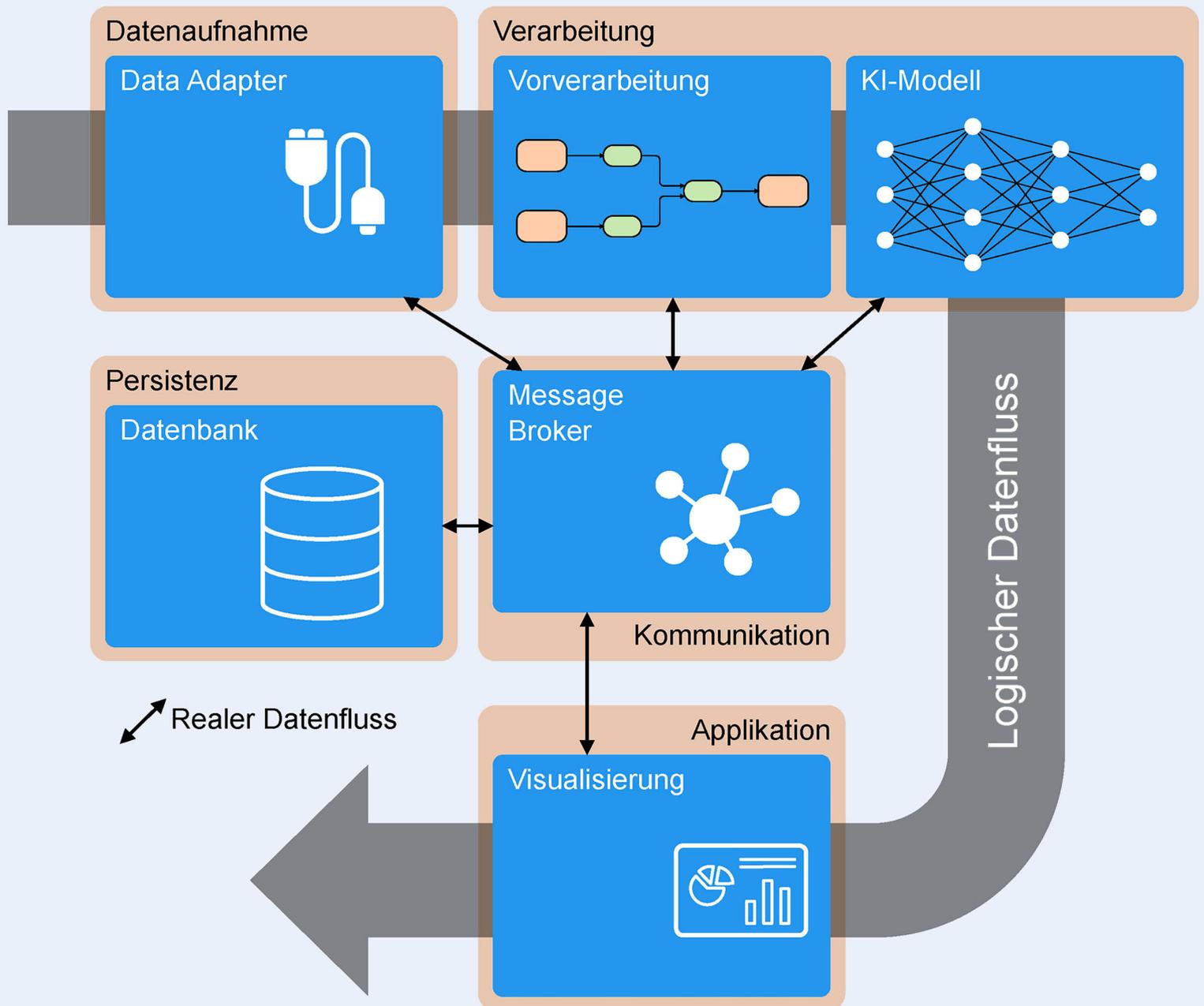


# WT Werkstattstechnik



Grafik: wbk

WERKZEUGMASCHINEN  
Edge Computing Software  
für den  
Zerspanungsprozess

SMART SERVICES  
Pricing von  
XaaS-Angeboten  
im Maschinenbau

DIGITALISIERUNG  
Geschäftsmodelle  
in digitalen  
Plattformökosystemen

## INHALTE DER ONLINE-AUSGABE 7/8-2023 TITELTHEMEN: WERKZEUGMASCHINEN – PRODUKTIONSANLAGEN, SMART SERVICES, VERFÜGBARKEIT, PRODUKTIVITÄTSSTIEGERUNG ALS SERVICE

Prof. Dr.-Ing. J. Fleischer – wbk Institut für Produktionstechnik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

### Die Potenziale von Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz

Eine der größten Herausforderungen in der Produktionstechnik ist die Maximierung der Gesamtanlageneffektivität. Angesichts des Zeit- und Kostendrucks gewinnen die Optimierung der Produktionsprozesse und der effektive Ressourceneinsatz an Bedeutung. Die konsequente Umsetzung von Digitalisierungsansätzen spielt dabei eine unverzichtbare Rolle. In diesem Zusammenhang leistet die Forschung im Bereich der Produktionstechnik einen entscheidenden Beitrag, der in den vorliegenden Beiträgen exemplarisch dargestellt wird. **S. 271**

S. Otte, D. Mayer, J. Fleischer – wbk, KIT

### Digitale Zwillings zur Steuerungscodevalidierung

In der Batterieproduktion werden zukünftig Extruder zum Slurry-Mischen eingesetzt. Die fehlenden Erfahrungen hierbei sind bei der Prozesssteuerung und -optimierung eine Herausforderung. Daher wurde ein digitaler Zwilling (DT) eines Extruders samt funktionalen Restriktionen mit der Software Siemens NX und Siemens MCD aufgebaut. Weiter wurde ein Tool zur digitalen Validierung des SteuerungsCodes im DT hinsichtlich Funktionssicherheit entwickelt. Dies ermöglicht eine Validierung und Optimierung des Codes bereits in den frühen Phasen der Steuerungsentwicklung. **S. 272**

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-07-08-6

S. Henschel, P.-T. Dörner, F. Köfler, J. Fleischer – wbk, KIT

### Mechanische Zelldemontage für das direkte Recycling

Die Ziele der Verkehrswende führen zu einem stetig steigenden Bedarf an Lithium-Ionen-Batterien. Damit diese am Ende ihres Lebenszyklus in einigen Jahren nicht als Abfall anfallen, sondern die darin enthaltenen wertvollen Rohstoffe weiter genutzt werden können, ist ein effektives Recycling im Sinne der Kreislaufwirtschaft notwendig. Hierzu wird in diesem Beitrag ein Konzept zur mechanischen Demontage von Batteriezellen als Grundstein für ein direktes Recycling vorgestellt. **S. 278**

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-07-08-12

I. Heider, H. Yu, N. Kruschke, B. Wirth, A. Puchta, J. Fleischer – wbk, KIT

### KI-Einsatz in KMU: Einstiegshürden ausräumen

Anwendungen künstlicher Intelligenz (KI) bieten für die Produktionstechnik enorme Potenziale. Diese sind vor allem in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) nicht umfassend ausgeschöpft. Ein Grund dafür ist, dass die Umsetzung von KI-Projekten Ressourcen benötigt, welche die KMU oft nicht eigenständig bereitstellen können. Vorgestellt wird ein Konzept, um das Deployment von KI-Modellen im Produktionsumfeld zu begleiten. Es ist einsetzbar unter verschiedensten Randbedingungen und mit geringem Eigenentwicklungsanteil. **S. 282**

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-07-08-16

T. Stahl, F. Mayer, T. Bauernhansl; M. Schreiber, J. Metternich – Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik IPA, Stuttgart; Technische Universität Darmstadt, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)

### Kooperative Smart Services in der smarten Fabrik

In Business-Ökosystemen werden Werte geschaffen, die Unternehmen alleine nicht generieren können. Bei der Umsetzung von Smart Services in der smarten Fabrik müssen heterogene Ressourcen vernetzt werden. Dies erfordert die Kooperation aller an der Datenwertschöpfung beteiligten Akteure von der Datengenerierung bis zur Datennutzung. In diesem Beitrag werden Hemmnisse und Anforderungen an die kooperative Umsetzung von Smart Services in der smarten Fabrik identifiziert. **S. 288**

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-07-08-22

O. Schöllhammer, J. Schroth, J. L. Schmitt, F. Blose, J. Heidebach; R. von Baer, J. Schroth – Fraunhofer IPA, Stuttgart; Hochschule Aalen - Technik und Wirtschaft

### Pricing von XaaS-Angeboten im Maschinenbau

Everything-as-a-Service-Geschäftsmodelle bieten Unternehmen der Maschinenbaubranche eine Chance, im zunehmend dynamischen Branchenumfeld zu bestehen. Für die erfolgreiche Markteinführung eines XaaS-Angebots spielt die Preisbestimmung eine zentrale Rolle. Bestehende Modelle der Preisbestimmung erfüllen die Anforderungen von XaaS-Geschäftsmodellen in der Maschinenbaubranche jedoch nur begrenzt. Basierend auf einer Mehrfachfallstudie werden geeignete Ansätze und Faktoren zur Preisbestimmung von XaaS-Angeboten identifiziert. **S. 293**

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-07-08-27

T. Gramberg, F. Falkenau, S. Nebauer, E. Gross, T. Bauernhansl – Fraunhofer IPA, Stuttgart

### Geschäftsmodelle in digitalen Plattformökosystemen

Dieser Beitrag stellt die Fortsetzung einer zusammenhängenden Veröffentlichung für die Entwicklung von Geschäftsmodellen innerhalb eines plattformbasierten Ökosystems dar. Die Methode wurde im Rahmen des Forschungsprojekts „FabOS“ entwickelt und in Workshops mit den Projektpartnern validiert. Im vorherigen Teil der Veröffentlichung wurde die methodische Vorgehensweise für die Geschäftsmodellentwicklung bei digitalen, plattformbasierten Ökosystemen vorgestellt. Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Interpretation der Ergebnisse zu den einzelnen Geschäftsmodellen sowie zum übergeordneten Geschäfts- und Betreibermodell des gesamten Ökosystems. **S. 299**

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-07-08-33

E. Uhlmann; M. Polte, S. Yabroudi, K. Thißen, W. Penske – Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin; Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb IWF, Technische Universität Berlin

### Echtzeit-Energieüberwachung in der Funkenerosion

Ein großes Optimierungspotenzial der Funkenerosion liegt in den Energien der einzelnen Entladungen verborgen. Eine vektorielle Bestimmung der Entladedauern und die darauf basierende Energieberechnung sowie Klassifizierung erlauben es, die Entladeenergien, Entladungsarten und -dauern in Echtzeit zu überwachen und zu analysieren. Möglich wird dies durch ein Multiprocessing-Erzeuger-Verbraucher-Schema, welches überdies eine Visualisierung und Auswertung der Messdaten erlaubt. **S. 304**

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-07-08-38

E. Uhlmann; M. Polte, T. Hocke, K. Thißen, M. Heper – Fraunhofer IPK, Berlin; IWF, Technische Universität Berlin

### Edge Computing Software für den Zerspanungsprozess

In aktuellen Forschungsprojekten entwickeln Forscher des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) Open-Source-Software für Edge Devices. Für die Auslegung der Fertigungsprozesse wird neben den ingenieurwissenschaftlichen Themen auch exemplarisch die Auslegung einer entwickelten Auswertelektronik inklusive der Softwarebereitstellung adressiert. Der interdisziplinäre Ansatz, einschließlich der Softwarebereitstellung, wird exemplarisch an einem DFG-Projekt zur Prozessüberwachung bei der Ultrapräzisionsdrehbearbeitung diskutiert.

S. 311

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-07-08-45

S. Müller, E. Westkämper; D. Klein, F. Öhlschläger, J. Roth – Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (GSaME), Stuttgart; Institut für Funktionelle Materie und Quantentechnologien FMQ, Stuttgart

### Prozessmodellierung in der additiven Fertigung

Die Einsatzmöglichkeiten der additiven Technologie wachsen und verändern die Art und Weise wie wir produzieren. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an die Qualität und Reproduzierbarkeit der noch jungen Technologie. Eine Möglichkeit zur Optimierung der Qualität durch Prozessmodellierung stellen Simulationen dar. Dieser Beitrag zeigt einen Ansatz zur Modellierung des additiven Prozesses mit metallischen Werkstoffen auf der Ebene eines einzelnen Pulverpartikels.

S. 315

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-07-08-49

E. Uhlmann; M. Kopp, R. Kröger – Fraunhofer IPK, Stuttgart; IWF, Technische Universität Berlin

### Oberflächenfinishing additiv gefertigter Bauteile

Der Beitrag stellt das Fliehkraftgleitschleifen mit fixiertem Werkstück zur Nachbearbeitung additiv gefertigter Bauteile vor. Mit diesem Verfahren konnte die Rauheit von Werkstücken aus Ti6Al4V in einem zweistufigen Prozess in einer Gesamtprozesszeit von 30 min von  $R_a = 17,5 \mu\text{m}$  auf  $R_a < 0,3 \mu\text{m}$  reduziert werden. Infolge der Werkstückfixierung ergab sich jedoch eine ungleichmäßige Bearbeitung der Werkstückoberflächen und -kanten. Für eine gleichmäßige Bearbeitung ist daher eine geeignete Werkstückführung erforderlich.

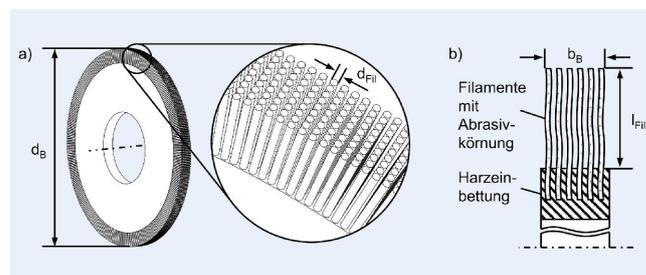
S. 321

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-07-08-55

E. Uhlmann; B. Gülzow – Fraunhofer IPK, Berlin; Institut für IWF, Technische Universität Berlin

### Zahnflankenfinishing mittels abrasiver Bürstwerkzeuge

Am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der Technischen Universität Berlin wurde ein Finishingverfahren zur Verbesserung der Oberflächenqualität von Zahnradflanken mittels abrasiver Bürstwerkzeuge am Beispiel eines schrägverzahnten Planetenrads



**Aufbau einer abrasiven Rundbürste:** a) 3-D-Darstellung; b) schematischer Querschnitt.

Grafik: IWFTU Berlin

entwickelt. Für den etablierten Referenzprozess konnte gezeigt werden, dass die Rauheit der Zahnflanken in Abhängigkeit des Ausgangszustandes nach dem Schleifen prozessfähig um  $R_a \square 0,2 \mu\text{m}$  verbessert werden kann. Zur Überprüfung der Übertragbarkeit des Bürstfinishingprozesses auf unterschiedliche Verzahnungsgeometrien wurden Verzahnungen aus zwei kleineren Modulbereichen untersucht.

S. 328

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-07-08-62

N. Große, D. Hefft, C. Wortmann, J. Eichholz; D. Kiklhorn – Technische Universität Dortmund, Lehrstuhl für Unternehmenslogistik; Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (IML), Dortmund

### Digitale Transformation industrieller Services

In Zeiten zunehmender Vernetzung und Digitalisierung stehen kleine und mittelständische Unternehmen vor der Herausforderung, neben den bisherigen Produkten digitale Zusatzleistungen anzubieten. Es fehlt vor allem an praxisnahen Leitfäden, die aufzeigen, wie sich diese digitale Transformation tatsächlich verwirklichen lässt. Dieser Beitrag vereint abgeleitete Erkenntnisse aus wissenschaftlicher Literatur sowie unternehmerischer Praxis und zeigt zwölf Handlungsempfehlungen zur digitalen Transformation industrieller Services auf.

S. 335

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-07-08-69

E. Uhlmann, J. Polte, C. Geisert; H. Rauch, K. Brach – Fraunhofer IPK, Berlin; Siemens AG, Berlin

### Smarte Überwachung elektrischer Großantriebe

Die Nutzung von Digitalisierungstechnologien im Kontext von Industrie 4.0 bietet insbesondere für den gesamten Bereich der Wartung und Instandhaltung von elektrischen Großantrieben großes Potenzial zur Schaffung innovativer Serviceangebote. Durch erweiterte Sensorik im elektrischen Antrieb und Intelligenz in der Verarbeitung und Analyse von Daten im Betrieb von Anlagen, kann eine vorausschauende Instandhaltungsstrategie eingeführt werden, die eine höhere Verfügbarkeit der Anlagen ermöglicht und gleichzeitig den Aufwand für Instandhaltungseinsätze reduziert. Um diese Potenziale im Servicegeschäft elektrischer Großantriebe zu erschließen, wird in diesem Beitrag ein hypothesengetriebener Ansatz zur Zustandsüberwachung beschrieben.

S. 340

doi.org/10.37544/1436-4980-2023-07-08-74



# Die Potenziale von Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz

Eine der größten Herausforderungen in der Produktionstechnik ist die Maximierung der Gesamtanlageneffektivität. Angesichts des Zeit- und Kostendrucks gewinnen die Optimierung der Produktionsprozesse und der effektive Ressourceneinsatz an Bedeutung. Die konsequente Umsetzung von Digitalisierungsansätzen spielt dabei eine unverzichtbare Rolle. In diesem Zusammenhang leistet die Forschung im Bereich der Produktionstechnik einen entscheidenden Beitrag, der in den vorliegenden Beiträgen exemplarisch dargestellt wird.

Die einschlägigen Methoden und Tools der Digitalisierung sind bereits gut erforscht und stehen den Unternehmen zur Verfügung. Die eigentliche Schwierigkeit besteht jedoch darin, diese Technologien effektiv in der Produktion einzusetzen.

Besonders kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) stehen vor der Herausforderung, Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) schnell in ihren Betrieben zu implementieren. In diesem Kontext sind insbesondere anwendungsorientierte Konzepte, wie sie im Projekt „AutoLern“ realisiert werden, relevant. Durch die Bereitstellung einer durchgängigen Toolchain von der Datenerfassung bis hin zur Datenverarbeitung wird für KMU eine Grundlage für die Implementierung von KI geschaffen.

Neben der Vermittlung von KI-Rahmenkonzepten sollten auch die Vorteile digitaler Zwillinge hervorgehoben werden. Basierend auf präzisen Abbildern der Realität können Entwicklungen automatisiert und unter geringem Aufwand abgesichert werden. Ein Beispiel ist der Einsatz eines digitalen Zwillings eines Extruders zum Batterie-Slurry-Mischen, worauf basierend der Steuerungscode hinsichtlich der Funktionssicherheit entwickelt und validiert werden konnte.

Um Produktionsprozesse basierend auf realen Produktionsdaten zu simulieren und entsprechende Optimierungen oder Prozessauslegungen vornehmen zu können, ist die Integration von Inline-Sensorik sowie die direkte und effiziente Datenauswertung unerlässlich. Das Edge-Konzept bietet im Rahmen der produktionsnahen Datenakquise und -verarbeitung vielversprechende Möglichkeiten. Ein beispielhaftes Vorgehen zur Entwicklung eines Messsystems sowie eine zugehörige Edge Computing Software für die Prozessüberwachung wird in einem Beitrag dieser Ausgabe adressiert.

Der effektive Einsatz von Ressourcen ist ein oft vernachlässigter Aspekt der Effizienzsteigerung, der vor dem Hintergrund der aktuellen Nachhaltigkeitsdebatte jedoch an Bedeutung gewinnt. Durch geeignete Nachbearbeitungsstrategien können beispielsweise Produktionsausschüsse gezielt reduziert werden. Diese Ausgabe präsentiert zum einen ein Verfahren zur Verbesserung von Zahnflankenoberflächen. Zum anderen wird ein Verfahren für das Oberflächenfinishing additiv gefertigter Bauteile beleuchtet.

Um das volle Potenzial der Ressourceneinsparung auszuschöpfen, muss auch der Betriebsmitteleinsatz minimiert werden. Ein Beitrag dieser Ausgabe diskutiert eine Möglichkeit zur Echtzeit-Energieüberwachung in der Funkenerosion, um den Energieverbrauch zu optimieren.

Wie aufgezeigt, erfordert die Produktionstechnik ein umfassendes Zusammenspiel von Technologien, Methoden und strategischen Ansätzen. Nur durch eine effiziente Kooperation universitärer anwendungsnaher Forschung und den produktionstechnischen Unternehmen können die Herausforderungen gemeistert und die Produktionstechnik auf eine nachhaltige und effiziente Zukunft ausgerichtet werden.



Prof. Dr.-Ing. Jürgen  
Fleischer

Institutsleiter Maschinen, Anlagen  
und Prozessautomatisierung am  
wbk Institut für Produktionstechnik  
des Karlsruher Instituts für Techno-  
logie (KIT). Foto: wbk / KIT