

iwb-Newsletter 2/2021

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)



© iwb/TUM

Editorial



„... Und jedem Anfang wohnt ein Zauber inne, ...“

Liebe Leserinnen und Leser,

dieser Satz aus dem Gedicht „Stufen“ von Hermann Hesse wurde mir bisher bei jedem Neuanfang in meinem Leben mit auf den Weg gegeben – von meiner Mutter. Natürlich auch dieses Mal. Noch nie war dieser Satz treffender. Dem Start als Professor und Institutsleiter am *iwb* und dem Fraunhofer-IGCV wohnt tatsächlich jede Menge „Zauber“ inne.

Die Frage, die mir in der Zeit des Wechsels am häufigsten gestellt wurde, war: „Warum wollen Sie das überhaupt?“ – Wissen zu schaffen, erscheint mir als eine der nobelsten Tätigkeiten, denen man nachgehen kann. Dies am *iwb* machen zu können, war ein unwiderstehliches Angebot.

Mein Start wurde bestens organisiert. Der Terminkalender war sofort voll mit Briefings,

Strategie-Updates, Treffen zum Kennenlernen sowie Grundkursen zur Bedienung der Kaffeemaschine und allen weiteren wichtigen Dingen. Es fühlt sich an, als wäre ich nie wirklich weg gewesen. Ich danke allen für die offene und warmherzige Begrüßung am *iwb*. Einen ganz besonderen Dank möchte ich an dieser Stelle auch an meinen neuen Kollegen Michael Zäh richten, der während der Übergangszeit gemeinsam mit dem hoch motivierten Team alles am Laufen gehalten hat.

Mir war bewusst, dass es große Fußstapfen sind, in die ich trete. Täglich bin ich von den Leistungen meines Vorgängers beeindruckt; das *iwb* ist hervorragend aufgestellt.

Mein Start wird nicht das Ende eines Veränderungsprozesses markieren, sondern dessen Anfang. Eine weitere Professur im Umfeld des *iwb* ist geplant, die Fakultät Maschinenwesen

ist mit anderen Fakultäten zum ersten Oktober in die „School of Engineering and Design“ übergegangen und schon heute ist absehbar, dass die Corona-Pandemie die Arbeitswelt und die Lehre nachhaltig verändern wird.

Nach den vergangenen Corona-Semestern ist das *iwb* mit hybriden Veranstaltungen in das Wintersemester gestartet. Dadurch sind wir in der Lage, flexibel auf die aktuelle Corona-Entwicklung zu reagieren und unseren Studierenden, unabhängig von Quarantäne, Impfstatus und Lockdown, jederzeit ein vollwertiges Lehrangebot zu machen. Hoffentlich können wir die Präsenzlehre über den Winter aufrechterhalten.

Kurz nach meinem Start konnte das *iwb* zusammen mit anderen Lehrstühlen der TUM einen großen Antragserfolg verbuchen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert die Erneuerung des Anlagenparks der TUM im Bereich der Batterieforschung in den nächsten Jahren mit einem zweistelligen Millionenbetrag. Ein Großteil der Anlagen wird von uns im Zuge einer Neugestaltung der

Batterie-Produktionslinie geplant, aufgebaut und im Rahmen zukünftiger Forschungsprojekte betrieben. Dadurch wird es möglich, das Forschungsfeld weit über die TUM hinaus besser sichtbar zu machen und die Spitzenposition, die in den letzten 10 Jahren aufgebaut wurde, auszubauen. Mit Hochdruck wird an der Umsetzung dieses Projekts gearbeitet. Schon jetzt ist klar, es wird die Aktivitäten des *iwb* in den nächsten 10 Jahren prägen.

Die Welt ist im Wandel. Das *iwb* gestaltet diesen durch exzellente Lehre, Forschung und Projektarbeit aktiv mit. In diesem Newsletter geben wir Ihnen einen Einblick in die Arbeiten der letzten Monate und hoffen, Sie mit dem einen oder anderen Bericht zu motivieren, den Wandel mit zu gestalten. Michael Zäh und ich wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen.

Ihr Rüdiger Daub

AM Damping Microstructures – additiv gefertigte Dämpfungsstrukturen

Das Ziel des Forschungsprojektes AM Damping ist es, die Vorteile der Additiven Fertigung zu nutzen, um neuartige Dämpfungsstrukturen zu fertigen. Durch eine gezielte Dissipation soll ein schwingungsreduzierter Betrieb von technischen Systemen ermöglicht werden. Hierbei kooperiert das *iwb* mit dem Lehrstuhl für Numerische Mechanik der TUM (Inm).

In den letzten Jahren haben neuartige Werkstoffe und Fertigungstechnologien die Möglichkeit für innovative Leichtbau-Konzepte eröffnet. Das pulverbettbasierte Schmelzen von Metallen mittels Laserstrahl ist eines der vielversprechendsten additiven Fertigungsverfahren. Durch die Schichtbauweise des Verfahrens wird die Fertigung komplexer geometrischer Bauteile mit hohen mechanischen Eigenschaften und multifunktionalen Leichtbaustrukturen ermöglicht. Die technischen Komponenten aus diesen Konzepten weisen meist eine erhöhte Neigung zu unerwünschten Schwingungen auf.

Vorgehen

In diesem Forschungsprojekt sollen vier unterschiedliche Dämpfungskonzepte betrachtet werden (siehe Abb. 1). Zu Beginn wird ein numerisches Modell für jedes Konzept aufgebaut und anhand experimenteller Daten kalibriert. Anschließend erfolgen experimentelle und numerische Untersuchungen bei verschiedenen Lastfällen, um die erarbeiteten Modelle zu validieren. Abschließend wird das



Abb. 1: Vier additive Dämpfungskonzepte

vielversprechendste Konzept ausgewählt und in einen Demonstrator integriert.

Dämpfungskonzepte

Das erste Konzept beinhaltet die Nutzung des losen Metallpulvers aus dem Fertigungsprozess, eingeschlossen in Kavitäten, um durch Reibung und Partikelkollisionen Energie zu dissipieren. Im zweiten Konzept werden poröse Strukturen erzeugt und mit hochviskosem Öl gefüllt. Die dadurch eingebrachten Mikroströmungen sollen einzelne Schwingungsmoden gezielt dämpfen. Das dritte Konzept verbindet eine Leichtbau-Gitterstruktur als Steifigkeitskomponente und eine Füllung aus Polymerharz als Dämpfungskomponente (siehe Abb. 2). Hierbei wird die Energie überwiegend durch die Hysterese des Harzes dissipiert. Im vierten Konzept werden intelligente Mikrostrukturen betrachtet, die je nach Last unterschiedliche Reibelemente aktivieren und damit verschiedene Moden dämpfen sollen.

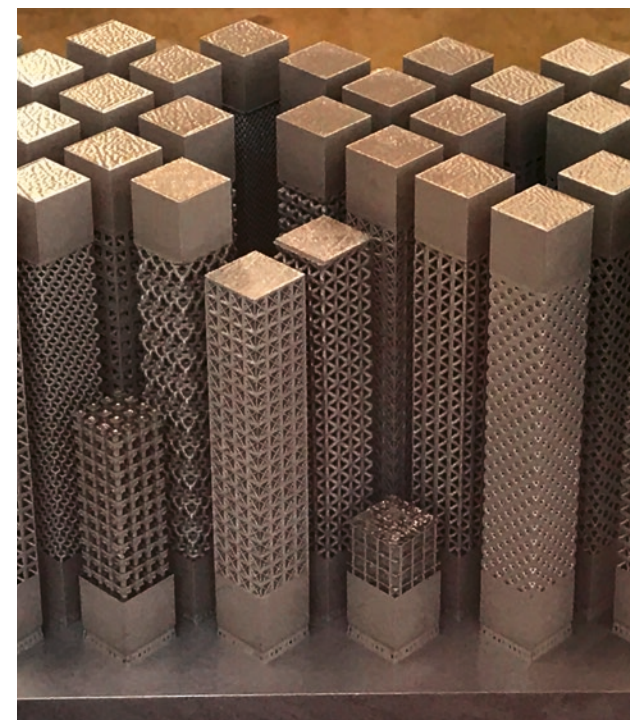


Abb. 2: Konzept 3: Gitterstrukturen

Dank

Wir bedanken uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Projektes.



M. Sc. Thomas Mair
Abteilung
Additive Fertigung

Grünes Licht für Leistungselektronik

Leistungselektronik wird für die Umformung von elektrischer Energie genutzt und nimmt eine Schlüsselrolle in der Energiewende ein. Im neuen Forschungsprojekt FlaMe arbeitet das *iwb* zusammen mit Projektpartnern aus Industrie und Forschung an innovativen und nachhaltigen Möglichkeiten zur Fertigung der Leistungselektronik von Morgen.

Leistungselektronik ermöglicht die Umformung elektrischer Energie, unter anderem in Bezug auf die Spannungsform und die Frequenz. Als Bindeglied zwischen Erzeugern und Verbrauchern wird sie in beispielsweise Windkraftanlagen und Elektroautos eingesetzt. Ein Leistungselektronik-Modul besteht aus unterschiedlichen Einzelkomponenten, darunter Halbleiter-Chips und einer Leiterplatte in Form

eines Kupfer-Keramik-Substrats. Die Prozesskette zur Fertigung solcher Module zeichnet sich durch eine hohe Komplexität und hohe Losgrößen, letzteres bedingt durch eine mangelnde Flexibilität der konventionellen Fertigungsverfahren, aus. Dabei kommen energieintensive Produktionsanlagen wie beispielsweise Lötöfen zum Einsatz.

Im Zuge des anwachsenden Bedarfs an kundenindividuellen Lösungen, sehen sich die produzierenden Unternehmen mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Das Forschungsprojekt „Flexible angepasste Fertigung von Leistungselektronik-Modulen“ (Projektkronym: FlaMe) hat zum Ziel, eine ökologisch nachhaltige und flexible Fertigung von Leistungselektronik in niedriger Losgröße zu ermöglichen. Durch laserbasierte Fertigungsverfahren, darunter die additive Fertigung und das Laserstrahlschweißen, sollen die konventionellen Fertigungsprozesse substituiert werden, um die Flexibilität in der Produktion zu erhöhen und den Energiebedarf zu senken. Zusätzlich sollen neuartige Halbleitermaterialien wie Galliumnitrid (GaN) und Siliziumkarbid (SiC) für die integrierten Schaltkreise eingesetzt werden, um die Effizienz im Betrieb der Leistungselektronik beim Kunden zu steigern.

Realisiert wird das Projekt in den kommenden drei Jahren in Zusammenarbeit mit der Siemens AG, der Precitec GmbH & Co. KG, der F & K Delvotec Bondtechnik GmbH, der Plasma Innovations GmbH, der TRUMPF Laser GmbH, der FAU Erlangen-Nürnberg und dem Fraunhofer Institut für Siliziumtechnologie (ISIT).

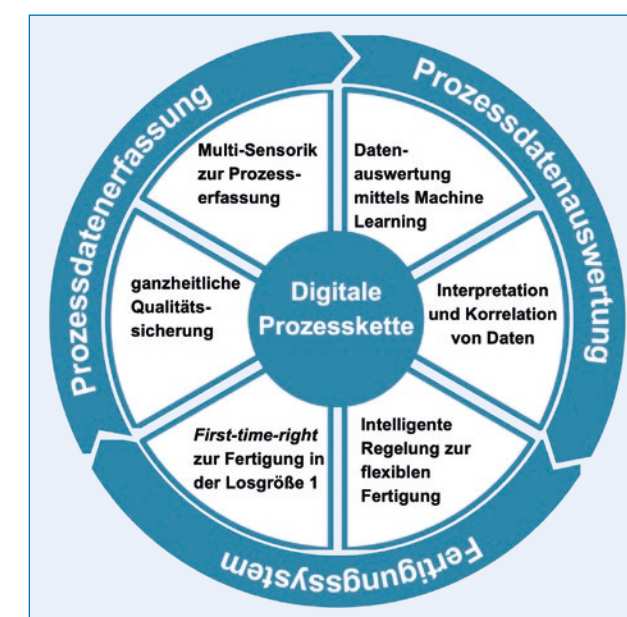


Abb. 1: Konzept für eine vollumfängliche digitale Prozesskette

Das *iwb* bringt für das Projekt seine langjährige Expertise im Bereich des Laserstrahlschweißens und der Datenauswertung mittels Künstlicher Intelligenz ein. Zentraler Bestandteil ist der Einsatz von Laserstrahlung im grünen Wellenlängenbereich, wodurch das Fügen von Kupferkomponenten mit hoher Prozesseffizienz ermöglicht wird. Durch einen Multi-Sensor-Ansatz soll der Prozess vollumfänglich erfasst werden, damit anschließend eine Aussage über die Qualität der Fügeverbindung getroffen werden kann. Zur Interpretation und Korrelation der Daten sollen Methoden des Maschinellen Lernens eingesetzt werden. Die Herausforderungen sind hierbei die unterschiedlichen Datenformate und Abtastfrequenzen der Sensoren, welche im Vorfeld durch eine geeignete Datenvorverarbeitung aufbereitet werden müssen. Diese digitale Prozesskette (siehe Abb. 1) soll eine ganzheitliche

Transparenz in der Produktion bieten und eine hohe Variantenvielfalt auf einer Fertigungslinie ermöglichen.

Dank

Das Projekt FlaMe (03EN4008G) wird im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung gefördert. Wir bedanken uns beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und beim Projektträger Jülich (PtJ) für die Unterstützung.



M. Eng. Lazar Tomcic

Abteilung
Lasertechnik

Koaxiales Laser-Auftragschweißen mit Draht

Die ressourceneffiziente Fertigung von Bauteilen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Daher wurde eine neue Laser-Auftragschweißanlage am *iwb* aufgebaut, die es ermöglicht, an der additiven Fertigung von endkonturnahen Bauteilen mit einem Materialnutzungsgrad von 100% zu forschen.

DED-Verfahren (DED: Directed Energy Deposition) stellen aufgrund der hohen Auftragsraten, die sie ermöglichen, einen hinsichtlich industrieller Anwendungen zunehmend relevanten Teilbereich der additiven Fertigungsverfahren dar. Zu den DED-Verfahren zählt neben der draht- und lichtbogen-basierten Additiven Fertigung (engl.: Wire and Arc Additive Manufacturing, WAAM) auch das Laser-Auftragschweißen (engl.: Laser Metal Deposition, LMD). Im Rahmen einer Kooperation mit der Precitec GmbH & Co. KG, der DINSE GmbH und der Sensortherm GmbH wird am *iwb* das koaxiale LMD mit Draht, eine Variante der Laser-Auftragschweißverfahren, näher untersucht.

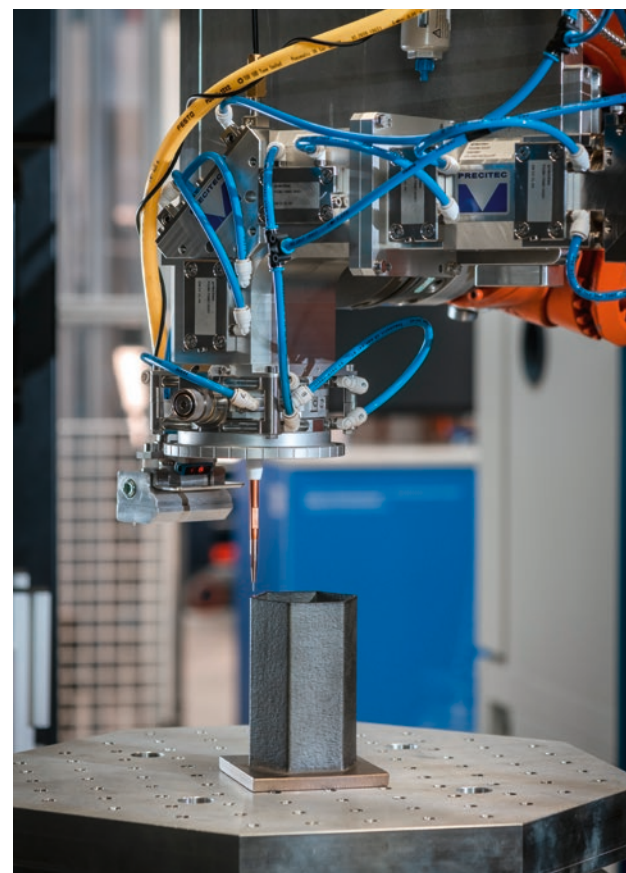


Abb. 1: Demonstratorbauteil aus Edelstahl



Abb. 2: Mittels einer Hochgeschwindigkeitskamera aufgenommener Prozess

LMD-Verfahren eignen sich zum Auftragen von Schutzschichten, zum additiven Aufbau komplexer Strukturen und zur Reparatur von Bauteilen. Bei diesen Prozessen wird ein Zusatzwerkstoff auf ein Substrat aufgebracht, indem beide Komponenten lokal durch Laserstrahlung aufgeschmolzen werden. Die Materialzufuhr kann dabei sowohl in Form eines Pulverstroms, als auch als Draht erfolgen. Ein Nachteil beim Einsatz von Pulver ist die Kontamination der Prozessumgebung durch Metallstaub, da nicht die komplette zugeführte Materialmenge im Prozess aufgeschmolzen wird. Im Gegensatz dazu wird beim drahtbasierten LMD ein Materialnutzungsgrad von 100 % erreicht. Das Zusatzmaterial in Drahtform ist zudem kostengünstiger und leichter verfügbar als Pulverwerkstoffe. Die jüngsten Entwicklungen im Bereich der Bearbeitungsoptiken, welche durch eine geeignete Strahlformung eine koaxiale Drahtzufuhr in der Mitte eines ringförmigen Strahlprofils ermöglichen, erleichtern den Einsatz des Prozesses für die Fertigung von komplexen Bauteilen.

Der Prozess

Das Verfahren beruht auf der lokalen Erzeugung eines Schmelzbades an der Oberfläche eines Substrats, in das der Draht eingetaucht wird und dabei aufschmilzt. Durch eine translatorische Bewegung und das Erstarren der Schmelze entsteht eine auf das Substrat aufgetragene Schweißbraupe.

Zielsetzung

Am *iwb* soll das Laser-Auftragschweißen grundlegend erforscht und für den industriellen

Einsatz befähigt werden. Dazu werden Prozessuntersuchungen unter Einsatz von Edelstählen und Aluminiumlegierungen durchgeführt, um das Verfahren sowohl für die Herstellung von verschleißfesten Komponenten als auch für Leichtbauanwendungen zu qualifizieren. Zudem sollen Sensorsysteme eingesetzt werden, um das Prozessverständnis zu steigern und in einem nachgelagerten Schritt die Prozesssicherheit zu erhöhen.

Dank

Die Precitec GmbH & Co. KG unterstützt das Vorhaben durch die Leihgabe der Bearbeitungsoptik (CoaxPrinter). Die Sensortherm GmbH stellt ein Quotienten-Pyrometer (METIS M322) zur Verfügung und die DINSE GmbH eine Drahtfördereinheit (DIX WD 300) sowie eine Steuerungseinheit (DIX FDE-PN 100L). Wir bedanken uns für die Leihgaben, die Unterstützung im Aufbau der Forschungsanlage und freuen uns darauf, gemeinsam an diesem Prozess zu forschen.



M. Sc. Avelino Zapata

Abteilung
Lasertechnik



M. Sc. Christian Bernauer

Abteilung
Lasertechnik

Das Forschungsprojekt StabiLO – Laserstrukturieren von großformatigen 3-D-Metalloberflächen

Motivation und Projektüberblick

Vorgaben zur Reduzierung von CO₂-Emissionen stellen den Transportsektor weltweit vor Herausforderungen. Zur Einhaltung strengerer Emissions-Grenzwerte wird eine nachhaltigere und ressourcenschonendere Mobilität, etwa durch die Reduzierung der Fahrzeugmasse oder durch einen Umstieg auf elektrisch angetriebene Fahrzeuge, angestrebt. Damit geht unter anderem ein weltweit steigender Bedarf nach Leichtbauwerkstoffen einher, welche neue Fertigungstechnologien erfordern. Im Fokus des Projektes StabiLO stehen daher die Erforschung und Entwicklung einer prozess-stabilen Laserstrukturierung von metallischen Oberflächen zum großflächigen Fügen von 3-D-Metalstrukturen mit faserverstärkten Kunststoffen (FVK). Basierend auf einem optimierten

Laserstrukturierungs-Prozess und einer flexibel skalierbaren Prozessführung soll unter Einsatz eines innovativen, optischen Sensorkonzeptes eine Prozessregelung mit dem Ziel einer Inline-Qualitätssicherung realisiert werden (siehe Abb. 1). Das Ziel ist die Befähigung des Laserstrukturierungs-Prozesses als Oberflächen-Vorbehandlungsschritt von Metallen für die Produktion von hybriden, großformatigen 3-D-Bauteilen. Hierdurch sind Einsparungen bei den Produktionskosten und kürzere Prozesszeiten im Vergleich zu anderen Oberflächenvorbehandlungen, wie dem Ätzen, zu erwarten.

Das durch die Bayerische Forschungsförderung (BFS) geförderte Projekt StabiLO ist am 01.03.2021 in der Abteilung Lasertechnik am *iwb* gestartet und hat eine Laufzeit von drei

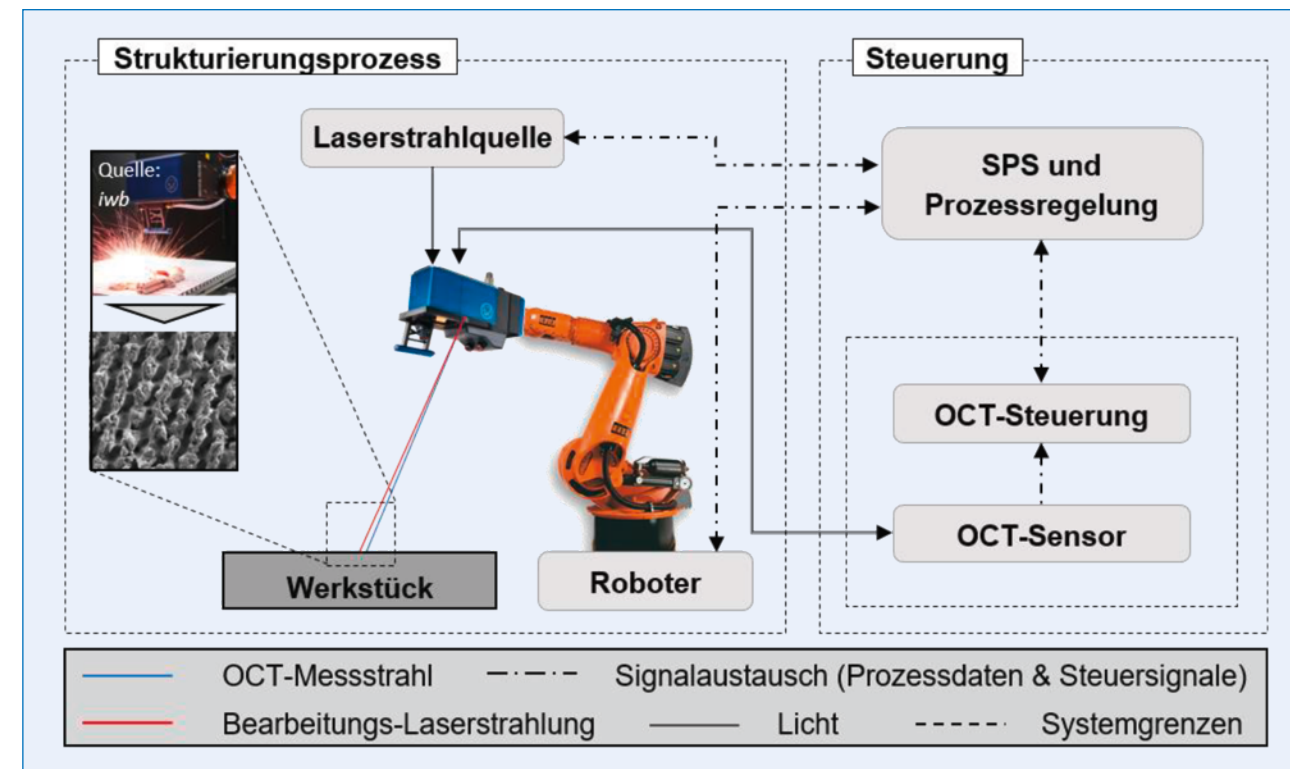


Abb. 1: Versuchsaufbau zur Umsetzung einer Inline-Qualitätssicherung bei der Laserstrukturierung von metallischen Oberflächen

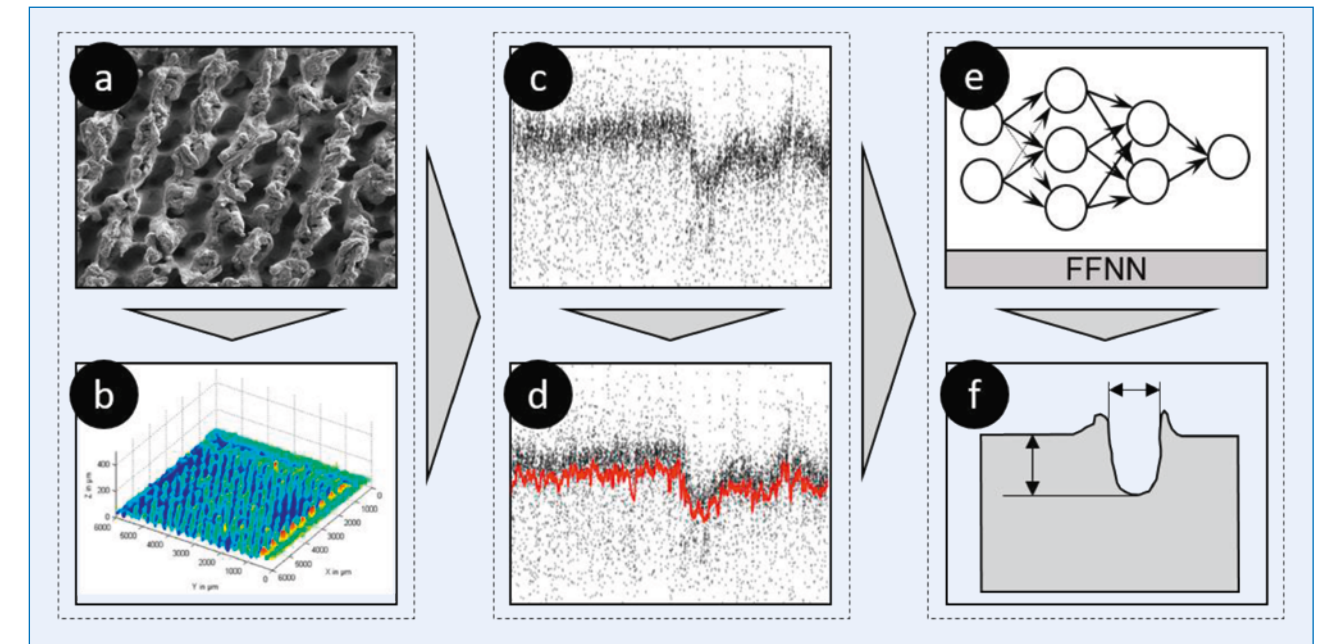


Abb. 2: Wesentliche Schritte bei der OCT-basierten Topografieermessung und einer anschließenden Signalverarbeitung basierend auf Methoden des Maschinellen Lernens

Jahren. Anknüpfen wird das Projekt an die bisherigen Forschungsarbeiten zur Laserstrukturierung, unter anderem aus dem Projekt PRO-LEI. Die Projekthalte für das *iwb* liegen dabei zum einen in den Prozessuntersuchungen und der darauf basierenden Modellierung, Auslegung und Skalierung des Prozesses. Zusätzlich wird Expertise im Bereich der Inline-Qualitätssicherung mittels OCT-Sensorik zur Topografie-messung eingebracht. Verbunden damit ist eine Analyse der Sensorsignale, deren Auswertung automatisiert erfolgen soll. Neben dem *iwb* sind die Novanta Europe GmbH, die Grenzebach Digital GmbH und die Airbus Helicopters Deutschland GmbH Teil des Konsortiums.

Laserstrukturierung von metallischen Oberflächen

Im Rahmen des Forschungsprojektes soll ein vertieftes Prozessverständnis als Ausgangsbasis für eine Regelung geschaffen werden. Auf Basis einer statistischen Versuchsreihe, welche einen breiten Parameterraum abdeckt, wird das Abtragsverhalten in Folge der Prozessparameter, wie Ablenkgeschwindigkeit des Laserstrahls auf der Bauteiloberfläche oder die Laserleistung, untersucht. Unter

Berücksichtigung weiterer Parameter der Bahn-trajektorie wird ein Zusammenhang zwischen den Prozessparametern und der entstehenden Topografie modelliert. Um eine Strukturierung großflächiger 3-D-Bauteile zu ermöglichen, bedarf es einer angepassten Prozessführung, welche wiederum Auswirkungen auf die Topografie hat. Eine iterative Optimierung des Laserstrukturierungs-Prozesses, unter Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren, hat die Ermittlung eines Parameterraums zum Ziel, in welchem die Laserstrukturierung mit höherer Prozessstabilität abläuft. Anhand der Prozessuntersuchungen können Störgrößen auf den Laserprozess identifiziert und somit Kompensationsstrategien für die Auslegung einer Regelung abgeleitet werden. Der letzte Schritt der Prozessbetrachtung analysiert die Einfluss-faktoren auf den Fügeprozess, wie Temperatur oder Druck, um definierte mechanische Kennwerte für einen hochfesten Materialverbund sicherzustellen.

Inline-Qualitätssicherung mittels OCT-Sensorik

Die systemtechnische Grundlage für den Laserstrukturierungs-Prozess (siehe Abb. 2a)

bildet eine Hochgeschwindigkeits-Scanneroptik von Novanta zur Ablenkung des Laserstrahls auf dem Bauteil in Kombination mit einer 3-kW-Single-Mode-Laserstrahlquelle. Für eine Inline-Topografiemessung während der hochdynamischen Bearbeitung der Metalloberfläche mit bis zu 10 m/s bietet sich die optische Kohärenztomografie (OCT) als robustes und flexibel einsetzbares Sensorprinzip an (siehe Abb. 2b). Eine Integration des OCT-Sensors in eine Bearbeitungsoptik stellt hierbei eine der technischen Herausforderungen dar, welche es im Hinblick auf eine geeignete Positionierung des OCT-Messtrahls gegenüber dem Bearbeitungs- Laserstrahl zu lösen gilt. Aufbauend auf der zuvor entwickelten Prozessführung und der neu ausgelegten Scanneroptik kann eine speziell an die Bearbeitung angepasste Messstrategie abgeleitet und somit eine Inline-Qualitätssicherung realisiert werden.

KI-basierte Auswertung der Sensorsignale und Automatisierung der Datenanalyse

Für die angestrebte Messfrequenz von bis zu 70 kHz und die in diesem Zusammenhang entstehende Menge an Sensordaten (siehe Abb. 2c) gilt es, eine automatisierte Datenverarbeitung zu entwickeln. Für die Signalverarbeitung werden zunächst geeignete Filtermethoden zur Rauschreduzierung und Signalanalyse-Methoden zur Dimensionsreduktion benötigt, wobei Wavelet-Transformationen eine geeignete Möglichkeit darstellen (siehe Abb. 2d). Eine Reduzierung der Datenmenge ohne signifikanten Informationsverlust ist als Rahmenbedingung für die Signalverarbeitung zu betrachten. Insbesondere Methoden des Maschinellen Lernens haben sich für den anschließenden Schritt der Signalinterpretation von OCT-Messsignalen bewährt (siehe Abb. 2e). Regressionsmethoden und Neuronale Netze sollen hinsichtlich einer Eignung zur Modellierung des Zusammenhangs zwischen OCT-Signal-Charakteristika und topografischen Merkmalen, wie der Fugentiefe oder -breite, untersucht werden (siehe Abb. 2f).

Prozessinstabilitäten können in Folge mit Hilfe geeigneter Modelle mit Anomalien im Signal korreliert werden. Entscheidend für eine schnelle Datenverarbeitung sind synchrone, niedrig-latente und leistungsfähige Datenschnittstellen zwischen den beteiligten Komponenten.



M. Sc. Tony Weiß

Abteilung
Lasertechnik

NEUE MITARBEITENDE

Sebastian Kröger	01.01.2021
Stephan Trattnig	15.02.2021
Tony Weiß	01.04.2021
Daniel Schneider	21.06.2021
Hannes Panzer	21.06.2021
Patrick Jordan	01.08.2021
Paul Geng	15.08.2021
Maximilian Lechner	01.10.2021
Felix Diller	01.11.2021
Johannes Bauer	08.11.2021
Felix Riegger	15.11.2021
Marc Wegmann	15.11.2021
Vincent Höfler	01.12.2021

AUSSCHIEDENDE MITARBEITENDE

Andreas Bachmann	28.02.2021
Aijinkya Metkar	30.06.2021
Cosima Stocker	06.07.2021
Grzegorz Dahle	31.08.2021
Thomas Semm	31.08.2021
Stefan Meyer	15.09.2021
Sophia Protting	24.09.2021
Maximilian Schmöller	30.09.2021
Florian Günter	31.10.2021
Regina Spitzer	01.12.2021
David Schreiner	31.12.2021

Lasermaterialbearbeitung als Wegbereiter für die Elektromobilität

Lasermaterialbearbeitung kann einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, Elektromobilität für sowohl Kunden als auch Hersteller technisch und wirtschaftlich attraktiv zu machen. Am iwb werden daher einige vielversprechende laserbasierte Fertigungstechnologien erforscht, die in folgendem Beitrag vorgestellt werden.

Elektroautos haben derzeit gegenüber konventionell angetriebenen Fahrzeugen noch immer entscheidende Wettbewerbsnachteile wie höhere Kosten, langsamere Ladezeiten und geringere Reichweiten. Aus diesem Grund sind diese Themen Gegenstand von aktuellen Forschungsprojekten und insbesondere auch das iwb befasst sich mit der Herstellung neuartiger Hochleistungs- und Hochenergie-Batterien sowie der Entwicklung von Leichtbaukonzepten. Die Lasermaterialbearbeitung kann wesentlich dazu beitragen, Produktionskosten zu senken und aufgrund ihrer hohen Flexibilität sowie Produktivität neue Designs und Fertigungsverfahren ermöglichen.

Laserstrahlschweißen für die Kontaktierung von Lithium-Ionen-Batterien

In Batteriespeichern auf Basis von Lithium-Ionen-Zellen sind bis zu einige Tausend elektrische Kontakte herzustellen. Laserstrahlschweißen zeichnet sich durch einen hohen Automatisierungsgrad, eine hohe Prozessgeschwindigkeit und einen präzisen lokalen Energieeintrag aus, weshalb es für das Kontaktieren von Batterien gut geeignet ist. Im Rahmen der Forschungsaktivitäten am iwb werden verschiedene Herausforderungen, welche sich bei der Verarbeitung von elektrisch und thermisch hoch leitfähigen Materialien ergeben, adressiert. Beispielsweise weist Kupfer eine hohe Reflektivität gegenüber Laserstrahlung im nahinfraroten Wellenlängen-Bereich auf. Durch

den Einsatz von Lasersystemen, welche Strahlung im sichtbaren Wellenlängen-Bereich emittieren, kann eine höhere Absorption und eine höhere Prozessstabilität erreicht werden. In Abbildung 1 ist ein Batteriepack-Demonstrator zu sehen, bei welchem die Kontakte mit grüner Laserstrahlung geschweißt wurden.

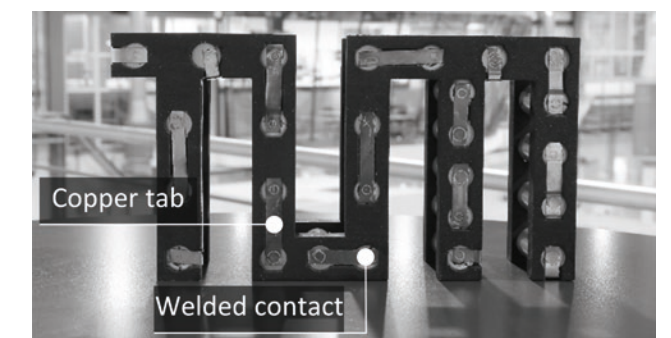


Abb. 1: Demonstrator eines mit grüner Laserstrahlung geschweißten Batteriepacks

Zellinterne Kontaktierung von Lithium-Ionen-Batterien

Im Fertigungsschritt der zellinternen Kontaktierung werden die metallischen Stromabnehmerfolien der Elektroden mit einer Ableiterfahne verschweißt und damit mechanisch und elektrisch verbunden (siehe Abb. 2). Das bisher eingesetzte Ultraschallschweißen kann durch Laserschweißen ersetzt werden, was zu höherer Schweißnahtgüte führt und neuartige Designs ermöglicht. Außerdem können beim Laserschweißen hohe Prozessgeschwindigkeiten

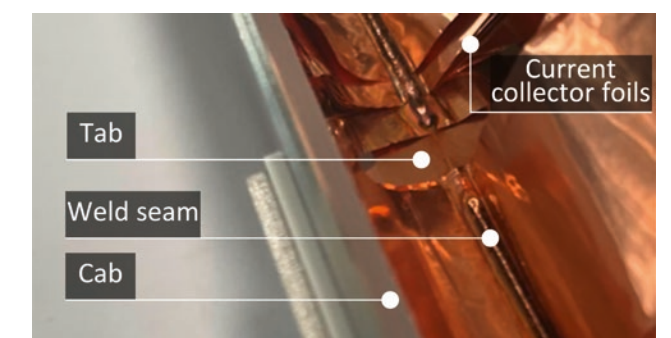


Abb. 2: Laserkontakterter Zellendeckel einer Lithium-Ionen-Batterie

erreicht werden, was vorteilhaft für eine industrielle Fertigung ist. Am *iwb* wird der Prozess mit Hilfe verschiedener Laserquellen und Schweißstrategien erforscht.

Laser-Strukturierung von Batterie-Elektroden

Das Erhöhen des Anteils an aktiven Materialien (z.B. Graphit) innerhalb der Batterie gegenüber passiven Komponenten (z.B. Gehäuse) steigert die Energiedichte von Lithium-Ionen-Batterien. Jedoch weisen Elektroden mit hoher Schichtstärke und hoher Verdichtung eine geringere Schnellladefähigkeit auf. Durch das Einbringen von mikroskopischen Bohrungen kann dieser Konflikt gelöst werden. Um gezielt Strukturen mit einer Präzision von einigen Mikrometern einbringen zu können, wird ultrakurzgepulste Laserstrahlung genutzt. In Abbildung 3 ist eine laserstrukturierte Anode zu sehen. Neben der Verbesserung der Lade- und Entladeleistung von Batterien mit strukturierten Elektroden konnte in Studien bereits eine Erhöhung der Lebensdauer gezeigt werden. Eine Skalierung auf industrielle Prozesse wird aktuell untersucht.

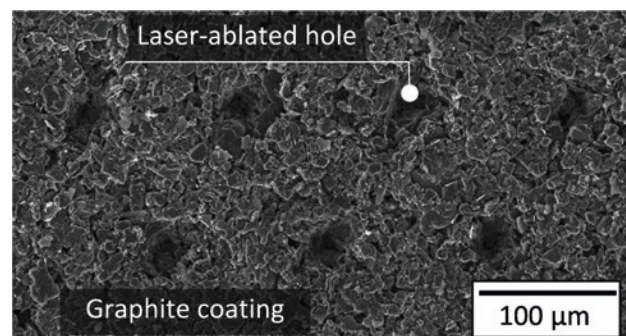


Abb. 3: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme einer laserstrukturierten Graphit-Anode

Laser-Mikroschneiden bei der Herstellung von All-Solid-State-Batterien

Festelektrolyt-Batterien werden aufgrund vorteilhafter Eigenschaften, wie beispielsweise der hohen Energiedichte, als Nachfolger der konventionellen Lithium-Ionen-Batterie angesehen. Die Festelektrolyte können aus polymeren,

keramischen oder glaskeramischen Materialien bestehen, die teilweise sehr spröde und brüchig sind. Darüber hinaus soll Lithium-Metall als Elektrodenmaterial eingesetzt werden, das hochreaktiv und klebrig ist. Obwohl die kommerzielle Verfügbarkeit von Festelektrolyt-Batterien innerhalb der nächsten Jahre erwartet wird, ist bisher noch nicht absehbar, welche Produktionsprozesse eingesetzt werden. Es ist davon auszugehen, dass das Konfektionieren der Materialien einen entscheidenden Prozessschritt im Rahmen der Herstellung darstellen wird. Aufgrund der hohen Qualitätsanforderungen an die Schnittkante wird das Laser-Mikroschneiden am *iwb* untersucht. In Abbildung 4 ist beispielhaft die Schnittkante eines keramischen Festelektrolyten zu sehen, welche mit einem Pikosekunden-Lasersystem erzeugt wurde.

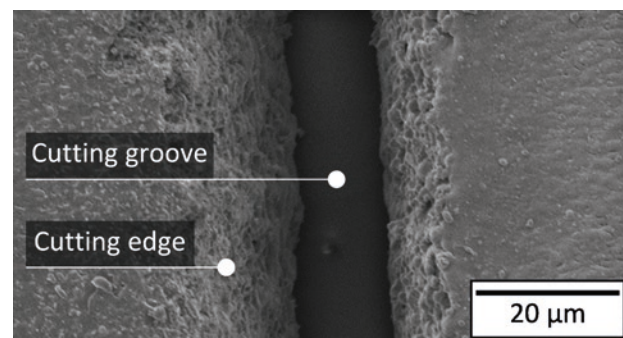


Abb. 4: Lasergeschnittene Kante eines keramischen Festelektrolyten, bearbeitet mit einem gepulsten Pikosekunden-Lasersystem

Laserstrahlschweißen für die Kontaktierung von Leistungselektronik-Komponenten

Leistungselektronik ist ein wichtiger Bestandteil von Elektrofahrzeugen. Das Laserstrahlschweißen kann aufgrund seiner hohen Flexibilität und Präzision neue Möglichkeiten für die Kontaktierung von Leistungselektronik-Komponenten eröffnen. Neuartige Laserquellen, die Strahlung im sichtbaren Wellenlängen-Bereich emittieren, ermöglichen das effiziente Verschweißen von Kupfer-Komponenten (vergleiche Abb. 5). Mit einer Leistungsmodulation können neuartige Prozessstrategien, wie das Verschweißen von Fügepartnern mit einem vordefinierten Spalt zur thermischen Entkopplung, umgesetzt werden.

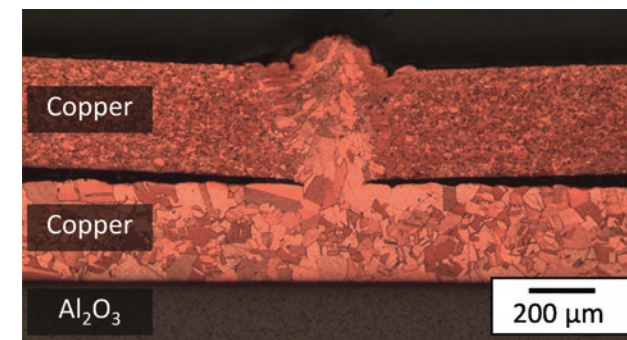


Abb. 5: Metallographischer Querschnitt einer mit Dauerstrich-Laserstrahlung hergestellten Verbindung

Laserbasierte Oberflächenvorbehandlung zum Fügen von Metallen und Kunststoffen

Mit Hilfe von Lasermaterialbearbeitung können Leichtbaukonstruktionen mit hohen Festigkeiten hergestellt werden. Dabei steht das Fügen von unterschiedlichen Werkstoffen sowie die flexible und ressourceneffiziente Fertigung in kleinen Losgrößen im Fokus der Forschung. Durch die Laser-Strukturierung der Oberflächen der Fügepartner kann die Verbindungsfestigkeit zwischen Metallen und verstärkten Polymeren signifikant erhöht werden. Am *iwb* werden hierzu das Einbringen von Mikrostrukturen mittels gepulster und kontinuierlicher Laserstrahlung untersucht. In Abbildung 6 ist eine

solche Verbindung zwischen einem Polymer und einem strukturierten Metall zu sehen.

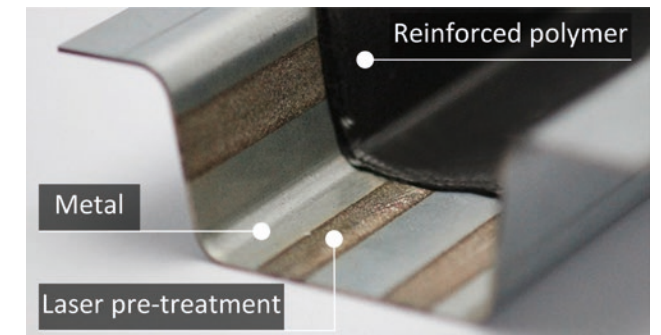


Abb. 6: Technologie-Demonstration von Metall-Kunststoff-Hybriden mit Laservorbehandlung

Dank

Für die Unterstützung zu diesem Beitrag gilt ein besonderer Dank den Kolleginnen und Kollegen aus den Abteilungen Lasertechnik und Batterieproduktion des *iwb*.



M. Sc. Christian Geiger
Abteilung
Lasertechnik

RETHINK: Von der Linearwirtschaft zur Circular Economy in der industriellen Produktion

Gemeinsam mit den Firmen Lorenz, Software Factory und ITQ forscht das *iwb* seit März 2021 an der Einführung der Circular Economy unter Nutzung bereits vorhandener Anlagen und Systeme.

Die „KMU-Innovationsoffensive Produktionsforschung“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) hat zum Ziel, das Innovationspotenzial kleiner und mittlerer Unternehmen in Deutschland zu fördern. In einer Laufzeit von zwei Jahren soll das gemeinsame Forschungsprojekt von Lorenz, Software

Factory, ITQ und *iwb* unter dem Titel „Remanufacturing für die industrielle Kreislaufwirtschaft in KMUs unter Verwendung bestehender Systeme“ (RETHINK) anwendungsnah neue Ergebnisse zum Thema Circular Economy liefern. Die Circular Economy ist ein Produktions- und Konsummodell, bei dem es darum geht, vorhandene Materialien und Produkte so lange wie möglich wiederzuverwenden, zu reparieren, aufzuarbeiten oder zu recyceln. Auf diese Weise wird der Lebenszyklus von Produkten verlängert und eine Abkehr vom traditionellen, linearen Wirtschaftsmodell, das auf dem



Abb. 1: Der im Projekt betrachtete Wasserzähler

Muster „herstellen-verbrauchen-wegwerfen“ beruht, ermöglicht.

Das Projekt RETHINK

Mit dem Projekt RETHINK wird die Einbindung von Kreislaufprozessen, insbesondere des Remanufacturings, in bereits bestehende Produktionssysteme ermöglicht. So können vorhandene Anlagen besser ausgenutzt und Stillstandzeiten vermieden werden. Weiterhin kann das Unternehmen nachhaltiger und ressourceneffizienter produzieren. Digitale Methoden unterstützen die Integration und helfen beim Betrieb.

Es wird ein standardisiertes Vorgehensmodell entwickelt, welches es Unternehmen erlaubt, ihre vorhandenen Systeme zu bewerten und für eine Doppelnutzung als Produktions- und

Remanufacturing-System zu befähigen. Um eine Integration der Produktionsplanungsprozesse für die Kreislaufvorgänge zu gewährleisten, wird die Anbindung an ein bereits vorhandenes ERP- und MES-System geschaffen. Mittels eines Digitalen Zwillings erfolgt die Planung und Steuerung der hybriden Produktions-/Remanufacturing-Systeme. Der digitale Zwilling bildet dabei alle Aspekte des Systems ab und sichert so eine effiziente Steuerung der Kreislaufprozesse. Die Ergebnisse sollen es vor allem kleinen und mittelständischen Unternehmen ermöglichen, Kreislaufwirtschaftsprozesse kostengünstig und unterstützt von digitalen Methoden umzusetzen.

Dank

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Hierfür sei herzlich gedankt.



M. Sc. Magdalena Paul

Abteilung
Nachhaltige Produktion

ProVSA – Nutzung von Process-Mining-Methoden zur Wertstromanalyse

Im Projekt ProVSA forscht das *iwb* zusammen mit der Celonis SE, Anbieterin und Entwicklerin des auf Process Mining basierenden Execution Management Systems (EMS), und der HAWE Hydraulik SE am Einsatz von Process-Mining-Methoden zur Digitalisierung der Wertstromanalyse. Das Ziel ist es, diese nicht nur effizienter, sondern auch effektiver zu gestalten.

Hintergrund

Zur Beherrschung der steigenden Komplexität in der Produktion gilt es, Transparenz zu schaffen. Die dafür etablierte manuelle Wertstromanalyse ist bei hoher Variantenvielfalt jedoch nicht wirtschaftlich anwendbar. Die Nutzung digital zur Verfügung stehender Daten aus der Produktion und die Anwendung von Process-Mining-Methoden bieten jedoch das Potenzial,

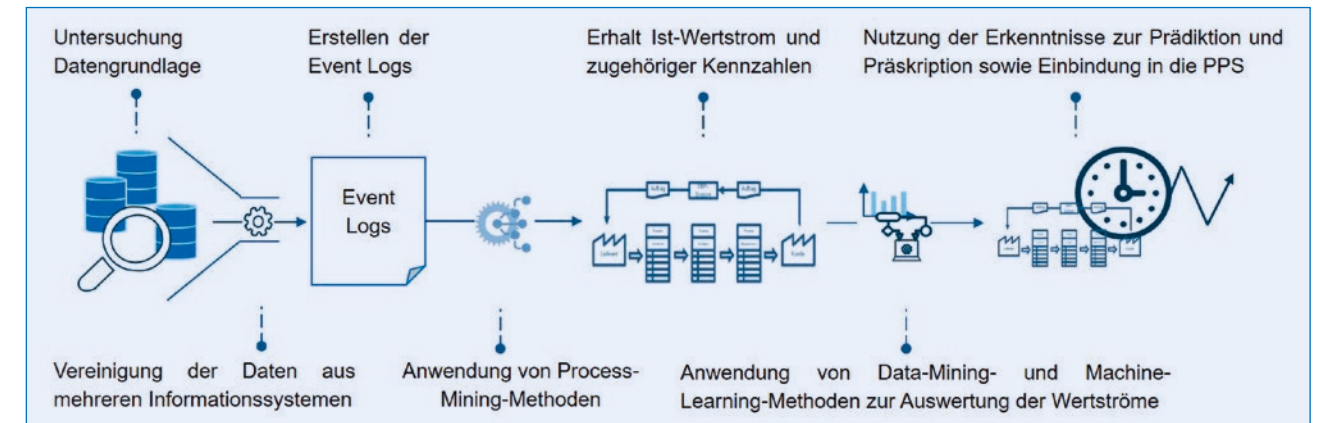


Abb. 1: Zu erarbeitendes Vorgehen aus Anwenderperspektive

die Wertstromanalyse auch in der variantenreichen Produktion effizient anzuwenden.

Zielsetzung

Im Projekt soll die konventionelle Wertstromanalyse nicht nur digitalisiert, sondern auch erweitert werden, um den Erkenntnisgewinn zu erhöhen. Neben der Anbindung der Daten zur automatisierten und regelmäßigen Ableitung der klassischen Wertstromdarstellung werden daher auch Ansätze der Prädiktion und des Clustering eingesetzt. Die Wertstromanalyse soll somit ihren Projektcharakter verlieren und auch im Tagesgeschäft direkt umsetzbare Ergebnisse liefern.

Im Rahmen des Projekts soll ein Vorgehen erarbeitet werden, das es Unternehmen ermöglicht, die digitalisierte Wertstromanalyse mittels Process Mining zu implementieren und Erkenntnisse aus einer solchen automatisierten und regelmäßigen Analyse in die Produktion zurückzuführen.

Vorgehen

Um eine anwendungsorientierte Lösung zu generieren, wird im Projekt die Methodik des Design Thinking angewandt. Zu den Hauptaufgaben im Forschungsprojekt gehören die Identifikation der benötigten Daten, die Festlegung des Prozessdatenmodells sowie die Entwicklung der auf dieser Grundlage anzuwendenden Analysen. Die Analysen, die im

Projekt entwickelt werden sollen, reichen dabei von einer Clustering-basierten Produktfamilienbildung über die Erfassung von Verzögerungen der Durchlaufzeiten in Echtzeit bis hin zu Empfehlungen zu Maschinenbelegungsplänen. Erste prototypische Umsetzungen wurden bereits in der Celonis-Softwareumgebung unter Anbindung von Daten von HAWE erarbeitet.

Danksagung

Unser Dank gilt dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, dem Projektträger VDI/VDE sowie unseren Projektpartnern für die hervorragende Zusammenarbeit.



M. Sc. Julia Horsthofer-Rauch

Abteilung
Nachhaltige Produktion

IWB-TERMINE

LASER World of PHOTONICS

26.–29. April 2022

ees Europe 2022

11.–13. Mai 2022

AM-Seminar

7. Juli 2022

ASSISTANT – Entscheidungsunterstützung für agile Produktionssysteme

Das von der Europäischen Union geförderte Projekt ASSISTANT hat zum Ziel, Planungs- und Optimierungslösungen für die Produktionsindustrie zu entwickeln. Durch die Kombination von Maschinellern, Optimierungsverfahren, Simulationen und Wissensmodellen entstehen Digitale Zwillinge, die das Management von cyber-physischen Produktionssystemen unterstützen.

ASSISTANT ist ein internationales Forschungs- und Entwicklungsprojekt mit 12 Partnern aus 7 europäischen Ländern und einem multidisziplinären Konsortium, das Schlüsselkompetenzen in den Bereichen der künstlichen Intelligenz, der Fertigung und Montage, des Edge Computing sowie der Robotik vereint.

Beitrag des iw b

Das iw b beteiligt sich im Projekt an der Erstellung eines datenorientierten Digitalen Zwillings zur Planung von Produktionsprozessen. Anhand digitaler Repräsentationen von Produkten und Produktionssystemen ermittelt der Digitale Zwilling automatisiert die zur Produktion notwendigen Prozesse und ordnet diesen geeignete Ressourcen des Produktionssystems zu. Die Zuordnung geschieht durch den Abgleich von Produkt- und Prozessanforderungen mit den Fähigkeiten einzelner Ressourcen des Produktionssystems und wird in einem Ablaufplan festgehalten. Zusätzlich werden Parameter wie Produkt- und Prozessqualität bei der Auswahl möglicher Ablaufpläne vorhergesagt und die Pläne entsprechend optimiert. Der Digitale Zwilling in der Prozessplanung beinhaltet dabei eine webbasierte Nutzungsschnittstelle, um die Funktionalitäten des Digitalen Zwillings phasenübergreifend während der Konstruktion, der Prozess- und Produktionsplanung und der Montage ausführen zu können. Der Funktionsumfang des

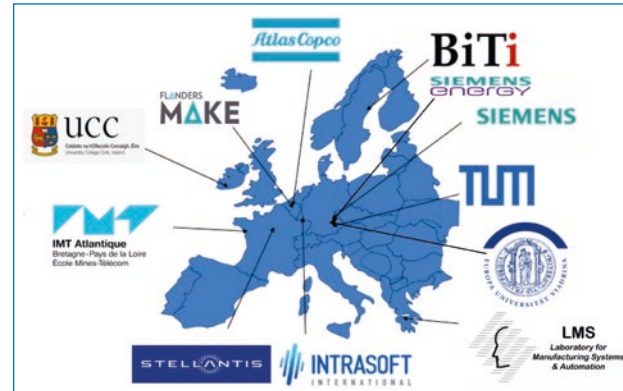


Abb. 1: Die ASSISTANT-Projektpartner

Digitalen Zwillings wird durch die ethische Integration der folgenden KI-Funktionalitäten und -Module erreicht: Predictive-Analytics-Module ermitteln Parameter wie Prozess- und Produktqualität und berücksichtigen die Auswirkungen von Produkt- oder Produktionssystemänderungen. Eine generative und automatisierte Prozessplanungsfunktionalität gestaltet robuste Prozesspläne, indem sie gestellte Anforderungen mit den identifizierten Fähigkeiten vergleicht.

Ausblick und Vision

Langfristig sollen die erarbeiteten Werkzeuge des Projekts dabei unterstützen, Montagesysteme zu entwerfen, deren Prozesse zu planen, Linien zu betreiben und Prozessabstimmungen zu verbessern. Darüber hinaus überwacht das erarbeitete System Produktionslinien in Echtzeit, stellt sicher, dass erforderliche Ressourcen verfügbar sind, und ermöglicht bei Bedarf schnelle Neuplanungen. So sollen kosteneffiziente Entscheidungen getroffen und gleichzeitig die Produktqualität, die Sicherheit und das Wohlbefinden der Arbeitskräfte verbessert werden. Die resultierenden intelligenten Digitalen Zwillingssysteme sind datengesteuert, agil, autonom, kollaborativ, erklärbar, sicher und reaktiv.

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 und unseren Projektpartnern für die gute Zusammenarbeit. Nähere Informationen finden Sie unter assistant-project.eu.



M. Sc. Sarah Wagner
Abteilung
Produktionsmanagement & Logistik



M. Sc. Daniel Schneider
Abteilung
Nachhaltige Produktion



M. Sc. Clemens Gonnermann
Abteilung
Montagetechnik & Robotik

ABGESCHLOSSENE FORSCHUNGSPROJEKTE

RDS²-Production: modeling and decision-making platform for Reconfigurable, Digitalized, Servitized, and Sustainable Production Systems

(Abteilung Montagetechnik & Robotik)

SPP 2086 – Modellbasierte Bestimmung der Randzoneneigenschaften bei der Fräsbearbeitung von Ti-6Al-4V

(Abteilung Werkzeugmaschinen)

FSWBatt – Rührreibschweißen von Trägerfolien und Ableitern für prismatische Batteriezellen

(Abteilung Werkzeugmaschinen)

Wärmequellenmodellierung beim Reibpressfügen

(Abteilung Werkzeugmaschinen)

SFB 768 – T07 „Leitfaden für das Änderungsmanagement in der Produktion“

(Abteilung Produktionsmanagement & Logistik)

PreCoM – Predictive Cognitive Maintenance Decision Support System

(Abteilung Produktionsmanagement & Logistik)

ReViSEDBatt – Resonanzen, Vibrationen, Erschütterungen, Externe mechanische Kräfte und Aufklärungsmethoden für Lithium-Ionen-Batterien

(Abteilung Lasertechnik)

RoKtoLas – Robotergeführte, scannerbasierte optische Kohärenztomographie für das Remote-Laserstrahlschweißen zur Flexibilisierung von Prozessketten im Karosseriebau

(Abteilung Lasertechnik)

ReakPat – Reaktive metallische Mikropartikel für das thermische Fügen

(Abteilung Lasertechnik)

DREAMS – Integration der Demontage für das Remanufacturing in bestehende Montagesysteme

(Abteilung Nachhaltige Produktion)

KI meets Digital Twin – Predictive Maintenance trotz geringer Anzahl an Ausfallbeobachtungen

Ausfälle von Vorschubantrieben sind zwar selten, verursachen in der Produktion aber hohe Kosten. Daher erforscht das *iwb* im Projekt „KIDZ“, wie Predictive Maintenance durch eine Kombination von KI-Algorithmen und klassischen Werkzeugmaschinenmodellen auch bei nur wenigen verfügbaren Ausfallbeobachtungen umgesetzt werden kann.

Vorschubantriebe haben einen großen Einfluss auf die Produktivität von Werkzeugmaschinen, da deren Ausfälle in der Reparatur besonders zeitaufwändig und kostenintensiv sind und sie zudem die Maschinendynamik und damit das erreichbare Zeitspannvolumen maßgeblich beeinflussen. Der Umstieg auf eine vorausschauende Instandhaltungsstrategie bietet daher großes wirtschaftliches Potential. Bis jetzt wurde die Funktionsfähigkeit von Predictive Maintenance an Vorschubantrieben allerdings nur im Rahmen von Laboranwendungen an Prüfständen, mit externer Zusatzsensorik und unter Zuhilfenahme vieler Fehlerbeobachtungen nachgewiesen. Ein ganzheitliches System, das in der Lage ist, nur mithilfe von bereits existierenden Sensoren den Zustand von Vorschubantriebskomponenten produzierender Werkzeugmaschinen zu überwachen und zu prognostizieren, existiert bisher noch nicht.

Training mithilfe von simulierten statt echten Ausfallbeobachtungen

In diesem Projekt soll ein sogenanntes hybrides System für Predictive Maintenance erforscht werden. Dieses kombiniert einen Digitalen Zwilling, in diesem Fall ein klassisches Simulationsmodell der Maschinendynamik, mit modernen KI-Methoden und vereint so die Vorteile aus beiden Welten: Im Gegensatz zu rein datengetriebenen Ansätzen kommt das hybride System mit wesentlich weniger Trainingsdaten in Form

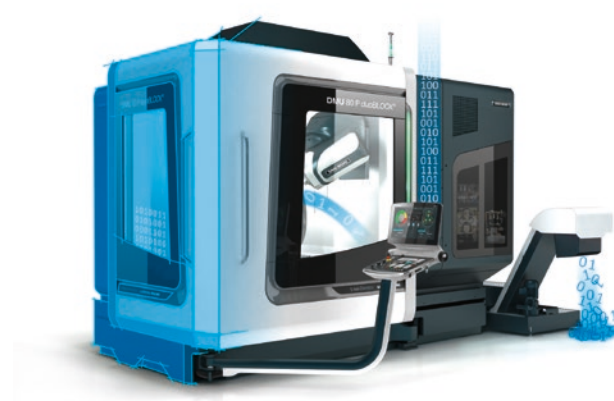


Abb. 1: Digitaler Zwilling der Maschine als wesentlicher Bestandteil des erforschten Predictive-Maintenance-Systems

von Ausfallbeobachtungen aus, welche im Fall von Werkzeugmaschinen schwierig zu beschaffen sind.

Ein Digitaler Zwilling ermöglicht die Lokalisation von Verschleiß

Gleichzeitig ermöglicht dieser Ansatz eine gewisse Interpretierbarkeit seiner Vorhersagen, da über den Digitalen Zwilling Verschleiß nicht nur global erkannt, sondern auch bestimmten Vorschubantriebskomponenten zugeordnet werden kann. Zur Einsparung von Systemkosten und zur Erhöhung der Akzeptanz des zu entwickelnden Systems bei den Nutzern der Werkzeugmaschine soll, soweit möglich, auf externe Zusatzsensorik verzichtet und nur mit internen Signalen gearbeitet werden. In diesem Projekt arbeitet das *iwb* mit der Grenzebach Maschinenbau GmbH zusammen, mit deren Maschine am Ende des Projekts im Rahmen eines Langzeitversuchs die Funktionsfähigkeit des erforschten Systems demonstriert werden soll.

Dank

Das vorgestellte Projekt wird mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi)

gefördert. Wir danken dem StMWi für die Förderung und dem VDI|VDE|IT für die Betreuung sowie für die gute und vertrauensvolle Zusammenarbeit.



M. Sc. Johannes Ellinger
Abteilung
Werkzeugmaschinen

Neue Potentiale für die zellinterne Kontaktierung durch das Mikro-Rührreibschweißen – Projektabschluss von FSWBatt

Die hohen Qualitätsanforderungen an die zellinterne Kontaktstelle von Lithium-Ionen-Akkumulatoren stellen eine Herausforderung in der industriellen Batterieproduktion dar. Dass diese mit dem neuen Verfahren μ -FSW bewältigt werden kann, wurde im erfolgreich abgeschlossenen Projekt FSW-Batt gezeigt.

Bei der zellinternen Kontaktierung werden die unbeschichteten Metallträgerfolien der Anode sowie der Kathode mit Ableitern verbunden. Durch diese Kontaktstellen wird später der Strom in der Batteriezelle geleitet. Es werden daher höchste Qualitätsansprüche an die Fügestelle gestellt, welche durch industriell etablierte Schweißverfahren nicht reproduzierbar erfüllt werden können. Dadurch entsteht ein hoher Ausschuss in der Produktion. Am *iwb* wurde deshalb ein neues Fügeverfahren, das Mikro-Rührreibschweißen (μ -FSW), für die zellinterne Kontaktierung untersucht und qualifiziert.

Ein neues Fügeverfahren für feine Anwendungen

Beim Rührreibschweißen wird die erforderliche Fügeenergie durch die Reibung eines Werkzeugs in der Schweißzone erzeugt. Die Herausforderungen beim Schweißen der feinen Batteriefolien liegen deshalb in der Abstützung der hohen Kräfte und Momente, die beim Schweißen entstehen, sowie in der Erzeugung der erforderlichen Fügewärme durch die kleine

Reibungsfläche. Es wurden deshalb innovative Ansätze in der Mikro-Werkzeugstrukturierung mit neuartigen Spannkonzepthen kombiniert und untersucht, um einerseits eine gute mechanische sowie elektrische Verbindung und andererseits einen Schutz der restlichen Zelle vor der mechanischen Belastung zu gewährleisten.

Das μ -FSW im Vergleich zu industriell etablierten Verfahren

Als besonders vielversprechende Stoßkonfiguration konnte der Mehrfach-Stumpfstoß identifiziert werden (siehe Abb. 1). Mit diesem können auch große Folienpakete, bestehend aus 80 Folien, gleichzeitig kontaktiert werden, was hohe Zellkapazitäten ermöglicht. In dieser Hinsicht ist das μ -FSW etablierten Verfahren wie dem Laserstrahl- und dem Ultraschallschweißen bereits jetzt überlegen. Die Schweißzeiten konnten durch Punktschweißungen auf 0,25 s reduziert werden. Das μ -FSW eignet sich

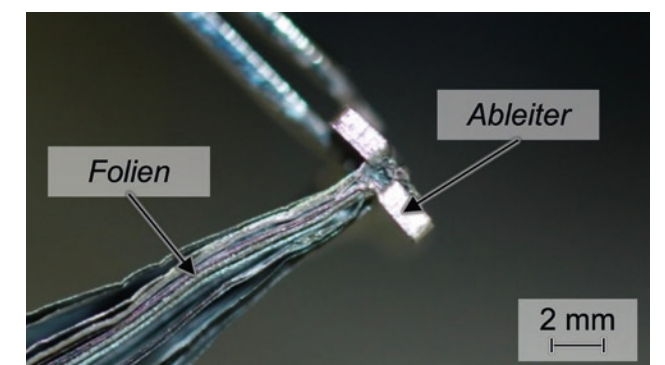


Abb. 1: Mit dem μ -FSW kontaktierter Kathodenableiter, bestehend aus 80 Folien

damit auch für die industrielle Massenfertigung. Dabei weisen die Punktschweißungen hohe elektrische Leitfähigkeiten auf, was reduzierte zellinterne Betriebstemperaturen, eine erhöhte Leistung und eine verringerte Gefahr für Zellbrände zur Folge hat. Die hohe Reproduzierbarkeit der exzellenten Verbindungsqualitäten konnte im Projekt bestätigt werden.

Ausblick

Durch die Qualifizierung des μ -FSWs für die zellinterne Kontaktierung wurden die Grundsteine für die Industrialisierung gelegt. Ein Folgeprojekt, welches an die bisherigen Ergebnisse anknüpft, ist aktuell in Planung und soll im Jahr 2022 starten.

Dank

Das IGF-Vorhaben 00.048 EWN (FSWBatt) 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. Hierfür sei herzlich gedankt.



M. Sc. Martina Sigl
Abteilung
Werkzeugmaschinen

Der nächste Schritt zur virtuellen Werkzeugmaschine: Simulation der Dämpfungseffekte verursacht durch die Struktur-Prozess-Interaktion

Die Interaktion zwischen Maschine und Prozess kann zu ungewollten Schwingungen und sogar zu Instabilitäten wie Rattern führen. Um diese Erscheinungen bereits in der Entwicklungsphase zu identifizieren und zu minimieren, ist es erforderlich, die Interaktion zwischen Maschine und Prozess simulativ mit hoher Genauigkeit zu prognostizieren.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, das Gesamtsystem, bestehend aus der Struktur der Werkzeugmaschine und dem Prozess, in der Simulation mit hoher Genauigkeit abzubilden und so den nächsten Schritt zur virtuellen Werkzeugmaschine zu gehen. Dazu ist es erforderlich, neben der Dämpfung aus der Struktur die Einflüsse aus dem Prozess zu untersuchen und mit in der Simulation zu berücksichtigen. Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten

zur Optimierung der Werkzeugmaschine, zur Erweiterung der Stabilitätsgrenzen, zur gezielten Auslegung des Bearbeitungsprozesses und folglich zur Erhöhung des Zeitspanvolumens.

Vorgehen

In einem ersten Schritt wird untersucht, mit welchen Messmethoden Frequenzgänge während des Bearbeitungsprozesses aufgezeichnet werden können. Hierzu wurde der bestehende Versuchsträger, welcher bereits von der DFG-Forschungsgruppe FOR 1087 untersucht wurde, um eine Frässpindel erweitert (siehe Abb. 1). Die Methoden werden anschließend hinsichtlich ihrer Eignung zur Identifikation der Einflüsse des Prozesses auf die Dämpfung bewertet. Aufbauend auf diesen Verfahren werden die einzelnen prozessinduzierten Dämpfungseffekte messtechnisch erfasst und analysiert.

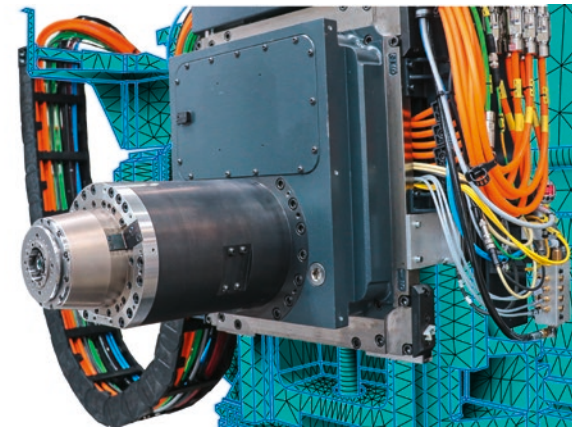


Abb. 1: Erweiterung des bestehenden Maschinenmodells um eine Frässpindel

Unter anderem wird hierbei auch auf die Verteilung der Dämpfung innerhalb des Systems eingegangen. Dies ermöglicht eine Beurteilung der Relevanz der einzelnen Effekte, wie beispielsweise der eigentlichen Prozessdämpfung, der Dämpfung aus der Rotation der Spindel oder den Änderungen der Dämpfungsquellen in der Struktur durch den Kontakt zwischen

Werkzeug und Werkstück. Für Effekte mit hohem Einfluss werden detaillierte lokale Dämpfungsmodelle identifiziert und parametrisiert. Mit diesen Modellen kann abschließend ein hochgenaues Gesamtmodell der Werkzeugmaschine erstellt werden, welches die gesamtheitliche Optimierung der Struktur-Prozess-Interaktion ermöglicht.

Dank

Unser Dank gilt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Projektes (ZA 288/77-1).



M. Sc. Andreas Fischer
Abteilung
Werkzeugmaschinen

Nachhaltige Produktion – Modellbasierte Bestimmung der Randschichteigenschaften bei der Fräsbearbeitung von Ti 6Al 4V

Die Steigerung der Nachhaltigkeit von Komponenten spielt in der modernen Produktion eine bedeutende Rolle. Hierbei kann beispielsweise durch eine gezielte Einstellung des Eigenspannungszustands in der Bauteilrandschichtzone die Lebensdauer des Bauteils durch die Fräsbearbeitung erhöht werden.

In der Luft- und Raumfahrttechnik wird die Titanlegierung Ti 6Al 4V aufgrund der hohen Festigkeit und der niedrigen Dichte für die Fertigung von Strukturbauteilen eingesetzt. Diesen Bauteilen werden hohe Qualitätsanforderungen bezüglich der Dauerfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit abverlangt. Um diese steigenden Anforderungen zu erfüllen, forschen

Expertinnen und Experten auf dem Gebiet der Werkstofftechnik an neuen, widerstandsfähigeren Titanlegierungen. Zudem bietet eine optimierte spanende Bearbeitung die Möglichkeit, die Bauteilqualität weiter zu steigern.

Erhöhung der Lebensdauer

Ein maßgeblicher Einflussfaktor, welcher die Festigkeit und die Lebensdauer eines Bauteils nach der spanenden Bearbeitung bestimmt, ist der Eigenspannungszustand der bearbeiteten Oberfläche. Dieser verändert sich bei der spanenden Bearbeitung durch die mechanische und thermische Belastung des Werkstücks. Dabei führen Druckeigenspannungen zur Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit, indem sie das Risswachstum verlangsamen. Daher ist

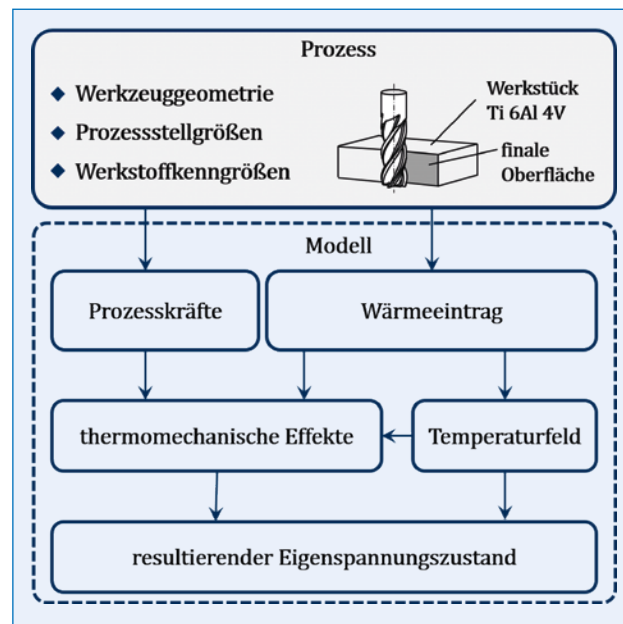


Abb. 1: Modell zur Bestimmung der Eigenspannungen

es wichtig, die Zugeigenspannungen, welche einen gegenteiligen Effekt aufweisen, beim Fräsen so weit wie möglich zu reduzieren. Aus diesem Grund ist die Bestimmung der entstehenden Eigenspannungen in der Randschichtzone von großer Bedeutung.

Projektziel

Vorrangiges Ziel des Forschungsprojekts „SPP 2086 – Oberflächenkonditionierung“ ist die modellbasierte Bestimmung der oberflächennahen Eigenspannungen während des Fräsprozesses von Ti 6Al 4V zur gleichzeitigen Einstellung von definierten Geometrien und Eigenspannungszuständen.

Prozessuntersuchungen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden Zerspanversuche mit variierenden Prozessstellgrößen und unterschiedlichen Verschleißzuständen des Werkzeugs auf einem Fräsbearbeitungszentrum durchgeführt. Der Fokus lag dabei auf dem Umfangsfräsprozess. Die bearbeiteten Proben wurden anschließend hinsichtlich ihrer Randschichtzustände und der Gefügeausbildung untersucht. Dadurch konnte der Einfluss der einzelnen Prozessstellgrößen auf den Eigenspannungszustand und das

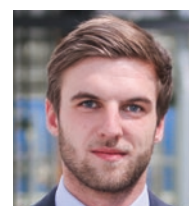
Mikrogefüge identifiziert und quantifiziert werden. Dabei wurden zudem Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Prozessstellgrößen berücksichtigt.

Modellierung des Eigenspannungszustands

Um den Eigenspannungszustand der Bauteiloberfläche zu ermitteln und zu steuern, wurden die auftretenden Prozesskräfte und der Wärmeeintrag in die Prozesszone modelliert (siehe Abb. 1). Diese Größen können anschließend zur Modellierung des Eigenspannungszustands verwendet werden. Hierbei wurde ein echtzeitfähiges Modell aufgebaut, das den komplexen Zusammenhang zwischen den Prozessstellgrößen, den Prozessgrößen und dem resultierenden Eigenspannungszustand beschreibt.

Dank

Das Projekt wird von der DFG im Rahmen des Forschungsschwerpunktprogramms SPP 2086 gefördert und wird in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Werkstoffmechanik der Technischen Universität München bearbeitet. Der Autor dankt der DFG für die Förderung und die intensive technische Unterstützung.



M. Eng. Matthias Wimmer

Abteilung
Werkzeugmaschinen

Laborlinie zur Zellausstellung von Festkörperbatterien

Nachdem das *iwb* sich bereits seit mehr als 10 Jahren mit der Produktion von Lithium-Ionen-Batterien befasst, werden nun die Weichen für die Erforschung neuer Batterietechnologien gestellt. Ergänzend zur Pilotlinie für Lithium-Ionen-Batterien wurde eine Laborlinie für die Zellausstellung von Festkörperbatterien konstruiert und im Versuchsfeld des *iwb* aufgebaut. Durch die neue Anlagentechnik können zukünftig Produktionsprozesse ausgelegt und Prototypen-Festkörperbatterien hergestellt werden.

Neben dem aktuell im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor höheren Anschaffungspreis stellt die beschränkte Reichweite eines der größten Kaufhemmnisse für Elektroautos dar. Die erreichbare Fahrstrecke wird dabei maßgeblich durch den Energieinhalt des Batteriespeichers bestimmt, welcher aus vielen einzelnen Lithium-Ionen-Batterien (LIB) besteht. Die spezifische Energie sowie die Energiedichte dieser Batterien stellen demnach einen entscheidenden Erfolgsfaktor für die Elektromobilität dar. Konventionelle LIB nähern sich aufgrund der verwendbaren Materialien zu Energiespeicherung immer mehr ihrem physiochemischen Energiedichtelimit, weshalb an der Entwicklung alternativer Batterietechnologien gearbeitet wird. Einen zentralen Forschungsgegenstand stellt dabei der Einsatz von metallischem Lithium als Anodenmaterial dar. Aktuell standardmäßig verwendete Graphit-Anoden beruhen auf dem Prinzip der Interkalation, bei dem die Lithium-Ionen in ein Wirtsgitter eingelagert werden. Im Gegensatz dazu scheidet sich bei Lithium-Metall-Anoden das Lithium in metallischer Form auf der Anodenseite ab, wodurch kein Wirtsgitter notwendig ist. So kann bei gleichbleibendem Volumen deutlich mehr Energie gespeichert werden. Während

des Abscheidenvorgangs von Lithium bilden sich allerdings nadelartige Ablagerungen, sogenannte Lithium-Dendriten. Diese können in konventionellen LIB den Separator durchstechen und so zu einem zellinternen elektrischen Kurzschluss und damit einem sicherheitskritischen Batteriedefekt führen. Durch den Einsatz eines festen anstatt eines flüssigen Elektrolyten in Festkörperbatterien (FKB) kann das Dendritenwachstum potentiell unterbunden werden. Der Festelektrolyt findet sich dabei sowohl innerhalb der sogenannten Kompositkathode mit dem Zweck der ionischen Leitfähigkeit als auch zwischen den beiden Elektroden als elektrisch isolierender und ionisch leitfähiger Festelektrolyt-Separator (siehe Abb. 1). Der Festelektrolyt kann dabei eine Keramik, eine Glaskeramik, ein Polymer oder eine Kombination aus diesen Werkstoffklassen sein.

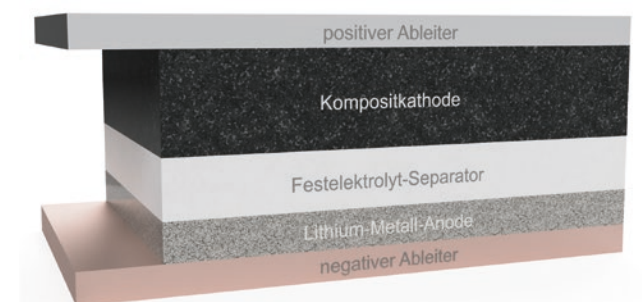


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer Elementarzelle einer Festkörperbatterie mit Lithium-Metall-Anode. Eine Batteriezelle besteht aus vielen parallel oder seriell verschalteten Elementarzellen.

Festkörperbatterieforschung am *iwb*

Bereits seit 2016 wird am *iwb* an der Produktion von Festkörperbatterien geforscht. Dazu wurden zunächst im Rahmen des mittlerweile abgeschlossenen Forschungsprojekts FELIZIA Herstellungsrouten und -prozesse für Festkörperbatterien identifiziert und analysiert. Das laufende Projekt ProFeLi baut auf den Ergebnissen von FELIZIA auf, wobei insbesondere Produktionsprozesse für keramik- und

polymerbasierte Festkörperbatterien adressiert werden. Des Weiteren untersucht die im Jahr 2019 gegründete TUMint Energy Research GmbH in einer disziplinübergreifenden Kooperation mit dem *iwb* und weiteren Lehrstühlen der Technischen Universität München die Produktion von FKB mit einem Fokus auf der Komponentenherstellung. Um der Forschung an FKB am *iwb* ein neues Zuhause zu geben, wurde mit dem Battery Innovation Lab (BIL) eine Laborumgebung im Rahmen des Projektes ProFeLi aufgebaut. Neben der elektrochemischen und mechanischen Analyse von Zellkomponenten werden im BIL produktions-technische Herausforderungen in der Fertigung von FKB adressiert, wofür eine Laborlinie zur Zellassemblierung aufgebaut wurde.

Laborlinie zur Forschung an der Produktion von Festkörperbatterien

Die Herstellung von FKB stellt im Vergleich zu konventionellen LIB veränderte Anforderungen an die Prozessumgebung. Sowohl Lithium als auch eine Vielzahl an Festelektrolyten reagieren bereits mit geringen Mengen an Feuchtigkeit in der Luft. Für die Produktion von FKB wird daher die Einhausung der Produktionsanlagen in Mini-Environments untersucht, in denen dauerhaft eine geregelte Inertgasatmosphäre aufrechterhalten wird. Der Betrieb der Anlagentechnik zur Zellassemblierung in solchen, häufig mit Argon gefüllten, Schutzgas-Systemen bringt verschiedene ingenieurstechnische Herausforderungen mit sich. Im Vergleich zu normaler Luft besteht eine erhöhte Gefahr von elektrischen Überschlüssen in Argon. Außerdem steigen die Betriebskosten mit dem eingehausten Anlagenvolumen an, weshalb ein platzsparender Aufbau sowie die Auslagerung von Systemkomponenten entscheidend ist. Es müssten Konzepte zur Wartung der Systemkomponenten, möglichst ohne Beeinflussung der Prozessatmosphäre, etabliert werden. Die Versorgung mit Strom und Medien von außerhalb erfolgt mittels geeigneter Durchführungen und Spezialstecker. Durch die Anlagentechnik

entstehende Wärme muss abgeführt werden, um ein Aufheizen der Mini-Environments zu vermeiden. Im Rahmen des Projektes ProFeLi wurde basierend auf den Anforderungen mit dem Projektpartner GS Glovebox Systemtechnik ein Schutzgas-System aufgebaut, welches unter anderem einen Kalandr, eine Sputterdepositionsanlage, eine Laserzelle und einen Handhabungsroboter beinhaltet (siehe Abb. 2).

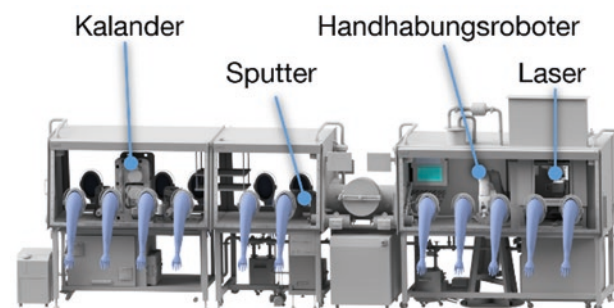


Abb. 2: CAD-Modell der Laborlinie zur Zellassemblierung von Festkörperbatterien in Mini-Environments

Der Kalandr dient zur Verringerung der Porosität von Festelektrolyten sowie zur Verdünnung von Lithium-Metall-Anoden, deren gewinnbringender Einsatz in FKB Schichtdicken von unter 20 µm erfordert. Zusätzlich kann das Laminieren einzelner Komponenten untersucht werden, um gezielt Grenzflächenwiderstände zu reduzieren. Durch einen eingebauten Sputter wird die Aufbringung von dünnen Schutzschichten mit Dicken im Nanometerbereich durch physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) und Metallverdampfung ermöglicht, welche innerhalb von FKB ungewünschte Grenzflächenreaktionen verhindern können. Ein flexibles Lasersystem dient zur Vereinzelung der verschiedenen Zellkomponenten. Eine Laserstrahlquelle, welche Laserpulse mit Pulslängen im Pikosekundenbereich emittiert, ermöglicht dabei das Bearbeiten verschiedenster Werkstoffe, von Keramiken und Metallen bis hin zu Polymeren und Kompositen. Zur Zellbildung mittels Einzelblattstapeln wurde ein 6-Achs-Roboter integriert. Dieser erlaubt durch ein variables Greifsystem die Untersuchung verschiedener Prozessrouten für die

Herstellung von FKB-Zellstapeln. Die Kopplung der Lasersystemtechnik mit dem Roboter ermöglicht das automatisierte Handhaben der empfindlichen Komponenten zur Positionierung in der Laserzelle, zur Entnahme nach erfolgreicher Vereinzelung sowie zur Einbringung in ein Zellgehäuse.



Abb. 3: Aufgebaute Laborlinie zur Zellassemblierung von Festkörperbatterien im Battery Innovation Lab (BIL)

Dank

Der Dank des *iwb* gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Forschungsprojektes ProFeLi und der Firma GS Glovebox Systemtechnik für die Unterstützung bei dem Aufbau des Schutzgas-Systems.



M. Sc. Johannes Kriegler

Abteilung
Lasertechnik



B. Sc. Lovis Wach

Trainee
Abteilung
Batterieproduktion

Kapazitätssteigerung und verbesserte Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien durch Prälithiierung

Im Rahmen des Forschungsprojekts „SPIDER – Safe and Prelithiated high energy DENSITY batteries based on sulphur Rocksalt and silicon chemistries“ beschäftigt sich das *iwb* mit dem Prozess der Prälithiierung zur Steigerung der Kapazität und der Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien.

Lithium-Ionen-Batterien leiden unter hohen, initialen Kapazitätsverlusten während der ersten Lade- und Entladezyklen im Zuge der Formierung aber auch unter fortwährenden Kapazitätsverlusten während des Zellbetriebs. Diese Verluste sind zum größten Teil auf irreversibel „verbrauchtes“ Lithium zurückzuführen. Durch die Prälithiierung – oder auch Vorlithiierung – wird bei der Herstellung zusätzliches,

überschüssiges Lithium in die Batteriezelle eingebracht, welches diese Verluste kompensiert.

Steigerung von Kapazität und Lebensdauer durch Prälithiierung

Im Zuge der Arbeiten innerhalb des Forschungsprojekts SPIDER konnte gezeigt werden, dass zusätzliches Lithium, welches in Form einer dünnen Lithium-Metallfolie (< 50 µm) auf die Anode aufgebracht wird, die Leistungsfähigkeit von Lithium-Ionen-Batterien verschiedener Zellchemien deutlich steigern kann.

Anhand von Untersuchungen mit Silizium-Graphit-Anoden und verschiedenen Prälithiierungsmengen konnte durch die Kompensation der initialen Verluste die anfängliche,

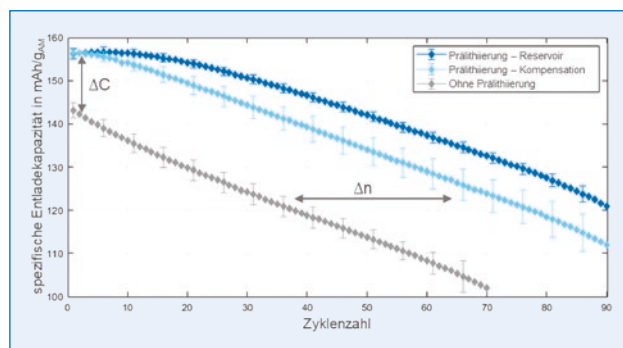


Abb. 1: Gesteigerte Kapazität und Lebensdauer durch Prälithierung

spezifische Entladekapazität, um bis zu 10 % gesteigert werden. Zusätzlich konnte durch das Einbringen eines Lithiumreservoirs die Lebensdauer von Pouchzellen (NMC622/SiC) um bis zu 70 % erhöht werden.

Innovatives Anlagenkonzept für die Direktkontakt-Prälithierung

Die Prälithierung kann mittels verschiedener Ansätze – chemisch, elektrochemisch, additiv-basiert oder durch direkten Kontakt zwischen metallischem Lithium und der Anode – durchgeführt werden. Auf letzterem liegt der Forschungsfokus des *iwb*.

Um die Vorteile der Direktkontakt-Prälithierung auch für großformatige Pouchzellen nutzen zu können, müssen die erfolgsversprechenden Ergebnisse auf Labormaßstab hochskaliert werden. Das *iwb* beschäftigt sich deshalb mit der Befähigung eines Prozesses für die Direktkontakt-Prälithierung für die Produktion von großformatigen Pouchzellen. Hierfür wurde im Rahmen des Projekts SPIDER ein innovatives Anlagenkonzept entwickelt, welches die Aufbringung von dünner Lithiumfolie auf Batterieelektroden im Rolle-zu-Rolle-Prozess ermöglicht.

Kernstück des Prozesses stellt ein unter Schutzgas-Atmosphäre betriebener Labor-kalender dar, welcher es ermöglicht, die hochreaktive Lithiumfolie auf die Elektrode aufzubringen. Die Schutzgasatmosphäre aus Argon verhindert eine Degradation des Lithiums

während des Verarbeitungsprozesses. Durch die kraftgeregelte Anpressung soll die Haftung des Lithiums an der Elektrode gewährleistet werden, sodass eine Weiterverarbeitung innerhalb der Prozesskette, ohne das Ablösen des Lithiums von der Elektrode, ermöglicht werden soll.

Der im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte Prozess stellt somit einen skalierbaren Ansatz dar, die Prälithierung für die industrielle Anwendung zu befähigen. Im weiteren Projektverlauf sind hierzu tiefgehende Untersuchungen geplant.

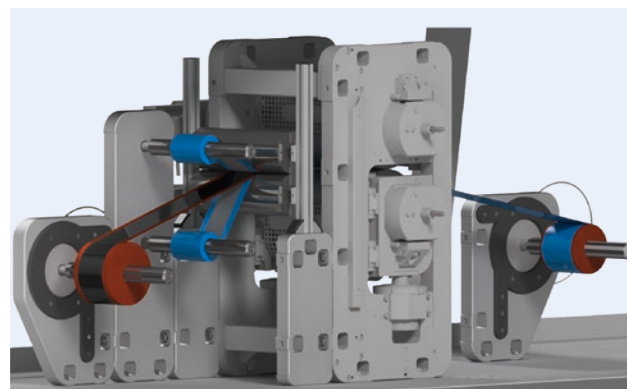


Abb. 2: Anlagenkonzept zur Befähigung der Direktkontakt-Prälithierung

Dank

Besonderer Dank gilt der Europäischen Union für die Förderung des Projektes „SPIDER“ im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms „Horizon 2020“ unter der Grant Agreement No. 814389, sowie allen beteiligten Projektpartnern.



M. Sc. Benedikt Stumper

Abteilung
Batterieproduktion

GranuProd – Granulatbasierte Einschritt-Elektrodenproduktionsanlage mit intelligenter Produktionsregelung

Fast 40 % des Energiebedarfs bei der Herstellung von Batteriezellen entfallen auf das Trocknen von lösemittelhaltigen Pasten in der Elektrodenfertigung. Das Ziel des Forschungsprojektes GranuProd ist die lösemittelreduzierte Herstellung von Batterieelektroden. Dies verringert den Energie- sowie Flächenbedarf in der Elektrodenherstellung von Lithium-Ionen-Batterien.

Das Projekt GranuProd ist Teil des Kompetenzclusters „Intelligente Batteriezellproduktion“ (InZePro) und wird über 3 Jahre bis Ende 2023 gefördert. Das Akronym GranuProd steht dabei für „Granulatbasierte Einschritt-Elektrodenproduktionsanlage mit intelligenter Produktionsregelung“. Ziel des Projekts ist die prototypische Umsetzung dieses neuartigen Herstellungsverfahrens im Pilotmaßstab. Im Vergleich zur klassischen Elektrodenherstellung mit Schlitzdüse sind durch den verringerten Lösemittelanteil die Pasten hochviskos, sodass diese über ein Walzwerk verarbeitet werden müssen. Dies wird durch eine neue Anlagentechnik realisiert, die die Prozessschritte Beschichten, Trocknen und Kalandrieren vereint. Die Produktqualität soll durch eine intelligente Regelung in Kombination mit einem Digitalen Zwilling der Anlage gewährleistet werden. Neben dem *iwb* sind auch Projektpartner des Instituts für Partikeltechnik (iPAT, TU Braunschweig) sowie des Instituts für Thin Film Technology (TFT, Karlsruhe Institute of Technology) vertreten (siehe Abb. 1).

Schwerpunkte des *iwb*

Das *iwb* beschäftigt sich vorrangig mit der Auswahl und Anbindung von Inline-Sensorik sowie deren Einbindung in ein intelligentes Regelungsmodell. Die Konzeption und Umsetzung der Regelungsstrategie umfasst dabei auch

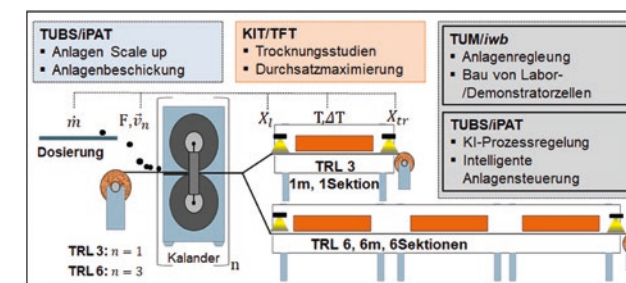


Abb. 1: Übersicht der Arbeitsinhalte

neue Ansätze mit Künstlicher Intelligenz. Durch die Einbindung eines Digitalen Zwillings der Anlage soll die Anlagensteuerung noch weiter verbessert werden.

Die Qualität der hergestellten Elektroden wird durch den Bau von großformatigen Zellen (5 Ah) am *iwb* validiert und mit Referenzzellen verglichen.

Dank

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Projekts GranuProd (03XP0344B).



M. Sc. Matthias Leeb

Abteilung
Batterieproduktion

Die CIRP General Assembly 2021 – ein virtuelles Highlight in München

Nachdem der 70. Geburtstag der CIRP General Assembly (GA) im April 2020 aufgrund der Corona-Pandemie um ein Jahr verschoben wurde, fiel im November 2020 aus denselben Gründe die Entscheidung für eine virtuelle Form der Konferenz. So war es nach vier Jahren Vorbereitung vom 22.–29. August 2021 soweit, dass das *iwb* gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen (utg) eine einzigartige und erfolgreiche Veranstaltung abhalten konnte.

Seit Jahrzehnten ist die CIRP GA eine der weltweit wichtigsten, produktionstechnischen Wissenschaftskonferenzen. Im August jeden Jahres kommen hier hunderte international renommierte Mitglieder zusammen, um sich über die Produktionstechnik der Zukunft auszutauschen. Der globalen Corona-Situation geschuldet, boten die Veranstaltenden für das Jahr 2021 kreative Lösungsansätze für die virtuelle Durchführung der wissenschaftlichen Konferenz.



Abb. 1: Die Konferenzplattform.

Konferenzplattform und Media Library

Ab Anfang August konnten die Teilnehmenden über eine Media Library voraufgezeichnete Konferenzbeiträge ansehen, zu welchen während der Konferenz Kurzfassungen präsentiert und wissenschaftliche Fragestellungen diskutiert werden konnten. Neben dem Zugang zu den Konferenz-Sessions mit unterschiedlichen

Formaten – von Plenumsvorträgen bis zu interaktiven Workshops – bot die individuell gestaltete Konferenzplattform (siehe Abb. 1) die Möglichkeit sich über eine Networking-Funktion bilateral austauschen. Außerdem konnten in einer virtuellen Ausstellung verschiedene Messestände von Industrieunternehmen, Forschungsverbunden und Fördergebern besichtigt werden.



Abb. 2: Die Ansprache der Professoren bei der Opening Session.

Opening Session und Closing Ceremony

Am Sonntag, den 22. August 2021, begann die Konferenz mit der Opening Session (siehe Abb. 2), bei der das 70-jährige Bestehen der CIRP gefeiert und inspirierende Ansprachen und Vorträge von den Gastgebern der diesjährigen General Assembly, Prof. Michael F. Zäh und Prof. Wolfram Volk, dem CIRP-Präsidenten, Prof. Mamoru Mitsuishi, sowie den Unternehmenspartnern BMW und MTU Aero Engines gehalten wurden.

Um den runden Geburtstag auch virtuell gebührend zu feiern, konnten die Teilnehmenden außerdem einen Musik-Act erleben, der sie mit Aufnahmen vergangener GAs durch die 70 Jahre der CIRP begleitete (siehe Abb. 3).

Ein weiteres Highlight, das trotz des virtuellen Formats durchgeführt werden konnte, war der Ugliest-Tie-Contest, dessen Gewinner in der

Closing Ceremony am letzten Tag der Konferenz und nach über 200 spannenden Vorträgen gekürt wurde.

Virtual Coffee Breaks und Daily Munich

Um einen vielfältigen Austausch zwischen den Teilnehmenden zu ermöglichen und das virtuelle Format zu nutzen, ließen sich die Veranstaltenden außerdem weitere Formate für die Konferenz einfallen.



Abb. 3: Der Musik-Act der Opening Session.

Die Virtual Coffee Breaks boten mit Vorträgen von beispielweise Prof. Rüdiger Daub zum Thema „Battery Production – Anticipating the Next 10 Years“ Gelegenheit, neue Ideen zu diskutieren, bestehende Beziehungen zu stärken und Kooperationen mit führenden Forschenden und Industrieunternehmen aufzubauen.

Daneben fand die „Daily Munich“ – eine von den Veranstaltenden kreierte tagesaktuelle Konferenzzeitung – großen Anklang bei den Teilnehmenden (siehe Abb. 4). Mit Tipps für die Münchner Region oder traditionellen bayerischen Kochrezepten konnte so auch ein Teil des Begleitprogramms, das im virtuellen Format nicht stattfinden konnte, transportiert werden.

Sponsoring und Teilnehmendenzahlen

Seit über vier Jahren war ein eng zusammenarbeitendes Team aus utg und *iwb* mit den Vorbereitungen beschäftigt. Dank der finanziellen Unterstützung von der BMW Group, Braun, DMG Mori, EMAG, der DFG, Festo, Fraunhofer,



Abb. 4: Die Daily Munich.

Kistler, Makino, ModuleWorks, MTU Aero Engines, Rosswag und dem VDW und den insgesamt über 450 Teilnehmenden war die Konferenz nicht nur inhaltlich, sondern auch finanziell ein Erfolg.

Unser Dank gilt dem utg für die jahrelange, sehr gute und kollegiale Zusammenarbeit, dem CIRP Office in Paris sowie allen Ausstellenden und Teilnehmenden! Wir freuen uns, dass wir die Ehre hatten, Gastgeber einer der renommiertesten wissenschaftlichen Konferenzen gewesen sein zu dürfen.



M. Sc. Christoph Wunderling

Abteilung
Lasertechnik



M. Sc. Julia Schulz

Abteilung
Nachhaltige Produktion



M. A. Lisa Christian

Service-Center
Public Relations

VERÖFFENTLICHUNGEN

Abteilung Additive Fertigung – Ausgewählte Veröffentlichungen:

Bähr, S.; Ammann, T.; Matheson, G.; Evirgen, A.; Forêt, P.; Bachmann, A.; Zaeh, M. F.: Influence of Different Process Gases on AlSi10Mg Parts Processed by LPBF – Microstructure and Mechanical Properties. In: Euro PM2020 Proceedings. EPMA, 2020.

Kolb, C.G.; Lehmann, M.; Lindemann, J.-L.; Bachmann, A.; Zaeh, M.F. Improving the dispersion behavior of organic components in water-based electrode disper-sions for inkjet printing processes. Applied Sciences 11 (2021) 5, S. 2242.

Kolb, C.G.; Zier, K.; Grager, J.C.; Bachmann, A.; Neuwirth, T.; Schmid, S.; Haag, M. Axtner, M.; Bayerlein, F.; Grosse, C.U.; Zaeh, M.F. An investigation on the suit-ability of modern nondestructive testing methods for the inspection of specimens manufactured by laser powder bed fusion. SN Applied Sciences 3 (2021) 7, S. 1–16.

Lehmann, M.; Kolb, C.G.; Klinger, F.; Zaeh, M.F. Preparation, characterization, and monitoring of an aqueous graphite ink for use in binder jetting. Materials & Design 2021, S. 109871.

Wimmer, A., Hofstaetter, F.; Jugert, C.; Wudy, K.; Zaeh, M.F. In-situ alloying: investigations of the melt pool stability during powder bed fusion of metals using a laser beam in a novel experimental set-up. Progress in Additive Manufacturing 2021

Abteilung Batterieproduktion – Ausgewählte Veröffentlichungen:

Grabmann, S.; Kriegler, J.; Harst, F.; Günter, F. J.; Zaeh, M. F.: Laser welding of current collector foil stacks in battery production – mechanical properties of joints welded with a green high-power disk laser. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2021).

Schreiner, D.; Zünd, T., Jossen, A.; Reinhart, G.; Gasteiger, H. A.: Comparative Evaluation of LMR-NCM and NCA Cathode Active Materials in Multilayer Lithium-Ion Pouch Cells: Part I. Production, Electrode Characterization, and Formation. Journal of The Electrochemical Society 168 (3), 2021, 030507.

Singer, C., Schnell, J., Reinhart, G.: Scalable Processing Routes for the Production of All-Solid-State Batteries—Modeling Interdependencies of Product and Process. Energy Technology, 2021, 9(1), 2000665

Abteilung Lasertechnik – Ausgewählte Veröffentlichungen:

Geiger, C.; Hille, L.; Singer, C.; Zaeh, M. F.: Improved thermal joining of aluminum and aluminum-polymercomposites for battery applications through laser surface structuring. Proceedings of the Lasers in Manufacturing Conference (LiM), 2021.

Hille, L., Xu, L., Keilhofer, J., Kriegler, J., Zaeh, M.F.: Laser structuring of graphite anodes and NMC cathodes – Proportionate influence on electrode characteristics and cell performance, Electrochimica Acta, 2021, 392, 139002

Kriegler, J.; Binzer, M.; Zaeh, M. F.: Process strategies for laser cutting of electrodes in lithium-ion battery production. Journal of Laser Applications, 2021, 33, 1, 012006

Kriegler, J., Hille, L., Stock, S., Jossen, A., Zaeh, M.F.: Enhanced performance and lifetime of lithium-ion batteries by laser structuring of graphite anodes, Applied Energy, 2021, 303, 117693

Mayr, L.; Tomcic, L.; Kick, M. K.; Wunderling, C.; Zaeh, M. F.: Contacting of cylindrical lithium-ion batteries using short pulse laser beam welding. Proceedings of the Lasers in Manufacturing Conference (LiM), 2021.

Wunderling, C.; Bernauer, C.; Geiger, C.; Goetz, K.; Grabmann, S.; Hille, L.; Hofer, A.; Kick, M. K.; Kriegler, J.; Mayr, L.; Schmoeller, M.; Stadter, C.; Tomcic, L.; Weiss, T.; Zapata, A.; Zaeh, M. F.: Solutions of laser material processing for electric mobility – evaluation of the Technology Readiness Level. Proceedings of the Lasers in Manufacturing Conference (LiM), 2021.

Zapata, A.; Bernauer, C.; Hell, M.; Zaeh, M. F.: Studies on the direction-independent temperature measurement of a coaxial laser metal deposition process with wire. Proceedings of the Lasers in Manufacturing Conference (LiM), 2021.

Abteilung Montagetechnik & Robotik – Ausgewählte Veröffentlichungen:

Magaña, A., Wu, H., Bauer, P., & Reinhart, G. (2020, September). PoseNetwork: Pipeline for the Automated Generation of Synthetic Training Data and CNN for Object Detection, Segmentation, and Orientation Estimation. In 2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) (Vol. 1, pp. 587–594). IEEE.

Magaña, A., Gebel, S., Bauer, P., & Reinhart, G. (2020, September). Knowledge-Based Service-Oriented System for the Automated Programming of Robot-Based Inspection Systems. In 2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) (Vol. 1, pp. 1511–1518). IEEE.

Gebauer, D., Dirr, J., Reinhart, G. (2021). Concept for robot-based cable assembly regarding industrial production. In: Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics 2021.

Bauer, P., Heckler, L., Worack, M., Magaña, A., Reinhart, G. (2021). “Registration strategy of point clouds based on region-specific projections and virtual structures for robot-based inspection systems”. In: Measurement 185.1:109963.

Gonnermann, C., Zels, B., Reinhart, G., (2021). “Automatized Generation of Alternatives for Process Monitoring in Cyber-Physical Assembly Systems”. In: Journal Procedia CIRP. PROCIR398464. PII: S2212–8271(21)01021-0.

Berger J, Colceriu C, Blank A, Franke J, Haerdtlein C, Hellig T, Henrich D, Heuss L, Hiller M, Krae M, Leichtmann B, Lottermoser A, Lu S, Nitsch V, Reinhart G, Riedl M, Roder S, Schaefer K, Schilp J, Vogt L, Zaeh MF (2021) Abschlussbericht: FORobots – mobile ad-hoc kooperierende Roboterteams.

Leiber, D.; Eickholt, D.; Vuong, A.-T.; Reinhart, G.: Simulation-based layout optimization for multi-station assembly lines. Journal of Intelligent Manufacturing (2021).

Leiber, D.; Vuong, A.-T.; Reinhart, G.: Alternative Subgraphs Assembly Line Balancing Problem with Resource Selection and Parallel Stations. Engineering Optimization (2021).

Abteilung Nachhaltige Produktion – Ausgewählte Veröffentlichungen:

Horsthofer-Rauch, J; Schumann, M.; Milde, M.; Vernim, S., Reinhart, G. (2021): Digitalized value stream mapping: review and outlook. Proceedings of the 15th CIRP Conference of Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, 2021.

Schulz, J.; Leinmüller, D.; Misik, A.; Zaeh, M. F.; Schulz, Julia; Leinmüller, Daniel et al. (2021): Renewable On-Site Power Generation for Manufacturing Companies – Technologies, Modeling, and Dimensioning. In: Sustainability 13 (7), S. 3898. DOI: 10.3390/su13073898.

Schneider, D.; Paul, M.; Vernim, S.; Zaeh, M. F. (2021): Sustainability Assessment of Manufacturing Systems – A Review-based Systematisation. Proceedings of the 8th Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production Conference (CARV2021).

Vernim, S.; Krauel, M.; Reinhart, G. (2020): Identification of digitization trends and use cases in assembly. In: Procedia CIRP 97, S. 136–141. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.215>

Abteilung Produktionsmanagement & Logistik – Ausgewählte Veröffentlichungen:

Dillinger, F.; Kagerer, M.; Brandl, F.; Bauer, H.; Tropschuh, B.; Korder, S.; Reinhart, G.: Managing the Systemic Transition from a Learning Factory for Lean Production (LSP) to an Innovation Lab for Smart & Lean Processes at iw b (TUM). SSRN Electronic Journal, 2021

Buechler, T.; Schumacher, F.; Reimann, P.; Zaeh, M. F.: Methodology for an automatic and early manufacturing technology selection on a component level. Production Engineering, 2021

Jurasky, W.; Moder, P.; Milde, M.; Ehm, H.; Reinhart, G.: Transformation of semantic knowledge into simulation-based decision support. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 71, 2021,

Zhai, S.; Gehring, B.; Reinhart, G.: Enabling predictive maintenance integrated production scheduling by operation-specific health prognostics with generative deep learning. Journal of Manufacturing Systems, 2021

Abteilung Werkzeugmaschinen – Ausgewählte Veröffentlichungen:

Fuchs, C.; Semm, T.; Zaeh, M. F. (2021): Decision-based process planning for wire and arc additively manufactured and machined parts. In: Journal of Manufacturing Systems 59, S. 180–189.

Hartl, R.; Bachmann, A.; Habedank, J. B.; Semm, T.; Zaeh, M. F. (2021): Process Monitoring in Friction Stir Welding Using Convolutional Neural Networks. In: Metals 11 (4), S. 535.

Meyer, S. P.; Fuderer, S.; Zaeh, M. F. (2021): A Holistic, Model-Predictive Process Control for Friction Stir Welding Processes Including a 1D FDM Multi-Layer Temperature Distribution Model. In: Metals 11 (3), S. 502. DOI: 10.3390/met11030502.

Schmucker, B.; Trautwein, F.; Semm, T.; Lechler, A.; Zaeh, M. F.; Verl, A. (2021): Implementation of an Intelligent System Architecture for Process Monitoring of Machine Tools. In: Procedia CIRP 96, S. 342–346.

Semm, T.; Fischer, A.; Zaeh, M. F. (2021): Identification of optimization potentials using flexible multibody models with local damping information. In: Procedia CIRP 99, S. 75–79.

Impressum

Der *iwb*-Newsletter erscheint halbjährlich
und wird herausgegeben vom

**Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften (*iwb*)**

TUM School of Engineering and Design

Technische Universität München

Boltzmannstraße 15

85748 Garching bei München

<https://www.mec.ed.tum.de/iwb>

ISSN 1434-324X (Druck-Ausgabe)

ISSN 1614-3442 (Online-Ausgabe)

Redaktion:

Lisa Christian

lisa.christian@iwb.tum.de

Herstellung:

dm druckmedien

Lindberghstraße 17

80939 München

Verlag:

Herbert UTZ Verlag GmbH

Adalbertstraße 57

80799 München

Natürlich gedruckt auf chlorfrei
gebleichtem Umlweltpapier.

Weitere Informationen erhalten Sie
unter: [https://www.mec.ed.tum.de/
iwb/aktuelles/iwb-newsletter/](https://www.mec.ed.tum.de/iwb/aktuelles/iwb-newsletter/)

