

BMBF Entwicklungsprojekt

**Autarkes Mikroenergiesystem für die portable  
Notfallmedizin**

**(Acronym: AMES-Power)**

FFCCT-Teilvorhaben

**Gasdiffusionsschicht mit integriertem Strömungsfeld  
und applizierter Dichtung**

**Schlussbericht**

**Förderkennzeichen:** 16SV3389  
**Bewilligungszeitraum:** 1.4.2008 bis 31.12.2011  
**Berichtszeitraum:** 1.4.2008 bis 31.12.2011

**Projektleiter:** Achim Bock, Freudenberg FCCT KG

**Autoren:** Achim Bock, Freudenberg FCCT KG  
Jochen Zabold, Freudenberg FCCT KG

Das Projekt wurde gefördert durch:



Weinheim, den 30.7.2012

## Inhalt

### Kurzfassung

1. Aufgabenstellung
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde
3. Planung und Ablauf des Verfahrens
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand bei Beginn des Projektes
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen
6. Erreichte Ziele und Ergebnisse:
  - Arbeitspaket 1: Konzepte für GDL, Dichtung und Elastomer festlegen
  - Arbeitspaket 2: Integration des Strömungsfeldes in die GDL
  - Arbeitspaket 3: Optimierung der Flowfield-GDL für den Einsatz im Mikrobrennstoffzellenstack
  - Arbeitspaket 4: Anpassung Dichtungsmaterial
  - Arbeitspaket 5: Dichtungsintegration
  - Zusammenfassung
7. Verwertbarkeit der Ergebnisse
  - Patent- und Schutzrechtsituation
  - Veröffentlichung der Ergebnisse

## Kurzfassung

Eine der Hauptforderungen bei Brennstoffzellen ist die Reduzierung der Herstellkosten. Dieses Ziel kann erreicht werden durch kostengünstiges Material, einfache Herstellprozesse und Funktionsintegration bei den Komponenten und im Stack.

In einem Verbundvorhaben zur Entwicklung eines autarken Mikroenergiesystems in Hybridtechnologie zur netzfernen Stromversorgung hatte Freudenberg Fuel Cell Component Technology KG (FFCCT) in ihrem Teilvorhaben die Entwicklung von Gasdiffusionsschichten (GDL) mit integriertem Strömungsfeld (Flowfield) und mit integrierter Dichtung für die im Gesamtvorhaben vorgesehene PEM-Brennstoffzelle (BZ) übernommen.

Das in diesem Teilprojekt realisierte Konzept zeichnet sich dadurch aus, dass das Strömungsfeld zur flächigen Verteilung der Reaktanten nicht, wie herkömmlich, integraler Teil der Bipolarplatte, sondern integraler Teil der Gasdiffusionslage ist.

Das Konzept der sogenannten Flowfield-GDL hat gegenüber dem Stand der Technik mit strukturierten Bipolarplatten mehrere Vorteile. So können die Bipolarplatten, die keine Gasverteilerstruktur aufnehmen müssen, als Folie ausgelegt werden. Das lässt das Gewicht des Brennstoffzellenstapels sowie die Material- und Herstellkosten sinken. Zudem ist die Formgebung bei den leichten, porösen Materialien der GDL im Allgemeinen weniger schwierig und zeitaufwendig als bei den dichten und starren Materialien der Bipolarplatten. Für den Aufbau einer Flowfield-GDL hat FFCCT die geeigneten Materialien, sowie Strukturierungs- und Aufbautechniken entwickelt.

Für die Integration von Dichtungen auf der Flowfield-GDL im massentauglichen Spritzgussverfahren wurde ein spritzgussfähiges 2-Komponenten Dichtungsmaterial entwickelt. Dieses Material wurde auf Beständigkeit gegenüber den BZ-Medien erfolgreich getestet und die Verarbeitung erprobt.

Die Änderung der BZ im Gesamtprojekt machte eine Anpassung der Flowfield-GDL erforderlich, so dass während der Projektlaufzeit die Integration der Dichtung mittels Spritzgussverfahren nicht umgesetzt werden konnte.

Für die Versuchsmuster hat FFCCT einen Dichtungsverbund entwickelt, der leicht an unterschiedlich große Dichtungsspalte und -geometrien angepasst werden konnte. Der Dichtungsverbund kann bei der Stackmontage auch als Positionierhilfe für den Aufbau der Flowfield-GDL genutzt werden.

In Abstimmung mit der FHG ISE wurden Anforderungsprofil und Spezifikation des BZ-Stack festgelegt. Die Leistungsfähigkeit der entwickelten Komponenten wurde ex-situ von FFCCT und in-situ von der FHG ISE getestet.

## 1. Aufgabenstellung

Technologieansätze für autarke Mikroenergiesysteme leiden in vielen Anwendungen unter zu geringen Energie- und Leistungsdichten, um attraktive Lösungen anbieten zu können.

Ein Schlüssel zur erfolgreichen Vermarktung von autarken Mikroenergiesystemen liegt in der Entwicklung von systemintegrierbaren, zuverlässig funktionierenden und fertigungstauglichen Hybridsystemen, die hohe Energiedichten erreichen und damit den gestiegenen Anforderungen der verschiedenen Verbraucher Rechnung tragen können. Durch die Kombination eines kaltstartfähigen Hochleistungsakkumulators mit einer Brennstoffzelle, die ihre Energie aus chemischen Hydriden bezieht, wird eine hybride Energieversorgungseinheit ermöglicht, welche der herkömmlichen Batterietechnik weit überlegen ist.

In diesem Verbundprojekt hatten sich die Projektpartner zunächst zum Ziel gesetzt, ein autarkes, 20 W<sub>el</sub> - Mikroenergiesystem in Hybridtechnologie zu entwickeln, welches sich durch vier wesentliche Innovationsmerkmale vom derzeitigen Stand der Technik abheben sollte:

- Außentaugliches Energieversorgungssystem, das durch eine neuartige Energiemanagementstrategie in einem weiten Temperaturbereich verschiedene Anwendungen zuverlässig mit Energie versorgen kann.
- Einsatz eines umweltfreundlichen und ungefährlichen chemischen Hydrids als neuartiger Energiespeicher. Das chemische Hydrid weist als granulierter oder pelletierter Feststoff eine besonders gute Handhabbarkeit auf.
- **Innovatives, für den portablen Bereich optimiertes und besonders leichtes Design des elektrochemischen Energiewandlers mit hohen gravimetrischen und volumetrischen Leistungsdichten. Die Folienbauweise erleichtert eine flexible Formgebung und ermöglicht eine kostengünstige Massenfertigung.**
- Die Entwicklung wird vom Leitanwender vorangetrieben und zielführend begleitet. Somit wird eine direkte Vermarktbarkeit sichergestellt.

### 1.1 Die wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele von FFCCT

FFCCT hatte in dem Projekt die Aufgaben übernommen, zur Herstellung eines Brennstoffzellen-Subsystem in Folienbauweise eine neuartige Brennstoffzellen-Komponente zu entwickeln.

Dazu war eine GDL im Mikromaßstab zu strukturieren, um eine Versorgung der Elektroden mit den Reaktionsgasen sowie die Abführung der Reaktionsprodukte zu erlauben. Die Gasverteilungsstruktur sollte dabei mittels hydrophober und hydrophiler Beschichtung der karbonisierten Vliesfasern sowie mechanischem Prägen oder Stanzen der GDL hergestellt werden. Die GDL mit diesen Eigenschaften wird nachfolgend als Flowfield-GDL bezeichnet.

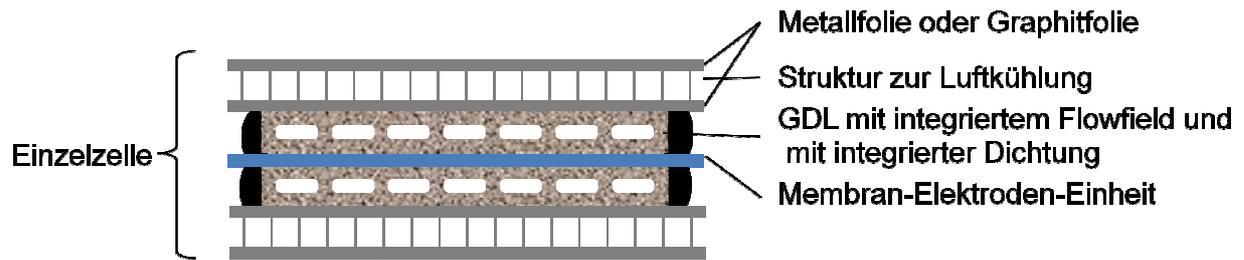


Abbildung 1. Skizze zum Zellaufbau einer Mikro-Brennstoffzelle in Folientechnik

Dieses Konzept ermöglicht eine fertigungsoptimierte Herstellung der Mikrokanäle und den Verzicht auf die herkömmliche Bipolarplatte, die durch eine Metall- bzw. Graphitfolie ersetzt werden kann und eine flexible Formgebung des Stacks ermöglicht. So könnten z. B. auch zylindrische Formen des Stacks erreicht werden.

Die geforderte kostengünstige Montage und eine hohe Qualität bedingten neue Ansätze für die Fertigungs- und Mikrosystemtechnik. Die Arbeiten des Konsortiums zielten auf einen stark vereinfachten Brennstoffzellenaufbau, wobei die klassische Bipolarplatte, die Gasdiffusionsschicht und die Abdichtungen durch innovative Komponenten ersetzt wurden, die die Funktionen von Flow-Field, Gasfeinverteilung, Stromableitung, sowie Dichtung und Kühlung vereinen.

FFCCT hat dazu mikrostrukturierte und beschichtete GDLs und Dichtungen entwickelt, die zwischen der Membran-Elektroden-Einheit (MEA) und der Metall- bzw. Graphit-Separatorfolie sicher platziert werden können. Für die Mikrostrukturierung und Beschichtung der GDL, sowie das Applizieren der Dichtung auf die GDL wurden bekannte Herstellverfahren, wie z. B. CNC gesteuerte Schneidtechniken, weiterentwickelt und die Rohmaterialien optimiert. Durch diesen konzeptionellen Ansatz wurden die Voraussetzungen für eine Serienfertigung der Komponenten und für eine automatisierte Stackmontage mit hoher Ausbeute geschaffen.

## 2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt wurde gestartet unter folgenden Voraussetzungen:

- Die Flowfield-GDL sollte als vliestoffbasierte GDL aufgebaut werden.
- Die Zusammenarbeit im Konsortium auch mit einem Endabnehmer sollte sicher stellen, dass möglichst zielgerichtet entwickelt werden kann, durch Abstimmung der Anforderungen, durch laufende Tests und Bewertung der Versuchsmuster durch die jeweiligen Konsortialpartner, sowie durch eine abgestimmte Projektführung.

- Die bei Freudenberg eingesetzten Herstellverfahren und die vorhandenen Anlagen für die Standard-GDL von FFCCT sollten soweit wie möglich genutzt werden, um eine möglichst schnelle Umsetzung in ein marktfähiges Produkt zu gewährleisten.

In der geplanten Umsetzungskette zur Entwicklung eines Mikroenergiesystems hat FFCCT die Entwicklung und Bereitstellung strukturierter und Standard GDLs, sowie die Abdichtung für die Direkt-Gasverteilung der Brennstoffzelle übernommen.

Projektpartner und Endanwender der Entwicklung war zunächst die Fa. Ansmann Energy, die u.a. Akkus und Akkupacks für den Konsumer- und Industriebereich herstellt. Als Endanwendung war ein autarkes Mikroenergiesystem mit 20 W<sub>el</sub> in Hybridtechnologie zur netzfernen Stromversorgung beabsichtigt. Abbildung 2 stellt die ursprünglich geplante Zusammenarbeit des Anfangskonsortiums dar.

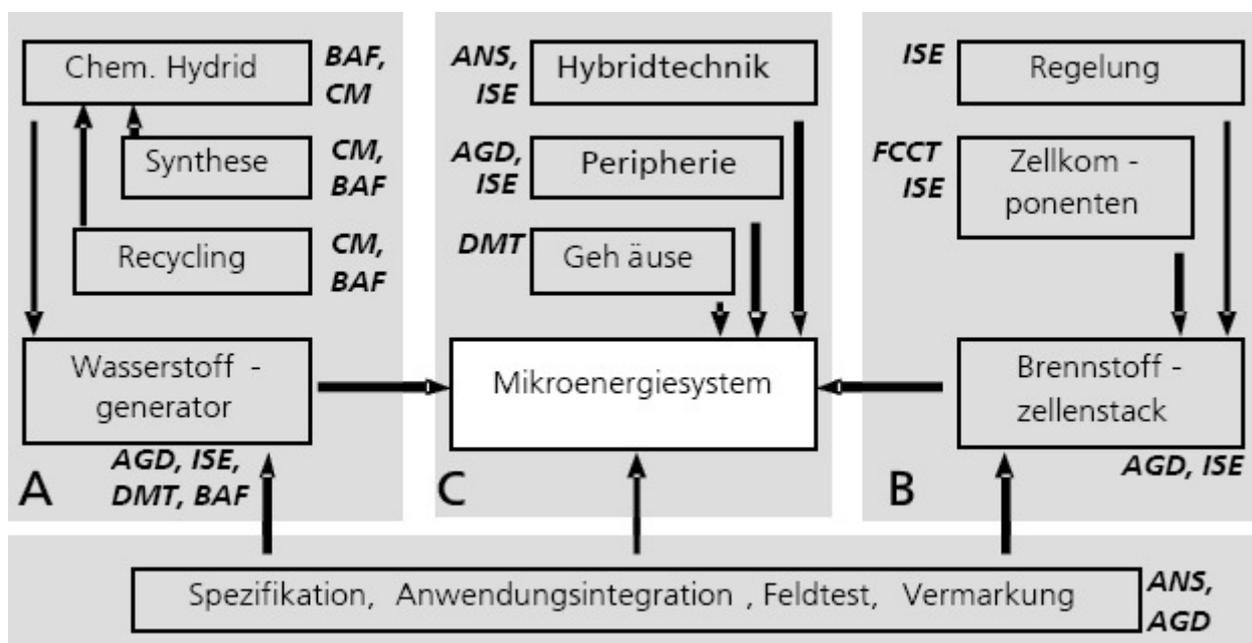


Abbildung 2: : Zusammenarbeit bei der Entwicklung eines Mikroenergiesystems

Nachdem die Firmen Ansmann und AGD Ende 2008 aus firmeninternen Gründen die Mitarbeit im Projekt aufgekündigt hatten, wurde die Fa. Bebro electronic Mitte 2009 als Projektpartner gewonnen und die Endanwendung, sowie die Aufgabenverteilung geändert. DMT und Bebro brachten als Endanwendung ein autarkes Mikroenergiesystem für die Notfallversorgung ein, das aber eine Ausgangsleistung von 200 W<sub>el</sub> benötigt. Fraunhofer ISE übernahm die Gesamtverantwortung für die Realisierung des Stacks.

Die höhere Ausgangsleistung hatte u. a. zur Folge, dass sich die Größe der Brennstoffzelle und des Stacks änderte. FFCCT musste daher während der Projektlaufzeit das Anforderungsprofil seiner Entwicklungsprodukte neu anpassen

und neue Flowfield-GDL-Versuchsmuster herstellen. Das brachte auch eine Aufgabenverlagerung bei der Entwicklung integrierter Dichtungen mit sich. Das ursprünglich geplante Konzept einer Direktassemblierung der Dichtung auf die Flowfield-GDL im Spritzgussverfahren war während der Projektlaufzeit nicht zielführend, da der Entwicklungsprozess laufende Änderungen in der Ausführung der GDL mit sich brachte und erst am Ende des Projekts ein eingefrorenes Design vorlag als Vorbedingung für die Auslegung eines Spritzgusswerkzeuges.

Für die Versuchsmuster wurde die Entwicklung eines neuartigen Dichtungsverbundes verfolgt, der ohne großen Aufwand dem jeweiligen Entwicklungsstand der Flowfield-GDL angepasst werden konnte. Die Entwicklungsarbeiten dazu wurden von FFCCT selbst durchgeführt.

### 3. Planung und Ablauf des Verfahrens

Schwerpunkte waren die Entwicklung von Gasdiffusionsvliesen mit integriertem Flow-Field und neuartigen Dichtungen zur Erreichung hoher Leistungsdichten bei gleichzeitig vereinfachtem Stackaufbau

Daraus ergaben sich folgende Aufgaben:

- AP1** Erstellen eines Anforderungsprofils für die Mikrobrennstoffzelle in Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern.
- Erarbeitung und Bewertung von Konzepten zur Fertigung eines Flowfield-GDL Grundmaterials mit der geforderten Zieldicke
  - Erarbeitung und Bewertung von Konzepten zur Strukturierung von GDLs für die Ausbildung eines Gasverteilungssystems.
  - Erarbeitung und Bewertung von Konzepten zur Dichtungsintegration auf strukturierten GDLs
  - Entscheidung für ein Konzept
- AP2** Entwicklung von Prozessen zur Strukturierung von GDLs.
- Vergleich verschiedener Prozesse und Verfahren zur Strukturierung von GDLs
  - Herstellen von Versuchsmustern
  - Design und Bau von Werkzeugen und Prüfvorrichtungen
  - Lebensdauer- und Zuverlässigkeitstests
- AP3** Design und Funktionsmusterherstellung von strukturierten GDLs mit integrierten Dichtungen für Einbauversuche und für den Aufbau von Stackprototypen. Herstellung erfolgte teilweise im Unterauftrag bei einer Freudenberg Gesellschaft
- AP4/5** Herstellen von Dichtungen für strukturierte GDLs als Versuchsmuster.
- Anpassung des Dichtungsmaterials
  - Dichtigkeits- und Beständigkeitsuntersuchungen

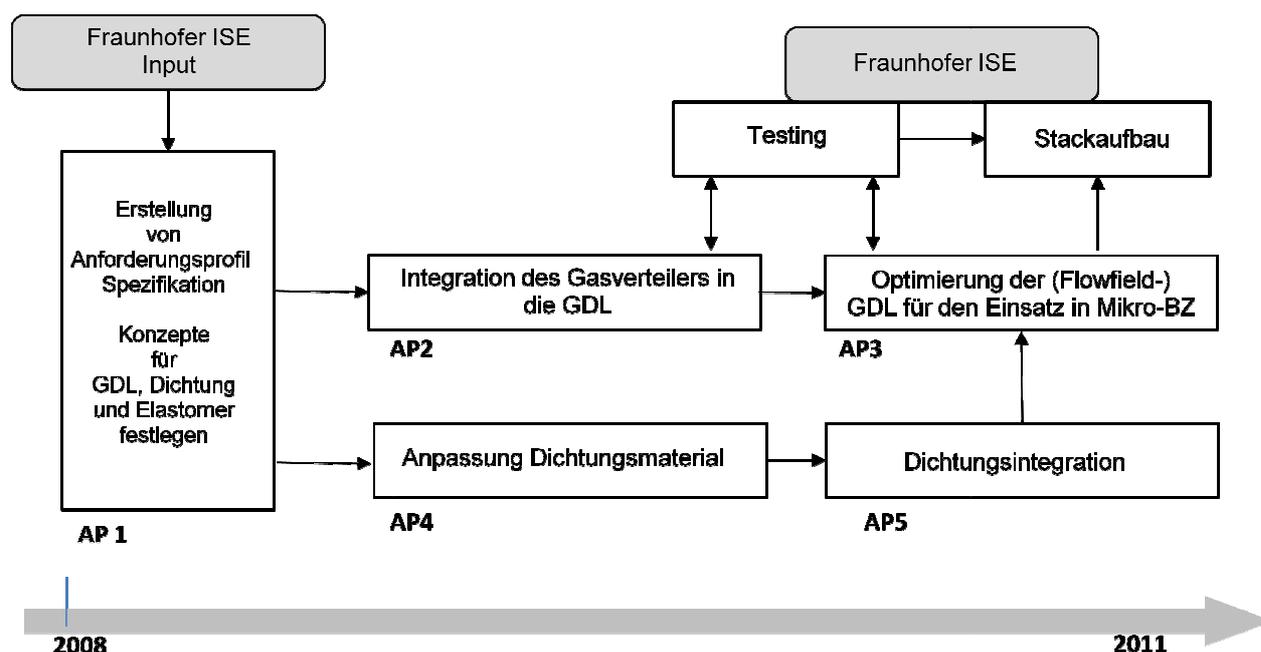


Abbildung 3: Organigramm zu den Arbeitspaketen

## 4. Wissenschaftlicher und technischer Stand bei Beginn des Projektes

Gasdiffusionsvliese finden bereits Einsatz bei PEM-BZ, die mit reinem Wasserstoff oder wasserstoffreichen Gasen aus Reforming-Prozessen betrieben werden. Hier konnte gezeigt werden, dass die als Rollenware hergestellten mechanisch verfestigten Gasdiffusionsvliese eine prozesstechnisch vorteilhafte und wirtschaftlich reizvolle Alternative zu konventionellen GDLs (Gewebe und Papier) darstellen. Üblicherweise sind die GDLs mit einer zusätzlichen mikroporösen Schicht (MPL) ausgerüstet.

Bisher wurde noch nicht untersucht, wieweit solche flexiblen GDLs mit einer Struktur versehen werden können, die die Funktion des Flowfields, das bisher üblicherweise in den graphitischen oder metallischen Bipolarplatten eingearbeitet ist, erfüllt. Diese neuartige Funktionsintegration würde zu einer erheblichen Gewichts- und Volumenreduzierung des Stacks führen. Denn statt aus massiven Graphitplatten oder Metallblechen mit eingepprägtem Flowfield könnten die Bipolarplatten als Metall- oder Graphitfolien ausgeführt sein, wobei diese Folien die Aufgaben erfüllen, die Reaktionsräume benachbarter Zellen gasdicht zu trennen und die Wärme abzuleiten. Diese Bipolarfolien würden zudem die Möglichkeit eröffnen, Brennstoffzellen auch flexibel verformbar herstellen zu können. Außerdem ist davon auszugehen, dass die Herstellung einer Flowfield-Struktur in der GDL kostengünstiger auszuführen ist als bei den herkömmlichen Bipolarplatten.

Dichtungen in der Brennstoffzelle haben die Aufgaben,

- die Brennstoffzelle gegen die Umgebung zu dichten und
- intern den direkten Gas- oder Flüssigkeitsübertritt zu verhindern.

Für diese Dichtungsaufgaben werden in der Regel hochverformbare profilierte Dichtungen aus elastomeren Werkstoffen eingesetzt. Profildichtungen erzielen schon bei geringer Verformung eine zuverlässige Dichtwirkung und lassen sich in weiten Bereichen verpressen, ohne dass übermäßige Reaktionskräfte auftreten, die z. B. die Bipolarplatte zerstören könnten.

Für die Direkt-Dichtungsintegration kommen alle Komponenten der Brennstoffzelle in Frage:

- Bipolarplatten
- GDL
- Membran und die
- Membran-Elektroden-Anordnungen

Als ein Lösungsansatz wurde in diesem Teilvorhaben die Integration der Dichtungen auf den GDLs gesehen. Die integrierte Dichtung kann dabei vorteilhaft so geformt werden, dass die Membran positionsgenau in die Dichtung eingesetzt werden kann und mit den benachbarten GDLs eine MEA bildet, die zuverlässig zur Umgebung des Stacks abgedichtet wird. Die Verbausicherheit und die Funktionssicherheit der Membran bzw. der MEA kann dadurch stark erhöht werden.

FFCCT hat Werkstoffe und Spritzgieß- Prozesse entwickelt, um Dichtungen direkt auf Bipolarplatten und auf GDLs für Niedertemperatur PEM-BZ zu integrieren. Bisher wurde noch nicht untersucht, wie sich auf strukturierten GDLs Dichtungen integrieren lassen. Innovative Dichtungslösungen, wie sie bereits von FFCCT entwickelt wurden, sollten auf dieses Projekt übertragen werden.

## **5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Fraunhofer ISE war federführend für die Konzeption, Auslegung und Entwicklung des Gesamtsystems, sowie für die Entwicklung und dem Aufbau eines BZ-Stacks. Der Input von und die Kooperation mit diesem Partner war daher für den Entwicklungspart von FFCCT ganz wesentlich. Fraunhofer ISE lieferte die für die Entwicklung notwendigen, konstruktiven Vorgaben, sowie die Betriebsbedingungen der PEM-BZ und stellte Anforderungen an die Flowfield-GDL zur Verbesserung der Betriebs- und Montageeigenschaften und der Wirtschaftlichkeit. Fraunhofer ISE führte insbesondere Labor- und Feldtests an Versuchs- und Funktionsmuster von FFCCT durch, um die Eigenschaften der FFCCT-Entwicklungsmuster zu charakterisieren.

Bei der Strukturierung der GDL-Muster konnte FFCCT auf Verfahren zurückgreifen, die bei Freudenberg bereits bei anderen Produkten angewendet werden. Notwendige chem. Analysen, physikalische Untersuchungen und REM-Aufnahmen wurden von den Freudenberg Forschungsdiensten durchgeführt.

## 6. Erreichte Ziele und Ergebnisse

### AP1: Konzepte für GDL, Dichtung und Elastomer festlegen

**Ziel:** Konzepte und Spezifikationen sowohl für die Gasdiffusionslagen, für die Ausführung des Strömungsfeldes als auch für die Dichtungen und die Dichtungselastomere festlegen.

#### AP1.1 Flowfield-GDL-Konzept

In einer ersten Teilaufgabe wurde das Anforderungsprofil an eine GDL mit integriertem Flowfield erarbeitet und verschiedene mögliche Konzepte bewertet. Die größten Möglichkeiten bzgl. Designflexibilität, Performance und Herstellung bietet ein Aufbau der Flowfield-GDL aus 2 bzw. 3 Lagen, wie in Abbildung 4 dargestellt.

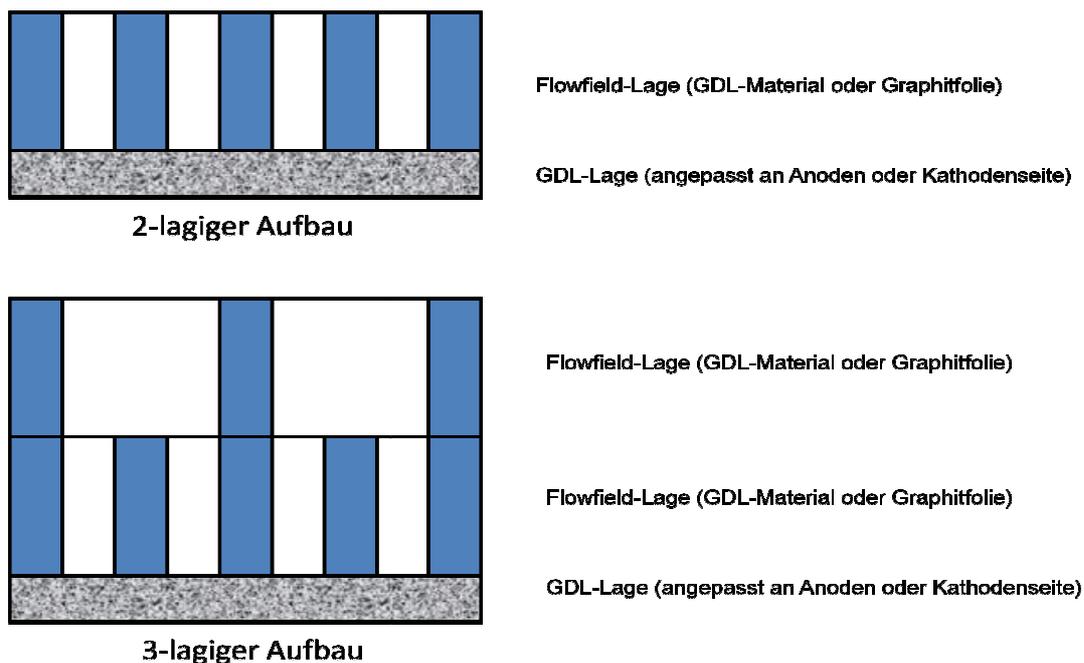


Abbildung 4: Aufbaukonzept für Flowfield-GDL

Das ausgewählte Konzept zeichnet sich dadurch aus, dass die beiden Lagen, „GDL“ und „Flowfield-Lage“, getrennt entwickelt, gefertigt und anschließend mit Hilfe der Dichtung zu einer Einheit zusammen gefasst werden können. Die Flowfield-Kanäle werden dabei durch Aussparungen in der Flowfield-Lage erzeugt.

Aufgrund der spezifischen Betriebsbedingungen der Mikrobrennstoffzelle dieses Projektes wurden für die Anode ein weniger hydrophobes und offenes GDL Material vorgeschlagen und für die Kathode eine eher dichte GDL Variante.

Aus dem Konzept ergaben sich als spezielle Entwicklungsaufgaben zur Herstellung einer Flowfield-GDL

- Verzugs- und rückstandsfreies Herstellen der Kanalstege aus GDL-Flächenware oder aus einer Graphitfolie
- Positionsgenaues Fixieren der Kanalstege auf die GDL-Lage

### AP1.2 Dichtungskonzept

Die Integration von Dichtungen auf BZ-Komponenten erleichtert die passgenaue Montage der Dichtungen in der BZ bzw. im Stack und vermindert die Anzahl der Komponenten. Das bringt insbesondere bei der Massenfertigung große wirtschaftliche und qualitative Vorteile.

#### Aufbaukonzept für integrierte Dichtung

Zu Beginn des Projektes wurden daher Konzepte zur Integration von Dichtungen auf BZ-Komponenten erstellt, bewertet und ein Konzept als Basis für dieses Entwicklungsprojekt ausgewählt. Hierbei kamen folgende Integrationspartner in Frage:

- Bipolarplatten,
- die Membranelektrodenanordnung (MEA),
- die Membran oder
- die Gasdiffusionslage (GDL-Lage) bzw. Flowfield- Lage (FF- Lage)

Dabei sollte eine profilierte Elastomerdichtung im Spritzgießverfahren auf den Integrationspartner aufgebracht werden.

Vorteilhaft stellt sich die Dichtungsintegration auf der GDL-Lage bzw. der FF-Lage dar, da dadurch die 2 bzw. 3 Lagen der FF-GDL zu einer Einheit verbunden und eine vereinfachte Stackmontage erreicht werden kann. Dieses Konzept war zunächst die Basis für weitere Entwicklungsschritte.

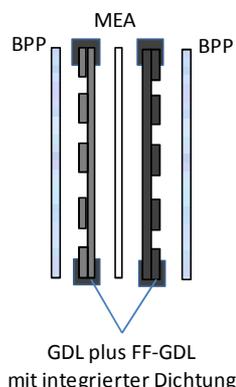


Abbildung 5. Konzept einer integrierten Dichtung auf der Flowfield-GDL

Zwei Konzepte zur Dichtungsintegration auf der Flowfield-GDL wurden erarbeitet:

Beim 1. Konzept werden die bearbeiteten Einzellagen für Anoden- und Kathodenseite durch Anspritzen von Dichtungen fixiert. Dabei werden die anodische und die kathodische Flowfield-GDL an einer Seite durch ein Filmscharnier, das aus dem Dichtungswerkstoff besteht und gleichzeitig beim Aufbringen der Dichtungen im Spritzgussverfahren gebildet wird, verbunden. Dadurch entsteht eine sogenannte Klapp-Flowfield-GDL, in die schnell und sicher die MEA eingelegt und fixiert werden kann.

Die Klapp-Flowfield-GDL besitzt damit alle die für den Zusammenbau einer Zelle notwendigen Dichtungen, so dass eine BZ im vorliegenden Fall nur noch aus den Komponenten Klapp-Flowfield-GDL mit eingelegter MEA und den beiden Separatorfolien besteht. Das bedeutet im Vergleich zur konventionellen Bauweise einer BZ eine drastische Reduzierung der Einzelteile und eine robuste Verbauung auch empfindlicher MEAs mit entsprechenden Kostenvorteilen beim Zusammenbau einer BZ bzw. eines Stacks.

Beim 2. Konzept werden die unbearbeiteten Einzellagen von der anodischen und kathodischen Flowfield-GDL ähnlich wie bei Konzept 1 mit Dichtungen umspritzt und Filmscharniere zwischen den Einzellagen ausgebildet. Anschließend werden die Kanalstrukturen in die entsprechenden Einzellagen hergestellt. Der Verbund lässt sich dann ebenfalls zur Klapp-GDL falten. Der Vorteil dieses Konzeptes wird in der vergleichbaren mechanischen Stabilität aller Einzellagen gesehen, so dass das Risiko eines Verzugs beim Spritzgießen gering sein sollte.

Die nächste Abbildung verdeutlicht diese Konzepte.

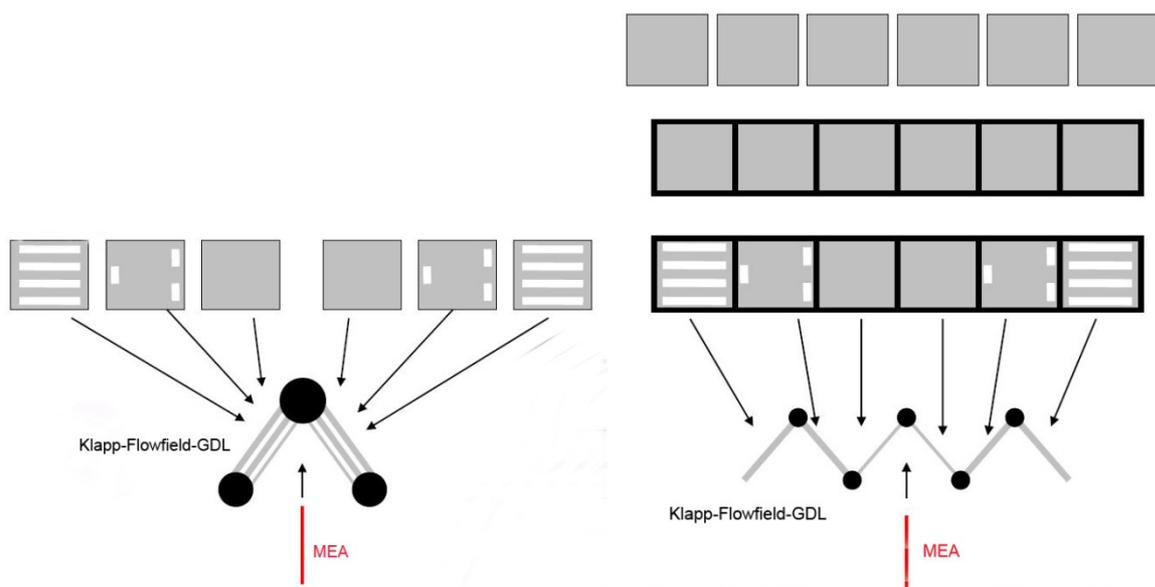


Abbildung 6: Konzepte zur Dichtungsintegration

### Dichtungskonzept für Versuchsaufbauten

Das Konzept einer integrierten Dichtung konnte während der Projektlaufzeit nicht umgesetzt werden, da kein festes Stackdesign aus bekannten Gründen vorlag (siehe Seite 7). FFCCT hat für die Versuchsaufbauten einen Dichtungsverbund entwickelt, der aus einer mittig angeordneten Versteifungsfolie besteht, auf der beidseitig Dichtungsblätter appliziert werden, wie sie FFCCT bereits für PEM-BZ unter der Bezeichnung „Perfoseal“ und „Ice Cube Seal“ erprobt hat. Dieser Aufbau kann durch entsprechende Dickenvariation seiner Lagen leicht an unterschiedliche Dichtungsspalte angepasst werden, je nach Dicke der Flowfield-GDL. Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft den Aufbau dieses Dichtungsverbundes.

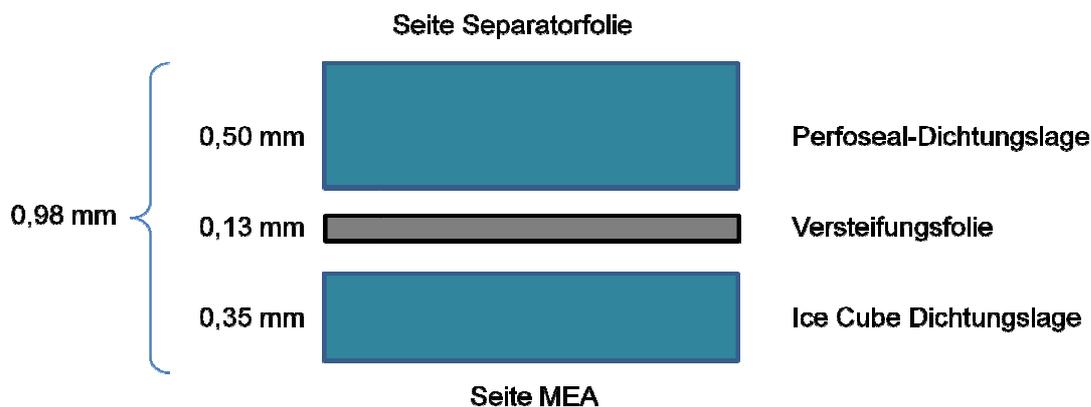


Abbildung 7. Dichtungsverbund für Versuchsaufbauten

Dieser Dichtungsverbund ist formstabil und kann mit einfachen Werkzeugen ausgestanzt bzw. CNC gesteuert ausgeschnitten werden. Von Vorteil ist hierbei die Eigenklebrigkeit speziell bei den Dichtungen auf Polyolefin-Basis. Das Konzept wurde für alle Einbauversuche im Projekt eingesetzt.

### Dichtungsspezifikation

In einer weiteren Teilaufgabe wurden Spezifikationen für das Elastomermaterial und für die Dichtung, wie folgt, erstellt und festgelegt:

- chemische Beständigkeit im PEM-BZ-Umfeld,
- Druckverformungsrest,
- Bruchdehnung und Zugfestigkeit sowie die allgemeine
- Brennstoffzellenverträglichkeit (keine Vergiftung der Polymermembran durch den Dichtungswerkstoff).

Bezüglich des Dichtungsdesigns wurden zunächst geometrische Randbedingungen für den ursprünglich geplante 20 W<sub>el</sub> BZ-Stack spezifiziert, um die Funktionalität der Dichtung sicher zu stellen. Hierbei war der spezielle Aufbau des Brennstoffzellenstacks mit einer neuartigen Flowfield-GDL mit vergleichsweise großer Dicke zu beachten.

Die Änderung der Stackgröße mit einer Leistung von 200 W<sub>el</sub> während der Projektlaufzeit machte eine Anpassung bzw. Erweiterung der geometrischen Randbedingungen und der Spezifikation erforderlich.

### **Elastomerauswahl**

Da in der PEMFC gegen sehr polare Medien abgedichtet werden muss, kommen als Dichtungsmaterialien nur unpolare Kautschuke oder Silikon in Frage. Die sauren Bedingungen, die in der PEMFC herrschen, lassen vermuten, dass Silikon nur bedingt geeignet ist. Aufgrund des oxydativen Umfelds sollten gesättigte, unpolare Kautschuke verwendet werden.

Dichtungsmaterialien aus der Elastomerfamilie der Polyolefine haben nach den Erfahrungen von FFCCT das größte Entwicklungspotential für den Einsatz in PEM-BZ und wurden weiter untersucht.

## **AP 2: Integration des Flow-Fields in die GDL**

Ziel: Entwicklung des Herstellungsprozesses zur Ausbildung von Kanälen in der Flowfield-Lage und deren Applizierung auf der GDL-Lage

### **AP2.1 Ausbildung eines Flowfields und Aufbau einer Flowfield-GDL**

Die Geometrie des Flow-Fields bzgl. Kanalbreite, -tiefe und Strömungsführung beeinflusst die Leistungsfähigkeit der Brennstoffzelle. Der Ausbildung von Kanälen in der Flowfield-GDL kommt daher eine wichtige Bedeutung zu. Für den konzipierten Lageraufbau der Flowfield-GDL ist die Vereinigung der Flowfield-Lage mit der GDL-Lage ganz wesentlich. Wichtig ist, dass die Flowfield-Lage ohne Verzüge und positionsgenau auf die GDL-Lage appliziert wird, damit keine Kanalverengungen auftreten. Dazu kann es günstig sein, die Flowfield-Lage selbst aus 2 Lagen herzustellen, die in Kombination ein Strömungsfeld ergeben. Die 2-lagige Ausführung des Flowfields hat gegenüber der 1-lagigen Version folgende Vorteile:

- Alle Strömungsführungen (auch Mäander) können realisiert werden
- die jeweilige Einzellege der 2-lagigen Ausführung ist wegen der geringeren Anzahl von Gaskanälen in der Regel formstabiler als die 1-lagige Flowfield-Ausführung.

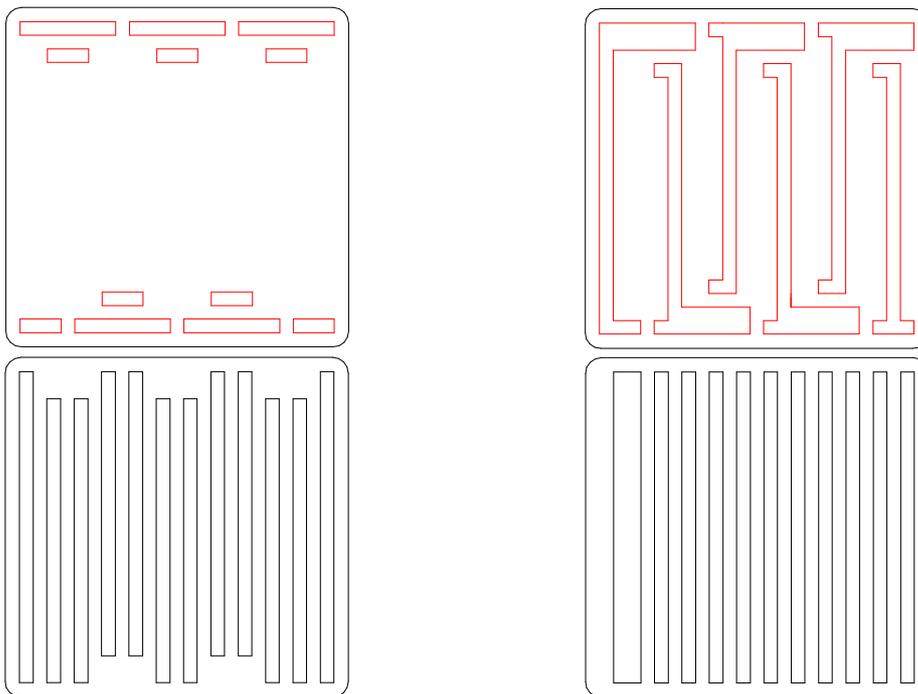
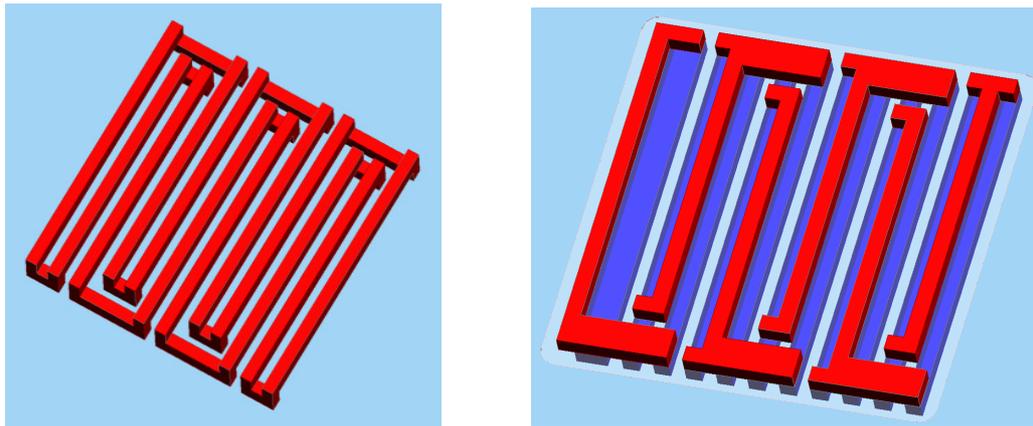


Abbildung 8. Beispiele für mäanderförmige Strömungsführungen bei zweilagig aufgebautem Flowfield

Nachteilig sind die größere Dicke, ein evtl. höherer Druckverlust, höherer Fertigungsaufwand und möglicherweise ein schwierigerer Abtransport des Prozesswassers.

Nachstehende Abbildung zeigt typische Flowfield-GDL-Aufbauten, wie sie im Projekt realisiert wurden.

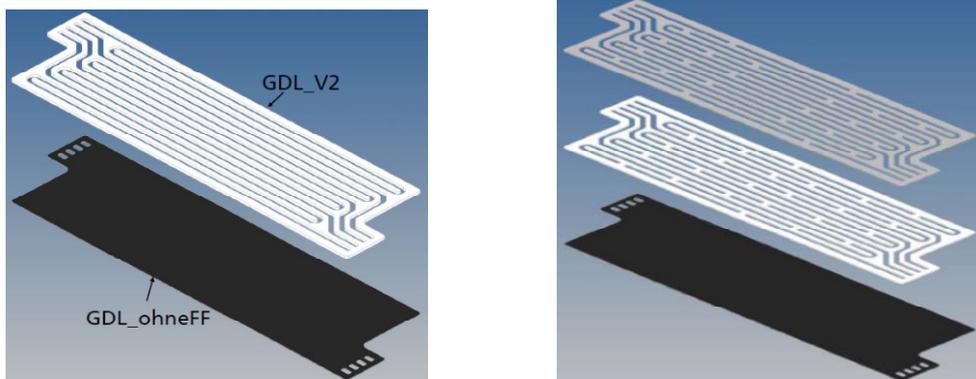


Abbildung 9: Zwei- und Drei-lagiger Aufbau einer Flowfield-GDL

## Versuchsmuster

In Absprache mit dem Projektpartner FHG ISE wurden für die ersten Versuchsmuster zwei unterschiedliche GDL-Materialien für die Flowfield-Lage sowie drei unterschiedliche Kanal-Designs ausgewählt. Als GDL-Lage wurden für alle Versuchsmuster jeweils identische Standard-Anoden- und Kathoden-GDLs von FFCCT eingesetzt. Die zwei unterschiedlichen GDL-Materialien für die Flowfield-Lage unterschieden sich in der Faserausrichtung der Basisvliesstoffe. Im 1. Fall waren alle Fasern nur in der Bahnebene (x,y-Ebene) ausgerichtet. Dieses Material wurde als 2D-Material bezeichnet. Im 2. Fall wurden im der Basisvliesstoff auch Fasern eingebaut, die senkrecht zur Bahnebene (z-Richtung) gerichtet waren. Damit sollte der elektrische Durchgangswiderstand verringert werden. Diese Materialien wurden als 3D-Materialien bezeichnet.

Bei den Kanal-Designs handelt es sich um zwei unterschiedliche Designs für einlagige Flowfields und um eine zweilagige Design-Variante. Das zweilagig aufgebaute Flowfield bietet, wie bereits erwähnt, den Vorteil einer höheren mechanischen Stabilität aufgrund der geringeren Anzahl von Gaskanälen je Lage.

### AP2.2 Schneideversuche

Es wurden 4 Verfahren zur Einbringung der Kanalstruktur untersucht und bewertet. Hierbei handelt es sich um

- Stanzen mit Bandstahlwerkzeug oder Vollschnittwerkzeug
- Laserschneiden
- Wasserstrahlschneiden und
- Ultraschall-Schneiden

Die wesentlichen Schneidekriterien waren:

- Verzugsfreiheit
- Rückstandsfreie Schnittkanten
- Kanäle ohne Stanzabfälle

- Rollen-Verarbeitung
- Flexible und kostengünstige Änderung der geometrischen Abmessungen

Das Stanzen der Flowfield-Lagen mit Bandstahlschnitten ergab saubere Schnittkanten und verzugsfreie Stanzgitter. Bei filigranen Kanalstrukturen aber gab es Schwierigkeiten, das Stanzgitter aus dem Werkzeug zu entnehmen, ohne dass Stanzabfälle in den Kanälen blieben, bzw. ohne die Flowfield-Lage zu beschädigen.



Abbildung 10. Bandstahlschnittwerkzeug und Stanzgitter

Diese Probleme lassen sich mit aufwendigeren Vollschnittwerkzeugen lösen. Nachteilig sind die hohen Kosten für solche Werkzeug und die nur beschränkte Möglichkeit, geometrische Abmessungen zu ändern. Bei großen Stückzahlen stehen die geometrischen Abmessungen fest und die hohen Kosten für diese Werkzeuge verteilen sich auf die Stückzahlen und fallen daher nicht mehr so stark ins Gewicht, weshalb Vollschnittwerkzeuge bei Massenfertigung vorteilhaft eingesetzt werden können.

Laserschneiden kann CNC gesteuert erfolgen und ist damit eine sehr flexible Schneidemethode. Auch lässt sich bei diesem Verfahren die Schneidetiefe variieren, so dass bei mehrlagigen Flowfield-Aufbauten z. Bsp. nur die obere Lage bearbeitet werden könnte.

Die Versuche, Flowfield-Lagen mittels Laserschneiden herzustellen, waren jedoch nicht erfolgreich. Zwar ließen sich die Kanalstrukturen verzugsfrei schneiden, aber wegen der hohen Laserenergie aufgrund der erforderlich Dicken (0,8 mm) für die Flowfield-Lage traten Schmauchspuren und aufgrund des verwendeten PTFE-Binders giftige Verbrennungsprodukte auf.

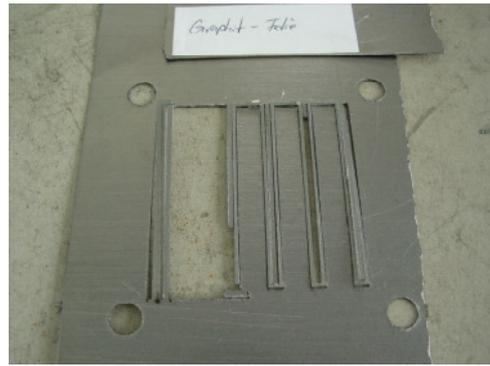
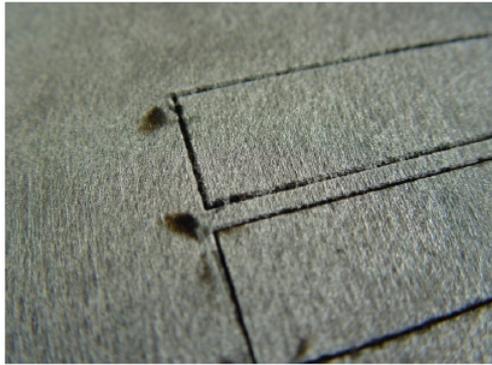


Abbildung 11. Aufnahmen zum Laserschneiden von FF-GDL

Das CNC gesteuerte Wasserstrahlschneiden zeigte insgesamt sehr gute Ergebnisse. Dieses Verfahren zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität und Genauigkeit aus. Sämtliche Flowfield Materialien konnten problemlos bearbeitet werden. Weiterhin konnten alle vorgegebenen Kanal-Designs ohne Einschränkungen umgesetzt werden. 1mm Steg- und Kanalbreiten sind kein Problem. Sowohl Rollenware, Blattware als auch fertige Bauteile ließen sich bearbeiten.

Nachteilig ist die relativ geringe Schnittgeschwindigkeit, und das Schnittgut wird feucht und muss evtl. getrocknet werden. Das Verfahren ist in jedem Fall für kleine und mittlere Stückzahlen geeignet.

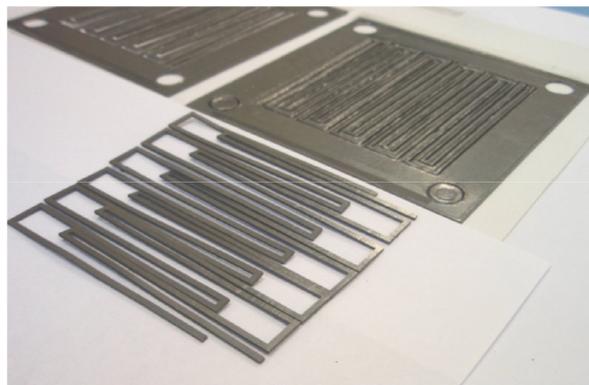


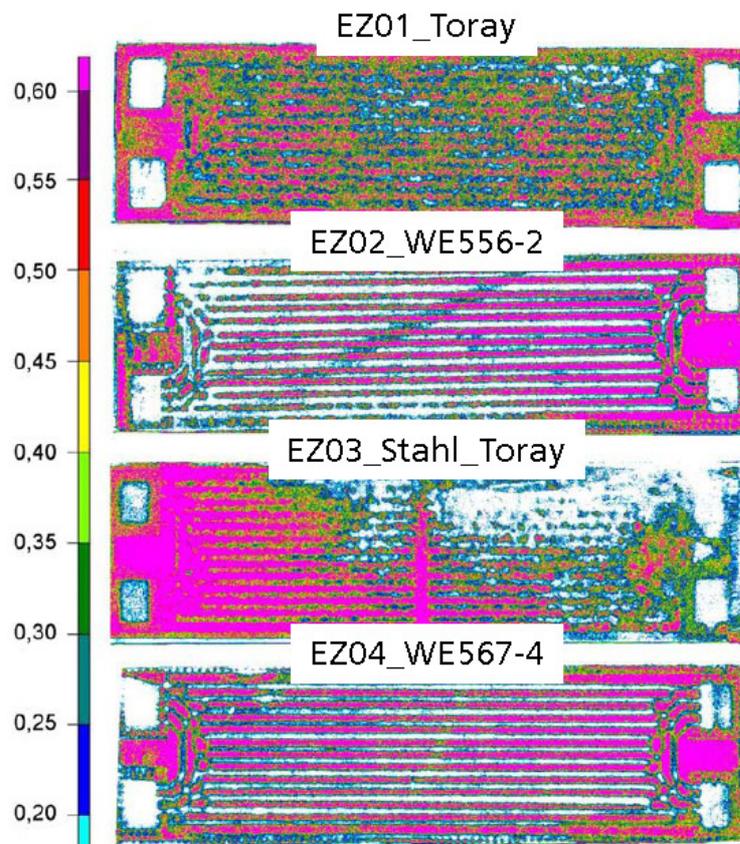
Abbildung 12. Wasserstrahl geschnittene FF-GDL

Die besten Ergebnisse insgesamt wurden mit CNC gesteuertem Ultraschallschneiden erzielt. Dieses Verfahren hat die Vorzüge des Wasserstrahlschneidens, ist aber ein trockenes Verfahren, ohne Wasser zu verbrauchen. Ein weiterer Vorteil gegenüber den Wasserstrahlschneidern besteht darin, dass die Schnitttiefe während des Schneidevorganges variiert werden kann. Im speziellen Fall wurde das dazu benutzt, die inneren Stanzabfälle über sehr dünne Stege zunächst im Stanzgitter zu belassen, um die mechanische Stabilität des Stanzteiles zu erhöhen und damit das Handling bis zur Weiterverarbeitung sicherer zu machen. Vor dem Applizieren der Kanalstrukturen konnten dann die Stanzabfälle leicht und sicher entfernt werden. Das Ultraschallschneiden kam wegen dieser Vorzüge bevorzugt im Projekt zur Anwendung.

### AP2.3 Untersuchungen durch Fraunhofer ISE

Bis Ende 2009 wurden insgesamt sechs unterschiedliche Flowfield-GDLs hergestellt und dem Projektpartner FHG ISE zur weiteren Beurteilung übergeben.

Die Verpressungstests mit „Fuji Papier“ beim ISE zeigten die Vorteile der Freudenberg Flowfield-Lage (EZ04) gegenüber Vergleichsmaterialien aus z.B. Edelstahlblech (EZ03) auf. Wegen der größeren Flexibilität und der notwendigen und vorhandenen Kompressibilität ist das Freudenberg Material in der Lage, Inhomogenitäten des Zellstapels auszugleichen und für eine gleichmäßige und homogene Verpressung zu sorgen.



Quelle: Fraunhofer ISE

Abbildung 13. Verpressungsergebnisse mit unterschiedlichen Flowfield-Lagen

Die Verpressungsversuche zeigten auch, dass beim Handling die filigranen Stege der vliesstoffbasierten GDL-Lagen nicht brechen und sicherer zu verarbeiten sind als solche aus spröden Karbon-Papieren.

Die durchgeführten Impedanzmessungen ergaben etwas höhere elektrische Widerstände der Freudenberg Materialien. Das hängt vermutlich mit dem etwas höheren Materialwiderstand der Flowfield-Lagen zusammen, kann aber auch durch andere Phänomene verursacht werden. Dieses Thema wurde im Arbeitspaket 3 weiter verfolgt.

## **AP3 Optimierung der Flowfield- GDL für den Einsatz im Mikrobrennstoffzellenstack**

Ziel: Entwicklung neuartiger Materialien, die zu einer leistungsfähigen Flowfield-GDL kombiniert werden können.

### **AP3.1 Entwicklungskenngrößen**

#### **Lagenaufbau**

Aufgrund der gegebenen Dicken-Anforderungen der Flowfield-GDL sowie den Anforderungen an deren Kanalstruktur wurden zwei Konzepte verfolgt:

- a) ein einlagiger Aufbau
- b) ein zweilagiger Aufbau

(siehe dazu auch die Abbildungen 4 und 9)

#### **GDL- Rohmaterialien für die Flowfield-Lagen**

Für die Materialentwicklung kamen drei unterschiedliche Roh-Materialien in Frage. Hierbei handelte es sich um eine

- 2D Kohlenstoff-Faserstrukturierung; Faserausrichtung nur in x,y-Richtung
- 3D Kohlenstoff-Faserstrukturierung; Fasern auch in z-Richtung und
- Graphitfolie

#### **Veredelung der Rohmaterialien**

Die Rohmaterialien wurden durch weitere Veredelungsschritte hinsichtlich des Anwendungsfalls maßgeschneidert. Dazu wurden unterschiedliche Binder, Füllstoffe und Veredelungsprozesse untersucht.

#### **Zielgrößen**

Bezogen auf den jeweiligen Lagenaufbau, waren Dicke der Materialien, Durchgangswiderstand, Setzverhalten und Gastransport die zielführenden Größen.

#### **Validierung**

Zur Validierung der Entwicklungsprodukte führte FFCCT ex-situ Messungen und der Projektpartner Fraunhofer ISE in-situ Tests durch.

## **AP3.2 Entwicklungsarbeiten und Ergebnisse**

### **AP3.2.1 Laboruntersuchungen**

In einer ersten Entwicklungsschleife wurden die Flowfield-Lagen aus dem Basisvliesstoff für Standard-GDL hergestellt. Dazu wurde der Basisvliesstoff karbonisiert, ohne einen zusätzlichen Kalibrierschritt. Die Steifigkeit und die

erforderliche Dicke der Flowfield-Lage wurden durch starkes Füllen mit Bindern und Füllstoffen erreicht.

FHG ISE erhielt Anfang 2009 zwei Typen von Flowfield-GDL mit folgenden Materialien für die Flowfield-Lagen für in-situ Test:

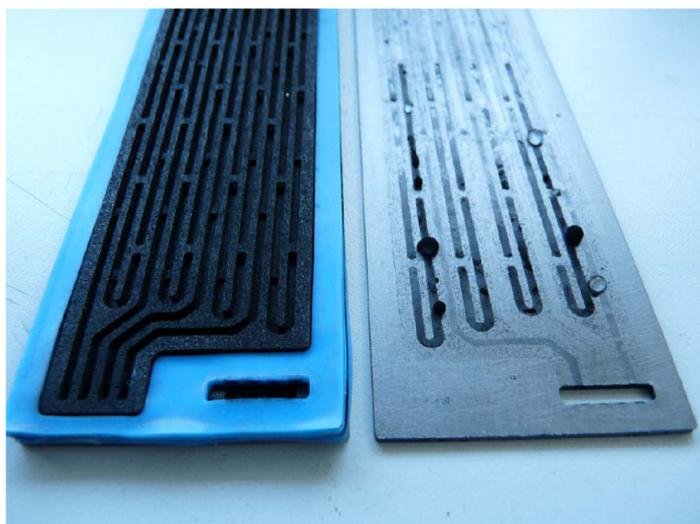
- Hochporöse Kohlstofffaservliese großer Dicke (ca. 0,5 – 1,0 mm dick) und hoher Elastizität mit 2D bzw. 3D Faserorientierung
- Maximal mögliche Füllung der Poren mit Bindern (FEP, PTFE) und Füllstoffen (Ruße, Graphite)
- Flowfield Strukturierung durch Wasserstrahlschneiden

Die Einzelzellmessungen (in-situ) von FHG ISE sahen sehr vielversprechend aus. Die geringen Leistungsunterschiede zum bisherigen Benchmark ließen sich mit Hilfe der höheren elektrischen Zellwiderstände erklären.

Beim Betrieb der BZ mit den FFCCT-Testmustern war allerdings zu beobachten, dass sich nach einiger Zeit das Prozesswasser der BZ schwarz färbte. Nach der Demontage der BZ wurden auf der Separatorplatte Wasser und schwarze Rückstände (Ruß) gefunden. D.h. der Füllstoff wurde nicht ausreichend durch den Binder an die Fasermatrix des Flowfield-Lagenmaterials gebunden.

Das bedeutete, der grundlegende Materialaufbau der neuen Flowfield-GDL funktioniert. Aber das Flowfield-Lagenmaterial musste noch optimiert werden.

Es hat sich gezeigt, dass die 3D- gegenüber der 2D- Faserorientierung Vorteile aufweist. Speziell die elektrische Leitfähigkeit in z-Richtung (also durch das Material) ist höher. Daher wurden im weiteren Projektverlauf nur noch 3D Faserstrukturen eingesetzt.



Quelle: Fraunhofer ISE

Abbildung 14. BZ nach der Demontage: Wasser und Rußrückstände von der FFCCT Flowfield-Lage auf der Separatorplatte

An Hand der aufgezeigten Defizite wurde In einer zweiten Entwicklungsschleife das Flowfield-Lagenmaterial optimiert. Dazu wurde eine Flowfield-Lage durch das Zusammenfügen von zwei Schichten von Standard Roh-GDL-Material aufgebaut. Durch diesen Schritt konnte die Karbonfaserdichte verdoppelt werden. In einem weiteren Schritt wurde die Steifigkeit der GDL-Rohmaterialien erhöht, in dem der Standard Basisvliesstoff zusätzlich mit einer neuen Versteifungsfaser ausgerüstet wurde.

Das modifizierte Lagenmaterial wurde weiterhin mit Füllstoff und PTFE gefüllt, allerdings wurde das Verhältnis PTFE zu Füllstoff erhöht und der Füllgrad insgesamt reduziert. Es wurde also Füllstoff durch Karbonfasern ersetzt.

Weiterhin wurden in einigen Versuchen die Karbonisiertemperaturen variiert.

Ziel der verschiedenen Maßnahmen war die Senkung des Durchgangswiderstandes der aus GDL-Rollenware gebildeten Flowfield-Lagen.

Name Basis	Name Imprägnierung	Füllstoff 1	Füllstoff 2	Füllstoff 3	Füllstoff / PTFE Verh.
X0112	ECX016	0	100	0	1
X0112	ECX017	100	0	0	1
X0112	ECX018	0	100	0	2
X0112	ECX019	0	50	50	2
X0134	ECX019	0	50	50	2
X0134	ECX019	0	50	50	2
X0112	ECX019	0	50	50	2
X0112	ECX024	0	50	50	2
X0112	ECX025	0	50	50	3

Tabelle 1: Versuche zur Senkung des Durchgangswiderstandes der Flowfield-Lagen

Durch diese Maßnahmen konnte im Vergleich zum Standard GDL Material (roter Balken, Referenzwert) eine deutliche Reduzierung des Durchgangswiderstandes erzielt werden (siehe Abbildung 15). Die Widerstandswerte vom verbesserten FFCCT Flowfield-Material erreichen allein noch nicht die Widerstandswerte von Karbonpapier-GDLs (schwarzer Balken), wie sie z. Bsp. die Fa. Toray liefert. Dieses wurde als kommerziell erhältliches Vergleichsmaterial herangezogen, musste allerdings aufgrund der geringen Dicke 2-lagig eingesetzt werden.

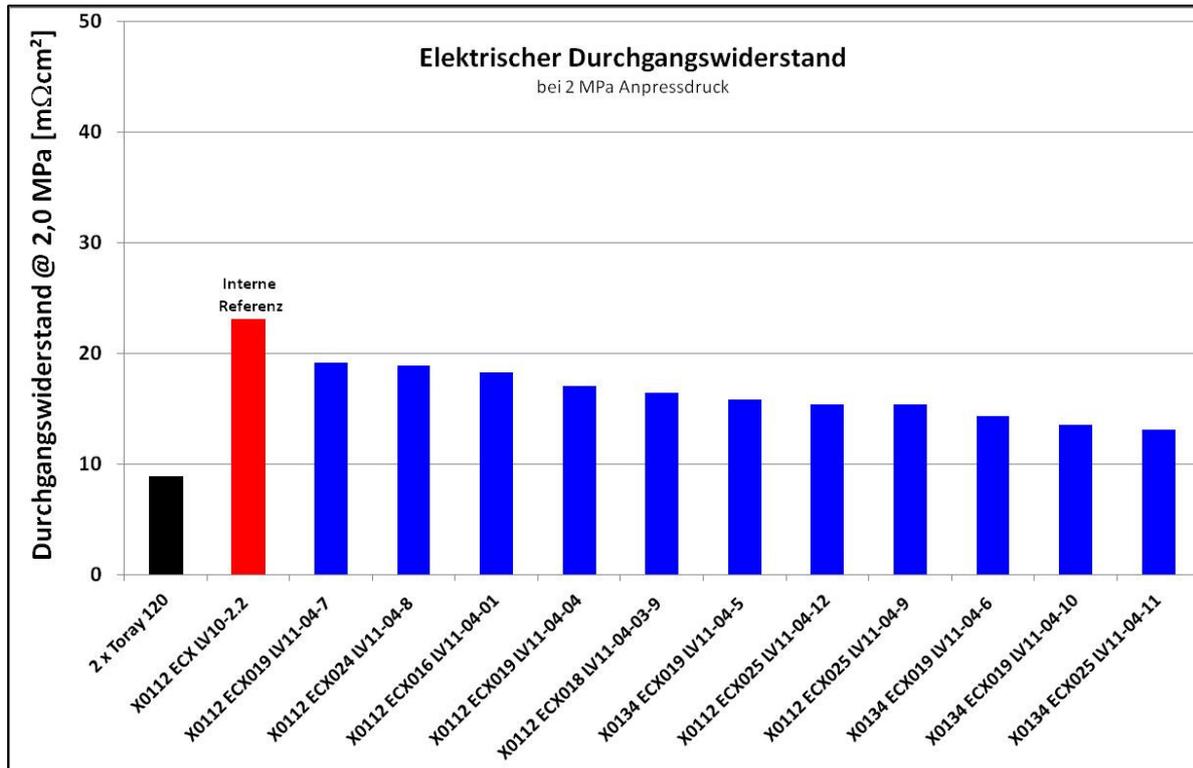


Abbildung 15: Elektrischer Durchgangswiderstand von optimierten Flowfield-Lagen

In Abbildung 16 sind die Durchgangs-Widerstandskurven verschiedener Materialien als Funktion der Flächenpressung dargestellt. Aus diesem Diagramm erkennt man, dass durch eine leichte Erhöhung der Flächenpressung die FFCCT Flowfield-Materialien vergleichbare Widerstände wie die von Karbon-Papieren erreichen. FFCCT Flowfield Materialien zeichnen sich zudem grundsätzlich gegenüber Karbon-Papieren dadurch aus, dass

- sie weniger spröde sind und im Handling und bei der mechanischen Bearbeitung weniger Aufwand und geringeren Ausschuss verursacht
- als Rollenware herstellbar und in Rolle-zu-Rolle Verfahren verarbeitbar sind; sehr dicke Karbon-Papiere sind wegen Ihrer Sprödigkeit nur als Blattware erhältlich.

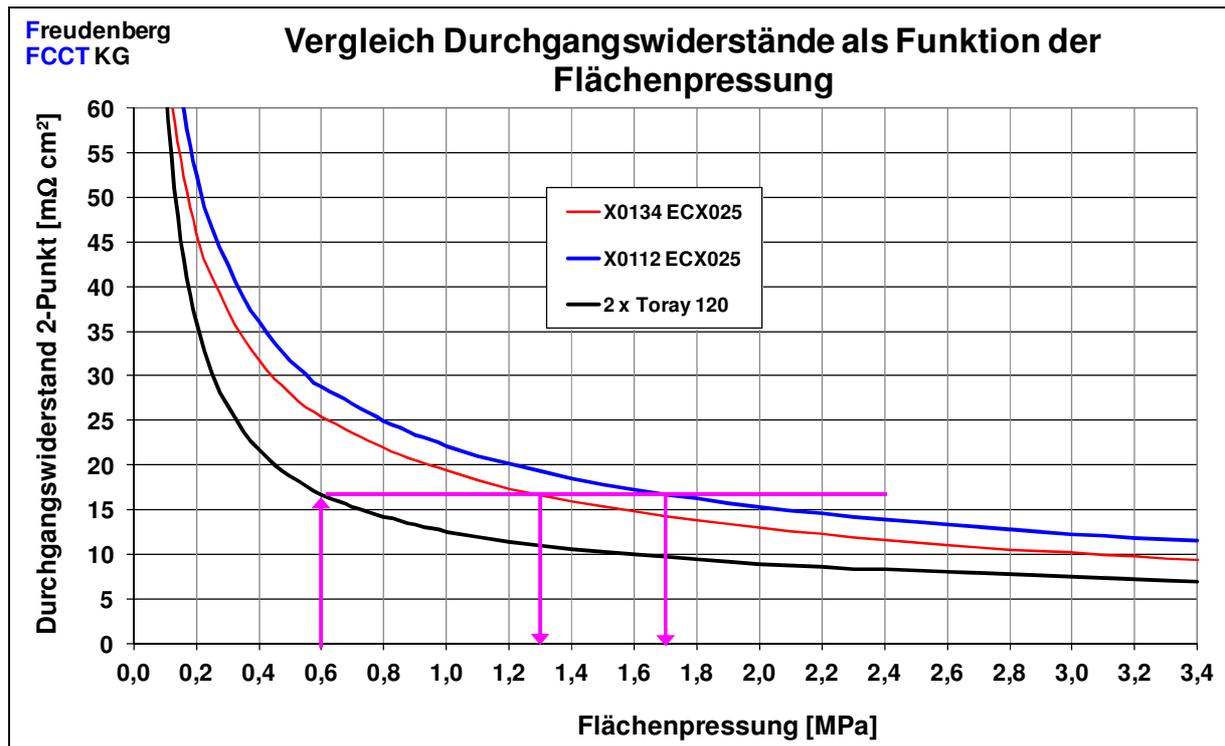


Abbildung 16: Elektrischer Durchgangswiderstand in Abhängigkeit vom Anpressdruck

Im Falle der im AMES-Projekt zugrunde gelegten BZ ist der Leistungsverlust bei Einsatz von FFCCT Flowfield-Materialien gegenüber Karbon-Papier vernachlässigbar gering, wie nachfolgende Berechnung zeigt:

Der Widerstand einer FFCCT-Flowfield-Lage ist je nach Flächenpressung etwa 4-8  $m\Omega\text{ cm}^2$  höher als bei einer vergleichbar dicken Lage aus Karbon-Papier. Für eine Zelle mit Anode und Kathode entspräche das einer Erhöhung von 8-16  $m\Omega\text{ cm}^2$ . Der AMES Stack wird bei einem Betriebspunkt von 650 mV bei 400  $\text{mA}/\text{cm}^2$  betrieben. Der höhere Widerstand führt im Mittel zu einem zusätzlichen Spannungsverlust von  $0,4\text{ A}/\text{cm}^2 \times 12\text{ m}\Omega\text{ cm}^2 = 4,8\text{ mV}$ . Bezogen auf die 650 mV entspricht das einem Verlust gegenüber Karbon-Papier von 0,7 %.

Die in-situ Untersuchungen der FHG ISE an den zwei neuen Flowfield-Materialien zeigten deutliche Verbesserungen gegenüber den Materialien der ersten Entwicklungsschleife. Das lässt sich zum einen auf die verbesserte Flowfield-GDL zurückführen und zum zweiten auf eine neue MEA.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die optimierten FFCCT Flowfield-Materialien für den Einsatz in die AMES BZ geeignet sind und vergleichbar gute Ergebnisse zu Karbon-Papieren liefern. Ein besonderes Plus ist das große Kosteneinsparungspotenzial, das die FFCCT Flowfield-Materialien bieten durch

- die Möglichkeit einer Rolle zu Rolle Bearbeitung und dadurch

- industrielle, automatisierte Serienfertigung mit hoher reproduzierbarer Qualität und hoher Ausbeute

### **AP3.2.2 Technikumsversuche**

Aufgrund dieser positiven Ergebnisse und der Tatsache, dass die eingesetzten Laborprozesse zur Herstellung der neuartigen Flowfield-Lagenmaterialien nur bedingt serientauglich sind, wurde frühzeitig mit einer Übertragung der Laborprozesse auf kontinuierliche Fertigungsanlagen im Technikumsmaßstab begonnen. Für diese Prozessentwicklung stand FFCT das Technikum des verbundenen Unternehmens „Freudenberg Vliesstoffe KG“ zur Verfügung. Dieses Technikum bietet eine Vielzahl von Prozessen zur Ausrüstung von GDL Materialien. Beispielhaft seien die folgenden Techniken genannt:

- 2-Walzen Foulard
- Rakelbeschichtung
- Siebdruck
- Kiss Coating
- I-Werk-Ausrüstung

Die Technikumsversuche haben gezeigt, dass sich ein zweistufiger Füllprozess besonders zur Umsetzung des gewünschten Materialdesigns eignet. Hierbei werden die Materialien von beiden Oberflächenseiten gefüllt und Ausrüstungsgewichte bis zu 100% erzielt (bezogen auf das Gewicht des Roh-Materials).

Idealerweise soll die Flowfield-GDL für eine Rolle zu Rolle Verarbeitung biegeweich sein. Für eine gute Weiterverarbeitung ist es allerdings von Vorteil, wenn sie steif ist, damit die Stege nach dem Einbringen des Flowfield formstabil bleiben. Aus dieser Erkenntnis ergaben sich weitere Entwicklungsaktivitäten zur Optimierung des Materialdesigns der Flowfield-GDL. Hierfür waren sowohl Anpassungen im Vlieslegeprozess als auch bei der anschließenden Ausrüstung der Kohlenfaser-Basismaterialien mit Bindern und Füllstoffen notwendig.

Auf die optimierten Flowfield-Materialien wurden die entwickelten zweistufigen Veredelungsprozesse angewendet und optimiert.

Aus den verbesserten Materialien wurden optimierte Flowfield-GDL sowie zwei verbesserten Varianten reiner GDL bemustert. Es zeigte sich, dass das neue Flowfield-Lagenmaterial sich durch die folgenden verbesserten Merkmale auszeichnet:

- Verbesserte mechanische Eigenschaften aufgrund der Verdoppelung des Kohlefaseranteils bei gleichzeitiger Reduzierung der Füllung mit Ruß und Binder.
- Verringerung des elektrischen Widerstandes durch 3D-Faserorientierung und erhöhter Kohlefasermenge.

- Höhere Steifigkeit bei gleichbleibender akzeptabler Sprödigkeit durch den Einsatz einer Versteifungsfaser. Die mittlerweile erzielte Steifigkeit stellt einen Kompromiss aus den Anforderungen „möglichst steif“ und „von Rolle zu Rolle herstellbar“ dar.
- Kein Abfärben des Rußes, d.h. das Herauslösen von Rußpartikel wird durch eine verbesserte Einbindung der Füllstoffe verhindert.

Das Kohlefaser-Basismaterial wurde auf Standard-Produktionsanlage hergestellt und ist damit bereits heute großtechnisch herstellbar. Die Veredelung der Muster fand weiterhin im Labor statt, weil die benötigten Versuchsmengen bisher nicht über einige DIN A4 Blatt hinausgehen. Das Herstellverfahren wurde allerdings so geändert, dass eine Übertragung vom Labor auf Pilotanlagen möglich ist. Das zeigten die durchgeführten Versuche an den Anlagen.

### **AP3.3 Zur Verfügung stehende Flowfield-Materialien**

Etlche verschiedene Materialdesigns wurden im Laufe des Projektes entwickelt. Für die weitere Beurteilung durch das ISE wurden zehn Varianten ausgewählt:

- 7x 3D-Fasersatruktur + Binder und Füllstoff
- 2x 2D-Faserstruktur + Binder und Füllstoff
- 1x Graphitfolie (100% Kohlenstoff)

Es lassen sich Flowfield-GDL-Enddicken von  $\leq 1$  mm erzielen. Bei Enddicken  $> 1$  mm ist in jedem Fall ein 2-lagiger Flowfield-Aufbau vorzusehen.

Untersuchungen der Graphitfolie zeigen, dass die ex-situ Eigenschaften gut sind. Die Graphitfolie ist jedoch sehr fragil ist und weist keine Porosität auf. Wegen der mechanischen Labilität ist die Kanalstrukturierung nur schwierig auszuführen.

Bezüglich der Faserstruktur ist die 3D-Variante gegenüber dem 2D-Design vorzuziehen.

## **AP4 Anpassung Dichtungsmaterial**

Ziel: Geeignete Prüfmethode zur Charakterisierung der PEM-BZ-Verträglichkeit von Dichtungswerkstoffen, abgestimmt auf die besonderen Anforderungen, wie sie sich in diesem Projekt ergeben.

### **AP4.1 Prüfmethode**

In Betracht wurden zunächst vorhandene Prüfmethode gezogen, die auf die Anforderungen hin angepasst und optimiert werden können. Ergebnis: Als eine geeignete Prüfmethode wurde die Gaschromatographie-Massenspektrometrie-Analyse (GC-MS-Analyse) angesehen, die es erlaubt, brennstoffzellenrelevante Extrakte zu identifizieren.

Um eine Aussage über die PEM-BZ-Beständigkeit der Dichtungsmaterialien machen zu können, wurden Prüfmuster in die für die Brennstoffzellen relevanten Medien eingelagert und in bestimmten zeitlichen Abständen gemessen hinsichtlich der Änderung der mechanischen Eigenschaften, wie Härte, Zugfestigkeit, Bruchdehnung, der Quellung und des Druckverformungsrests

#### **AP4.2 Zwei-Komponenten-Dichtungsmaterial und Verarbeitung im Spritzgussverfahren**

Die 2-Komponentenrezeptur des entwickelten Dichtungsmaterials auf Polyolefin-Basis wurde bezüglich der Viskositäten der einzelnen Komponenten so optimiert, dass diese annähernd gleich sind. Diese Anpassung wurde vorgenommen, um eine prozesssichere und wirtschaftlichere Verarbeitung im Spritzgießprozess zu bewirken.

Die Reproduzierbarkeit der entwickelten 2-Komponentenrezeptur wurde durch das Herstellen mehrerer Mischungsansätze überprüft und konnte sichergestellt werden. Hierzu wurden sowohl rheologische als auch mechanische Daten der einzelnen „Material-Batches“ aufgenommen und ausgewertet.

Die Viskosität der A und B Komponenten wurde als Maß für die Verarbeitbarkeit der Mischung herangezogen. Es zeigten sich minimale Abweichungen, die im Rahmen der Abweichungen von kommerziell erhältlichen Flüssigsilikon liegen.

Härtemessungen nach DIN 53505 wurden für jeden Mischungsansatz an Prüfplatten durchgeführt und lieferten Werte, die innerhalb der erlaubten Streuung liegen.

In zahlreichen Verarbeitungsversuchen auf einer Spritzgießmaschine wurde untersucht, ob die Viskositätsanpassung der 2-Komponentenrezeptur den gewünschten Effekt hat.

**Ergebnis:** Das 2-Komponentenmaterial konnte gut dosiert werden und die Mischwirkung eines Statik-Mischers wurde als ausreichend bewertet. Es konnte eine homogene Mischung erzeugt werden. Die Mischung lässt sich im Spritzguss prozesssicher und wirtschaftlich verarbeiten.

#### **AP5: Dichtungsintegration**

**Ziel:** Entwicklung von Verfahren, geeignet für große Stückzahlen, zur Integration einer Dichtung auf eine Flowfield-GDL

Auf der Grundlage des Konzeptes für integrierte Dichtungen wurde ein Werkzeugkonzept entwickelt, das es erlaubt, integrierte Dichtungen auf Gasdiffusionslagen im Spritzgießverfahren herzustellen. Hierbei wurde den speziellen Anforderungen einer Flowfield-GDL und dem sich daraus ergebenden Stackaufbau Rechnung getragen.

Dazu sollte ein bestehendes Dichtungswerkzeug so umgebaut werden, dass damit auch Dichtungen auf den wesentlich dickeren und dichten Flowfield-GDLs integriert

werden könnten. Dieses Vorhaben wurde zurückgestellt, da aus bekannten Gründen während der Projektlaufzeit kein festes Dichtungsdesign erstellt werden konnte und somit die Voraussetzung für die Konstruktion und den Bau eines Spritzgieß-Werkzeugs zur Dichtungsintegration fehlte. Daher wurde in Absprache mit FHG ISE das Dichtungskonzept für die Entwicklungsphase - d.h. solange das Stack-Design bzw. Flowfield-Design noch nicht festgelegt und eine vernünftige Dickenspezifikation noch nicht möglich ist - auf Einzeldichtungen umgestellt, um leichter Anpassungen in diesem Stadium durchführen zu können.

**Modifiziertes Ziel:** Herstellung und Optimierung von Einzeldichtungen aus geeigneten Dichtungswerkstoffen für Versuchsmuster zum Aufbau einer Testzelle bzw. eines Teststacks beim Projektpartner FHG ISE

Das FHG ISE wurde zunächst mit Flachdichtungen aus zwei unterschiedlichen BZ-tauglichen Dichtungswerkstoffen bemustert.

Die ersten Flachdichtungen bestanden aus dem 2-Komponenten Dichtungsmaterial, das auf einer Spritzgießmaschine als Dichtungs-Blattware verarbeitet wurde und eine Härte von 35 Shore A und eine Dicke von 0,7 mm aufwies. Anschließend wurden die benötigten Dichtungsgeometrien aus den spritzgegossenen Blättern ausgestanzt.

Die zweiten Flachdichtungen wurden aus FKM Bahnware mit einer Härte von 65 Shore A und einer Dicke von 0,5mm ausgestanzt.

Für die Abdichtung der Brennstoffzellen mit den unterschiedlichen Flowfield-GDL Varianten wurden entsprechend der Flowfield-GDL Dicke mehrere Dichtungen übereinander gestapelt.

Die Tests bei der FHG ISE mit den ersten Dichtungsaufbauten führten zu schlechten in-situ Leistungen aufgrund zu hoher elektrischer Übergangswiderstände. Durch unterschiedliche Stegbreiten der Dichtung und einer daraus resultierenden Variation der Drucksteifigkeit entstand offensichtlich eine inhomogene Verpressung bzw. Krafteinleitung. Das hatte zur Folge, dass keine ausreichende und auch keine homogene Anpressung der Flowfield-GDL an die MEA stattfanden. Die Presskraft des Stacks wurde hauptsächlich durch die Dichtung aufgenommen.

Zur Behebung dieses Problems wurden zwei Lösungswege beschritten. Einmal wurde das Dichtungsdesign angepasst, so dass eine einheitliche Dichtungsbreite erzielt wurde. Zum Zweiten wurde die Dichtung weniger drucksteif gestaltet. Denn es ist wichtig, die absoluten Dicken von GDL und Dichtung sowie das Verformungsverhalten aufeinander abzustimmen. Hiermit wird sichergestellt, dass sowohl eine Dichtwirkung als auch die gewünschte Kontaktierung der MEA vorhanden sind.

Es fanden daher umfangreiche Untersuchungen und Weiterentwicklungen der Dichtungen statt mit dem Ziel, das Druck-Verformungsverhalten zu verbessern. Zur Charakterisierung wurde die „force-displacement“ Prüfapparatur von Freudenberg FCCT verwendet.

### Test equipment and set-up

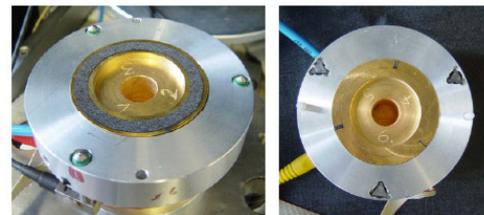
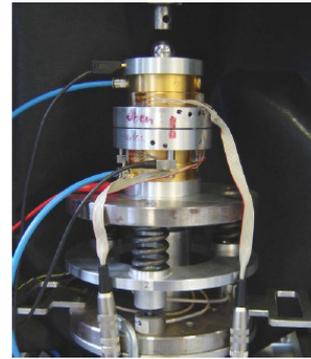
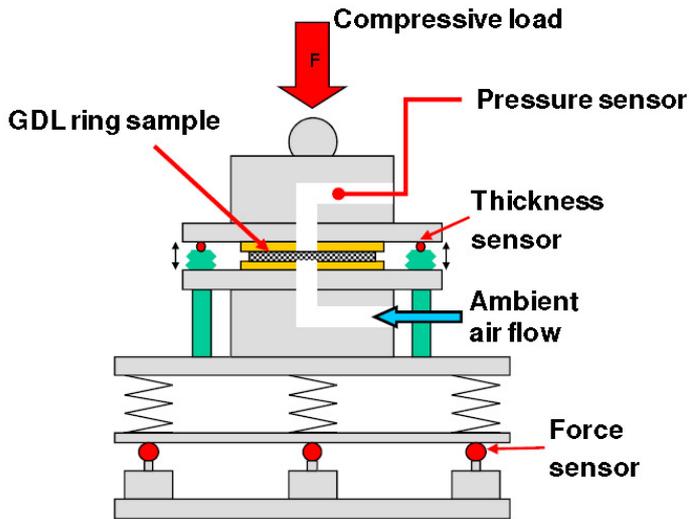


Abbildung 17. Meßapparatur zur Messung des Druck-Verformungsverhalten

Hierfür wurden die Materialien mit definierten Flächenpressungen komprimiert und die entsprechenden Dicken gemessen. Anschließend wurde das Verformungsverhalten verschiedener Dichtungswerkstoffe bestimmt. Hierbei wurde deutlich, dass eine Flachdichtung mit rechteckigem Profil ohne Strukturierung, unabhängig von der Härte des Dichtungswerkstoffs, immer zu drucksteif ist.

Durch gezielte Strukturierung der Profiloberfläche konnte die Dichtung deutlich druckweicher ausgearbeitet werden ohne die Dichtungsfunktion zu beeinträchtigen. Die Strukturierung erfolgte auf zwei verschiedenen Wegen: Einmal durch eine strukturierte Oberfläche mit Hohlräumen in Form von halbkugelförmigen Aussparungen (Perfoseal) und zum zweiten durch größere, quaderförmige Vertiefungen (Ice cube design).

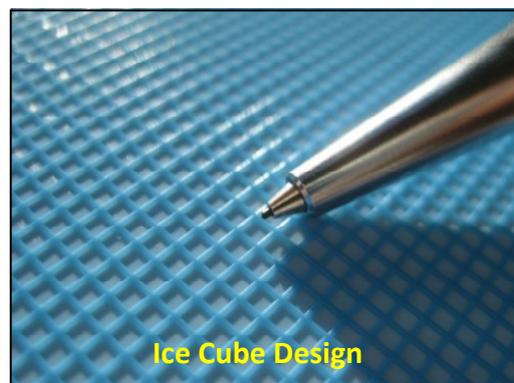
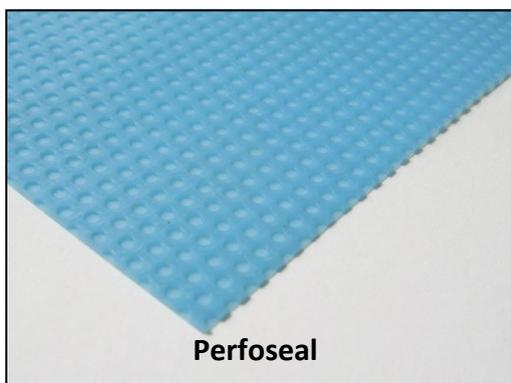


Abbildung 18: Strukturierte Dichtungsoberflächen mit hoher Verformbarkeit

Die Druck-Verformungskurven dieser neuen Dichtungsdesigns zeigen eine deutliche Verbesserung und ähneln sehr den Druck-Verformungskurven von Flowfield-GDL Aufbauten.

Die Dickenauslegung und Versteifung der Dichtung erfolgte durch Stapeln zweier Dichtungen unterschiedlicher Dicke sowie einer dazwischenliegenden Versteifungsfolie. Die Versteifungsfolie stand in verschiedenen Dicken zur Verfügung.

Aufgrund des schwierigen Handlings beim Stapeln von einzelnen, filigranen Einzeldichtungen hat FFCCT ein Verfahren zum besseren Handling entwickelt. Dieses Verfahren sieht die Verwendung von leicht klebrigem Dichtungswerkstoff vor. Die unterschiedlich dicken Dichtungsplatten werden gemeinsam mit Zwischenlagen aus steifer PET-Folie auf die gewünschte Dicke gestapelt und erst anschließend gestant; siehe Abb. 7.

Der ausgestanzte Dichtungsverbund ist deutlich formstabiler, und zum anderen entfällt das Stapeln filigraner Einzelteile.

Die nachfolgenden Diagramme zeigen das Verformungsverhalten unterschiedlicher Dichtungsmaterialien (Abbildung 19) und das Setzverhalten von verschiedenen Dichtungsausführungen im Vergleich zum Setzverhalten unterschiedlich aufgebauter Flowfield-GDL (Abbildung 20). Ideal ist ein vergleichbares Setzverhalten von Dichtungsverbund und GDL-Aufbau. Das stellt sicher, dass die Flächenpressungen immer gleichmäßig auf Dichtung und Flowfield-GDL verteilt bleiben.

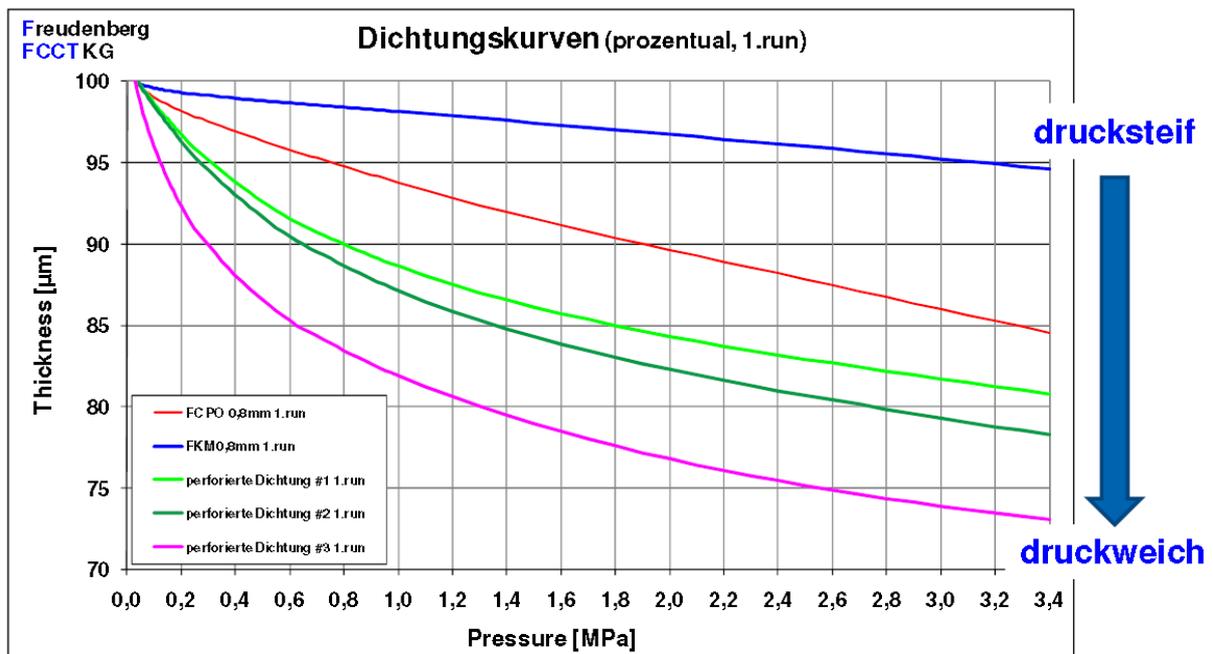


Abbildung 19. Dichtungs-Verformungskurven

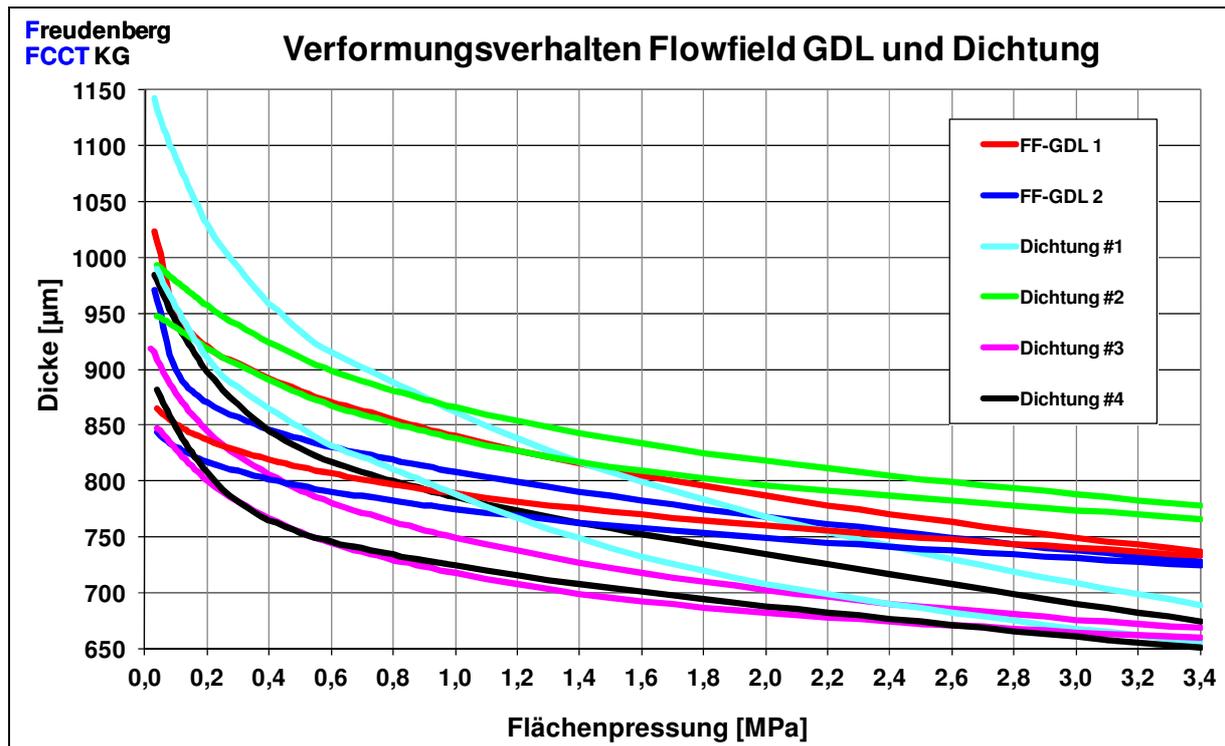


Abbildung 20. Verformungskurven Dichtung plus Flowfield-GDL

Das Fazit aus den Untersuchungen zur Verformung einer Flowfield-GDL-Dichtung:

- Die Drucksteifigkeit wurde durch eine Strukturierung der Dichtung deutlich reduziert
- Die Dichtungshöhe wurde auf die GDL- und Flowfield GDL Höhe ausgelegt
- Das Druck-Verformungsverhalten von Dichtung und GDL wurde aufeinander angepasst
- Die Steifigkeit und damit das Handling der ausgestanzten Dichtungen wurde durch eine eingelegte Zwischenfolie erhöht
- Dichtungsmaterialien niedriger Shore-Härte wurden verwendet
- Das Dichtungsdesign wurde angepasst und die Dichtungsbreiten gleichmäßig

Die vorhandene Klebrigkeit der Dichtung reicht aus, den Verbund dauerhaft zusammenzuhalten und sorgt auch für eine ausreichende Haftung der Lagen nach der Konfektionierung. Die Haftung der Dichtung zur Bipolar-Platte sollte allerdings erhöht werden. Dies war durch die spezielle Montage des Stacks bei FHG ISE begründet. Hierbei wird die Dichtung zunächst mit Hilfe einer Positionierlehre auf die Bipolar-Platte geklebt. Bei der Stackmontage wird die Platte gedreht und gestapelt. Dabei darf sich die Dichtung nicht von der Platte lösen. Die Aufgabe wurde gelöst indem ein sogenannter Transfer-Film auf die Dichtungsoberfläche laminiert wurde. Bei einem Transfer-Film handelt es sich um sehr dünne selbstklebende Dichtungen ähnlich einem doppelseitigen Klebeband. Die Oberflächen sind beidseitig mit einem

Schutzpapier versehen. Dieses wird direkt vor der Stackmontage abgezogen und damit der Klebefilm freigelegt.

## Zusammenfassung

Zum Aufbau einer Flowfield-GDL wurden geeignete Materialien für die Flowfield-Lagen entwickelt. Diese vliesstoffbasierten Materialien werden wie GDL-Materialien und bis zu einer maximalen Dicke von 1mm hergestellt. Diese Materialien sind als Rollenware auf vorhandenen Anlagen herstellbar und in Rolle-zu-Rolle Prozessen weiter bearbeitbar. Verschiedene Materialien zum Aufbau von Flowfield-GDLs stehen zur Verfügung (Karbonfasermaterialien mit 2D- oder 3D-Faserstruktur bzw. Graphitfolien definierter Dicke).

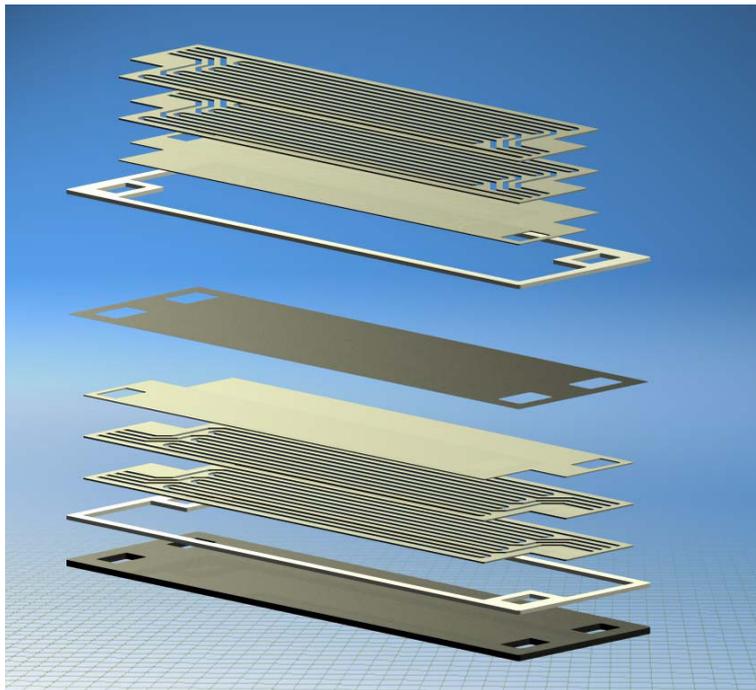
Für diese Materialien wurden geeignete Schneidverfahren zur Strukturierung der Strömungskanäle untersucht. Für kleine und mittlere Stückzahlen ist das CNC gesteuerte Ultraschallschneiden am besten geeignet. Für große Stückzahlen sind Vollschnittwerkzeuge einsetzbar.

Die Flowfield-GDL besteht prinzipiell aus einer GDL-Lage, die maßgeschneidert auf die BZ bzw. für die Anoden- und Kathodenseite ausgelegt werden kann, und der Flowfield-Lage. Wenn es die Kanaltiefe oder der Strömungsverlauf erforderlich machen, kann das Flowfield auch aus zwei oder mehreren Lagen aufgebaut werden. Durch Optimierung des Veredelungsprozesses konnte der elektrische Durchgangswiderstand der Flowfield-GDL-Lagen so gesenkt werden, dass die in-situ Tests bei FHG ISE mit diesen optimierten Flowfield-GDLs gute Resultate ergaben.

Zur geplanten Integration von Dichtungen auf der Flowfield-GDL wurde ein spritzgussfähiges, in der BZ-Umgebung beständiges 2-Komponenten Dichtungsmaterial entwickelt und dessen Verarbeitbarkeit erprobt. Da der Projektablauf keine feste Ausführung der Flowfield-GDL zu ließ, konnte das Konzept der integrierten Dichtung während der Projektlaufzeit nicht umgesetzt werden.

Für die Versuchsmuster wurde ein Dichtungsverbund entwickelt, der sehr variabel bzgl. Dicke, Steifigkeit und Dichtungsoberfläche verändert werden kann. Als Dichtungslagen kamen die im BZ-Einsatz bereits erprobten Dichtungsmaterialien und Dichtungsdesigns „Perfoseal“ und „Ice Cube Seal“ zum Einsatz. Der Dichtungsverbund wurde so gestaltet, dass er als Aufnahmelehre für die einzelnen Lagen der Flowfield-GDL genutzt werden kann. Umfangreiche Tests wurden durchgeführt, um die Komprimierbarkeit des Dichtungsverbundes auf die Komprimierung des jeweiligen Flowfield-GDL-Aufbaus abzustimmen.

In Abbildung 21 ist der Gesamtaufbau einer BZ mit den Einzellagen, die im Projekt entwickelt wurden, dargestellt.



- FF-Lage
- FF-Lage
- GDL-Lage
- Verbund-Dichtung
- Membran mit Katalysator
- GDL-Lage
- FF-Lage
- FF-Lage
- Verbund-Dichtung
- Separatorfolie

Quelle: Fraunhofer ISE

Abbildung 21. BZ-Aufbau mit 3-lagiger Flowfield-GDL

## 7. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

### 7.1 Nutzen

Eine der Hauptforderungen bei Brennstoffzellen ist die Reduzierung der Herstellkosten. Dieses Ziel kann erreicht werden durch kostengünstiges Material, seriennahe Herstellprozesse und Funktionsintegration bei den Komponenten und im Stack.

Das in diesem Projekt realisierte Konzept zeichnet sich dadurch aus, dass sich das Strömungsfeld zur flächigen Verteilung der Reaktanten nicht, wie herkömmlich, auf der Seite des Separators bzw. der Bipolarplatte, die der Gasdiffusionsschicht zugewandt sind, befindet, sondern in den Gasdiffusionslagen selbst.

Dieses Konzept hat gegenüber dem Stand der Technik mit strukturierten Bipolarplatten mehrere Vorteile. So können die Bipolarplatten, die keine Gasverteilerstruktur aufnehmen müssen, als Folie ausgelegt werden. Das lässt das Gewicht des Brennstoffzellenstapels und die Material- und Herstellkosten drastisch sinken. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass durch eine Querdiffusion der Reaktanten in den Stegen der Flowfield-GDL diese besser an die katalysatorbeschichteten MEA-Grenzflächen gelangen, an welchen die elektrochemischen Reaktionen ablaufen. Außerdem ist die Formgebung bei den leichten, porösen Materialien der GDL im Allgemeinen weniger schwierig und zeitaufwendig als bei den dichten und starren Materialien der Bipolarplatten.

Da die entwickelten Materialien für den Aufbau der Flowfield-GDL als Rollenware hergestellt werden können, sind alle Bearbeitungsverfahren auch in einem Rolle-zu-Rolle Prozess durchführbar. Dadurch können große Stückzahlen mit hoher reproduzierbarer Qualität und hoher Ausbeute kostengünstig hergestellt werden.

## 7.2 Verwertung

Freudenberg FCCT wird die neue Technologie der Flowfield-GDL und die neuen GDL-Materialien durch Kundengespräche, Messeauftritte und Berichte bekannt machen und die Marktresonanz beobachten und beurteilen. Für Bemusterungen von Flowfield-GDL stehen FFCCT mehrere im Projekt entwickelte und erprobte GDL-Materialien zur Verfügung.

Sollte sich ein Markt für diese Produkte eröffnen, dann beabsichtigt FFCCT die Flowfield-GDL zur Serienreife zu entwickeln und die GDL-Produktion um die neuen Produkte Flowfield-GDL und neue GDL-Verbundmaterialien zu erweitern. FFCCT fertigt ausschließlich in Deutschland für den gesamten Weltmarkt. Dabei folgt Freudenberg FCCT der Strategie der Freudenberg Gruppe, neue Produktionen aus Start-up Firmen zu generieren. Die Projektumsetzung bei Marktakzeptanz schafft die Grundlage für die Produktion neuer innovativer Produkte und Arbeitsplätze in Deutschland.

Die im Projekt entwickelten Produkte sind nicht nur im Marktsegment der Stromversorgungen von *stand alone* Geräte von Interesse. Denn speziell die Flowfield-GDL erfüllt den allgemeinen Technologietrend von kleiner, leichter und kostengünstiger. Es ist daher zu erwarten, dass die entwickelten Konzepte Einsatz finden werden auch für andere BZ-Anwendungen, wie z. Bsp. in der Medizintechnik, wie sich bereits im Projekt zeigte. Die Projektergebnisse ermöglichen nicht nur die Realisierung einer neuartigen GDL und darauf abgestimmter Dichtungstechnik, sondern auch erhebliche Produktverbesserungen für andere Komponenten und BZ Anwendungen. Damit ist der weltweite GDL Markt für die Verwertung zugänglich.

## 7.3 Schutzrechte und Veröffentlichungen

Das im Projekt gewonnene Wissen lässt sich als hauptsächliches Verfahrens-Know-how nur unzureichend schützen. Auf die Anmeldung von Schutzrechten wurden daher verzichtet.

Die Ergebnisse des Gesamtvorhabens inklusive der verschiedenen Teilvorhaben wurden im Wesentlichen durch das Fraunhofer ISE veröffentlicht. Hierfür wurden und werden verschiedene Möglichkeiten und Wege genutzt.

Das abschließende Ergebnis des Gesamtprojektes wurde zur Hannover Messe 2012 am Stand des Fraunhofer ISE präsentiert, und anlässlich des EAS Statusseminars am 27.02.2012 veröffentlicht. Weiterhin soll das AMES Gesamtprojekt in der Zeitschrift Plus vorgestellt werden. Die wissenschaftlichen Ergebnisse der

Wasserstofferzeugung durch chemische Hydride wurde im Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim unter dem Titel „Concentration-Dependent Dehydrogenation of Ammonia–Borane/Triglyme Mixtures“ veröffentlicht. Des Weiteren wurden die Ergebnisse des Brennstoffzellen-Hybridsystem auf der Fachtagung Fuel Cells 2012 Science & Technology, Grove Fuel Cell Event mit dem Vortrag „AMES - Autonomous energy system for electricity supply and battery charging under extended climatic conditions“ vorgestellt. In den Jahresberichten 2009 und 2011 des Fraunhofer ISE wurden der Fortschritt und die Ergebnisse des Projekts veröffentlicht.

Des Weiteren ist ein Vortrag auf der f-cell in Stuttgart im Oktober 2012 zum Brennstoffzellensystem geplant.

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel Gasdiffusionsschicht mit integriertem Strömungsfeld und applizierter Dichtung		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Bock, Achim Zibold, Jochen	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2011	6. Veröffentlichungsdatum 31.7.2012
	7. Form der Publikation Bericht	
	8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Freudenberg Fuel Cell Component Technology KG (FFCCT) Höhnerweg 2-4 69465 Weinheim	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn		9. Ber. Nr. Durchführende Institution entfällt
		10. Förderkennzeichen 16SV3389
		11. Seitenzahl 35
13. Literaturangaben keine		14. Tabellen 1
		15. Abbildungen 21
		16. Zusätzliche Angaben Bericht vom FFCCT Teilprojekt zum BMBF-Gesamtvorhaben: Autarkes Mikroenergiesystem für die portable Notfallmedizin, (Acronym: AMES-Power)
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger VDI-VDE-IT, Berlin, 31-7-2012		
18. Kurzfassung Die FCCT hat in ihrem Teilprojekt die Entwicklung von <i>Gasdiffusionsschichten (GDL) mit integriertem Strömungsfeld (Flowfield) und applizierter Dichtung</i> für die im Gesamtvorhaben vorgesehene PEM-Brennstoffzelle (BZ) übernommen. Ziel des Teilprojekts war es, durch kostengünstiges Material, einfache Herstellprozesse und Funktionsintegration bei den Komponenten der BZ die Herstellkosten, das Gewicht und das Volumen des BZ-Stapels zu senken. Das in diesem Teilprojekt realisierte Konzept einer sogenannten Flowfield-GDL zeichnet sich dadurch aus, dass das Strömungsfeld zur flächigen Verteilung der Reaktanten nicht, wie herkömmlich, integraler Teil der Bipolarplatte, sondern integraler Teil der GDL ist. Zur Herstellung des GDL-Verbundes wurden Materialien für die Flowfield-Lagen auf der Grundlage von vliesstoffbasierten GDL entwickelt, sowie Schneidverfahren zur Strukturierung der Strömungskanäle in den Flowfield-Lagen erprobt. Die neuen Materialien werden als Rollenware hergestellt und können für Rolle-zu-Rolle Prozesse genutzt werden. Für Flowfield-GDL-Versuchsmuster in BZ-Testzellen kam ein spezieller Dichtungsverbund zum Einsatz, der sich in Größe, Dicke und Steifigkeit leicht an die entsprechenden Größen der Versuchsmuster anpassen lässt. Die Leistungsfähigkeit der entwickelten Komponenten wurde ex-situ von FFCCT und in-situ vom Projektpartner Fraunhofer Gesellschaft ISE in Freiburg getestet. FFCCT stellt die neuen Produkte dem BZ-Markt vor und ist vorbereitet, die Flowfield-GDL zu bemustern.		
19. Schlagwörter PEM, Brennstoffzelle, Flowfield-GDL, Mikrostrukturierung, Gasdiffusionsschicht, Dichtungsintegration, variabler Dichtungsverbund		
20. Verlag	21. Preis	

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Gas Diffusion Layer with integrated Flow Field and applied Seal	
4. author(s) (family name, first name(s)) Bock, Achim Zibold, Jochen	5. end of project December 31, 2011
	6. publication date July 31, 2012
	7. form of publication Report
8. performing organization(s) (name, address) Freudenberg Fuel Cell Component Technology Höhnerweg 2-4 Weinheim, D-69465	9. originator's report no.
	10. reference no. 16SV3389
	11. no. of pages 35
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 0
	14. no. of tables 1
	15. no. of figures 21
16. supplementary notes Report from the FFCCT sub-project to the BMBF Joint-Project "Self-supporting micro energy system for the portable emergency medicine"	
17. presented at (title, place, date) Lead partner VDI-VDE-IT, Berlin, July 31, 2012	
18. abstract <p>The main project topic was the development of a gas diffusion layer (GDL) with an integrated flow field (FlowField-GDL) and the development of an integrated seal for a PEM fuel cell (FC). Aim of the project was to reduce the production costs, the weight and the volume of the FC stack by low-cost materials, simple manufacturing processes and functional integration of FC components.</p> <p>The concept of a so-called FlowField GDL is characterized in a way that the flow field for the distribution of the reactive gases is not part of the bipolar plate, but an integral part of the GDL. Therefore new non-woven GDL materials were developed. These materials were produced as web products and can be used for roll to roll productions. Several cutting processes for structuring the flow channels in the flow field layer were proved.</p> <p>A special sealing combination was used to seal the different FlowField GDL test samples. This sealing combination can easily be adapted on the size and the thickness of the FlowField GDL. In addition the stiffness of the seal can be modified for a better material handling.</p> <p>The performance of the innovative components was tested ex-situ by FFCCT and in-situ by the project partner Fraunhofer ISE located in Freiburg. FFCCT will present the new products to the FC market and is prepared to sample the FlowField GDL.</p>	
19. keywords PEM, fuel cell, flow field, GDL, gas diffusion layer, integrated seal	
iii20. publisher	21. price