

3D-Brennstoffzellen-Simulation verschiedener Flowfield-Designs

L. Feierabend, F. Moyon, S. Gößling

AVL GSC 2018

Oktober, 2018





- Vorstellung der ZBT GmbH
- Einführung zu PEM-Brennstoffzellen
 - Funktion und Einfluss des Flow Fields
 - Flow Field Designs
- Modellierung und Simulation von PEM-Brennstoffzellen mit AVL FIRE
 - Wichtige Parameter
 - Einzelkanalsimulationen
 - Einstellungen und Mesh
 - Ergebnisse
 - 25 cm² Simulationen
 - Baltic Brennstoffzelle
 - Mesh Setup
 - Ergebnisse
- Zusammenfassung

Arbeitsgebiete

- F&E zu Brennstoffzellen, Batterien, Wasserstofftechnologie
- Fokus auf Industriekooperationen
- Unabhängiger Dienstleister
- Mitglied der Johannes Rau Forschungsgemeinschaft
- Ca. 100 Mitarbeiter

Infrastruktur:

- 1200 m² Laborfläche
- 4 abgetrennte Labors mit 220 m²
- Flexible Teststände mit moderner Mess- und Dosiertechnik und Analytik
- 3 Klimakammern mit Rütteltest
- 120 m² Labor für Kunststofftechnik
- Herstellung von Prototypen





ZBT GmbH: Entwicklungspartner der Industrie

Von der Gemeinschaftsforschung bis zur Entwicklungsdienstleistung

Vorwettbewerbliche Gemeinschaftsforschung

Förderung:
IGF, BMBF

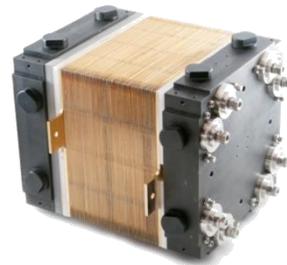
Projektanteil ZBT 2014: 29%



Öffentlich geförderte Projekte in Kooperation mit der Industrie

Förderung:
BMW, BMVI, NRW, EU

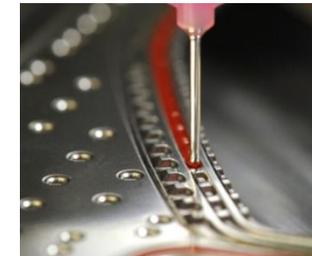
Projektanteil ZBT 2014: 48%



Entwicklungsdienstleistungen für die Industrie

Auftraggeber:
OEMs, Zulieferer

Projektanteil ZBT 2014: 23%



DAIMLER



**Geschäfts-
führung**

Prof. Dr. Angelika Heinzl
Geschäftsführerin



Dr. Peter Beckhaus
Handlungsbevollmächtigter



Joachim Jungsbluth
Handlungsbevollmächtigter



Abteilungen



Gasprozesstechnik



Michael Steffen



Brennstoffzellen- und
Systemtechnik



Dr. Peter Beckhaus



Mikrosysteme und
Strömungsmechanik



Jens Wartmann



Elektrochemie und
Schichttechnik



Dr. Volker Peinecke



Wasserstoff und
Batterien



Bernd Oberschachtsiek

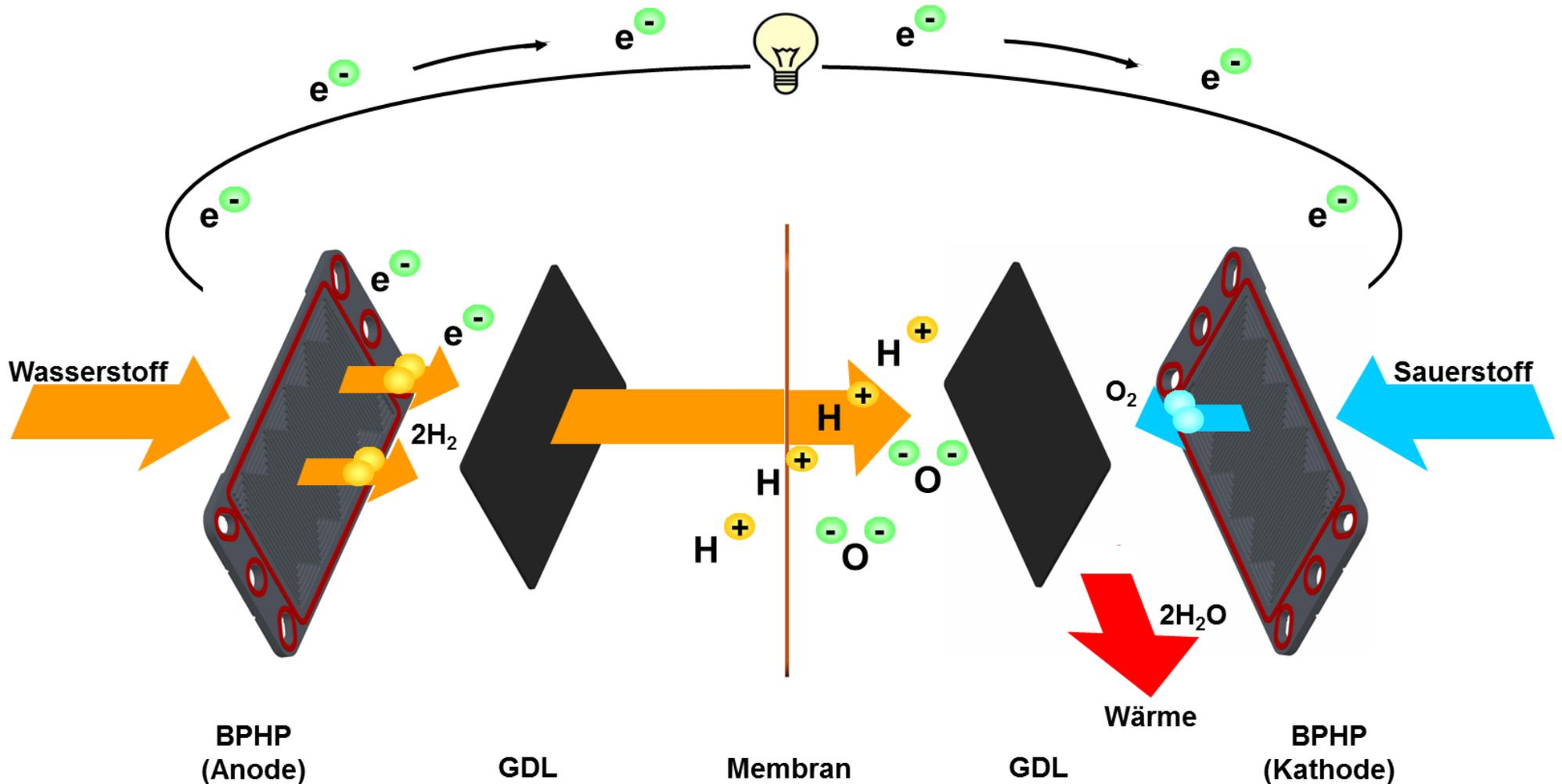


Qualitätssicherung
und Prüfwesen



Joachim Jungsbluth

Arbeitsprinzip einer PEM-Brennstoffzelle:

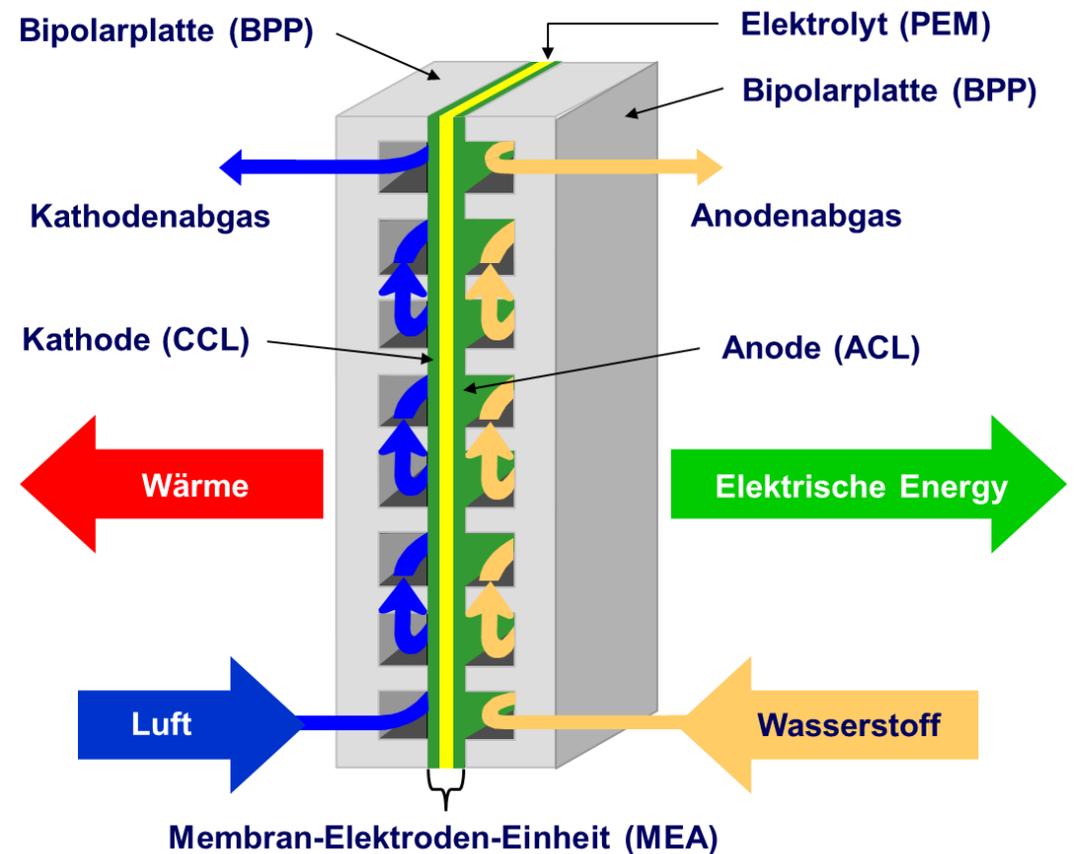


Arbeitsprinzip einer PEM-Brennstoffzelle:

Einzelzelle:

- Bipolarplatten (BPP)
- Flow Field-Struktur (FF)
- Gasdiffusionsschichten (GDL)
- Membran-Elektroden-Einheit (MEA)
 - Anoden-Katalysatorschicht (ACL)
 - Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM)
 - Kathoden-Katalysatorschicht (CCL)

- Strom einer Zelle wird über MEA-Fläche skaliert



Quelle: VKA, RWTH Aachen

Arbeitsprinzip einer PEM-Brennstoffzelle:

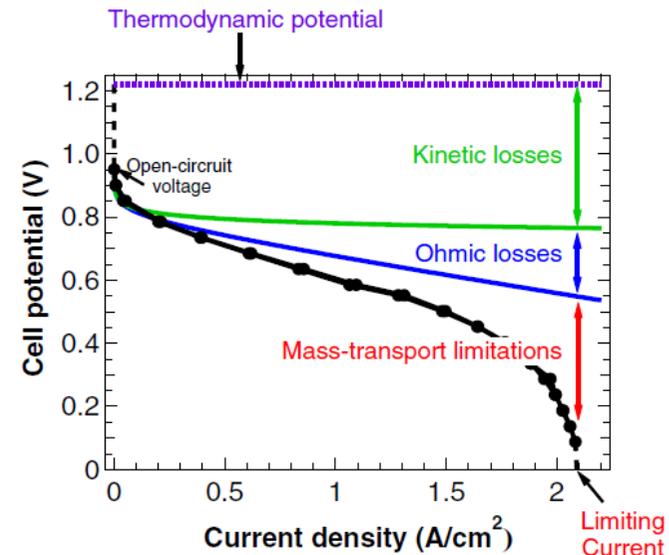
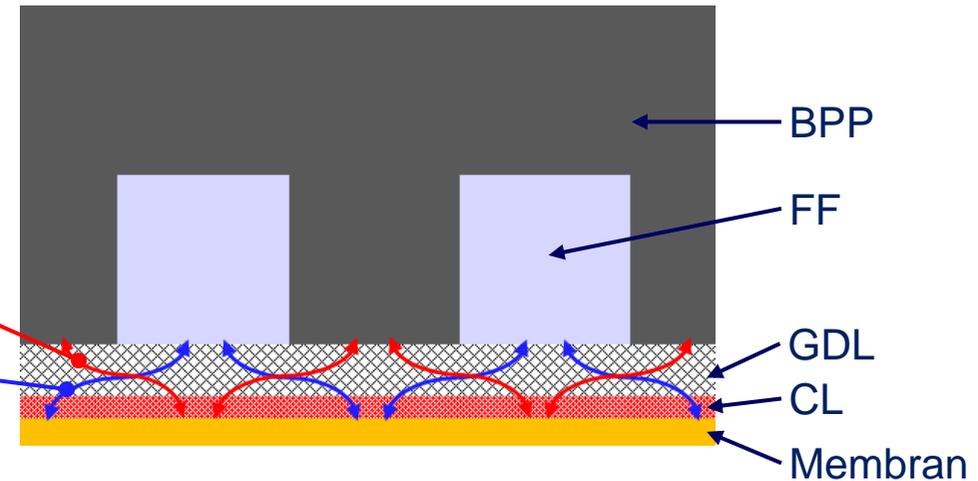
Transportmechanismen:

- Konvektion und Diffusion in Kanälen und porösen Schichten
- Flüssigwassertransport in poröser Struktur
- Elektrische und thermische Leitung in festen Strukturen
- Ionische Leitung in Membran und Katalysatorschicht

Verlustmechanismen:

- Aktivierungsverluste (Kinetik des Katalysators)
- Ohmsche Verluste: ionische und elektronische Leitung
- Massentransportverluste: Gasdiffusion und Flüssigwassertransport

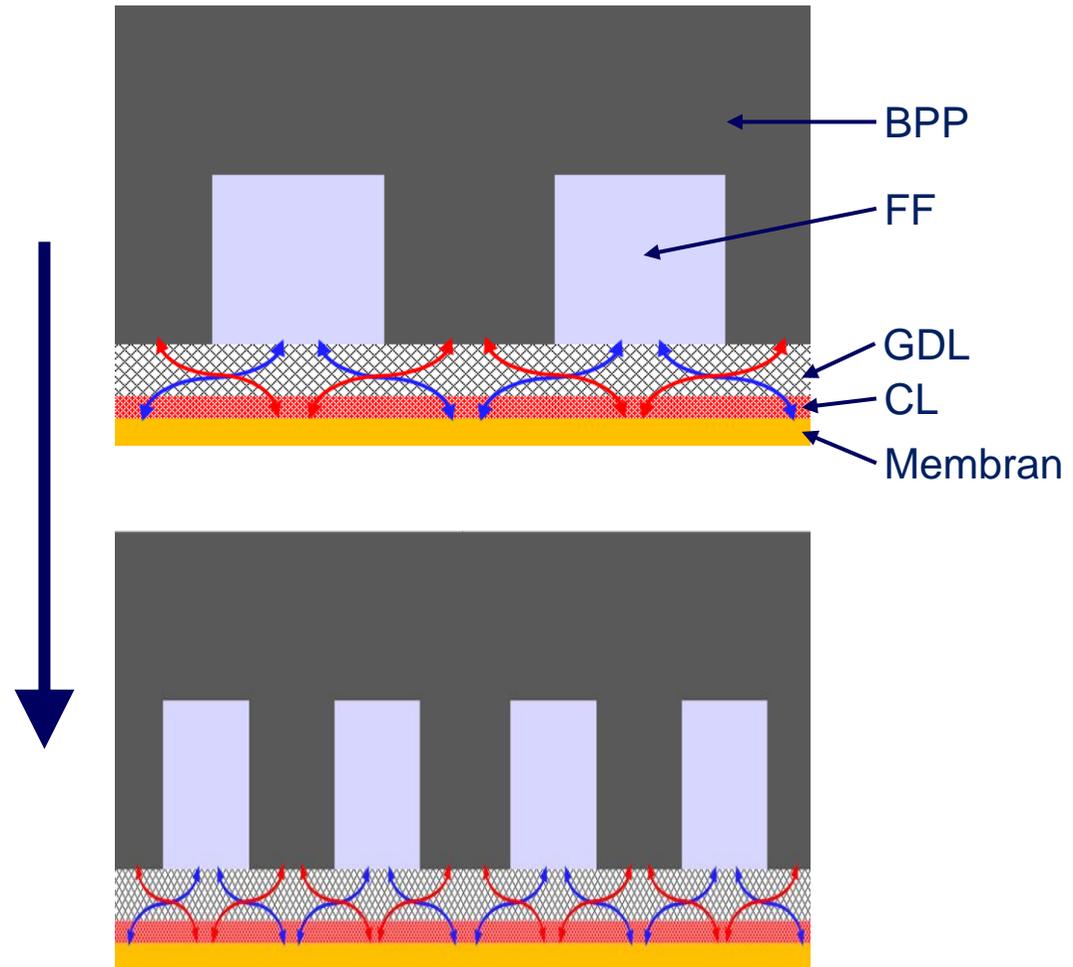
Leitungswege
(Wärme, Strom)
Diffusionswege



Weber et al., „A Critical Review of Modeling Transport Phenomena in Polymer-Electrolyte Fuel Cells“. *Journal of the Electrochemical Society* 161, Nr. 12 (13. September 2014): F1254–99.

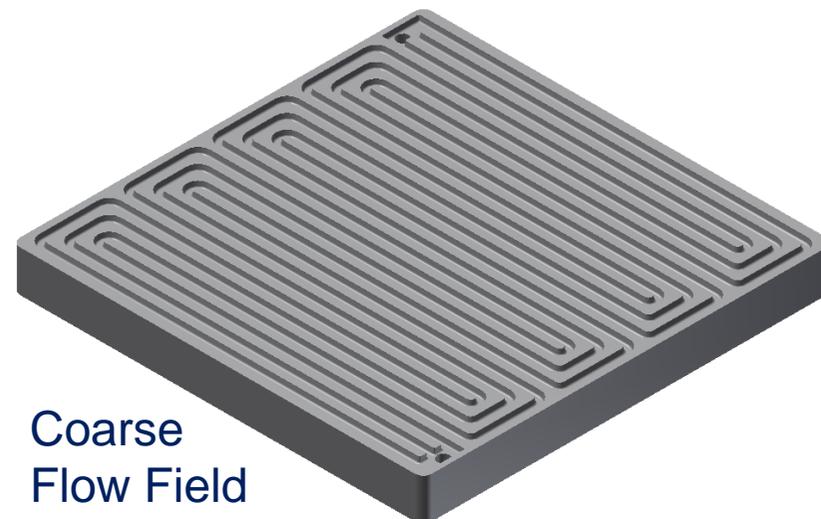
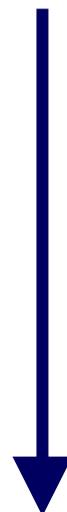
Reduzierung des Kanal-Steg-Pitches:

- Äquivalenter Strömungsquerschnitt
- Äquivalente Kontaktfläche
- erhöhter Druckverlust (mehr Grenzflächen)
- Reduzierung der In-Plane-Transportwege
 - weniger Diffusionsverluste
 - weniger Leitungsverluste (Wärme, Strom)
 - weniger Wasseransammlung unter Stegen

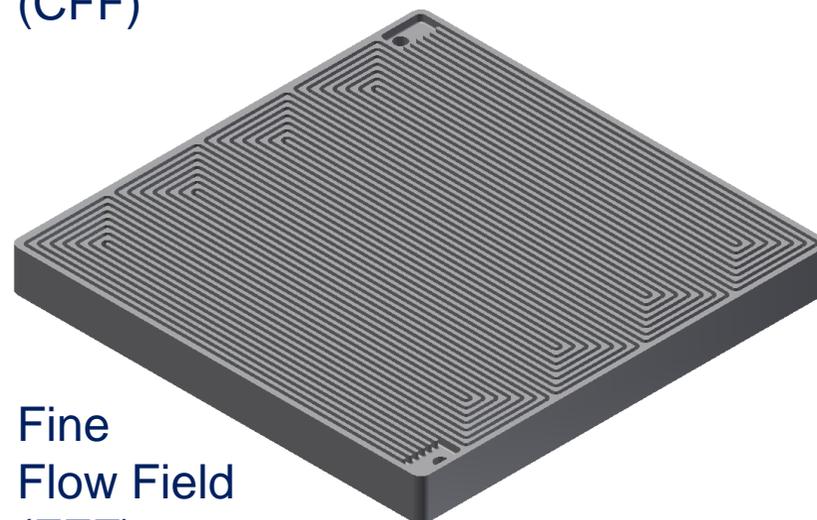


Reduzierung des Kanal-Steg-Pitches:

- Äquivalenter Strömungsquerschnitt
- Äquivalente Kontaktfläche
- Leicht erhöhter Druckverlust
- Reduzierung der In-Plane-Transportwege
 - weniger Diffusionsverluste
 - weniger Leitungsverluste (Wärme, Strom)
 - weniger Wasseransammlung unter Stegen
- Für 25 cm² Baltic Fuel Cell:
 - Gleiche Kanallänge
 - Gleiche Anzahl der Umlenkungen
 - Verdopplung der Kanäle (3 -> 6) und Stege



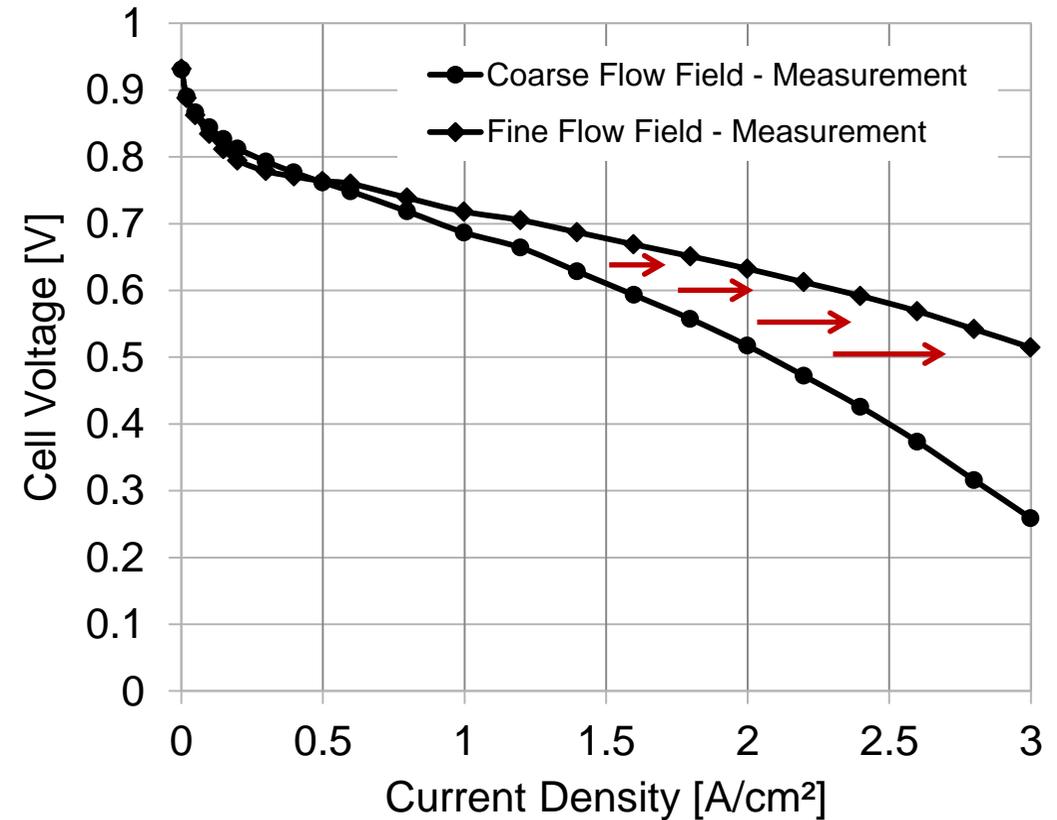
Coarse
Flow Field
(CFF)



Fine
Flow Field
(FFF)

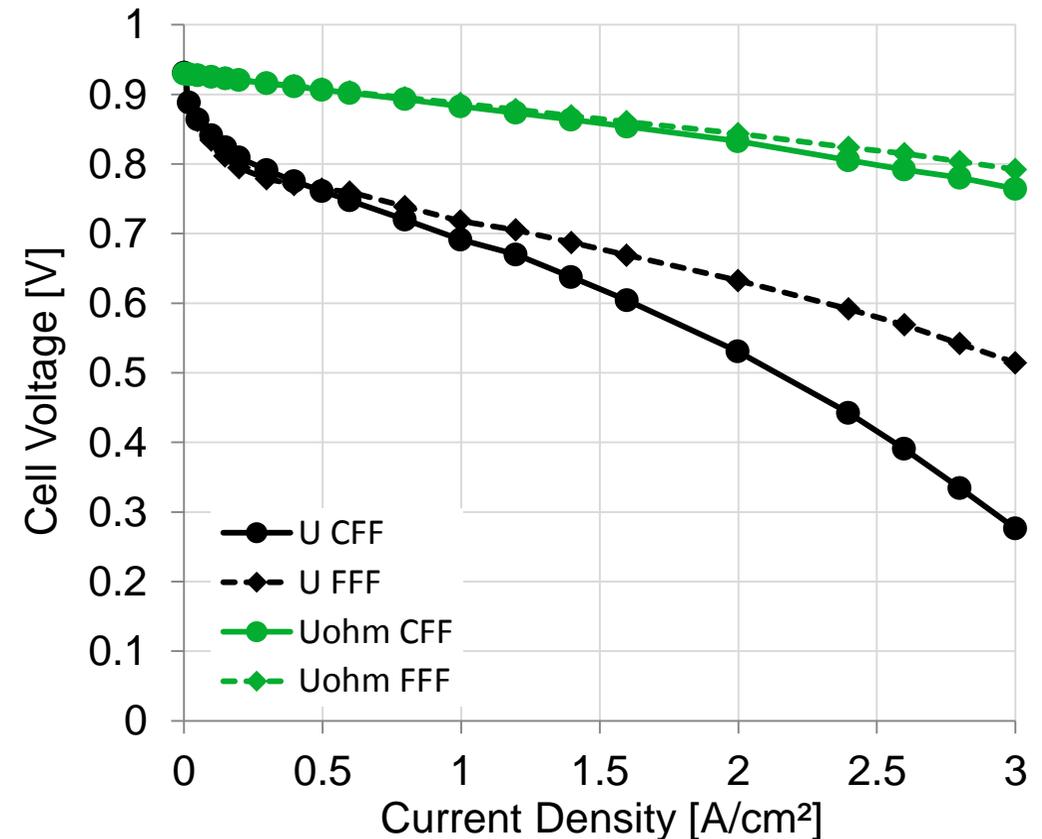
Reduzierung des Kanal-Steg-Pitches:

- Äquivalenter Strömungsquerschnitt
- Äquivalente Kontaktfläche
- erhöhter Druckverlust (mehr Grenzflächen)
- Reduzierung der In-Plane-Transportwege
 - weniger Diffusionsverluste
 - weniger Leitungsverluste (Wärme, Strom)
 - weniger Wasseransammlung unter Stegen
- **Signifikant verbesserte Performance**
 - ~50% bei 0.6 V



Reduzierung des Kanal-Steg-Pitches:

- Äquivalenter Strömungsquerschnitt
- Äquivalente Kontaktfläche
- erhöhter Druckverlust (mehr Grenzflächen)
- Reduzierung der In-Plane-Transportwege
 - weniger Diffusionsverluste
 - weniger Leitungsverluste (Wärme, Strom)
 - weniger Wasseransammlung unter Stegen
- **Signifikant verbesserte Performance**
 - ~50% bei 0.6 V
 - vergleichbare ohmsche Verluste
 - Unterschiede rein transportbedingt?
 - Simulativ abzubilden?



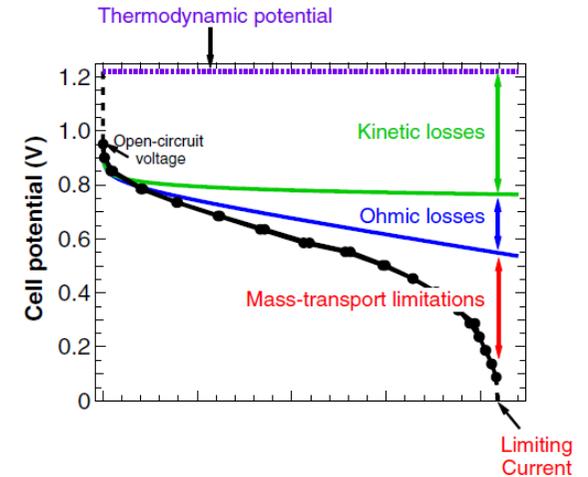


Wichtige Parameter für die PEM-Brennstoffzellensimulation:

- Festkörper (inkl. Feststoff in porösen Schichten):
elektrische Leitfähigkeit, thermische Leitfähigkeit
- Membran:
ionische Leitfähigkeit
- Gasdiffusionsschicht (GDL):
Porosität, Tortuosität (, Kontaktwinkel)
- Katalysatorschicht (CL):
Porosität, Tortuosität, Porengröße, ionische Leitfähigkeit, Ionomeranteil,
Ionomerdiffusion, Ionomerfilmdicke, Agglomeratgröße,
Austauschstromdichte, Durchtrittskoeffizienten

Wichtige Parameter für die PEM-Brennstoffzellensimulation:

- Festkörper (inkl. Feststoff in porösen Schichten):
elektrische Leitfähigkeit, thermische Leitfähigkeit
- Membran:
ionische Leitfähigkeit
- Gasdiffusionsschicht (GDL):
Porosität, Tortuosität (, Kontaktwinkel)
- Katalysatorschicht (CL):
Porosität, Tortuosität, Porengröße, ionische Leitfähigkeit, Ionomeranteil,
Ionomerdiffusion, Ionomerfilmdicke, Agglomeratgröße,
Austauschstromdichte, Durchtrittskoeffizienten

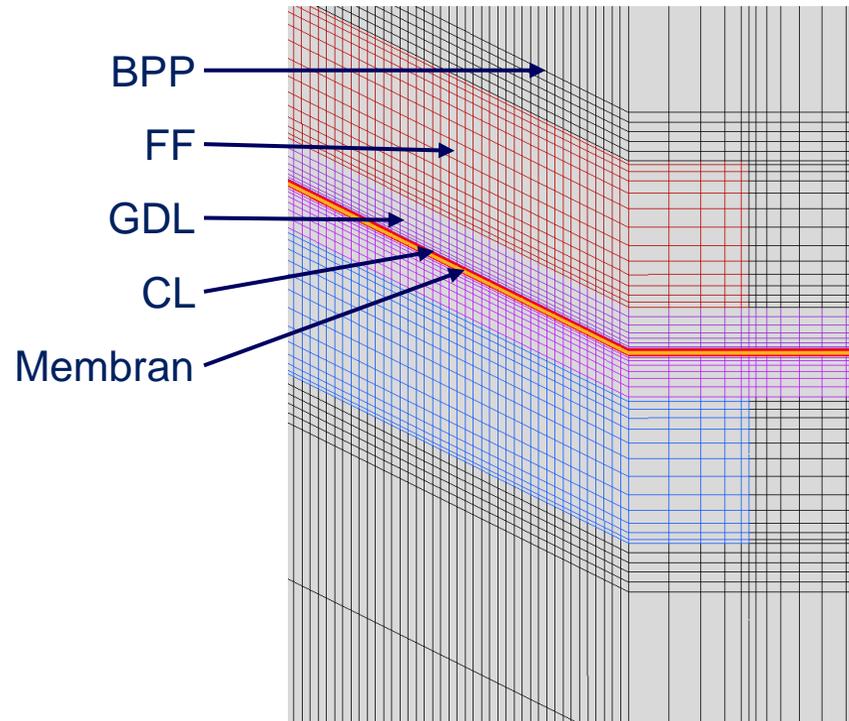


Markierung der Parameter mit **signifikantem** Einfluss auf verschiedene Verlustmechanismen:

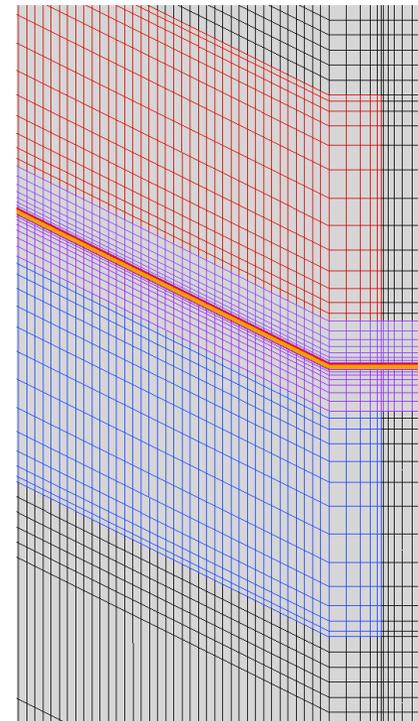
- Aktivierungsverluste (annähernd konstant)
- ohmsche Verluste (linear)
- Diffusionsverluste (exponentiell im Hochstrombereich)
- Kombination ohmscher und diffusiver Transportverluste (mittlerer und hochstromiger Bereich)

Parameterfitting mit reduziertem Modell

- 1-Kanal-Steg-Paar
- Gleiche Kanallänge wie in der realen Zelle
- Keine Umlenkungen



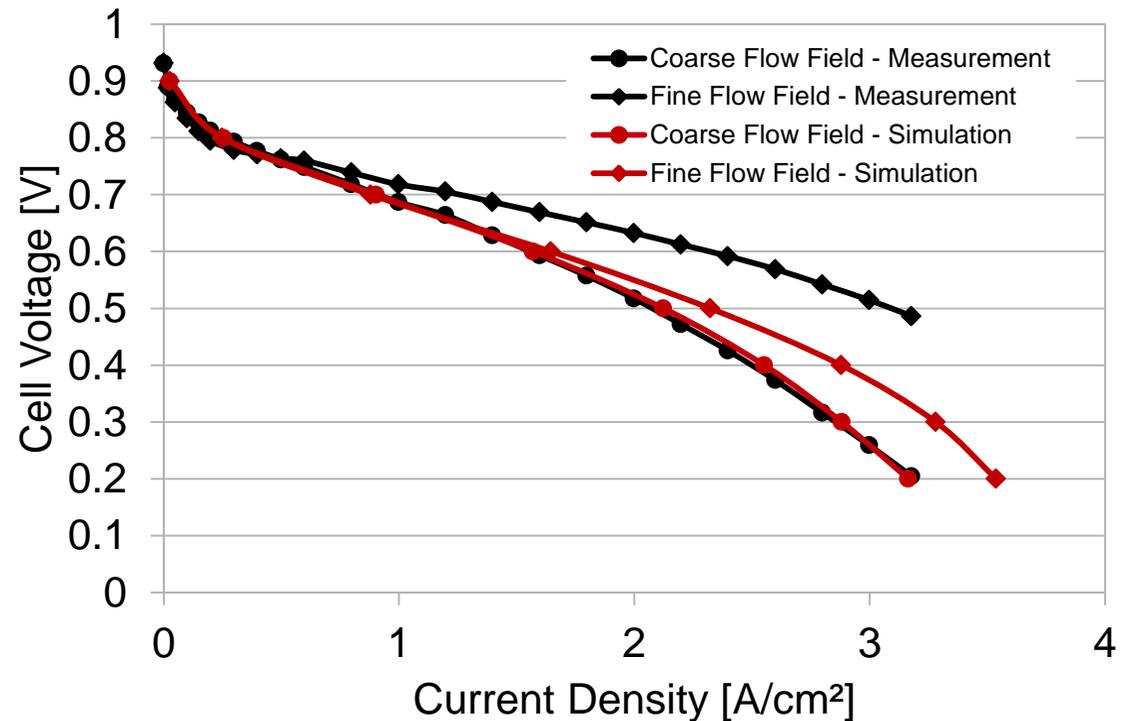
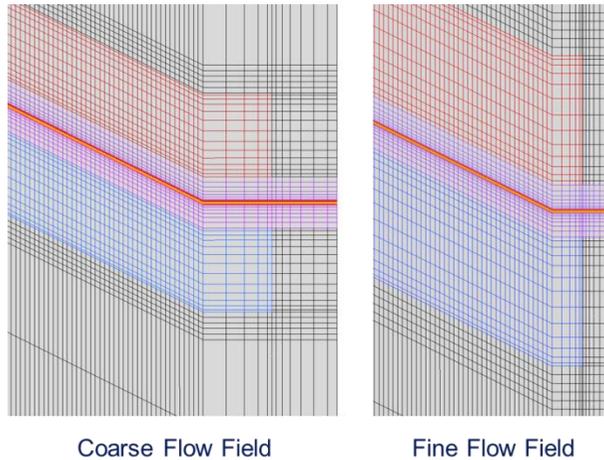
Coarse Flow Field



Fine Flow Field

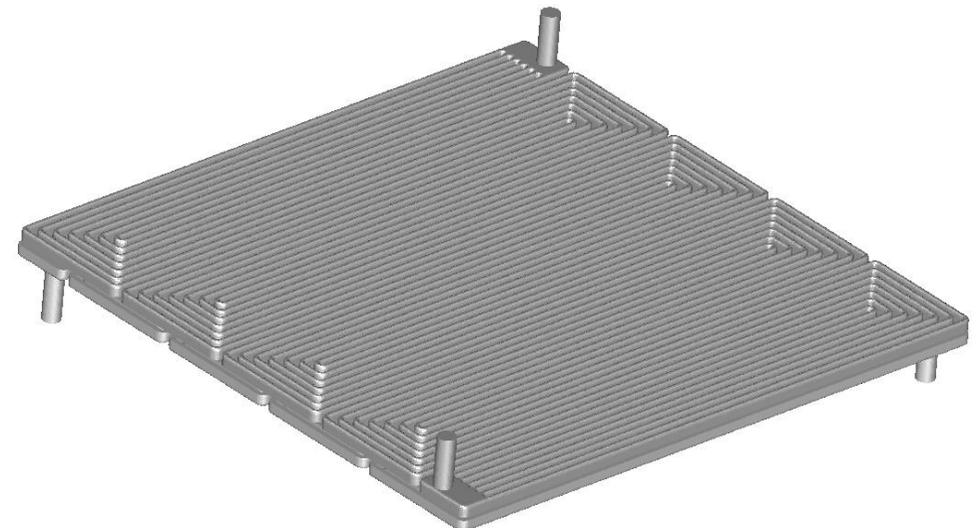
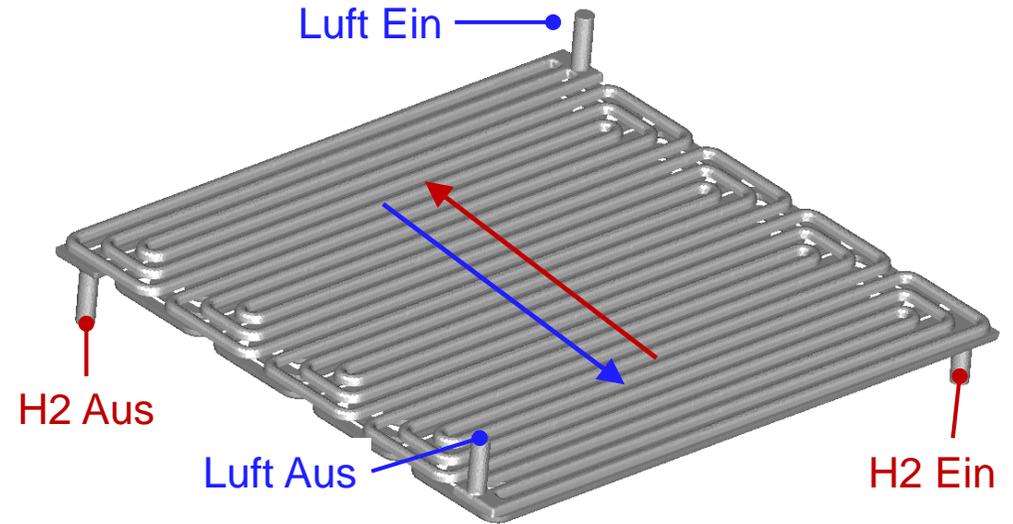
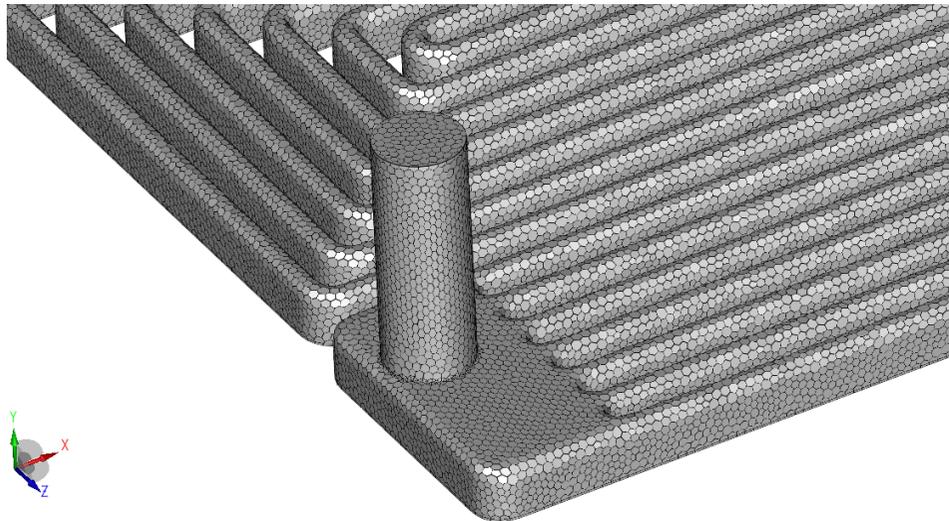
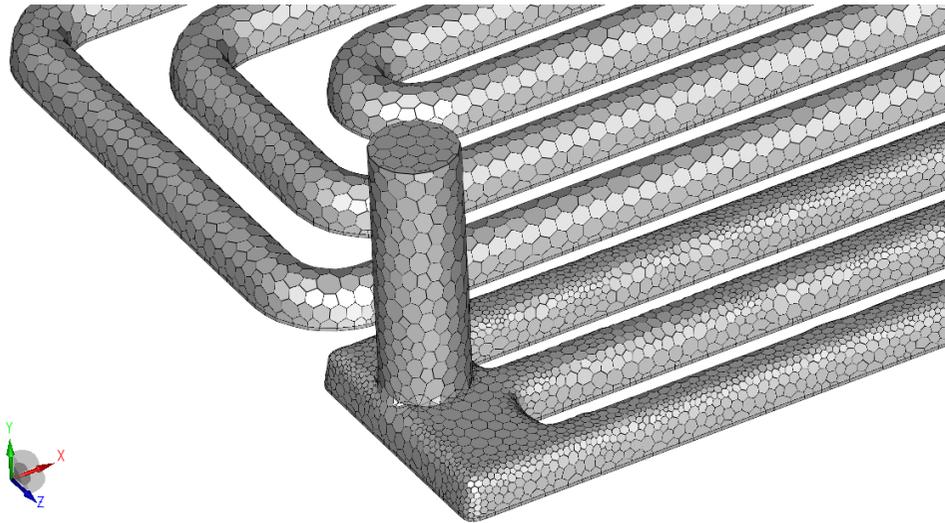
Parameterfitting mit reduziertem Modell

- 1-Kanal-Steg-Paar
- Gleiche Kanallänge wie in der realen Zelle
- Keine Umlenkungen

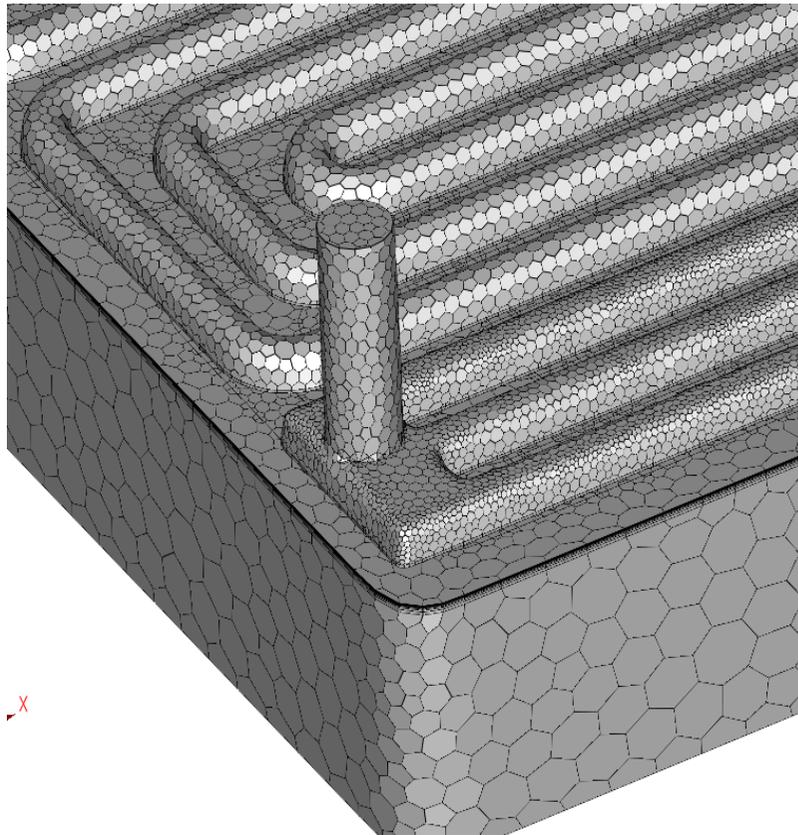


- Fitting basiert auf dem „Coarse Flow Field“
- Verbesserung der Performance im Hochstrombereich sichtbar
- Nicht annähernd so wie in der Messung
- Wie sieht es in der realen Zellgeometrie aus?

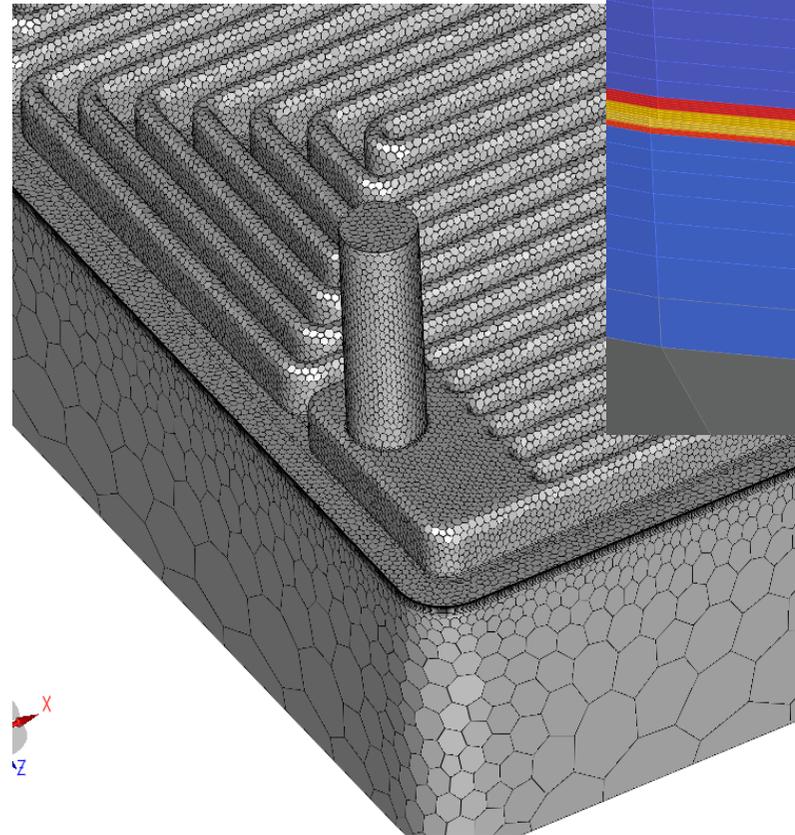
25 cm² Baltic Cell Simulation - Mesh



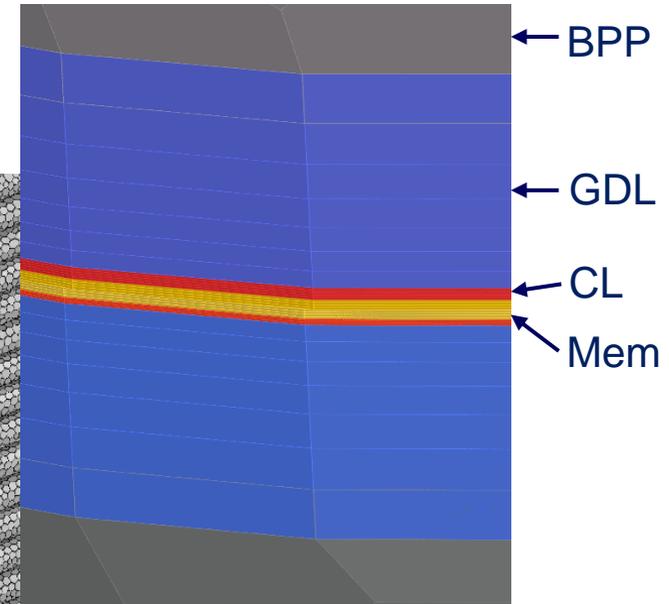
25 cm² Baltic Cell Simulation - Mesh



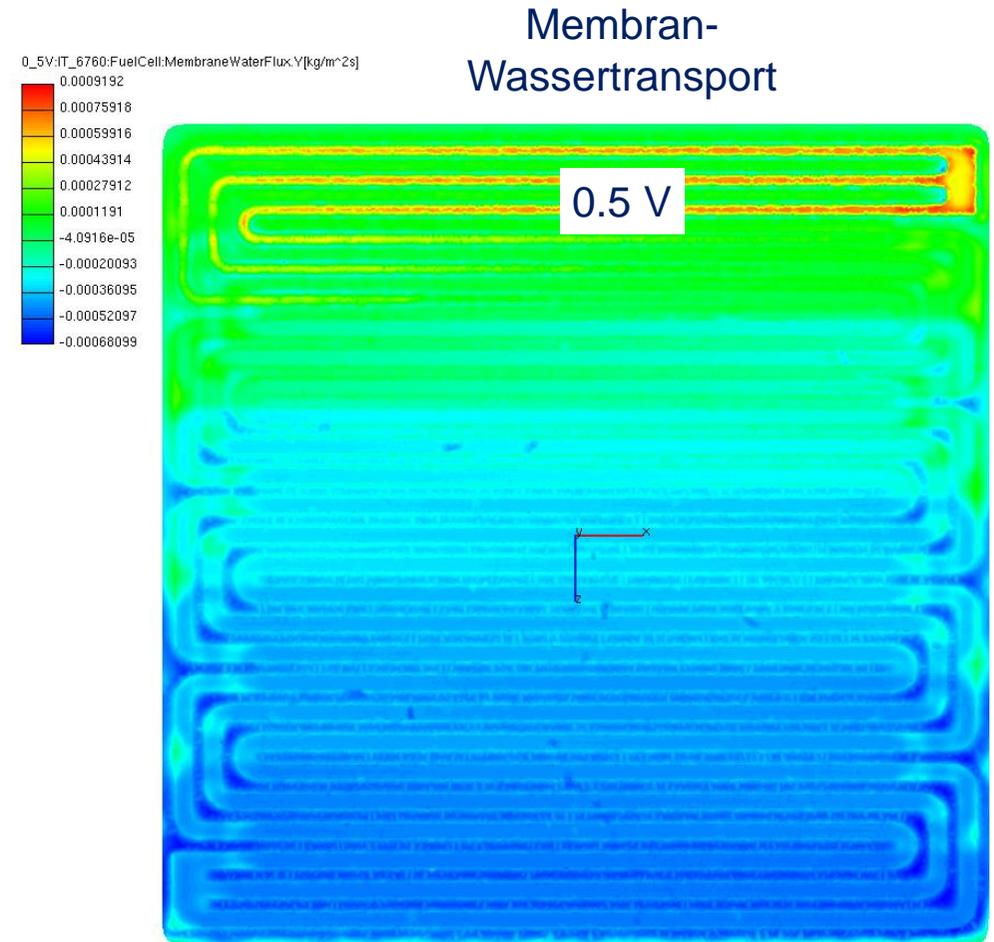
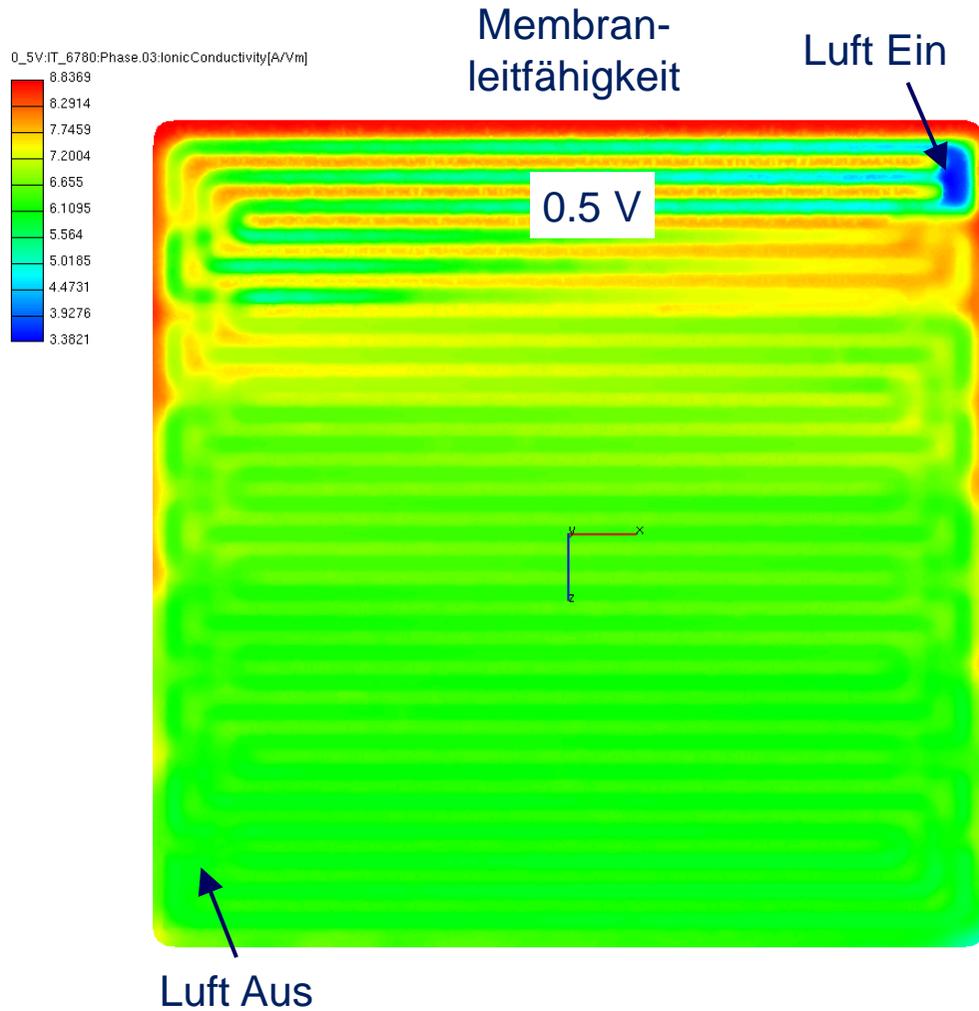
Coarse Flow Field: ~1.8 Mio. Zellen



Fine Flow Field: ~8.4 Mio. Zellen



25 cm² Baltic Cell Simulation - Ergebnisse



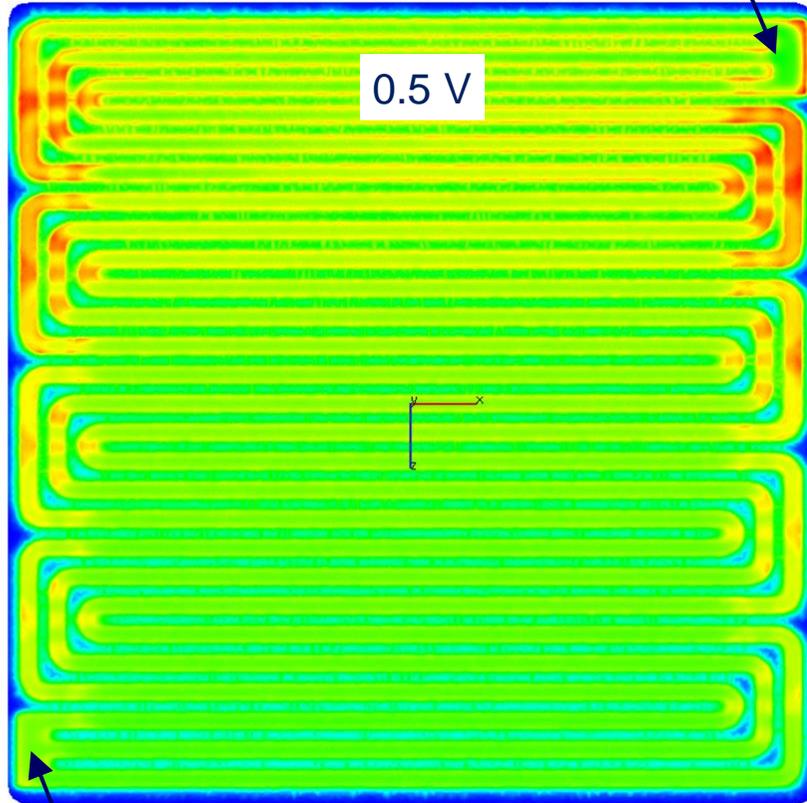
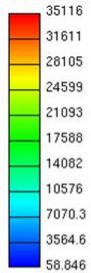
25 cm² Baltic Cell Simulation - Ergebnisse

Stromdichte-
verteilung

Luft Ein

0.5 V

0_5V:IT_6760:Phase.03:IonicCurrentDensity[A/m²]

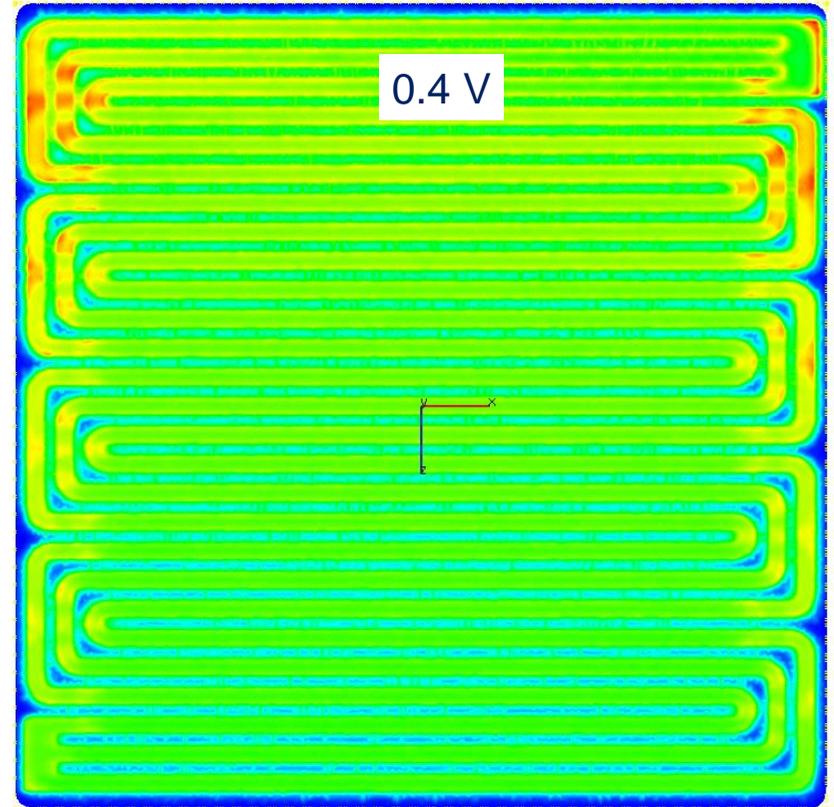
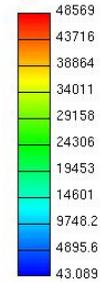


Luft Aus

Stromdichte-
verteilung

0.4 V

0_4V:IT_7197:Phase.03:IonicCurrentDensity[A/m²]

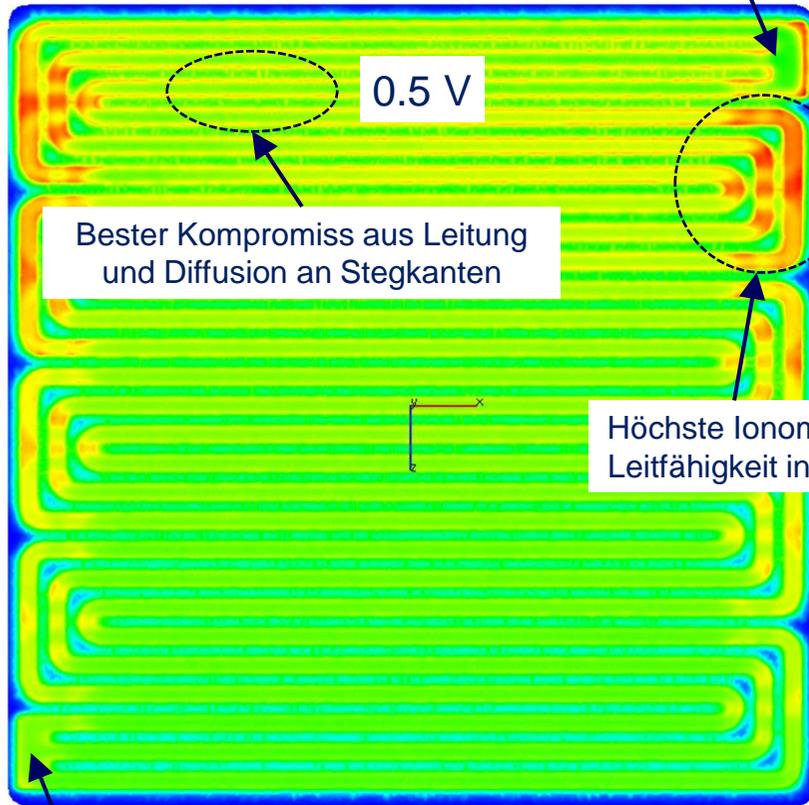
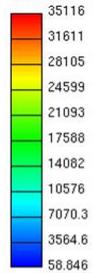


25 cm² Baltic Cell Simulation - Ergebnisse

Stromdichte-
verteilung

Luft Ein

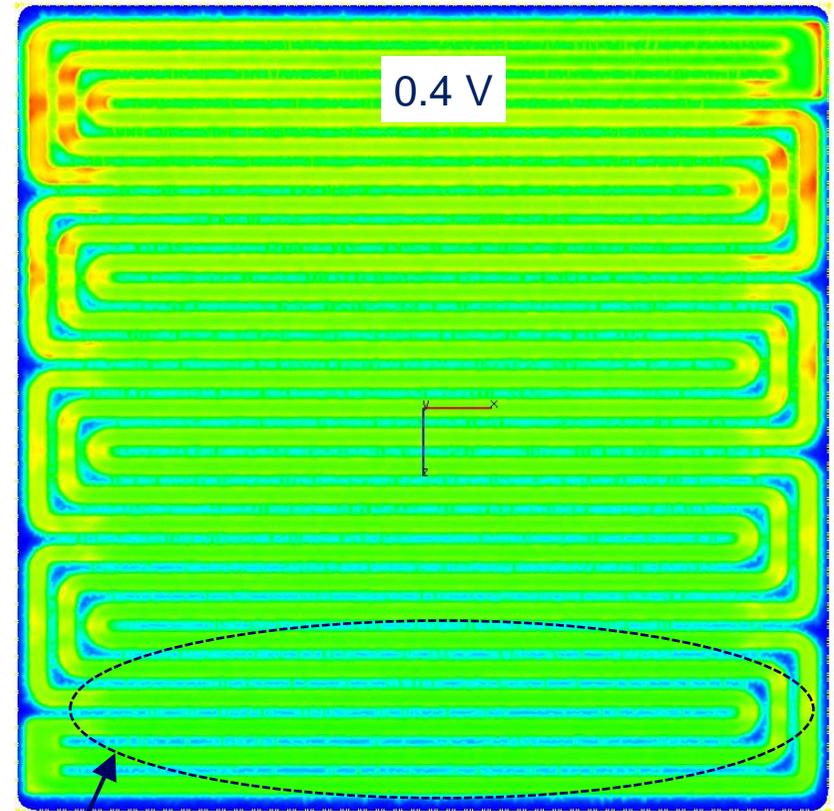
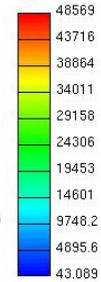
0_5V:IT_6760:Phase.03:IonicCurrentDensity[A/m²]



Luft Aus

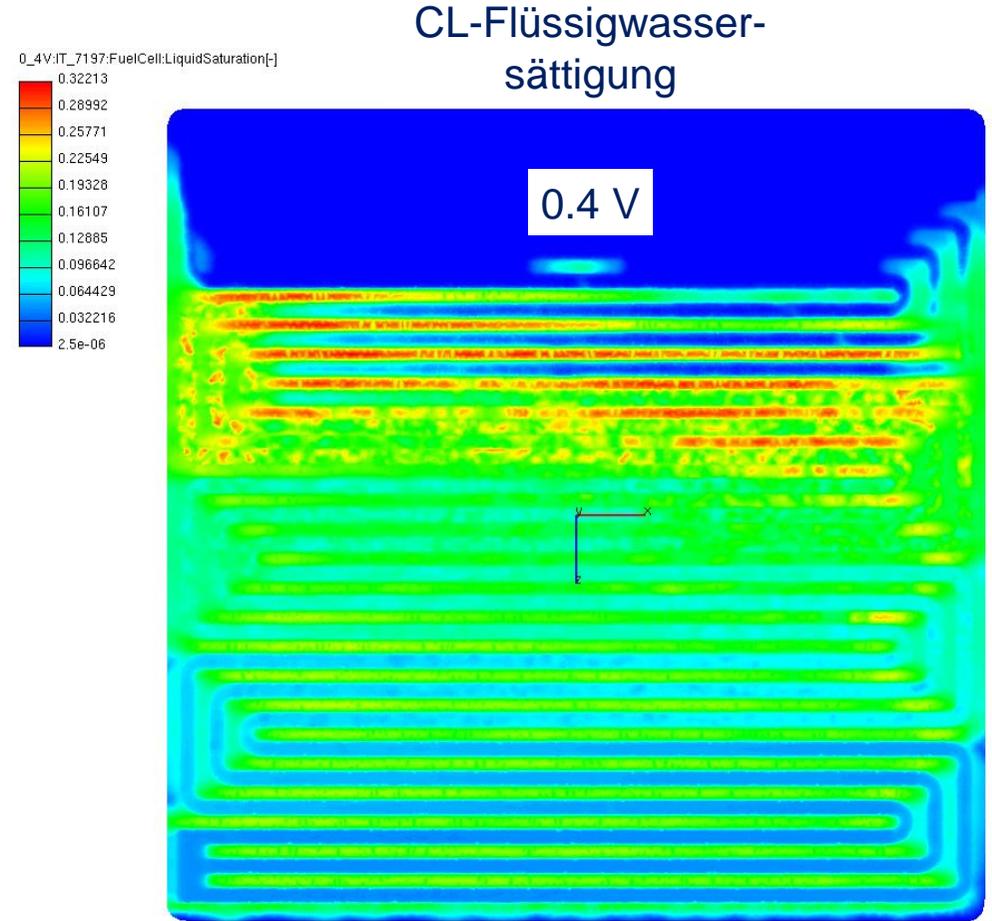
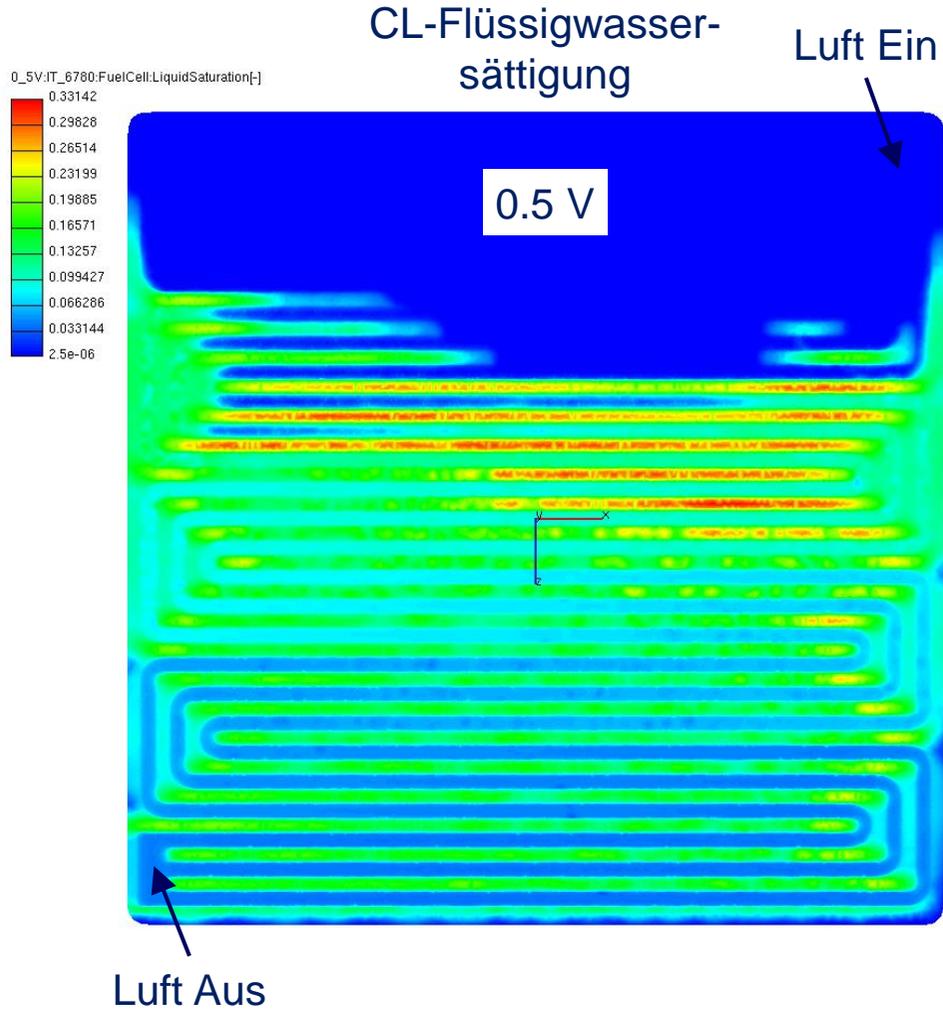
Stromdichte-
verteilung

0_4V:IT_7197:Phase.03:IonicCurrentDensity[A/m²]



Schlechter Transport
unter Stegen

25 cm² Baltic Cell Simulation - Ergebnisse

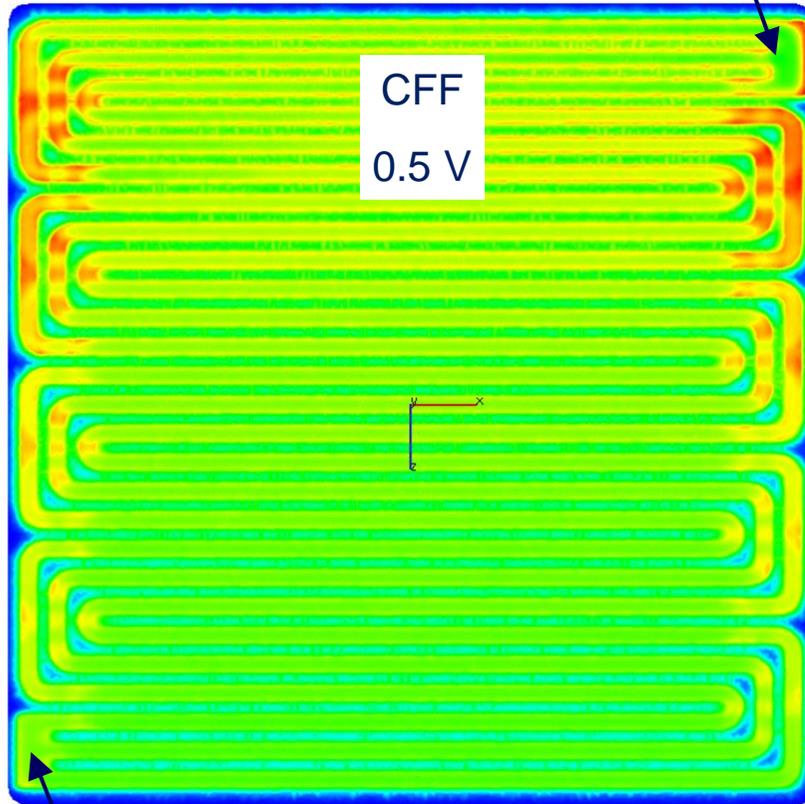
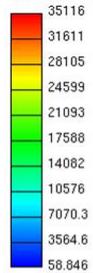


25 cm² Baltic Cell Simulation - Ergebnisse

Stromdichte-
verteilung

Luft Ein

0_5V:IT_6760:Phase.03:IonicCurrentDensity[A/m²]

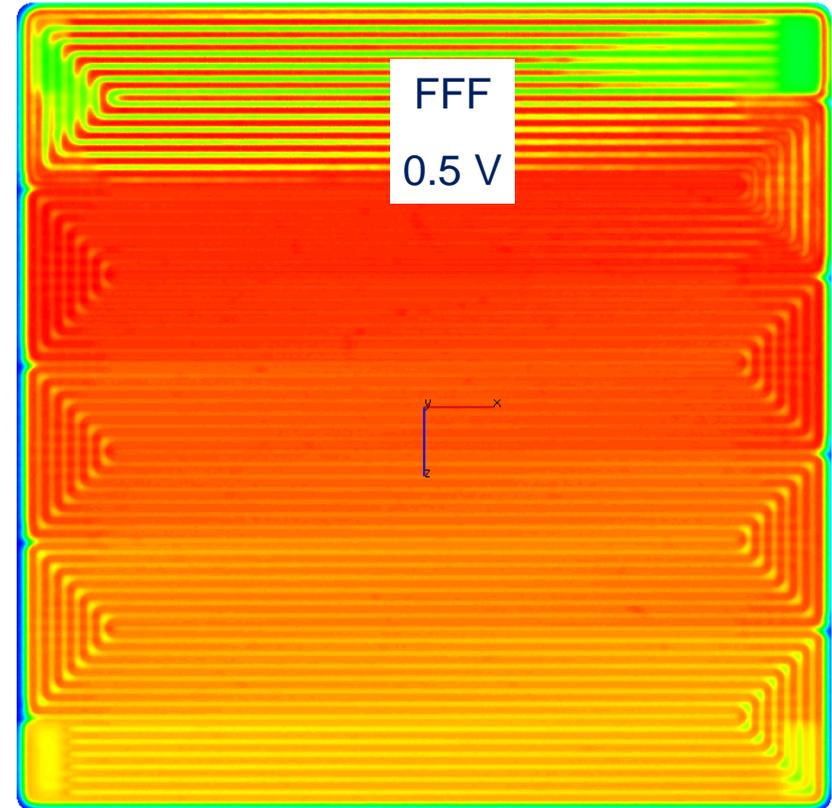
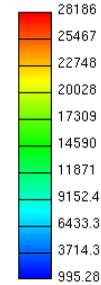


CFF
0.5 V

Luft Aus

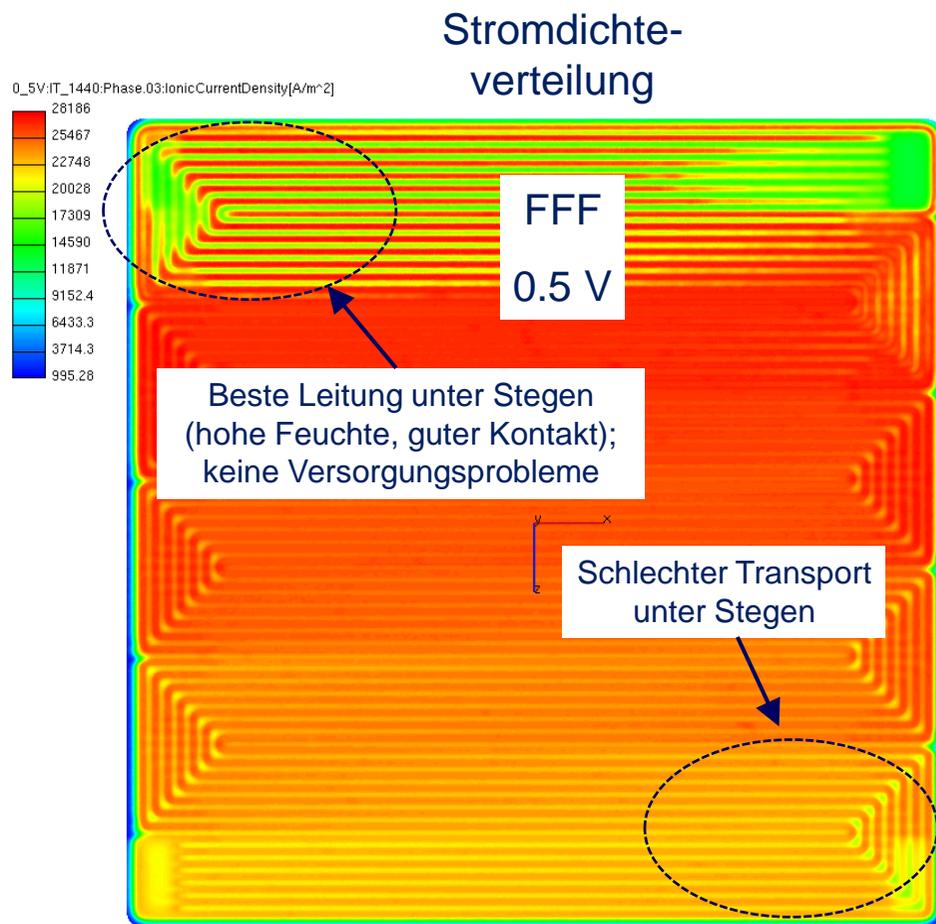
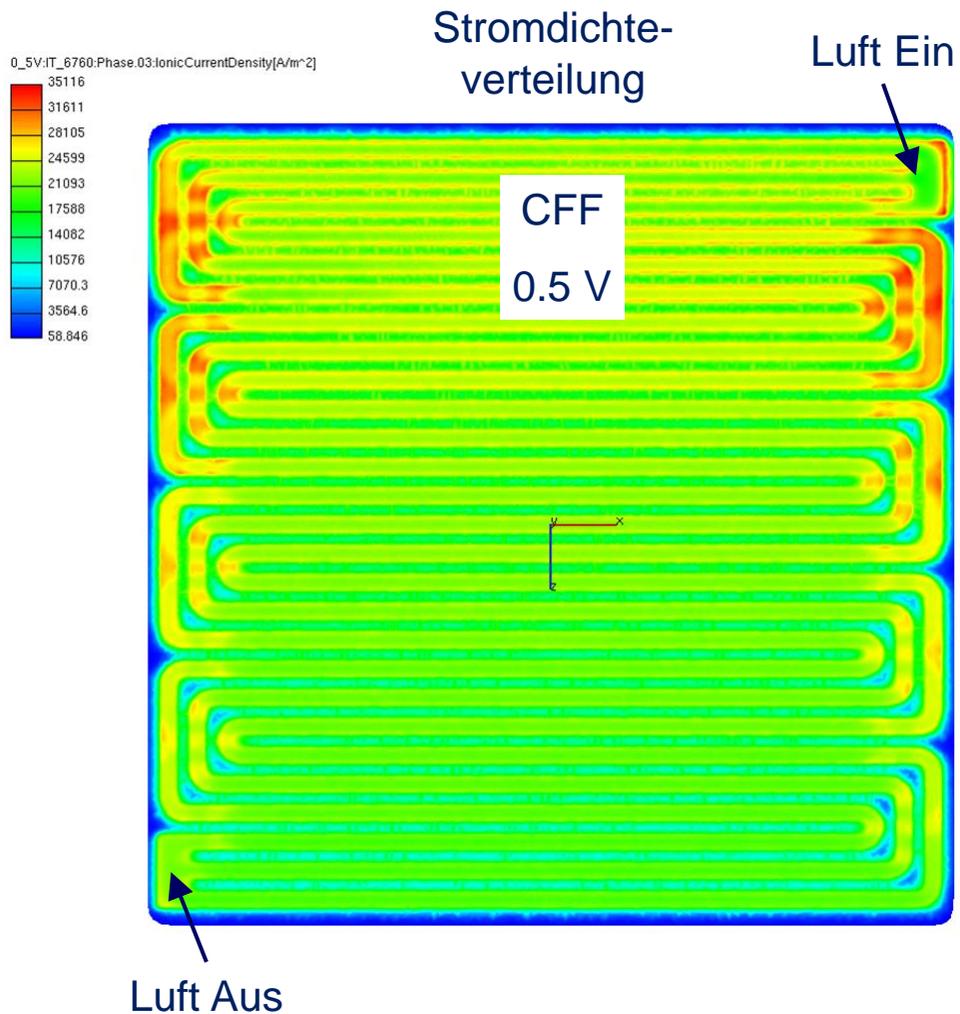
Stromdichte-
verteilung

0_5V:IT_1440:Phase.03:IonicCurrentDensity[A/m²]

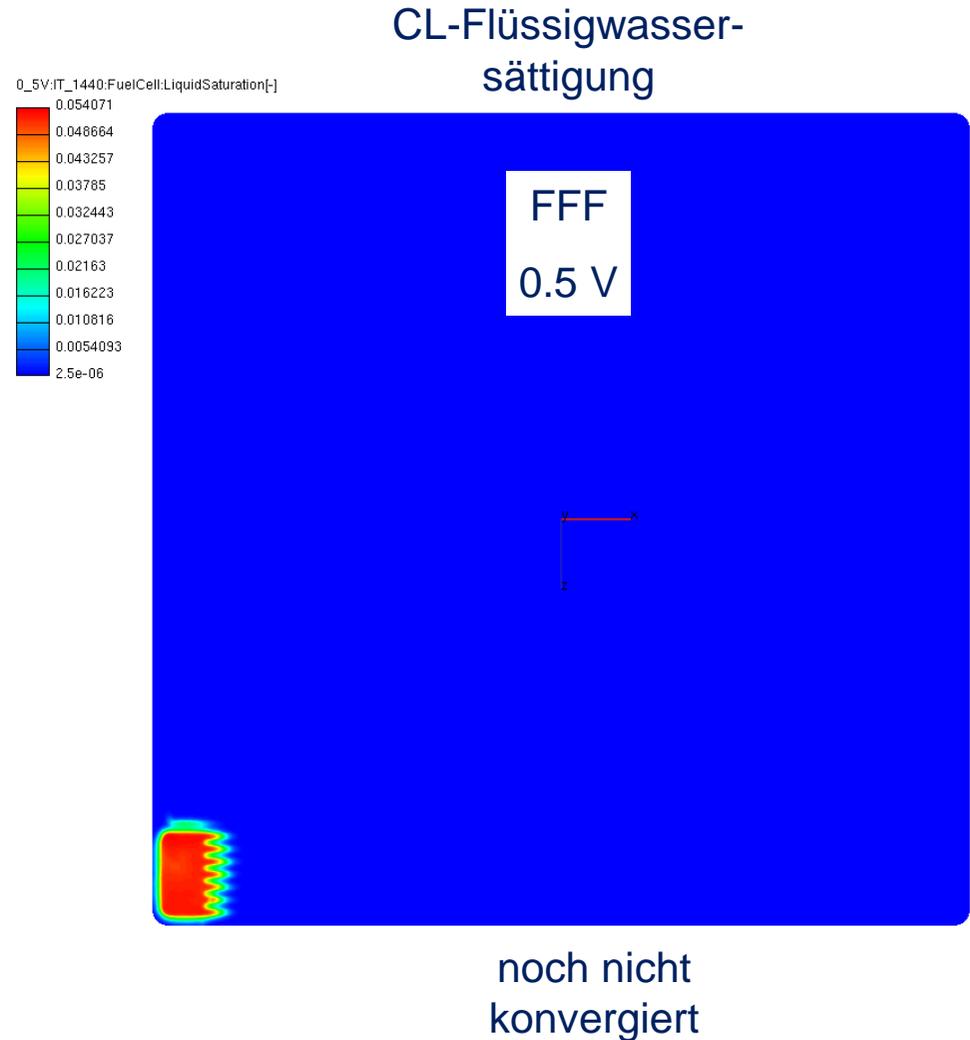
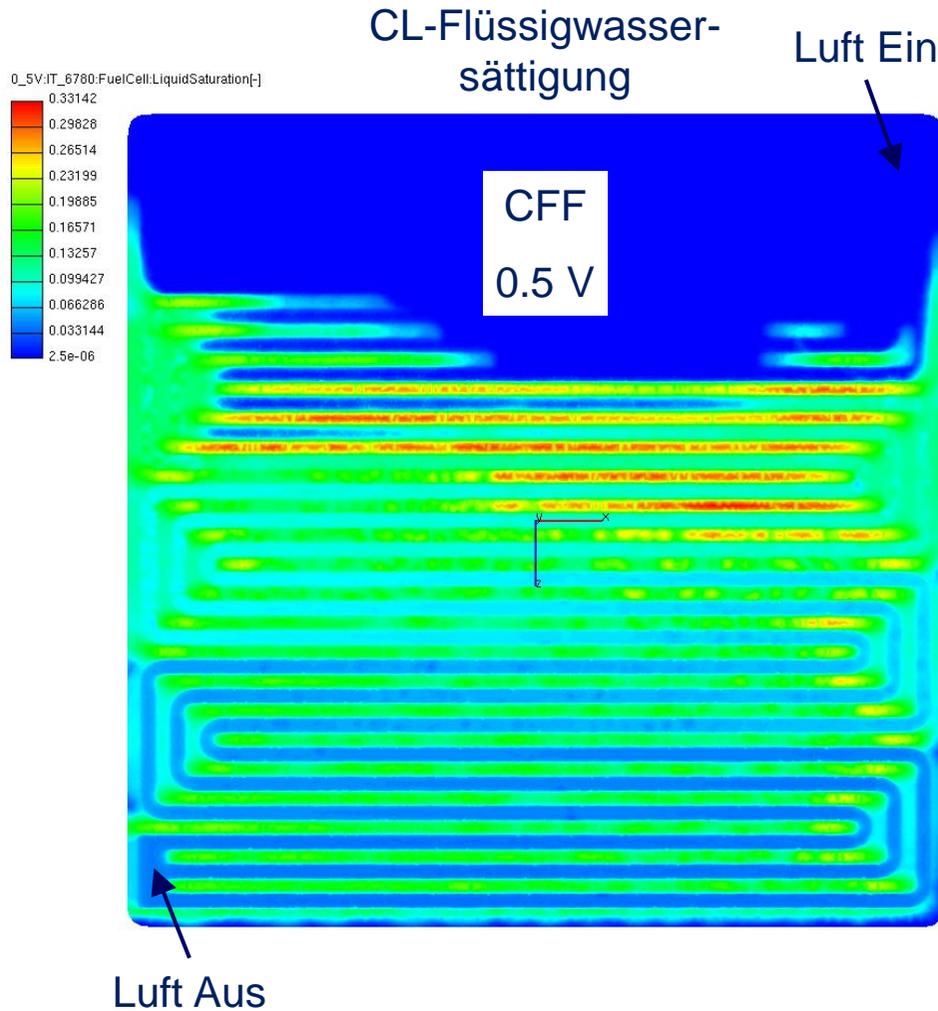


FFF
0.5 V

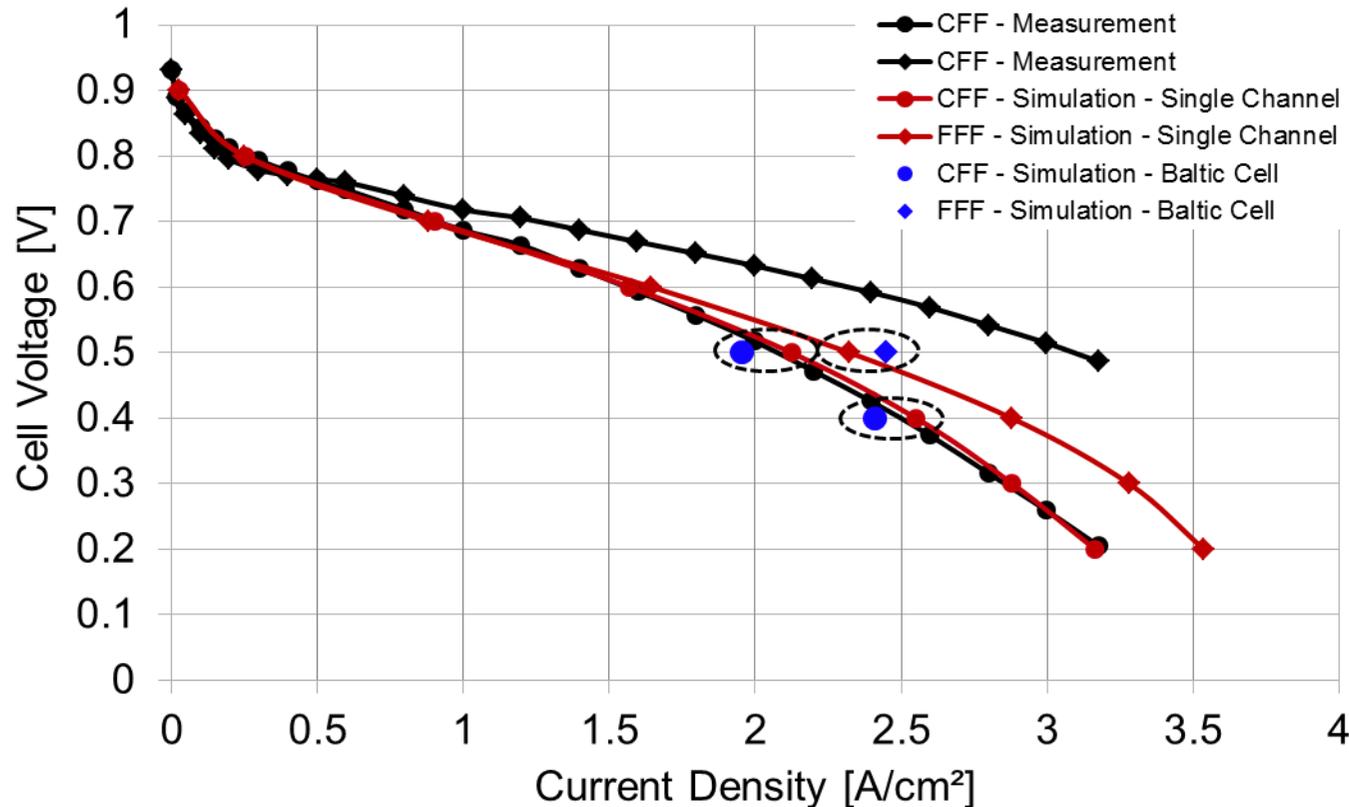
25 cm² Baltic Cell Simulation - Ergebnisse



25 cm² Baltic Cell Simulation - Ergebnisse



25 cm² Baltic Cell Simulation - Ergebnisse



- Gleiche Parameter wie für Einzelkanal-Simulationen
- Coarse Flow Field (CFF) leicht niedrigere Performance als Single Channel
- Fine Flow Field (FFF) noch nicht verlässlich auskonvergiert (tendenziell sinkt Stromdichte weiter)

Zusammenfassung

- Ergebnisse für Einkanalmodell und Realzellenmodell tendenziell vergleichbar
 - etwas höhere Verluste in Realzelle (wahrscheinlich aufgrund der Geometrie in den Umlenkungen und an Rändern)
 - Einkanalmodell kann für zeiteffiziente Untersuchungen verwendet werden

- Im Hochstrombereich sind Unterschiede aufgrund verbessertem Transport festzustellen
 - Einfluss unterschiedlicher Flowfield-Geometrien lässt sich qualitativ mit AVL FIRE untersuchen
 - lokale Effekte lassen sich detailliert untersuchen

- Dramatischer Unterschied zwischen Flowfields aus Messung kann in Simulation bisher nicht reproduziert werden

- Auswirkungen der Flowfield-Geometrie auf die effektiven Eigenschaften der porösen Schichten (GDL, CL) müssen weiter untersucht werden (andere Komprimierung -> verbesserter Kontaktierung von Ionomer und Leitung?)

Thank you for your attention!

Contact:

Lukas Feierabend

l.feierabend@zbt-duisburg.de

+49-(0)203-7598-2353

www.zbt-duisburg.de

