PEM-Brennstoffzellen:

Werkstoffe, Fertigungsverfahren, Status und Perspektiven

Sven Bornbaum

Schunk Kohlenstofftechnik GmbH

Elektrochemische Energiespeicher und Wandlersysteme, Hanau

11.02.2010

Agenda

- Kurzportrait Schunk
- allgemeine Funktionsweise PEM-Brennstoffzelle
- Aufgaben von Bipolarplatten
- Anforderungen an Bipolarplatten
- Werkstoffe für Bipolarplatten allgemein
- Materialentwicklung und Fertigungstechnik
- Funktionsintegration

Die Schunk-Gruppe

- International tätiger Technologiekonzern
- Weltweit über 7.900 Mitarbeiter
- Konsolidierter Umsatz 2008 ca. 810 Mio€
- 60 Gesellschaften in 26 Ländern

Technologien in der Schunk Gruppe

Kohlenstofftechnik und Keramik

Kohlenstoff und Keramiken - Werkstoffe, die vieles möglich machen. Breites Spektrum von Produkten in unterschiedlichen Werkstoffausführungen für zahlreiche Anwendungen

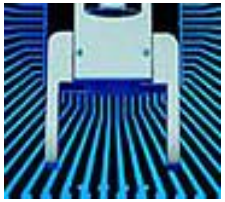
Umwelt- und Klimatechnik

Die perfekte

schranke und wärme technische Anlagen

Sintermetall-technik

Zukunftsweisender Zweig der Metallurgie: Produkte wie Sinter-rmteile, Sinterlager nd Spritzgußteile



Ultraschall-technik

Rationalisierung durch Automatisierung und durch Optimierung von Fertigungsprozessen

Aktiv im Bereich PEM-BZ

Schunk Kohlenstofftechnik GmbH

Bipolarplatten aus Graphit-Composite

Schunk Bahn- und Industrietechnik GmbH

PEM-Brennstoffzellen-Stacks

Schunk Kohlenstofftechnik GmbH:

- ca. 1100 Mitarbeiter
- Umsatz 2008 ca. 168 mio€
- Komponenten aus Kohlenstoff und Keramik für

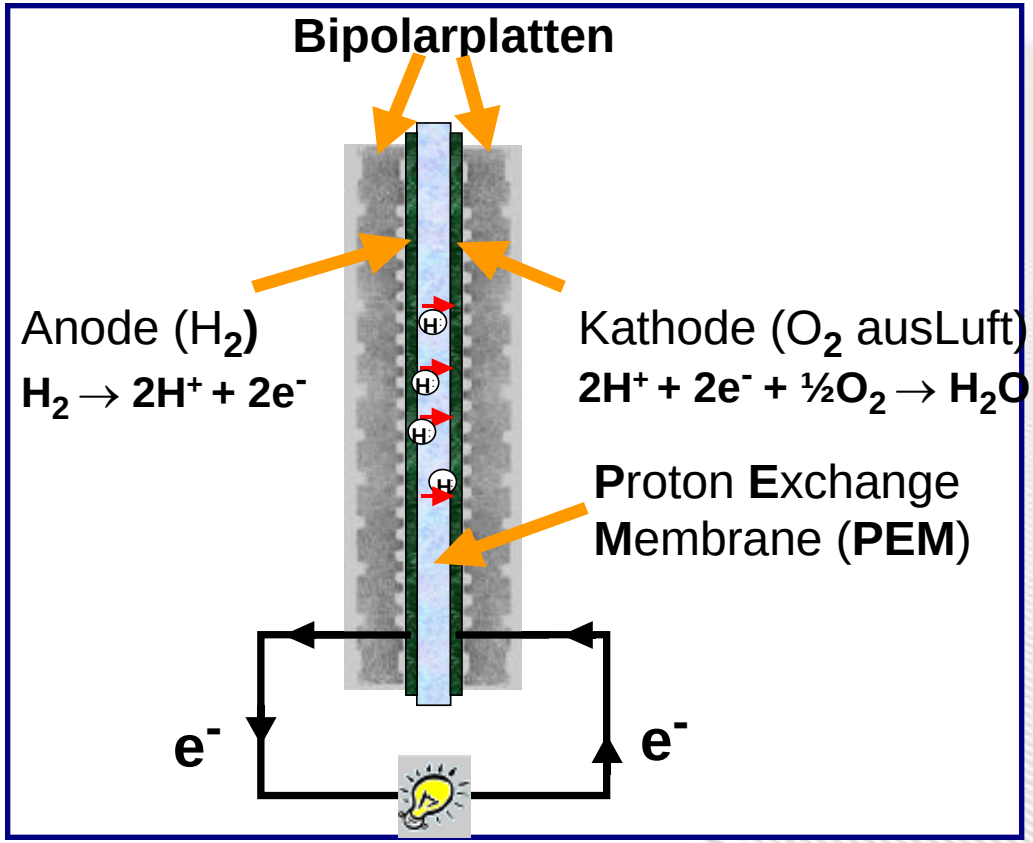
tribologische Anwendungen

Hochtemperatur-Anwendungen

allgemein Stromübertragung v.a. in bewegten Systemen

Allgemeine Grundlagen:

Funktionsweise von PEM-Brennstoffzellen



- **Energiewandler**
- Umkehrung der Elektrolyse
- katalytische Reaktion
- H_2 als Energieträger
- chemische Energie zu Strom und Wärme

→ unterliegt **nicht** dem Carnot-Wirkungsgrad

Aufgaben der Bipolarplatten

- Zuführung der Medien (z.B. Wasserstoff, Luft und Kühlflüssigkeit)
- homogene Verteilung der Medien an der Wirkfläche
- Trennung der Reaktionsräume
- Abführung der Elektronen
- Abführung der Reaktionsprodukte
- Übertragung der thermischen Energie auf das Kühlmedium
- Stabilisieren der weichen Stackkomponenten

Anforderungen an Bipolarplatten für PEM-BZ

- Ausgezeichnete elektrische Leitfähigkeit
- Geringe Fertigungstoleranzen
  - Führung von Reaktionsgasen und Kühlmedien → Kanalgeometrie
  - Verteilung der GDL-Kompression (el. Kontaktierung) → Dickenverteilung
- Korrosionsbeständigkeit und chemische Langzeitstabilität
  - feucht-saures Milieu bei erhöhten Temperaturen und Potenzial
  - Betriebszeiten bis zu 40.000 Stunden
- Gasdichtheit
- Mechanische Stabilität und Flexibilität
- Geringes Gewicht und Volumen
- Funktionsintegration
- Zielpreise 1 - 5 €/Platte bei Serienfertigung

→ **Plastische Formgebung!**

Werkstoffe für Bipolarplatten

Graphitische BPP → Vorteile Lebensdauer

- Formgebung und mechanische Stabilität vs. Leitfähigkeit (Bindemittelgehalt)
- Volumen- und Gewichtsreduktion vs. Gasdichtheit (Restwandstärke)

Metallische BPP → Vorteile Bauvolumen

- freie Geometriewahl vs. günstige Fertigungsverfahren (Tiefziehen)
- Tiefziehbarkeit vs. Korrosionsempfindlichkeit (Rissbildung hochlegierter Stähle)
- kostengünstige Materialien vs. chemische Beständigkeit (Goldbeschichtung)

Materialentwicklung BPP

Rohstoffe & Mischung

Elektrische und thermische Eigenschaften
(z. B. Leitfähigkeit)

Mechanische Eigenschaften
(z. B. Festigkeit, Bruchdehnung)

Formgebungs-verhalten

Permeabilität

Langzeitbeständigkeit im Kon-takt mit Katalysatoren, Membran und Medien (z.B. saures Milieu)

Rohstoff- und Verarbeitungskosten
(Langfristige Verfügbarkeit, sichere Prozesse)

Materialentwicklung: Parameter

Rezepturentwicklung - Rohstoffübersicht

Füllstoffe

- Naturgraphite
- synthetische Graphite
- Leitfähigkeitsruße

Bindemittel

- Thermoplaste
- Duromere

Additive

- Formtrenn- und Presshilfsmittel

Einige Stellschrauben:

- Anteile an Rezeptur
- Kornfraktion
- Morphologie der Partikel
- Art und Reihenfolge der Aufbereitung

Werkstoffe abgestimmt auf die geforderten Eigenschaften

Rohstoffauswahl Bindemittel

Duromere Vorteile:

- kostengünstige Phenol- oder Epoxidharze
- hohe Wärmeformbeständigkeit
- gute chemische Beständigkeit
- geeignet für Spritz- und Gesenkpressen

Thermoplaste Vorteile:

- sehr geringe Kosten von NT-TPs (PP)
- sehr gute chemische Beständigkeit
- Recycling möglich
- Spritzguss möglich

Duromere Nachteile:

- längere Zykluszeiten (> 30 s)
- Recycling ist nicht möglich
- Compoundieren erfordert know-how

Thermoplaste Nachteile:

- hohe Kosten von HT-Thermoplasten
- Kriechneigung von NT-Thermoplasten

Fertigungsverfahren für Bipolarplatten

Gesenk-Pressen von Duromeren	Spritzgießen von Thermoplasten
Loses Pulverhaufwerk in offene Kavität	Schmelze in geschlossenes Werkzeug
Dickentoleranz abhängig von Füllung	Dickentoleranz sehr eng
Aushärtung unter Temperatur	Schmelze erstarrt im kalten Werkzeug
Zykluszeit länger als 30 s	Zykluszeit unter 30 s möglich
Durchbrüche schlecht anpressbar	Durchbrüche mit Kernschieber möglich
Nacharbeit notwendig	Kein Aufbohren nötig

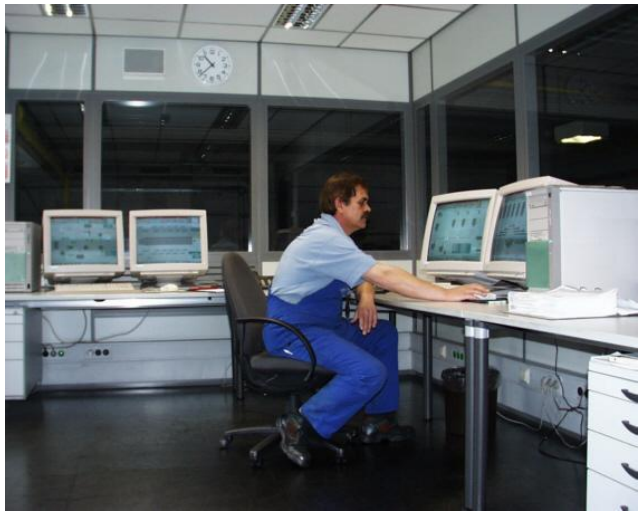
Fertigungsverfahren für Bipolarplatten

Gesenk-Pressen von Duromeren	Spritzgießen von Thermoplasten
Kurze Fließwege	Lange Fließwege
• Verarbeitung hochviskoser Massen	• hochviskose Masse → hohe Drücke
• hohe Füllgrade (80-90%)	• geringerer Füllgrad (<80%) oder Variotherm
• geeignet für dünne Platten	• große Restwandstärke notwendig
• geeignet für große Plattenflächen	• kleines Oberflächen/Volumen-Verhältnis
• geeignet für Mehrfachkavität	• große Platten → hohe Schließkräfte
• geringe Werkzeug- u. Maschinenkosten	• teure Werkzeuge und Maschinen
• geringer Werkzeugverschleiß	• Nacharbeit wegen Polymerfilm
• kaum Fließlinien	• hoher Werkzeugverschleiß
• keine bindemittelreiche Presshaut	• starke Texturen/ Bindenaht=Sollbruchstelle

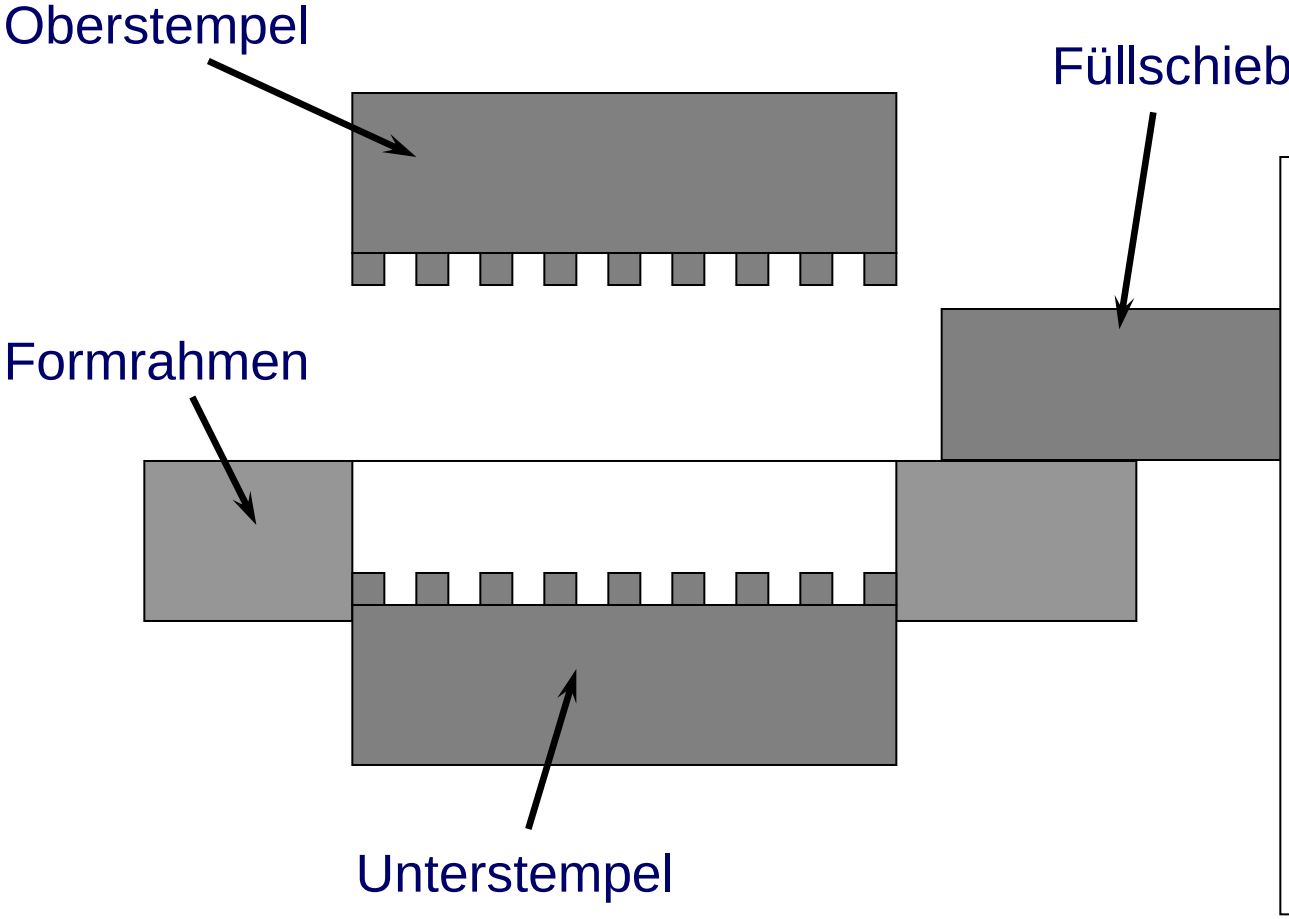
FERTIGUNGSTECHNIK

Compound-Herstellung

- Massenproduktion (bis 1000 kg/h)
- kontinuierlicher Mischprozess
- hohe Materialgüte und gleichmäßige Qualität durch modernste Prozessüberwachung
- Mahlprozess hat Einfluss auf Kornfraktion



Herstellungsverfahren für graphitische BPP



Pressbereit

Füllen

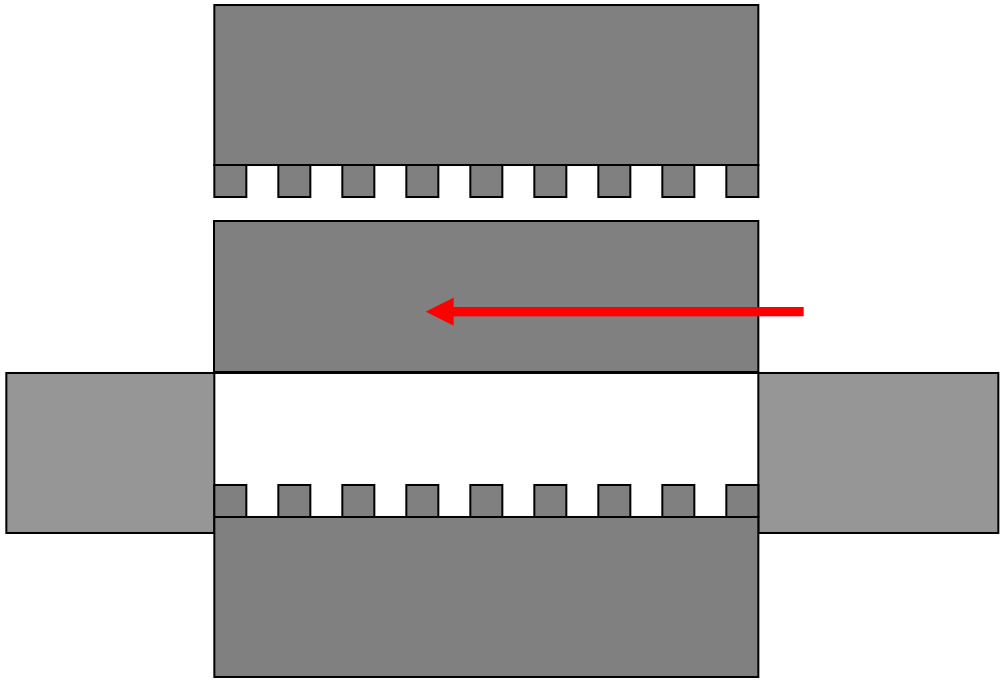
Verdichten

Abheben

Ausstossen

Entformen

Herstellungsverfahren für graphitische BPP



Pressbereit

Füllen 1

Verdichten

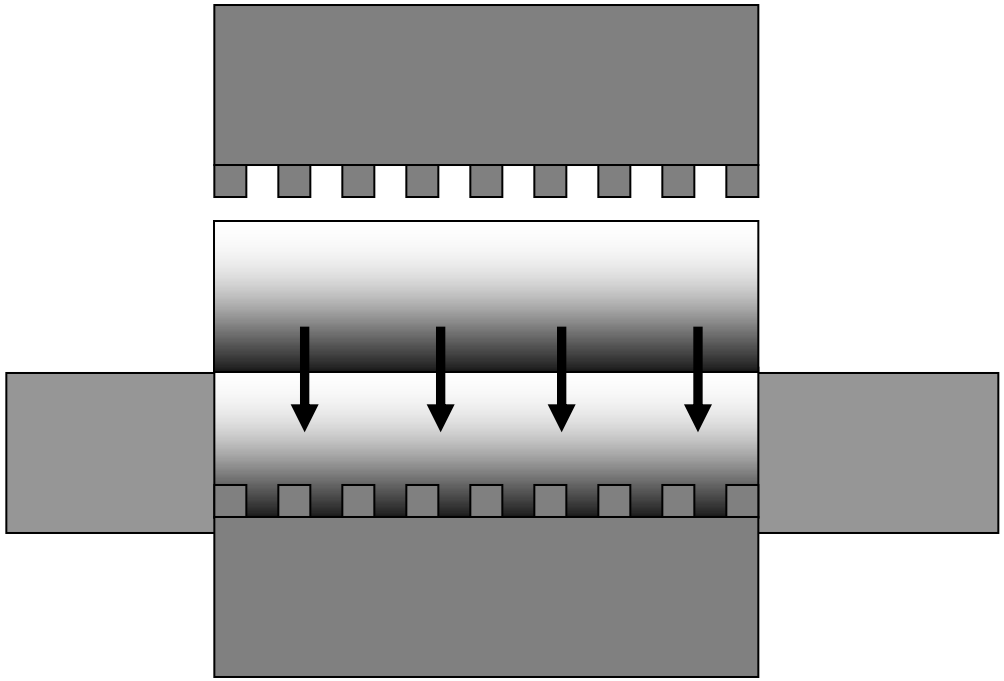
Abheben

Ausstossen

Entformen

Füllschieber fährt über Formnest

Herstellungsverfahren für graphitische BPP



Pressbereit

Füllen 2

Verdichten

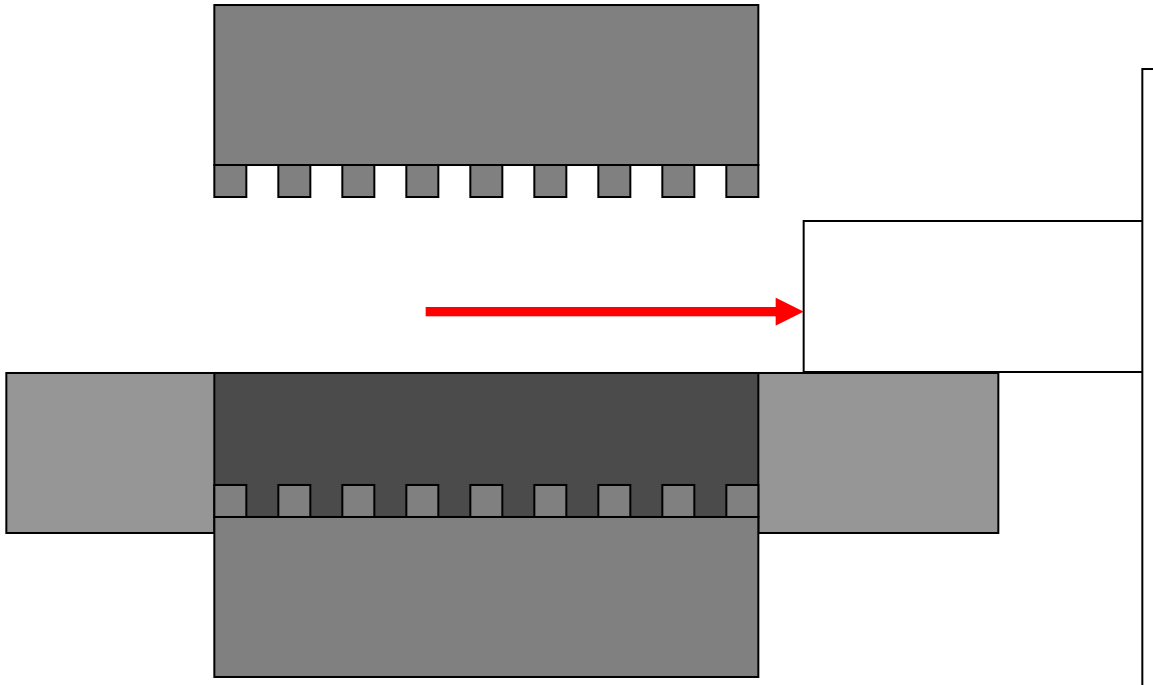
Abheben

Ausstossen

Entformen

Mischung fällt in das Gesenk

Herstellungsverfahren für graphitische BPP



Pressbereit

Füllen 3

Verdichten

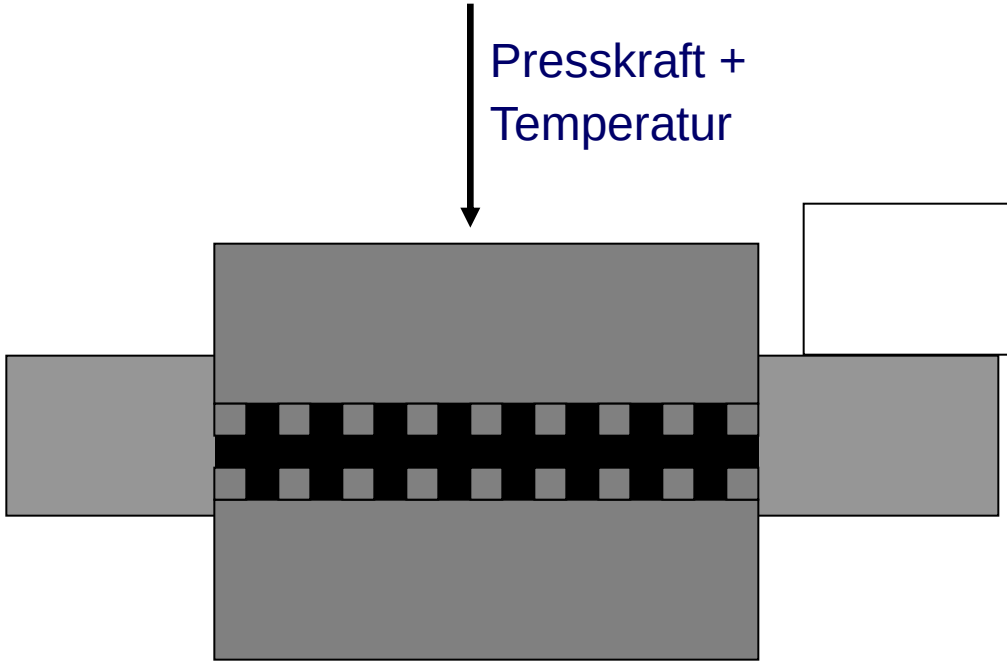
Abheben

Ausstossen

Entformen

Füllschieber fährt zurück

Herstellungsverfahren für graphitische BPP



Pressbereit

Füllen

Verdichten

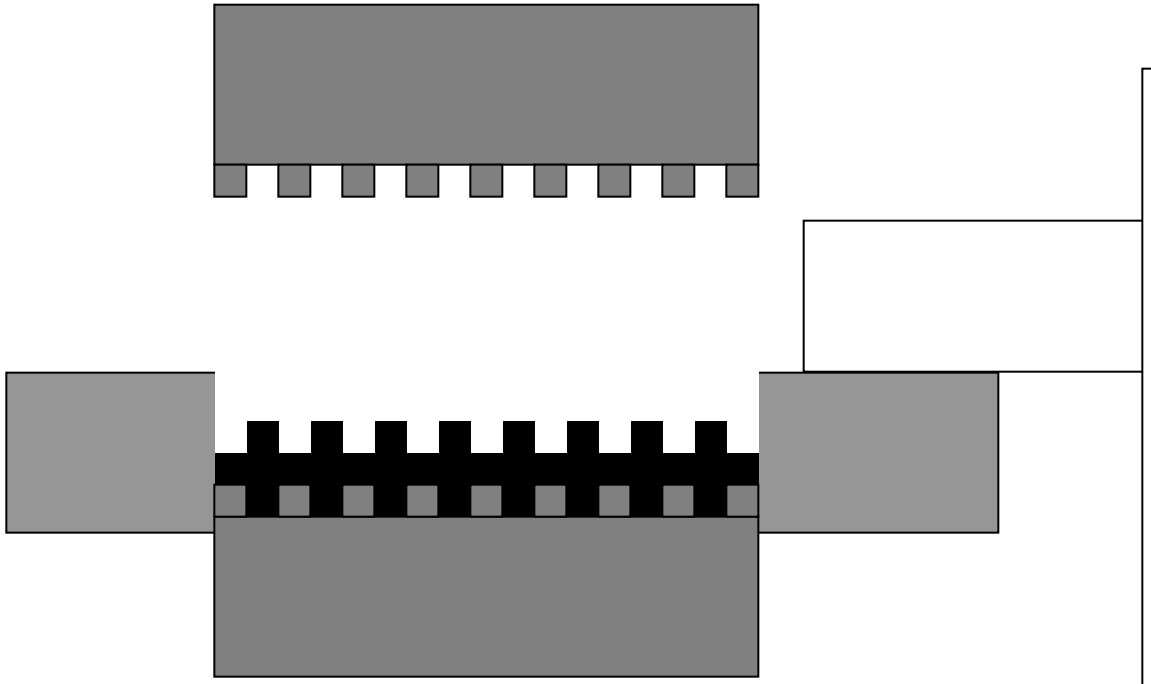
Abheben

Ausstossen

Entformen

Mischung wird verdichtet und ausgehärtet

Herstellungsverfahren für graphitische BPP



Pressbereit

Füllen

Verdichten

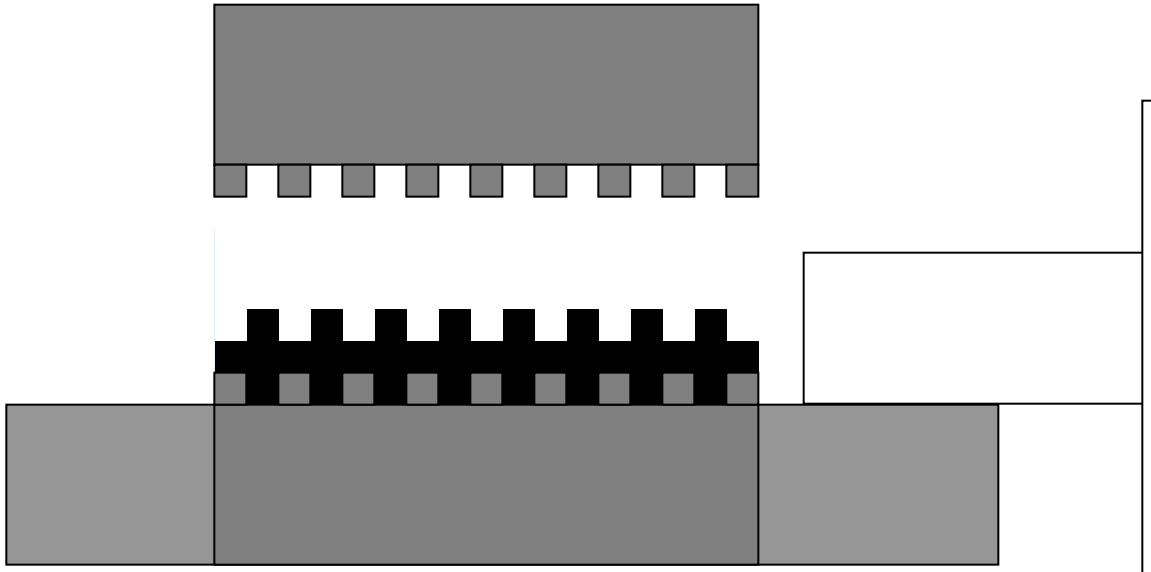
Abheben

Ausstossen

Entformen

Oberstempel hebt ab

Herstellungsverfahren für graphitische BPP



Pressbereit

Füllen

Verdichten

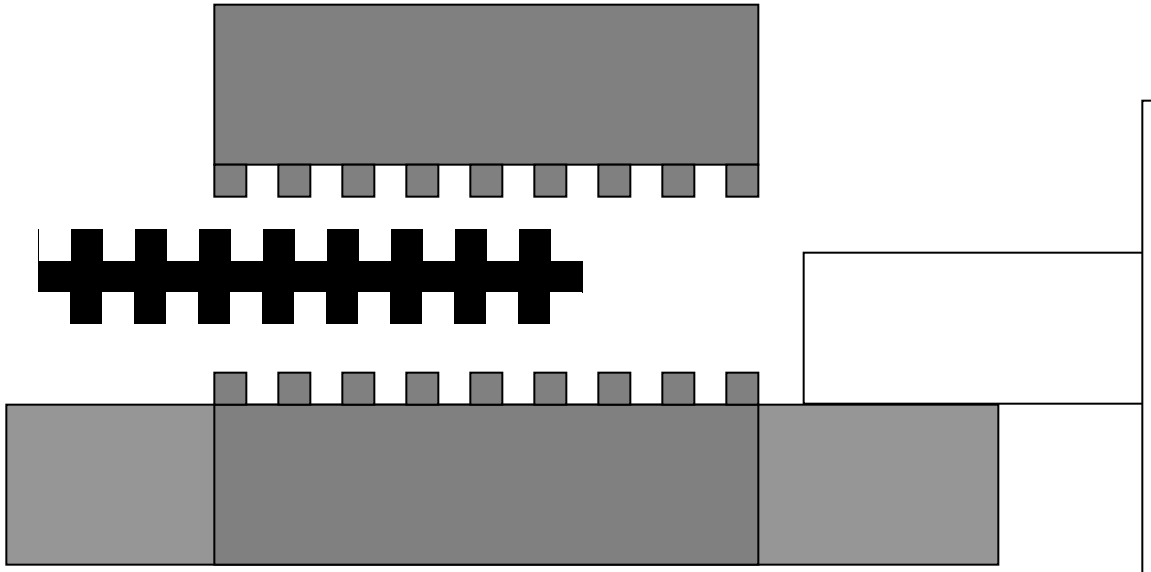
Abheben

Ausstossen

Entformen

Unterstempel fährt auf

Herstellungsverfahren für graphitische BPP



Pressbereit

Füllen

Verdichten

Abheben

Ausstossen

Entformen

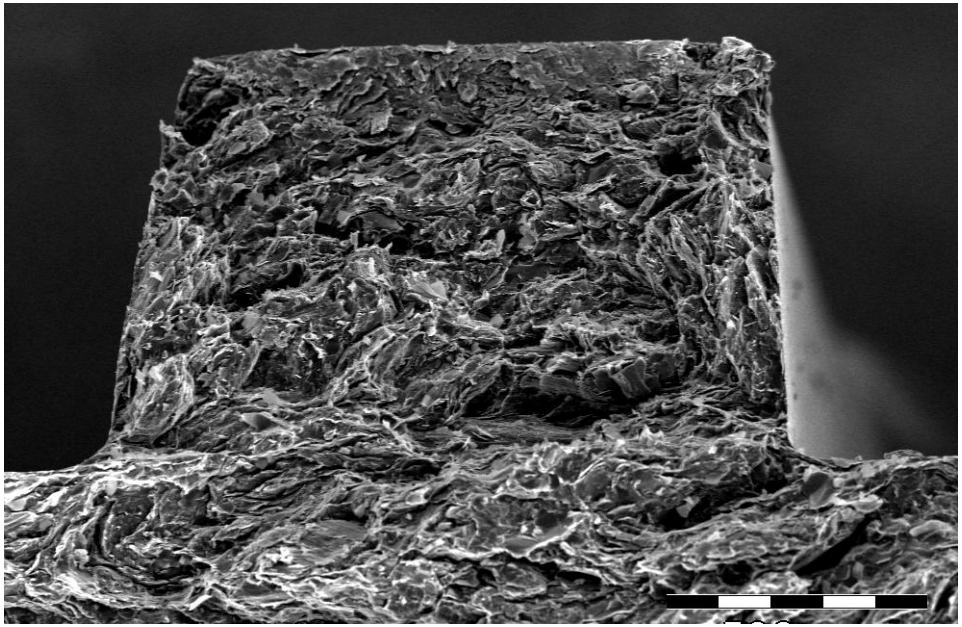
Platte kann entnommen werden

Fertigungsverfahren für Bipolarplatten

Endkonturnah gepresste BPP aus 6fach-Werkzeug

→ Niedrigere Herstellkosten trotz höherer Zykluszeit!

Herstellungsverfahren für graphitische BPP

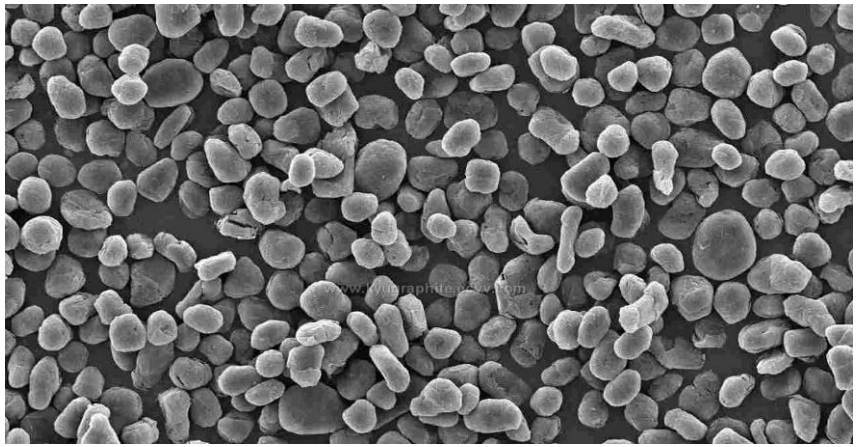


Gepresste Struktur

Spritzgegossene Struktur

- **Viel know-how notwendig für Auslegung von Presswerkzeugen**
- **Simulation kaum möglich, weil…**
- **Pulver → Schmelzen → Fließen → Vernetzen → Aushärten**

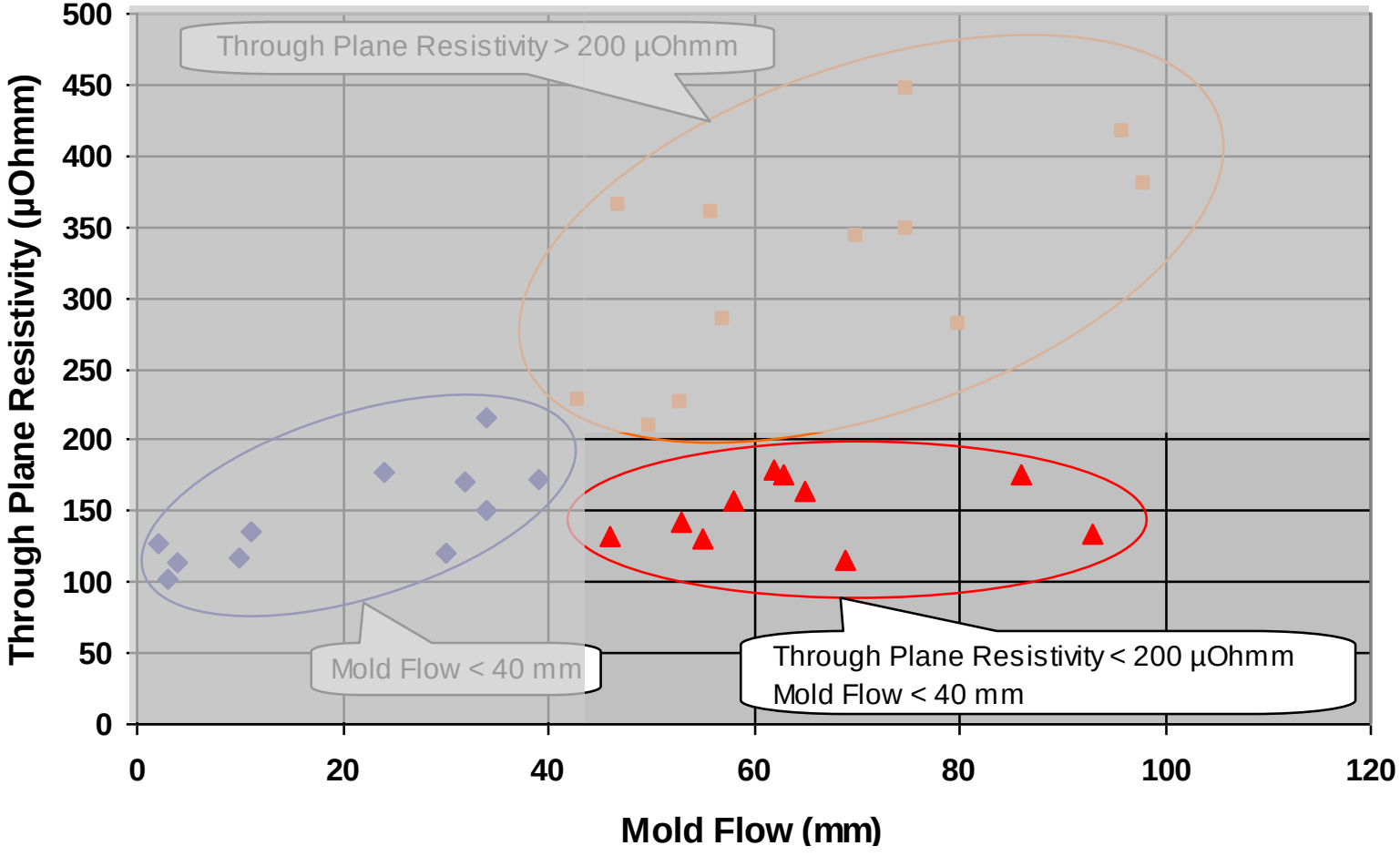
Rohstoffauswahl Füllstoffe



Morphologie der Füllstoffe hat Einfluss auf mechanische und elektrische Eigenschaften sowie auf die Formgebung

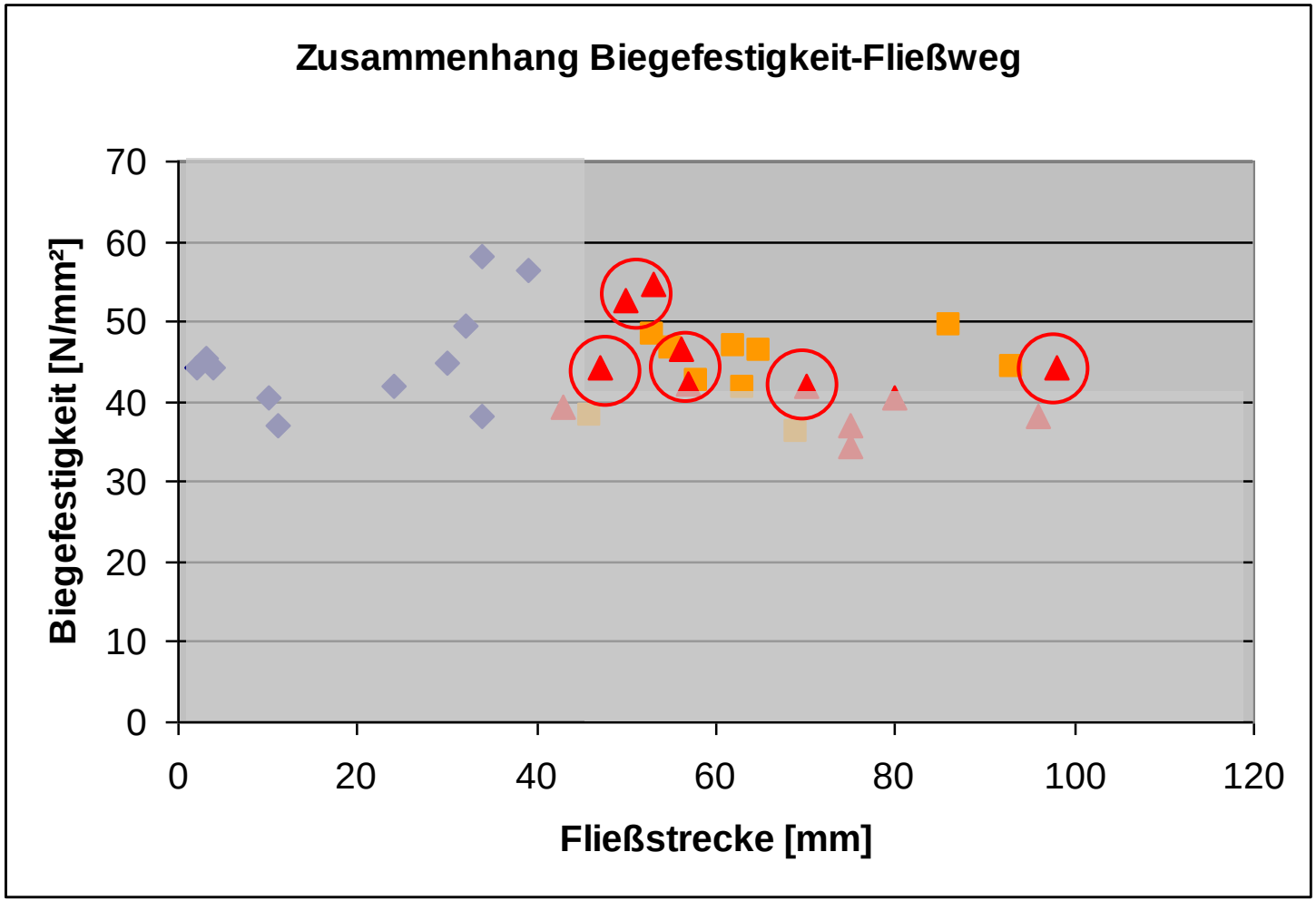
Rohstoffauswahl Füllstoffe

Einfluss der Füllstoffauswahl bei ansonsten gleicher Rezeptur

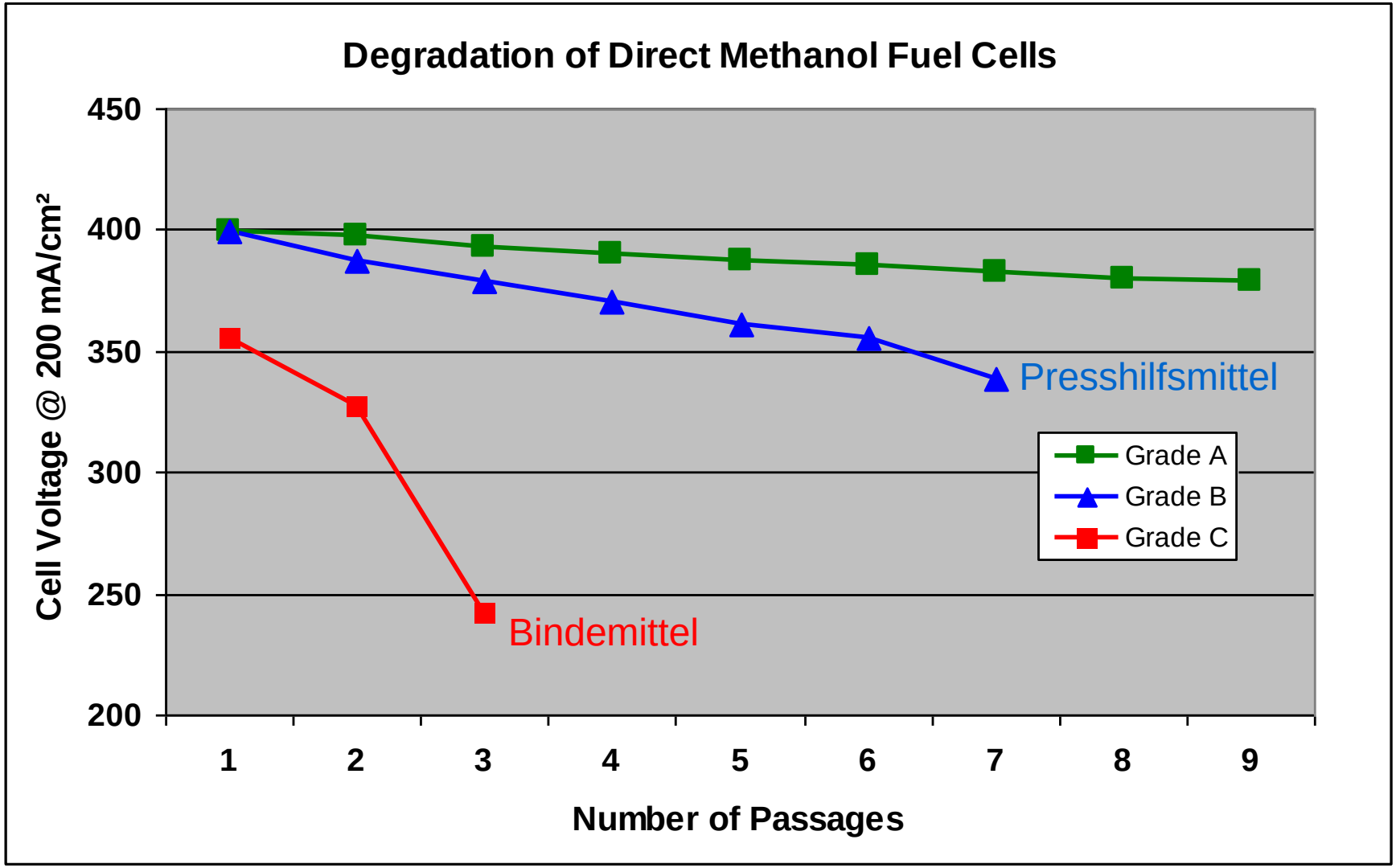


Rohstoffauswahl Füllstoffe

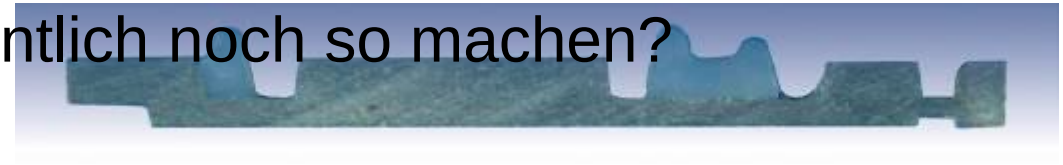
Einfluss der Füllstoffauswahl bei ansonsten gleicher Rezeptur



Anforderung Lebensdauer

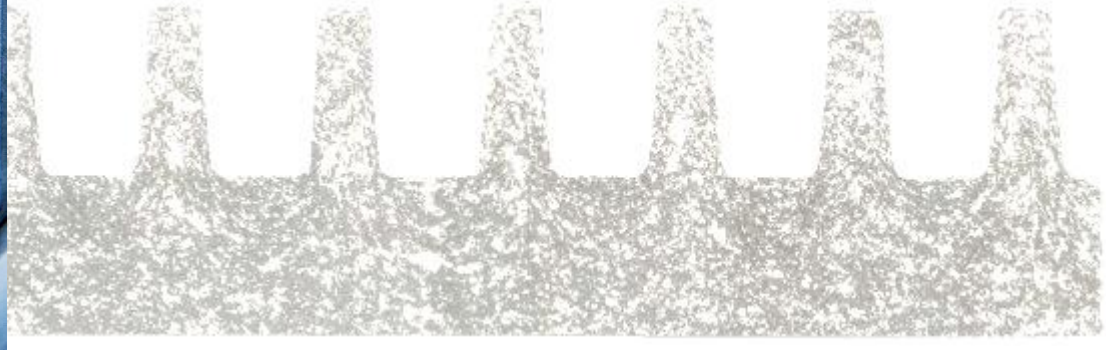


Welche Dinge kann man mit einer duromeren BPP eigentlich noch so machen?

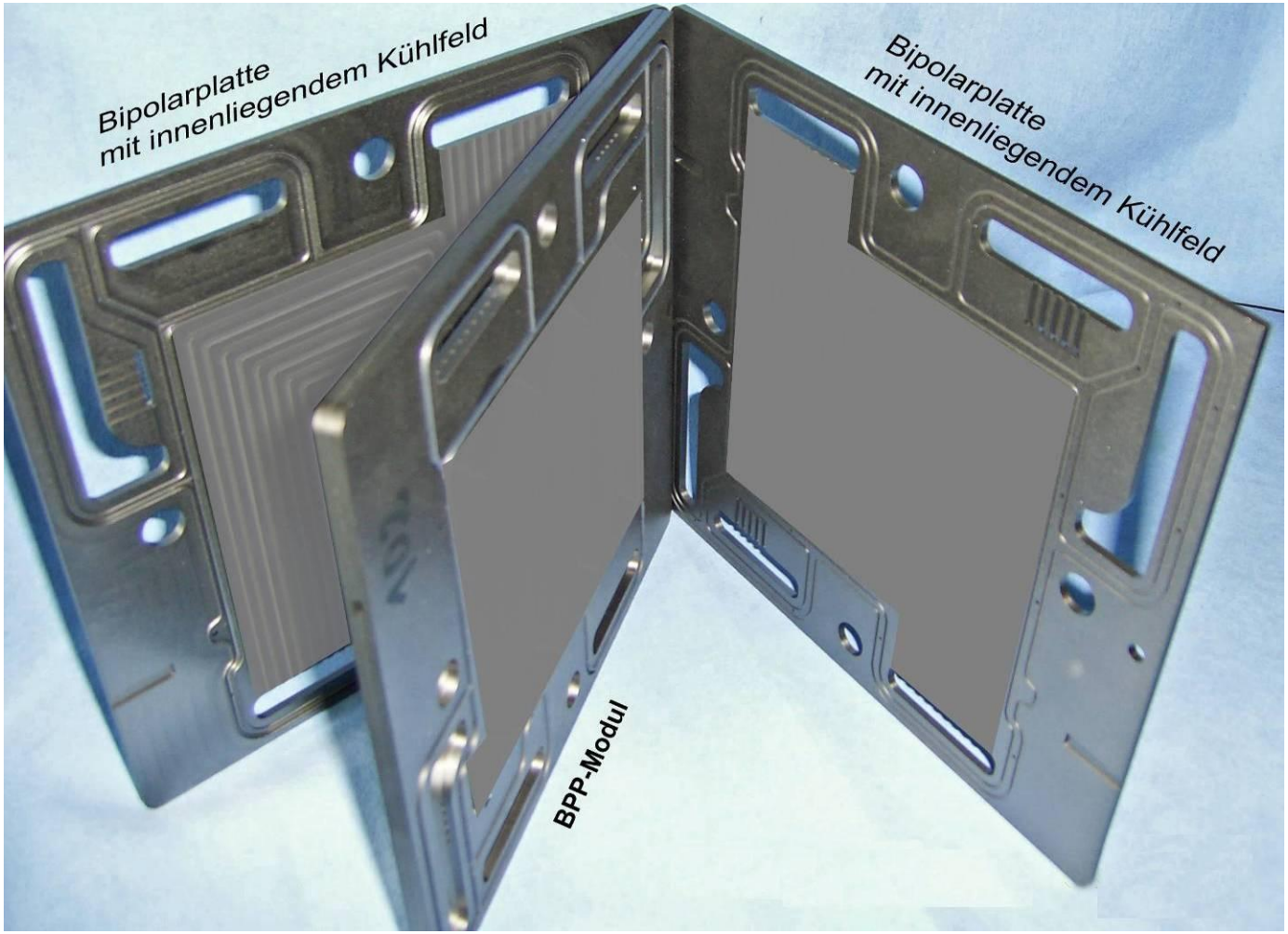


Zusätzlicher Nutzen: integrierte Dichtung

Kooperation mit Freudenberg Fuel cell Component Technology KG



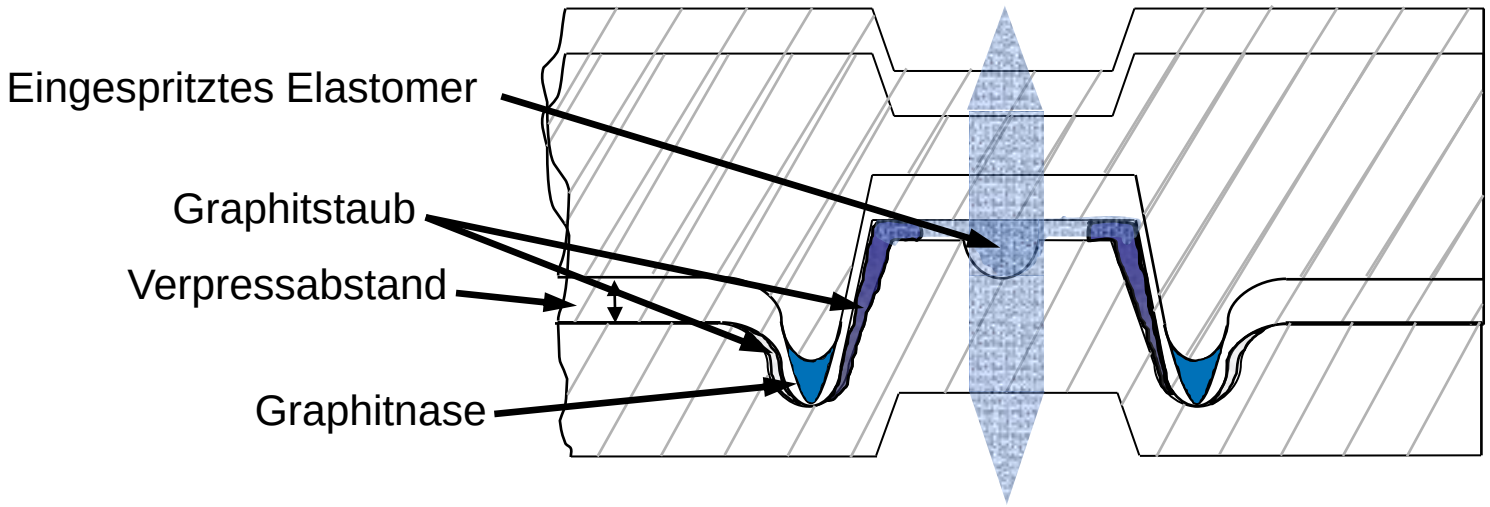
Funktionsintegration in graphitische BPP



Entwickelt mit Freudenberg FCCT KG und Viessmann Werke GmbH&Co. KG

Gefördert vom BMWi Fkz.: 0327751C

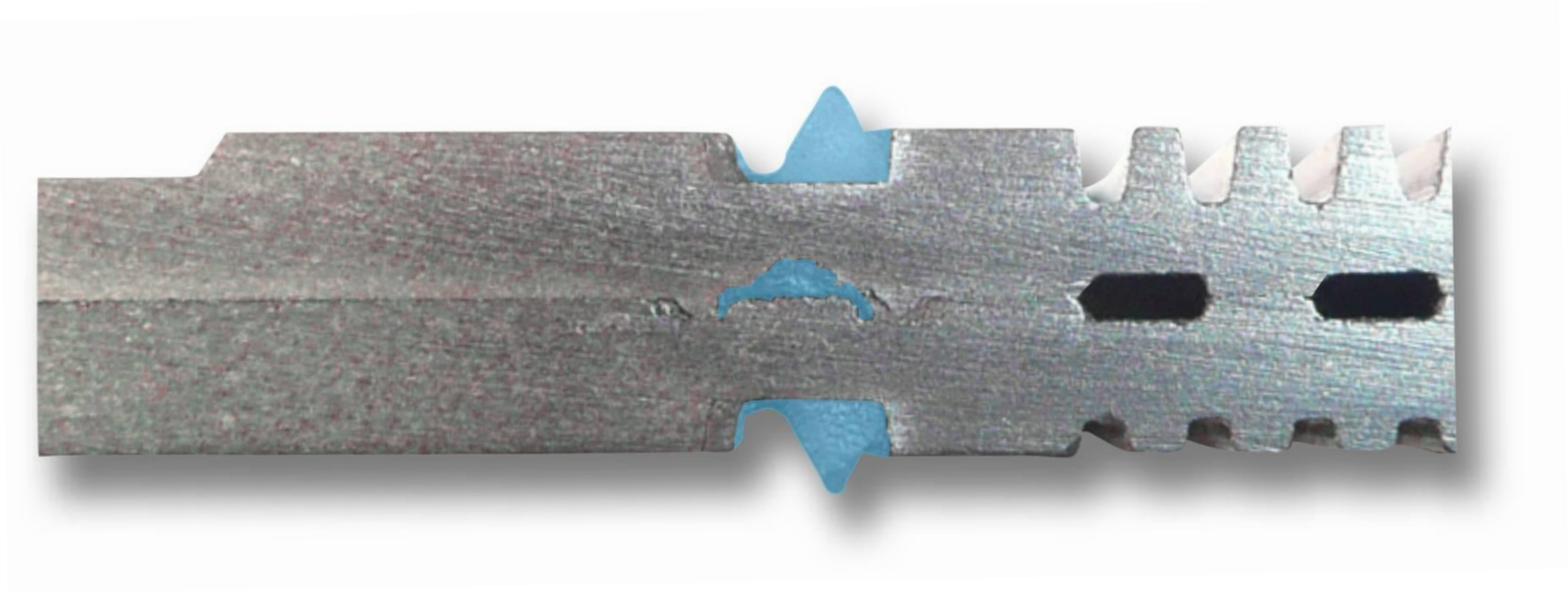
Aktuelle Entwicklung: das Kühlmodul



Entwickelt mit Freudenberg FCCT KG und Viessmann Werke GmbH&Co. KG

Gefördert vom BMWi Fkz.: 0327751C

Aktuelle Entwicklung: das Kühlmodul



Entwickelt mit Freudenberg FCCT KG und Viessmann Werke GmbH&Co. KG

Gefördert vom BMWi Fkz.: 0327751C

Vorteile des Kühlmoduls:

- 2 Platten und 3 Dichtungen in einem Bauteil, dadurch weniger Handling
- Kostenersparnis durch Formgebung bei größeren Serien
- Dichtheitsprüfung der Module vor Stackmontage
- Hohe Reproduzierbarkeit
- Verbesserte Fertigungssicherheit bei Stackassembly

→ Fertigungssichere und kostengünstigere Stacks

Wegweisende Technologie prämiert mit dem f-cell*A*ward 2008!

Entwickelt mit Freudenberg FCCT KG und Viessmann Werke GmbH&Co. KG

Gefördert vom BMWi Fkz.: 0327751C

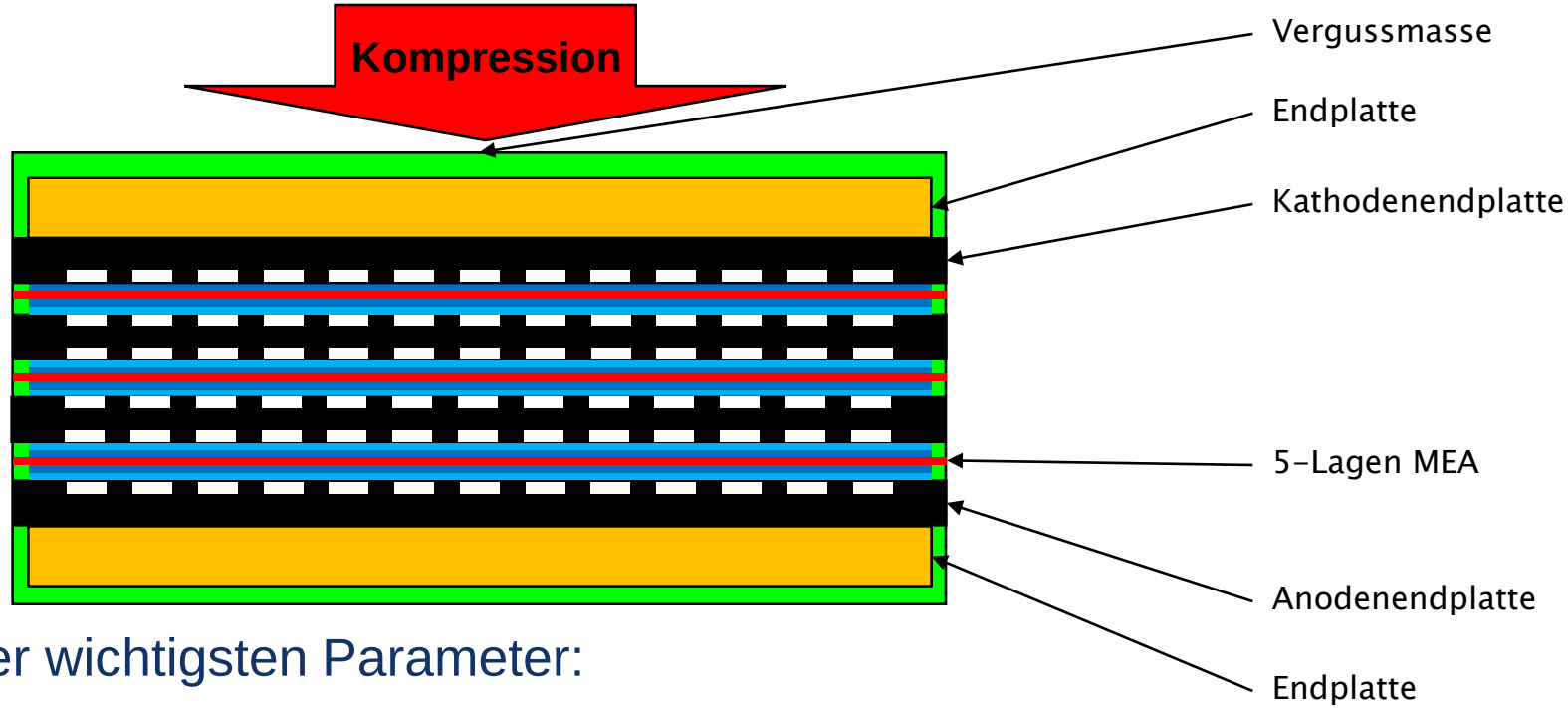
Welche höhere Integrationsstufe kann erreicht werden?

Komplette Zellen?

Ganze Stacks?

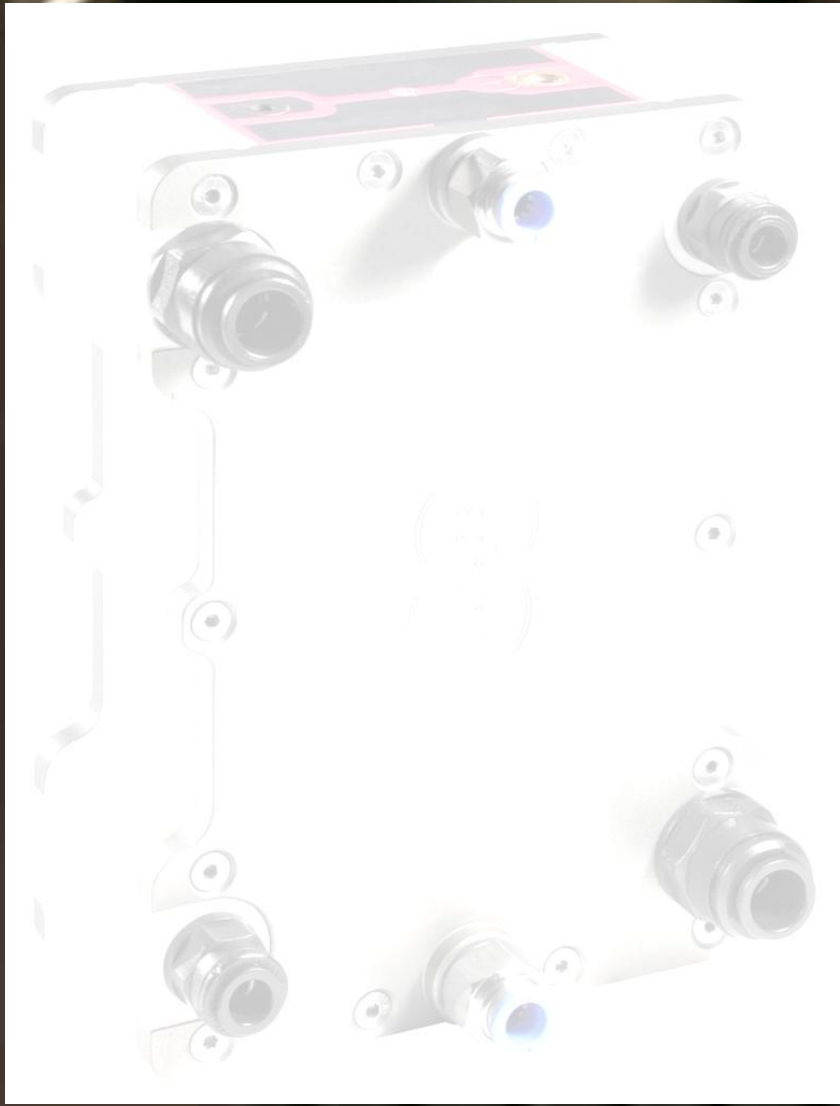
→ Ganzheitlicher Ansatz der Schunk Bahn- und Industrietechnik GmbH

Konzept des Stacks



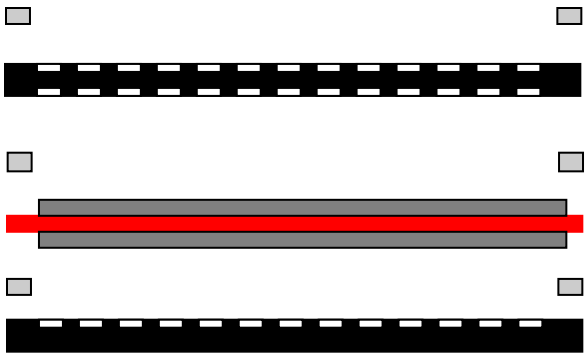
Kontrolle der wichtigsten Parameter:

- Viskosität und Vorvernetzung der Vergussmasse
- Entlüftung, Dosiergeschwindigkeiten und -druck
- Temperaturrampen bei Verguss und Härtung



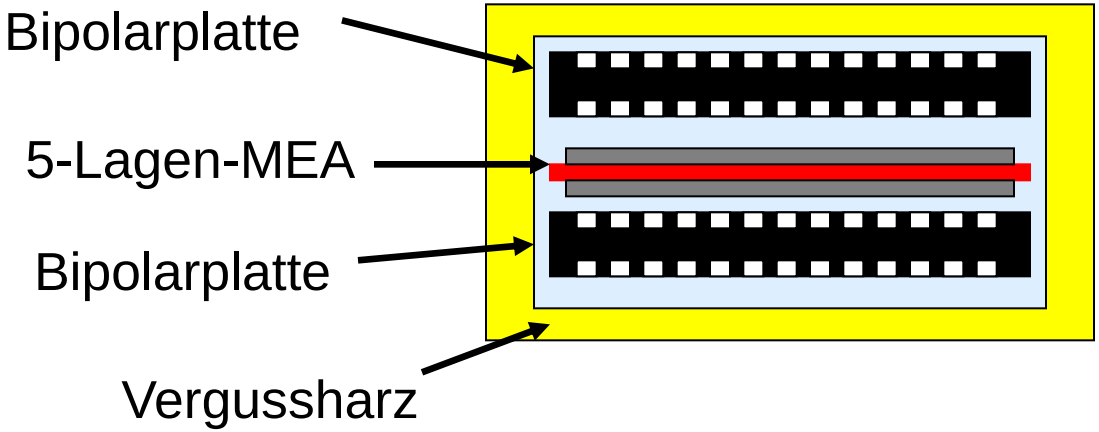
Vorteile des Konzepts

Konventionell:



6 verschiedene Bauteile pro Zelle!

Schunk-Konzept:



Nur **2** verschiedene Bauteile pro Zelle!

Konzept des Stacks

→Vergossener Zellstapel:

- Auf Dichtheit geprüft
- Lagerfähig
- Konfektionierbar in 4 Leistungsklassen

Besonderheiten der Stackmodule FC-42/HLC:

- keine Zelldichtungen notwendig durch Verguss des Stapels
  - → hohe Prozesssicherheit bei Montage
  - → optimale Kompression der GDL
- Kühlflüssigkeit elektrisch entkoppelt, deshalb kein DI-Wasser
- Stack-in-Stack-Konzept zum Kaskadieren in jeweilige Leistungsklasse
- standardisierte Einzelmodule gegen Teilevielfalt
- standardisierte und reproduzierbare Prüfroutinen
- hohe Verfügbarkeit

Wegweisende Technologie prämiert mit dem f-cell*A*ward 2009!

Die Schunk-Stackfamilie

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!