

*ENTWICKLUNGSPARTNER FÜR DIE  
INDIVIDUELLE MOBILITÄT DER ZUKUNFT*

A close-up photograph of a car's front end, focusing on the headlight and side mirror. The car has a red roof and a black body. The headlight is illuminated, showing its internal structure. The side mirror is white and reflects some light. The background is dark.

**E-Mobilität und Brennstoffzellensysteme –  
Perspektiven und Ausblick bei  
der FES**

**Torsten Flammiger / Marcus Schaedler**

*ENTWICKLUNGSPARTNER FÜR DIE  
INDIVIDUELLE MOBILITÄT DER ZUKUNFT*



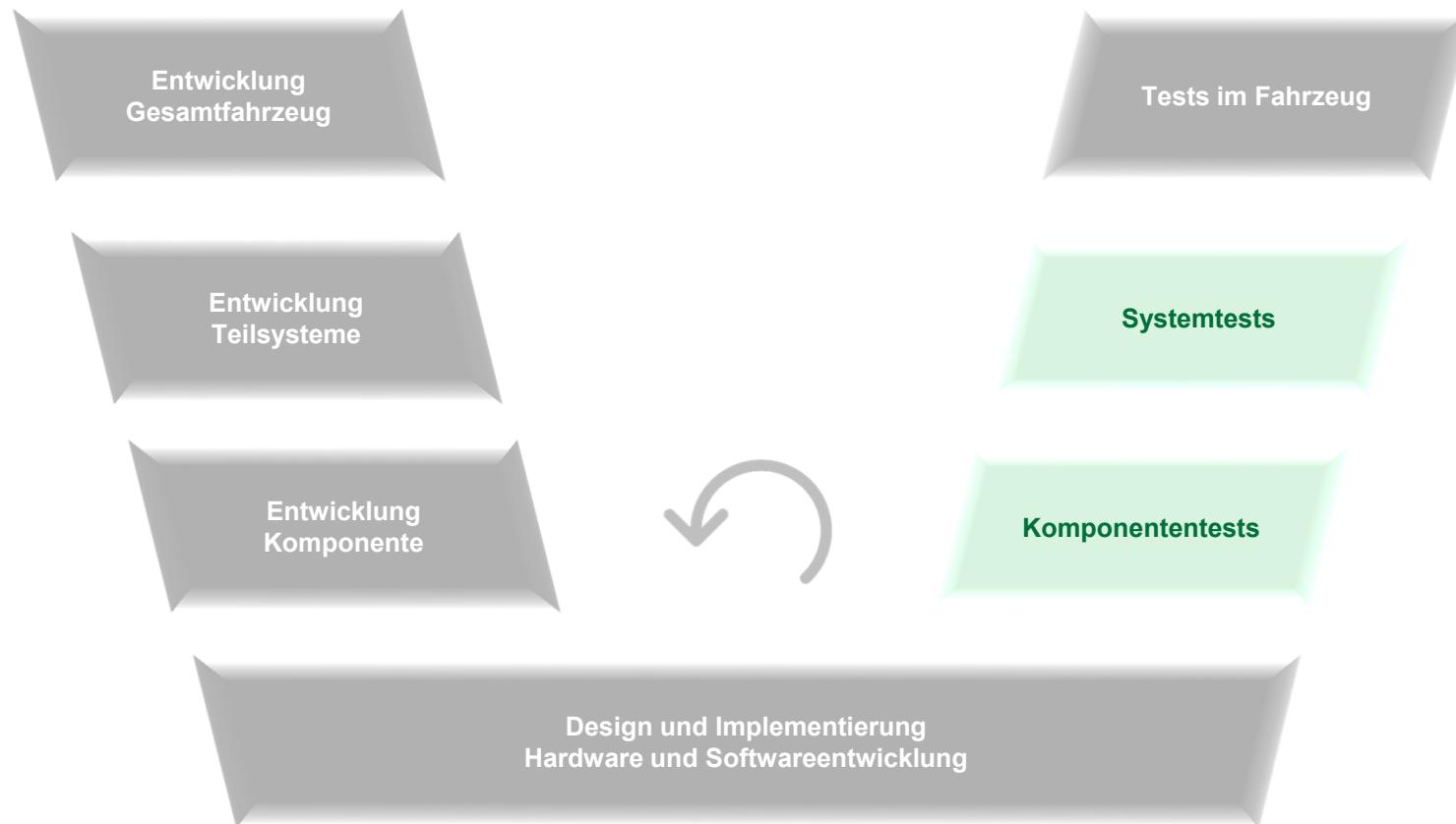
**E-Mobilität und Brennstoffzellensysteme –  
Perspektiven und Ausblick bei  
der FES**

Torsten Flammiger / Marcus Schaedler



Entwicklungsablauf ...

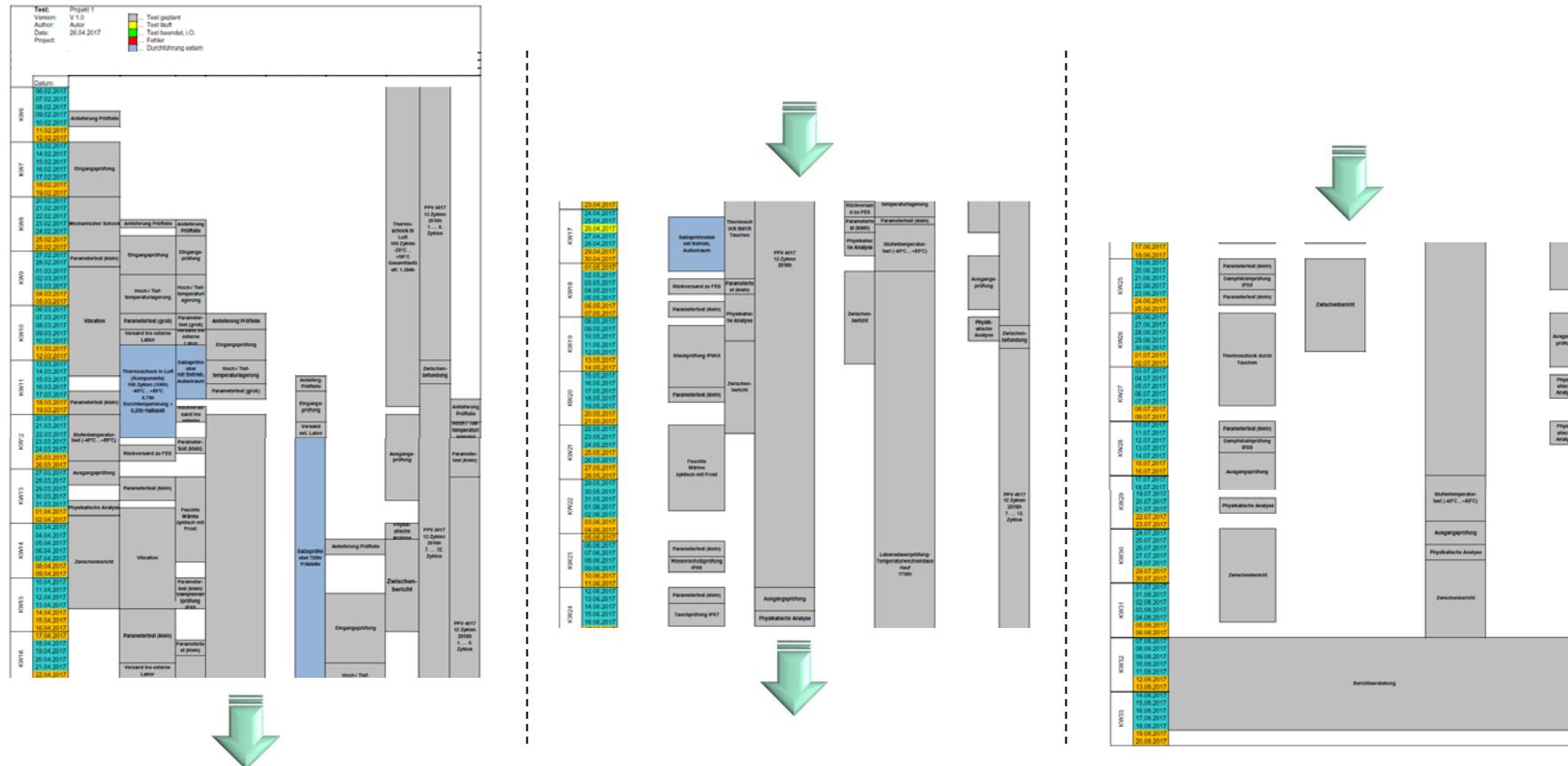
... aus Erprobungssicht





# Elektromobilität im Laboralltag

## Klassischer Umfang einer Validierung

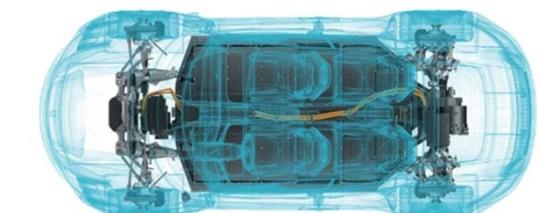




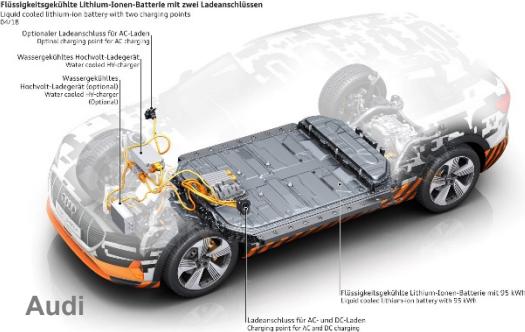
## Elektromobilität im Laboralltag

**FES /AES**

BEV



**Audi**



**FESZINATION**

Crimmitschauer Straße 59  
08058 Zwickau

Phone: +49 (0) 375/56 60 – 855  
Fax: +49 (0) 375/56 60 – 222

Internet: [www.fes-aes.de](http://www.fes-aes.de)

11.07.2018  
Seite 5



## Elektromobilität im Laboralltag

**FES /AES**

Was ändert sich ...

... für ein Prüflabor?

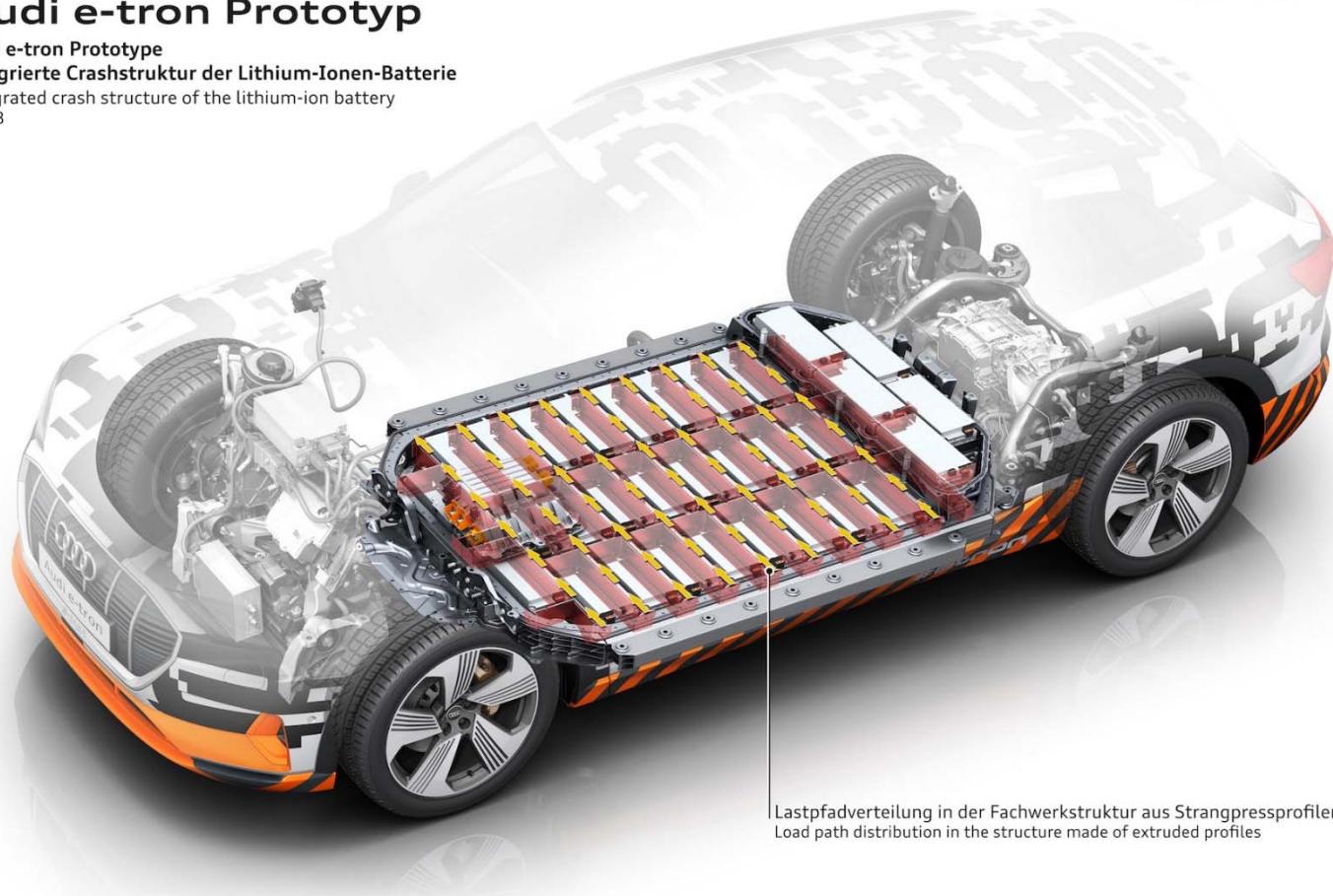




## „Zusatz“-Thema Integration

### Audi e-tron Prototyp

Audi e-tron Prototype  
Integrierte Crashstruktur der Lithium-Ionen-Batterie  
Integrated crash structure of the lithium-ion battery  
04/18





Aktuelle Aufgaben ...

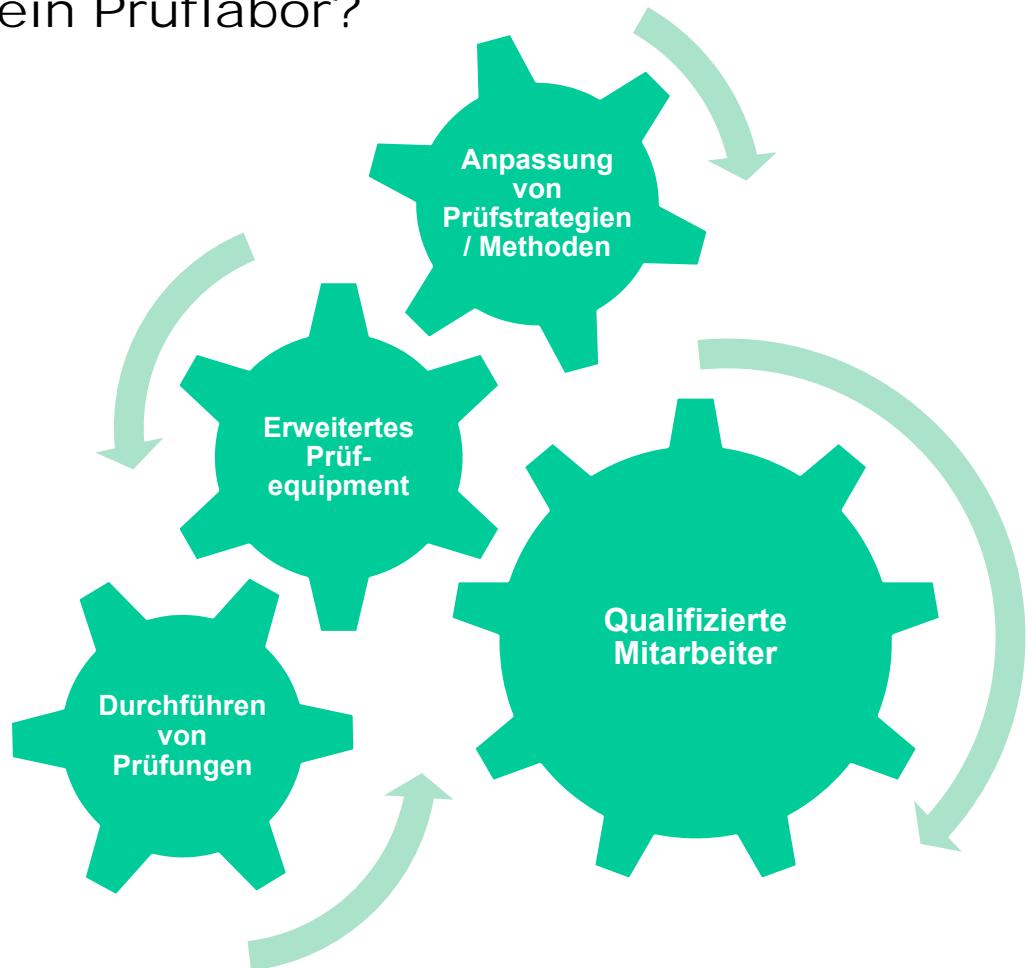
... für ein Prüflabor?

### Ihr Ansprechpartner

FES GmbH  
Versuch Elektromobilität

Torsten Flammiger  
Crimmitschauer Straße 59  
08060 Zwickau

Telefon: +49 375 5660-557  
[Torsten.Flammiger@fes-aes.de](mailto:Torsten.Flammiger@fes-aes.de)





### Quellenverzeichnis

- <http://www.motor-talk.de/bilder/ein-elektrischer-kumpel-fuers-volk-g72390300/an-vorder-und-hinterachse-des-budd-e-sitzt-je-ein-elektromotor-i208290293.html>
- <http://www.porsche.com/microsite/mission-e/germany.aspx#/reveal>
- <https://www.electrive.net/wp-content/uploads/2018/04/audi-e-tron-prototyp-technische-details.jpg>
- [https://www.greencarreports.com/news/1116347\\_audi-details-battery-for-2019-e-tron-electric-suv#image=100649988](https://www.greencarreports.com/news/1116347_audi-details-battery-for-2019-e-tron-electric-suv#image=100649988)
- <https://www.jaguar.com/jaguar-range/i-pace/index.html>
- <https://www.mercedes-benz.de/passengercars/mercedes-benz-cars/models/e-mobility/project-eq/drives/electric.module.html>
- <https://www.mercedes-benz.com/de/mercedes-benz/next/e-mobilitaet/elektrisch-bewegte-einheit/>
- <https://www.nissan.de/fahrzeuge/neuwagen/leaf/intelligent-mobility.html>
- <https://www.ampera-e.de/>
- <https://www.renault.de/modellpalette/renault-modelluebersicht/zoe/Batterie-und-Aufladen.html>

*ENTWICKLUNGSPARTNER FÜR DIE  
INDIVIDUELLE MOBILITÄT DER ZUKUNFT*



**E-Mobilität und Brennstoffzellensysteme –  
Perspektiven und Ausblick bei  
der FES**

Torsten Flammiger / Marcus Schaedler



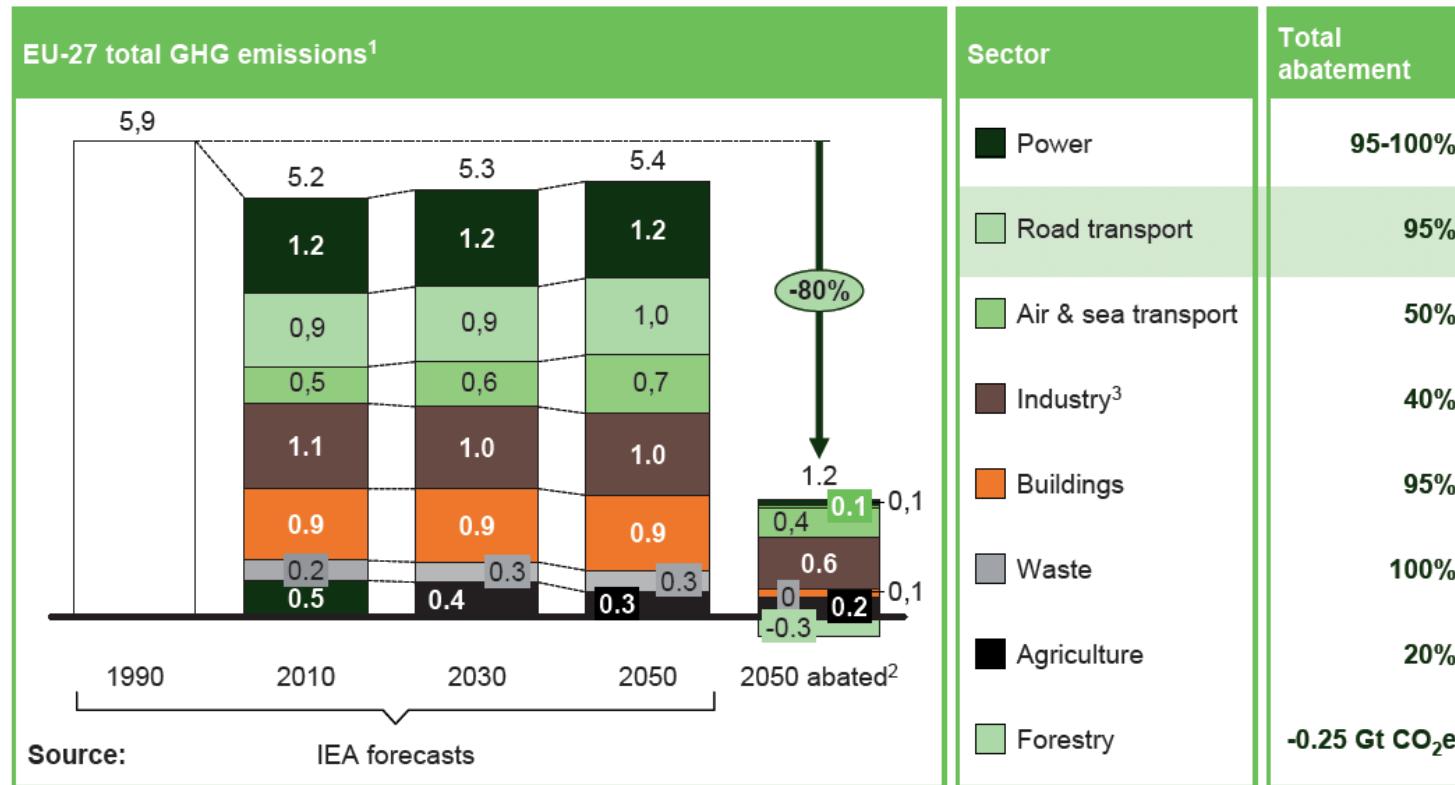
## Gliederung

- **Motivation**
- **Systemschaubild**
- **Düse**
- **Verdichter**
- **Systemsimulation**
- **Prüfstand + Ausblick**



## Motivation

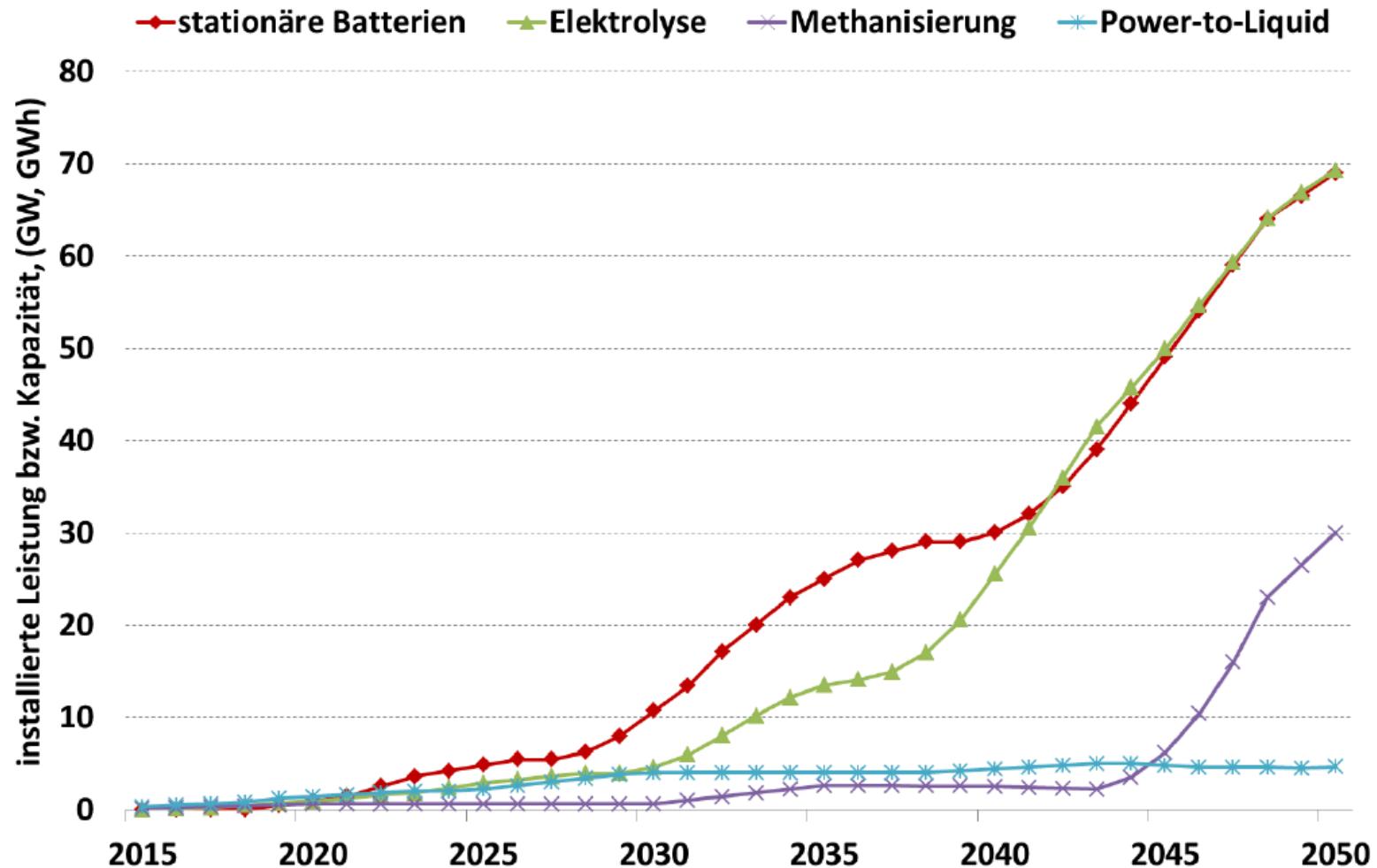
- EU CO<sub>2</sub> Ziele für 2050: 80 % Reduktion (bezogen auf 1990)
- nicht erreichbar durch weitere Effizienzsteigerung des konventionellen Verbrennungsmotors
- FCEVs, BEVs und Plug-In-Hybride nur mit Primärenergie aus regenerativen Energien



**Quelle:** A portfolio of power-trains for Europe a fact-based analysis "The role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles", McKinsey & company, [www.roadmap.eu](http://www.roadmap.eu)



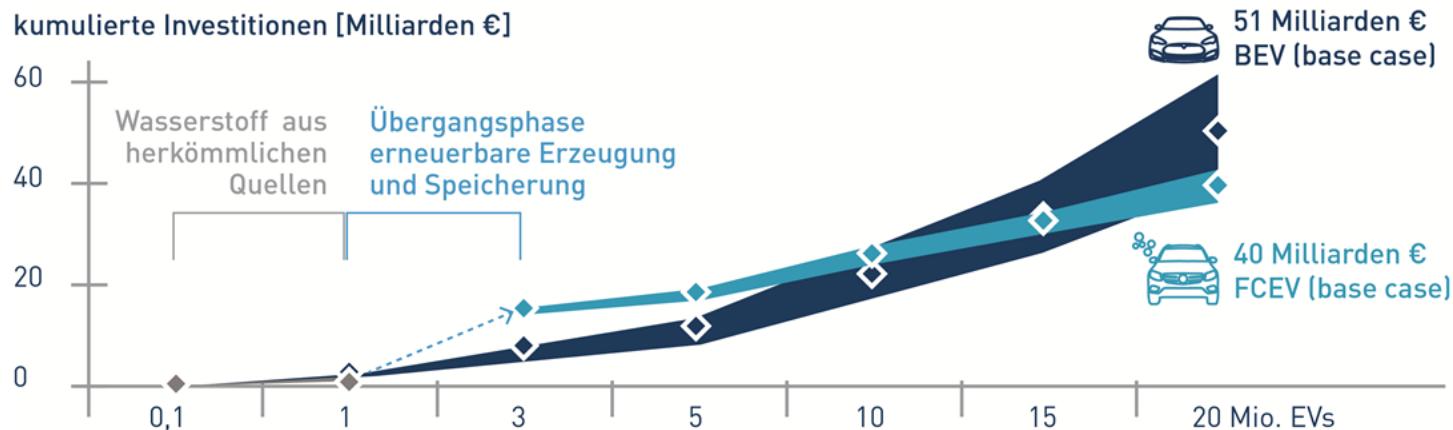
## Motivation



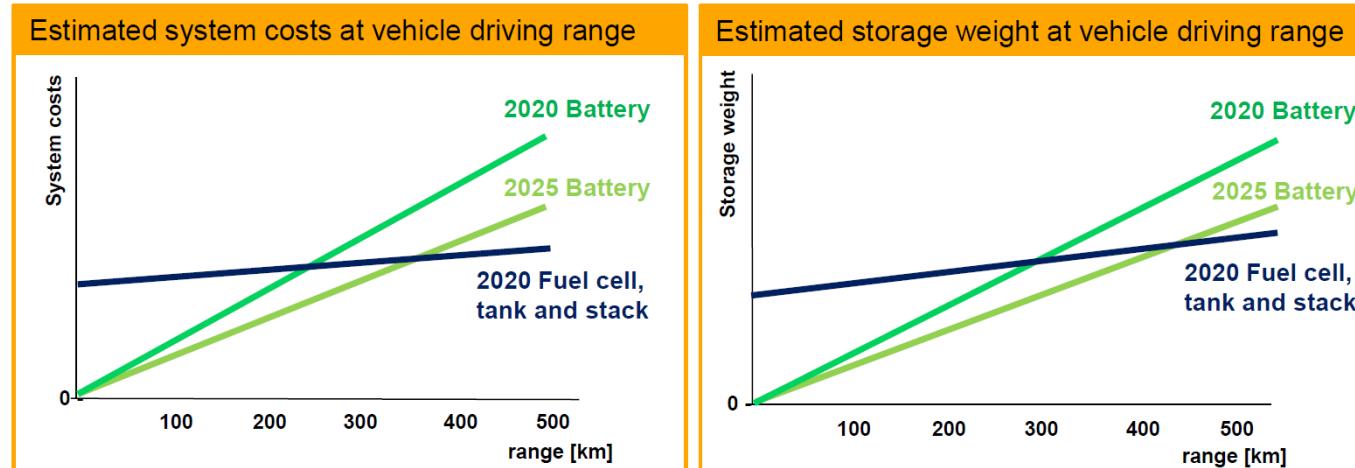
Quelle: Sektorkopplung und Systemintegration - Schlüsselemente auf dem Weg in das zukünftige Energiesystem, Prof. Dr. Hans-Martin Henning, Fraunhofer ISE, Vortrag „Energy Saxony Summit 2017“



## Motivation



Quelle: Comparative Analysis of Infrastructures Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles, Martin Robinius, Forschungszentrum Jülich GmbH, 2017



Considering 18 kWh/100km electrical energy consumption, 100 kW FC-stack power (@ 100 k units/year)

Quelle: Predictive Energy Management on Powertrain, Thomas Knorr, Continental Powertrain Division, Vortrag „Energy Saxony Summit 2017“

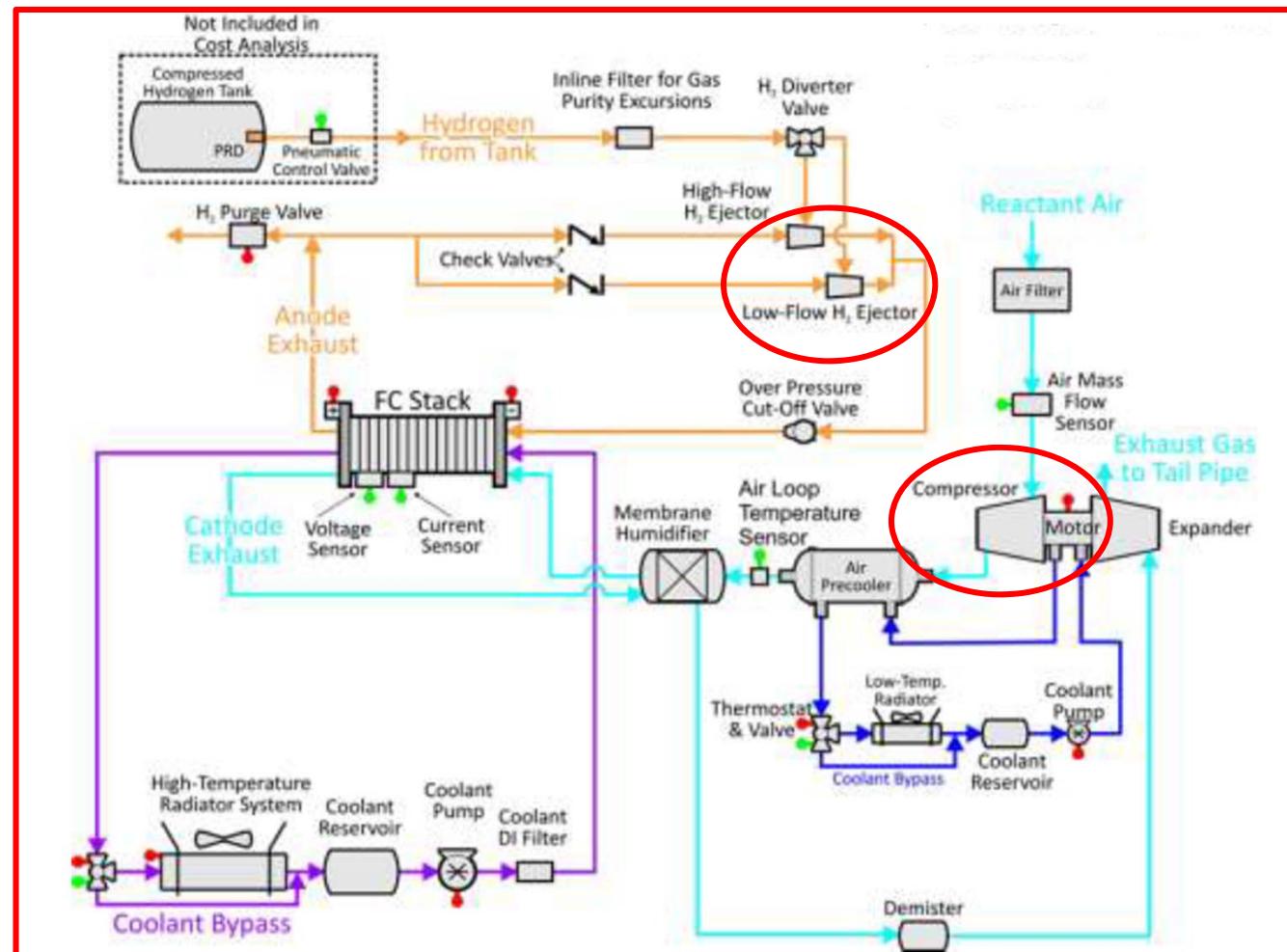


## Gliederung

- **Motivation**
- **Systemschaubild**
- **Düse**
- **Verdichter**
- **Systemsimulation**
- **Prüfstand + Ausblick**



## Systemschaubild BZ-System



Quelle: *Mass Production Cost Estimation Direct H<sub>2</sub> PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2016 Update*, Brian D. James, Jennie M. Huya-Koudio, Cassidy Houchins, Daniel A. DeSantis



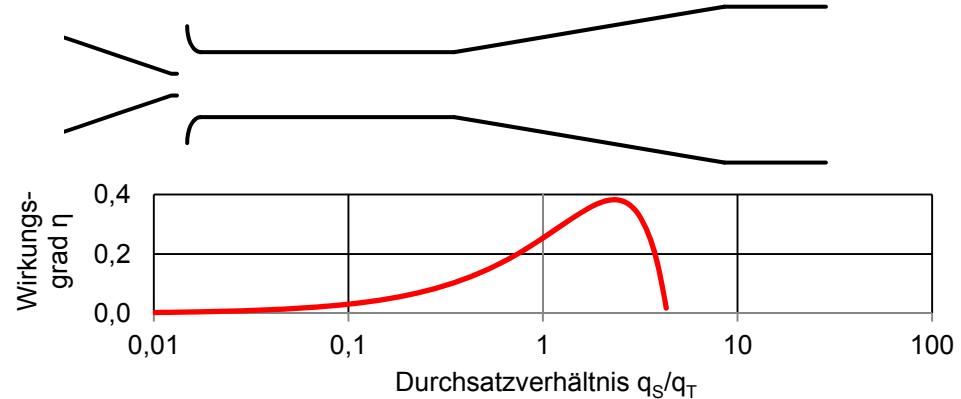
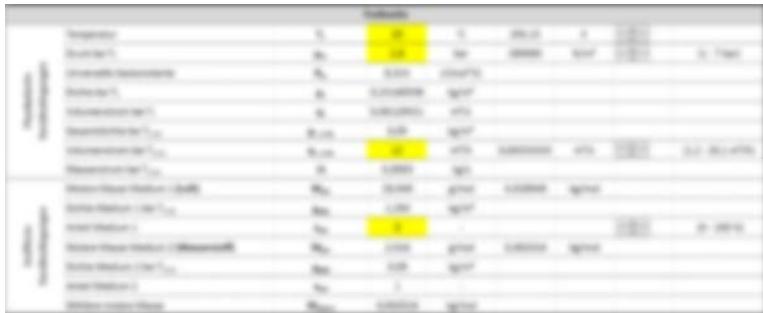
## Gliederung

- **Motivation**
- **Systemschaubild**
- **Düse**
- **Verdichter**
- **Systemsimulation**
- **Prüfstand + Ausblick**

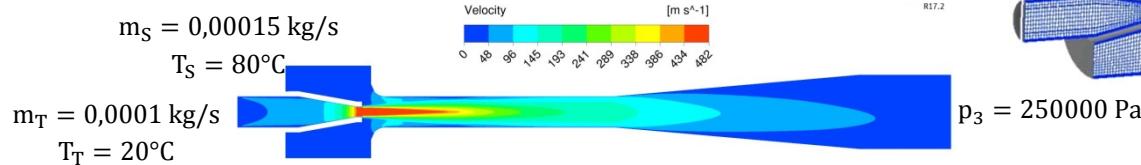


Düse

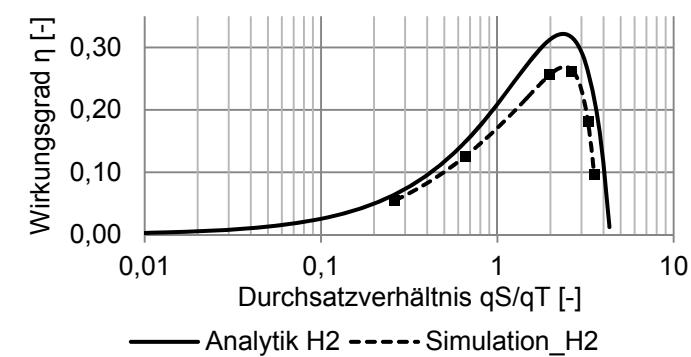
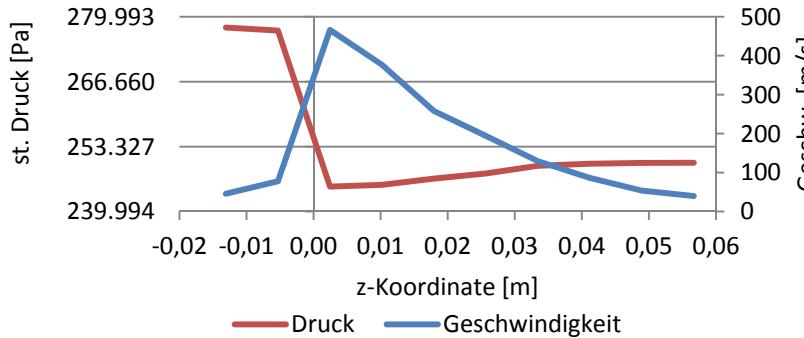
- Empirisch-analytisches Modell als Grundlage zur Geometrieerstellung



- parametrisches CAD-Modell/strukturierte Vernetzung/Simulation

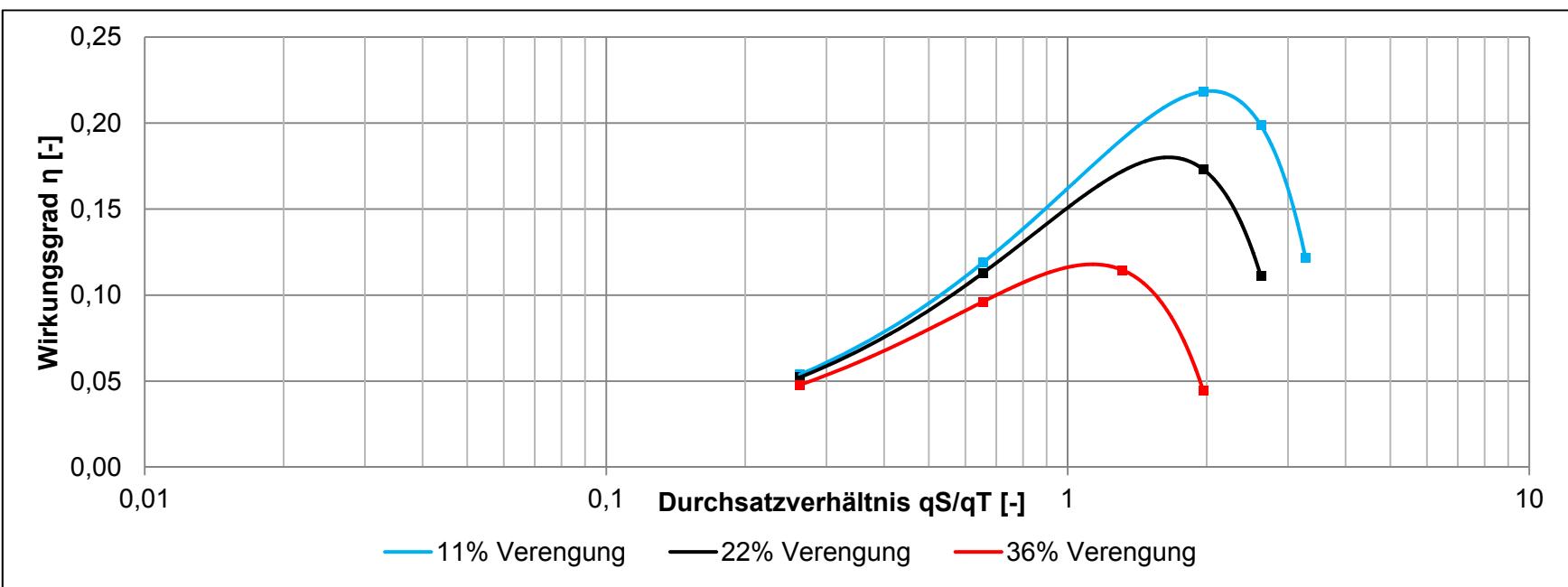
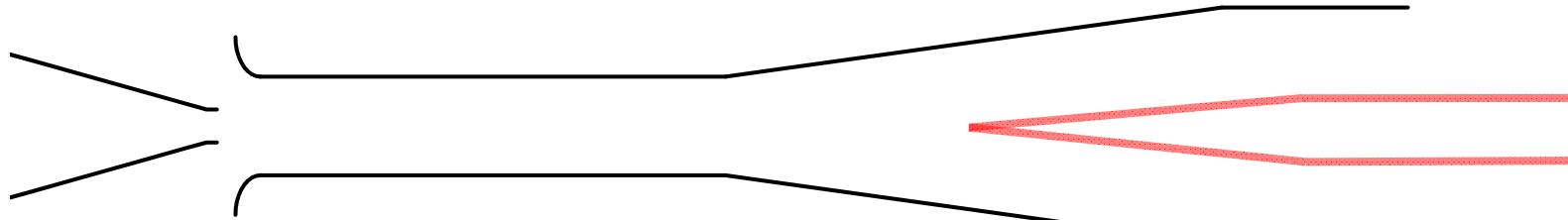


- Verifizierung/  
Analyse





Düse





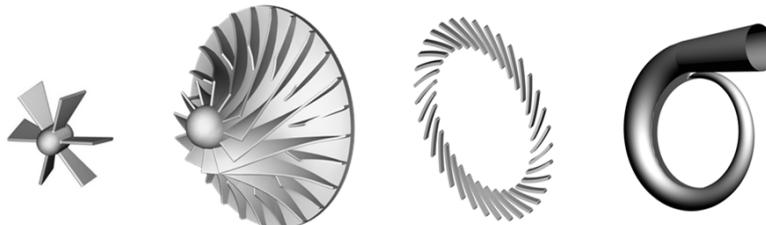
## Gliederung

- **Motivation**
- **Systemschaubild**
- **Düse**
- **Verdichter**
- **Systemsimulation**
- **Prüfstand + Ausblick**

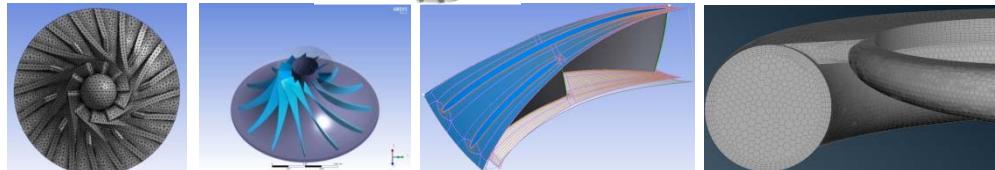


## Verdichter

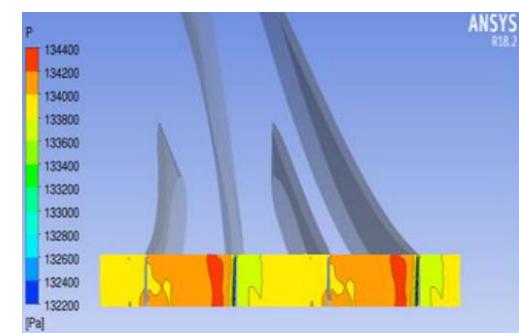
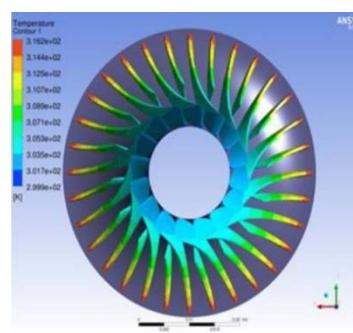
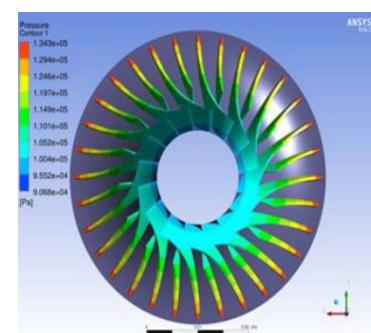
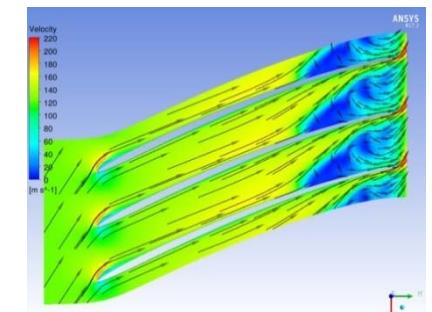
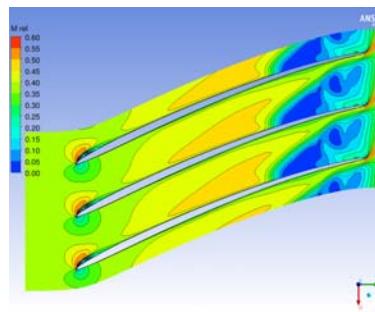
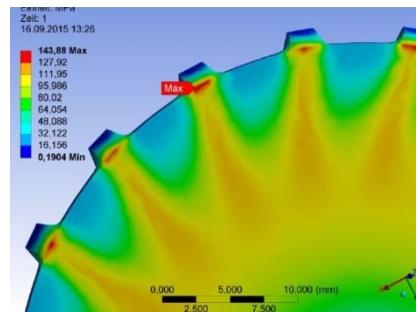
- Empirisch-analytisches Modell als Grundlage für parametrische Geometrie



- Vernetzung Laufrad (strukturiert), Gehäuse



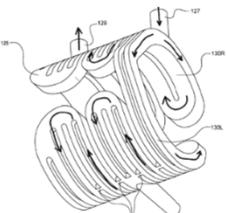
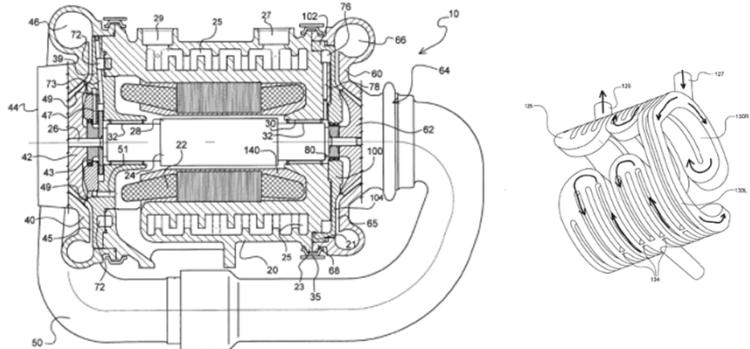
- Simulation (FEM/CFD)





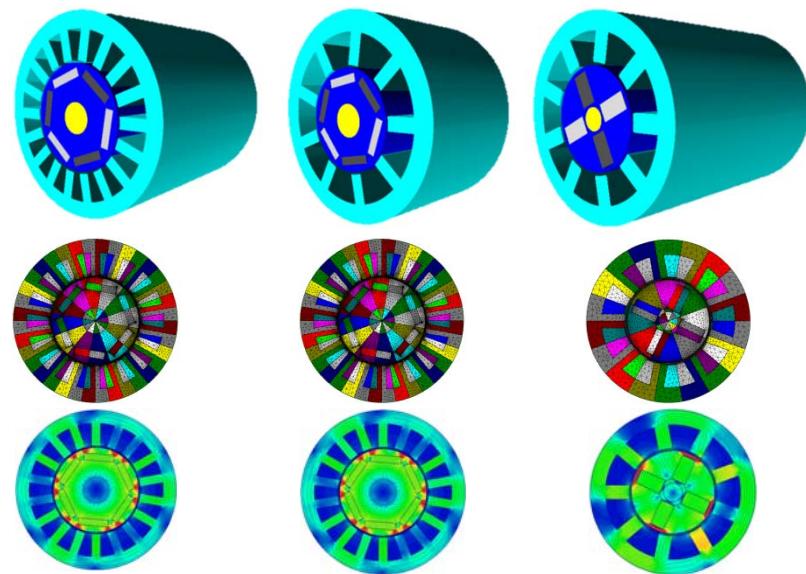
## Verdichterantrieb

- Patent-, Veröffentlichungs- und Marktrecherche



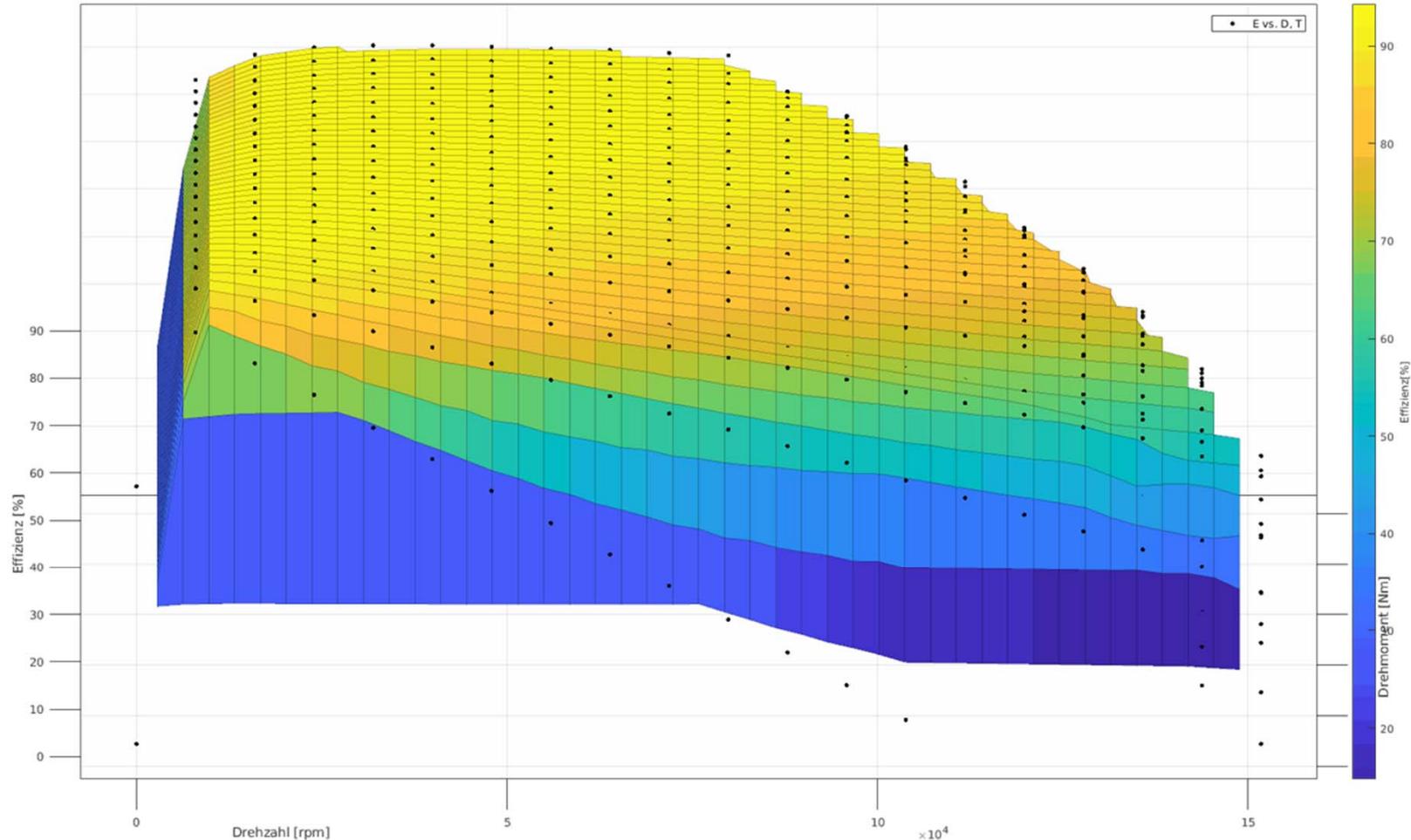
**Quelle:** EP 2 940 835 A1 – Electric motor-driven compressor having bi-directional liquid coolant passage

- Empirisch-analytisches Modell als Grundlage zur Geometrieerstellung abhängig von Randbedingungen im Auslegungspunkt
- Vernetzung
- Simulation





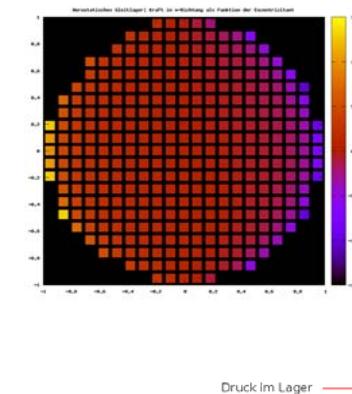
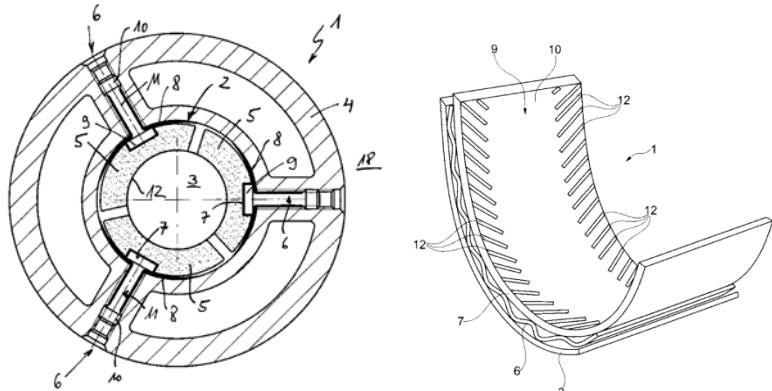
## Verdichterantrieb





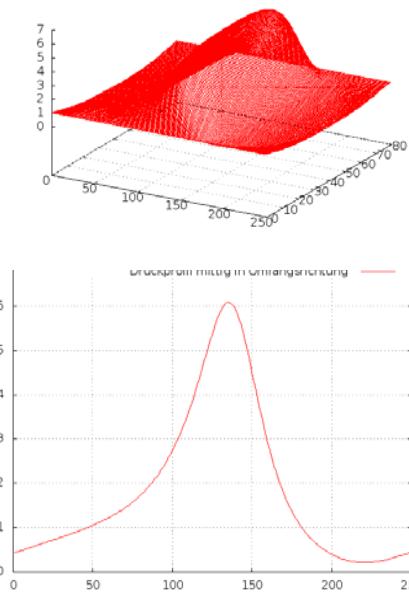
# Verdichterlagerung

- Patent-, Veröffentlichungs- und Marktrecherche



**Quelle:** DE102016212866 A1    **Quelle:** DE102014201563 A1    **Quelle:** Fischer Precise

- Numerische Methode zur Berechnung des Druckprofils und der Lagerkräfte





## Gliederung

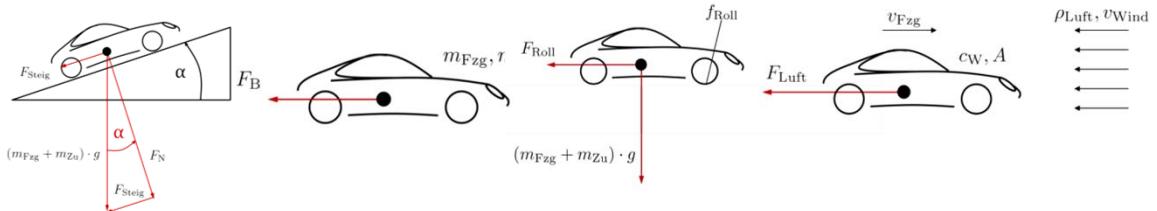
- **Motivation**
- **Systemschaubild**
- **Düse**
- **Verdichter**
- **Systemsimulation**
- **Prüfstand + Ausblick**



## Systemsimulation Brennstoffzellenhybrid

**FES /AES**

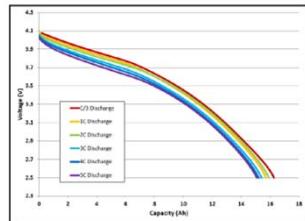
- Auslegung und Dimensionierung von elektrischen Antriebssträngen



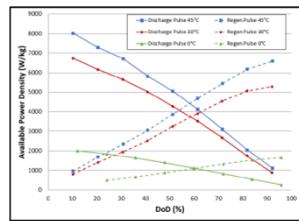
- Kennfelderstellung/Digitalisierung/Charakterisierung

### Enerdel CP160-365 Moxie+ Prismatic Cell

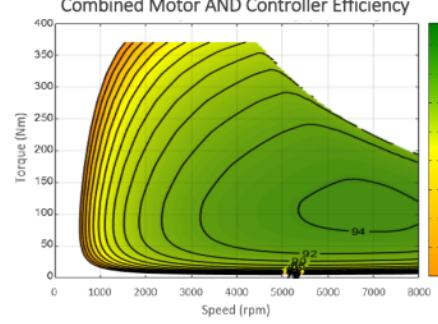
DISCHARGE CAPABILITY



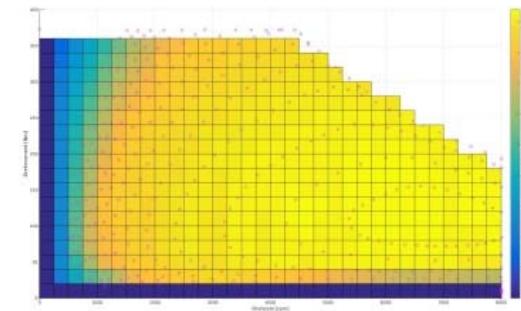
PULSE POWER CHARACTERISTICS



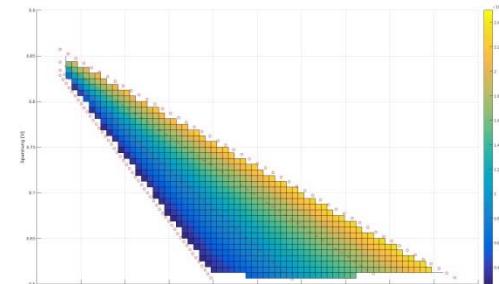
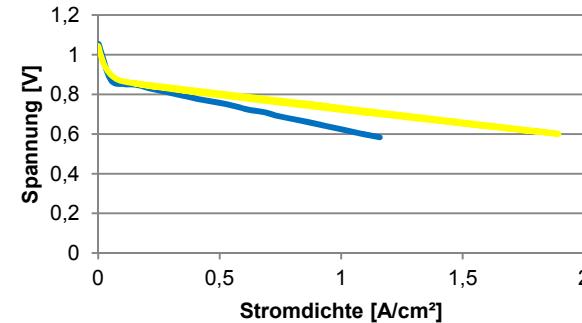
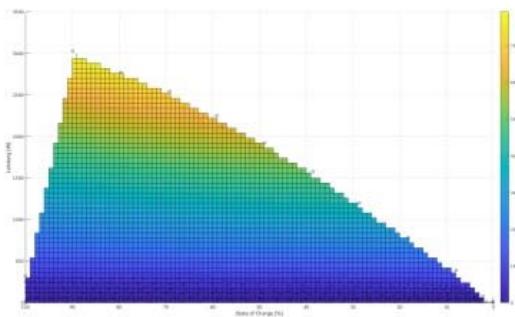
Combined Motor AND Controller Efficiency



AFM Yasa Motors P400 Series



ElringKlinger Stack NM5

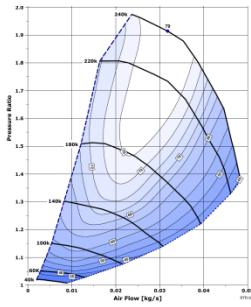




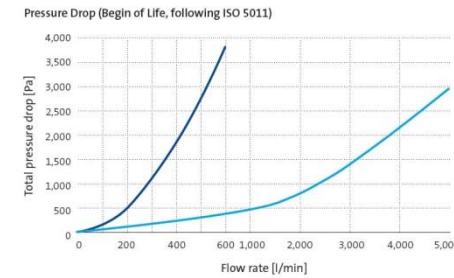
## Systemsimulation Brennstoffzellenhybrid

- Peripheriekomponenten/Kreisläufe

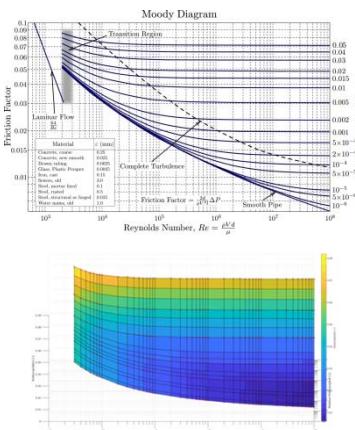
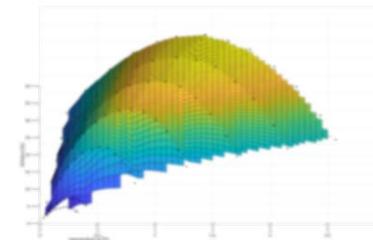
**Rotrex C8-6**



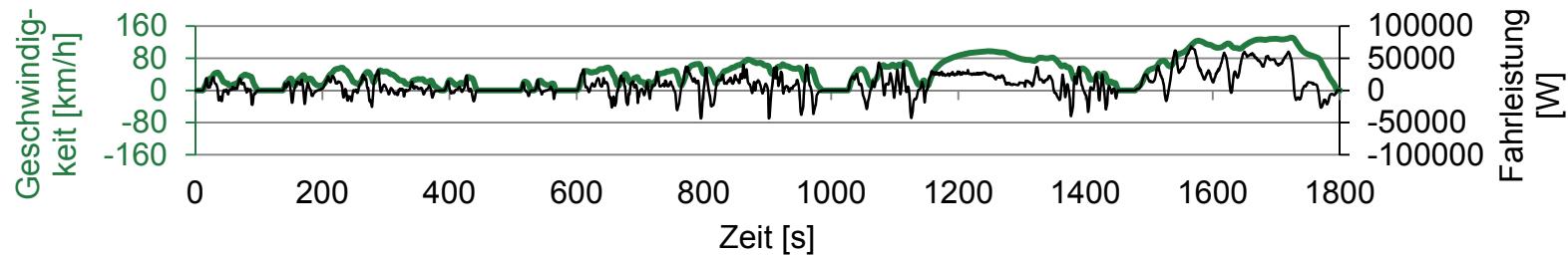
**Freudenberg FC F513-N**



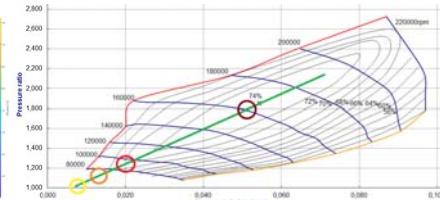
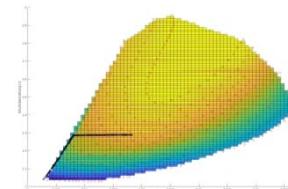
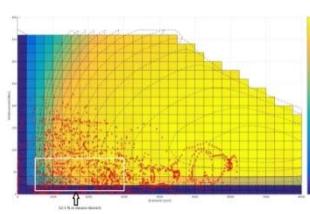
**KWP**



- Berechnung



- Hybrid- und Betriebsstrategie



Quelle: Fuyuan Turbochargers



## Gliederung

- **Motivation**
- **Systemschaubild**
- **Düse**
- **Verdichter**
- **Systemsimulation**
- **Prüfstand + Ausblick**



## Prüfstand + Ausblick

Eigenentwicklung Prüfstand  
seit Anfang 2017

Kompetenzaufbau  
seit 4 Jahren

### Ziele:

- Weiterentwicklung unserer Software
- Charakterisierung von Komponenten für alle Kreisläufe
- Validierung von Komponenten- und Systemsimulationen
- Optimierung Systemaufbau (Druckverlust, Dynamik, Betriebsstrategie)

### Rezirkulation H2:

- Modulares Düsengehäuse im Prüfstand charakterisieren
- Integration H2-Rezirkulationsgebläse in Prüfstand

### Radialverdichter:

- Förderprojekt Modularisierung und Skalierbarkeit Kompressor

### Systemsimulation Brennstoffzelle:

- Ausbau der Simulation auf die Peripheriekomponenten und Kreisläufe
- anschließende Integration der Thermodynamik

### PSM/Kompressormodul:

- Konstruktion, Auslegung und thermische Berechnung des Kühlmantels
- prototypische Integration aller Komponenten in ein Gehäuse

### Luftlager:

- Sensitivitätsanalyse von geometrischen, physikalischen und Vernetzungsrandbedingungen





# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

FES GmbH  
Versuch Elektromobilität

**Torsten Flammiger**

Crimmitschauer Straße 59  
08060 Zwickau

Telefon: +49 375 5660-557  
[Torsten.Flammiger@fes-aes.de](mailto:Torsten.Flammiger@fes-aes.de)

FES GmbH  
Entwicklung Brennstoffzellensysteme

**Marcus Schaedler**

Crimmitschauer Straße 59  
08060 Zwickau

Telefon: +49 375 5660-855  
[Marcus.Schaedler@fes-aes.de](mailto:Marcus.Schaedler@fes-aes.de)