

## **Fertigung + Produktion**

Mehr Nachhaltigkeit durch  
Automatisierung

Seite 34

## **Schweißen + Schneiden**

Mit Hightech-Schweißsystemen  
Ressourcen einsparen

Seite 40

## **Robotik + Industrie 4.0**

Effiziente IIoT-Lösungen für  
die Fabrik der Zukunft

Seite 48



Blechbearbeitung  
**Ressourceneffiziente und  
präzise Prozesse umsetzen**

# Bipolarplatten simulationsgestützt fertigen

Die Herstellung von Bipolarplatten für eine nachhaltige Wasserstoffmobilität stellt aufgrund hoher Ansprüche an die Fertigungsgenauigkeit in Kombination mit hohen Stückzahlen die Produktionstechnik vor eine Herausforderung. Umformsimulationen minimieren Iterationsschleifen im Werkzeugbau sowie in der Prozessentwicklung. Final kann eine effiziente Hochlaufphase realisiert werden. Der Beitrag bildet dieses Vorgehen vom Aufstellen des Materialmodells, der Werkzeugauslegung bis zum Stanzprozess an einem Demonstrator ab.

Bipolarplatten (BPP) erfüllen drei wichtige Funktionen: Neben Kühlung und elektrischer Anbindung in der Brennstoffzelle sorgen sie für die Gasversorgung. Sie leiten und verteilen die Reaktionsgase gleichmäßig an Katalysator-Membranen, an denen dann infolge von elektrochemischen Reaktionen der nutzbare elektrische Strom entsteht [1]. Diese Verteilung findet über zahlreiche, nur zehntel Millimeter messende Kanalstrukturen in sogenannten Flow Fields statt. Um eine ideale Verteilung der Gase zu gewährleisten, werden zwei sogenannte Halbplatten umformtechnisch hergestellt, die dann zu einer BPP zusammengefügt werden. Aktuell werden für die Fertigung dieser Halbplatten circa 100 µm dicke Metallfolien aus rostfreiem Präzisionsbandstahl herangezogen. Für einen durchschnittlichen Pkw mit Brennstoffzellenantrieb werden rund 400 BPP benö-

tigt, was 800 Halbplatten entspricht [2]. Schätzungen gehen allein in Europa von bis zu zehn Millionen Brennstoffzellenfahrzeugen p. a. im Jahr 2040 aus [3]. Das entspricht in etwa bis zu acht Milliarden Halbplatten pro Jahr.

Die Herausforderung liegt also in der Umsetzung von kurzen Taktzeiten zur Realisierung großer Stückzahlen. Diese muss jedoch mit den hohen Qualitätsansprüchen besonders hinsichtlich der eng tolerierten Kanalgeometrien in Einklang gebracht werden. Denn Abweichungen von der Soll-Geometrie wirken sich negativ auf die Reaktionsgasverteilung und letztlich auf die Effizienz der Brennstoffzelle aus [6, 7].

## Die aktuelle Fertigung

Eine der aktuell gängigsten Herstellungsmethoden von Halbplatten stellt das Stan-

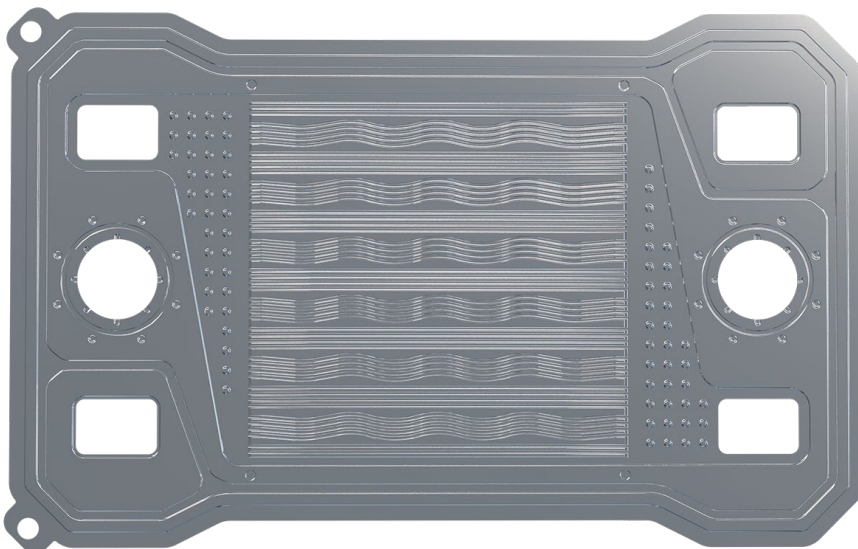
zen dar [4, 5]. Dieses Verfahren weist eine hohe Produktivität und eine hohe Reproduzierbarkeit auf. Im vorliegenden Prozess wird eine Kombination aus Scherschneiden und Folienumformen umgesetzt. Hierbei werden in einem oder gestaffelt in mehreren Schritten die typischen Merkmale wie Flow Field, Medienöffnungen oder Dichtnuten in das Ausgangsmaterial eingebracht. Dies schließt auch das Separieren der Platte aus dem Band mit ein. Große Kostenfaktoren stellen hierbei die Auslegung, das Design sowie der Bau der Werkzeuge dar. Besonders in Entwicklungsphasen mit Bauteilgeometrie Anpassungen oder Bemusterungsphasen können Anpassungen am Werkzeug einen signifikanten Anteil an den Gesamtkosten ausmachen.

## Der Optimierungsansatz

Um Zeit und Kosten bei der Geometrieoptimierung des Werkzeugs zu reduzieren, hat die Kern-Liebers Group of Companies in Zusammenarbeit mit den Unternehmen C.D. Wälzholz und Neue Materialien Fürth einen simulationsgestützten Ansatz mit Umformmustern im Labormaßstab gewählt. Hierbei werden für BPP optimierte Edelstahlfolien materialwissenschaftlich auf ihre mechanischen Eigenschaften hin charakterisiert und diese Daten in der Umformsimulation zur Auslegung der Stanzwerkzeuge eingesetzt. Die Optimierung des Auslegungsprozesses erfolgt durch eine parallele Arbeitsweise bei der simulativ begleiteten Werkzeugauslegung.

## Der Bipolarplattendemonstrator

Der beschriebene Auslegungsansatz der Werkzeuge erfolgte für den in Bild 1 ge-



**Bild 1** > Eine Halbplatte des Bipolarplattendemonstrators (© Hugo Kern und Liebers)

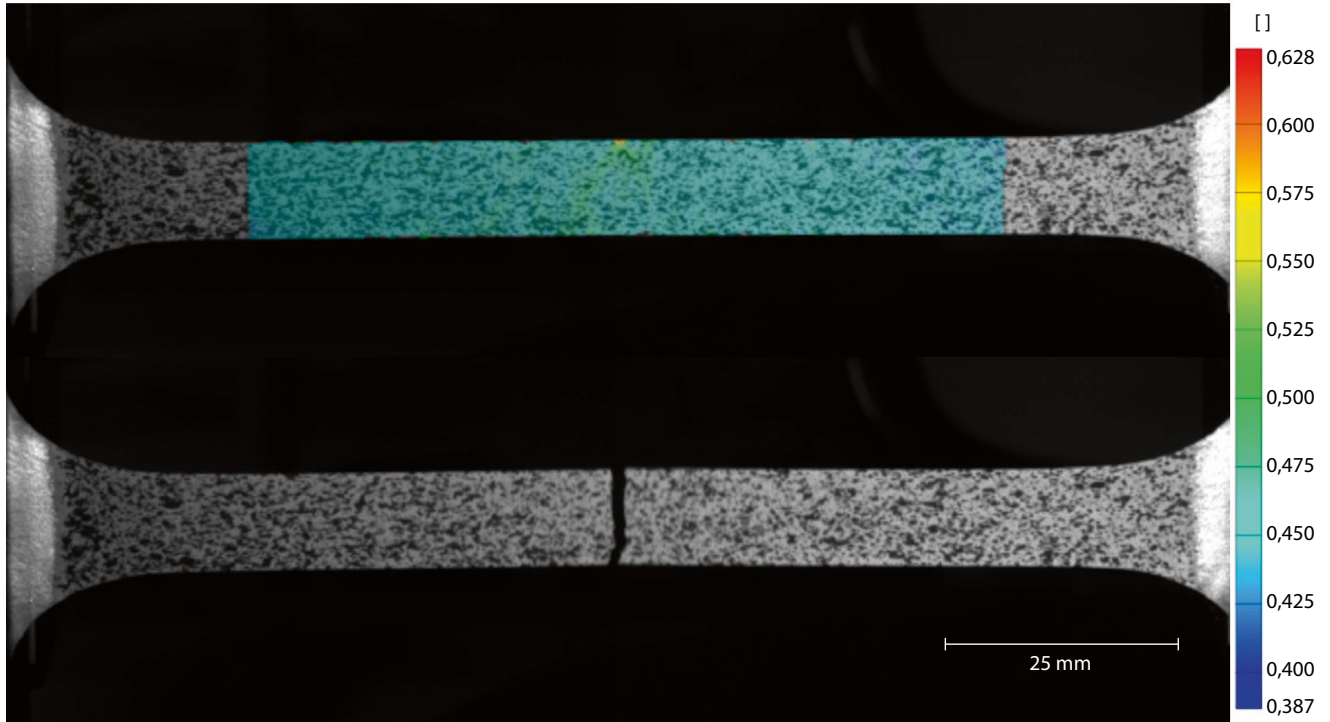
| Zustand              | Gefüge   | Dickenspektrum   | Toleranzklasse nach DIN EN ISO 9445-1 | Biegebarkeit**                                          | Umformbarkeit*** |
|----------------------|----------|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------|
| Standard             | Austenit | 0,05 mm – 0,2 mm | Präzision                             | Biegewinkel $\alpha = 180^\circ$<br>Biegeradius $r = 0$ | 9,2              |
| Wälzholz BPP-Stähle* | Austenit |                  | ≤ Präzision                           |                                                         | 10,2             |

\* BPP-Stahl = Bipolarplatten-Stahl

\*\* Biegedornachse längs und quer zur Walzrichtung

\*\*\* Tiefungswert nach Erichsen (IE) [mm], bei Banddicke = 0,075 mm, in Anlehnung an DIN EN ISO 20482

**Tabelle 1** > Vergleich von Standard und umformoptimierten Stählen für die BPP-Produktion (© C.D. Wälzholz)



**Bild 2** > Darstellung der Zugproben mit typischem stochastischem Muster kurz vor Riss mit Dehnungsverteilung zur Bestimmung des Umformverhaltens des Werkstoffs und kurz nach Riss (© Neue Materialien Fürth)

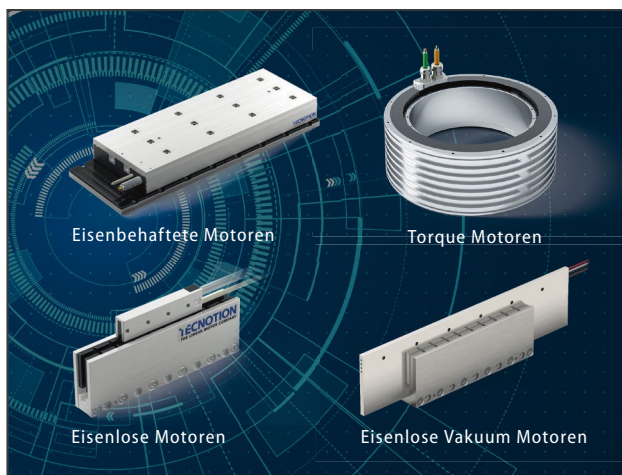
zeigten Bipolarplattendemonstrator von Kern-Liebers. Dieser beinhaltet auf einer Größe von  $160 \times 100$  mm alle kritischen und wichtigen Design- und Funktionsmerkmale einer BPP, wie sie in Polymerelektrolytbrennstoffzellen zum Einsatz kommt. Das Design des Flow Fields orientiert sich

an den typischen Geometrien für die wasserstoffführende Anodenseite [6, 7].

### Die Werkstoffe

Bei diesem Vorhaben kam der austenitische rostbeständige Edelstahl mit der Werkstoff-

nummer 1.4301 zum Einsatz. Aufgrund der Legierungszusammensetzung bringen Austenite bereits durch das kubisch-flächenzentrierte Metallgitter grundlegend ein besonders hohes Maß an Plastizität mit sich. Um jedoch die für die Anwendung notwendigen idealen Fließ- und Umformeigenschaften zu erreichen, wurde die



We direct drive **your motion technology**

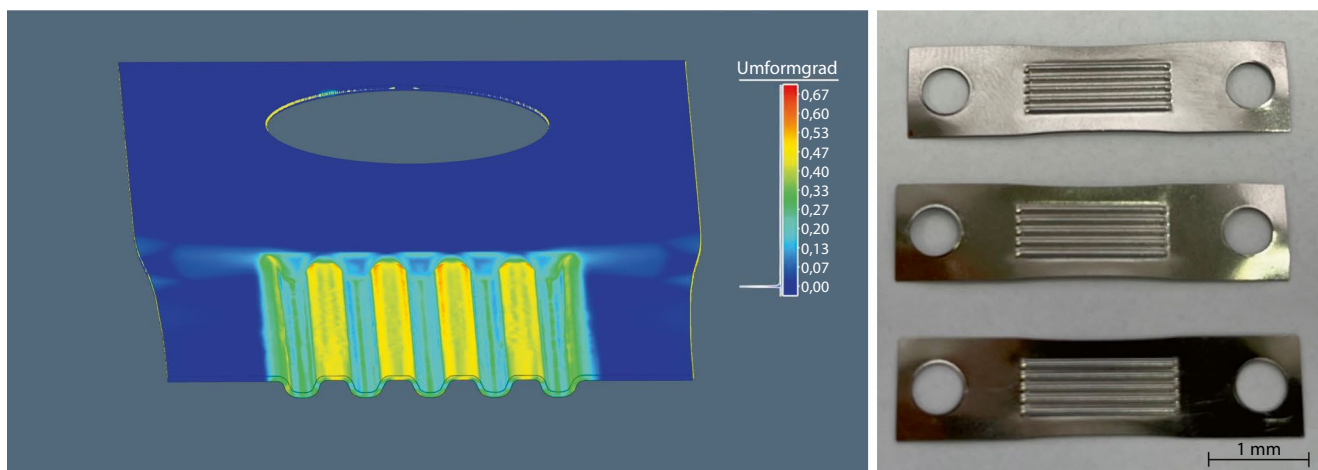
**Geringes Cogging. Hochdynamisch. Verschleißfrei.**

Der Technologieführer im Bereich Linear- und Torquemotoren mit über 25 Jahren Erfahrung.

**Besuchen Sie uns auf der SPS in Nürnberg!  
14.-16.11. 2023, Halle 4, Stand 241**

**TECNOTION®**  
direct drive in motion

Eisenheimerstraße 59 | 80687 München | Tel. 089 381537 400 | info@tecnotion.de | www.tecnotion.de



**Bild 3** > Darstellung des Kleinmusters in der FEM-Simulation (links) sowie der Realbauteile (rechts) (© Hugo Kern und Liebers)

genschaften erzielen zu können, ist wiederum ein spezielles Herstellungsrouting notwendig. Dieses besteht aus Kaltwalzen und Wärmebehandlungen mit jeweils aufeinander abgestimmten, werkstoffindividuellen Prozessparametern.

Die hierdurch gezielt einstellbaren Mikrostrukturmerkmale führen zu einem Zustand höheren Umformvermögens. Dadurch kann gegenüber dem marktüblichen Standard eine zehnpromtente Steigerung der Umformbarkeit, bezogen auf die Erichsen-Tiefung mit überwiegender Streckziehanteilen, prozesssicher realisiert werden. Solch ein spezialisierter, rostfreier Präzisionsbandstahl wird im individuell einstellbaren Dickenspektrum von 50 bis 200 µm unter Einhaltung engster Maßtoleranzen gefertigt. Hierbei können sogar die Präzisionsklassen nach der aktuell gültigen Norm DIN EN ISO 9445-1 deutlich übertroffen werden. Um schlussendlich eine auf die Herstellung von BPP ganzheitliche und optimale Werkstofflösung zu bieten, erfolgt ein abschließendes Streckbiegerichten zur Erzielung einer optimalen Planlage des

Bands. Hierdurch kann das multidimensionale Flow Field über das gesamte Plattenformat exakt und passgenau eingebracht werden. Ein Vergleich solcher optimierten Stähle ist in *Tabelle 1* gezeigt.

### Die Werkstoffcharakterisierung

Die Werkstoffcharakterisierung bietet die Möglichkeit, gezielt für den zum Einsatz kommenden Werkstoff Kennwerte für die Umformsimulation zu ermitteln und damit eine gesteigerte Abbildungsgenauigkeit zu erreichen. Essenziell dafür sind zum Beispiel Fließkurven aus dem quasi-statischen Zugversuch.

Diese wurden für den 1.4301 der Blechdicke 0,10 mm in Flachzugversuchen zusammen mit den Kenngrößen Streckgrenze, Zugfestigkeit, Gleichmaßdehnung und Bruchdehnung für die Walz-Orientierungen 0°, 45° und 90° ermittelt. Um hierbei den Wärmeinput möglichst gering zu halten, erfolgte die Probenentnahme durch Drahterodieren und geringen Abtrag beim Feinschlichten. Die Bestimmung der Messwerte er-

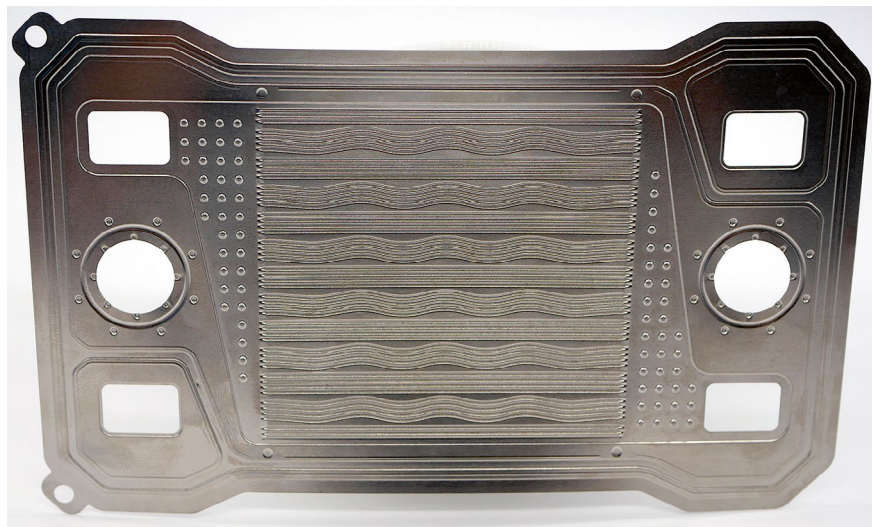
folgte durch den Einsatz eines optischen Dehnungsmesssystems Aramis der Firma GOM, das in Kombination mit den aufgezeichneten Kraftwerten aus der Universalprüfmaschine eine lokale Auflösung der Dehnungsverteilung und die Fließkurvenberechnung ermöglicht. Hierfür werden auf die Proben mit Lackspray eine matte Grundierung und mit Grafit Spray ein stochastisches Muster aufgebracht. Der unverformte Zustand liefert den Referenzzustand für die digitale Bildverarbeitung. Durch Aufnahme weiterer Bilder während der Verformung ist die Änderung der 3-D-Oberflächenkoordinaten erfassbar und damit eine Berechnung der lokalen Dehnungen und daraus abgeleiteten Werkstoffkennwerte möglich. Dieses Vorgehen ist in *Bild 2* gezeigt.

### Die Simulation

Die Werkzeugauslegung wurde durch die Finite-Elemente-Methode (FEM) simulativ mithilfe der Software Simufact Forming des Unternehmens Simufact Engineering begleitet. Auf Basis der Werkszeugnisse des Rohmaterials sowie der Ergebnisse der Werkstoffcharakterisierung wurden Materialkarten erstellt. Diese enthalten die spezifischen mechanischen und physikalischen Eigenschaften des Werkstoffs, auf die die Simulationssoftware für die Berechnungen zugreift. Wichtig hierbei sind neben der Streckgrenze sowie der Zugfestigkeit die Angaben über das richtungsabhängige Fließverhalten des Werkstoffs sowie des E-Moduls, die in den oben beschriebenen Charakterisierungen erfasst wurden.

### Die parallele Werkzeugauslegung

Um die Zeiten für die Auslegung des Werkzeugs gering zu halten, wurde ein paralleler Ansatz gewählt. Das Vollwerkzeug wird hierbei klassisch in einem CAD-Modell entworfen und dieses mithilfe der



**Bild 4** > Die fertige Bipolar-Halbplatte (© Hugo Kern und Liebers)

FEM-Umformsimulation optimiert. Hierbei werden grundlegend die virtuellen Umformergebnisse der BPP mit den Sollmaßen abgeglichen und dann als Korrekturdaten für das Werkzeug verwendet. Parallel hierzu wurden die kritischen Geometrien der Kanalstrukturen sowie des Flow Fields als Kleinmusterwerkzeug in einem CAD-Modell abgebildet. Nachdem erste Optimierungen mithilfe der Simulation vorgenommen wurden, folgten reale Umformversuche im Labormaßstab, gefolgt von metallografischen Analysen der Geometrien, *Bild 3*. Mit diesen Daten erfolgte dann die finale Anpassung des Kleinmusterwerkzeugs, damit entsprechend die Sollmaße der BPP-Kanalstrukturen umformtechnisch erreicht werden. Mithilfe dieser Erkenntnisse konnte die finale Auslegung des Vollwerkzeugs erfolgen.

### Fazit und Ausblick

Aufgrund der hohen Qualität des Materialmodells sowie der Laborversuche zum Umformprozess konnten die Iterationsschritte zur Inbetriebnahme des Werkzeugs minimiert werden. Das Vorhaben hat gezeigt, dass durch die Wahl eines auf die Anwendung angepassten Werkstoffs sowie einer gründlichen Charakterisierung in Kombination mit den beschriebenen Simulationen die Auslegung des Umformwerkzeugs ziel führend unterstützt wird. Gepaart mit der Fokussierung auf die kritischen Geometrien sowie der Zuhilfenahme von Kleinstumformwerkzeugen kann somit kosten- sowie ressourcenschonend in kurzer Zeit ein Werkzeug auch für komplizierte Bauteile wie BPP gefertigt werden, *Bild 4*. Zukünftig wird die Kern-Liebers Group of Companies mit ihren Partnern zusammen das Thema der simulationsgestützten Fertigung noch weiter vertiefen, um unter anderem auch komplexere Werkstoffe wie walzplattierte Bleche optimal abbilden zu können. //

### Literaturhinweise

- [1] Warum ist die Bipolarplatte für Brennstoffzellen so wichtig? Online: [www.springerprofessional.de/link/17286820/](http://www.springerprofessional.de/link/17286820/), aufgerufen am 23.05.2023
- [2] Brennstoffzellen-Stacks: So soll die Serienfertigung gelingen. Online: [www.bosch.com/de/stories/brennstoffzellen-stack/](http://www.bosch.com/de/stories/brennstoffzellen-stack/), aufgerufen am 16.03.2023
- [3] VDMA-Studie: Brennstoffzelle kann in Europa bis 2040 68.000 Jobs schaffen. Online: [www.electrive.net/2020/06/27/vdma-studie-brennstoffzelle-kann-in-europa-bis-2040-68-000-jobs-schaffen/](http://www.electrive.net/2020/06/27/vdma-studie-brennstoffzelle-kann-in-europa-bis-2040-68-000-jobs-schaffen/), aufgerufen am 24.04.2023

- [4] Technologischer Deep-Dive | Die Bipolarplatte der PEM-Brennstoffzelle, 20.10.2022, Fraunhofer IPT / WZL der RWTH Aachen über [www.now-gmbh.de](http://www.now-gmbh.de), aufgerufen am 12.04.2023
- [5] Alo, O. A.; Otunniyi, I. O.; Pienaar, H.: Manufacturing methods for metallic bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cell. In: Materials and Manufacturing Processes, Ausgabe 34/8 (2019), S. 927-955
- [6] Wang, C.; Zhang, Q.; Shen, S. et al.: The respective effect of under-rib convection and pressure drop of flow fields on the performance of PEM fuel cells. Sci Rep 7 (2017), S. 43447
- [7] Marappan, M.; Palaniswamy, K.; Velumani, T.; Chul, K. B.; Velayutham, R.; Shivakumar, P.; Sundaram, S.: Chem. Rec. 2021, 21, 663

### Autoren | Kontakt

**Jan Philipp, M. Sc.**, Engineer Corporate R&D Projects, Kern-Liebers Group of Companies, [jan.philipp@kern-liebers.com](mailto:jan.philipp@kern-liebers.com)

**Dr.-Ing. Natalie Kömpel**, Projektingenieurin Umformtechnik, Neue Materialien Fürth GmbH, [natalie.koempel@nmfgmbh.de](mailto:natalie.koempel@nmfgmbh.de)

**Jan Ullosat, M. Eng.**, Werkstofftechnik, C.D. Wälzholz GmbH & Co. KG, [jan.ullosat@waelzholz.com](mailto:jan.ullosat@waelzholz.com)

**Dr.-Ing. Benjamin Hertweck**, Senior Vice President Corporate R&D, Kern-Liebers Group of Companies, [benjamin.hertweck@kern-liebers.com](mailto:benjamin.hertweck@kern-liebers.com)

**Kern-Liebers Group of Companies**  
Dr.-Kurt-Steim-Straße 35  
78713 Schramberg  
[www.kern-liebers.com](http://www.kern-liebers.com)

**Neue Materialien Fürth GmbH**  
Dr.-Mack-Straße 81  
90762 Fürth  
[www.nmfgmbh.de](http://www.nmfgmbh.de)

**C.D. Wälzholz GmbH & Co. KG**  
Feldmühlenstraße 55  
58093 Hagen  
[www.waelzholz.com](http://www.waelzholz.com)



Springer Professional

Bipolarplatte

Thomas Siebel: Worauf es bei der Fertigung von Bipolarplatten ankommt.  
[www.springerprofessional.de/link/25262798](http://www.springerprofessional.de/link/25262798)

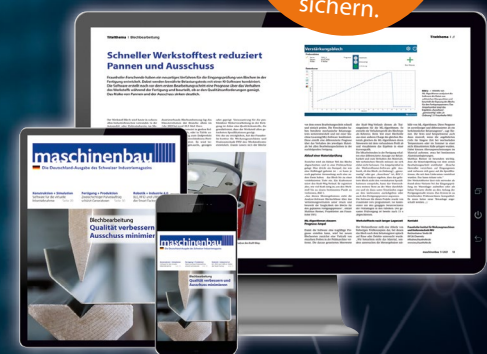
# Fundiertes Fachwissen für Ihr Team!

## Die digitale Unternehmenslizenz



maschinenbau

**NEU!**  
Direkt online bestellen und bis zu 60 % Rabatt sichern.



## Wir beraten Sie gern:

Ramona Wendler | Tel. 0611 7878-126  
[magazinlizenzen@springernature.com](mailto:magazinlizenzen@springernature.com)