoppelt



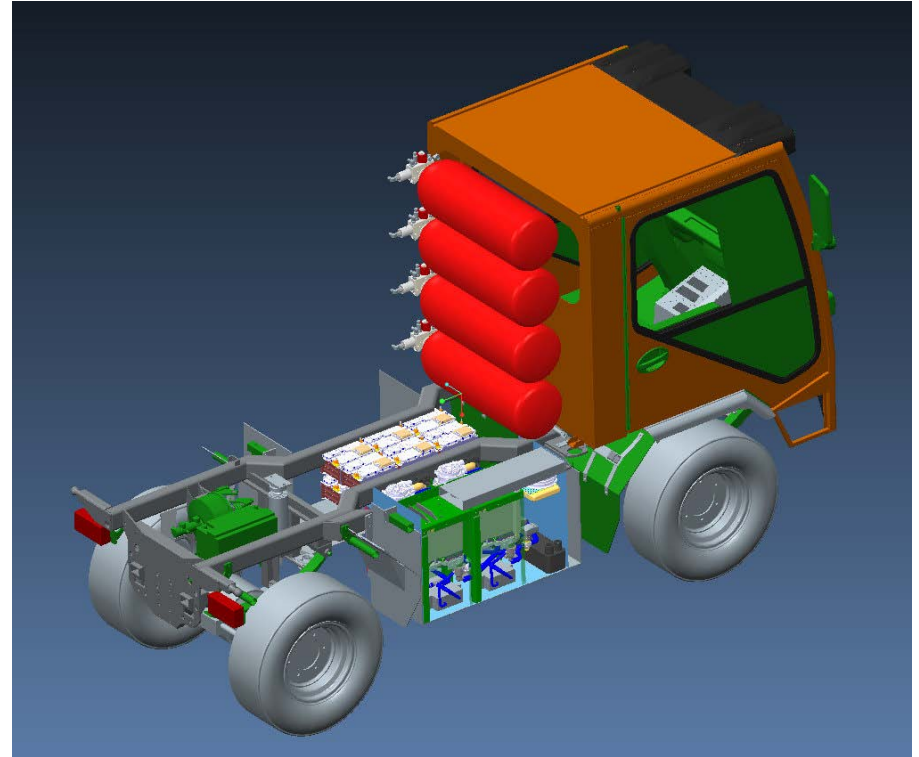
## Kompakte Bauweise ermöglicht einfache Integration

-

# Die Fahrzeugintegration

## Der vorhandene Bauraum wird effektiv genutzt

- Batteriepaket tief + mittig im Fahrzeug
- Brennstoffzellensysteme links zwischen den Achsen
- Kühler wird von Originalfahrzeug übernommen
- Wasserstofftanks hinter Fahrerkabine: 3,8 kg H<sub>2</sub>  
→ ca. 60 kWh<sub>el</sub>



---

# AGENDA

---

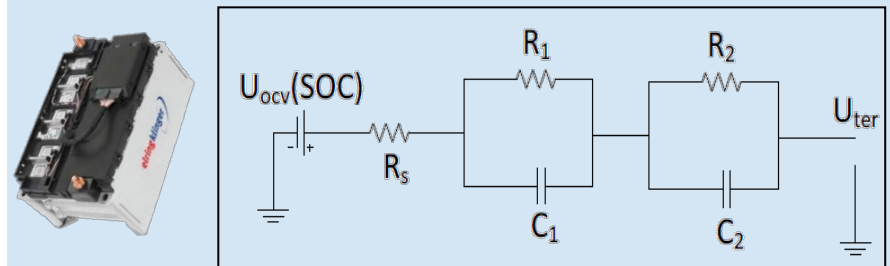
- Fahrzeugvorstellung
- Energiebedarfsanalyse
- Systemtopologie
- Komponenten des elektrischen Antriebssystems
- Begleitende Modellierung

# Begleitende Modellierung

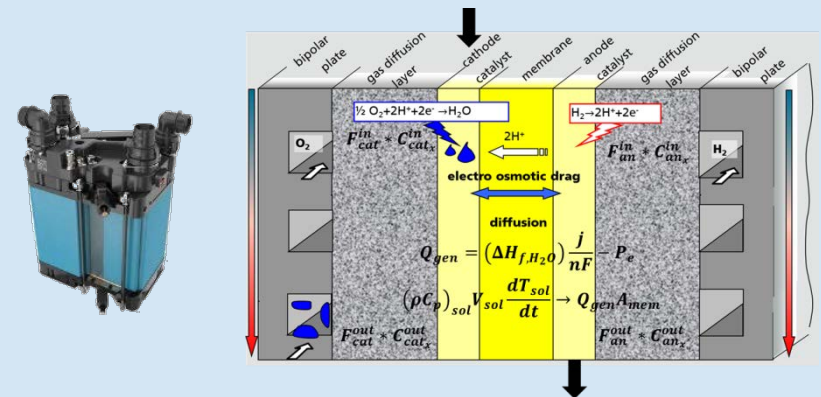
## Brennstoffzelle und Batterie werden betrachtet

- Ziel der Systemsimulation:
  - Ermittlung der Verläufe von
    - Spannungen
    - Ladezustand
    - Temperatur
    - Systemeffizienz
- Optimierung der Systemkonstellation für verschiedene Lastverläufe

Modelliert mittels elektrischem Ersatzschaltbild



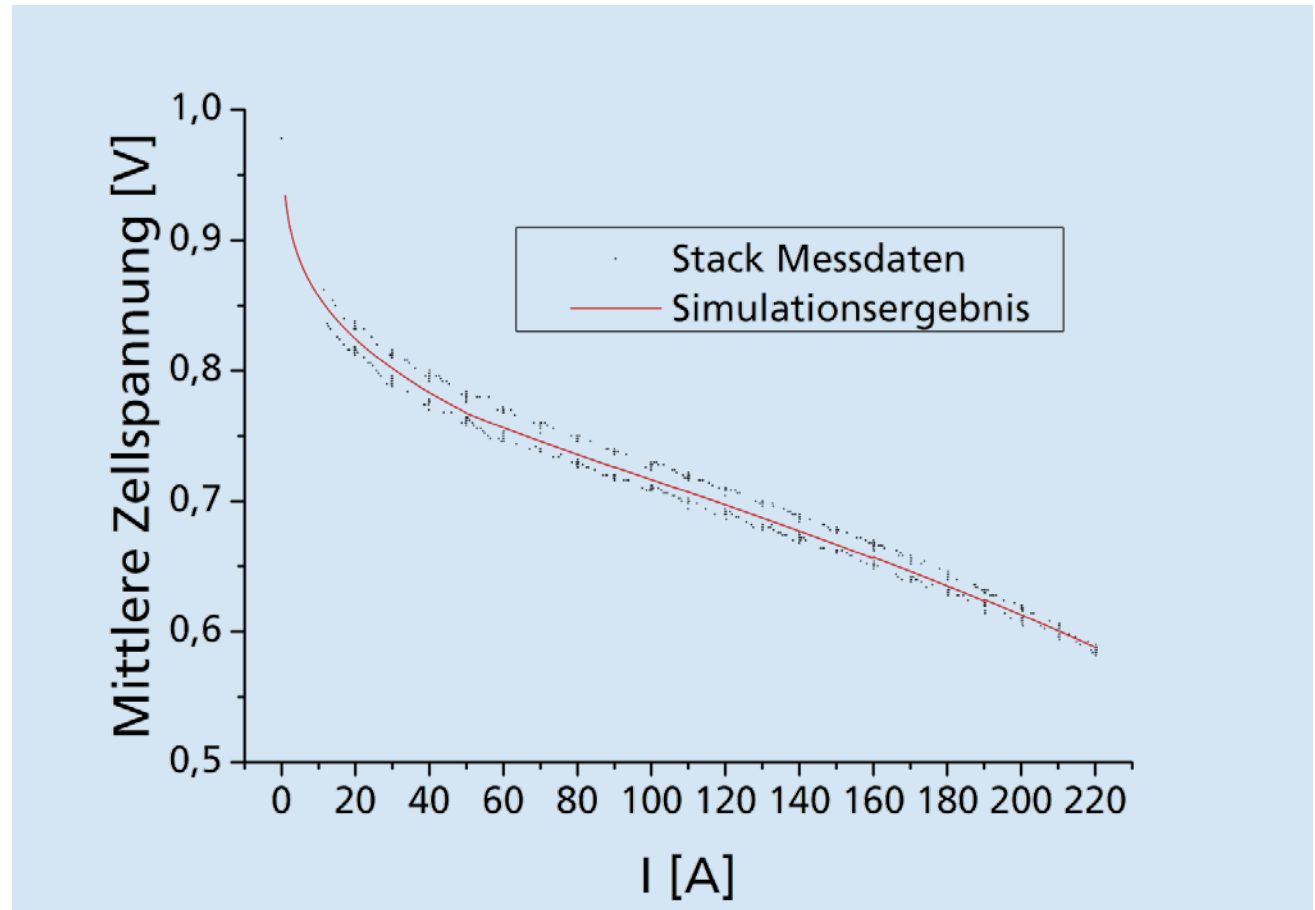
Beschreibung mittels physikalischem Modell



# Beispielhafte Ergebnisse des Brennstoffzellenmodells

## Simulation und Messdaten stimmen gut überein

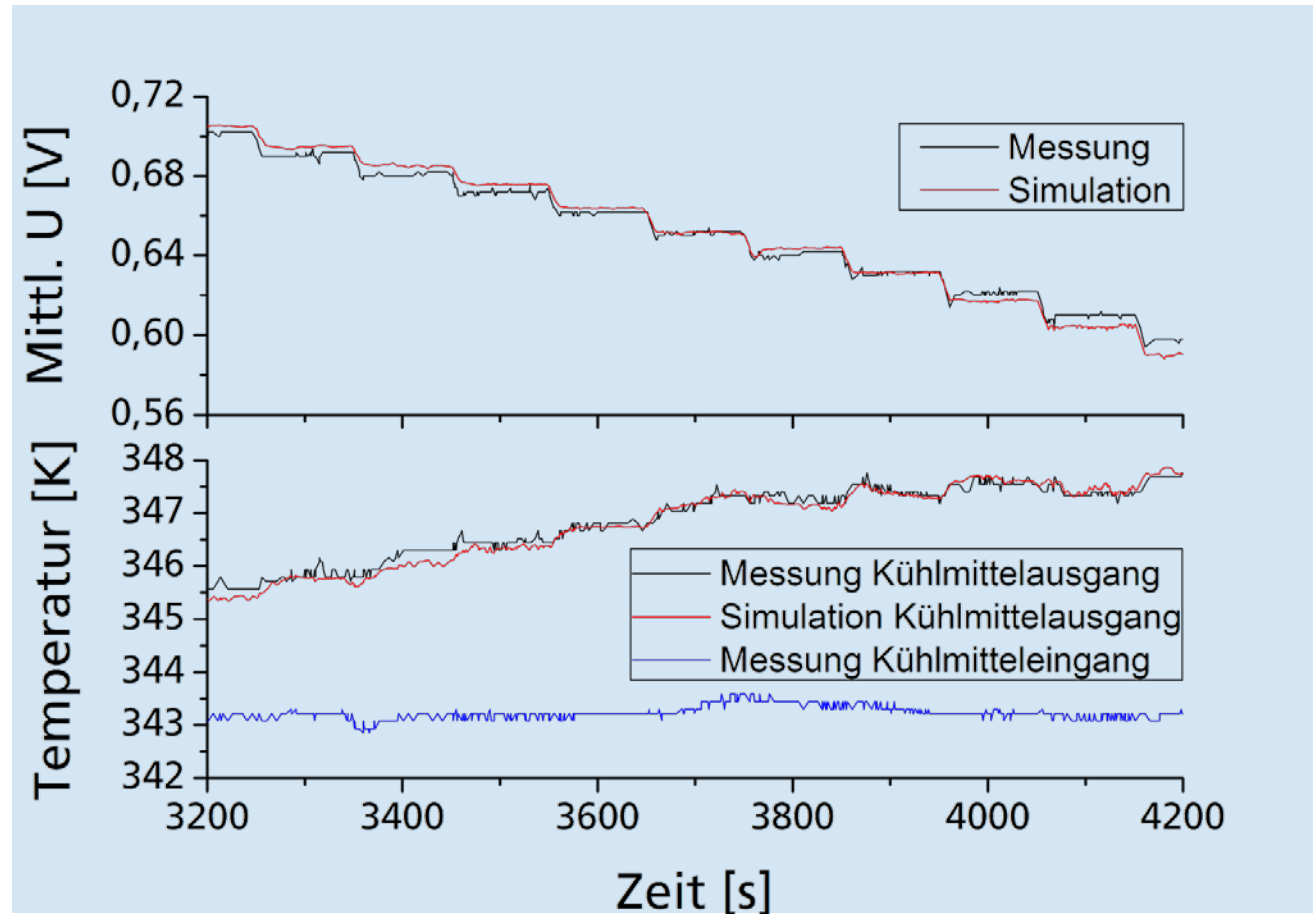
### ■ U/I Kennlinie



# Beispielhafte Ergebnisse des Brennstoffzellenmodells

## Simulation und Messdaten stimmen gut überein

- Ausschnitt zeitlicher Verlauf



# Danksagung

## ELAAN - Eine deutsch-österreichische Kooperation

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das Projekt ELAAN wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Förderkennzeichen: 03ET6026C

[http://forschung-energiespeicher.info/projektschau/gesamtliste/projekt-einzelansicht/95/Hybride Stromversorgung fuer kommunale Fahrzeuge/](http://forschung-energiespeicher.info/projektschau/gesamtliste/projekt-einzelansicht/95/Hybride_Stromversorgung_fuer_kommunale_Fahrzeuge/)



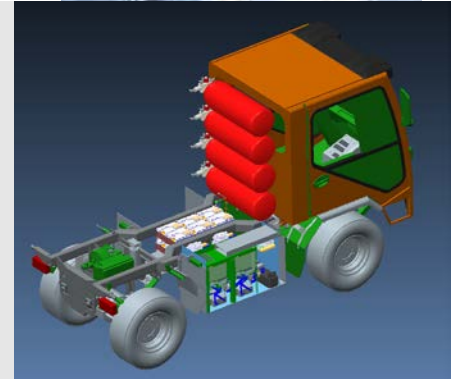
FFG

Österreichische  
Forschungsförderungsgesellschaft

Die Arbeiten des Partners Fronius International GmbH wurden durch die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft unterstützt. FFG Projektnummer: 840427



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Stefan Keller

[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

[stefan.keller@ise.fraunhofer.de](mailto:stefan.keller@ise.fraunhofer.de)