

# WT Werkstattstechnik

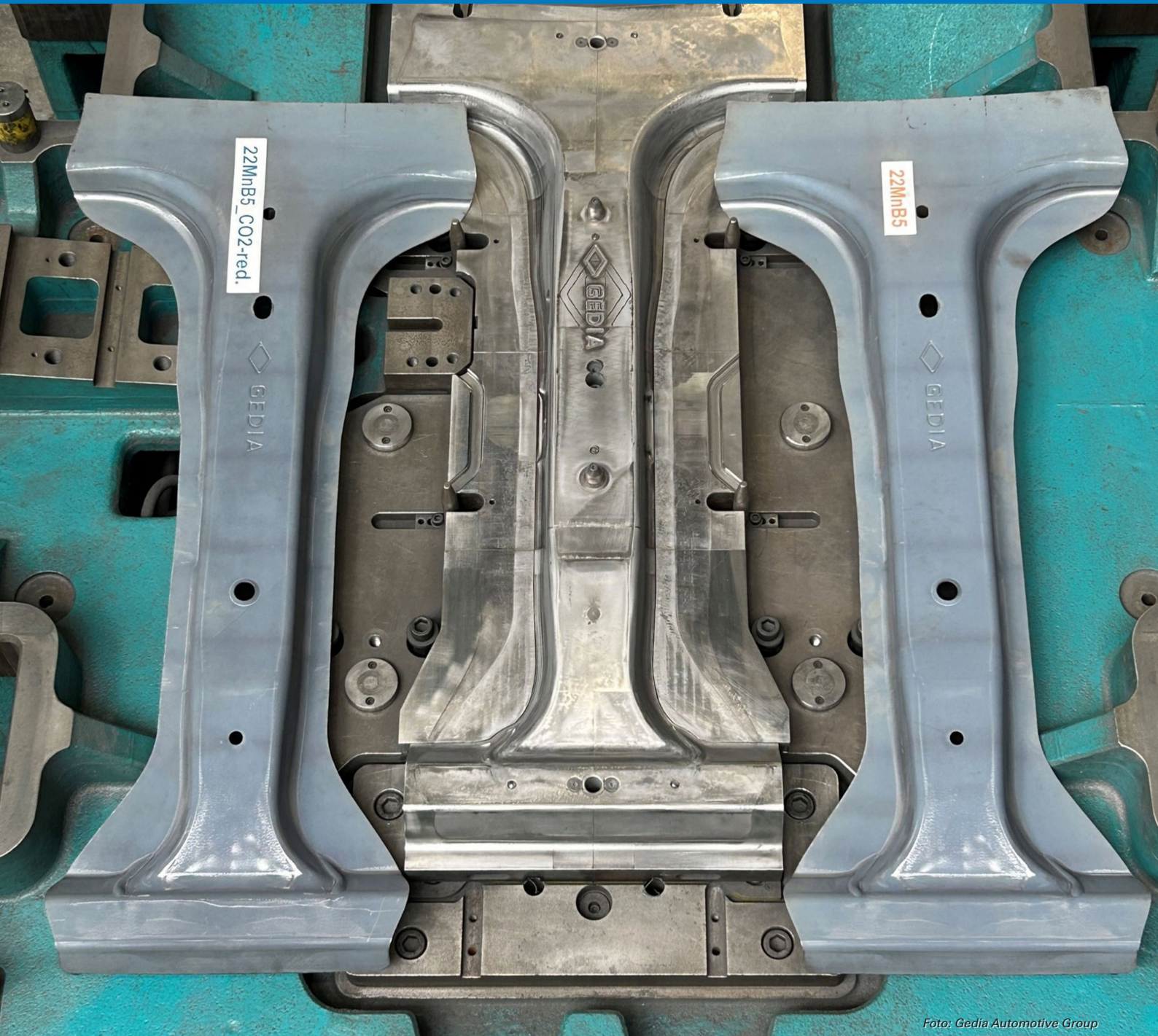


Foto: Gedia Automotive Group

## ENERGIEEFFIZIENZ

Integriertes Modell-  
konzept für  
energieorientierte PPS

## KREISLAUFWIRTSCHAFT

Umformtechnische  
Verwertung  
einer Lenkungs Komponente

## RECYCLING

Direktes  
Recycling in der  
Batterieproduktion

**INHALTE DER ONLINE-AUSGABE 4-2026  
HAUPTTHEMA: TECHNOLOGIEBASIERTE  
KREISLAUFWIRTSCHAFT**

A. Sauer – Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA; Institut für Energieeffizienz in der Produktion EEP, Universität Stuttgart

**Technologiebasierte Kreislaufwirtschaft in der Produktion**

Die Ausgabe 4 der wt Werkstattstechnik online widmet sich regelmäßig der Technologiebasierten Kreislaufwirtschaft, insbesondere der Ressourceneffizienz, der Energieeffizienz und dem Re/Upcycling. Die aktuellen Beiträge zeigen Beispiele, wie Unternehmen konkret vorgehen können – von der gezielten Dekarbonisierung bis hin zur integrierten Planungslandschaft, die Energie-, Material- und Prozessfragen vernetzt. **S. 237**

M. Rentschler, R. Mieke, A. Sauer, Fraunhofer IPA, Stuttgart; F. Budde, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin; M. Simon, M. Stauß, J. Husmann, Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST, Braunschweig

**Effiziente Auswahl von Dekarbonisierungsmaßnahmen**

Effizienter Klimaschutz ist angesichts unzureichender Emissionsreduktionen und zunehmender wirtschaftlicher Herausforderungen von hoher Relevanz. Durch die Entwicklung einer Methodik zur Identifikation sowie der ökonomisch-ökologischen Bewertung und Priorisierung von Dekarbonisierungsmaßnahmen werden wirtschaftlich effiziente Klimastrategien sichergestellt. Das Vorgehen basiert auf einer Erweiterung von Emissionsvermeidungskostenkurven durch szenariengestützte Zukunftsbetrachtung. **S. 238**  
doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-6

L. Marra de Lima, J. Schwaiger, I. Bianchini, A. Sauer, Universität Stuttgart, Institut für EEP; Fraunhofer IPA; Stuttgart

**Energieeffizienz einer Kältemaschine im DC-Netz**

Die Steigerung der Energieeffizienz ist ein zentrales Ziel industrieller Strategien und gewinnt im Zuge der Energiewende weiter an Bedeutung. Besonders in thermischen Prozessen bestehen bislang ungenutzte Einsparpotenziale. Die Umrüstung einer hybriden Kältemaschine auf Gleichstrombetrieb zeigt exemplarisch, wie thermische Industrieanlagen effizienter betrieben werden können. Der Beitrag stellt eine systematische Umrüstungsmethode vor und bewertet deren Effizienzpotenziale. **S. 250**  
doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-18

M. Meiertöns, T. M. Demke, M. Schmidt, Leibniz Universität Hannover, IFA, Garbsen; R. Scheffler, Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e. V., Berlin; M. Weber, Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV, Augsburg

**Integriertes Modellkonzept für energieorientierte PPS**

Der Beitrag stellt einen Ansatz vor, mit dem das Potenzial energieorientierter Maßnahmen innerhalb der PPS bewertet werden kann. Um Zielkonflikte zwischen Energiekosten und logistischen Zielgrößen zu analysieren, werden ein Energie-, ein Scheduling- sowie ein Logistikmodell miteinander gekoppelt. Dieser Ansatz bildet die Basis für einen konzeptionellen Demonstrator, der Unternehmen bei der Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung der Energiekosten unterstützt, ohne die logistischen Zielgrößen zu gefährden. **S. 256**  
doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-24

M. Maier, Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF, Universität Stuttgart; J. Bortloff, J. Navarro Oster, Centrum für Digitalisierung, Führung und Nachhaltigkeit Schwarzwald gGmbH, Freudenstadt

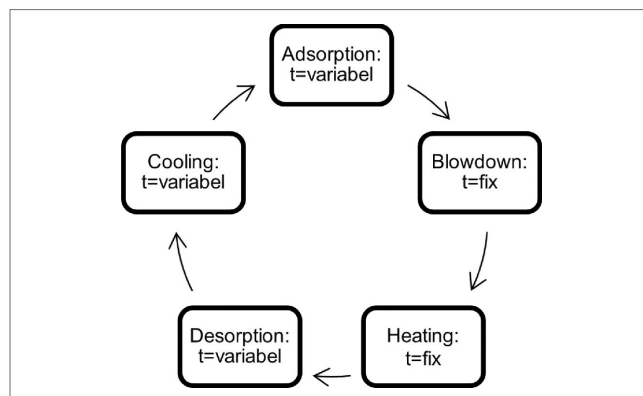
**Methodik zur Erzeugung von Wirkungsgradkennlinien**

Der Beitrag stellt eine technologieübergreifende, vergleichbare Modellierungsmethodik als End-to-End-Prozess zur effizienten Erzeugung von Wirkungsgradkennlinien aus heterogenen Ausgangsdaten für agentenbasierte Energiesystemmodelle vor. Durch die vorgeschlagene mathematische Abbildung der Wirkungsgradkennlinien als Funktionen wird eine recheneffiziente Simulation sektorübergreifender Energiesystemmodellierungen mit einer Vielzahl verschiedenartiger Agenten ermöglicht. **S. 264**

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-32

Y. Ebombou Ebongue, A. Sauer, Fraunhofer IPA, Stuttgart; Institut für EEP, Stuttgart

**Direct Air Capture und PEM-Elektrolyse im Vergleich**



Zyklischer Phasenbetrieb einer DAC (Direct Air Capture)-Anlage. Grafik: Fraunhofer IPA

Diese Arbeit untersucht die Nutzung von PV-Überschussstrom durch Direct Air Capture (DAC) und durch eine Polymerelektrolytmembran-Elektrolyse. Basierend auf einem Mixed-Integer-Linear-Programming-Optimierungsmodell wird ein technoökonomischer Vergleich beider Technologien durchgeführt. Die Analyse zeigt, wie CO<sub>2</sub>-, H<sub>2</sub>- und O<sub>2</sub>-Preise sowie der PV-Überschuss die Wirtschaftlichkeit der DAC-Anlage und des Elektrolyseurs beeinflussen und unter welchen Bedingungen DAC oder Elektrolyse wirtschaftlich vorteilhaft ist. **S. 273**

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-41

A. Harman, A. Sauer, Fraunhofer IPA, Stuttgart; Institut für EEP, Stuttgart

**Hyperparameteroptimierung für Lastprognose**

Die Studie untersucht, wie ressourcenschonende Strategien zur Hyperparameteroptimierung die Genauigkeit und die Laufzeit industrieller Lastprognosen beeinflussen. Mit einem Taguchi-Design wurden zwei Modelle des maschinellen Lernens mit verschiedenen vereinfachenden Verfahren, sogenannten Pruning- und Subsampling-Methoden, getestet. Zufälliges Subsampling auf 30 % der Daten und Hyperband-Pruning erzielten teils bessere Prognosen bei deutlich geringem Rechenaufwand. **S. 283**

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-51

S. Oberdiek, L. Jalowy, F. Gonzalez Vazquez, Fraunhofer IPA, Stuttgart

### Intelligenter Batch-Mischprozess von Anodenpasten

Die Untersuchung bildet die Grundlage zur Optimierung des Batch-Mischprozesses in der Batteriezellfertigung. Durch die erfassten Daten kann ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Energieaufnahme der Batch-Mischanlage und der Viskosität der Elektrodenpaste hergestellt werden. Auf Basis dieser Erkenntnisse können bestehende Anlagen zukünftig kostengünstig aufgerüstet, der Viskositätsverlauf bei der Pastenherstellung inline überwacht und ein zustandsbasierter Prozessstopp implementiert werden.

S. 292

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-60

M. Weismüller, O. Petrovic, C. Brecher, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen; V. Schubert, Seeburger AG, Bretten; S. Eichhorn, Igenium GmbH, Chemnitz; A. Werner, Capgemini Engineering, Wolfsburg; F. Breitenbach, EDAG Production Solutions GmbH & Co. KG, Fulda; A. Dideban, Innoface AG, Karlsruhe; M. Kanesamoorthy, Johnson Electric Aachen GmbH, Aachen

### EaaS-Ansatz für kreislauffähige Produktionssysteme

Hohe Volatilität erfordert flexible Produktion. Das Projekt „AutoPilot“ entwickelte hierfür ein zirkuläres Produktionszellenkonzept, das physische Modularität (unter anderem Holzverbundstoffe) mit digitalen Zwillingen verknüpft. Die Validierung belegt gesteigerte Wandlungsfähigkeit und reduzierten Carbon Footprint. Durch datenintegriertes Equipment-as-a-Service werden zudem Kosten gesenkt und die Wiederverwendung gefördert. Der Beitrag stellt Realisierung und Betreibermodelle vor.

S. 299

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-67

R. Selbmann, T. Paizs, P. A. Schmidt, R. Haase, Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Chemnitz; M. Hoffmann, Robert Bosch Automotive Steering GmbH, Schwäbisch Gmünd; S. Knorn, Institut für Prozess- und Verfahrenstechnik, TU Berlin

### Umformtechnische Verwertung einer Lenkungs-komponente

In diesem Beitrag wird eine Prozesskette zur Umnutzung einer PKW-Lenkungs-komponente beschrieben. Dafür wurde die Komponente Zahnstange aus einem PKW-Lenkgetriebe demontiert und in Spurstangen für ein Lenkgetriebe der nächsten Generation umgearbeitet. Damit kann ein Praxisbeispiel für eine zukünftige Kreislaufwirtschaft in der Automobilproduktion aufgezeigt werden.

S. 307

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-75

P. Rittlewski, T. Grom, C. Glanz, J. Grimm, K. P. Birke, Fraunhofer IPA, Stuttgart; A. Balinski, cylib GmbH, Aachen

### Direktes Recycling in der Batterieproduktion

In der Batterieproduktion führen viele serielle Prozessschritte mit engen Fertigungstoleranzen zu hohen Ausschussquoten. In dieser Arbeit werden Ansätze aufgezeigt, die eine direkte Wiederverwendung des wertvollen Kathodenaktivmaterials in der gleichen Charge ermöglichen. Hierfür werden verschiedene Methoden zur Delamination der Kathodenbeschichtung von der Stromkollektorfolie sowie Nachbehandlungsschritte erörtert.

S. 315

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-83

J. Hohlfeld, C. Hannemann, N. Berndt, C. Lies, T. Hipke, Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Chemnitz

### Aluminiumschaum: Nachhaltige Herstellung und Verwertung

Aluminiumschaum ist ein junger Leichtbauwerkstoff, dessen Herstellung energieintensiv ist. Um den Werkstoff erfolgreich zu etablieren und die Herstellung zukunftssicher zu gestalten, ist es nötig, den Energieeinsatz zu reduzieren und die Nachhaltigkeit zu verbessern. Das ist möglich, indem Kreislaufmaterial für die Aluminiumschaumherstellung genutzt und die Wiederverwertung von Aluminiumschaum erlaubt wird. Ein Erfahrungsbericht vom Fraunhofer IWU zeigt Lösungsansätze auf.

S. 324

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-92

N. Silber, J. Scheurich, S. Eigner, University of Stuttgart, Institute of Industrial Manufacturing and Management; K. Zhang, University of Stuttgart, Institute of Biochemistry and Technical Biochemistry; J. Renz, R. Miehe, Fraunhofer IPA, Stuttgart

### BPA Bioremediation for Circular Economy Strategies

Micropollutants such as BPA hinder plastic recycling and pose serious risks to ecosystems and human health. In the context of a circular economy, bioremediation was investigated as a recycling/upcycling approach, leveraging microbial BPA removal by diverse bacteria and the fungus *Pleurotus ostreatus*. Microbiological and chromatographic methods were used to assess BPA tolerance and quantify BPA removal, highlighting the potential of these processes for future applications.

S. 335

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-103

S. Breuer, T. Scharfenberg, Gedia Automotive Group, Attendorn; P. Frohn-Sörensen, B. Engel, Universität Siegen, Lehrstuhl für Umformtechnik; T. Bergelt, T. Lampke, Technische Universität Chemnitz, Professur Werkstoff- und Oberflächentechnik

### Untersuchung von CO<sub>2</sub>-reduzierten Stählen

Die Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen gewinnt immer mehr an Bedeutung und ist in sämtlichen Industriezweigen präsent. Da Stahl in industriellen Anwendungen den wichtigsten Konstruktionswerkstoff darstellt, rücken CO<sub>2</sub>-reduzierte Stähle zunehmend in den Fokus. Die Gedia Automotive Group untersucht gemeinsam mit den Universitäten Siegen und Chemnitz, ob sich bei der Anwendung von CO<sub>2</sub>-reduzierten Stählen zusätzliche Herausforderungen hinsichtlich der erzielbaren Bauteileigenschaften und der Prozessstabilität in der Warmumformung ergeben.

S. 345

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-113

E. Gross, M. Schneider, T. Bauernhansl, Fraunhofer IPA, Stuttgart; J. Reinhold, B. Burzynska, M. Schmidt, Leibniz Universität Hannover, IFA, Garbsen; N. Breuer, A. Schnichels, B. Kuhlenkötter, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Produktionssysteme; K. Theuner, G. Lanza, Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Produktionstechnik wbk

### Resilienz im Fokus produzierender Unternehmen

Die zunehmende Volatilität globaler Märkte, Lieferkettenstörungen und disruptive Ereignisse stellen produzierende Unternehmen vor erhebliche Herausforderungen. Resilienz – verstanden als die Fähigkeit von Organisationen und Netzwerken, Krisen zu bewältigen, sich anzupassen und gestärkt daraus hervorzugehen – gilt als Schlüsselkompetenz für die Industrie der Zukunft. Trotz ihrer hohen Relevanz fehlt bislang eine einheitliche Begrifflichkeit: Unterschiedliche Definitionen und Interpretationen erschweren den wissenschaftlichen Diskurs und die praktische Umsetzung.

S. 351

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-04-119

## I M P R E S S U M

**Redaktion**

Alexandra Briesch  
Telefon: +49 (0) 211-6103-335  
abriesch@vdi-fachmedien.de

**Verlag**

VDI Fachmedien GmbH & Co. KG  
VDI-Platz 1, D-40468 Düsseldorf  
Postfach 10 10 22, D-40001 Düsseldorf

**Geschäftsführung**

Beatrice Gerner  
geschaeftsfuehrung@vdi-nachrichten.com

**Layout**

Alexander Reiß

Weitere Informationen:

[www.werkstattstechnik.de](http://www.werkstattstechnik.de)

# Technologiebasierte Kreislaufwirtschaft in der Produktion

**D**ie Ausgabe 4 der wt Werkstattstechnik online widmet sich regelmäßig der Technologiebasierten Kreislaufwirtschaft, insbesondere der Ressourceneffizienz, der Energieeffizienz und dem Re/Upcycling. Die aktuellen Beiträge zeigen Beispiele, wie Unternehmen konkret vorgehen können – von der gezielten Dekarbonisierung bis hin zur integrierten Planungslandschaft, die Energie-, Material- und Prozessfragen vernetzt.

Die „Effiziente Auswahl von Dekarbonisierungsmaßnahmen“ liefert eine methodische Orientierung, wie Investitionsentscheidungen in emissionsarme Technologien transparent bewertet werden können. Die „Hyperparameteroptimierung für die Prognose elektrischer Lasten“ zeigt, wie Machine-Learning-Modelle die Lastprognose verfeinern, Auslastung besser planbar machen und damit Netz- beziehungsweise Anlagenbetrieb optimieren. Die „Energieeffizienz einer Kältemaschine im DC-Netz“ veranschaulicht, wie Gleichspannungsnetze den COP erhöhen und die Kosten senken können – ein Beispiel dafür, wie Mikro- und Makroebene zusammenwirken.

Der „Intelligente Batch-Misch-Prozess von Anodenpasten“ demonstriert, wie präzise Mengensteuerung und Materialrecycling neue Qualität und Ressourcenstärke schaffen. Das „Direkte Recycling in der Batterieproduktion“ folgt dem gleichen Gedankengang auf Materialebene: Wiederverwertung statt Wegwerfen, mit klaren Ökobilanzen und Marktchancen. Die Publikation „Kreislaufproduktion mit Aluminiumschäumen“ zeigt darüber hinaus, wie neue Leichtmetalllösungen Leichtbau mit recycelbaren Strukturen verbinden.

Die „Energieeffiziente Nutzung von PV-Überschüssen: Direct Air Capture im Vergleich zur PEM-Elektrolyse“ beschreibt zwei strategische Optionen, die sich in vielen Produktionssettings gegenüberstehen: Nutzung solarer Überschüsse zur CO<sub>2</sub>-Reduktion durch DAC oder durch Wasserstoffproduktion via PEM-Elektrolyse. Dazu passend beleuchtet das „Integrierte Modellkonzept für energieorientierte PPS“ die Verzahnung von Planungssystemen mit Energiezielen, um Engpässe zu vermeiden und Kosten zu senken.

In der Biowissenschaft und Umwelttechnik wird die Kreislaufperspektive weitergeführt: „BPA Bioremediation for Circular Economy Strategies - BPA Removal by Microorganisms“ illustriert, wie Mikroorganismen Schadstoffe binden oder abbauen und so Kreislaufwirtschaft greifbar machen. Die „Methodik zur Erzeugung von Wirkungsgradkennlinien“ zeigt, wie sich Effizienzfenster systematisch erfassen und kommunizieren lassen – unverzichtbar für Benchmarking und Investitionsentscheidungen.

Die Untersuchung zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung beim Presshärten macht deutlich, dass technische Machbarkeit und wirtschaftliche Vernunft Hand in Hand gehen müssen. Mit dem „EaaS-Ansatz für kreislauffähige Produktionssysteme“ wird schließlich eine servicebasierte Perspektive eingeführt. Diese Ausgabe lädt einmal mehr dazu ein, Trends kritisch zu prüfen, Chancen zu ergreifen und gemeinsam neue Wege zu beschreiten.

*Anmerkung: In das Editorial sind Impulse der KI „FhGenie“ eingeflossen, inhaltlich ist Prof. Sauer voll verantwortlich.*



**Prof. Dr.-Ing. Alexander Sauer** ist Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und des Instituts für Energieeffizienz in der Produktion EEP der Universität Stuttgart.  
*Foto: Fraunhofer IPA, Rainer Bez*