

## II Schlussbericht zum Projekt HIFOIL

<b>ZE: Precors GmbH</b>	<b>Förderkennzeichen: 03B11017</b>
<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	HIFOIL
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	11/2021 – 10/2024

### I. Kurze Darstellung zu

#### 1. Aufgabenstellung

Die Brennstoffzellentechnologie stellt einen grundlegenden Baustein zur Erreichung der angestrebten CO<sub>2</sub>-Reduktion und der damit verbundenen Verkehrswende dar. Allerdings wird die Marktdurchdringung bisher durch ökonomische Hürden stark eingeschränkt. Ein maßgeblicher Kostentreiber sind die Einzelkomponenten eines Brennstoffzellenstacks. Zirka 30% dieser Kosten entfallen hierbei auf die Bipolarplatte, wobei die Beschichtung etwas mehr als die Hälfte der Bipolarplattenkosten ausmacht. Als Stand der Technik werden PVD oder CVD Beschichtungen aus Edelmetallen, Graphit oder Keramik verwendet. Diese besitzen allerdings erhebliche Material und Prozesskosten und bieten keine sinnvolle Möglichkeit einer Skalierung im notwendigen Maßstab.

Die Precors GmbH hat eine einzigartige Beschichtungstechnologie entwickelt, die genau diese Nachteile beseitigt. Die Precors-Beschichtung besitzt geringe Prozesskosten, da sie bei geringen Temperaturen und ohne Vakuum appliziert wird und bietet gleichzeitig eine optimale Skalierbarkeit für die Massenproduktion von Bipolarplatten. Zudem wird das Graphen-artige Beschichtungsmaterial bei Precors im hauseigenen Technikum hergestellt, wodurch die Materialkosten auf ein Minimum reduziert werden. Aufgrund der einzigartigen Beschaffenheit der Beschichtung kann diese schon vor dem Prägeprozess auf der Edelstahlfolie aufgebracht werden, wodurch Transportkosten und Handlingskosten weiter gesenkt werden.

Die Aufgabenstellung des Projektes HiFoil besteht darin den Beschichtungsprozess zur Herstellung vorbeschichteter Endlos-Metallfolien für die Produktion metallischer Bipolarplatten auf einen industriellen Standard zu skalieren.

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

In dem Vorangegangenen Projekt „PRECOIL“ [Förderkennzeichen: 03B11005 und 03B110052] wurden die verschiedenen Kernmodule einer entsprechenden Rolle zu Rolle Beschichtungslinie als Demonstratoren aufgebaut und getestet. Hierbei wurden die grundlegenden Technologien entwickelt, die notwendig sind um eine solche Beschichtungslinie aufzubauen. Als Projektziel wurden diese Module miteinander gekoppelt und als Demonstrationslinie erfolgreich betrieben.

Die in dem Projekt „PRECOIL“ gewonnenen Erkenntnisse sollen in dem hier durchgeführten Projekt „HiFoil“ nun auf eine Größenordnung skaliert werden, die geeignet ist um Industriepartner mit beschichteten Metallfolien versorgen zu können. Gleichzeitig soll die Beschichtungslinie Industriestandards genügen und erweiterte Möglichkeiten der Prozessüberwachung und Steuerung bieten.

## **3. Planung und Ablauf des Vorhabens**

Hierbei sind zwei Technologiebereiche besonders hervorzuheben. Zum einen ist die Skalierung der Laseraktivierung essentiell, da diese den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt der Beschichtungstechnologie darstellt (Ziel ist es die Laserleistung auf 1 kW zu erhöhen). Und zum anderen ist die Skalierung der Materialsynthese notwendig, damit ausreichend Beschichtungsmaterial für den skalierten Prozess zur Verfügung gestellt werden kann.

Des Weiteren müssen die restlichen Module der Beschichtungslinie analog skaliert und auf Industriestandard aufgewertet werden. Diese Module umfassen die Bandreinigung, den Beschichtungsauftrag und die Bandtrocknung/therm. Behandlung.

In **Abbildung 1** ist der Projektplan dargestellt. Um die genannten Ziele zu erreichen, wird zunächst die Skalierung der Lasertechnologie untersucht. Hierzu wird in AP 1.1 ein Teststand aufgebaut, in dem die skalierte Laserleistung getestet und die erforderlichen Betriebsparameter bestimmt werden können. Zudem sollen auch zu verwendende Kühl- und Laserrauchabsaugungskonzepte entwickelt werden. Schließlich soll die Technologie in eine Rolle-zu-Rolle Linie integriert werden.

Außerdem soll in AP 1.2 die vorhandene Beschichtungstechnik (Walzenauftrag) im Hinblick auf eine geplante Skalierung untersucht werden. Hierbei soll nicht nur die Bahngeschwindigkeit erhöht werden, sondern es sollen zukünftig auch Metallbänder bis zu einer Breite von 600 mm verarbeitet werden können. In diesem Arbeitspaket wird ein Teststand aufgebaut, um eine doppelseitige Walzenbeschichtung unter diesen Kriterien zu untersuchen.

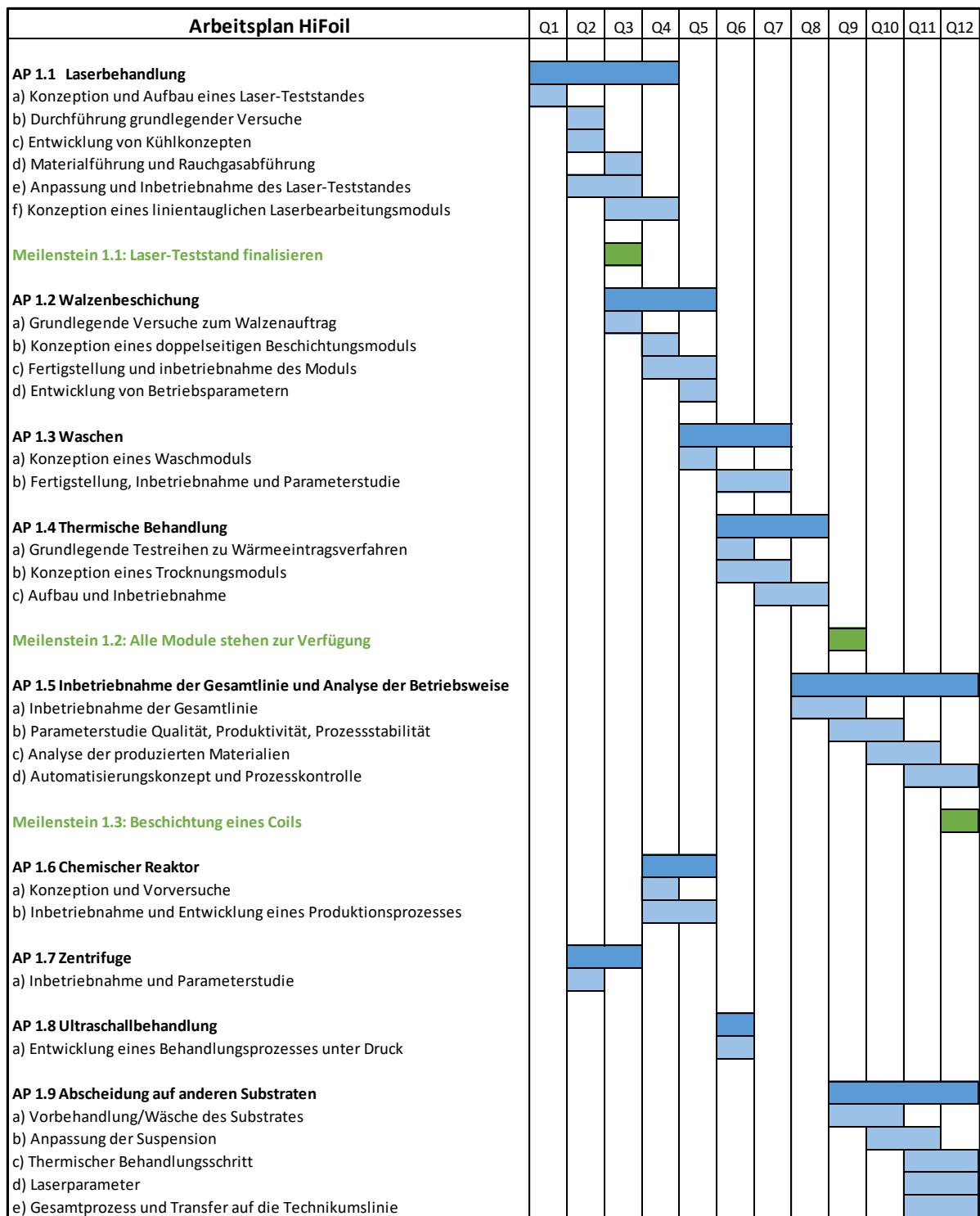


Abbildung 1: Gantt Diagramm des HiFoil Projektvorhabens

Das bisher vorhandene Modul zur Coilwäsche muss ebenfalls überarbeitet werden, da dieses bisher nicht auf Folienbreiten von 600 mm ausgelegt war. Zudem soll der Waschprozess professioneller gestaltet werden. Dies ist für AP 1.3 vorgesehen.

Aufgrund der geplanten Erhöhung der Bahngeschwindigkeit ist es notwendig den Schritt der thermischen Behandlung ebenfalls anzupassen. Auch hier stehen eine höhere Leistung und stärkere Professionalisierung im Vordergrund. Dieser Schritt ist in AP 1.4 skizziert. Es soll

zunächst ein Versuchsaufbau konstruiert werden, um Parameter wie die benötigte Leistung und Länge der Trockenstrecke abzuschätzen. Anschließend wird mit Hilfe dieser Parameter ein Trocknungsmodul ausgelegt und in die Beschichtungslinie integriert.

In AP 1.5 wird die gesamte Linie in Betrieb genommen. In diesem Schritt werden die Betriebsparameter festgelegt und Kenngrößen wie Prozessstabilität, Produktivität, und Qualität ermittelt. Zudem werden hier Aspekte der Prozesskontrolle und Möglichkeiten der Automatisierung betrachtet.

Für die Skalierung der Materialsynthese muss zunächst der verwendete chemische Reaktor angepasst werden. Dies geschieht in AP 1.6. Im Vordergrund stehen hierbei eine Erhöhung des Reaktorvolumens und eine teilweise Automatisierung des Reaktorschrittes. Zudem sollen die Arbeitsabläufe hinsichtlich der Arbeitssicherheit weiter verbessert werden.

Der geschwindigkeitsbestimmende Schritt in der Materialsynthese ist der Zentrifugenprozess. In AP 1.7 wird die Inbetriebnahme und die Parameterstudie einer skalierten Zentrifuge durchgeführt. Diese Zentrifuge besitzt ein erheblich vergrößertes Füllvolumen und die Möglichkeit den Prozess teilweise zu automatisieren. In diesem Arbeitspaket werden die Syntheseparameter auf die neue Zentrifuge angepasst und in einer Studie qualitativ verglichen.

Im Zuge der Skalierung muss ebenfalls der Ultraschallprozess angepasst werden. Um hier den Materialdurchsatz zu steigern, ist es notwendig, diesen bei erhöhtem Druck ablaufen zu lassen. Dieser Prozess wird in AP 1.8 entwickelt und eine entsprechende Anlage aufgebaut.

In AP 1.9 wird schließlich betrachtet, ob die Möglichkeit besteht die Precors Beschichtung auch auf anderen, metallischen Substraten abzuschneiden. Betrachtet werden sollen hierbei Substrate wie Kupfer- und Aluminiumfolien. Bei erfolgreicher Applikation könnte das Produktportfolio für die Beschichtungstechnologie erheblich erweitert werden.

Durch den Aufbau einer solchen Beschichtungslinie ist es möglich ein konkurrenzfähiges Beschichtungsverfahren zu entwickeln, mit dessen Hilfe die Kosten für metallische Bipolarplatten stark reduziert werden können.

#### **4. Wissenschaftliche und technischem Stand, an den angeknüpft wurde**

Die Bipolarplatte ist ein essenzieller Bestandteil einer PEM Brennstoffzelle. Ihre Funktion ist es, die verschiedenen Gasräume innerhalb des Brennstoffzellenstacks voneinander zu trennen und die Gase homogen über die Elektrodenflächen zu verteilen. Zudem leitet die Bipolarplatte den erzeugten Strom in den einzelnen Zellen des Stacks weiter. Es existieren zwei grundlegende Technologien von Bipolarplatten. Graphitische Bipolarplatten und

metallische Bipolarplatten. Die metallischen Platten sind im Vergleich um ein vielfaches leichter als graphitische Platten. Außerdem sind sie weniger bruchanfällig und kostengünstiger herzustellen. Allerdings benötigen metallische Platten eine Beschichtung, die sie vor Korrosion schützt und eine möglichst gute elektrische Leitfähigkeit gewährleistet. Diese Beschichtungen bestehen bisher aus einer wenige mikro- oder Nanometer dicken Schicht aus Edelmetallen, Keramik oder Kohlenstoff. Diese Schichten werden mittels eines PVD Prozesses auf der Oberfläche aufgetragen. Da die Prozesstemperaturen hier bis zu 1000 °C betragen können und die Abscheidung im Ultrahochvakuum stattfindet, benötigen diese Prozesse ein erhebliches Maß an Energie. Die Größe der beschichtbaren Fläche hängt hierbei von der Größe der Vakuumkammer der Anlage ab. Die Skalierung dieser Prozesse auf eine Massenproduktion, wie sie für den Automobilmarkt notwendig wäre (ein automotiver Brennstoffzellenstapel besteht aus bis zu 400 Bipolarplatten) ist somit mit erheblichen Kosten verbunden.

Im Projekt HiFoil soll aus diesem Grund eine Beschichtungslinie im Industriestandard aufgebaut werden. Diese Demonstrationslinie basiert auf der Beschichtungstechnologie von Precors, die aufgrund des einfachen Sprüh- und Trocknungsprozesses des Beschichtungsmaterials kostengünstig und einfach skaliert werden kann. Zudem liegen die Prozesskosten um ein Vielfaches unter denen einer vergleichbaren PVD-Strecke.

In dem bis 2019 durchgeführten Projekt PRECOIL wurden die grundlegenden Technologien zur Umsetzung einer solchen Beschichtungslinie erforscht und in Demonstratoren getestet. Auf Basis dieser Vorversuche soll im Projekt HiFoil eine skalierte Linie nach industriellem Standard realisiert werden.

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

Für die Realisierung einer Beschichtungslinie in Industriereife wurden zunächst Vorversuche durch die Precors GmbH durchgeführt. Die finale Auslegung und Konstruktion der Anlage wurde hingegen in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Produktionstechnik (IPT) in Aachen umgesetzt. Dieses konnte als versierter Anlagenbauer sämtliche erforderlichen Kriterien und Vorgaben einer Industrielinie, maßgeschneidert auf die Beschichtungstechnologie von Precors umsetzen. Zudem wurde in Zusammenarbeit mit Systemherstellern wie Heraeus, Menzel Metallchemie GmbH und der FMP Technology GmbH Kerntechnologien der Beschichtungslinie (Trocknungstechnologie, Beschichtungstechnologie) getestet und ausgewählt. Die kundenseitigen Anforderungen an eine dem Projekt entsprechende Beschichtungslinie wurde in engem Kontakt mit der Borit NV aus Belgien erarbeitet.

## **II. Eingehende Darstellung**

### **1. Der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele**

#### AP 1.1: Laserbehandlung

Durch die für dieses Arbeitspaket beantragte Zuwendung konnte in dem Projekt ein Laserteststand aufgebaut werden, um die Skalierung des Lasersystems testen zu können. Zudem wurden zwei leistungsstarke Faserlaser mit einer Leistung von jeweils 1 kW und zugehörige Peripherie wie Laserscanner-Systeme und Kollimatoren beschafft. Durch die hier gewonnenen Erfahrungen konnte ein Laserbearbeitungsmodul für eine skalierte Beschichtungslinie ausgelegt und konstruiert werden. Die angeschafften Lasersysteme wurden in diesem Modul anschließend integriert. Die Konstruktion des Lasermoduls wurde nicht über die beantragten Projektmittel finanziert.

Die Laserbehandlung des beschichteten Substratmaterials stellt einen kritischen Schritt in der Beschichtungslinie dar. Durch diese Behandlung werden die maßgeblichen Eigenschaften der Precors Beschichtung, wie Korrosionsbeständigkeit und elektrische Leitfähigkeit, erzeugt. Sie ist zugleich der geschwindigkeitsbestimmende Schritt des Beschichtungsprozesses.

#### a) Konzeption und Aufbau eines Laser-Teststandes

Im Zuge des Projektes soll die Leistung der für die Laserbehandlung eingesetzten Laserquelle um den Faktor 10 auf 1 kW angehoben werden. Dies soll eine wesentlich schnellere Bearbeitung der verwendeten Edelstahlfolien ermöglichen. Für die Auslegung eines entsprechenden Bearbeitungsmoduls ist es allerdings notwendig die entsprechenden, leistungsabhängigen Betriebsparameter für diesen Teilschritt abschätzen zu können. Zu diesem Zweck wird zunächst ein Teststand aufgebaut, der alle notwendigen Freiheiten bietet um eine Parameterstudie hinsichtlich der Laserbearbeitung durchführen zu können.

Dieser Laserteststand wurde genutzt, um grundlegende Versuche in Bezug auf die Laserstrahlquelle und die Scanoptik durchzuführen. Die verwendete Kombination aus Laserstrahlquelle und Scanoptik konnte erfolgreich validiert werden. Die Laserleistung konnte hierbei im Betriebspunkt zu bis zu 90% ausgenutzt werden und erste, funktionsfähige Materialmuster konnten hergestellt werden.

#### b) Entwicklung von Kühlkonzepten

Die Skalierung der Laserleistung um den Faktor 10 führt zu einer Erhöhung des Energieeintrages in die Probe. Hierdurch kommt es zu einer stärkeren, lokalen Erhitzung des Materials, was zu Verspannungen und Verformungen führen kann.

Aufgrund des hohen Energieeintrags wird eine passive Kühlmethode umgesetzt. Um eine ausreichende Kühlung zu gewährleisten wurde die Metallfolie über sieben Aluminiumwalzen

geführt. Für die in dem Teststand durchgeführten Untersuchungen hat sich dieses Konzept als ausreichend erwiesen.

#### c) Materialführung und Rauchgasabführung

Hier wurden verschiedenste Konzepte getestet um den Laserrauch und sonstige Partikel effektiv von der Folienoberfläche zu entfernen. Mit einer angepassten Luftstromabsaugung wird sichergestellt, dass mögliche Partikel in der Luft, die zu einer Streuung des Laserstrahls oder zu einer Kontamination des Folienmaterials führen können, effektiv abgesaugt werden.

#### d) Anpassung und Inbetriebnahme des Laser-Teststandes

Das Kühlkonzept und die Laserrauchabsaugung des Laser-Teststands wurden mit den in den vorherigen Arbeitspaketen erarbeiteten Ergebnissen angepasst.

Im nächsten Schritt wurde das Lasersystem verwendet um mehrere Meter durchgehendes Coilmaterial zu bearbeiten.

#### e) Konzeption eines linientauglichen Laserbearbeitungsmoduls

Im Zuge des Projektes wurde eine Demonstrationsanlage für die Laseraktivierung von Coilmaterial aufgebaut und getestet.

Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen es in einem nächsten Schritt die Laserbehandlung in einer professionellen Rolle-zu-Rolle Beschichtungslinie zu integrieren. Die Fertigung einer entsprechenden Beschichtungslinie wurde durch das „Fraunhofer Institut für Produktionstechnik“ (IPT) in Aachen übernommen.

Das Laserbearbeitungsmodul wurde nach den in diesem Arbeitspaket erarbeiteten Vorgaben vom Fraunhofer IPT gefertigt und in die Gesamtlinie integriert.

### AP 1.2: Walzenbeschichtung

Mit den für dieses Arbeitspaket beantragten Mitteln wurde ein Versuchsaufbau konstruiert um den simultanen, beidseitigen Beschichtungsauftrag über Applikationswalzen auf Edelstahlfolie mit bis zu 600 mm Breite zu testen. Aufgrund der hier durchgeführten Tests wurde die Technologie als ungeeignet eingestuft und in einer anschließenden Versuchsreihe eine geeignetere Lösung erarbeitet. Mit diesen Erkenntnissen wurde anschließend die Fertigung eines Beschichtungsmoduls für die Beschichtungslinie beauftragt. Die Konstruktion dieses Moduls ist kein Bestandteil der in diesem Projekt beantragten Zuwendungen.

Um eine homogene Beschichtungsqualität zu gewährleisten, ist es wichtig die Suspension gleichmäßig auf dem Substrat aufzubringen. Diese Aufbringung muss zudem sowohl auf der Ober- als auch auf der Unterseite simultan erfolgen.

#### a) Grundlegende Versuche zum Walzenauftrag

Um die Aufbringung mittels Walzenauftrag zu untersuchen wurde zunächst eine Demoanlage aufgebaut. Diese besteht aus zwei Gummiwalzen, die von beiden Seiten auf das durch die Anlage geführte Metallband drücken. Es wurden Versuche mit bis zu 600 mm breiten Folienbahnen durchgeführt.

Durch diese Tests konnten wichtige Erkenntnisse über die Walzenbeschichtungstechnologie gewonnen werden. Als Resultat ist diese Methode nicht geeignet um Substratbänder mit einer Breite von mehr als 400 mm nach unseren Anforderungen zu beschichten. Parallel zu dem Aufbau der Demonstrationsanlage wurde in einer Kooperation mit dem „Fraunhofer Institut für Produktionstechnik“ (IPT) ein Technologiescreening mit Herstellern verschiedenster Beschichtungstechnologien durchgeführt. Ziel war es durch dieses Screening andere Beschichtungstechnologien hinsichtlich ihrer Eignung für den angestrebten Beschichtungsprozess zu bewerten. Die untersuchten Technologien sind: Sprühbeschichtung, Auftrag durch Schlitzdüse und Walzenauftrag.

#### b) Konzeption eines doppelseitigen Beschichtungsmoduls

Durch das durchgeführte Technologiescreening konnte die Beschichtung durch Sprühauftrag als am geeignetsten für die vorgesehene Anwendung identifiziert werden. Im weiteren Verlauf wurde das Fraunhofer IPT beauftragt ein entsprechendes Beschichtungsmodul für die geplante Rolle-zu-Rolle Anlage zu konzeptionieren und zu fertigen. In enger Absprache wurde ein Beschichtungsmodul entwickelt, welches die Beschichtung durch Sprühauftrag in der Anlage von beiden Seiten simultan durchführen kann.

#### c) Fertigstellung und Inbetriebnahme des Moduls

Das konzeptionierte Beschichtungs-Modul wurde anschließend durch das IPT gefertigt und an Precors übergeben. Aktuell erfolgt die Inbetriebnahme des Moduls bei Precors. Hierzu wird zunächst eine detaillierte Parameterstudie hinsichtlich des Beschichtungsprozesses durchgeführt.

#### d) Entwicklung von Betriebsparametern

Parallel zu der Fertigung des Beschichtungsmoduls wurde eine bestehende Beschichtungskabine bei Precors so umgerüstet, dass simultane Versuche mit fünf Sprühapparaten möglich sind. Auf dieser Anlage konnten schon im Vorfeld wichtige Tests durchgeführt werden und Beschichtungsparameter ermittelt werden. Diese Erkenntnisse sind in die Fertigung des Linienmoduls mit eingeflossen.

### AP 1.3: Waschen

Durch die für dieses Arbeitspaket beantragten Mittel wurde eine professionelle Waschanlage zur Reinigung von Metallbändern entwickelt und konstruiert. Diese Anlage ermöglicht es die Vorbehandlung der notwendigen Substratmaterialien entsprechend des Durchsatzes der Beschichtungslinie durchzuführen.

#### a) Konzeption eines Waschmoduls

Um ein optimales Beschichtungsergebnis zu erzielen, ist eine ideal gereinigte Substratoberfläche äußerst wichtig. Im Zuge des Projektes werden hierfür verschiedene Technologien betrachtet und deren Vor- bzw. Nachteile miteinander verglichen. Die betrachteten Vorbehandlungs- bzw. Reinigungsprozesse beruhen zum einen auf nasschemischen Verfahren in unterschiedlichen Medien. Zum anderen wurden physikalische Methoden wie Laserablation getestet. Schließlich hat sich ein zweistufiger, nasschemischer Reinigungsprozess als am geeignetsten herausgestellt.

Im Zuge einer kostentechnischen Abschätzung der Anlagenkosten wurde entschieden die Anlage bei Precors selbst zu konstruieren. Die Anlage wurde so konzipiert, dass unterschiedlichste Waschmedien eingesetzt werden können.

#### b) Fertigstellung, Inbetriebnahme und Parameterstudie

Die Waschanlage wurde entsprechend des Konzeptes konstruiert. Die Inbetriebnahme der Reinigungsanlage wurde abgeschlossen. Diese kann für die Vorreinigung der Metallbänder verwendet werden.

### AP 1.4 Thermische Behandlung

In diesem Arbeitspaket wurden mit den beantragten Mitteln Versuchsaufbauten hergestellt, in denen wichtige Parameter des Trocknungsschrittes untersucht werden konnten. Mit den gewonnenen Daten konnte ein Trocknungsmodul für die Beschichtungslinie konzipiert und dessen Konstruktion beauftragt werden. Die Konstruktion dieses Moduls war nicht Bestandteil der beantragten Mittel.

#### a) Grundlegende Testreihen zu Wärmeeintragsverfahren

In dem Projekt sollen Untersuchungen zur thermischen Behandlung der beschichteten Substrate durchgeführt werden. Dies bezieht sich zum einen auf die Trocknung des auf das Substrat aufgetragenen Nassfilms. Zum anderen beziehen sich diese Untersuchungen auf die thermische Reduktion des Beschichtungsmaterials. Um eine geeignete Technologie

auszuwählen, wurden zusammen mit verschiedenen Herstellern Versuche durchgeführt. Hierbei wurde sowohl die Methode der Konvektionstrocknung, als auch die Methode der Infrarottrocknung getestet.

Eine Trocknung und anschließende Aktivierung der Beschichtung durch zwei Infrarot Module hat sich als am effektivsten erwiesen.

#### b) Konzeption eines Trocknungsmoduls

Das Trocknungsmodul wurde mit dem Fraunhofer IPT als Anlagenbauer konzipiert und auf unseren Anwendungsfall ausgelegt. Das Modul wurde hierbei für Bahngeschwindigkeiten von bis zu 7 m/min ausgelegt.

Um eine optimale Absaugung des entstehenden Wasserdampfes zu gewährleisten und die Entstehung von Kondenswasser zu vermeiden wurde Das Trocknerdesign weiter angepasst. Eine Temperaturüberwachung innerhalb der Trockner wird durch spezielle Infrarotsensoren realisiert. Diese messen die exakte Temperatur direkt auf der Oberfläche der Metallfolie.

### AP 1.5 Inbetriebnahme der Gesamtlinie und Analyse der Betriebsweise

#### a) Inbetriebnahme der Gesamtlinie

Im Zuge des Projektes wurde eine skalierte Rolle zu Rolle Beschichtungslinie in Industriereife konzeptioniert und ihre Fertigung beauftragt.

#### Meilenstein 1.2: Alle Module stehen zur Verfügung

Die Module der Linie wurden vom Fraunhofer IPT gefertigt. Diese wurden bei Precors zu einer Beschichtungslinie zusammengefügt und auf ihre Funktionsweise herstellerseitig getestet.

Aufgrund erheblicher Lieferverzögerungen bei Konstruktionswerkstoffen im letzten Projekthalbjahr und einer damit verbundenen Verzögerung bei der Auslieferung der letzten Anlagenmodule, konnte bisher noch keine Inbetriebnahme der gesamten Linie seitens Precors durchgeführt werden. Studien zu Prozessparametern, Prozessstabilität, Beschichtungsqualität und Prozesskontrolle werden im Nachgang zu dem Projekt durchgeführt.

Meilenstein 1.3: Aufgrund der zuvor genannten Verzögerung wurde dieser Meilenstein erst nach Projektende bearbeitet.

## AP 1.6 Chemischer Reaktor

Mit den für dieses Arbeitspaket beantragten Mitteln wurde ein chemischer Synthesereaktor mit einem Füllvolumen von 100 L beschafft. Dieser ist notwendig um die Herstellungskapazität des Beschichtungsmaterials zu erhöhen und somit auf die Anforderungen der skalierten Beschichtungslinie anzupassen.

### a) Konzeption und Vorversuche

Ein grundlegender Baustein des Beschichtungskonzeptes der Precors GmbH stellt die Synthese des Beschichtungsmaterials im hauseigenen Technikum dar. Hierfür wird ein chemischer Reaktor benötigt, der die notwendige Prozessführung gewährleistet. Durch entsprechende Vorversuche in einem kleineren Reaktor konnten wichtige Kriterien identifiziert werden, nach denen der im Projekt angeschaffte chemische Reaktor ausgelegt werden konnte.

### b) Inbetriebnahme und Entwicklung eines Produktionsprozesses

Der in AP 1.6 a) konzipierte Reaktor wurde beschafft und soll im Weiteren hinsichtlich der Skalierung des Produktionsprozesses getestet werden. Hierzu wurde Beschichtungsmaterial nach der herkömmlichen Prozedur in dem neuen Reaktor hergestellt.

Das mittels Synthese in dem neuen Reaktor hergestellte Beschichtungsmaterial erfüllt sämtliche Kriterien um als Beschichtung von Bipolarplatten in einem Brennstoffzellenstack eingesetzt zu werden.

Zur Validierung des Reaktorkonzeptes und zum Testen der Zentrifuge (siehe AP 1.7) wurden zwei Testbatches von je 50 L in dem Reaktor hergestellt. Ein Test mit einem Batch von 100 L steht zum jetzigen Zeitpunkt noch aus.

## AP 1.7 Zentrifuge

### a) Inbetriebnahme und Parameterstudie

Im Zuge des Herstellungsprozesses des Beschichtungsmaterials ist ein kritischer Schritt, die zugegebenen Chemikalien (hauptsächlich Schwefelsäure) aus der Suspension zu entfernen. Für diesen Reinigungsprozess muss der Feststoff wiederholt aus der Suspension abgetrennt werden und im Anschluss mit VE Wasser resuspendiert werden. Mit jedem Durchgang reduziert sich somit die Chemikalienkonzentration in der Suspension. Die Trennung der Festen von der flüssigen Phase erfolgt am effektivsten durch einen Zentrifugenprozess. Da dieser Schritt aufgrund der geringen Partikelgröße und des hydrophilen Charakters des Feststoffes sehr anspruchsvoll ist, wird hierfür eine speziell konstruierte Zentrifuge eingesetzt. In diesem

Arbeitspaket wurde diese Zentrifuge in Betrieb genommen und geeignete Parameter für den Reinigungsschritt der Suspension erarbeitet.

Zur Validierung des Zentrifugen Prozesses wurden mehrere Chargen des Beschichtungsmaterials in der Zentrifuge aufgereinigt. Im Anschluss wurden die Suspensionen getestet und Testbleche mit dem Beschichtungsmaterial beschichtet.

Die in der Zentrifuge hergestellten Chargen des Beschichtungsmaterials können für die Beschichtung von Bipolarplatten problemlos verwendet werden. Sie erfüllen alle hierfür notwendigen Kriterien.

#### AP 1.8 Ultraschallbehandlung

Die für dieses Arbeitspaket beantragten Mittel wurden verwendet um Pumpen und Systembauteile für die Konstruktion eines Systems zu beschaffen, in dem ein Ultraschallprozess unter erhöhtem Druck ablaufen kann. Diese Konstruktion reduziert die Herstellungsdauer des Beschichtungsmaterials erheblich und war notwendig um eine lückenlose Versorgung der Beschichtungslinie mit Beschichtungsmaterial zu gewährleisten.

##### a) Entwicklung eines Behandlungsprozesses unter Druck

Ein wichtiger Prozessschritt bei der Herstellung des Beschichtungsmaterials ist die Behandlung der Suspension durch Ultraschall. In diesem Schritt muss die Beschichtungslösung mit einem definierten Energieeintrag beschallt werden. Die Beschallungsdauer hängt hierbei von der Batchgröße, und der eingebrachten Ultraschalleistung ab. Um diesen Prozess zu beschleunigen ist eine Beschallung unter erhöhtem Druck sinnvoll. Durch die Druckerhöhung kann die eingebrachte Ultraschalleistung erheblich gesteigert werden. Die Beschallungsdauer reduziert sich somit auf bis zu ein Siebtel.

Im Zuge dieses Projektes wurde ein System aufgebaut, wodurch die Beschallung des Beschichtungsmaterials unter Druck realisiert werden kann.

Um das System zu testen wurden 5 L der Suspension hergestellt und über das neue Verfahren mit Ultraschall behandelt. Das durch diesen Prozess hergestellte Beschichtungsmaterial wurde anschließend auf der Beschichtungslinie verarbeitet und die hergestellten Testbleche mittels verschiedener Bewertungsverfahren untersucht. Sowohl der Durchgangswiderstand (ICR) als auch die Tests in der 3-Elektroden-Messzelle entsprechen den Standard Werten der Beschichtung der Precors GmbH.

Das mittels dem neuen Ultraschallprozess hergestellte Beschichtungsmaterial erfüllt somit sämtliche Kriterien um als Beschichtung von Bipolarplatten in einem Brennstoffzellenstack eingesetzt zu werden

## **2. Der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Die Erforschung von Verfahrensprozessen sowie die Entwicklung und Konstruktion von Anlagemodulen bedarf einen hohen personellen Einsatz verbunden mit Inventions- und Sachmittelausgaben. Die größten Kostenpositionen im Vorhaben waren Personalmittel und Investitionen in vorhabenspezifische Anlagen. Aufgrund von neu erlangten Erkenntnissen und gestiegenen Anforderungen im Projektverlauf, wurden die Ausgaben in Anlagen- und Prozesstechnik (aus Eigenmitteln) mehr als verdreifacht. Die finanzielle Unterstützung war für den Projektverlauf und den erzielten Erfolg von außerordentlicher Bedeutung. Ohne diese Unterstützung wäre die F&E-basierte Arbeit nicht möglich gewesen.

## **3. Der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die notwendigen Maßnahmen (siehe AP 1.1 bis AP 1.9) um die Beschichtungstechnologie von Precors zu skalieren und auf einen industrietauglichen Stand zu bringen sind mit erheblichen Kosten und Zeitaufwand verbunden. Zudem war das Risiko eines Nichterfolgs durch die ausgewählten Technologien jederzeit gegeben.

Somit war es für Precors nur im Rahmen dieses Projektes möglich die für die Beschichtungslinie verwendeten Technologien hinsichtlich ihrer Tauglichkeit im Industriemaßstab detailliert zu testen. Wie AP 1.2 zeigt konnte somit eine vorteilhaftere Technologie für den anvisierten Einsatzzweck ausgewählt werden und die Erfolgchancen erheblich erhöht werden.

Die in dem Projekt geleistete Arbeit wird somit als Notwendig und dem Projektergebnis Angemessen beurteilt.

## **4. Des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

Die im Rahmen des Projektes gewonnenen Erkenntnisse und die aus dem Projekt resultierende Beschichtungslinie ermöglicht es der Precors GmbH beschichtete Metallfolie für die Bipolarplattenproduktion auf dem Markt anzubieten. Die Skalierungs- und Produktionskosten liegen hierbei auf einem Niveau, dass die Precors Technologie gegenüber

etablierten Beschichtungstechnologien enorm konkurrenzfähig macht. Hierdurch können die Herstellungskosten von beschichteten Bipolarplatten erheblich gesenkt werden, wodurch die Brennstoffzellentechnologie für den breiten Markt attraktiver wird. Die Etablierung der Precors-Beschichtung auf dem Brennstoffzellenmarkt kann somit zu einer steigenden Nachfrage im Brennstoffzellensektor führen.

Die entwickelten Technologien und Verfahren im Rahmen des Projektes haben bisher nicht zu patentierbaren Erfindungen geführt. Verfahrenspatente oder anderweitige Veröffentlichungen der Herstellungsprozesse werden im Sinne des Schutzes gegen Plagiate als nicht sinnvoll erachtet.

Beschichtete Metallfolien und Beschichtungsdienstleistungen wurden hingegen von der Precors GmbH auf einschlägigen Messen (z.B. Fuel Cell EXPO 2024) vorgestellt.

#### **5. Des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Während der Durchführung des Vorhabens sind keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt geworden.

#### **6. Der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11**

Veröffentlichungen der technischen Hintergründe von Herstellungsprozessen (verwendete Hardware, beteiligte Verfahrensschritte) sind nicht im Sinne der Firma Precors, um den Schutz gegen Nachahmer und Plagiate sicherzustellen. Bei sämtlichen technischen Aspekten der Beschichtungs- und Herstellungsverfahren bitten wir um Vertraulichkeit. Allgemeine Veröffentlichungen erfolgen im Rahmen von Tagungen, Messen und zahlreichen bilateralen Kontakten mit Firmen und Instituten.

# I Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Schlussbericht</b>
3. Titel <b>HiFoil - Erforschung, Entwicklung und Demonstration industriell nutzbarer Beschichtungs- und Herstellungsverfahren für Halbzeuge zur Herstellung metallischer Bipolarplatten</b>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Wedlich, Klaus Weißbecker, Vitali	5. Abschlussdatum des Vorhabens Oktober 2024
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Precors GmbH, Schumanstraße 16b, 52146 Würselen	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen <b>03B11017</b>
	11. Seitenzahl
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) Berlin</b>	13. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung  Bisherige Beschichtungstechnologien für Bipolarplatten sehen vakuumbasierte Abscheidungsprozesse (PVD) und häufig die Verwendung von Edelmetallen als Beschichtungsmaterial vor. Diese Prozesse sind allerdings meist energieintensiv, langsam und teuer und somit ein entscheidender Kostentreiber in den Gesamtkosten eines Brennstoffzellenstacks. Precors bietet hier eine alternative zu diesen Beschichtungen an. Die Beschichtungstechnologie von Precors ist, im Vergleich zu bisherigen Beschichtungstechnologien, vakuum- und edelmetallfrei (somit kostengünstig) und kann sowohl vor als auch nach dem Prägeprozess auf die metallische Bipolarplatte aufgebracht werden. Durch die Konzeptionierung und den Aufbau einer Beschichtungslinie für Metallfolien ist es durch diese Technologie möglich den Preis für die Brennstoffzellenkomponente Bipolarplatte erheblich zu senken. Durch die Verwendung von Beschichteten Metallfolien können Kosten in Bezug auf Transport und Handling weiter gesenkt werden. Im Projekt HiFoil wurden die notwendigen Technologien für eine solche Beschichtungslinie festgelegt. Die Linie wurde daraufhin konzipiert und gefertigt. Hierdurch kann die Precors GmbH qualitativ hochwertige, beschichtete Metallfolien für den Brennstoffzellenmarkt im Industriemaßstab anbieten.	
19. Schlagwörter Bipolarplattenbeschichtung, Vakuumfrei, Edelmetallfrei, Serientauglich	
20. Verlag	21. Preis