



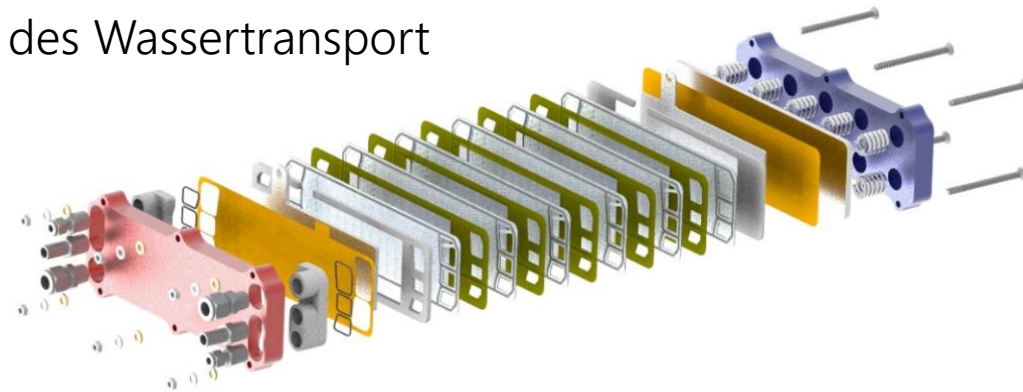
HyFaB: Generischer Stack und Stapelanlage

Frank Häußler, Ludwig Jörissen, ZSW

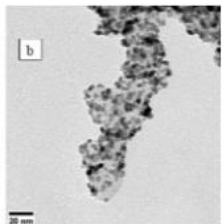
H2-Kolloquium Baden-Württemberg | 04.–05. Juni 2024, Baden-Baden

Brennstoffzellenstack:

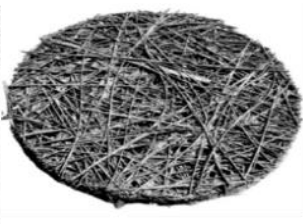
- Katalysatoren, Elektroden, Membran-Elektroden-Einheiten (MEA)
- Medienströmung, Wärmemanagement
- Visualisierung der Wasserproduktion und des Wassertransport
- Konstruktion
- Simulation & Modellierung
- Prototyping
- Fertigungstechnik
- Brennstoffzellentest
- Medienqualität (Wasserstoff, Luft, Wasser)
- Systemintegration



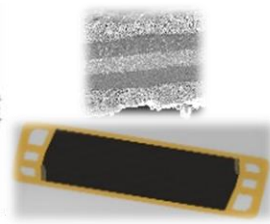
CAD: Explosionszeichnung eines Brennstoffzellenstack



Katalysator



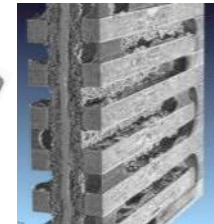
GDL



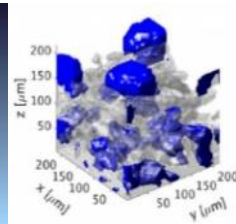
MEA



BPP



Visualisierung



Modellierung



Fertigung



Test



H2 Qualität

HyFaB Projekt: "Kurz & bündig"

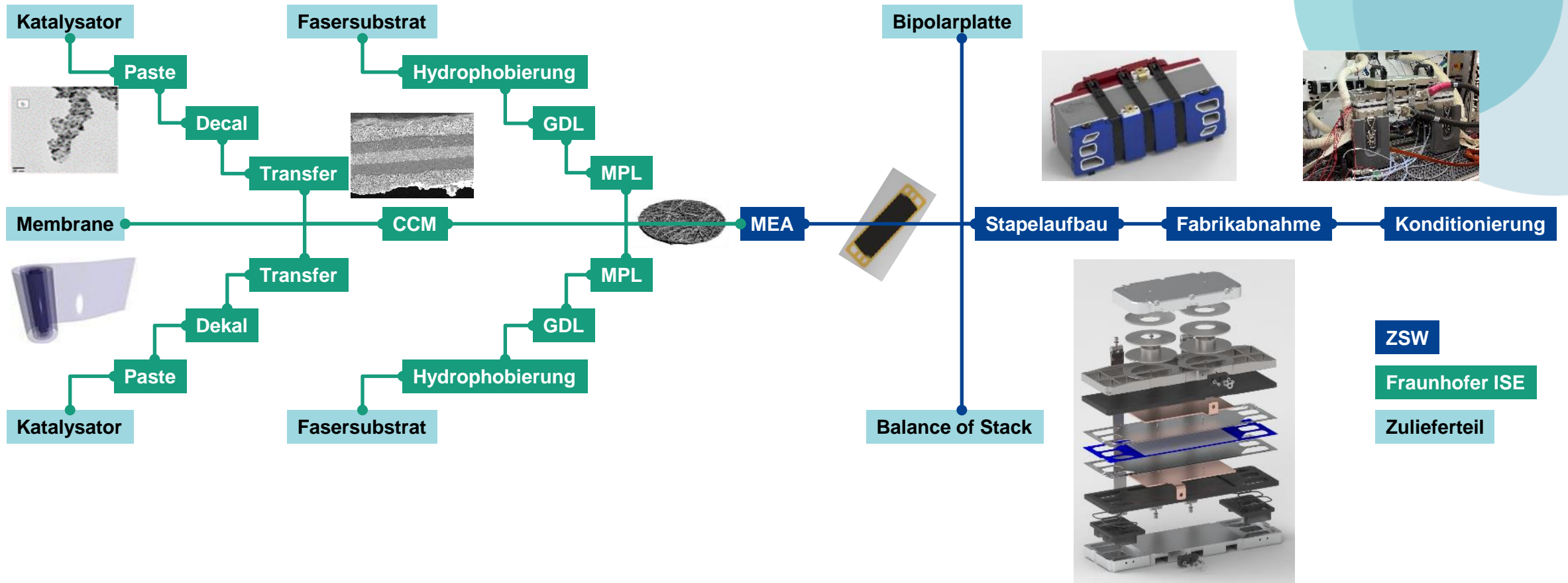


- Gemeinsames Projekt des ZSW, Fraunhofer ISE und des VDMA mit finanzieller Unterstützung des WM und UM Baden-Württemberg und des BMDV
- Unterstützung der Brennstoffzellenindustrie in Deutschland beim Übergang von der handwerklichen Montage zur Industrialisierung
- Schwerpunkte: PEM-Brennstoffzellenstack und dessen Komponenten, Montage, End-of-Line-Prüfung und Inbetriebnahme
- Einstiegsplattform für Newcomer, insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen
- Erstellung und Bewertung von Qualitätsverfahren
- Generierung von Branchenwissen

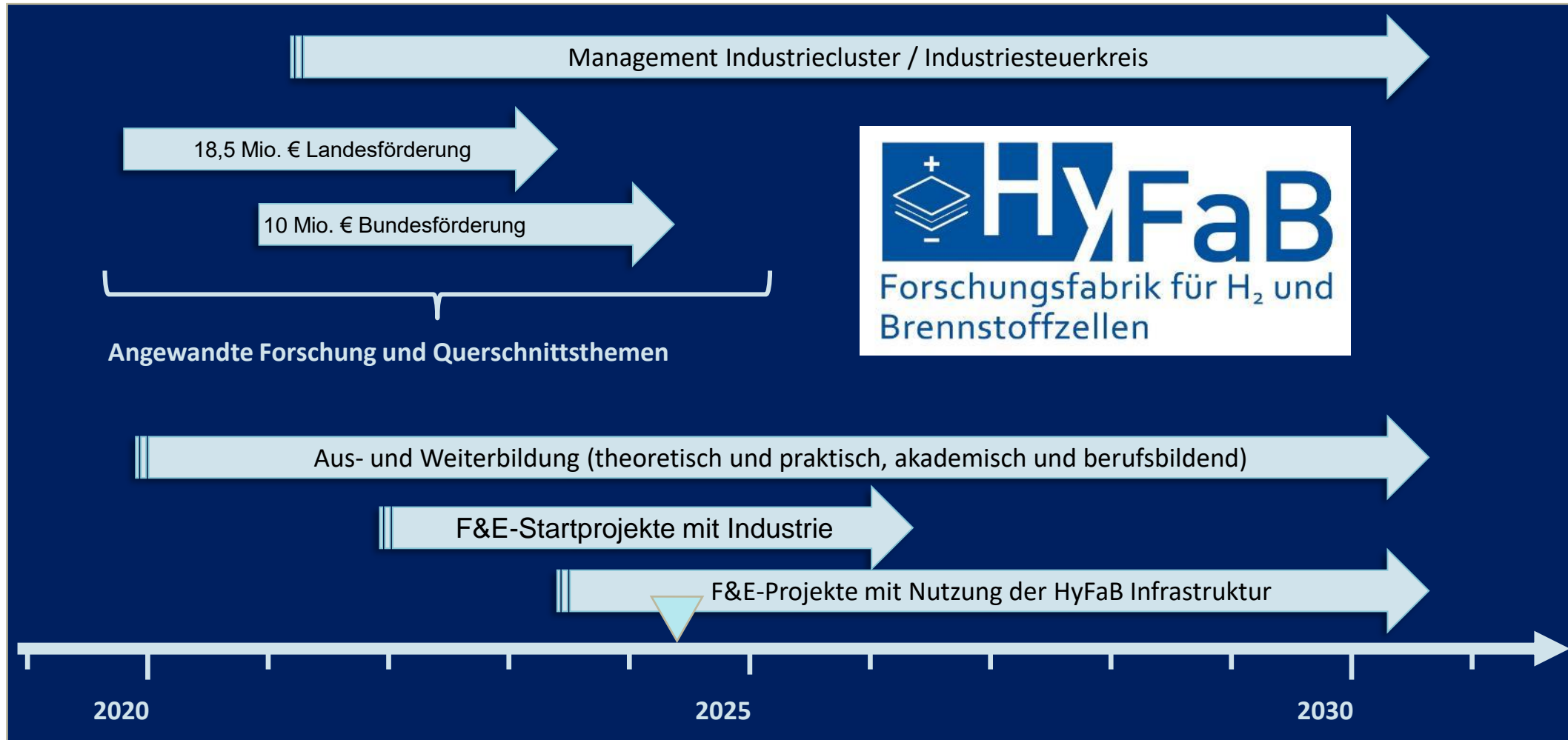
„Das Rad nicht noch einmal erfinden - sondern es zum Rollen bringen“

- Bereitstellung eines herstellerunabhängigen "Generischen Stacks" als einheitliche Hardware für Partner, Mitentwickler...

Wertschöpfungskette Brennstoffzellenstack



HyFaB Zeitplan – F&E Projekte



HyFaB – Brennstoffzellentestzentrum mit Gaslager





USY 95H

https://ecgrafonv.zsw.bw.de/d/1sch1gE4as/testbench-overview-touch?orgid=7&refresh=5m&var-Datasource=ECSM

23.08.2023 11:46:39

ID	Time	Status	Current (A)	Voltage (V)
TST01	2023-08-23 11:44:43	Normal Operation	26.3 A	0.769 v
TST03	2023-08-23 11:29:42	22.3 amv No data	No data	No data
TST04	2023-05-03 10:43:51	16.1 amv No data	No data	No data
TST06	2023-08-23 11:44:48	0v Normal Operation	25.7 A	0.805 v
TST07	2023-08-23 11:44:49	0v Normal Operation	25.8 A	0.835 v
TST09	2023-08-23 11:44:49	0v Normal Operation	No data	0.746 v
TST10	2023-08-27 09:17:15	0.16 amv No data	0 A	No data
TST105	2023-08-23 11:44:51	0v Setup	171 A	0.144 v
TST12	2023-08-23 11:44:51	0v LB-Control	No data	0.761 v
TST13	2023-08-10 09:39:06	1.87 amv No data	300 A	No data
TST14	2023-08-23 11:45:00	-7v Normal Operation	No data	0.826 v
TST15				
TST16	2023-08-23 11:44:52	0v No data	360 A	No data
TST17	2023-08-23 11:44:51	0v LB-Control	No data	0.603 v
TST18				
TST19	2023-08-23 11:44:53	2v Normal Operation	No data	0.627 v
TST23	2023-08-23 11:44:53	0v No data	0.190 A	No data
TST26	2023-04-18 17:13:10	3v Normal Operation	No data	No data
TST27	2023-08-17 11:03:42	18.1 amv No data	184 A	0 v
TST30	2023-08-23 11:46:42	6.03 amv LB-Control	451 A	No data
TST32	2023-08-23 11:46:42	-178 amv LB-Control	No data	0.743 v
TST38	2023-08-23 11:44:51	1.83 amv	4 A	0.850 v
TST39	2023-08-23 11:44:55	0v		

Source: 2.45 kg, Top: 279 kg, Bottom: 2044 kg

Druckluft-Volumenstrom: 0 v

HyFaB: Brennstoffzellentestzentrum in Betrieb



Wasserstoff-Qualitätslabor HyLaB



HyFaB – Generischer Stack

Premiere auf der Hannovermesse April 2023

Motivation:

Die Industrialisierung von Brennstoffzellenstacks benötigt eine offen zugängliche, herstellerunabhängige Plattform

zur Entwicklung und Erprobung von Montageverfahren (Produktionsforschung)

für F&E im Bereich Systemintegration, Recycling etc.

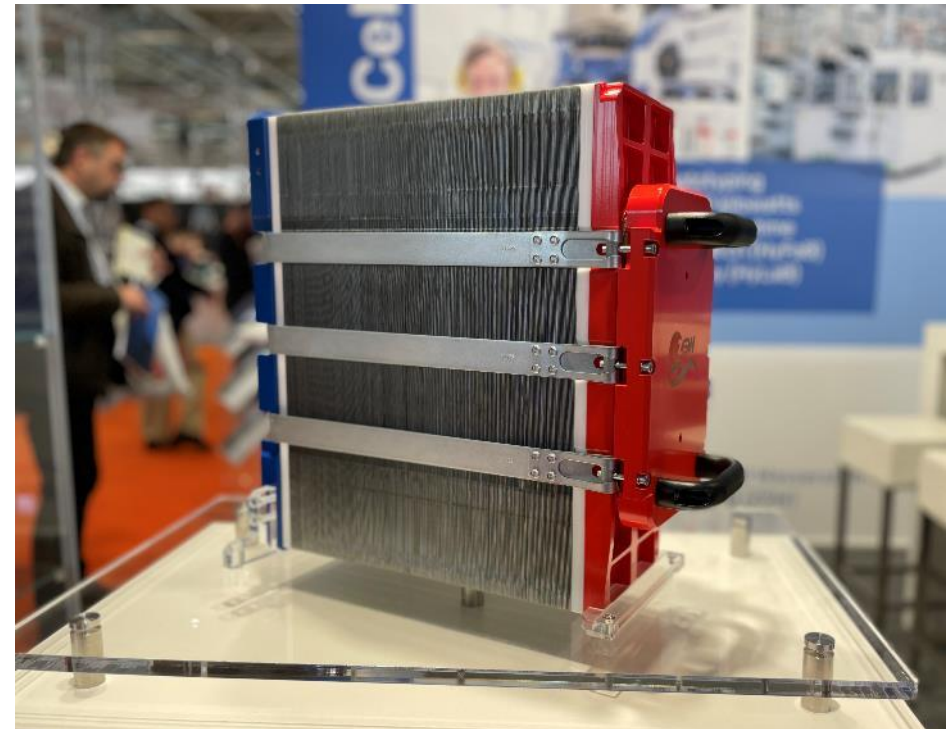
Zum Benchmarken von Komponenten

Ansatz:

ZSW und EKPO Fuel Cell Technologies realisieren eine offene Entwicklungsplattform für F&E-Arbeiten bei Forschungsorganisationen und der Industrie:



Bipolarplatte (BPP) und CAD Rendering des „generischen Stacks“



Entstehungsgeschichte



EKPO FUEL CELL TECHNOLOGIES

EKPO FUEL CELL TECHNOLOGIES

EKPO FUEL CELL TECHNOLOGIES



Industrie-
dialog
zur Konzept-
findung

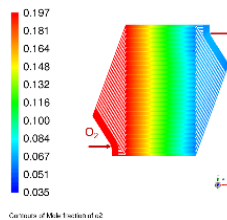
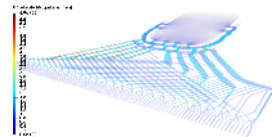
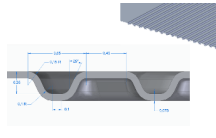
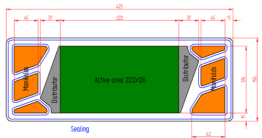
Basisaus-
legung und
Simulation

Detailkon-
struktion
Strömungs-
verteiler und
-simulation

Werkzeug-
konstruktion
und -bau

BPP-
Fertigung

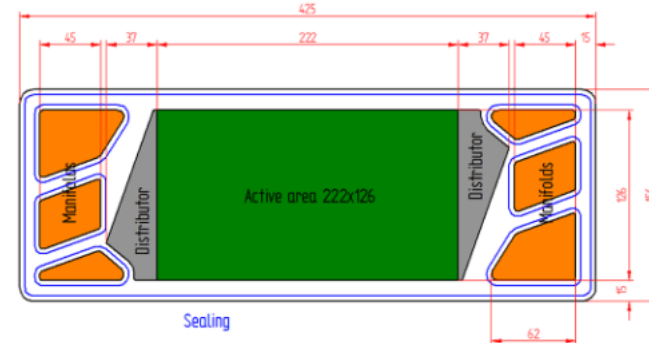
Stackbau
und -tests



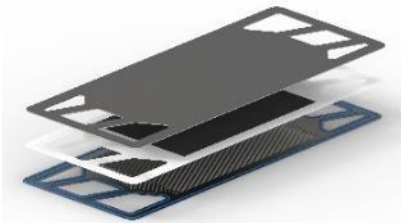
Ein offenes und modulares Stack-Design

Musterteile für die Brennstoffzellenindustrie nach dem neuesten Stand der Technik:

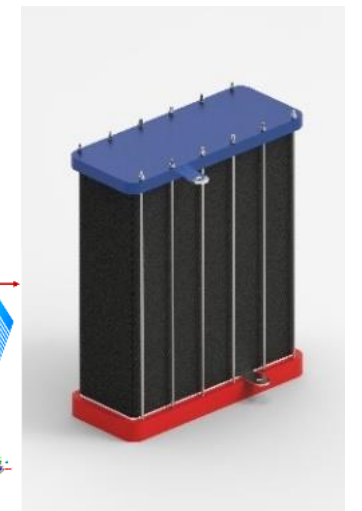
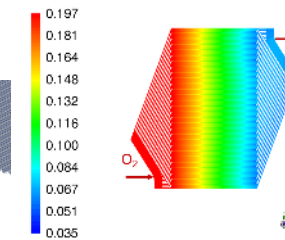
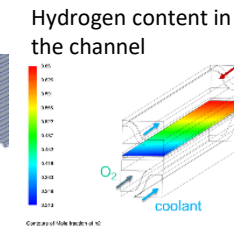
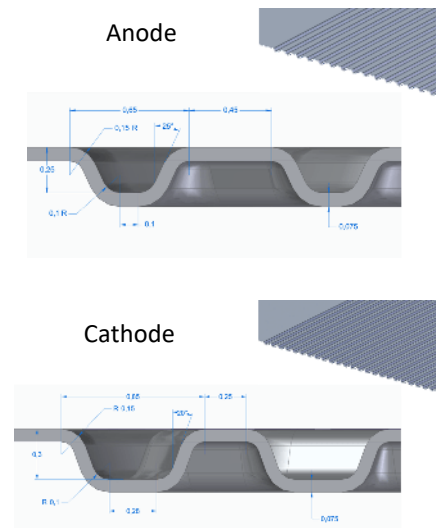
- Vorarbeiten im FVV-Projekt "generischer Stack" mit Konsens einer übergeordneten Stack-Spezifikationen im Industriedialog
- Flowfeldauslegung und Strömungssimulationen durchgeführt, die Ergebnisse werden auch für Dritte verfügbar gemacht
- Leistungsdichte wie für Automobilanwendungen bis zu 150 kW
- Nach Patentrecherche frei von Rechten Dritter
- EKPO agiert als Industriepartner für die Serienproduktion von metallischen Bipolarplatten
- Erste Nachfrage nach Musterteilen für F&E-Vorhaben bei Forschungsorganisationen und in der Industrie gesichert
- Bipolarplatten in graphitischer Ausführung in Planung



BPP-Design



Single cell



Rendering: 300 cells stack

BPP Simulation

Zielsetzung

Entwurf von metallischen Bipolarplatten (BPP) mit Hilfe von Computational Fluid Dynamics (CFD*). Die BPP werden für einen generischen Stack entworfen, der als offene Basisentwicklungsplattform im Rahmen des HyFaB-BW-Projekts verwendet wird.

Einzelzelle / BPP Strömungsfeldsimulationen:

Anpassen von:

- Verteiler-Bereiche und Einzelkanalquerschnitte
- Simultane Optimierung der Kanal-Flussverteilung für Anode, Kathode und Kühlmittel)
- Kanal-Steg Verhältnis (Diffusionslängen für Reaktanden)

Zu optimieren:

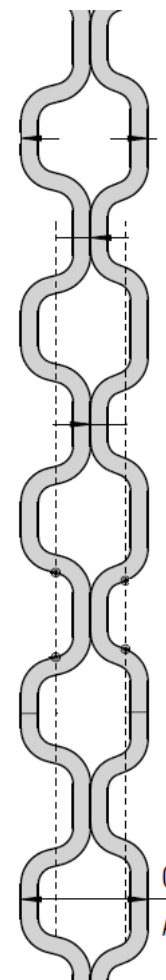
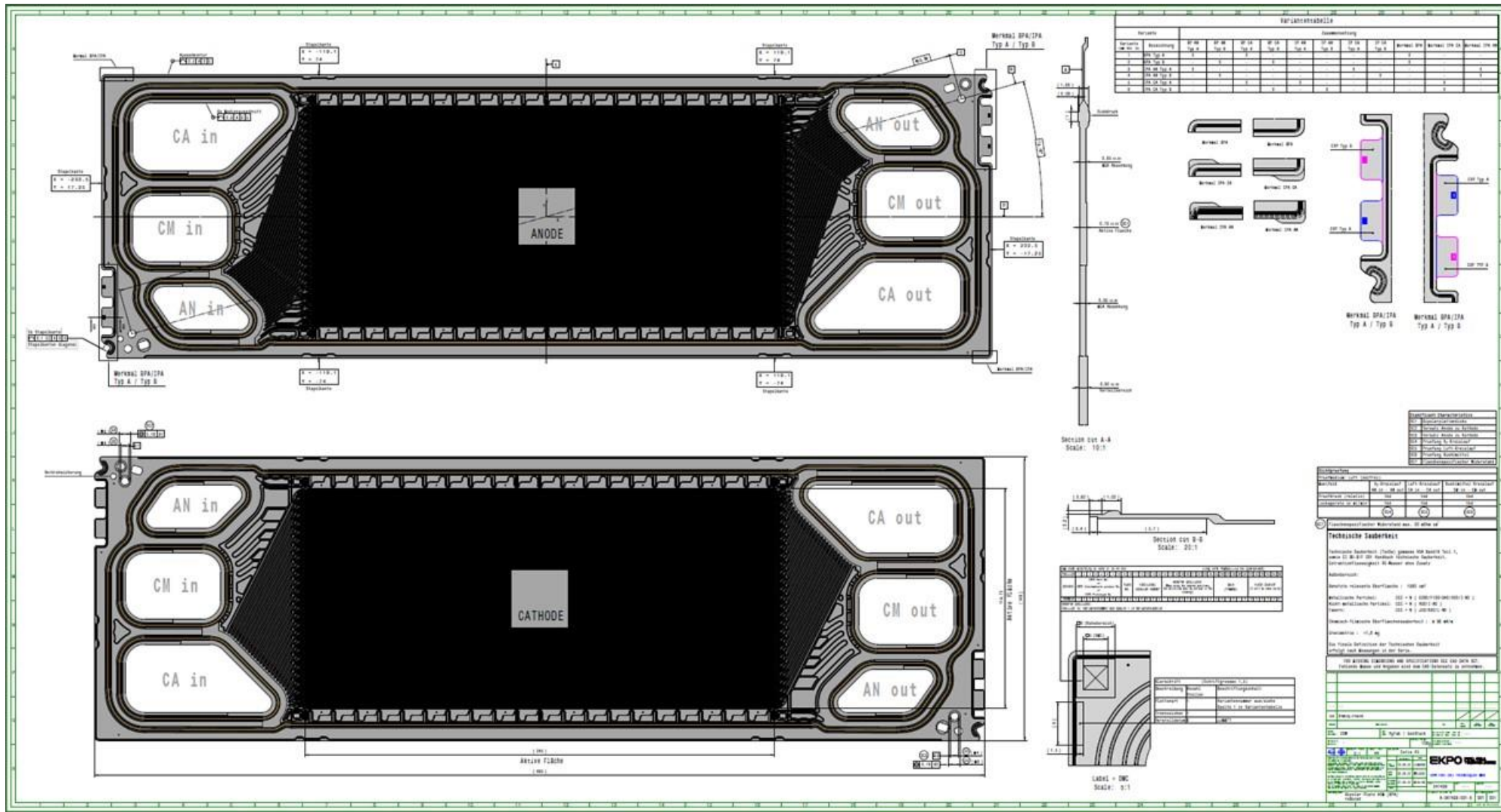
- Reaktandenverteilung an den Katalysatorschichten
- Temperatur-Verteilung
- Hilfsenergiebedarf über Adaption des Druckabfalls über das Verteilerfeld (DpBPP,ff)

* Unter Verwendung von OpenFOAM (open source (GNU)) und ANSYS® FLUENT® (kommerziell)

Randbedingungen der Simulation

Randbedingungen		Anode	Kathode	Kühlmittel
Druck (bar(a))	Einlass	2.42	2.25	-
	Auslass	2.20	2.00	-
Temperatur / °C	Einlass	95.0	83.0	83.0
	Auslass	83.0	95.0	95.0
Taupunkttemperatur / °C	Einlass	71.9	70.7	-
	Relative Feuchte @ T _{in/out}	44 %	68 %	-
Molarer Anteil H ₂ /O ₂ (trocken)	Einlass	70 %	21 %	-
	Molarer Anteil N ₂ (trocken)	30 %	79 %	-
Reaktandenumsatz	Einlass	67 %	56 %	-
	Stöchiometriefaktor (λ)	1.5	1.8	-
Active Zellfläche / cm ²	280	El. Wirkungsgrad (η _{el})	39 %	
Strom (I) / A	700	Wärmeleistung (p _{th})	630.4	
Stromdichte (i)	2.50	Kühlmittelstrom / kg·s ⁻¹	1.25·10 ⁻²	
Zellspannung (U) / V	0.58			
Zelleistung (P _{el})	406.3			

Konstruktion Bipolarplatte: BPP – Zeichnungssatz ist verfügbar

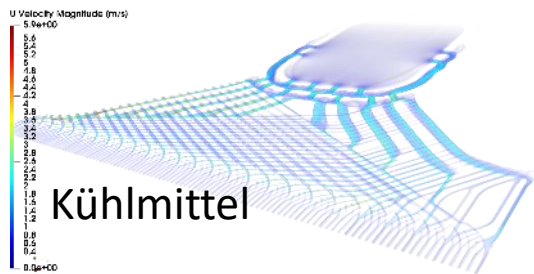
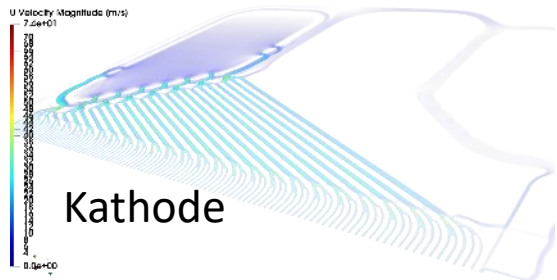
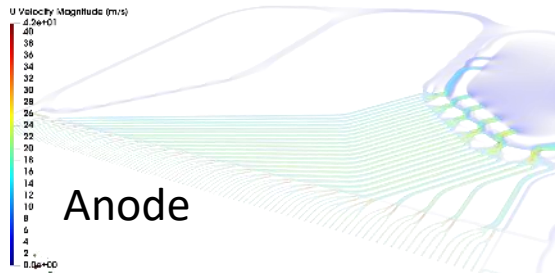


0.73 ± 0.03 0.03
Aktive Fläche

BPP-Simulationsbeispiele

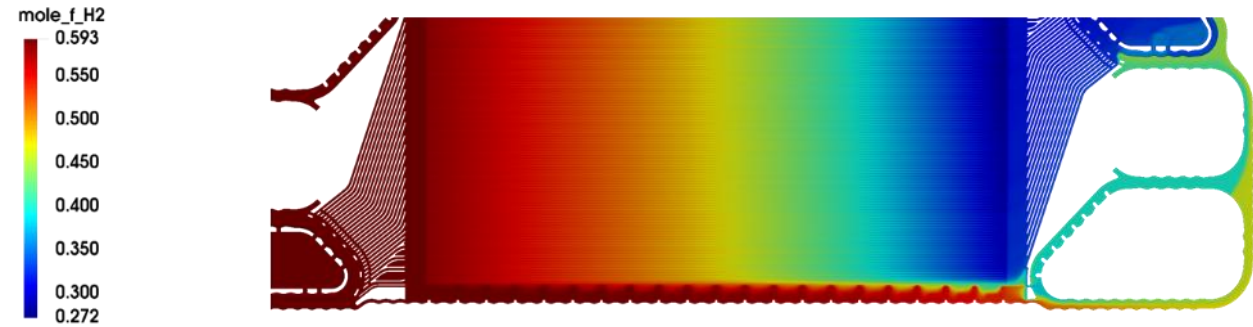
Stömungsgeschwindigkeiten und Reaktandenkonzentrationen

Strömungsgeschwindigkeiten

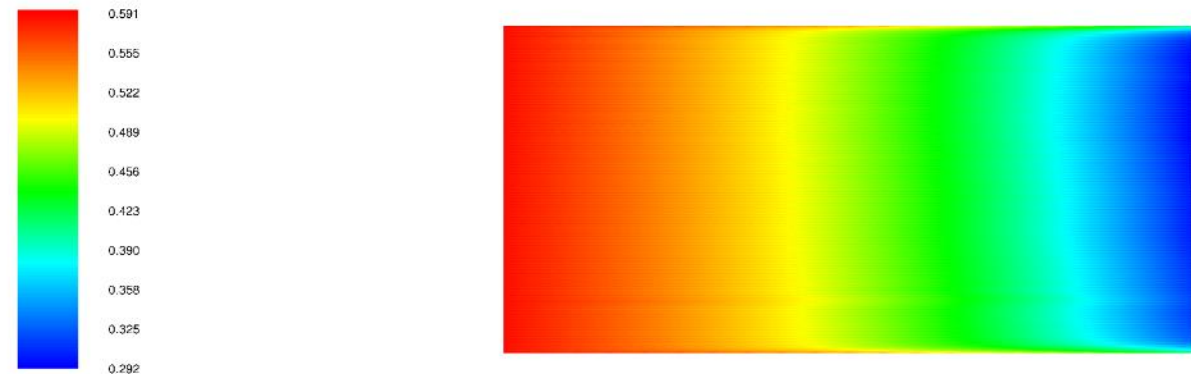


Wasserstoffanteil in der Mitte der Anoden-Katalysatorschicht

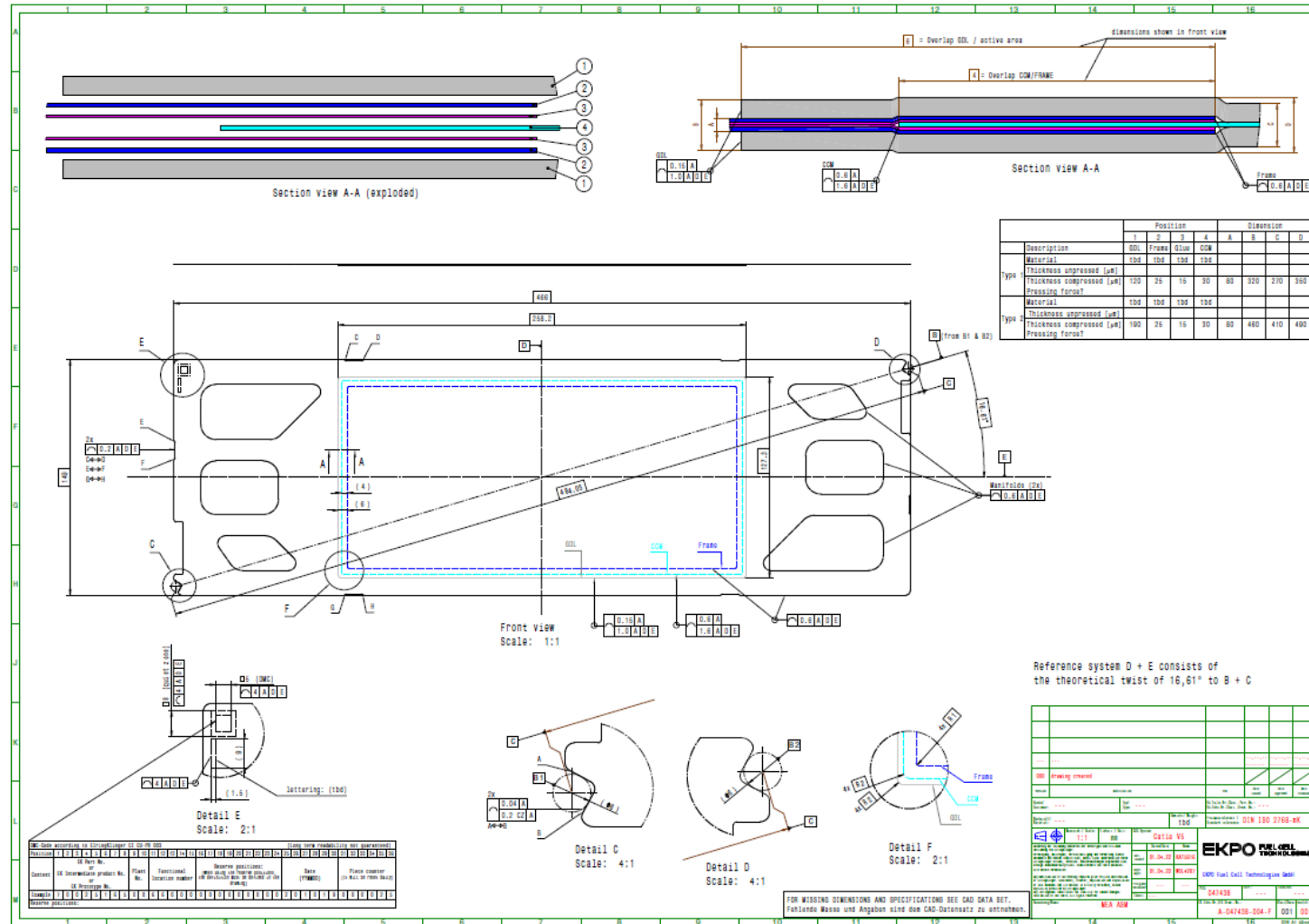
Vor Optimierung: Minimum bei 27.2 mol%



Nach Optimierung: Minimum bei 29.2 mol%



MEA – 7-Lagen Design



GDL Dicke im verpressten Zustand:

- Min. 120µm
- Max. 190µm

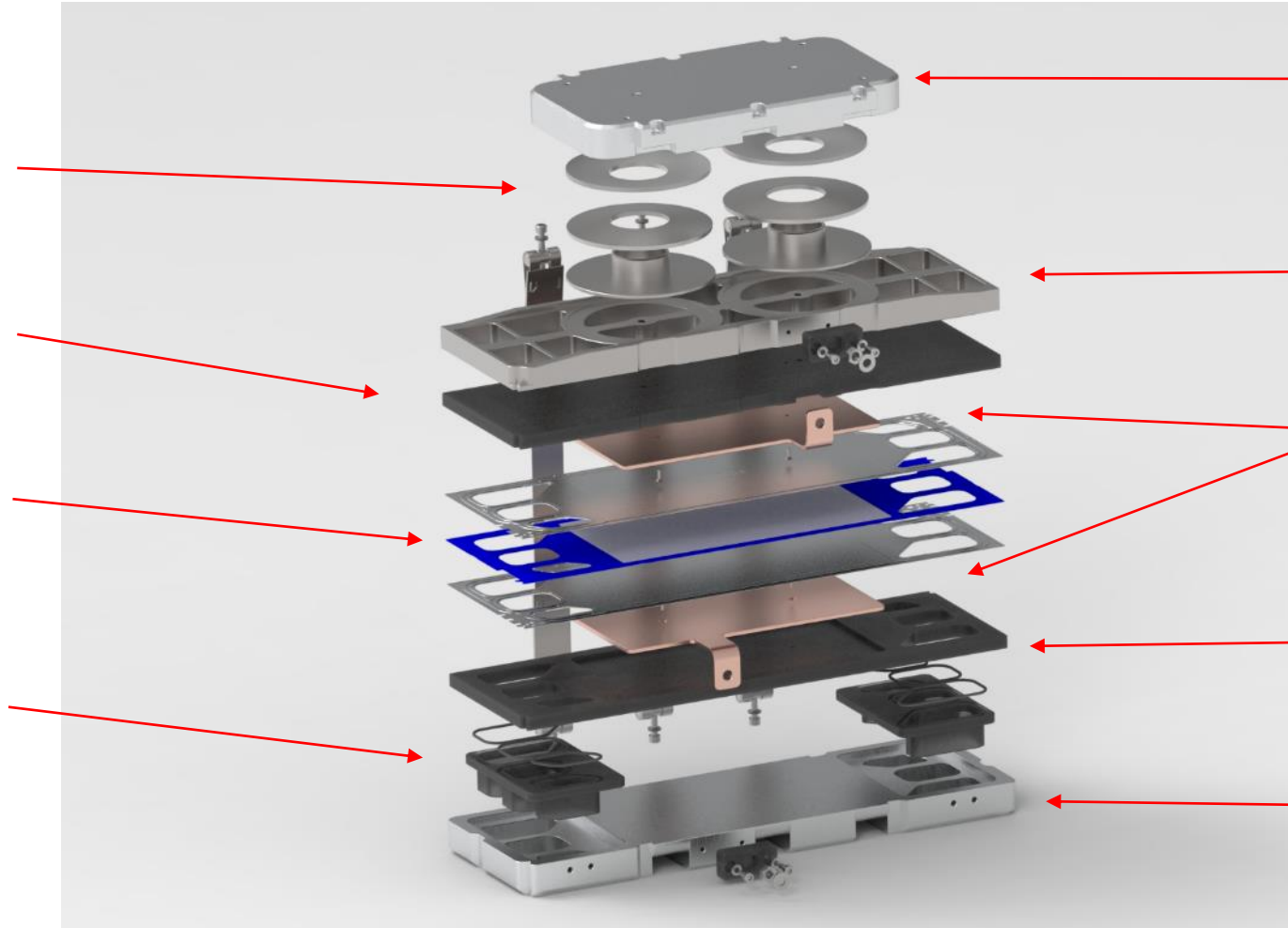
Explosions Ansicht

Tellerfedern mit
Führungsdorn

Isolationsplatte

Wiederholeinheit
BPP/ MEA

Inserts



Endplatte
Kathode

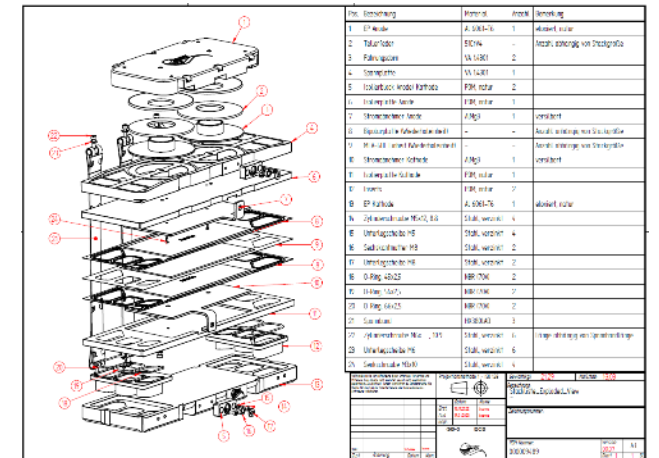
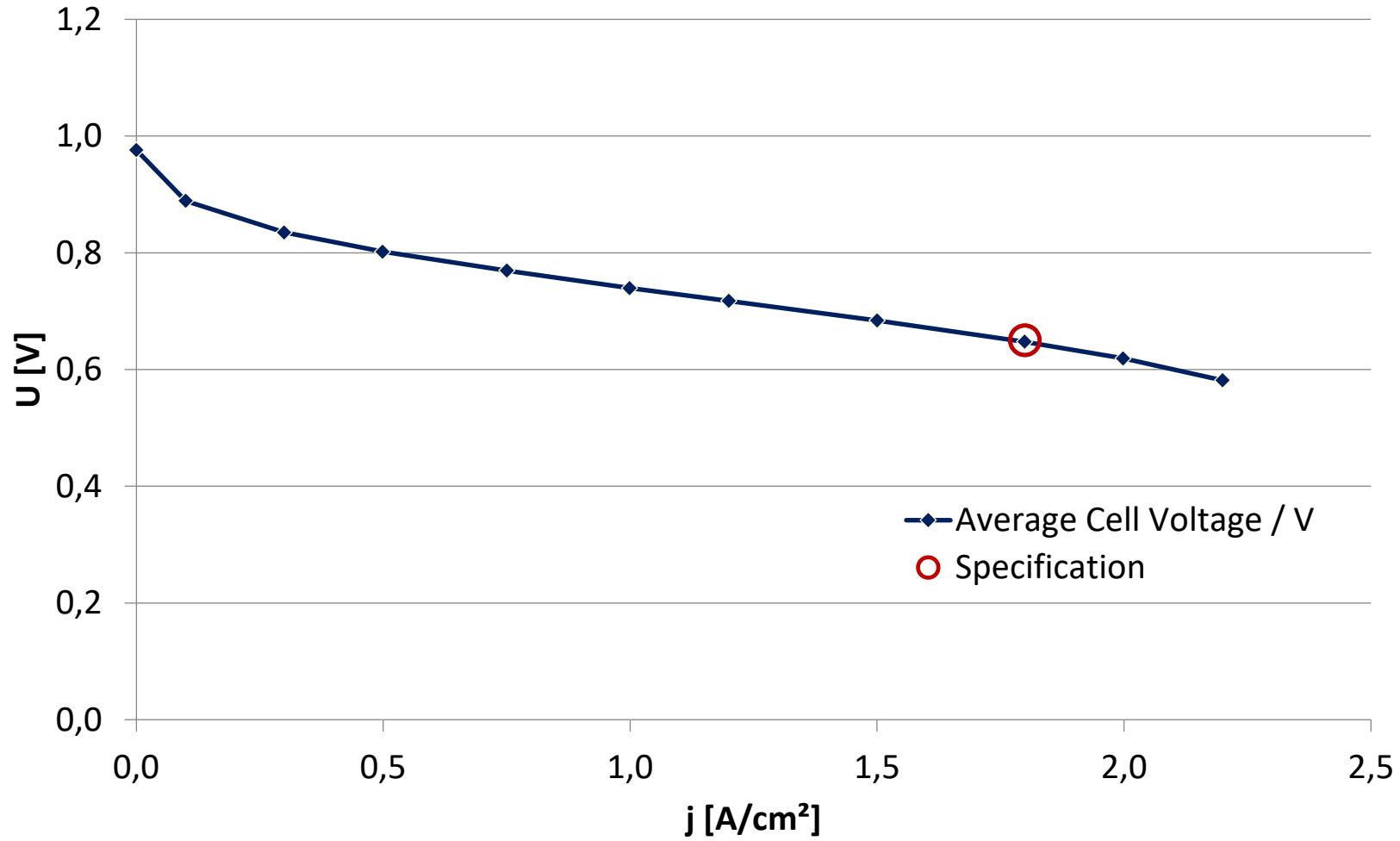
Spann-/Pressplatte

Stromabnehmer

Isolationsplatte

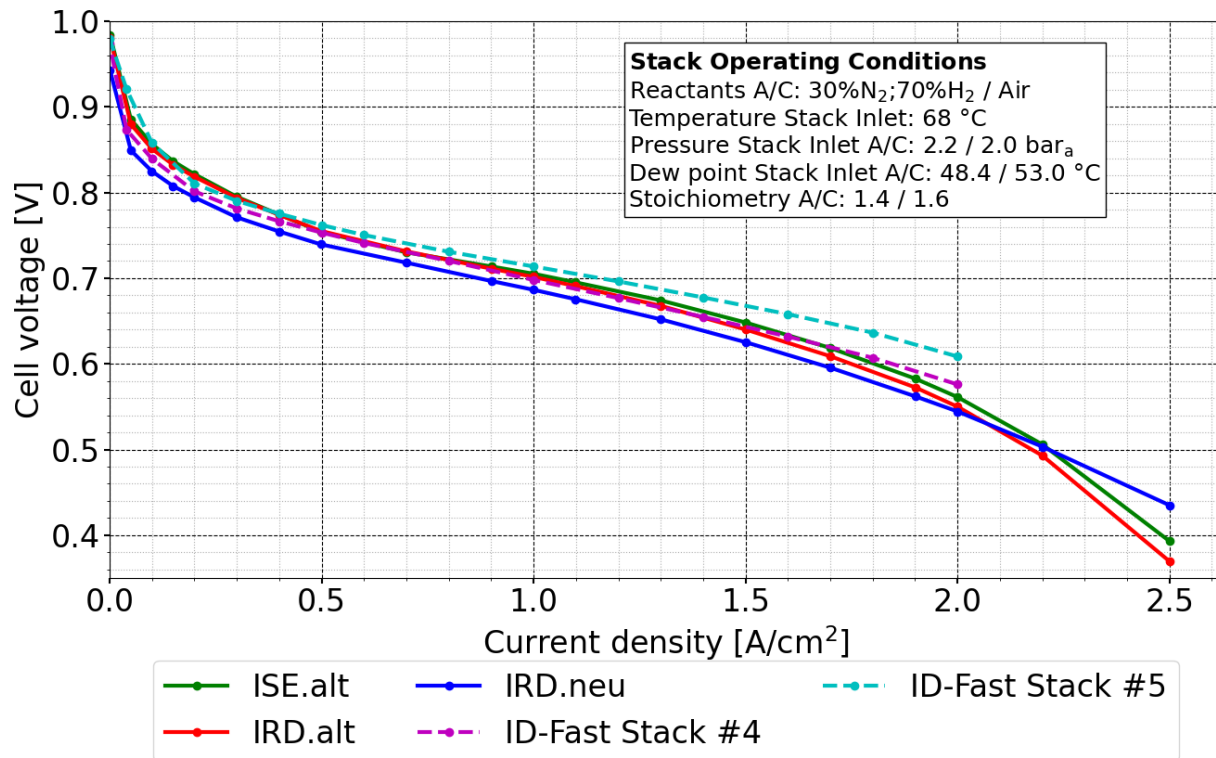
Endplatte Anode

Erste Testergebnisse: Die Zieldaten wurden mit kommerziell verfügbaren MEAs erreicht CCM and GDL



Vergleich verschiedener MEAs

Noch nicht optimierte Betriebsbedingungen

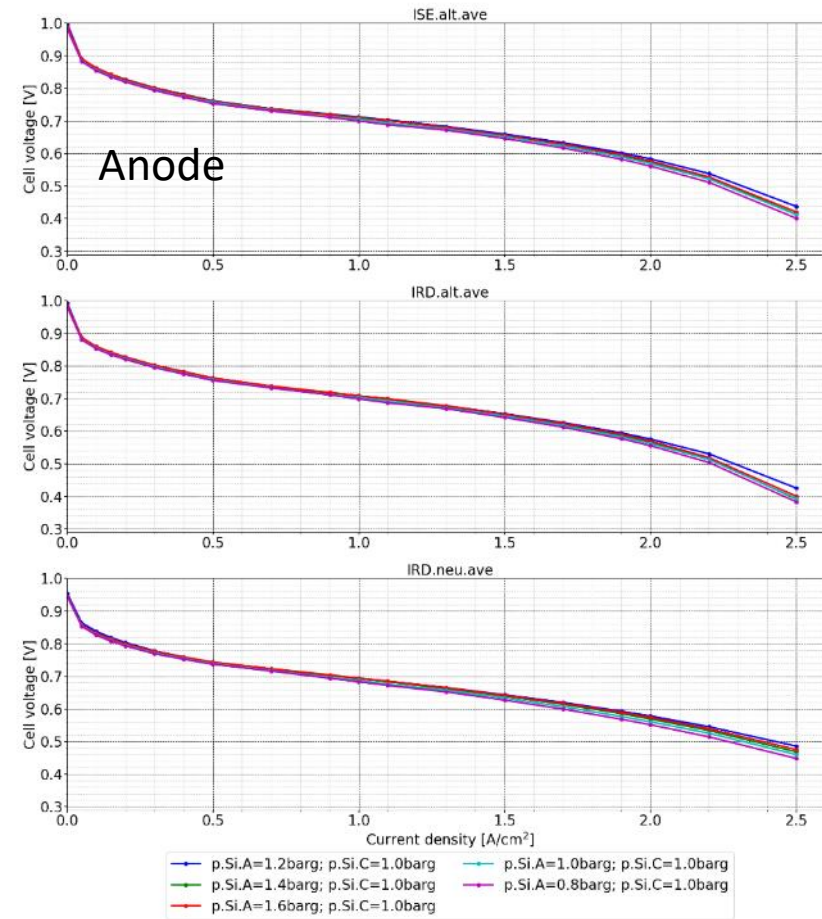
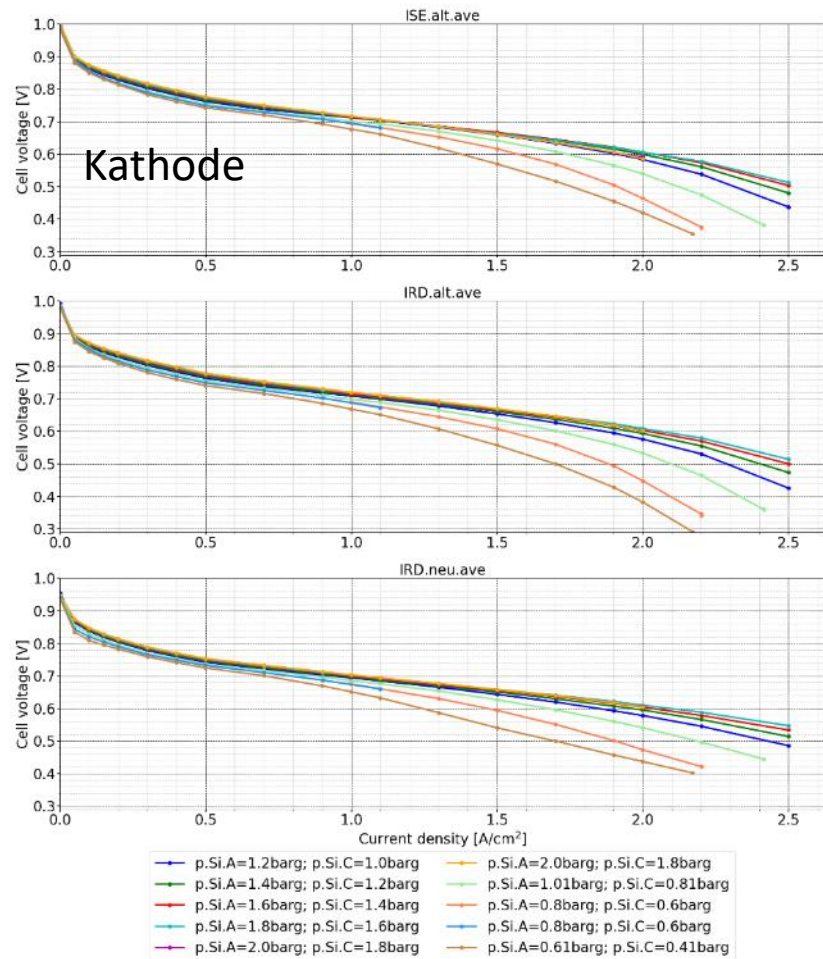


Druck A/K / bar _a :	2.2	2.0
Taupunkt A/K / °C:	48.4	53.0
Reaktand A/K:	H ₂ /N ₂	Luft
Min. Gas / A·cm ⁻² :	0.5	0.5
T (Eingang) / °C:	68	
ΔT / K:	10	

Der generische HyFaB-Stack zeigt vergleichbare Leistungsdaten mit kommerziellen Stacks (ID-Fast #4)

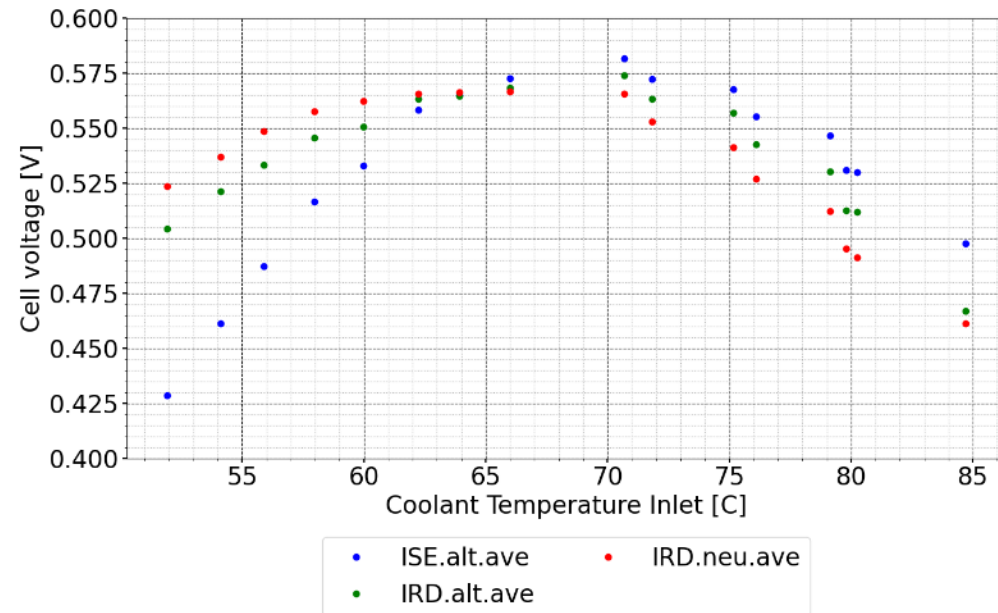
Weiteres Verbesserungspotenzial durch reduzierten Innenwiderstand z.B. durch Einsatz dünnerer Membranen (ID-Fast #5)

Erste Testergebnisse: Erwartungsgemäßes Verhalten bei Druckvariation, höhere Sensitivität auf der Kathode

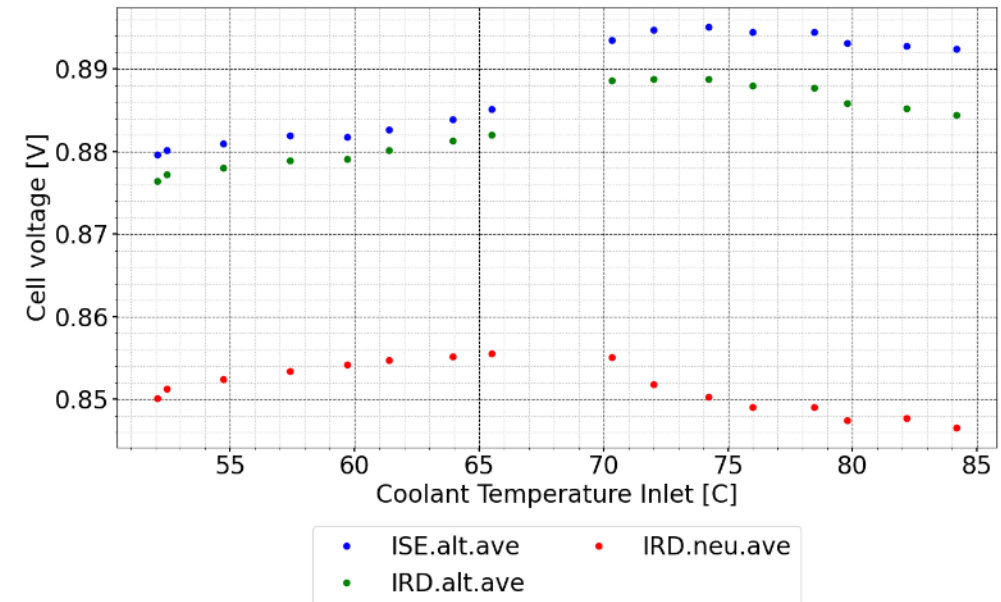


Temperaturvariation: "Wohlfühlbedingungen" bei 70 °C Stackeinlasstemperatur

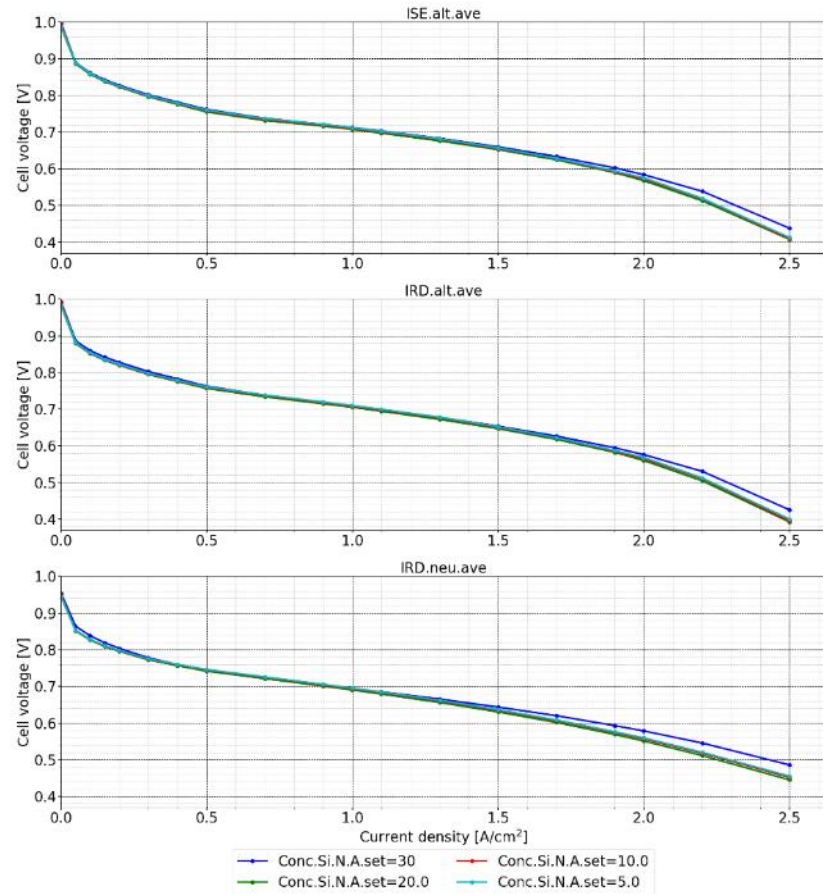
2.0 A/cm²



0.05 A/cm²

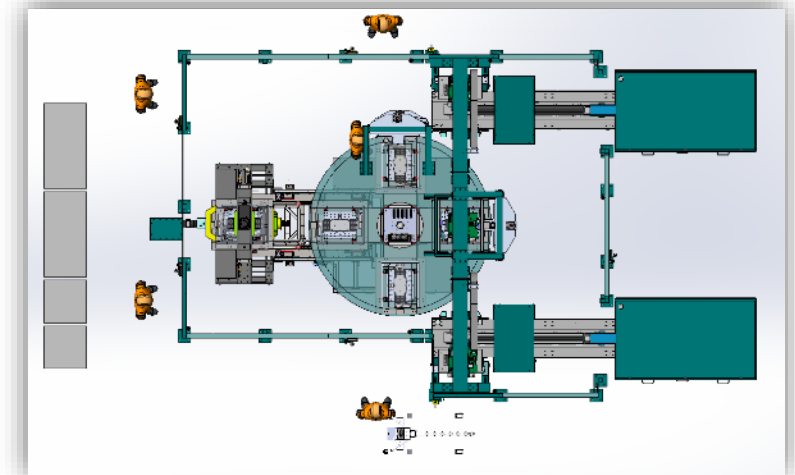


Geringer Einfluss bei Verdünnung von Wasserstoff mit Stickstoff

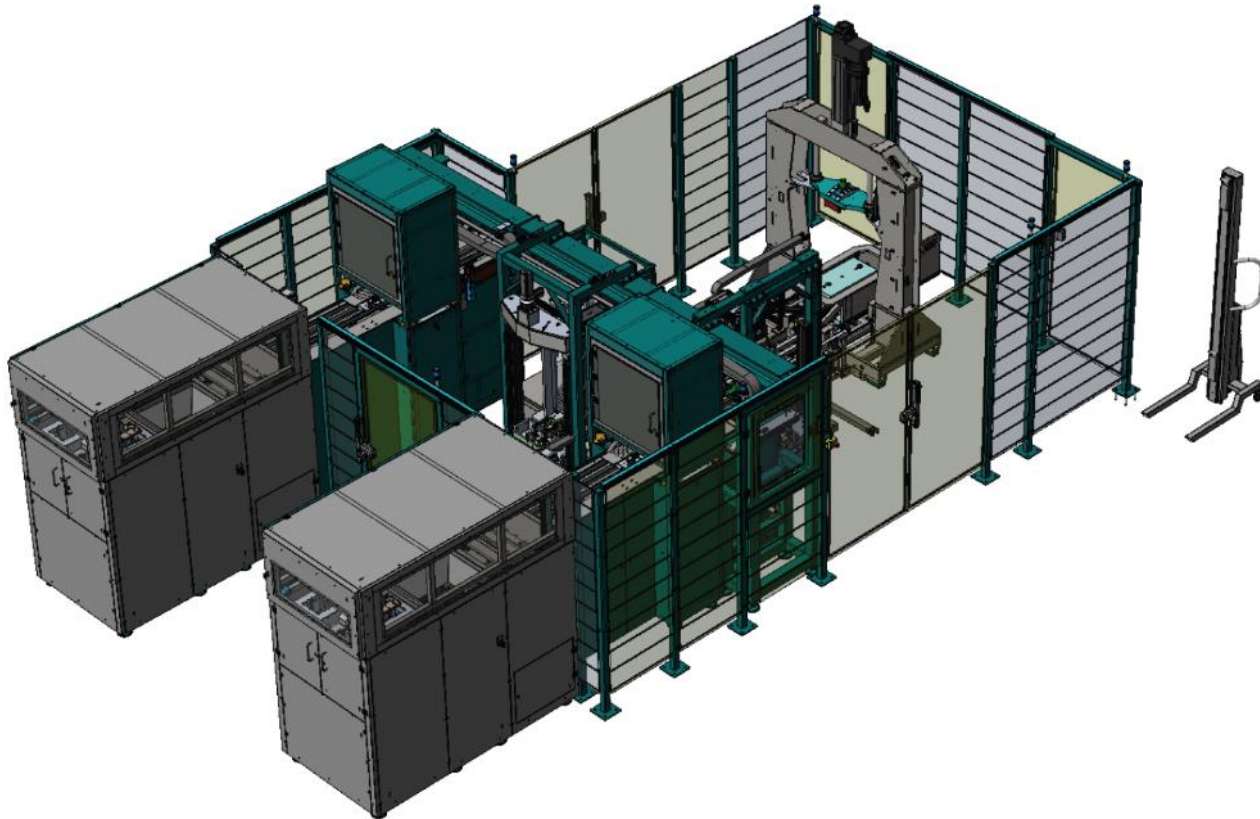


Projekt Referenzstack

- Ziele:
 - Erforschung des Einfluss der Fertigungsbedingungen auf Leistung und Lebensdauer von Brennstoffzellenstacks
 - Umweltbedingungen, Verschmutzungen
 - Fertigungsgenauigkeit
 - Prozessentwicklung MEA-Assemblierung, Stackassemblierung
- Inhalte:
 - Entwicklung und Inbetriebnahme von automatisierten Fertigungsanlagen für
 - MEA-Assemblierung
 - Stapelfertigung
 - Herstellung von Stacks bei verschiedenen Umgebungsbedingungen und Genauigkeiten
 - Erarbeitung von Qualitätskriterien (Grenzmuster)
 - Fokussierung auf Stacks mit metallischen Bipolarplatten



Referenzstapelanlage: Kennwerte der Maschine



Nutzbare Materialien

- Metallische BPP
- Graphitische BPP
- 7-Lagen MEA

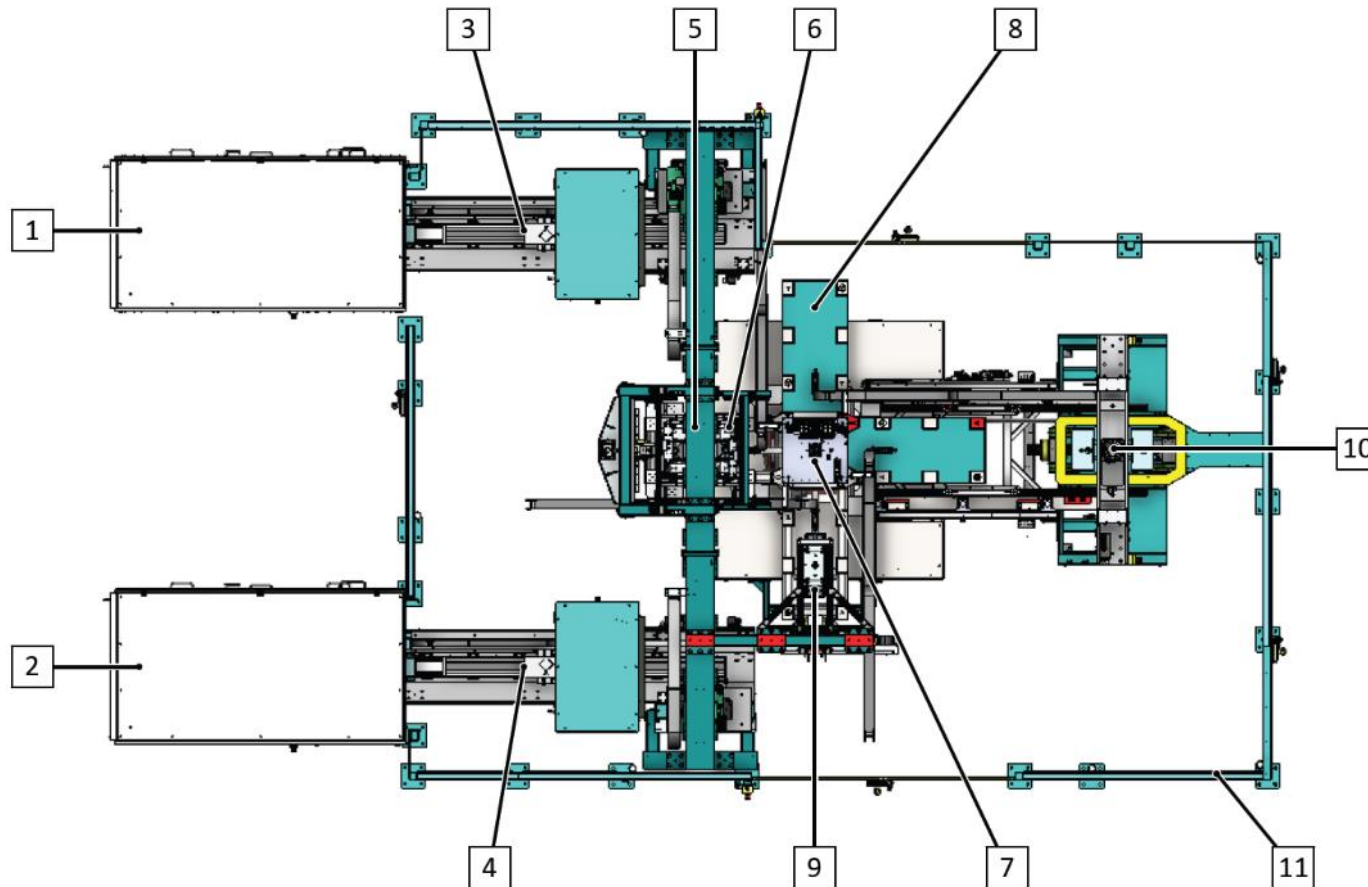
Technische Daten

- Anzahl Zellen je Stack: 5 ... 600
- Stack-Breite: 50 ... 300 mm
- Stack-Länge: 300 ... 600 mm
- Stack-Stapelhöhe: 100 ... 900 mm

Betriebsarten

- Standard Modus
- Nur-Sichtprüfungs-Modus
- Versatz Modus
- Manueller Einfüge-Modus

Referenzstapelanlage: Übersicht



- 1) Entnahmemagazin BPP
- 2) Entnahmemagazin MEA
- 3) Transport und Sichtkontrolle BPP
- 4) Transport und Sichtkontrolle MEA
- 5) Pick & Place Zell-Stapelung
- 6) Stapelmagazin
- 7) Drehtisch
- 8) Entnahme Stack
- 9) Manuelle Stack-Montage
- 10) Stack-Verpressung
- 11) Schutzzaun

Referenzstapelanlage: Betriebsarten

Standard Modus

- Entnahme der Komponenten (MEA & BPP) aus Standardmagazinen.
- Optische Kontrolle (Sichtprüfung) der Ober- und Unterseite von MEA und BPP.
- Automatisches Stapeln der Komponenten. Stapelgenauigkeit über mechanische Führung.
- Automatische Verpressung des Stacks und manuelle Anbringung der Spannbänder.

Nur-Sichtprüfungs-Modus

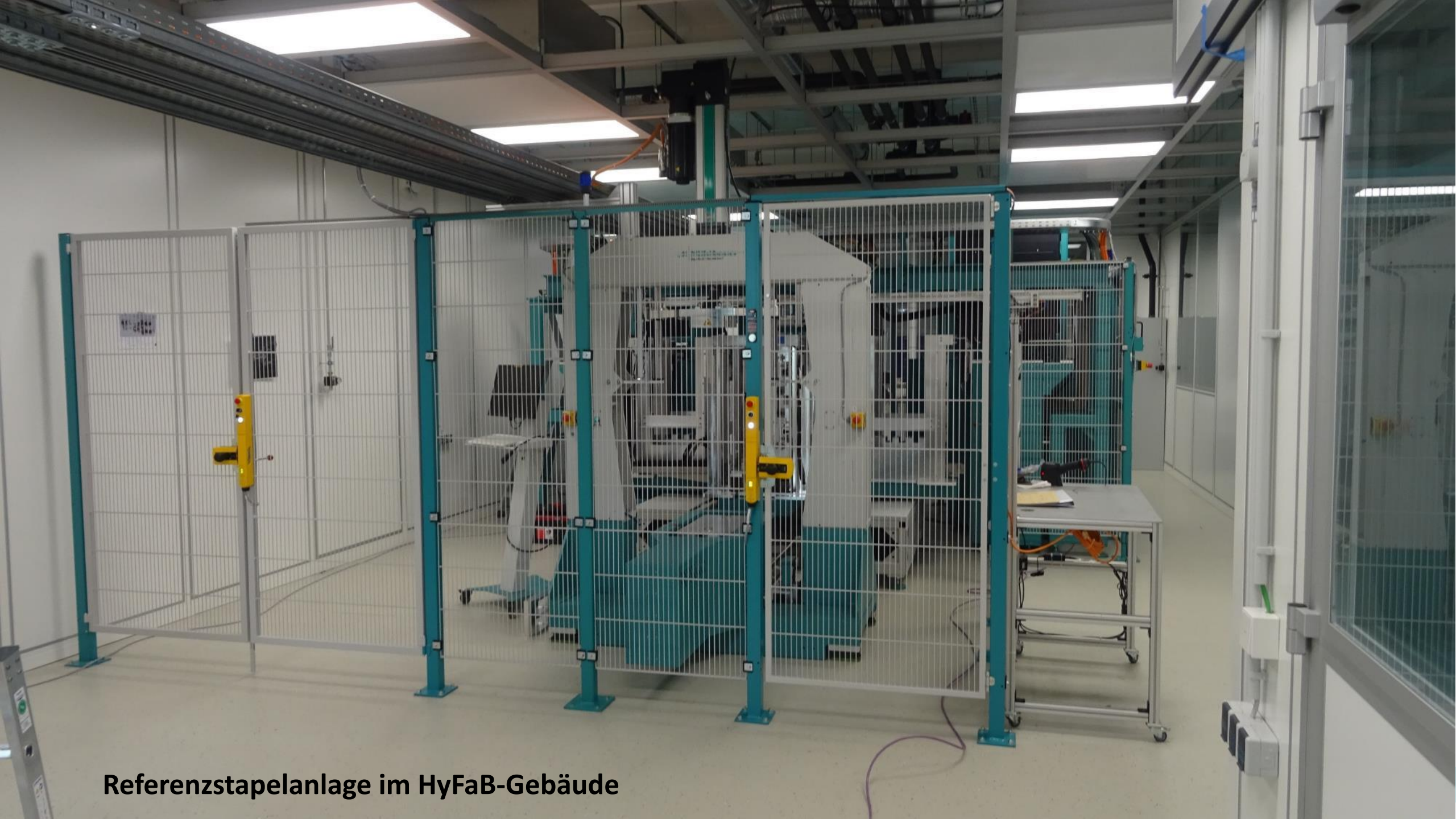
- Wie Standard Modus jedoch ohne Stapeln und Verpressen.
- Manuelle Entnahme der optisch kontrollierten Komponenten (MEA und/oder BPP)

Versatz Modus

- Wie Standard Modus, jedoch gezielte Fehlausrichtung (x-Achse, y-Achse, Drehung um z-Achse) der Komponenten beim Stapeln

Manueller Einfüge-Modus

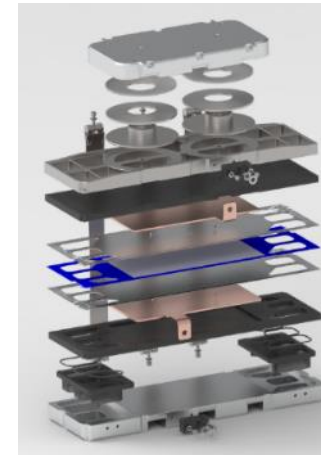
- Wie Standard Modus, jedoch vor Stapeln manuelle Entnahme der Komponenten möglich um z.B. gezielt Verunreinigungen zu applizieren.



Referenzstapelanlage im HyFaB-Gebäude

Projekt HyfaB-Ing

- Ziele
 - Entwicklung und Erprobung innovativer Konzepte für die Industrialisierung der Brennstoffzellenfertigung
 - Unterstützung der Transformation in der Automobil Zulieferindustrie
- Inhalte:
 - Entwicklung einer „End of Line“ Prüfanlage für Membran-Elektroden Einheiten (MEA), Erforschung der Einflussfaktoren der MEA-Assemblierung auf die MEA-Qualität
 - Dichtungsauftrag mittels innovativer Multi-Düsentechnologie, Anwendbarkeit auf metallische und graphitische Stackkonzepte
 - Serienfertigungstaugliche und montagefreundliche Konzepte für Stackgehäuse und Stacküberwachung (Einzelzellspannungen, Impedanzanalyse)



Zusammenfassung

- HyFaB Bau und Forschungsprojekte wurden erfolgreich gestartet
 - Neue HyFaB-Testhalle für Brennstoffzellenstacks wurde im Zeitplan gebaut und in Betrieb genommen
 - HyFaB Fertigungs- und Schulungsgebäude wurde im Zeitplan fertiggestellt und wird aktuell in Betrieb genommen
- Design und Realisierungsphase des generischen Stacks wurde erfolgreich beendet
 - Design und Konstruktionsunterlagen werden der Branche auf Nachfrage zur Verfügung gestellt: Bipolarplatten; „Balance of Stack“
 - Bipolarplatten werden bei EKPO industriell gefertigt
 - Erste handwerklich hergestellte Shortstacks wurden getestet
 - Elektrische Leistungsdaten sind im erwarteten Rahmen und vergleichbar mit Produkten aus dem Markt
 - Bipolarplatten und BoS-Komponenten können für Forschungs- und Entwicklungszwecke weitergegeben werden.
- Schulungsveranstaltungen wurden durchgeführt
- Erste Forschungsprojekte wurden gestartet
- Die Infrastruktur wird laufend erweitert und steht für F&E-Projekte zur Verfügung

Vielen Dank für Ihr Interesse am HyFaB-Projekt

- Frank Häußler, Ludwig Jörissen
- E-Mail: frank.haeussler@zsw-bw.de, ludwig.joerissen@zsw-bw.de