

# topics



Elektromobilität • Technische Dienstleistungen • Mikrolaserablation • TC<sup>2</sup> • Räumen • Lean Production • Simulation • Fasernasswickeln

## Editorial

Liebe Freunde und Partner des wbk,

bis zum Jahr 2020, so das Ziel der Bundesregierung, sollen in Deutschland eine Million elektrisch betriebene Fahrzeuge auf den Straßen unterwegs sein. Dies hat nicht nur den Vorteil, die Abhängigkeit von schwindenden Ölreserven zu verringern, sondern fördert gleichzeitig umweltfreundliche Technologien. Vor diesem Hintergrund gilt es auch für die Produktionstechnik, sich an der Umsetzung dieser Ziele zu beteiligen. Gerade der Leichtbau liefert einen entscheidenden Beitrag zur Senkung des Ressourcen- und

Energieverbrauchs. Der Einsatz neuer Leichtbauwerkstoffe, besonders faserverstärkter Kunststoffe, scheitert aber oft an wirtschaftlichen Aspekten.

Das wbk beschäftigt sich im Rahmen eines Forschungsschwerpunktes daher intensiv mit der flexiblen Automatisierung der Prozesskette, unter anderem im Technologiecluster Composites (TC<sup>2</sup>). In dieser Topics-Ausgabe stellen wir Ihnen das Technologiecluster Composites näher vor. Daneben geben wir Ihnen Einblick in weitere interessante Projekte und Forschungsthemen aus dem wbk, beispielsweise in unsere Ansätze

zu den produktionstechnischen Herausforderungen für den Automobilbau der Zukunft. Unsere seit vielen Jahren erfolgreich durchgeführte Herbsttagung werden wir in diesem Jahr zum Thema „Produktionstechnische Herausforderungen der Elektromobilität“ für Sie ausrichten. Wir würden uns sehr freuen, Sie am 27. Oktober 2011 zu diesem Anlass bei uns am Institut begrüßen zu dürfen.

Viele Freude bei der Lektüre unserer Topics wünscht Ihnen

*Ihr wbk-Team*

## Produktionstechnik für Elektromobilität



Abbildung 1: Der F 800 Style Plug-in HYBRID kann in der Stadt rein elektrisch fahren. Die Lithium-Ionen-Batterie lässt sich an Ladestationen oder Haushaltssteckdosen aufladen (Foto: © Daimler AG).

Die Automobilindustrie steht vor einem langjährigen und voraussichtlich hochdynamischen Strukturwandel auf dem Weg zu neuen Mobilitätsformen. Bereits heute ist eine hohe Dynamik in der Branche vor allem bei den Anbietern von Fabrikanlagen zu beobachten. Immer mehr Firmen, auch aus automobilfremden Branchen, versuchen, ihr Produktportfolio zu erweitern. Durch eine frühzeitige Einbindung der Produktionstechnik muss versucht werden, einen Wettbe-

werbsvorteil für die deutsche Industrie vor dem Hintergrund starker internationaler Konkurrenz zu erzielen.

Am wbk wird intensiv an ersten Ansätzen, die sich mit produktionstechnischen Herausforderungen für den zukünftigen Automobilbau beschäftigen, gearbeitet. In öffentlichen und bilateralen Forschungsprojekten werden gemeinsam mit Partnern der Automobil- und Maschinenbau-

industrie ausgewählte Fragestellungen dieses Themas untersucht. Ausgehend von Produkt- und Technologieentwicklungen werden an Produktionslösungen für

- konventionelle Antriebsstränge
- Speichersysteme
- elektrische Antriebe
- und Leichtbau

gearbeitet. Im Bereich verbrennungsmotorischer Antriebsstränge werden aktuelle Themen wie Downsizing, Brennverfahrensoptimierung und Abgasnachbehandlung produktionsseitig begleitet durch Untersuchungen zur Bearbeitung von innovativen Werkstoffen und der Ermöglichung der zunehmend anspruchsvolleren Toleranzanforderungen.

Parallel werden im neu gegründeten Forschungsschwerpunkt „Schichttechnologie“ Produktionsaspekte für Batterien und Brennstoffzellen betrachtet. Um Elektroautos zu marktfähigen Preisen anbieten zu können, müssen vor allem die Kosten für die Li-Ion-Batteriezellen und -systeme reduziert werden. Durch hochautomatisierte Prozesse, die flexibel für verschiedene Batterietechnologien und -generationen angewendet werden können und wirtschaftlich skalierbar sind, kann ein signifikanter Beitrag geleistet

*Fortsetzung Seite 2*

# Produktionstechnik für Elektromobilität

Fortsetzung von Seite 1

werden. Am wbk werden Anknüpfungspunkte in automatisierten Positionier- und Stapelverfahren mikrostrukturierter Layer genutzt.

Die Qualitätssicherung der verfahrenstechnischen Schritte der Batteriezellherstellung sowie der Montage der Batteriesysteme wirft derzeit viele Fragen auf und zeigt weiteren Forschungsbedarf. Um kompakte, hochintegrierte Elektroantriebe für automobile Anwendungen wirtschaftlich herstellen zu können, werden geeignete Automatisierungslösungen entwickelt. Bisher existieren für hohe Stückzahlen leistungsstarker Elektromotoren keine integrierten Linien. Herausforderungen sind dabei vor allem das automatisierte Herstellen der benötigten Blechpakete und der Drahtwicklungen.

Im Forschungsschwerpunkt „Leichtbau“ wird die Handhabungstechnik für Großserienanwendungen des metallischen und des hybriden Leichtbaus erforscht. Hierzu existieren seit Jahren umfangreiche Vorarbeiten und Kooperationen. Die Entwicklung von Greifertechnologien zum Handling biegeschlaffer Teile ist nur ein Beispiel für laufende Forschungsarbeiten.



Abbildung 2: Batterieproduktion  
(Foto: © European Batteries/IM+WV Group)

Im Bereich der Produktionsplanung werden dynamische Optimierungsverfahren entwickelt, die an die besonderen Randbedingungen der Automobil- und Zulieferindustrie angepasst werden können. Dabei wird von einer langjährigen Koexistenz verschiedener Antriebssysteme ausgegangen. Die dadurch entstehende technologische Vielfalt stellt Aggregate- und Montagewerke vor große Herausforderungen. Völlig neue Rahmenbedingungen sind dabei unter anderem durch die

strengen Sicherheits- und Gefahrstoffrichtlinien im Umgang mit Batterien sowie die Qualifizierungsvoraussetzungen (beispielsweise Hochvoltzulassungen) der Mitarbeiter gegeben.

Übergeordnetes Ziel der Forschungen ist die Ermöglichung einer stückzahl- und technologieflexiblen Anlagen- und Fabrikstruktur mit integrierten Qualitätssicherungsmaßnahmen zur wirtschaftlichen Fertigung wesentlicher Komponenten und Systeme für zukünftige Automobile in Deutschland.

## Ausblick

Am 27. Oktober 2011 findet die diesjährige wbk-Herbsttagung zum Thema „Produktionstechnische Herausforderungen der Elektromobilität“ mit hochkarätigen Vorträgen zu Themen entlang der Wertschöpfungskette der Elektromobilität statt. Nähere Informationen sind unter [www.herbsttagung.de](http://www.herbsttagung.de) verfügbar.

### Ansprechpartner:

Dipl.-Wi.-Ing. Steven Peters  
Telefon: 0721 608-46166  
E-Mail: [steven.peters@kit.edu](mailto:steven.peters@kit.edu)

## Technische Dienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau

### Das Projekt WiTal: Wissenstransfer und Grundlagenbereitung technischer Dienstleistungen

Unternehmen aller Größenordnungen versuchen gerade in konjunkturschwachen Zeiten durch innovative technische Dienstleistungen die Bindung ihrer Kunden zu erhöhen und rückläufige Umsätze im Neumaschinengeschäft zu kompensieren. Allerdings stoßen nicht alle von den Anbietern als innovativ formulierten Dienstleistungen auf die Akzeptanz der Kunden. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Wissenstransfer und Grundlagenbereitung für technische Dienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau (WiTal)“ wurde eine umfassende Potenzialanalyse in Form einer Unternehmensbefragung durchgeführt, um zu untersuchen, welche Dienstleistungen für Kunden und Anbieter von besonderer wirtschaftlicher Relevanz für die Zukunft sind.

Das Projekt WiTal wird durch die Stiftung Baden-Württemberg finanziert und durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt betreut. Der Fokus des Projektes liegt dabei auf sogenannten verfügbarkeitswirksamen technischen Dienstleistungen, die zum einen das Ausfallverhalten von Produktionssystemen berücksichtigen und zum anderen die Verfügbarkeit des Produktionssystems direkt erhöhen.

### Potenziale technischer Dienstleistungen

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurde ein Katalog mit 55 technischen Dienstleistungen erstellt und zusätzliche Fragen zu Herausforderungen im Angebot von Dienstleistungen aufgenommen. Der Fragebogen wurde anschließend sowohl den Anbietern als auch den Kunden bzw. Nutzern von technischen Dienstleistungen im Maschinenbau vorgelegt, um die Anbieter- sowie die Kundenseite zu erfassen und die wirtschaftlichen Potenziale unterschiedlicher Dienst-

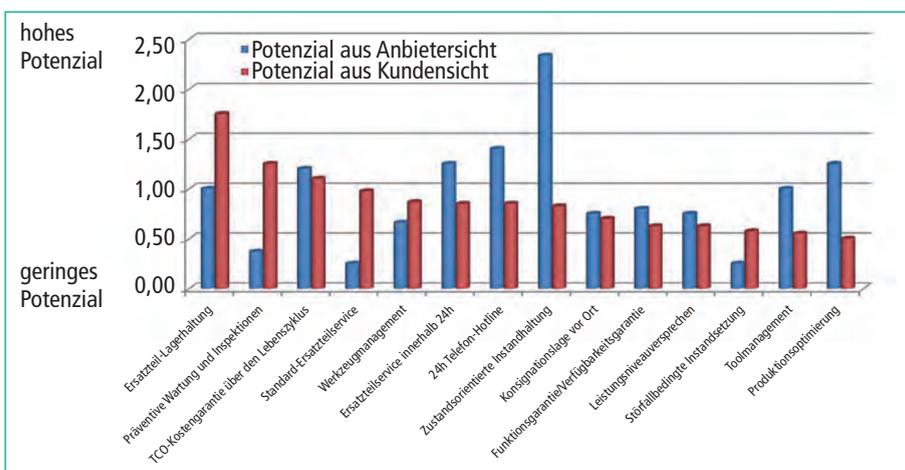


Abbildung 1: Ergebnis der Potenzialanalyse unterschiedlicher technischer Dienstleistungen

leistungen herauszufiltern. Abschließend wurden die identifizierten Potenziale der Anbieter- und Kundenseite einander gegenübergestellt. Dadurch konnten unterschiedliche Auffassungen zwischen Kunden und Anbieter deutlich gemacht werden (siehe Abbildung 1).

Aus Abbildung 1 geht hervor, dass Kunden vor allem im Bereich der Ersatzteillagerhaltung (Ersatzteilservice), der präventiven Wartung sowie Inspektion höhere Potenziale (errechnet aus Differenz zwischen Bedeutung und Realisierung) sehen als die Anbieter. Im Bereich zustandsorientierte Instandhaltung verhält sich dies genau umgekehrt. Die Potenziale bezüglich einer TCO-Kostengarantie, Konsignationslager oder Funktions- und Verfügbarkeitsgarantie sind nahezu deckungsgleich.

Ausgehend von der unternehmensindividuellen Auswertung der Potenzialanalyse für die Projektpartner wurden im weiteren Verlauf des Pro-

jektes Methoden, Vorgehensweisen sowie Tools entwickelt, die ein wirtschaftliches und qualitativ hochwertiges Angebot ausgewählter technischer Dienstleistungen ermöglichen. Im Projektverlauf wurden exemplarisch folgende technische Dienstleistungen ausgewählt und detailliert entwickelt:

- Garantierte Werkzeugversorgung mittels Konsignationslager
- Optimale Ersatzteilservicebereitstellung unter Einhaltung eines Servicegrades, der dem Kunden verkauft werden kann
- Kalkulation eines Total Cost of Ownership Vertrags mittels Simulation des Ausfallverhaltens des technischen Systems unter Berücksichtigung der eigenen Servicekapazitäten.

### Ansprechpartner:

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Benjamin Behmann  
Telefon: 0721 608-46166  
E-Mail: [benjamin.behmann@kit.edu](mailto:benjamin.behmann@kit.edu)

# Optische und akustische Prozessregelung bei der Mikrolaserablation

## Mikrolaserablation

Laserablation mit ultrakurz gepulsten frequenzverdreiften Nd:YAG-Lasern ermöglicht Mikrostrukturierungen bis zu wenigen Mikrometern in hochfeste Materialien wie wärmebehandelte Werkzeugstähle, Hartmetalle und Keramiken.

Ein präzises Bearbeitungsergebnis mit hoher Oberflächenqualität erfordert einen robusten Ablationsprozess. Puls für Puls, Bahn für Bahn und Ebene für Ebene lassen sich kleinste Strukturen mittels Laserablation herausarbeiten. Gerade bei der Herstellung von Mikroformeinsätzen sind Oberflächenrauheiten von kleiner 1 µm gefordert. Solch glatte Oberflächen können durch eine Optimierung signifikanter Parameter, wie dem Pulsabstand, dem Bahnabstand, der Laserleistung und der Fokuslagennachführung eingestellt werden.

Für den gewünschten Sublimationsabtrag bei dem eingesetzten gepulsten Nd:YAG-Lasersystem mit 355 nm Wellenlänge wird der Strahl mit einem 60 mm Objektiv zu einem lateralen Fokusdurchmesser von 3 µm mit einer Gauß'schen Intensitätsverteilung fokussiert. Der Arbeitsbereich  $z_A$  beträgt hierbei  $\pm 20$  µm um den theoretischen Fokuspunkt ( $z_{F,theo}$ ) (Abbildung 1).

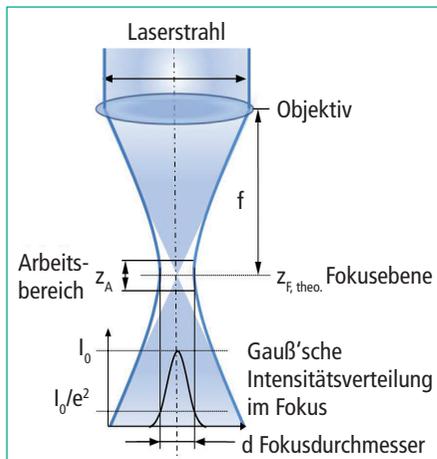


Abbildung 1: Schema und Beschriftung eines fokussierten Laserstrahls

Bei Strukturturen größer als 20 µm wird eine Fokusnachführung unumgänglich, wenn Oberflächen mit  $R_z < 1$  µm erstellt werden sollen. Probleme bei der Nachführung ergeben sich durch die Streuung in der resultierenden Abtragtiefe während des Bearbeitungsprozesses, bei welchem Material in Schichten entfernt wird. Das abgetragene Volumen pro Ebene schwankt aufgrund unterschiedlicher Absorptionseigenschaften in den einzelnen Schichten und Inhomogenität im Material.

Um einen definierten Abtrag in der Fokusebene und somit mit der höchsten Leistungsdichte gewährleisten zu können, müssen für die Mikrobearbeitung mit Lasern Regelungskonzepte für die angepasste Fokuslagennachführung entwickelt werden. Dieser Aufgabe hat sich das wbk Institut für Produktionstechnik zunächst mittels optischer und derzeit mittels akustischer Regelungskonzepte angenommen.

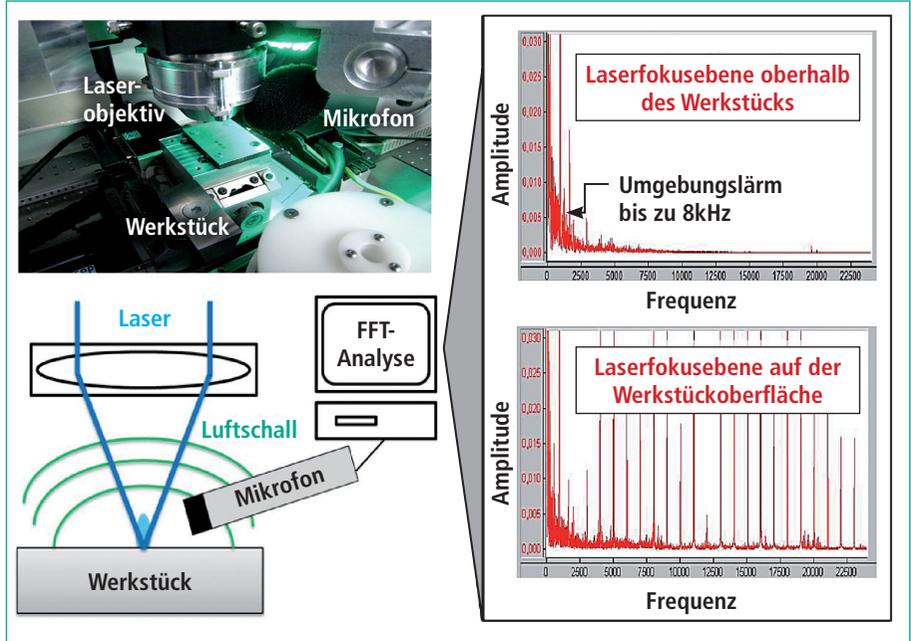


Abbildung 2: Versuchsaufbau für die akustische Regelung während der Mikrolaserablation

## Optisches Regelungskonzept

Nach jeder bearbeiteten Ebene wird im Prozess die erreichte Ist-Tiefe der gefertigten Struktur mit einem konfokalen Weißlichtsensor ausgemessen und die Fokusebene bei Bedarf von Ebene zu Ebene nachgeführt. Eine deutliche Verbesserung in der Oberflächenqualität konnte mit Hilfe der optischen Regelung erzielt werden. Bei Strukturgrößen um die 20 µm gerät das optische Regelungskonzept jedoch an seine Grenzen. Es kommt zu optischen Fehlern an Kanten der gefertigten Strukturen oder zu unzureichender Lichteinkopplung und somit zu Informationsverlust. Aus diesem Grund wird derzeit ein akustischer Ansatz zur Fokuslagenregelung verfolgt.

## Akustisches Regelungskonzept

Akustische Emissionen (Luftschall, 16 Hz – 20 kHz) werden während der Laserbearbeitung erfasst und für das akustische Regelungskonzept genutzt. Befindet sich die Laserfokusebene auf der Oberfläche des Werkstücks, so ist ein deutlicher Signalausgang im Frequenzspektrum des Luftschalls detektierbar (Abbildung 2). Bei konstanter Laserleistung können mit Hilfe des akustischen Signals Rückschlüsse auf die Fokuslage gezogen werden. Die Frequenzanalyse mittels Fast-Fourier-Transformation (FFT) ermöglicht die Untersuchung der Signalamplituden der einzelnen Frequenzen in Abhängigkeit der Fokuslage und weiterer signifikanter Prozessgrößen.

Für die Positionierung der Fokusebene auf der Werkstückoberfläche wurde ein akustisches Regelungskonzept entwickelt, welches zunächst eine Grobpositionierung und anschließend eine Feinpositionierung vornimmt (Abbildung 3). Dabei werden auf der Oberfläche des Werkstücks Linien ablatiert und jeweils von Linie zu Linie die Fokusplosion in z-Richtung zugestellt. Das angezeichnete Frequenzspektrum zeigt, dass während der Bearbeitung in der Fokusebene  $z_{F,theo}$  die Signalamplitude maximal ist. Das akustische Rege-

lungskonzept, welches ein speziell angepasstes LabVIEW-Programm beinhaltet, sucht vollautomatisch nach dem Signalmaximum und sendet die dazugehörige z-Position an die Maschinensteuerung, welche die Fokusebene auf die gewünschte Position verfährt.

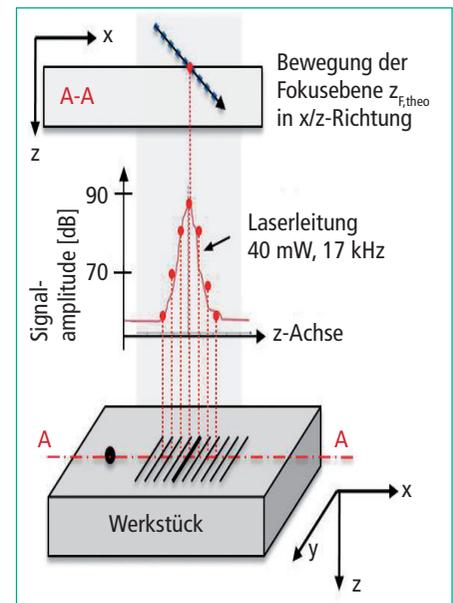


Abbildung 3: Akustische Fokuspositionierung auf Hartmetall

Des Weiteren wird bei Laserleistungen von 1 bis 80 mW ein linear ansteigendes akustisches Signal detektiert, welches ausblickend für eine Leistungsregelung während der Bearbeitung genutzt werden soll.

## Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Patricia Weber  
 Telefon: 0721 608-42448  
 E-Mail: patricia.weber@kit.edu

## Technologiecluster Composites (TC<sup>2</sup>)

Leichtbau ist, vor dem Hintergrund der Verknappung der Rohstoffe, ein entscheidender Beitrag zur Senkung des Ressourcen- und Energieverbrauchs. Faserverstärkte Kunststoffe (FVK) besitzen dank ihrer hervorragenden spezifischen Eigenschaften ein gutes Leichtbaupotenzial. Eine signifikante Reduzierung des Ressourcen- und Energieverbrauchs ist über den verstärkten Einsatz von Produkten in Leichtbauweise, insbesondere zur Gewichtsreduzierung, zu erreichen. Vor allem endlosfaserverstärkte Hochleistungsverbundwerkstoffe sind hier von großem Interesse. Bisher können diese Werkstoffe jedoch nur in hochpreisigen Segmenten der Industrie eingesetzt werden. Ursächlich dafür sind hohe Material- und insbesondere Fertigungskosten bedingt durch einen geringen Automatisierungsgrad. Die etablierten Verfahren zur Herstellung dieser Kohle- oder glasfaserverstärkten Leichtbauprodukte, wie beispielsweise das Resin Transfer Molding (RTM) Verfahren, nutzen vorwiegend manuelle Arbeitsschritte, welche eine wirtschaftliche Herstellung von FVK-Bauteilen erschweren.

Beim konventionellen RTM-Verfahren werden die Verstärkungsstrukturen als Wirrfasermatten, Gelege, Gewebe oder speziell erzeugte,

komplexe Vorformlinge (Preforms) in das Formwerkzeug eingelegt. Das Preform kann aus Glas- und / oder Kohlenstofffasern bestehen und im fertigen Bauteil einen Faservolumenanteil von mehr als 60 % einnehmen. Die Faserorientierung der Verstärkungsstruktur sollte möglichst der Belastungsart des Bauteils entsprechen. Sind die Verstärkungsfasern im Formwerkzeug positioniert, wird das zweiteilige Formwerkzeug geschlossen und niederviskoses duromeres Harz, welches im Vorfeld mit einem geeigneten Härter vermischt wurde, in das Formwerkzeug injiziert. Abhängig von der Harzformulierung und der Temperatur beginnt danach die Aushärtereaktion des Harzes. Dabei kommt es zur Vernetzung des Harzsystems und somit zu einem robusten Faserverbundbauteil.

Forschungs- und entwicklungsseitig existieren viele Ansätze, um die einzelnen Arbeitsschritte der RTM-Prozesskette derart weiterzuentwickeln, dass eine wirtschaftliche Serienfertigung von Strukturbauteilen für die Automobilindustrie zukünftig möglich wird. Das Ziel des neu gegründeten Technologieclusters Composites (TC<sup>2</sup>) ist darüber hinaus die Zusammenführung der Einzelschritte zu einer hochautomatisierten RTM-Fertigungskette. Dazu müssen zunächst

die unterschiedlichen Prozessschritte (Zuschneiden, Greifen, Drapieren, Pressprozess, usw.) deutlich weiterentwickelt und automatisiert werden. Zum anderen müssen die einzelnen, separaten Prozessmodule miteinander verknüpft werden, um die geforderte Kosteneffizienz zu erreichen. Um dieses Ziel erreichen zu können, hat sich unter Federführung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) ein Konsortium baden-württembergischer Forschungseinrichtungen zusammengeschlossen. In enger Kooperation werden die relevanten Forschungsthemen entlang der Wertschöpfungskette von RTM-Faserverbundbauteilen angegangen.

Im Rahmen des Clusters entwickelt das wbk Institut für Produktionstechnik neue und innovative Handlings- und Greiftechnologien und erarbeitet geeignete Qualitätssicherungskonzepte sowie bauteilschonende Nachbearbeitungsstrategien, um somit den Gedanken einer innovativen und hochintegrierten Fertigungsprozesskette umsetzen zu können.

### **Ansprechpartner:**

Dipl.-Ing. Alexander Ochs  
Telefon: 0721 608-42449  
E-Mail: alexander.ochs@kit.edu

## Wechselwirkungen von Prozess und Maschine beim Räumen

Die immer weiter steigenden Anforderungen an Qualität und Effizienz in der spanenden Fertigung verlangen ein besseres Verständnis der wechselwirkenden Mechanismen zwischen dem Prozess und der Maschine. Das Projekt „Prozess-Maschine-Interaktion“ beschäftigt sich mit diesen Wechselwirkungen am Beispiel des Fertigungsprozesses „Räumen“. Dabei führen die Schnittkräfte und die Passivkräfte zu selbsterregten Schwingungen, durch die die resultierende Bauteiloberfläche beeinflusst wird.

### **Experimentelle Untersuchungen**

Um die Auswirkungen der Wechselwirkung zwischen Maschine und Prozess von der Prozessseite zu untersuchen, wird eine Reihe von Parametern variiert. Darunter sind sowohl die Spannungsdicke als auch die Schnittgeschwindigkeit. Da das Werkzeug beim Räumen eine lineare Schnittbewegung ausführt, lassen sich die Maschinenschwingungen auf der bearbeiteten Oberfläche am besten erkennen. Dabei erfolgt die Schwingungsanregung durch den schlagartigen Werkzeugeingriff in das Werkstück. Diese Anregung ist stark von der Anzahl der Werkzeugzähne abhängig. Um den Einfluss des Schneideneintrittsstoßes auf die Maschinenschwingungen gezielt zu untersuchen, werden ein- und mehrzahnige Werkzeuge eingesetzt. In der ersten Phase des Projektes wurden Versuche mit Einzahnwerkzeugen unter dreistufiger Variation der Spannungsdicke bei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten durchgeführt. Die daraus resultierende Oberflächengüte ist durch die arithmetisch gemittelte Rauheit Ra in Abbildung 1 dargestellt. Bei einer Schnittgeschwin-

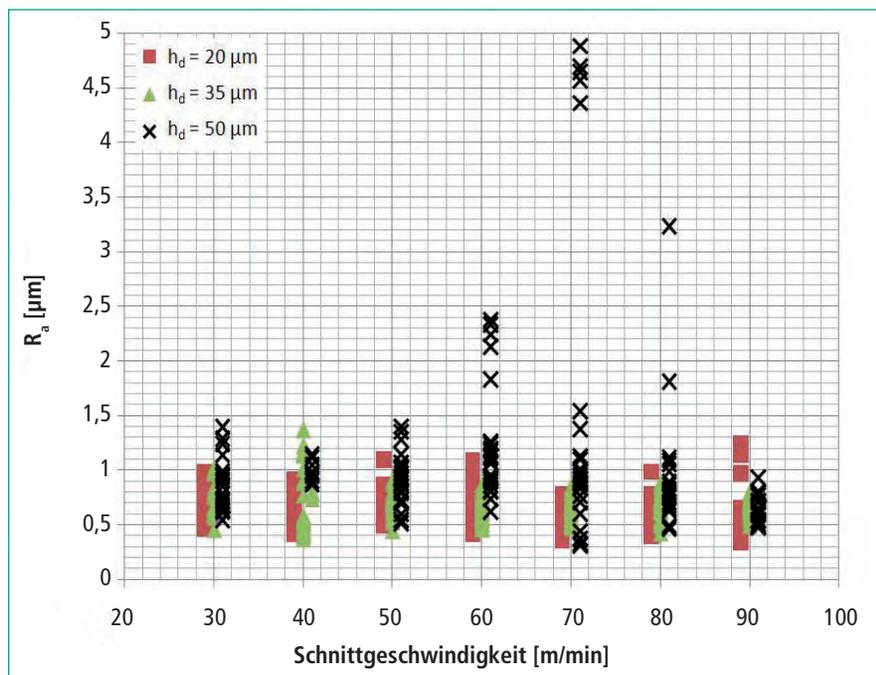


Abbildung 1: Abhängigkeit der Ra-Werte von der Schnittgeschwindigkeit

digkeit von 70m/min und einer Spannungsdicke von 50µm wurden starke Maschinenschwingungen beobachtet. Dies erklärt die hohen Rauheitswerte.

### **Ausblick**

Das Projektziel ist die Nachbildung der Prozess-Maschine-Interaktion am Beispiel des Außenräumprozesses. Hierbei gilt es, die Zerspannsimulation mit der Simulation der Maschinendynamik

zu koppeln und die Rückwirkungen auf das Bauteil abzubilden. Zur Verifikation der Simulation werden weiterhin Mehrzahnversuche durchgeführt.

### **Ansprechpartner:**

Dipl.-Ing. Nikolay Boev  
Telefon: 0721 608-45290  
E-Mail: nikolay.boev@kit.edu

# Workshop „Lean Production in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)“



Abbildung 1: Simulationsworkshop

In Kooperation mit dem Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart entwickelt das wbk seit 2008 ein **hybrides Planungswerkzeug** zur Auslegung von Lean-Methoden in der variantenreichen Kleinserienproduktion. Im Rahmen des Forschungsprojektes **HyPlan** fand am 02. Februar 2011 ein Workshop zum Thema „Lean Production in KMU“ statt. Dieser war mit knapp 60 Teilnehmern aus Industrie und Wissenschaft sehr gut besucht.

Ziel der Veranstaltung war es, Ansätze aus der Praxis zu diskutieren, den aktuellen Stand der Wissenschaft vorzustellen sowie Anforderungen an das hybride Planungswerkzeug in Workshops aufzunehmen.

## Erfahrungsberichte aus der Praxis

Eröffnet wurde die Tagung von Frau Prof. Lanza (wbk) und Herrn Dipl.-Ing. Korge (IAT) mit einem Überblick zu den Forschungsthemen „Bewertung und Optimierung der Effektivität von Lean-Methoden in der Kleinserienfertigung“ und „Wertstrom-Engineering“. Anschließend stellten Vertreter aus der Industrie ihre Erfahrungen zum Thema „Lean“ vor. Den Auftakt machte Frau Dipl.-Wi.-Ing. Reblin, Fachreferentin Corporate Supply Chain Management Operations Development der Siemens AG, München. In ihrem Vortrag „Der Weg zur lernenden Organisation“ stellte sie die Herausforderungen bei der Einführung von Lean in einem weltweit agierenden Technologiekonzern vor.

Über die Erfahrungen und Möglichkeiten des Einsatzes von Lean Production in der Kleinserienfertigung referierte Herr Dipl.-Ing. Lacker, geschäftsführender Gesellschafter der Introbest GmbH & Co. KG, in seinem Vortrag „Lean Production in kleinen KMU“.

Herr Dipl.-Wirtsch.-Ing. Hohmann, Leiter Produktion und Logistik der KABA Gallenschütz GmbH, stellte in seiner Präsentation „Erfahrungen aus der simulationsgestützten Lean Einführung“ die Möglichkeiten, das Vorgehen und die lessons learned des Einsatzes der Simulationstechnik zur Unterstützung der Einführung von Lean bei einem Mittelserienfertiger vor.

## Stand der Wissenschaft

Als Vertreterin der Wissenschaft stellte Frau Dipl.-Wi.-Ing. Jondral MBA (wbk) in ihrem Vortrag die Motivation, Zielsetzung und aktuelle Werkzeuge des Forschungsprojektes HyPlan vor.

## Workshops

Am Nachmittag hatten die Teilnehmer Gelegenheit, in Kleingruppen die vorgestellten Werkzeuge aktiv zu erleben.

## Förderhinweis

Bei diesem Projekt handelt es sich um einen Forschungsauftrag, der aus Mitteln der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH finanziert wird.

### Ansprechpartner:

Dipl.-Wi.-Ing. Annabel Jondral MBA  
 Telefon: 0721 608-46939  
 E-Mail: [annabel.jondral@kit.edu](mailto:annabel.jondral@kit.edu)

# Simulation von Gefügebeeinflussungen bei der Zerspanung im SPP 1480

## Motivation und Zielsetzung des Schwerpunktprogramms 1480-CutSim:

Spanende Fertigungsprozesse führen durch Trenn-, Reib- und Schervorgänge zur thermischen Beanspruchung der bearbeiteten Bauteile. Hieraus können im Bauteil Verzüge und Veränderungen des Werkstoffgefüges resultieren, was zu Problemen bei der Einhaltung von Fertigungstoleranzen oder der Beeinträchtigung der Bauteillebensdauer führen kann.

Im SPP 1480 soll deshalb die „Modellierung, Simulation und Kompensation von thermischen Bearbeitungseinflüssen“ im Rahmen von 12 Projekten untersucht werden.

## Zielsetzung des Projektes am wbk

Innerhalb des SPP konnte das wbk zusammen mit dem Institut für technische Thermodynamik (itt) und dem Institut für Angewandte Materialien - Zuverlässigkeit von Bauteilen und Systemen (IAM-ZBS) das Projekt „Untersuchung des Wärmeeintrags beim Kurzlochbohren sowie der da-

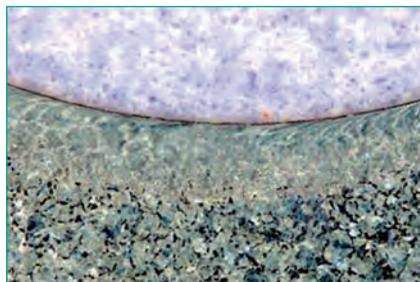


Abbildung 2: Bohrungswand mit umgewandelter Randzone

raus resultierenden Beeinflussung der Bohrungswand am Beispiel von 42CrMo4“ platzieren.

Im Rahmen des Projektes sollen die Wärmequellen, -senken und -leitungsvorgänge beim Bohren analysiert werden. Hierfür werden die stattfindenden lokalen Prozesse (Reibvorgänge, Wärmeübertragung, Kurzzeitumwandlung) detailliert untersucht und lokale Teilmodelle zur

Beschreibung dieser Prozesse entwickelt. Durch eine Zusammenführung der lokalen Teilmodelle soll es möglich werden, das thermo-mechanische Bauteilverhalten beim Bohren zu beschreiben und Bearbeitungsstrategien für komplexe Bauteile abzuleiten, um z. B. Neuhärtezonen an Bohrungswänden sicher vermeiden zu können.

## Vorgehen

Um die Vorgänge beim Bohren untersuchen zu können, werden am wbk experimentelle Untersuchungen sowie FEM-Simulationen durchgeführt. Dabei wird der Effekt der Kurzzeitaustenitierung im Rahmen einer Spanbildungssimulation berücksichtigt, um Phasenumwandlungen, wie in Abbildung 1 dargestellt, abbilden zu können.

### Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Jürgen Michna  
 Telefon: 0721 608-45906  
 E-Mail: [juergen.michna@kit.edu](mailto:juergen.michna@kit.edu)

# Fasernasswickeln als innovatives Fügeverfahren



Abbildung 1: Prototypisch durchgeführte Wickelverbindung

Faserverstärkte Kunststoffe besitzen dank ihrer hervorragenden mechanischen Eigenschaften in Bezug auf die Dichte ein hohes Leichtbaupotenzial. Die Verbindung von Bauteilen stellt jedoch immer eine potenzielle Schwachstelle dar, da hier ein Faserverbund über Bauteilgrenzen hinweg nur mit einem hohen Aufwand zu realisieren ist. Beim Fahrradrahmenbau werden beispielsweise Rohre stumpf aneinander geklebt und mit einer Faserlage manuell überlaminiert. Dies dient jedoch primär optischen Gesichtspunkten. Für höhere Festigkeiten müssen die Rohre entweder mit einem zusätzlichen Knotenelement gemufft werden oder es kommt die Monocoque-Bauweise ohne Fügstellen, aber entsprechend hohen Werkzeugkosten, zum Einsatz.

## Fügen durch Wickeln

Aus diesem Grund wird am wbk Institut für Produktionstechnik das bekannte bauteilgenerierende Verfahren des Fasernasswickelns in eine Füge-technologie weiterentwickelt. Hierbei werden durch die Umschlingung von Rohrprofilen mit imprägnierten Fasern geschlossene Tragwerke hergestellt. Der Einsatz von zusätzlichen kosten- und ressourcenaufwändigen Knotenelementen entfällt. Am wbk befindet sich derzeit eine robotergeführte Versuchsanlage im Aufbau, die die Funktionsfähigkeit dieser Verbindungstechnologie zeigen soll. Manuell durchgeführte Wickelverbindungen zeigen jedoch schon ein enormes Fertigungspotenzial.

## Auslegungsmethodik

Parallel zum Aufbau dieser Prototypenanlage wurde eine Methodik entwickelt, um jede Wickelstelle als optimal an ihren jeweiligen Lastfall angepasste Verbindungsstelle darzustellen. Hierzu werden die Lastpfade innerhalb der Knotenverbindungen mittels einer Topologieoptimierung identifiziert. Anschließend werden durch eine Optimierungsrechnung diese Lastpfade mit annähernd geodätischen Bahnen verbunden. Diese sind für einen rutschsicheren Faserverlauf auf der Oberfläche essentiell. Diese Bahnen werden über ein 3D-CAD-System abgebildet und in eine Robotersteuerung überführt. Weiter wird über einen einfachen Ansatz aus der technischen Mechanik die zu erwartende Festigkeit der Verbindung prognostiziert.

## Prüfung der Fügestelle

Die hergestellten Knotenverbindungen werden abschließend zerstörend auf ihre Festigkeit und Steifigkeit in unterschiedlichen Lastfällen geprüft, um die relevanten Größen im Wickelprozess zu identifizieren.

Die Kombination aus der Wickelanlage und der Auslegungsmethodik sowie die Kenntnis der relevanten Wickelparameter machen das Fasernasswickeln als Füge-technologie zu einem Verfahren mit hohem Leichtbaupotenzial. Da die Fasern annähernd optimal in den Lastpfaden verlaufen, ist die höchstmögliche Festigkeit bei niedrigem Gewicht gegeben.

### Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Jochen Schädel

Telefon: 0721 608-44295

E-Mail: [jochen.schaedel@kit.edu](mailto:jochen.schaedel@kit.edu)

## Promotionen

### Dr.-Ing. Jan Rühl

Monetäre Flexibilitäts- und Risikobewertung  
Stochastische Simulation von Produktionssystemen während der Produktentwicklungsphase

### Dr.-Ing. Daniel Ruch

Positions- und Konturerfassung räumlich gekrümmter Profile auf Basis bauteilimmanenter Markierungen

### Dr.-Ing. Manuel Tröndle

Flexible Zuführung von Mikrobauteilen mit piezoelektrischen Schwingförderern

## Neueinstellungen



### Dipl.-Ing.

**Florian Ambrosy**

Tätigkeitsfeld: Werkzeug- und Prozessoptimierung  
Eintrittstermin: 01.10.2010



### Dipl.-Wi.-Ing.

**Anna Ertel**

Tätigkeitsfeld: Fabrikplanung, Anlaufmanagement, Elektromobilität  
Eintrittstermin: 01.12.2010



### Dipl.-Ing.

**Steffen Dosch**

Tätigkeitsfeld: Leichtbaufertigung, Maschinen- und Handhabungskonzepte  
Eintrittstermin: 01.12.2010



### Dipl.-Ing. Florian Sell

Tätigkeitsfeld: Produktionstechnik für Komponenten der Elektromobilität, Verpackungstechnik, Automatisierungstechnik  
Eintrittstermin: 01.01.2011



### Dipl.-Ing.

**Johannes Gebhardt**

Tätigkeitsfeld: Leichtbaufertigung  
Eintrittstermin: 07.02.2011



### Andrea Hepfer

Tätigkeitsfeld: Assistentin der Institutsleitung  
Eintrittstermin: 14.03.2011

## Impressum

### wbk

Institut für Produktionstechnik  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Kaiserstr. 12 | 76131 Karlsruhe  
[www.wbk.kit.edu](http://www.wbk.kit.edu)

### Redaktion:

Sabine Werner, M.A.

### Layout:

Atelier Nardo  
Ersteiner Straße 27 | 68229 Mannheim

### Druck:

Druckerei Schindler  
Hertzstraße 10 | 69126 Heidelberg