



Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät



Lehrstuhl für Ressourcen- und
Energieeffiziente Produktionsmaschinen

Jahresbericht 2023



FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
Department Maschinenbau
Lehrstuhl für Ressourcen- und Energieeffiziente Produktionsmaschinen

Inhalt

Vorwort	2
Mitarbeitende	3
Lehre	5
1.1 Lehrveranstaltungen im Wintersemester 2022/2023	5
1.2 Lehrveranstaltungen im Sommersemester 2023	5
1.3 Abgeschlossene wissenschaftliche Arbeiten	7
Forschungsprojekte	9
Veröffentlichungen 2023	18
Sonstiges	19

Vorwort

Nachdem 2022 uns mit großen Herausforderungen konfrontiert hat, sind diese leider in 2023 nicht einfach verschwunden. Neue Konflikte und Spannungen sind dazu gekommen, die uns als Gesellschaft bereits jetzt und in Zukunft fordern werden und der Klimawandel ist leider immer noch da. Motivation und Mut für die Zukunft lässt sich daraus schöpfen, was man erreicht hat und welche Ziele man sich setzt. Vor diesem Hintergrund möchte ich hier mit Ihnen das vergangene Jahr am Lehrstuhl für Ressourcen- und Energieeffiziente Produktionsmaschinen reflektieren und nach vorne schauen.

Im Jahr 2023 konnten wir uns erfreulicherweise wieder personell verstärken. Zum 1. April durften wir Kai Zhang und zum 1. Juni Simon Sauer als Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Ressourceneffiziente Produktionssysteme begrüßen. Das freut uns natürlich sehr! Weiterhin haben uns Miriam Eichinger, Jacqueline Blasl und Dr. Daniel Gross verlassen, um spannende Aufgaben in der Industrie und Forschung wahrzunehmen. Dazu wünschen wir viel Erfolg und freuen uns, in Kontakt zu bleiben.

Die Initiierung und Durchführung von innovativen Forschungsprojekten gehört zu unseren Kernaufgaben. So konnten wir in 2023 unser bisher größtes Forschungsprojekt „Digitale Sharing Plattform für das Nachhaltigkeitsmanagement“ mit zahlreichen industriellen Projektpartnern starten. Als neue Projekte konnten wir „ProKos – Prozessentwicklung zum Koordinatenschleifen sprödharter Werkstoffe“ (IGF Förderung) und „CoolFlex4sustainability – Nachhaltigkeit von Kühlschmierstrategien durch medienflexible Spindeln“ (ZIM Förderung) beantragen und die Projektarbeit beginnen. Die Projekte stellen eine konsequente Weiterentwicklung unserer Aktivitäten im Bereich nachhaltiger Kühlschmierstrategien dar.

Das Jahr 2023 war in Deutschland mit einer mittleren Jahrestemperatur von 10,6 Grad das wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881, so der Deutsche Wetterdienst. Für uns bedeutet das, dass die Adressierung der Herausforderungen durch den Klimawandel auch in 2024 und darüber hinaus einen Schwerpunkt unserer Forschungsaktivitäten bilden müssen. Weiterhin kann eine ubiquitäre Verfügbarkeit von Ressourcen für die industrielle Produktion aufgrund von geänderten geopolitischen Rahmenbedingungen und endlichen Ressourcen nicht länger vorausgesetzt werden. Die Weiterentwicklung nachhaltiger Produktionsprozesse kann einen signifikanten Beitrag leisten, diese beiden Herausforderungen zu meistern und so langfristig Innovation und industrielle Produktion am Standort Deutschland zu sichern. Dazu werden wir die Vernetzung mit Forschungspartnern der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und anderen Instituten und Universitäten aber natürlich insbesondere mit der Industrie intensivieren.

Vielen Dank an dieser Stelle an das Lehrstuhlteam! In 2023 haben wir gemeinsam neue spannende Forschungsinitiativen und –projekte gestartet, junge Menschen im Rahmen von Vorlesungen, Übungen und studentischen Arbeiten ausgebildet und einen intensiven Kontakt zur Industrie gepflegt. Ein herzliches Dankeschön geht natürlich auch an die administrative und technische Unterstützung des Lehrstuhlbetriebs wie bei der Abwicklung von Forschungsprojekten, der Durchführung von Versuchsreihen und der Gewährleistung der Arbeitssicherheit an unserem Institut. Nicht zuletzt gebührt ein großer Dank unseren Projektpartnern aus der Industrie, mit denen wir neue Ideen zu spannenden Forschungsprojekten weiterentwickeln konnten.

Auch 2024 wird ein herausforderndes und spannendes Jahr werden. Ich wünsche Ihnen allen dabei viel Erfolg und Glück, beruflich wie privat. Ich freue mich auf unsere weitere gemeinsame Zusammenarbeit.

Herzlichst



Mitarbeitende

Lehrstuhlinhaber

Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt. Ing. Nico Hanenkamp

Wissenschaftliche Mitarbeiter

Mohammed Bani-Hani, M. Sc.

Jacqueline Blasl, M. Sc. (bis 31.07.2023)

Cosimo Di Cecca, MBA

Miriam Eichinger, M. Sc. (bis 30.06.2023)

Dr.-Ing. Daniel Gross (bis 30.11.2023)

Trixi Meier, M. Sc.

Simon Sauer, M. Sc.

Jan Selzam, M. Sc.

Hubert Würschinger, M. Sc.

Kai Zhang, M. Sc.

Nichtwissenschaftliche Mitarbeiter

Martina Konein

Mario Stange

Stefan Ziehr



Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt. Ing.
Nico Hanenkamp



Mohammed Bani-Hani,
M. Sc.



Jacqueline Blasl, M. Sc.



Cosimo Di Cecca, MBA



Miriam Eichinger, M. Sc.



Dr.-Ing. Daniel Gross



Martina Konein



Trixi Meier, M. Sc.



Simon Sauer, M. Sc.



Jan Selzam, M. Sc.



Mario Stange



Hubert Würschinger, M. Sc.



Kai Zhang, M. Sc.



Stefan Ziehr

Lehre

1.1 Lehrveranstaltungen im Wintersemester 2022/2023

Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt. Ing. Nico Hanenkamp

- Bearbeitungssystem Werkzeugmaschine (WZM)
- Effizienz im Fabrikbetrieb und operative Exzellenz (OPEX)
- Production Technology (PT2)
- Hauptseminar Ressourcen- und Energieeffiziente Produktionsmaschinen (HS REP)

M. Sc. Miriam Eichinger

- Advanced Seminar on International & Sustainable Production (ASISP)
- Fertigungstechnisches Praktikum 1 + 2 (FTP)

M. Sc. Jacqueline Blasl

- Bearbeitungssystem Werkzeugmaschine (WZM) – Übung
- Fertigungstechnisches Praktikum 1 + 2 (FTP)

M.Sc. Trixi Meier

- Fertigungstechnisches Praktikum 1 + 2 (FTP)

Dr.-Ing. Daniel Gross

- Production Technology 2 Exercises

M. Sc. Mohammad Bani Hani

- Effizienz im Fabrikbetrieb und operative Exzellenz (OPEX) – Übung

M. Sc. Hubert Würschinger

- Praktikum Ressourceneffiziente Produktion
- Praktische Einführung in Machine Learning

1.2 Lehrveranstaltungen im Sommersemester 2023

Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt. Ing. Nico Hanenkamp

- Effizienz im Fabrikbetrieb und operative Exzellenz (OPEX)
- Produktionsprozesse der Zerspanung (ProdZ)
- Produktionstechnik II
- Ressourceneffiziente Produktionssysteme (REPs)
- Hauptseminar Ressourcen- und Energieeffiziente Produktionsmaschinen (HS REP)
- Nachhaltige Produktion

M. Sc. Miriam Eichinger

- Advanced Seminar on International & Sustainable Production (ASISP)
- Fertigungstechnisches Praktikum 1 + 2 (FTP)

M. Sc. Trixi Meier

- Produktionsprozesse der Zerspanung (ProdZ) – Übung
- Strategisches Kühlschmierstoffmanagement – Seminar
- Fertigungstechnisches Praktikum 1 + 2 (FTP)

M. Sc. Mohammad Bani Hani

- Effizienz im Fabrikbetrieb und operative Exzellenz (OPEX) – Übung

M. Sc. Simon Sauer / Dr.-Ing. Daniel Gross

- Produktionstechnik II – Tutorium

M. Sc. Jan Selzam

- Praktikum Ressourceneffiziente Produktion
- Ressourceneffiziente Produktionssysteme - Übung

M. Sc. Alessandro-Cosimo Di Cecca

- Nachhaltige Produktion

1.3 Abgeschlossene wissenschaftliche Arbeiten

Bachelorarbeiten

Name	Thema
Edenhofer, Thimo	Optimierung der prozesssicheren Maschinenintegration eines einkanaligen Versorgungssystems für die Zerspanung mit kryogener Minimalmengenschmierung

Projektarbeiten

Name	Thema
Bauernfeind, Gabriel	Entwicklung und Umsetzung eines hybriden Schulkonzepts für strategisches Kühlschmierstoffmanagement in der Produktionstechnik
Bernsteiner, Jannik	Untersuchung des Einflusses von Regelungsparametern an der kaskadengeregelten Maschine auf Werkzeugverschleiß bei der Fräsbearbeitung
Billeiter, Tobias	Grundlegende Analyse des Einflusses der Temperierung des Kohlenstoffdioxids bei der Zerspanung mit kryogener Kühlung
Enslein, Niklas	Grundlegende Untersuchungen zur Steuerung des Spanbruchverhaltens duktiler Werkstoffe in der Drehbearbeitung durch Hochdruck-Gasstöße im Rahmen der kryogenen MMS
Heuler, Michael	Modifikation eines Versuchsaufbaus für das ultraschallgestützte Tauchbadfräsen und experimentelle Untersuchung der grundlegend wirkenden Mechanismen
Lanwes, Maximilian	Optimierung einer Messstation und Entwicklung eines Prototypen zur Vermessung von Werkzeugen mittels druckluftinduzierter Strömungsgeräusche
Reichinger, Jan	Entwicklung eines Handlungsleitfadens mit Arbeitssicherheitskonzept für den sicheren Einsatz eines kryogenen Minimalmengenschmiersystems mit Kohlenstoffdioxid in der zerspanenden Fertigung

Schwarm, Andree	Erstellung einer Datenbank und Erarbeitung einer Systematik zur abschätzenden Öko-Bilanzierung von Industriegütern mit Fokus auf den CO ₂ -Fußabdruck
Slama, Jan-Niklas	Analyse des Zustandes wassermischbarer Kühlschmierstoffe mit zunehmender Einsatzdauer und Identifikation von Optimierungspotenzialen

Masterarbeiten

Name	Thema
Henkel, Niklas	Programmierung, Konstruktion und Inbetriebnahme einer Steuereinheit eines Versorgungssystems für die kryogene Minimalmengenschmierung mit Kohlenstoffdioxid in der Zerspanung
Hofmann, Niklas	Grundlegende Analyse des Einflusses der kryogenen Kühlung bei der Zerspanung von Flugzeugtüren aus carbonfaserverstärktem Kunststoff im Vergleich zur Druckluftkühlung
Kirsner, Benedikt	Entwicklung eines Künstlichen Neuronalen Netzes zur automatisierten Vorhersage der Anzahl an Mikroorganismen in wassermischbaren Kühlschmierstoffen
Kutzner, Korbinian	Entwicklung einer Entscheidungshilfe für den Einsatz von kryogener Kühlung bei der spanenden Bearbeitung durch die Konzeption einer Benutzeroberfläche mit Dashboard, Prozessdatenbank und Bewertungssystematik für verschiedene Prozessmerkmale
Röckelein, Andreas	Realisierung und Validierung der thermoelektrischen Datenerfassung zur Temperaturmessung einer funktionsbeschichteten Wendeschneidplatte in der Zerspanzone mittels LabVIEW sowie Analyse und Steuerung der Kühlleistung kryogener Kühlung
Sauer, Simon	Automatisierte Werkzeugverschleißmessung anhand von druckluftinduzierten Strömungsgeräuschen unter Anwendung von Deep Transfer Learning

Forschungsprojekte

Digitale Plattform für das Nachhaltigkeitsmanagement

Förderung: Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)  Kofinanziert von der Europäischen Union



Ansprechpartner: Cosimo Di Cecca
Simon Sauer

E-Mail: cosimo.di.cecca@fau.de
simon.sauer@fau.de

Konsortium: FAU Erlangen-Nürnberg, Weiss Umformwerkzeuge GmbH, BUILD.ING Consultants + Innovators GmbH, Eco2050 Institut für Nachhaltigkeit GmbH, Kerling Kunststofftechnik GmbH, Krause Präzisions-Kokillenguss GmbH, Liebermann GmbH & Co KG, Trevisto AG, up2parts GmbH, HAWE Hydraulik SE, BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH, Gutmann Aluminium Draht GmbH, Wagner Zerspanungstechnik GmbH & Co. KG, DATEV eG

Das Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung einer Plattform zur Unterstützung von KMU im datenbasierten Nachhaltigkeitsmanagement unter Berücksichtigung von Standards wie der CSRD. Die Plattform extrahiert und aggregiert Daten aus Produktionsprozessen, entwickelt eine KMU-gerechte Infrastruktur und integriert Methoden zur Berechnung und Bewertung komplexer Nachhaltigkeitsdaten. Die resultierenden Kennzahlen dienen der Erfüllung von Berichtspflichten und Stakeholderanforderungen sowie der eigenen Nachhaltigkeitsverbesserung. Somit wird der Wettbewerb in nicht-finanziellen Aspekten, wie beispielsweise dem CO₂-Fußabdruck, gefördert. Die bereits im Projekt erfolgten Schritte umfassen die Ermittlung des regulatorischen Rahmens mit formellen Berichtspflichten und Anforderungen, die erste Simplifizierung und Interpretation der gesetzlichen Rahmenbedingungen für das Nachhaltigkeitsreporting sowie die Klassifizierung erforderlicher Berichtsinhalte unter Anwendung bei verschiedenen KMU aus dem Projektkonsortium. Zudem wurde die Entwicklung von Berechnungskonzepten zur Erfassung quantitativer Nachhaltigkeitskennzahlen vorangetrieben.



Abbildung 1: Zielsetzung und Handlungsfelder des Projekts "Nachhaltigkeitsplattform".

Werkzeugverschleißmessung durch Strömungsgeräusche und Machine Learning – WerkStroML

Förderung: Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie



Ansprechpartner: Hubert Würschinger, WMA
E-Mail: hubert.wuerschinger@fau.de

Im Rahmen des Projekts WerkStroML wird ein neues Verfahren zur Charakterisierung des Werkzeugverschleißes durch Strömungsgeräusche entwickelt. Dazu wurden Grundlagenuntersuchungen durchgeführt, um die Effekte unterschiedlicher Oberflächen, Kanten und Verschleißausprägungen auf das Strömungsgeräusch zu ermitteln. Neben einer breitbandigen Veränderung der Schallintensität im Geräuschspektrum konnten tonale Merkmale (Kantentöne) identifiziert werden (siehe Abbildung 2a)), die sich für die Verschleißcharakterisierung eignen. In Abbildung 2b) sind die Leistungsdichtespektren der Kantentöne für drei beispielhafte Verschleißausprägungen von Wendeschneidplatten dargestellt. Es zeigt sich, dass eine neue, unverschlossene Wendeschneidplatte ($VB_{Bmax} = 0 \mu\text{m}$) eine intensive und nahezu klare dominante Frequenz (Peakfrequenz) besitzt, während mit zunehmendem Verschleiß die Intensität der dominanten Frequenz und deren Klarheit abnimmt. Bei großen Verschleißausprägungen ergeben sich zusätzliche Frequenzen (Neben-Peakfrequenzen), sodass eine eindeutige Zuordnung einer dominanten Frequenz nicht mehr möglich ist.

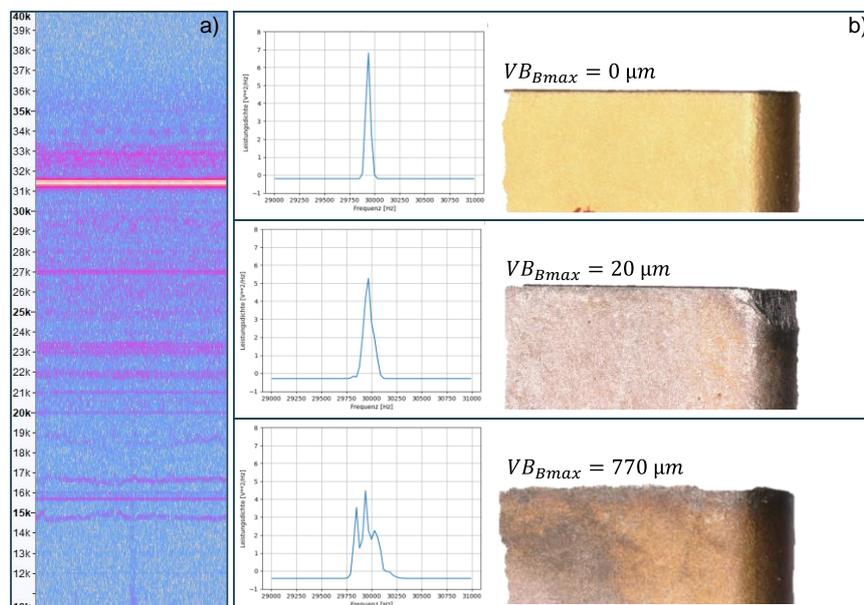


Abbildung 2: a) Frequenzspektrum mit dem Kantenton (gelbe Linie) an einer neuen Wendeschneidplatte, b) Leistungsdichtespektren und Freiflächen von 3 unterschiedlich verschlissenen Wendeschneidplatten

EnEffWerk – Steigerung der Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit von spanenden Werkzeugmaschinen

Förderung: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz



Ansprechpartner: Mohammad Bani-Hani

E-Mail: mohammad.banihani@fau.de

Konsortium: FAU Erlangen-Nürnberg, Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH, BKW Kälte-Wärme-Versorgungstechnik GmbH, GMN Paul Müller Industrie GmbH & Co. KG, Siemens Industry Software GmbH, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Das Projekt zielt darauf ab, den Energiebedarf und die kältemittelbedingten CO₂-Emissionen für die Maschinenkühlung in wichtigen Bereichen des Maschinenbaus wie der Metallerzeugung und -verarbeitung sowie der Herstellung von Fahrzeugkomponenten zu reduzieren. Hierzu wurde zunächst ein digitaler Zwilling des Bearbeitungsprozesses entwickelt, der thermische Lasten antizipieren kann. Des Weiteren wird ein innovatives, propanbasiertes Kälteaggregat in digitaler Form realisiert, um einen minimalen CO₂-Fußabdruck zu generieren. Schließlich werden beide Elemente in einem digitalen Zwilling miteinander gekoppelt, um prädiktive Regelungsstrategien zur Minimierung des Energiebedarfs und der CO₂-Emissionen umzusetzen. Der digitale Zwilling zur Prognose thermischer Lasten aus Bearbeitungsprozessen setzt sich aus den vier Komponenten Materialabtragsprozess, Modell der Spindelregelung, thermisches Modell des Spindelmotors und thermisches Modell des Spindelsystems zusammen. Dieses Modell zielt darauf ab, die thermische Belastung vorherzusagen, die während der Bearbeitung im Spindelsystem entsteht. Die Modelle wurden unter Verwendung der Siemens-Software MATLAB, NX-CAM und AMESim erstellt. Die vorhergesagte thermische Belastung wird an die Kühleinheit übertragen, um die Temperatur zu bestimmen, die erforderlich ist, um die in der Spindel erzeugte Wärme abzuleiten. Die Kopplung des digitalen Modells zur thermischen Lastprognose mit einem digitalen Zwilling des Kälteaggregats bildet einen Schwerpunkt der Projektarbeit in 2024.

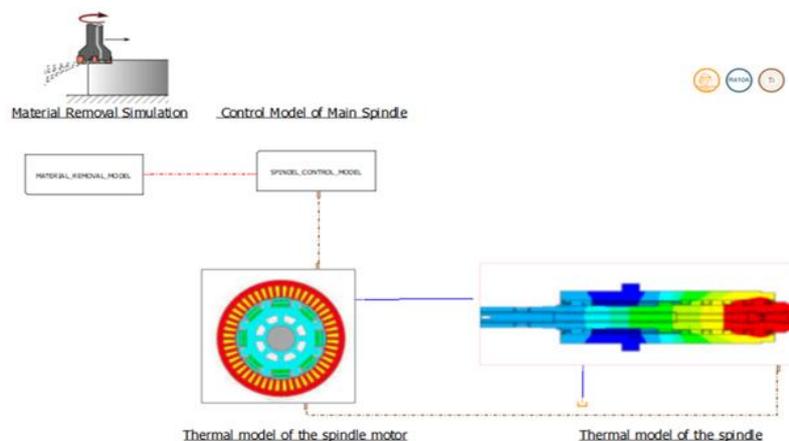


Abbildung 3: Struktur des Lastmodells und der zugehörigen Teilmodelle.

Optimierung von Frässtrategien durch Schwingungsminimierung

Förderung: Eigenforschung
Ansprechpartner: Kai Zhang
Email: Kai.Zhang@fau.de



Ziel des Forschungsprojekts ist es, Frässtrategien in Bezug auf die Minimierung von Schwingungen zu optimieren. Dadurch kann die Standzeit von Bearbeitungswerkzeugen gesteigert werden, so dass eine positive Auswirkung auf Nachhaltigkeitsaspekte erreicht wird. Um schwingungsminimierte Frässtrategien in Bezug auf Produktivität, Energie- und Ressourceneffizienz zu entwickeln wird ein integriertes Simulationsmodell aufgebaut, das das statische und dynamische Maschinenverhalten, den Bearbeitungsprozess in Abhängigkeit der Werkstück- und Werkzeugkontur sowie das nichtlineare Antriebsverhalten positionsabhängig abbildet (siehe Abbildung) und im mechatronischen Fingerprint zeitlich hochgenau diskretisiert. Durch praktische Versuchsdatenerfassung wird das Modell validiert. Die aufgezeichneten Ergebnisse zeigen einen vergleichbaren Verlauf des realen Versuchs wie bei der Simulation. Durch die Trennung des Prozessmodells vom modalanalytischen Maschinenmodell wird der Rechenaufwand erheblich reduziert. Außerdem können die Schnittkräfte in Echtzeit unter Berücksichtigung verschiedener Werkzeug- und Werkstückmaterialien berechnet werden. Im Fokus der Arbeiten steht die Weiterentwicklung der einzelnen Teilmodelle und die Kopplung zu stabilen Co-Simulationen.

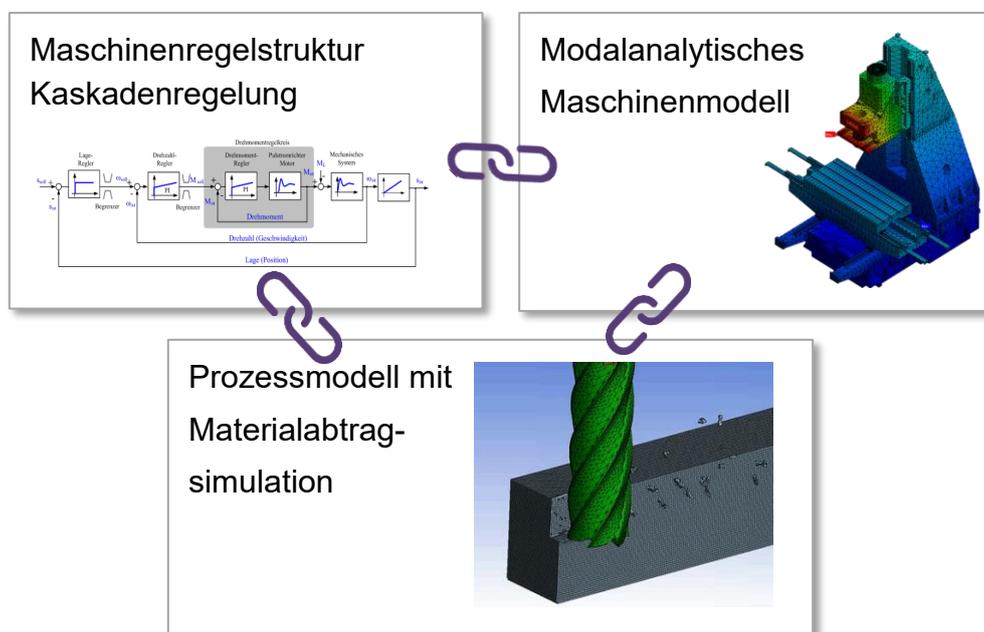


Abbildung 4: Das integrierte Simulationsmodell als Regelungsmodell

Maschinelles Blutbild von Bearbeitungsprozessen

Förderung: Eigenforschung
 Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Nico Hanenkamp



Email: nico.hanenkamp@fau.de

Der Kühlschmierstoff (KSS) ist ein wesentlicher Bestandteil in zerspanenden Prozessen und übernimmt die Hauptaufgaben des Kühlens, Schmierens und dem Abtransport der Späne. Der Zustand des KSS beeinflusst folglich die der Bauteilqualität als auch die Werkzeugstandzeit. Zur Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit des KSS über die Einsatzzeit sind demnach definierte Pflegemaßnahmen einzuhalten. Reglementiert sind lediglich die vier Parameter Gebrauchskonzentration, pH-Wert, Nitritgehalt und Aussehen und Geruch, welche in einem wöchentlichen Zeitintervall gemessen und dokumentiert werden sollen. Weitere Parameter wie der Fremdölgehalt, die Menge und Art der enthaltenen Feststoffe oder die mikrobielle Belastung sind nicht vorgeschrieben und werden nur bei auffälligen Abweichungen vom Ist-Zustand analysiert. Darüber hinaus sind Gegenmaßnahmen reaktiv und bestehen meist aus Nachdosieren von KSS oder Zugabe von Bioziden. Im Extremfall muss der KSS komplett ausgetauscht werden. Die Entstehungsursachen von KSS-Abweichungen sind noch nicht ausreichend untersucht, wodurch keine präventiven und ursachenspezifischen Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können und infolgedessen die Standzeit des KSS verkürzt wird.

Aus diesem Grund sollen die Messtechnik als auch die Instandhaltungsmaßnahmen für wassermischbare KSS weiterentwickelt werden. Der Fokus liegt dabei auf der Bestimmung von Anomalien im KSS in Form von Fremdöl, Mikroorganismen, und weiteren signifikanten Parametern, welche beispielsweise zu Konzentrationsabweichungen führen können und die Standzeit des KSS verringern. Dies erfordert einerseits die Entwicklung geeigneter neuer Sensorik, welche signifikante Prozessparameter kontinuierlich misst. Andererseits soll ein Vorhersagemodell auf Basis von Machine-Learning-Methoden entwickelt werden, welches eine digitalisierte Prozesslenkung ermöglicht und im Ergebnis zu einer optimierten KSS-Standzeit führt.

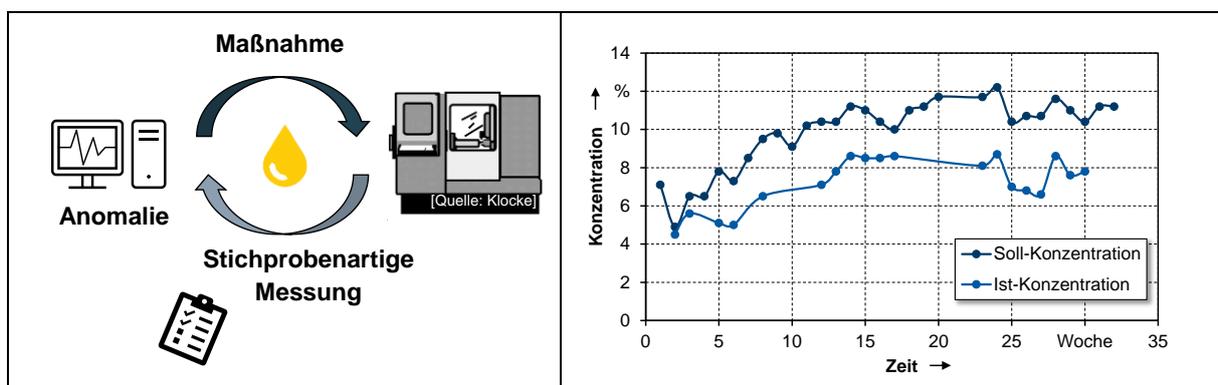


Abbildung 5: Schematische Darstellung der angestrebten KSS-Instandhaltungsmaßnahmen (links) und beispielhafter Auszug aus Soll- und Ist-Konzentrationsmessungen über einen Zeitraum von mehreren Wochen

Prokos – Prozessentwicklung zum Koordinatenschleifen sprödharter Werkstoffe

Förderung:



Ansprechpartner: Andreas Röckelein, M.Sc
Telefon: +49 (0) 911 / 65078 64815
E-Mail: andreas.roeckelein@fau.de

Konsortium: Lehrstuhl REP an der FAU Erlangen-Nürnberg, IPH an der TH Deggendorf, AFS Airfilter GmbH, DMG MORI Ultrasonic Lasertec GmbH, Günther Effgen GmbH, KNOLL Maschinenbau GmbH, KARL STORZ SE & Co. KG, Oemeta Chem. Werke GmbH, Röders GmbH, SCHOTT AG, Schott Diamantwerkz. GmbH, Schröder Spezialglas GmbH, ShapeFab GmbH & Co. KG, SPECTARIS, Dr. Industrierverband, Weiss Umformwerkz. GmbH, Zeller + Gmelin GmbH & Co. KG

Die Herstellung von Kavitäten in sprödharten Werkstoffen wie Zerodur, Siliziumkarbid oder Siliziumnitrid erfolgt aktuell mittels Koordinatenschleifprozessen mit Schleifstiften und Überflutungskühlung. Typisch für diese Prozesse sind hohe Zerspankräfte, hoher Werkzeugverschleiß sowie eine geringe Produktivität. Projektziel ist eine Produktivitätssteigerung für das Koordinatenschleifen von sprödharten Werkstoffen mithilfe einer Prozessentwicklung. Im Rahmen einer empirischen Untersuchung wird hierfür der Einfluss der Bahnplanung, der Kühlschmierstrategie und einer Ultraschallüberlagerung auf das Prozessergebnis ermittelt.

Das IGF-Vorhaben Nr. 22984 N der F.O.M. wird im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

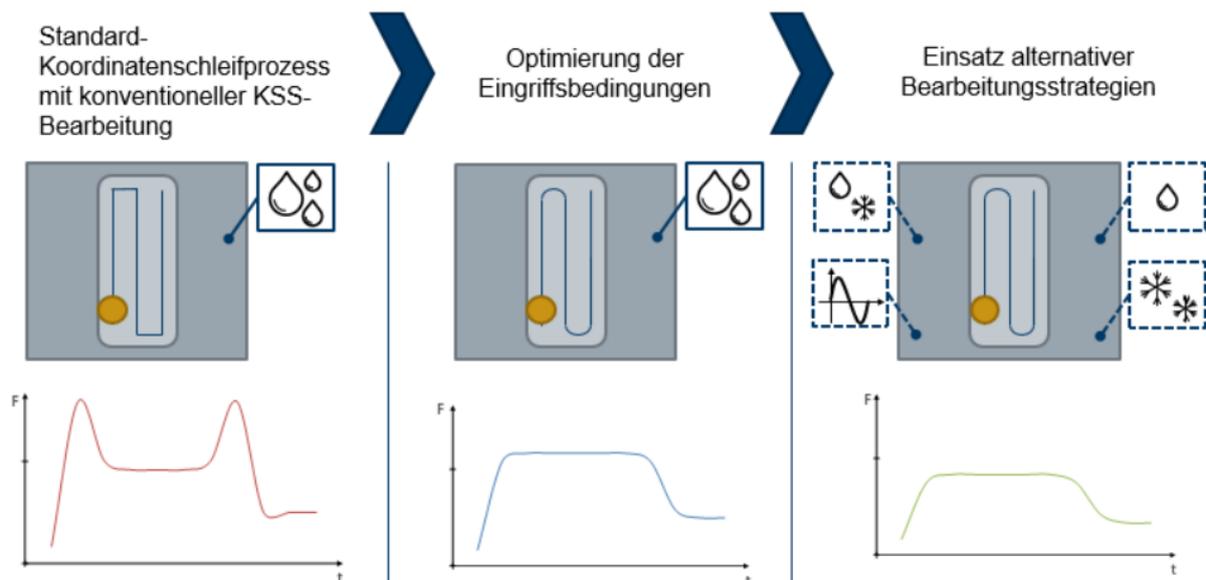


Abbildung 6: Stufenweises Vorgehen zur Prozessentwicklung

KryoPuls – Untersuchung der hochfrequent-gepulsten kryogenen Minimalmengenschmierung in der Drehbearbeitung duktiler Werkstoffe

Förderung: Eigenforschung

Ansprechpartner: Jan Selzam



Email: jan.selzam@fau.de

Besonders bei ausbleibendem Spanbruch stellt die Fließspanbildung in der Drehbearbeitung von duktilen Werkstoffen eine Herausforderung dar. Die Agglomeration von langen Spänen im Bereich der Bearbeitungszone birgt mehrere Risiken. Diese können u. a. die Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks beschädigen, den Maschinenbediener bei deren Entfernung verletzen und die Produktivität der Anlage mindern. Um diese Gefahren möglichst zu minimieren, ist eine gezielte Steuerung des Spanbruchs erstrebenswert.

Untersuchungen haben gezeigt, dass durch die pulsierende Hochdruck-Zufuhr von Kühlschmier-Emulsion der Spanbruch positiv beeinflusst werden kann. Im Projekt KryoPuls wird diese Erkenntnis auf die kryogene Minimalmengenschmierung (kMMS) mit Kohlenstoffdioxid (CO₂) übertragen, um den Einfluss der hochfrequent-gepulsten kMMS auf die Drehbearbeitung duktiler Werkstoffe zu untersuchen.

Dabei werden verschiedene Ziele verfolgt, welche alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit umfassen: Zum einen sollen durch den Einsatz der kMMS umwelt- und gesundheitsschädliche konventionelle Kühlschmierstoffe substituiert werden. Zum anderen wird die Erhöhung der Werkzeugstandzeit bei mindestens gleichbleibendem Zeitspanvolumen angestrebt. Außerdem liegt der Fokus auf der Verbesserung bzw. Steuerung des Spanbruchs. Hierzu werden Kraftstoff-Injektoren modifiziert und als Ventileinheit für die Ausbringung des Kühlschmiermediums eingesetzt. Sie ermöglichen die hochfrequent-diskontinuierliche Applikation eines CO₂-Öl-Gemischs unter Hochdruck in die Zerspanzone. Mithilfe dieses Aufbaus sollen als abschließende Ziele die präzise Dosierung der kMMS ermöglicht und das tiefe Eindringen des Kühlschmiermediums in die Wirkzone zwischen Werkzeug und Werkstück sichergestellt werden.

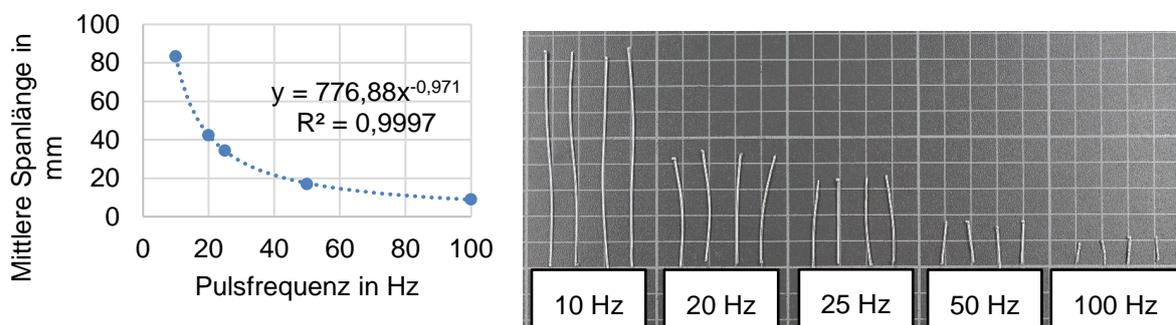


Abbildung 7: Hohe Güte der indirekt proportionalen Abhängigkeit der mittleren Spanlänge von der eingestellten Pulsfrequenz der Ventileinheit (links), Darstellung der zugehörigen Späne (rechts)

DiaThermoTool – Temperaturmessung in der Zerspanzone mittels Diamantbeschichteter Wendeschneidplatte

Förderung: Eigenforschung
Ansprechpartner: Andreas Röckelein



Email: Andreas.Roeckelein@fau.de

Die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der drehenden Zerspaltung wird maßgeblich durch die Werkzeugstandzeit beeinflusst. Der Verschleiß als limitierender Faktor der Werkzeugstandzeit ist wiederum direkt abhängig von der Schnitttemperatur. Um die Verschleißbildung durch eine präzise Steuerung der Kühlschmierstoffzufuhr zu regulieren, ist es notwendig, die Temperatur präzise möglichst nahe an der Schneidkante zu erfassen. Zudem bietet eine zeit aufgelöste Temperaturmessung im Prozess die Möglichkeit, die Schnittparameter als Reaktion auf den aktuellen Verschleißfortschritt anzupassen. Im Rahmen des Projektes soll diese Datenerfassung durch die Wendeschneidplatte selbst ausgeführt werden. Diese bildet durch eine Diamantbeschichtung die Funktionalität eines Thermoelements nach. Das Funktionsprinzip wurde in ersten Vorversuchen validiert. Darauf aufbauend gilt es, die Potenziale dieser Technologie hinsichtlich der KSS-Strategie- und Prozessauslegung zu erschließen.

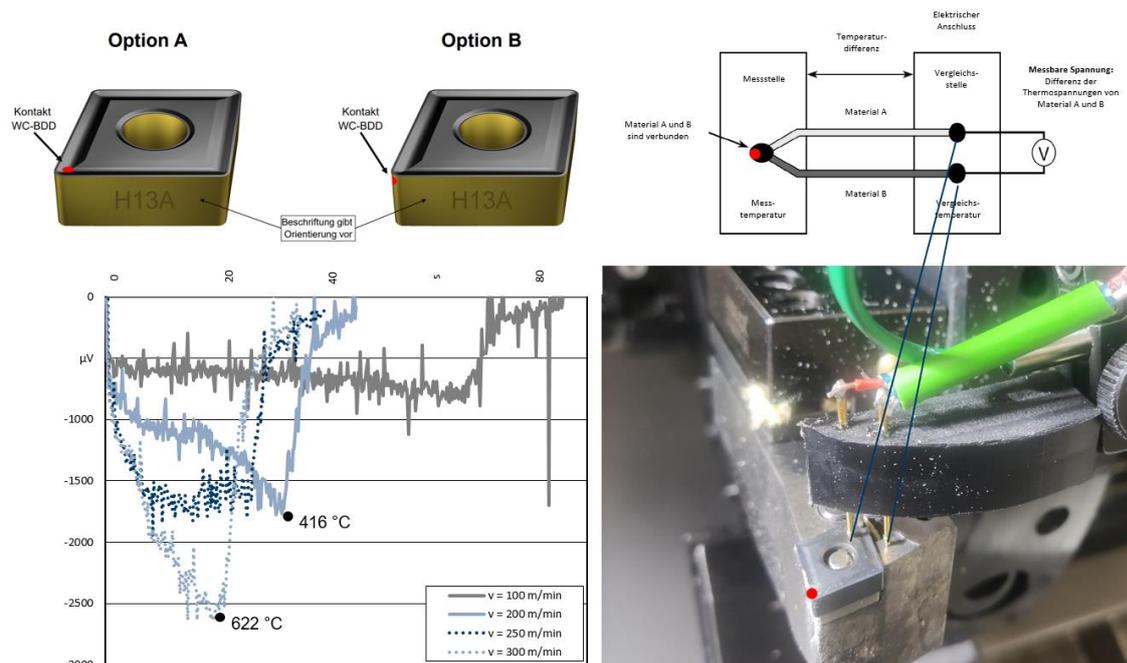


Abbildung 8: Messpunkt an der Wendeschneidplatte (links oben), schematische Darstellung des Funktionsprinzips (rechts oben) mit Darstellung der Mess- und Vergleichsstelle im Versuchsaufbau (rechts unten) sowie erste Temperaturmessungen in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit (links unten).

CoolFlex4sustainability – Nachhaltigkeit von Kühlschmierstrategien durch medienflexible Spindeln zur Innenkühlung in der zerspanenden Fertigung

Förderung: FuE Kooperationsprojekt im Rahmen des Förderprogramms „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand“ (ZIM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

Ansprechpartner: Trixi Meier, M. Sc.

E-Mail: trixi.meier@fau.de



Konsortium: FAU Erlangen-Nürnberg Lehrstuhl für Ressourcen- und Energieeffiziente Produktionsmaschinen, SN-Spindeltechnik, Kudernak GmbH

Das Gesamtvorhaben zur Entwicklung einer medienflexiblen Werkzeugmaschinen spindle für die Kühlschmierstrategien: Nassbearbeitung, Trockenbearbeitung mit Druckluft, Minimalmengenschmierung (MMS), kryogene MMS (kMMS) und kryogene Kühlung ist in drei Teilvorhaben gegliedert. Ziel ist die Entwicklung einer medienflexiblen Spindel mit der die genannten Kühlschmierstrategien ohne einen Umbau der Spindel flexibel eingesetzt werden können. Das Teilvorhaben 1 wird durch den Lehrstuhl REP verantwortet, mit dem Ziel der Anpassung und Ansteuerung der Kühl- und Schmierleistung, insbesondere bei der kMMS und der Konzeptentwicklung für einen sicheren Anlagenbetrieb in der zerspanenden Fertigung. Die Firma SN-Spindeltechnik verantwortet das Teilvorhaben 2 und ist als Unternehmen mit Schwerpunkt Spindeltechnik für die konstruktive Entwicklung der medienflexiblen Spindel und folglich für die Integration der kMMS in die medienflexible Spindel verantwortlich. Das Unternehmen Kudernak ist in Zusammenarbeit mit dem REP für das Teilvorhaben 3 zur Prozessoptimierung und Anwendung der medienflexiblen Spindel unter Umsetzung des entwickelten Konzepts für einen sicheren Anlagenbetrieb verantwortlich.



CoolFlex4sustainability

ZIM - FuE Kooperationsprojekt

Nachhaltigkeit von Kühlschmierstrategien durch medienflexible Spindeln zur Innenkühlung in der zerspanenden Fertigung

Veröffentlichungen 2023

- Blasl J., Lichtinger K., Vieltorf F., Zaeh MF., Hanenkamp N.:
[Experimental investigation of ultrasonic vibration-assisted cryogenic minimum quantity lubrication for milling of Ti-6Al-4V and grinding of Zerodur](#)
 In: **Production Engineering** (2023)
 ISSN: 0944-6524
 DOI: [10.1007/s11740-023-01214-6](https://doi.org/10.1007/s11740-023-01214-6)
- Ju S., Reitenspieß M., Zhang K., Hanenkamp N.:
[Model-Based Correlation Analysis of Machine Control Parameters and Process Vibration Amplitudes by the Example of Milling](#)
 In: Holger Kohl, Günther Seliger, Franz Dietrich (Hrsg.): **Manufacturing Driving Circular Economy. GCMS 2022**, Cham: Springer, 2023, S. 12-20 (Lecture Notes in Mechanical Engineering)
 ISBN: 978-3-031-28839-5
 DOI: [10.1007/978-3-031-28839-5_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-28839-5_2)
 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-28839-5_2#chapter-info
 (online publication)
- Meier T., Lermer M., Gross D., Hanenkamp N.:
[Influence of Additivation of Bio-Based Lubricants on Sprayability and Solubility for Cryogenic Minimum Quantity Lubrication](#)
 In: Holger Kohl, Günther Seliger, Franz Dietrich (Hrsg.): **Manufacturing Driving Circular Economy. GCMS 2022**, Cham: Springer, 2023, S. 139-147 (Lecture Notes in Mechanical Engineering)
 ISBN: 978-3-031-28839-5
 DOI: [10.1007/978-3-031-28839-5_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-28839-5_16)
 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-28839-5_16
- Meier T., Lermer M., Gross D., Hanenkamp N.:
[Influence of Carbon Dioxide Temperature on Sprayability and Solubility in Cryogenic Minimum Quantity Lubrication with Bio-Based Lubricants](#)
 In: Holger Kohl, Günther Seliger, Franz Dietrich (Hrsg.): **Manufacturing Driving Circular Economy. GCMS 2022**, Cham: Springer, 2023, S. 202-210 (Lecture Notes in Mechanical Engineering)
 ISBN: 978-3-031-28839-5
 DOI: [10.1007/978-3-031-28839-5_23](https://doi.org/10.1007/978-3-031-28839-5_23)
 URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-28839-5_23#citeas
- Mühlbauer M., Auer A., Würschinger H., Hanenkamp N.:
[SUPPORTING MANUAL CONTOUR AND SURFACE PROCESSING WITH THE HELP OF AUGMENTED REALITY](#)
 In: **MM Science Journal** 2023 (2023), S. 7156-7165
 ISSN: 1803-1269
 DOI: [10.17973/MMSJ.2023_12_2023091](https://doi.org/10.17973/MMSJ.2023_12_2023091)
- Mühlbauer M., Würschinger H., Hanenkamp N., Funtikov S.:
[Maschinelle Lernverfahren zur Digitalisierung manueller Ablese- und Messvorgänge](#)
 In: **Industrie 4.0 Management : Gegenwart und Zukunft industrieller Geschäftsprozesse** 2023 (2023), S. 43-47
 ISSN: 1434-1980
 DOI: [10.30844/IM_23-1_43-47](https://doi.org/10.30844/IM_23-1_43-47)
- Vogt C., Thiess H., Blasl J., Hanenkamp N., Lichtinger K.:
[Superposition of cryogenic and ultrasonic assisted machining of Zerodur](#)
10th European Seminar on Precision Optics Manufacturing (Teisnach, DEU, 18. April 2023 - 19. April 2023)
 In: Gerald Futterer, Christine Wunsche, Oliver W. Fahnle, Alexander Haberl (Hrsg.): **Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering** 2023
 DOI: [10.1117/12.2678074](https://doi.org/10.1117/12.2678074)

Sonstiges

REP Innovationen beim Wissensforum Zerspanung 2023

Am 22.11.23 fand in Würzburg das jährliche Wissensforum Zerspanung des MM Maschinenmarktes Vogel statt. Obwohl es sich erst um die zweite Veranstaltung handelte, wurde sie durch die Anwesenheit hochrangiger Unternehmen und renommierter Universitäten zu einer spannenden Veranstaltung. Von Seiten des Lehrstuhls REP nahmen Prof. Hanenkamp, Mario Stange, Trixi Meier, Jan Selzam und Kai Zhang sowie einige Studierende an der Veranstaltung teil. Im Rahmen der Ausstellung wurden innovative und neuartige Verfahren zur Optimierung der Zerspanungsprozesse präsentiert.



Am Vormittag des Forums hielt Prof. Hanenkamp einen Vortrag über das Thema „Einfluss der Kühlschmierstrategie auf die Nachhaltigkeit zerspanender Prozesse“. Zur Veranschaulichung verglich Prof. Hanenkamp die KSS-Daten mit einem menschlichen Blutbild. Eine In-line Überwachung des Alterungszustandes und kontinuierliche Prüfung der „Blut-Indikatoren“, wie pH-Wert, Temperatur und Bakteriengehalt können die KSS-Standzeit und Nachhaltig-

keit des Prozesses erheblich erhöhen.

Am Stand des REP auf dem Wissensforum wurden drei Forschungsthemen präsentiert:

Kryogene Minimalmengenschmierung (kM-MS) ist eine der wichtigsten Themen in der Zerspanung. Frau Trixi Meier stellte verschiedene Kühlstrategien in Bezug auf unterschiedliche spanende Fertigungsverfahren vor. Aktuell arbeitet der REP-Lehrstuhl gemeinsam mit der Firma SN-Spindeltechnik und Kudernak an einem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Projekt, um eine medienflexible Spindel zu entwickeln, mit der mehrere Kühlschmierstrategien ohne einen Umbau der Spindel flexibel eingesetzt werden können.



Lange Späne durch unkontrollierten Spanbruch sind immer eine große Herausforderung bei der Drehbearbeitung duktiler Werkstoffe. Jan Selzam schlägt einen innovativen Lösungsansatz von gepulster kryogener Hochdruck-Kühlung vor. Im Gegensatz zu konventionellen KSS wird der Span durch den gezielten Einsatz von kryogenen CO₂-Stößen mit Frequenzen bis zu

10 Hz, abgelenkt. Dies verringert nicht nur das Risiko einer Beschädigung der Maschine, sondern erleichtert auch das Recycling und den Abtransport der Späne.



Jede Verlagerung, die von der vorgegebenen Arbeitsbewegung abweicht, beinhaltet Risiken für den Zerspanungsprozess. Um dadurch bedingte Schwingungen zu optimieren, wird ein digitaler Zwilling der kaskadengeregelten Maschinenantriebe von Herrn Kai Zhang weiterentwickelt. Als Ergebnis entsteht ein Modell, aus dem positions-, prozess-, bauteil- und maschinenspezifisch ein schwingungsminimierendes Verhalten des Systems Werkzeugmaschine abgeleitet werden soll. Aktiv beteiligten sich die Studenten an der Ausstellung und stellten ihre Fragen und Meinungen an die anderen Redner. Es war eine positive und lohnende Veranstaltung sowohl für die Mitarbeiter als auch für die Studenten des Lehrstuhls.

Neues Lehrangebot „Strategisches Kühlschmierstoffmanagement in der Produktionstechnik“

Zum Sommersemester 2023 startete das digitale Seminar „Strategisches Kühlschmierstoffmanagement in der Produktionstechnik“. Der Kurs richtet sich an alle Interessierte und soll mit dem Thema Kühlschmierstoffe vertraut machen, sodass die Teilnehmenden nach Absolvierung ein fundiertes Wissen in diesem Bereich aufweisen können und einen sicheren Umgang mit KSS beherrschen. Für die Studierenden schließt das Seminar zum Semesterende mit einem benoteten Praxisprojekt.

Das Seminar ist ein E-Learning Angebot, bei dem Studierende oder Mitarbeitende in Zerspanungsunternehmen selbständig Lernkapitel bearbeiten. Somit können Sie sich Ihre Bearbeitungszeit frei und flexibel einteilen und ein eigenes Lern- und Bearbeitungstempo wählen. Bei Problemen oder Fragen steht ein Betreuer zur Verfügung, sowie ein Forum zum Austausch untereinander. Jedes Kapitel endet mit einem Test bestehend aus 3-10 Fragen. Dieser dient als Lernerfolgskontrolle und soll persönliches Feedback geben, ob die Teilnehmenden den Inhalt des Kapitels verstanden haben bzw. noch Lücken vorhanden sind.

Der Inhalt des Seminars ist in acht separate Lernmodule bzw. Inhalte von Wissenskapiteln strukturiert. Darüber hinaus ist in der Abbildung das Konzept des Lehrangebots kompakt dargestellt. Grundsätzlich ist die Plattform auch für externe Teilnehmende, z.B. aus Industriebetrieben zugänglich. Durch den ganzheitlichen Ansatz erwerben Teilnehmende Kompetenzen, die über das in üblichen kommerziellen Schulungen für die Qualifizierung als Beauftragter für Kühlschmierstoffe deutlich hinausgehen. Der Lehrstuhl sieht hierin eine Möglichkeit, der zunehmenden Bedeutung und Komplexität des Themas Kühlschmierstoffmanagement in Industrie, Forschung und Ausbildung gerecht zu werden.

Beschaffung 5-Achs Fräsmaschine Hermle C30U

Pünktlich zum Jahreswechsel 2023 wurde die Beschaffung einer 5-Achs simultan Fräsmaschine des Typs Hermle C30U erfolgreich abgeschlossen. Die Fräsmaschine wird im Rahmen des ZIM-Projekts „CoolFlex4sustainability – Nachhaltigkeit von Kühlschmierstrategien durch medienflexible Spindeln zur Innenkühlung in der zerspanenden Fertigung“ zu einer medienflexiblen Werkzeugmaschine umgebaut. Im Rahmen von weiteren Industrie- und Forschungsprojekten ergänzt die neue Fräsmaschine den vorhandenen Maschinenpark optimal.

- Max. Drehzahl: 18.000 U/min
- Werkzeugaufnahme: HSK-63
- Heidenhain Steuerung: iTNC 530



Teilnahme an Global Conference on Sustainable Manufacturing

Vom 04. bis 06. Dezember 2023 fand in Buenos Aires, Argentinien, die „Global Conference on Sustainable Manufacturing“ (GCSM) statt. Veranstaltet wurde die Konferenz vom Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), der Technischen Universität Berlin (IWF) und dem Fraunhofer IPK unter dem Motto „Sustainable Manufacturing as a Driver for Growth“. In über 100 Vorträgen von Referentinnen und Referenten aus mehr als 20 Ländern wurden zwei Hauptthemenblöcke diskutiert: einerseits nachhaltige Produktionstechnologien für den Mobilitäts-, Energie- und Bausektor, sowie den Maschinen- und Anlagenbau und andererseits künstliche Intelligenz im Umfeld der Nachhaltigkeit.

Vertreten war der REP durch Jan Selzam, der zwei Forschungsarbeiten des Lehrstuhls aus dem Bereich Zerspanung vorstellte. Unter dem Titel „Initial study on milling in an ultrasonically excited metalworking fluid bath“ wurde untersucht, inwiefern ein ultraschallangeregtes Tauchbad die klassische Überflutungskühlung in der Fräsbearbeitung ersetzen kann. Hierzu wurden beide Strategien anhand der Merkmale Verschleißmarkenbreite und Biegemoment am Werkzeug, erzeugte Oberflächengüte am Werkstück und eines Energie-Assessments verglichen. Im Konferenzbeitrag „Sustainable dry turning of aluminum alloys using pulsed high-pressure cryogenic jet cooling“ wurde vorgestellt, wie durch den Einsatz von gepulster kryogener Hochdruckkühlung der Spanbruch in der Drehbearbeitung zweier Aluminiumlegierungen initiiert werden konnte. Auf diesem Wege soll der Spanbruch gesteuert werden, um den Bearbeitungsprozess nachhaltiger zu gestalten.



Abbildung 11: Teilnahme GCSM Conference