

INFOBRIEF *Ausgabe 64/21*



Lehrstuhl für Fertigungstechnik und
Betriebsorganisation Kaiserslautern

In dieser Ausgabe:

<i>Neues Anwendungszentrum für Additive Fertigung</i>	
Nutzbarmachung des Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißens für eine wirtschaftliche additive Fertigung	2
<i>Neues Projekt im Rahmen des IRTG 2057 gestartet</i>	
Fabriklayoutplanung auf Basis von Reinforcement Learning	2
<i>KSB Projekt erfolgreich in zweite Förderphase gestartet</i>	
OptiAM – Untersuchung additiv-subtraktiver Prozessketten in der Fertigung	3
<i>DFG fördert Nachhaltigkeitsforschung</i>	
Projekt zur ökologischen Nachhaltigkeit technischer Produkt-Service Systeme gestartet	3
<i>Planung des Anwendungszentrums für Additive Fertigung</i>	
Fabrikplanung in der Virtuellen Realität	4
<i>Arbeitskreis „Sub-zero Kühlschmierstoffe“ im Online-Format fortgesetzt</i>	
Erkenntnistransfer mit 13 Unternehmen aus der Zerspanungs- und Kühlschmierstoffindustrie	4
Neue Mitarbeitende	4
Ausgewählte Veröffentlichungen	4



Additive Fertigungsverfahren gewinnen im industriellen Umfeld immer mehr an Bedeutung. Sie bringen einige Vorteile wie bspw. eine höhere Flexibilität in der Gestaltung gegenüber konventionellen Fertigungsverfahren. So können etablierte Bauteile durch die größtenteils digital durchlaufene Prozesskette mit geringem Aufwand neu ausgelegt und weiter optimiert (z.B. Topologieoptimierungen) werden. Mit additiven Fertigungsverfahren lassen sich zudem komplexe Prozessketten durch eine lokale Produktion und die Reduzierung von Fertigungsschritten erheblich verkürzen. Ein wesentlicher Nachteil additiver Fertigungsverfahren, wie dem Laser-Strahlschmelzen (LBM) oder dem konventionellen Laserauftragschweißen (LA), sind die langsamen Aufbauraten und die daraus resultierenden hohen Prozesszeiten. Das LA findet bereits seit vielen Jahren Anwendung als Beschichtungs- und Reparaturverfahren, z. B. für Turbinenschaufeln. Hierfür wird mittels eines fokussierten Laserstrahls ein Schmelzbad auf der Werkstückoberfläche erzeugt. In das Schmelzbad wird über eine Zufuhrdüse simultan ein pulver- oder drahtförmiger Werkstoff eingebracht und aufgeschmolzen. Durch die Relativbewegung zwischen Düse und dem Werkstück werden schichtweise metallurgisch festverbundene Materialschichten generiert, die das dreidimensionale Werkstückvolumen aufbauen. Die Nutzung des LA für große Stückzahlen bzw. eine Serienproduktion wird jedoch durch die relativ geringen Aufbauraten stark eingeschränkt. Folglich ist die additive Fertigung größerer Stückzahlen oft mit hohen Kosten verbunden und wirtschaftlich nicht rentabel.

Das neuartige Verfahren des Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißens (HLA) bietet aufgrund signifikant gesteigerter Aufbauraten das Potenzial, die Nachteile bereits etablierter additiver Fertigungsverfahren auszugleichen und deutliche Produktivitätssteigerungen zu ermöglichen. Bei der Prozessführung des HLA fallen Laser- und Pulverfokus bereits oberhalb der Werkstückoberfläche zusammen, sodass ein Großteil der Laserenergie dazu genutzt wird, die Pulverpartikel bereits in der Luft aufzuschmelzen. Der kleinere, transmittierte Anteil der Laserstrahlung bildet auf der Werkstückoberfläche ein kleines, flaches Schmelzbad aus. Dadurch entfällt die Zeit zum Aufschmelzen der Pulverpartikel auf der Werkstückoberfläche und es können deutlich höhere Vorschubgeschwindigkeiten realisiert werden. Der Einsatz dieser Technologie war aufgrund anspruchsvoller Maschinendynamik bisher auf rotationssymmetrische Bauteile beschränkt. Durch die Integration der Technologie in das neue Anwendungszentrum für Additive Fertigung (AAF) soll das Verfahren nun auch für die additive Fertigung von 3D-Strukturen im industriellen Maßstab nutzbar gemacht werden.

Neues Projekt im Rahmen des IRTG 2057 gestartet

Fabriklayoutplanung auf Basis von Reinforcement Learning

Das gestartete Projekt adressiert als Teil des internationalen Graduiertenkollegs IRTG 2057 die Nutzbarmachung von Ansätzen des maschinellen Lernens zur automatisierten Layoutplanung in der Fertigung.

Die zentrale Aufgabe der Layoutplanung ist die Positionierung von Funktionseinheiten wie z.B.: Werkzeugmaschinen oder Zwischenlager in einem begrenzten Bereich mit dem Ziel die Produktion hinsichtlich multipler Planungsziele zu optimieren. Zu diesen Planungszielen zählt beispielsweise die Durchlaufzeit oder die Auslastung der Funktionseinheiten. Der Planungsprozess ist durch eine hohe Komplexität charakterisiert, da sich die Zielgrößen gegenseitig sowohl positiv als auch negativ beeinflussen können und mit einer steigenden Anzahl an Funktionseinheiten die Anzahl an Anordnungsmöglichkeiten exponentiell zunimmt. Diese Komplexität führt dazu, dass in der Praxis häufig nur wenige Layoutvarianten generiert werden und nur selten eine optimale Lösung gefunden wird. Diese Problemstellung wird im Rahmen des gestarteten Projekts adressiert.

Reinforcement Learning (RL) ist ein Ansatz des maschinellen Lernens, der es ermöglicht, durch das Training von Algorithmen komplexe Entscheidungsprobleme zu lösen. Der Ursprung von RL liegt im Erlernen von Spielen ohne dass der Algorithmus im Vorfeld Kenntnisse über die Spielregeln besitzt. Der Algorithmus erlernt das Spiel iterativ durch das Feedback, ob das Spiel gewonnen wurde oder nicht. Im Anschluss an das Training spielt der Algorithmus das Spiel häufig besser als ein Mensch und schlägt darüber hinaus bestehende Heuristiken.

Dieses Potenzial wird im Rahmen dieses Projekts erstmals für die Fabriklayoutplanung genutzt. In einem ersten Schritt werden die Anforderungen und Planungsziele in der Layoutplanung identifiziert. Die Anforderungen und Ziele werden anschließend für die Entwicklung des Algorithmus genutzt. Ein zentraler Bestandteil des Algorithmus ist eine Materialflusssimulation, die es er-

Die Einrichtung des Anwendungszentrums wird aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes Rheinland-Pfalz gefördert und dient zur Erforschung verschiedener additiver Fertigungsverfahren, welche von kunststoffbasierten Schmelzschichtverfahren über metallbasierte Pulverbettverfahren bis zum neuen HLA-Verfahren reichen.

Aufgrund der hohen Anschaffungskosten für die Anlagen sind die metallbasierten additiven Fertigungstechnologien derzeit für viele Unternehmen unzugänglich. Daher verfolgt das AAF zusätzlich das Ziel, kleinen und mittleren Unternehmen den Zugang zu diesen Technologien zu ermöglichen. Daher können interessierte Unternehmen im AAF Untersuchungen durchführen, um gemeinsam mit den Mitarbeitern des AAF etwaige Anwendungsfälle zu identifizieren, in denen mit Hilfe der neuen additiven Fertigungstechnologie technologische, ökonomische und/oder ökologische Vorteile erzielt werden können. Hierzu besteht im AAF die Möglichkeit, die komplette Prozesskette für solche firmenspezifischen Anwendungsfälle zu analysieren. Für die Analyse der einzelnen Prozessschritte steht diverse Messtechnik zur Verfügung. So kann beispielsweise mit Hilfe eines Pulvercharakterisierungsgeräts bereits das pulverförmige Ausgangsmaterial hinsichtlich der Partikelgröße und -form untersucht werden. Diese Pulverkennwerte spielen für den Prozess sowie die resultierenden Bauteileigenschaften eine entscheidende Rolle. Weiterhin können die Einflüsse der eingesetzten Prozessparameter anhand der Bauteilmikrostruktur und den mechanischen Eigenschaften der gefertigten Bauteile quantifiziert werden. Zudem kann die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen additiven Fertigungsprozesse auf Basis der Materialkosten, des Energieverbrauchs und der Prozessdauer bewertet und verglichen werden. In den Forschungsarbeiten des AAF wird aus den Untersuchungen eine Datenbank errichtet, welche alle relevanten Einflussgrößen und Prozessparameter bündelt, damit die Herstellung anwendungsspezifischer Bauteile durch eine schnelle Auswahl geeigneter additiver Fertigungsverfahren und Prozessparameter erleichtert wird.

Kontakt

M.Sc. Marc Schmidt
E-Mail: marc.schmidt@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 - 5483

Dipl.-Ing. Sebastian Greco
E-Mail: sebastian.greco@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 - 5938

möglicht, die Werte der Zielgrößen unter der Berücksichtigung dynamischer Einflussgrößen im Materialfluss zu bestimmen. Darüber hinaus wird eine Gewichtung der Zielgrößen angestrebt, wodurch eine anwenderbezogene Individualisierung des Layouts möglich ist. In einem zweiten Schritt werden die unterschiedlichen Algorithmen des RL untersucht. Hierbei werden die leistungsfähigsten Algorithmen implementiert und durch eine gezielte Parame-



Fabriklayout

tervariation in ihrer Leistungsfähigkeit optimiert. Durch einen Vergleich der Algorithmen wird anschließend der performanteste Ansatz bestimmt. Abschließend wird der entwickelte Algorithmus durch den Vergleich mit händisch durchgeführter Layoutplanung validiert. Zudem ist es für das Vertrauen in die entwickelte Lösung wichtig, dass ein Grundverständnis über den Lernprozess der Algorithmen besteht. Dieses wird in abschließenden Untersuchungen erforscht, indem beispielsweise Layouts während dem Lernprozess erzeugt werden, um das Lernverhalten während des Trainings besser zu verstehen.

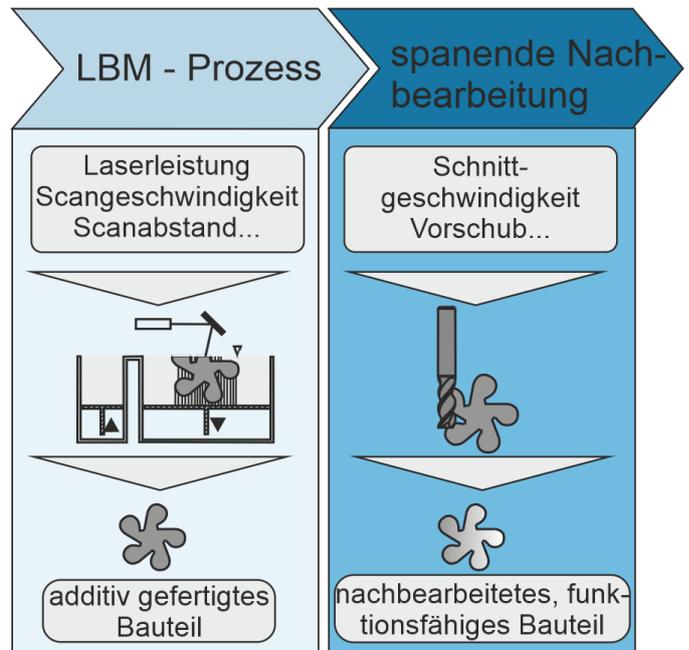
Kontakt

M.Sc. Matthias Klar | E-Mail: matthias.klar@mv.uni-kl.de | Telefon: 0631 205 - 5629

KSB Projekt erfolgreich in zweite Förderphase gestartet OptiAM – Untersuchung additiv-subtraktiver Prozessketten in der Fertigung

Additive Fertigungsverfahren bieten ein großes Potenzial für eine flexible und individualisierte Produktgestaltung. Für den industriellen Einsatz additiv gefertigter Bauteile reichen die Oberflächenqualität und Genauigkeit allerdings oft nicht aus. Um die Oberfläche zu verbessern, kann an die eigentliche additive Fertigung ein zerspanender Prozess angeschlossen werden. Durch den zusätzlichen Bearbeitungsschritt erhöht sich allerdings auch der Zeitbedarf für die Fertigung und die Vorteile der additiven Fertigung, wie die Möglichkeit, werkzeugunabhängig komplexe Teile in einem Fertigungsschritt herzustellen, werden relativiert. Um den Nachbearbeitungsprozess wirtschaftlich zu gestalten, wird der Fräsprozess in diesem Projekt auf einem High-Speed-Cutting (HSC-) Fräsbearbeitungszentrum durchgeführt. Mit einer HSC-Bearbeitung können kurze Bearbeitungszeiten, geringe Zerspankräfte und hohe Oberflächenqualitäten erreicht werden. Innerhalb des durch die KSB Stiftung geförderten Projekts „OptiAM“ wird die Prozesskette aus pulverbettbasierter additiver Fertigung und anschließender spanenden Endbearbeitung untersucht und optimiert. Dabei sollen auch die Wechselwirkungen innerhalb der Prozesskette untersucht werden, um eine reproduzierbare Fertigung zu ermöglichen.

Nachdem in der ersten Förderphase der additive Fertigungsprozess des Laserstrahl-Schmelzens (kurz LBM; auch „Selective Laser Melting (SLM)“ oder „Laser Powder Bed Fusion (L-PBF)“ genannt) untersucht wurde, wird in diesem Jahr die Zerspanbarkeit der additiv gefertigten Bauteile sowie die Wirtschaftlichkeit der gesamten Prozesskette betrachtet. In der ersten Phase wurde der Einfluss verschiedener Prozessparameter des Laserstrahl-Schmelzens auf die resultierenden Bauteileigenschaften analysiert. Ein kritischer Faktor der additiven Fertigung sind prozessbedingte Defekte, wie z.B. Poren, welche sich negativ auf das spätere Einsatzverhalten auswirken können. Im Rahmen des „OptiAM“-Projektes konnten die Prozessparameter so optimiert werden, dass ein reproduzierbarer Defektvolumenanteil von unter einem Prozent im späteren Bauteil erreicht wird. Für die geplante spanende Nachbearbeitung wurden auf Grundlage dieser Untersuchung zwei repräsentative Prozessparametersätze für die additive Fertigung ausgewählt. Aufgrund der unterschiedlichen Prozessparameter unterscheiden sich die Mikrostruktur und die mechanischen Eigenschaften dieser Bauteile voneinander. Neben dem Einfluss des Ausgangsmaterials soll der Einfluss der Ausrichtung der Bauteile auf der Bauplattform im Laserstrahlschmelzprozess



Additiv-subtraktive Prozesskette

auf die Zerspanung untersucht werden. Zur Optimierung der Prozesskette werden die Kosten (u.a. Werkzeug, Energie, Mitarbeiter) der einzelnen Prozesse betrachtet und mit den technologischen Erkenntnissen in einem globalen Modell zusammengefasst. Damit soll eine erfolgreiche Gestaltung der Prozesskette ermöglicht werden, um die Fertigung von Bauteilen mittels additiver und subtraktiver Prozessketten reproduzierbar und wirtschaftlich zu gestalten.

Kontakt

M.Sc. Johanna Steiner-Stark
E-Mail: johanna.steiner-stark@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 - 5763

DFG fördert Nachhaltigkeitsforschung

Projekt zur ökologischen Nachhaltigkeit technischer Produkt-Service Systeme gestartet

Kunden stellen immer höhere Anforderungen an die Produktivität, Qualität und Verfügbarkeit von Investitionsgütern. Um diese Anforderungen in einem kompetitiven Wettbewerbsumfeld zu erfüllen, bieten Investitionsgüterhersteller ihren Kunden längst nicht nur hochwertige Sachprodukte, sondern ganzheitliche Lösungskonzepte. Diese Lösungskonzepte werden auf die Herausforderungen der verschiedenen Branchen oder Kunden zugeschnitten. Dazu bilden Sachprodukte, zusammen mit kundenindividuellen Serviceleistungen (z.B. vorbeugende Wartung oder Instandsetzung bei Ausfällen), Produkt-Service Systeme zur Erfüllung der Kundenbedürfnisse. Die Kunden werden über den gesamten Lebenszyklus des technischen Kernproduktes durch die Serviceleistungen unterstützt.

Das Konzept der PSS wurde ursprünglich mit Blick auf eine nachhaltige Entwicklung erarbeitet. PSS haben das Potenzial, im Vergleich mit Sachprodukten einen bestimmten Nutzen mit geringeren Umweltauswirkungen zu erbringen. Durch vorbeugende Wartungsmaßnahmen können beispielsweise Ausfälle vermieden werden, die zur Produktion von Ersatzteilen und damit zu negativen Umweltauswirkungen geführt hätten. Von dieser ursprünglichen Prägung ausgehend wurde zudem das wirtschaftliche Potenzial von PSS eingehend untersucht, wodurch sich PSS erfolgreich in ihren jeweiligen Märkten positionieren konnten. In Folge der Entwicklung in Richtung einer Kreislaufwirtschaft und vor dem Hintergrund eines zunehmenden Umweltbewusstseins der Kunden rücken die ökologischen Aspekte wieder in den Fokus der PSS-Forschung.

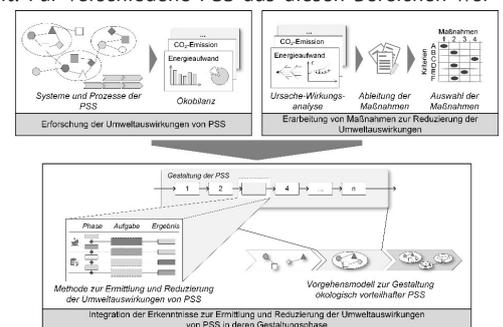
Im Projekt „Analyse und Sicherstellung der ökologischen Nachhaltigkeit technischer Produkt-Service Systeme in der frühen Gestaltungsphase – ÖkoPSS“, gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), wird dieser Fokus aufgegriffen. Ziel des Projekts ist die systematische Berücksichtigung von Aspekten der ökologischen Nachhaltigkeit im PSS-Entwicklungsprozess, was sich am Ökodesign orientiert. Ökodesign ist ein systematischer und umfassender Gestaltungsansatz für Produkte

und Dienstleistungen, um durch verbesserte Ausgestaltung Umweltbelastungen über den Lebenszyklus zu verringern.

Im Projekt werden zunächst anhand von Fallbeispielen aus der Nutzfahrzeug- und Maschinenbauindustrie die Umweltauswirkungen von technischen PSS untersucht. Für verschiedene PSS aus diesen Bereichen werden

Ökobilanzen erstellt. Dadurch können die Prozesse identifiziert werden, die bei der Realisierung von PSS die größten Umweltauswirkungen verursachen. Diese Prozesse bilden den Ansatzpunkt zur Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen zur Reduzierung der Umweltauswirkungen.

Verbesserungen sollten dabei vorrangig in den frühen Phasen des PSS-Lebenszyklus, den Planungs- und Entwicklungsphasen, ansetzen, da in diesen Phasen ein großer Teil der künftigen Umweltauswirkungen festgelegt werden. Die Verbesserungsmaßnahmen werden anschließend in ein allgemeingültiges Vorgehensmodell zum Ökodesign technischer PSS überführt und anhand weiterer Fallbeispiele validiert.

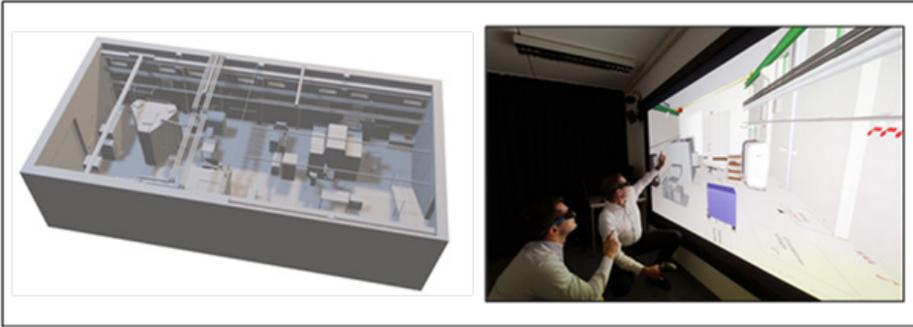


Projektstruktur ÖkoPSS

Kontakt

M.Sc. Max Werrel
E-Mail: max.werrel@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 - 4128

Planung des Anwendungszentrums für Additive Fertigung Fabrikplanung in der Virtuellen Realität



Links: Layout des AAF; Rechts: Planungsprozess in der VR

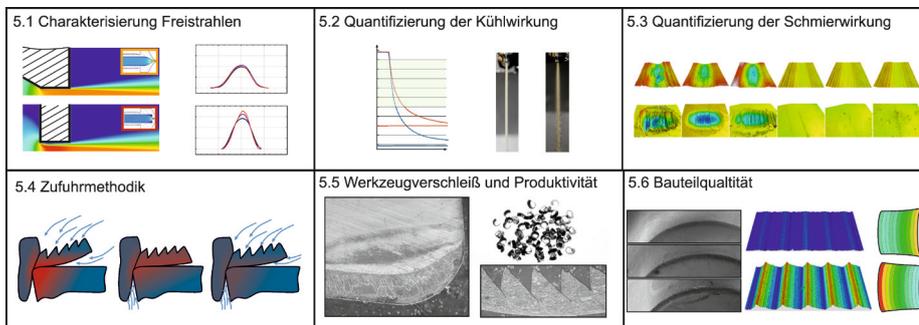
Fabrikplanung ist ein interdisziplinärer Prozess, bei dem Experten aus mehreren Disziplinen zusammenarbeiten, wie z.B. Architekten, Produktionsingenieure oder Gebäudetechnik-Experten. Verzögerungen in der Planung oder Planungsfehler führen hierbei zu erhöhten Kosten. Um dies zu vermeiden und die Komplexität der interdisziplinären Fabrikplanung zu beherrschen, werden vielfach digitale Planungswerkzeuge verwendet. Am FBK wird unter Nutzung einer hochmodernen Powerwall, einem System der projektionsbasierten Virtuellen Realität (VR), erforscht, wie Fabrikplanungsprozesse schneller und mit geringerer Fehleranfälligkeit durchgeführt werden können. Dies basiert insbesondere auf der Möglichkeit, das virtuelle Planungsob-

jekt gemeinsam interaktiv zu begehen und dabei mögliche Fehlerquellen zu identifizieren. Ein aktuelles Beispiel für eine derartige Anwendung ist die Planung des Anwendungszentrums Additive Fertigung (AAF) am FBK, bei dem Fragen der Layoutplanung mit Aspekten der Medienversorgung die Randbedingungen der Fabrikplanung bilden. Die Anordnung der Maschinen und deren Versorgung wurden vorab mittels VR geplant und damit die Planung im Vorfeld der eigentlichen Umsetzung abgesichert (siehe Abbildung).

Kontakt

M.Sc. Moritz Glatt
E-Mail: moritz.glatt@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 - 4068

Arbeitskreis „Sub-zero Kühlschmierstoffe“ im Online-Format fortgesetzt Erkenntnistransfer mit 13 Unternehmen aus der Zerspanungs- und Kühlschmierstoffindustrie



Diskutierte Themenschwerpunkte des Arbeitskreis-Treffens

Sub-zero Kühlschmierstoffe (KSS) ermöglichen eine effiziente Zerspanung von Hochleistungswerkstoffen. Der in diesem Kontext im Jahr 2019 eingerichtete Arbeitskreis wurde infolge der Corona-Pandemie im Dezember 2020 als digitale Veranstaltung fortgesetzt. Zur Optimierung der Leistungsfähigkeit des neuartigen Ansatzes wurden dabei phänomenologische Betrachtungen präsentiert, wie z.B. der Einfluss der Zufuhrmethodik des sub-zero KSS auf den Werkzeugverschleiß oder die Bauteilqualität. Ferner sind die Wirkmechanismen des sub-zero KSS auf den Zerspanungsprozess anhand von

strömungsmechanischen und tribologischen Untersuchungen erörtert worden. Gemeinsam wurden die daraus resultierenden Einflüsse auf die Kühl- und Schmierwirkung im Rahmen des Arbeitskreises diskutiert. Der nächste Arbeitskreis findet im Herbst 2021 statt und ist offen für weitere Teilnehmer.

Kontakt

Dipl. Ing. (FH) Stephan Basten
E-Mail: stephan.basten@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 - 3238

Neue Mitarbeitende



Jan Mertes arbeitet seit April als wissenschaftlicher Mitarbeiter am FBK. Der Schwerpunkt seiner Tätigkeit liegt im Bereich der Digitalen Technologien für Produktionssysteme.



Marco Hussong arbeitet seit Mai als wissenschaftlicher Mitarbeiter am FBK. Der Schwerpunkt seiner Tätigkeit liegt im Bereich der Digitalen Technologien für Produktionssysteme.

Ausgewählte Veröffentlichungen

J.C. Aurich, M. Schmidt, S. Greco, B. Kirsch: Neues Anwendungszentrum für Additive Fertigung. *VDI-Z Integrierte Produktion* 163/4 (2021): S. 63-65

F. J. P. Sousa, R. Hall, A. Souza, P. Langlotz, M. Glatt, J. C. Aurich: Fusion of physical principles and data-driven based models: An Industry 4.0 perspective for improving the polishing process of stoneware tiles. *Production Engineering-Research and Development* (2020).

S. Greco, S. Kieren-Ehse, B. Kirsch, J.C. Aurich: Micro milling of additively manufactured AISI 316L: impact of the layerwise microstructure on the process results. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 112 (2021): S. 361-373.

M. Glatt, P. Kölsch, C. Siedler, P. Langlotz, S. Ehmsen, J.C. Aurich: Edge-based Digital Twin to trace and ensure sustainability in cross-company production networks. *Procedia CIRP* 98 (2021): S. 276-281.

K. Klauer, M. Eifler, B. Kirsch, J. Seewig, J. C. Aurich: Micro milling of areal material measures – Study on surface generation for different up and down milling strategies. *Procedia CIRP 87 - Proceedings of the 5th CIRP Conference on Surface Integrity* (2020): S. 13-18.

S. Ehmsen, L. Yi, J.C. Aurich: Process Chain Analysis of Directed Energy Deposition: Energy flows and their influencing factors. *Procedia CIRP 98 - 28th CIRP Conference on Life Cycle Engineering* (2021): S. 607-612

T. Mayer, S. Kieren-Ehse, M. Heintz, B. Kirsch, J.C. Aurich: Manufacture of novel all-ceramic micro end mills. *Proceedings of the 20th euspen International Conference* (2020): S. 113-114.

T. Eickhoff, P. Sivasothy, P. Kölsch, J.C. Aurich, J. Seewig, J.C. Göbel: Realisierung verfügbarkeitsorientierter Geschäftsmodelle in der Investitionsgüterindustrie. *Dienstleistungsinnovationen durch Digitalisierung. Band 1: Geschäftsmodelle – Methoden – Umsetzungsbeispiele* (2020): S. 413-453.

H. Hotz, B. Kirsch, J.C. Aurich: Estimation of process forces when turning with varying chamfer angles at different feed rates. *Procedia CIRP* 88 (2020): S. 300-305.

Herausgeber

Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation
Prof. Dr.-Ing. Jan C. Aurich

Kontakt

Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation
Technische Universität Kaiserslautern
Postfach 3049
67653 Kaiserslautern

E-Mail: fbk@mv.uni-kl.de Tel.: 0631 205 - 2618
Internet: www.fbk-kl.de Fax: 0631 205 - 3238

Zu allen Veranstaltungen, Veröffentlichungen und Projekten erhalten Sie neben den angegebenen Quellen Informationen beim Herausgeber.

Der Infobrief ist auch in elektronischer Form als PDF-Datei über die Internet-Seiten des FBK erhältlich. Dort kann der Infobrief ebenfalls abonniert werden.

ISSN 1615-2492