

3D-Siebdruck und UV-Lithografie als innovative Verfahren zur Herstellung von Bipolarplatten für Mikrobrennstoffzellenanwendungen

4. Mai 2011



„3D – Metallsiebdruck“
[IGF:15784 BG]

Dipl.-Ing. Peter Helm

Abteilung Mikrosysteme &
Strömungsmechanik



„UV-Lithografie &
Galvanotechnik (LiGa)“
[IGF:15784 BG]

Etablierung der Brennstoffzellentechnik im Marktsegment von Akkumulatoren & Batterien

1000 W ... 100 W ... 25W ... 2W ... mW ... μ W



Entwicklung auf internationaler Ebene





MiniPAK

(\$99)

- Passives PEMFC System
- 2 W_{el}
- 5 V, 400 mA
- Multi compatible USB:



HydroStick



- 15 Wh
- entspricht 10 AA Batterien bei 1 W



HydroFILL



Verbundprojekt ProZell



Rolle-zu-Rolle Fertigung

PEMFC als Batterieersatz

> Bipolarplatten auf Leiterplattenbasis

Kosten μ -BZ: 4,40 €
Gesamtsystem: 4,64 €



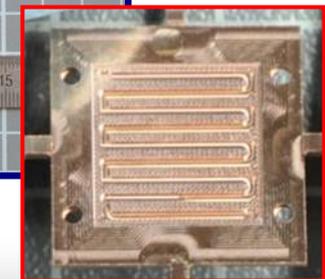
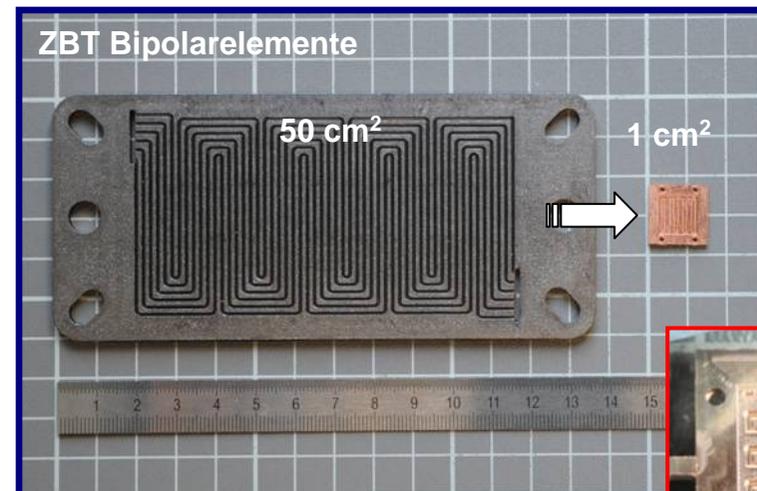
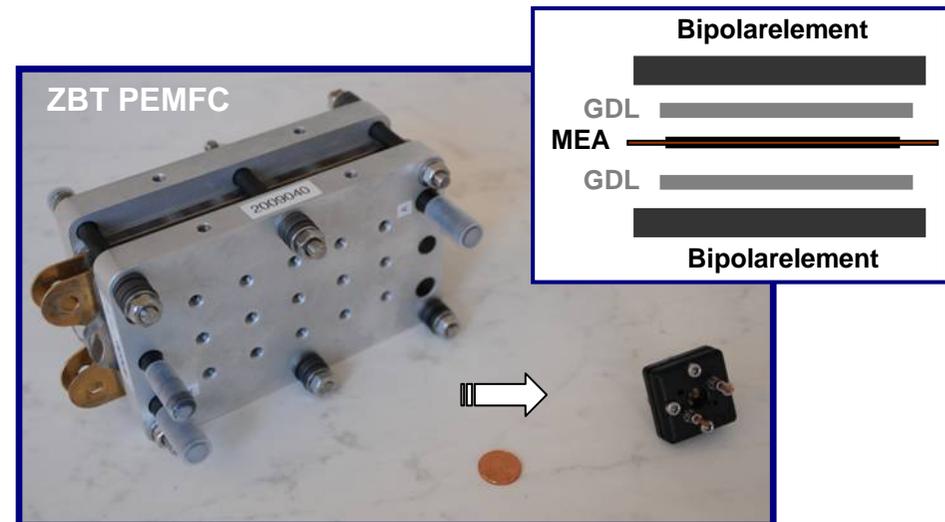
Miniaturisierung PEMFC:

- ➔ MEA & GDL
 - > leicht konfektionierbar
- ➔ Bipolarelemente & Verbindungstechnik
 - > komplex

Miniaturisierung Bipolarelemente:

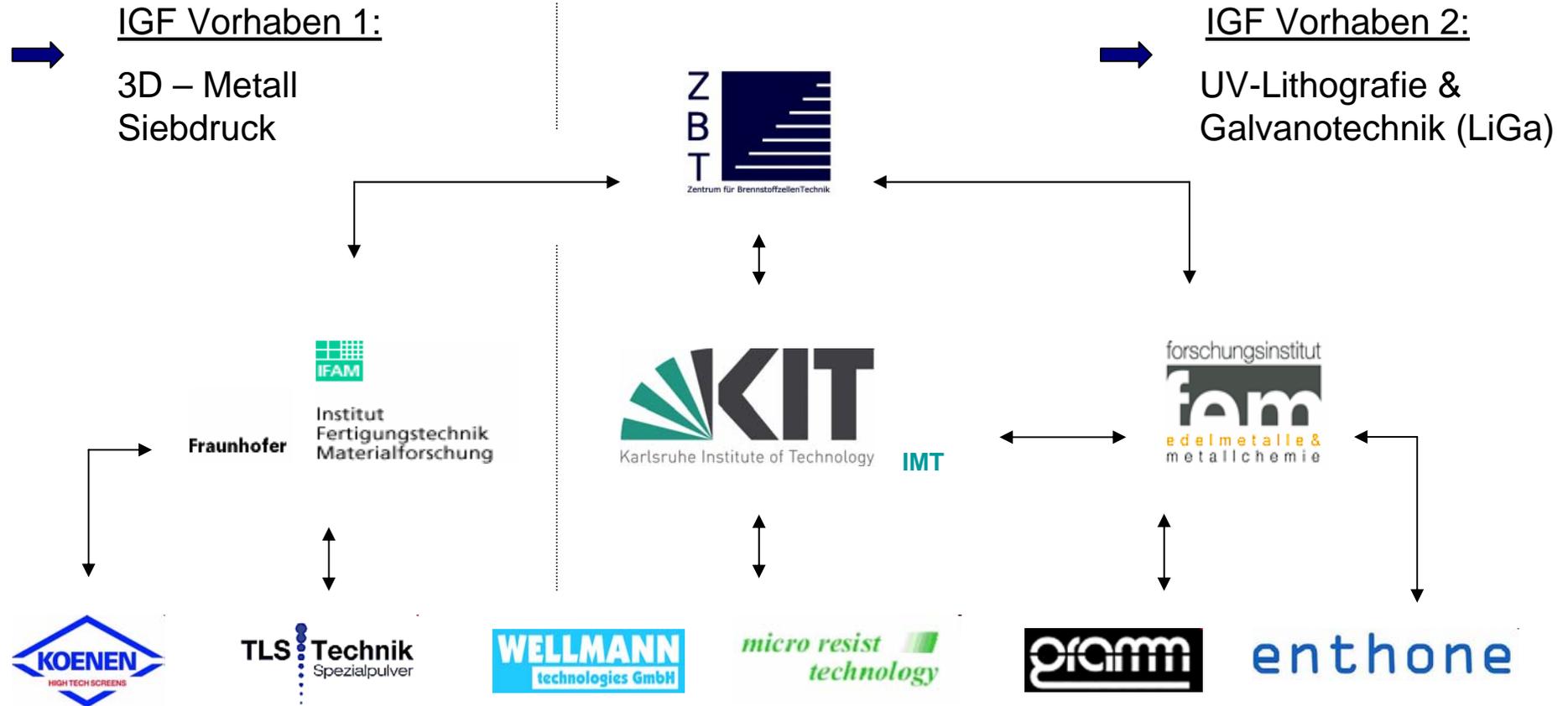
- ➔ Leitung der Prozessgase entlang MEA
- ➔ Medienleitung Stapel
- ➔ el. Kontaktierung / Leitung
- ➔ mechanische Stabilität
- ➔ H₂ Permeabilität / Bauteilhöhe

Limitierungen bei klassischen Werkstoffen (Graphit, Compound)



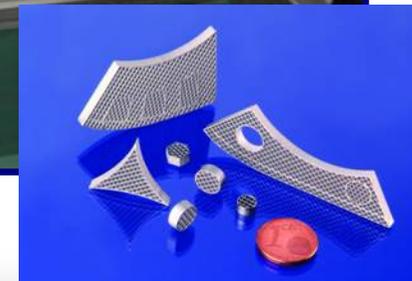
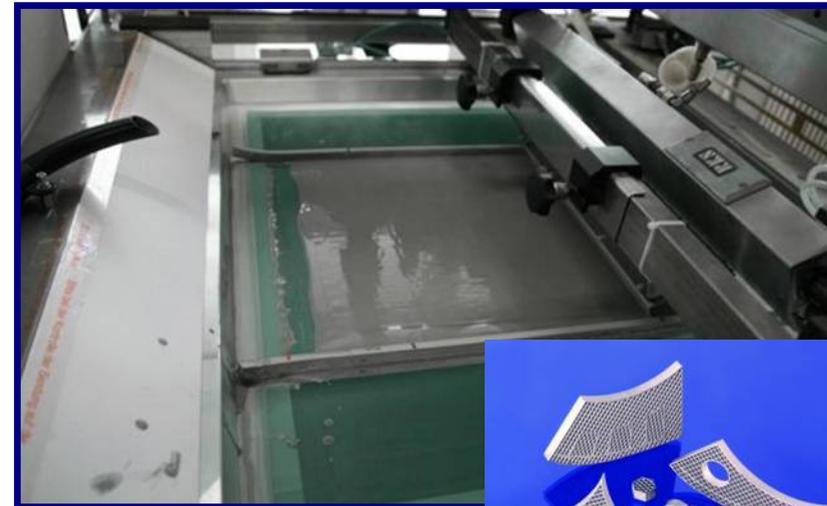
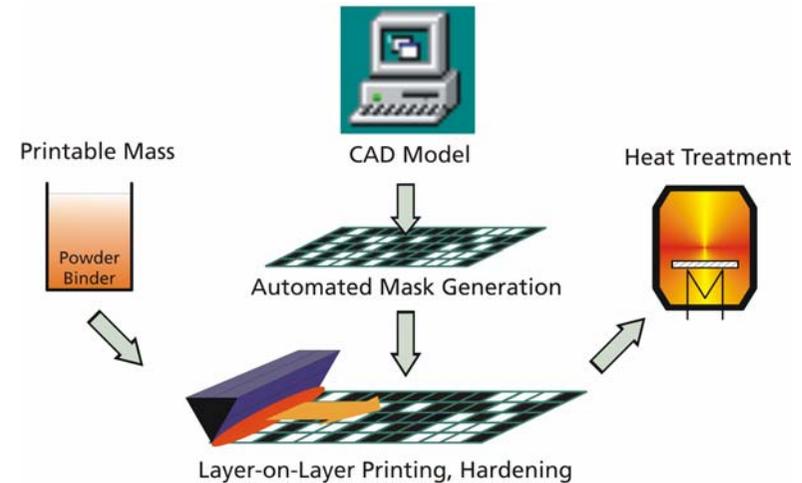
Erschließung & Weiterentwicklung von Herstellungsverfahren aus der Mirosystemtechnik

➔ Strikt serientaugliche Vervielfältigungsmethoden mit flexiblen Vervielfältigungswerkzeugen



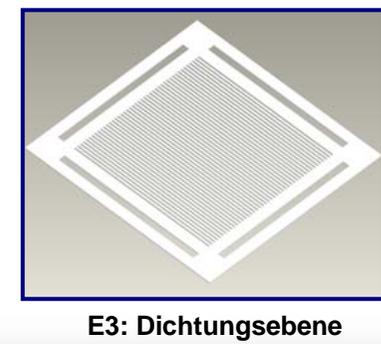
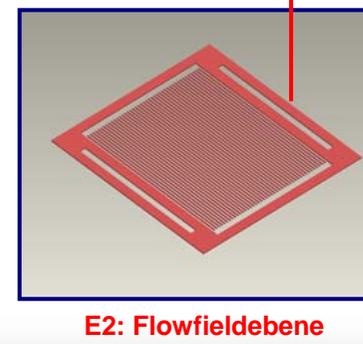
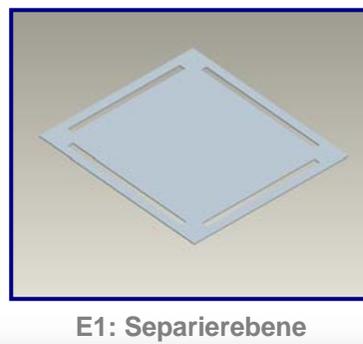
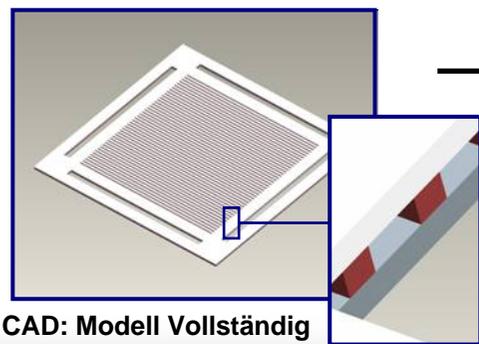
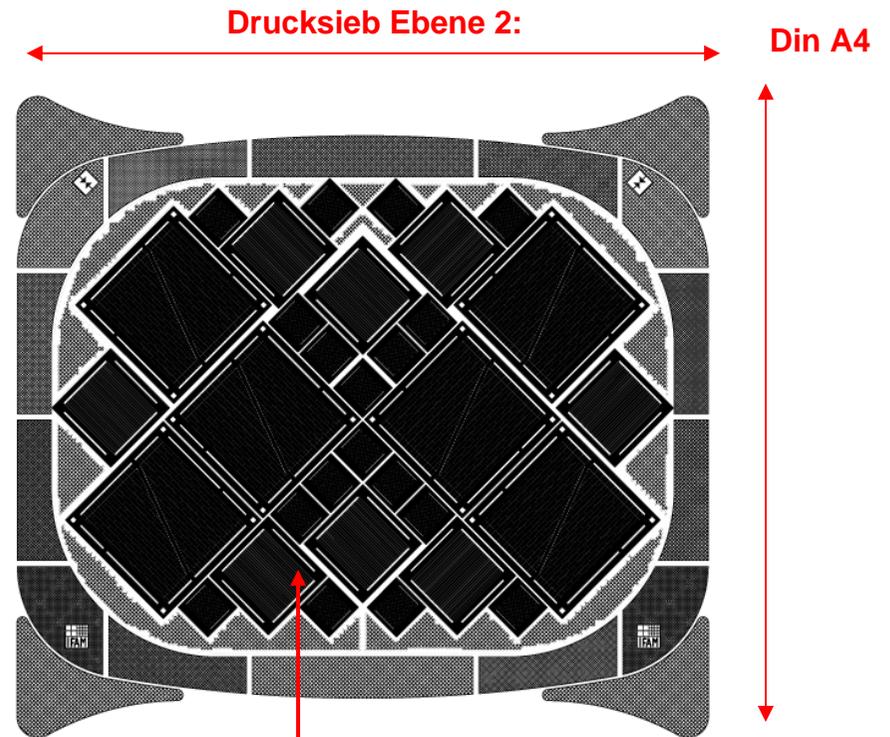
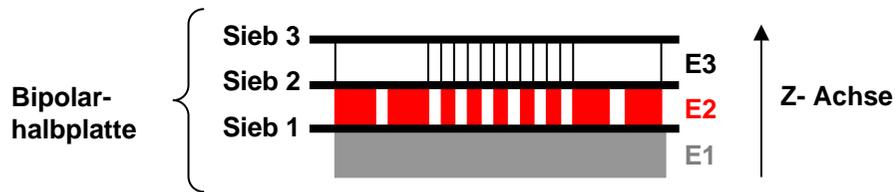
Prinzipieller Prozessvorgang:

- ➔ Druckbare Masse: Metallisches Pulver & wasserlöslicher org. Binder (Suspension)
- ➔ Siebstruktur mit Strukturinformationen (geöffnete & geschlossene Maschen)
- ➔ Durch wiederholtes Drucken & Siebzustellung in Z-Achse wird 3-dimensionale Struktur erzeugt
- ➔ Abschließende Wärme- & Sinterbehandlung treibt org. Binder aus & Pulverteilchen verbinden sich diffusiv
- ➔ Metallisches 3-dimensionales Bauteil



Drucksiebe:

- ➔ Zweidimensionale Strukturinformationen
- ➔ 3-dimensionale Bauteile werden entlang Z-Achse in unterschiedliche Ebenen zerlegt. (1 Sieb pro Ebene)
- ➔ Kostenfaktor Sieb: ca. 1000 €

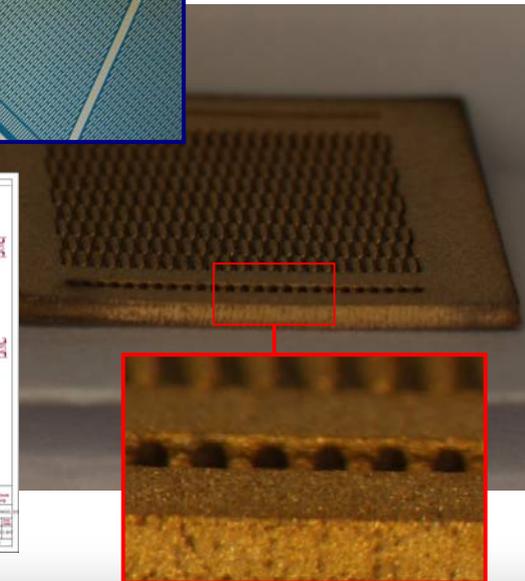
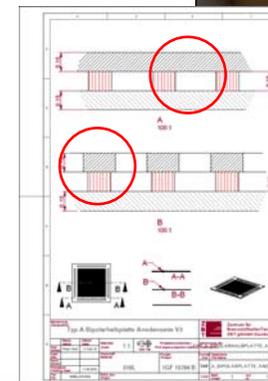
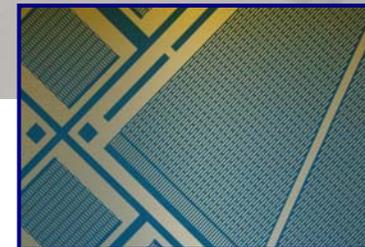
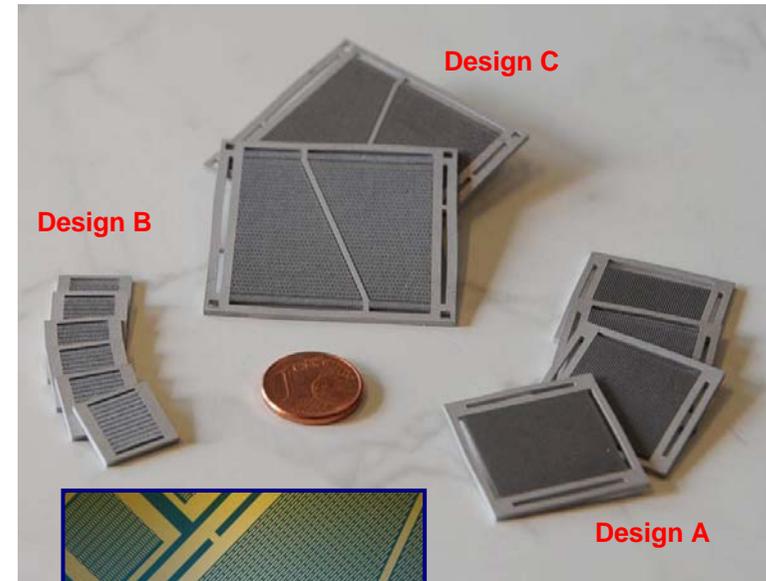


Möglichkeiten:

- ➔ Mechanisch stabile Bauteile: 0,3 – 0,6 mm
- ➔ Hohe Stückzahl bei kleinen Layouts
- ➔ Unterschiedliche Plattendesigns auf jedem Sieb simultan umsetzbar / Modularer Aufbau
- ➔ Großflächige Mikrostrukturen
- ➔ Realisierung von Hinterschneidungen, Überdruckungen und Hohlräumen

Hindernisse:

- ➔ Prozessbedingter „shrink“ von ca. 13 %
(kann über Konstruktion abgefangen werden)
- ➔ Löcherbildung auf mikroskopischer Ebene
(konnte über Siebmaschung behoben werden)

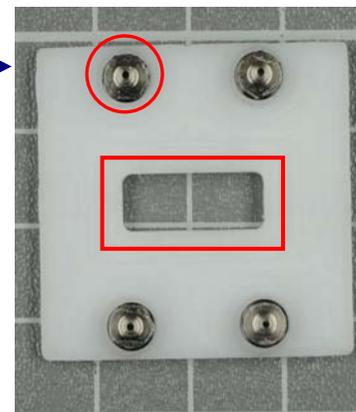
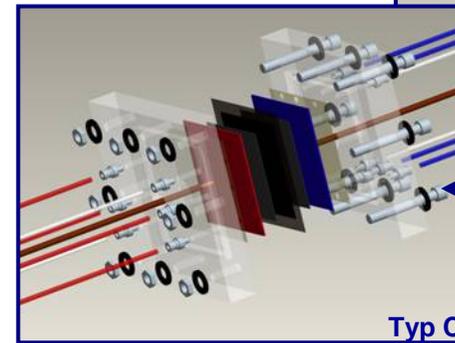
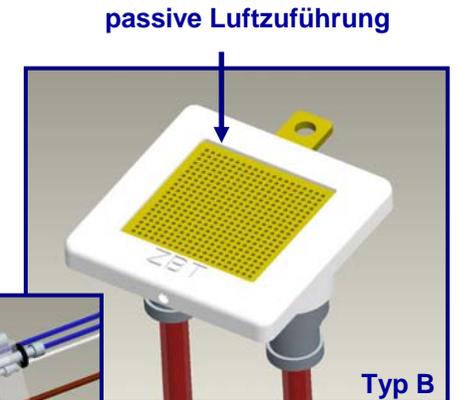
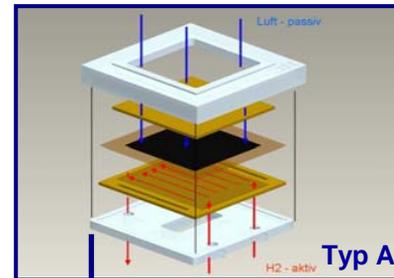


Konstruktion Funktionsmuster:

- ➔ 3 Einzelzelltypen auf Basis von 3 Siebdruck Plattendesigns
- ➔ Unterschiedliche Aufbau & Verbindungstechnik
- ➔ Unterschiedliche Zellgröße und Betriebsführung (aktiv / passiv)

Herstellung peripherer Komponenten:

- ➔ HSC Lineares Bearbeitungszentrum
- ➔ Mikrofräsen von Gehäusestrukturen als Schnittstelle zwischen genormter Außenwelt & Platten als Neuentwicklung
- ➔ Erhöhte Präzision fängt Toleranzen der 3D-Siebdruck Platten ab



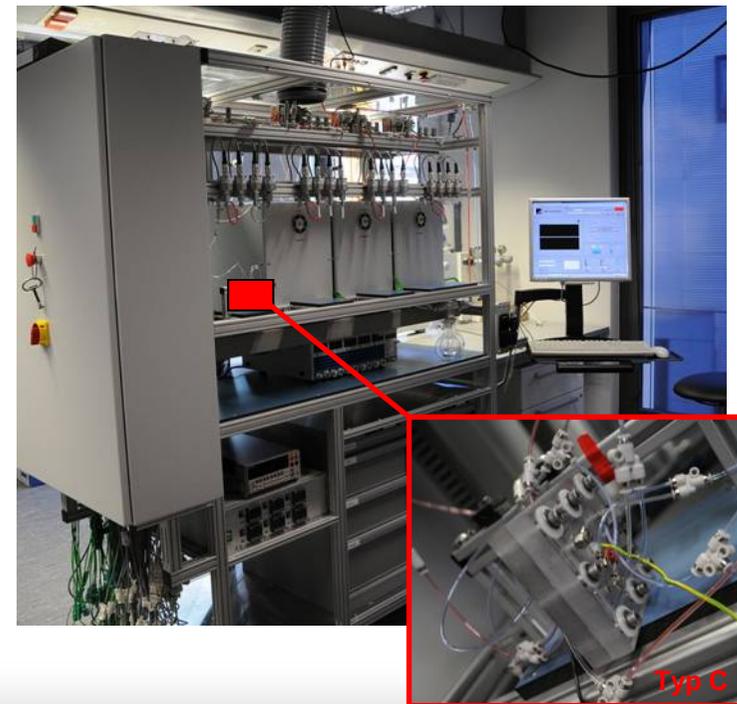
„Sodick HSC 430 L“

Assemblierung:

- ➔ Gore Membran; Toray GDL
- ➔ Dichtigkeitsprüfung mit Toxsensor

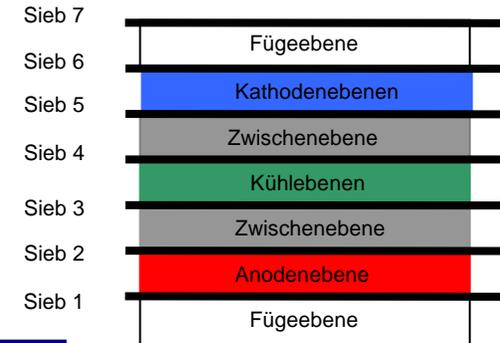
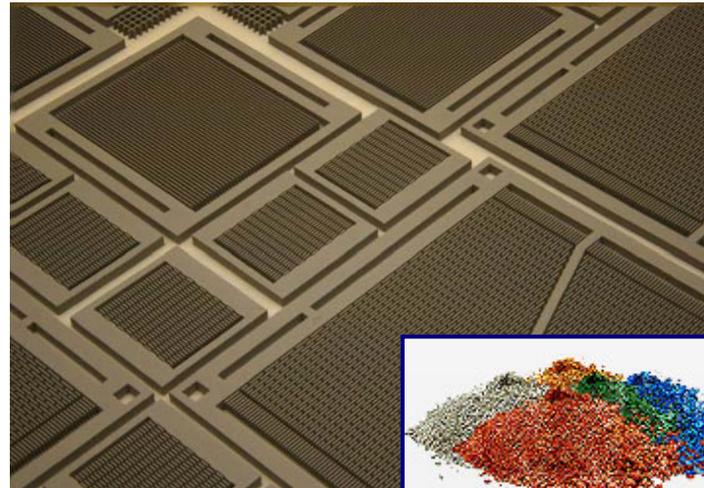
Testbetrieb:

- ➔ Mikrobrennstoffzellenteststand 1
- ➔ U(I)-Kennlinien & Leistungskurven / p & t
- ➔ Zunächst geringe Leistungsdichten: $34 \text{ mW} / \text{cm}^2$
(hohe Zellwiderstände aufgrund 316 L Edelstahl)
- ➔ Vergoldung der 3D-Siebdruck Platten
(Sammelelektroden großer ZBT Stacks)
- ➔ Performancesteigerung auf $150 \text{ mW} / \text{cm}^2$
Vergleichbar mit Fraunhofer „ProZell“



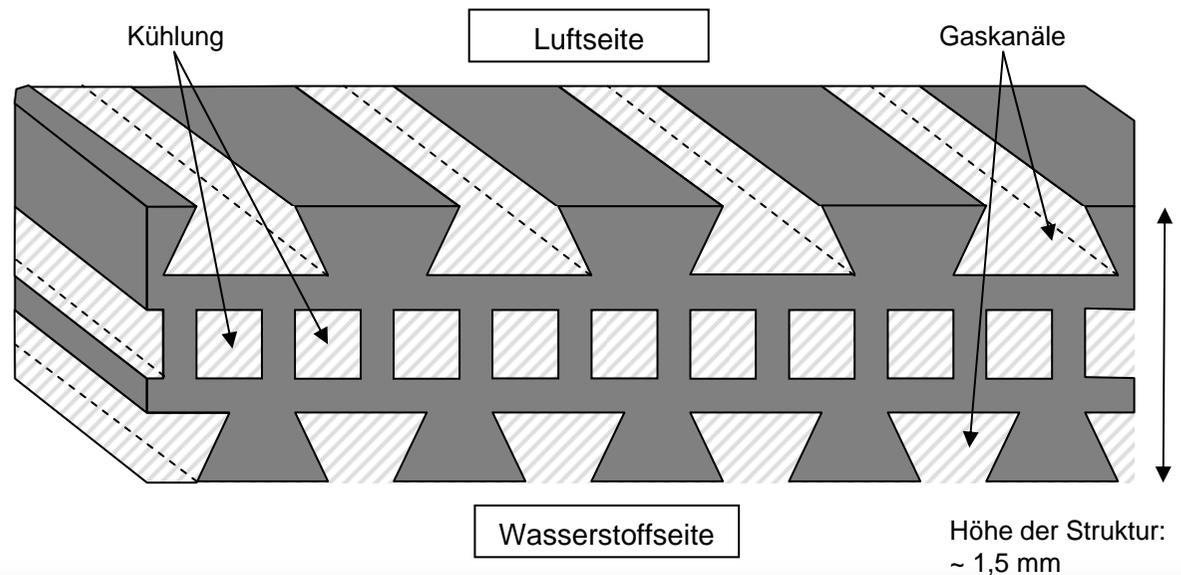
Zusammenfassung:

- ➔ Entwickelter Prozess für Edelstahl 316 L
- ➔ Bipolarelemente in drei Layern & Designs
- ➔ Integration in Einzelzellen (Proof of Concept)

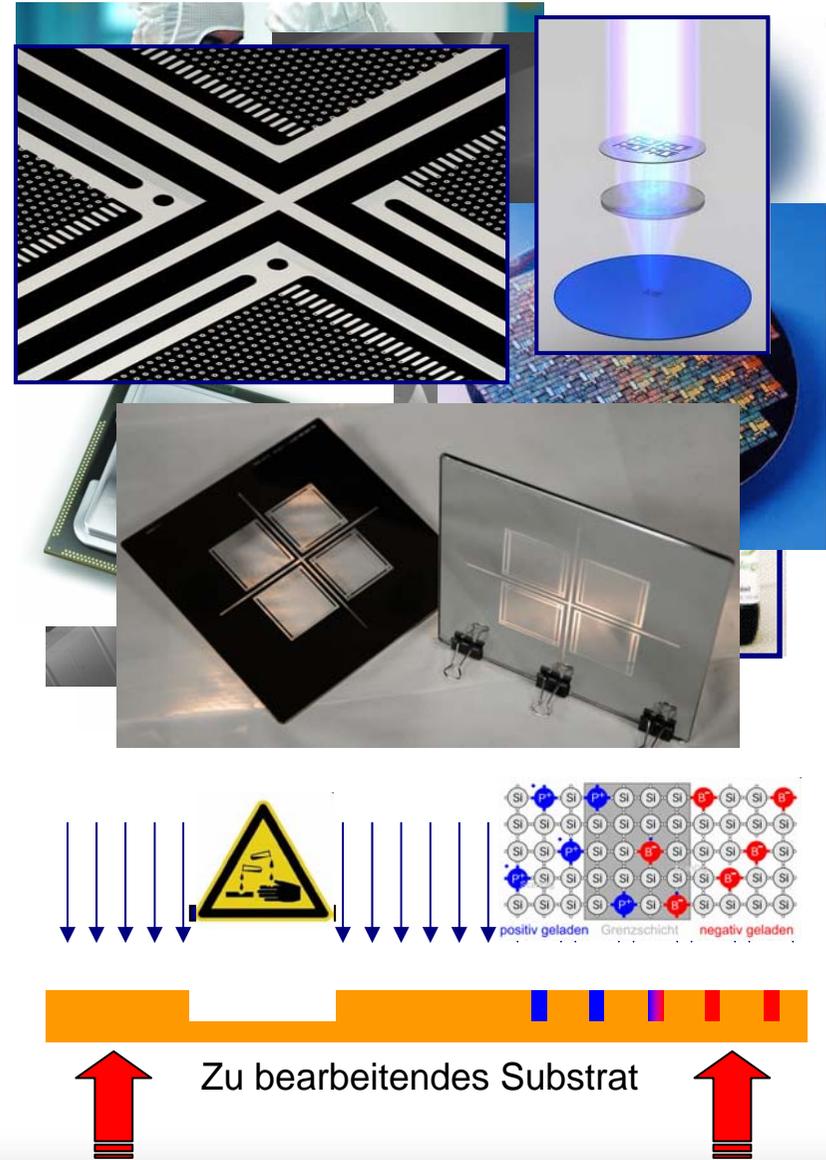


Ausblick:

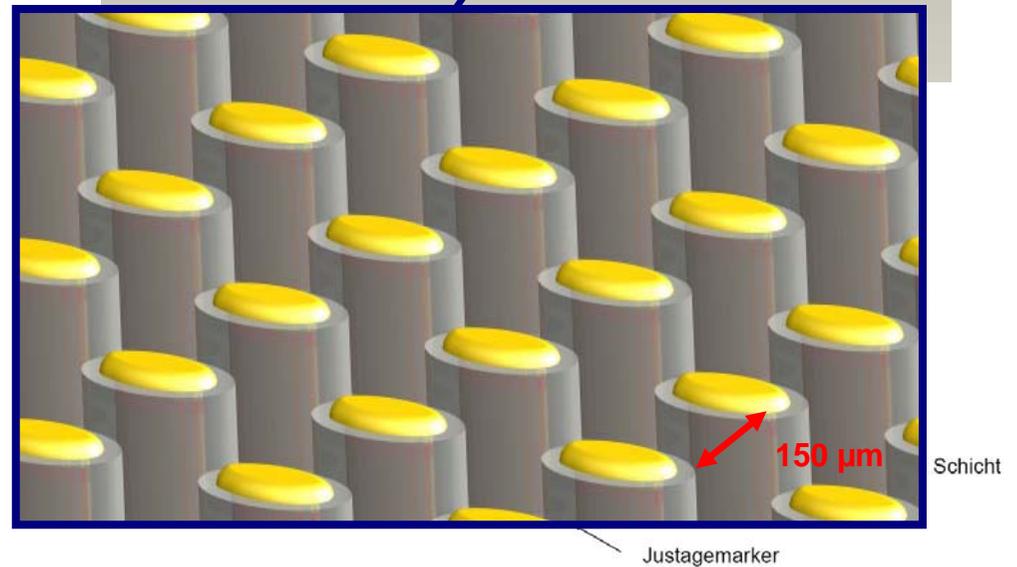
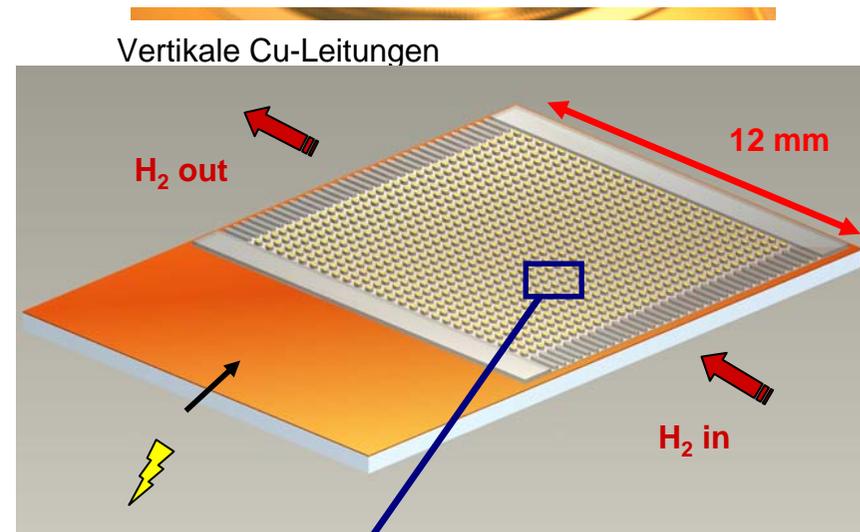
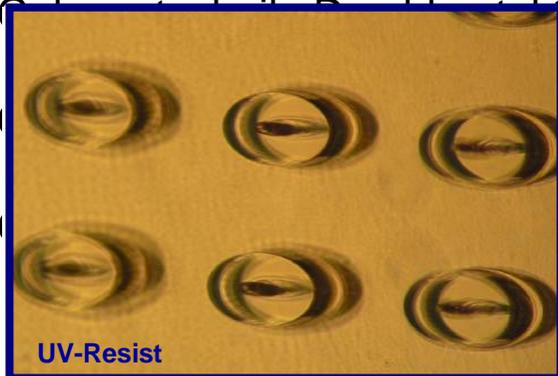
- ➔ Prozesserweiterung auf andere Plattenmaterialien
- ➔ Erweiterung um neue Siebebenen zur Erweiterung der Plattenfunktionalität
- ➔ Miniaturisierter, vertikaler Stackbau



- ➔ Grundlegende Methode zur Strukturübertragung in der Halbleitertechnik (Chipherstellung)
- ➔ UV-Resist - Material zur Strukturübertragung
Drei Komponenten:
 - 1) Formgebende Komponente
 - 2) Lösungsmittel
 - 3) Photoaktive Komponente
- ➔ Beschichtung von Substratoberflächen
- ➔ Belichtung durch Maske mit Strukturinformationen
- ➔ Entwicklung im Lösungsmittel
- ➔ Substrat wurde für nachfolgende Bearbeitung maskiert
- ➔ Abschließend wird Resist entfernt & Struktur der Maske ist auf Substrat übertragen
- ➔ Durch Wiederholung des Prozesses
Mit anderen Masken entstehen IC
(Transistor / Prozessoren)

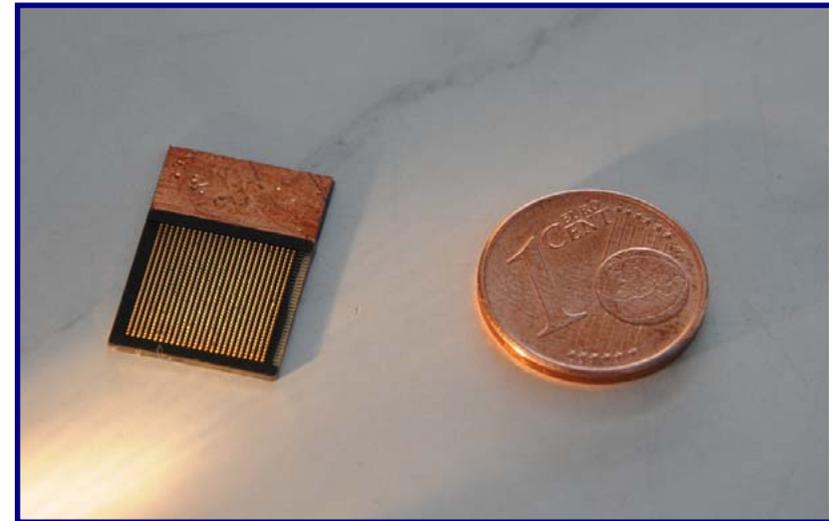


- ➔ Resiste dauerhaft in MEMS einsetzbar
- ➔ Idee eines Lithografie Galvanotechnik Mikro-Bipolarelementes
- ➔ 1) 530 μm Trägersubstrat
> Mech. Stabilität, el. Leitfähigkeit
- ➔ 2) 50 μm Resist durch UV-Lithografie
> horizontale Isolation / Mikrofreiflächen
- ➔ 3) 100 μm Resist durch UV-Lithografie
> vertikale Isolation / Führung
- ➔ 4) (G)alvanotechnik (G)alvanotechnik
- ➔ 5) (G)alvanotechnik (G)alvanotechnik
- ➔ 6) (G)alvanotechnik (G)alvanotechnik
- ➔ - UV-Resist
- ➔ - 825 segmentierte Kontakte

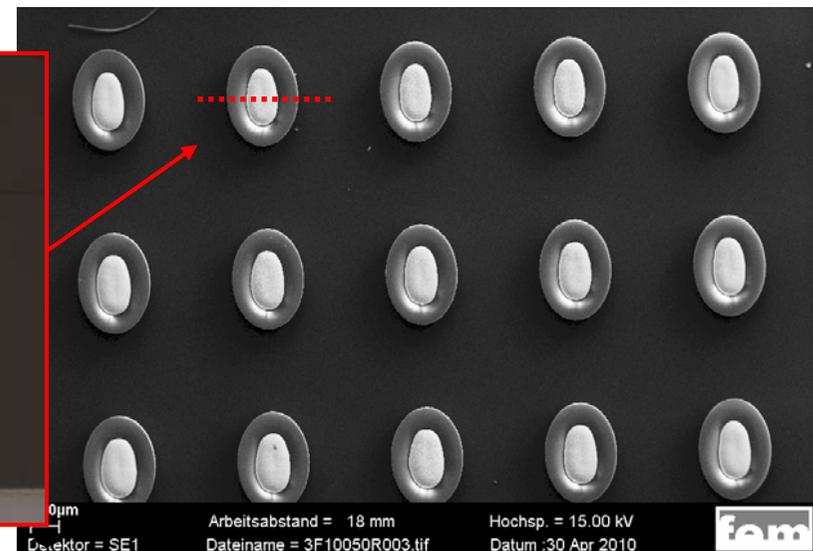
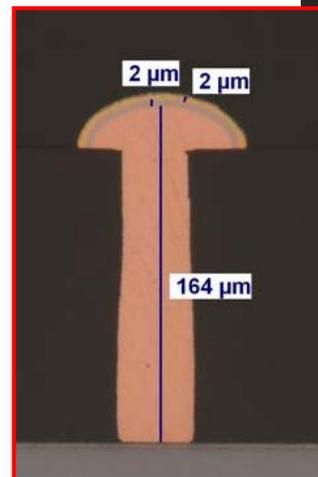


Möglichkeiten:

- ➔ UV-Masken: Günstiges, verschleißfreies Werkzeug der Vervielfältigung (ca. 500 € / Maske)
- ➔ Herstellung mehrerer Platten simultan (vgl. Siebdruck)
- ➔ Verfahren erlaubt massiven Downscale mit hoher Präzision

Grenzen:

- ➔ Verfahren ungeeignet für größere Flächen (9 cm² große Elemente nicht möglich - Resist)
- ➔ Verfahren ungeeignet für tiefe Flowfieldgeometrien (Prozessierung Resist & Galvanik)



Konstruktion:

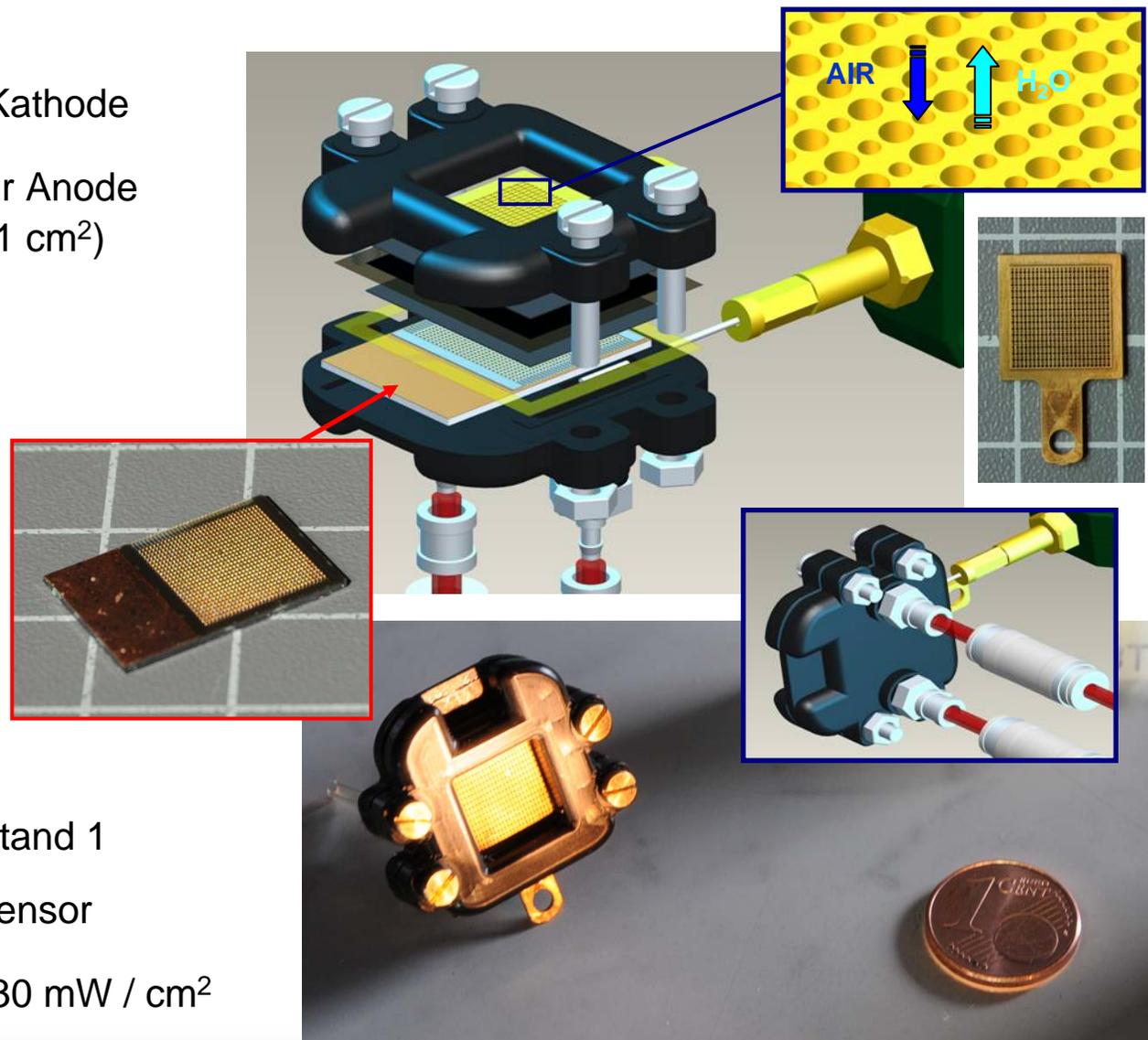
- ➔ Passive Zelle mit offener Kathode
- ➔ Kathode komplementär zur Anode (768 Mikrobohrungen auf 1 cm²)
- ➔ Verspannelemente

Assemblierung:

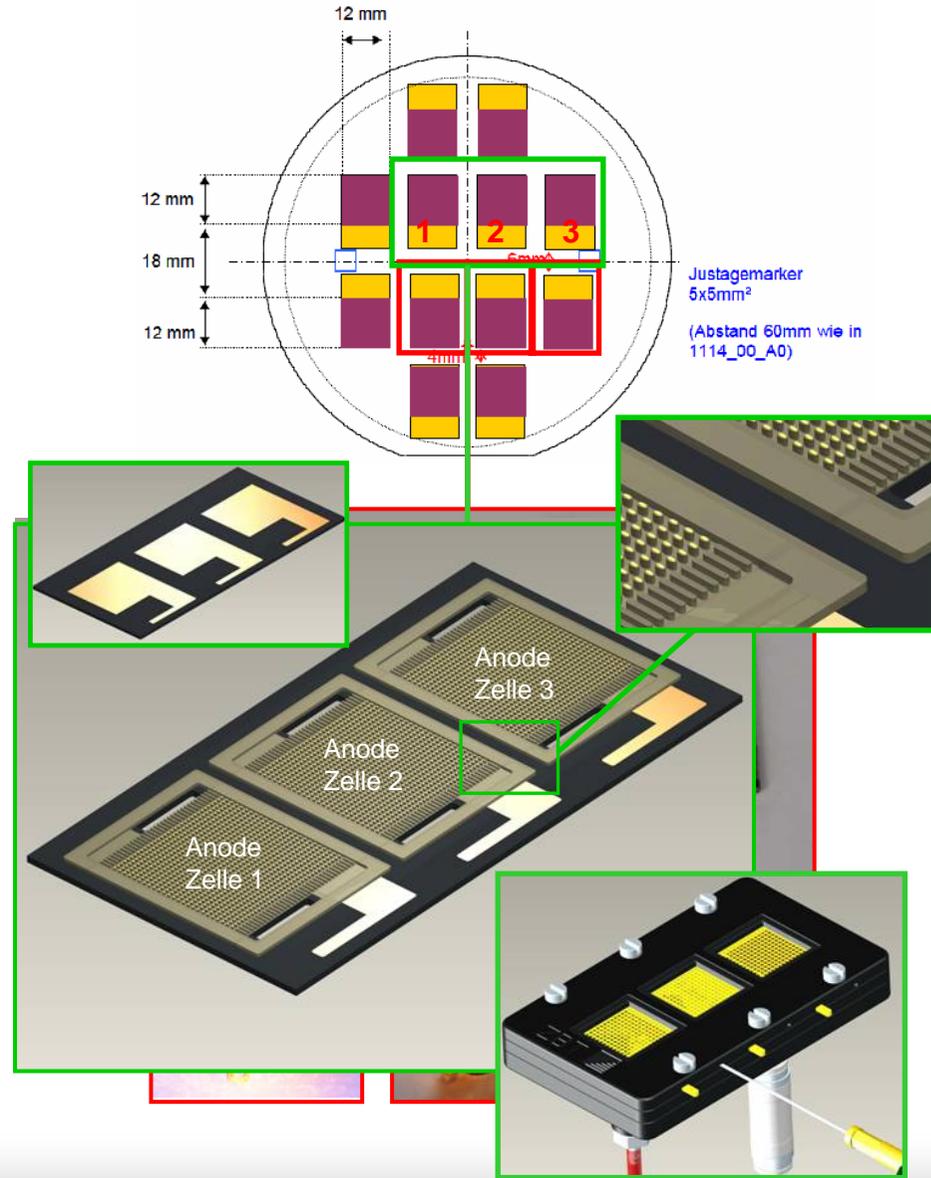
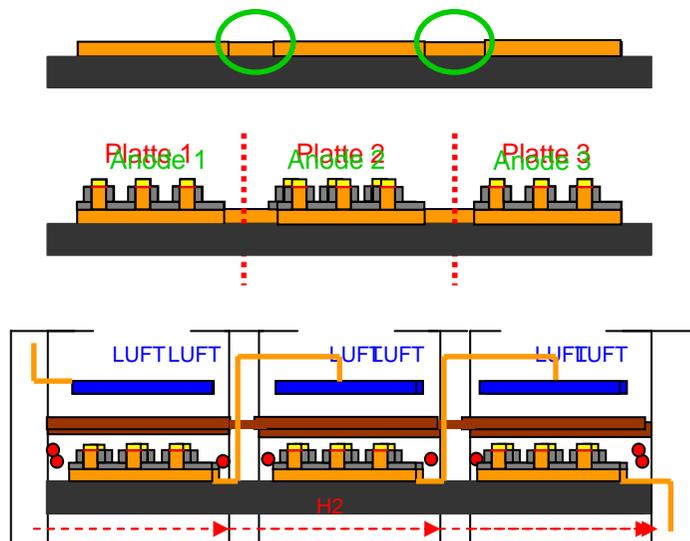
- ➔ Gore Membran;
Toray GDL
- ➔ Klebeverbindung zur
anodens. Dichtung

Testbetrieb:

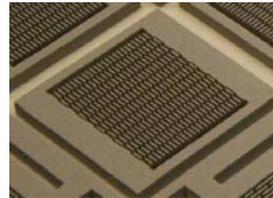
- ➔ Mikrobrennstoffzellenteststand 1
- ➔ Dichtigkeitsprüfung / Toxsensor
- ➔ Performance von bis zu 130 mW / cm²



- ➔ Möglichkeit einer Reduzierung des Assemblierungsaufwandes beim Stackbau
- ➔ Derzeit: Zwölf Platten im „batch“ hergestellt und danach getrennt
- ➔ Idee: Array el. nicht verschalteter Anoden durch weitere Lithografieschritte
- ➔ planarer Brennstoffzellenstapel
Arbeitsaufwand (Dichtung) <> Einzelzelle



3D-Siebdruck

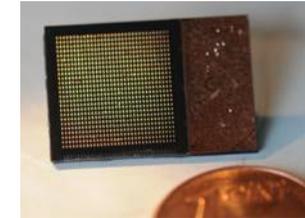


- ➔ **Minaturisierung:** - Gut geeignet (bis ca. 70 μm)
- ➔ **Jenseits der Miniaturisierung:** - Bedingt geeignet: Vergoldung? (planare Herstellung / Ausbeute)
- ➔ **Assemblierung, Stackbau:** - Durch Überdruckung -> Vertikaler Stackbau
- ➔ **Systemeinsatz:** - Aktive Systeme im zweistelligen Wattbereich



100 W

UV-Lithografie



- Sehr gut geeignet (bis ca. 2 / 0,5 μm)
- ungeeignet (Stabilität)
- Durch additiven Aufbau -> Planarer Stackbau
- Passive Systeme im einstelligen- / Milliwattbereich



2 W



mW