

iwb-Newsletter 2022

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)





Liebe Leserinnen und Leser,

die Energiewende nimmt in diesen Wochen und Monaten so richtig Fahrt auf. Was ist das eigentlich, die Energiewende? Gehört dazu auch die Verbesserung der Energieeffizienz und damit das Energieeinsparen? Sicherlich, doch die wesentliche Komponente ist die Verlagerung weg vom Energiegewinnen aus fossilen Ressourcen hin zur Nutzung regenerativer Energiequellen mit der Vision, eines Tages nur noch auf solche zurückzugreifen und damit den Klimawandel stoppen oder sogar umkehren zu können. Bedauerlicherweise hat ein trauriges Ereignis diese Entwicklung beschleunigt, nämlich der Krieg Russlands gegen die Ukraine. Fossile Energieträger, allen voran Erdgas, im Gefolge aber auch Erdöl und Kohle, sind teurer geworden, und so werden nun bislang noch unwirtschaftliche Formen der regenerativen Energieerzeugung nach und nach verstärkt wirtschaftlich und rücken ins Zentrum des Interesses, sie rücken gewissermaßen aus dem Schatten ins Rampenlicht.

Das *iwb* trägt schon seit vielen Jahren seinen Teil zum Gelingen der Energiewende bei. Zwar befassen wir uns nicht unmittelbar mit der Gestaltung von Windkraftanlagen oder Fotovoltaik, doch kümmern wir uns schon seit langem darum, wie die Nachfrage nach Energie in den Unternehmen besser gesteuert, insbesondere an das volatile Angebot regenerativer Energieformen angepasst werden kann. Einfach ausgedrückt könnte man sagen, es sollte dann verstärkt produziert werden, wenn die Sonne scheint und der Wind weht, aber vor dem Hintergrund der sonstigen Anforderungen hinsichtlich Zeit, Kosten, Qualität und Mengenleistung bedeutet dies eine komplexe Planungsaufgabe.

Es widmen sich auch immer mehr Industrieunternehmen diesem Thema und nehmen Anlagen für die Eigenerzeugung von Energie in Betrieb. Da es für ein einzelnes Unternehmen nicht trivial ist, eine solche Anlage entsprechend zu betreiben und zu steuern, also Überschuss und Unterdeckung zu beherrschen, ist die Vision entstanden, Energiepakete über sogenannte Unternehmensplattformen und Marktplattformen zwischen Unternehmen auszutauschen sowie von Seiten der Unternehmen den Netzbetreibern und den

Versorgen zur Verfügung zu stellen. Regulatorische Hürden sind dabei zu beachten beziehungsweise zu überwinden, die den Zweck haben, die Versorgungssicherheit aller anderen Kunden im Stromnetz zu gewährleisten. Im auf Bundesebene geförderten Kopernikus-Projekt SynErgie ist das *iwb* im Rahmen eines Teilprojektes für die sogenannte Modellregion Augsburg zuständig, in der entsprechende Ansätze ausgestaltet und erprobt werden sollen. Diese Modellregion erstreckt sich geographisch auch auf umliegende Landkreise. Der Hebel ist an dieser Stelle lang, denn die produzierende Industrie ist in Deutschland nach wie vor für einen beträchtlichen Teil der Nachfrage nach Energie und insbesondere Strom verantwortlich. Die Unternehmen haben aber auch erkannt, dass sie ihre Stellung durch entsprechende zukunftsgerichtete Maßnahmen festigen und gleichzeitig bei entsprechender Außenkommunikation auch einen Imagegewinn verbuchen können.

Unsere Aktivitäten im Bereich der Batterieproduktion dürfen dabei nicht übersehen werden. Leistungsfähige Speichertechnik ist bei weitem nicht nur im Bereich der Mobilität gefragt, sondern auch für die Haushalte, wenn am Standort Deutschland insgesamt verstärkt regenerative Energieformen genutzt werden sollen.

Wir wünschen Ihnen nun viel Freude beim Lesen dieses Newsletters.

Herzlichst

Michael Zäh, Rüdiger Daub

TRR277 A02 – Additive Fertigung von Bewehrungselementen mittels WAAM

Der transregionale Sonderforschungsbereich TRR 277 hat sich zum Ziel gesetzt, additive Fertigungstechnologien grundlegend für das Bauwesen zu erforschen.

Seit Januar 2020 wird im Rahmen des transregionalen Sonderforschungsbereichs TRR277 – *Additive Manufacturing in Construction (AMC) – The Challenge of Large Scale* daran gearbeitet, die Additive Fertigung für das Bauwesen grundlegend zu erforschen. Dabei werden zum einen neuartige Material- und Prozesskombinationen für die Additive Fertigung im Bauwesen untersucht und zum anderen wird die durchgängige Digitalisierung im Bauwesen angestrebt.

Einordnung des Teilprojekts A02

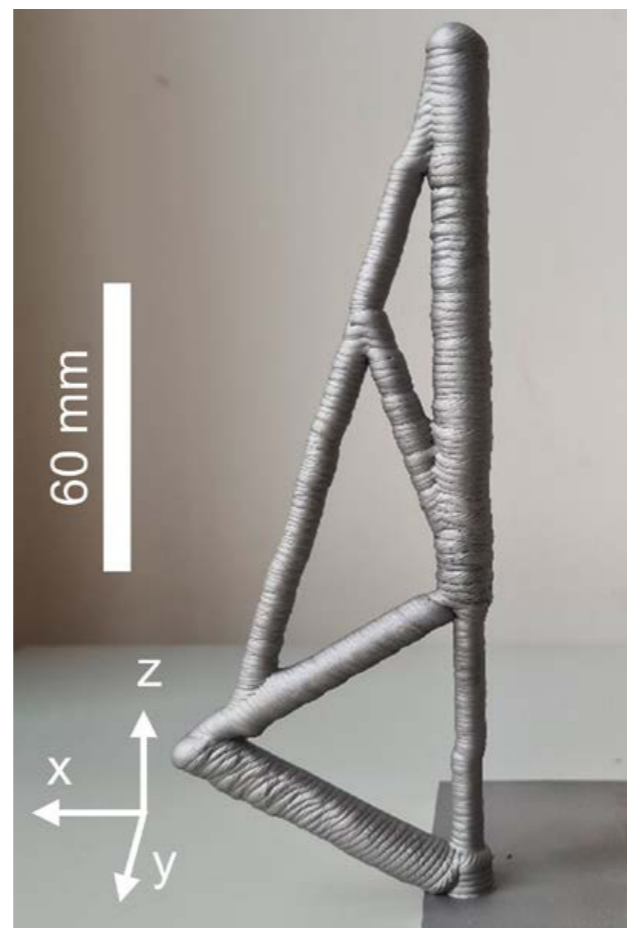
Der AMC gliedert sich in 20 Teilprojekte. Dabei wird in A-, B- und C-Projekte unterschieden. Die A-Projekte untersuchen Material- und Prozesskombinationen. Die B-Projekte befassen sich mit Simulationen und Prozesssteuerungsstrategien. Die Projekte aus dem C-Bereich beschäftigen sich mit der Einbindung von additiven Fertigungsverfahren in die digitale Prozesskette. Am *iwb* wird zusammen mit dem Lehrstuhl für Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen (cbm) der Technischen Universität München und dem Institut für Partikeltechnik (iPAT) der Technischen Universität Braunschweig im Teilprojekt A02 geforscht. Das Teilprojekt A02 hat sich zum Ziel gesetzt, einen hybriden additiven Prozess zu untersuchen und für die Fertigung von Stahlbetonkomponenten zu befähigen. Dazu wird das Wire-and-Arc-Additive-Manufacturing-Verfahren (WAAM-Verfahren) mit dem Selective-Paste-Intrusion-Prozess (SPI-Prozess) kombiniert.

Zielsetzung

Eine Kombination der Verfahren SPI und WAAM erfordert die Entwicklung von geeigneten Kühlstrategien, um die durch den Schweißprozess in den Beton eingetragene Wärme zu verringern. Zusätzlich werden Zementleime und neue Partikel beforcht, die den hohen Temperaturen standhalten.

Vorgehen

Die Untersuchung und Adaption des SPI-Prozesses wird vom cbm durchgeführt, während das iPAT die Funktionalisierung von Partikeln für den SPI-Prozess erforscht. Seitens des *iwb* wurden



Mittels WAAM gefertigte Fachwerkstruktur;
z: Aufbaurichtung

geeignete Prozessparameter für die Fertigung der Bewehrungsstrukturen identifiziert und Prozessuntersuchungen durchgeführt. Mit darauf aufbauenden Regressionsanalysen wurden die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge beim WAAM von Stahlbewehrung quantifiziert. Zur Erweiterung des Prozessverständnisses werden numerische Prozessmodelle erstellt. Diese bilden die Temperaturverteilungen während des Prozesses im zu fertigenden Bauteil ab und berücksichtigen die Einflüsse von gezielt gekühlten Bereichen. Mithilfe der Simulation werden geeignete Kühlstrategien abgeleitet sowie anschließend in den Versuchsaufbau integriert und validiert. Um die beiden Prozesse kombinieren zu können, wird ein Großgerät aufgebaut, an dem simultan mit WAAM und SPI gearbeitet werden kann. Auf der neuen Anlage werden Demonstratoren und Prüfkörper produziert, um die mechanischen Eigenschaften der additiv gefertigten Stahlbetonkomponenten zu untersuchen.



Danksagung

Dieses Projekt wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB TRR 277 – *Additive Manufacturing in Construction – The Challenge of Large Scale* (Projektnummer 414265976) finanziert. Hierfür sei herzlich gedankt.



M. Sc. Felix Riegger
Abteilung
Additive Fertigung

AdDEDValue – Vollautomatisierte Additive Fertigung mit DED-Verfahren für die automobiler Serienproduktion

Im Projekt AdDEDValue wird ein produktionstechnischer Innovationssprung in der deutschen Fahrzeug- und Zulieferindustrie angestrebt. Als zentrale Technologie wird dafür die metallbasierte Additive Fertigung eingesetzt.

Die deutsche Fahrzeug- und Zulieferindustrie sieht sich aktuell mit tiefgreifenden strukturellen Veränderungen konfrontiert. Die steigende Variantenvielfalt erfordert neuartige

Fertigungsverfahren und hochflexible Fertigungsketten, um qualitativ hochwertige metallische Bauteile auch in Kleinserien wirtschaftlich und prozesssicher herstellen zu können. Einen vielversprechenden Ansatz stellt hierbei die Additive Fertigung dar. Dabei werden Bauteile durch ein wiederholtes Auftragen von Schichten aus einem draht- oder pulverförmigen Ausgangswerkstoff hergestellt.

Additive Fertigung in der automobilen Serienproduktion

Ziel des Vorhabens AdDEDValue ist die Etablierung der sogenannten DED-Verfahren (DED: Directed Energy Deposition) in der automobilen Serienproduktion. Dabei handelt es sich um einen Teilbereich der Additiven Fertigung mit Metallen, der aufgrund der hohen erzielbaren Auftragsraten nicht nur in der Einzelteilfertigung, sondern auch in der Mittel- und Großserienfertigung eine wirtschaftliche Alternative zu etablierten Fertigungsverfahren darstellt.

Entwicklung von zuverlässigen DED-Produktionssystemen

Im Rahmen des Vorhabens sollen DED-Produktionssysteme aufgebaut und realitätsnah erprobt werden. Eine besondere Herausforderung liegt in der wertschöpfenden Nutzung von Prozess-, Anlagen- und Bauteildaten über die gesamte Fertigungskette hinweg, die durch den fortschreitenden Digitalisierungsgrad in der Automobilproduktion erst ermöglicht wird. Die in AdDEDValue demonstrierten Produktionssysteme werden so gestaltet, dass eine simulationsgestützte Prozessauslegung, eine Echtzeit-Prozessregelung sowie eine zuverlässige und nachvollziehbare Qualitätssicherung erfolgen können. Eine angepasste Nachbearbeitung der produzierten Bauteile sowie eine fundierte Bewertung der untersuchten Technologien runden den ganzheitlichen Ansatz des Projekts ab.

Danksagung

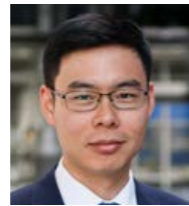
Dieses Forschungsprojekt wird durch das Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert und vom VDI-Technologiezentrum (VDI-TZ) betreut. Wir danken dem BMWK sowie dem VDI-TZ für die gute und vertrauensvolle Zusammenarbeit.



M. Sc. Christian Bernauer
Abteilung
Lasertechnik



M. Sc. Magdalena Bloier
Abteilung
Werkzeugmaschinen



M. Sc. Xiao Fan Zhao
Abteilung
Additive Fertigung

IntelliSpin – Intelligentes Electrospinning in der Zellfertigung mittels Maschinellen Lernen

Nanofasern ermöglichen mit ihren außergewöhnlichen physikalischen Eigenschaften neuartige Beschichtungen. Im Rahmen des Forschungsprojektes IntelliSpin wird Electrospinning dazu eingesetzt, dünne Schichten aus Polymer-Nanofasern in Lithium-Ionen-Batterien (LIB) einzubringen. Solche Beschichtungen können beispielsweise für die Lamination von Aktivmaterial und Separator eingesetzt werden. Dadurch entstehen Vorteile in der Handhabung der LIB-Zellen. Der Electrospinning-Prozess wird in diesem Zusammenhang als eigener Prozessschritt in der Batterieproduktionskette betrachtet.

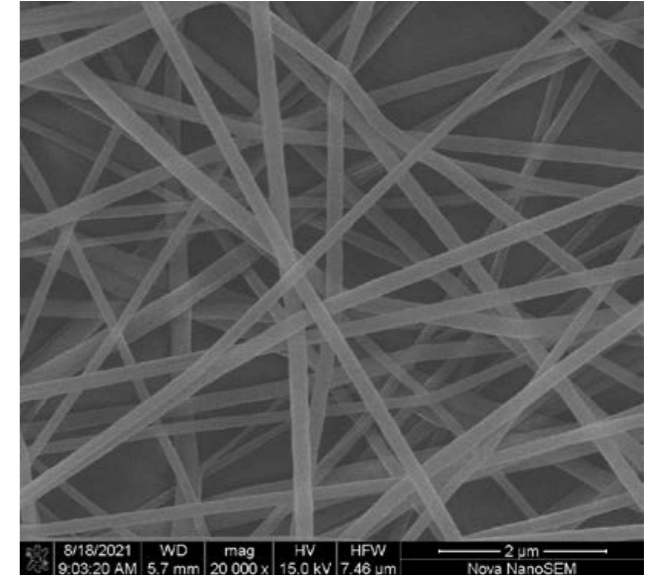


Abb. 1: gesponnene Nanofasern

Im Forschungsprojekt wird von Seiten des *iwb* an einer Prozessüberwachung auf Basis von Hochgeschwindigkeits-Kameraaufnahmen geforscht, welche eine Inline-Kontrolle des Electrospinning-Prozesses ermöglicht. Dadurch kann die Stabilität von Electrospinning-Prozessen gewährleistet werden.

Ausgangssituation

Electrospinning ist ein in der Produktion noch recht unbekanntes Beschichtungsverfahren. Dabei werden mittels hoher elektrischer Feldstärken Polymerlösungen zu einem Substrat hin beschleunigt und bilden dort eine Schicht aus Polymer-Nanofasern aus. Solche Beschichtungen mit Nanofasern zeichnen sich durch eine äußerst geringe Massenbelastung und eine

spezifische Durchlässigkeit aufgrund der feinporigen Fasermorphologie (siehe Abb. 1) aus.

Um die Electrospinning-Technologie als kontinuierliches Beschichtungsverfahren in der Batterieproduktion einsetzen zu können, ist eine reproduzierbare Prozessausführung unabdingbar. Schwankungen in der Qualität der Beschichtung mit Polymer-Nanofasern können unvorhergesehene Einflüsse auf LIB-Zellen haben.

Eine nachgelagerte, offline durchgeführte Kontrolle der Fasereigenschaften ist in einer kontinuierlichen Produktionskette wie der Batterieproduktion nicht realisierbar. Auch kann die Kontrolle der Faserqualität aufgrund der nanoskopischen

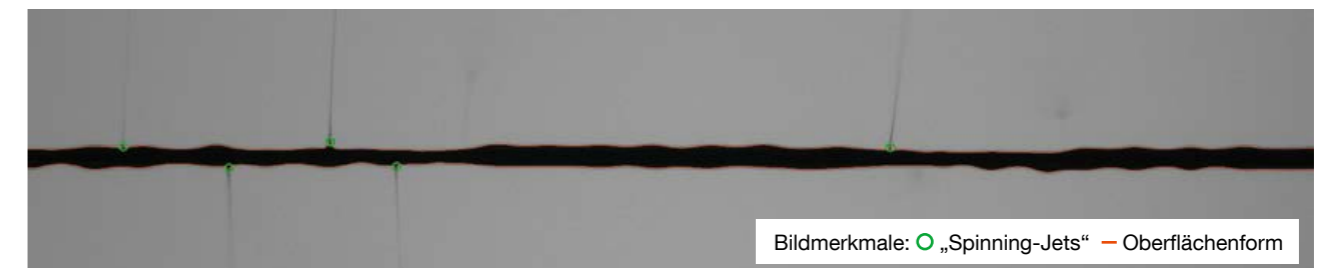


Abb. 2: Prozessbeobachtung mit Merkmalsextraktion

Größe der Fasern bisher nur zeitaufwändig an einem Rasterelektronenmikroskop erfolgen.

Vorgehen

Mit einer mikroskopischen Hochgeschwindigkeits-Kamera ist es möglich, den Electrospinning-Prozess direkt zu beobachten. Um auf Basis solcher Kameraaufnahmen quantitative Prozessbewertungen durchzuführen, werden am *iwb* Algorithmen zur Merkmalsextraktion entwickelt. Extrahierte Merkmale können beispielsweise die Position einzelner emergierender „Spinning-Jets“ (grün) oder die Oberflächenform der Polymerlösung (rot) sein (siehe Abb. 2).

Auf Basis dieser extrahierten Merkmale werden mit statistischen Analysen Aussagen hinsichtlich der Stabilität von Electrospinning-Prozessen getroffen. Abweichungen in der Verteilung der Merkmale geben dabei wertvolle Prozessinformationen preis.

Fazit

Eine Prozessüberwachung mit Merkmalsextraktion und anschließender statistischer Auswertung trägt dazu bei, Electrospinning-Prozesse für den industriellen Einsatz in der Batterieproduktion zu befähigen. Mit den dabei eingebrachten Nanofaser-Beschichtungen können LIB-Zellen laminiert werden, um deren Handling zu verbessern. Somit sind höhere Fertigungsgeschwindigkeiten in der LIB-Produktion zu erreichen.

Danksagung

Das Forschungsprojekt IntelliSpin (FKZ: 03XP0353B) wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Kompetenzclusters Intelligente Batteriezellproduktion (InZePro) gefördert. An dieser Stelle danken wir herzlich dafür.



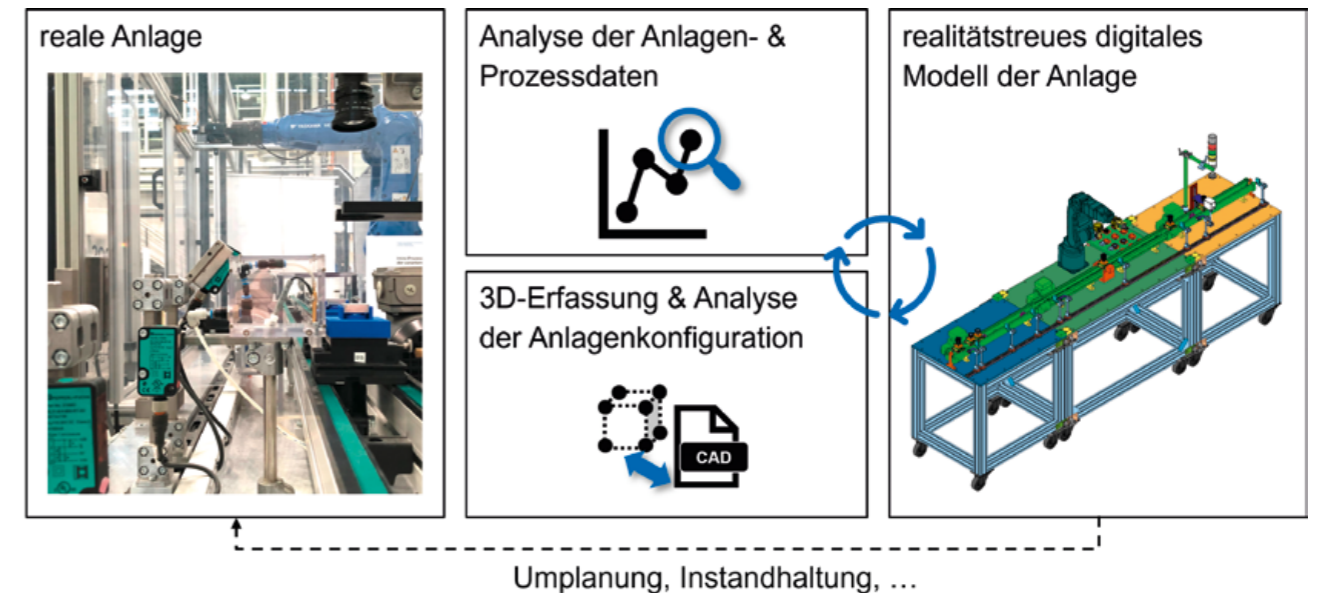
M. Sc. Stephan Trattnig
Abteilung
Montagetechnik & Robotik

ReDiMon – digitale Anlagenmodelle automatisiert aktualisieren

Moderne Planungs-, Optimierungs- und Inbetriebnahme-Ansätze scheitern häufig an veralteten oder fehlerhaften digitalen Anlagenmodellen. Daher erarbeitet das *iwb* im Projekt ReDiMon, gemeinsam mit den Unternehmen Continental, Software Factory und mts Consulting & Engineering Methoden, die die automatisierte Überprüfung und Aktualisierung der virtuellen Anlagenzwillinge erlauben. Dies soll durch die Kombination von mobiler Robotik, maschinellem Sehen und Condition-Monitoring-Ansätzen erreicht werden.

Motivation und Zielsetzung

Die digitale Planung von Produktionsanlagen ist mittlerweile aus dem industriellen Umfeld nicht mehr wegzudenken, sodass zum Zeitpunkt der Fertigstellung meist auch digitale Abbilder der Anlagen existieren. Allerdings werden während der Nutzungszeit häufig Anpassungen an der Anlage vorgenommen, die nicht in das digitale Modell übertragen werden. Des Weiteren beinhaltet ein solches Planungsmodell in der Regel keine Informationen über den Verschleiß oder



Schematische Darstellung des Lösungskonzepts

aufgetretene Defekte an der Anlage oder deren Komponenten. Für Entscheidungen bezüglich der Instandhaltung, Fehlerbehebung oder Rekonfiguration einer Anlage steht daher oft keine verlässliche Informationsgrundlage zur Verfügung.

Das Ziel des Forschungsprojekts ist daher die Entwicklung eines Systems zur semi-automatisierten, multimodalen Erfassung des aktuellen, realen Zustands von Montageanlagen und deren Komponenten. Dadurch soll die Transparenz über den Anlagenzustand erhöht und zur Schaffung einer verlässlichen Planungsgrundlage beigetragen werden.

Lösungskonzept

Das Lösungskonzept sieht hierfür zwei Teilbereiche vor. Zum einen sollen Prozess- und Sensordaten während des Betriebs der Anlage erfasst und analysiert werden. Dadurch werden Informationen über den Zustand verbauter Komponenten gewonnen. Hierfür kommen Methoden aus den Bereichen der künstlichen Intelligenz und Data Analytics zum Einsatz. Die gewonnenen Informationen, z. B. über den aktuellen Verschleißzustand, sollen anschließend in bestehende digitale Modelle integriert werden.

Zum anderen gilt es, die physische, dreidimensionale Konfiguration der Anlage zu erfassen und diese mit bestehenden Modellen zu vergleichen. Falls Unterschiede bestehen, können Letztere semi-automatisiert aktualisiert werden. Die Erfassung erfolgt dabei mittels geeigneter 3D-Sensorik, wie z. B. Time-of-Flight-Kameras, und einer entsprechenden Trägerplattform zu deren Positionierung. Auch für den Abgleich zwischen 3D-Daten und bestehenden Modellen eignen sich Methoden der künstlichen Intelligenz.

Danksagung

Das Projekt wird durch das Bayerische Verbundforschungsprogramm (BayVFP) des Freistaates Bayern gefördert und durch den Projektträger VDI/VDE-IT administrativ betreut. Hierfür bedanken sich die Projektpartner herzlich.

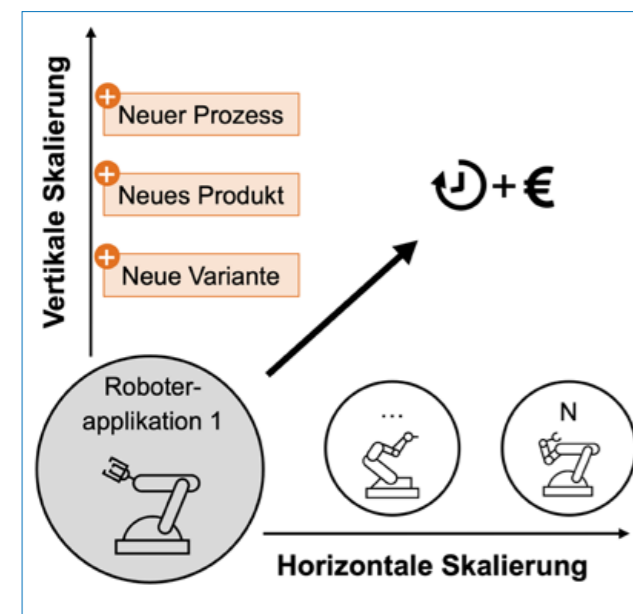


M. Sc. Johannes Bauer
Abteilung
Montagetechnik & Robotik

KIRO – KI-basierte Roboterapplikationen für eine einfache Skalierung und optimierte Auslastung

Die Entwicklung von Roboterapplikationen erfordert aufgrund der Systemkomplexität bis heute einen hohen Zeit- und Arbeitsaufwand. Aus diesem Grund wird im Forschungsprojekt KIRO eine Entwicklungsplattform erarbeitet, mit der produzierende Unternehmen zukünftig in der Lage sind, Roboterapplikationen aufwandsarm zu erstellen und zügig zu skalieren.

Industrieroboter wurden lange Zeit hauptsächlich in der Großserienproduktion eingesetzt. In den letzten Jahren zeichnet sich jedoch ab, dass Roboter auch für die variantenreiche Produktion mit geringen Stückzahlen geeignet sind, um dort die Mitarbeitenden zu entlasten. Für einen wirtschaftlichen Einsatz ist es aber notwendig, dass sich einmal entwickelte Roboterapplikationen leicht auf neue Produktvarianten oder weitere Robotersysteme skalieren lassen (vgl. Abb.).



Aktuelle Herausforderungen

Im Projekt KIRO wird daher eine Entwicklungsplattform auf Basis von Apps zur Ansteuerung von Robotern konzipiert, die eine schnelle Realisierung vielfältiger Roboterapplikationen ermöglichen soll.

Mit Hilfe wiederverwendbarer Roboter Apps (z. B. zur Bildverarbeitung oder Ansteuerung des Roboters) soll der Anwendende einfach unterschiedlichste eigene Applikationen umsetzen können. Einmal erstellte Roboterapplikationen sollen dann mithilfe von künstlicher Intelligenz auf neue Produktvarianten trainiert werden.

Neben der Roboterprogrammierung soll dabei fokussiert die Greiftechnik, als Bindeglied zwischen Roboter und Werkstück, betrachtet werden. Hierbei soll der aufwändige Entwicklungsprozess erleichtert und die Übertragbarkeit bereits entwickelter Systeme auf neue Varianten vereinfacht werden.

Um in der anschließenden Betriebsphase die Roboterflotte im Unternehmen optimal auszulasten, soll die KIRO-Plattform darüber hinaus den Anwendenden bei der Einsatz- und Aufgabenplanung unterstützen.

Danksagung

Das Projekt KIRO wird durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi) gefördert. Das *iwb* bedankt sich beim StMWi und allen Projektpartnern für die Förderung und gute Zusammenarbeit.



M. Sc. Lisa Heuss
Abteilung
Montagetechnik & Robotik



M. Sc. Paul Geng
Abteilung
Montagetechnik & Robotik

SynErgie II – Energieflexibilität als essentieller Beitrag zum Energiesystem der Zukunft

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist aufgrund der wetterabhängigen und volatilen Betriebscharakteristik von Photovoltaik- und Windkraftanlagen kaum steuerbar und nur schwer vorherzusagen. Nachfrageseitige industrielle Energieflexibilität stellt einen Lösungsansatz dar, um das schwankende Stromangebot und die Stromnachfrage zu synchronisieren. Im Rahmen der zweiten Förderphase des Forschungsprojekts Synergie (2019 – 2022) arbeitete das *iwb* zusammen mit zahlreichen Industriepartnern an der Umsetzung von Energieflexibilitätsmaßnahmen und leitete darüber hinaus die Energieflexible Modellregion Augsburg.

In den vergangenen drei Jahren wurde beispielsweise mit dem Unternehmen Schaeffler Technologies untersucht, wie die energieintensiven Produktionsbereiche am Standort Schweinfurt flexibilisiert werden können. Mithilfe einer energieorientierten Materialflusssimulation konnten die Auswirkungen von angepassten Prozessparametern im Bereich der Schmiede und der Härterei auf die auftretenden Jahresspitzenlasten

des Standortes untersucht werden. Ein anschließender Testlauf an den Anlagen (temporäre Änderung der Hubzahl in Schmiedeprozessen, Temperaturanpassungen in der Härterei etc.) zeigte, dass die Umsetzung von Energieflexibilitätsmaßnahmen auch in Bereichen mit hohen Qualitätsanforderungen möglich ist.

Darüber hinaus wurde in der Modellregion Augsburg das Zusammenspiel von Netzbetreibern und energieflexiblen Industrieunternehmen in einem Testbetrieb zum Handel von Energieflexibilitäten untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die in SynErgie erarbeitete Plattformlösung, die sogenannte Energiesynchronisationsplattform, die notwendigen technischen und prozessualen Fähigkeiten für den regionalen Handel mit Energieflexibilität aufweist.

Im Zuge einer Laufzeitverlängerung bis Juni 2023 werden die Arbeiten der zweiten Förderphase nun fortgeführt und erweitert. Erstmals stehen dabei auch Arbeiten im Bereich der energieflexiblen Wasserstoffherstellung im Fokus. Im Juli 2023 soll schließlich die dritte Förderphase von

SynErgie starten, bei der es verstärkt um die Umsetzung von Energieflexibilitätsmaßnahmen gehen wird.

Dank

Die Autorinnen und Autoren bedanken sich bei allen Projektbeteiligten für die Zusammenarbeit, beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Unterstützung und beim Projektträger Jülich (PtJ) für die Betreuung des Kopernikus-Projekts SynErgie II (03SFK3E1-2).



M. Sc. Julia Schulz
Abteilung Nachhaltige Produktion



M. Sc. Valerie Scharmer
Abteilung Nachhaltige Produktion



M. Sc. Patrick Jordan
Abteilung Nachhaltige Produktion



M. Sc. Markus Wörle
Abteilung Nachhaltige Produktion

Das *iwb* auf neuen Wegen: Nachhaltigkeitsrisikobewertung produzierender Unternehmen für die Commerzbank AG

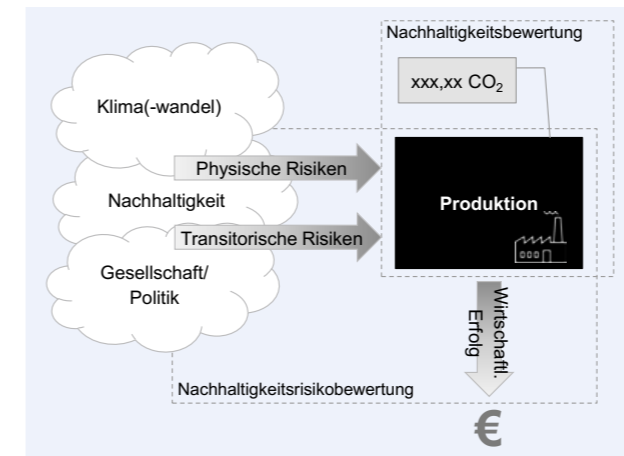
Im Rahmen der neugeschaffenen Commerzbank.TUM-Kooperation soll ein System zur Bewertung von Nachhaltigkeitsrisiken produzierender Unternehmen entwickelt werden. Die dabei erzielten Ergebnisse dienen der Nutzung im Risikomanagement der Bank und als Hilfestellung im Wandel zur nachhaltigeren Produktion für Unternehmen.

Sich verändernde Umweltbedingungen und gesellschaftspolitische Forderungen stellen die produzierenden Unternehmen in der Europäischen Union zunehmend vor Herausforderungen und

Schwierigkeiten. Während die Forschung zur Nachhaltigkeitsbewertung in der Produktion weit fortgeschritten ist, wurde das Konzept der sogenannten Nachhaltigkeitsrisiken bisher nur ohne Bezug zur Produktion diskutiert. Die Abbildung skizziert die Wirkungsrichtungen von Nachhaltigkeitsrisiken der Produktion.

Beziehung zwischen der Produktion und der Bankwirtschaft

Europäische Banken stehen derzeit zunehmenden aufsichtlichen Anforderungen an die



Wirkungsrichtungen von Nachhaltigkeitsrisiken der Produktion

Nachhaltigkeit ihres Geschäftsmodells gegenüber. Insbesondere für die Kreditportfolien großer Geschäftsbanken ergibt sich daher eine steigende Relevanz der Nachhaltigkeit der eigenen Kreditnehmenden. Die Bewertung der Nachhaltigkeit produzierender Unternehmen kommt dabei nicht umhin, den wesentlichen Nachhaltigkeitstreiber dieser Kundengruppe zu beleuchten: die Produktion.

Auf Ebene der Produktion besteht aktuell jedoch eine mangelhafte Erkenn- und Messbarkeit nachhaltigkeitsbezogener Risiken. Nicht zuletzt deshalb, da der Begriff „Nachhaltigkeitsrisiko“ mit Bezug zur Produktion bisher kaum verwendet wird. Hinzu kommen ohnehin bestehende Probleme, wie das Fehlen eines generischen, branchenadäquaten Nachhaltigkeitskonzeptes, die Uneinigkeit über grundlegende Aspekte der Taxonomie bestehender Nachhaltigkeitskennzahlen oder das Problem der mangelhaften Datenverfügbarkeit für die Bewertung.

Zielstellung und Vorgehen

Im Zeitraum vom 01.01.2022 bis 31.12.2024 soll ein Konzept für die Modellierung der Nachhaltigkeit von Produktionssystemen zur Ermittlung und Bewertung von Nachhaltigkeitsrisiken erarbeitet werden. Der Ansatz ist dabei in drei Schritte unterteilt und umfasst die Phasen der

Nachhaltigkeitsmodellierung, der Datenextraktion und des Einsatzes als Risikomanagementinstrument. Aus produktionswissenschaftlicher Sicht liegt das Hauptaugenmerk dabei auf der Quantifizierung potenzieller Schadensausmaße auf Basis der angestrebten Nachhaltigkeitsmodellierung. Die Ergebnisse werden verwendet, um externen Stakeholdern über die Nachhaltigkeitsleistung zu berichten und um die nachhaltigkeitsbezogene Resilienz von produzierenden Unternehmen durch die Identifizierung von Verbesserungsmöglichkeiten zu erhöhen.

Danksagung

Wir danken der Commerzbank für die gute Zusammenarbeit und die Beauftragung mit diesem Projekt.



M. Sc. Daniel Schneider
Abteilung Nachhaltige Produktion

ASSISTANT – Der Digitale Zwilling für die Arbeitsplanung

Im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten Projekts ASSISTANT soll ein Digitaler Zwilling zur Planung von Produktionsprozessen erarbeitet werden. Mit diesem werden Montagepläne für bereits bestehende Produktionsumgebungen automatisiert erstellt, bewertet und ausgewählt.

Aufgrund kürzerer Produktlebenszyklen und individuellerer Kundenwünsche müssen Unternehmen eine Vielzahl unterschiedlicher Produkte herstellen. Für jeden Produkttyp müssen im Rahmen der sogenannten Arbeitsplanung die benötigten Produktionsprozesse und die Ressourcen, die diese Prozesse ausführen können, ermittelt werden. Die Generierung von Prozessplänen erfordert einen hohen manuellen Aufwand und ein hohes Maß an Expertenwissen, um verschiedene alternative Prozesspläne zu generieren und

anschließend geeignete Prozesspläne zu identifizieren. Aufgrund seiner bspw. simulativen Fähigkeiten ist ein Digitaler Zwilling geeignet, Entscheidungen in der Arbeitsplanung automatisiert zu unterstützen. Deshalb wird in diesem Artikel ein Konzept für einen solchen Digitalen Zwilling für die Arbeitsplanung (DZAP) vorgestellt.

Konzept des Digitalen Zwillings

Eine große Anzahl an Unternehmen verwaltet bereits Produkt- und Produktionsdaten in Informationssystemen. Trotzdem treffen Arbeitsplanende ihre Entscheidungen in der Regel manuell und ohne softwareseitige Unterstützung. Dies resultiert in ineffizienten oder nicht validen Arbeitsplänen. Der DZAP soll die Arbeitsplanung der bestehenden Unternehmen mit ihren Prozessen und Systemen verbessern. Folglich muss dieser

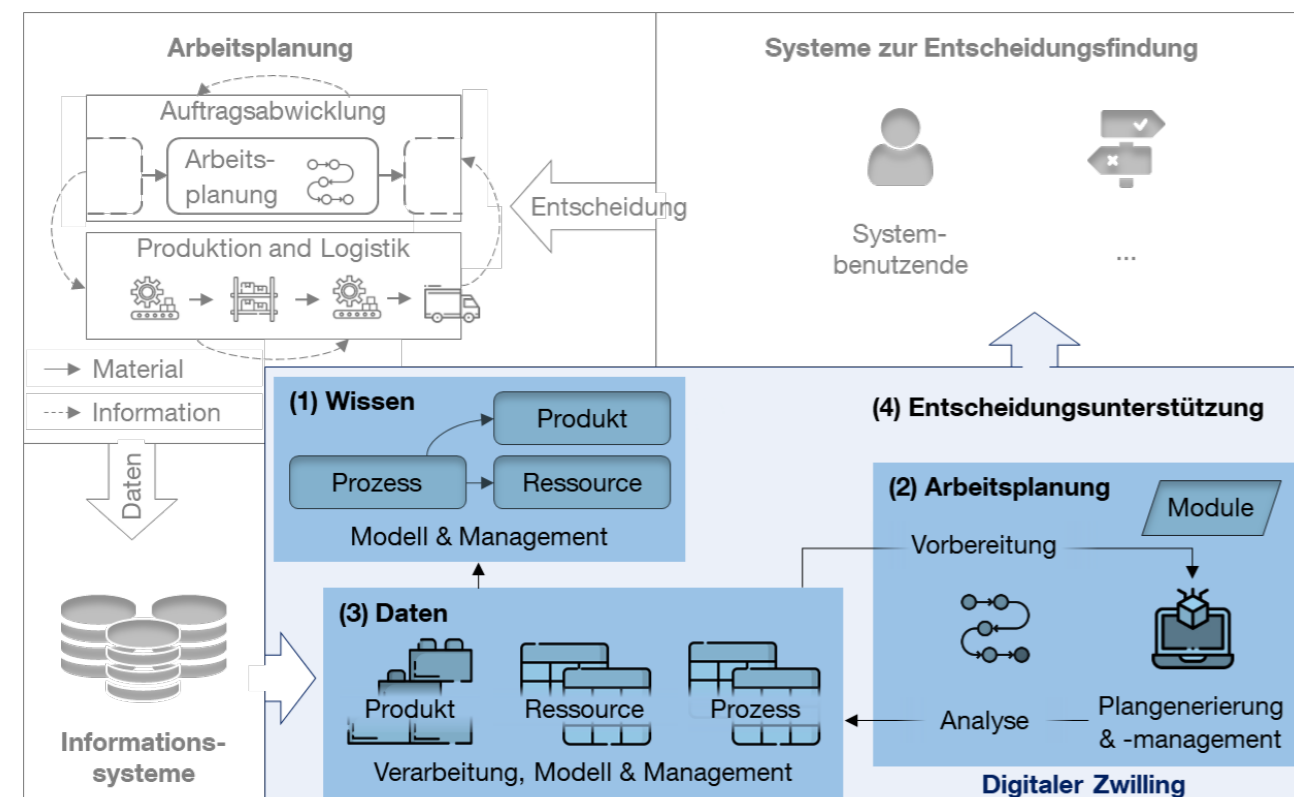


Abb. 1: Konzept des Digitalen Zwillings für die Arbeitsplanung

in geeigneter Weise in das beschriebene Umfeld integriert werden. Um das zu erreichen, besteht der DZAP aus vier wesentlichen Komponenten (siehe Abb. 1): eine Wissensrepräsentation (1), eine Planungseinheit (2), eine zentrale Datenbasis (3) und Schnittstellen zur integrierten Entscheidungsunterstützung (4).

Zunächst erfasst eine Wissensrepräsentation (1) das Wissen über die Arbeitsplanung in semantischer Form, die von Menschen und Maschinen gelesen werden kann. Die resultierende Transparenz, bspw. von Produkteigenschaften, unterstützt die Planungseinheit (2). Sie führt die Phasen der Arbeitsplanung automatisiert aus (siehe Abschnitt Planungseinheit): Spezifikation und Anforderungsanalyse (P1), Prozessidentifikation und Sequenzierung (P2), Ressourcenzuordnung (P3) und Parameteridentifikation (P4). Zudem ist eine Datenbank (3) notwendig, um alle relevanten Eingangs- und Ausgangsdaten der Arbeitsplanung in strukturierter Form zu verwalten. Dazu gehören Daten über das zu produzierende

Produkt, die zur Verfügung stehenden Ressourcen und die daraus resultierenden Prozesse, die ausgeführt werden müssen. Geeignete Schnittstellen (4) sorgen schließlich für eine integrierte Entscheidungsunterstützung. Hierzu zählen bspw. Schnittstellen zu Informationssystemen, zu Systembenutzenden oder zu anderen Systemen zur Entscheidungsfindung. Mithilfe dieser vier Komponenten ist der resultierende DZAP in der Lage, automatisiert wirtschaftliche Arbeitspläne zu erstellen. In den folgenden Abschnitten werden die bereits erarbeiteten Komponenten detailliert sowie die zu entwickelnden Elemente des DZAP vorgestellt.

Wissensrepräsentation

Aufgrund der mangelnden Transparenz und des impliziten Expertenwissens in der Arbeitsplanung enthält der DZAP eine Wissensrepräsentation in Form einer Ontologie. Eine Ontologie ist eine systematische Darstellung von Begriffen und deren Beziehungen. Durch eine hohe

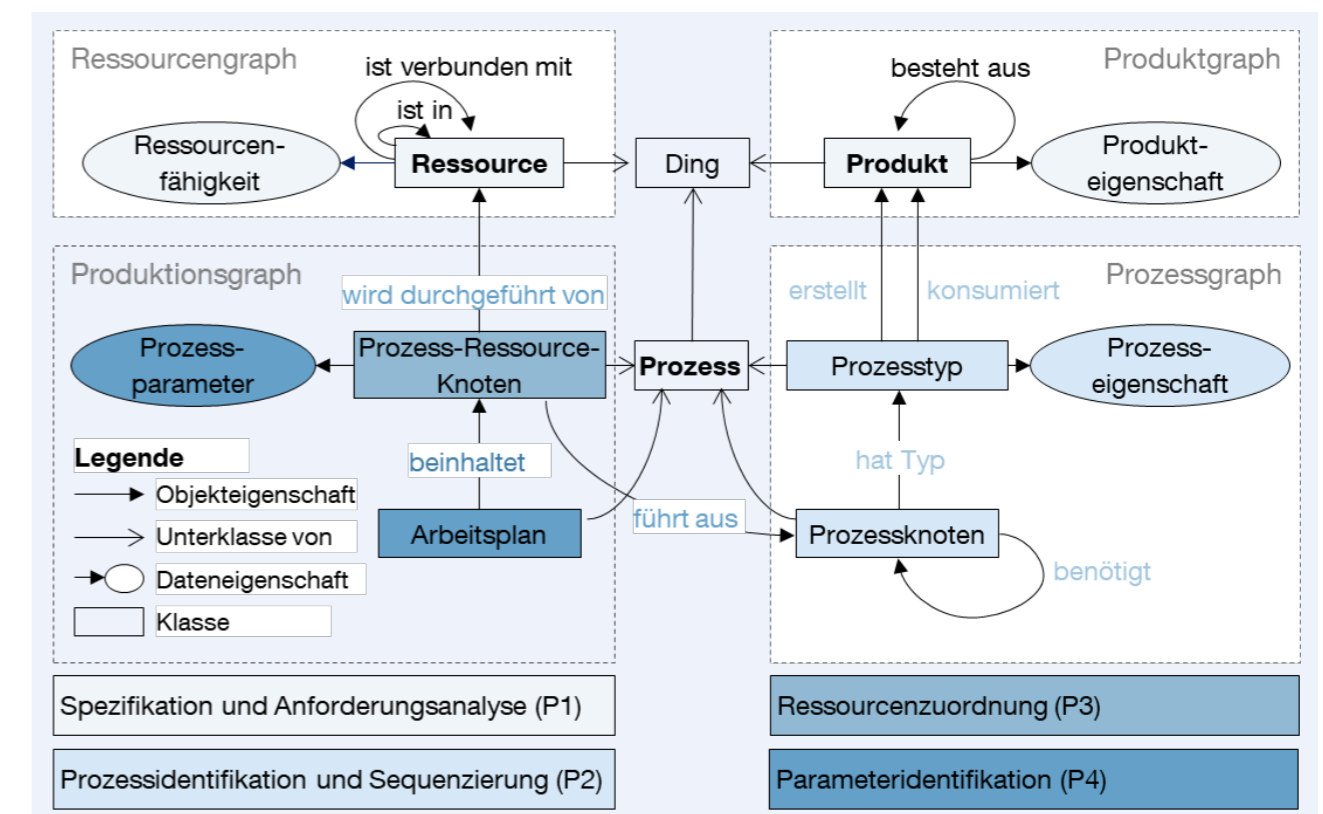


Abb. 2: Wissensrepräsentation

semantische Ausdruckskraft werden Ontologien zum Austausch von Wissen in digitalisierter und formaler Form zwischen Anwendungsprogrammen und Menschen eingesetzt. Die im Rahmen des Projekts entwickelte Ontologie der Arbeitsplanung baut auf dem sogenannten Prozess-Produkt-Ressource-Modell (PPR-Modell) auf, wie in Abb. 2 dargestellt. Diese drei Grundpfeiler der Produktionsplanung wurden im Rahmen der Ontologieentwicklung in Form von Unterklassen und Relationen weiter detailliert. In Abb. 2 sind diese entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu den Planungsphasen farblich hinterlegt.

Planungseinheit

Um Arbeitspläne für eine neue Produktvariante zu erzeugen, wird eine Planungseinheit benötigt, die mit der Datenbasis und der Wissensrepräsentation interagiert (siehe Abb. 3). Die Struktur dieser Einheit orientiert sich ebenfalls am PPR-Modell. Die erste Aufgabe ist es, Prozesse anhand von Produktdaten (z. B. CAD-Modellen) automatisch zu identifizieren, zu formulieren und

in die Ontologie zu übertragen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf einer simulations- und merkmalsbasierten Analyse des Produkts zur Analyse der Prozessanforderungen (P1) und der Prozesse selbst (P2) (z. B. das benötigte Anziehungsmoment und der Schraubprozess an sich). Mit diesem Ansatz lassen sich insbesondere für Montageprodukte verschiedene Montageabläufe automatisch generieren. Weiter ist es notwendig, das bestehende Produktionssystem hinsichtlich der Fähigkeiten zur Durchführung bestimmter Prozessschritte zu analysieren und zu beschreiben. Mithilfe eines fähigkeitsbasierten Ansatzes wird das Produktionssystem in Bezug auf die aktorischen und sensorischen Fähigkeiten beschrieben (P1). Schließlich wird ein Abgleich durchgeführt, um den einzelnen Prozessschritten Ressourcen (semantisch und quantitativ) zuzuordnen. Als Ergebnis dieser Ressourcenzuordnung (P3) werden verschiedene Arbeitspläne mit unterschiedlichen Ressourcen generiert, die in zukünftigen Planungsschritten weiter parametrisiert, bewertet und wieder in die Wissensrepräsentation und Datenbank überführt werden sollen (P4).

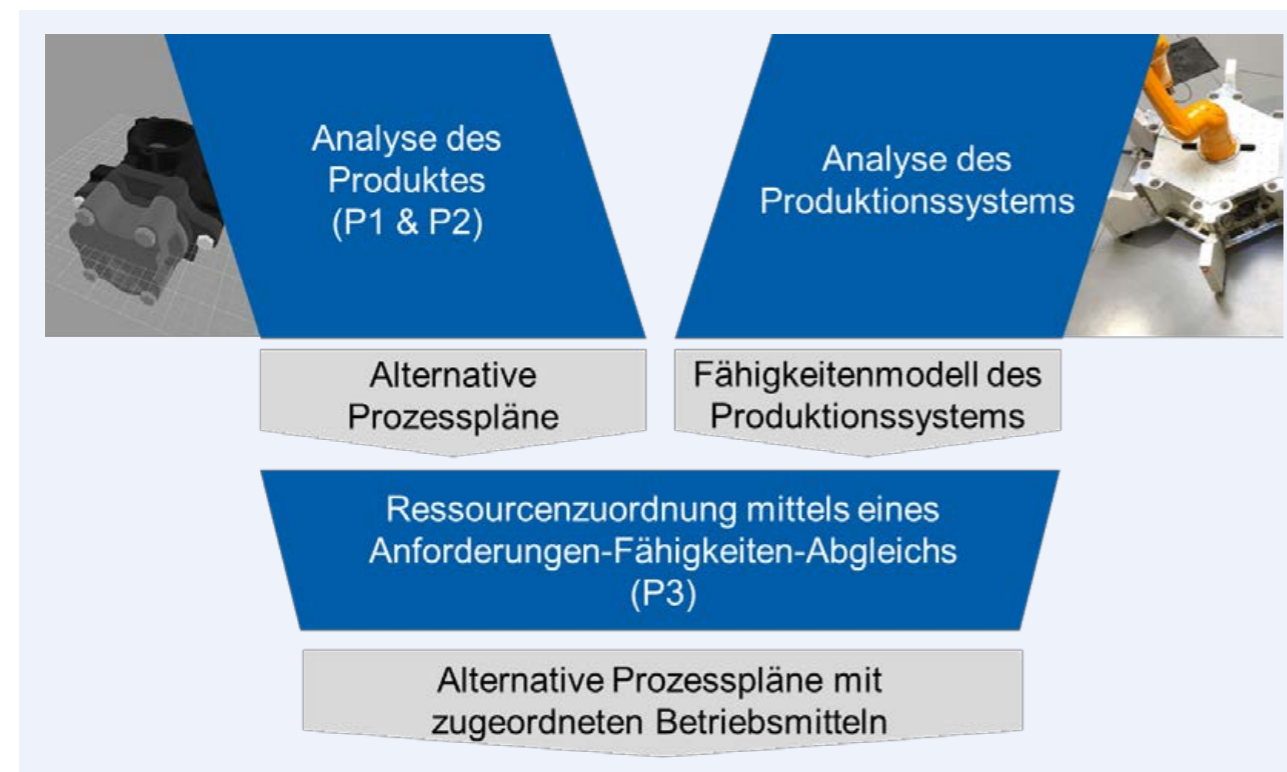


Abb. 3: Planungseinheit (Bildquellen: FlandersMake und Atlas Copco)

Zusammenfassung und Ausblick

Das Konzept des DZAP sieht die Entwicklung von vier zentralen Bausteinen vor, um aktuellen Herausforderungen der Arbeitsplanung zu begegnen. Die Wissensrepräsentation (1) wurde im Rahmen des Projektes bereits vollständig ausgearbeitet. Die Planungseinheit (2) bildet bereits die Phasen der Spezifikation und Anforderungsanalyse (P1), der Prozessidentifikation und Sequenzierung (P2) und der Ressourcenzuordnung (P3) ab. Im weiteren Verlauf des Projekts ist dieser Baustein noch um die Phase der Parameteridentifikation (P4) zu erweitern. Hierfür kommen prädiktive Analysen durch maschinelle Lernverfahren zum Einsatz. Damit wird die Güte von Arbeitsplänen basierend auf historischen Daten evaluiert. Darauf können anschließend präskriptive Analysen aufbauen, die aus dem großen Lösungsraum aller möglichen Arbeitspläne diejenigen auswählen, welche die anwenderspezifischen Anforderungen am besten erfüllen. Für die Interaktion aller Planungsphasen ist im weiteren Verlauf des Projektes außerdem die zugrundeliegende Datenbasis (3) auszuarbeiten. Abschließend gilt es, die Schnittstellen zu den bestehenden Entscheidungsfindungs- und Informationssystemen zu spezifizieren (4).



M. Sc. Sarah Wagner
Abteilung
Produktionsmanagement & Logistik



M. Sc. Marc Wegmann
Abteilung
Produktionsmanagement & Logistik



M. Sc. Clemens Gonnermann
Abteilung
Montagetechnik & Robotik



Horizon2020
European Union Funding
for Research & Innovation

Danksagung

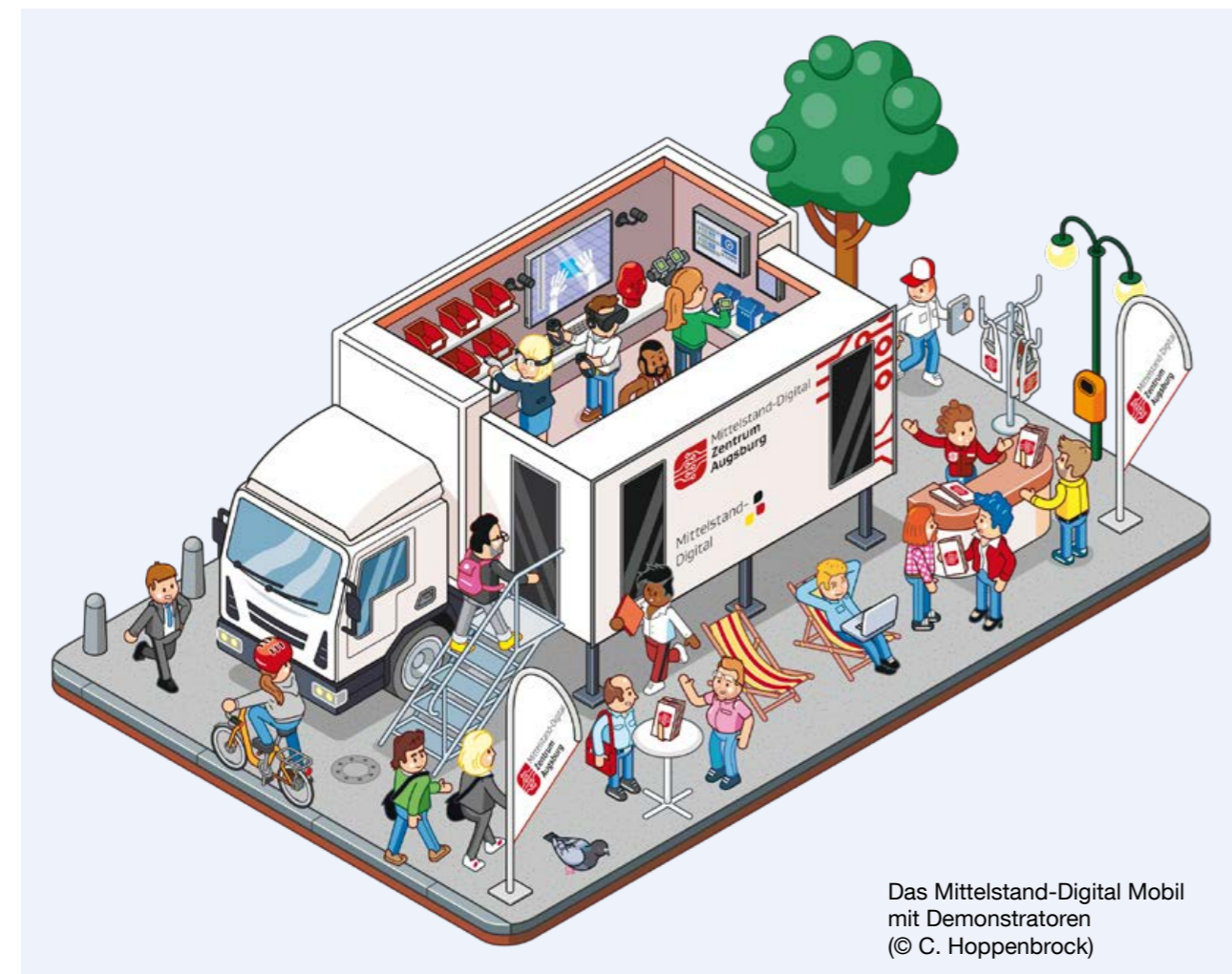
Das Projekt ASSISTANT wird mit der Förderung der EU-Kommission unter der Grant No. 101000165 finanziert. Wir danken der EU-Kommission für die freundliche Unterstützung. Nähere Informationen finden Sie unter assistant-project.eu.

Digitalisierung für KMU hat einen neuen Namen – Die Arbeit des Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrums Augsburg wird im Mittelstand-Digital Zentrum Augsburg fortgeführt

Die Arbeit des Kompetenzzentrums ist abgeschlossen und wird mit dem neuen Mittelstand-Digital Zentrum Augsburg, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, für drei Jahre weitergeführt.

Das Mittelstand-Digital Zentrum Augsburg hat zum Ziel, insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die noch am Anfang der

Digitalisierung oder der Einführung von KI-Anwendungen stehen, bei einer ganzheitlichen Transformation zu unterstützen. Die Unternehmen sollen langfristig fit für die Digitalisierung gemacht werden, indem grundlegende Informationen sowie Anwendungskenntnisse über ganzheitlich gedachte Digitalisierungskonzepte vermittelt werden und damit Unternehmen Start-hilfe in eine digitale Zukunft gegeben wird.



Nach der fünfjährigen Förderung des Vorgängerprojektes soll dieses Ziel im Mittelstand-Digital Zentrum Augsburg weiterverfolgt werden.

Fokus auf einen ganzheitlichen Digitalisierungsansatz

Durch die neuen Schwerpunkte Nachhaltigkeit, digitale Strategien und vernetzte Produktion und Logistik sowie dem Fortbestand der Schwerpunkte Arbeit 4.0, Künstliche Intelligenz und Finanzen 4.0 soll Unternehmen aus Produktion und Handwerk die Bedeutung für eine ganzheitliche Transformationsgestaltung verdeutlicht werden. Zielgruppengerechte Lösungswege werden hierfür durch verschiedene kostenfreie Formate aufgezeigt. Neben Roadshows mit unserem Mittelstand-Digital Mobil (s. Abbildung) werden neue Qualifizierungskonzepte und Umsetzungsprojekte angeboten. Zur Förderung und Stärkung der Vernetzung zwischen KMU sollen zudem verschiedene Expertennetzwerke etabliert werden.

Weitere Informationen

<https://digitalzentrum-augsburg.de/>

Danksagung

Das Mittelstand-Digital Zentrum Augsburg wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert und vom Projektträger Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) betreut. Wir danken beiden Institutionen für die erfolgreiche Zusammenarbeit.



M. Sc. Svenja Korder

Abteilung
Produktionsmanagement & Logistik



M. Sc. Maria Maier

Abteilung
Nachhaltige Produktion



M. Sc. Markus Wörle

Abteilung
Nachhaltige Produktion

Steigerung der Arbeitsgenauigkeit von Fräsrobotern durch die Fusion physikalischen Wissens und maschinellen Lernens

Aufgrund der außergewöhnlichen Flexibilität in industriellen Fertigungsprozessen verspricht der Einsatz von Fräsrobotern eine deutliche Steigerung der Effizienz und Wirtschaftlichkeit gegenüber herkömmlichen Fräsbearbeitungszentren. Speziell bei der Bearbeitung großvolumiger Bauteile kommen ihre Vorteile, wie die niedrigen Anschaffungskosten bei gleichzeitig großem Arbeitsraum, voll zum Tragen.

Ziel des Forschungsvorhabens

„ProKIRO“ ist die eine erhöhte Arbeitsgenauigkeit von Fräsrobotern durch die Fusion von Starrkörpermodellen und prozessbegleitend erfassten Messdaten unter Verwendung moderner maschineller Lernverfahren. Besonders innovativ macht dieses Vorgehen der weitgehende Verzicht auf externe Messtechnik sowie die probabilistische Absicherung der Modellprognosen.



Durch eine präzise Modellierung des Nachgiebigkeitsverhaltens des Fräsroboters kann die Abdrängung im Prozess noch im CAM-System prognostiziert und kompensiert werden.

Wirtschaftliche Potentiale der Fräsrobotik

Der Einsatz von Industrierobotern, beispielsweise als Fräsroboter für spanende Fertigungsprozesse, verspricht enormes wirtschaftliches Potential. Industrieroboter sind im Vergleich zu Fräs-Bearbeitungszentren deutlich kostengünstiger zu erwerben und ermöglichen dabei die Fräsbearbeitung großvolumiger Bauteile. Der Einsatz wird jedoch oftmals durch die geringe statische und dynamische Steifigkeit des Roboters beschränkt: aufgrund der wirkenden Prozesskräfte wird der Tool Center Point (TCP) des Roboters während des Prozesses stark vom geplanten Pfad abgedrängt. Sofern diese Abdrängung nicht durch eine vorgelagerte Kompensationssteuerung oder eine prozessbegleitende Prozessregelung minimiert werden kann, führt dies zu unzulässigen Formabweichung von der Sollgeometrie des Bauteils.

Vorarbeiten auf diesem Gebiet haben gezeigt, dass eine Modellierung der Robotereigenschaften entweder durch physikalisch motivierte

Robotermodelle oder durch datenbasierte maschinelle Lernverfahren möglich ist.

Gemeinsam mit der toolcraft AG mit Sitz in Georgensgmünd adressiert das *iwb* die Fusion beider Modellierungsarten unter Verwendung statistisch abgesicherter maschineller Lernverfahren und somit die Steigerung der Arbeitsgenauigkeit von Industrierobotern in der spanenden Fertigung bei gleichzeitiger Absicherung der Modellprognosen.

Kontinuierliche Datenakquise

Um die positionsabhängige statische Nachgiebigkeit des Roboters fortlaufend im Prozess zu überwachen, müssen die Verlagerungen des TCP aufgrund externer Kräfte und Momente messtechnisch erfasst werden. Zur Erfassung der Verlagerungen wird ein modernes Robotersystem des Herstellers MABI Robotic mit integrierten an- und abtriebsseitigen Drehgebern und Dehnmessstreifen an den längeren Strukturelementen verwendet. Die prozessinduzierten Kräfte und Momente können prozessbegleitend durch

einen sensorischen Werkzeughalter der pro micron GmbH erfasst werden.

Nachgiebigkeitsmodellierung durch Informationsfusion

Um die Informationen aus dem physikalisch motivierten Strukturmodell des Roboters mit den experimentell erfassten Daten zu verbinden, sollen lernfähige Algorithmen der Informationsfusion zum Einsatz kommen. Derartige Algorithmen konnten am *iwb* bereits erfolgreich im Rahmen der Modellierung des poseabhängigen dynamischen Verhaltens der Roboterstruktur eingesetzt werden.

Kontinuierliche Verbesserung der CAM-Planung

Um das positionsabhängige Steifigkeitsmodell des Roboters für das industrielle Umfeld nutzbar zu machen, werden die Fertigungsprozesse abschließend durch ein agentenbasiertes

Kompensationssystem überwacht und zyklisch verbessert. Ein Softwareagent soll hierfür befähigt werden, die positionsabhängige Modellprognose zum Nachgiebigkeitsverhalten abzurufen und diese Informationen im Sinne einer steifigkeitsoptimalen Kompensationssteuerung im CAM-System zu verwerten.

Danksagung

Wir danken dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi) für die Förderung des Projektes ProKIRo (Probabilistische Methoden der künstlichen Intelligenz zur Robotermodellierung für den Einsatz in der Fertigungstechnik).



M. Sc. Maximilian Busch
Abteilung
Werkzeugmaschinen

Anonymisierte Datenverarbeitung von Werkzeugmaschinenendaten in der Cloud

Durch die zunehmende Vernetzung in der Fertigung sind Big-Data-Anwendungen auf dem Vormarsch. Die datenbasierte Prozessanalyse in der Cloud bietet dabei aufgrund der wachsenden Rechenleistung viele Vorteile für Maschinenhersteller und -betreiber. Um die damit verbundenen Möglichkeiten nutzen zu können, ist es notwendig, auf die Maschinendaten zuzugreifen. Diese können jedoch sensible Informationen enthalten. Im Rahmen des Projekts „Anonymization-4Optimization“ aus dem VDW-Arbeitskreis 2 „Steuerungs- und Systemtechnik“ haben das Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) und das Fraunhofer Institut für Angewandte und Integrierte

Sicherheit (AISEC) Methoden entwickelt, um Prozess- und Maschinendaten sicher in der Cloud zu verarbeiten. Durch eine Anonymisierung der Datensätze wird sichergestellt, dass die Informationshoheit bei den Anwendenden verbleibt und keine sensiblen Daten das Unternehmen verlassen.

Datenverarbeitung in der Cloud

Durch die zunehmende Digitalisierung des Shopfloors nimmt die Menge der in der Fertigung produzierten Daten stetig zu. Um das volle Potenzial dieses Trends zu nutzen, müssen die Daten zwischen den verschiedenen Akteuren der Wertschöpfungskette geteilt werden. Moderne

Werkzeugmaschinen produzieren eine Vielzahl von Daten, die über Schnittstellen wie OPC UA oder umati abgerufen werden können. Die aus den Daten ableitbaren Informationen sind nicht nur für die Anwendenden, sondern auch für die Maschinenhersteller wertvoll. Anhand dieser Informationen können die Hersteller das Verhalten der Maschinen in verschiedenen Konfigurationen und über lange Zeiträume hinweg analysieren. So lassen sich Schwachstellen erkennen und die Erkenntnisse zur Optimierung zukünftiger Maschinenserien nutzen.

Im Forschungsprojekt Anonymization4Optimization konnten wesentliche Erkenntnisse zum sicheren und vertrauensvollen Umgang mit cloudbasierten Prozessanalysen erzielt werden.

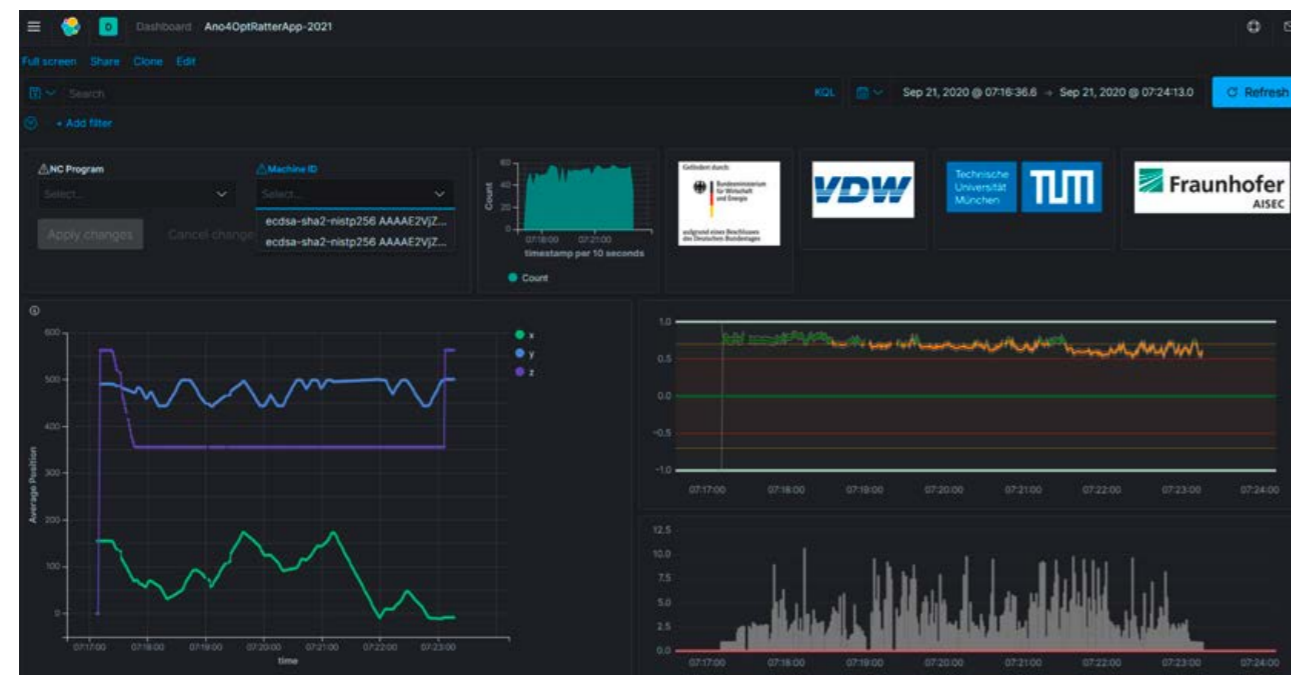
Edge-basierte Anonymisierung

Auf Basis einer eigens entwickelten Kritikalitätsbewertung können die Daten noch innerhalb des Unternehmens durch einen Anonymisierungsalgorithmus gefiltert werden, um kritische und sensible Information zurückzuhalten. Das Anonymisierungsverfahren basiert auf einem sogenannten Differential-Privacy-Ansatz. Differential

Privacy ermöglicht eine datenschutzkonforme Maschinen- und Prozessanalyse durch eine Überlagerung der Signale mit Rauschen, um ein bestimmtes Maß an Privatsphäre zu gewährleisten und gleichzeitig die Aussagekraft beizubehalten. Die entwickelte Lösung ermöglicht es den Anwendenden, Informationen, die potenziell geistiges Eigentum beinhalten, noch vor dem Datentransfer in die Cloud zu verbergen. Gleichzeitig beinhalten die Daten noch eine ausreichende Aussagekraft, damit Maschinenhersteller die Schwächen und das Optimierungspotenzial ihrer Maschinen erkennen können.

Cloudbasierte Prozessanalyse

Sowohl die Anwendenden als auch die Maschinenhersteller können die Maschinen- und Prozesseigenschaften fortlaufend in einer für das Problem des regenerativen Ratters entwickelten Ratter-App analysieren (s. Abbildung). Die lokal für das Anlagenpersonal verfügbare Ratter-App kann dabei auf die ungefilterten Rohdaten zurückgreifen, um eine genaue Prozessanalyse zu ermöglichen. Im Gegensatz dazu ermöglicht die cloudbasierte Ratter-App die aggregierte Analyse aller verfügbaren Maschinen im Feld, allerdings



Die browserbasierte Ratter-App ermöglicht eine interaktive Prozessanalyse.

auf Basis der anonymisierten Datensätze. Durch die browserbasierte Implementierung ist diese Analyse sowohl auf gewohnten Rechnern als auch auf mobilen Endgeräten möglich.

Die im Projekt Anonymization4Optimization entwickelte Methodik ermöglicht Anwendenden und Maschinenherstellern gemeinsam auf cloudbasierte Rechenleistung und moderne Datenanalyseverfahren zurückzugreifen und dabei die Informationshoheit der Anwendenden zu wahren.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 20449 N (Anonymisierung von Prozessdaten zur Optimierung von Werkzeugmaschinen unter Verwendung von Cloud-Services) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Industrielle Gemeinschaftsforschung

Wir bedanken uns recht herzlich bei den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für die gute Zusammenarbeit.



M. Sc. Maximilian Busch

Abteilung
Werkzeugmaschinen

WeldingWatch – Entwicklung einer adaptiven Inline-Prozessüberwachung und -regelung für die laserbasierte Batteriekontaktierung basierend auf Machine-Learning-Algorithmen zur Reduktion der Ausschussquote

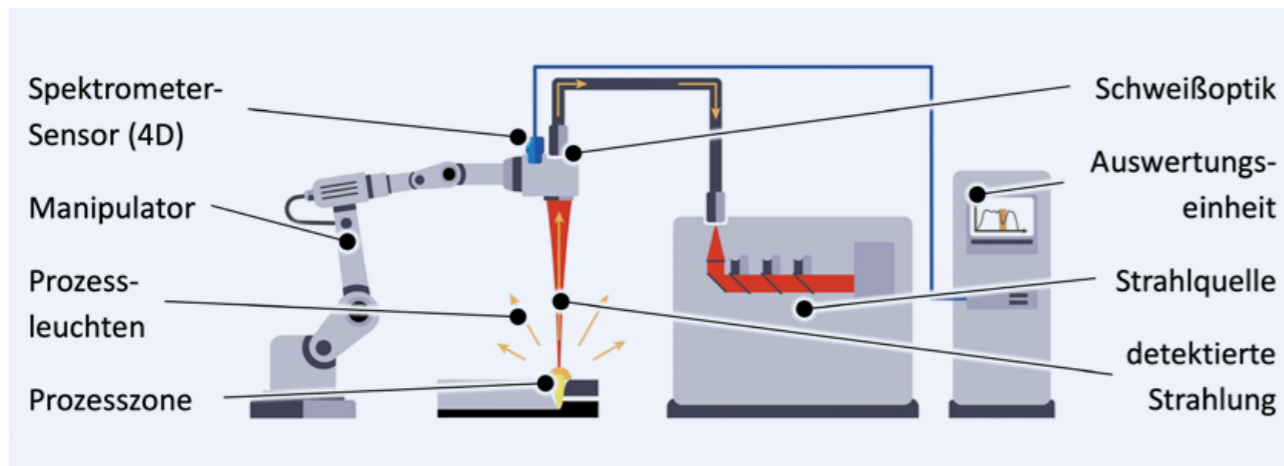
Im Zuge des wachsenden Marktanteils der Elektromobilität steigt die Bedeutung des Laserstrahlschweißens als Fertigungsverfahren zur elektrischen Kontaktierung von Batteriezellen. Mittels optischer Multi-Spektrometrie wird bei dieser anspruchsvollen Fügeaufgabe die Möglichkeit zur Prozessüberwachung gegeben.

Der gezielte Wärmeeintrag in das Bauteil ermöglicht beim Laserstrahlschweißen das Fügen von temperaturempfindlichen Komponenten, wie

Lithium-Ionen-Batterien. Mit dem Einsatz von gepulster Strahlung im Nanosekundenbereich können selbst bei anspruchsvollen Werkstoffkombinationen Nahtbreiten im Submillimeterbereich bei ausreichender Einschweißtiefe erzielt werden.

Projektziel

Eine Prozesskontrolle für diesen innovativen Fügeprozess wird im Kooperationsprojekt WeldingWatch erarbeitet. Mittels eines optischen



Schematischer Laserstrahl-Schweißaufbau mit in einer der Schweißoptik integrierten Sensorik und Rückführung von Steuersignalen an die Aktoren zur Erhöhung der Prozesssicherheit

Multi-Kanal-Spektrometers des Projektpartners, der 4D Photonics GmbH, wird dazu das Prozessleuchten erfasst und analysiert.

Prozessuntersuchungen

Aufgrund der Kritikalität des Nullspalts zwischen den beiden Fügeteilen wird zunächst eigens eine Spanntechnik entwickelt, die es ermöglicht, den Einfluss der Spannkraft zu untersuchen. Dieses System wird anschließend genutzt, um Korrelationen zwischen Nahqualität und Sensordaten zu identifizieren. Anhand dieser Datengrundlage wird zudem eine Regelung für den Schweißprozess entwickelt, was zu einer deutlichen Reduzierung der Ausschussquote beitragen soll.

Auswertungsmethodik

Die Messdaten werden mittels Methoden des Maschinellen Lernens ausgewertet, um Korrelationen zu ermitteln. Ein wichtiger Faktor bei der Modellierung ist die Flexibilität des Modells. Damit soll ein Prozessübertrag, z. B. auf andere Werkstoffe, mit einem möglichst geringen personellen Aufwand umgesetzt werden können. Für eine breite Einsatzmöglichkeit werden beide Ansätze – die Regelung und die datengetriebene Qualitätssicherung – mittels eines Zugriffs über ein Cloud-System implementiert.

Den Abschluss nach zwei Projektjahren wird die Implementierung der Qualitätssicherung und der Prozessregelung anhand eines Funktionsdemonstrators bilden.

Danksagung

Das Projekt wird von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) gefördert und in Zusammenarbeit mit der 4D Photonics GmbH bearbeitet. Die Autoren danken der AiF für die Förderung.



M. Sc. Lukas Mayr

Abteilung
Lasertechnik



M. Sc. Johannes Kriegler

Abteilung
Lasertechnik

ultraBatt – Intelligente Auslegungs- und Betriebsstrategien für ultra-schnellladefähige Batteriespeicher von Elektrofahrzeugen



Ultra-schnellladefähige Energiespeicher können einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, die Attraktivität batterieelektrischer Fahrzeuge für den Individualverkehr und insbesondere auch für den Nutzfahrzeugsektor zu erhöhen.

Neben der Umstellung von Personenkraftfahrzeugen ist auch ein Wandel im Nutz- und Transportfahrzeugsektor hin zur Elektromobilität notwendig, um die Treibhausgasemissionen signifikant senken zu können. Hohe Anforderungen an Nutzlasten und die hochfrequentierte Nutzung, die für einen wirtschaftlichen Betrieb der Fahrzeuge gefordert sind, stellen besondere Herausforderungen an den Energiespeicher dar. Neben der Verwendung von großen Energiespeichern, um hohe Reichweiten zu ermöglichen, kann ein schnellerer Ladevorgang dazu beitragen, die Akzeptanz für elektrifizierte Nutzfahrzeuge zu erhöhen. Da ein großer Lithium-Ionen-Batteriespeicher mit einer

hohen Masse und einem großen Ressourcenverbrauch einhergeht, gilt das Schnellladen als vielversprechend.

Ausgangssituation

Das Laden mit hohen Stromstärken führt sowohl auf Batteriezell- als auch auf Batteriemodulebene zu verschiedenen Problemen, die zu einer ungleichmäßigen Alterung der Batteriezellen und damit zu einem Kapazitätsverlust führen.

Projektziel

Im Rahmen des Forschungsprojektes soll die Ladezeit eines Batteriemoduls auf unter 15 Minuten gesenkt werden und gleichzeitig die Lebensdauer gesteigert werden. Hierfür werden neuartige Ladestrategien erforscht, um die Kapazitätsverluste beim Schnellladen zu reduzieren. Ferner sollen zellindividuelle Daten, wie Zellkapazität

oder Impedanz, genutzt werden, um durch eine gezielte Anordnung der Batteriezellen im Modul die Homogenität zu erhöhen und somit die Alterung der Batteriezellen zu reduzieren. Darüber hinaus kann durch die hohe Flexibilität des Laserstrahlschweißens die Schweißverbindung für jede Batteriezelle individualisiert werden und damit zellindividuelle Streuungen kompensiert werden. Zur Bestimmung der Schweißnahtrajektorie und -parameter werden Methoden der Künstlichen Intelligenz genutzt.



M. Sc. Christian Geiger
Abteilung
Lasertechnik



M. Sc. Michael Kick
Abteilung
Lasertechnik

Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) für die Förderung dieses Projekts unter dem Förderkennzeichen 01MV21015D und allen beteiligten Projektpartnern.

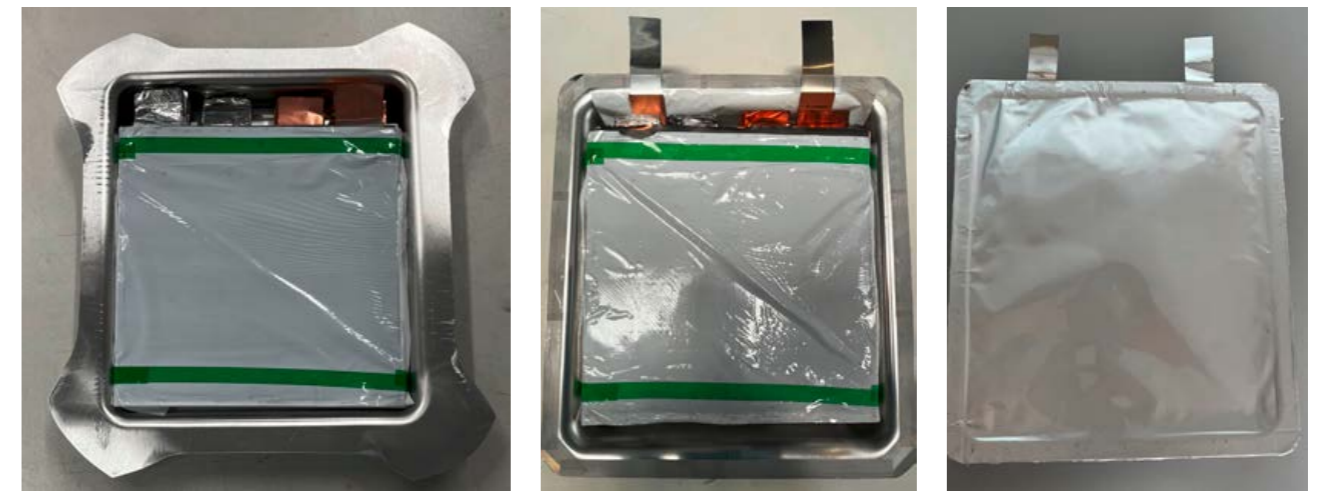
InnoCase – Innovative Gehäusekonzepte für großformatige Lithium-Ionen-Batterien

Im Forschungsprojekt InnoCase wurde über drei Jahre lang intensiv an der Konzeptionierung und der Produktion von großformatigen Lithium-Ionen-Batterien mit innovativen Gehäusekonzepten gearbeitet. Die neuartigen Gehäusekonzepte sollten sowohl zur Steigerung der Energiedichte als auch zur Reduzierung von Produktionskosten führen. Dies wurde mit einem innovativ gefertigten Gehäuse und der Herstellung von 150-Ah-Zellen am iwb realisiert.

Lithium-Ionen-Zellen (LIZ) werden als Speicher für elektrische Energie in vielfältigen Anwendungen eingesetzt. Die zellinternen Komponenten (die Elektroden, der Separator und der Elektrolyt) sind von einem Gehäuse umgeben, an das verschiedene Anforderungen gestellt werden. So ist das Zellinnere von äußeren Einflüssen (Feuchtigkeit, Verschmutzungen, etc.) zu schützen und gleichsam ist der Austritt der zellinternen, zum

Teil giftigen und brennbaren Stoffe zu verhindern. Für eine hohe spezifische Energie einer LIZ ist ein möglichst hoher Anteil an energiespeichernden Elektrodenaktivmaterialien im Verhältnis zu den passiven Komponenten, wie z.B. dem Zellgehäuse notwendig. Dies kann insbesondere durch großformatige Gehäusekonzepte realisiert werden. Die Produktion und die Nutzung großformatiger LIZ sind derzeit noch mit hohen Herausforderungen verbunden, die sowohl produktions- und montagetechnischer Natur sind als auch die Sicherheit und die Kühlung des Zellstacks betreffen.

Die Entwicklung von neuartigen Gehäusekonzepten wurde im Projekt InnoCase in zwei Zellgenerationen aufgeteilt. Zellgeneration 1 umfasste die Herstellung großformatiger Zellen in einem konventionellen Hardcase-Gehäuse. Als Referenz für die weitere Auslegung wurde das bisher produzierte Hardcase-Gehäuse der ElringKlinger AG im



Hybrides Gehäusedesign der Zellgeneration 2

PHEV2-Format verwendet. Um eine Steigerung der Energiedichte gegenüber der Referenzzelle zu erreichen, wurde vor allem das Totvolumen als kritischer Aspekt betrachtet. Ein großer Teil des Totvolumens ist in den Randbereichen der Batteriezelle vorhanden, wo sich die Schweißverbindung zwischen den Ableitern und den Stromschienen der Deckelbaugruppe befindet. Aus diesem Grund führte die Neupositionierung der Ableiterfolien sowie eine Optimierung des zellinternen Laserkontaktierungsprozesses zu wesentlichen Erfolgen und die spezifische Energie konnte signifikant gegenüber der Referenzzelle gesteigert werden.

Für die Zellgeneration 2 (hybrides Zellkonzept) wurden die gleichen Elektrodenformate genutzt, wie für Zellgeneration 1. Für den Herstellungsprozess der Schale wurde ein Tiefziehprozess gewählt, da eine geringe Wandstärke und eine hohe Fertigungsqualität notwendig waren, um die an eine LIZ und speziell die an Zellgeneration 2 gesetzten Anforderungen zu erfüllen. Die Herstellung von Werkzeugen für einen Tiefziehprozess ist mit hohen Fixkosten verbunden, weshalb die Anlagentechnik und Expertise des Lehrstuhls für Umformtechnik und Gießereiwesen (utg) der TUM genutzt wurde. Als wesentliche Resultate des Projekts sind einerseits die durch einen aufwendigen Anlagenumbau ermöglichte Herstellung von hochenergetischen Batteriezellen mit 150 Ah zu nennen. Andererseits wurde mit der Zellgeneration 2 ein neuartiges, innovatives

Gehäusekonzept erforscht sowie hergestellt, welches die Vorteile verschiedener Gehäusekonzepte vereint und daraus mit einem Projektpartner (Futavis GmbH) ein Modul aufgebaut.

Danksagung

Der Dank des iwb gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Projekts 03XP0207F sowie allen beteiligten Projektpartnern.



M. Sc. Celestine Singer
Abteilung
Batterieproduktion



M. Sc. Lucas Hille
Abteilung
Lasertechnik



M. Sc. Christian Geiger
Abteilung
Lasertechnik

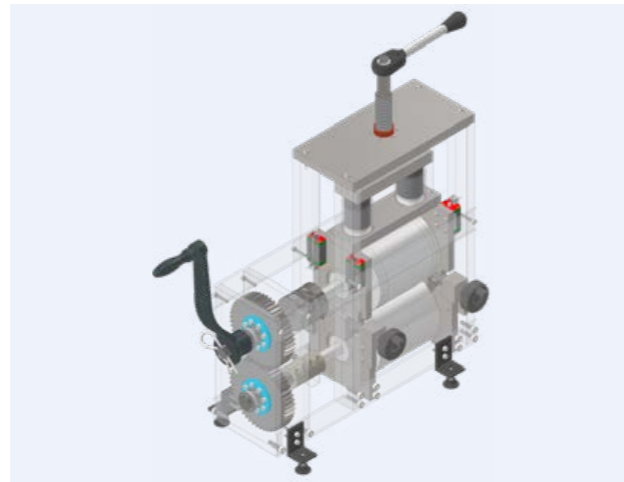
ProfiStruk – Mechanische Rolle-zu-Rolle-3D-Strukturierung von Batterieelektroden (Projektabschluss)

Lithium-Ionen-Zellen stellen die Schlüsseltechnologie zur Elektrifizierung des Verkehrssektors dar. Elektrofahrzeuge stellen dabei besonders hohe Anforderungen an die Produktion von Lithium-Ionen-Zellen. Diese müssen in kurzer Zeit geladen werden und zudem in großer Stückzahl kostengünstig hergestellt werden.

Die Optimierung der Leistungsdichte von Lithium-Ionen-Zellen, mit dem Ziel einer schnelleren Lade-fähigkeit, ist bereits ein gefestigter Forschungsschwerpunkt des *iwb*. In zahlreichen Studien wurde durch das Strukturieren von Batterieelektroden eine Leistungssteigerung erzielt. Dabei wurden mit Laserstrahlung mikroskopische Löcher in Elektroden eingebracht, um so den Lithium-Ionen-Transport in der Zelle zu erleichtern. Im Rahmen des Projekts ProfiStruk wurde ein zum Laser-basierten Verfahren alternativer Prozess entwickelt. Mittels einer Walze, die mit einem Strukturmuster versehen ist, werden die Vertiefungen in die Elektrode eingebracht. Dieser Prozess verspricht aufgrund der Rolle-zu-Rolle-Prozessierbarkeit hohe Durchsätze und hilft somit, den hohen Anforderungen an die Produktion von Lithium-Ionen-Zellen gerecht zu werden.

Machbarkeitsstudie

Da der neuartige Walz-Prozess zur Struktureinbringung in der Literatur noch nicht beschrieben ist, wurde im ersten Schritt die Machbarkeit des neuen Konzepts nachgewiesen. Dazu wurde ein handbetriebener Funktionsdemonstrator am *iwb* gefertigt (s. Abbildung). Mit diesem konnten Elektroden erfolgreich strukturiert werden. Mittels elektrochemischer Tests konnte zudem die Leistungssteigerung dieser Elektroden nachgewiesen werden.



Zeichnung des am *iwb* hergestellten Funktionsdemonstrators zur Strukturierung von Elektroden für Lithium-Ionen-Zellen.

Prototyp und Hochskalierung

Verschiedenste Versuche mit dem Funktionsdemonstrator ermöglichten eine weitere Prozessentwicklung und stellten die Entwicklungsgrundlage für den ersten Prototypen dar. Dieser konnte erfolgreich in die Pilotproduktionslinie des *iwb* integriert werden und so Elektroden im Rolle-zu-Rolle-Verfahren strukturieren.

Danksagung

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und wird in Zusammenarbeit mit dem Institut für Partikeltechnik und dem Institut für Füge- und Schweißtechnik der Technischen Universität Braunschweig bearbeitet. Der Autor dankt dem BMBF für die Förderung.



M. Sc. Josef Keilhofer
Abteilung
Batterieproduktion

TrackBatt – Tracking und Tracing in der Batteriezellproduktion

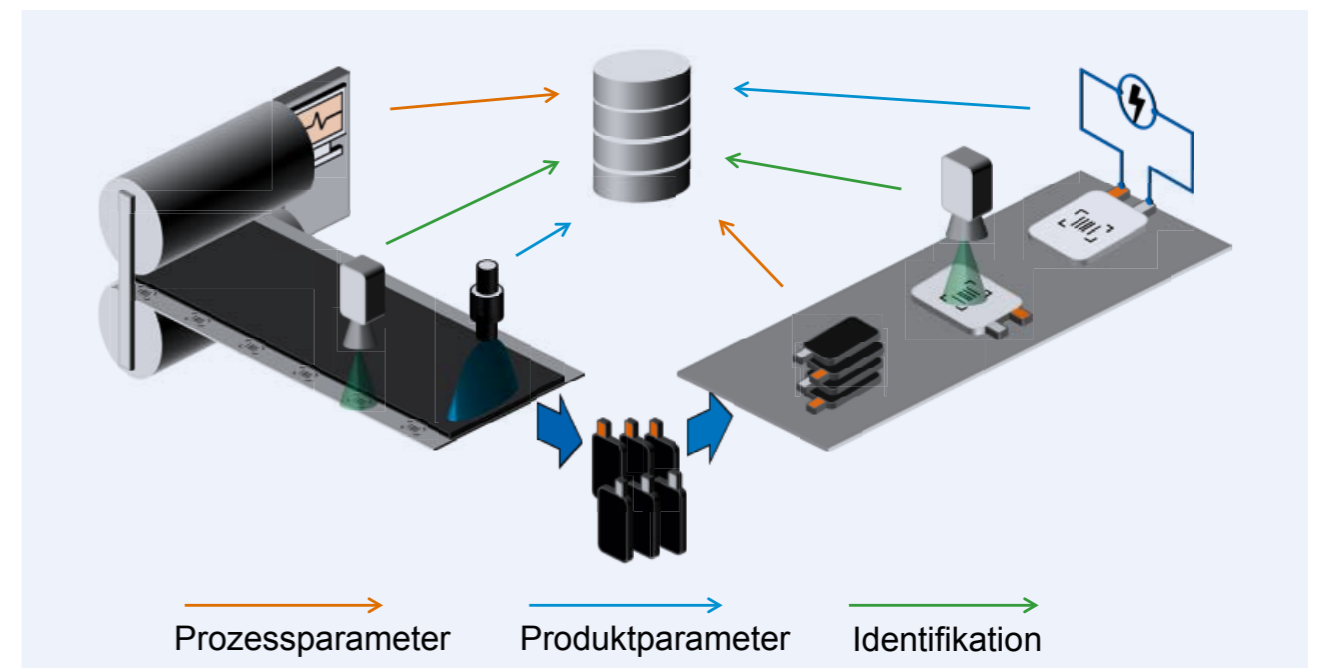
Um die Komplexität bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien zu beherrschen, bedarf es einer transparenten Fertigung. Das Forschungsprojekt TrackBatt zielt darauf ab, Ansätze zur Rückverfolgung („Tracking und Tracing“, kurz „T&T“) von Prozess- und Produktdaten einzelner Batteriezellen und deren Zwischenprodukten in die Produktion zu integrieren.

Die Transformation des Verkehrssektors hin zur Elektromobilität ist verantwortlich für einen stetig zunehmenden Bedarf an elektrochemischen Energiespeichern, deren Herstellung durch eine lange und komplexe Prozesskette gekennzeichnet ist. Kontinuierliche und diskrete Materialflüsse sowie verschiedene Verarbeitungsschritte innerhalb dieser Prozesskette erschweren eine eindeutige Zuordnung zwischen Produkt- und Prozessdaten und Zwischen- bzw. Endprodukten. Zudem verursachen unbekannte Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge im Herstellungsprozess Defekte, die zu kostenintensiven

Ausschussraten führen. Mit Hilfe einer konsequenten Rückverfolgung von Produkt- und Prozessdaten während der Herstellung lassen sich solche Defekte frühzeitig erkennen und der Ausschuss ausleiten, was eine Möglichkeit zur Reduktion der Produktionskosten darstellt. Während Konzepte zur Produktrückverfolgung in anderen Bereichen, wie beispielsweise der Lebensmittel- oder Pharmaindustrie, bereits implementiert wurden und sich als wirksam erwiesen haben, besteht im Bereich der Batteriezellproduktion nach wie vor Bedarf an geeigneten Methoden. Herkömmliche Ansätze zur vollständigen Rückverfolgung von Produkt- und Prozessdaten lassen sich aufgrund der Komplexität der Prozesskette nicht ohne weiteres auf die Batteriezellproduktion übertragen. An dieser Stelle setzt das Forschungsvorhaben an.

Zielsetzung

Ziel des Projekts TrackBatt ist die Entwicklung und prototypische Umsetzung eines Ansatzes



Projektvision einer ganzheitlichen Datenaufnahme und -zuordnung

zur lückenlosen Rückverfolgung der Prozesse bzw. der Prozesskette in der Batterieproduktion.

Hiermit können Leistungsdaten und Schadensbilder hergestellter Batteriezellen eindeutig auf Produktionsprozesse und deren Parameter zurückgeführt werden. Dies ermöglicht eine Inline-Prozessoptimierung, die den Ausschuss ganzer Zell-Batches verhindert. Im Rahmen des Projekts werden geeignete Markierungen für das T&T-System in der Batteriezellproduktion, von der Elektrodenfertigung bis zur Formierung, erarbeitet, eine globale Datenerfassung realisiert sowie eine gesamtheitliche Auswertung ermöglicht. Hierzu werden etablierte Markierungstechnologien aus artfremden Produktionslinien (z. B. lasergestützte Markierung) und Expertise aus anderen Branchen eingesetzt. Mit Hilfe der hierbei generierten Ergebnisse lassen sich standardisierte Methoden zur Implementierung von

T&T-Systemen für verschiedene Zellformate und das entsprechende Datenmanagement ableiten.

Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Projekts TrackBatt (Förderkennzeichen: 03XP0310A) im Forschungscluster Intelligente Batteriezellproduktion (InZePro) und dem Projektträger Jülich für die stets gute und kooperative Zusammenarbeit.



M. Sc. Alessandro Sommer

Abteilung
Batterieproduktion

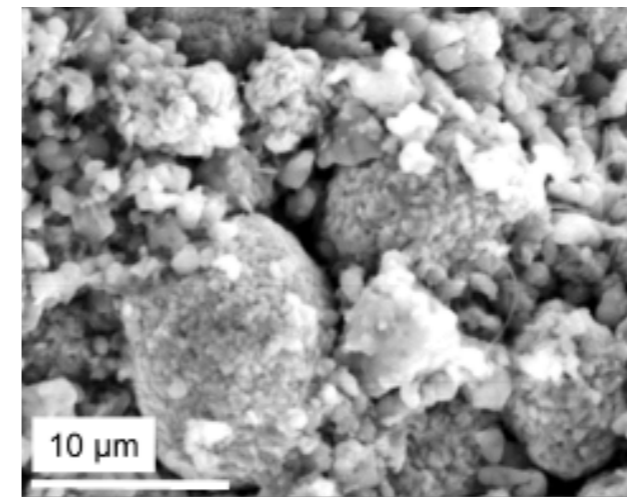
TUMint Energy Research GmbH – Industrialisierbarkeit von Festkörperbatterien

Ende 2019 wurde die TUMint Energy Research GmbH (TUMint ER) auf Initiative des Bayerischen Wirtschaftsministeriums und der Technischen Universität München am Forschungscampus Garching gegründet. Als Enkelgesellschaft der TUM verbindet sie als anwendungsorientierte Forschungseinrichtung Wissenschaft und Industrie im Bereich innovativer Festkörperbatterien. Ziel ist es alle Bereiche von der Grundlagenforschung bis hin zur Hochskalierung der einzelnen Prozessschritte abzudecken.

Im Rahmen der TUMint ER werden am *iwb* Forschungsarbeiten durchgeführt, bei denen verschiedene Aspekte der Produktion von großformatigen Festkörperbatterien im Fokus stehen. Von zentraler Bedeutung ist dabei zunächst die

Wahl einer geeigneten Produktionsumgebung, da der verwendete sulfidische Festelektrolyt eine hohe Reaktivität gegenüber Feuchtigkeit aufweist. Basierend auf der Analyse von Gasentwicklung, Mikrostruktur und elektrochemischer Funktion in Abhängigkeit des Feuchtegehalts der Verarbeitungsatmosphäre konnte gezeigt werden, welcher Wassergehalt maximal zulässig ist, um eine Gefährdung des Personals auszuschließen und gleichzeitig die Funktion der Komponenten nicht negativ zu beeinflussen.

Die Untersuchung der einzelnen Prozessschritte, vom Mischen über das Beschichten und Trocknen bis hin zum Verdichten, ermöglichen es heute, Separatoren und Kompositkathoden mit reproduzierbarer Qualität herzustellen. Durch eine Vielzahl an Experimenten und die tatkräftige



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Mikrostruktur einer Mischkathode aus Aktivmaterial und sulfidischem Festelektrolyt

Unterstützung von Studierenden wurden wesentliche Prozess- und Produktparameter identifiziert und optimiert. Beispielsweise konnte herausgefunden werden, dass im Mischprozess die Sequenz der Materialzugabe sowie die sich entwickelnde Temperatur eine maßgebliche Rolle im Hinblick auf die Homogenität der resultierenden Mikrostruktur spielen. Auch für das darauffolgende Beschichten und Trocknen konnte gezeigt werden, dass nur bestimmte Parameterkombinationen eine homogene Schichtdicke sowie geeignete mechanische Eigenschaften für die Weiterverarbeitbarkeit ermöglichen. Ebenfalls wurde der Einfluss der Trocknungsrate auf die Haftung der Schichten betrachtet. In Bezug auf das Verdichten wurde der erforderliche Druck für die Herstellung ausgeprägter Teilchenkontakte untersucht.

Durchgeführt wurden diese Untersuchungen bisher noch auf Labormaßstab. Um Komponenten und anschließend Batteriezellen auch auf größerem Maßstab herstellen zu können, werden derzeit Skalierungskonzepte entwickelt. Basierend auf den bisher gewonnenen Erkenntnissen wurden Pilotanlagen ausgelegt und Räumlichkeiten am *iwb* für deren Aufbau vorbereitet. Ziel ist es, die Inbetriebnahme der Anlagen bis Mitte des nächsten Jahres durchzuführen und mit der Produktion großformatiger Komponenten und Batteriezellen zu beginnen.

Danksagung

Der Dank des *iwb* gilt dem bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie für die Förderung des Forschungsprojekts.



M. Sc. Hans-Christoph Töpfer

Abteilung
Batterieproduktion



M. Sc. Celestine Singer

Abteilung
Batterieproduktion



M. Sc. Lovis Wach

Abteilung
Batterieproduktion

MoVer – Modellbasierte Verzugsminimierung bei der spanenden Nachbearbeitung von umgeformten Aluminium-Dickblechen

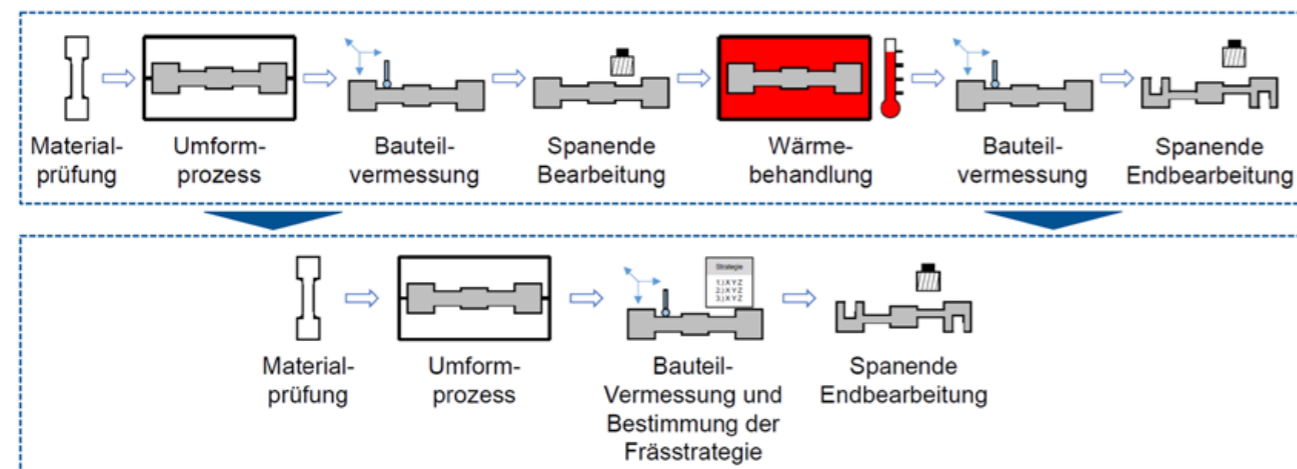
Aufgrund von immer komplexeren Bauteilgeometrien und des Einsatzes neuer Werkstoffe steigen die qualitativen Anforderungen an Blechbauteile hinsichtlich der einzuhaltenden Formgenauigkeit. Während des Herstellungsprozesses hat vor allem die Beherrschung von Verzügen der Bauteile eine große Bedeutung.

Bauteilverzug entsteht bei nahezu allen Fertigungsverfahren, wobei insbesondere das Umformen und das Spanen zu nennen sind. Während der Fertigungsprozesse werden die Eigenspannungen in der Randschichtzone des Werkstücks verändert, was wiederum zu eigenspannungsinduzierten Deformationen führen kann. Die entstehenden Abweichungen von der gewünschten Geometrie stellen für die Industrie ein großes Problem dar, da oftmals eine kosten- und zeitintensive Nachbearbeitung notwendig ist. Die Vermeidung von Verzügen in den einzelnen Herstellungsprozessen ist bis heute Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Dabei wird jedoch selten die gesamte Prozesskette betrachtet, obwohl alle Bearbeitungsschritte den

Eigenspannungszustand verändern und damit die Bauteilgeometrie beeinflussen.

Prozessuntersuchungen

Für eine ganzheitliche Analyse der Bauteilverzüge werden im Rahmen des Projekts MoVer Prozessuntersuchungen entlang der gesamten Prozesskette durchgeführt. Hierbei werden die Einflüsse der Prozessstellgrößen beim Umformen und bei der spanenden Nachbearbeitung mittels Fräsen sowie mögliche Wechselwirkungen mit den resultierenden Eigenspannungszuständen und den auftretenden Deformationen des Bauteils quantifiziert. Dies soll zum einen die Identifikation der Stellgrößen ermöglichen, mithilfe derer die resultierenden Bauteilverzüge signifikant beeinflusst werden können. Zum anderen soll eine umfassende Datenbasis geschaffen werden, um Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge beschreiben und Empfehlungen für eine verzugsarme Nachbearbeitung von umgeformten Dickblechen ableiten zu können. Darüber hinaus werden die Effekte unterschiedlicher Ausgangs-Eigenspannungszustände auf das finale Fertigungsergebnis



Verschlankeung der gesamten Prozesskette

hinsichtlich der Bauteilverzüge analysiert. Dies ermöglicht die Untersuchung des Einflusses der Prozessvariablen aus dem Umformprozess auf das Ergebnis der spanenden Nachbearbeitung. Dadurch können Umformparameter identifiziert werden, die sich positiv auf eine verzugsarme Nachbearbeitung auswirken und somit eine Verzugsminimierung am finalen Bauteil bewirken.

Modellierung und Simulation von Bauteilverzügen

In einem gekoppelten Prozessmodell wird anschließend der resultierende Eigenspannungszustand aus der Umformsimulation mit einem Modell für die Zerspanungssimulation gekoppelt. In dieser wird die mechanische und thermische Werkstückbelastung während des Fräsprozesses bestimmt, durch welche der Eigenspannungszustand verändert wird. Dies ermöglicht eine simulative Optimierung der Prozesskette aus Umformen und Zerspanen hinsichtlich der Minimierung von Verzügen.

Projektziel

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Modellbasierte Verzugsminimierung bei der spanenden Nachbearbeitung von umgeformten Aluminium-Dickblechen“ (kurz: MoVer) soll der Bauteilverzug von umgeformten Dickblechen durch die nachgeschaltete spanende Bearbeitung minimiert werden. Die Kenntnis über die Eigenspannungs- und Verzugzustände entlang der Prozesskette ermöglichen außerdem, derzeit erforderliche Nachbearbeitungsschritte (z. B. Wärmebehandlung) bei der Dickblechumformung zu reduzieren, wodurch der gesamte Herstellungsprozess verschlankt und wirtschaftlicher wird (s. Abbildung).

Danksagung

Das Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert und wird in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen der Technischen Universität München bearbeitet. Die Autoren danken der DFG für die Förderung.



M. Eng. Matthias Wimmer

Abteilung
Werkzeugmaschinen



M. Eng. Moritz Mayer

Abteilung
Werkzeugmaschinen

Tramik – Trajektorienplanung zur Steigerung der Dynamik von Fertigungsprozessen der Lasermaterialbearbeitung

Innovative laserbasierte Fertigungsverfahren ermöglichen eine ressourceneffiziente und flexible Produktion. Galvanometrisch angetriebene Scanneroptiken ermöglichen die präzise und hochdynamische Bewegung und Positionierung des Laserbrennflecks auf dem Bauteil. Die erreichbaren Taktzeiten und die Bauteilqualität hängen maßgeblich von den Eigenschaften und der Dynamik der Scanneroptik ab.

Laserprozesse werden für ein weites Spektrum an Produktionsaufgaben in der Mikro- und Makromaterialbearbeitung eingesetzt. Industrielle Anwendungen erfordern ein hohes Maß an Qualität und geringe Taktzeiten in der Fertigung. Die Prozessanforderungen übersteigen in vielen Fällen die dynamischen Grenzen verfügbarer Scanneroptiken. Dabei führt vorwiegend das Massenträgheitsmoment der Ablenkspiegel, besonders bei komplexen Bewegungsmustern mit spitzen Winkeln und starken Krümmungen, zu einer Limitierung der Scannerdynamik. Das Resultat ist die Verringerung der Bearbeitungsgeschwindigkeit unter Einhaltung der Bahntreue

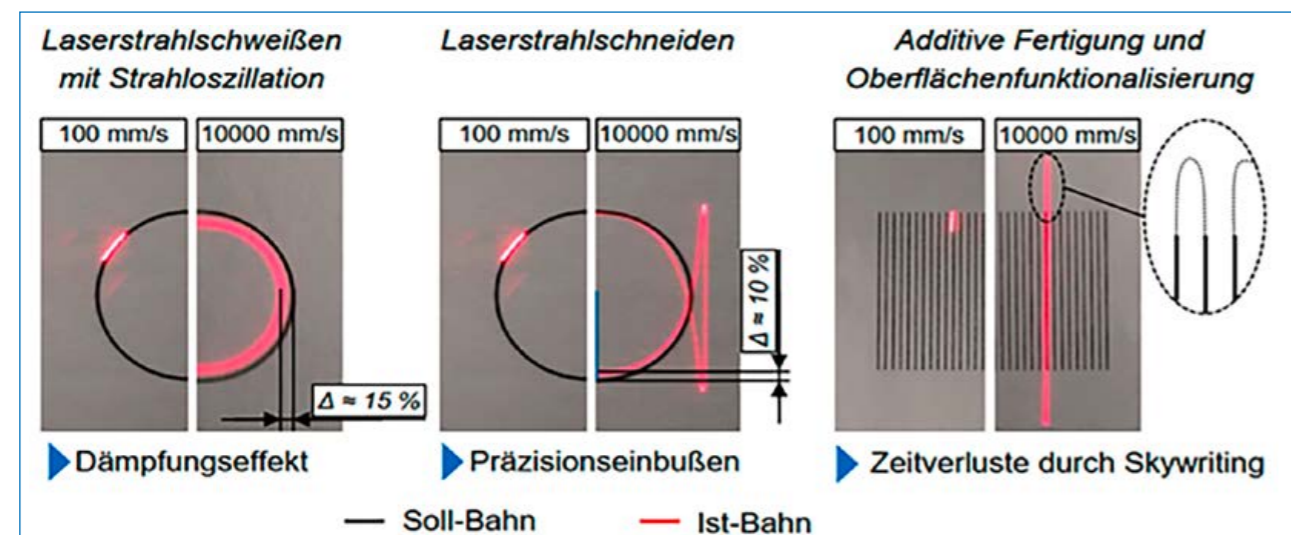
und/ oder Abweichungen von der gewünschten Geometrie. Dies ist beispielhaft in der Abbildung anhand der Dämpfung der Oszillationsamplitude beim Laserstrahlschweißen und der Abweichung von der Schnittkontur beim Laserstrahlschneiden dargestellt.

Projektziel

Im Forschungsvorhaben Tramik wird das Spannungsfeld zwischen der Produktivität, dem Bearbeitungsergebnis und der Anwendungsfreundlichkeit von Lasersystemen adressiert. Der Lösungsansatz sieht den Aufbau eines systemunabhängigen Software-Moduls zur autonomen Trajektorienplanung mit Hilfe einer standardisierten Systembeschreibung vor, so dass die Bearbeitungsqualität gemäß den Prozessanforderungen verbessert werden kann.

Standardisierte Systembeschreibung

Die standardisierten Beschreibungen des dynamischen Verhaltens von Scanneroptiken sowie



Auswirkungen der beschränkten Dynamik von Scanneroptiken auf die Bahntreue des Laserbrennflecks für verschiedene Anwendungen und Brennfleckgeschwindigkeiten

des zeitlichen Verhaltens von Laserstrahlquellen sollen als Eingangsgrößen für das Software-Modul zur Trajektorienplanung verwendet werden. Die Dynamik von Scanneroptiken wird über systemunabhängige Kennwerte beschrieben. Somit soll über die Anpassung der Parametrierung eine einfache Übertragbarkeit auf weitere typgleiche Systeme ermöglicht werden. Dieses Vorgehen wird zudem auf eine ultrakurzgepulsten Laserstrahlquelle übertragen, so dass die zeitliche Modulation der Strahlungsemission in verschiedenen Pulsmodi erfolgen kann.

Trajektorienplanung

Unter Berücksichtigung der entwickelten Beschreibungsmodelle wird ein der Scanner-Regelung vorgeschaltetes Software-Modul zur autonomen Trajektorienplanung aufgebaut. Durch

einen Vergleich möglicher Modellierungsansätze sollen sowohl White-Box- als auch Black-Box-Modelle hinsichtlich ihrer Eignung bewertet und zielführende Ansätze ausgewählt werden. Diese werden anschließend in ein Software-Modul für die Trajektorienplanung unter Berücksichtigung der Systemeigenschaften überführt.

Dank

Wir danken der Bayerischen Forschungstiftung (BFS) und den beteiligten Unternehmen, Raylase, InnoLas Photonics und BBW Lasertechnik.



M. Sc. Pawel Garkusha

Abteilung
Lasertechnik

ABGESCHLOSSENE FORSCHUNGSPROJEKTE 2022

CLM 4.0 - Closed Loop Manufacturing 4.0
Abteilung Werkzeugmaschinen

DaNiSh – Entwicklung neuartiger Nickelbasis-Superlegierungen mit herausragenden Materialeigenschaften für Anwendungen im Turbomaschinenbau
Abteilung Additive Fertigung

FOMIPU – Implantat und minimalinvasive Operationstechnik für die Umstellungsosteotomie bei Kindern
Abteilung Additive Fertigung

iMoBatt - Innovatives Funktionsintegriertes Moduldesign für Modulare Batteriepacks
Abteilung Montagetechnik und Robotik

InnoCase – Innovative Gehäusekonzepte für großformatige Lithium-Ionen-Batterien
Abteilung Batterieproduktion

MiKal – Optimale Elektrodenstruktur und -dichte durch integrierte Auslegung von Misch- und Kalandrierprozessen
Abteilung Batterieproduktion

Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Augsburg
Abteilung Produktionsmanagement & Logistik

ProFeLi – Produktionstechnik für Festkörperbatterien mit Lithium-Metall-Anode
Abteilung Batterieproduktion

REGULUS – Ressourceneffiziente Fertigung von großvolumigen Luftfahrt-Strukturkomponenten
Abteilung Additive Fertigung

AProKi – Analyse der Prozessantworten beim Rührreibschweißen mittels Künstlicher Intelligenz
Abteilung Werkzeugmaschinen

AutoKaR – Automatisierte Kalibrierung von Robotersystemen zur Steigerung der Bahntreuegenauigkeit
Abteilung Montagetechnik und Robotik

MAWELA1 – Entwicklung eines additiven Fertigungsverfahrens für serienmäßige Produktion von Leichtbauteilen im Binder Jetting basierend auf einem System aus passivierten Magnesiumlegierungen und organischem Binder für Werkstoffdichten < 1,85 g/cm³
Abteilung Additive Fertigung

Verzugsbeherrschung beim Schleifen durch rechnergestützte Auslegung von Verzugskompensationsstrategien
Abteilung Werkzeugmaschinen

KIVI – Künstliche Intelligenz zur Vorhersage der Einsatzsicherheit und Lebensdauer von Industrierobotern
Abteilung Montagetechnik und Robotik

WAAMSim - Simulationsgestützte Verzugsbeherrschung beim Wire Arc Additive Manufacturing
Abteilung Additive Fertigung

ASIMOV – Anatomiespezifische Implantatverankerung mittels optimierter Verformungseigenschaften
Abteilung Additive Fertigung

BeKoMi- Beanspruchungs- und kompetenzorientierte Mitarbeitereinsatzplanung
Abteilung Produktionsmanagement & Logistik

ShapeAM – Befähigung additiver Fertigungstechnologien zur Herstellung von Funktionsbauteilen mit hohen Qualitätsanforderungen für den industriellen Einsatz
Abteilung Additive Fertigung

Spider – Safe and prelithiated high energy density Batteries based on Sulphur Rocksalt and Silicon Chemistries
Abteilung Batterieproduktion

Lernassistenzsystem für die Montage – made by TUMKolleg

Zwei Schüler des Werner-Heisenberg-Gymnasiums Garching entwickelten acht Monate ein Assistenzsystem, das beim Lernen in der Montage unterstützt. Bei der Evaluierung in einer Studie wurden der Erfolg der Anleitung und die Wichtigkeit von Digitalisierung in Unternehmen bestätigt.

Im Projekt TUMKolleg kommen jedes Jahr Schüler:innen der Oberstufe an die TUM, um dort ihre erste Forschungsarbeit zu erstellen. So auch Luca Serrenti und Kilian Angermüller. Die beiden suchten sich für ihre Arbeit das *iwb* aus und entwarfen eine Lernanleitung in einem Assistenzsystem im InnovationLab (Lernfabrik des *iwb*).

Ziel für das Lernassistenzsystem war, dass es das Lernen unterstützt und mit zunehmendem Lernfortschritt die Lernenden mehr gefordert sind. Der Fokus lag dabei auf dem Erlernen eines Montagevorgangs. Dafür wurde ein dreistufiges Modell umgesetzt. Von der Anfängerstufe mit sehr umfassenden Informationen (s. Abb. 1) bis zur Expertenstufe wurden die Informationen reduziert, sodass der Lernende zum selbstständigen Arbeiten geführt wurde.

Zur Überprüfung der Eignung des Lernassistenzsystems wurde eine Studie im InnovationLab durchgeführt. Unterschiedliche Teilnehmende testeten ihren Lernerfolg in der Montage von Getrieben. Dabei wurde unter anderem geprüft, ob die Vorerfahrung in der Montage Einfluss auf die Montagezeiten nimmt (s. Abb. 2). Es zeigte sich, dass die Erfahrung die Anzahl der benötigten Durchläufe, bis das Produkt fehlerfrei und in einer vorgegebenen Zeit montiert werden kann, reduziert.



Abb. 1: Ausschnitt aus dem Lernassistenzsystem

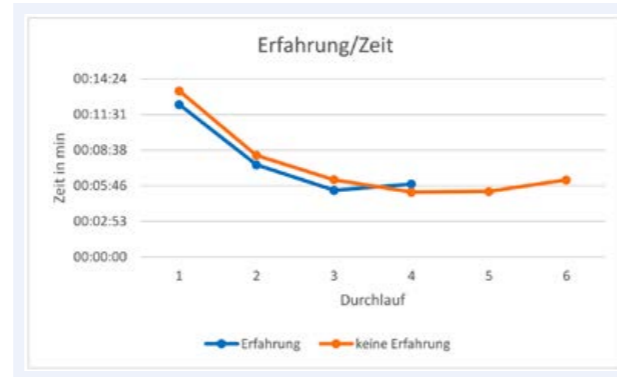


Abb. 2: Durchführungszeiten pro Montagedurchlauf der Gruppe mit Erfahrung und der Gruppe ohne Erfahrung

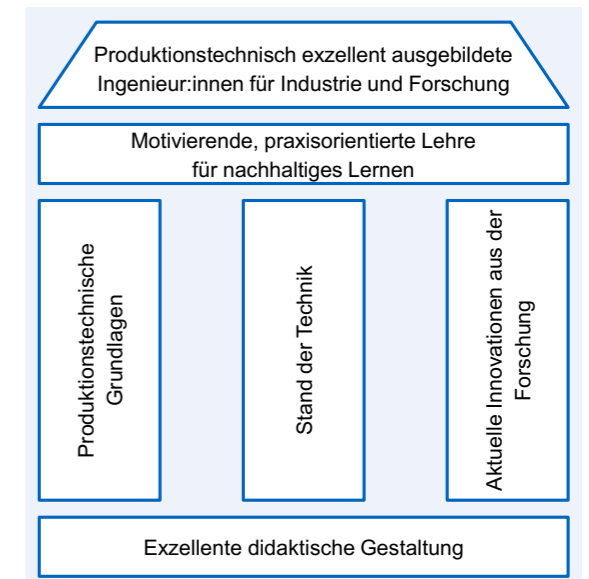


M. Sc. Maria Maier
Abteilung Nachhaltige Produktion

Motivierende, praxisorientierte Lehre für nachhaltiges Lernen am *iwb*

Mit über 50 Lehrveranstaltungen im Studienjahr ist Lehre ein wesentlicher Bestandteil am *iwb*. Unser Anspruch ist es dabei, stets aktuelle und zukünftig relevante Themen zu adressieren und unser Angebot beständig zu verbessern. Hierfür haben wir einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) eingerichtet und ein Leitbild für exzellente Lehre am *iwb* definiert.

Das *iwb* sieht seine Mission in der Ausbildung und Innovation für die Produktionstechnik. Zur Ausbildung gehören unsere Doktorand:innen genauso wie unsere Studierenden, seien es die, die eine Studienarbeit bei uns schreiben, einen Job bei uns haben oder unsere Vorlesung besuchen. Mit über 1500 Prüfungsteilnehmenden pro Semester kommt eine große Anzahl Studierender mit unseren Lehrveranstaltungen in Berührung. Jedes Semester zeigt uns die Evaluation, dass wir schon vieles richtigmachen. Was genau aber eine Vorlesung am *iwb* ausmacht, haben wir 2021 in einem Leitbild für exzellente Lehre festgehalten (s. Abbildung). Unser Leitbild ist in einem Haus abgebildet, wobei das Dach unsere Mission symbolisiert. Es wird von unserem Ziel, nachhaltige, motivierende und praxisorientierte Lehre zu vermitteln, sowie den inhaltlichen Säulen getragen. Die Säulen fußen auf dem Fundament der didaktischen Gestaltung der Veranstaltungen. Damit verschreiben wir uns dem Zusammenspiel aus Inhalt und Gestaltung. Zum einen muss unser Inhalt die Grundlagen an die Studierende vermitteln. Er muss aber auch darüber hinaus gehen, in dem die Veranstaltungen den aktuellen Stand der Technik in den Produktionsunternehmen aufgreifen (z. B. durch Gastvorträge aus den Unternehmen), und auch einen Einblick in die Zukunft geben (z. B. durch Berichte aus der Forschung unseres Instituts). Zum anderen ist Inhalt aber auch nur so gut wie seine Verpackung. Deshalb ist ein Teil des Leitbilds eine



Leitbild für exzellente Lehre am *iwb*

Checkliste zur abwechslungsreichen Gestaltung der verschiedenen Lehrformate nach den neuesten Kenntnissen der didaktischen Forschung. Damit wird unseren Lehrenden, die Fachleute in ihren jeweiligen Gebieten sind, ein einfacher Zugang zu den Grundlagen der Didaktik ermöglicht. Ziel des KVP ist es, dass unsere Lehre immer ansprechend für die Studierenden bleibt und wir dadurch weiterhin einen wesentlichen Beitrag zur Ausbildung zukünftiger Produktionstechnikerinnen und -techniker leisten.



M. Sc. Maria Maier
Abteilung Nachhaltige Produktion



Dr. Ing. Susanne Vernim
Abteilung Produktionsmanagement & Logistik

Das *iwb*-Trainee-Programm aus Sicht des Trainees

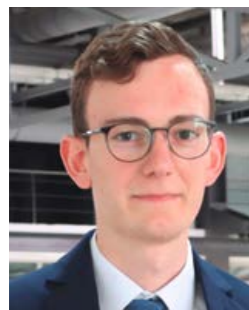
Im Rahmen des *iwb*-Trainee-Programms werden ausgewählte Studierende aus unterschiedlichen Fachbereichen für ihre spätere Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeitende am *iwb* vorbereitet werden. Wie die aktuellen Trainees das Programm empfinden und was sie in ihrer bisherigen *iwb*-Laufbahn erleben durften, schildern sie hier.



Durch das Trainee-Programm und die enge Einbindung in die Abteilung Additive Fertigung am *iwb* konnte ich bereits eine steile Lernkurve durchlaufen. Die Mitarbeit an spannenden Forschungsthemen bereitet

mich sowohl fachlich als auch persönlich auf die nachfolgende Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter vor. Besonders interessant finde ich dabei die Zusammenarbeit mit den Kolleginnen und Kollegen im Bereich der Entwicklung eines Simulationstools für die Additive Fertigung. Als Trainee habe ich die Möglichkeit auf das große Netzwerk des *iwb* zurückzugreifen. So wird es mir ermöglicht, meine Abschlussarbeit an einer renommierten Universität im Ausland schreiben zu können.

Kai-Uwe Beuerlein, Trainee Additive Fertigung



Seit meinem Start am *iwb* im September letzten Jahres habe ich schon einen guten Einblick in die Aufgabenbereiche eines wissenschaftlichen Mitarbeitenden und in die Abläufe an einem großen Forschungsinstitut erhalten.

Hierbei sind die Besprechungen auf den unterschiedlichen Ebenen und vor allem auch die Zusammenarbeit mit meinen Arbeitskolleginnen und -kollegen sehr hilfreich. Durch das Trainee-Projekt RoboBar konnte ich diesen Einblick vertiefen, weil ich mit unterschiedlichen Akteurinnen

und Akteuren am *iwb* in Kontakt kam. Auch in meine Themengruppe fühle ich mich durch den gemeinsamen Abteilungsausflug an den Bodensee und den Besuch der Messe FormNext hervorragend eingebunden. Ich freue mich auf viele weitere spannende Projekte und eine gute Zusammenarbeit.

Markus Freidhofer, Trainee Additive Fertigung



Im Rahmen des Trainee-Projektes wurde ich bisher besonders stark in das wissenschaftliche Arbeiten am *iwb* eingebunden. Dabei stellte ich zusammen mit Kolleginnen und Kollegen ein Konzept für eine wissenschaftliche

Veröffentlichung auf, führte für diese zahlreiche Versuche durch und verfasste Teile der schriftlichen Ausarbeitung. Besonders stark wurde mir dabei das methodische Vorgehen und das wissenschaftliche Schreiben einer Veröffentlichung vermittelt. Außerdem lernte ich meine Themengruppe persönlich auf der Themengruppenfahrt kennen und bekam interessante Einblicke in die Forschung der Kolleginnen und Kollegen. Mit meinem Trainee-Jahrgang arbeitete ich besonders stark bei einer Projektarbeit zusammen und erfuhr dabei große Unterstützung und ein starkes Teamgefüge.

Felix Harst, Trainee Lasertechnik

Im Rahmen des Traineeprojektes konnte ich bei der Organisation der RoboBar mitwirken, wodurch ich wertvolle Kenntnisse über den Aufbau und die Abhaltung einer Großveranstaltung



erhielt. Als Trainee ist es mir außerdem möglich, an Besprechungen der Forschungsfelder teilzunehmen. In diesen werden die einzelnen Forschungsthemen und aktuelle Problemstellungen ausführlich besprochen und

diskutiert. Während der Diskussion der einzelnen Themen werden verschiedene Lösungsansätze ermittelt, welche auch auf eigene Problemstellungen übertragen werden können. Neben der fachlichen Einbeziehung werde ich zudem bei anderen teambildenden Maßnahmen einbezogen. Hierzu zählen beispielsweise die jährliche Themengruppenfahrt, Pizzaessen nach dem Feierabend oder die abteilungsinterne Weihnachtsfeier auf dem Münchner Christkindlmarkt.

Laura Kick, Trainee Werkzeugmaschinen



Das Trainee-Programm ermöglicht mir einen Einblick in viele neue Bereiche der Forschung und ihrer Anwendung. In meiner kurzen Zeit als Trainee wurde mir viel über die Programmierung und Steuerung von Industrierobotern beigebracht. In Zusammenarbeit mit den anderen Trainees haben wir einen Stand auf der Erstsemesterparty (ESP) organisiert, für welchen ein Roboter für den Ausschank der Getränke programmiert wurde. Des Weiteren arbeite ich an einem Programm zur Kombination von 3D-Scandaten, welches eine Digitalisierung von verschiedensten Produktionsstätten ermöglicht. Ich freue mich sehr über die weiteren Forschungsprojekte im Bereich Robotik und Computer-Vision. Die Betreuung durch die Mentorinnen und Mentoren ermöglicht einen sehr guten Einstieg in die neuen Projekte und bietet sehr gute Hilfestellungen in neuen Situationen.

Jan Nalivaika, Trainee Montagetechnik & Robotik



Drei Monate sind vergangen seit Beginn meines Trainee-Programms in der Themengruppe Batterieproduktion am *iwb*. Auch wenn ich einen Großteil dieser Zeit im Auslandssemester verbracht habe, merke ich, wie mich das

Programm weiterbringt. Dass man als Trainee stark in das Leben am *iwb* eingebunden ist, hilft mir den Arbeitsalltag von wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern näher kennenzulernen. Noch interessanter finde ich die Mitarbeit an Forschungsprojekten oder Projekten wie dem diesjährigen Trainee-Projekt der RoboBar. Deshalb freue ich mich auch besonders auf die kommende Zeit, wenn ich wieder live vor Ort mitarbeiten kann.

Johannes Schachtl, Trainee Batterieproduktion



Das *iwb*-Trainee-Programm erlaubt es mir, in einer innovativen Themengruppe zu forschen und zu arbeiten. Der größte Lerneffekt des Trainee-Programms liegt im simultanen Bearbeiten von Forschungsprojekten,

Industrieprojekten und internen Aufgaben. Hierbei werden besonders meine fachlichen Kompetenzen gefordert und gefördert. Die alltägliche Zusammenarbeit mit hochmotivierten und äußerst kompetenten Kolleginnen und Kollegen erfordert zudem ein hohes Maß an überfachlichen Kompetenzen. Die enge Einbindung in die Themengruppe als auch in das *iwb* ermöglicht es mir, mich optimal auf einen späteren Start als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut vorzubereiten. Das Trainee-Programm erlaubt es, den in meinen Augen wichtigsten Aspekt beim Arbeiten im wissenschaftlichen Umfeld früh zu verinnerlichen: Teamarbeit.

Julian Stang, Trainee Produktionstechnik & Logistik



Als Trainee bin ich zu Beginn meines Robotik-Masters in den Bereich Batterieproduktion eingestiegen. Das Programm ermöglicht es mir in meinen speziellen Interessensgebieten umfangreiche, wissenschaftliche

Einblicke zu bekommen. So kann ich in spezifischen Forschungsprojekten, aber auch in Industrieprojekten im Bereich der Batterieproduktion

unterstützen und so meinen fachlichen Horizont stark erweitern. Als Trainee werde ich zusätzlich stark in die Abteilung Batterieproduktion integriert, wie zum Beispiel durch die alljährliche Themengruppenfahrt. Durch gemeinsame Projekte der Trainees, wie zum Beispiel die auf der ESP aufgestellte RoboBar, kann ich zusätzlich in Bereichen wie der Projektorganisation und dem Zusammenarbeiten im Team wertvolle Erfahrungen sammeln.

Noah Streidel, Trainee Batterieproduktion

Anwerben neuer Studierender mit Aperol und Weinschorle – das Traineeprojekt im Jahr 2022

Am 17. November 2022 fand nach zwei Jahren Pause wieder die ESP im Maschinenwesen-Gebäude an der Technischen Universität München statt. Auch in diesem Jahr betrieben die Trainees am iwB in Zusammenarbeit mit den wissenschaftlichen Mitarbeitenden die sogenannte RoboBar. Das Besondere hierbei: Ein Industrieroboter mischt die Getränke.

Die Vorbereitung und Planung wurde im Rahmen einer Projektarbeit von den acht Trainees des iwB durchgeführt. Dabei wurden diese von zahlreichen wissenschaftlichen Mitarbeitenden tatkräftig unterstützt. Im Projekt übernahm jeder Trainee eine konkrete Aufgabe und stimmte sich in einer wöchentlichen Besprechung mit dem Rest der Gruppe über die Fortschritte ab.



Die RoboBar beim Getränkemischen auf der ESP

Zu den Aufgaben gehörte unter anderem die Programmierung der Steuerung des Roboters, das Aufstellen eines Sicherheitskonzeptes und die Koordination der Planung mit der Maschinenbau-Fachschaft. Besonders für den neuen Trainee-Jahrgang ermöglichte das Projekt eine gelungene Einführung in die Arbeit im Team am iwB. Außerdem wurden Kompetenzen wie Projektplanung und Zeitmanagement gefördert.

Nach wochenlanger Vorbereitung wurde die RoboBar am Nachmittag vor der ESP in der Magistrale des Maschinenwesen-Gebäudes aufgebaut. Letzte Überprüfungen der Funktionstüchtigkeit des Roboters und Testläufe schlossen die Vorbereitungen ab. Dankenswerterweise übernahmen einige wissenschaftliche Mitarbeitende Helferschichten zur Unterstützung und ermöglichten einen reibungslosen Barbetrieb. Das Angebot der Bar umfasste Aperol, Weinschorle und Hugo.

Die RoboBar war ein voller Erfolg, was sich unter anderem an einem großen Andrang und regem Interesse zeigte. Das automatisierte Mischen der Drinks beeindruckte viele Studierende und konnte hoffentlich viele von ihnen für Studienarbeiten und/oder das Trainee-Programm am iwB begeistern.

NEUE MITARBEITENDE

Bernhard Olivia	15.10.22
Bloier Magdalena	15.06.22
Garkusha Pawel	01.05.22
Klages Björn	17.01.22
Kurscheid Sebastian	01.10.22
Lindenblatt Johannes	17.01.22
Mayer Moritz	15.12.22
Rammo Jan-Philipp	01.09.22
Sadlo Franzisca	17.11.22
Stein Rica	17.10.22
Wach Lovis	15.08.22
Wörle Markus	01.05.22
Zinnel Laura	01.11.22
Hüllemann Jannik	15.01.23
Piendl Daniel	01.02.23
Reinbold Nora	01.02.23
Stang Julian	01.02.23

AUSSCHIEDENDE MITARBEITENDE

Kolb Cara	31.12.22
Korder Svenja	31.12.22
Nentwich Corbinian	15.12.22
Wolf Daniel	14.12.22
Stadter Christian	30.09.22
Christian Lisa	30.06.22
Höfler Vincent	31.05.22
Magana Alejandro	31.01.22
Vernim Susanne	31.10.22
Wunderling Christoph	30.04.22
Töpfer Hans-Christoph	31.12.22

German-French Academy for the Industry of the Future: Deutsch-Französische Zusammenarbeit am iwb

Die German-French Academy for the Industry of the Future (GFA) ist ein Kooperationsprojekt des französischen Institut Mines-Télécom (IMT) und der TUM. In diesem Rahmen arbeitet das iwb seit 2019 gemeinsam mit Forscher:innen des IMT an aktuellen, produktionstechnischen Fragestellungen.

DREAMS

Die industrielle Kreislaufwirtschaft bietet Unternehmen die Möglichkeit, nachhaltiger zu handeln und ressourceneffizienter zu produzieren. Eine kostengünstige und flexible Demontage ist ein wichtiger Schritt dafür. Das Projekt DREAMS untersucht, wie bestehende Montagelinien genutzt werden können, um gebrauchte Produkte zu demontieren. Dafür werden im ersten Schritt die Herausforderungen und Potenziale für Unternehmen untersucht, welche dieselben Linien für die Montage und Demontage nutzen wollen. In einem zweiten Schritt werden die integrierten Linien mathematisch simuliert und optimiert, um Aussagen über mögliche Nutzungsgrade und über die Kapazitätsauslastung zu treffen.

DARWEEN

Im Gegensatz zu Produktionskennzahlen werden in Unternehmen die notwendigen Daten für eine Umweltbewertung bisher nur für bestimmte Fälle, wie z. B. einer Zertifizierung, erfasst. Dies liegt vor allem an der zeitaufwändigen Datenerhebung im Rahmen der Ökobilanz und dem erforderlichen Fachwissen zur Ermittlung der benötigten Parameter. Das DARWEEN-Projekt zielt deshalb darauf ab, ein Rahmenwerk zu entwickeln, das Unternehmen bei der Entscheidung unterstützt, welche Daten an welchem Ort in einem Produktionsbetrieb erfasst werden sollten, um alle notwendigen ökologischen Informationen über ein Produkt so effizient wie möglich zu sammeln.

ENABLE-I

Die profitable Durchführung komplexer Produktionsprozesse wird zunehmend schwieriger. Eine mögliche Lösung bieten Ansätze der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK), welche die Stärken von Menschen und Robotern in der Produktion kombinieren. Trotz vielfältiger Potenziale und der intensiven Forschung auf diesem Feld werden MRK-Anwendungen in der industriellen Praxis selten eingesetzt. Aus diesem Grund zielt das Projekt ENABLE-I darauf ab, die Hemmnisse für den Einsatz zu identifizieren und neue Schwerpunkte für zukünftige Forschung und die Entwicklung kollaborativer Anwendungen aufzuzeigen. Neben technischen Kategorien werden auch soziale Aspekte, wie die Akzeptanz von MRK-Anwendungen in der Belegschaft, mit einbezogen.

Danksagung

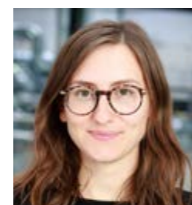
Die Autor:innen danken der GFA für die Förderung.



M. Sc. Johannes Bauer
Abteilung
Montagetechnik & Robotik



M. Sc. Sebastian Kurscheid
Abteilung
Montagetechnik & Robotik



M. Sc. Magdalena Paul
Abteilung
Nachhaltige Produktion

VERANSTALTUNGEN

25. Augsburger Seminar für Additive Fertigung

Als langjährig etablierte Plattform gab auch das 25. Augsburger Seminar für Additive Fertigung wieder einen Einblick in die jüngsten Ergebnisse der Forschung, in aktuelle Anwendungen und in Zukunftsthemen der Additiven Fertigung. Die intensive Forschung und Entwicklung im Bereich der additiven Fertigungsverfahren trägt beständig zu deren Qualitäts- und Produktivitätssteigerung bei und ist daher als wesentlicher Wegbereiter der hohen Branchen-Wachstumsraten anzusehen.

Wie auch schon in den Jahren zuvor wurde das Seminar vom Fraunhofer IGCV und dem iwb gemeinschaftlich ausgerichtet. Nach einer kurzen Begrüßung durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Christian Seidel eröffnete Herr Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh den inhaltlichen Teil des Seminars mit einem Keynote-Vortrag zum Thema „Ein Blick aus

der Vergangenheit in die Zukunft der Additiven Fertigung“ (s. Abbildung).

Im Anschluss an den Keynote-Vortrag wurde die Zukunft der Prozesse und Applikationen in vier spannenden Sessions diskutiert. Neben den Fortschritten innerhalb etablierter pulverbettbasierter Fertigungsverfahren wurden auch neu entwickelte additive Fertigungsverfahren mit ihren Herausforderungen und Chancen vorgestellt. Die Zukunft der Applikationen konnte anhand mehrerer Praxis-Beispiele aus den Bereichen „New Space“ und „Energiewende“ gezeigt werden.

In einer abschließenden Podiumsdiskussion konnten die Teilnehmenden ihre Fragen über die web-basierte Anwendung Tweedback stellen. Zudem bestand die Möglichkeit, andere Fragen einzusehen und mit „Likes“ zu bewerten. Beliebte



Keynote-Vortrag von Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh im Weitblick 1.7 in Augsburg

Fragen wurden dann vom Moderator Prof. Dr.-Ing. Christian Seidel in die Runde gegeben. So ergaben sich spannende Fragestellungen und Diskussionen.

Mit über 80 Teilnehmenden war die Event-Location Weitblick 1.7 in Augsburg gut besucht.

Danksagung

Wir bedanken uns beim Fraunhofer IGCV für die sehr gute Zusammenarbeit.



M. Sc. Andreas Wimmer

Abteilung
Additive Fertigung

Das *iwb*-Sommerfest 2022 – Ein gelungener Auftakt in die Veranstaltungssaison



Impressionen des *iwb*-Sommerfests 2022

Im Juli 2022 konnte nach zweijähriger Pause das *iwb*-Sommerfest endlich wieder ausgerichtet werden. Dabei wurde in sommerlicher Atmosphäre der Austausch zwischen Aktiven, Ehemaligen und Freund:innen des *iwb* bis spät in die Nacht zelebriert.

Getreu dem Motto „feste arbeiten und Feste feiern“ wurde im Kreise der aktiven und ehemaligen Mitarbeiter:innen, deren Partner:innen und Familien, der Trainees und der Student:innen das diesjährige *iwb*-Sommerfest am 27.07.2022 begangen. Nachdem in den Jahren 2020 und

2021 größere Veranstaltungen entfallen mussten oder nur im virtuellen Raum stattfanden, war es für einen Großteil der wissenschaftlichen Mitarbeiter:innen die erste Veranstaltung dieser Art. Entsprechend groß war die Vorfreude auf die zahlreichen Festivitäten des Jahres, wobei das Sommerfest hierfür den Auftakt bildete.

Dank des ausgezeichneten Wetters konnte die Veranstaltung unter freiem Himmel vor der *iwb*-Halle ausgerichtet werden. Das leibliche Wohl der ca. 180 Gäste wurde durch kühle Getränke und Verpflegung vom Grill und Buffet gewährleistet.

Stimmungsvolle Beleuchtung und Musik sorgten für die passende Atmosphäre. Zudem konnte das eigene Geschick bei kreativen Spielestationen der verschiedenen Themengruppen unter Beweis gestellt werden. So setzte sich beispielsweise die Themengruppe Batterieproduktion mit dem Thema Recycling auseinander, während man bei der Themengruppe Produktionsmanagement & Logistik die metaphorische Karriereleiter erklimmen konnte.

Die Organisatoren bedanken sich herzlich für die Unterstützung bei den tatkräftigen Helfer:innen sowie allen Gästen für einen gelungenen Abend.



M. Sc. Jan Hagemeister

Abteilung
Batterieproduktion



M. Sc. Johannes Bauer

Abteilung
Montagetechnik & Robotik



M. Sc. Andreas Wimmer

Abteilungsleitung
Additive Fertigung

Sonderschau Photons in Production auf der LASER World of PHOTONICS 2022

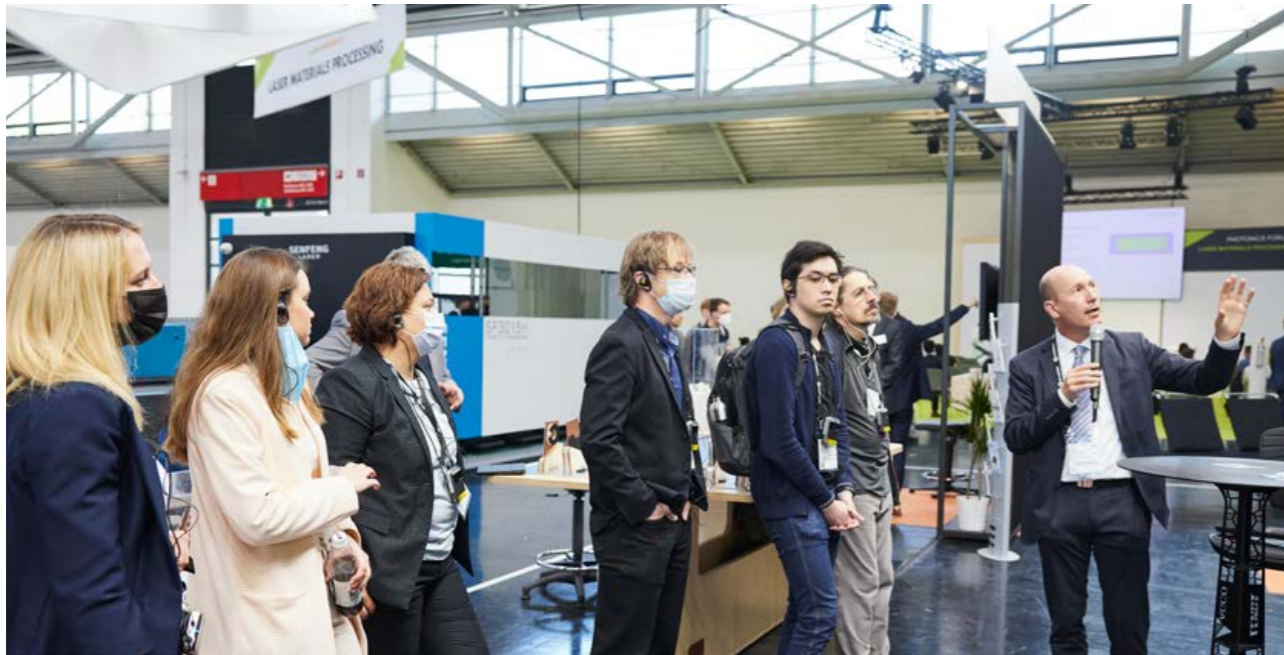
Nach einem Jahr Verzögerung fand 2022 die LASER World of Photonics 2022 auf dem Gelände der Messe München mit den namhaften Herstellern, Anwendern und Forschungsinstituten im Bereich der Lasermaterialbearbeitung statt. Auch das *iwb* und das Bayerische Laserzentrum (blz) waren mit einem Gemeinschaftsstand vertreten, um aktuelle Lösungen sowie innovative Ideen zu präsentieren.

Nach dem pandemiebedingten Ausfall der LASER World of PHOTONICS im Jahr 2021 konnte die Messe 2022 wieder im gewohnten Format stattfinden. Das *iwb* stellte zusammen mit dem blz Ergebnisse und aktuelle Highlights in der Forschung vor. Einen Einblick in die Aktivitäten der beiden Institute konnten sich die Messebesuchenden anhand von Gesprächen, Demonstratoren und Live-Demos erlangen.

Ausgestellte Themenbereiche

Im Bereich der additiven Fertigung wurden die verschiedenen laserbasierten Aufbauprozesse anschaulich dargestellt. Anhand des Lasersinterns, des koaxialen Laserstrahlaufragschweißens und des Auftragschweißens mit Draht und Lichtbogen wurde der Zielkonflikt zwischen der Aufbaurate und der Endkonturnähe der jeweiligen Prozesse an ausgewählten Exponaten vermittelt.

Das Thema der Prozessüberwachung weckt immer stärkeres industrielles und forschungsseitiges Interesse und wurde daher auch auf dem Messestand verstärkt behandelt. Aufgrund der komplexen Zusammenhänge innerhalb der meist hochfrequent aufgezeichneten Sensordaten steht die Auswertung der Informationen



Einführung in die Prozessüberwachung bei der Lasermaterialbearbeitung im Rahmen eines geführten Rundgangs durch Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh

mittels Methoden der Künstlichen Intelligenz im Vordergrund. Besonderer Fokus lag dabei auf der Ermittlung der Einschweißtiefe mittels optischer Kohärenztopografie und der Erkennung von Schweißspritzern aus Hochgeschwindigkeits-Kameraaufnahmen.

Das zentrale Element der Sonderschau des *iwb* war in diesem Jahr die Heißdemo zum Einsatz von gepulsten Strahlquellen für Anwendungen der Elektromobilität. Mittels Nanosekundenpulsen konnten vor Ort Schweißverbindungen an elektrischen Kontakten für die Herstellung von Energiespeichern erzeugt werden. Besonders temperaturempfindliche Elektroden-Foliensubstrate aus Aluminium konnten erstmals ohne das Auftreten von Heißrissen geschweißt werden. Zur Einbringung von gerichteten Diffusionsgängen wurden Bohrungen in Batterieelektroden mittels Pikosekundenpulsen erzeugt, um die Schnellladefähigkeit von Lithium-Ionen-Batterien durch verkürzte Diffusionswege zu verbessern.

Danksagung und Ausblick

Die Abteilungen Lasertechnik und Additive Fertigung konnten im Rahmen der LASER World

of PHOTONICS viele bestehende Beziehungen festigen sowie wertvolle neue Kontakte knüpfen. Die Autoren bedanken sich beim *blz* für die gute Zusammenarbeit. Besonderer Dank gilt der Messe München für die Bereitstellung des Standes und für die organisatorische sowie finanzielle Unterstützung.

Auch 2023 wird das *iwb* wieder mit der Sonderschau auf dem Messegelände der Messe München in der Halle B3 zu finden sein. Zudem wird ein Schulterschluss zu den Themen der Automatisierung der *automatica* in den benachbarten Hallen erfolgen.



M. Sc. Lukas Mayr

Abteilung
Lasertechnik



M. Sc. Pawel Garkusha

Abteilung
Lasertechnik

Das *iwb* feiert den Abschluss des Jahres 2022

Nach der langen Coronapause lud das *iwb* im Dezember 2022 die Aktiven und die Ehemaligen wieder zu einem Jahresabschlusskolloquium in den Gasthof Neuwirt in Garching ein.

Am 08. Dezember 2022 versammelten sich die Mitarbeiter:innen, die Ehemaligen und die Freund:innen des *iwb* im Gasthof Neuwirt in Garching zu einer schönen und kurzweiligen Jahresabschlussfeier, bei der aber auch die Gedanken an die unerfreulichen Ereignisse des Jahres 2022 nicht zu kurz kamen. Zu Beginn der Veranstaltung gab es eine Ansprache der Professoren, in der sie das Jahr 2022 Revue passieren ließen und einen Ausblick auf die Aufgaben und Neuigkeiten des Jahres 2023 warfen. Diese Ansprache hat die Zuhörer:innen aufgrund der Geschehnisse und Entwicklungen des abgelaufenen Jahres (Ukraine-Russland-Konflikt, Corona-Pandemie, Verbreitung von Protektionismus, Fortschreiten des Klimawandels, etc.) bewegt und gefesselt. Die Professoren haben jedoch zum Abschluss ihrer Rede dazu aufgerufen, trotz der zahlreichen Krisen positiv in die Zukunft zu blicken und den Hebel, den wir in der Gesellschaft und im Bereich der Produktionstechnik zur Verfügung haben, aktiv zu nutzen! Zudem konnten Frau Kolb und Frau Sigl durch die Organisation einer Spendenaktion für die Ukraine zusätzlich Optimismus in Bezug auf den gesellschaftlichen Zusammenhalt in Europa wecken. Während der gesamten Veranstaltung wurden wir vom Team des Gasthofs Neuwirt sehr zuvorkommend bedient und mit ausgezeichnetem Essen versorgt. Gegen Ende des offiziellen Teils des Jahresabschlusskolloquiums 2022 konnte die *iwb* das Publikum trotz langer Coronapause auf die Tanzfläche locken und somit den Abend festlich ausklingen lassen.

Als nächste Termine sollte sich jeder schon einmal das Kolloquium anlässlich des 80. Geburtstages von Professor Milberg am 21.04.2023, das Sommerfest und das Jahresabschlusskolloquium 2023 vormerken. Für die letzten beiden



Die *iwb* Band auf der Bühne des Gasthofs Neuwirt

Veranstaltungen werden die genauen Termine zeitnah festgelegt und über E-Mail und den *iwb* e. V. verteilt.



M. Sc. Felix Riegger

Abteilung
Additive Fertigung



M. Sc. Christian Schieber

Abteilung
Werkzeugmaschinen

IWB TERMINE

EV-Roadshow, TUM-Campus Garching

15. - 17. Februar 2023

LaserEMobility Konferenz 2023, Mailand

13. - 14. März 2023

LASER World of PHOTONICS, München

27. - 30. Juni 2023

automatica 2023, München

27. - 30. Juni 2023

26. AM-Seminar, Augsburg

18. Juli 2023

VERÖFFENTLICHUNGEN

Abteilung Additive Fertigung – Relevante Veröffentlichungen:

Baier, D.; Wolf, F.; Weckenmann, T.; Lehmann, M.; Zaeh, M. F. (2022): Thermal process monitoring and control for a near-net-shape Wire and Arc Additive Manufacturing. In: Production Engineering. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01138-7>.

Goetz, D.; Wolf, D.; Lehmann, M.; Zaeh, M. F. (2022): A novel approach for the quantitative characterization of shrink lines in the Powder Bed Fusion of metals using a laser beam. In: Procedia CIRP 111, S. 832–837. DOI: 10.1016/j.procir.2022.08.093.

Harbig, J.; Wenzler, D. L.; Baehr, S.; Kick, M. K.; Merschroth, H.; Wimmer, A. et al. (2022): Methodology to Determine Melt Pool Anomalies in Powder Bed Fusion of Metals Using a Laser Beam by Means of Process Monitoring and Sensor Data Fusion. In: Materials (Basel, Switzerland) 15 (3). DOI: 10.3390/ma15031265.

Kolb, C. G.; Lehmann, M.; Kriegler, J.; Lindemann, J.-L.; Bachmann, A.; Zaeh, M. F. (2022): Qualifying water-based electrode dispersions for the inkjet printing process: a requirements analysis. In: Rapid Prototyping Journal 28 (11).

Lehmann, M.; Panzer, H.; Kolb, C. G.; Zaeh, M. F. (2022): Influence of the pore radius on the penetration depth of inks in binder jetting – A new model approach for the determination of the pore radius. In: JMMP 6 (5), S. 101. DOI: 10.3390/jmmp6050101.

Riegger, F.; Zäh, M. F. (2022): Additive Fertigung von Stahlbewehrungen. Integration von WAAM-Bewehrungen in den Partikelbett-3D-Druck mit der selektiven Zementleim-Intrusion. In: ZWF 117 (7-8), S. 448–451. DOI: 10.1515/zwf-2022-1091.

Abteilung Batterieproduktion – Relevante Veröffentlichungen:

Grabmann, Sophie; Mayr, Lukas; Kick, Michael K.; Zaeh, Michael F.: Enhancing laser-based contacting of aluminum current collector foils for the production of lithium-ion batteries using a nanosecond pulsed fiber laser. Procedia CIRP 111, 2022, 778–783

Hagemeister, J.; Günter, F. J.; Rinner, T.; Zhu, F.; Papst, A.; Daub, R. (2022): Numerical Models of the Electrolyte Filling Process of Lithium-Ion Batteries to Accelerate and Improve the Process and Cell Design. In: Batteries 8 (10), S. 159. DOI: 10.3390/batteries8100159.

Hagemeister, J.; Stock, S.; Linke, M.; Fischer, M.; Drees, R.; Kurrat, M.; Daub, R. (2022): Lean Cell Finalization in Lithium-Ion Battery Production: Determining the Required Electrolyte Wetting Degree to Begin the Formation. In: Energy Technol., S. 2200686. DOI: 10.1002/ente.202200686.

Haghi, S.; Summer, A.; Bauerschmidt, P.; Daub, R. (2022): Tailored Digitalization in Electrode Manufacturing: The Backbone of Smart Lithium-Ion Battery Cell Production. In: Energy Technol., Artikel ente.202200657. DOI: 10.1002/ente.202200657.

Mayr, A.; Schreiner, D.; Stumper, B.; Daub, R. (2022): In-line Sensor-based Process Control of the Calendering Process for Lithium-Ion Batteries (107), S. 295–301. DOI: 10.1016/j.procir.2022.04.048.

Singer, C.; Töpfer, H.-C.; Kutsch, T.; Schuster, R.; Koerver, R.; Daub, R. (2022): Hydrolysis of Argyrodite Sulfide-Based Separator Sheets for Industrial All-Solid-State Battery Production. In: ACS applied materials & interfaces 14 (21), S. 24245–24254. DOI: 10.1021/acsami.2c01099.

Stumper, B.; Dhom, J.; Schlosser, L.; Schreiner, D.; Mayr, A.; Daub, R. (2022): Modeling of the Lithium Calendering Process for Direct Contact Prelithiation of Lithium-Ion Batteries. In: Procedia CIRP 107, S. 984–990. DOI: 10.1016/j.procir.2022.05.096.

Stock, S.; Pohlmann, S.; Günter, F. J.; Hille, L.; Hagemeister, J.; Reinhart, G. (2022): Early Quality Classification and Prediction of Battery Cycle Life in Production Using Machine Learning. In: Journal of Energy Storage 50, S. 104144. DOI: 10.1016/j.est.2022.104144.

Abteilung Lasertechnik – Relevante Veröffentlichungen:

Bernauer, C.; Merk, T.; Zapata, A.; Zaeh, M. F. (2022): Laser Metal Deposition with Coaxial Wire Feeding for the Automated and Reliable Build-Up of Solid Metal Parts. In: KEM 926, S. 65–79. DOI: 10.4028/p-ob7dg7.

Bernauer, C. J.; Zapata, A.; Kick, L.; Weiss, T.; Sigl, M. E.; Zaeh, M. F. (2022): Pyrometry-based closed-loop control of the melt pool temperature in Laser Metal Deposition with coaxial wire feeding. In: Procedia CIRP 111, S. 296–301. DOI: 10.1016/j.procir.2022.08.025.

Geiger, C.; Kriegler, J.; Weiss, T.; Berger, A.; Zaeh, M. F. (2022): Micro-perforation of the diffusion media for polymer electrolyte membrane fuel cells using short and ultrashort laser pulses. In: Procedia CIRP 111, S. 796–799. DOI: 10.1016/j.procir.2022.08.131.

Hille, L.; Toepper, H.-C.; Schriever, C.; Kriegler, J.; Keilhofer, J.; Noecker, M. P.; Zaeh, M. F. (2022): Influence of Laser Structuring and Calendering of Graphite Anodes on Electrode Properties and Cell Performance. In: J. Electrochem. Soc. 169 (6), S. 60518. DOI: 10.1149/1945-7111/ac725c.

Kick, M. K.; Stadter, C.; Weiss, T.; Backenstos, M.; Zäh, M. F. (2022): Erklärbarkeitsansätze zur Verbesserung der Segmentierung von Schweißnähten in CT-Aufnahmen Erklärbare KI für produktions-technische Anwendungen. In: wt Werkstattstechnik online (3), S. 173–177.

Kriegler, J.; Duy Nguyen, T. M.; Tomcic, L.; Hille, L.; Grabmann, S.; Jaimez-Farnham, E. I.; Zaeh, M. F. (2022): Processing of lithium metal for the production of post-lithium-ion batteries using a pulsed nanosecond fiber laser. In: Results in Materials 15, S. 100305. DOI: 10.1016/j.rinma.2022.100305.

Kriegler, J.; Jaimez-Farnham, E.; Hille, L.; Dashjav, E.; Zaeh, M. F. (2022): Pulsed laser ablation of a ceramic electrolyte for all-solid-state batteries. In: Procedia CIRP 111, S. 800–805. DOI: 10.1016/j.procir.2022.08.132.

Schmoeller, M.; Weiss, T.; Goetz, K.; Stadter, C.; Bernauer, C.; Zaeh, M. F. (2022): Inline Weld Depth Evaluation and Control Based on OCT Keyhole Depth Measurement and Fuzzy Control. In: Processes 10 (7), S. 1422. DOI: 10.3390/pr10071422.

Zapata, A.; Bernauer, C.; Hell, M.; Kriz, H.; Zaeh, M. F. (2022): Direction-independent temperature monitoring for Laser Metal Deposition with coaxial wire feeding. In: Procedia CIRP 111, S. 302–307. DOI: 10.1016/j.procir.2022.08.027.

Zapata, A.; Bernauer, C.; Stadter, C.; Kolb, C. G.; Zaeh, M. F. (2022): Investigation on the Cause-Effect Relationships between the Process Parameters and the Resulting Geometric Properties for Wire-Based Coaxial Laser Metal Deposition. In: Metals 12 (3), Artikel 455, S. 1–16. DOI: 10.3390/met12030455.

Abteilung Montagetechnik & Robotik – Relevante Veröffentlichungen:

Gonnermann, C.; Hashemi-Petroodi, S. E.; Thevenin, S.; Dolgui, A.; Rüdiger, D. (2022): A skill- and feature-based approach to planning process monitoring in assembly planning. In: International Journal of Advanced Manufacturing Technology. DOI: 10.1007/s00170-022-09931-5.

Heuss, L.; Gonnermann, C.; Reinhart, G. (2022): An extendable framework for intelligent and easily configurable skills-based industrial robot applications. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. DOI: 10.1007/s00170-022-09071-w.

Nentwich, C.; Daub, R. (2022): Comparison of Data Sources for Robot Gear Condition Monitoring. In: Procedia CIRP 107, S. 314–319. DOI: 10.1016/j.procir.2022.04.051.

Nentwich, C.; Daub, R. (2022): Cost-Benefit Analysis of Industrial Robot Gear Condition Monitoring. In: *Procedia CIRP* 107, S. 143–148. DOI: 10.1016/j.procir.2022.04.024.

Tanz, L.; Daub, R. (2022): Automated Commissioning of Offline-Generated Robot Programs. In: *Procedia CIRP*. DOI: 10.1016/j.procir.2022.05.067.

Abteilung Nachhaltige Produktion – Relevante Veröffentlichungen:

Schulz, J.; Lütke, F.; Szabo, A.; Zäh, M. F. (2022): Energy-orientated material flow simulation with stochastic optimisation for peak load management. In: *Procedia CIRP* (107), 399–404. DOI: 10.1016/j.procir.2022.04.065.

Abteilung Produktionsmanagement & Logistik – Relevante Veröffentlichungen:

Büchler, T.; Kolter, M.; Hallweger, L.; Zäh, M. F. (2022): Predictive cost comparison of manufacturing technologies through analyzing generic features in part screening. In: *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* (38), S. 299–319. DOI: 10.1016/j.cirpj.2022.04.012.

Büchler, T.; Schulz, M.; Zäh, M. F. (2022): Automated geometric analysis of metallic components through picture recognition models for manufacturing technology assessments. In: *Production Engineering*. DOI: 10.1007/s11740-022-01146-7.

Capistrano Burgos, R.; Sippl, F.; Radisic-Aberger, O.; Weisser, T. (2022): Data-Based Method for the Implementation Planning of Engineering Changes in the Automotive Industry. In: *Proc. Des. Soc.* 2, S. 343–352. DOI: 10.1017/pds.2022.36.

Korder, S.; Breuherr, D.; Reinhart, G. (2022): Towards a Work-Related Turnover Risk Management in Manufacturing SMEs. In: *Human Interaction and Emerging Technologies (IHET2022)* (68), S. 711–721. DOI: 10.54941/ahfe1002797.

Kroeger, S.; Zaeh, M. F. (2022): Towards an Efficient, Comprehensive Value Stream Planning in Production Networks. In: *Procedia CIRP* 107, S. 782–787.

Sippl, F.; Del Rio, B.; Reinhart, G. (2022): Approach for stakeholder identification in Manufacturing Change Management. In: *Procedia CIRP* 106, S. 191–196. DOI: 10.1016/j.procir.2022.02.177.

Tropschuh, B.; Brunner, S.; Dillinger, F.; Hagemann, F. (2022): An Approach to Analyze Human-caused Work Errors. In: *Procedia CIRP* 106, S. 9–14. DOI: 10.1016/j.procir.2022.02.147.

Tropschuh, B.; Maier, M.; Dillinger, F.; Korder, S. (2022): Manufacturing-Related Social Sustainability in Learning Factories. In: *SSRN Journal* (12th Conference on Learning Factories, CLF 2022), S. 1–6. DOI: 10.2139/ssrn.4071814.

Tropschuh, B.; Windecker, S.; Reinhart, G. (2022): Study-based evaluation of accuracy and usability of wearable devices in manual assembly. In: *Production & Manufacturing Research* 10 (1), S. 569–582. DOI: 10.1080/21693277.2022.2100505.

Abteilung Werkzeugmaschinen – Relevante Veröffentlichungen:

Benker, M.; Junker, S.; Ellinger, J.; Semm, T.; Zaeh, M. F. (2022): Experimental derivation of a condition monitoring test cycle for machine tool feed drives. In: *Prod. Eng. Res. Devel.* 16 (1), S. 55–64. DOI: 10.1007/s11740-021-01085-9.

Benker, M.; Rommel, V.; Zaeh, M. F. (2022): An investigation into the economic efficiency of different maintenance strategies based on a discrete event simulation. In: *Procedia CIRP* 107 (2), S. 428–433. DOI: 10.1016/j.procir.2022.05.003.

Benker, M.; Zaeh, M. F. (2022): Condition monitoring of ball screw feed drives using convolutional neural networks. In: *CIRP Annals* 71 (1), S. 313–316. DOI: 10.1016/j.cirp.2022.03.017.

Busch, M.; Schnoes, F.; Elsharkawy, A.; Zaeh, M. F. (2022): Methodology for model-based uncertainty quantification of the vibrational properties of machining robots. In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 73, S. 102243. DOI: 10.1016/j.rcim.2021.102243.

Busch, M.; Zaeh, M. F. (2022): Multi-Fidelity Information Fusion to Model the Position-Dependent Modal Properties of Milling Robots. In: *Robotics* 11 (1), S. 17. DOI: 10.3390/robotics11010017.

Ellinger, J.; Zaeh, M. F. (2022): Automated Identification of Linear Machine Tool Model Parameters Using Global Sensitivity Analysis. In: *Machines* 10 (7), Artikel 535. DOI: 10.3390/machines10070535.

Schieber, C.; Hettig, M.; Müller, V.; Zaeh, M. F.; Heinzl, C. (2022): Modeling of laser processing as a distortion compensation strategy for profile grinding. In: *Prod. Eng. Res. Devel.* DOI: 10.1007/s11740-022-01144-9.

Schieber, C.; Hettig, M.; Zaeh, M. F.; Heinzl, C. (2022): Combination of Thermal and Mechanical Strategies to Compensate for Distortion Effects during Profile Grinding. In: *Machines* 10 (12), S. 1240. DOI: 10.3390/machines10121240.

Schieber, C.; Hettig, M.; Zaeh, M. F.; Heinzl, C. (2022): Modeling of Deep Rolling as a Distortion Compensation Strategy during Profile Grinding. In: *KEM* 926, S. 897–905. DOI: 10.4028/p-kl033k.

Sigl, M. E.; Danninger, P.; Bernauer, C.; Hartl, R.; Zaeh, M. F. (2022): Efficient Build-Up of High-Strength Aluminum Structures Using Friction Stir Additive Manufacturing. In: *KEM* 926, S. 176–186. DOI: 10.4028/p-6p7o75.

Sigl, M. E.; Grabmann, S.; Zens, Kick, Luca-Felix; Amanda; Hartl, R.; Zaeh, M. F. (2022): Cell-Internal Contacting of Prismatic Lithium-Ion Batteries Using Micro-Friction Stir Spot Welding. In: *Batteries* 8 (10), S. 174. DOI: 10.3390/batteries8100174.

Impressum

Der *iwb*-Newsletter wird herausgegeben vom

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)

Technische Universität München

Boltzmannstraße 15

D-85748 Garching

Tel.: 089/289-155 00

Fax: 089/289-155 55

ISSN 1434-324X (Druck-Ausgabe)

ISSN 1614-3442 (Online-Ausgabe)

Redaktion:

Franziska Sadlo (verantw.)

Tel.: 089/289-155 51

E-Mail: franziska.sadlo@iwb.tum.de

Web: www.iwb.tum.de

Herstellung:

dm druckmedien

Lindberghstraße 17

D-80939 München

Tel.: 089/516161-00

Fax: 089/516161-99

E-Mail: dm@druckmedien.de

Web: www.druckmedien.de

Verlag:

Herbert Utz Verlag GmbH

Nymphenburger Str. 91

80636 München

Tel.: 089/27 77 91-00

Fax: 089/27 77 91-01

E-Mail: info@utzverlag.com

Web: www.utzverlag.com

Natürlich gedruckt auf chlorfrei
gebleichtem Umweltpapier.

Adressverteiler:

Möchten Sie in den Verteiler aufgenommen werden oder hat sich Ihre Adresse geändert? Dann schicken Sie bitte eine E-Mail an info@iwb.tum.de