Springer Vieweg

MTZ extra

Entwicklung
Brennstoffzellenantriebe

Die metallische Bipolarplatte

DANA

© Dana

Die metallische Bipolarplatte – Effiziente Lösung für Brennstoffzellenstacks

Die Brennstoffzellentechnologie hat das Potenzial, die Mobilität nachhaltig zu verändern. Bislang konnte sich diese Antriebsform jedoch nicht in der Breite durchsetzen, nicht zuletzt wegen der hohen Kosten für Brennstoffzellenstacks. Die metallische Bipolarplatte von Dana soll das ändern und die Kommerzialisierung der Brennstoffzelle vorantreiben.

Die Bipolarplatte ist eine entscheidende Komponente eines Brennstoffzellenstapels, die Dana seit über 20 Jahren entwickelt und produziert. Das Forschungs- und Entwicklungs-Team des US-amerikanischen Unternehmens nutzt bei der Konstruktion des Bauteils das technologische Know-how der Mehrlagen-Stahl-Zylinderkopfdichtungen – von der Stahlumformung über die Sickendichtungstechnologie bis zur Beschichtungstechnologie. Das Ergebnis ist eine hochintegrierte Komponentenlösung, die eine Reduzierung der Stackkosten ermöglicht. Aktuell werden am deutschen Standort in Neu-Ulm nahezu 100.000 metallische Bipolarplatten pro Jahr produziert. Das Management geht davon aus, dass die Nachfrage mit Blick auf den Personen- und Nutzfahrzeugmarkt in den kommenden Jahren steigen wird und richtet die Produktionskapazitäten dementsprechend aus.

GRUNDAUSLEGUNG

Die Bipolarplatte bestimmt maßgeblich die Leistungsdichte, das Gewicht und die Kosten des Brennstoffzellenstacks. Deshalb entscheidet bereits das Grundlayout über die Effizienz des Brennstoffzellensystems. Die Bipolarplatte muss die Gleichverteilung von Wasserstoff, Luft und Kühlflüssigkeit über den gesamten Produktlebenszyklus der Brennstoffzelle sicherstellen und das Dichtungssystem aufrechterhalten. Die Dichtung selbst darf nur eine geringe Permeation der Medien zulassen. Die Platte muss zudem eine hohe elektrische Leitfähigkeit mit niedrigen Übergangswiderständen aufweisen,

AUTOREN

Bernd Gaugler
ist Projektleiter im Bereich Entwicklung von Brennstoffzellenkomponenten bei Dana in Neu-Ulm.

Rainer Glück
ist Projektleiter im Bereich Anwendungstechnik von Brennstoffzellenkomponenten bei Dana in Neu-Ulm.

Andre Speidel
ist Projektleiter im Bereich Entwicklung von Brennstoffzellenkomponenten bei Dana in Neu-Ulm.

Thomas Stöhr
ist Projektleiter im Bereich Anwendungstechnik von Brennstoffzellenkomponenten bei Dana in Neu-Ulm.

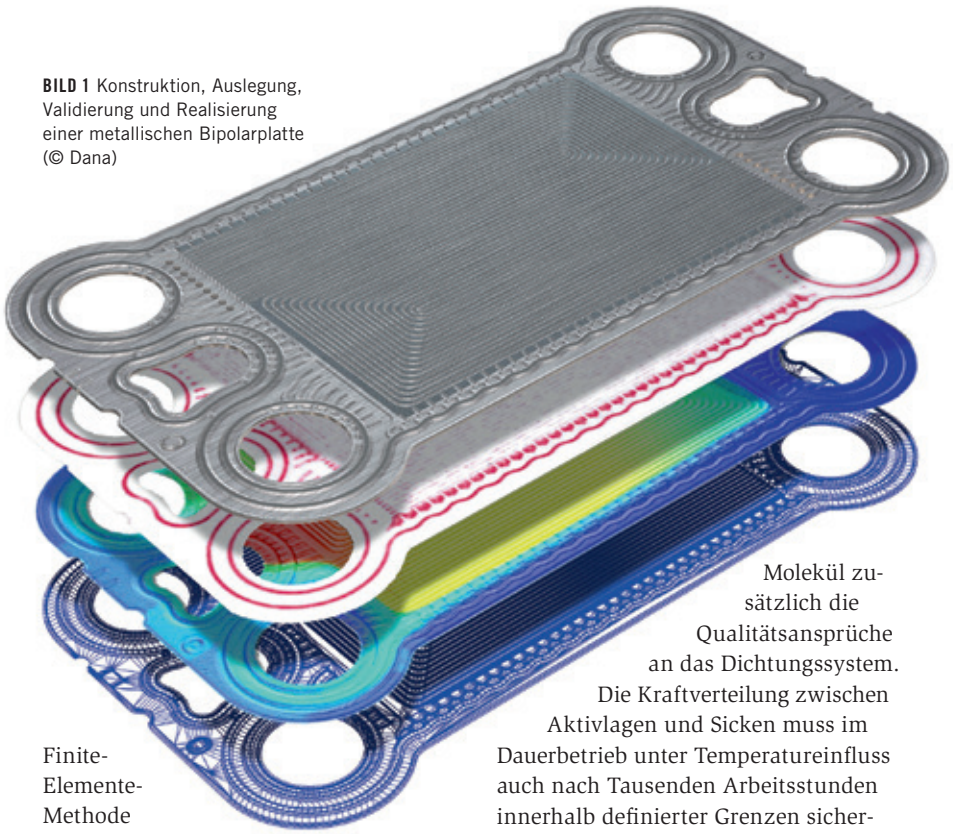


BILD 1 Konstruktion, Auslegung, Validierung und Realisierung einer metallischen Bipolarplatte (© Dana)

über ein hocheffizientes thermisches Management verfügen und chemisch stabil gegen Korrosion sein. Notwendig für den Großserieneinsatz sind zudem niedrige Produktionskosten und hohe Qualitätsstandards [1].

Die Bipolarplatte bildet die Struktur und das statische Grundgerüst des Stacks. Der Verpressungsgrad der Dichtungen sowie der Aktivlagen im gesamten Stapel erfolgt über die Auslegung der Platte. Das Entwicklungsteam nutzt alle Simulationsmodelle von Computational Fluid Dynamics (CFD) bis zur Finite-Elemente-Methode (FEM), um die Grundauslegung bereits in einem frühen Stadium bestmöglich auf individuellen Kundenspezifikationen auszurichten.

Die Modellberechnung zur Gleichverteilung der drei Medien berücksichtigt zunächst die circa 300 filigranen Kanäle der metallischen Bipolarplatte – etwa 100 Kanäle pro Medium, **BILD 1**. Im zweiten Schritt wird die Gleichverteilung von Zelle zu Zelle berechnet. Auslegung und Abstimmung der Kanäle sind extrem wichtig, um langfristig einen optimalen Betrieb der Brennstoffzelle zu gewährleisten. Das Ziel der Strömungssimulation ist eine möglichst gleichmäßige Durchflutung aller Einzelkanäle im stöchiometrisch korrekten Verhältnis über alle Betriebszustände. Bei einem typischen Stack mit 300 Platten sind das 90.000 einzelne Kanäle. Die Separierung der Medien erfolgt über das integrierte Dichtungssystem der geprägten Platten und die Dichtschweißnähte.

Um filigrane Kanäle in 75 µm dünne Edelstahlfolien zu prägen, sind hohe Umformgrade erforderlich. Die Berechnung der Sickendichtungen mit homogener Pressungsverteilung sind hier besonders herausfordernd, da das Dichtungssystem Auswirkungen auf benachbarte Stackkomponenten und das Verspannsystem hat. Das Medium Wasserstoff erhöht als kleinstes chemisches Molekül zusätzlich die Qualitätsansprüche an das Dichtungssystem. Die Kraftverteilung zwischen Aktivlagen und Sicken muss im Dauerbetrieb unter Temperatureinfluss auch nach Tausenden Arbeitsstunden innerhalb definierter Grenzen sichergestellt sein, damit die Brennstoffzelle weiterhin ohne nennenswerte Leistungsverluste Energie produziert.

Der Trend zur Einsparung von Bauraum macht auch vor Brennstoffzellen nicht halt. Damit steigen die Anforderungen an das thermische Management der Bipolarplatte. Je höher die Leistungsdichte eines Stapels, desto mehr Wärme produzieren die Zellen. Ziel ist es deshalb, die hohen Leistungsdichten über eine gute Gleichverteilung des Kühlmediums zu gewährleisten. Im Mittelpunkt stehen hier die Temperaturverteilung und die Identifizierung potenzieller Hotspots, die unter Umständen die Membran beschädigen könnten.

Die Festigkeits- und Verformungsuntersuchung in Kombination mit numerischer Strömungsmechanik gehört zu den Kernkompetenzen des Unternehmens aus dem Bereich der Dichtungssysteme. Knowhow, das der Entwicklung und Auslegung metallischer Bipolarplatten uneingeschränkt zur Verfügung steht.

GEPRÄGTE DICHTUNG

Die metallische Bipolarplatte besteht aus zwei umgeformten und miteinander verbundenen Edelstahlfolien, deren Innenseiten eine Kühllage bilden. Die einzelnen Folien sind jeweils 75 µm stark. Durch die Prägung der Kanäle und der metallischen Sicken wird die

Höhe der beiden ursprünglichen Folien von zusammen 150 µm fast versiebenfacht. Die robuste und leckagefreie Verbindung der Edelstahlfolie wird über ein Hochgeschwindigkeits-Laserschweißverfahren sichergestellt.

Die eingesetzte Werkzeugtechnologie zur Prägung der integrierten Sickendichtungen und des Strömungsfelds ist eine Weiterentwicklung aus der Produktion der Mehrlagen-Stahl-Zylinderkopfdichtungen. Jede einzelne Platte mit einem Maß von circa 40 × 15 cm weist rund 4 m geprägte Sicken auf – der gesamte Stack mit 300 Platten entsprechend rund 1200 m.

Die Prägung der Sickendichtungen läuft parallel zum Stanzen der Platte in einem Hub, sodass alle Stanz- und Prägeprozesse in einem Arbeitsschritt erfolgen. Dies ist ein entscheidender Kostenvorteil gegenüber herkömmlichen Lösungen mit nachträglicher Integration der Dichtungstechnologie. Abschließend wird ein Elastomer zur Mikroabdichtung auf die Sicke aufgetragen.

Die metallische Sickendichtung verfügt darüber hinaus über eine exzellente Gasdichtigkeit mit sehr geringer Permeation, **BILD 2**. 90 % der Dichtungshöhe wird über die Metallsicke erzielt, 10 % über das Elastomer. Das stabile Dichtungssystem überzeugt durch ein sehr hohes Anpassungsverhalten und optimale Rückfederungseigenschaften über die metallische Sicke.

Ein weiterer Vorteil ist die hohe Wiederholgenauigkeit mittels der eingesetzten Präzisionswerkzeuge für das Stanzen und Prägen. Mögliche Abweichungen aufgrund systematischer Fehler sind häufig auf mangelnde Präzision zurückzuführen. Die Folge sind sogenannte Bananenstacks, die ein sicheres Abdichten erschweren, da sich die Fehler beim Stapeln der Platten aufsummieren.

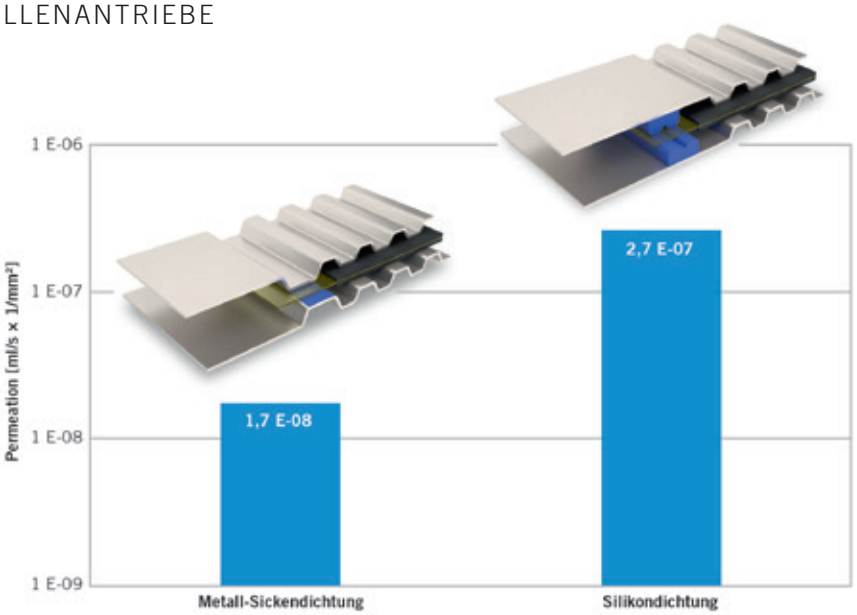


BILD 2 Permeationswerte einer metallischen Sickendichtung im Vergleich zu einer Elastomerdichtung (© Dana)

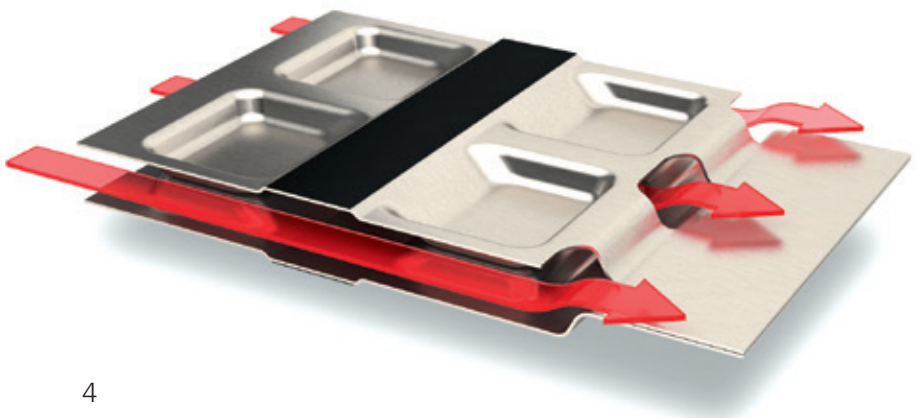
Die Sickendichtungen ermöglichen neben den Dichtfunktionen eine für die Medienführung einzigartige Lösung. Die Dichtungsquerschnitte sind zur Durchführung von Wasserstoff, Luft und Kühlflüssigkeit sowohl auf der Anoden- als auch auf der Kathodenseite horizontal getunnelt, **BILD 3**. Die umlaufende Sickendichtung konzentriert die Gase optimal auf den aktiven Bereich der metallischen Bipolarplatte.

FUNKTIONSBESCHICHTUNG

Die Edelstahlfolie als Ausgangsmaterial ist darauf ausgelegt, den Betriebsbedingungen der Brennstoffzelle optimal standzuhalten. Allerdings weist die Chromoxidschicht des Edelstahls einen hohen Übergangswiderstand auf. Aus diesem Grund wird die Bipolarplatte an den aktiven Kontaktstellen zur Gasdiffusionslage partiell – auf rund 40 % der Oberfläche – mit einer kohlenstoffbasierten Beschichtung versehen, **BILD 4**. Diese garantiert eine hohe elektrische Leitfähigkeit und reduziert durch den nur partiellen Auftrag die Material- und Produktionskosten. Das Beschichtungsverfahren kann im normalen Produktionsumfeld stattfinden. Auch an den unbeschichteten Stellen bleiben die schützenden Eigenschaften des Edelstahls voll erhalten. Die 300 Platten des Stacks sind insgesamt auf einer Fläche von rund 7 m² beschichtet.

Das Beschichtungsmaterial ist eine Eigenentwicklung und reduziert den Gesamtwiderstand von der Platte über die Beschichtung bis zur Gasdiffusionslage (GDL) um bis zu 90 %. Die Messung erfolgt im Through-Plate-Resistance-(TPR-)Prüfverfahren.

BILD 3 Sickendichtung mit Medienkanälen (© Dana)



ENTWICKLUNGSBEDINGTE VALIDIERUNG

Im Verlauf der Entwicklung kommen verschiedene Testverfahren zur Qualitätssicherung zum Einsatz. Im Fokus stehen dabei die Dichtfunktionen. Elektrochemische Untersuchungen der Chromoxidschicht des Edelstahls sowie TPR-Prüfverfahren zur Charakterisierung des elektrischen Widerstands bilden die Basis der Entwicklung und werden auch prozessbegleitend überwacht.

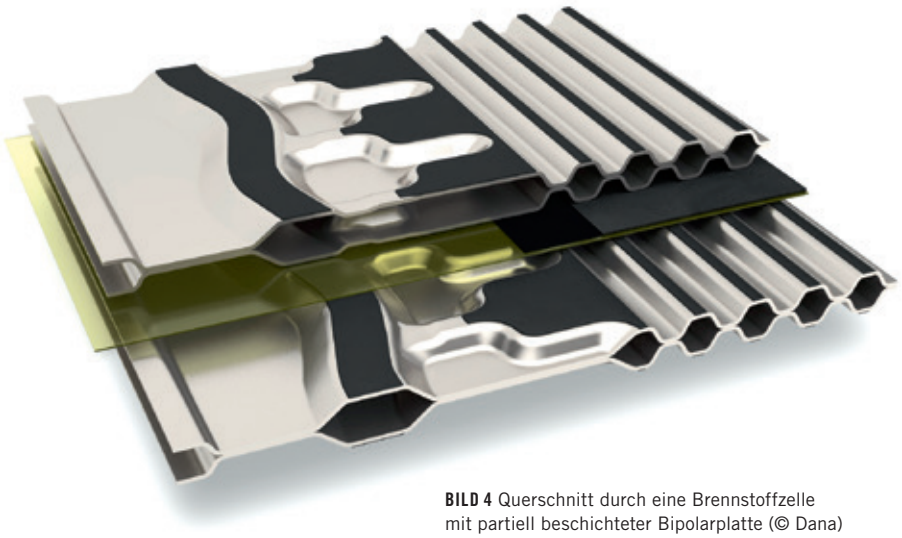


BILD 4 Querschnitt durch eine Brennstoffzelle mit partiell beschichteter Bipolarplatte (© Dana)

Bei der Helium-Leckage-Messung wird die metallische Bipolarplatte in einer Vakuumkammer unter wechselnden Temperaturen von -40 bis +110 °C sowie unter verschiedenen Gasdrücken und Verpressungszuständen auf Dichtigkeit geprüft, um die geforderten Leckagewerte zu belegen, **BILD 5**.

Um die Leistungsfähigkeit der Platte auch im Praxiseinsatz zu bewerten, werden In-situ-Messungen mit voll funktionsfähigen Brennstoffzellenstacks auf Brennstoffzellenprüfständen durchgeführt, **BILD 6**. Ziel ist es, die Bipolarplatte gemeinsam mit den Stackkomponenten einsatznah zu testen.

BILD 5 Helium-Leckagemessung eines Brennstoffzellenstacks (© Dana)

KOSTENEINSPARUNGEN

Die hochintegrierte metallische Bipolarplatte reduziert die Gesamtkosten für Brennstoffzellenstacks um bis zu 10 %. Das hat zwei Gründe: die Integration des Dichtungssystems und die Auslegung der leitfähigen Funktionsbeschichtung.

Die geprägten Sickendichtungen sind fester Bestandteil der Platte und erfordern im Unterschied zu Einlegerdichtungen keine weiteren Montageprozesse. Darüber hinaus kann bis auf das Elastomer für die Mikroabdichtung auf zusätzliches Dichtmaterial verzichtet werden. Das komplette Dichtungssystem wird quasi als Add-on mitgeliefert. Da die Prägung der Sickendichtungen und das Stanzen der Platte in einem Hub erfolgen, sinken auch die Energiekosten im Produktionsprozess.

Das gilt auch für die partielle Leitfähigkeitsbeschichtung, die in einem besonders effizienten Prozess aufgetragen wird. Durch die partielle Beschichtung von nur 40 % der Plattenoberfläche reduzieren sich auch die Materialkosten deutlich.

FAZIT

Jules Verne schrieb bereits 1875 in seinem Buch „Die geheimnisvolle Insel“ über die Brennstoffzelle: „Ich glaube, dass Wasser eines Tages als Brennstoff verwendet werden wird, dass Wasserstoff und Sauerstoff, aus denen es besteht, einzeln oder zusammen verwendet, eine unerschöpfliche Quelle von Wärme und Licht liefern werden, von einer Intensität, zu der Kohle nicht fähig ist.“ Metallische Bipolarplatten sind ein großer Schritt zur Umsetzung dieser Vision, da diese Komponente des Brennstoffzellenstacks bei deutlich geringeren Herstellungskosten eine höhere Energiedichte als bisher ermöglicht und erwiesenermaßen großserientauglich ist.

Weltweit sind 20.000 Pkw mit einem Brennstoffzellenantrieb ausgerüstet. Starkes Interesse an Brennstoffzellenantrieben besteht derzeit im Bereich

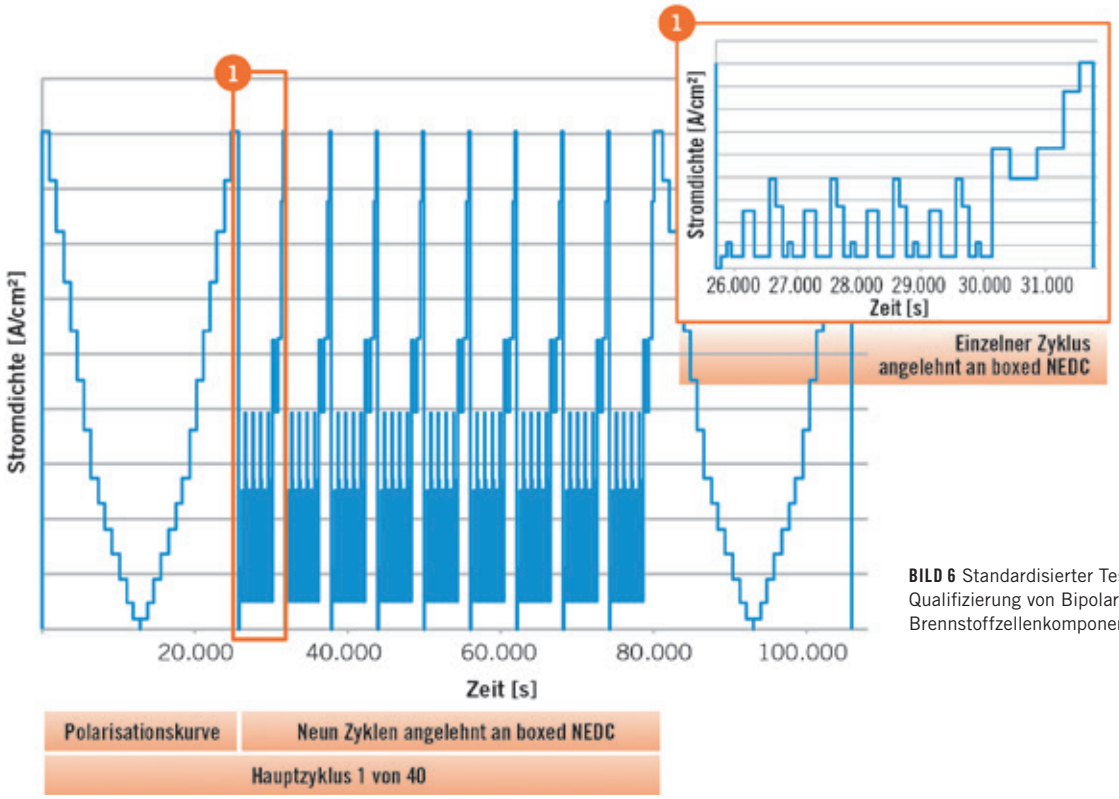


BILD 6 Standardisierter Testablauf zur Qualifizierung von Bipolarplatten und Brennstoffzellenkomponenten (© Dana)

der Langstrecken-Lkw. Die beschriebene Brennstoffzellentechnologie ist universell für den Einsatz in Pkw, Bussen, Nutz- und Off-Highway-Fahrzeugen ausgelegt. Auch in maritimen Anwendungen und in der Industrie leisten Brennstoffzellen mit Bipolarplatten bereits einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele. Deutschland setzt mit der nationalen Wasserstoffstrategie [2] ein weiteres wichtiges Signal für die Brennstoffzelle. Danas metallische Bipolarplatte schafft optimale Voraussetzungen für die effiziente und kommerzielle Nutzung der Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie – und damit für nachhaltige Mobilität und den Klimaschutz.

LITERATURHINWEISE

[1] Frey, H.: Energieautarke Gebäude – Auf dem Weg zu Smart Energy Systems. Berlin: Springer Vieweg, 2019

[2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Die Nationale Wasserstoffstrategie. Online: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html, aufgerufen: 15. März 2021

DANKE

Die Autoren bedanken sich bei PowerCell und dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) in Ulm für die Unterstützung. Weiterer Dank gilt Dr. Edelgard Hund, Robert Blersch, Ahmet Oruc, Dr. Jürgen Schneider und Rüdiger Tillmann.

FOLGEN SIE DANA:
www.dana.com
click here

IMPRESSUM:
Sonderausgabe 2021 in Kooperation mit Dana, Reinzstraße 3-7, 89233 Neu-Ulm; Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Postfach 1546, 65173 Wiesbaden, Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE811484199

GESCHÄFTSFÜHRER:
Stefanie Burgmaier I Andreas Funk I Joachim Krieger

PROJEKTMANAGEMENT: Anja Trabusch

TITELBILD: © Dana

Unfold your Potential

DANA VICTOR REINZ®

Sealing Products

Dana.com

© 2021 Dana Limited. All rights reserved.