

INFOBRIEF *Ausgabe 65/21*



Lehrstuhl für Fertigungstechnik und
Betriebsorganisation Kaiserslautern

In dieser Ausgabe:

BMBF-Projekt erfolgreich gestartet

Beherrschung von Zerspanprozessen durch transferierbare künstliche Intelligenz – Grundlage von Prozessverbesserungen und neue Geschäftsmodelle 2

BMBF-Projekt zur Unterstützung der Arbeitsplanung bei kleinen und mittleren Unternehmen gestartet

Unterstützung der Vorgangsfolgermittlung in der Arbeitsplanung durch maschinelles Lernen 2

Start in die 2. Förderphase im Schwerpunktprogramm „Oberflächenkonditionierung in Zerspanungsprozessen“ (SPP 2086)

In-Prozess-Schätzung der Randschichtzustände von 100Cr6 beim kryogenen Hartdrehen durch Entwicklung eines Softsensors 3

RLP Projekt erfolgreich gestartet

Nutzung von Quanten-Annealing zur Reihenfolgeplanung in produzierenden Unternehmen 3

Nutzbarmachung der Vorteile von 5G in der Produktion

5G-Netz am FBK in Betrieb gegangen 4

Richtkranz gehisst

Rohbau des Forschungsgebäudes LPME ist fertiggestellt 4

Neue Mitarbeitende 4

Ausgewählte Veröffentlichungen 4

Beherrschung von Zerspanprozessen durch transferierbare künstliche Intelligenz – Grundlage von Prozessverbesserungen und neue Geschäftsmodelle

Die Produktionskosten eines spanend erzeugten Bauteils werden maßgeblich durch das Zeitspanvolumen und den Werkzeugverschleiß bestimmt. Infolge von Verschleiß kann es neben Abweichungen von den geforderten Toleranzen zu einer verstärkten Gratbildung und zu einer Beeinflussung der metallurgischen und mechanischen Eigenschaften der Werkstückrandzone kommen. Um dies zu vermeiden, werden Werkzeuge in der industriellen Praxis häufig vorsorglich deutlich vor Erreichen des Verschleißkriteriums ausgetauscht. Durch das somit verschwendete Standzeitpotenzial ergeben sich höhere Rüstzeiten sowie höhere Werkzeugkosten.

Eine sichere Vorhersage des Verschleißfortschritts während Zerspanprozessen sowie dessen Einfluss auf das Prozessergebnis ist aufgrund zahlreicher Einflussfaktoren und deren Wechselwirkungen eine komplexe sowie zeitintensive Aufgabe. Methoden des maschinellen Lernens (ML), ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz, stellen eine Möglichkeit dar, diese Herausforderung zu bewältigen. Das ML beschreibt Systeme, die in der Lage sind, eigenes Wissen durch das Erkennen von Mustern in Daten zu generieren. ML bietet daher das Potenzial, Wirkzusammenhänge zwischen dem Verschleißfortschritt, der Werkstückqualität und den Prozessgrößen bei der Zerspaltung prognostizieren zu können. Bestehende ML-Ansätze zur Prozessüberwachung und Verschleißoptimierung sind häufig nur für spezifische Anwendungen, meist unter Laborbedingungen, ausgelegt. Die Übertragbarkeit dieser Modelle auf reale und veränderliche Zerspanprozesse ist mit aktuell verfügbaren Methoden in der Regel nicht realisierbar. Der Einsatz des „Transfer Learning“ (TL) adressiert diese Problemstellung. TL beschreibt die Entwicklung von Methoden, die das Lernen einer Zielaufgabe durch einen Transfer von gelerntem Wissen aus einer oder mehrerer Ursprungsaufgaben erleichtert. Somit kann Wissen von verwandten, bereits gelernten Aufgaben genutzt werden, um ML-Modelle schneller für neue Aufgaben bzw. Anwendungsszenarien trainieren zu können.

Das geschilderte Vorgehen wird im Rahmen des im Juli 2021 gestarteten Verbundprojekts „TransKI“ verfolgt. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Fördermaßnahme „Lernende Produktion - Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI) in der Produktion (ProLern)“ finanziert. An dem Projekt wirken neben dem FBK sechs weitere Projektpartner (botek Präzisionsbohrtechnik GmbH, Empolis Information Management GmbH, Hartmetall-Werkzeugfabrik Paul Horn GmbH, Institut für Werkzeugmaschinen (IfW), K.-H. Müller Präzisionswerkzeuge GmbH, Ro-

bert Bosch GmbH) mit. Ziel ist es, Zerspanprozesse durch transferierbare KI zu beherrschen.

In der ersten Projektphase geht es vorrangig um die Bildung von ML-Basismodellen auf Grundlage von erfassten Daten. Die benötigten Daten werden im Rahmen von Fräs- und Bohrversuchen bei allen Projektpartnern gewonnen. Die Experimente werden anhand definierter Versuchspläne durchgeführt, welche auf Basis einer Analyse relevanter Anwendungsfälle des Konsortiums definiert wurden. Dabei stehen insbesondere die Wirkzusammenhänge der Prozessgrößen im Hinblick auf den Werkzeugverschleiß im Vordergrund. Das durch die Versuchsauswertung gewonnene Wissen wird für die Datenaufbereitung und die ML-Methodenwahl genutzt. Die ML-Modelle werden trainiert und ihre Performance in einem iterativen Vorgehen optimiert.

Die zweite Projektphase befasst sich mit der Untersuchung der Transferierbarkeit. Die bereits vortrainierten ML-Basismodelle werden auf neue Anwendungsszenarien transferiert, indem die Basismodelle auf die neuen Daten nachtrainiert werden. Durch den Transfer können bereits gelernte Zusammenhänge innerhalb der Basismodelle genutzt werden, um den Trainingsaufwand des Transfermodells deutlich zu reduzieren. Die Erkenntnisse aus den TL-Untersuchungen werden an die Datenaufbereitung sowie die Generierung der Basismodelle zurückgeführt.

Die beiden vorherigen Projektphasen bilden die Grundlage für die Nutzbarmachung. Zunächst wird, basierend auf den entwickelten ML-Modellen, eine Prozessvorsteuerung entwickelt. Diese ermöglicht eine frühzeitige Verschleißdetektion, womit die Prozessparameter an die vorliegende Situation angepasst werden können. Schließlich wird die Prozessvorsteuerung in verschiedenen Validierungsszenarien erprobt und in Form eines digitalen Assistenzsystems implementiert. Im Rahmen der Nutzbarmachung werden außerdem die Erkenntnisse des Forschungsvorhabens in Form von zu entwickelnden, innovativen Geschäftsmodellen für die beteiligten Unternehmen erschlossen. Die allgemeine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Branchen und Anwendungsfälle wird durch die Entwicklung eines Vorgehensmodells gewährleistet.

Kontakt

M.Sc. Peter Simon

E-Mail: peter.simon@mv.uni-kl.de

Telefon: 0631 205 - 4210

Dipl.-Ing. Daniel Müller

E-Mail: daniel.mueller@mv.uni-kl.de

Telefon: 0631 205 - 3385

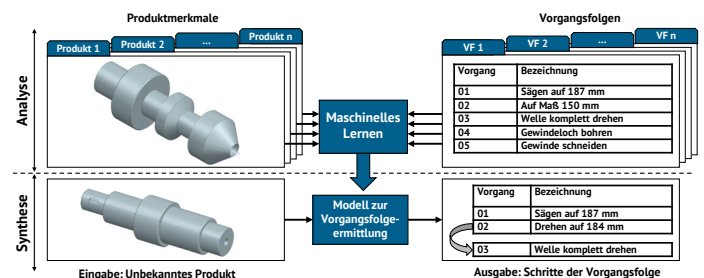
BMBF-Projekt zur Unterstützung der Arbeitsplanung bei kleinen und mittleren Unternehmen gestartet

Unterstützung der Vorgangsfolgeermittlung in der Arbeitsplanung durch maschinelles Lernen

Die Aufgabe der Arbeitsplanung umfasst die Planung aller Herstellprozesse für ein Produkt, um dieses schrittweise vom Roh- in den Fertigzustand zu überführen. Dabei beschreibt der Arbeitsplan, ausgehend von der Produktbeschreibung, das Rohmaterial, die Abfolge der Fertigungsvorgänge, die Fertigungsmittel sowie die Vorgabezeiten. Immer kürzer werdende Produktlebenszyklen und der Trend zu kundenindividuellen Produkten steigern den Aufwand der Arbeitsplanung im industriellen Umfeld besonders in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Vor diesem Hintergrund bietet eine Unterstützung der Arbeitsplanung durch computergestützte Systeme (engl. Computer Aided Process Planning, CAPP) hohe Einsparpotenziale. Bisherige CAPP-Systeme bieten zwar eine Unterstützung während der Arbeitsplanung, bei der Nutzung von Wissen aus bereits erstellten Arbeitsplänen durch die CAPP-Systeme besteht jedoch noch Verbesserungspotenzial. Die unzureichende Nutzung des Wissens in den CAPP-Systemen hat zur Folge, dass häufig manuelle Eingriffe erforderlich sind. Dies gilt vor allem für die Ermittlung der Vorgangsfolge, da diese Aufgabe Wissen erfordert, das schwierig formal zu spezifizieren ist. Eine Möglichkeit zur Formalisierung des Wissens aus bestehenden Arbeitsplänen ermöglichen maschinelle Lernalgorithmen, die das Wissen durch Training extrahieren und über Vorhersagen nutzbar machen.

Das Ziel des Vorhabens ist die Vorhersage von Schritten der Vorgangsfolge durch maschinelle Lernalgorithmen zur Reduktion des Arbeitsplanungsaufwands. Zum Erreichen dieses Ziels wird im ersten Schritt ein Konzept zur Ableitung von Vorgangsfolgen aus Daten der Produktentwicklung entwickelt. Anschließend wird die Menge, Struktur und Qualität der zur Verfügung stehenden Daten erfasst, um danach geeignete Maßnahmen zur Datenaufbereitung durchführen zu können. Nach der Aufbereitung der Daten werden innerhalb eines dreistufigen Prozesses maschinelle Lernmodelle entwickelt, welche die Vorhersage valider Vorgangsfolgeschritte ermöglichen. Diese maschinellen Lernmodelle werden danach in einen Softwaredemonstrator integriert, der über eine Benutzeroberfläche eine Interaktion des Fertigungs-

mitarbeiters mit dem System erlaubt. Dieser Softwaredemonstrator wird im Produktionsumfeld der Kooperationspartner pilothaft angewandt und validiert. Dazu wird ein Testkonzept zur Bewertung der Praxistauglichkeit des Demonstrators aufgestellt und in Form einer Nutzerstudie umgesetzt.



Skizzierung des Projektinhalts von VorPlanML

Die Bearbeitung des Projekts erfolgt innerhalb eines Konsortiums, welchem neben dem FBK und der Arbeitsgruppe ML auch die Unternehmen der up2parts GmbH, der KWS Kölle GmbH, sowie die assoziierten Partner der Lauischer Präzisionstechnik GmbH und der Wagner Maschinenbau GmbH angehören.

Das Vorhaben VorPlanML (FKZ: 01 IS 21 0 10) wird im Rahmen des Programms „Erforschung, Entwicklung und Nutzung von Methoden der Künstlichen Intelligenz in KMU“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Kontakt

M.Sc. Marco Hussong | E-Mail: marco.hussong@mv.uni-kl.de

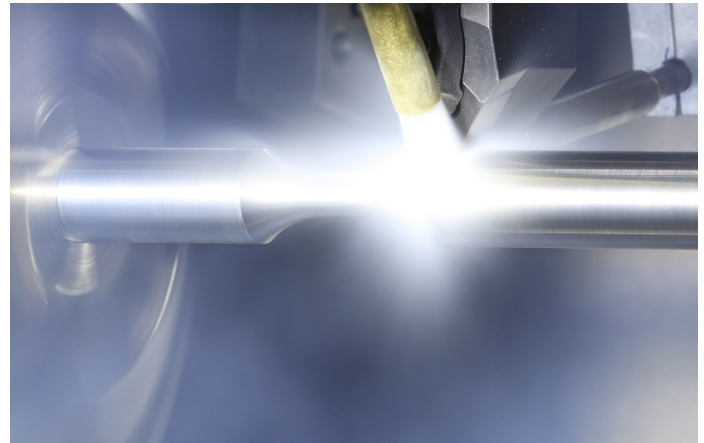
Telefon: 0631 205 - 4305

Start in die 2. Förderphase im Schwerpunktprogramm „Oberflächenkonditionierung in Zerspanungsprozessen“ (SPP 2086) In-Prozess-Schätzung der Randschichtzustände von 100Cr6 beim kryogenen Hartdrehen durch Entwicklung eines Softensors

Bei der Fertigung eines Bauteils hat jeder Prozessschritt einen Einfluss auf dessen Werkstoffeigenschaften. Dies gilt insbesondere für die Randschichtzustände des Bauteils nach einer spanenden Bearbeitung. Aufgrund einer üblicherweise großen Streuung der resultierenden Randschichteigenschaften (z.B. Mikrohärtigkeit, Eigenspannungen) ist es daher zielführend, diese durch eine Regelung der Prozessparameter einzustellen. Im SPP 2086 werden durch kryogenes Hartdrehen von 100Cr6 Randschichtzustände mittels dieses methodischen Vorgehens gezielt eingestellt.

In der ersten Förderphase des Projekts wurden Methoden zur wissenschaftsbasierten Prozessregelung untersucht, die sich zur Oberflächenkonditionierung beim kryogenen Hartdrehen von vergütetem 100Cr6-Stahl eignen. Dafür wurden Einflussgrößen und Zusammenhänge zwischen Prozessparametern und resultierenden Randschichteigenschaften untersucht und identifiziert. Neben dem Einfluss der verschiedenen Prozessparameter wurden auftretende Störgrößen, wie z.B. Werkzeugverschleiß, durch eine Prozessregelung kompensiert. Dafür wurden Prozessmodelle für den Einsatz in einem Softsensor (virtueller Sensor) erarbeitet, der die Wirkkette zwischen Prozesseingangsgrößen, In-Prozess-Messgrößen und dem resultierenden Randschichtzustand beschreibt. So können die Randschichtzustände mithilfe der Prozesseingangsgrößen und der In-Prozess-Messgrößen (z.B. Prozesskräfte, Werkzeugtemperatur, Verschleißmarkenbreite) geschätzt werden. Durch die Zusammenarbeit zwischen dem FBK, dem Lehrstuhl für Werkstoffkunde (WKK) und dem Lehrstuhl für Messtechnik und Sensorik (MTS) werden im Projekt sowohl fertigungstechnische als auch werkstofftechnische als auch messtechnische Fragestellungen adressiert.

Die zweite Förderphase des SPP 2086 beschäftigt sich mit der Validierung der im ersten Teil erarbeiteten Zusammenhänge und Modelle. Außerdem wird der begrenzte Prozessparameterbereich aus der ersten Förderperiode erweitert, um alle Parametereinflüsse zu charakterisieren, denn mit variierenden Prozessgrößen kann sich der Spanbildungsprozess wesentlich ändern. Zudem werden die angewandten Messverfahren entsprechend der Randschichtcharakterisierung weiter optimiert. Ergänzend wird das 3MA-Verfahren (= Mikromagnetische Multiparameter-, Mikrostruktur- und Spannungs-Analyse) angewendet, welches zusätzliche Schätzparameter



Kryogenes Drehen einer Ermüdungsprobe

für die Randschichtzustände (z.B. Eigenspannungen) liefert. Diese Messung erfolgt zerstörungsfrei und in-Prozess. Um eine verbesserte Schätzung des Werkzeugverschleißes sicherzustellen, wird die Messtechnik bezüglich akustischer Sensoren erweitert. Seitens des WKK werden besonders die möglichen Interaktionen zwischen den Randschichtzuständen einzelner Schnitte charakterisiert und der Einfluss auf die Ermüdungseigenschaften erforscht. Am MTS wird in der 2. Förderperiode der Softsensor vollständig automatisiert und dessen Güte ermittelt. Der FBK untersucht den Verschleiß mittels Akustik, bestimmt die Prozessparameter im Versuchsraum und verantwortet die Durchführung, Überwachung und Prozessregelung aller zugrundeliegenden Drehversuche.

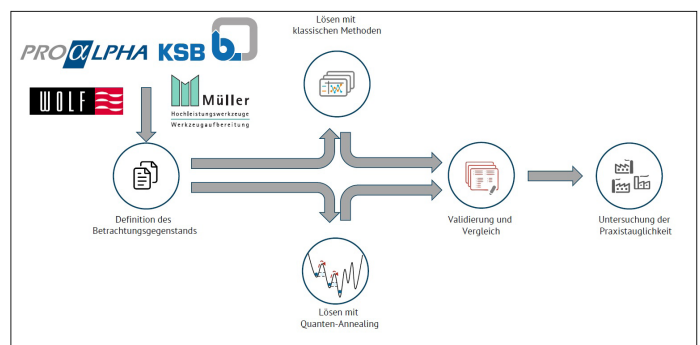
Kontakt

M.Sc. Felix Grossmann
E-Mail: felix.grossmann@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 - 3387

RLP Projekt erfolgreich gestartet

Nutzung von Quanten-Annealing zur Reihenfolgeplanung in produzierenden Unternehmen

Das Konzept der Industrie 4.0 ist eng verknüpft mit der Zielsetzung einer wirtschaftlichen und flexiblen Produktion kundenindividueller Produkte in kleinen Losgrößen. Hieraus ergibt sich für die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) die Anforderung, auf variable Auftragssteuerungen oder Maschinenausfälle mit einer flexiblen Umplanung zu reagieren. Essenzieller Aspekt der PPS in diesem Kontext ist die Reihenfolgeplanung, deren Aufgabe die Festlegung der zeitlichen Bearbeitungsreihenfolge von Aufträgen ist. Ziel ist dabei, eine Anzahl an Aufträgen derart den zur Verfügung stehenden Ressourcen zuzuordnen, dass beispielsweise eine möglichst geringe Gesamtbearbeitungszeit aller Aufträge oder eine maximale Maschinenauslastung erreicht wird. Folglich handelt es sich bei Reihenfolgeplanungsproblemen (engl.: Job Shop Scheduling Problem (JSSP)) um Optimierungsprobleme, die mit verschiedenen rechnergestützten Verfahren gelöst werden können. Aktuell werden JSSP mit approximierenden Verfahren, sogenannten Metaheuristiken, gelöst. Diese finden jedoch zumeist nur dem Optimum nahe Lösungen und die notwendige Rechendauer nimmt bei einer steigenden Anzahl an Aufträgen und Maschinen exponentiell zu, wodurch eine zeitnahe Umplanung nur bedingt möglich ist. Ebenso ist eine exakte Lösung von JSSP bei industriellen Problemdimensionen nicht möglich, da solche komplexen Probleme eine zu große Rechenzeit benötigen. Entwicklungen im Bereich des Quanten-Annealings (QA) weisen vor diesem Hintergrund Anwendungspotenziale auf. QA bezeichnet eine Technologie, die quantenmechanische Effekte nutzt, um Optimierungsprobleme effizient zu lösen. Quanten-Annealer gehören zu der Klasse der Quantencomputer, nehmen jedoch innerhalb der Quantentechnologien aufgrund ihrer Anwendungsreife eine hervorgehobene Stellung ein. Im Gegensatz zum universellen Quantencomputer gibt es bereits einsatzfähige Quanten-Annealer auf dem Markt, welche sich für die Berechnung von Optimierungsproblemen industrieller Größenordnung eignen. Ein weiteres Potenzial besteht durch die Verfügbarkeit cloudbasierter QA-Dienste, die eine Investition in firmeneigene QA-Hardware überflüssig macht und eine praxisnahe Nutzung in der Produktion begünstigt.



Projektvorgehen

Im Projekt „Nutzung von Quanten-Annealing zur Reihenfolgeplanung in produzierenden Unternehmen“ wird eine industrielle Nutzbarkeit des QA untersucht. Ziel des Projekts ist ein praxisorientierter Handlungsleitfaden zur Erschließung des QA für industrielle JSSP. Außerdem wird ein Softwaredemostrator zur Erprobung von QA in der Industrie entwickelt. Hierzu werden zunächst zusammen mit einem projektbegleitenden Ausschuss, bestehend aus mehreren Industriepartnern, praxisnahe Anwendungsszenarien für die Reihenfolgeplanung erarbeitet. Diese bilden die Basis für den Vergleich von QA mit aktuellen Heuristiken. Aufbauend auf den Erkenntnissen wird eine QA-Softwareumgebung geschaffen, die es ermöglicht, JSSP, mittels QA zu lösen. Diese wird anhand der Anwendungsszenarien validiert und schließlich die Praxistauglichkeit einer industriellen Nutzung von QA bewertet.

Kontakt

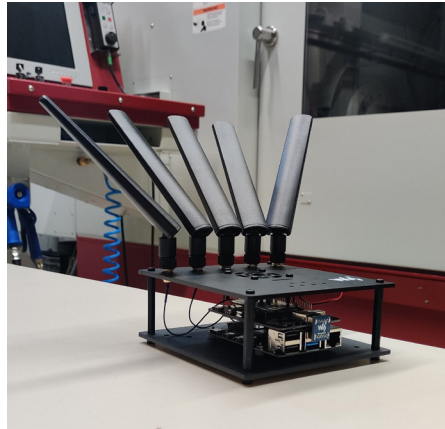
M.Sc. Philipp Schworm
E-Mail: philipp.schworm@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 - 4066

Nutzbarmachung der Vorteile von 5G in der Produktion

5G-Netz am FBK in Betrieb gegangen

Der Mobilfunkstandard 5G ermöglicht sehr geringe Latenzen, hohe Datenraten und eine Vielzahl simultaner Endgerätverbindungen bei einer sehr guten Verbindungsreliabilität. Somit kann 5G die Basis für die Kommunikation zwischen verschiedenen Entitäten und Ebenen innerhalb des gesamten Unternehmens bilden. Dadurch lässt sich die derzeitige Heterogenität der verwendeten Kommunikationstechnologien (WLAN, LAN, BUS, etc.) und der damit einhergehende hohe Einrichtungs- und Wartungsaufwand reduzieren.

Durch das am FBK in Betrieb gegangene, insbesondere hinsichtlich geringer Latenz optimierte 5G-Netz wird derzeit das Anwendungspotenzial von 5G im Produktionsumfeld untersucht. Der Schwerpunkt liegt auf der kabellosen Steuerung von Maschinen und der Entwicklung eines mobilen Augmented-Reality-Systems. Hierdurch soll die Skalierbarkeit aufgrund der Auslagerung benötigter Rechenressourcen, die damit einhergehende Flexibilität der Produktion sowie die Synergieeffekte einer standardisierten Kommunikationsarchitektur erforscht werden.



5G-Erweiterungsmodul für Produktionsanwendungen

Kontakt

M.Sc. Jan Mertes
E-Mail: jan.mertes@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 - 4306

Richtkranz gehisst

Rohbau des Forschungsgebäudes LPME ist fertiggestellt

Rund 15 Monate nach dem Spatenstich ist der Rohbau des Forschungsneubaus Laboratory for Ultra-Precision and Micro-Engineering (LPME) fertiggestellt. In dem dreigeschoßigen Neubau mit einer Gesamtfläche von rund 6.500 qm werden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Fachgebieten Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Physik und Informatik gemeinsam im Themenfeld der Ultrapräzisions- und Mikrotechnologien forschen. Diese Technologien bilden einen langjährigen und international renommierten Themenschwerpunkt am FBK. Das neue Forschungsgebäude wird voraussichtlich im Frühjahr 2023 bezugsfertig sein.



(v.l.n.r.) Dr. Michael Meister, parlamentarischer Staatssekretär Bundesministerin für Bildung & Forschung, Wissenschaftsminister Clemens Hoch, TUK Präsident Prof. Dr. Arnd Poetzsch-Heffter, Finanz- und Bauministerin Doris Ahnen, LPME-Sprecher Prof. Dr.-Ing. Jan C. Aurich, Norbert Höbel, Leiter LBB-Niederlassung Kaiserslautern. Foto: LBB/ Reiner Voß, view

Kontakt

Dr.-Ing. Marco Zimmermann
E-Mail: marco.zimmermann@mv.uni-kl.de
Telefon: 0631 205 - 2872

Neue Mitarbeitende



Peter Simon arbeitet seit Juni als wissenschaftlicher Mitarbeiter am FBK. Der Schwerpunkt seiner Tätigkeit liegt im Bereich der Digitalen Technologien für Produktionssysteme.



Philipp Schworm arbeitet seit Juni als wissenschaftlicher Mitarbeiter am FBK. Der Schwerpunkt seiner Tätigkeit liegt im Bereich der Digitalen Technologien für Produktionssysteme.



Jacques Platz arbeitet seit Juni als wissenschaftlicher Mitarbeiter am FBK. Der Schwerpunkt seiner Tätigkeit liegt im Bereich der additiven Fertigung und Zerspanung.

Ausgewählte Veröffentlichungen

M. Glatt, C. Sinnwell, L. Yi, S. Donohoe, B. Ravani, J.C. Aurich: Modeling and implementation of a digital twin of material flows based on physics simulation. *Journal of Manufacturing Systems* 58/2 (2021): S. 231-245.

J. Hartig, B. Kirsch, J.C. Aurich: Machining austempered ductile iron – impact of the cutting edge geometry on tool wear and surface quality. *The International Journal of Machining and Machinability of Materials* 23/3 (2021): S. 258-280.

L. Yi, S. Ehmsen, M. Glatt, J.C. Aurich: Modeling and software implementation of manufacturing costs in additive manufacturing. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 33 (2021): S. 380-388.

S. Greco, K. Klauer, B. Kirsch, J.C. Aurich: Vibration-assisted micro milling of AISI 316L produced by laser-based powder bed fusion. *Journal of Manufacturing Processes* 71 (2021): S. 298-305.

M. Klar, M. Glatt, J.C. Aurich: An implementation of a reinforcement learning based algorithm for factory layout planning. *Journal of Manufacturing Letters* 30 (2021): S. 1-4.

B. Kirsch, H. Hasse, J.C. Aurich: Sub-zero metalworking fluids for high performance cutting of difficult to cut materials. *Procedia CIRP* 101 – Proceedings of the 9th CIRP Conference on High Performance Cutting (2021): S. 342-345.

J.E. Jonsson, M.R. Hill, C.R. Chighizola, C.R. D'Elia, B.S. Linke, D. Weber, B. Kirsch, J.C. Aurich: Milling-Induced Residual Stress and Distortion Under Variations of Bulk Residual Stress. *Proceedings of the 31st ASM Heat Treating Society Conference* (2021): S. 96-99.

D. Müller, A. Lange, B. Kirsch, J.C. Aurich: Tool lifetime when drilling Inconel 718 in dependence of the cooling channel design – Influence of the clearance angle, the channel diameter, number, and shape. *Procedia CIRP* 101 – Proceedings of the 9th CIRP Conference on High Performance Cutting (2021): S. 278-281.

K. Gutzeit, S. Basten, B. Kirsch, J.C. Aurich: Verschleißuntersuchungen bei der kryogenen Zerspanung von Ti-6Al-4V. *ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 116/9 (2021): S. 599-602.

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