

# maschinenbau

 Die Deutschland-Ausgabe des Schweizer Industriemagazins

2 | 2023

## Konstruktion + Simulation

Kupfer-Wellenfedern für den  
elektromechanischen Einsatz Seite 30

## Fertigung + Produktion

Bauteile präzise bearbeiten  
und reinigen Seite 35

## Robotik + Industrie 4.0

Kollaborative Anwendungen  
ohne Programmierung Seite 50



Industrie 4.0

## Maschinen und Abläufe intelligent vernetzen

# Effiziente Fertigungslinie für Bipolarplatten

Eine der Kernkomponenten von PEM-Elektrolyseuren und -Brennstoffzellen ist die Bipolarplatte, deren effiziente Fertigung ein Schlüssel zur erfolgreichen Industrialisierung ist. Die German Fuel Cell Cooperation (GFC) stellt dafür mit ihrer integrierten Fertigungslinie einen skalierbaren Ansatz vor, der die Expertise von drei Anlagenbauern bündelt.

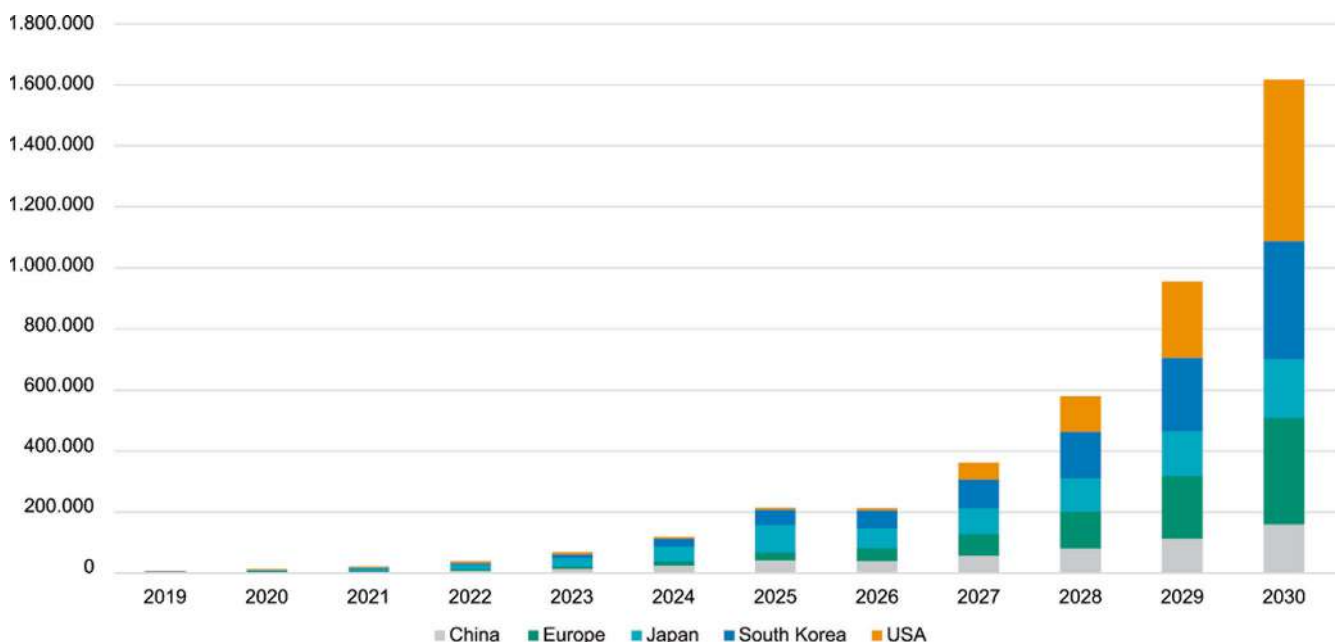
Brennstoffzellen sind für verschiedene Anwendungsbereiche seit mehreren Jahrzehnten in Entwicklung und werden bereits funktionell eingesetzt. Ihre Verbreitung und Industrialisierung befindet sich jedoch nach wie vor im Prototypen- und Kleinserienstadium. Allein für den Mobilitätssektor wird bis 2030 eine exponentielle Steigerung der Brennstoffzellen-Fahrzeug (FCEV)-Zahlen prognostiziert, *Bild 1* [1]. Vor allem in Mobilitätsanwendungen werden aufgrund ihrer Eigenschaften die Protonen-Austausch-Membran-Brennstoffzellen (PEMFC) dominieren.

## Aufbau eines Stacks

PEMFC-Stapel (Stack) bestehen aus Hunderten Zellen, die wiederum aus Bipolar-

platten (BPP), Membran-Elektrodeneinheiten (Membrane Electrode Assembly; MEA) und Gasdiffusionsschichten (Gas Diffusion Layer; GDL) sowie zugehörigen Dichtungen zusammengesetzt sind, *Bild 2*. Aus der Anzahl der Zellen, der Komplexität des individuellen Designs der einzelnen Komponenten im Stack und dem exponentiellen Wachstum der Stack-Stückzahlen ergeben sich für Fertigungskonzepte und -anlagen einige Herausforderungen: die Skalierbarkeit und Flexibilität der Anlagen sowie die Reduzierung von Taktzeiten und Fertigungskosten. Allein für die Komponente Bipolarplatte, die typischerweise aus zwei umgeformten und verschweißten Halbplatten aus metallischem Grundwerkstoff besteht, sind vielfältige Anforderungen zu berücksichtigen. Hierzu zählen die Gas-

und Mediendichtheit, die hohe elektrische Leitfähigkeit beziehungsweise der geringe Kontaktwiderstand, die Korrosionsbeständigkeit und hohe Lebensdauer, geringes Gewicht sowie minimale Herstellkosten. Diese Gemengelage aus diversen Anforderungen an die Komponenten, komplexen Fertigungsprozessen sowie stark wachsenden Industrialisierungs- und Automatisierungsbedürfnissen erfordert umfangreiches Know-how. Für mittelständische Maschinen- und Anlagenbauer stellt dies eine große Hürde dar, die durch die Bündelung verschiedener Kompetenzen in Allianzen überwunden werden kann. Genau dies ist die Motivation der GFC, ein nicht exklusiver Zusammenschluss der drei Anlagenbau-Unternehmen Von Ardenne, Weil Technology und Zeltwanger.



**Bild 1** > Entwicklung der FCEV-Absätze auf Basis der Flottenziele der betrachteten Regierungen (© Center Fuel Cell Industrialization 2021)

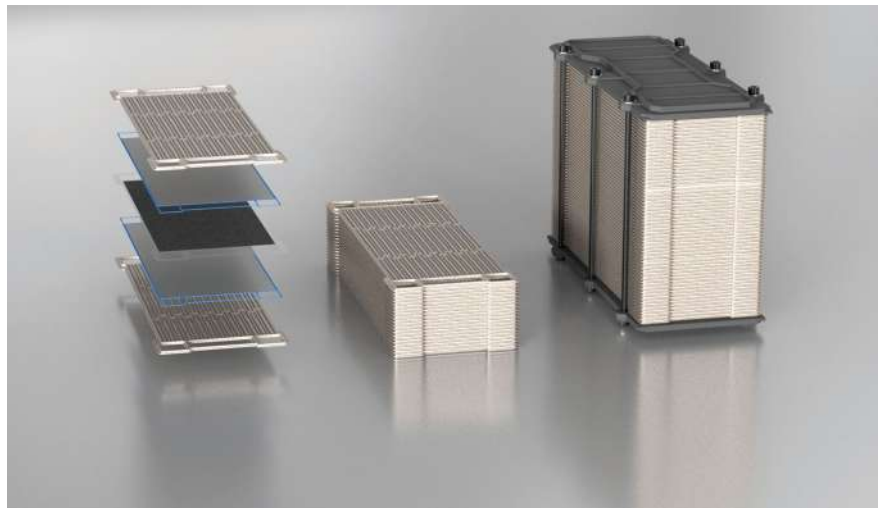


### Prozesskette der Bipolarplatten- und Stackfertigung

Die detaillierte Betrachtung der Prozesskette zur Bipolarplatten- und Stackfertigung verdeutlicht die Vielzahl an Fertigungsschritten und die Komplexität des Gesamtprozesses, *Bild 3*. In jeden der relevanten Fertigungsschritte bringen die drei Anlagenbauer ihre spezifische Expertise ein, ohne dabei die gesamte Fertigung und die zahlreichen Schnittstellen aus den Augen zu verlieren, die adäquat und optimal abgestimmt bedient werden müssen.

### Integrierte Fertigungslinie

Für einen Teil der Prozesskette und mit Fokus auf die Bipolarplattenfertigung aus umgeformten Halbplatten hat die GFC eine integrierte Fertigungslinie entwickelt. In ihr sind die Prozessschritte Laserschweißen, Dichtheitsprüfungen und Beschichten vereint, *Bild 4*. Mit einer Kapazität von vier Millionen Bipolarplatten pro Jahr bei 250 Fertigungstagen und einer typischen Plattengröße von 450 x 150 mm (675 cm<sup>2</sup>) wird das Fertigungskonzept den aktuellen Bedarfen der Industrie gerecht. In einer ersten einfachen Erweiterung lässt sich die Linie durch Dopplung der Schweiß- und Dichtheitsprüfanlagen auf einen Durchsatz von acht Millionen Bipolarplatten pro Jahr steigern. Die Fertigungslinie der GFC bedient sich abgestimmter Schnittstellen und einer intelligenten Leitreechnerarchitektur, sodass alle Anforderungen der Industrie 4.0 inklusive der Anbindung an



**Bild 2** > Aufbau einer Brennstoffzelle mit Bipolarplatten, Gasdiffusionsschichten, Membran-Elektrodeneinheiten (links) und Stapeln zu einem Stack (rechts) (© German Fuel Cell Cooperation)

externe Manufacturing-Execution-Systeme (MES) realisiert sind.

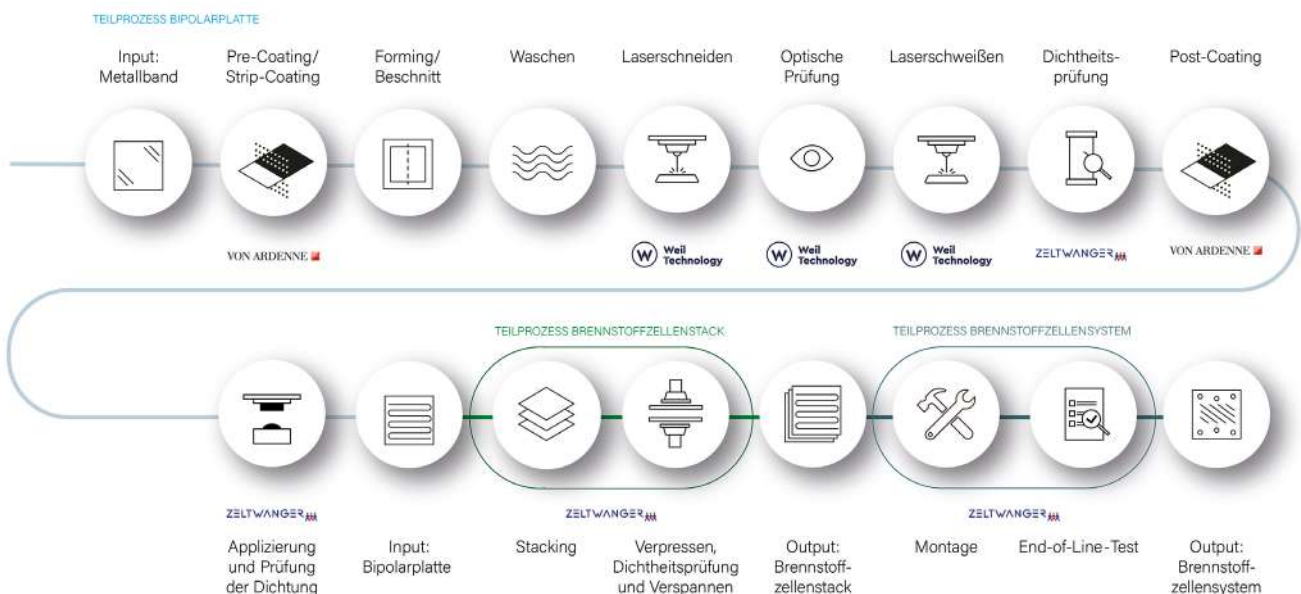
### Anwendungsoptimierte Laserschweißtechnik

Das heute bevorzugte Fügeverfahren, um die beiden Halbschalen einer Bipolarplatte zu verbinden, ist das Laserschweißen, das aufgrund der geringen Materialstärke hohe Anforderungen an die Spann- und Füge-technik stellt.

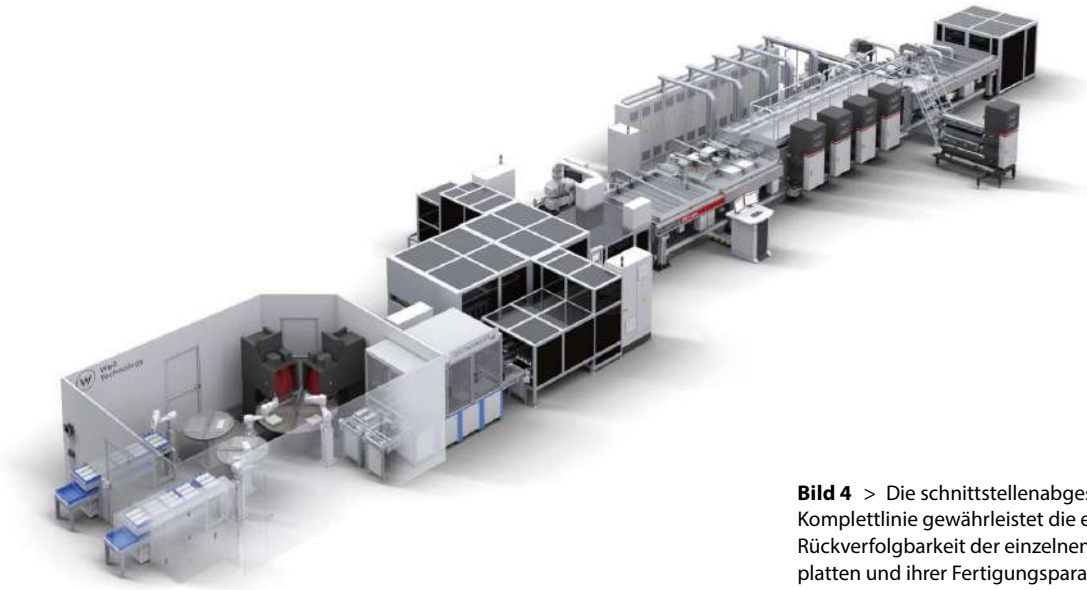
Weil Technology hat hierfür ein neues Laserschweißmodul entwickelt, das die Metallfolien mit hoher Schweißgeschwindigkeit verbindet: Die Laser Welding Cell (LWC) mit 4-Stationen-Rundtaktisch arbeitet mit Doppelfeldscanner-Technologie

für eine hohe Ausbringung von mehreren Millionen Platten. Mit der Lösung wird eine hohe Prozessstabilität durch Aufteilung der erforderlichen Schweißgeschwindigkeit auf zwei Scanner erreicht. Beide Scanfelder schweißen zeitparallel auf der Platte mit einer absoluten Schweißgeschwindigkeit von über 1.000 mm/s bei einem großen nutzbaren Arbeitsbereich von 500 x 350 mm. Gleichzeitig ist durch die intelligente Schweißfolge „Butterfly-Weld“ eine optimale symmetrische Wärmeinbringung möglich, was den thermischen Verzug während des Schweißprozesses reduziert.

Das statische Gesamtsystem sorgt für die notwendige Prozesssicherheit mit hoher Konturgenauigkeit und Reproduzierbar-



**Bild 3** > Die komplette Prozesskette vereint gebündeltes Wissen im gesamten Herstellungsprozess, vom Metallband über die Bipolarplatte bis zum Brennstoffzellenstapel (© German Fuel Cell Cooperation)



**Bild 4** > Die schnittstellenabgestimmte Komplettlinie gewährleistet die eindeutige Rückverfolgbarkeit der einzelnen Bipolarplatten und ihrer Fertigungsparameter (© German Fuel Cell Cooperation)

keit. Eine weitere wichtige Rolle in der Beherrschung des Schweißprozesses spielt die automatisierte und reproduzierbare Spanntechnik. Hierfür haben die Ingenieure bei Weil Technology eine automatisierte Spanntechnik speziell für die Bipolarplatte entwickelt. Mit der aufgebauten Werkzeugkompetenz können den Kunden ganzheitliche Lösungen angeboten werden.

### Skalierbare Dichtheitsprüfung

Ein Brennstoffzellenstapel muss dicht sein, um einen sicheren Betrieb und eine lange Lebensdauer zu gewährleisten. Aus diesem Grund dürfen auch die Komponenten des Stapels, etwa die Bipolar-

platte, keine Leckage aufweisen. Um die Dichtheit von Bipolarplatten und Stacks zu garantieren, entwickelt Zeltwanger automatisierte und skalierbare Prüfsysteme, mit denen üblicherweise der Kühlkanal sowie die Anoden- und Kathodenseite der Bipolarplatte auf Dichtheit geprüft werden. Je nach Anforderung kommen dabei entweder das Helium-Vakuumverfahren zum Einsatz, das Leckraten bis  $1 \times 10^{-5}$  mbar $\cdot$ l/s aufdecken kann, oder luftbasierte Druckabfallverfahren. Hierfür hat Zeltwanger neben einer einfachen Einzelprüfstation die voll automatisierbare Prüfstation ZED BPP 4-2 entwickelt, die hohe Taktzeiten bis 6 s erreicht, *Bild 5*. Die hohe Flexibilität und Skalierbarkeit

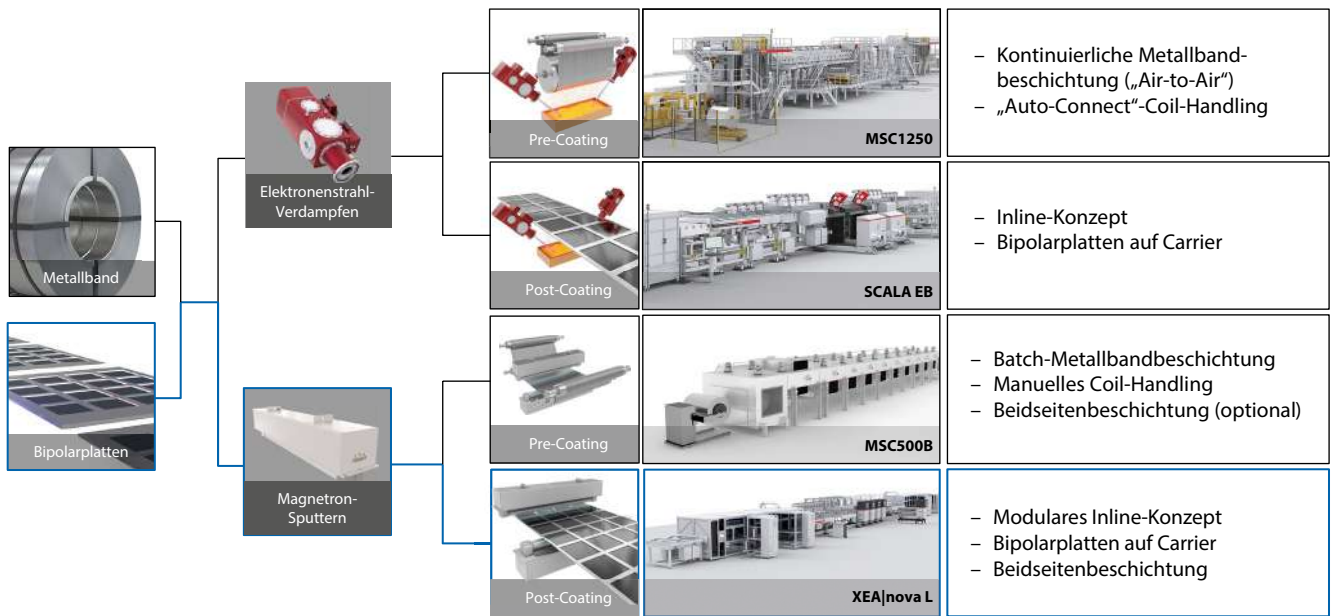
dieser Anlage werden durch den Einsatz modularer Prüfmodule ermöglicht, die über ein automatisches Handlingsystem oder ein Transferband be- und entladen werden. Die Beladung mit zu prüfenden Bipolarplatten erfolgt durch ein Beladesystem von Zeltwanger oder durch den vor- und nachgelagerten Prozess.

### Flexible PVD-Beschichtung

Die zahlreichen Anforderungen an metallische Bipolarplatten lassen sich nur durch eine gezielte Funktionalisierung ihrer Oberflächen realisieren, um zum Beispiel hohen Korrosionsschutz und gleichzeitig geringen Kontaktwiderstand zu gewährleisten. Hier-



**Bild 5** > Voll automatisierbare Prüfstation (© Zeltwanger)



**Bild 6** > PVD-Verfahren lassen sich an verschiedenen Positionen in der Gesamtprozesskette einbringen (Beschichtung von Metallband vor Fertigung einzelner BPP beziehungsweise Beschichtung nach der Einzelplattenfertigung – sogenanntes Pre- beziehungsweise Post-Coating) (© Von Ardenne)

für werden sogenannte Dünnschichtverfahren, vorzugsweise PVD (Physical Vapour Deposition), eingesetzt, *Bild 6*.

In der vorgestellten integrierten Fertigungslinie der GFC kommt eine XEA|nova L zum Einsatz. Diese Beschichtungsanlage nutzt im Post-Coating-Verfahren das Kathodenzerstäuben beziehungsweise Magneton-Sputtern, um die Bipolarplatten unmittelbar beidseitig zu beschichten. Bei typischer Plattengröße von 675 cm<sup>2</sup> lassen sich 40 Bipolarplatten auf einen Werkstückträger (Carrier) platzieren, der abhängig von der Beschichtungslösung mit bis zu 48 s Taktzeit prozessiert werden kann. Für die komplexen Schichttechnologien bietet Von Ardenne neben entsprechend flexibler Anlagentechnik auch eine auf die Erfordernisse des Marktes hin entwickelte eigene Schichtlösung an. Diese basiert auf einer metallischen Zwischenlage und einer abschließenden Kohlenstoffbeschichtung.

### Fähigkeiten jenseits des Anlagenbaus

Neben dem reinen Know-how im Maschinen- und Anlagenbau verbindet die Unternehmen der GFC eine weitere Gemeinsamkeit: Von Ardenne, Weil Technology und Zeltwanger verfügen in ihren jeweiligen Anwendungsfeldern über relevante Forschungs- und Entwicklungskapazitäten und stehen Kunden als Partner bei der Technologieentwicklung zur Seite. Damit leisten sie eine weitere Unterstützung für die rasante, aber noch nicht standardisierte technologische Entwicklung des Wachstumsmarktes Wasserstoff. Alle drei GFC-Partner verfügen über entsprechende Anlagen zur Prototypen- und Versuchs-

rienfertigung, um Eigen- und Kundenentwicklungen begleiten zu können.

### Ausblick

Die integrierte Fertigungslinie der GFC stellt den Startpunkt in intelligente und individuell verkettete Konzepte dar und demonstriert besonders die Fähigkeiten der drei Anlagenbau-Unternehmen: Sowohl für die Ausbringungsmengen und Taktzeiten als auch bei den eingesetzten Technologien arbeiten die Unternehmen bereits an weiteren Ideen. So wird es beispielsweise durch die Weiterentwicklung eines robusten Schweißprozesses sowie die durchgehende und intelligente Überwachung der Prozessparameter künftig möglich sein, nicht mehr 100 % der Bipolarplatten unmittelbar nach dem Schweißen auf Dichtheit prüfen zu müssen. Das senkt Investitions- und Fertigungskosten und reduziert erreichbare Taktzeiten. Auch für die Dichtheitsprüfung wird an neuen Methoden für noch kürzere Prüfzyklen gearbeitet. Selbst die Beschichtungsverfahren und Materialien unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung, um deren Performance über Industrieanforderungen hinaus zu steigern und gleichzeitig die Produktivität zu erhöhen. //

### Literaturhinweis

[1] Wertschöpfungskette Brennstoffzelle. Metastudie. Online: [www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2022/08/NOW\\_Wertschöpfungskette-Brennstoffzelle.pdf](http://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2022/08/NOW_Wertschöpfungskette-Brennstoffzelle.pdf), aufgerufen am 29.12.2022, S. 13

### Autoren | Kontakt

**Dipl.-Ing. Alexander Wemme**, Industriemanager Wasserstoff & Brennstoffzelle, Von Ardenne GmbH, [wemme.alexander@vonardenne.biz](mailto:wemme.alexander@vonardenne.biz)

**Florian Weil, M. Sc.**, Leiter Entwicklung & Innovation, Weil Technology GmbH, [f.weil@weil-technology.com](mailto:f.weil@weil-technology.com)

**Patrick Reich, M. Sc.**, Leiter Globaler Vertrieb, Zeltwanger Holding GmbH, [p.reich@zeltwanger.de](mailto:p.reich@zeltwanger.de)

**Von Ardenne GmbH**  
Am Hahnweg 8  
01328 Dresden  
[www.vonardenne.biz](http://www.vonardenne.biz)

**Weil Technology GmbH**  
Neuenburger Straße 23  
79379 Müllheim  
[www.weil-technology.com](http://www.weil-technology.com)

**Zeltwanger Holding GmbH**  
Jopestraße 3  
72072 Tübingen  
[www.zeltwanger.de](http://www.zeltwanger.de)



Bipolarplatte



Christiane Köllner: Warum ist die Bipolarplatte für Brennstoffzellen so wichtig? [www.springerprofessional.de/link/17286820](https://www.springerprofessional.de/link/17286820)