

# Wasserstoff-Forschung an der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg



**Prof. Dr. Detlef Schulz**  
**Professur für Elektrische Energiesysteme**  
**Helmut-Schmidt-Universität Hamburg**



**Electrical Power Systems**  
**Distributed Energy Laboratory**

**Energiesysteme im Wandel:**  
**Gas, Strom, Wärme, Verkehr**  
Cluster Erneuerbare Energien Hamburg  
Haus der Patriotischen Gesellschaft, 27.04.23

# Überblick – Wasserstoff-Forschung an der HSU

- Energieforschungsverbund Hamburg, EFH
- Forschung an der Professur für Elektrische Energiesysteme
- HyReflexS: Notstromversorgung für Busbetriebshöfe in Hamburg
- dtec.bw: Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr
- dtec.bw: CoupleIT! – IT-gestützte Sektorenkopplung
- Brennstoffzellensystem-Entwicklung für die technische Aviatik (BETA)
- Grundlagenforschung an Brennstoffzelle/Elektrolyse/Methanisierung
- Akademie-AG Wasserstoff für das norddeutsche Energiesystem



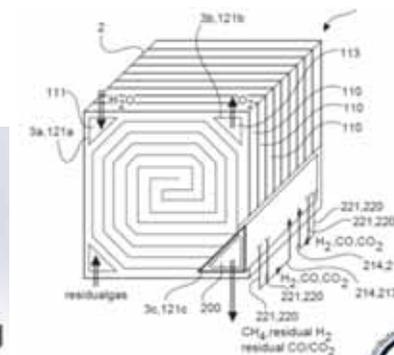
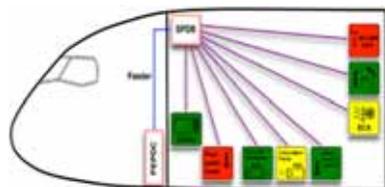
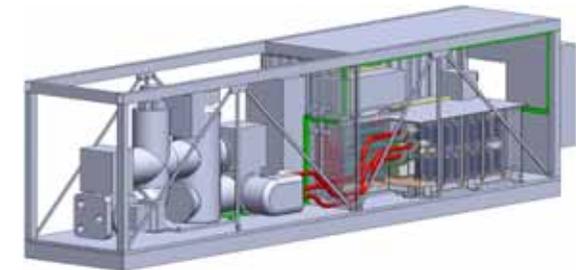
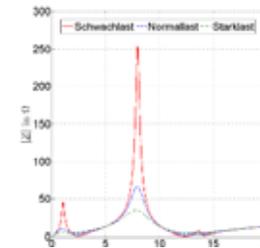
# ENERGIEFORSCHUNGSVERBUND HAMBURG

- **Initiierung/Unterstützung** von fächer- und hochschulübergreifenden Drittmittel-finanzierten Verbundprojekten.
- **Einzigartige Plattform**, Schnitt-, Kommunikations- und Anlaufstelle für Forschungseinrichtungen und Industriepartner zum Aufbau von Forschungs Kooperationen.
- **Überregionale Sichtbarkeit** und Stärkung der Forschungskompetenz der FHH im Energiebereich; Erschließung von **Synergieeffekten**.
- Forschungsseitige Unterstützung der FHH bei der **Umsetzung der Energiewende**.
- Bilanz seit 2014: Beteiligt an Drittmittelprojekten mit einer Gesamtfördersumme von **über 200 Mio. €** für Partner in HH.

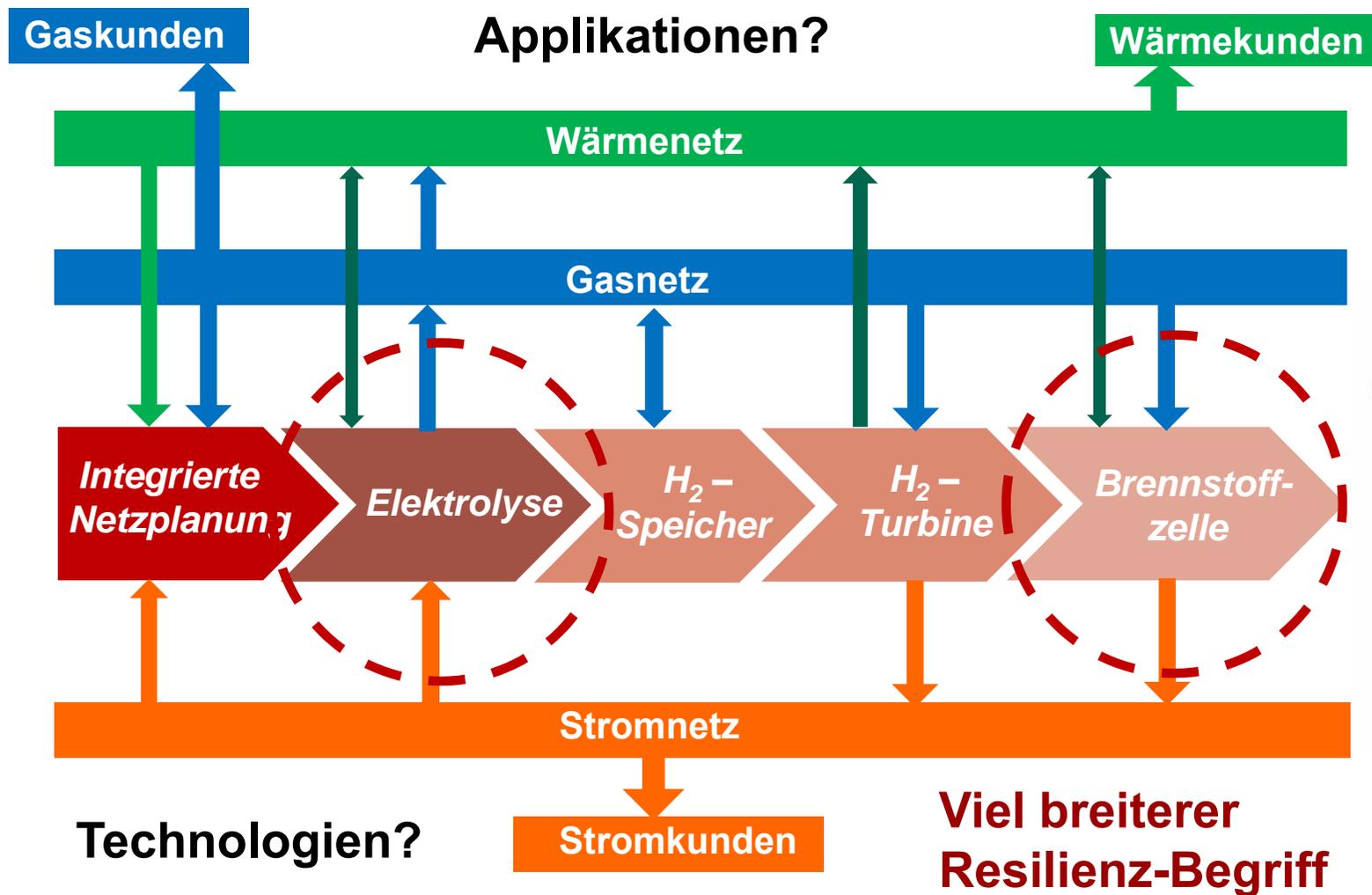


# Professur für Elektrische Energiesysteme – Forschung in drei Themengruppen

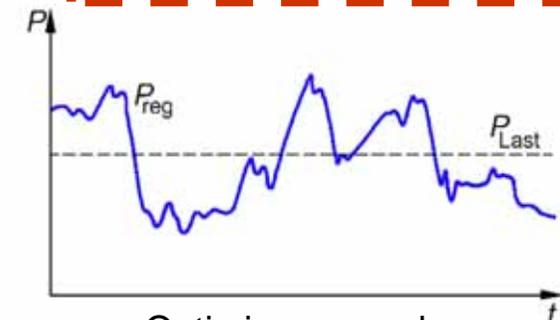
- **Elektrische und Multi-Energienetze**
  - Netzmodellbildung, Simulation, PHIL
  - Netzimpedanzmessung 20 kV und 110kV
- **Multi-Energiesysteme**
  - Integrierte Netze: Strom-, Gas- und Wärmenetz
  - Smart Energy Systems
- **Innovative Flugzeugbordnetze**
  - Netztopologien, AC und DC-Netze
  - Brennstoffzellen-Integration, Energiemanagement
- **Elektromobilität und Ladeinfrastruktur**
  - Netzausbaubedarf
  - Betriebsszenarien, Ladekonzepte
- **Wasserstoffanlagen im Netzbetrieb**
  - Brennstoff-/Elektrolysezellen im Netzbetrieb
  - Methanisierung in Elektrolysezellen



# Multi-Energie-System (Smart Energy System) Strom-Gas-Wärme: Optimierte Betriebsszenarien im Smart Energy System

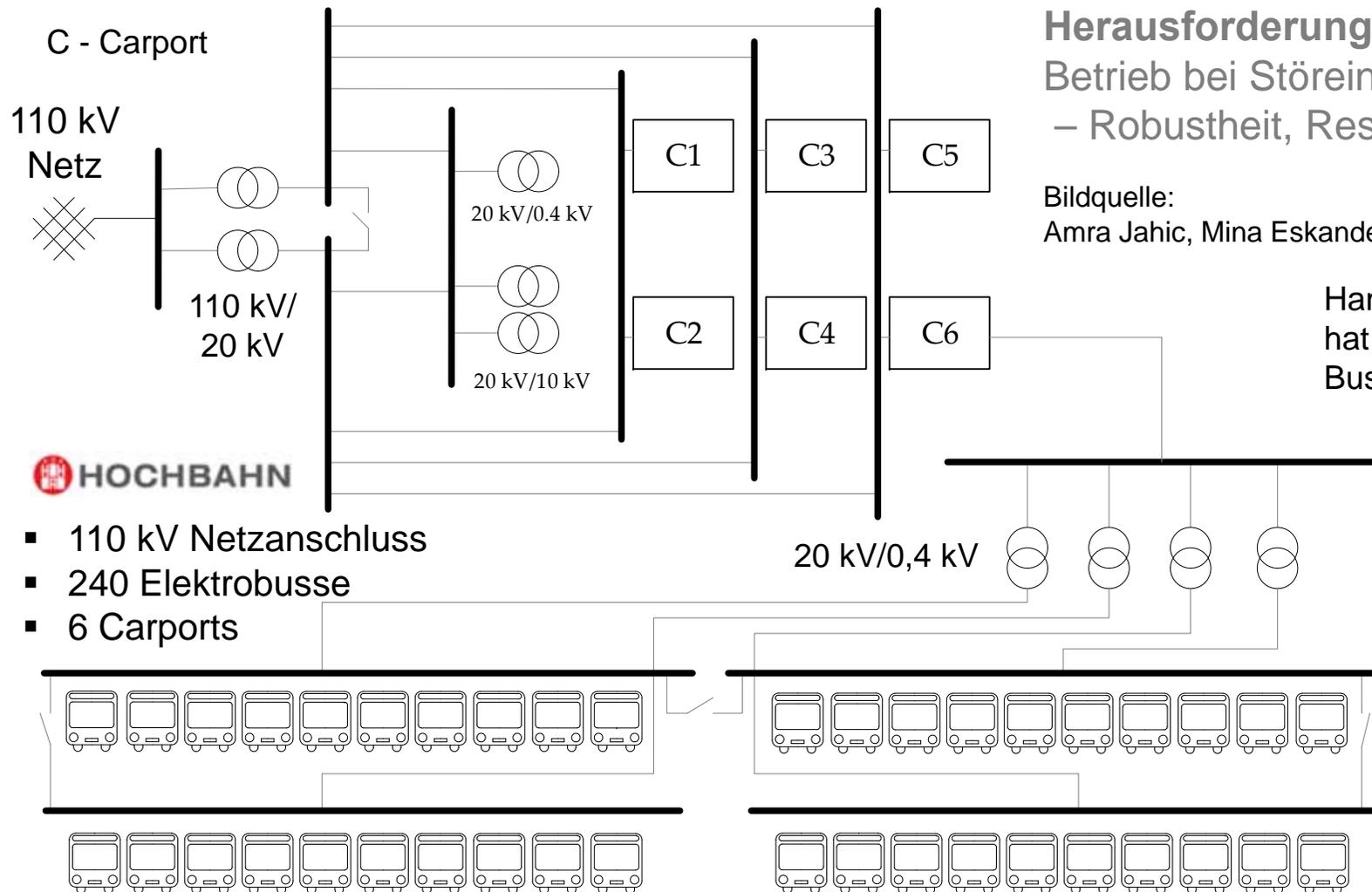


- Herausforderung 1:** Entwicklung der Technologien zur Sektorenkopplung
- Herausforderung 2:** Erprobung von Betriebsszenarien



- Optimierung nach:
- Kosten
  - Verfügbarkeit
  - Reserveversorgung

# Projekt HyReflexS – Notstromversorgung für Busbetriebshöfe in Hamburg



**Herausforderung:**  
Betrieb bei Störeinflüssen  
– Robustheit, Resilienz

Bildquelle:  
Amra Jahic, Mina Eskander

Hamburg  
hat 9 große  
Busbetriebshöfe



Gefördert durch:



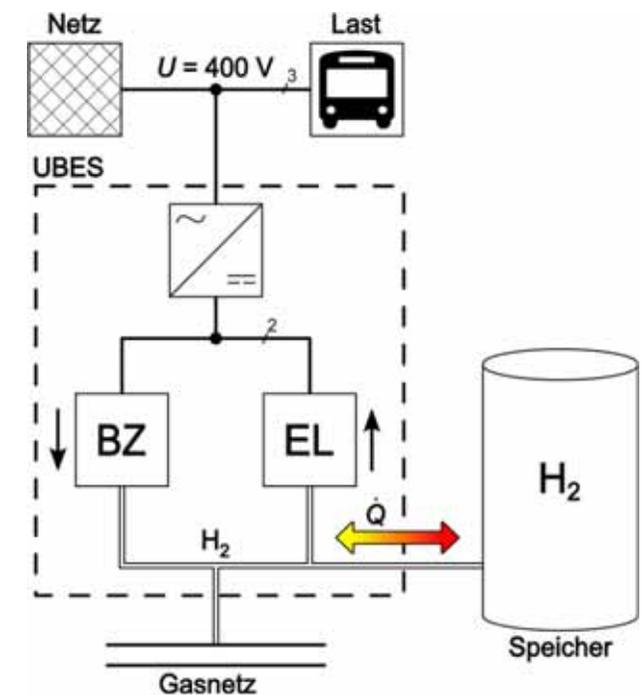
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

FKZ: G20/3552.1/3  
2018-2021

# Projektvorstellung HyReflexS

## Wasserstoffbasierte Notstromversorgung mit integriertem Regelkraftwerk mittels flexibler Sektorkopplung und Metallhydridspeichern

- Aufbau eines Prototyps einer umschaltbaren Anlage aus Brennstoffzelle und Elektrolyseur zur Notstrombereitstellung
- Untersuchung und Optimierung definierter Einsatzszenarien
- Erhöhung der Zuverlässigkeit von Notstromanlagen durch kontinuierlichen Betrieb
- Erbringung von Systemdienstleistungen zur Lastkurvenglättung
- Überprüfung der Übertragbarkeit auf andere Anwendungsbereiche



Projektpartner:



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

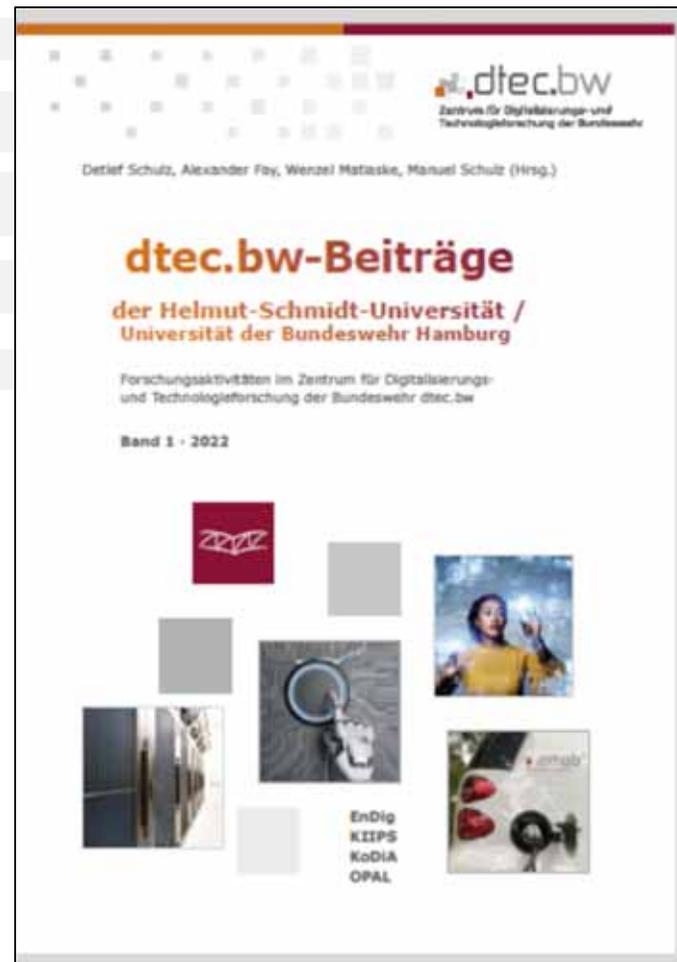
FKZ: 03EI3020A



**Download: <https://openhsu.ub.hsu-hh.de/handle/10.24405/14522>**

Erschienen 11/2022  
58 Veröffentlichungen  
382 Seiten

1.1.2021 – 31.12.2024  
insgesamt 44 HSU-Projekte  
in vier Dachprojekten





**H2-Oxyfuel – Rückverstromung von Wasserstoff**

Untersuchung der stöchiometrischen Verbrennung von H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> in Dampf in thermischen Kraftwerken mit hohen Wirkungsgraden.



**CoupleIT – Digitalisierte Kopplung des Strom- und Gasnetzes**

Im Forschungsprojekt CoupleIT wird die digitalisierte Kopplung von Strom- und Gasnetz mittels Brennstoffzellen- und Elektrolysesystem aufgebaut.



**DiMoLeK – Digitales Lebenszyklus-Monitoring, Härtung und Optimierung**

Entwicklung von Überwachungs- und Härtungsmechanismen für den Einsatz von leistungselektronischen Komponenten in kritischer Infrastruktur.



**Energiewende – Digitale Material Manufaktur für Funktionsmaterialien**

Bereitstellung einer integrierte Forschungsplattform zur Entwicklung neuer Materialien für Anwendungen in den nachhaltigen Energietechnologien.



**CORE – Computergesteuerte Bauteilbearbeitung**

Computergesteuert können Fehler von Flugzeugkomponenten durch kinetisches Spritzen ressourcenschonend aufgearbeitet werden.



**Fab City – Dezentrale digitale Produktion für die urbane Wertschöpfung**

Das Projekt beschäftigt sich mit der Erforschung neuer Formen der digitalen und urbanen Wertschöpfung in offenen Produktionswerkstätten (OpenLabs).

Wasserstoff

SmartGrid

Werkstoffe

Produktion



**Digi-HyPro – Digitalisierte Wasserstoffprozesskette für die Energiewende**

Analyse des Zusammenspiels aus Elektrolyseur, Brennstoffzelle, Gasnetz und Energieverbraucher und Optimierung durch umfassende Systemsimulationen.



**H2MIXPROP – Eigenschaften wasserstoffhaltiger Gemische**

Vorausberechnung der Eigenschaften von wasserstoffhaltigen Gemischen mit computergestützten Methoden und experimentelle Validierung.



**Digitalisierung und Elektromobilität – Netz- und Ladeinfrastruktur**

Im Forschungsvorhaben werden die Hochläufe von Elektrofahrzeuge (Pkw, Lkw, Bus, Schiffe, Drohnen) in Hamburg analysiert und prognostiziert.



**CTCentre – Digitales Tomographiezentrum für funktionale Komposite**

Schaffung eines Tomographiezentrum zum umfassenden Aufbau von Strukturanalysekompetenzen zur Entwicklung funktionaler Komposite.



**MaST – Simulation komplexer Mehrphasensysteme**

Entwicklung von Simulationsverfahren von molekularer bis zur Kontinuumsskala zur Untersuchung des transkritischen Phasenzerfalls.

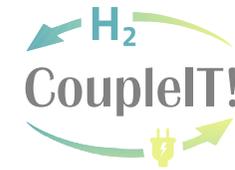


**Digitale, urbane Produktion – Förderung lokaler Produktionen**

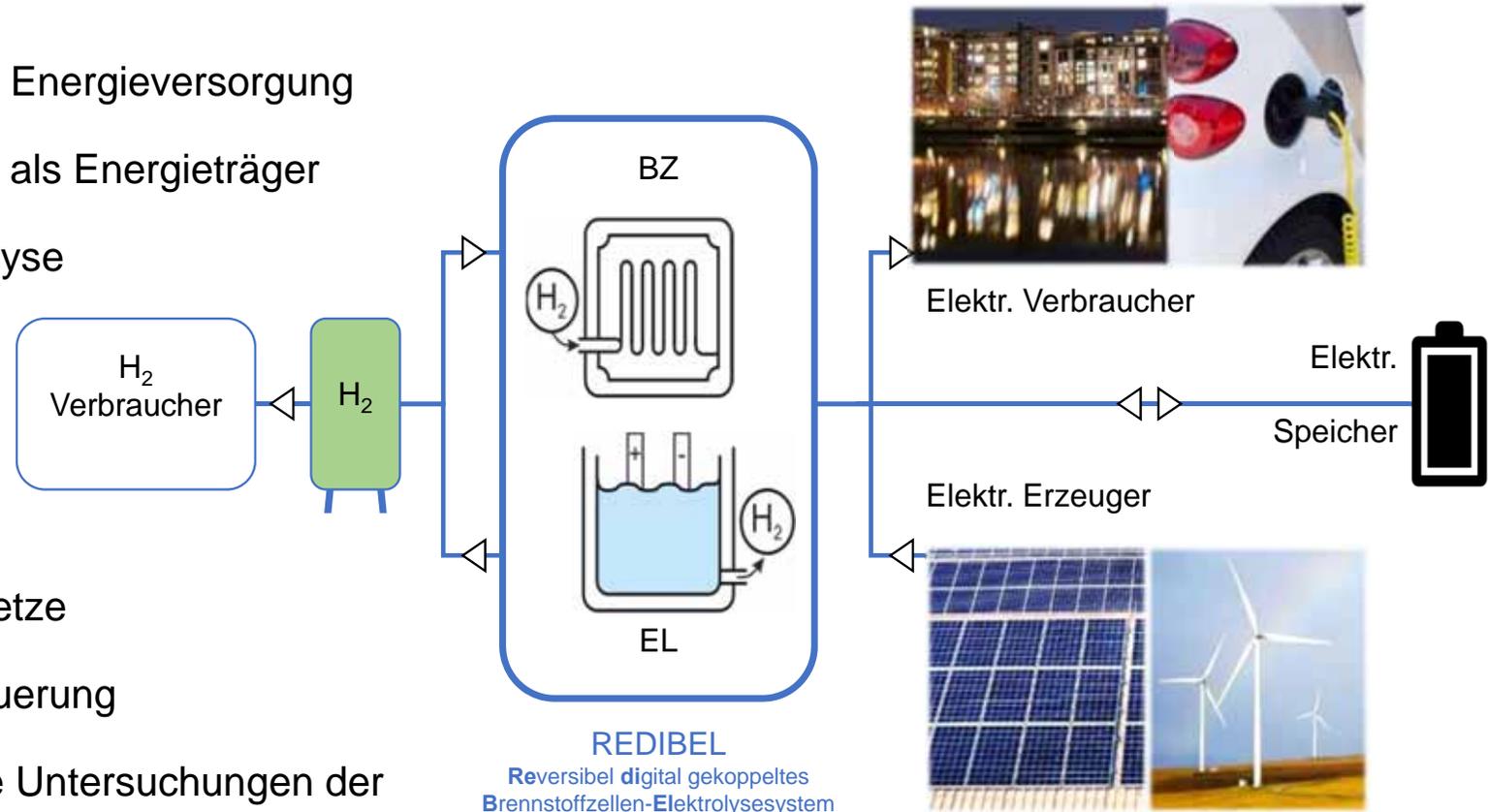
Im Projekt wird eine neuartige Form lokaler Produktion in der Region Hamburg etabliert, welche auf eine kosteneffiziente Fertigung ausgerichtet ist.

# dtec.bw CoupleIT! – IT-gestützte Sektorenkopplung

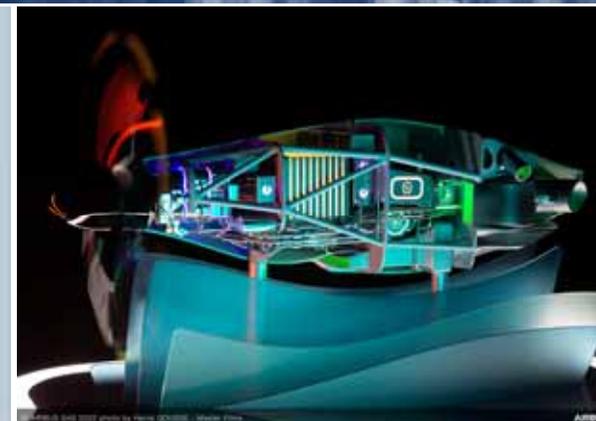
## Motivation und Ansatz



- Erhöhung der Resilienz der Energieversorgung
- Integration von Wasserstoff als Energieträger
- Brennstoffzelle und Elektrolyse
- Netzbetrieb
- Inselnetz Gas/Strom
- Umschaltmöglichkeiten
- Gewollte/ungewollte Inselnetze
- Digitaler Kopplung und Steuerung
- Transiente und dynamische Untersuchungen der (gekoppelten) Inselnetze



# Brennstoffzellensystem-Entwicklung für die technische Aviatik (BETA)

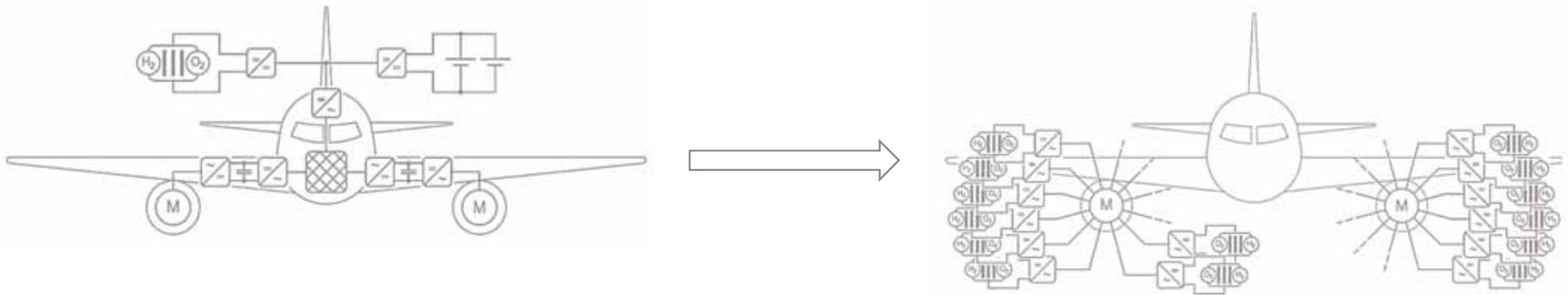


Emissionsfreies  
Fliegen:

- Batterie-  
elektrisch
- BZ-elektrisch
- Favorit:  
H<sub>2</sub>-to-Torque-  
Konzept

# Brennstoffzellensystem-Entwicklung für die technische Aviatik (BETA)

Untersuchung Brennstoffzellen-gepeister Energiesysteme in Luftfahrzeug-  
Hauptantrieben mit multiplen isolierten Leistungssträngen, Laufzeit 10/2020 bis 03/2024



- Projektkonsortium:

**AIRBUS**



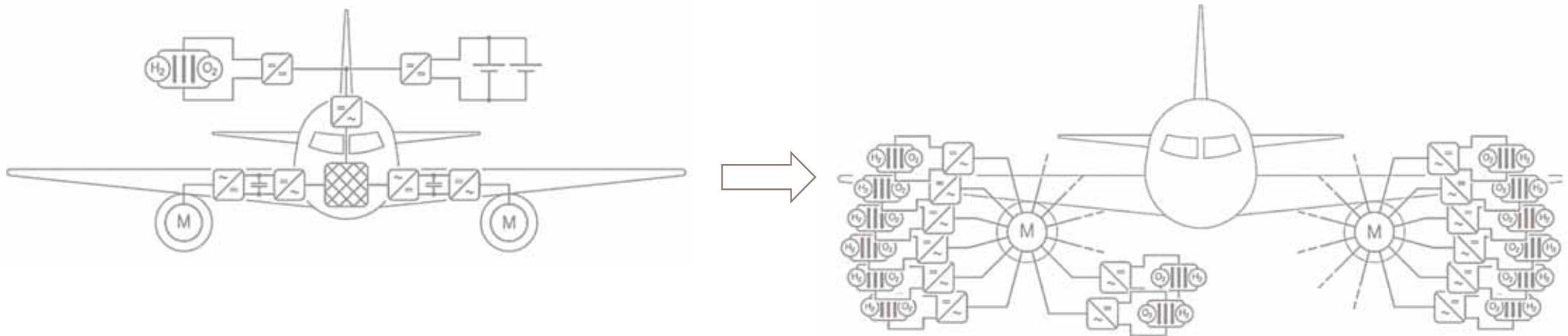
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

FKZ 03B10704B

- Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) Phase II, Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)



- H<sub>2</sub>-to-Torque ermöglicht neuartige, emissionsfreie Mobilitätskonzepte
- H<sub>2</sub>-to-Torque bedeutet: Die Motor-Control-Unit (MCU) verbindet Brennstoffzellen direkt mit den Wicklungen eines Elektromotors (ohne zentrales DC-Bordnetz)
- Im übertragenen Sinn erzeugt der Wasserstoff (H<sub>2</sub>) über die Brennstoffzellen das Drehmoment (engl. torque) der Antriebswelle.

Projektgruppe:



Dipl.-Ing.  
Florian Grumm  
Gruppenleiter



Lukas Baum, M.Sc.



Carsten Cosse, M.Sc.

# Brennstoffzellensystem-Entwicklung für die technische Aviatik (BETA)

- Power-Hardware-in-the-Loop Teststand: Emulation der Brennstoffzellen
- Betrachtung von Flugprofilen
- Untersuchung von Fehlern/Ausfallszenarien

- Motor-Control-Unit-System (MCU-System) zur AC-Versorgung des Motors
- Schutzelektronik, Kommunikation, Zustandserfassung und Ansteuerung
- Pro Strang eine MCU

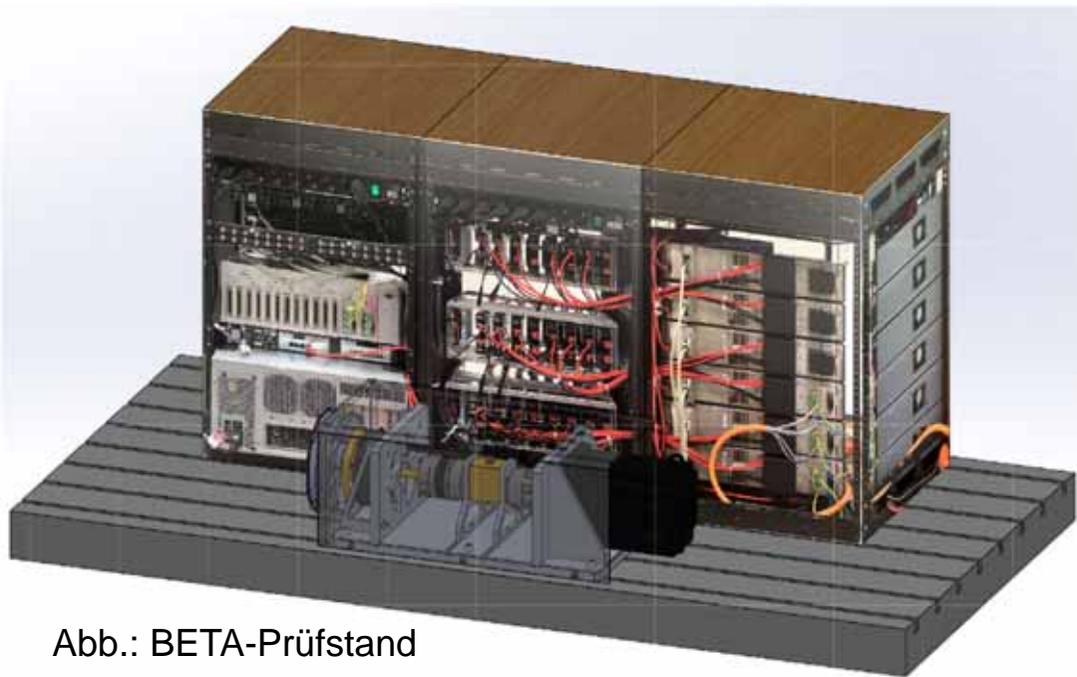


Abb.: BETA-Prüfstand

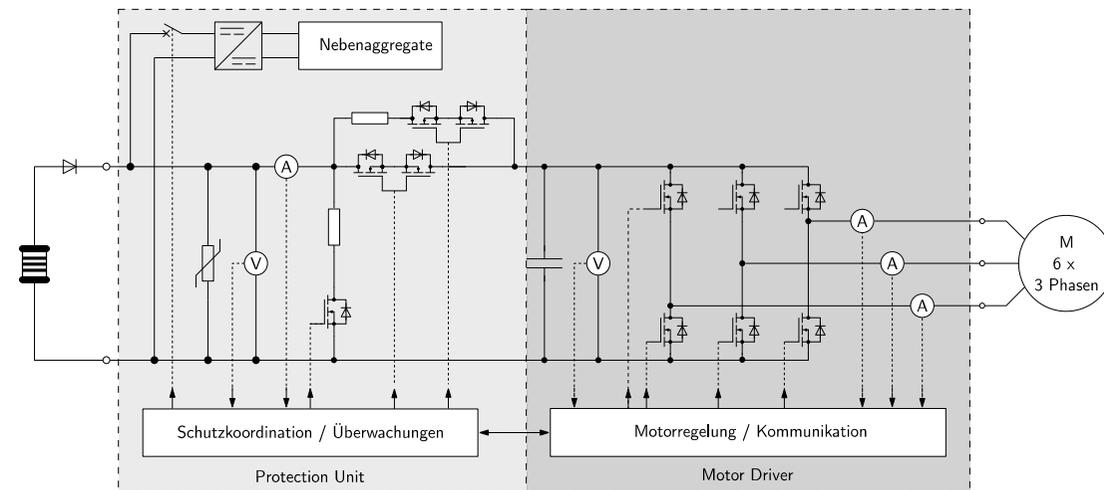


Abb.: MCU-Schaltung

# Praktische Validierung im H<sub>2</sub>-Labor



Einzelzellenteststand bis 2 kW;  
geeignet für kurze Stapel bis 10 Zellen



Initialisierungsteststand bis 12 kW



Einzelzellen-Test (100 und 225 cm<sup>2</sup>)



Galvano-/Potentiostat

# Degradation der Zelle durch kontinuierliche Spannungsschwankungen

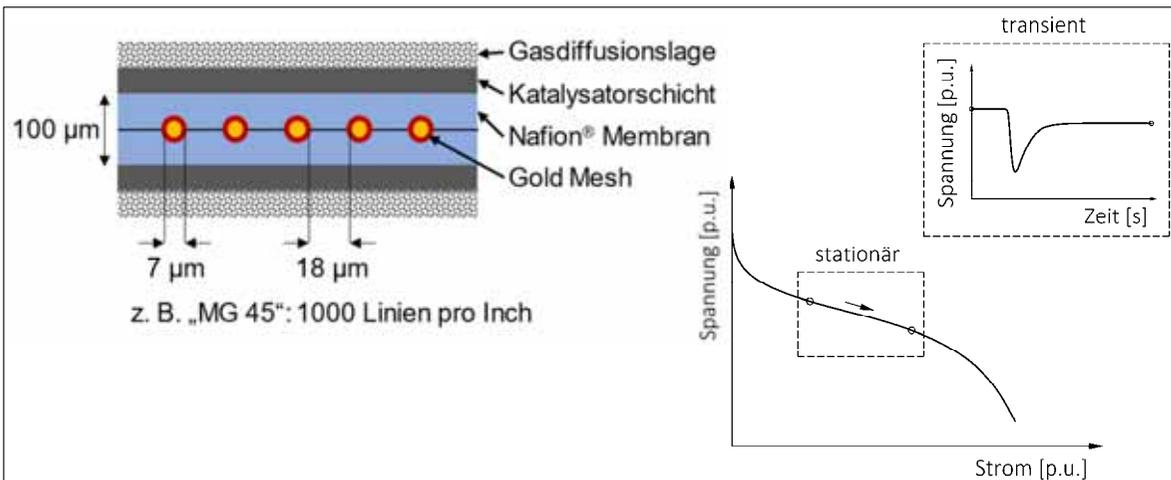


## AP1: Entwicklung elektrisch steuerbarer Membraneinheiten in PEM-Brennstoffzellen

- Einführung eines zusätzlichen Steuerparameters zur Verhinderung der Spannungseinbrüche
- Realisierung z. B. als elektrisches Steuergitter an oder in der Membran
- Optimierung von Parametern und Konfigurationen
- Experimentelle Validierung durch Charakterisierung von elektrisch steuerbaren Brennstoffzellen



Marc Schumann, Stefan Best, Carsten Cosse, Daniel Becker



Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

FKZ: 03ET6133A

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



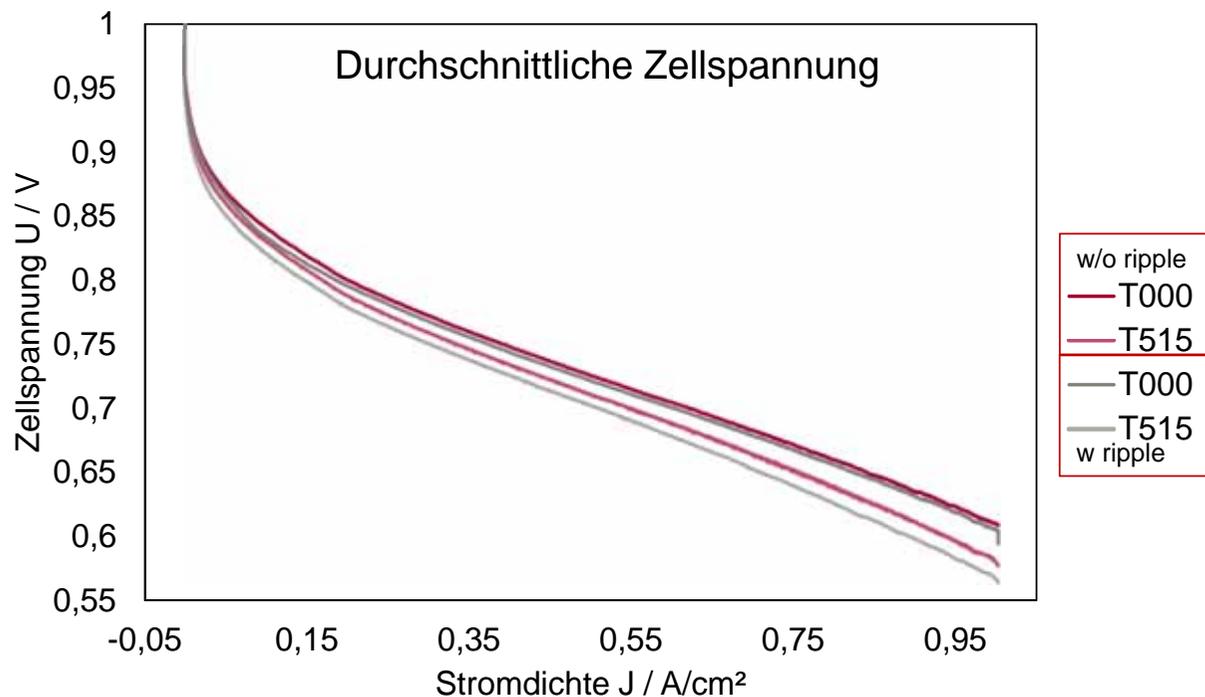
Electrical Power Systems  
Distributed Energy Laboratory

DLab  
Electrical Power Systems

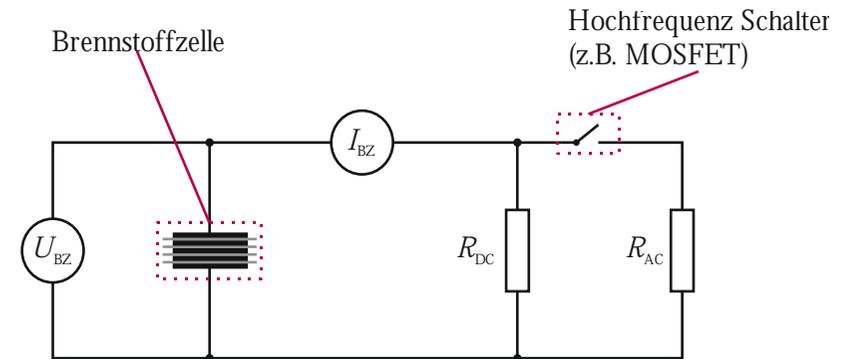
D. Schulz

# Degradation der Zelle durch kontinuierliche Spannungsschwankungen

- Integration von Brennstoffzelle mit DC/DC-Wandler oder direkte Anbindung an fluktuierende Lasten → Spannungsschwankungen → Beschleunigte Alterung

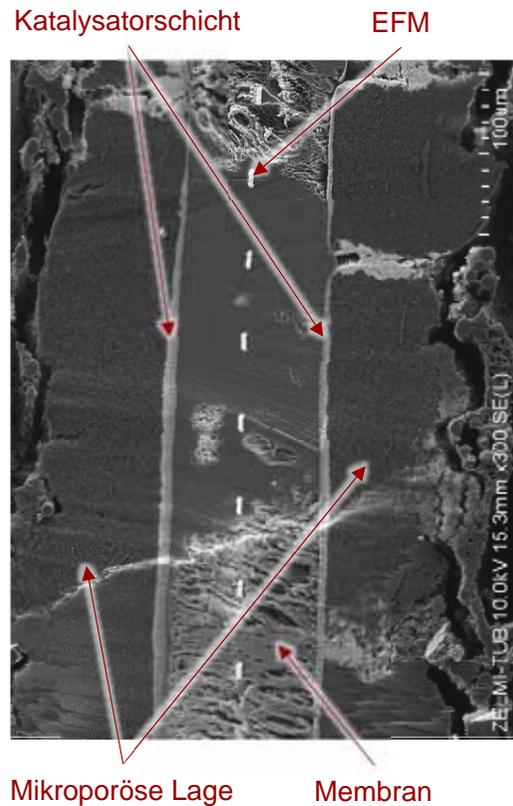


Lebensdauerersuche von Pahon et al. [doi: 10.1016/j.dib.2022.108601]

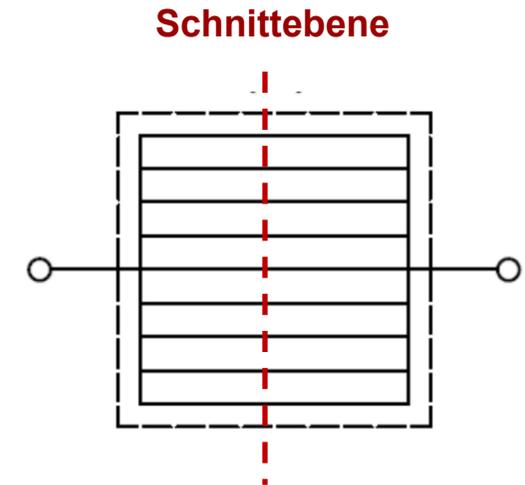
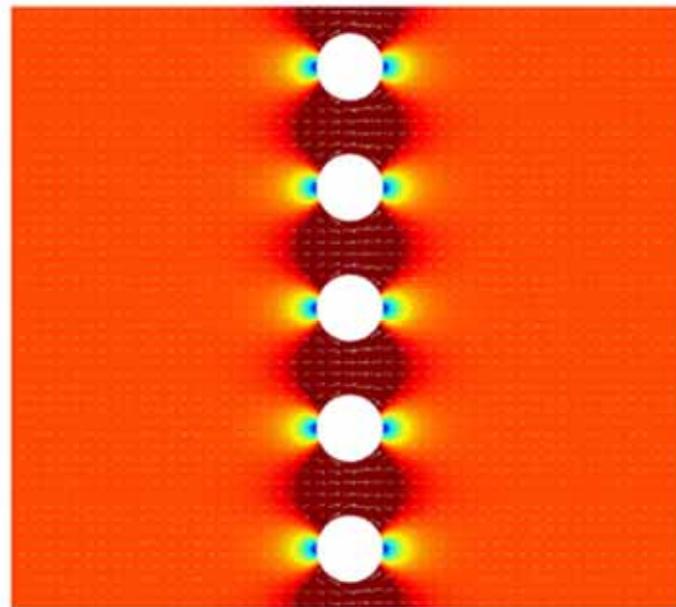


- Electric Field Modifier EFM als steuerbare Kapazität zum Puffern solcher Spannungsschwankungen

# Simulation der transienten Ladung der Doppelschicht am Electric Field Modifier EFM



**Schnittebene mit 5 Elementen mit 10 µm Durchmesser in einer 100 µm starken Membran. Am EFM wird eine Doppelschichtkapazität angenommen.**



SEM Aufnahme des Querschnitts einer Membran-Elektroden-Einheit  
Aufnahme: ZELMI TU Berlin

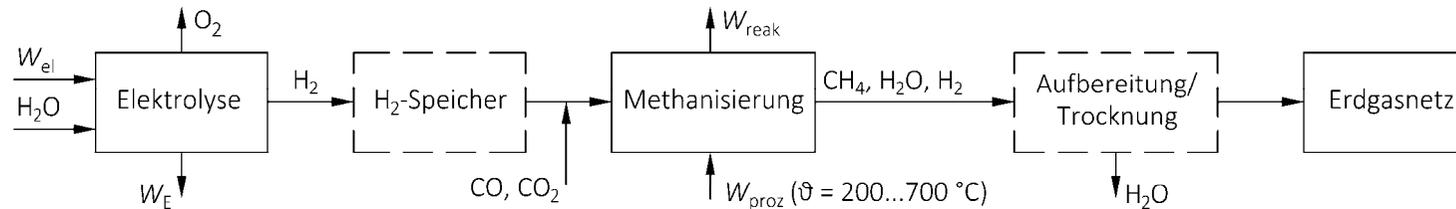
Beeinflussung der Flusses der Protonen von der Anode (links) zur Kathode (rechts) in der Membran durch einen Potentialsprung von 0 auf -0,5 V am EFM (Kathode als Referenz)  
Quelle: Carsten Cosse (FEM-Simulation)

# Projekt Steuerbare Brennstoffzelle und Elektrolyse (StBZuEL)

## AP2: Methanisierung

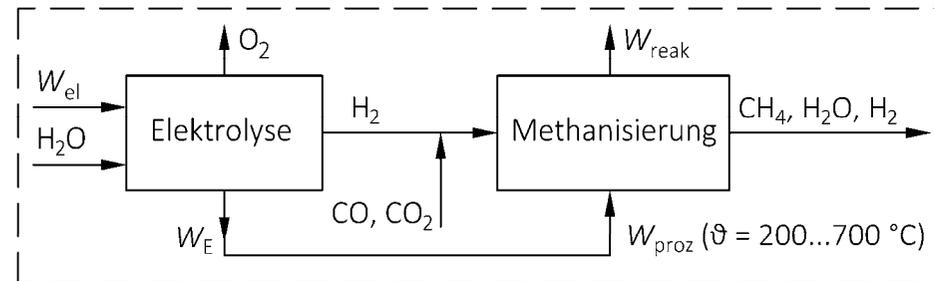
Motivation:

- Wirkungsgradverlust im konventionellen Power-to-Gas-Prozess durch Zwischenspeicherung von  $H_2$  vor der Methanisierung



Ziel: Direkte Methanisierung im Auslasskanal des Elektrolyseurs

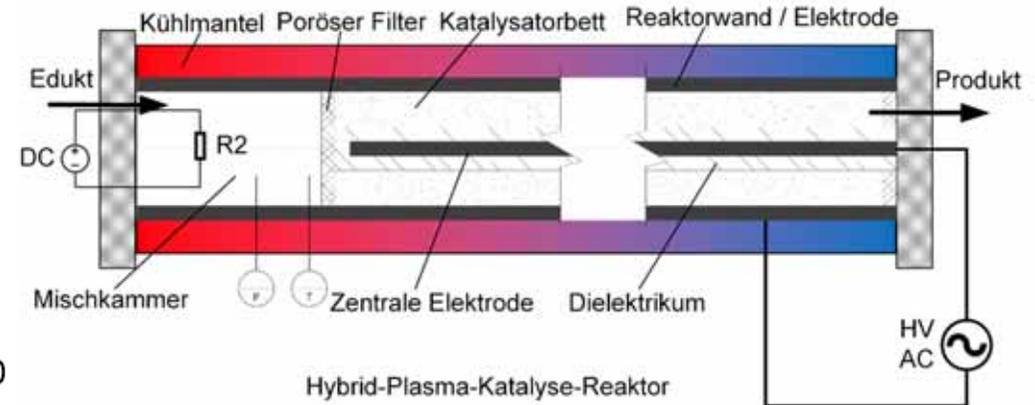
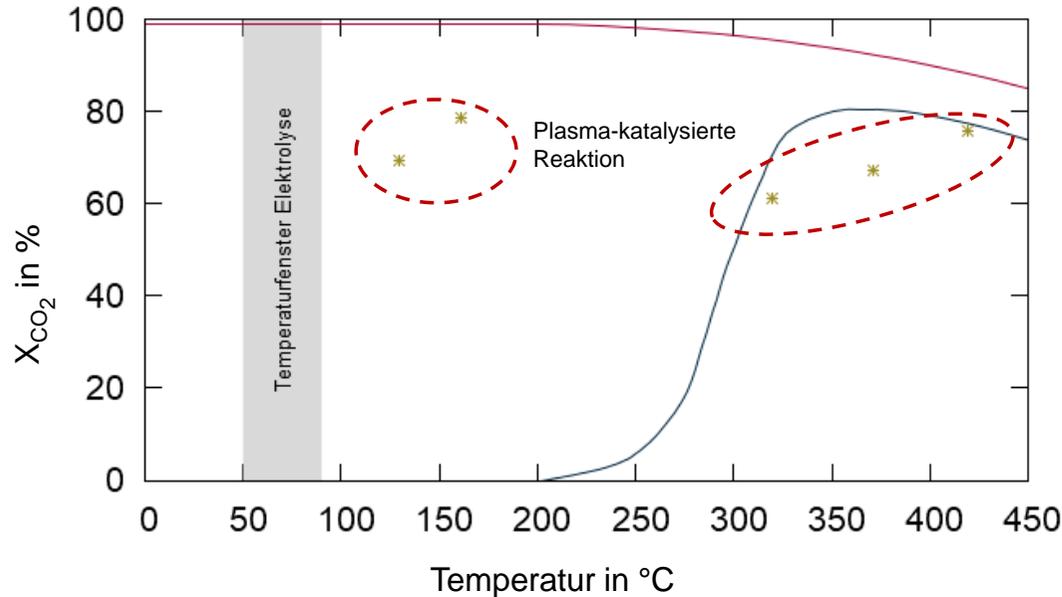
- Nutzung von Temperatursynergien zwischen Elektrolyse und Methanisierung
- Steigerung der Wirtschaftlichkeit durch Verringerung des apparativen Aufwands



Schulz, D.: High efficiency fuel cell,  
EU Patent, EP 2 978 875 B1, 07.03.2018

# Projekt Steuerbare Brennstoffzelle und Elektrolyse (StBZuEL)

## AP2: Methanisierung → Hybrid-Plasma-Katalyse



Thermodyn. Gleichgewicht ————  
Thermische Katalyse ————

Hybrid-Plasma-Katalyse \*

- Anforderungen: Dynamisches Betriebsverhalten des Reaktors und signifikanter Umsatz bei moderaten Temperaturen

→ Hybrid-Plasma-Katalyse- und direkt beheizten Festbettreaktor

# Projekt Steuerbare Brennstoffzelle und Elektrolyse (StBZuEL)

## AP2: Methanisierung → Experimente

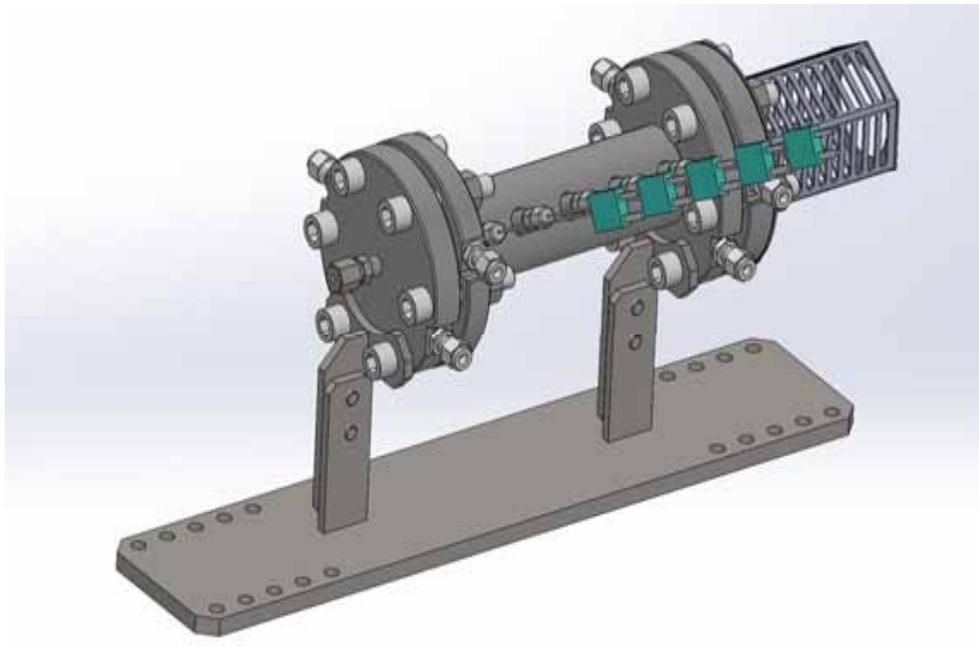


Abb.: Hybrid-Plasma-Katalyse-Reaktor



Abb.: Methanisierungsteststand

- Experimentelle Untersuchungen eines Hybrid-Plasma-Katalyse- und direkt beheizten Festbettreaktors
- Methanisierungsteststand zur Validierung der direkten Methanisierung

# Schriftenreihe: Hamburger Beiträge zum technischen Klimaschutz



Band 1/2019, 132 S.



Band 2/2020, 128 S.



Band 3/2021, 167 S.



Band 4/2022, 151 S.

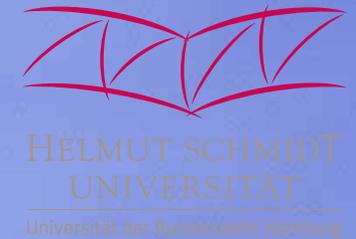
**Download-Suche über Namen der Reihe**



**AG Wasserstoff für das norddeutsche Energiesystem, siehe Website:**

**<https://www.awhamburg.de/wasserstoff-im-energiesystem.html>**

# Wasserstoff-Forschung an der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**



Foto: Pressestelle